

本調査研究はモーターボート競走公益資金による  
(財)日本船舶振興会の補助金を受けて実施したものである

研究資料No.370

## 第186研究部会

### 氷海用船舶・海洋構造物の設計・ 建造に関する研究

#### 報告書

昭和59年3月

社団法人  
日本造船研究協会

氷海船舶・海洋構造物の5か年計画の第4年度の研究として  
次の調査及び実験を行ないまとめたものである。

- (1) ポーフォート海～カナダ東岸想定航路の氷象・気象データ調査
- (2) 氷水槽における船舶及び海洋構造物の模型実験
- (3) 氷海タンカー及び氷海リグ概略試設計のための基礎資料調査
- (4) “しらせ”実験計画

## はしがき

本報告書は、日本船舶振興会昭和58年度補助事業として日本造船研究協会第186研究部会において実施した「氷海用船舶・海洋構造物の設計・建造に関する研究」の成果をまとめたものである。

なお、船舶技術研究所と本会の間で共同研究契約を締結し、研究を効率的に進めた。

本研究部会委員ならびに関係者は次のとおりである。（敬称略、順不同）

### 第186研究部会委員名簿

部会長	藤田 譲	(東京大学)	新田 順	(日本海事協会)
幹事	北川 弘光	(船舶技術研究所)	木村 峻久	(石川島播磨重工業)
	成田 仁	(三井造船)	岡 正志	(川崎重工業)
	城野 隆史	(日立造船)	山本 崇也	(三菱重工業)
	須藤 正信	(日本鋼管)	橋本 泰明	(住友重機械工業)
委員	高橋 雄	(船舶技術研究所)	手塚 登	(石油公団)
	鈴木 敦	(日本造船振興財団)	三宅 淳達	(日本作業船協会)
	浅井 孝雄	(日本郵船)	松尾 稔	(大阪商船三井船舶)
	関田 欣治	(新日本製鉄)	川口 昇	(三菱重工業)
	久富 吉弘	(日立造船)	杉浦 邦雄	(日本鋼管)
	渡辺 稔浩	(日本鋼管)		

### 第186研究部会船型小委員会委員名簿

主査	成田 仁	(三井造船)	川口 昇	(三菱重工業)
幹事	北川 弘光	(船舶技術研究所)	片桐 徳二	(石川島播磨重工業)
	田淵 寛	(三井造船)	岡 正志	(川崎重工業)
	藤井 克哉	(石川島播磨重工業)	江口 嘉昌	(日立造船)
	村上 延夫	(日立造船)	須藤 正信	(日本鋼管)
	永松 秀一	(住友重機械工業)	福島 雅博	(三井造船)
	加戸 正治	(住友重機械工業)	城野 隆史	(日立造船)
委員	杉浦 邦雄	(日本鋼管)	中間 隆三郎	(函館ドック)
	貞光 勝	(来島どっく)	岡 吉則	(日本海事協会)
	星野 久雄	(新潟鉄工所)	浅井 孝雄	(日本郵船)
	松尾 稔	(大阪商船三井船舶)	渡辺 明	(山下新日本汽船)
	柴田 幸夫	(ジャパンライン)	三宅 淳達	(日本作業船協会)
	堤 弘	(日本船舶品質管理協会)	板沢 順	(かもめプロペラ)
	海津 源治	(ナカシマプロペラ)	伊藤 政光	(神戸製鋼所)
	関田 欣治	(新日本製鉄)	青木 真一	(川崎製鉄)
	鎌田 晃郎	(川崎製鉄)	高橋 智	(キーパー)
	河井 清高	(大阪造船所)	大東 俊一	(小野測器)

石 田 富之輔 (日本ペイント) 今 野 茂 (関西ペイント)  
岩 上 彰 夫 (中央工産) 田 中 陽 (川崎重工業)  
立 花 康 夫 (富士電機製造) 山 口 栄 三 (日立造船)

第186研究部会リグ小委員会委員名簿

主 壱 北 川 弘 光 (船舶技術研究所)  
委 員 成 田 仁 (三井造船) 山 本 崇 也 (三菱重工業)  
八 島 信 良 (三井造船) 桑 子 寛 (石川島播磨重工業)  
山 中 直 樹 (川崎重工業) 久 富 吉 弘 (日立造船)  
砂 原 誠 一 (住友重機械工業) 小 宮 治 彦 (日本钢管)

第186研究部会船型小委員会船体舾装ワーキング・グループ委員会委員名簿

成 田 仁 (三井造船) 城 野 隆 史 (日立造船)  
須 藤 正 信 (日本钢管) 岡 武 秀 雄 (三井造船)  
土 星 貞 光 (日本钢管) 安孫子 玲一郎 (日立造船)

第186研究部会船型小委員会構造ワーキング・グループ委員会委員名簿

藤 井 克 哉 (石川島播磨重工業) 川 口 升 (三菱重工業)  
片 桐 徳 二 (石川島播磨重工業) 末 岡 英 利 (三菱重工業)  
松 島 義 男 (石川島播磨重工業) 薩 田 成 人 (住友重機械工業)

第186研究部会船型小委員会機関ワーキング・グループ委員会委員名簿

江 口 嘉 昌 (日立造船) 高 木 賀 建 (日本钢管)  
島 本 道 男 (三菱重工業) 館 野 寛 三 (石川島播磨重工業)  
矢 吹 捷 一 (三井造船) 大 谷 純 一 (川崎重工業)  
山 本 益 雄 (住友重機械工業) 成 田 仁 (三井造船)  
岡 武 秀 雄 (三井造船) 渋 田 成 人 (住友重機械工業)

“しらせ”実船試験小委員会委員名簿

主査 北川 弘光 (船舶技術研究所)	
委員 宮島 進 (船舶技術研究所)	成田 仁 (三井造船)
田淵 寛 (三井造船)	川口 昇 (三菱重工業)
片桐 徳二 (石川島播磨重工業)	藤井 克哉 (石川島播磨重工業)
城野 隆史 (日立造船)	岡 正志 (川崎重工業)
永松 秀一 (住友重機械工業)	加戸 正治 (住友重機械工業)
須藤 正信 (日本鋼管)	佐藤 守 (日本鋼管)
福島 雅博 (三井造船)	水原 修平 (三井造船)
大塚 国昭 (三井造船)	立花 康夫 (富士電機製造)
関本 貢 (富士電機製造)	
オブザーバ 岩波 圭祐 (海上保安庁)	

討議参加等関係者名簿

松本 公道 (運輸省)	染矢 隆一 (運輸省)
白石 哲也 (運輸省)	藤田 忠熙 (日本鋼管)
松永 栄一 (三井造船)	東 哲朗 (大阪造船所)
中山 一夫 (住友重機械工業)	野原 英志 (三菱重工業)
安田 優人 (石油公団)	高田 光芳 (日立造船)
脇本 英輔 (石川島播磨重工業)	三住 悅己 (川崎重工業)
柳沢 一郎 (石川島播磨重工業)	別府 治 (三井造船)
石谷 憲一郎 (三菱重工業)	寺島 利一 (日本鋼管)
成田 秀明 (日本鋼管)	木村 哲夫 (新日本製鉄)
篠崎 慶幹 (日本鋼管)	橋本 利之 (日本鋼管)
野床 種保 (日立造船)	上田 敏明 (川崎重工業)
森田 博行 (石川島播磨重工業)	横山 哲朗 (三井造船)
外岡 幸吉 (住友重機械工業)	戸沢 秀 (三菱重工業)
松島 和夫 (三菱重工業)	広川 政則 (日本鋼管)
衛藤 俊士朗 (防衛庁)	佐藤 芳己 (住友重機械工業)
高橋 貞信 (三井造船)	辰岡 正樹 (川崎重工業)
則松 康文 (三菱重工業)	

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 研究計画の概要 .....	2
2.1 目 的 .....	2
2.2 全体計画概要 .....	2
2.3 昭和58年度研究の概要 .....	3
3. 調査研究 .....	3
3.1 調査概要 .....	3
3.2 北西航路における氷象・気象に関する文献調査 .....	3
3.3 NV文献調査 .....	25
4. 氷海船舶試験水槽における模型試験 .....	26
4.1 はじめに .....	26
4.2 side flare の効果 .....	39
4.3 B/d の影響 .....	41
4.4 船底勾配の影響 .....	44
4.5 船首形状シリーズ .....	46
4.6 C <sub>B</sub> シリーズ .....	48
4.7 おわりに .....	49
5. 200,000DWT碎氷タンカー概略試設計中間報告 .....	50
5.1 基本計画 .....	50
5.2 構 造 .....	56
5.3 船体機器 .....	86
5.4 機関機器 .....	109
6. 氷海用海洋構造物に関する調査研究 .....	132
6.1 はしがき .....	132
6.2 人工島に作用する氷荷重 .....	132
6.2.1 はじめに .....	132
6.2.2 人工島に作用する力 .....	132
6.2.3 浅海域人工島に働く氷荷重 .....	133
6.3 浮遊式氷海リグの係留システム及び非常時離脱装置 .....	163
6.3.1 係留システム .....	163
6.3.1.1 基礎調査 .....	163
6.3.1.2 係留システム設計条件の調査 .....	183
6.3.1.3 係留用機器の調査 .....	218
6.3.1.4 係留システム施工方法 .....	232
6.3.1.5 係留システムの維持、メンテナンス方法 .....	235
6.3.2 非常時離脱システム .....	237
6.3.2.1 非常時離脱の条件調査 .....	238
6.3.2.2 留脱装置の調査 .....	247
6.3.2.3 留脱及び復帰手順の調査 .....	251

6.4 モノコーン型氷海リグの保持システム及び非常時離脱装置	254
6.4.1 保持システム設計条件	254
6.4.2 モノコーン設置方法	258
6.4.3 着底時の保持システム	259
6.4.4 非常時離脱システム	263
6.5 ケーソン型氷海リグの保持システム	263
6.5.1 設計条件	264
6.5.1.1 自然条件	264
6.5.1.2 ケーソン型人工島の実績	264
6.5.1.3 外力算定(氷荷重)	268
6.5.2 保持システム	270
6.5.2.1 重力式	272
6.5.2.2 杭式	274
6.5.3 考察	277
6.6 円柱群に働く氷圧力の模型試験	278
7. 南極観測船“しらせ”による氷海域実船試験	281
7.1 はしがき	281
7.2 南極観測船“しらせ”的概要	281
7.3 計測項目	281
7.4 計測実施要領	282
7.5 実船計測	283
8. まとめ	295
8.1 氷況等調査	295
8.2 氷海船舶試験水槽における模型試験	295
8.3 氷海船舶概略試設計用基礎資料調査	296
8.4 人工島に作用する氷荷重	296
8.5 氷海用海洋構造物の係留及び非常時離脱方式の検討	296
8.6 “しらせ”による氷海実船試験	296
8.7 その他	296

## 1. 緒 言

北極海周辺に豊富なエネルギー資源の埋蔵が予測されたのは1950年代のことであるが、厳しい自然環境と立地条件の面から、石油、天然ガスの掘削が採算ベースに乗るのは、今世紀後半以降との見通しが大勢であった。しかし、1968年、アラスカ・ノーススロープでの石油試掘成功以後は、引続くエネルギー情勢の逼迫のため、北方資源の調査・開発熱は年を追って上昇し、ポートマリナード、メルビル島、あるいは、カナダ多島海において、ドーム、エッソ、バナークティックなどの各社が、天然ガス又は石油の試掘に成功を収めている。

このような情勢により、日本造船研究協会では、来るべき氷海商船就航に備えて、昭和50年、第160研究部会を発足させ、北極諸海周辺の気象、氷象、資源開発状況、砕氷船建造実績、砕氷船設計技術、氷海実験法、海水の諸性質、模型試験技術など、広範囲な調査研究を行った。

しかし、昭和54年の第2次オイルショック以降における石油価格の暴騰により、北極海域における石油の商業生産は急速に現実的なものとなって来たため、氷海用海洋構造物（石油掘削用プラットフォーム）や氷海用船舶の建造機運は最近大いに高まって来ている。

本研究部会はこうした情勢に対応して、従来より研究を行っている氷海用船舶に加え、氷海用海洋構造物についても取扱うこととした上、特に設計および建造に係る技術についての研究開発に重点を置くこととした。

このため、研究課題名を昭和55年度の「氷海域における船舶・海洋構造物の挙動に関する研究」より、昭和56年度以降は「氷海用船舶・海洋構造物の設計・建造に関する研究」に改め（部会番号はそのまま）、また、委員会の構成についても本委員会の下に、氷海用船舶および海洋構造物について、それぞれ小委員会を置くこととして組織の改変を行った。

また、昭和58年度には砕氷艦“しらせ”の南極における実船試験を実施するため“しらせ”実験試験小委員会を組織した。

## 2. 研究計画の概要

### 2.1 研究目的

アラスカ、カナダ周辺など北極圏の氷海における、地下鉱物資源の掘削、生産およびその積出しと海上輸送に対応するため、これに必要な氷海用船舶および氷海用構造物についての技術を開発しようとするものである。

### 2.2 全体計画概要

氷海用船舶および氷海用構造物は、その使用目的、条件などにより、多岐にわたる技術を必要とするが、本研究においてはこれらの設計、建造のための指針を得るために、氷海用として特に要求される基礎的諸技術について調査、研究を実施するものである。研究面では多年を要する理論的研究はさておき、当面最も成果の期待できる氷水槽における模型実験に主力を注ぎ、運輸省船舶技術研究所に新設された氷海船舶試験水槽においてこれを実施する。

本研究部会の研究年次計画は表2.1に示す通りであり、文献調査、海外調査のはか以下の研究が行われる。

表2.1 研究年次計画

年度 項目	55	56	57	58	59
調査研究	ソ連文献の調査 翻訳	・氷象データの購入 ・海外調査	氷象データの購入	氷象補足データの購入	
氷海用船舶の模型実験	—	L/Bシリーズ	B/dシリーズ midshipシリーズ	船首形状シリーズ、C <sub>B</sub> シリーズ	各種氷海中の性能
氷海用船舶の概念設計	(概念設計)	—	文献調査	文献調査 設計条件の設定	概略試設計 輸送コスト
氷海用構造物の模型実験	—	円柱	円錐	円柱群	複合モデル
氷海用構造物の概念設計	—	氷象ゾーニング 各種リグの調査	輸送方式などの調査	係留システムの調査	概念設計
しらせ実船試験	—	—	—	実験計画および実施	実船実験およびデータ解析

すなわち、氷海用船舶の分野においては、対象船を北極海-日本航路の碎氷タンカーとし、この航路の氷象データを購入すると共に、氷海船舶試験水槽においては、各種模型実験を実施し、船型設計に役立つ諸データを得る。一方、これらの研究をふまえ、最終年度には碎氷タンカーの概略試設計を行い、総合的なまとめを行う。なお、船型問題以外の構造、機器、推進プラントの分野においては、本研究部会では概略試設計のための文献調査にとどめる。

氷海用構造物の分野においては、氷象ゾーニング、各種リグの調査、係留システムの調査などをを行い、最終年度には概念設計を行う。これと並行し、氷海構造物に作用する水力推定のための資料を得るために、各種の基礎的形状について氷海船舶試験水槽での模型実験を行う。

以上の2分野における試験研究および調査研究に加え昭和58年度より碎氷艦「しらせ」により実船試験を行い氷状と同様の氷海性能を調査する。

## 2.3 昭和58年度研究の概要

全体計画の一環として、本年度は以下の諸事項について調査研究を実施した。

### (1) 氷象・気象データの購入

ポーフォート海～カナダ東岸の想定航路における氷象、気象データをArctec Inc.にまとめさせ、これを購入した。

### (2) 文 献 調 査

NVより氷象及び土質についての文献を購入した。

### (3) 氷海用船舶の模型試験

碎氷タンカーの船首形状シリーズおよびC<sub>B</sub>シリーズ船型について、船舶技術研究所の氷海船舶試験水槽（略称、氷水槽）にて実験を行った。

### (4) 氷海船舶概略試設計用基礎資料調査

最終年度である59年度に行う予定の200,000 DWTの碎氷タンカーの概略試設計の準備作業として構造、船体舾装及び機関についてのW.G.をそれぞれ組織し、文献調査を行うと共に船型小委員会において討議決定された基本計画にもとづき概略試設計を一部開始した。本報告書においては文献調査の成果（前年度分も含む）を報告し、かつ各W.G.において現在進められている概略試設計の中間報告を行った。

### (5) 氷海用構造物の模型実験

氷海用構造物の基本形状の1つである円柱については昭和56年度に実験を行ったが本年度は実構造物への応用例として円柱群に作用する氷荷重について船舶技術研究所の氷水槽にて実験を行った。

### (6) 氷海用海洋構造物概念設計のための基礎資料調査

最終年度に行うリク概念設計の準備作業として本年度は係留システム等についての調査研究を行った。

### (7) 碎氷艦“しらせ”実船試験

南極において“しらせ”的氷海実船試験を行うための実験計画を行い、又昭和59年度初頭に実験を実施した。

## 3. 調 査 研 究

### 3.1 調査概要

#### (1) 北西航路における氷象・気象に関する文献調査

前年度までに実施した日本～ポーフォート海の想定航路における氷象・気象条件の調査に加え、本年度は北西航路（ボーホート海～カナダ東岸）における氷象・気象データを米国のArctec Inc.に依頼して調査した。

#### (2) 文献購入

北極の氷象および土質についての文献をNVより購入し、これらを抄訳して報告書の作成に使用した。

### 3.2 北西航路における氷象・気象に関する文献調査

ARCTEC, INCORPORATED(以下ARCTEC社とする)より購入した文献“Sea Ice Data and Meteorology for Arctic Shipping Route”December, 1983の要旨を以下に示す。本文献は、ボーフォート海からBaffin Bayを通りカナダ東岸のNova Scotiaまでの想定航路上における氷象（密接度、氷厚、氷丘脈の分布と大きさ、氷山の出現頻度、氷の移動速度等）、氷の機械的特性（圧縮強度、曲げ強度等）及び気象（気温、風向風速、降水量、湿度、大気圧、視界、日照時間）に関するデータを主として公表されたデータをもとに調査したものである。

なお、原本は日本造船研究協会にて保管する。

## (1) データ収集・解析方法

本調査にあたっては、図表案(atlas)、技術論文 A.E.S.(Canadian Atmospheric Environment Service)よりの出版物、氷象計測の raw data、ARCTEC社やその他のコンサルティング会社による入手可能な報告書など多くの資料を参照した。入手可能なあらゆる資料を収集し、それぞれの精度を確認るために比較検討した。実測値が入手できないパラメータは、環境データに精通している ARCTEC 社により精度よく推定された。なお、これらについては本レポート中でその都度推定値である旨明示されている。

調査にあたっては最初に想定航路を各 Segment(区間)に分け、全てのデータを各 Segment 每に示したが、この Segment は重要な環境的境界を分断する恐れのある等距離区分ではなく、氷象に従って区分されている。即ち、Sea Ice Atlas を検討してほぼ均一な海水となる各海域を求め、重要な気象パラメータも考慮して航路を区分している。従って、各 Segment における氷象はほぼ一定となっている。

気象データは全て、カナダにおける気象観測及び天気予報の業務を行っている A.E.S.(Atmospheric Environment Service)から得られたものであるため、一貫性のあるデータとなっている。A.E.S.から入手できる最も包括的なデータ式を入手してそれらを解析し、各 Segment 每に表示している。

海水データは、これまでの ARCTEC 社レポート、atlas 及びカナダ政府より提供された raw data から得られたものである。晩春から夏及び初秋に対してはデータの質は良好であると考えられるが、海水観測の難しい冬期に対してはほとんどデータがない。しかし、想定航路の大部分を占めるポート海から Baffin Bay にかけての海域での海水は定着氷(landfast ice)であり、結氷時から融氷時までほとんど変化しないので、秋期および春期の観測に基づいて冬期海水の良好な推定が可能である。Baffin Bay の南方では海水は移動するので信頼性のある推定はできないが、この海域では観測値が、特に氷山について豊富である。従って船舶設計という目的に対してはまずまずのデータがあると言える。

海水の機械的特性については、航路に沿った氷上での計測はほとんど行われていない。ポート海沿岸の探鉱海域付近では多くの計測が実施されているが、これらデータのはほとんどは私有物である。また、北極諸島の高緯度海域ではいくつかの観測が行われている。海水の機械的特性は既存の関係式から推定でき、このレポートにはこの関係式から求めたデータが示されている。

なお、本レポートの作成に使用した全ての資料を“参考文献リスト”として最後に列記した。

## (2) 想定航路

図 3.2.1 に想定航路を示す。想定航路は、それぞれほぼ均一な氷状を呈する。17 の Segment(区間)に分割されている。表 3.2.1 に各 Segment の距離を示すが、想定航路合計 3,177 海里であり、Tuktoyaktuk 沖から、Admunsen Gulf, Prince of Wales Strait, Viscount Melville Sound, Barrow Strait, Baffin Bay, Davis Strait, Labrador Sea, Strait of Belle Isle, Gulf of St. Lawrence を通り、Nova Scotia の天然ガスパイプライン東側終点予定地付近に至るものである。北極諸島中を通る航路では、島々に近い部分の、密接度が高く且つ厚い氷を避けるため、海峡の中央部を通っている。Baffin Bay では、最も有利な氷状はグリーンランド寄りの海域であるが、グリーンランド領海中のタンカー航行については行政上不明確な点があるので、カナダ領海を通る航路としている。このように Segment 7, 8, 9 及び 10 でも海峡中央部を通る航路としている。

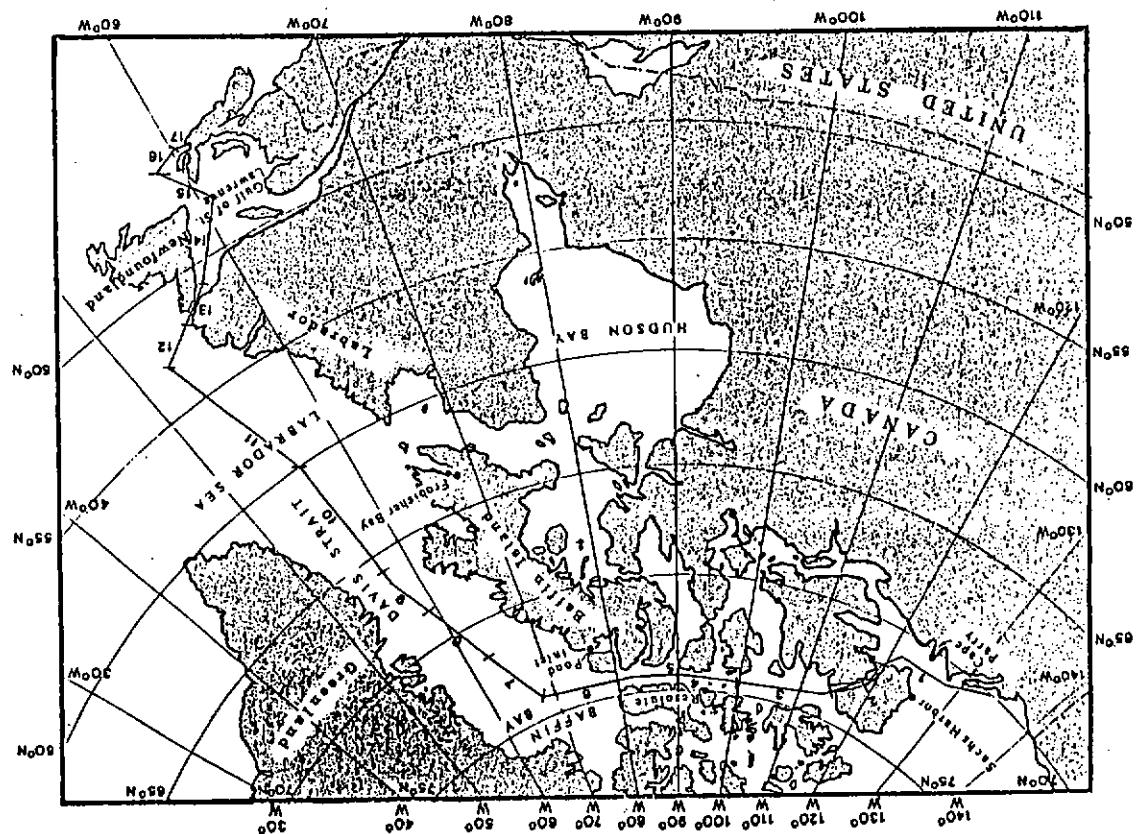


図 3.2.1 想定航路

表 3.2.1 SHIPPING ROUTE

Navigational Distance in Nautical Miles (NM) for Each Route Segment

SEGMENT	DISTANCE (NM)	TOTAL DISTANCE (NM)	LIKELY WINTER ICE CONDITIONS*
1	270	270	9 FY, 0 MY
2	143	413	9 FY, 1 MY
3	278	691	5 FY, 5 MY
4	141	832	9 FY, 1 MY
5	163	995	9 FY, 0 MY
6	210	1205	9 FY, 0 MY
7	178	1383	9 FY, 0 MY
8	185	1568	9 FY, 0 MY
9	168	1736	4-9 FY, 0 MY
10	350	2086	5 FY, Trace MY
11	428	2514	0 FY, 0 MY
12	75	2589	9 FY, 0 MY
13	119	2708	9 FY, 0 MY
14	208	2916	8 FY, 0 MY
15	124	3040	4-6 FY, 0 MY
16	87	3127	4-6 FY, 0 MY
17	50	3177	0 FY, 0 MY

\* Estimated coverage in tenths

MY - Multiyear  
FY - First Year

Labrador Sea における航路は、Labrador 沿岸に沿って南方へ移動する海氷部（氷山を含む）の大部分を避けた沖合部を通り、氷山との衝突の危険性が比較的高い St. Johns 沖を避けて Segment 12 で上記海水流を横切り、より安全な Strait of Belle Isle に入る。Strait of Belle Isle から Gulf of St. Lawrence (Segment 13, 14, 15 および 16) では、氷厚は北極諸島の海氷よりはかなり薄く、結氷期間も 3~4 ヶ月間である。

表 3.2.1 には各 Segment の予想される冬期氷象（密接度）も示されている。Segment 10 までの Labrador 海までは厚い氷に覆われている。その後航路は南西にまわりこむため再び海水が存在しているが、この海域の海水は北方のものよりはかなり薄い。Segment 5, 6 の1年氷は 2 m 厚さに達する可能性があるが、Segment 13, 14 ではせいぜい 40~50 cm である。従って、Segment 10 より南方では、氷山（特に Segment 12）や Labrador 海の開氷域中における積氷が注意すべき氷象である。

### (3) 環境データ

#### (a) 氷 象

カナダにおける公表氷象データの主要なものはカナダの Ice Patrol であり、これらのデータはほとんど氷の密接度に関するもので、“参考文献リスト”に示すようにいくつかの atlas として刊行されている。その中で最もよくまとまっているのが Markham, 1981 である。単一の資料で全航路をカバーしているものではなく、また短期間の海水観測結果からの平均値や最大値ではやや真実性に欠ける。データ不足は、公表、未公表の報告書に基づいた ARCTEC 社の専門的判定により補われている。他の氷象データ（氷厚、氷丘脈の大きさ）はまとまった形では公表されておらず、また往々にして公に入手できる計測結果は、パラメータについて海域及び時期の変動が記載されていない。そのような場合には入手できるデータに基づいて推定値を算出している。

#### (i) 密接度

各 Segment における予想密接度を図に表わした。

一例として 1 月における各 Segment の密接度を図 3.2.2 に示す。密接度は 10 分率 ( $9 = \frac{9}{10} = 90\%$ ) で表わされており、最も頻度の高い観測値を示すものである。表 3.2.2 には各 Segment における密接度発生範囲（最大値 - 最小値）を示す。

Segment 1~9 の 5 月~10 月の値は Markham, 1981 より、Segment 10~17 に対する平均値は Markham, 1980 より、また、Segment 10~17 の最大値は Arctic Pilot Project (App) の報告書よりそれぞれ得られたものである。その他の値は全て天候条件、地理的条件及び ARCTEC 社の知識に基づいて推定したものである。

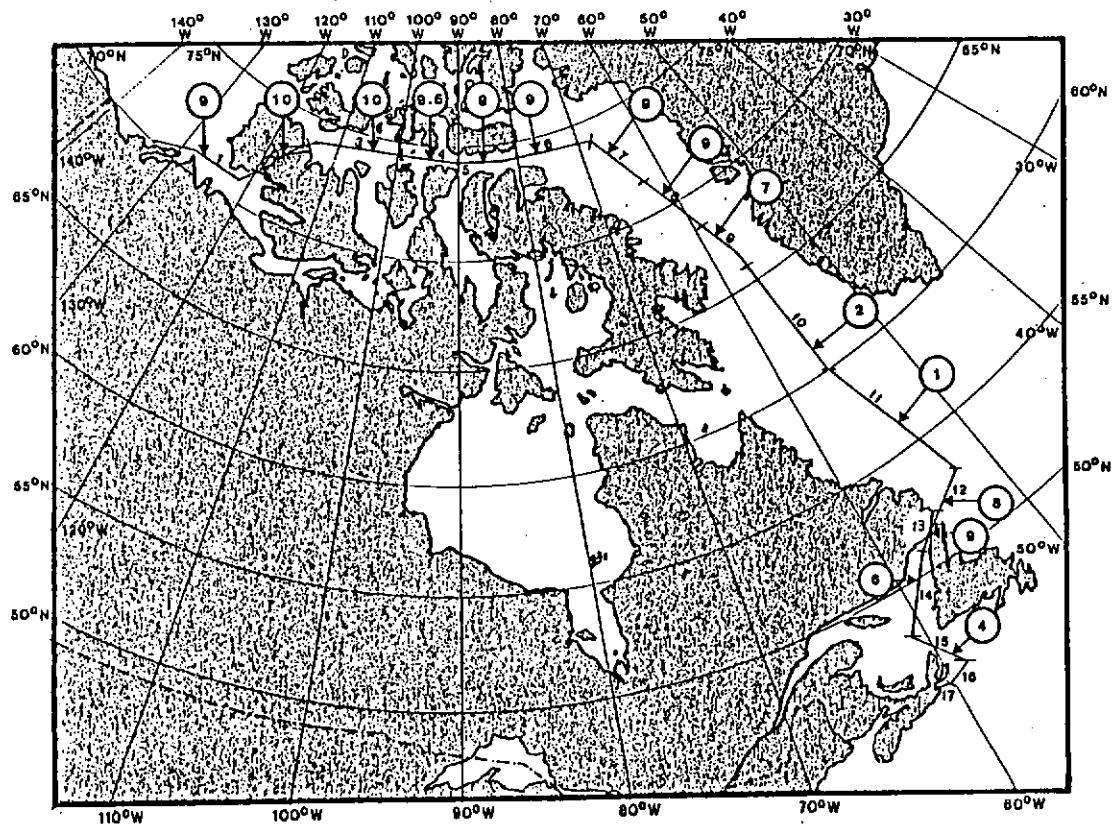


図 3.2.2 ICE CONCENTRATION IN TENTHS - January

表 3.2.2 MAXIMUM AND MINIMUM ICE CONCENTRATION VALUES

(Maximum - Minimum, in Tenths)

SEGMENT	MONTH											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10-8	10-9	10-9	10-7	10-3	10-0	9-0	7-0	7-0	9-0	10-6	10-9
2	10-10	10-10	10-10	10-9	10-8	10-8	10-3	8-0	7-0	10-0	10-7	10-10
3	10-10	10-10	10-10	10-10	10-10	10-10	10-8	10-2	9-2	10-6	10-8	10-10
4	10-9	10-10	10-9	10-7	10-4	10-3	10-0	8-0	6-0	10-3	10-8	10-9
5	10-8	10-8	10-7	10-5	10-3	10-0	8-0	6-0	3-0	9-3	10-7	10-8
6	10-6	10-6	10-6	10-6	9-6	8-0	7-0	3-0	2-0	8-1	10-2	10-5
7	10-6	10-6	10-7	10-7	10-7	8-5	7-1	6-0	5-0	8-0	9-2	10-4
8	10-6	10-5	10-6	10-7	9-7	9-5	8-0	5-0	5-0	7-0	9-0	9-5
9	9-4	9-4	9-4	9-3	9-2	8-0	7-0	4-0	3-0	5-0	7-0	9-2
10	3-0	5-1	5-1	5-0	3-0	1-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-0
11	1-0	3-0	4-0	3-0	2-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
12	9-0	9-0	8-1	6-0	3-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-0
13	9-2	10-3	10-2	9-1	2-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-0	2-0
14	8-0	9-1	9-1	6-0	1-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-0
15	5-0	6-0	6-0	3-0	1-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
16	1-0	4-0	3-0	1-0	1-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
17	1-0	2-0	3-0	1-0	1-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0

(ii) 多年氷の密接度

ここでは少なくとも一夏以上経過した海氷を多年氷としている。Ice patrol は多年氷をその色調によって周囲の1年氷と識別している。表 3.2.3 に各 Segment 每の多年氷密接度を示す。一般的に、多年氷は秋から冬にかけて航路中に流入してくるが、Segment 3 の1年氷が多年氷になりやすい。非常に少量ではあるが多年氷が Labrador 海流に乗って Baffin から Segment 13付近へ流れ込んでくるが、これらは Davis Strait の南方までくると夏の間に融解してしまう。Segment 13 より南方では多年氷は見られない。

表 3.2.3 MULTIYEAR ICE CONCENTRATION

Median Amount of Old Ice in Tenth.

("T" is used to indicate a trace of old ice.)

Old ice does not occur south of transit segment number 13.

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	T*	T*	T*	T*	T	T	T	0	0	T	T*	T*
2	1*	1*	1*	1*	1	1	1	0	1	1	1*	1*
3	5*	5*	5*	5*	5	4	4	4	3	5	5*	5*
4	1*	1*	1*	1*	1	1	0	0	0	1	1*	1*
5	0*	0*	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0*	0*
6	0*	0*	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0*	0*
7	0*	0*	0*	0*	0	1	1	0	0	0	0*	0*
8	0*	0*	0*	0*	0	0	1	0	0	0	0*	0*
9	0*	0*	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0*	0*
10	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	T	T	T	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	T	T	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	T	T	0	0	0	0	0	0

\* Estimated value

(iii) 1年氷の氷厚

氷厚はカナダ北極圏のいくつかの測候所で計測されており、これら測候所における代表的データに対する長期間平均値が公表されている(A.E.S., 1982)。これら公表値からの氷厚を表 3.2.4 に示す。流れがあまりないこととか風の影響により、海岸付近の海水は海峡中央部よりも早く結氷し始めるため、海岸にある測候所での氷厚は海峡中央部より厚い傾向にある。従って、表 3.2.4 に示す氷厚は各 Segment の海域中の最大値を示すと考えることが出来る。

Segment 10, 11 及び 12 のデータは、本航路が通常の結氷線よりも沖合であるため、推定値となっている。

Davis Strait や Labrador Sea 沿岸部の海水がこれら Segment 中に流れ込んでくるので、これら Segment における氷厚は、流れ込む前の氷厚よりはいくらか薄くなるはずである。

Segment 15, 16, 17付近の沿岸測候所におけるデータは A.E.S., 1982 には示されていない。通常の年にはこれら Segment は結氷しないが、セントローレンス湾から海水が流れ込んでくる。従って Segment 14 での氷厚からこれら Segment における氷厚を推定できる。

表 3.2.4 FIRST YEAR ICE THICKNESSES (FROM NEAREST SHORE STATION, cm)

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	104.8	129.7	157.3	172.9	179.2	161.5	46.3	0.0	3.3	17.8	43.7	78.5
2	114.9	137.9	158.1	176.5	184.1	165.5	26.3	0.0	0.0	24.8	50.8	86.2
3	115.3	135.4	154.3	173.1	184.3	184.7	149.4	75.1	27.3	29.9	60.5	90.0
4	115.3	135.4	154.3	173.1	184.3	184.7	149.4	75.1	27.3	29.9	60.5	90.0
5	115.3	135.4	154.3	173.1	184.3	184.7	149.4	75.1	27.3	29.9	60.5	90.0
6	92.5	106.8	127.3	135.2	142.9	135.7	88.0	0.0	0.0	13.0	33.1	62.0
7	88.2	107.0	123.8	137.1	147.8	152.1	121.0	20.8	0.0	4.0	31.0	61.8
8	88.2	107.0	123.8	137.1	147.8	152.1	121.0	20.8	0.0	4.0	31.0	61.8
9	93.1	117.7	136.2	152.1	160.1	144.9	93.3	0.0	0.0	0.0	30.6	57.5
10	80.0	100.0	110.0	120.0	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5
11	70.0	85.0	90.0	90.0	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5
12	60.0	70.0	75.0	65.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5
13	49.7	55.0	57.5	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0
14	16.3	30.7	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	16.3	30.7	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	16.3	30.7	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

- |   |              |         |                    |
|---|--------------|---------|--------------------|
| 1 | Cape Parry   | 8       | Clyde River        |
| 2 | Sach Harbour | 9       | Frobisher Bay      |
| 3 | Resolute Bay | 10 - 12 | See Text           |
| 4 | Resolute Bay | 13      | Harrington Harbour |
| 5 | Resolute Bay | 14      | Corner Brook       |
| 6 | Pond Inlet   | 15 - 17 | See Text           |
| 7 | Clyde River  |         |                    |

## (iv) 多年氷の氷厚

多年氷は、北極海やボーフォート海沖また北極諸島で発生して、想定航路海域へ流れ込んでくるが、多年氷の氷厚に関しては公表資料中にはほとんど計測データがない。表 3.2.5 に多年氷の氷厚を示すがこれらは ARCTEC 社の氷厚計測に関する知識と代表的な年間氷象に関する理解に基づいて表示されたものである。

表 3.2.5 MULTIYEAR ICE THICKNESSES (m)

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.5	2.4			2.2	2.2	2.3
2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.3	2.2		2.0	2.0	2.0	2.1
3	3.0	3.3	3.5	3.6	3.6	3.7	4.0	3.5	2.5	2.2	2.4	2.7
4	3.0	3.3	3.5	3.6	3.6	3.7			2.1	2.2	2.4	2.7
5												
6												
7						2.0	2.0					
8							2.0					
9												
10				2.5	2.5	2.3	2.0					
11						2.3	2.0					
12						2.3	2.0					
13						2.0	2.0					

## (v) 氷丘脈発生頻度

カナダの Ice Patrol はレーザプロフィロメータを使って氷表面のプロファイルを定期的に収集しており、これらのデータは raw data としてあるいは部分的に換算された形で A.E.S. から入手できる。ARCTEC CANADA 社が最近 Transport Canada のために実施したプロジェクトで北極海域における氷丘脈の換算と系統的解析を行っている。これらのデータを表 3.2.6 に示すが、想定航路全域にわたってデータがある訳ではない。

通常セグメント 1 1 及び 1 2 では流氷( バックアイス ) は少なく、一般にはまだ変形が進んでいない比較的薄い沿岸氷( shorefast ice ) であるため、カナダ政府による氷丘脈計測は詳細には実施されていない。セグメント 1 1 から 1 2 にかけての流氷状況にもとづく ARCTEC 社の推定では、セグメント 1 1 と 1 2 における氷丘脈発生頻度は、セグメント 1 0 の 75 % 程度である。

プロフィロメータのデータは、Segment 1 3 ~ 1 6 における氷丘脈の発生頻度の海域的、時期的变化を判定できるほど詳細には解析されたことがない。ARCTEC 社としては、Segment 1 6 では氷丘脈は発生しないと思っている。Segment 1 3 ~ 1 5 における平均氷丘脈発生頻度は 3.2 / km である ( Markham, 1980 による ) 。

表 3.2.6 MEAN ICE RIDGE FREQUENCY (ridges/km)

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	12.0	5.2	8.0	10.1	12.0	7.3	6.0	.2	0.0*	15.0	6.9	12.1
2	2.5	2.5	2.0	6.0	2.5	.3	.4	0.0*	0.0*	2.4	3.5	3.0
3	6.3	5.8	5.0	3.7	6.4	4.8	11.4	6.0	4.3	4.6	5.5	10.7
4	5.4*	7.75*	4.5*	6.55*	5.7*	5.3*	11.2*	3.0*	3.65*	4.8*	5.2*	7.25*
5	4.5	9.7	4.0	9.4	7.0	5.8	11.0*	0.0*	3.0	5.0	4.9	3.8
6	2.7*	6.35*	6.4*	6.9*	3.75*	5.6*	11.1*	0.0*	3.35*	2.6*	7.1*	5.1*
7	2.7*	6.35*	6.4*	6.9*	3.75*	5.6*	11.1*	0.0*	3.35*	2.6*	7.1*	5.1*
8	.9	3.0	8.8	4.4	.5	5.4	11.2	0.0*	3.7	.2	9.3	6.4
9	.9	3.0	8.8	4.4	.5	5.4	11.2	0.0*	3.7	.2	9.3	6.4
10	1.0	6.8	5.0	10.0	.5	5.8	7.1	0.0*	0.0*	0.0*	0.0*	8.6
13-15	See Text											

\* Values are estimates.

#### (vi) 氷丘脈の大きさ

カナダの Ice Patrol は、カナダ北極域における氷丘脈の高さに関するレーザプロフィロメータのデータを定期的に収集しているが、これらのデータのほとんどは換算、解析されたことがない。

想定航路域における氷丘脈の高さについては、いくつかの未公表データはあるが、公表されたものとしては ARCTEC 社の知る限りでは 3 つの資料しかない。表 3.2.7 にポート海、 Parry Channel, 北極域東部及びセントローレンス湾における氷丘脈高さについて、公表データと ARCTEC 社の推定値を示す。また、氷丘脈の断面形成と用語を図 3.2.3 に示す。

ポート海における氷丘脈のセール幅は次の通り推定することができる ( ARCTEC CANADA, 1982 による ) 。

$$W = 17.5 + 2.27h$$

また、 Parry Channel では、 App ( 1981 ) のデータによると平均的で、

$$W = 24.5h$$

W : 氷丘脈のセール幅 ( m )

h : 氷丘脈のセール高さ ( m )

表 3.2.7 RIDGE HEIGHT

HEIGHT DISTRIBUTION IN BEAUFORT SEA

LOCATION	SAIL HEIGHT (m)	HEIGHT (m)	% IN CATEGORY
Beaufort Sea	Median < 1.5	0.75-1.5	63.2
Parry Channel	Median < 1.9	1.5 -3.0	32.7
Eastern Arctic	Median < 1.0	3.0 -4.5	3.2
Gulf of St. Lawrence	Median < 1.5	4.5 -6.0	0.3
		> 6.0	0.6

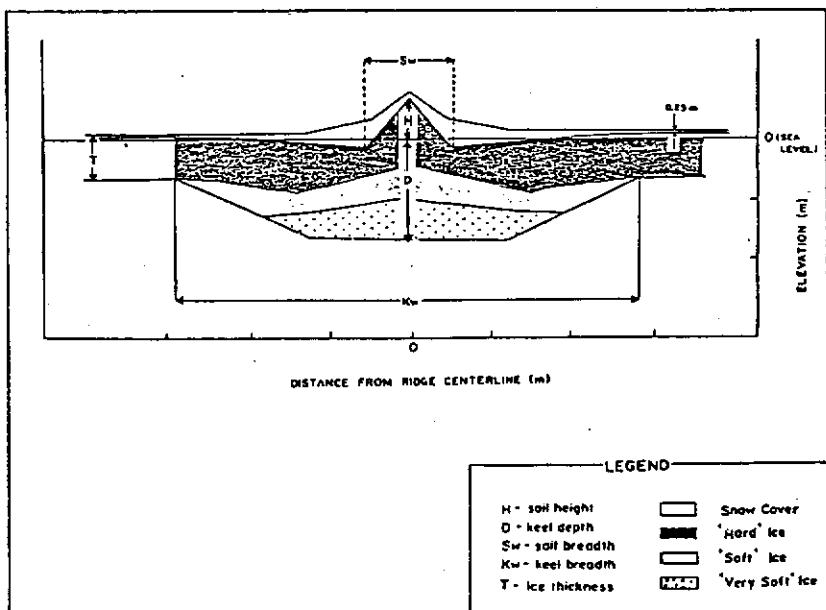


図 3.2.3 TYPICAL CROSS-SECTIONAL RIDGE PROFILE

#### (vii) 氷山発生頻度

グリーンランド西岸及びEllesmere島で発生した氷山は、カナダ海流及びLabrador海流によって、Baffin及びLabrador沿岸に沿って流されてくる。また、Lancaster海峡やHudson海峡入口付近へも流入する。Belle Isle海峡の南方では、ニューファンドランド(Newfoundland)の東方やニューファンドランド島沖まで流されてくる。

Baffin湾北部では1シーズンに数千個の氷山が記録されている。南方へ流されるにしたがって氷山は分裂、溶解し、氷山の数で大きさは次第に減少し、北緯46°より南方ではほとんど発見されない。ほとんどの氷山は冬期中は流水によってその動きを止められるので、氷山の運動は季節によって著しく変化し、LabradorやBaffin島沿岸に沿って融氷に従って数多く観察される。

ほとんどの氷山数の観測は国際Ice Patrol及びカナダのIce Patrolによって行われる。観測結果はHazardous Ice Atlas(ARCTEC CANADA, 1982)にまとめられており、これらの値をSegment 10までの航路に対する長期平均値として、表3.2.8に示す(100平方マイル当たりに存在する氷山の個数として示す)。

氷山はLabrador沿岸近くへ流される傾向があるので、Segment 11ではめったに観察されない。Segment 12のデータは、氷山の移動と観測に関するARCTEC社の知識から推定したものである。セントローレンス湾には氷山は存在せず、Nova Scotia沖でもめったに発見されない。

表 3.2.8 ICEBERG OCCURRENCE

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1-4	No Icebergs											
5	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.23	0.91	0.91	0.91	0.46	0.46	0.19
6	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	1.90	2.28	1.90	1.52	1.52	0.76
7	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	1.52	1.52	1.52	1.14	1.14	0.76
8	0.76	0.76	0.76	0.95	0.95	1.14	2.28	2.28	2.28	1.52	1.14	0.76
9	0.76	1.14	1.14	1.33	1.14	1.14	1.52	1.14	1.14	1.14	1.14	0.76
10	0.27	0.27	0.46	0.53	0.53	0.34	0.34	0.30	0.30	0.30	0.27	0.27
11	See Text											
12	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.3	1.3	1.3	2.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14-17	No Icebergs											

Source: ARCTEC CANADA, 1983

(vii) 氷の移動速度

氷移動の計測データは少なく、氷盤(floe)移動の適当な海域別あるいは時期別の特徴を求められない。風速に対する氷盤速度に関するいくつかの解析研究によると、障害のない氷盤の動きはほぼ次のようになるとされている。

$$V_f = 0.02 V_w$$

$V_f$  : 氷盤速度

$V_w$  : 風速

この関係式より計算した平均氷盤速度を表3.2.9に示す。氷盤速度は平均密接度0~8の海域について示されている。

密接度が増すに従って、個々の氷盤の動きは他の氷盤との相互作用及び周囲の流水によって伝達される移動力にますます影響されてくる。従って、氷盤密接度8以上のところでは氷盤速度を推定していない。

表3.2.9 ESTIMATED MEAN ICE VELOCITY (m/sec)

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	C	F	F	C	F	.10	0	0	0	C	C	C
2	F	F	F	F	F	F	C	.09	.09	C	F	F
3	F	F	F	F	F	F	F	C	C	F	F	F
4	F	F	F	F	F	F	C	.11	C	C	C	C
5	C	C	F	C	C	0	0	0	0	C	C	C
6-10	C	.19	.19	.15	.12	.12	.11	0	0	0	.20	C
11-12	.15	.12	.14	.12	.09	0	0	0	0	0	0	0
13	C	C	F	C	.13	0	0	0	0	0	0	0
14	.11	C	.09	.09	0	0	0	0	0	0	0	0
15-17	.17	.17	.17	.14	.13	0	0	0	0	0	0	0

NOTES: XX - mean velocity in m/sec,  $\bar{V} = .02 \bar{W}$

C - close pack ice > 8 tenths

F - fast ice; 10 tenths cover

0 - open water; 0 tenths cover

(b) 海水の機械的特性

海水の機械的特性に関する公表データをもとにして、北極海域で計測された圧縮強度、曲げ強度、引張り強度、剪断強度、弾性率のデータをテーブルにまとめた。例として圧縮強度データを表3.2.10に示す。表から判るように、同一テスト内でもまた各テスト間でも計測値に大きなバラツキがある。この理由は、海水の性状が異なるためであり、また試験装置も異なるためである。最近、海水の特性計測に対して標準計測法が推奨されているが、このような計測法による画一性のあるデータが入手できるようになるまでは、ある特定海域での計測データではなく均一的あるいは系統的試験に基づいた一般式あるいは近似カーブより海水の機械的特性を求めるのが良い方法である。

表 3.2.10 COMPRESSIVE STRENGTH MEASUREMENTS (kPa)

LOCATION	ICE TYPE	DATE	TYPE/APPARATUS	MAX.	MIN.	AVG.	SOURCE
Beaufort Sea	FY	1-70	C Nutcracker	5,200	3,000	4,700	APOA, 1970
			C Nutcracker			6,000	CANMAR, 1975
			C Borehole Jack	35,000	3,000		KIVISILD and IYER
Melville Sound	FY	8-78	C Borehole Jack	2,800	2,400	2,500	ACL, 1979
	MY	8-78	C Borehole Jack	7,300	5,000	6,200	ACL, 1979
Eclipse Sound	FY	10-80	C Borehole Jack	23,000	9,500	15,000	ACL, 1980
Baffin Bay	FY	6-77	C Borehole Jack			5,100	ACL, 1977
	MY	11-80	C Borehole Jack	30,000	18,000	23,000	ACL, 1980
Beaufort Sea	MY Ridge	70-71	U Compress. Rig	6,900	1,500	2,700	APOA, 1971 b
	MY Floe	9-70	U Compress. Rig	3,100	1,000	2,200	APOA, 1971 a
	LF	1-80	U Compress. Rig	21,000	4,000	11,000	FREDERKING & TIMCO, 1981
	MY Ridge	10-79	U Compress. Rig	9,700	5,000	6,500	FREDERKING & TIMCO, 1982
			U Compress. Rig			3,900	CANMAR, 1975
			U Flaking Rig	9,600	2,000	5,800	KIVISILD & IYER, 1976
			U Compress. Rig	7,000	1,500	4,300	WANG, 1979
			U Compress. Rig	3,000	300	1,700	WANG, 1979
Empire Sound	FY	6-72	U Compress. Rig	6,500	1,200	3,700	KOHNNEN, 1976
Baffin Bay	MY Floe	11-80	U In Situ Cube			3,700	ACL, 1980

図 3.2.4 に示すように、佐伯らのデータによると一定の歪速度のもとでは圧縮強度は温度に依存する。気温 - 2 ℃ ~ - 13 ℃ における 1 年氷に対する佐伯のデータを使用して、想定航路各 Segment における圧縮強度を、平均月間気温から推定した値を表 3.2.11 に示す。

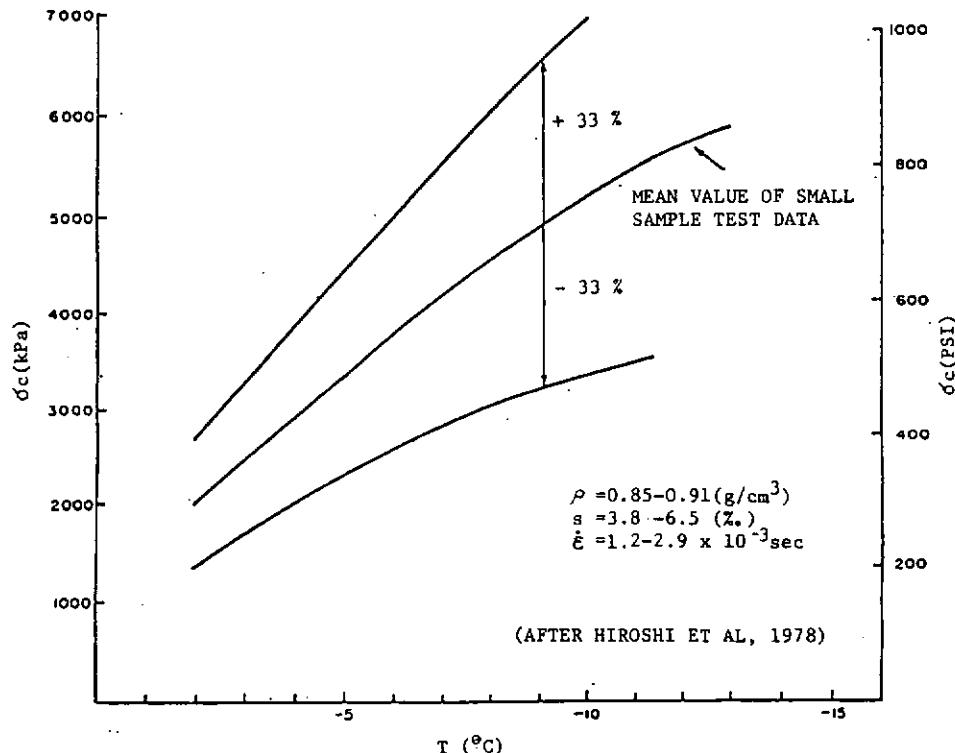


図 3.2.4 INFLUENCE OF TEMPERATURE ON UNIAXIAL CRUSHING STRENGTH OF SEA ICE

表3.2.11 APPROXIMATE CALCULATED UNIAXIAL CRUSHING STRENGTH (kPa)  
OF FIRST YEAR ICE ON PROPOSED ROUTE

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	>5900	>5900	>5900	5100	4600	0	--	--	<2000	4500	5100	>5900
2	>5900	>5900	>5900	5700	5700	<2000	--	--	3100	5900	5700	>5900
3	>5900	>5900	>5900	5900	6000	2900	--	--	4400	>5900	>5900	>5900
4	>5900	>5900	>5900	5600	5900	2200	--	--	4000	5900	>5900	5900
5	5900	5900	5900	5000	5700	<2000	--	--	3100	5900	5800	5900
6	5800	5900	5900	4800	4400	<2000	--	--	2300	5000	5000	5600
7	5400	3700	5300	4200	3700	--	--	--	4400	4200	5100	
8	5000	5300	4800	4000	3100	--	--	--	4000	4000	4000	
9	3800	3800	5100	--	2900	--	--	--	3700	2800	3100	
10	2900	3100	2900	--	<2000	--	--	--	--	2000	2000	2500
11	--	--	0	--	--	--	--	--	--	--	--	2000
12	2900	2900	0	--	--	--	--	--	--	--	--	2000
13	4300	3500	2800	--	--	--	--	--	--	--	--	2000
14	3300	3300	2400	--	--	--	--	--	--	--	--	2800
15	2600	2900	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2000
16	2300	2300	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<2000
17	2300	2300	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<2000

片持梁試験により現地計測した1年氷の曲げ強度は、図3.2.5に示すように、ブライン体積の関数として次の様に表わせる。

$$\sigma_t = 850(1 - 0.072\sqrt{V_b}) \quad (\sqrt{V_b} < 11.1 \text{ に對して})$$

$$\sigma_t = \text{曲げ強度} \quad (\text{kPa})$$

$$V_b = \text{ブライン体積} \quad (\%)$$

Frankenstein and Garner, 1967によるとブライン体積は、

$$V_b = S(0.532 - \frac{49.185}{\theta}) \quad (-0.5^\circ\text{C} < \theta < -22.9^\circ\text{C})$$

$$S = \text{塩分濃度} \quad (\%)$$

$$\theta = \text{氷温} \quad (\text{C})$$

上記関係式より、次の条件のもとに想定航路各Segmentにおける1年氷及び多年氷の曲げ強度を計算したもののが表3.2.12、表3.2.13に示す。

1. 1年氷の塩分濃度=5%
2. 多年氷の塩分濃度=1%
3. 氷厚=表3.2.4、表3.2.5
4. 氷温= $\frac{1}{2}$ (平均気温+海水温度)
5. 海水温度=-1.8°C
6. 積雪量=0

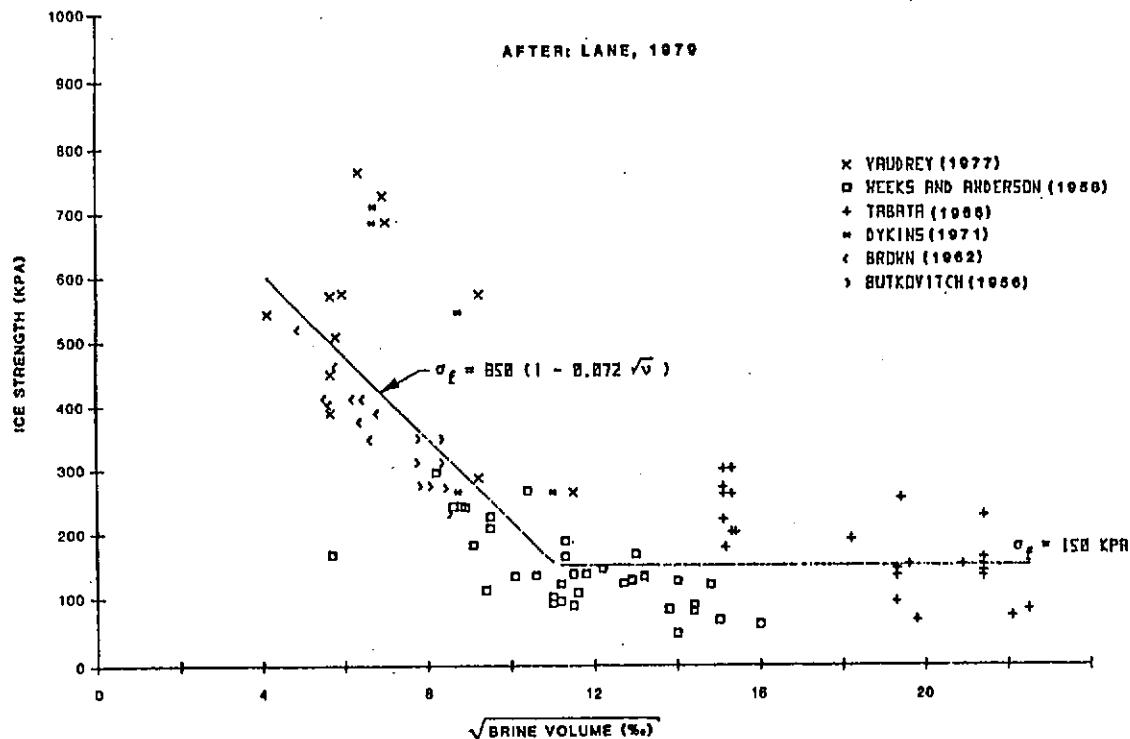


图 3.2.5 SEA ICE STRENGTH IN-SITU CANTILEVER BEAM TEST

表 3.2.12 CALCULATED FLEXURAL STRENGTH (kPa)  
OF FIRST YEAR ICE ON PROPOSED ROUTE

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	586	590	578	529	382	--	--	--	0	382	529	570
2	593	596	590	555	443	--	--	--	223	471	555	582
3	599	602	596	570	471	--	--	--	354	513	574	590
4	596	599	593	565	458	--	--	--	320	504	570	586
5	593	596	593	560	443	--	--	--	223	471	560	582
6	560	569	565	529	354	--	--	--	--	405	513	549
7	543	555	536	513	278	--	--	--	--	354	484	529
8	522	536	504	484	223	--	--	--	--	320	458	513
9	443	443	529	458	147	--	--	--	--	278	320	382
10	354	382	354	223	--	--	--	--	--	--	147	278
11	223	278	147	0	--	--	--	--	--	--	--	147
12	354	354	223	0	--	--	--	--	--	--	--	147
13	425	425	320	203	--	--	--	--	--	--	--	147
14	399	443	345	--	--	--	--	--	--	--	--	316
15	324	363	235	--	--	--	--	--	--	--	--	138
16	268	296	47	--	--	--	--	--	--	--	--	97
17	268	296	47	--	--	--	--	--	--	--	--	97

NOTE: See text for models and assumptions.

Refer to ice concentration tables for occurrence of first year ice.

表3.2.13 CALCULATED FLEXURAL STRENGTH (kPa)  
MULTIYEAR ICE ON PROPOSED ROUTE

SEGMENT	MONTH											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	732	733	728	707	641	0	--	--	0	641	707	725
2	735	736	733	718	668	396	--	--	569	681	718	730
3	738	739	736	725	681	536	--	--	628	699	727	734
4	736	738	735	722	675	485	--	--	613	695	724	732
5	735	736	735	720	668	396	--	--	569	681	720	730
6	720	725	722	707	628	--	--	--	485	651	699	715
7	713	718	710	699	594	--	--	--	--	628	686	707
8	703	710	695	686	569	--	--	--	--	613	675	699
9	668	668	706	675	636	--	--	--	--	594	613	641
10	628	641	628	569	170	--	--	--	--	396	536	594
11	569	594	536	485	--	--	--	--	--	--	--	536
12	528	628	569	485	--	--	--	--	--	--	--	536
13	660	660	613	396	--	--	--	--	--	--	--	536

NOTE: See text for models and assumptions.

Refer to ice concentration tables for occurrence of multiyear ice.

表3.2.1 1, 表3.2.1 2, 表3.2.1 3に示す値は前述の仮定に基づいた概略値を表わすものであり、現地計測データが入手できる時点で当然確認されるべきものである。

図3.2.6は、ブライン体積の関数として剪断強度及び弾性率を示したものであり、計測したあるいは仮定した気温と塩分濃度より本図を使って剪断強度、弾性率が計算できる。

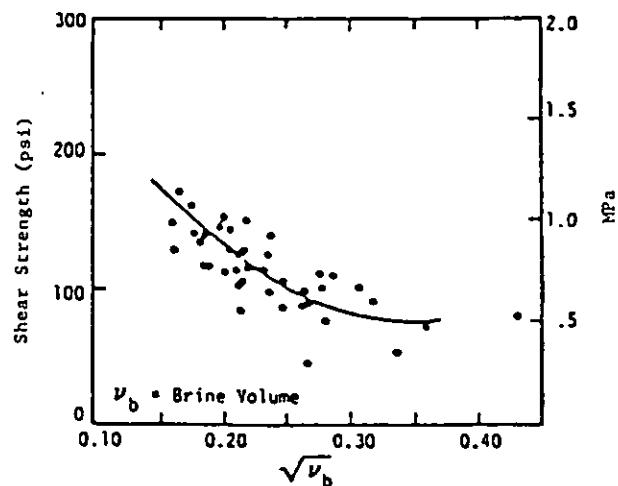


Figure a: Sea-Ice Shear Strength as a Function of the Square Root of Brine Volume (Paige, 1967).

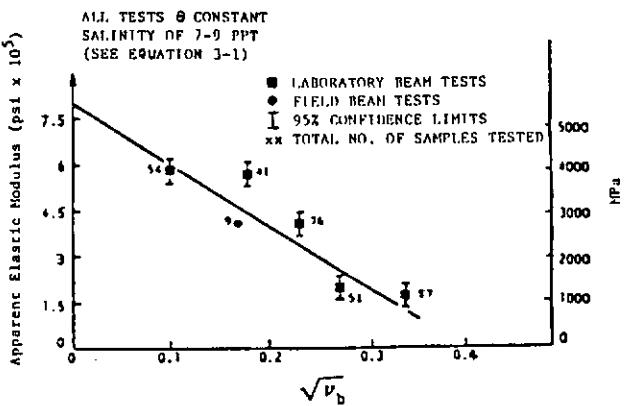


Figure b: Apparent Modulus of Elasticity of Sea-Ice as a Function of the Square Root of Brine Volume (Vaudrey, 1977).

図3.2.6 BRINE VOLUME DEPENDENCE OF SHEAR STRENGTH AND ELASTIC MODULUS  
(from API, 1982)

Defantによると、Malmgren(1927)の計測に基づいた海水の比重は、0.857~0.924 g/cm<sup>3</sup>である。低い方の値は直射日光に面する表面氷の比重、高い方は低温の氷あるいは新生氷の比重に相当する。

1980年Trafficability Tests中に“POLAR STAR”(USCGの砕氷船)の低摩擦外板塗料(INERTA 160)の摩擦試験が実施されたが、Voelkerらは摩擦係数を直圧力(Normal Pressure)の一次関数として次のように表わしている。

$$f = 5.92 \times 10^{-4} P_c + 0.042$$

f = 摩擦係数

P<sub>c</sub> = 船体に作用する直圧力(psi)

### (c) 気象

気象データは種々の資料から収集したが、これらは全てカナダのA.E.S.の観測に基づいたものである。測候所におけるデータを、想定航路の各Segmentに相当するように組合せ解析している。ほとんどの場合測候所のデータが豊富であり、海岸にあるデータは各Segmentに対する気象をよく表わしている。海岸線よりはなれたSegmentに対しては簡単な補間により値を得ている。航路のほとんどが氷におおわれる冬期については、海水により海洋の影響はほとんどない傾向にあるので直接補間している。他の季節については、海岸の測候所と海洋間でパラメータがどのように変化するかARCTEC社が適切に判断して求めている。この判断にはLabrador海の海洋ゾイのデータがおおいに役立っている。

最も重要な気象パラメータである気温と風速(速度と風向)を図表として示している。一例として1月における気温と風速を図3.2.7に示す。なお、図に示す風向は最も頻度の高い方向を表わしている。2月が、想定航路を通じて最も気温が低く、また航路の南方部分では風が強いという傾向にある。

Labrador海及び期間は短いがセントローレンス湾においては構造物に激しい着水が発生する。

降水量、湿度、大気圧(平均海面気圧)、視界1km(ただし特記したものは1.8km)以下の発生頻度及び日照時間を、気温と風向風速とともに、より完全な気象データとして表に示した。一例として1月におけるデータを表3.2.14に示す。降水量、湿度、大気圧、視界のデータは全て海岸測候所から得たものである。

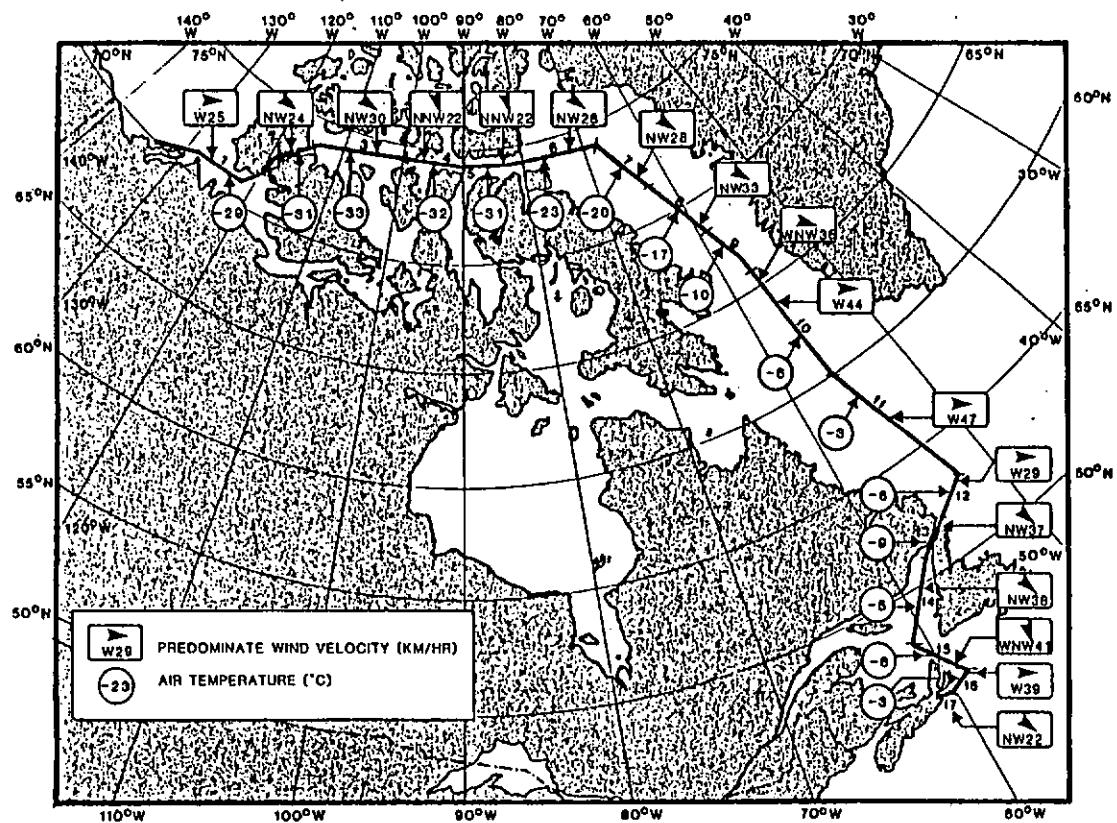


図 3.2.7 TEMPERATURE AND WIND VELOCITY - January

表 3.2.14 METEOROLOGY - JANUARY

SEGMENT	AIR TEMPERATURE (°C)	PREDOMINATE (SECONDARY) WIND VELOCITY (km/hr)	PRECIPITATION S-Snow, R-Rain (mm)	RELATIVE HUMIDITY (%)	ATMOSPHERIC PRESSURE (mb)	VISIBILITY %<1 km	DAYLIGHT/TWILIGHT/NIGHT (hrs)
1	-29	W25 (E28)	80 (S)	80	1018	6	0/5/19
2	-31	NW24 (ENE30)	115 (S)		1020	2	0/4/20
3	-33	NW30 (calm)	20 (S)		1016	16	0/3/21
4	-32	NNW22 (calm)	20 (S)	67	1015	6	0/3/21
5	-31	NNW22 (calm)	50 (S)		1013	1	0/3/21
6	-23	NW28 (calm)	70 (S)	66	1013		0/3/21
7	-20	NW28 (calm)	100 (S)		1008	2	0/4/20
8	-17	NH33 (calm)	100 (S)		1006	2	0/5.5/18.5
9	-10	NNW38 (calm)	720 (S)		1008	15	4/3/17
10	-6	W44 (N47)	370 (S)	73	1010	11	6/2/16
11	-3	W47 (NW48)	800 (S) 8 (R)		1006	10/8*	7/2/15
12	-6	W29	680 (S) 11 (R)		1005	4	8/1/15
13	-9	NW37	400 (S) 17 (R)	80	1005	12*	8/1/15
14	-5	NW38	600 (S) 25 (R)			13*	9/1/14
15	-6	WNW41				7*	9/1/14
16	-3	W39 (N38)	630 (S) 58 (R)		1011	5*	9/1/14
17		NW22	600 (S) 80 (R)			2	9/1/14

\* % < 1.8 km,  
Segment 11 - Labrador Shelf/Ocean Station "B" (56°N, 52°W)

#### (4) 氷海船の設計に対する環境条件

氷海船の設計に影響する様々な環境条件が航路に沿って存在するが、最も重要な要素は海水である。想定航路中には3つの一般的タイプの氷、即ち1年氷と多年氷と氷山（氷河氷）が存在する。1年氷は3つのタイプの氷の中では一番弱いが、それでも2m厚さまでの結氷板として存在する。それはまた、圧力がかかると氷丘脈を形成したり、重り合ったりする。高い圧力のもとでは、氷は表面上6mあるいはそれ以上の氷丘脈を形成する可能性がある（平均氷丘脈高さはこれよりさらに低いが）。多年氷はブラインが抜け落ちるため1年氷よりかなり強度が高い。多年氷の氷盤はより厚く、氷丘脈は非常に強度が高く、まるで氷の固りである。多年氷氷丘脈の水面下部（keel）は、1年氷のそれに比べてほとんど固まってしまっている。氷山は、その大きさによっては避けるべきであり、従って氷山検知装置が要求される。氷山の断片（fragment）は面積が100～300m<sup>2</sup>に達し、しかもほとんど海面下に隠れている。

特記すべき気象パラメータは気温、風、日照である。北方のSegmentでは毎年-40°C以下の気温が発生し、2～3日間、最長2週間継続する。風は2つの点で重要である。即ち、heat loss率の増加をまねき、また雪を吹上げるためしばしば約10mまでの視界の減少をひきおこす。日照は技術的には気象パラメータではないが、注意を要するものである。最北のSegmentでは、1日当たりの日照時間が年間で0～24時間の範囲で変化する。長時間の暗黒（darkness）は船舶運航上または屋外での日常活動上特に注意を要する。

想定航路の一部では、波浪が存在する開氷海域を通過する。年間で最も顕著な波高は約11mであるが、ほとんどの波は年間各月を通じて4m以下である。

#### (5) 航海上特記すべき環境条件

##### (a) 日照時間

日照は気象データシートに付記しなければならないほど、環境上考慮すべき重要事項である。概略的に、1日当たりの日照時間は年間の時期と地理的位置によって0～24時間の範囲で変化し、最北のSegmentでは最も極端に変化する。逆に最南のSegmentでは真冬でも日照時間はせいぜい9時間までしか減少しない。暗黒（darkness）により屋外の作業が妨げられ、時には安全上許容できないような危険性をもたらす。従って、船体のいくつかの場所に照明装置を設けなければならず、また通常屋外で行われるいくつかの作業は、適当な照明と保護策が準備できる屋内で行われる。また暗黒が乗組員へ与える精神的影響も考慮されるべきであり、屋外活動は極端に制限され、適当な屋内設備が要求される。

##### (b) Shear Zone

Shear Zoneは、氷板中に互いに逆方向の平行横すべり運動（Shearing=すれ）を生じる様な力が作用する氷海中に形成される。この横すべり運動によって氷がすりつぶされる傾向があり、粉々になった氷の高い氷丘脈が形成される。一定位置における連続したShear（すれ）によって貫通不可能な連続氷丘脈が形成される。Shear ridgeが最も形成されやすい場所は岬の周辺でありまた浅瀬の付近である。また、ポート海沿岸部でしばしば発生するように、安定した定着氷線でも形成される。Shear ridgeがどのような場所で形成されようとも、それは必ず避航すべきである。Shear ridgeは、小氷片が容易に固りとなって凍結するため、通常非常に固くなっている。

またShear ridgeはその間に再凍結した破片氷を伴って互いに平行に連続した形で形成される傾向がある。このような特性のためその貫通は非常に難しく、それらの発生位置に注意を払い避航すべきである。通常、主要なShear zoneは毎年同じ位置に発生する。図3.2.1に示す想定航路は全ての主要Shear zoneを避けたものである。

##### (c) 内部氷圧

氷板中を圧力が伝達することはよく知られている。この現象が氷海船に与える影響については詳細に研究されたことはないが、経験によると内部氷圧は氷海中を航行する船舶の能力に大きな影響を与える。

現在の氷海船は、かつて木造船を押しつぶしたような圧力には耐えることができるが、流氷中の圧力は氷中の航跡を早急に閉じてしまう。氷中の圧力が高いと、船舶がそれらをラミングできるのと同じくらいの早さで氷丘脈が形成される。従って、非常に高い圧力のかかった氷中では航行不可能である。圧力のかかった氷状は、数10m（例えばいくつかの氷盤）から数百km（ボーフォート海の広域部分）のスケールで存在する。圧力は氷の運動（ice motion）によって引き起こされるので、風と潮流（特に風）がその要因である。局部的な圧力は、風向が変ったり風速が顕著に変わると発生する。広域的には高気圧と低気圧の気象パターンの変化により、圧力状態が変化する。Shear zoneの場合と同様、特定の場所が特に氷中の圧力に対して影響を受けやすい。このような氷圧力を避けるために、想定航路は全ての海峡の中央部を通り、境界海岸線の影響が最小になるようにしている。氷圧力を持つ可能性のある海域はSegment 3と4の間、Resoluteのすぐ南のLowther and Young Island海域である。これらの島が東側でViscount Melville Soundを塞いでおり氷の動きを制限しているからである。

(d) 視界不良

視界は砕氷活動にとって重要な要因であり、氷板中の小さな水路（lead）や裂け目（crack）を最大限に利用するため、また多年氷を識別したり、厳しい氷中で最良の航路を選択するために海氷表面の特徴を識別するには、視界が良好である必要がある。北極地方には視界を妨げるいくつかの特記すべき現象がある。最も重要なものは“Whiteout”であり、全ての物体や海表面、空が白色あるいは薄い灰色に見えることからそう呼ばれている。Whiteoutはあらゆる方向から同量の光が反射されることにより引き起こされる（反射媒体は霧や氷の結晶である）。Whiteoutにより海氷面の特徴が区別できなくなり氷海航行が困難になる。例えば、氷丘脈、多年氷、Shear ridgeなどが周囲から区別できなくなり、それに加えて距離感が失われる。幸いにもWhiteoutはそれ程しばしば発生するものではなく、またその断続時間も短い。しかし、一面の曇天や霧は北極の夏期にしばしば発生し、このような現象は海氷表面の影の喪失（loss of shadows）を引き起こし数kmまで視界を制限する。影の喪失は真のWhiteoutほど厳しくはないが、本船がその場所に近づくまで海氷表面上の特徴を識別することが困難になる。

もう一つの北極独特の現象は弱い風でも雪が舞上ることである。これは極地の雪を形成する極端に細かく乾いている雪の結晶のためである。風速わずか1.8km/h（5m/sec）で海氷表面上の細かい特徴を見えなくなるのに十分な量の雪が舞上り始める。風速2.8km/h（8m/sec）になると、雪があらゆる海氷表面の特徴を覆いかぐしてしまう。このような風速は頻繁に発生し、この程度の風速をともなった嵐（storm）は通常数日間継続する。

視界を制限するさらにもう一つの現象は霧である。北極地域で頻繁に発生し、特に冬期・春期における氷縁や開水域付近、夏期における氷に覆われた海域でよく発生する。ほとんどの霧は、海氷によって冷された空気中へ比較的暖い海水からの過剰水分が入り込むことによって発生する。霧のために砕氷活動中の船速は遅くなり、またLabrador海では氷山片（bergy bit）や氷岩（growler）の発見が困難になる。

(e) 強風の継続

北極地域では、多量の雪を吹き上げる5.0km/h（14m/sec）を越える強風がしばしば発生する。視界が0.5km以下になるこのようなblizzardは通常1～3日間、時にはこれ以上継続する。また強風は活動に影響を及ぼすような非常に低い冷却温度（windchill temperature）をもたらす。

(f) 構造物の着氷

強風と低い海水表面温度と氷点下気温との組合せにより、船舶にかかる海水の飛沫が氷結する。着氷量と着氷場所は船舶の外形と船速に依存する。一般的には船舶の下方部にかなり厚く着氷し、上方部の着氷はせいぜい水面上2.5mまでである。着氷は1時間当たり数cmの早さで暴露部全面に急速に成長する

可能性がある。特にベーリング海では急速な着氷によって多くの漁船が失われてきた。この調査で対象とする船のサイズでは、着氷のために転覆することはないが、重要な機器への厚い着氷により港での顕著な作業遅れが出る可能性がある。

#### (6) 船舶運航に関する考察

##### (a) 航行上の制約

航路の大部分が狭域海域である北極諸島を通っているため、氷海船は制限された水路中を航行することになり、避けるべき氷状を避けることができない可能性がある。また航路は生態上や政治上の配慮により、地理的範囲よりは極端に狭くなる可能性がある。

##### (b) 夜間航行に対する日中航行の優位性

類似の環境条件のもとでは、夜間よりも日中における碎氷活動の方が船速は速いということが経験により示されている。夜間では船長は進行方向の限られた範囲の氷しか判らないので、このために船速は遅くなる。Arctic researchの進展とともに、氷丘脈の大きさを識別し、多年氷も検知できるように、レーダーシステムが改良されていくことが期待できる。

##### (c) 密接度と船速の関係

密接度は船速の決定に大きく関係する。密接度 100 % 中でも連続碎氷が要求されるが、これが 70 %になると 30 %以上の船速増加が期待できる。水路(lead)，裂け目(crack)，小さい氷盤中を航行できるように、注意深く航路を選定することにより、碎氷の必要性を減らすことができる。氷のダイナミックモデルによると、80 %以下の密接度では横方向の氷力(ice forces)は小さく、その力は氷盤中をほとんど伝播しないことが判っている。従って、そのような場合大型船は氷板を碎氷するよりもむしろそれを押しのけることができ、また小さな裂け目(crack)があると最小限の碎氷で氷板がおし広げられる。

##### (d) 氷丘脈中の操船性

氷丘脈における操船性は、氷丘脈の早期発見と最も高い氷丘脈の避航に依存する。氷丘脈が複雑に形成された氷原中では船舶の操船性はほとんど失われ、力強くで航行しなければならない。数多くの氷丘脈中よりも、少ない方が容易に航行できるので、氷丘脈の発生頻度は操船性と密接に関係する。

## 参考文献リスト

American Petroleum Institute, 1982, API Bulletin on Planning, Design and Construction of Fixed Offshore Structures in Ice Environments, Bulletin 2N, American Petroleum Institute, Washington.

ARCTEC CANADA, Limited, 1971, Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations- Updating of Structural Requirements, ARCTEC Report 586, Vol. 1 and 2.

ARCTEC CANADA, Limited, 1978a, Ice Conditions in Viscount Melville Sound and Barrow Strait West, Report No. 315C-1, Fisheries and Environment Canada.

ARCTEC CANADA, Limited, 1978b, Ice Coverage from Satellite Imagery: Data Acquisition, Interpretation, and Analysis, 1972-1978, Report No. 300C, Melville Shipping Limited.

ARCTEC CANADA, Limited, 1979, Results of Trials in Ice and Open Water of CCGC PIERRE RADISSON, ARCTEC Report 245C-8.

ARCTEC CANADA Limited, 1980a, Results of Full Scale Measurements aboard USCGC LOUIS S. ST. LAURENT During a 1980 Fall Arctic Probe, ARCTEC Report 737C, Vol. 1 and 2.

ARCTEC CANADA, 1982, Multi-Year Conditions and Pressure Ridge Occurrence in the Chukchi and Beaufort Seas, Report No. 1092C to Kawasaki Heavy Industries, Japan.

ARCTEC CANADA, 1983, Hazardous Ice Atlas of Arctic Canada, Prepared for Transport Canada, Coast Guard (Northern), Ottawa.

ARCTEC, Incorporated, 1981, Assessment of Ice Conditions in the South Bering Sea Based on April 1980 USCG POLAR Class Traficability Test Data, Vol. II, Maritime Administration, Department of Commerce.

Arctic Petroleum Operators Association, 1970, Project 1, The Nutcracker Ice Strength Tests 1969-1970, Report 1.

Arctic Petroleum Operators Association, 1971a, Project 14, Beaufort Sea Summer Ice Study, Report 1.

Arctic Petroleum Operators Association, 1971b, Project 17, Beaufort Sea Pressure Ridge and Ice Island Scouring, Report 1.

Arctic Pilot Project, 1981, Integrated Route Analysis, Arctic Pilot Project Regulatory Document.

Atmospheric Environment Service, 1982, Updated Ice Thickness Climatology for Canadian Stations, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Ottawa.

Atmospheric Environment Service, 1982, Summary of Synoptic Meteorological Observations, Various Stations (microfiche copies).

Atmospheric Environment Service, 1983, Data Report/Laser Profilometer Records.

Bursey, Sowden, Gates, and Blackwood, 1977, The Climate of the Labrador Sea, Proceedings of Fourth International Conference, Ports and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, POAC 77, St Johns, Newfoundland, Canada.

Buktvitch, T. R., 1956, Strength Studies of Sea Ice, U.S. Snow, Ice and Permafrost Research Establishment, Research Report 20.

Buktvitch, T. R., 1959, On the Mechanical Properties of Sea Ice, Thule, Greenland, 1957, U.S. Snow, Ice and Permafrost Research Establishment, Research Report 54.

Canada, 1982, Sailing Directions - Arctic Canada Volume I, Canadian Hydrographic Service, Department of Fisheries and Oceans, Ottawa.

Canmar 1975, The Physical Environment of the Beaufort Sea, A Study for Department of Indian Affairs and Northern Development, Canadian Government.

Defant, 1961, Physical Oceanography, Pergamon Press.

Dykins, J.E., 1971, Ice Engineering -Material Properties of Saline Ice for a Limited Range of Conditions, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Report R720.

Fenco Consultants, Ltd. and F.F. Slaney and Company, Ltd., 1978, An Arctic Atlas, Fisheries and Environment Canada.

Frankenstein and Garner, 1967, Linear Relationships of Brine Volume and Temperature from -0.5 to -22.9°C for Sea Ice, Journal of Glaciology 6.

Frederking, R.M.W. and G.W. Timco, 1981, Midwinter Mechanical Properties of Ice in the Southern Beaufort Sea, The Sixth International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, POAC, 1981, Vol. 1, p. 225, Quebec City, Canada.

Gustajtis and Buckley, 1977, A Seasonal Iceberg Density Distribution Along the Labrador Sea, Proceedings of Fourth International Conference, Ports and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, POAC 77, St. Johns, Newfoundland, Canada.

Hiroshi, et al, 1978, Experimental Study on the Testing Methods of Strength and Mechanical Properties of Sea-Ice, I.A.H.R. Symposium, Lulea.

I.A.H.R., 1981, Standardized Testing Methods for Measuring Mechanical Properties of Ice, Cold Regions Science and Technology 4 (1981).

Kivisild, H.R. and S.H. Iyer, 1976, In Situ Tests for Ice Strength Measurements in Ocean Engineering, Vol. 3, p. 329.

Kohnen, H., 1975, Investigations for the Improvement of Ice-Going Ship Design Carried Out on the Sea Ice Near Pond Inlet, N.W.T. (Northern Baffin Island) In Spring, 1972 The Third International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, POAC, 1975, Vol. 1, Fairbanks, AK, USA.

Kovacs, A. and J. Kalafut, 1979, Brazil Strength Tests on Sea Ice: A Data Report, Cold Regions Research Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers, Hanover, NH, Report 77-24.

Lane, J.F., 1979, On the Strengths of Sea-Ice and a Correlation Between the Various Strength Tests, N.R.C. Internal Report LTR-LT-104.

Lindsay, D.G., 1975, Sea Ice Atlas of Arctic Canada, 1961-1968, Energy, Mines and Resources Canada.

Markham, W.E., 1980, Ice Atlas-Eastern Canadian Seaboard, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview.

Markham, W.E., 1981, Ice Atlas-Canadian Arctic Waterways, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview.

Mellor, M., 1983, Mechanical Behavior of Sea Ice, U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL), Monograph 83-1.

Michel B. and N. Toussant, 1977, Mechanisms and Theory of Indentation of Ice Plates, Symposium of Applied Glaciology, Cambridge, 1976.

Sowden, W.V. and F.E. Geddes, 1980, Weekly Median and Extreme Ice Edges for Eastern Canadian Seaboard and Hudson Bay, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Ottawa.

Spedding, L.G., 1982, Rule of Thumb Ridge Height Distributions, Proceedings of Workshop on Sea Ice Ridging and Pile-Up, Calgary, N.R.C. Technical Memorandum No. 134, 1980.

U.S. Navy Hydrographic Office, 1963, Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean, Washington, D.C.

Wang, Y.S., 1979, Crystallographic Studies and Strength Tests of Field Ice in the Alaskan Beaufort Sea, Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, POAC 79, Vol. 1, Trondheim, Norway.

Weeks, W.F. and A. Assur, 1967, The Mechanical Properties of Sea Ice, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers, Monograph 11-C3.

### 3.3 NV 文献調査

Aker Group, Det Norske Veritas ら協力して調査を行った。Joint Norwegian Research Project の報告書が、"Marine Structures and Ships in Ice"として刊行されたので、これを購入し関係分野の調査を行った。調査文献は下記の通りである。

Title:	Report No.
1) Resistance in ice	79-01
2) Ice loads on marine structures	79-02
3) Methods for model testing in ice	79-03
4) A survey of the mechanical properties of sea ice	80-01
5) Mooring and loading systems	80-02
6) Devices to reduce load and resistance in ice	80-03
7) Ice and environmental data from the Arctic, part 1	81-01/1
8) Ice and environmental data from the Arctic, part 2	81-01/2
9) Ice and environmental data from the Arctic, part 3	81-01/3
10) Ice accretions on ships and marine structures	81-02
11) Form design of vessels, part 1: Main report	81-03
12) Ice loads on rudders and screws	81-04
13) Ice-induced vibration of ships	81-05
14) Ice-induced vibration of fixed offshore structures	81-06
15) Loads on offshore structures due to multi-year ridges	81-07
16) Model tests in ice on Canadian Coast Guard R-class ice breaker	81-08
17) Design case, part 1: Ice transiting vessel	81-09/1
18) Design case, part 2: Production platform	81-09/2

## 4. 水海船舶試験水槽における模型試験

### 4.1 はじめに

前年度に実験を行ったmidship シリーズ、及び本年度の事業計画である船首形状シリーズ、及び $C_B$  シリーズの模型実験結果を併せて報告する。

シリーズの構成は下記の通りである。

#### (1) side flare シリーズ

船体平行部における船側傾斜の影響を調べたもので、鉛直船側の母型M.NaB-003、及び船側傾斜付(side flare)のM.NaB-011からなる。

#### (2) B/d シリーズ

吃水dを一定として船幅Bを変えて、船幅の影響を調べたシリーズで狭幅のM.NaB-012、広幅のM.NaB-013からなる。

#### (3) 船底勾配シリーズ

船首部での碎氷により船底に潜り込んだ碎氷片の挙動が、船底勾配の有無によってどのように変るかを調べたもので、平底の母型M.NaB-003及び船底勾配付きのM.NaB-014からなる。

#### (4) 船首シリーズ

stem 傾斜角を極端に小さくしたM.NaB-019、及びスプーン型船首のM.NaB-020からなる。

#### (5) $C_B$ シリーズ

船体後半部を一定として、前半部の肥瘠度を変えて、全体の $C_B$  の変化の影響を調べたシリーズで、 $C_B=0.761$  のM.NaB-021及び $C_B=0.773$  のM.NaB-022からなる。

midship シリーズの模型船主要目等を表4.1に、船首シリーズ等の模型船主要目等を表4.2に示す。これらの模型船の正面線図及びプロファイルを図4.1～4.11に示す。尚、想定実船は、船長360 m、載貨重量200,000 t、3軸極海用タンカーである。

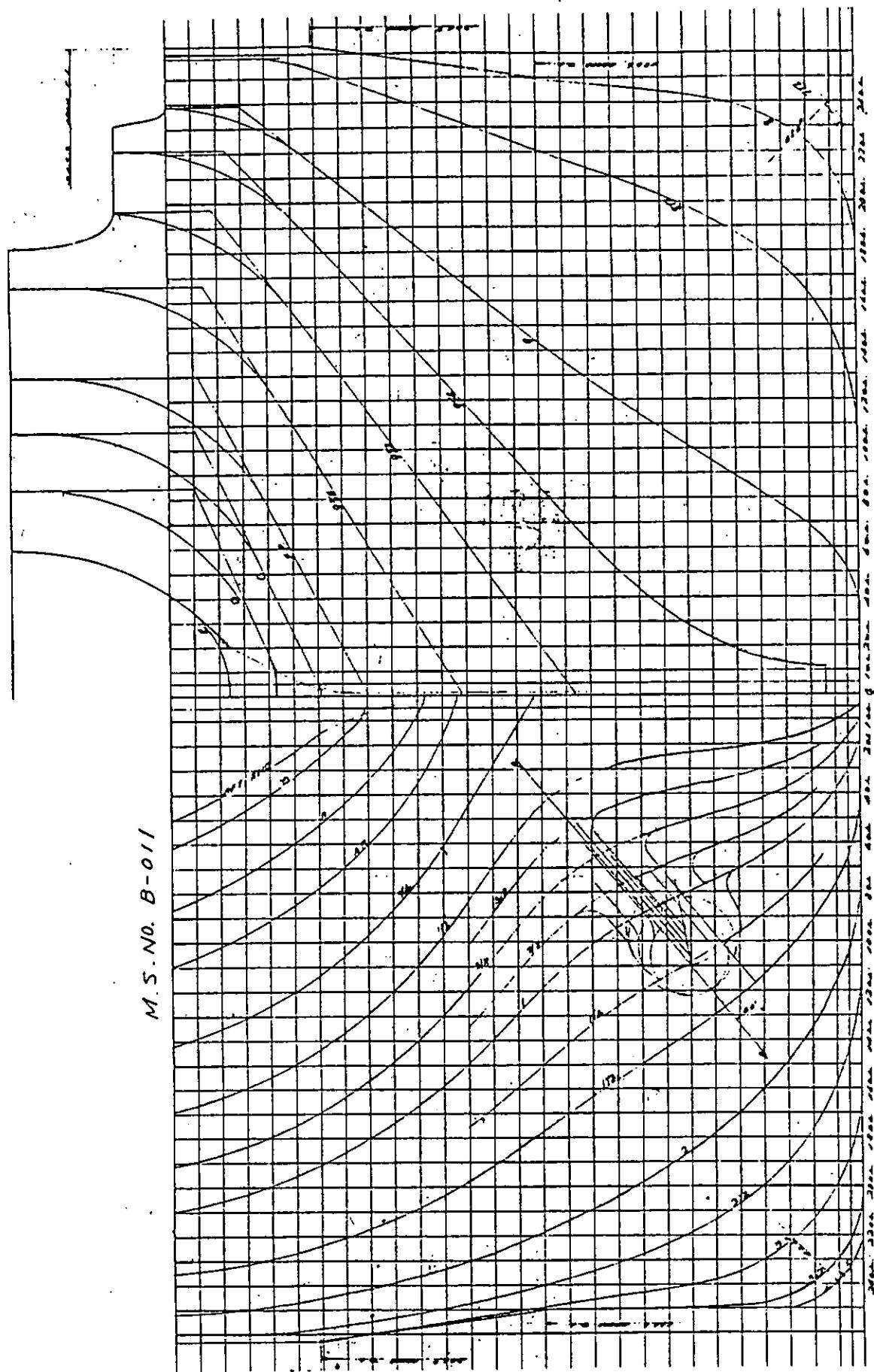
実験状態は、満載状態、模型船のsway、及びyawは固定、pitch、roll及びheaveは自由である。模型船は全て同一の材料、製作法により製作し、氷摩擦係数(動的)は、全模型船について0.07である。

表 4.1

MODEL SHIP NUMBER	B-011	B-012	B-013	B-014	B-003
L <sub>pp</sub> , m	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
B <sub>LWL</sub> , m	0.722	0.625	0.833	0.722	0.722
d, m	0.278	0.278	0.278	0.304	0.278
V, m <sup>3</sup>	0.7367	0.6507	0.8673	0.7849	0.7526
I <sub>CB</sub> , fore, m	0.045	0.050	0.051	0.1927	0.051
S, m <sup>2</sup>	5.139	4.811	5.628	5.262	5.216

表 4.2 主要目等

MODEL SHIP NUMBER	B-019	B-020	B-021	B-022
L <sub>pp</sub> , m	5.000	5.000	5.000	5.000
B <sub>LWL</sub> , m	0.7222	0.7222	0.7222	0.7222
d, m	0.2778	0.2778	0.2778	0.2778
V, m <sup>3</sup>	0.7482	0.7535	0.7657	0.7781
t <sub>CB</sub> , fore, m	0.0419	0.0584	0.0848	0.1150
S, m <sup>2</sup>	5.193	5.268	5.246	5.301
C <sub>B</sub> , naked	0.7436	0.7489	0.7610	0.7734
C <sub>P</sub> , naked	0.7474	0.7527	0.7649	0.7774



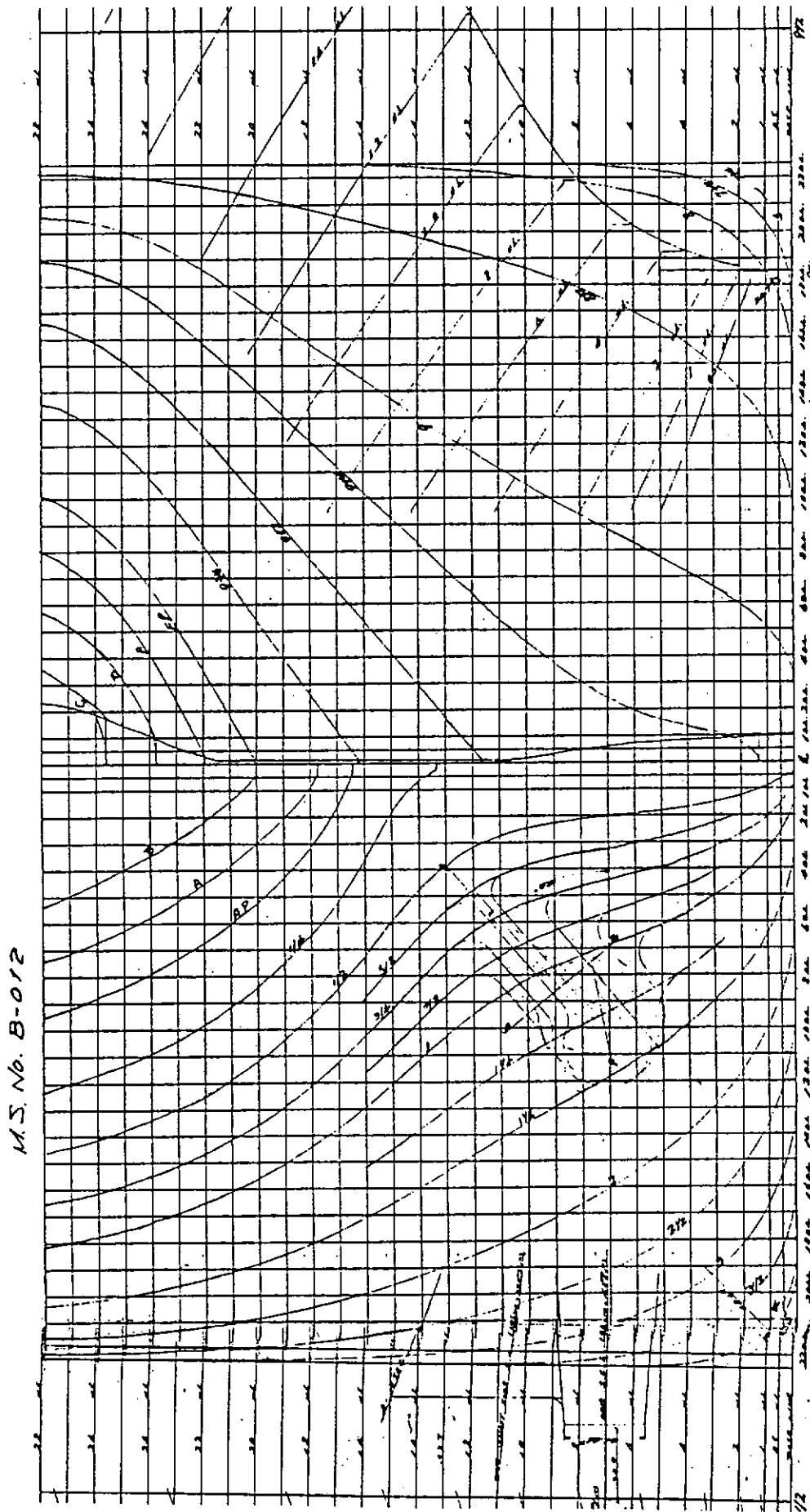


図4.2 正面線図(M.B-012)

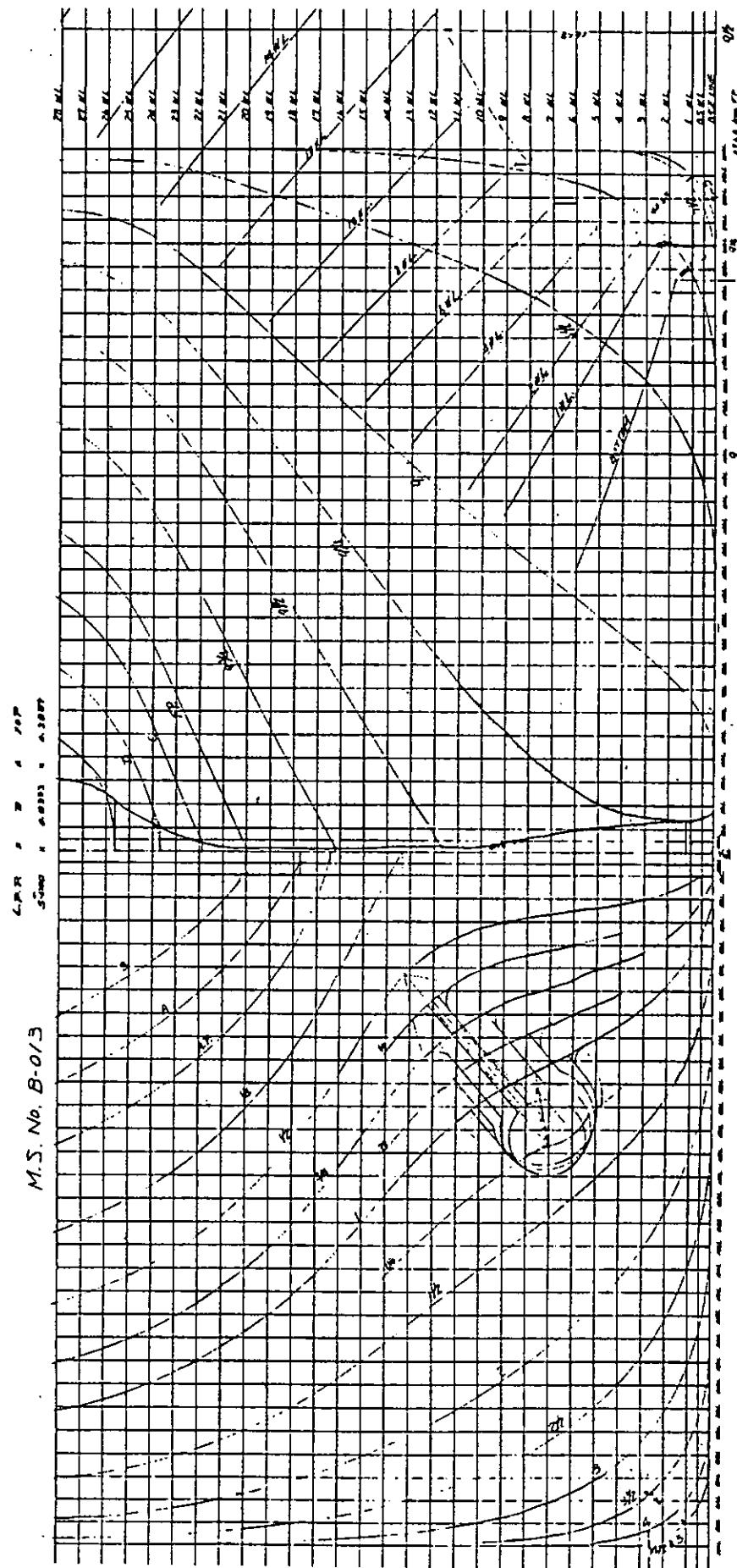


图 4.3 止回蝶阀 (M-Na B-013)

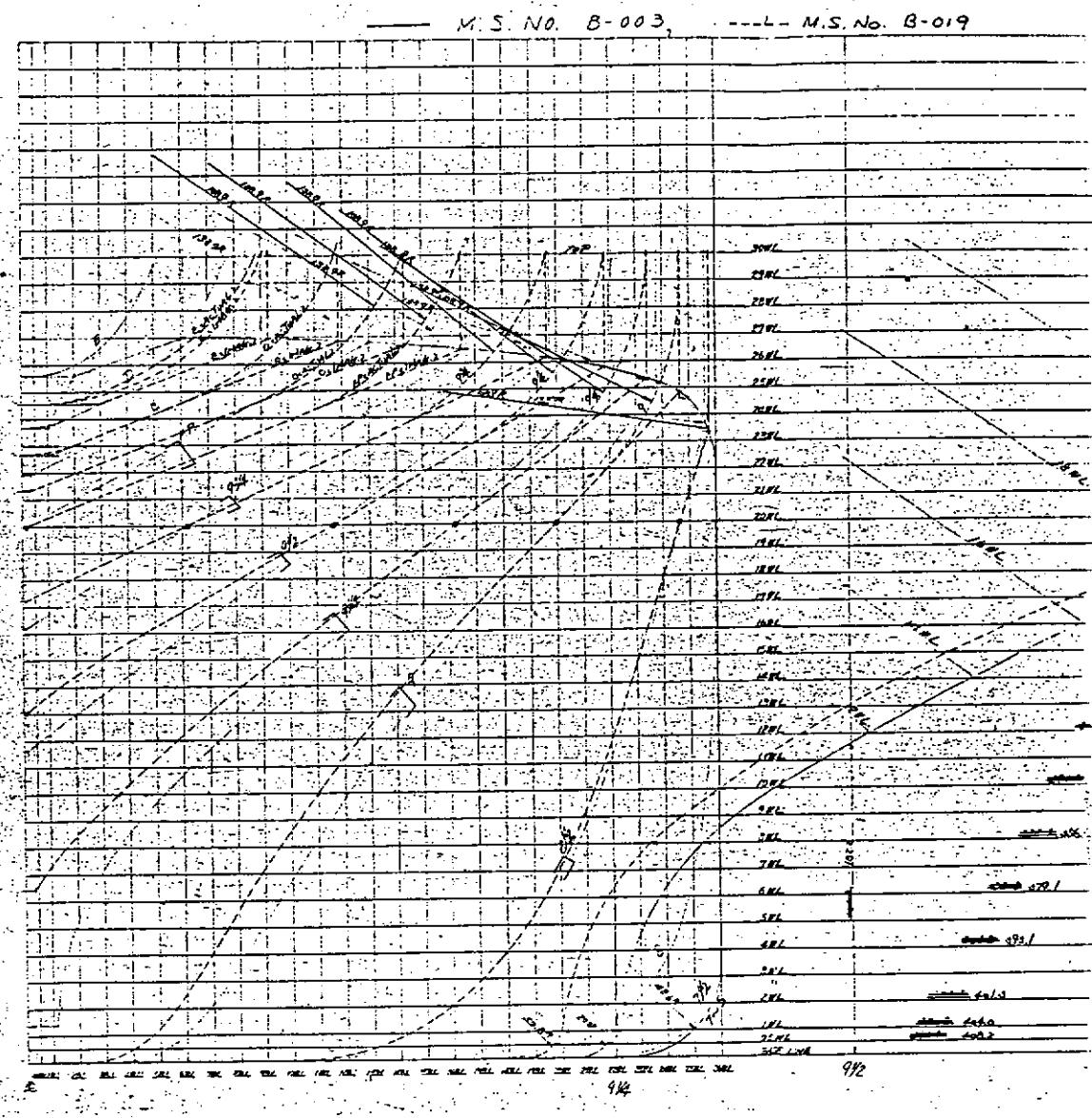


図 4.4 正面線図 (M No. B-019)

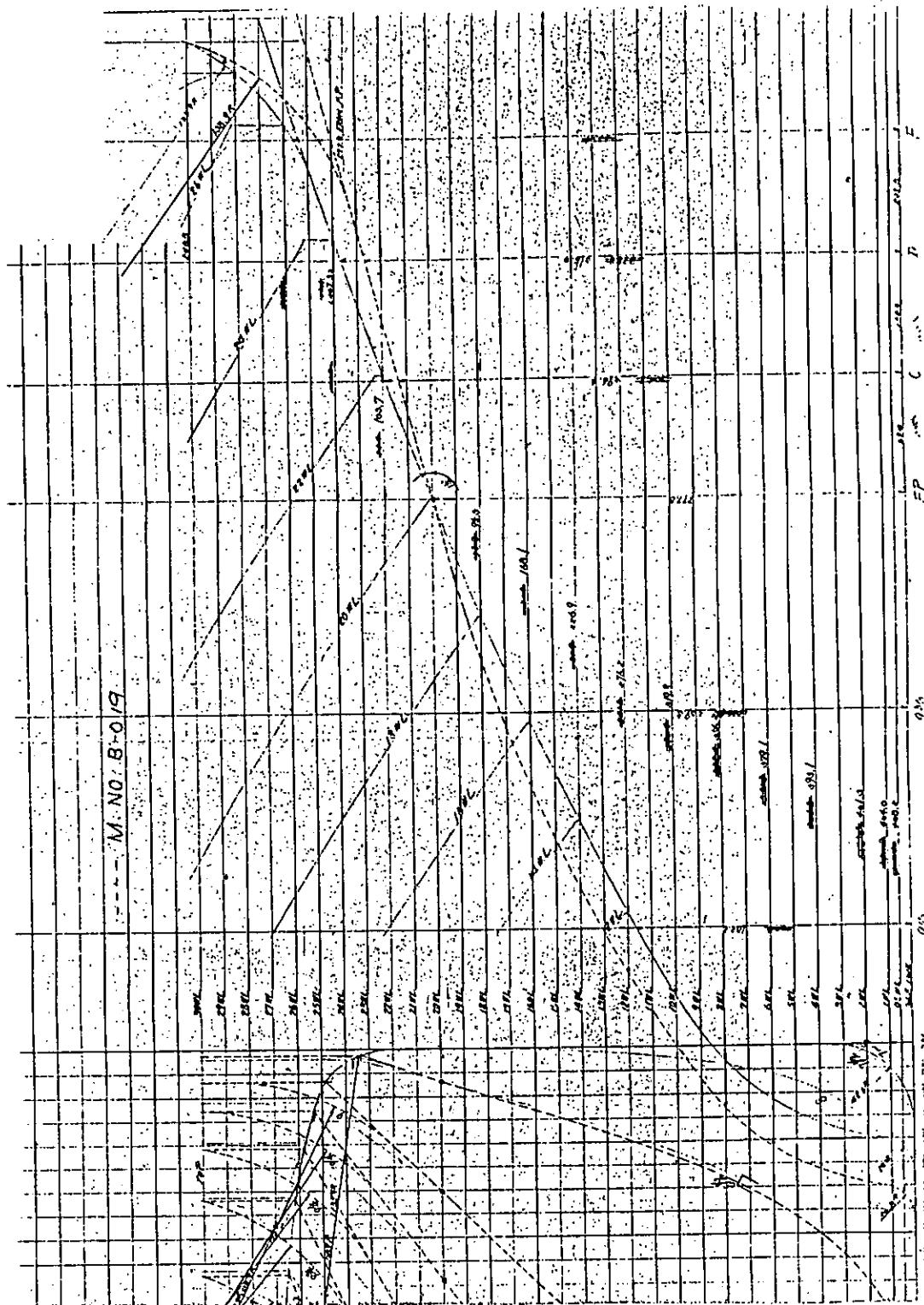


図 4.5 プロファイル (M.Na B-019)

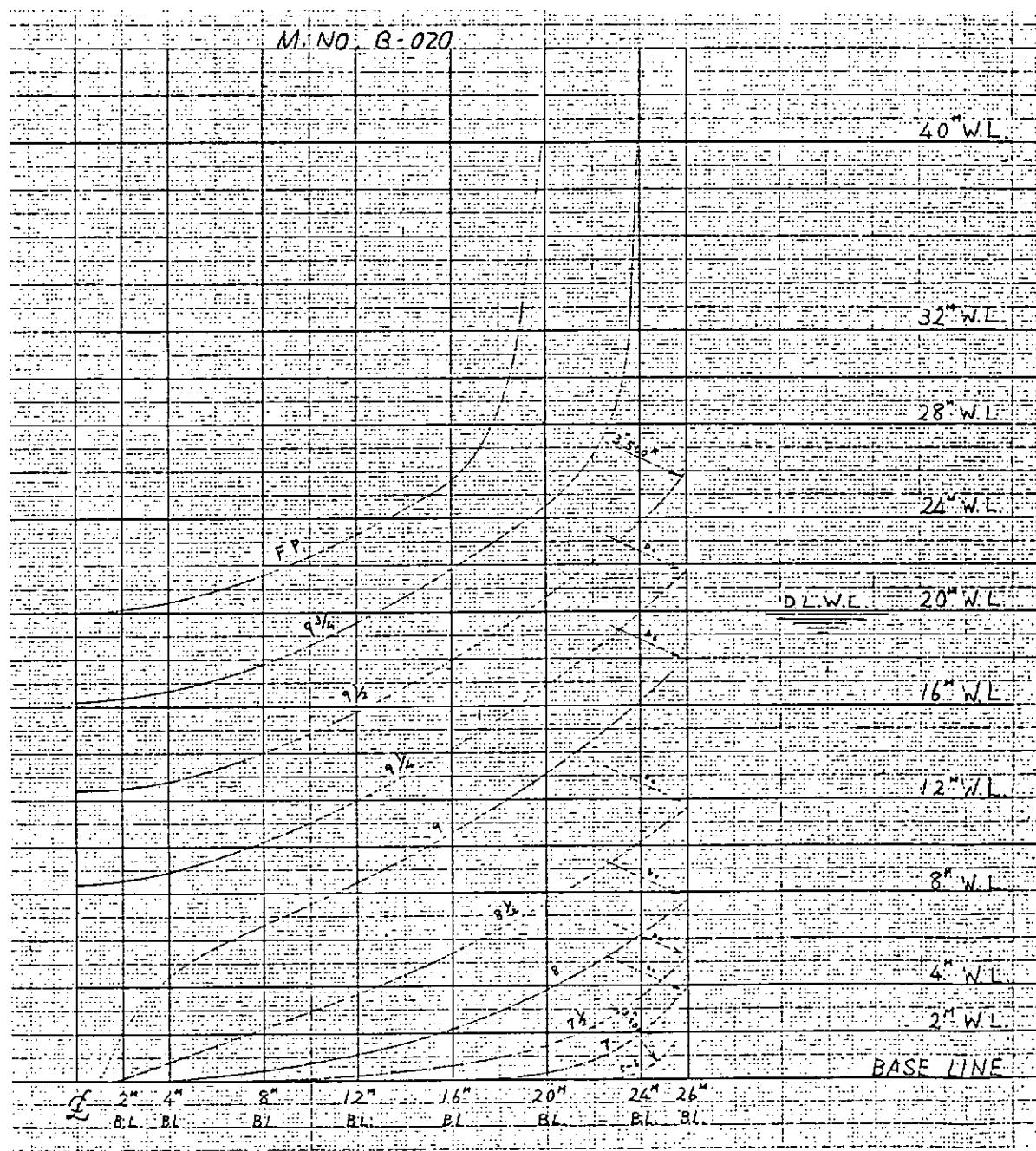


図 4.6 正面線図 (M.N.O. B-020)

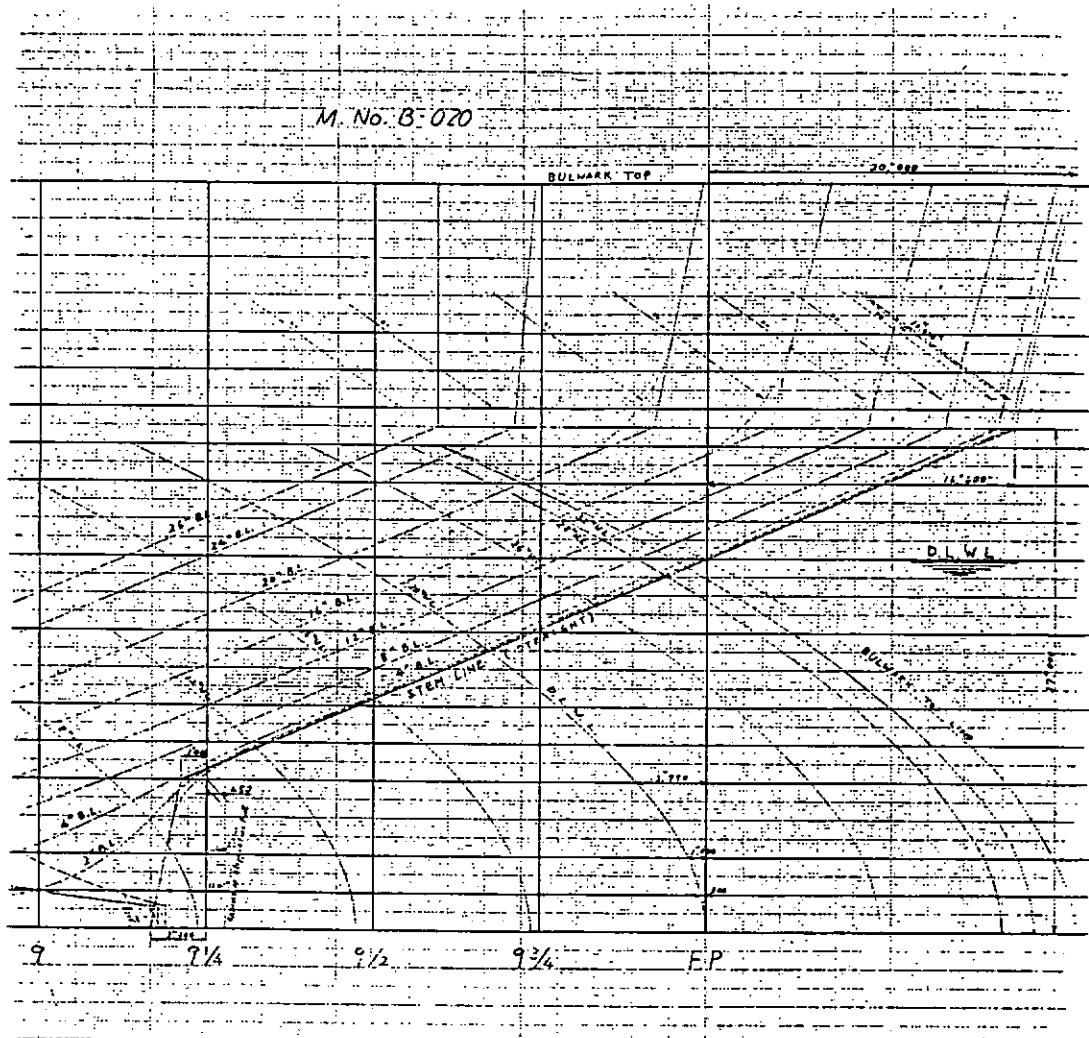


図4.7 プロファイル(M.No.B-020)

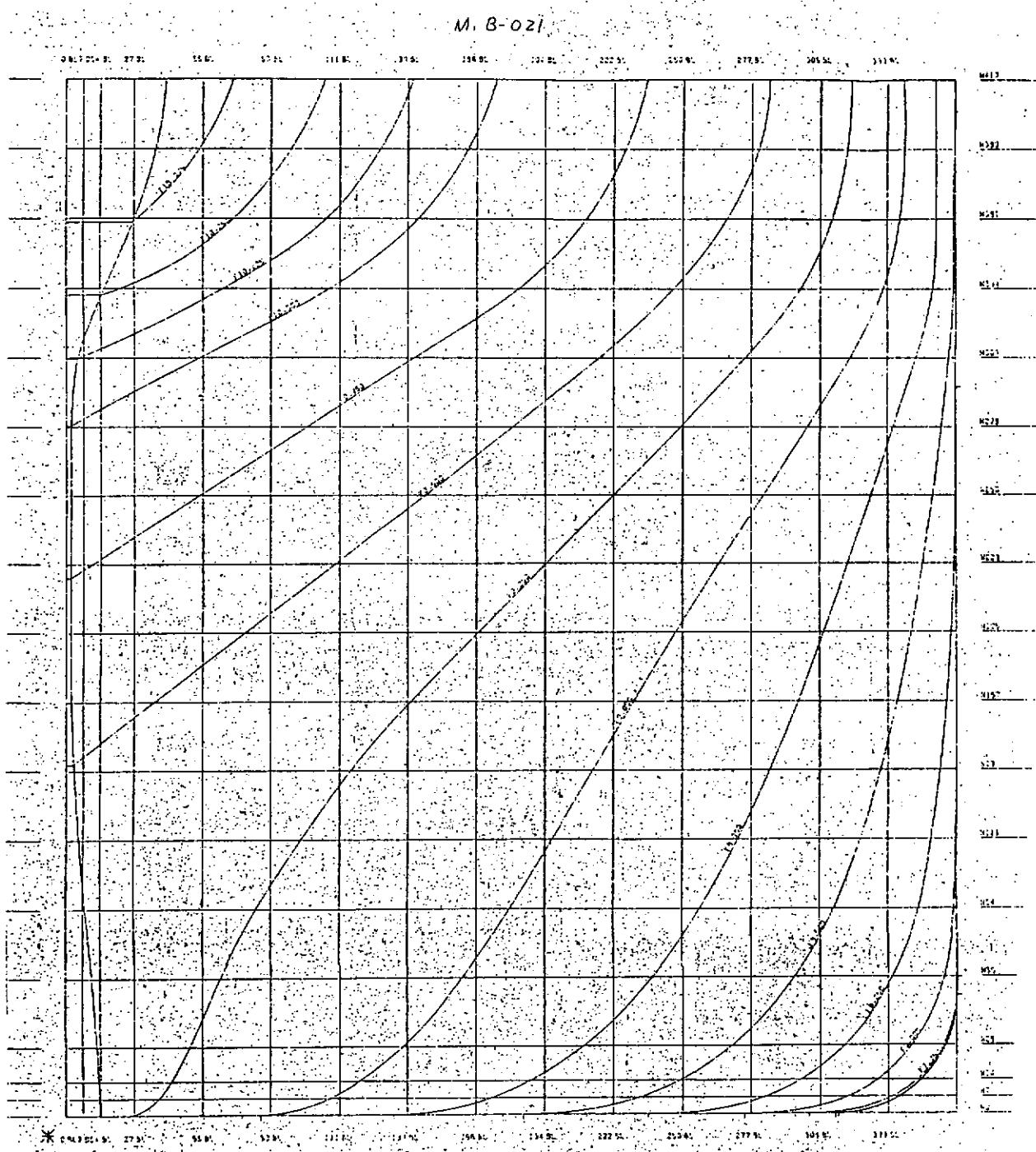


図 4.8 正面線図 (M. No. B-021)

M. No. B-021

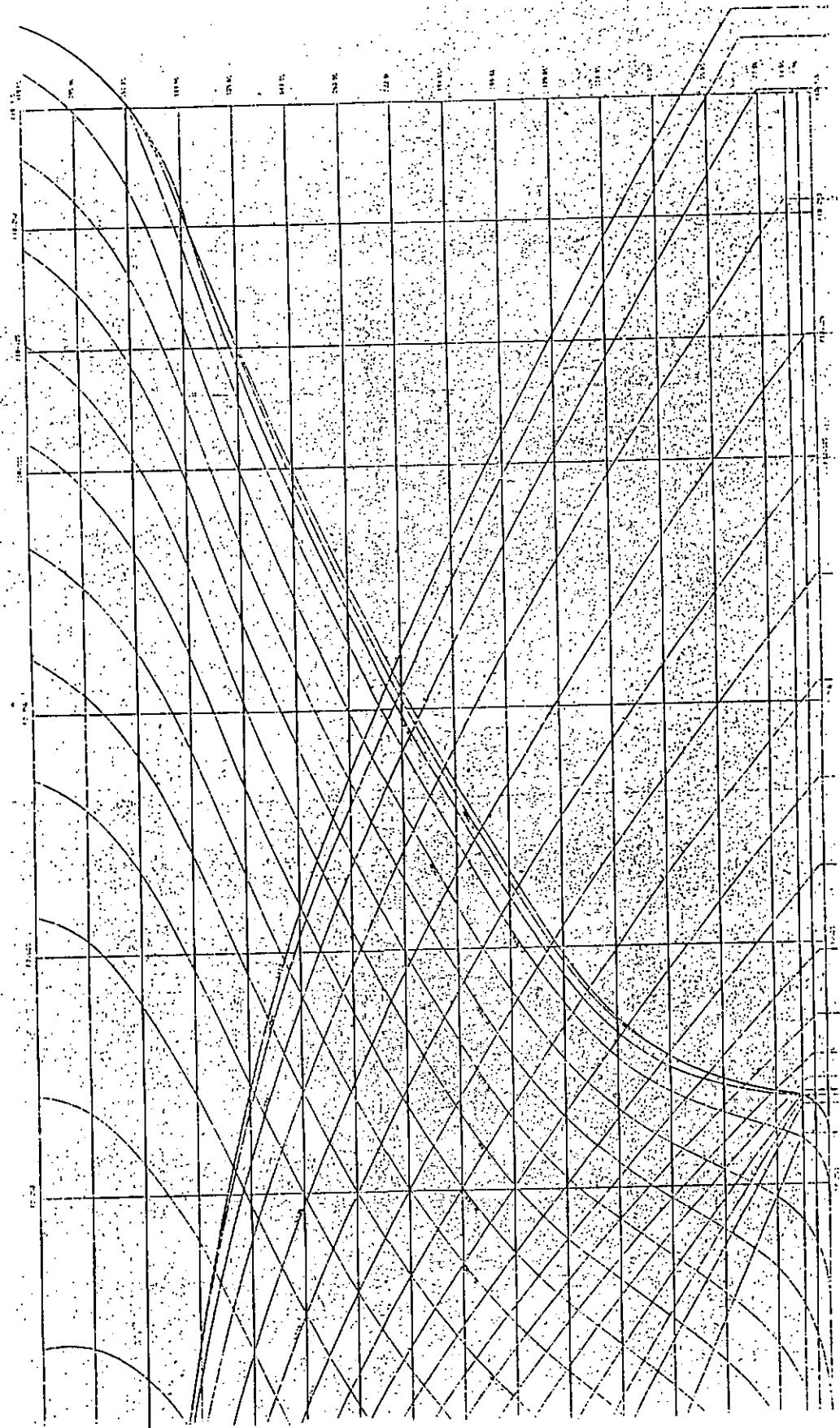


図4.9 プロファイル( M. No B-021 )

M. NO. B-022

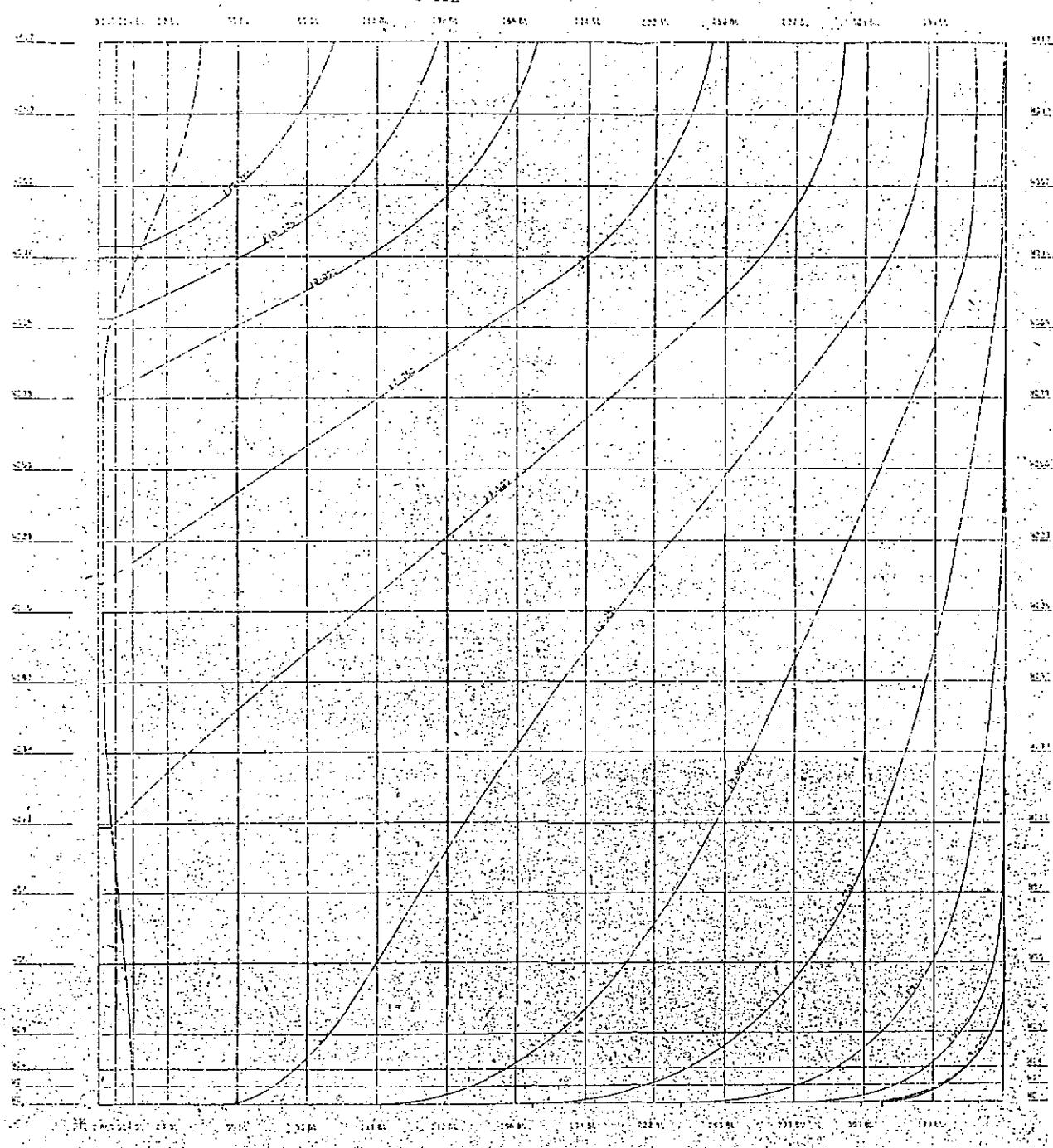
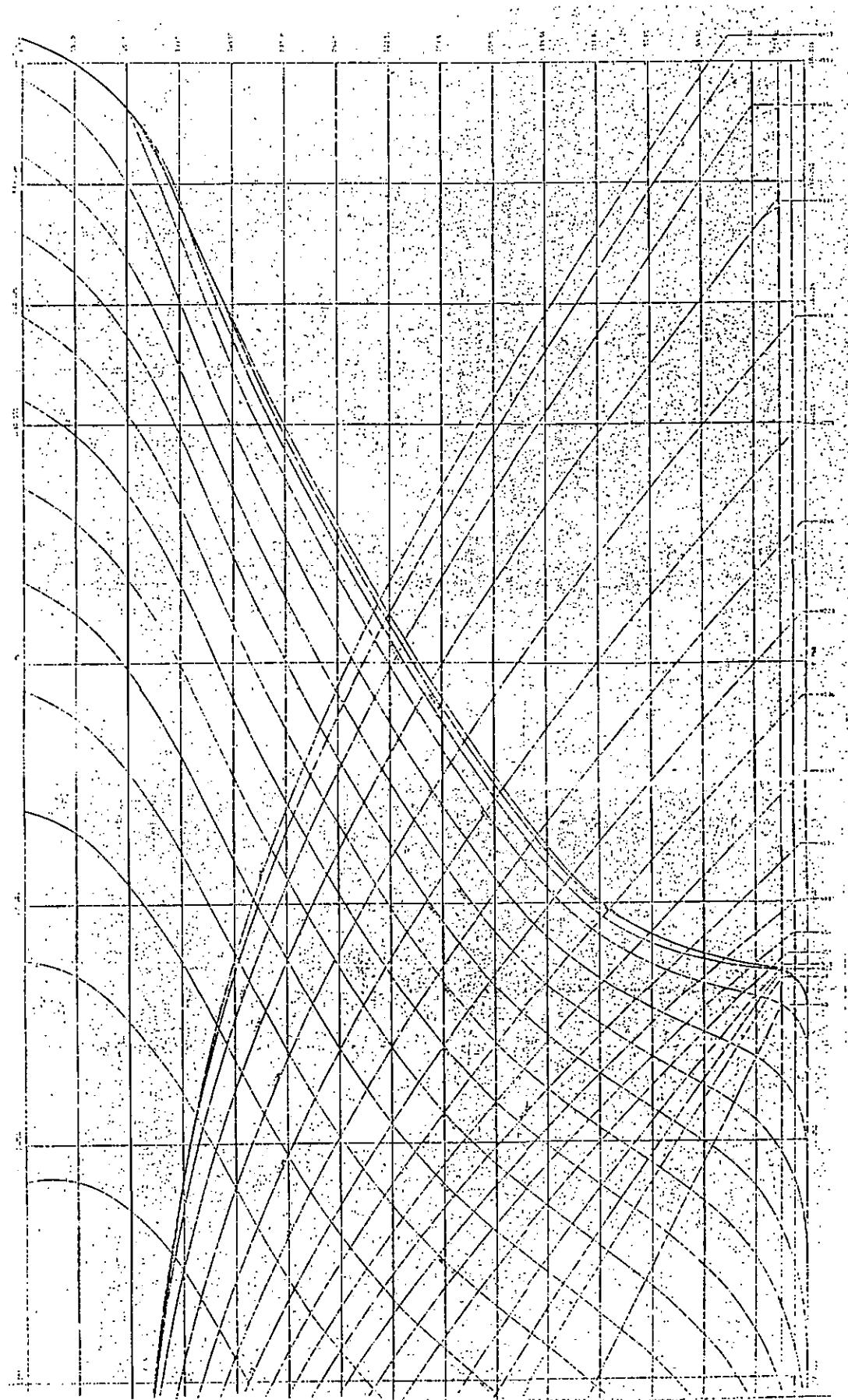


図 4.1.0 正面線図 (M.Na B-022)

M. NO. 6 - 022



#### 図 4.1.1 プロファイル (M.Na B-022)

#### 4.2 side flare の効果

side flare は、碎氷船にあっては一般的なものであるが、長い平行部を有する氷海商船等では、その効果が不詳である。side flare は、船が氷中で beset された際の離脱や、船体に働く氷圧力を減ずる効果がある。又、実海面の氷盤内に内部応力が存在するのが一般であり、このような氷盤内に船を進み入れば、船体にはかなりの水平荷重が作用することがある。このような際にも side flare に対しても、又、氷摩擦に基く抵抗増加に対しても有効である。

長い平行部を有する氷海タンカー船型等に side flare をつけた場合、前部肩部付近での碎氷現象のため、却って碎氷抵抗がやゝ増加することも考えられる。このため、吃水線付近で、 $8^\circ$  の直線的な side flare を有する模型船 (M.NaB-011) による平坦中の実験を行い、鉛直な舷側を有する母型 (M.NaB-003) との比較を行った。side flare 付の M.NaB-011 の抵抗試験結果を図 4.1.2 に示す。又、side flare の有無の比較を図 4.1.3 に示す。

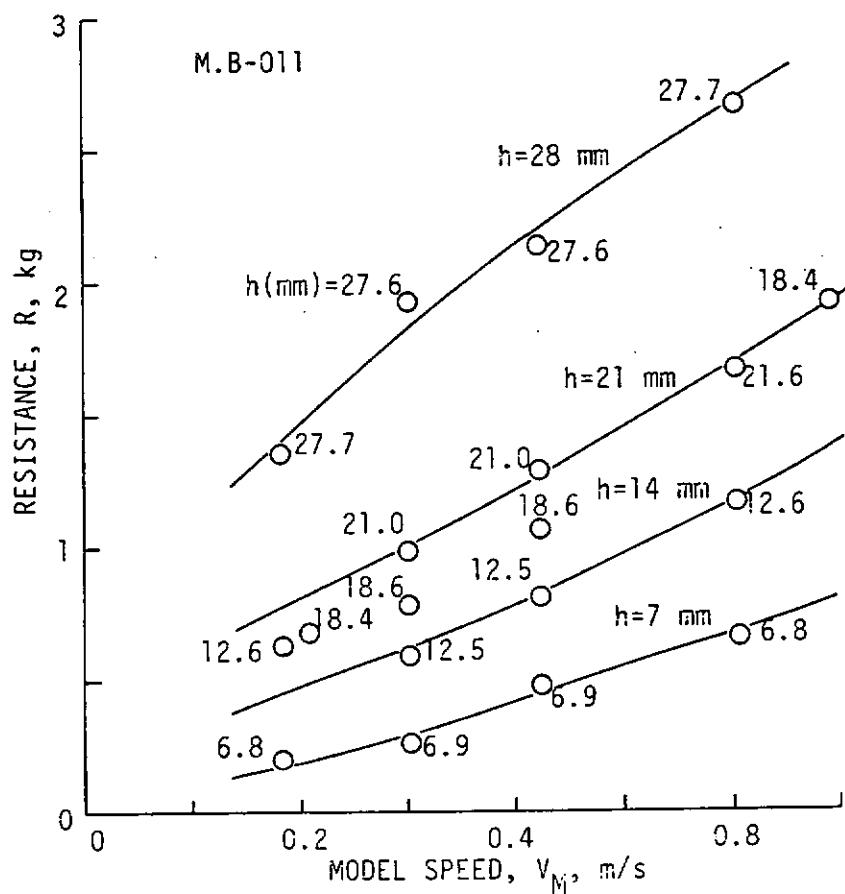


図 4.1.2 抵抗試験結果 (M.NaB-011)

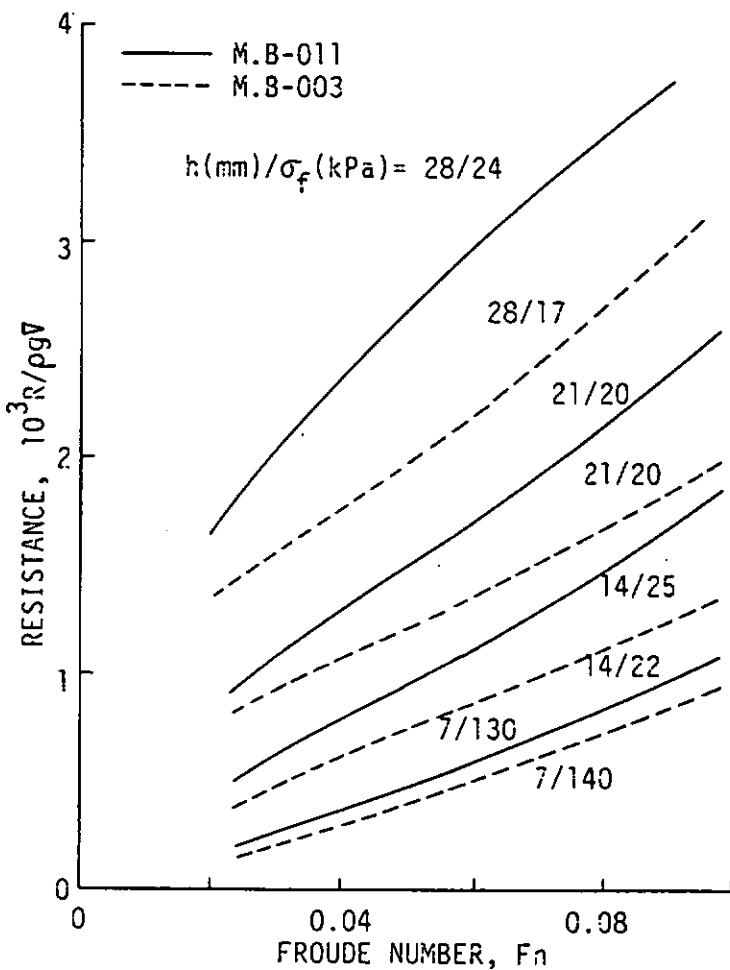


図 4.1.3 side flare の影響

実験結果から見る限り、side flare を付けたことによって、平坦中の抵抗は増加することが判る。side flare は、砕氷抵抗上は、いわば、船の有効船幅が増大した効果を持ち、同一水線幅の wall sided 船型より砕氷抵抗が増加する。しかし、side flare は、平坦氷中の船の運動及び砕氷性能を安定させる効果を持つ。砕氷の結果として開かれた開水路幅は、wall sided の場合よりやや広く、その結果、side flare を持つ船では、非対称横揺や異常な抵抗値を記録することがない。今回の比較試験では、砕氷片が船体と氷縁内に挟み込まれることによって生ずる非定常の氷縁抵抗も side flare 付船型で小さいものと考えられるが、この点に関しては、船首形状やビルジ部の曲率、氷質などが複雑に関係するため、断定はできない。

氷水槽において用いられている模型氷は、模型船の縮尺率が大きな場合を除けば、相似則の観点から本来具備すべき性状を持たない場合が多い。特に、極海用タンカーや極海用 LNG 船のように、船長が 300 m を超えるような大型船に対しては、模型船も超大型となり具体性に乏しい。模型氷の曲げ強さ  $\sigma_f$  が充分に高く、弾性率・曲げ強さ比  $E/\sigma_f$  も大きくして、氷の挙動が弾性的であれば、問題はないが、模型寸法が小さく（縮尺率が小さく）  $\sigma_f$  が小さくなれば  $E/\sigma_f$  が小さくなる可能性が強く、船体周りの氷の破壊に塑性的影響が現われ、氷縁摩擦にも実船とは異なる傾向が現われる。side flare の有無の影響を検討した今回の実験結果にも、この点を考慮する必要がある。

図 4.1 3 の結果をそのまま実船設計に適用することは危険である。先にも触れたように、実海面での氷盤は流体力学的、熱力学的な外力を受け、氷盤内の船体には、様々な水平圧力が作用する。*wall sided* の船型に特有の抵抗異常値の発現頻度は、船体が水平氷圧力を受けることになって、飛躍的に増大する懸念がある。この点を配慮すると、碎氷抵抗は多少増加しても、氷荷重の観点ばかりでなく、碎氷性能上も安定した航走を見せる *side flare* 付船型を選ぶべきかも知れない。この点に関しては、断定的結論を導くためには、尚、多くの研究が必要である。

### 4.3 $B/d$ の影響

#### (1) 吃水の影響

氷中を船舶が航行する場合、氷の作用は、船首部及び吃水線付近に集中していると考えられるから、船の吃水が極端に浅い場合や、浅水域での航行で海底との複雑な干渉を考えなければならない場合以外には、氷中抵抗に対しては、碎氷片の沈降によるエネルギー・ロス分が多少変化するのみで、全体抵抗は殆んど変わらないと考えられ、又、模型実験では、*wall sided* の場合、殆んど変わぬ抵抗値を得ている。しかし、氷中の推進性能となると少々異なる。吃水が浅いことは、それだけプロペラ面への氷片流入量が増加することを意味し、吃水が浅い程（程度問題ではあるが）推進性能の劣下が著しく、又、変動やプロペラ損傷率も高くなる。従って、推進性能上は、吃水は深い程、有利である。

#### (2) 船幅の影響

吃水を一定として、船幅を変えた 2 隻の模型船 M.NaB-012 ( $L/B = 8.0$ ,  $B/d = 2.25$ ) 及び M.NaB-013 ( $L/B = 6.0$ ,  $B/d = 3.00$ ) による平坦氷中の抵抗試験結果を図 4.1 4 及び 4.1 5 に示す。又、両模型船の比較図を図 4.1 6 及び 4.1 7 に示す。

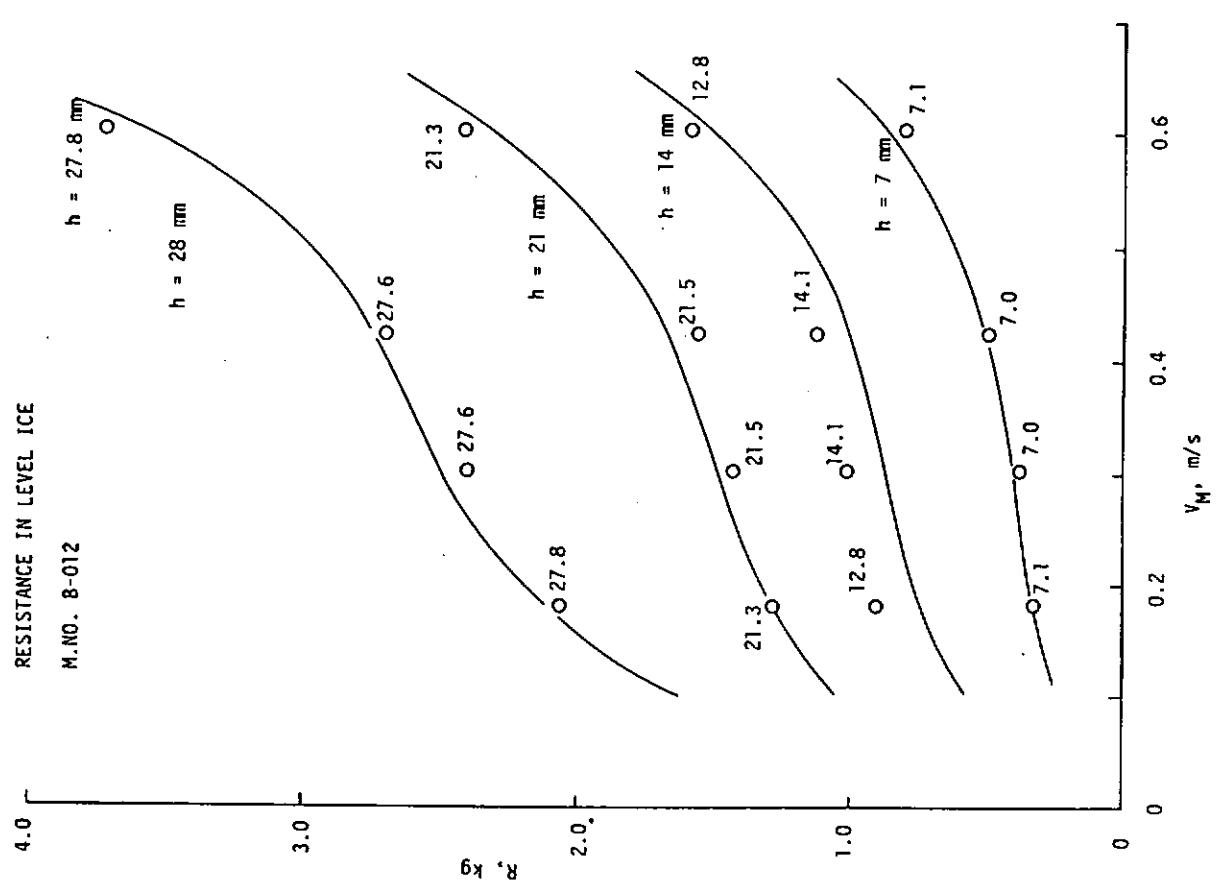


図 4.14 抵抗試験結果 (M.NO. B-012)

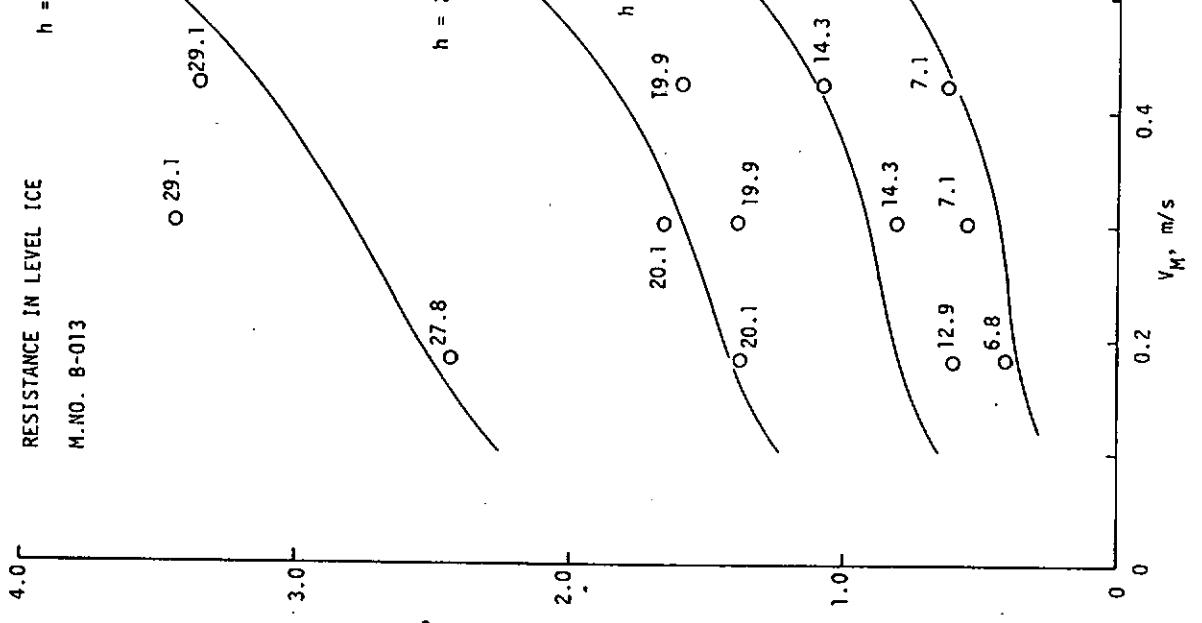


図 4.15 抵抗試験結果 (M.NO. B-013)

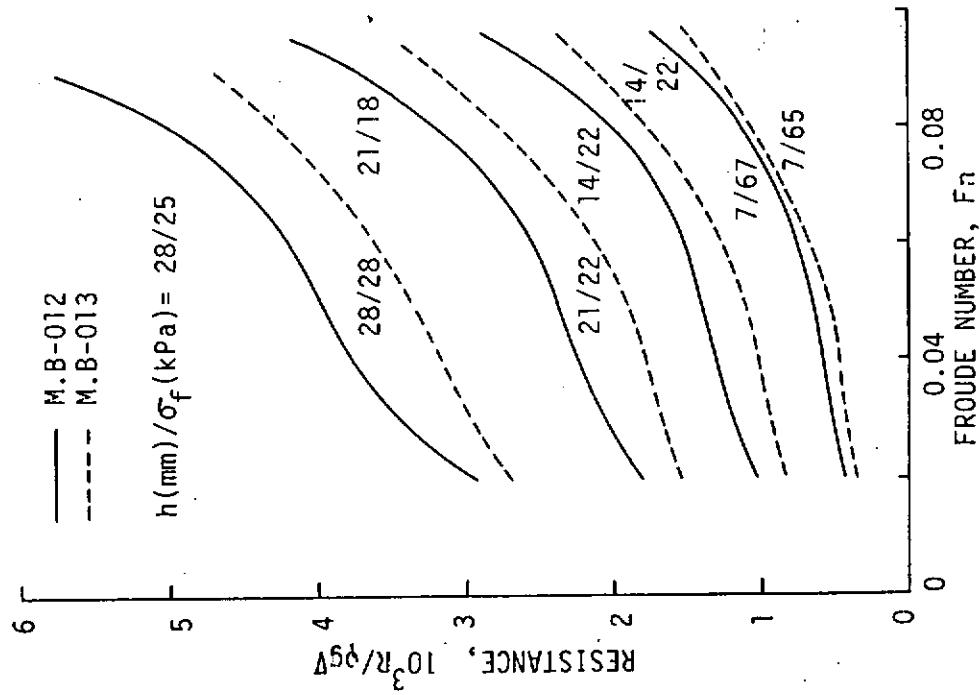


図 4.1.7 船幅の影響

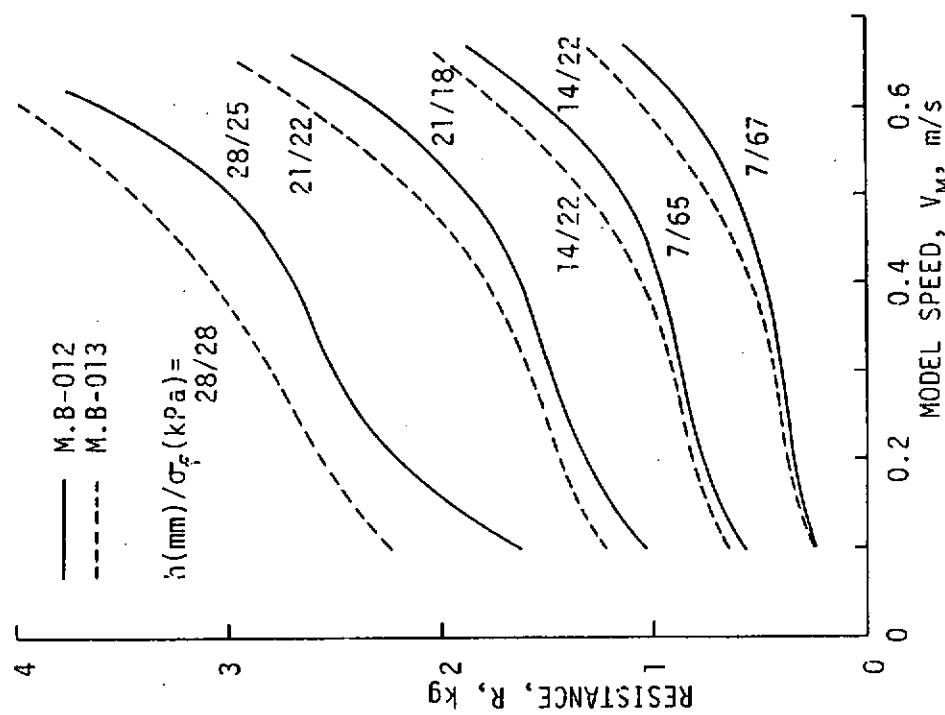


図 4.1.6 船幅の影響

碎氷船では、平坦氷中では、碎氷現象は、ほとんどの船首部に集中して生じ、碎氷抵抗への寄与も船首部位が卓抜していると考えてよい。このため、平坦氷中の抵抗Rは、氷厚h、船速V、船型係数C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>とすれば

$$R = (C_1 + C_2 V^2) B h$$

と表わし、碎氷抵抗を検討するのが一般的である。又、碎氷船の碎氷能力指標として、軸馬力・船幅比をとるもの慣行であろう。このように、平坦氷中の抵抗は、船幅に比例すると考える訳であるが、長い平行部を有する氷海商船に対して、このような考え方を敷衍することができるとするには、疑念がある。図4.1.6、4.1.7から明らかに、長い平行部を有する氷海商船については、碎氷船ベースの考え方は成り立たないことが判る。これは、長い平行部を有する船型では、分子レベルを遙かに超えた規模での氷の破壊を伴う、氷と船体間の氷縁摩擦現象によって失われるエネルギー成分が無視し得ぬ程度のものとなり、広義での氷縁抵抗の全抵抗に対する寄与が大きいからである。但し、船幅の影響は、 $\alpha$ の大きい程より顕著に現われるものと考えられるし、又、碎氷抵抗に対して、船首水線角の影響も少くないから、厳密に船幅の影響を分離するためには、別の角度からの補足実験が必要となる。

氷海商船は、物資の大量輸送が目的であるから、実効的碎氷抵抗係数として、近似的に船の排水量ベースの係数で、氷中性能を検討することができる。このような観点からは、氷海商船について、氷中性能上最適の船幅、又はL/Bのあることが、実験結果から推測される。

#### 4.4 船底勾配の影響

碎氷時に、船首部で破碎された氷片は、船首から船首肩部にかけて下方に押込まれ、一部は船底部にも廻り込む。これらの氷片は、船体周りの流れと氷片の浮力によって中央部あるいは船尾部に至って氷水面に浮上し、その一部は、プロペラ面にも流入する。

母型（M.NaB-003）のように、長い平底を有する船では、船底部に廻り込んだ氷片は、氷片の浮力を基く船体底面との摩擦力と底部の厚い境界層により、平底部に停滞するか、若しくは、船速に比して極めて遅い速度で後方へ移動し、船尾部に至って、船尾付近の開水面に浮上、又はプロペラ面に流入する。底部での氷片の滞留は、機関あるいは船尾軸受等の冷却のための冷却水系に氷閉塞を生ずる原因ともなり、又、プロペラ面への小氷片の流入は、推進効率の低下の原因となり、推進系全体の故障の要因ともなる。更に、氷厚が増すにつれ、碎氷片の寸法も漸増するため、底部への廻り込む氷片の寸法も大きくなり、プロペラ面に流入した比較的大型の氷片がプロペラ、船体間に捕捉される危険も増す。

このため、母型の船底部を余盛りして船体中央部で5°の船底勾配をつけた模型船を、母型を改造して製作し、実験を行って碎氷片の運動を観察した。これがM.NaB-014である。M.NaB-014は、便宜的な船で、底部はInuidのように垂れ下がっているから、船底部での船体長手方向の氷片の運動には、この点を考慮する必要がある。

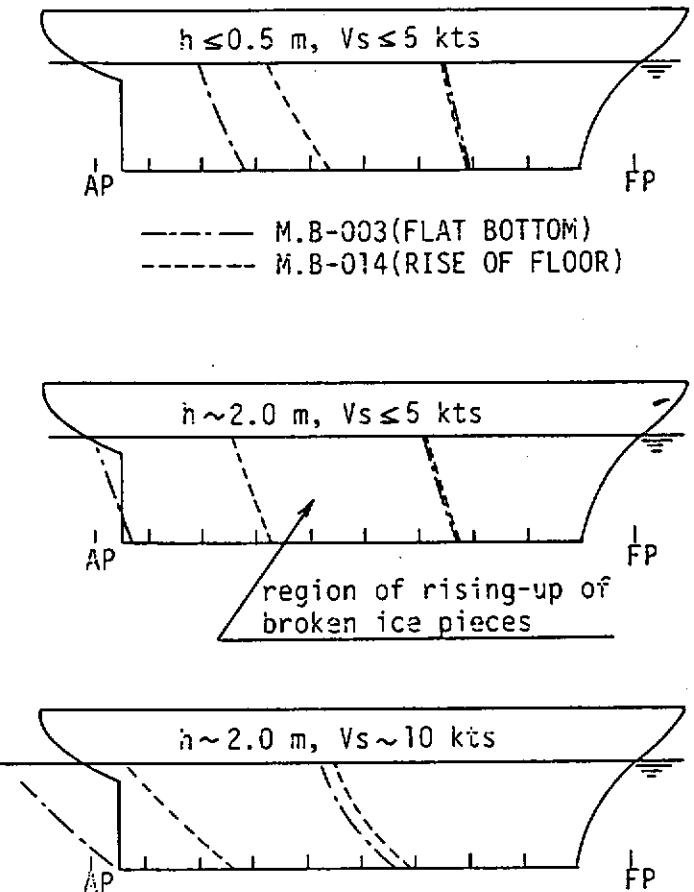


図 4.18 破氷片の浮上範囲

FORCES ACTING ON A BROKEN ICE PIECE

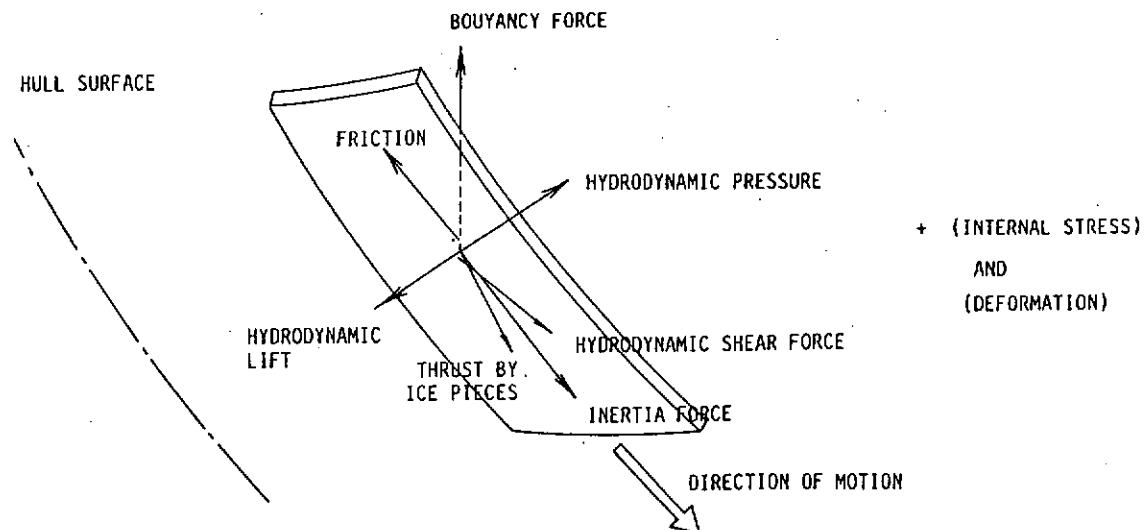


図 4.19 破氷片に作用する力のベクトル

図 4.1 8は、船底勾配の有無が氷片の滞留浮上に及ぼす影響を示したものである。これから、5°程度の船底勾配が船底部へ廻り込んだ氷片の運動に、かなりの影響を与えることが判る。但し、図 4.1 9に示すように、碎氷片の運動を支配する力は複雑で、設計としては、ビルジ部の曲率や船首形状、side flare の有無を考慮して、船底勾配を選定する必要があろう。特に、長い平行部を持つ船型では、船底部に廻り込んだ氷片の浮上を早めることによって、これらの氷片が、船体平行部の船体・氷縁間に浮上・介在して、非定常ではあっても無視するオーダではない氷縁抵抗を増加させる懸念があり、注意が必要である。

#### 4.5 船首形状シリーズ

本シリーズは、船首形状を定める船型因子を系統的に変化させたシリーズではない。このため、碎氷現象にもかなり異質なものがあり、碎氷抵抗の詳細な比較検討を行うことは適切ではない。

stem 角を極端に小さく 15°とした M.NaB-019 及び、スプーン船首形状の M.NaB-020 の平坦氷中の抵抗試験結果を図 4.2 0 及び 4.2 1 に示す。又、両者の比較図を図 4.2 2 に示す。

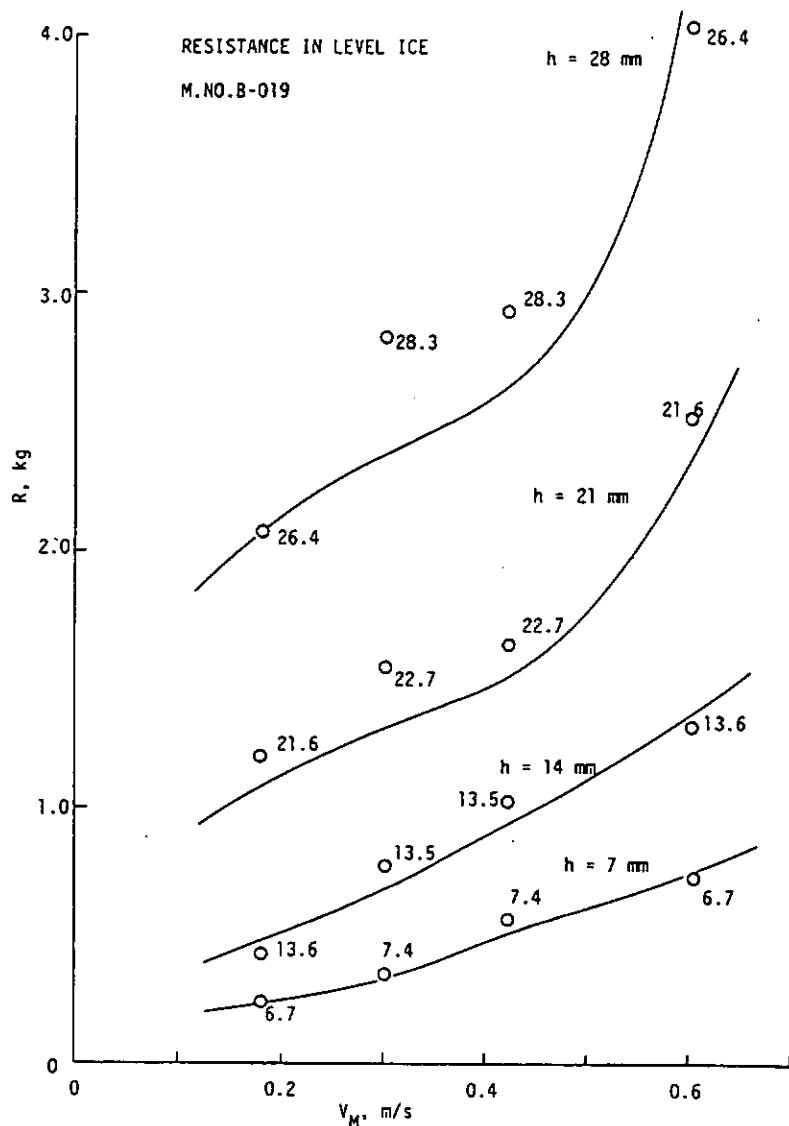


図 4.2 0 抵抗試験結果 (M.NaB-019)

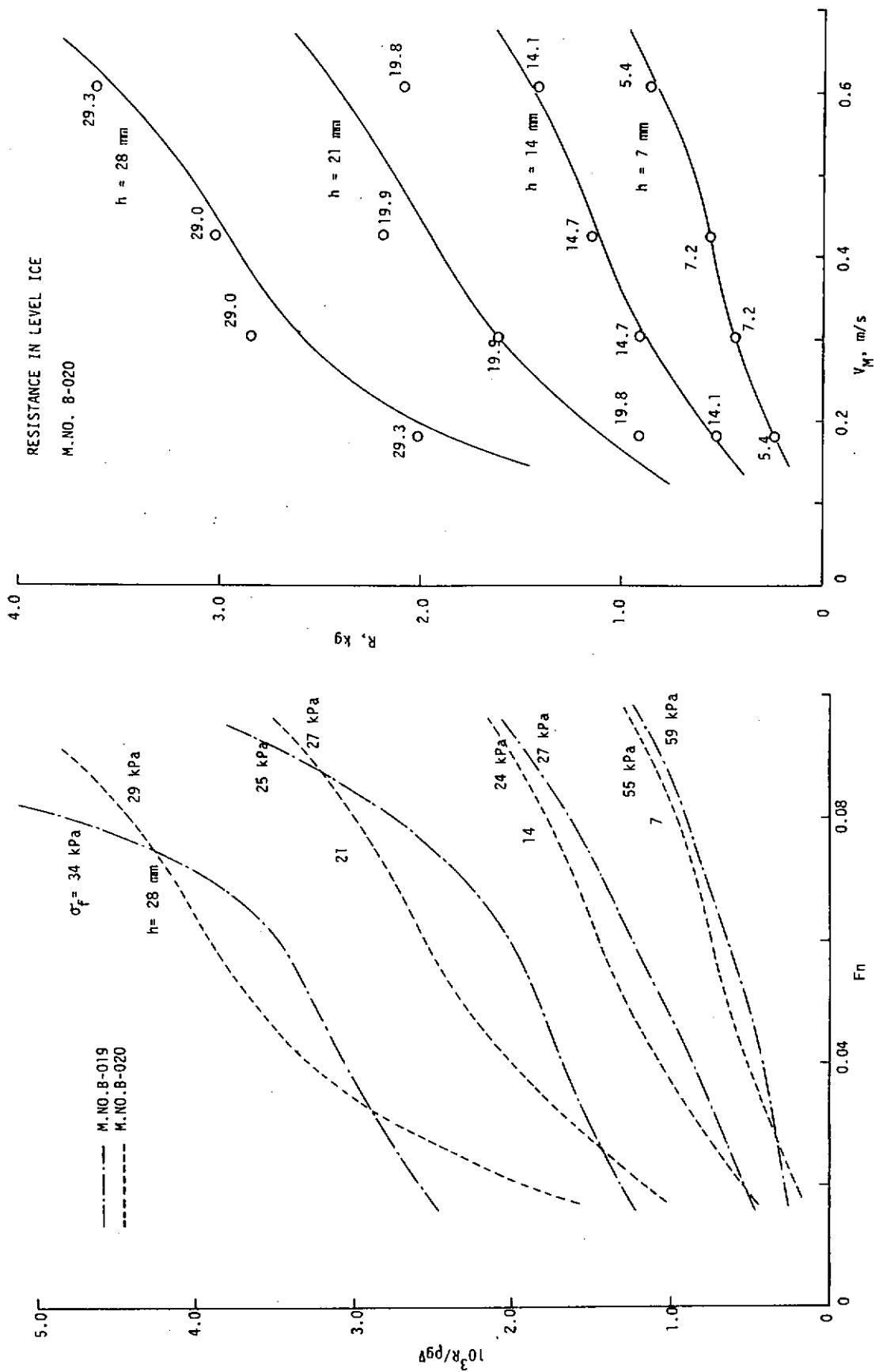


図 4.21 抵抗試験結果 (M.No. B-020)

図 4.22 船首形状の影響

stem 角は、砕氷船の歴史と共に小さくなってきた経緯はあるが、 $20^\circ$  前後が、砕氷性能上も、船体構造上も無理のない角度と看されている。実験から見る限り、stem 角  $15^\circ$  の M.NaB-019 は母型に比して抵抗は大きく、船体運動も氷海商船としては顕著で、航走が安定しない。このため抵抗変動も大きく、平均値処理に疑念を持つ場合もある。

スプーン船首の M.NaB-020 は、砕氷のパターンが、当然のことながら、conventional な船首形状のものとは異なり、船底部への砕氷片の廻り込みは少ない。航走は比較的安定しているが、抵抗は予想外に大きい。砕氷パターンや砕氷抵抗に対する船速の影響が複雑であり、これは、逆に、ある氷況、氷質下で航行速力を定めればかなり砕氷抵抗の少ない船首形状を設計しうることを示唆している。但し、長い船体平行部を有する船について、スプーン船首の採用が妥当かどうかは、やゝ船型を変えた船での実験を行う必要がある。

#### 4.6 $C_B$ シリーズ

$C_B$  シリーズについては、 $C_B$  (naked) = 0.761 の M.NaB-021 の実験結果を解析中であるので、解析の終了した M.NaB-022 ( $C_B$  = 0.773) の平坦氷の抵抗試験結果のみを図 4.2.3 に示す。

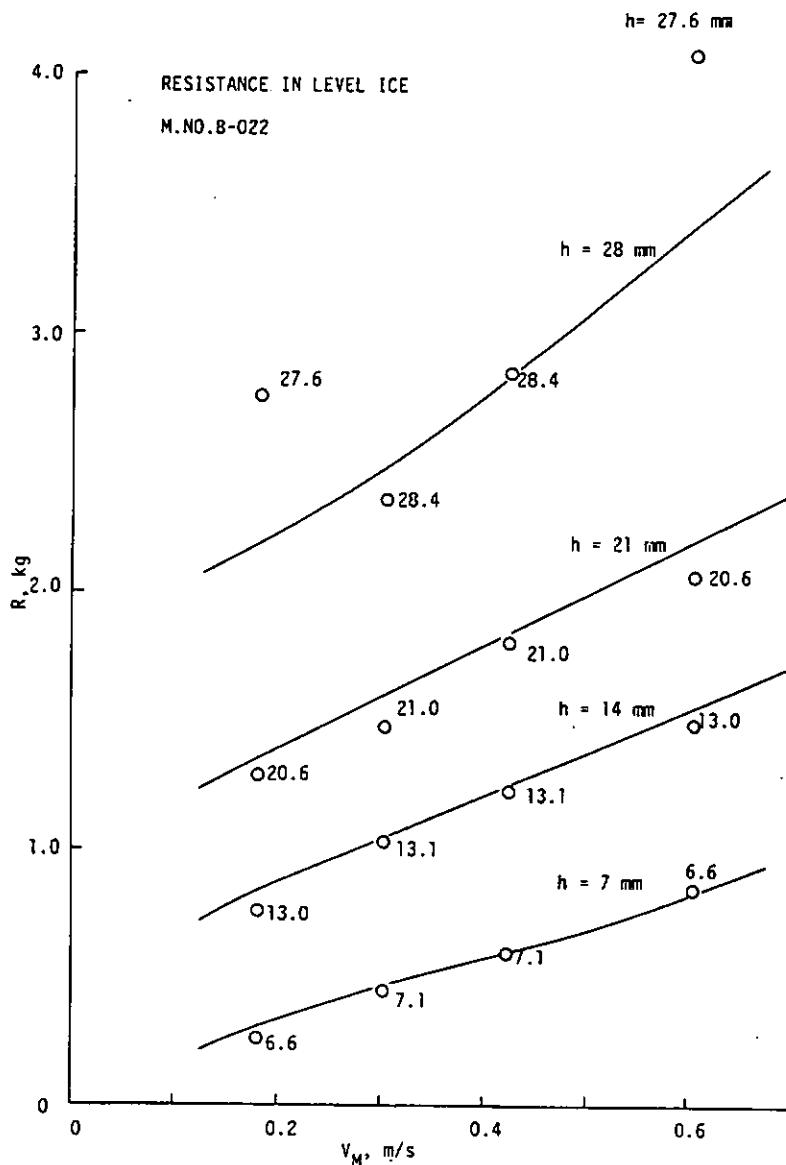


図 4.2.3 抵抗試験結果 (M.Na.B-022)

#### 4.7 おわりに

極海用の砕氷船 ( polar ice breaker ) にあっては、平坦氷中の砕氷性能に対する氷丘脈中の砕氷性能の重要度は、氷海商船に比して遙かに高い。20万トンの砕氷タンカーのような大型船であれば、船の持つ運動量は砕氷船に比して極端に大きく、氷丘脈中の砕氷性能については、船体構造上の安全限界が、推進性能上の氷丘脈突破限界より低いことが予想される。この観点からは、船型上は、*fore foot* が、あるいは、*reamer* の効用を期待する必要があろうし、水平氷荷重を考慮すれば、ある程度の *side flare* も必要となろう。又、冷却水として、バラストタンク内の水が利用できない場合には、適当な船底勾配が必要となろう。

## 5. 200,000 DWT 破氷タンカー概略試設計中間報告

### 5.1 基本計画

本船の概略試設計は研究年次計画では昭和59年度に船型小委員会において実施される事となっているが、その準備作業として昭和57年度以降構造および船体継装W.G.により、又、本年度は機関W.G.が新たに発足し、各要素技術毎の文献調査を実施すると共に一部設計作業も進められている。これらの調査、設計作業を進めるにあたっては設計条件、一般配置等のいわゆる基本計画を行なう必要があり後述のごとく実施した。一方、この基本計画には現在進行中の船型実験（氷海中の抵抗、推進）の結果が十分とり入れられたものでなければならず、又、上記の各W.G.の結果も本来は逆に基本計画のデータとなるべき所もあるので本年度行なった基本計画はいわば初期設定値とみなすべきと考えられる。

#### (1) 設計条件

- 航海距離： 4,000 海里（片航）  
( ポーフォート海～横浜 )
- 氷海距離： 1,500 海里（片航）  
( 冬期 )
- 氷 厚： 平均値には 6 フィート、部分的には 8 フィートとする。主機馬力との関連において前者（冬期）は連続常用出力、後者は連続最大出力に対応するものとする。氷丘脈の設定については昭和59年度に氷丘脈中の船型実験と平行して実施する。
- 吃 水： 20 m
- 氷の曲げ強度： 推進計算用 6 kg/cm<sup>2</sup>  
強度計算用 10 kg/cm<sup>2</sup>
- 氷の圧縮強度： 推進計算用 17 kg/cm<sup>2</sup>  
強度計算用 22 kg/cm<sup>2</sup>
- 気象・海象条件：  
( サバイバル、オペレーション共 )  
気温 最 低 -55°C  
水温 最 低 -2°C  
最 高 27°C  
平均最大風速 70 kts
- 速 力 開水域 15 kt  
氷海域 5 kt
- 船級等： NK  
ASPPR "ARCTIC CLASS 10"

#### (2) 主要目

- 主要寸法  $L_{PP} = 360\text{m}$   
 $B_{MLD} = 52\text{m}$   
 $D_{MLD} = 37\text{m}$   
 $d_{MLD} = 20\text{m}$

設計条件に示された破氷性能および船速を実現し、排水量、トリム、復原性および配置上の要求を満たす主要寸法値として上記の数値を決定した。

- 載荷重量 D.W. = 200,000 MT
- 軽荷重量  $\Delta_L = 87,800 \text{ MT}$   
軽荷重量の算出については(4)節参照

○ 満載排水量  $\Delta_F(\text{EXT}) = 287,800 \text{ MT}$

水槽試験では種々の船型を検討中であるが、本基本計画では図 5.1.1 a, b に示すように B-011 船型（傾斜船型）を母船型として選びそれを一部修正したものを設計用線図とした。

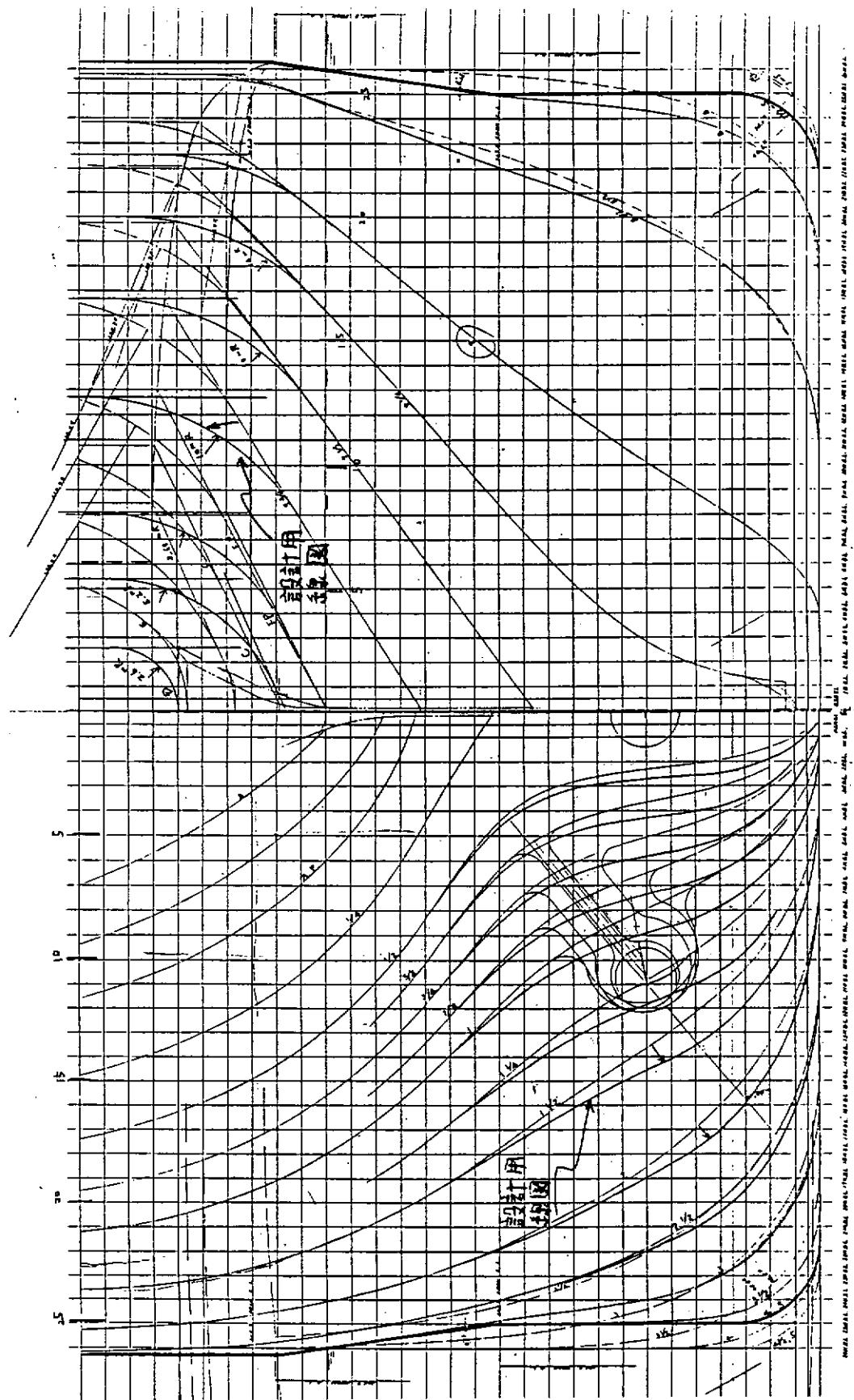


図 5.1.1 a 概略設計用線図 (B-011-ベース)

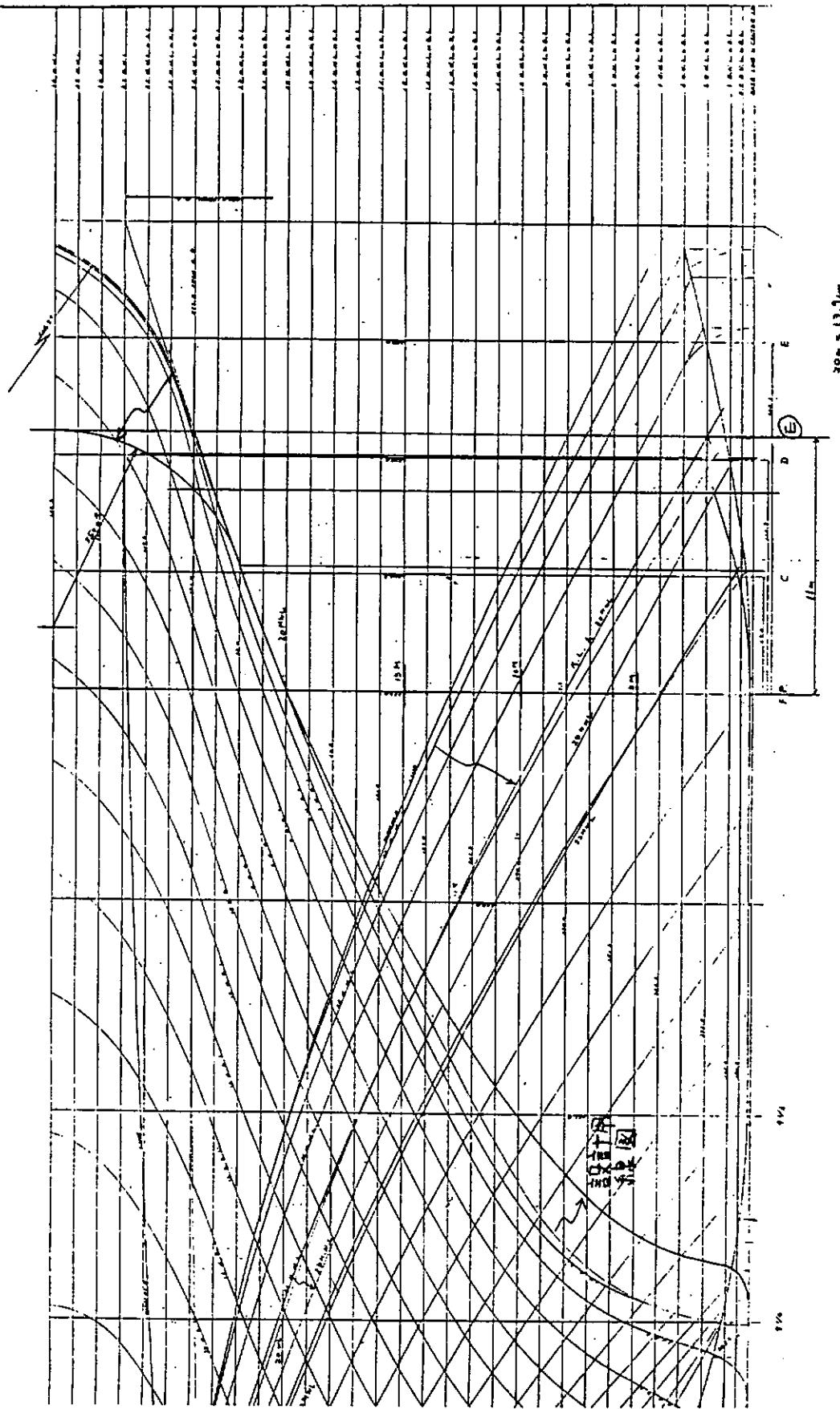


図 5.1.1 b 概略設計用線図 ( B-011 ベース )

B - 011 船型を選定した理由は氷水槽での船型試験の結果、船側壁に傾斜を有する本船型が各船型中最も安定した碎氷運動を示し、かつ良好な氷海抵抗性能を有し総合的にみて（現状では）最適船型と判断された為である。また本船型一部修正の理由は船尾部については機関配置の観点より、また船首部については上記排水量を満たすための不足分（4,800MT）を補う目的による。ただし前述のように排水量については今後の重量検討により幾分変動が予想され、また船型試験もすべて完了したわけではないので最終的な船型の決定は次年度において行う予定である。

○ タンク容積

カーゴタンク : ABT. 246,000m<sup>3</sup>

バラストタンク : ABT. 191,000m<sup>3</sup>

F.O.タンク : ABT. 38,000m<sup>3</sup>

ただし原油の比重は 0.83 とした。

バラストタンクについてはすべて分離バラストタンク（SBT）とし、フルとバラスト時の吃水を同じにするだけの容積をもたせた（アイスペルト節約のため）。F.O.タンク容積については(5)節参照。

○ 主 機

軸出力 : 連続最大出力 合計 約180,000 SHP × 70 RPM, 船速 5 kts

(氷海域) (C & W)

連続常用出力 合計 100,000 SHP × 58 RPM, "

(氷海域) (C & W)

連続常用出力 合計 45,000 SHP × 54 RPM (C), 船速 15 kts

(開水域)

57 RPM (W)

各軸馬力分担 : 3軸等馬力分担

プロペラ : DIA = 10m, CPP or FPP

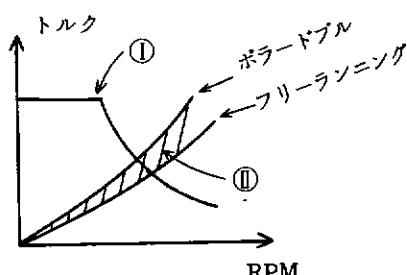
主機型式の選定については現在機関W.G.において作業を進めている。（5.4 節参照）。本選定作業の基本方針としては電気推進方式と機械駆動方式とをそれぞれ一型式づつ選定する事にしている。その理由としては次図に示すように従来の碎氷船主機のトルク特性に対する要求は①であり電気推進方式がこれを満す。

一方、大型タンカーのように平行部が長くプロペラ深度が大きいためプロペラの氷片の干渉がもともと少なく CPP の採用により常にプロペラの回転を維持する場合②の特性でも良い可能性があり、この場合経済的にすぐれたディーゼル機関による直接駆動方式が採れる。しかし現時点では②の特性で良いという結論を出すまでは至らぬため当面両方式を並列に検討する事となった。ここで電気推進の場合はプロペラとしては FPP を採る事になる。なお、ここに示した軸出力及びプロペラの要目については次年度最終的な値が決定された時点でその決定の経過、理由につき報告する。

特に連続最大出力 18 万馬力については一応本数値をここでは設定したが、主機選定、配置検討にあたっては多少の増減は容認する事とした。

(3) 一般配置

今回作成した一般配置を図 5.1.2 に示す。



D.W. 200000 MT ICEBREAKING TANKER  
 ( SR 186 型 B-011 HULL BASE )

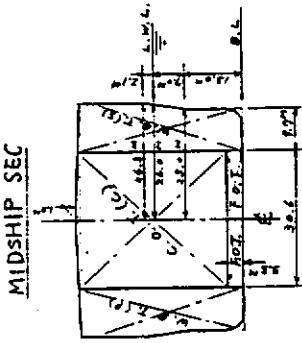
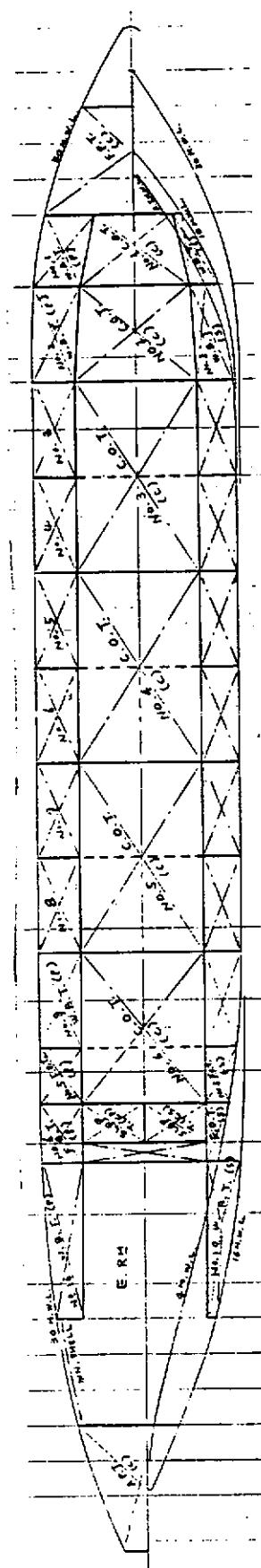
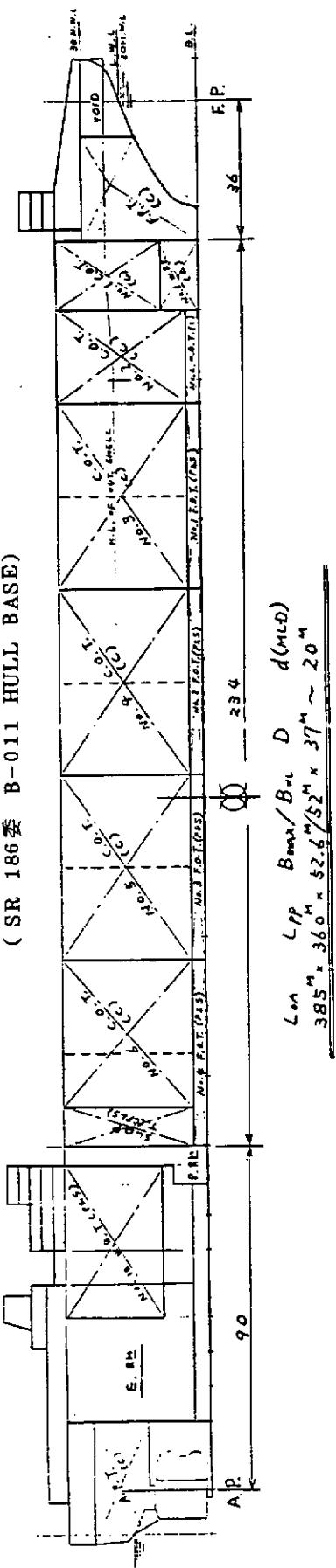


図 5.1.2 一般配置図(計画図)

主要寸法および配置決定にあたっての留意点は以下の通りである。

- 吃水についてはペーリング海峡通行及び遠浅のポート海を沖合の多年氷を避けて航行する必要上できるだけ小さい事が望ましいが、その他の制約条件も考慮の上 20 m と決定した。
- 北極海における厳しい環境維持に対する要求を考慮し（現時点では未だルール化はされていないが）船側、船底共二重構造とする。同時にバラストタンクはすべて分離バラストタンク（SBT）としウイングバラストタンクの巾は  $B/5$  以上、二重底高さは  $B/15$  以上とする。またカーゴタンクはすべてセンターに配置し、容積は 50,000 m<sup>3</sup> 以下とした。以上により 1973 Marpol 及びプロトコール 78 の分離バラストスペースの防護的配置（PL）の要求条件を満たしている。
- 開水域用の通常タンカーに比べ大出力が必要となるため機関室が非常に長く、又、碎氷船首のため船首部が瘦せざるを得ないためトリムの観点より機関室内にバラストタンクを設けた。なお図 5.1.2 に示す配置は初期計画段階のものであり、主機型式により多少の配置変更が今後の検討によりなされることになろう。

(4) 軽荷重量

- 船殻重量

船殻重量については従来型タンカーベース（2 LONG. BHD）の推定 52,000 トンに二重底分 2,000 トン及び ASPPR の Class 10 の耐氷補強分 24,000 トンを加えて計 78,000 トンとした。また重量重心は  $\bigtriangleup G = 3 \text{ m}$  (Aftward), KG = 18.8 m と仮定した。

- 機関重量

主機型式によりかなりの変動が予想されるが、ここではディーゼルとガスタービンの中間的な値として 6,000 トン、また  $\bigtriangleup G = 120 \text{ m}$ , KG = D/3 とした。

- その他

船体機器、電気機器（電気推進関係を除く）ペイントその他あわせて 3,800 トン、また  $\bigtriangleup G = 9.5 \text{ m}$ , KG = D とした。

以上 合計重量 87,800 トン、 $\bigtriangleup G = 11.3 \text{ m}$ , KG = 20 m と仮定した。

(5) F.O. タンク容積

F.O. タンク容積は本来主機プラントの型式毎に決定されるべきものであるが、ここでは当面の設定値としてすべての型式をほぼカバーする容積を得るために下記に示すように比較的高い燃料消費率と航海モードを仮定し、往復航海に必要な F.O. タンク容積を算出した。

なお昭和 59 年度にはこれまで収集した氷象データにより航路の氷象条件を見直すと共に選定された主機型式について再度必要 F.O. タンク容積をもとめる計画である。

- 軸出力当りの平均燃料消費量： 215 gr/SHP, hr.

- 航海モード：開水域； 2,500 海里， 45,000 SHP, 15 kts

氷海域 1； 750 海里， 100,000 SHP, 5 kts  
(平均氷厚 6 フィート)

氷海域 2； 750 海里， 180,000 SHP, 3 kts  
(平均氷厚 8 フィート)

ここで(2)主要目の項で連続最大出力 18 万馬力, 5 kts と設定したのにかかわらず、ここで船速 3 kts としたのは、いわゆる安全側を取った為であり、かつその航海モードの距離を 750 海里と全氷海の半分と見積ったのも同様の理由による。さらに、補機用 F.O. 等を考慮し、F.O. タンク容積は上記による計算値の 2 割増しとした。

## 5.2 構 造

### (1) 文献調査

#### (a) 調査方針

構造WGは、57年度から発足し、59年度以降の試設計の準備段階としての文献調査を実施した。

#### (i) 文献調査

砕氷船構造に関する一般公表文献25件を収集し、抄録を作成、整理した。

大型氷海タンカーの試設計例が散見されるが、具体的な内容に乏しく、資料不足である。

#### (ii) 構造設計に関する動向の整理

現在および将来の動向を探るため、調査文献内容をベースにして、下記項目を調べた。

- ASPPR の background
- USCG の動向
- Canada (Arctec Canada, Domeなど)の paper

#### (b) 調査文献一覧表並びに文献抄録集

以下に収集した25件の文献の一覧表と抄録を載せる。尚、一覧表中、発表年、場所(掲載誌)で英頭文字は次の略称である。

SNAME (The Society of Naval Architects and Marine Engineers)

ISP (International Shipbuilding Progress)

POAC (International conference on Port and Ocean engineering under Arctic Conditions)

IAHR (International Association of Hydraulic Research)

## (j) 調査文献一覧表

文献番号	論文名	著者	発表年場所	構造設計手法				理論的アプローチ			実船計測			備考
				手法全般	設計氷荷重提案	設計寸法算式提案	強度判定	氷破壊モード氷荷重	船体-氷盤相互干渉	構造応答	船体部加速度etc	氷荷重船体歪	プロペラ	
①	Development of Ice Breaking Vessels for the USCG	H.F. Johnson	Trans. SNAME Vol.54 (1946)	○	○	○	○							。本格的Ice Breakerの設計・建造(USCG)
②	On the Ice-Strengthening of ship Hulls.	B.H. Johanson	I.S.P. Vol.14 №154 (1967)		○	○						○		。Baltic Sea 対象(氷厚800mm) 。現行Finnish-Swedish Rule のBase
③	The Design of Polar Icebreakers	L.C. Melberg	SNAME Spring Meeting (1970)	○	○	○	○			○				。基本設計全般
④	Advances in the Development of Commercial Ice-Transiting Ships	G.H. Levine	Trans. SNAME (1974)									○	○	。Great Lakes BulkerとArctic Tankerのパフォーマンス検討
⑤	Structural Considerations in the Design of the POLAR Class of Coast Guard Icebreakers	B.H. Barber	SNAME Ship Structure Symp. (1975)	○	○	○	○							。過去のデータ解析
⑥	A Model to Predict Hull-Ice Impact Loads in the St. Lawrence.	R.A. Majon D.M. Beranger C.J.R. Lawrie	SNAME ICETECH. '75 (1975)	○					○					。110,000DWT Tanker 対象にImpact LoadのSimulation
⑦	Estimation of Ice Forces on the Hull of M.V. Arctic Explorer by Strain Gauge Measurement.	D. Sodhi et al.	POAC '77 (1977)									○		。ice belt での歪計測及びFEMとの比較
⑧	Results of Full Scale Ice Impact Load Studies aboard C.C.G.S. Norman Mcload Rogers	M. Dunne P. Noble R. Edwards	POAC '77 (1977)									○		。歪計測及び氷荷重の評価
⑨	Long Term Measurements of Ice Pressure and Ice-Induced Stresses on the Icebreaker Sisu in Winter '78	J. VUORIO K. RISKA P. VARSTA	WINTER NAVIGATION RESEARCH BOARD Report №28 (1978)									○		。フィンランド砕氷船による歪計測
⑩	Ice Effect Trials in Arctic Waters on CCGS Louis S.St. Laurent	P.G. Noble	Trans. SNAME Vol. 86 (1978)								○	○	○	。ASPPRのバックデータ収集目的に大がかりな計測
⑪	A New Icebreaking Concept	A. Freitas	5TH IAHR (1978)											。せん断モードによる砕氷船型のモデルテスト
⑫	Ice Breaker Trials around Spitzbergen	J. Schwarz	5TH IAHR (1978)									○	○	。Air Water Jet 及び Bow THRUSTER 装備砕氷船の実船計測

文献番号	論文名	著者	発表年場所	構造設計手法				理論的アプローチ			実船計測			備考
				手法全般	設計氷荷重提案	設計寸法算式提案	強度判定	氷破壊モード、氷荷重	船体-氷盤相互干渉	構造応答	船体部加速度etc	氷荷重船体歪	プロペラ	
⑬	Design of Steering Gears, Rudders, Rudderstocks and Propeller Protection for Canadian Arctic Class Vessels	N.V. Laskey	Marine Technology, Vol. 17 (1980)										○	◦ Arctic Class 2の Bulkerの実績に基づく評価
⑭	Ice Impact Loads on Steering System Components of Arctic Class Ships	B. MENON P. NOBLE	POAC 79 (1979)	○					○				○	◦ 数学モデルと実船計測値との比較
⑮	Ice Forces & Accelerations on a Polar Class Icebreaker	P. NOBLE W. TAM B. MENSON I. Bayly	POAC 79 (1979)					○	○	○	○	○		◦ 船体-氷盤の相互作用のモデル化、電算 simulation と実船計測との対応
⑯	The Ship-Ice Interaction	E. ENKVIST P. VARSTA K. RISKA	POAC 79 (1979)	○										◦ 碎氷船の抵抗推進、氷荷重についての研究及び今後の展望
⑰	Summary of Selected Technical Results from MANHATTAN Arctic Marine Project.	A.D. Mockock R.P. Voelker F.W. Debord	SNAME ICETECH '81 (1981)	○	○							○		◦ 29,000 DWT Tanker の試設計例を含む
⑱	Technical Development of an Environmentally Safe Arctic Tanker	B.M. Johansson A.J. Keinonen	同上 (1981)		○	○								◦ 200,000 DWT Tanker の試設計例
⑲	A Rational Basis for Hull Ice Strengthening Criteria	J.L. Coburn	同上 (1981)	○	○	○								◦ 板・小骨主体
⑳	On the Structural Analysis of Ice-Transiting Vessel.	P.E. Xirouchakis R. Stortstrom	同上 (1981)							○				◦ 船側構造の強度検討
㉑	Results of Full Scale Trials in Ice of CCGS Pierre Radison (R Class)	R.Y. Edwards M.A. Dunne B. Johnson	同上 (1981)									○	○	
㉒	Application of Plastic Analysis to USCG Ice Breaker Shell Plating	Richard Chin.	ANNUAL MEETING SNAME (1981)		○	○	○			○		○		◦ 新しい外板決定法
㉓	Performance of Ice-breaker YMER on the Swedish Arctic Expedition "YMER 80"	G. LILJESTROM K. LINDBERG	POAC 81 (1981)									○		◦ 応力分布と船殻の損傷
㉔	Ice Impact Load on Ships	I.F. GLEN	SNAME Arctic Sect. (1982)	○	○	○	○		○	○		○		◦ 大型船へのASPPR 適用の問題点
㉕	Ship-Ice Interaction Models. Designer's Approach	Vlodek Laskow	SNAME Arctic Sect. (1982)						○					◦ 船体と氷との相互干渉の種々モードに対する物理モデルを考察

## (ii) 文献抄録集

文献番号	表題	出典及び著者
1	Development of Ice Breaking Vessels for the U.S.C.G	H.F. Johnson Trans. SNAME, Vol.54, 1946

## 概要

本論文は U S C G が碎氷活動に従事するようになった経緯から W I N D クラス, M A C K I N A W の設計・建造にいたるまでを概観したもの。U S C G が本格的IC碎氷船の設計をやるようになったのは第2次大戦が起り、冬期においても北大西洋の防備、五大湖からの物資輸送、五大湖岸造船所建造船の通航の必要性により大統領命令があったからである。そのとき U S C G は他国の調査も行い、次のような基本要求を考えた。①船幅…水路幅、②船長…操船性が良いこと、③吃水…大径プロペラを収めること、④十分な構造強度、⑤ビセットのとき破壊されずにリフトする船型(船側傾斜)、⑥Sloping forefoot, ⑦Sloping Buttock, ⑧Forebody に類似したAftbody, ⑨Fore Propeller, ⑩Aft Twin Screw, ⑪Web, frame のスパンを短くするため多層D<sup>k</sup>そしてトラスフレーム、⑫外板を薄くするため短いframe space, ⑬機関室…二重殻、⑭前後部でCant frame。Ice beltの設計荷重としては、排水量をWATER LINE LENGTHで除し、方向余弦をとったもの(即ちBeset 時壊れずでLift する)を考え、弾性設計をした。

またMND クラスから外板に高張力鋼を、また溶接によるブロック工法を採用し始めた。

文献番号	表題	出典及び著者
2	On the Ice-Strengthening of Ship Hulls	International Shipbuilding Progress ; Shipbuilding and Marine Engineering, Monthly, Vol-14, No.154, June 1967, Ohansson, B.M.

## 概要

- LR の要請によって Baltic sea の 200 隻を越える氷海航行船についてその ice damage の有無を調査した。損傷解析は各 ice class 每の船に対し、外板パネル、frame を対象に行われ、rigid-plastic analysis により設計水圧が決定された。
- 結果は Bow, Midbody, Aft の船体各 part に対して  $\sqrt{\Delta \cdot P_s}$  をベースに整理されている。ここで  $\Delta$ : displacement,  $P_s$ : shaft horsepower
- ここでは氷厚として最悪の状態を考え、800 mmと設定しているが、これは Baltic sea での相場から決定されたものである。
- 損傷解析の結果、従来船では耐氷補強をした箇所では frame が弱く、無補強の箇所においては plating が薄いといった傾向が見られる。  
また、現行の design では小型船ほど相対的に弱くなっている。
- plastic design による plating, side frame, longi. frame の設計手法が提案されている。

文献番号	表題	出典及び著者
3	The Design of Polar Icebreakers	SNAME, Spring meeting, APR. 1~3, 1970 — L.C. Melberg et al

#### 概要

- Icebreaker design の Systematic Procedureについて解説したもので Design Spiral に沿って次の各項目から成立っている。
    - A) Owner Req. and Development of Mission Profiles
    - B) Proportions, Form Coefficients and Independent Design Variables
    - c) The Bow and Forebody Form
    - D) The Stern and Afterbody Form
    - E) Icebreaking Resistance
    - F) Powering and Propellers
    - G) Floodable Length and Subdivision
    - H) Propulsion Machinery
    - I) Hull Structure
    - J) Beached Intact Stability
    - K) Open Water Speed
  - これらの検討は Computerized Mathematical Model で行えば特に設計初期に役立つ。Design Optimization に用いられる Criterion は Total Acquisition Cost であり、その方法には A) The exponential random-search optimization technique と B) The sequential unconstrained minimization Technique がある。Design Variable として 6つあり (SHP/△, △, L/B, B/D, C<sub>B</sub>, C<sub>P</sub>) Design Constraint として 4つある。(Endurance, max. ice thickness in the Continuous Mode, Beached Initial Stability, Free-Route Speed)
- 最後に 2, 3 の Case Study の結果を述べた。

文献番号	表題	出典及び著者
4	Advances in the Development of Commercial Ice-Transiting Ships	Trans. SNAME Nov. 14-16 1974 — G.H. Levine et al

#### 概要

A.D. 2000 年まで Great Lakes Coal Carrier と Arctic Crude Oil Carrier を建造するためのデータ収集を目的として 3 ケ年にわたり、Model Test, Full Scale Experiment, Technical Design Studies を行った。

Technical Focus は

- ① Ice impact load on the hull
- ② Reduction of resistance of bulkcarrier in ice

であり、①については Great Lakes Ore Carrier "Leon Fraser" で 2 ケ年の実船計測を行い、②については種々の方法のうち船底 ピルジコーナー付近より Air bubble を放出する Air Coating System を考案し、同船にてその効果を確かめた。

将来の検討項目としては Ship Tehnology とともに Short/Long Term Ice Forecasting, Loading Terminal Design, Crew Safety, Survival, Navigation, Environment Protection も重要である。最後に A.D. 2000 年に必要とされるだけの Great Lakes Coal Carrier, Arctic Crude Oil Carrier を建造するための各年次ごとの Development Scenario を提案した。

文献番号	表題	出典及び著者
5	Structural Considerations in the Design of the POLAR Class of Coast Guard Icebreakers	B.H.Barber, L.M.Baez and G.J.North U.S.C.G. SNAME Ship Structure Symposium OCT.1975

### 概要

1966年に始まったUSCGのNEW POLAR ICE BREAKER PROJECTでは主として Hull Form, Powering Predictions, Hull Structure (including material) に重点をおいて開発が行われたが、ここではHull Structureについて述べている。ICE BREAKER DESIGNにおいては商船以上に実船データが必須であるが、USCGが過去に建造就航させたWIND GLACIER CLASSの実績アセスメントによりNEW DESIGNの評価を、FEM etcによる理論計算も併用して、行っている。とりわけ次の6項目に重点をおいた。

- ① Load Definition, ② Framing System, ③ Allowable Stress, ④ Analysis Method, ⑤ Hull Material, ⑥ Detail Design

得られた主な結論は次のとおり。

- ① WIND, GLACIERにおいてはPlateに比しFramingが弱いことが判った。(Damageより)
- ② NEW DESIGNではBESETに対し300 psi, BOW & STERN IMPACTに対し600 psiとした。
- ③ IMPACT LOADはS.S.2でMAX.となる。(THEORY, DAMAGEとも)
- ④ Preferable Framing SystemはTrussed frameではなくD型とFrame(SHELL Ex.あり)のGrillageである。
- ⑤ Hull Steel Req.について大気は-50°F, 海水中は28°FとしASTM-A537を採用した。

文献番号	表題	出典及び著者
6	A Model to Predict Hull-Ice Impact Loads in the St. Lawrence	SNAME ICETECH '75 R.A.Majon ... Arctec Canada Ltd D.M.Beranger ... " C.J.R.Lawrie ... Waterway Develop. M.T.

概要

- 該当水域の氷状調査 模式化
- 船体と流氷との衝突現象に対する応答量の理論解の導出(特に Impact Force について)
 

ここで、船体: Rigid Body

  - 氷盤
    - Crushing だけの場合と Crushing + Bending の場合
    - Rounded Edge の場合と Angular Edge の場合
 で扱っている。
- 上記で得られる理論解と種々実船計測結果とを下記につき比較し大体、このモデルで良く合うとしている。
  - Impact Load と氷厚との相関
  - " と氷の曲げ強度との相関
  - " と船速との相関
- 該当水域にて 11,000 DWT O/T を対象に上記数学モデルでシミュレーションを行い、氷荷重及び関連して危険水域を予測。
- Impact Load に影響を与える下記諸因につきパラメトリックサーベー実施(氷厚、船速、衝突位置、氷の曲げ強度、氷の圧縮強度、氷の大きさ)
- 又、風の影響についても調査している。

文献番号	表題	出典及び著者
7	Estimation of Ice Forces on the Hull of M.V. Arctic Explorer by Strain Gauge Measurement	POAC 77 D.S.Sodhi, L.Button, R.Boetes M.Arockiasamy

概要

$L_{sp} = 42.4\text{m}$  の首尾船の右舷砕氷帯に 20ヶの Strain Gauge を貼り、砕氷時の Strain を計測した。計測結果は船体構造パネルを FEM で解いた結果と比較して荷重を推定し、特に大きな荷重を示した場合について表に示されている。

正確な荷重の推定の為には、もっと多くの Strain Gauge が必要という。

文献番号	表題	出典及び著者
8	Results of Full Scale Ice Impact Load Studies aboard C.C.G.S. Norman Mcleod Rogers	POAC 77 M.Dunne, P.Noble, R.Y.Edwards Jr.

#### 概要

表題船の実船計測結果である。外板12ヶ所にGaugeを貼り、氷と衝突した時のStrainを計測し、StrainはSwinging PendulumによりCalibrationして「荷重」が求められている。

文献番号6の数学モデルとの比較図、及び五大湖船の同種実験との比較図が示されている。数学モデルとは傾向が合わないがOrder的には合っている。

他船との比較から、船体形状が荷重に大きく影響すると述べている。

文献番号	表題	出典及び著者
9	LONG TERM MEASUREMENTS OF ICE PRESSURE AND ICE-INDUCED STRESSES ON THE ICEBREAKER SISU IN WINTER 1978	WINTER NAVIGATION RESEARCH BOARD Research Report No. 28 J. VUORIO, K. RISKA, P. VARSTA

#### 概要

背景 — これまで、設計氷荷重といえば間接的な方法で得られたものしかなかった。というのは、氷圧力や氷荷重を推定する信頼度の高い解析モデルがなかったことと、実験によって得られたそれらのデータが現在までのところ役にはたっていないこと等があげられる。

歪ゲージを使った間接的な方法では氷圧力や氷荷重は得られず、ただ、全体荷重の推定ができるのみである。そこで、今回、局所的な氷圧力を計測する方法を考えることとなった。

目的 — バルチク海で氷海航行する船舶について、その構造寸法を決めるために必要なデータを得ること。

方法 — 1978年冬。フィンランドの砕氷船 "SISU" を使って、ボスニア湾内の航行をする。

$L_{WL} = 9.6\text{ m}$ ,  $B_m = 2.25\text{ m}$ ,  $d_m = 7.3\text{ m}$ 。歪ゲージ3枚、氷圧計2コを前部shellに貼る。諸計測装置をDK上に置く。ゲージ、氷圧計のcalibrationは①内部水圧、②外部圧力、③外部集中荷重、④FEM解析によった。

結果 — 実験中の気候は平均的な冬期状態のものであった。氷状はpack ice, ridged level ice, land fast ice から成っており、最大氷厚は80cm強。気温は-25°C ~ +5°C。歪ゲージ、氷圧計のoutputを統計処理したところ、dailyの最大値はガンベル分布に従うことが判明した。期間中の最大応力は0.7σy、最大氷圧力は88kgf/cm<sup>2</sup>；長期分布として同、0.8σy, 110kgf/cm<sup>2</sup>。

文献番号	表題	出典及び著者
10	Ice Effect Trials in Arctic Waters on CCGS Louis S.St. Laurent	SNAME Transactions, Vol 86, 1978 PP-277-303 - P.G. Noble et al

### 概要

- St.Laurent 主要寸法  $L_{oa}^m \times B^m \times D^m \times d^m \times \Delta^{tf} \times P.S.$   
 $111.7 \times 24.38 \times 131 \times 8.99 \times 13,300 \times 24,000$
  - 1970年に同船で行った実船実験 (ship's effect on ice, penetration ability in ice cover)に引き続き、1977年MAY~JUNEにlandfast iceを対象にice effect on ship の調査を行った。これら一連の実験はASPPRのBack-up data収集の目的もある。計測項目は次の如し。
    - ice type/distribution/thickness/properties/ice load
    - ship speed/thrust/torque/acceleration strains
    - correlation between ship's speed and ice characteristics
- これらの計測は1.Continuous icebreaking mode 2.Ramming modeにて行われ、次のような結果が得られた。
- Visual observationによるIce coverage rateは実際で40%以上のときは80~90%程度にも感じる。
  - Continuous icebreaking modeのとき速力が大きいほどice loadは小さいこと、また加速度はnonperiodicで2.33g(前後)regular cyclicで約0.5g(前後)であった。ramming modeでは8knotのとき2.4g(前後)かつice load max. 225tf。
  - ice thicknessは0.7~2.0m(mean 1.22m)

文献番号	表題	出典及び著者
11	A New Icebreaking Concept	A.Freitas, J.Schwarz — 5 TH IAHR, 1978

概要

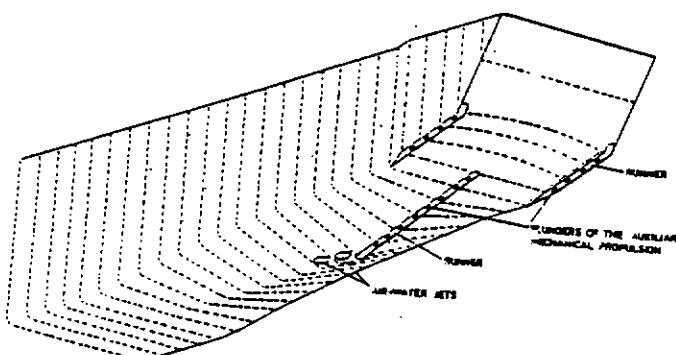
Dr.WAAS 提唱によるNEW ICEBREAKING CONCEPTをHSVAのICE TANK TESTにより評価したもので次の如き特徴をもっている。

- ① the Pontoon type bow……氷は曲げよりもせん断に對して格段に弱いので Shear mode で ice breaking することを狙う。
- ② the Extra width of bow……Free channel without deficiency of propulsion
- ③ the V-shape of the fore ship bottom……Dissipation of broken ice
- ④ Auxiliary propulsion system by reciprocating plungers inclined afterward in way of shoulder runners.

TANK TEST ITEMは

① Resistance Test ② Self-Propulsion Test ③ Manoeuvring Test を行い、それぞれ良好な結果を得た。

これらの研究をもとにD.W. 10万トンのIcebreaking Tanker を試設計するつもりである。



WAAS 提唱船型

文献番号	表題	出典及び著者
12	Ice breaker Trials around Spitzbergen	J.Schwarz and L.Hoffmarr Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt G 5TH IAHR, 1978

### 概要

西独の海運、造船関連4社のProjectでは1974年建造の9,500HP, TWIN CPP, TWIN RUDDER KORT NOZZLEのSUPPLY SHIPを用いてSPITZ BERGEN近辺、60~30cm ICE SEAにおいて以下の如きFULL SCALE TESTを実施した。(M.S.WERDERTOR)

- ① Icebreaking Performance/Manoevrability in ice
- ② Physical Properties of ice
- ③ Interaction of Propulsive System and broken ice
- ④ Strain Measurement at bow
- ⑤ Experiments or Air-Water-Jet System and Bow Thruster

得られたDataは主にPerformance/Resistanceに関するもので、同時期にHamburg水槽で行われた Model Test Resultsと比較された。特記すべき結論は次の如し。

- ① Power~(Ice thickness)<sup>2</sup> CurveにおいてLow SpeedではLinearであるがHigh Speed(7knot)ではHumpあり(as MILANO Predict)
- ② Water Jetの中にAirを混入させる"Air-Water-Jet"SystemはLow Speedで特に効果がある。
- ③ Bow Thrusterは旋回性能に大きく寄与する。
- ④ 厚さ1.2mの氷がプロペラにまき込まれてもdamageはないがThrustが大きく低下する。

文献番号	表題	出典及び著者
13	Design of Steering Gears, Rudders, Rudderstocks and Propeller Protection for Canadian Arctic Class Vessels	MARINE TECHNOLOGY, Vol 17, No 3 JULY 1980, PP. 267-280 - N.V. Laskey

### 概要

ASPPRに規定されている項目の中で表題に掲げるものについてはほとんど実績がなく、かつ評価が行われていない。ASPPRはSS Manhattanのarctic voyage等を参考にして作成されたものでReview & Revisionが必要であり、順次Full Scale Test等を実施して改正されつつある。本レポートはCLASS 2の"MV Arctic" 28型BULK CARRIERのVoyage reportを主として参考にして、ASPPRのEvaluationとNew Designを提案した。

#### (1) Auxiliary Steering Gear

IMCO ABS, ASPPRのReq.を満たすものとして ①4 - Ram Electro-hydraulic Steering with Emergency-Rotary-Vane, ②Main and Emergency Rudderstocks, Tillers and Connecting links を紹介した。

#### (2) Shock-Sensing Device for Steering Gears

#### (3) Icehorns for Protection of Rudders and Rudderstocks

#### (4) Reinforcement of Rudder

Ice impactに對してはTrailing edgeがWeak pointなので剛性upのためにHeavy Plate edgeとHori. Stringer typeを考えた。

#### (5) Arctic Ship Propeller Protection……CPP in NozzleとIce deflector ring with ice KnivesのCombinationがBest.

文献番号	表題	出典及び著者
14	Ice Impact Loads on Steering System Components of Arctic Class Ships	POAC 79 B. Menon, P.Noble

### 概要

ASPPRの舵関係のruleが適當か検討することを目的とする。

損傷統計によると、Rudder Stockの揺れ事故が多い。

各航走modeに於ける舵に氷の当り方について定性的記述あり。舵取機特性を含めた数学モデルを作りシミュレーション計算を行っている。計算結果は"PIERRE RADISSON"の実船計測の舵トルクと合っている。

PIERRE RADISSONを例にとり、各種の氷衝突を仮定してシミュレーション計算を行っている。

文献番号	表題	出典及び著者
15	Ice Forces & Accelerations on a Polar Class Icebreaker	POAC 79 P.G.Noble, W.K.Tam, B.Menson I.M.Bayly

#### 概要

船体を剛体と考え、円形の氷盤と非弾性衝突する数学モデルを電算シミュレーション計算している。計算結果は LOUIS-ST.LAURENT の模型試験結果、実船計測結果と加速度が良く合っている。

この結果をもとに、POLAR CLASS の砕氷船の与えられたOPERATION MODE に於けるIce Load の発現頻度分布を計算している。

文献番号	表題	出典及び著者
16	The Ship-Ice Interaction	POAC 79 E.Enkvist, P.Varsta, K.Riska

#### 概要

砕氷船の抵抗推進、Ice Load についての研究の現状を概観し、各項目毎に問題点、今後研究すべき点などを述べている。

文献番号	表題	出典及び著者
17	Summary of Selected Technical Results from Manhattan Arctic Marine Project	SNAME STAR 1981 No.2 A.D.Mookhock R.P.Voelker F.W.Debord

#### 概要

Manhattan 号の実験航海 (Arctic Marine Project) について以下の 4 項目について概要を述べている。

##### I Manhattan 号の氷海船への改造の考え方、概要

船型の決定、抵抗、推進、船体構造等

##### II 実験航海の結果 (1969 & 1970)

船型、抵抗、構造(強度、氷荷重、縦曲げ応力計測)、操船性結果とコメント

##### III 290 型タンカーの試設計 (1971)

上記結果を基に設計のクライテリアの設定と試設計船の概要について述べている。

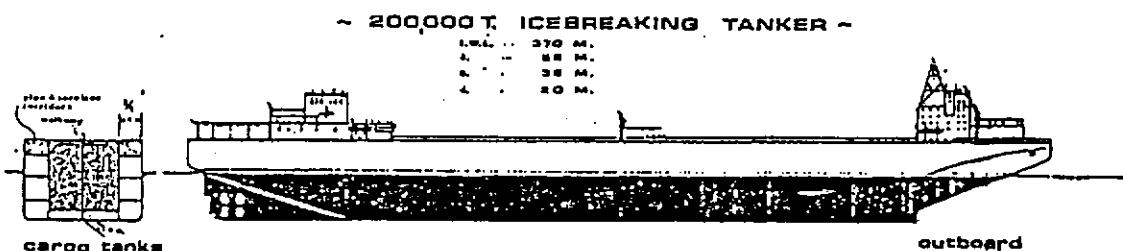
##### IV Manhattan 号のデータの今後の使い方

この 10 年間の技術の進歩にあわせ、上記データを再び解析する事が有用であること。特に船型、抵抗の模型テストと実船の比較、氷荷重等々(なお諸データは、既にオープンされており入手可)

文献番号	表題	出典及び著者
18	TECHNICAL DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTALLY SAFE ARCTIC TANKER	B.M.Johansson A.J.Keinonen etc } SNAME ICETECH '81 } DOME PETROLEUM Ltd.

烟頭

1. Kigoriak 号紹介( Spoon Bow, Water Spray System, 1 CPP with Nozzle .Reamer etc)
  2. 200型 Icebreaker O/Tの試設計例



船体構造強度 ASPPR A.C.10 modified

- ・A.C.10 ICに対応する板、小骨の設計式を提案している。
  - ・応力監視システムの提案

その他、Cargo Oil Handling System, Remote Sensing System  
装備概説

文献番号	表題	出典及び著者
19	A Rational Basis for Hull Ice-Strengthening Criteria	S.N.A.M.E. STAR 1981 No10 J.L.Coburn

概要

- 現在各船級協会・各国政府で提案されている氷海船の Hull Scantling の決定法を再検討し、Scantling 決定法を提案する。

- ・アメリカのShip Structure Committee (SSC) SR1267によって行われたもの  
SSCのmemberは、Military Sealift Command, U.S.C.G., Naval Sea Systems Command, 海運局, A.B.S., U.S.Geological Surveyである。

- Scantling を計算する手法を 7 段階にわけて考えている。

First Owner の要求により運航する季節、場所がわかると Ref(1)により海象が決定できる

Second Table 3 より Uniaxial Crushing Strength を決定する。

Third First で決まった氷圧より  $f_T$  (Triaxial Factor)を決定する。

**Fourth** 設計荷重を決定する。

Fifth effective ice thickness を計算する。

Sixth 船体外板の要求板厚を計算する。

Seventh frame の Section Modulus を計算する。

文献番号	表題	出典及び著者
20	On the Structural Analysis of Ice-Transiting Vessels	SNAME STAR 1981 No.11 P.C.Xirouchakis R.Stortstrom

**概要**

本論文は、氷海域を航行する船舶の船体中央部Side Shell 構造について氷の崩壊モードを考慮して荷重を決定し、Side Shell Stringer を弾性床上のBeamとして取扱う方法について述べている。

[解析手法]

- 1) 船側に加わる氷圧の評価……氷の崩壊モードを考慮し推定（出典は不明）
  - ・氷圧及びその崩壊モードは氷厚のみで決定される。（静的荷重として取扱う）
- 2) 船側構造のモデル化
  - ・船体構造はStringer 及びTrans FrameからなるGrillage 構造とする。
  - ・Stringer は、弾性床(Tr.Frame)上にあり、かつTr.BHDにより支持された梁とみなす。
  - ・Tr.Frame の上下端境界条件は固定支持の中間とする。

[結論]

(R) (Mc)

1. (1) Tr.B<sup>HD</sup> 反力 (2) Long Stringer Bending Moment (3) Tr.B<sup>HD</sup> Bending Moment は、無次元パラメータ  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  で表現され、各パラメータは無次元化された Tr.B<sup>HD</sup> Space のみに依存し、氷荷重  $q$  には依存しない。
2. Side Shell Stringer は、Tr.Frame により決定されるバネ定数を持つ弾性床上の Beam として取扱える。  
(追記)簡単な数値計算例有り。

文献番号	表題	出典及び著者
21	Results of Full Scale Trials in Ice of CCGS Pierre Radison	SNAME ICETECH '81 R.Y.Edwards I. .... Offshore Tech.Corp. M.A.Dunne, etc ..... Arctec Canada Ltd. B.Johnson ..... CCGS

**概要**

"R class"として建造されたCCGS所属の砕氷船 "Pierre Radison" の性能確認の為二度に亘って実施された実船計測( Summer Arctic Trials & Winter Trials in St. Lawrence, etc)結果の報告で下記4項目主体、いずれの結果も計画性能満足し良好。

- ① 氷盤中推進性能( Level Ice Transit Performance )
- ② " 旋回性能( Turning Performance in Level Ice )
- ③ 船体氷荷重及び氷圧( Hull-Ice Interactions )
- ④ プロペラ氷荷重( Propeller-Ice Interactions )

③については船体二ヶ所にStrain Gauge ; 1ヶ所にPressure Gauge 設置。計測Data 評価の為に先に該部構造のFEM計算を行い氷荷重-歪関係をつかんでおきそれを利用している。一方、氷圧については、同様にパネルの氷圧-歪関係をつかんでおきそれより求めている。結果的にはUSCG "Mackinaw" と非常に似た値を示している。etc.

④ L B d  
86.11m × 19.22m × 6.08m, 13,600HP, AC-DC, 2軸1舵 Arctic Class.3 ( 但しプロペラに関しては A.C.10で設計 )

文献番号	表題	出典及び著者
22	Application of Plastic Analysis to U.S.C.G. Icebreaker Shell Plating	Presentation at Annual Meeting, New York, N.Y. Nov. 19-21 1981 SNAME —Richard Chin et al

#### 概要

1. U.S.C.G. は 4 Type の Icebreaker を建造してきたが、先の 3 Type の就航実績による damage は framing の tripping/buckling が主でパネルは問題なかった。framing についてはウェブを厚くしたり、lateral support を追加したりして対応した。一方パネルについては plastic design により板厚を落し、framing とのバランスをとった。こうすることにより WIND CLASS (L=82m, △=6,500t) で約 100t の重量減となる。
2. 最新の POLAR CLASS では 3-hinge strip plate の plastic design を採用しているがうまくいっている。( p = 7.9Mpa for bow/stern )  
この plastic design では max. eternal deformation of panel を板幅の 0.3 % としている。
3. FEM Analysis では  $\sigma_y = 25/35/56 \text{ kg/mm}^2$  STEEL について 5 スパン連続梁で t = 22~38mm に対して 弹塑性大たわみ計算を行い現在採用している plastic design の妥当性と Ultimate strength の check をした。その結果パネルの collapse までにはなおかなりの residual strength があることが判った。

文献番号	表題	出典及び著者
23	Performance of Icebreaker YMER on the Swedish Arctic Expedition "YMER 80"	POAC 81 G.Liljestrom, K.Lindberg

#### 概要

Lpp = 96 m のスウェーデン砕氷船の北極海に於る実船計測結果。  
 TV による氷状観測、馬力、スラスト、rpm、Ice Belt の Stress が計測された。  
 Stress は荷重には換算されていないが、応力の拡がり、応力の統計的分布などが解析されている。  
 航海中の船殻の損傷について記されている。

文献番号	表題	出典及び著者
24	Ice Impact Loads on Ships	SPRING MEETING-ARCTIC SECTION, SNAME, MAY 15, 1982 -I.F.GLEN, C.DALEY

### 概要

現在DOME社などによって計画されているSUPER ICE BREAKER (UP TO CLASS 10)は Extrapolation Designであるので ASPPR などに示されているIce Load 設計式がなお成立するのかどうか確認する必要がある。この種の検討は1981 Ice TechのJohanssonによってCLASS 10について行われた。ここではIce Condition, Ship Particulars を仮定してYear-round Service Ice Breaker のDamage Probability を推定したところかなりの確率が予想されたので, Model Test, Full Scale Test, Theoretical Study, Damage ReportをもとにFuture Ship (特にHigh Power, High Ability のもの)に対するImpact Pressure/Load, Bearing Area, Hull Girder Stress etc の妥当な設計算式を求め, あるいはJohansson, Tunik らの算式の検討を行った。またASPPRとここで得られた結論との比較を行い, 大型になるほどASPPRは危険側であることが判明した。

文献番号	表題	出典及び著者
25	Ship Ice Interaction Models Designer's Approach	Arctic Section of SNAME. Calgary, Alberta, May 15 th, 1982 - Vlodek Laskow (DOME)

### 概要

船体と氷との相互干渉を以下のモードに分類して理論的アプローチを行っている。

#### 1. Head-on Impact on Iceberg

船体船首部が氷山に衝突する状態を軸対象回転体(剛体)のice wallへの貫通問題としてエネルギー保存則により扱っている。

氷の特性として衝突の過程に於て、時間的に変化する氷圧を平均化したSpecific Crushing Energyなる物理量を定義している点に特徴がある。

#### 2. Impact on Ice-Edge

船体(剛)と氷盤との衝突、接触現象を運動方程式により解いている。

船体形状、等々パラメータを定式化し、数値解の例を示している。

#### 3. Oblique Impact

船首ビルジ部が、氷盤に表面接觸する場合の現象を運動方程式により解いている。

#### 4. Beaching on Grounded Ice

船底が浅水域で、Grounded iceに乗り上げた場合の問題を取り扱っている。初期のbowによる乗り上げ、氷のCrushing、船底と氷とのFriction等は無視し、船底が乗り上げ静止した最終的な状態に対する物理モデルを考えている。

(c) ASPPR(Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations)の解説

砕氷船の設計等にあたってはASPPRが適用される事が多いので、ここにその構造関係規則の解説を記す。

(c)-1 同規則のもとと思われるFinnish-Swedish Rule の部材算式

(i) Transverse framing

<仮定> (ア) すべてのClass Notationについて、氷厚を800m一定とする。

(イ) frameは両端固定

(ウ) plastic design

仮定(ア), (イ)を図示すれば右図となる。右下図の時、

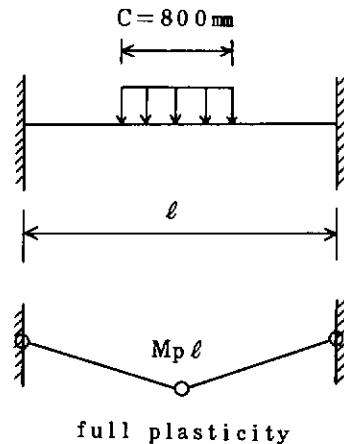
$$M_p \ell = \frac{pSc}{16} (2\ell - c) \quad (1)$$

ここで、S=スペース、 $\ell$ =スパン

上式に  $c = 800\text{mm}$  を代入して、単位を調整すれば

$$M_p \ell = \frac{pS}{8} (\ell - 400) \times 0.8 \quad (2)$$

$$\therefore Z = \frac{M_p \ell}{\sigma_y} = \frac{pS}{8\sigma_y} (\ell - 400) \times 0.8 \quad (3) \quad (\text{cm}^3)$$



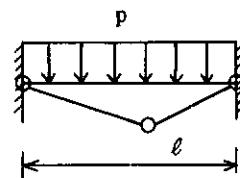
$\sigma_y$  = 使用鋼材のyield point

(3)式を  $1/0.8 = 1.25$ , 25%の安全率をみれば

$$Z = \frac{pS}{8\sigma_y} (\ell - 400) \quad (4) \quad \text{Finnish-Swedish Rules '71}$$

及び、ASPPR

$p : \text{kg/cm}^2$ ,  $S : \text{mm}$ ,  $\ell : \text{mm}$ ,  $\sigma_y : \text{kg/cm}^2$



(ii) Long l framing

(1)式で  $c = \ell$  とすれば、

$$M_p \ell = \frac{pS\ell^2}{16000} = \frac{pS\ell^2}{13000} \times 0.8125 \quad (\text{kg-cm}) \quad (5)$$

(3)→(4)式と同じく、25%の安全率をみれば、

$$Z = \frac{pS\ell^2}{13000\sigma_y} \quad (6) \quad \text{Finnish-Swedish Rules '71}$$

(iii) Shell plating

<仮定> (ア) 長方形板とする→strip

(イ) 周辺固定

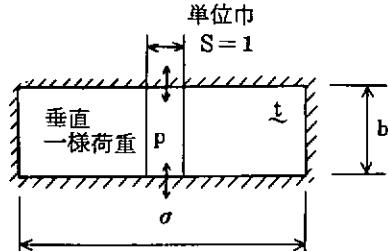
(ウ) plastic design

右図の  $M_p \ell$  は次式で得られる。

$$M_p \ell = \frac{pb^2}{16} \quad (7)$$

$$pb = \frac{16}{b} M_p \ell$$

$$\therefore M_p \ell = \frac{pb^2}{16} \quad \text{塑性崩壊時}$$



$$\therefore Z = \frac{M_p \cdot l}{\sigma_y} = \frac{p b^2}{16 \sigma_y} = \frac{1 \cdot t^2}{6} \quad (\text{上図参照})$$

$$\therefore t^2 = \frac{3}{8} \frac{p b^2}{\sigma_y} = \frac{4}{9} b^2 \frac{p}{\sigma_y} \times 0.844$$

$$\therefore t = \frac{2}{3} b \sqrt{\frac{p}{\sigma_y} \times 0.844} \quad (8)$$

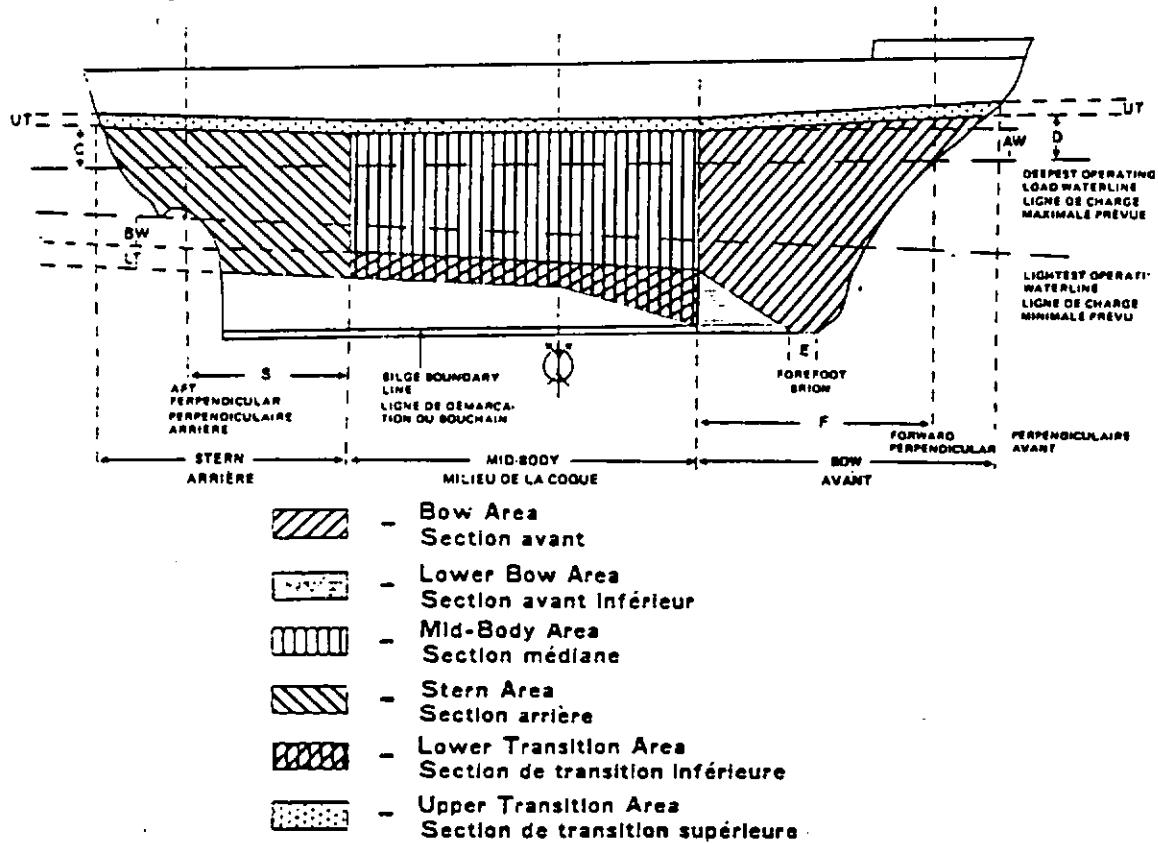
$$t = \frac{2}{3} b \sqrt{\frac{p}{\sigma_y}} + 2 \quad (9) \quad \dots \text{Finnish-Swedish Rules '71}$$

↑  
corrosion/abrasion margin

$$\text{ただし, } \otimes/\text{aftは, } t = \frac{2}{3} b \sqrt{\frac{1.2 p}{\sigma_y}} + 2 \quad (9')$$

### (c)-2 ASPPR の部材算式

(i) 下図に示す耐氷補強範囲を決めている。又、その範囲は下表により、各Arctic Classにより異なる。



Item	Arctic Class	Values expressed in feet and centimetres							Values expressed as a percentage of the length (L) of the ship.		
		Column I 'D' ft. cm.	Column II 'A.W.' ft. cm.	Column III 'B.W.' ft. cm.	Column IV 'U.T.' ft. cm.	Column V 'L.T.' ft. cm.	Column VI 'C' ft. cm.	Column VII 'S' ft. cm.	Column VIII 'T' ft. cm.	Column IX 'F' ft. cm.	Column X 'T' ft. cm.
1	IA	4 (122)	2.5 (76)	3.3 (107)	1 (30)	2 (61)	3.3 (78)	2.3	36	19	
2	2	5 (152)	3 (91)	5 (152)	1.5 (46)	2 (61)	3 (91)	2.3	26	15	
3	3	6 (183)	4.5 (137)	7.5 (235)	1.5 (46)	2 (61)	4.5 (137)	2.3	26	19	
4	4	7.5 (224)	6 (183)	12 (366)	2 (61)	3 (91)	6 (183)	2.3	26	15	
5	6	12 (366)	9 (274)	15 (457)	3 (91)	4.5 (137)	9 (274)	2.3	26	20	
6	7	16 (488)	12 (366)	20 (610)	4 (122)	6 (183)	12 (366)	2.3	26	23	
7	8	20 (610)	15 (457)	25 (762)	5 (152)	7.5 (229)	15 (457)	2.3	36	23	
8	10	24 (732)	18 (549)	30 (914)	6 (183)	9 (274)	18 (549)	2.3	36	23	

(ii) 耐氷補強範囲にある外板、フレームに対する設計氷荷重は下表の通り決められている。

Item	Arctic Class	Ice Pressures in pounds per square inch (kilopounds per square centimetre)					
		Column I Bow Area	Column II Lower Bow Area	Column III Mid-body Area	Column IV Lower Transition Area	Column V Upper Transition Area	Column VI Stern Area
1	I	250 <sup>a</sup> (17.13)	**	100 <sup>a</sup> (7.03)	**	**	100 <sup>a</sup> (7.03)
2	IA	400 (28.12)	210 (14.78)	260 (18.18)	180 (12.67)	130 (9.14)	325 (22.87)
3	2	600 (42.18)	320 (22.30)	400 (28.12)	260 (18.18)	200 (14.06)	500 (35.15)
4	3	800 (56.24)	420 (29.15)	530 (37.26)	370 (26.01)	300 (21.25)	640 (44.40)
5	4	1000 (70.30)	530 (37.26)	640 (44.40)	460 (31.34)	320 (21.25)	820 (57.65)
6	5	1200 (84.36)	640 (44.40)	750 (51.73)	520 (36.56)	370 (26.01)	940 (66.06)
7	6	1400 (98.42)	740 (52.02)	850 (59.76)	600 (42.18)	420 (29.33)	1050 (73.72)
8	7	1500 (105.65)	800 (56.24)	950 (66.79)	640 (46.40)	470 (31.04)	1200 (84.36)
9	8	1500 (105.65)	800 (56.24)	950 (66.79)	640 (46.40)	470 (31.04)	1200 (84.36)
10	9	1500 (105.65)	800 (56.24)	950 (66.79)	640 (46.40)	470 (31.04)	1200 (84.36)

<sup>a</sup>In an Arctic Class I ship, only that part of

(a) the bow area and stern area lying between the horizontal projections of the upper and lower edges of the mid-body area need be considered; and

(b) the mid-body area forward of amidships need be considered.

\*In an Arctic Class I ship, ice pressure need not be considered as a factor in the design of the hull in the lower bow area, lower transition area and upper transition area, and the strength standards usually applied to ocean-going ships shall apply in these areas.

(iii) 外板、フレームの部材算式は前記Finnish-Swedish Rule の思想と同じである。以下に算式を示す。

$$\cdot \text{フレームの断面係数 } (cm^4) \left\{ \begin{array}{ll} \text{Trans.} & Z = \frac{pS}{8\sigma_y} (\ell - 400) \\ \text{Longl.} & Z = \frac{\ell^2 SpK}{\sigma_y} \end{array} \right.$$

$$\cdot \text{外板の板厚 } (mm) \quad t = \frac{2}{3} S \sqrt{\frac{p}{\sigma_y}}$$

$$\text{ここで, } p = \text{design ice pressure } (kg/cm^2) \quad K = \begin{cases} 1/20300 & \cdots \text{bow area} \\ 1/18600 & \cdots \text{mid-body} \\ & \text{area and} \\ & \text{stern area} \end{cases}$$

$$S = \text{frame space } (mm) \quad \ell = \text{frame span } (mm)$$

$$\sigma_y = \text{use steel yield point } (kg/cm^2)$$

(V) ウェブフレーム、ストリンガーに対する設計氷荷重は下表の通り決められている。

Minimum Ice Loading, expressed in Tons per Foot Run (Tonnes per Metre Run), for Stringers or Web Frames in the Areas Specified in the column headings below				
Item	Column I Arctic Class	Column II Bow Area	Column III Mid-body Area	Column IV Stern Area
1	1	22 (73.3)	*	*
2	1A	25 (83.3)	20 (66.6)	22 (73.3)
3	2	30 (99.9)	25 (83.3)	27 (89.9)
4	3	40 (133.2)	30 (99.9)	35 (116.6)
5	4	50 (166.5)	35 (116.6)	40 (133.2)
6	6	70 (233.1)	45 (149.9)	55 (182.2)
7	7	80 (266.4)	50 (166.5)	60 (199.8)
8	8	100 (333.3)	60 (199.8)	75 (249.8)
9	10	165 (549.5)	70 (233.1)	80 (266.4)

Note: The loading values shown in this Table are based upon a stringer or web frame spacing of 4 feet. For any other spacing, these loading values shall be increased or decreased, respectively, in direct proportion to the amount that the actual spacing is greater than or less than 4 feet.

\*In an Arctic Class I ship, ice loads need not be considered as a factor in the design of the hull in the mid-body area and stern area, and the strength standards usually applied to ocean-going ships shall apply in these areas.

(V) ウェブフレーム、ストリンガー等の各部材の設計ベースはあくまで弾性であり、使用鋼材の降伏点を越えないようにしなければならない。

(d) USCG の動向

USCG の砕氷船の構造設計法に関し主として SNAME の文献( 1, 2, 3, 5, 19, 22, )を調査したが、表 5.2.1 にその要約を、また表 5.2.2 に主要な砕氷船の主要目を示す。

アメリカ合衆国における本格的な砕氷船建造と砕氷活動は第二次世界大戦中に北部海域の防備、五大湖からの物資輸送、五大湖で建造された船舶の通航(セントローレンス水路)の必要性から大統領命令で USCG に課された任務に始まる。その当時、五大湖、ベーリング海、グリーンランド周辺海域の氷象データは過去 15 年間収集されていたが、設計に用いることができるような正確なものではなかったので、まず他国の砕氷船等の調査を行なうことにより砕氷船の具備すべき条件、適した船体構造様式、アイスペルト部の設計氷圧と設計法を設定した。その中で主なものは次のとおりである。

- 1) 具備すべき条件として、ビセットのときに上方に押し上げられる船体形状、船首プロペラとツイン船尾プロペラの採用、操船が容易な L / B 比。
- 2) 構造様式として船首尾部は甲板とフレームのクリッジ、中央部はトラスフレームとし機関室は二重船を採用する。
- 3) 設計氷圧としてビセットのとき船体全重量を水線部で支えたときの反力、但し最大 3,000 psi とする。

- 4) 外板は高張力鋼を用い、建造法は溶接によるブロック工法とする。
- 5) 構造設計は弾性設計であり、骨は集中又は分布荷重をうける両端固定単純梁として、外板は中央集中荷重をうけるパネルと考え、許容応力はいずれも弾性降伏応力の半分とした。

このようにして 1944 年に建造されたのが Northwind, Mackinaw である。引き続き WIND クラスの数隻が完成し、これらの砕氷船は期待通りの活躍をした。

文献 2) は現在の各国ルールのもととなっているもので、バルチック海の 200 隻にのぼる砕氷船の損傷レポートよりパネル、フレームの解析を行ない設計水圧、設計法を提案した。USCG でも後年の POLAR クラスではこの考え方を一部採用している。

文献 3), 5) では WIND クラスの次世代である POLAR クラスの設計について説明しているが、基本的には WIND クラスの損傷実績をもとにしているので全体的により合理的に、軽量化されたものになっている。このクラスにおいては船首プロペラは廃止され、-50 °C 用の低温用鋼が採用された。

文献 19) では各国ルールのレビューと新しい設計法について述べている。設計水圧については氷の圧縮強度、氷厚、歪速度の関係式として求め、荷重範囲については基本的には氷厚としているが、リッジファクター、アイスバーグファクターも導入した。またこれまでの損傷実績よりフレームが弱く、パネルが強いことが判り、フレームについては 3 ヒンジ崩壊を想定するヨハンソンの考え方を入れ、またパネルについては塑性解析を行い許容撓みを設定するなどそれぞれバランスのとれた寸法とした。

文献 22) では最新の知識を駆使して外板について FEM 弹塑性解析を行い最新の POLAR クラスで採用した設計法の妥当性を裏付け船体の軽量化に成功したこと、さらにお軽量化の可能性があることを示唆している。

表 5.2.1. U S C G 破氷船設計の動向

文献番号	文献、発表年	概要	設計氷荷重
1)	"Development of Ice-Breaking Vessels for the USCG" 1946	<ol style="list-style-type: none"> <li>USCGが初めて本格的な砕氷船を設計・建造した。(第2次世界大戦中)</li> <li>他の砕氷船の調査などをを行い、砕氷船の具備すべき条件を検討。</li> <li>WINDクラス、MACKINAWの設計・建造</li> </ol>	$P = \frac{\text{排水量}}{\text{総水線長}} \times (\text{方向余弦})$ <p>但し、最大 3000psi (ビセッタのときに船体が押上げられる状態)</p>
2)	"On the Ice Strengthening of Ship Hulls" 1967	<ol style="list-style-type: none"> <li>LRの要請によりバルチック海の約200隻の損傷実績よりフレーム、パネルの強度解析を行い、設計氷圧、設計法を提案した。</li> <li>Finnish-Swedish, ASPPR, ABS, LRなど各国ルールのもととなつた。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>設計水圧は船首、中央、船尾部のそれぞれに対し、<math>\sqrt{(\text{排水量}) \times (\text{SHP})}</math>をベースに設定した。</li> </ol>
3)	"The Design of Polar Icebreakers" 1970	<ol style="list-style-type: none"> <li>POLARクラスの設計手法</li> <li>船型、抵抗、推進、主機、プロペラ、構造、復原性など多方面にわたり検討した。</li> <li>WINDクラスの損傷はフレームが主である。</li> <li>パネルは低温脆性破壊が一部発生したが強度不足によるのではない。</li> </ol>	
5)	"Structural Considerations in the Design of POLAR class of Coast Guard Ice-breakers" 1975	<ol style="list-style-type: none"> <li>POLARクラスの構造設計手順</li> <li>WINDクラス、GLACIERの損傷実績をもとに改良</li> <li>WIND、GLACIERではフレームが弱く、パネルが強い。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ビセッタ…300psi ラミング…600psi 局部的…1200psi</li> <li>ラミング時の衝撃荷重は船首から <math>L/10 \sim 2L/10</math> で最大となる。</li> </ol>
19)	"A Rational Basis for Hull Ice-Strengthening Criteria" 1981	<ol style="list-style-type: none"> <li>米国船体構造委員会で各国ルールを調査、検討し、新しい設計法を提案</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>氷荷重は気温・季節によってきまる氷の軸圧縮強度に3次元影響、歪速度影響を考慮して求める。</li> <li>氷荷重幅は氷厚にリッジファクター又は氷山ファクターを考慮して求める。</li> </ol>
22)	"Application of Plastic Analysis to USCG Icebreaker Shell Plating" 1981	<ol style="list-style-type: none"> <li>WIND、GLACIER、POLAR各クラスのパネル設計法について述べた。</li> <li>弾性設計のWINDクラスではパネルがオーバーデザインであり、塑性設計によるPOLARクラスでは大幅な鋼材重量減が可能となった。</li> <li>最近の解析手法を用いてPOLARクラスの設計法の妥当性を認め、なお軽量化の可能性があることを示した。</li> </ol>	

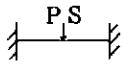
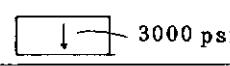
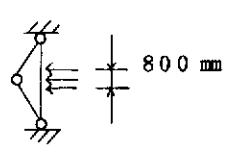
構造方式	設計法	備考
1. 船尾部は甲板とフレームの格子構造 2. 中央部はトラス・フレーム	1. 弾性設計とし許容応力を $0.5 \times$ (降伏応力)とした。 2. 計算モデル フレーム  パネル 	1. 船首…1プロペラ 船尾…2プロペラ 2. 高張力鋼採用 3. 溶接によるブロック工法 4. GLACIER も同じ設計
	1. フレーム設計(3ヒンジ崩壊)  安全率を1.25とする。	1. ヒンジ崩壊を想定した塑性解析を行い、従来船のアイスペルト部はフレームが弱い傾向にある。 2. 氷荷重幅800mmはバルチック海の最大氷厚
		1. アイスベルトの定義 2. $-50^{\circ}\text{C}$ 用低温用鋼 3. 連続碎氷、ラミング時の抵抗算式とモデルテスト
1. 中央部アイスペルト部も甲板とフレームの格子構造とした。 2. 甲板間高さ………2.4m フレームベース … 0.406m 3. フレームは外板に垂直とし、横倒れを防ぐ。	1. 損傷解析、FEM 解析を行い、設計算式を作成 2. ピセット、ラミングに対して降伏応力を許容値とする弾性設計、局部荷重に対しては撓みを許容した、塑性設計を行う。	1. 船首プロペラの廃止 2. 鋼材…ASTM, A537 3. ピーチング時の船体曲げは2次的 4. コロージョン・マージンはラダーを含め全水線下に6mm、重量は計175トン
	1. フレームは上記2)のヨハンソン公式を用いる。 2. パネルは撓みを許容した塑性設計による。	1. 実船のフィードバックは必須 2. USCG の碎氷船はパネルが強く、フレームが弱い傾向をもつ。 3. 精密な設計よりもむしろ構造詳細(例えばプラケット)やワークマンシップが大事。 4. 信頼性解析の必要性
	1. パネルは工作精度程度の許容たわみを考慮した3ヒンジ・ストリップ・モデルによる弾塑性解析によりうすくできることを示した。 2. 1の方法は弾塑性FEMを用いてパラメトリックスタディーを行った結果、なお強度的余裕があることが判った。	1. パネルについてはもっと薄くできることを示唆している。

表 5.2.2 USCG の砕氷船主要目

船名	RARITAN	CAUTUS	STORIS	NORTH WIND	MACKINAW	GLACIER	POLAR STAR
建造年	1939	1941	1941	1944	1944	1954	1975
全長(m)	33.53	54.86	70.10	81.99	88.39	94.67	121.62
垂線間長(m)	32.00	51.82	67.10	76.20	85.34	88.39	107.29
最大幅(m)	8.05	11.28	13.11	19.35	22.66	22.64	25.48
水線に於ける幅(m)	7.62	10.67	12.50	18.90	21.34	22.10	23.77
深さ(m)	4.56	5.30	5.88	11.52	8.55	11.68	15.02
吃水 通常(m)	3.20	3.66	4.27	7.85	5.79	7.85	8.53
吃水 最大(m)	3.35	3.86	4.52	8.86	—	8.69	9.68
排水量 通常(M.T.)	334	955	1788	5385	5222	7722	11176
排水量 最大(M.T.)	360	1041	1894	6619	—	8584	13390
乗組員(人)	16	47	103	145	132	197	138
航海速力(ノット)	1.23	1.3	1.4	1.6	1.6	17.6	1.7
推進方式	ディーゼル, 電動モーター	同左	同左	同左	同左	同左	同左
推進馬力(SHP)	1000	1000	1800	1000前3333 後6666	21000	18000D-E 60000G-T	—
プロペラ数	1	1	1	3前1 3後2	2	3	—

(e) Canada 文献の相互関連

(b)にて抄訳を示した文献のうち、Canadaから発表された文献の中には同一の研究プロジェクトに関し別々に発表されているが、内容的に相互に関連しているものが多いのでその関連をここで記す。

大別すると Dome Petroleum Ltd. から発表されているものと Arctec Canada 社等から発表されているものにわかれれる。

(i) Dome Petroleum Ltd. の発表文献(引用文献番号 18, 25)

Dome Petroleum Ltd. は自社保有の砕氷支援船Kigoriak 号による実氷海実験データをもとに砕氷船の構造設計上の提案等をしている。即ち、Johansson, Keinonen 等(文献18)は Kigoriak 号の紹介、200型砕氷タンカーの試設計の紹介、及びASPPR Class 10 に見合う設計荷重の提案等を行い、Laskow(文献25)は船体と氷との相互干渉の種々のモードについて理論的なアプローチを試み、その結果を SNAME ARCTIC SECTION('82)に発表している。

このように、実験、理論の両面からの研究がなされてきている。

(ii) Arctec Canada 社の発表文献(引用文献番号 6, 8, 10, 15, 14, 21, 24)

Arctec Canada 社のCCG 保有の幾つかの砕氷船での実験経験をもとに、船体と氷との相互干渉のシミュレーション等について論じている。

(1) 船体と氷盤との衝突相互干渉

Majon 等(文献6)は、St. Lawrence 河を航行する船舶の安全性を論じる為に船体と氷盤との衝突、接触に関する数学モデルを氷盤の氷縁形状、破壊モードに応じて示しており、理論解と実船計測Data 等との対比を試みながら、氷荷重の予測等を行っている。

Dunne, Noble等(文献8)はCCG 所属の砕氷船Norman Mcleod Rogers 号の実船計測データを発表するとともに上記数学モデルによる計算結果との対比を行い、数学モデルの改善について触れている。

更に、実船計測は、CCG 所属の砕氷船Louis S. St. Laurent 号でも実施されており、Noble 等は、その計測結果を発表する(文献10)とともに 1/36 縮尺モデルによりテスト結果及び数学モデルでのシミュレーション結果との対比を行っている(文献15)。

(2) 舵、プロペラと砕氷片との相互干渉

CCG 所属のPierre Radison 号の実船計測で、これらの問題に対するデータが得られている。Menon, Noble等(文献14)は主として舵トルクについて舵取機特性を含めた数学モデルにてシミュレーション計算を行い実船計測データと比較している。更にDunne, Johnson 等(文献21)は氷盤中の推進、旋回性能、船体氷荷重及び氷圧と併せプロペラの氷荷重等を発表している。

(3) 設計への考察

Glen, Daley 等(文献24)は、各種の氷荷重提案式を現行規則と併せて整理対比し氷海域の通年運航に従事するような大型砕氷船の構造設計上の考察を加えている。

CCG 所属の砕氷船での実船計測データは数多く収集されており、以上に示したように多くの文献で発表され考察も加えられているので、今后設計への展開、規則へのとりこみが期待されるが、高性能の大型砕氷船或いは氷海商船への設計的な応用は、なかなか難しいようである。

(2) 設計検討

(a) 設計方針

対象氷海域航行の為、船殻構造設計上の基本的な条件を下表の如く設定した。

項目	設計条件
氷象	最大氷厚 3 m の平坦氷とする
氷性	圧縮強度 22kg/cm <sup>2</sup> の機械的性質を有する 曲げ強度 10 " } } とする
環境温度	大気温 最低 -55°C 海水温 最低 -2°C } とする
船速	平坦水中最大 5 kt とする

又、適用規則としては日本海事協会鋼船規則及びCanadian ASPPR Class 10を考えている。構造部材寸法の評価にあたってはNK規則により通常のオイルタンカーとしての必要な寸法を定め、氷荷重に対しては下記の方針で、その補強要領を検討する。

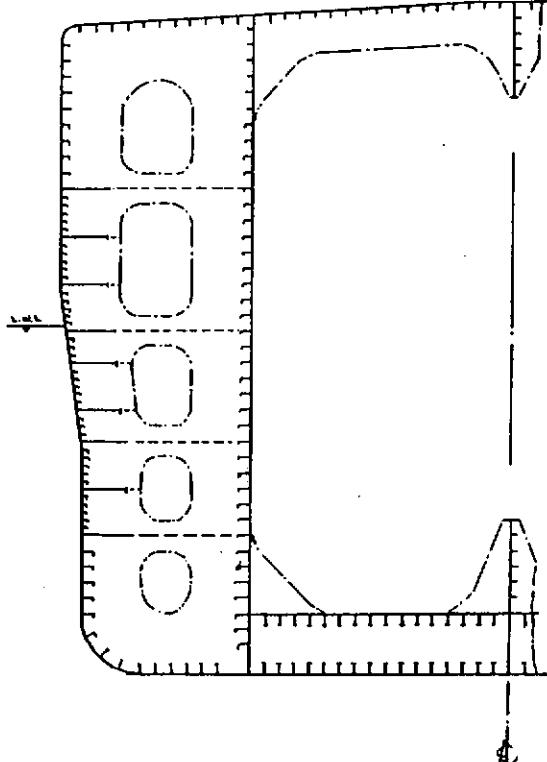
- (1) 外板及びフレーム等の小骨の氷荷重及び補強範囲はASPPR Class 10の要求に従い設定する。
- (2) 外板及びフレーム等の小骨の寸法はASPPRに規定せる寸法とする。
- (3) ストリンガー、トランスウェブ等の大骨については平坦氷の圧縮強度に見合う氷圧が平坦氷の氷厚に相当する範囲に亘って作用する場合の荷重を考える。
- (4) 上記大骨材の寸法は発生応力が、降伏応力を超えないように定める。
- (5) 船体梁としては3m厚さの平坦氷に突入せる場合の船首部上向きの氷荷重により誘起される縦曲げモーメント及び剪断力を考慮する。

船体の水線上、大気暴露外板は、低温の環境下におかれるので、この温度条件のもとに必要な韌性を有する鋼材を使用する必要がある。ここでは更に高強度の特性もいかして36kg/mm<sup>2</sup>級の低温用高張力鋼を使用する事で考えた。

以上の設計方針のもとに、船殻構造を大きく中央部、船尾部、船首部の三つの構造区分にわけ5.1に示す配置をベースにして検討を進めている。

#### (b) 中央部構造

横断面形状を下図に示す。



図からもわかるように通常のオイルタンカーに較べ、下記のような形状的な特徴を有している。

- (1) バラスト吃水が満載吃水と同一になるよう計画してあるので、非常に多くのバラスト容積を有する。その結果、船巾に較べ船深さが深い。
- (2) ビセット時等の氷荷重緩和を考慮し、船側外板の一部が約8°の傾斜壁を有す。
- (3) カーゴタンクであるセンタータンク下にはOil Pollutionに対する配慮として二重底を設ける。

構造様式としては、船体中心線上に、二重底及び横隔壁構造支持の為に、センターラインリングを設け、横強度を保持する為に4.8mおきにトランスウェブを設ける。氷荷重に耐える為に、サイドタンク内のトランスリングは、数多くのストラットを有するとともに、ウェブ深さも深い強固な構造とする。

氷荷重が直接作用する船側外板部は、更に約1.8～2.7m間隔で設けられたストリンガーとトランスリング間に1.6m間隔で設けられたパーティカルウェブとで格子をなす構造により補強する。

補強部分の船側外板付のロンジ材のスペースは過大な構造寸法とならぬよう密に配置する。

#### (c) 船首部構造

以下に構造方式の大略を述べる。

- (i) 外板、フレームの設計にあたってはASPPRのArctic Class 10に示された耐氷補強範囲、氷荷重、部材算式に従う。
- (ii) ストリンガー、ウェブの設計では同じくArctic Class 10に該当する氷荷重を用いる。その結果、部材に発生する応力が使用材質の降伏応力を越えないようとする。  
又、氷荷重の負荷にあたっては、耐氷補強範囲にあって設計上最も厳しい荷重位置を考える。
- (iii) 外板補強はロンジフレームによる縦防とう方式とする。
- (iv) ロンジフレームはオーディナリ・ウェブフレーム間を数等分した位置に設ける中間ウェブフレームで支持する。
- (v) 中間ウェブフレームは縦桁をオーディナリ・ウェブフレームで支持する。
- (vi) 大氷塊との衝突時に、FP近傍で発生する氷荷重に対して十分な配慮を行う。つまり、船体中心線上に隔壁を設け、上下方向せん断力を受け持たせる方式を探る。
- (vii) ステムの板厚が大きくなった場合にはイモノの使用も考える。

#### (d) 船尾構造設計方針

船尾構造についてはアイスベルト部の設計も重要であるが、それ以上に振動問題などが生じないよう配慮しつつ18万馬力の推進装置をうまく配置する必要がある。

従って主機選定によって構造配置が大きく変わることが予想されるが、当面は次のような基本的考え方方に立って検討を進める。

##### (i) 耐氷構造

ASPPRにもとづき ICE CLASS 10仕様の構造とする。構造方式はまず吃水線に合せてプラットホームデッキを全幅にわたって設けホリゾンタルメインとし、トランスウェブ位置では強固なストラットで両舷を結ぶ方式とする。外板の防撃は甲板とフレームの格子構造とし、要所要所にトランスウェブを設ける。アイスベルト幅、外板パネル、フレームの寸法はASPPRに従い、トランスウェブ、ストラットなどは直接計算によって寸法決定を行う。

船尾バラストタンク以外の船側部は二重殻として氷片などの衝突時の安全性を高める。

##### (ii) 機関室配置に対する配慮

主機出力が18万馬力ということを考えると、主機のスペースのみならずジェネレータ、ポンプ、ボイラーなどの補機類、さらに電動モーター推進の場合は各パネル類に必要なスペースが膨大なものとなるので、プラットホームデッキはなるべく多く、かつ広く配置する。また、船側二重殻の採用に

より二重底上にプラケットなどの障害物がなくなる。

### (iii) 防振対策

広大な二重底の振動あるいは過大な変形防止のため、また上甲板上の居住区、エンジンケーシングの振動防止のために機関室前部に中心線隔壁を二重底から上甲板まで、また居住区後壁とエンジンケーシング前壁に合せて横隔壁を設ける。機関室の前部にある両舷上部バラストタンクの隔壁を中央部縦通隔壁と連続させ、かつ居住区の側壁も同じ位置とし居住区防振に役立たせる。このようにして機関室を縦横の隔壁で構成することにより、また必要箇所にはピラーなどを設けることにより過大な変形の防止、振動防止対策を行う。特に電動モーター推進の場合はジェネレータエンジンを後部プラットホームデッキに設けることになるので、特に強固な構造とする必要があろう。

## 5.3 船体艤装

### (1) 文献調査

#### (a) 方針

文献調査は来年度に実施する20万トン独航型砕氷タンカーの概念設計に係わる船体艤装主要機器及び配置上の検討項目に的を絞って行った。

また内容要約に当っては(b)に述べる分類に従って整理し資料活用に便なるよう配慮した。なお氷海商船に関する知識の裏付けとなりうるものについては一見常識と思われる内容であってもあえて収録した。

#### (b) 分類

大区分は以下の5項目とし、中区分はその内容に依り最も適当と思われるタイトルを付した。

I. 一般

II. 実船紹介

III. タンク凍結防止

IV. 解凍、凍結、結露防止

V. 氷海航行関連装置

(c) 文献抄訳集

以下に要約した 37 項目の内容を紹介する。

№	大区分	№	中区分		
I	一般				
表題		出典及び著者			
Ice Accretion on Ships with Special Emphasis on Baltic Conditions		By Jain-Erik Lundgrist Ingewar Udin SMHI Rapporter-Meteorologi och Klimatologi Nr.RMK 7 (1977)			
<b>概要</b> 風速と気温について ○ 風速 5 m/s 以下では着氷はおこらない。 ○ moderate icing は風速 7 m/s, 気温 -25°C で発生する。 ○ severe icing は風速 10 m/s, 気温 -4.5°C で発生する。 (ただし、上記については船速、航路を考慮していない。) 上記の事柄について、沢田レポート(1966)とは気温 -6°C, 風速 10 m/s で大きな差がある。つまり Severe icing が沢田レポートによると light icing となっている。これはバルト海の海水の塩分が少なく、-0°C 近くから氷結が起ることが原因である。 ○ 気温と風速についての着氷量の理論式を示す。					
Fig.13 : 風速及び気温と着氷の関係 (バルト海と海洋との比較図)					

№	大区分	№	中区分
I	一般		
表題		出典及び著者	
Alaskan Transportation: An Overview of Some Aspects of Transporting Alaskan Crude Oil		Marine Technology — July, 1979	
<b>概要</b> 北極圏側の Prudhoe Bay での石油開発において、アラスカ港の Valdez までパイプライン工事、Valdez におけるターミナル建設およびそこからのタンカー輸送について概要が述べられている。 タンカーについては氷海航行として何ら特別の設計はしていないが、この区域の環境および安全上から規制している Alaska Tanker Law (殆んど要求事項は IMO タンカールールと同様と思われる) に従った船舶としている。現在までのところタンカーオペレーションも含めて事故および汚染等はおきていない。			

大区分	中区分
I	着氷等
表題	出典及び著者
<i>Ice Accretion on Ships with Special Emphasis on Baltic Conditions</i>	By Jain-Erik Lundgrist Ingewar Udin SMHI Rapporter-Meteorologi och Klimatologi Nr.RMK 7 (1977)
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>着氷の主要因は“しぶき”の氷結付着であり、雪、雨、霧等による着氷は単独としてはあまり大したものでないが、“しぶき”の着氷と一緒になるときもっとも危険となる。</li> <li>“しぶき”氷結に影響する重要な気象要因は気温と風速であり、風速が大きい程、気温が低い程氷結率が高いが、<math>-8^{\circ}\text{C}</math>～<math>-12^{\circ}\text{C}</math>以下では常に低くなる。</li> <li>海面温度も着氷に影響する。<math>6^{\circ}\text{C}</math>以上では着氷はおこらない。</li> <li>Severe icing は <math>4^{\circ}\text{C}</math>以上では着氷なく、<math>2^{\circ}\text{C}</math>以上でまれにある。</li> <li>航路も着氷の重要な要因である。出合角 <math>20 - 60^{\circ}</math>に対して着氷率が高い。しかし出合角の大きさも波高次第である。</li> <li>船速も着氷の重要な要因であり、速度が大きければ着氷率も高い傾向にある。</li> <li>着氷予報は表をもとに作られ、放送されるが、着氷の船に対する影響は船によって異なるため、注意を要する。</li> </ul>

大区分	中区分
I	実験テスト結果
表題	出典及び著者
<i>Technical Development of an Environmentally Safe Arctic Tanker</i>	B.M. Johanson, A.J. Keinonen, B. Mercer — Dome Petroleum Ltd.
概要	<p>CANMAR KIGORIAK号, Dome, Arctic Class 4 の実船テスト (1979 ~ 1980)</p> <p>目的 : Class 10 の oil/LNG タンカー建造を目指したもの。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Spoon shaped bow. .... short bowで cargo ship 向き</li> <li>(2) Water spray sys. .... 2 Pumpsにより bowに 2 kts speed 時 15 cm Coverする容量で 50% の friction loss を少なく出来る。</li> <li>(3) 推進器は 1 軸でノズル付とし、可変ピッチプロペラ可能とした。軸馬力 16,400 hp。</li> <li>(4) Eng は 中速 Diesel と gear 連結、 clutch は slip 可で dieselelectric に比し F.O. 消費小。</li> <li>(5) 操縦性向上のため Bow &amp; Stern thruster 付。前部にリーマ付。</li> <li>(6) FOT は inside の tank を使用。</li> <li>(7) 多年氷 : 1 年氷 max. 1.73 m, 多年氷 max. 1.0 m, リッシュアイス水面下 1.3 m, 水面上 7 m。</li> <li>(8) 1 年中北極海で動けるには class 10 以上の強度が必要。</li> </ol>

大区分	中区分
I 一 般 表 題	VLCC タンカー概念設計 出典及び著者
Technical Development of an Environmentally Safe Arctic Tanker	B.M. Johanson, A.J. Keinonen, B.Mercer — Dome Petroleum Ltd.
概要	

VLCC タンカーの概念設計 ( 200,000 DWT )

- (1) 二重殻, 2軸, f' cle 有り。居住区は前部, Eng. Roomは後部。
- (2) cargo tank として二重底も利用。但し, IMO damage 要求の居住区からの距離はキープ。
- (3) deep well pump 方式。
- (4) hull strength, damage stability は略。
- (5) 二重底が座礁で破れた場合 compressed air と deep well pump により対処可能。
- (6) 操縦性
  - full 後進までの時間 15 秒 ( 通常タンカーの  $1/16$  ), 後進力量約 10 倍 ( 通常タンカーに比べ )
   
..... プロペラノズル, 2 舵, CPP がこれらに有效地働く。
  - short bow で平行部大のため 3~6° ヒールで 2 m 氷厚内を通常水域と同様半径で旋回可。



大区分	中区分
Ⅱ 実船紹介	
表題	出典及び著者
	"ATLE" First of two Finish-built 22,000 SHP Icebreakers for Sweden —Shipping World & Shipbuilder, Jan. 1975

概要

- o Wärtsilä のヘルシンキ造船所建造。
- o Swedish Administration of Shipping and Navigation
- o Baltic Service 及び Arctic Service
- o Propeller : bow×2, stern×2, 舵: 2舵 (馬力配分: 前40%, 後60%)
- o Air bubbling sys. はもない。
- o 船級: NV IAI, Fin. Ice Class IA Super, Sweden Administration of Ships.
- o 騒音(Eng. & Ice)防止のため居住区を前方へ突出した構造
- o エアコンはSF
- o 定員56人
- o ヘリ甲板有り
- o Deck上のmachineryはspecial electric heating elements付
- o Wheel houseは全周窓付, 前後はheated windows with Wynstrument wipers
- o Wheel houseでtowing winch control可
- o Heeling sys.: 610 t/50sec. → max. heel 13°
- o Towing W. : 70 Mp. Rauma Repola Oy 製, 93 kw/345 v Stromberg de motor
- o Biological sewage treatment

Principal particulars

Length o.a.	101.6 m
Length on W.L.	96.0 m
Breadth, moulded	23.8 m
Depth to upper deck	12.1 m
Draught	7.3 m
Draught max.	8.3 m
Block coefficient	0.495
Displacement	7,900 tons
Bollard pull	190 tons
Machinery output, total	22,000 SHP diesel-electric

大区分	中区分
II 実船紹介	
表題	出典及び著者
概要	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 冬期フィンランド沿岸貯蔵基地航行。但し、カナダ北方域でも使用。sister ship はタンカーとしてボスニア湾で運行。</li> <li>○ Neste Oy 社船(フィンランド)</li> <li>○ 西独Werft Nobiskrug GmbH, Rendsburg造船所建造</li> <li>○ 同型4隻の1船目 "Lunni"</li> <li>○ Class NV Ice Class IA*, MV, EO, Finish Ice Class IA Super</li> <li>○ Double hull ( tank top より上甲板まで ), F'cle &amp; Poop, img. angle bulwark(f'cle側)</li> <li>○ FPT 2個, tank間にP/s FOT有り。</li> <li>○ Bow thruster 有り。</li> <li>○ 納上部にice knife, propeller boss部にskeg</li> <li>○ Life boat は Bridge より前のPoop上, enclosed type</li> <li>○ Air bubbler sys. (Wärtsilä)装備。</li> <li>○ 油圧ポンプ3台と非常用1台 — 油圧一元化</li> <li>○ Cargo tank : P/s &amp; 4 tanks ( 8 space )</li> <li>○ Cargo pump : Framo油圧sleep well p.</li> <li>○ Windlass with moor. drum×2, moor.w.×2 (油圧)</li> <li>○ Deck crane ×1 (油圧)</li> <li>○ ヘリ甲板</li> <li>○ Cargo control room ( 2nd deck/wheel house より2段目, poopの2段上 )</li> <li>○ 居住区は前後2分割 ( poop上で ) ……騒音対策上</li> </ul>	
<b>Principal Particulars</b>	
Length o.a. .... 164.45 m	
Length b.a. .... 150.00 m	
Breadth, moulded .... 21.60 m	
Depth, moulded .... 12.00 m	
Draught .... 9.50 m	
Dead Weight .... 15,955 ton	
Propulsion .... 2 × Mok 12M551 AK, 1軸, Kamewa C.P.	
Output .... 2 × 7,500 bhp at 426 rev/min.	
Speed .... 14.5 kts	

大区分	中区分
II 実船紹介	船体構造一般
表題	出典及び著者
"しらせ"	
概要	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 外気条件 : ビセッタ時 -45℃, 通信機器は作動可のこと 運航時 -25℃, 各機器は作動可のこと</li> <li>○ 消火設備 : 消水管, 泡沫管の曝露部, 貨物倉内等ヒートトレース</li> <li>○ 加熱管 : 清水タンク, APT 及び吃水線上側の燃料タンク, ウィングタンク (FO) の内ビセッタ時冷却海水タンクに使用するタンク</li> <li>○ 暖房 : 作業区画 (甲板機械室, 操舵機室等) にはプレヒータ付ファン</li> <li>○ 防熱 : 結露対策 (曝露する圍壁)</li> <li>○ 操舵室窓 : heat glass &amp; heated wiper</li> <li>○ テッキクレーン : Lub.oil に heater, 制御盤停電時 heater, できるだけ通常の仕様とし, heater により対処。</li> <li>○ 排水管 : ice belt より下方での開口, 曝露部はできるだけ配管しない。</li> <li>○ クレーン, 甲板機器の一部に E 級鋼使用。</li> </ul>	

大区分	中区分
実船紹介	一般配置
表題	出典及び著者
"Thuleland": an icebreaking bulk carrier for Broström	Motor Ship Sep. 1977

**概要**

主要目およびG.Aを下図に示す。

GENERAL ARRANGEMENT PLANS OF THE 34,889 TONNE D.W. ICEBREAKING BULK CARRIER "THULELAND"

No.	大区分	No.	中区分		
II	実船紹介		一般配置		
表題		出典及び著者			
"Ermak"— a 36,000 SHP polar icebreaker		Motor Ship, 1974			
概要					
主要目及びG.A.を下図に示す。					
<p>The diagram consists of several parts. At the top is a longitudinal view of the ship's hull with deck levels indicated by dashed lines. Below this are two transverse deck plans: the 1st Bridge Deck on the left and the 2nd Bridge Deck on the right. In the center is a detailed plan of the 1st Bridge Deck, which includes a circular chart room at the bow. To the right of this central plan are technical specifications: Length = 135.00 m, Breadth = 18.00 m, Super. (Max) = 26.00 m, Depth = 7.675 m, Draught = 7.00 m, and Displacement = 20,347 t. Below these is a transverse deck plan for the 1st Deck. At the bottom is a detailed plan for the 2nd Deck, showing various compartments and equipment. A scale bar at the bottom left indicates distances from 0 to 100 meters.</p>					

大区分	中区分						
III タンク凍結防止	配置 & ヒーティング						
表題	出典及び著者						
"Samotlov" Leads Ice-class Tanker Series for USSR	The Motor Ship Jan. 1976						
<b>概要</b>							
1. 本船は約17,000 DWTの crude & refined oil tankerである。 カーゴタンクは損傷による油汚染防止および油タンクの防熱としてDouble hull & bottomでかこまれ (周囲はバラストタンクとして作用)ている。							
2. カーゴタンクにはヒーティングコイルが設けられており、その設計条件は下記の通り。							
<table border="1"> <tr> <td>海水温度</td> <td>0°C</td> </tr> <tr> <td>大気温度</td> <td>-35°C</td> </tr> <tr> <td>カーゴ温度</td> <td>-25°C</td> </tr> </table>		海水温度	0°C	大気温度	-35°C	カーゴ温度	-25°C
海水温度	0°C						
大気温度	-35°C						
カーゴ温度	-25°C						
海水温度 0°C 大気温度 -35°C で5日間に60°Cまで加温できる。							

大区分	中区分
III タンク凍結防止	ヒーティング
表題	出典及び著者
"Thuleland": an icebreaking bulk carrier for Broström	
Motor Ship, 1977	
<b>概要</b>	
タンクヒーティング装置を燃料油タンクおよびバラストタンクに設けている。	
熱媒体: 蒸気	
外気条件, 保持温度, Heating ratio, etc は記載なし	

大区分	中区分
III タンク凍結防止	Air bubble gun
表題	出典及び著者
Designing a bulk carrier for the Canadian Arctic	
Motor Ship, March 1976	
<b>概要</b>	
1. 目的: 圧縮空気をバラストタンク内に吹込むことにより対流を生じさせ、海水の凍結を防止する。	
2. bubble gun の構造、能力 etc.	
寸法: 0.30 m <sup>φ</sup> (高さ, etc の記載なし)	
材質: polythene	
構造: 回転部がない	
能力: 圧縮空気13m <sup>3</sup> /minでホールド内海水を底部から表面まで2 million gall/day (約315 m <sup>3</sup> /h)の割合で移動させることができる。	
配置: gunは2 sets/short cargo hold (バラストタンク兼用)	
動力: 0.5 hp/gun	
メーカー: Pneumatic Breakwaters Ltd., of London.	

大区分	中区分
N 解凍・凍結・結露防止	配管
表題	出典及び著者
Design, Construction and Operation of Icebreakers.	Canadian Coast Guard. July 1975
概要	
<p>シーチェストからの氷の侵入の防止および冷却水の過冷却防止のためベリッラで設計された大型BOXタイプは非常に良好であり、こういう方式をとるよう要望している。</p> <p>カナダ船 "Arctic" もこの方式を採用している。</p> <p>注) 文献調査でもこの方式を採用している記述が多い。</p>	

大区分	中区分
N 解凍・凍結・結露防止	暴露機器品
表題	出典及び著者
Protection of Hydraulic Structures from Icing.	IAHR 1981

概要
<p>この論文は主に発電所等に関する陸上設備・装置における deicing 方法を述べている。</p> <p>海水の特性データは豊富であるが陸氷については余りはっきりしていないので、ここで平均的な特性データを示している。</p> <p>deicing system としては下記の 3 方式が考えられる。</p>
(1) 热による解凍方法
<p>廃熱利用をすれば有効である。</p> <p>小面積の重要な部分に多く利用されている。(エネルギー消費量 約 <math>1,600 \text{ wt/m}</math>)</p>
(2) 機械的作用による除去方法
<p>手動による除去方法以外に空気式や電気パルス式があり、今後利用範囲が広くなることが期待されている。</p>
(3) 物理・化学的作用による防止、除去方法
<p>氷の付着を少なくするコーティング、解氷液の注入、ゼリーの塗布等がある。</p> <p>著者は(3)の方法をベースとして(1)(2)の方法を使用する混合方式が最も経済的であるとしている。</p>

大区分	中区分
N 解凍・凍結・結露防止	暴露機器品
表題	出典及び著者
"Arctic"	The Motor Ship, Oct. 1978
<b>概要</b>	
ウィンドラスおよびホースパイプの周囲にシェルターを設けて、着氷防止を行っている。	

大区分	中区分
N 解凍、凍結、結露防止	配置
表題	出典及び著者
"Thuleland": an icebreaking bulk carrier for Broström	Motor Ship, 1977
<b>概要</b>	
上甲板下両舷にスチーム暖房の交通路を設けている。しかも、この区画内にはケーブルおよび油圧管を導設している。	
保持温度、防熱の有無、etcについては記載なし。	

大区分	中区分
N 解凍、凍結、結露防止	作業区域防熱
表題	出典及び著者
"Thuleland": an icebreaking bulk carrier for Broström	Motor Ship, 1977
<b>概要</b>	
船尾部の油圧ポンプ室およびロープストアには船体内側に防熱を施工している。	
防熱材、防熱厚さ、etcについては記載なし。	

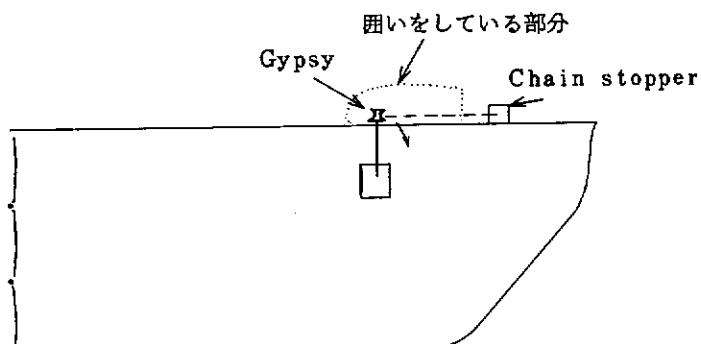
大区分	中区分
IV 表題	Windlass 出典及び著者
"Ermak" — a 36,000 shp polar icebreaker	Motor Ship, 1974

概要

1. 配置 : Windlass 本体は甲板下に設置、ただし、Gypsy は甲板上に設け、Vertical Shaft で連結している。

2. Windlass および Cable の保護 :

Weather Protection のため、Windlass は甲板下に設置するとともに、Gypsy と Chain (Chain Stopper ~ Gypsy 周りまで) は全面的に囲いをしている。



大区分	中区分
IV 表題	Towing Winch 出典及び著者
"Ermak" — a 36,000 shp polar icebreaker	Motor Ship, 1974

概要

1. 要目×台数 : 60t × 9 m/min (4層目での力量) × 1台

ブレーキ力…… 60t (clutch band brakeの場合)

200t (barrel band brakeの場合)

2. 構造 : ドラム径 864 mm (4層の 60 mm の鋼索付) で、大索をドラムに容易に巻きとるための Archimedian screw-type guide gear が設けられている。

3. 配置 : Winch は専用室に配置し、大索は壁に設けられた穴を通して Winch に導かれる。ただし、穴は rubber finger-type flaps で閉じている。

4. 低温対策 : 潤滑油を暖めるために Gear box に Steam pipe を設けている。

5. 遠隔操作 : Wheel house と special cabin (3rd Deck) からできる。

M	大区分	M	中区分
N	解凍、凍結、結露防止		着氷
表題		出典及び著者	
The Meteorological Aspects of Ice Accretion on Ships.		WMO - No. 397	

**概要**

この論文は1960年代に世界的に大量遭難した小型船（特に漁船 1,000t以下）についての着氷要因、着氷量等をとりまとめたものである。

- 船舶の海上における一つの着氷要因は下記の如くである。
  - 霧や雨の凍結
  - 雪
  - 海水しぶきの凍結
 この中で海水しぶきの凍結が大量に急速凍結するので最も危険である。
- 気象条件としては大気温度と風速・風向が大きな要因であり、海水温度は間接的に影響を与える。  
これに関しては論文の中で図示されているが、一般的に大気温度が-2°C以下、風速が20kt以上になると危険である。風向は真向、真横が危険であるが特に真横のときは片舷のみ着氷するので最も危険である。
- 着氷量については、定見がないので省略する。

M	大区分	M	中区分
N	解凍、凍結、結露装置		海上除氷実験
表題		出典及び著者	
Research on Prevention of Ship Icing		by 田畠忠司 1968.6 — Defence Research Board	

M	大区分	M	中区分
N	解凍、凍結、結露装置		海上除氷実験
表題		出典及び著者	
Research on Prevention of Ship Icing		by 田畠忠司 1968.6 — Defence Research Board	

**概要**

不着氷材使用による海上除氷実験

- 不着氷船体マット
  - 着氷防止のため、不着氷マットを船体にはりつける。  
黒色マット（熱吸収を考慮）：幸栄丸I, 礼文  
白色マット : 幸栄丸II
    - マットの効果あり。
    - 装備方法（写真1～11）
- 不着氷デッキマット
  - 着氷防止とデッキのスベリを考慮したType Aと、コルゲート形状をはめ、なめらかなゴムを貼り合わせたType Bをデッキに貼りつける。
  - 装備方法（写真6～11）
- ゴムコーティング キロンバス
  - ふつうのキャンバスは容易に着氷し、除去しにくい。
  - 船のキャンバスの表面に0.5mmのゴムをコーティングし裏面に耐油性ゴムを塗って改良をしたもの（礼文のアンカーウィンチのカバー）を使用。

№	大区分	№	中区分
IV	解凍、凍結、結露防止		着氷量
表題		出典及び著者	
Atmospheric Superstructure Ice Accumulation Measurement		POAC 1981 Wilfred R. Mcleod	

### 概要

Subarctic 又はArctic 海域で稼動する offshore platform 上の derrick, flare boom, antenna, quarter & superstructure に対する着氷について設計上の recommendation を見出すための初期検討法を確立することを目的に Data を収集し、気象学的検討を行なっている。

#### 1. 計測地点及び時期

Middleton Island (Gulf of Alaska) : 1975~1976 冬	10 m 高さ
St. Paul Island (Bering Sea) : 1976 秋	
1976~1977 冬	10, 20, 30 m 高さ
1978~1979 秋, 冬	

#### 2. 結論

- i) 着氷に対し、preliminary な気象学的 criteria を与えることは可能。
- ii) Rosemount detector から得られる criteria として、
  - \* 露点降下はほとんど 2 ~ 6 F
  - \* 觀測者データからの着氷空気温度は 25 ~ 32 F だが、Rosemount detector では 36 F が記録された。しかし 32 F に集中している。
  - \* 着氷と一致する風向は北東が主、風速との強い相関はなさそう。
- iii) 現時点では北極海域に対する hindcasting method の信頼性は疑問である。

№	大区分	№	中区分
IV	解凍、凍結、結露防止		着氷海難
表題		出典及び著者	
船体着氷とその防除		日本機械学会誌 80巻 709号 福迫 尚一郎	

### 概要

本資料は着氷海難の防止を目的として、我が国で行なわれている調査・研究の成果をもとに解説したもの。

#### 1. 着氷海難 (第1管区海上保安本部、昭35~48)

- 沈没した船舶 24隻 ← 全て漁船
  - この内 100 ton 以下の漁船が 18隻 (75%)
  - 200 ton 以上の漁船は海難ゼロ
- 時期 : 1月~2月

M	大区分	M	中区分
N	解凍、凍結、結露防止		着氷要因
表題		出典及び著者	
船体着氷とその防除		日本機械学会誌 80巻 709号 福迫 尚一郎	

### 概要

- 着氷の支配的要因……しぶき量と気温  
(巡視船により得られた資料の要因分析結果による)
- 風浪階級×対船風速×気温による分析(船の走り方の効果を考慮)

500以上……激しい着氷の占める割合 50%

800以上…… " " 100%

### 3. 着氷開始

気温 -2℃以下, 対船風速 6~8 m/s

波浪又はうねり階級 2~3以上

- 気温 -6℃以下, 対船風速 10 m/s以上 → 激しい着氷
- 波浪又はうねり階級 6又は7以上 → どのような航行のしかたでも大量の着氷

大区分	中区分
V 解凍、凍結、結露防止	着氷の防除
船体着氷とその防除	日本機械学会誌 80巻 709号 福迫 尚一郎

### 概要

#### 1. 着氷防除装置

- (1) 着氷させないことを目的  
 　　— 物体の表面温度を上げて凍らなくする熱的方法。  
 　　— 塩水や不凍液などで凍結温度を下げる方法。  
 　　— 氷のつきにくい材料や塗料を用いる方法。
- (2) 落氷を目的  
 　　— 物体表面が変形できるようにして着氷がはがれ落ちやすいように工夫する機械的方法。

#### 2. 実施例……北海道漁業取締船“北斗丸”(234総トン)

##### 上記(1)の実施例

- レーダースタンド, レーダスキャナー, 空中線, 上部船橋のハンドレール, 船橋前面の窓  
 .....→電熱線を埋込む
- 船橋後方, 側面, 上面及びレーダーマスト.....→二重とし, 主機関の排気と煙突内で熱交換した温風を循環

##### 上記(2)の実施例

- 操舵室前面壁, ハンドレール, マスト.....→一部に空気袋を取りつけ着氷するとその中に空気を送り込んで膨張・収縮させて氷を落す。
- 船首樓甲板, 前部及び後部甲板.....→ゴム製デッキマットを敷き, ゴムの弾性を利用して氷をはく離しやすくなる。
- 船橋楼下部前面壁, 船体中央外板.....→ポリエチレン発泡体を取りつけ, 弹性と無吸湿性を利用して氷の除却を容易にしている。

大区分	中区分
V 氷海航行関連装置	気泡装置
Notes regarding marine engineering concepts for machinery of ice-capable ships and icebreakers.	Roger E, Morris C, Eng. F. I., Mar. E

### 概要

Manhattanにつける話しがあったが, 時間的に間に合わなかった。フィンランド, ロシアの砕氷船につけられているが, 有効性についての情報入手はあまりない。

大区分	中区分
V	Air bubbling system
表題	出典及び著者
Designing a bulk carrier for the Canadian Arctic	Motor Ship, 1976

### 概要

#### 1. System

- (1) Compressor  $120 \text{ m}^3/\text{min} \times 2.8 \text{ kg/cm}^2 \times 2$  台
- (2) Six manifolds/each side (計12 manifolds)
- (3) 各manifoldは、4本の枝管(口径203mm)を設けている。
- (4) manifoldは二重底タンクに設けている。

#### 2. Test内容

- (1) 氷の強度を  $35 \sim 105 \text{ kg/cm}^2$  までかえて、Air bubbling systemを使用した場合、使用しない場合についてTestを行なっている。
- (2) Air bubbling systemは Six manifolds/side のうち three manifolds/side を使用した。

#### 3. Test結果

- (1) マツカ系数0.15、氷の歪強度  $7 \text{ kg/cm}^2$  を base にした結果を下図に示す。
- (2) Air bubbling systemを用いた場合、各Compressorの風量を  $120 \text{ m}^3/\text{min}$  以上にしても性能に差異はなかった。

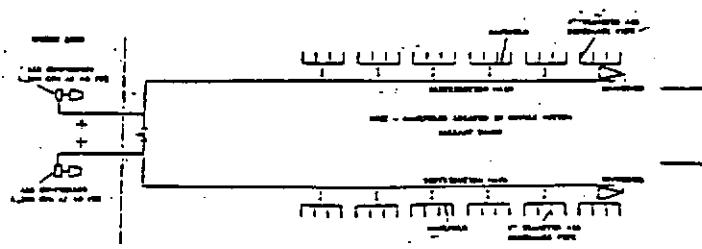


Fig. 4 (top). A schematic diagram showing the arrangement of the air bubble system to be employed in the 25,000 ton d.w. bulk carrier. A working pressure of  $2.8 \text{ kg/cm}^2$  is used.

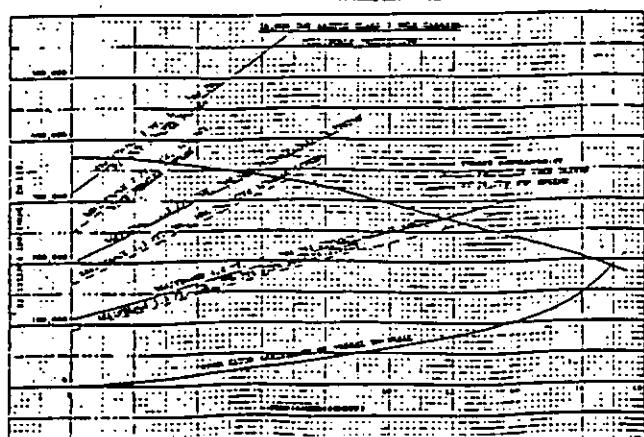


Fig. 5 (above). Test results with and without the bubble system working.

No.	大区分	No.	中区分
V	氷海航行関連装置		Air bubbler system
表題		出典及び著者	
"Arctic"		The Motor Ship, Oct. 1978	

概要

- 各舷に 6 マニホールドを設けている。  
各マニホールドから 203 mm の 4 枝管を出している。
- コンプレッサー容量 :  $120 \text{m}^3/\text{min} \times 2.8 \text{kg/cm}^2 \times 2$  ( 900 hp / each ) ( Lpp = 約 197 m )
- 船首部は Bow thruster としての作用もする。

No.	大区分	No.	中区分
V	氷海航行関連装置		Air bubbler system
表題		出典及び著者	
Polar Icebreaker "Yermak"		Shipbuilding & Marine Eng. International Sep. 1974	

概要

- 約 300 mm の管が水線下 0.24 m のところに配置されている。
- コンプレッサー : 3 台  
圧縮空気は quick response のヒーリング作用としても利用している。

No.	大区分	No.	中区分
V	氷海航行関連装置		Air bubbling system
表題		出典及び著者	
"Ermak" - a 36,000 shp polar icebreaker		Motor Ship, 1974	

概要

- メーカー : Wärtsilä
- 構成 : Compressor ( 圧力 1.1 atm ) × 2 台  
メーカー : Kuhnie, Kopp and Kausch A.G.  
駆動: Wärtsilä 824 TS diesel engine of 1200 bhp.  
風量については記載なし。  
Nozzle ( 口径 40 mm ) × 6 set / Group × 4 Group / 片舷 ( 計 8 Groups )  
Air duct : 船コク部材を利用
- Nozzle の配置  
Fore body and further aft の両舷に船底上約 2 m の位置に Nozzle を設けている。
- その他 : "Hull Lubrication" の目的の他に、① 圧縮空気を片舷から吹出すことにより Side thrust を得ることができる。② peak tanks 内の水を圧縮空気により船外排出することにより約 3 分で約 0.5 m 吃水を下げることができる。

№	大区分	№	中区分		
V	氷海航行関連装置		Air bubbler, Heeling system, Low friction coating etc.		
表題		出典及び著者			
Design, Construction and Operation of Icebreakers		Canadian Coast Guard, July 1975			
<b>概要</b>					
ソ連とフィンランド(ベリツラ)とではAir bubbler, Heeling system, Low friction Coatingについて多少見解の相異がある。					
ソ連ではAir bubblerが他の方式に比し、有効であり、簡単であるとし、特に heeling systemはAir bubblerがあれば余分であるとしている。(実績でも heeling systemはつけても使用していないことである)。					
一方ベリツラではLow friction coatingについては過去に実績があることから重要な Factorとしている。特に low friction coatingである solent free epoxy は冬期航海中 600時間以上でも完全であるとしている。					

№	大区分	№	中区分		
V	氷海航行関連装置		Heeling system		
表題		出典及び著者			
"Ermak" - a 36,000 shp polar icebreaker		Motor Ship, 1974			
<b>概要</b>					
1. Heeling Tank : 5タンク／片舷 計10タンク (タンク容積については記載なし)					
2. ポンプ : Ahlström axial-flowpump ( 1 set / a pair of heeling tanks ) ポンプの能力については記載なし。					
3. 配管 : a pair of heeling tanks を大口径のパイプと上記ポンプで連結している。 (パイプ口径は記載なし。)					
4. 能力 : 2~3分周期の rollができる。					

№	大区分	№	中区分		
V	氷海航行関連装置		Trimming system		
表題		出典及び著者			
"Ermak" - a 36,000 shp polar icebreaker		Motor Ship, 1974			
<b>概要</b>					
1. Trimming Tank : Two pairs of ballast tanks					
2. Pumping : "Rapid pumping capabilities" としか記載なし。 その他記載なし。					

No	大区分	No	中区分		
V	氷海航行関連装置		バウスラスター		
表題		出典及び著者			
Notes regarding marine engineering concepts for machinery of ice-capable ships and ice-breakers		Roger E. Morris C., Eng., F.I., Mar.E			
<b>概要</b>					
大容量のものが必要。上記冷却装置や、海水吸入口に氷が入りこむ問題のため、プロペラ形式のものは使われず、mixed flow propeller pumpである。					

No	大区分	No	中区分		
V	氷海航行関連装置		バウスラスター		
表題		出典及び著者			
"Thuleland": an icebreaking bulk carrier for Broström		Motor Ship, 1977			
<b>概要</b>					
1,000 hp Kamewa bow thrusterを1台設けている。この目的は (1) 操縦性向上 (2) 氷海域での "Hull Lubrication"					

No	大区分	No	中区分		
V	氷海航行関連装置		操舵機		
表題		出典及び著者			
Notes regarding marine engineering concepts for machinery of ice-capable ships and ice-breakers		Roger E. Morris C., Eng., F.I., Mar. E			
<b>概要</b>					
4 ラム電油式であるが、ラムは鍛鋼で、シリンダーは強度を増した鍛鋼。2台の電油ポンプで hard over - hard over は10秒、20秒 Sweep は 37° - 37° 1台 " " " " 20秒 1台の補助ポンプ stock : (LR ice Class I) × 1.5 (強度ベースで)，ice horn をつける。					

No	大区分	No	中区分		
V	氷海航行関連装置		Helicopter		
表題		出典及び著者			
"Ermak" - a 36,000 shp polar icebreaker		Motor Ship, 1974			
<b>概要</b>					
1. Landing area : Safety Nets でガードしている。 2. 格納庫 : 暴露部に接している壁は防熱を施工している。ドアは Aluminium folding type である。					

## (2) 設計検討

氷海航行船の船体構造に関する検討は、航路、運航条件を勘案して、又は配置上の制約等によりその都度決めていくべきものであるが、ここでは氷海タンカーの概略試設計における船体構造上の下記の主要装置について、その所要必要量、配置等の検討を行うこととする。

- (a) タンク凍結防止対策の検討
- (b) 氷海航行関連装置の検討
- (c) 機器駆動方式の検討
- (d) カーゴオイルポンプ室配置図

上記以外として暴露構造品の凍結防止対策や材料等の検討もあるが、これらは詳細設計時に配置上とも関連して検討すべき項目であるので、今回は検討対象から外した。

### (a) タンク凍結防止対策の検討

対象タンク： カーゴオイルタンク  
バラストタンク  
F.O.T.

対策方式： 加温による方法

<設計条件>

	外気条件	保持温度
カーゴオイル (但しスロップタンクはシェルガードによる)	気温 -55°C 水温 -2°C 風速 70 kts	海水温 5°C, 気温 2°Cでカーゴ温度を 40°C→50°C / 6日間可能な熱容量 をもつておる条件で左記の外気条件下 における温度低下率、所要熱量等を検 討する。
バラスト		0°C保持
F.O.T.		3500秒C重油: +20°C保持 及び+35°C保持 ケロシン : 放置

： 搪拌による方法(バラストタンクのみ)

バブルガン、ポンプ循環 等

### (b) 氷海航行関連装置の検討

ここではヒーリングシステムのみを検討し、エアバブルシステム及びウォータージェットシステムについては今後の研究課題として具体的な検討はしないこととする。

### (c) 機器駆動方式の検討

ここでは係船機を対象とし、震動、電動油圧及び蒸気方式について効率、保守性、安全性、寒冷地での操作性等を考慮して比較検討する。

### (d) カーゴオイルポンプ室配置図

一般タンカーと異なりヒーリング用バラストポンプの容量、台数が増加するので、カーゴオイルポンプと合わせて全体の機器配置を検討する。

## 5.4 機関艤装

機関艤装についての調査研究は、昭和58年度を初年度とし、昭和59年度を加えた2ヶ年間の連続事業として行っている。昭和58年度の作業の緩急順は、機関部門の要請による船型、GAの大巾な変更に結びつく事項を、今年度中に見通しを付け、他WGと足並を揃えることに重点を置いて決めた。

従って機関部概略設計の全貌は59年度にまとめる予定である。

### (1) 文献調査

氷海船舶機関部に関連ある文献を集め、表5.4.1に示す分類に整理し、その概要を調査した。

#### (a) 調査方針

氷海用船舶機関部に関連のある資料、文献のみを対象とし、これを分離、整理することにより、本年度実施中の砕氷タンカー機関部概略試設計の参考に供するものとする。

#### (b) 分類方法

表5.4.1の如くとする。

表5.4.1 分類（機関W.G.）

大区分		中区分	
I	一般	i	一般
		ii	推進プラント比較評価
II	実船紹介	i	実船紹介
		ii	就航記録
III	推進プラント	i	電気推進方式
		ii	直結／減速歯車方式
		iii	構成要素（主原動機、R/G、カップリング etc.）
IV	プロペラ、軸系	i	FPP
		ii	CPP
		iii	軸、軸受、シール、その他
V	艤装、その他	i	低温対策
		ii	衝撃対策
		iii	海洋汚染防止
		iv	その他

(c) 文献概要

以下に調査した文献の内容について概要を紹介する。

No	大区分	No	中区分	
I	一般	I	一般	
表題		出典及び著者		
碎氷船の特質		世界の艦船 No.220 (1975.12) 山川健郎 (防衛庁海軍技術部 副部長)		
<b>概要</b>				
碎氷船の特質について一般的に概説したものである。 下記について、碎氷船の特質が判り易く記述されている。				
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 船の大きさ</li> <li>2. 船の形 — L/B, 船体断面形状, 船首形状</li> <li>3. 船体構造 — アイスベルト</li> <li>4. 碎氷船の弱点 — プロペラ, 舵, 減搖装置</li> <li>5. 推進装置 — 耐トルク変動性能, 低速域での大推力</li> <li>6. 碎氷船個有の装備 — ヒーリング装置, トリミング装置, 等々</li> <li>7. 居住設備</li> <li>8. 区画, 船内配置</li> </ol>				

No	大区分	No	中区分	
I	一般	I	一般	
表題		出典及び著者		
世界の氷海用船舶 碎氷船をとりまく環境と技術の現状		船舶 Vol.49. No.11 (1976.11) 矢吹捷一 (三井造船 基本設計本部)		
<b>概要</b>				
主要国(バルト海沿岸諸国, ソ連, カナダ, 米国, 南極観測参加国)の氷海用船舶について, 建造計画中のものも含めて, 紹介がなされると共に, それらの特徴についても説明が行われている。 又, これに加え, FINNISH-SWEDISH ICE CLASS RULES やカナダのASPPRについても紹介がなされている。 技術の現状としては, 碎氷能力の推定, 船首形状, 推進プラント, 特殊装置に分けて説明がなされているが, 主な内容は以下の通り。				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 碎氷能力としては, 連続碎氷能力が重視されるようになり, チャージングによる碎氷能力は第二義的なものとなって来た。</li> <li>◦ 電気推進方式は, 従来のDC-DC方式に代って, ダイオードやサイリスタを使用した, AC-DC方式が採用されつつある。</li> <li>◦ 推進プラントとして, ギヤ付ガスターインと可変ピッチプロペラとの組合せも注目されている。</li> <li>◦ ヴェルチラ造船所の空気泡放出システムがソ連の碎氷船に採用されたほか, いくつかの氷海用船舶にも採用される予定である。</li> </ul>				

M	大区分	M	中区分
I	一般	I	一般
表題		出典及び著者	
氷海商船の開発と技術的諸問題		運輸省船舶局技術課	
概要			
1. 北極圏の自然条件			
<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象……海では年間を通じて安定。冬期-30℃、夏期0~5℃</li> <li>　　陸では乾燥して冷たく強い風。夏期3~5℃。雨は6~9月に集中、100~250mm</li> <li>・海氷……寿命が長く複雑な形状の氷。結氷面積は冬期は夏期の2倍。</li> <li>・地形……中央海盆に走る3つの海底山脈、及び海盆周囲の広大で浅い大陸棚。</li> </ul>			
2. 天然資源(石油)と各国の開発状況			
<p>埋蔵量3,200億バレルの石油</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カナダ……北極圏石油開発の先進国。スペドラップ盆地の天然ガス及びボーフォート海の石油。</li> <li>・米国……現在は陸部(ノーススロープ)の開発優先だが海域でも将来有望。</li> </ul>			
<p>将来の氷海輸送タンカーについて調査実施中。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソ連……西側諸国に比べてかなりの遅れ。</li> </ul>			
3. 氷海用船舶に関する各国の現状			
<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国……氷海用船舶の他、海洋汚染防止の研究等広範囲の研究活動。</li> </ul>			
<p>実船実験による実用的研究が主体。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・カナダ……世界で最も氷海用船舶の開発に熱心な国。BULK他数隻の支援船を所有。</li> <li>・ソ連……従来より氷海航路開拓、維持を必要とし、多数の碎氷船を所有。</li> </ul>			
<p>コンテナ、バルクも建造実績多い。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フィンランド……碎氷船の建造は世界のトップ。</li> </ul>			
4. 将来の碎氷商船			
<p>20万トンタンカー、セミサブタンカー、潜水タンカーが計画されている。</p>			
5. 氷海用船舶の運航			
<p>将来予測される氷海上輸送のため、正確な氷象情報の提供、適切な航路設定、通信手段の確保、港湾整備、救難体制の整備が必要となる。</p>			

大区分	中区分
I 一般	I 一般
表題	出典及び著者
Conceptional Machinery Arrangement for Canadian Arctic Class 7 Icebreakers	Marine Propulsion (1983年8月)
概要	
背景) カナダのコストガードは10年前から北極資源開発用のタンカーやLNG船用の砕氷船の開発を進めており、そこで検討された推進プラントとその配置を紹介する。	
内容) ICE CLASSは7から10と変わり現在は8に決定しており、それに伴い推進プラントも当初はディーゼルとガスタービンの複合から、原子力ガスタービンの複合と変わり現在は1)ディーゼル機関 2)ディーゼルとガスタービンの複合 3)ディーゼルとガスタービン複合電気推進があげられている。	
軸系は3軸とし、CPPは高出力でかつ厳氷条件での実績が不足しているのでFPPを採用している。	
本論文ではケース1)及び3)について出力及び配置を紹介している。	
ガスタービンは航空転用、電気推進はDC-DC、AC-DC及びAC-ACシステムをあげている。	
本船の建造許可はまだ下っていないが、建造された場合、西側世界では最大出力の砕氷船となろう。	

大区分	中区分
I 一般	I 一般
表題	出典及び著者
Influence of Major Characteristics of Icebreaker Hulls on Their Powering Requirement and Maneuverability in Ice	R.Y. Edwards R.A. Major 他
概要	
この研究はカナダのコストガードが新しく建造する大型砕氷船の設計のために行われたもので、模型と実船との相関関係、実験法、実験材料の比較等から始め、氷中航行時の抵抗及び操縦性に及ぼす主要目の影響を実験的に調べ、さらに最も船価の安い船体のパラメータ及び馬力を決定するプログラムを開発した。	

大区分	中区分
I 一般	I 一般
表題	出典及び著者
Arctic Transportation	Sydney Wire
概要	
従来のOPEN-SEA航行TANKERを基準にICE BREAKING TANKERの主な特徴を比較し論じている。	
機関部関係としては	
◦前進／後進時の出力 ◦過負荷対策 ◦プロペラ型式の選定 ◦ボイラ容量の決定 ◦冷却海水系統	

大区分	中区分
Ⅱ 実船紹介	i 実船紹介
表題	出典及び著者
碎氷艦「しらせ」について	日本船用機関学会誌、第17巻、第1号 澤野孝慈寺本靖、佐藤守、 兵藤裕

### 概要

日本钢管鶴見造船所で建造された碎氷艦「しらせ」の主推進機関、軸系プロペラの計画概要について大略下記の如く述べている。

軸出力は連続碎氷における碎氷効率の最高点に近い船速約3 ktで、要求碎氷能力1.5 mを満足するものとして合計3 000 PSが、又軸数はプロペラの設計、故障時の安全性等の検討より3軸と決定されている。

推進装置はアイストルクを含む碎氷船として特に要求される諸性能を考慮し、先代艦「ふじ」と同様最も信頼性のある電気推進方式が採用された。但し、電気方式は「ふじ」のDC-DCよりAC-R-DC方式に変更されている。

推進電動機用原動機（主機）は中速ディーゼルが選定され、その出力は碎氷船としての出力余裕（負荷率）の研究、各国碎氷船の調査結果より、合計出力5 200 PS ( $6 \times 8,670 \text{ PS}$ 、負荷率66%)が決定されている。軸系、プロペラの設計は「ふじ」の実績や有限要素法を用いたアイストルクをもととする設計法を適用して行われて、固定ピッチ、ステンレス鋼製組立型プロペラ、低合金鋼プロペラ軸が決定されている。又船尾管軸受は「ふじ」の実績を考慮して「ふじ」と同様リグナムバイタ軸受が採用されている。

大区分	中区分
Ⅱ 実船紹介	i 実船紹介
表題	出典及び著者
原子力碎氷船 "レーニン号"の機関部	造船協会誌第356号 Alexandrov A.P. 他6名 翻訳：天野牧男、網沢衛

### 概要

ソ連においては北極海全体の航路を開く目的で強力な碎氷船が必要なこと、中でも燃料補給の不要な原子力船が最適であると背景を述べている。

レーニン号は原子力、ターボ電気推進方式を採用しており、本稿においては計画上の注意した点、仕様上の特徴を述べている。特徴の大きな点は

- ① 3軸であるが、軸出力は1:2:1と中央力に半分の出力(22,000 PS)を配している。
- ② 外板に高張力鋼を採用し、又肉厚も多く取り、氷づめに対しても十分な応力を有している。
- ③ 極地冬期の居住性を特に考慮している。
- ④ 機関部機器類は原子力船であることより十分な余裕を持つと共に1次冷却水と2次冷却水は分離している。
- ⑤ プロペラ軸とプロペラは特殊鋼を採用している。

M	大区分	M	中区分		
II	実船紹介	I	実船紹介		
表題		出典及び著者			
SA-15:a 14 ship series of icebreaking multipurpose cargo ships from Finland for Soviet Arctic service		The Motor Ship (1983. 4)			
<b>概要</b>					
フィンランド, Wartsila 建造の, ソ連向 20型砕氷 MPC の紹介 機関部の主要目は以下の通り。					
M/E : 2台×Wartsilä-Sulzer 14 ZV 40/48 7,700kW(10,500PS)×560RPM					
R/G : 1台×Renk ASM 2×187.5					
CPP : 1台×KaMeWa 4翼, SUS, D <sub>p</sub> = 5.6 m, 120RPM					
A/B : 2台×UNEX, 6T/H×9 bar					
EGB : 2台×UNEX, 2T/H					
D/G : 4台×810kW×750RPM					
E.D/G : 1台×100kW×1,500RPM					
厳しい氷海時には流体離手( Voith, 1660TR )を使用する。					
MACHINERY LAYOUT あり。					

M	大区分	M	中区分		
II	実船紹介	I	実船紹介		
表題		出典及び著者			
"Polarstern" an icebreaking research ship for West Germany		The Motor Ship, April 1983			
<b>概要</b>					
西独で建造された砕氷多目的海洋調査船 "Polarstern" (D.W. 3,900T, Class GR Arc-3) の概要を下記の如く紹介している。					
連続砕氷能力は 5.5 kt で 1 m, ラミング砕氷能力 2 m, 船体の耐ラミング及び船側耐氷圧強度は 9 N/mm, アイスベルト附近の外板は 43.5 mm の低温高抗張力鋼を使用している。尚船体強度は Canadian Ice Class Arctic 7相当を満足し, この種の船では最高レベルのものである。					
推進装置は中速ディーゼル 2 機 1 軸 CPP システムの 2 軸船で, 主機は DEONTZ - RVB 8 M 510 (5,000 PS) × 4 基, 減速機は RENK - 145 × 2 基, プロペラは ESCHER WYSS (180 rpm, ノズル付) × 2 基としている。					
発電装置は軸発 2 × 2,500kVA(各減速機より Power take-off), ディーゼル発電機 2 × 1,500kVA, 非常用ディーゼル発電機 1 × 560kVA を装備している。AEG joy stick シングルレバーコントロール (CPU 使用) を装備し, CPP の推力, サイドスラスター及び舵を制御して, 船の操縦, ポジショニングを行っている。Joy stick は船橋, ice navigation platform, crows nest 等より操作出来る。					
主要目は L = 102.2 m, B = 25.0 m, D = 13.6 m, d = 10.5 m, V <sub>S</sub> : 15.5 kt					

No	大区分	No	中区分
II	実船紹介	I	実船紹介
表題		出典及び著者	
Developing Arctic Icebreaker		The Motor Ship (1983. 4)	

### 概要

目的) フィンランドのワルチエラ造船所で建造された砕氷船の紹介と、開発内容として 1) 船型 2) 推進機関 3) 補助システム 4) 北極のオフショア船について 5) 要求される性能について現状及び将来について述べている。

内容) 1) ワルチエラでは氷海水槽が建設されてから開発の方法が完全に変わり、モデルテストにより船型、プロペラ配置等が確認可能となり、開発速度も上がった。又、運航状態や客船の特殊要求に合った船の開発が可能となった。

2) 推進機関として砕氷船に適応するのは蒸気及びガスタービンであり燃費的に優れているディーゼル機関は不適なため、ディーゼル電気方式が開発された。

ワルチエラ社で1982-3に引渡された10,000 SHPの準北極( Sub-Arctic )砕氷船はディーゼル減速歯車 - CPP より構成されている。

3) 将来の推進機関を推定するのは困難であるが、2点については確実であろう。

1つはAC-AC 方式であり、もう1つは原子力である。

4) 砕氷船に要求される項目は運航状態によって変わるが、その幾つかとして a) Icebreaking in level ice b) Performance in ridges c) Performance in shallow water d) Manoeuvring e) Propulsion Performance が確立されている。

大区分	中区分
実船紹介 表題	実船紹介 出典及び著者
Shallow-draught Polar Icebreaker "KAPITAN SOROKIN"	Shipbuilding & Marine Engineering International, October 1977
概要	
<p>北シベリア(オビ, エニセイ, レナ河)及びKara Sea向, Shallow-draught  碎氷船 "Kapitan Sorokin" の紹介 (L × B × D : 131.9m × 26.5 × 8.5, Displace:  14,900 ton, 19KTS, company 92人)</p> <p>(1) Yermak-Class の船が 11 m draught に對し本船は 8.5 m draught</p> <p>(2) Diesel-electric (DC → AC Prop.motor) total 24,000 bhp</p> <p>(3) 機関部要目 推進モータ DC 5,400kW × 3台 × 107~200 rpm  推進発電機 Wärtsilä-Sulzer 9ZL 40/48 × 6台  4,125 bhp × 428 rpm/each  船内電力 Wärtsilä 824TS × 5台 × 980kW  bubbling system  Multi-stage cent. compressor × 2台  同駆動エンジン 100PS diesel × 2台  プロペラ 組立, Fixed pitch, Stainless blade</p> <p>(4) E/R arrange上の特長  居住区との分離, Diesel engine をフロアーより一層あげ, その下に補機(フロアー上)を配することによりコンパクトな配置である。</p> <p>(5) 自動化 USS Register's Class A 2 (Unattended engine room)  Autronica 750 alarm points</p>	

大区分	中区分
実船紹介	就航記録
表題	出典及び著者
南極観測船「ふじ」による氷海航行に関する実態調査	船舶技術研究所報告 第13巻第2号研究報告 (S51年3月) 小林佑規
<b>概要</b>	
著者が第16次南極地域観測隊(1974~1975)にオブザーバとして同行した折、計測した海象、気象、氷象、碎氷時の加速度、プロペラ軸トルク等について詳述している。内容の主な点を上げると、	
1) 甲板温度は最高55.5°C、最低-6.4°Cであり、それぞれ計測時点の気温より、高くあるいは低く計測されている。	
2) 海水に接している鋼板温度は気温に関係なく海水温度より、ほど1°C以内温度が高い。	
3) 暴風圏における船体動搖は大きく、ローリング角度は両振幅で30°を越えている。	
4) 氷海における碎氷時の前進加速度(Max 0.1g)は小さく、氷盤への衝突力は400トン以下であり、チャージング時より連続碎氷時が大きい。	
5) 連続碎氷能力は0.6~0.8m程度であった。	
6) プロペラ軸の負荷トルクは	
①暴風圏で10.6 ton-m, ②流氷海域連続碎氷で13.0 ton-m, ③定着氷連続碎氷で24.4 ton-m, ④チャージング時で前進25~27 ton-m 後進で11~19 ton-m	

大区分	中区分
実船紹介	就航記録
表題	出典及び著者
碎氷艦「ふじ」の氷海域行動調査	船舶技術研究所報告 第14巻第3号研究報告(昭52.5) 植田靖夫、竹澤節雄
<b>概要</b>	
昭和50年の「ふじ」による第17次南極観測支援行動中の記録、観測の報告であり概略次の内容よりなる。	
。「ふじ」の概要	
。行動の概要、南極氷海域の気象、海象	
。氷海域での碎氷行動	
。機関部の調査	
・氷海行動中の主機関の挙動	
・チャージング時の主機関の挙動	
・氷とプロペラの接触	
・機関部の保守及び故障	
・碎氷船の機関の考察	
結論として、。氷海中のプロペラ負荷はほぼボラードトルク状態。氷海域ではチャージングは避けられぬ	
。プロペラの接氷時にはボラード時の2~3倍のトルクが見られるが、プロペラが氷に拘束されてしまう状態はほとんど起らなかったなど。	

大区分	中区分
Ⅱ 実船紹介	Ⅲ 就航記録
表題	出典及び著者
The Manhattan story (continued) A return voyage to the Arctic	March, 1970
概要	
米国の砕氷船 "S.S. Manhattan" が北極海を処女航海したときの状況の記述である。	

大区分	中区分
Ⅲ 推進プラント	Ⅰ 電気推進方式
表題	出典及び著者
最近の電気推進について	
日本造船学会誌 第539号 (1974.5) 糸井宇生	
概要	
電気推進の一般的な長所と短所、電気推進の適した船舶の種類及び代表的な電気推進方式についての説明が記述されている。	
電気推進の長所、短所として以下を例挙している。	
(長所) (1)原動機設置場所の任意性 (2)原動機の逆転不要 (3)広範囲の無段变速 (4)逆転時もトルクが低下しない (5)応答が速い (6)遠隔制御が容易 (7)原動機の特性が任意である (8)原動機台数の任意性 (9)低騒音 (10)高信頼性	
(短所) (1)高価 (2)大重量 (3)効率が若干悪い	
電気推進方式の適する船種として以下をあげている。	
(1)砕氷船 — 頻繁な前後進のくり返し (2)フェリー、海洋観測船等 — 高度の操縦性を要す (3)水中翼船等 — 機関部スペースの狭い船 (4)消防艇、自航式ドレッジャー等 — 作業目的に多大な電力を要す (5)高速複数台又は非逆転の原動機を主機とする船	
代表的な電気推進方式としては、以下について紹介、説明がなされている。	
(1) 直流方式 — ワードレオナード方式、直列ワードレオナード方式、定電流方式、並列接続方式	
(2) 交流方式 (3) 交直併用方式 — ダイオードによる方式、サイリスタによる方式	
尚超電導についても若干言及している。	

M	大区分	M	中区分	
Ⅲ	推進プラント	I	電気推進方式	
表題		出典及び著者		
船用電気推進方式の特質と動向について		日本船用機関学会誌第16巻、第9号 井上馨		

**概要**

1960年以降に建造された電気推進船の実績を調査し、その適用状況の変化と電気推進方式の特質と動向についての考察を述べている。

実績の調査は国内外の砕氷船、調査船、ドリリング船、フェリー、作業船等に及び夫々について推進方式、電気方式、推進発電機機関、推進発電機、推進電動機等の主要目を適用船実績表にまとめて紹介している。

これらの電気推進方式の分類を行い、交流方式としては同期電動機による方式、誘導電動機による方式、無整流子電動機方式について、直流方式としてはワードレオナード方式と定電流方式について、又交直併用方式としてサイリスターレオナード方式とダイオート整流方式について夫々の適用例とその特質について述べている。

更に電気推進方式の最近における適用実績の動向と各方式の特質からサイリスター変換装置等電子装置の大容量化と信頼性の向上に伴って交直併用方式が主流となるのであろうこと、又サイリスタの無整流子電動機におけるサイクロコンバータなどの周波数変換器への応用が注目される等今後の動向について述べている。

M	大区分	M	中区分	
Ⅲ	推進プラント	I	電気推進方式	
表題		出典及び著者		
砕氷船—砕氷のための堅牢な船体と強力な電気推進装置		応用機械工学(1982.1) 佐藤守		

**概要**

目的) 砕氷船の設計とその性能を紹介する。

内容) 1) 砕氷のしくみ 2) 船型 3) 船体構造 4) 配置 5) 船体舾装  
6) 推進装置 7) 塗装 8) 觀測設備

の順で述べている。

機関関連としては6)で述べており、要求される推進装置の特性と、それを満たす推進方式として、電気推進方式、ディーゼルエンジンと可変ピッチプロペラとの直結方式、ガスタービンと可変ピッチプロペラの直結方式がある。各方式の特徴と実船例について述べている。

又、推進装置のもう一つのポイントは軸系・プロペラであり、各々の氷に打ち勝つ強度とその強度に強弱のバランスを考慮した計画、設計をする必要がある。例えば強度はプロペラブレードよりプロペラ取付けボルト又はプロペラ軸の方が大きくなるようにするのが常識になっていると紹介している。

大区分	中区分
Ⅲ 推進プラント	Ⅰ 電気推進方式
表題	出典及び著者
南極観測船ふじ 電気推進装置の概要について	日本船用機関学会誌 第1巻 第1号 (S 41. 4) 露木 正
<b>概要</b>	
<p>南極観測船ふじの電気関係の仕様を述べ、本船がDC-DC推進方式を採用した理由について詳述している。又、碎氷船として特に要求される氷海時における操縦応答の詳細について述べていると共に電気推進方式がこれらの点より考えても、碎氷船については特に優れていることを概説している。</p>	

大区分	中区分
Ⅲ 推進プラント	Ⅰ 電気推進方式
表題	出典及び著者
氷海航海時の電気推進船のディジタルシミュレーション	日本船用機関学会誌第18巻第4号 武田幸男, 寺下伸也 片木威, 坂本研也
<b>概要</b>	
<p>Jagodkin 氏ら(ソ連)の研究結果をもとに Lewis 氏(U.S.A.)が発表したアイストルクの数学モデルを導入して、氷海を航行する電気推進船の動力システムの各部過渡応答を推定するため、ある船速で連続碎氷航行中のモデル船について、プロペラに加わるアイストルクが推進動力系に与える影響を中心にディジタルシミュレーションを行った結果と概要が述べられている。</p> <p>モデル船は排水量約 5,000 トン、推進動力系はディーゼル駆動 AC-R-DC 方式、推進軸は 7,000 kW の直流他励電動機 1 台、最大航行速力 18 kt、連続碎氷時は 3.6 kt で航行するものと仮定されている。計算結果としてプロペラと氷の接触によってプロペラ回転数が低下しある回転数で平衡に達するまでの、プロペラ負荷トルク、プロペラ軸トルク、電動機トルク、電機子電流、プロペラ回転数などがプロペラの氷辺切り込み一定の場合、プロペラ翼回転による振動トルクを発生する場合及び軸系の振り振動を生ずる場合などにおける過渡応答について示されており、又その結果の要約が述べられている。</p>	

大区分	中区分
III 推進プラント	i 電気推進方式
表題	出典及び著者
各国砕氷船の動向と砕氷艦「しらせ」の電気推進装置	富士時報 Vol. 56 No 2 1983. 鈴木慶三, 宮上行生 田中汎, 立花康夫

### 概要

砕氷船用電気推進装置に関し、各国の動向、計算上の要件「しらせ」の概要と特徴について下記の如く紹介している。

各国の主な砕氷船の電気推進装置の軸出力／排水量比、電気推進方式主機械、推進発電機、推進電動機等の主要目表を示し、その傾向、AC-R-DC方式の特徴とアイストルクについて述べている。

計画上の要件として連続砕氷、ラミング砕氷の要求として、プロペラ推力、軸出力の大きさ及び軸出力／排水量のバランス、主軸回転速度と出力トルク特性等について述べている。

「しらせ」の概要是「ふじ」との主要目比較、電気推進装置の全体系統図を示し、「ふじ」と比較した改善項目としてAC-R-DC方式の採用（整流器にフロン沸騰の自己冷却方式の採用）、推進装置の制御、装置の電子化、装置の構成（各軸独立）、これらに関連してマイクロコンピュータ化された操縦制御盤MICREX-Eの主要機能、装置全体の信頼性向上のためのバックアップ対策、各装置の計画より工場出荷までの性能環境面での検証試験内容等について述べられている。

大区分	中区分
III 推進プラント	ii 直結／減速歯車方式
表題	出典及び著者
Direct-drive diesel propulsion for icebreakers	Shipbuilding & Marine Engineering International (1983. 4)

### 概要

将来の大型砕氷商船の推進プラントとして、SULZER が、2台の2サイクル低速ディーゼル機関をタンデムに連結配置したC.P.P. 直結プラントを提案していることが記載されている。SULZER 提案の主な内容は以下の通りである。

- 最近の2～3年の実績で砕氷船用CPPの信頼性が高まり、推進プラントの形式が電気推進からギャードディーゼルに変る傾向にあるが、プラントがシンプルで、保守が簡単でありかつ低燃費である点から2サイクル低速ディーゼル直結プラントが大型砕氷商船には適当である。
- 既知の砕氷船に関するトルク要求は CPP の経験がベースとなっているもので、CPPの場合プロペラピッチを操作することでアイスマリングトルクは大巾に軽減出来る。又、プロペラにはダクトを設けることになるので、トルク面では条件が楽になる。
- 低温吸気に対しては、ジャケット水、油滑油等からの廃熱回収による吸気加熱器又は、掃気の圧力調整弁を設けることでディーゼル機関は対応出来る。
- 氷海と平水との出力レベルの大巾を差に対しては、低速ディーゼル直結プラントの場合、2台の機関をタンデムに連結、配置することで経済的に又、配置上も楽に対処出来る。
- COMBUSTOR付のTURBOCHARGING BY-PASS システムを採用することにより、ディーゼル機関の過渡応答性能を改善できるが、大型砕氷商船ではあまり必要ないかもしれない。

大区分	中区分
III 推進プラント	II 直結／減速歯車方式
表題	出典及び著者
The Control System for the U.S. Coast Guard Icebreaker Propulsion Plant	ASME Publication, 1974 F.W. Johnson C. Stasiowski
<b>概要</b>	
<p>"POLAR STAR" が建造途上にあった当時書かれたものであり、(AC-R-DC)ディーゼル+ガスタービン+CPPの複合プラントの制御について述べている。</p> <p>① 推進のモードを 1) Free route operation 2) Light icebreaking requirement 3) Heavy icebreaking requirement に別け、それぞれに対応して、主機の組合わせを変える。回転を止めることなく Remote 操作にて行う。</p> <p>② 氷のかみ込み等によるオーバロードに対し、ガスタービンの最大出力まで、Boost upさせ、更に不足の時はプロペラのピッチを落してプロペラ回転を保持する。</p>	

大区分	中区分
III 推進プラント	II 直結／減速歯車方式
表題	出典及び著者
U.S.C.G. POLAR STAR -Combination of a Diesel Electric Propulsion Plant with a Geared Gas Turbine Boost Plant	ASME Publication, 1974 - A.F. FINIZIO
<b>概要</b>	
<p>"POLAR STAR" がまだ建造途上にあった当時に書かれたもので、プラントの選定、設計についての概略である。</p> <p>概要はほぼ次のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ POLAR STARの概要</li> <li>◦ 冰上船に要求される特長を十分発揮できるプラントとしての(AC-R-DC)ディーゼル+ガスタービン+CPPのCODOGシステムの採用について</li> <li>◦ 本船のAC-R-DCプラントの概要とコントロールについて</li> <li>◦ Propulsion Boost Plant としてのガスタービン及び減速について</li> <li>◦ モード切換……電気推進モードから CODOG モードへの切換え及びその逆についての方法</li> </ul>	

大区分	中区分
Ⅲ 推進プラント	構成要素(主機関)
表題 碎氷船の機関の話 (その1「ふじ」について)	出典及び著者 日本舶用機関学会誌(1977.11月) 植田靖夫

### 概要

背景、目的) 碎氷船技術の参考として碎氷艦「ふじ」のプロペラ翼折損事故の技術的周辺と、更に本船の実船調査のそれぞれの概要について述べている。

方法) a) ラミング碎氷時折損したプロペラ翼の残存部から試片を切出して各種テストを行い破壊エネルギーを推定した。

b) 第17次航(1975~1976)で実船調査を行い、イ) 碎氷活動中の機関の挙動 ロ) プロペラと氷塊の衝突 ハ) 氷海中のプロペラ負荷トルク ニ) 機関のトルク特性 ホ) ディーゼル機関の負荷

結果) a) 破壊エネルギーは翼の厚さの1~1.5乗に比例し、巾の1.3乗比例するという結果が得られ、本船の場合のエネルギーを求めた。

b) 通常のラミングでは主機関各部には過渡現象は発生しない。ラミングの周期は5~10分でディーゼル機関の耐久テストを行っているようであった。

- ・プロペラと氷塊の衝突は前進回転中より後進回転中に多発する。

- ・軸トルクのピーク値は、軸の平均トルクに対して2~2.5倍に達する場合が多い。

この振動トルク波形から外力トルクを求めるとき、a)のエネルギーとオーダ的に符号する氷海中の実測トルクは通常前進時は氷が当った時に瞬間的な異常に大きなトルクが発生するが、氷の拘束のため軸回転数が下がる現象は経験されなかった。

- ・碎氷船の主機ディーゼルには、十分に信頼性のあるもので、相当余裕のある出力とすることが必要である。

大区分	中区分
Ⅲ 推進プラント	構成要素(主機関)
表題 碎氷船の機関の話 (その2カナダと米国の碎氷船)	出典及び著者 日本舶用機関学会誌(1977.12) 植田靖夫

### 概要

目的) 著者が「ふじ」代替船の建造の関連で、カナダ及び米国を対象とした碎氷船事情の調査に参加したので、その見聞をもとに各地の事情を紹介している。

内容) 1) カナダの碎氷船隊

現有船は大小合計22隻で、蒸気レシプロ機関を主機とするものが内7隻ある。1953年から電気推進がばっばく採用され始めた。1959年以降は全ての新造船が電気推進に切り換っている。

現有の代表的碎氷船の紹介と建造中の“R”級及びPOLAR-7の計画を記述している。

2) 米国の碎氷船

米国の碎氷船事情を紹介し、最新鋭船POLAR STARの内容について述べている。POLAR STARの特徴はCODEOG方式でガスタービンを使用することと、それに伴ってCPPにした点である。特にCPPについては試運転中に重大な故障を起こしており、その状況について説明している。

大区分	中区分
III 推進プラント	構成要素(主機関)
特にガスタービンを使った大形砕氷船の推進プラントの利点について	造船技術の道しるべ 「世界各国の海運造船の新技術とこれから」 日本船用機器開発協会
概要	
<p>ガスタービン船の実績を上げ、アイストルク等の特殊条件を考えた場合、砕氷船にはガスタービンが最も適していることを述べている。</p> <p>いずれにしろ、砕氷船に対しては、減速機、軸、プロペラ等、又ガスタービン自体に対しても検討を要する項目が多い点も指摘している。</p>	

大区分	中区分
IV プロペラ、軸系	I FPP
表題	出典及び著者
砕氷船「ふじ」のプロペラ負荷	日本船用機関学会 第22回 学術講演集 植田靖夫、竹澤節雄
概要	
<p>昭和50年冬の第17次南極観測支援行動に筆者が参加して調査した成果のうち、機関・軸系の負荷について纏めたもの</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ チャージング中の主機操作に対する各部の挙動</li> <li>◦ 氷海中の軸回転数とトルクの関係</li> <li>◦ プロペラ翼と氷の接触時の現象</li> <li>◦ 砕氷船の主機関に対する考察</li> </ul>	

大区分	中区分
IV プロペラ、軸系	I, II EPP, CPP
表題	出典及び著者
氷海商船用プロペラ強度の実験的研究 (第1報; 氷荷重模型実験)	日本造船学会論文集 第149号(1981年) 岡本洋等他5名
概要	
<p>氷海を航行する船舶において最近でもプロペラの損傷事故が、かなりの頻度で発生している。そこで、プロペラにかかる氷荷重を適正に評価するために模型実験を行った。</p> <p>プロペラは1軸6万馬力の組立式FPP及びCPPを対象とし、Ice ClassはLR 1A. Super, CANADA ARCTIC 7等を想定した。モデルプロペラは、直径320mm、4翼ブロンズ製で、上記FPP及びCPPに対応する2種類である。実験は氷荷重の特定状態として水中において氷板がプロペラに衝突する状態を模擬した状態と、一方でプロペラ翼が氷板をかみ込んでゆくミーリング状態との2つを想定し、氷衝撃試験とミーリング試験を行った。なお、模擬海水は塩水氷とバラフィンを用い、その特性を圧縮強度で代表させた。</p> <p>衝撃試験から、水中において氷塊がプロペラに衝突する際の翼応力、軸トルク、スラスト等の衝撃値と衝突時の氷の挙動を調査し、ミーリング試験により、種々のプロペラ回転数、氷速におけるプロペラ翼応力、トルク、スラスト、プロペラ軸モーメント等の氷荷重の大きさが把握された。さらに、これらのデータを“ふじ” “KAPITAN VORONIN”的実船データと比較し、ほぼ妥当な推定値を与えることが明らかとなった。</p>	

No	大区分	No	中区分
N	プロペラ、軸系	i, ii	FPP, CPP
表題		出典及び著者	
氷海商船用プロペラ強度の実験的研究（第2報；静的荷重試験とFEM解析）		日本造船学会論文集 第150号(1981年) 岡本洋等他5名	

**概要**

第1報の模型試験で求めた氷荷重を翼に作用させ、翼、フランジ・ボルト及びCPPの場合には翼変節機構の各部材に生ずる応力レベルとその順位を実験的に求め、数値解析とも比較した。

静的負荷試験はARCTIC CLASS 7, 1軸6万馬力相当の氷海商船用に設計された直径8m4翼のプロペラと相似な形状をもつ直径1.1mのニッケルアルミ青銅製の大型プロペラ模型を用い、CPPは翼変節機構をも含めてモデル化した。負荷は翼面荷重用と遠心力用とに分け、各翼に油圧ラムによって行った。また、解析はNASTRAN FEM応力解析によった。

実験と解析とから、氷海プロペラのように幅広で厚肉プロペラ翼では背面と圧力面の応力分布状況が通常の船用プロペラ翼とかなり異っていること、又氷とプロペラとの接触状況により荷重分布とその位置が大幅に変わるために種々の荷重条件による応力の把握が必要であることが明らかになった。さらに、CPPの各部材の強度順位を求め、これを氷海プロペラのPyramidal design criteriaと比較し、ほぼ満足している。

No	大区分	No	中区分
N	プロペラ、軸系	ii	CPP
表題		出典及び著者	
Methods for predicting forces encountered by propellers during interactions with ice		3rd. Lips Propeller Symposium(1976) R.Y. Edwards, Jr.	

**概要**

氷海を航行する砕氷船のプロペラは、氷塊に衝突し、しばしば損傷を受ける。プロペラと氷塊との相互作用は衝撃と切削（ミーリング）とに大別できる。本論文では、ミーリングに模型実験を行い、軸トルク・翼曲げモーメント・翼回転トルクを調査した。

実験は直径258mmのCPPを用いて、ある速度で送られてくるワックスの模擬海水を切削することによって行った。

従来の氷荷重に対するIgnatiusやJagodkinの評価式（数学的モデル）を踏まえて、実験結果を整理し、氷とプロペラとの相互作用について数式化をも試みた。そこで、プロペラに作用する氷による荷重・トルク・モーメントの主要因子は、衝突角・切込み最大深さ・氷の圧縮強度・プロペラのピッチ角であることがわかった。また、“KAPITAN VORONIN”的実船計測結果とほぼ同等の結果が得られ、これまでの数学モデルの範囲を越えた状態での相互作用が明らかになった。

M	大区分	M	中区分
N	プロペラ、軸系	iii	軸、軸受、ミール、その他
表題		出典及び著者	
MESJ 研究委員会報告 －軸高出力軸系の限界		日本船用機関学会誌 第9巻第11号(昭49.11) 日本船用機関学会軸系研究委員会	

#### 概要

V LCC 全盛の当時、来るべき超大型船時代に備え、一軸船 100,000 PS × 95 RPM の推進プラントを想定し軸系に考えられる技術的な問題点、製造技術的な限界について考察したものである。

- ◎ 上記馬力に対応するプロペラ、推進・中間軸、軸受の寸法・重量からメーカーの製造限界がネックとなることはないという見込み。
- ◎ プロペラの軸への押込みもウェットフィット法により対処可能。
- ◎ 潤滑については、一応ホワイトメタル軸受 + 油強制潤滑を前提とし考慮すべき問題を提起。
- ◎ 振動についても考えられる問題点と回避の方法について論述。

以上から 100,000 PS × 95 RPM 程度のプラントに対し、当時の技術、設備の延長線上で十分対処できる見込みであると結論づけている。

M	大区分	M	中区分
V	機器、その他	i	低温対策
表題		出典及び著者	
耐氷商船における機関部寒冷地対策		日本船用機関学会 機関研究委員会第1研究部会 資料No.136-2-1 (S54年2月)	

#### 概要

耐氷船に関する代表的なルールの調査を行い、その基本概念を把握し、その他配慮すべき事項を考察した。

尚、砕氷船については、その船の目的、要求性能等が多岐に亘るので、本調査から外した。

M	大区分	M	中区分
V	機器、その他	iv	その他
表題		出典及び著者	
Compressed Gas Cracks the Ice for Ships		16/Design News — OEM 5-21-73	

#### 概要

高温燃焼ガスを氷塊の下面に噴射し、その噴射圧力で連続砕氷する装置について述べてある。

この論文によると、本装置を採用すれば、従来の砕氷船に比較して砕氷に要する動力は小さくなる。

(2) 設計検討

昭和 58 年度に行った設計検討は下記 4 項目である

- (a) 最適推進システムの選定
- (b) 補機システム及び氷海特有事項の初期検討
- (c) 電気推進方式に特有な事項の初期検討
- (d) 概略機関室配置の検討と GA 上の機関スペースの妥当性の確認

以上の各項についてその概要は次のとおりである。

(a) 最適推進システムの選定

(i) 推進方式

下記 2 方式の並列検討を行った。両者間の比較評価は昭和 59 年度にまとめを行う予定である。

D 方式 : CPP . 原動機直接結合推進方式

E 方式 : FPP . 電気推進方式

(ii) 設計条件

幹事会および WG にて検討を重ね、表 5.4.2, 表 5.4.3 の設計条件を設定した。

本設計条件の特色は、推進システムの出力特性として、D 方式は低回転時に高トルクを出すことが必ずしも容易でないため、CPP を採用することで対応した。一方 E 方式は低回転における高トルクを得やすいことにより、FPP を採用して、150 % の高トルク発生能力を求めたことである。なお瞬間的な衝撃を考えて、強度的には両方式共 150 % のトルクに耐えるよう設計することとした。

表 5.4.2 出力等の設計条件

推進システム	D 方 式	E 方 式	
船速および合計軸馬力			
氷海最大	5 kt にて 約 180,000 ps	同 左	* 1
氷海常用	5 kt にて 100,000 ps	同 左	* 2
平水常用	15 kt にて 45,000 ps	同 左	* 2
一軸当たりの軸出力とプロペラ回転数			* 3
氷海最大	60,000 ps at 70 rpm	同 左	
氷海常用	33,333 ps at 58 rpm	同 左	
平水常用	15,000 ps at 46 rpm 同 上 48 rpm	15,000 ps at 54 rpm 同 上 57 rpm	中心軸 両舷軸
プロペラ直径	約 10 m	約 10 m	
性能設計上の最大トルク	1 軸 60,000 ps 出力時の ボラードトルクの 1 倍	同左 ボラードトルクの 1.5 倍	
強度設計上の最大トルク	同 上 ボラードトルクの 1.5 倍	同 上	

注 . \* 1 : 原動機の連続最大出力 (MCO) で、この氷海最大軸出力が出せれば良い。

この出力は目標値であり、若干の不足は許容されるものとした。

\* 2 : 原動機の常用出力 (CSO = 0.9 × MCO) にてこの軸出力が出せること。

\* 3 : 常に 3 軸均等出力配分の同時駆動とし、遊転など行わないとした。

表 5.4.3 環境条件

・ 機関室周囲空気温度 (吸込孔入口温度)	最底 氷海通常(性能計画点)	-55°C -15°C
・ 海水温度	最底 最高	-2°C 27°C

## (iii) 原動機の候補機種

現存する原動機の最大容量は表 5.4.4 のとおりで、この範囲内で選定するとして検討を進めた。将来の開発の見通しや、開発の必要性はここでは触れないこととした。

表 5.4.4 最大容量の原動機 (5.9.1.未現在)

機種	ガスタービン	中速ディーゼル	低速ディーゼル	蒸気タービン
最大出力	50,500 <sup>*1</sup>	29,700 <sup>*2</sup>	56,160 <sup>*3</sup>	60,000 <sup>ps</sup> 可能*
原動機回転数 (rpm)	3,600	400	74	—
使用燃料油	軽油、灯油	C重油	C重油	C重油
燃料消費率 定格にて (g/ps·H)	165	131	126	約200

注 \*1 次に大きい機種は 29,000 ps, 燃費 170 g/ps·H あるいは 22,000 ps, 同 180 g/ps·H 等があり、50,000 ps クラスとの中間機種は無い。

\*2 次に大きい機種は本機より -3,300 ps 每に 2 シリンダ (V型の 1 組) を減じることにより製造し得る。

\*3 次に大きい機種は本機より -4,680 ps 每に シリンダ数を減じることにより製造し得る。  
またシリンダ径の小さい各種の系列がある。

\*4 船用蒸気タービンの上限は定かでないが、60,000 ps 程度のものは一基で必要馬力のものが可能

## (iv) 主推進システムの選定

## (1) D方式

主推進システムの評価をするに当って、まず多くの評価観点とその重要度の相対差を検討して、表 5.4.5-Ⓐ欄に示す 10 個の評価項目に集約し、そのウェイト付を全体を 100 点として同表Ⓑ欄 “配分点” の通りと定めた。

多くの考え得る原動機構成を列挙し、これらを整理して同表Ⓒ欄の組合せを評価対象として残した。

これに対し、各WG委員がそれぞれ行った評価を合計して総合点を出し、再度 100 点満点に換算したものと同表Ⓓ欄に示す。

この結果を基に討論を行い、ガスタービンは多くの評価項目で利点はあるものの、燃料費用の高さがいかんともし難いこと、および CPP 装備によりガスタービンの過トルク発生能力が必ずしも必要ではないので、ガスタービンの採用を見送り、中速ギヤードディーゼル 2 機 / 1 軸を D 方式として採用した。

参考までに各評価項目毎に一位の得点に○印を付し、2 位に○印 3 位に△印をつけてある。ブラン

ントに要求される評価のウエイト付が異なる場合には配分点を変えることによって、これら◎、○、△印の多い他のプラントが浮上して來ることがあり得る。

(i) E方式

D方式と同様に、表5.4.6の結果を基にして、さらにE方式では二重底上には推進モータのみのスペースしか無いので、原動機はより上のデッキに搭載することに対する荷重および振動起振力を検討し、どの候補機種についても搭載可能と判断した。また、過トルク特性については、AC-サイクロコンバーターAC方式の電気推進とすれば原動機側に過トルク発生能力を必要としないと考えた。

以上より中速ディーゼル駆動発電機方式を選定した。

(b) 据機システムおよび氷海特有事項の初期検討

主推進システムの選定に続いて据機システムについては昭和58年度は台数、大きさ、製造の可能性など概略配置を検討するのに必要最小限の事項の調査検討を下記の項目について行った。

CPP, FPP, 軸系および船尾管、減速装置、発電装置、蒸気発生装置、推進據機、  
また、氷海特有事項として寒冷対策、衝撃対策について検討に着手した。

上記各項目については問題点の摘出と対策およびシステムとしての整合を昭和59年度ひきつづいて行う予定である。

(c) 電気推進方式に特有な事項の初期検討

概略機関室配置図を作成するのに必要な大物推進用電気品の概略仕様及び外形寸法などに影響を及ぼす以下の項目についてアンケートおよびその結果に対する検討を行った。

回転数制御方式

主推進用モータ形式、台数

母線の電圧と分割及び一般船内給電との関係

冷却方式

保護装置

今年度は出来るものは集約し、意見のまとめにくいものは問題点の摘出の形で研究の進行を計り、59年度に検討のまとめを行う予定である。

(d) 機関室配置

上記a)～c)に於ける初期検討に基いて主要機器の機関室内初期レイアウトを作成した。その結果、原船型及びGAに対し

(i) 機関室及びポンブルームの合計長さは6.2mから7.2mに変更した。

(ii) 機関室付近にて下部の船側を1.5m程度広げた。

この結果、細部の検討が必要であるが、D方式、E方式共相当な過密度を条件として、配置は可能であるとの見通しを得た。

各システムの検討を待って59年度に概略機関室配置図の作成を行う予定である。

表 5.4.5. D 方式 主推進システム評価

評価項目	船種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	D 合 計 評 価 点	信 イ ン テ ナ ン ス の 容 易 さ 性	順			
(A) 評価項目	機械部材料費	水垂直	機械部材料費	現在の技術、設備で可能	ラヘ前後進切換、シフト切換、加速性能	低負荷運転の適応性	低負荷運転の適応性	燃費	寒冷対策の要用	否	用	10	5	20	5	10	100
(B) 配分点	機械部材料費	一軸心位置	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	2.0	1.0	1.0	5	20	5
(C) 主機関、主発電機、プロペラの組合せ	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
2 - 中速ディーゼル/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	△	○	○	○	△	○
平水：1機/軸 氷海NOR以上：2機/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
1 - 中速ディーゼル + 2 - ガスター・ビン/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	△	○	○	○	○	○
平水：1機/軸 氷海NOR：1-D+1-G/T/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
3 - ガスター・ビン/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
平水：1機/軸 氷海NOR：2機/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
2 - 中速ディーゼル + 1 - ガスター・ビン/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	△	○	○	○	○	○
平水：1-ディーゼル/軸 氷海NOR：2-ディーゼル/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
1 - 中速、1 - 低速ディーゼル/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	△	△	△	△	△	△
平水：1 - 中速ディーゼル/軸 氷海NOR：低速ディーゼル/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
2 - 低速ディーゼル/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	△	○	○	○	○	○
平水：1機/軸 氷海NOR以上2機/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○
1 - 蒸気タービン/軸	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	機械部材料費	○	○	○	○	○	○

注 ○, △印については表 5.4.6 参照

表 5.4.6 E 方式 主推進システム評価

③ 主推進システム の組合せ	評価項目	M6	評価項目										① 合計 評価 点
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	④ 評価項目		機関型 機室長さ 変更の度合	水垂直 一軸心位置	機関、 電気部材費	現設 在備の 技術可 能性	ラミニア ング加速度 性能	低負荷運転の適応性	寒冷対策の要否	プラントの容 易維持性	信メイント ナシスの容易性	順	
			20	19	10	10	5	20	5	10	10	100	
3-ガスタービン／軸全電動 平水：1機／軸 氷海NOR：2機／軸	⑤	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	72
2-中速ディーゼル+1ガスタービン／軸 全電動 平水：1-ディーゼル／軸 氷海NOR：2-ディーゼル／軸	⑥	○	△	○	△	△	△	△	△	△	△	△	72
3-大型ガスタービン／3軸共通全電動 平水：1機／3軸 氷海NOR：2機／3軸	⑦	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	72
3-中速ディーゼル／軸全電動 平水：1機／軸 氷海NOR：2機／軸	⑧	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	66
1-中速D直結+2ガスタービン電動／軸 平水：1-ディーゼル／軸 氷海NOR：1-ディーゼル+1ガスタービン／軸	⑨	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	49
1-ガスタービン直結+2中速D電動／軸 平水：1-ディーゼル／軸 氷海NOR：2-ディーゼル／軸	⑩	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	54

注 評価点欄内の○、○、△印はそれぞれの評価項目内での1, 2, 3位を示す。  
同点の場合には末点は小数以下1桁までに於ける順位によつた。

## 6. 氷海用海洋構造物に関する調査・研究

### 6.1. はしがき

氷海域で用いられる海洋構造物は、就役予定地域の海象、気象、氷況、海底水況の外、社会的条件を考慮して設計・建造が行われる。一般には、その仕様条件は、極めて個別的であり、氷況等の僅かな差異が、海洋構造物の様相を一変させることも稀ではない。

海洋構造物の設計上必要な、氷荷重の推定や、輸送、係留などについても、検討が詳細、細部に及べば、就役地域の確定や就役条件の明確な設定が必要となり、一般的な検討が不可能となる。

ここでは想定就役海域を、広く、ポート海に設定し、人工島に作用する氷荷重、海洋構造物の係留、保持システム、非常時離脱システムなどの調査・検討を行った。

### 6.2. 人工島に作用する氷荷重

#### 6.2.1. はじめに

人工島は、主として浅海域での石油、天然ガスの試掘のために構築される。人工島は、氷海用海洋構造物に比して、構造物幅・氷厚比がかなり大きく、氷圧力の観点からは、幅広構造物の延長上にある。人工島の特徴は、島周辺に氷の分壊層（rubble）が形成されることである。海水は人工島と接触する際、様々な破壊モードで破碎され、碎氷塊の堆積、即ち分壊層が形成されるが、人工島に働く氷荷重は、この分壊層の存在によって著しく影響を受ける。

人工島の相当半径は、海洋構造物に比して遙かに大きい場合が多く、海水の作用も大規模なものとなるが、海水を押しやむ総力が相対的に小さくなり、人工島が破壊される懸念が殆どない場合もある。

#### 6.2.2. 人工島に作用する力

海水の漂流によって、浚渫・造成した人工島には複雑な氷荷重が作用する。この氷による力が、人工島の土壌の破面での剪断抵抗に打勝てば、変形、破壊が発生する。

人工島の造成は、短かい夏の間に行われるが、造成が完了する頃には冬期に入り、このため人工島表層は、凍結層であることが一般的である。この凍結層が失われる可能性もあるが、一般には、人工島の破壊モードは、図 6.2.1 に示すように

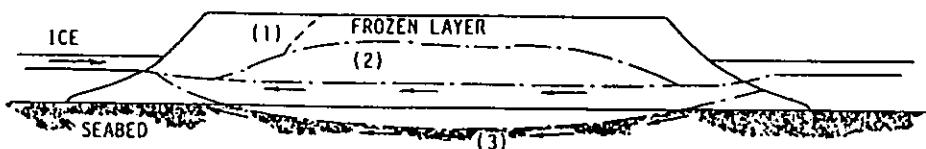


図 6.2.1. 人工島の破壊モード

(1) 周辺欠損 (2) 盛り土部欠損 (3) 海底地盤欠損

の 3 形成が考えられる。図中の破壊面は、これらの破壊モードに対応したものである。

破壊面(1)は、凍結した盛り土部が、人工島周囲の海水よりかなり強い場合で、海水の破碎が先に生じる。破壊面(2)が生ずる場合には、人工島の凍結した地盤相当部分がその下部の不凍結盛り土に対して相対的な伸びが生じた場合である。人工島の基礎が弱く、破壊面(2)の発生する場合より大きな水平力が人工島に働いた場合には、破壊面(3)が現われる可能性がある。実際の人工島の破壊は、極めて複雑な場合も多く、複合的な破壊が生ずることも少なくない。

人工島の滑動抵抗は、比較的簡単に求めうるが、その構成素材が粒状の良質なものでない場合には、妥当な摩擦角を推定することが難しく、必ずしも容易ではないこともある。又、盛り土の凍結界面の深さも与えられねばならないが、この点については、ボーリング等により実測や、温度分布計算などによる推定も可能であり、問題となることは少ない。

人工島の滑動抵抗は、 $R = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2) \tan \phi$

$$R = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2) \tan \phi \quad (1)$$

で与えられる。ここで、

$V_1$  : 水線上の盛り土量

$V_2$  : 水線と滑動面との間の盛り土量

$\rho_1$  : 盛り土の密度

$\rho_2$  : 盛り土の相対密度（水中密度）

$\phi$  : 盛り土の摩擦角

である。

具体例を挙げて検討してみる。滑動面での人工島直径が 122 m, 人工島乾舷 4.6 m, 水線・滑動面間の距離 3.1 m,  $\rho_1 = 1925 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $\rho_2 = 963 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $\tan \phi = 0.6$  とすると、

$$R = 800650 \text{ kN}$$

となる。

氷の漂流駆動力は、風や海流など様々であるが、仮に風によって氷が動かされるものとすると、その力は、よく知られた次式

$$K = C \rho_a g V^2 A \quad (2)$$

で求められる。但し、

$C$  : 形状係数

$\rho_a$  : 空気密度

$g$  : 重力の加速度

$V$  : 風速 ( m/s )

$A$  : 氷の風圧面積 ( 剪断面積を探る )

である。

風速 15 m/s の場合、 $K = R$  となる氷の風圧面積を求めてみると、

$$A = 520 \times 10^6 \text{ m}^2$$

となり、直径（滑動面直径）122 m程度の人工島を破壊するためには、相当直径 25.7 km 程度の氷盤が 15 m/s の風を受けなければよいことになる。北極海域の定着氷域では、この規模の氷盤は極く一般に観られるが、流氷域では、むしろ稀れであり、従って、滑動を生じせしめるような氷荷重が人工島に働くことは殆んどないと考えられる。

### 6.2.3 浅海域人工島に働く氷荷重

水深が 3 m 内外の浅い海に構築された人工島を考える。ここでは、海水の動きは、緩慢で限定されているものとする。即ち、人工島は、保護環境下にあるものとする。

極海では、凍結は 10 月半ばに起り、シェルタ内では氷は急速に、定着氷となる。一旦、定着氷になってしまえば、シェルタ内の氷は、潮氷と全く同様で、風や熱的影響を受けて、微小な伸張、縮少を行う以外は動きがない。このため、周囲の氷は人工島に凍結付着し、汐割れを除けば、割れや氷丘の形成も、又水平移動も殆んど起さない。融冰期を迎れば、周囲の氷は、そのまま融解してしまうことがほとんどである。

このような状況下では、人工島周辺を氷が取り囲んだような、所謂“frozen-in”の状態となり、氷の破壊モードは、図 6.2.2 に示すようなものとなる。

### (1) 座屈破壊

開水面が再結氷したような薄氷時には、座屈破壊が起ることがある。氷板が座屈に至るまでの氷荷重下限は、弾性支持上の細長板に対する座屈荷重を求めた Hetenyi の解がある。座屈限界  $P$  は

$$P = 2\sqrt{KET} \quad (3)$$

で求められる。ここに

$K$  : foundation modulus

$E$  : elastic modulus

$I$  : 2nd moment of area

である。

$E = 7 \times 10^6 \text{ kPa}$  として、氷厚と荷重限界の関係を求めたのが図 6.2.3 である。この図から、氷厚 2 m の氷板が座屈を起すためには  $7,000 \text{ kPa}$  程度の氷圧力が必要となることが判る。氷厚が比較的厚い場合には、実際には、座屈以外のモードで氷の破壊が生じる。

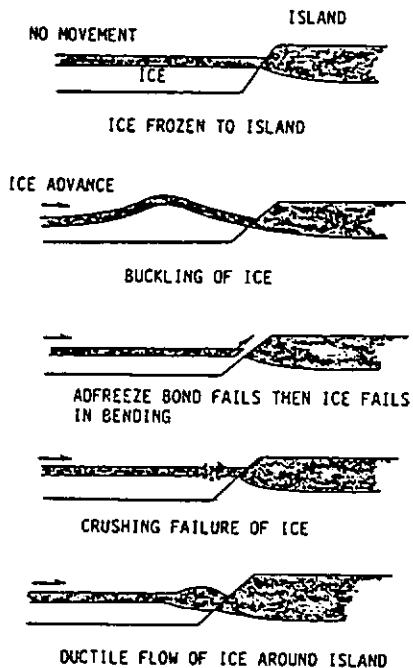


図 6.2.2. 破壊モード

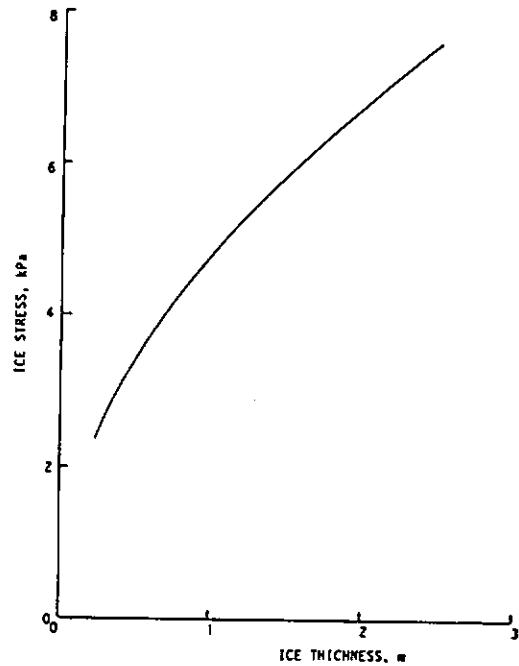


図 6.2.3. 荷重限界

### (2) 氷と人工島との凍結部の破壊

氷の凍着力が弱ければ、氷は人工島のスロープを乗上り、曲げ破壊により破碎される。

図 6.2.4 のような場合を考える。ここで

$p$  : 人工島の氷圧力

$t$  : 氷厚

$q$  : 凍着力 (凍着部の氷の剪断強さ)

$\alpha$  : 人工島スロープの傾斜角

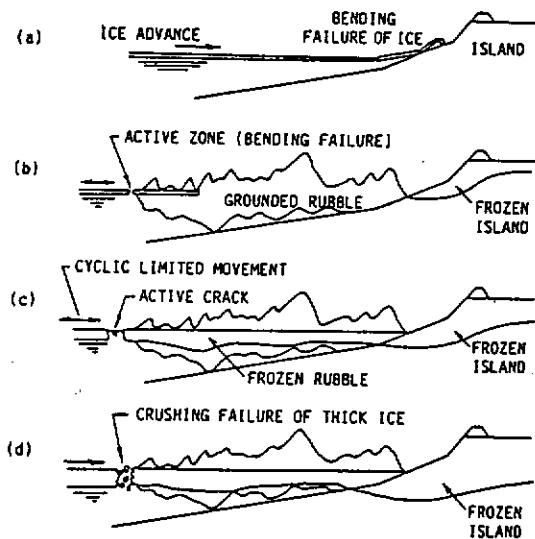


図 6.2.4. 人工島への氷の作用

とすれば

$$pt = \left( \frac{t}{\sin \alpha} \right) q \cos \alpha \quad (4)$$

であるから、 $p$  は、

$$p = q / \tan \alpha \quad (5)$$

となる。

人工島のスロープに対する氷の凍着力がどの程度のものかについては、資料がほとんどないが、仮に、

$$q = 1400 \text{ kPa}$$

とすれば、スロープが  $1/3$  であれば  $p$  は

$$p = 4200 \text{ kPa}$$

となる。

この荷重はかなり大きく、人工島と氷との凍着部で破壊が生ずることはないものと考えられる。

### (3) 氷の圧碎と延性流動

氷の圧碎が生ずるか、あるいは又延性流動が生ずるかは、氷の移動速度（歪速度）による。歪速度が小さければ、人工島に働く荷重は、結氷したダムでの温度変化に基く氷圧力と同じようになる。又、歪速度が高ければ、直立円柱などと同様に、人工島には、その上限として、圧碎モードの氷荷重が働くものと考えればよい。

圧碎モードの氷荷重については、直立円柱に対する Korzhavin の算定式が利用できる。即ち、氷荷重  $p$  は

$$p = Imk\sigma \quad (6)$$

である。ただし

$I$  : 押込係数,  $1.0 \sim 2.5$

構造物の幅が狭い場合 : 2.5

幅広い場合 : 1.0

$m$  : 形状係数

直円柱（氷との接触面が弯曲面） 0.9

角柱（氷との接触面が平面） 1.0

$k$  : 接触係数

完全接触時  $k = 1.0$

$\sigma$  : 氷の圧縮強さ

である。

人工島のように、幅の広い構造物では、 $I = 1.0$  であり、人工島周囲で完全結氷しているものとすれば  $k = 1.0$  である。 $m \neq 1.0$  であるから結局、人工島に対して

$$p = \sigma \quad (7)$$

であり、氷の圧縮強さに等しい氷圧力が作用することになる。この氷の強さや破壊限界が知れれば、氷圧力が求められる訳であるが、氷の強さ、就中、圧縮強さは、温度、歪速度、結晶方位と荷重方向、拘束条件、塩分濃度、力を受ける氷の寸法などによって変化し、具体的な状況下での正確な値を求めるることは難しい。氷の破壊モードは、歪速度によって異なる。歪速度が非常に低い場合には、氷は流動し、低い応力でクリープする。このため、氷表面の破面は殆んど見ることができない。一方、歪速度が高ければ、氷の破壊は脆性的で、粉碎状態となる。

浅海に構築された人工島周辺の氷の状況から判断すると、氷は微速で移動し、クラックなども不明瞭で氷は延性的に変形しているように見受けられる。

水深が 3 m 以下の海域での氷の運動は、多くは最大 0.3 m/hr である。歪速度に関して、人工島の場合どのような特性長さを探ればよいかは明らかでないが、人工島の幅、又は相当直径を探るものとすれば、歪速度は

$$\dot{\epsilon} = V/D \quad (8)$$

$V$  : 氷の移動速度

$D$  : 人工島の相当直径

である。 $V = 0.3 \text{ m/hr}$ ,  $D = 100 \text{ m}$  の時

$$\dot{\epsilon} \approx 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

となるが、この程度の歪速度であれば、氷は延性変形あるいはクリープを生ずる可能性がある。図 6.2.5 を利用して人工島に作用する氷圧力を求めてみると、700 kPa 程度となる。しかし、平面歪の状態が妥当だとすると、氷圧力は 3,500 kPa 程であると考えられる。このことは逆に実験室規模のスケールの小さな場合には、実際の氷野で試験した場合より強度が高くなる傾向があると言える。このため、上の氷圧力は高過ぎるものと考えてよい。

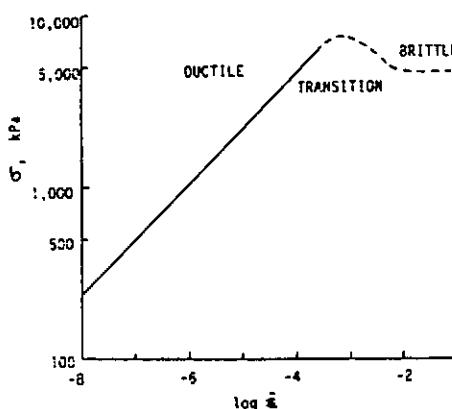


図 6.2.5. 一軸圧縮強さ

結局、浅海域では氷の移動量も移動速度も小さいため、人工島に作用する氷圧力は、氷の延性流動やクリープの性状によって支配される。即ち、浅海に構築された人工島に働く氷圧力は深海域で、氷に晒されている人工島の場合より、かなり低くなっているものと考えられる。

#### (4) 比較的水深の深い海域での人工島に働く氷圧力

水深が深くなれば、人工島周囲の氷も定着氷化するのが次第に遅くなると共に、潮汐、波浪等、様々な外力を受けて、氷は周期的運動を行う場合が多い。このため、人工島周囲には、氷の破碎が生ずる領域、active zoneが存在するようになる。

このような海域では、10月半ばに結氷が完了しても尚数週間は、氷厚0.3～0.6mに達した氷盤が静止状態ではなく、かなりの運動が目につくのが特徴で、強風下では、氷盤の移動は数千米にも及ぶことがあり、人工島周辺に、著しい碎氷堆積が形成される。(図6.2.6 & 7)

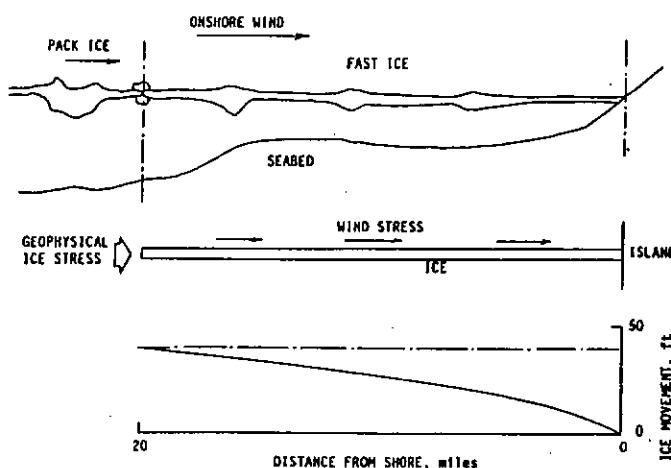


図6.2.6. 人工島周囲の氷の移動

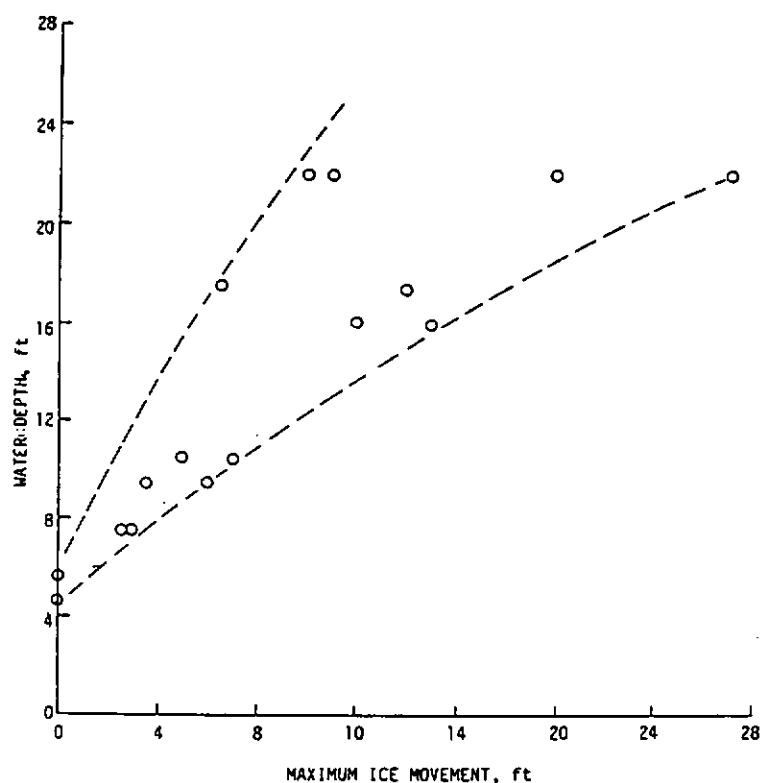


図6.2.7. 水深と氷の移動速度

11月から12月にかけて、定着氷の形成が完了すれば、氷は周期的な運動を引き続行うものの、その移動距離は、通常1日数フィート程度となる。冬期も後半になれば、氷の運動は更に僅かなものとなるが、クラックが凍結し氷に閉ざされることは殆んどない。

#### (a) 氷の破壊モード

氷の作用を直接受ける人工島のビーチでは、図6.2.8に示すような経緯を辿って、特有の氷状が形成される。先ず、秋期の薄い氷盤が、人工島ビーチで曲げ破壊を起し、碎氷片の堆積が始まる。氷厚がある限度以下の場合には、ビーチ上の氷の乗上げが円滑に行われず、氷盤破碎してしまう。

碎氷堆積(rubble pile)の生成機構は複雑で、多分に確率的である。ビーチ上に次々と乗上げて氷が曲げ破壊を起し、堆積丘(ramp)を形成することもある。又、既に形成された碎氷堆積に氷盤が貫入することもある。この場合には、浮力差や重力の作用で、氷盤は曲げ破壊を起し、氷丘脈を形造ることになる。碎氷堆積は、着底する事多く、堆積がある高さに達すると、水面下での堆積が進行するようになる。冬の初めに、碎氷堆積の高さが6mを超えることは稀れで、氷圧力は、氷丘脈の形成時の類推から、350kPaとなることは極めて少ないものと思われる。人工島周囲に形成された碎氷堆積は、いずれの場合にも、外界の氷の直接的な作用が人工島に及ばないような動きをしている。碎氷堆積の水平力に対する抵抗力のため、活性域は碎氷堆積の外縁に残り、碎氷堆積は、凍結して強固な環状氷塊となって人工島を取りまくようになる。(図6.2.8)

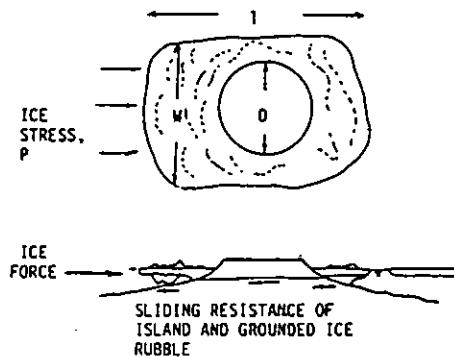


図6.2.8. 人工島と碎氷堆積

碎氷堆積の生成機構については、Kry(1977) & Parmenter-Coon(1972)の論文がある。Kryによると、堆積は13mにも達することがあると言う。

氷盤の厚さが増加し、曲げ破壊が起り得なくなると、圧碎が発生するようになる。勿論、この場合の氷圧力は、曲げ破壊時に比較して、かなり高いものとなる。しかし、碎氷堆積の外縁には、活性域が引き続き存続するが、再凍結した碎氷堆積は強固で、氷の力を人工島の凍結面に伝える。このような人工島の碎氷堆積に加わる力Fは、活性域での氷の圧碎力をpとして、

$$F = pwt \quad (9)$$

で与えられる。ここで、wは氷の移動方向に対する碎氷堆積の幅、tは氷厚である。

碎氷堆積の滑動抵抗をR<sub>r</sub>とすれば、人工島に加わる力Qは

$$Q = pwt - R_r \quad (10)$$

となる。図6.2.9のような状態を考える。滑動面において単位面積当たりの流線方向の反力wは、近似的に

$$w = (1 - C) (h_m \rho_i + y (\rho_i - \rho_w)) \quad (11)$$

である。但し

- C : 砕氷堆積の空隙率
- $h_m$  : 水面上の平均堆積高さ
- y : 水深
- $\rho_i$  : 氷の密度
- $\rho_w$  : 水の密度

である。

従って、砕氷堆積の滑動抵抗  $R_r$  は、

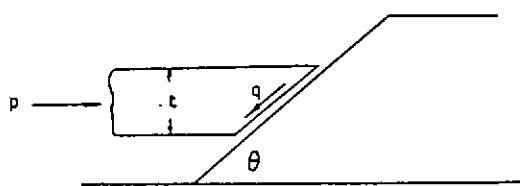


図 6.2.9. 凍着部の破壊

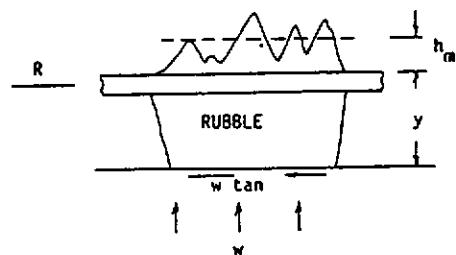


図 6.2.10. 砕氷堆積の滑動抵抗

$$R_r = Aw \tan \phi \quad (12)$$

で与えられる。ここに

- A : 砕氷堆積の面積
- $\phi$  : 砕氷堆積底面の摩擦角

実際には、砕氷堆積か、海底土壤内か、摩擦角の小さい方を探る。

図 6.2.10 のような事例では、 $R_r$  は

$$R_r = (WL - \frac{\pi D^2}{4}) w \tan \phi \quad (13)$$

で求められる。

具体例を挙げて検討してみる。

$$D = 9.76 \text{ m}$$

$$W = 137 \text{ m}$$

$$L = 152.5 \text{ m}$$

$$\tan \phi = 0.6$$

$$C = 0.3$$

$$\begin{aligned}
 h_m &= 3.1 \text{ m} \\
 y &= 7.6 \text{ m} \\
 \rho_i &= 914 \text{ kg m}^{-3} \\
 \rho_w &= 1000 \text{ kg m}^{-3}
 \end{aligned}$$

の時

$$R_r = 116 \text{ MN}$$

人工島の滑動抵抗は、800 MN程度と考えられるから、人工島周囲に形成された碎氷堆積により、全体の滑動抵抗は10~15%増加することになる。しかし、氷の受圧幅も増加することを忘れてはならない。この具体例では、140 m、即ち40%の増幅となっている。人工島周囲に再凍結した碎氷堆積によって、この事例では結局、滑動に対する安全係数が、約20%減少する。

Kry(1977)は、より厳密な解析を行っているが、一般的な結論は、殆んど変わらない。

### (b) 楔形モデル

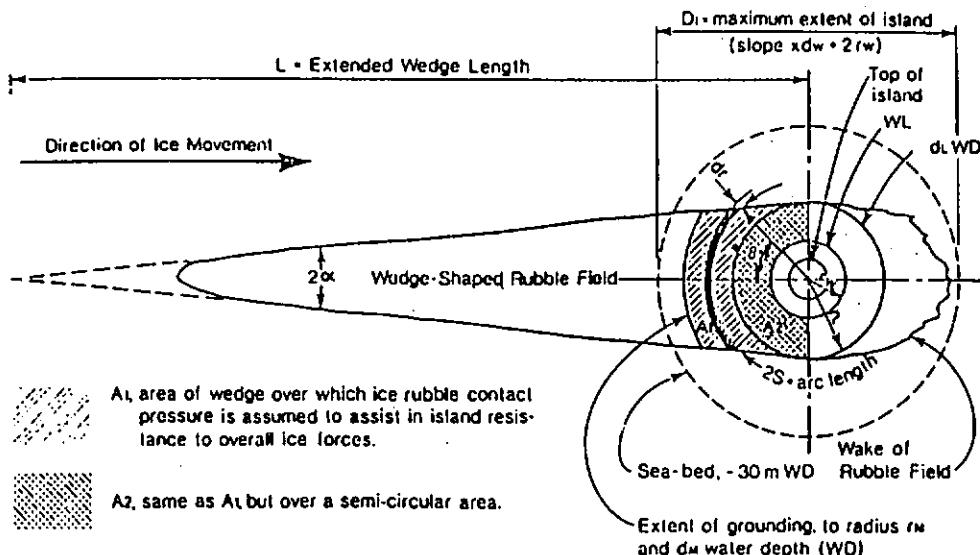


図 6.2.1 1.a 楔形モデル

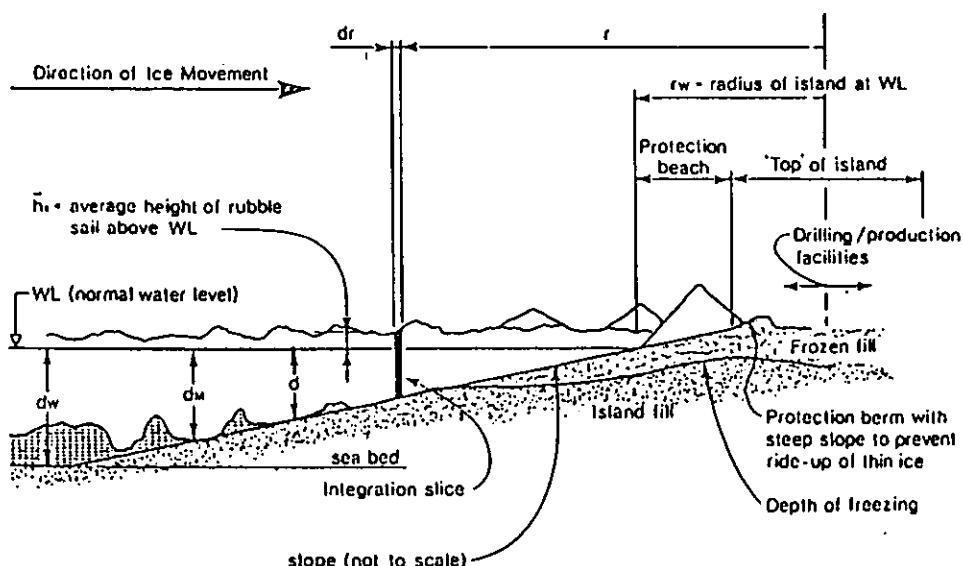


図 6.2.1 1.b 楔形モデル

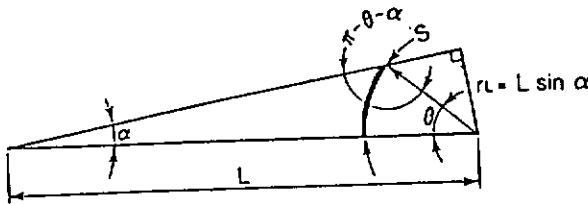


図 6.2.1 1 c 楔形モデル

Allyn 等は、碎氷堆積が海底に達した場合の問題を取り扱っている。図 6.2.1 1 のように、円錐形状の人工島を考え、人工島に対する氷の移動方向上流側に、楔状の碎氷堆積が形成されるものとし、その角度を  $2\alpha$  とする。碎氷堆積の着底程度と水深は、人工島の上、下流側で、必ずしも同一ではない。

図中の円弧の長さ  $S(r)$  は

$$S(r) = r \sin^{-1} \left( \frac{L \sin \alpha}{r} \right) - r \alpha \quad (14)$$

である。水面上高さ  $h_s(r)$  の sail の重さを  $w$ 、水面下深さ  $h_k(r)$  の keel の浮力を  $b$  とすれば

$$w = \rho_i g (1 - r_s) h_s(r) \quad (15)$$

$$\sim \rho_i g (1 - r_s) \bar{h}_s$$

$$b = (\rho_w - \rho_i) g (1 - r_k) h_k(r) \quad (16)$$

であり、人工島に働く荷重は  $(w - b)$  である。 $h_k(r)$  は、又

$$h_k(r) = \frac{1}{r_u - r_w} (r - r_w) d_k \quad (17)$$

となる。

碎氷堆積の滑動抵抗  $R_r$  は、摩擦係数を  $\mu$  として

$$R_r = 2 \mu \int_{A_1} (w - b) S(r) dr + \mu \int_{A_2} (w - b) r dr \quad (18)$$

で求められる。即ち

$$R_r = 2 \int_{r_L}^{r_u} [q_1 - q_2 (r - r_w)] [\sin^{-1} \left( \frac{L \sin \alpha}{r} \right) - r \alpha] dr + \pi \int_{r_w}^{r_u} [q_1 - q_2 (r - r_w)] r dr \quad (19)$$

$$q_1 = \mu \rho_i g (1 - r_s) \bar{h}_s \quad (20)$$

$$q_2 = \mu (\rho_w - \rho_i) g (1 - r_k) \frac{d_k}{r_u - r_w} \quad (21)$$

となる。ここで

$$Q_1(r) = \int r \sin^{-1} \left( \frac{r_L}{r} \right) dr = \left( \frac{r^2}{2} \right) \sin^{-1} \left( \frac{r_L}{r} \right) + \frac{r_L}{2} \sqrt{r^2 - r_L^2} \quad (22)$$

$$Q_2(r) = \int r^2 \sin^{-1} \left( \frac{r_L}{r} \right) dr = \left( \frac{r^3}{2} \right) \sin^{-1} \left( \frac{r_L}{r} \right) + \frac{r_L r}{6} \sqrt{r^2 - r_L^2} \\ + \frac{r_L^3}{6} \ln \left( r + \sqrt{r^2 - r_L^2} \right) \quad (23)$$

と置けば

$$Q_1(r_L) = \frac{\pi r_L^2}{4}$$

$$Q_2(r_L) = \frac{r_L^3}{6} (\pi + \ln r_L)$$

であるから

$$R_r = (q_1 + q_2 r_w) [ 2Q_1(r_M) - \frac{\pi r_w^2}{2} - \alpha (r_M^2 - r_L^2) ] \\ - q_2 [ 2Q_2(r_M) - \frac{r_L^3}{3} \ln r_L - \frac{2\alpha}{3} (r_M^3 - r_L^3) + \frac{\pi r_w^3}{3} ] \quad (24)$$

を得る。

この滑動抵抗が、着底水深によってどのように変るかを示したもののが図 6.2.1.2 である。但し

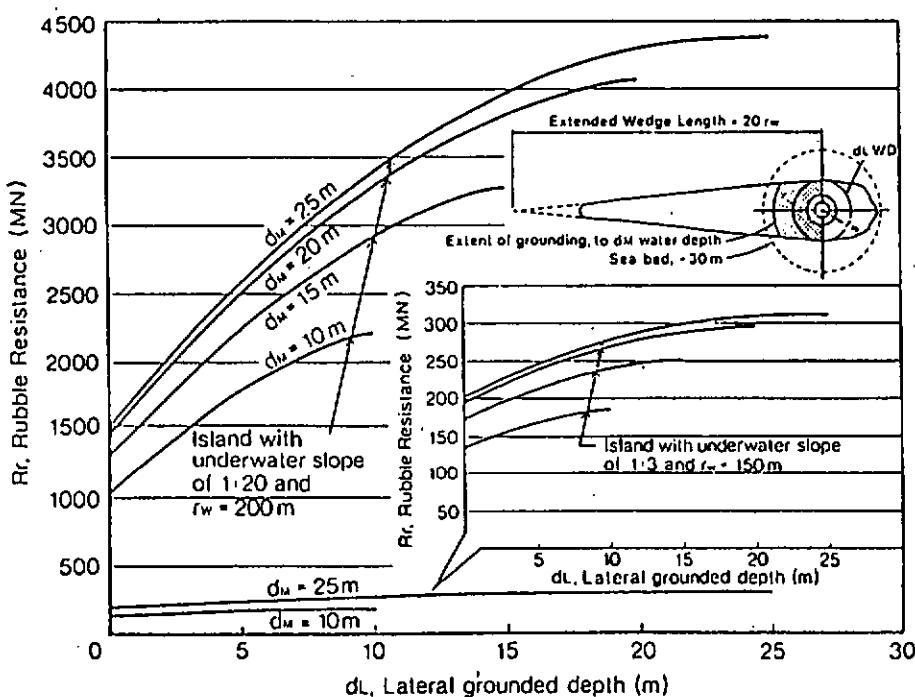


図 6.2.1.2 着底水深と滑動抵抗

$$\begin{aligned}
 \rho_i &= 915 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_w &= 1024 \text{ kg/m}^3 \\
 g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 h_s &= 3 \text{ m} \\
 r_s &= r_k = 0.2 \\
 \mu &= 0.7
 \end{aligned}$$

と仮定している。

尚、楔形碎氷堆積の長さ、 $L$  によって滑動抵抗  $R_r$  がどのように変化するかは、上式を  $L$  で微分した

$$\begin{aligned}
 \frac{dR_r}{\alpha L} &= (q_1 + q_2 r_w) \left[ \frac{r_L}{L} \cdot \frac{(r_M^2 - r_L^2)}{\sqrt{L^2 - r_L^2}} \right] \\
 &\quad + q_2 \left[ \frac{2}{3} \frac{r_L}{L} \frac{(r_M^3 - r_L^3)}{\sqrt{L^2 - r_L^2}} \right]
 \end{aligned} \tag{25}$$

から知ることができる。

実際には、仮定した楔形の碎氷堆積の妥当性や、楔形碎氷堆積外縁の境界条件などに問題があり、このような扱いの信頼性についても、今後の実測値との比較などを含め検討、改良すべき点があろう。

#### (c) 活性域での氷の圧碎力

活性域での氷の圧碎力を求めるのは容易ではない。圧碎力の上限を探ることも考えられるが、これは、破碎率の幅が広いこと、定着氷の動きが鈍いことなどから妥当とは思われない。

人工島の周辺で氷圧力を実測した結果では、活性域における氷の圧碎力は、氷の圧縮強さよりかなり低い。

#### (5) 人工島への氷の乗上げ

乾舷が少なく、ビーチの傾斜の小さな人工島では、作業場は氷の侵蝕を受け易い。図 6.2.1.3 はその状況を示したものである。人工島では、氷はその前面で砕けて堆積するか、乗上げが生ずるかのいずれかである。氷の乗上げが発生する場合には、氷は作業場を侵蝕するばかりでなく、周囲の氷野と同一速度で移動することを忘れてはならない。このため、多くの場合、逃避の余裕がなくなる。

人工島のように、斜面を持つ低乾舷構造物を設計する場合には、氷の乗上げの可能性を検討しておくことが大切である。

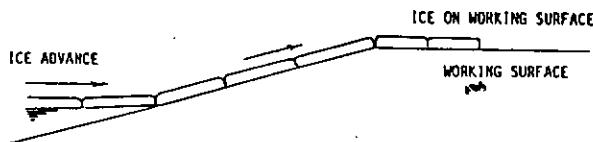


図 6.2.1.3. 単純な乗上げ

#### (a) 氷の反復乗上げ

氷の乗上げに関する文献は、北極探検家として知られる Stefansson (1913) の報告が最初である。最近に至る迄、氷の乗上げは、北欧や五大湖のような亜極帶で知られた現象であった。Bruun-Johansson (1971) は、氷の乗上げによる海洋構造物や沿岸構造物の被害を報告している。又、

Tryde (1972) や Tsang (1974) の報告もある。報告によると氷野が小さくとも、"氷の堆積"はかなりの高さに達し、厚さ 0.5 m の氷の場合 10 m にも及ぶ。氷の乗上げは、碎氷片の積み重ねによって高さを増すことが多い。

氷の堆積の最大値については Allen (1970) の研究がある。Allen は氷の堆積高さは、氷盤の水平力、あるいは氷盤の運動エネルギーによって決まるものとしたが、氷の曲げ強さも氷の乗上げ、堆積の支配因子の一つと考えられる。

極域での活動が進むにつれ、亜極域での氷の厚さより厚い氷の乗上げ現象が観測されるようになつた。Shapiro (1976) の報告によると、アラスカ、バークー付近の海岸を、氷厚 1.2 m の氷が 25 m まで乗上げた。Ellesmere 島の Lincoln 湾で、同様の現象があつたことを Irwin (1975) が報告している。

Hanson (1978) によると、アラスカ、Barrow 近くで、ビーチを水際から 105 m も乗上げ氷の乗上げ高さは水面上 3 m にも達した。氷厚は 1.0 ~ 1.3 m であった。Ellesmere 島の同様なビーチでは、氷は水際から 25 m の所で氷の乗上げは停止した。但し、水面上の高さは、2.5 m に達している。

#### (b) 氷の乗上げの支配因子

氷盤の押上げ力が、斜面での氷の運動に対する抵抗に打ち勝てば、氷の乗上げが起る。氷の押上げ力は、外部氷野の駆動力やビーチ直前の氷盤の強さによって支配される。氷が斜面を移動する際の抵抗は、斜面上の碎氷片の不安定現象によって生み出される。

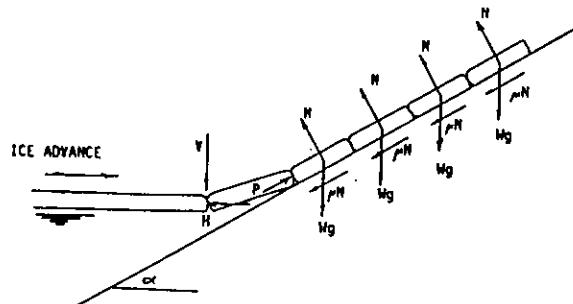


図 6.2.1.4. 乗上げ時の力のベクトル

図 6.2.1.4 のような場合を考える。斜面上で碎氷片の押上げに要する力を  $P$  とすれば、 $P$  は

$$P = \sum_{i=1}^n W_i g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad (20)$$

である。ここに

$W_i$  : 各氷片の質量

$n$  : 斜面上の氷片数

$\alpha$  : 斜面の傾斜角

$\mu$  : 摩擦係数

$g$  : 重力の加速度

である。上式は、2次元的には、

$$P = L t b \rho g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad (27)$$

と書き直すことができる。但し

$L$  : 斜面上で氷片の存在する長さ

$t$  : 氷厚

$\rho$  : 氷の密度

$b$  : 斜面上の氷の幅

外部氷野の定常駆動力  $F$  が、斜面抵抗の水平成分より大きければ、氷の乗上げの可能性が生ずる。  
即ち

$$\frac{F}{P \cos \alpha} \geq 1 \quad (28)$$

であれば、氷の乗上げの可能性がある。

一例として、斜面の傾斜角  $15^\circ$ 、長さ  $30\text{ m}$ 、幅  $100\text{ m}$ 、氷厚  $1\text{ m}$ 、摩擦係数  $0.3$  の場合を挙げれば、(27)式から  $P$  は、 $P = 14.6\text{ MN}$  となる。又、水平成分は、 $141\text{ kN}$  となる。

北極海では、浅海域での人工島には、定着氷の解氷時に、大氷盤が衝突する可能性が高い。氷盤の大きさはこの時期、数キロメータの大きさとなることも稀ではない。

氷盤の直径を  $5\text{ km}$ 、風速  $20\text{ m/s}$ 、とすれば、外力（氷野の乗上げ駆動力）  $F$  は、 $21.8\text{ MN}$  となり、この値と、上記の斜面抵抗の値を(28)式に代入すれば

$$\frac{F}{P \cos \alpha} = 1.54$$

となり、この場合には、氷の乗上げが発生することになる。

かなりの運動エネルギーを持つ氷盤に対しては、氷盤の運動エネルギーと、斜面上で氷片の乗上げによる仕事量とを検討してみる必要がある。斜面上で氷片が、重力と摩擦力に対して行う仕事  $U$  は、簡単に

$$U = \frac{1}{2} t b \rho g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) L^2 \quad (29)$$

で求められる。氷盤の運動エネルギーは最初には

$$K_e = \frac{1}{8} \pi D^2 t \rho V^2 \quad (30)$$

である。但し、 $D$  は氷盤の直径、 $V$  は初速である。

氷が斜面を乗上げるために、 $K_e / U \geq 1$ 、即ち

$$\frac{\pi D^2 V^2}{4 b L^2 g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} \geq 1 \quad (31)$$

であればよい。(31)式では、氷盤の曲げ破壊による仕事量が考慮されていないが、傾斜の緩かな長い斜面では、曲げ破壊による仕事量は少ない。氷盤の破壊に伴うエネルギー損失を無視することは、乗上げの観点からは、安全側の結果を与えることになる。

具体例として、直径 300 m の氷盤が速度 1 m/s で人工島に向って移動する場合を考える。人工島の幅を 100 m, 斜面勾配を 15°, 斜面長さを 25 m, 斜面の摩擦係数(氷に対する)を 0.3 とすれば、

$$\frac{\pi D^2 V^2}{4 b L^2 g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = 0.21$$

を得る。従って、この場合には、この氷盤単独では斜面を乗上げることは不可能であり、乗上げのためには、後続の氷盤の運動エネルギーが必要となる。乗上げが可能となる氷盤の最小寸法を求めてみると、約 700 m となる。

斜面上で氷片を押上げる力は、外部氷野から供給されるだけであるが、問題になるのは、氷盤の前端部分である。斜面抵抗による力が、氷盤の前端部の破壊をもたらせば、ビーチの水際で堆積が起り、乗上げの進行が止められる。氷盤の前進に伴う氷の破壊モードは、原理的には全てのモードが発生可能であるが、曲げ破壊が最も一般的なものである。

図 6.2.1-4 で、氷片の斜面を押上げるに要する力 P は、押し寄せて来る氷盤前端での、鉛直及び水平力によって支配される。氷盤前端が斜面に接触した時には、鉛直力 V, 水平力 H は、

$$\begin{aligned} V &= P \sin \alpha \\ H &= P \cos \alpha \end{aligned} \quad (32)$$

である。氷盤の幅を b とすれば、2 次元的には、(15) 式から

$$V = b t \rho g Z (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad (33)$$

$$H = b t \rho g Z (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cot \alpha \quad (34)$$

$$Z = L \sin \alpha$$

である。Z は斜面上の氷の水面からの高さである。

曲げ破壊では、水平力 H は無視できるから、Hetyenyi の弾性支持を受ける梁あるいは板の問題と同様の扱いが可能で、単純梁の幅を b として端部に荷重を受けるものとすれば、

$$V_c = 0.68 \sigma_c b \left( \frac{\rho g t^5}{E} \right)^{1/4} \quad (35)$$

である。V<sub>c</sub> は限界荷重、σ<sub>c</sub> は限界曲げ応力、E は弾性率である。(33), (34) 式から、乗上げ限界は

$$\frac{V_c}{V} \geq 1$$

即ち

$$0.68 \frac{\sigma_c}{Z} \left( \frac{t}{E} \right)^{1/4} \cdot \left( \frac{1}{\rho g} \right)^{3/4} \frac{1}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha} \geq 1 \quad (36)$$

で与えられる。

一例として、長さ 30 m, 斜面勾配 15°, 乾舷 3 m, 摩擦係数 0.1, 氷厚 1 m, 曲げ強さ 700 kPa, 弹性率  $7 \times 10^6$  kPa, の場合について検討してみると

$$0.68 \left( \frac{\sigma_c}{Z} \right) \left( \frac{t}{E} \right)^{1/4} \left( \frac{1}{\rho g} \right)^{3/4} \frac{1}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha} = 1.7$$

となり、氷の乗上げの可能性があることが判る。(36)式から明らかなように、曲げ強さや乾玄の影響は大きいが、乗上げに対して、氷厚や弾性率の影響は少ない。又、斜面の勾配が急峻になるにつれ、摩擦係数の影響は少なくなる。上記の事例で、乾玄が 7 m、摩擦係数が 0.3 に変ったとすると、(36)式右辺の値は、0.48 となり、氷の乗上げの可能性は薄れる。

(36)式は、極めて簡単な考察から導かれたものであり、氷の乗上げの限界条件を正確に求めた訳けではなく、乗上げの現象理解を助けるための指針と考えるべきであろう。例えば、水面下から、極めて緩やかな勾配で続くビーチでは、(36)式を導いた際のような、氷が曲げ破壊を起すためには、氷盤下部の空隙が少な過ぎ、従って、氷は曲げ破壊を起さず、(24)式の限界を超えて、斜面を乗上げるものと考えられる。

氷の乗上げに関して、曲げ破壊以外の破壊モードの可能性を検討してみる。(34)式を、上記の事例に当はめてみると、

$$\frac{H}{b t} = \rho g Z \cot \alpha (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 127 \text{ kPa}$$

となる。このような水平力では、氷盤の圧碎を生ずることはできず、又、特に薄い氷を除いて、座屈を起す可能性もない。

#### (c) 不安定現象

斜面勾配に変化がある場合、このような箇所を氷が乗上げ、通過するためには、この付近の形状にある条件が必要である。条件が満たされなければ、氷の運動が不安定になり、氷片の回転などが発生する。図 6.2.1.5 に示すように、勾配の変る箇所を、最初の氷片が通過する際、続く氷片から離れて、回転し、堆積の切っ掛けを造る。回転を起す不安定現象は、斜面勾配に比して氷厚の小さな場合のみ起る。図 6.2.1.6 に示すように、氷が厚ければ、氷の回転は起らず、氷は前進を続ける。

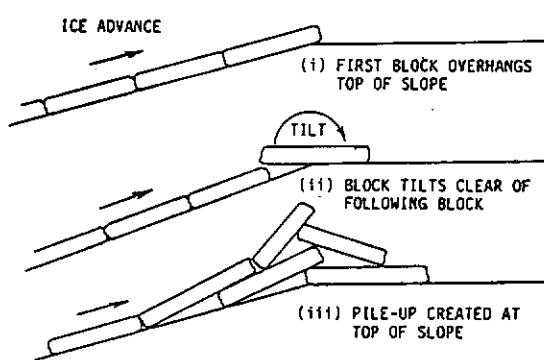


図 6.2.1.5. 運動不安定

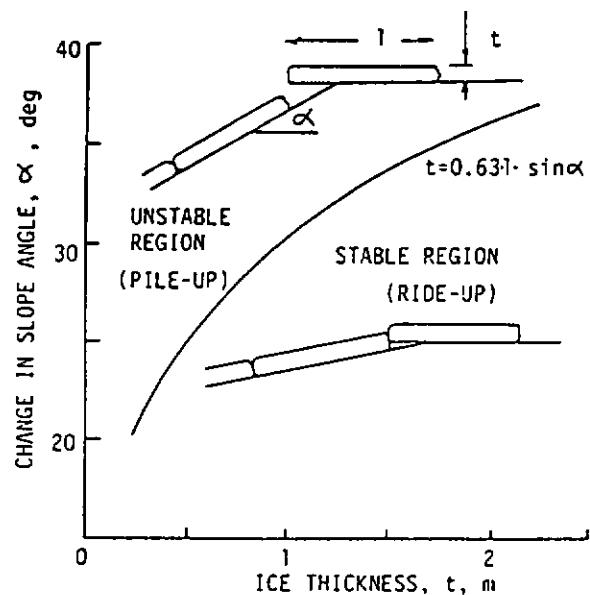


図 6.2.1.6. 乗上げ限界

氷厚、氷片長さ、斜面勾配の関係は

$$h = \frac{\ell \sin \alpha}{2}$$

から

$$h < t$$

であれば、氷の乗上げが継続する。斜面への氷片の接点が、斜面勾配の変化点に近づけば、実際には、氷片の前端部の破壊が起る。従って、この点を考慮すれば上記の条件は、

$$h < 0.8 t$$

とすべきかも知れない。従って、乗上げが引続いて進行する条件として、

$$t > 0.63 \ell \sin \alpha \quad (37)$$

を図 6.2.1 6 に示す。図中の曲線は、氷片の長さは氷厚の 3 倍と仮定している。氷厚 1 m の時、斜面勾配に  $30^\circ$  以上の変化があれば、氷片の乗上げは不安定となることが判る。斜面の勾配が  $1/3$  ( $20^\circ$ ) の時、氷厚 1 m の氷片は、不安定とならず、乗上げを続ける。堆積が発生するためには氷厚は 0.25 m 以下でなければならない。氷片の長さが更に長ければ、不安定となる氷厚は増加する。

#### (d) 圧縮不安定

氷片が斜面を乗上げる際、氷片が斜面から浮き上って離れば、圧縮不安定が起る可能性がある。

図 6.2.1 7 に示すように、氷片の斜面からの浮き上り高さを  $e$  として、限界時の  $P$  と  $e$  との関係を求める。

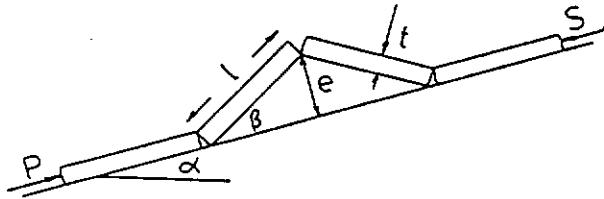


図 6.2.1 7. 圧縮不安定

今、斜面勾配の無い場合 ( $\alpha = 0$ ) を考え、2次元で、摩擦もないものとする。この時は

$$P = S = \frac{\ell^2 b t \rho g}{2 e} \quad (38)$$

又は、

$$\sigma_e = \ell^2 \rho g / 2 e \quad (39)$$

である。但し、不安定個所での氷の圧縮強さを  $\sigma_e$  とする。

具体例として、氷片の長さ 4 m、厚さ 1 m、斜面の長さ 30 m、勾配  $10^\circ$ 、摩擦係数 0.3 の場合を検討する。式から、斜面抵抗を求めて、

$$\sigma_c = 125 \text{ kp}_a$$

$$e = 0.57 \text{ m}$$

を得る。これから、斜面下部で 1 m の浮き上りがあれば、堆積が発生し、乗上げが妨げられることになる。

#### (e) 渋滞 (jamming)

斜面に、勾配の急増する部分があれば、その地点で氷片の動きが阻害され、渋滞が起る可能性がある。(図 6.2.1 8)。このような場所では氷片の堆積が起り得る。

斜面の勾配が無い場合 ( $\alpha = 0$ ) に、均合いの条件から氷圧力  $P$  を求めれば

$$P = \frac{W}{2} \left( \mu + \frac{\sin \phi + \mu \cos \phi}{\cos \phi + \mu \sin \phi} \right) \quad (40)$$

を得る。上式から、渋滞の条件は、 $\mu$  の一定値に対して、 $P \rightarrow \infty$  となる  $\phi$  を求めればよい。よって

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{1}{\mu} \right) \quad (41)$$

である。これを図 6.2.1 9 に示す。

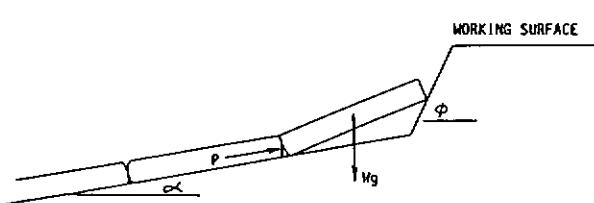


図 6.2.1 8. 乗上げ渋滞

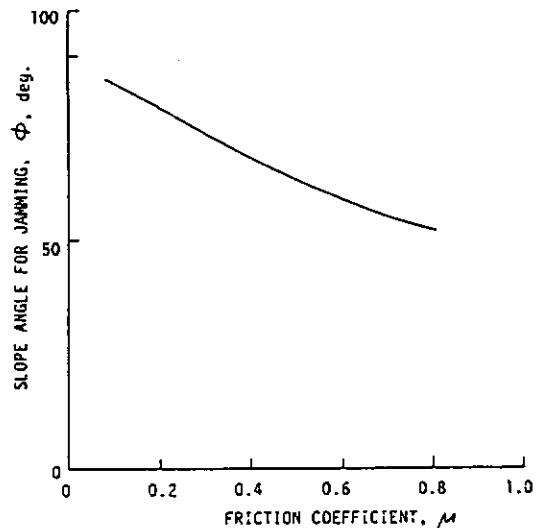


図 6.2.1 9. 乗上げ渋滞条件

#### (6) 氷の乗上げ防止法

乾燥の少ない構築物に対する氷の乗上げを検討する際に考慮すべきことを以下にまとめて示す。

##### (a) 氷状の設定

詳しい氷況情報の入手。氷の強度、摩擦係数情報の入手。

設計氷状の設定には、厳しい氷況は、出現頻度が多くないことに留意。統計的手法の導入と設定値の実情に則した緩和。

例えば、ポートフォート海では、浅海域での波浪による人工島は、冬の内、殆んど定着氷に囲まれる。このような定着氷は動きが少なく、氷の乗上げ問題が起ることは先ずない。又、氷盤の動きの激しいのは初冬の頃で、この頃は、氷は薄く、碎氷堆積を形成し易く、氷が定着氷となる迄の内、人工島へ

の氷の乗上げを阻止する働きをする。又、解氷時、定着氷から大氷盤が動き出し、ポートフォート海での人工島への氷の乗上げは、この時期に多い。しかし、この時期には、氷は弱く、氷厚も1.5 m程度で削磨し、氷の乗上げの可能性が少なくなっている。

(b) 人工島設計ポイント

人工島などの設計では、氷圧力の観点ばかりでなく、波力、実施可能な構造・工作、設備、材料など、様々な問題を検討しなければならない。

特に、氷の乗上げについては、波浪の影響との調整が重要である。

(c) 氷の乗上げを阻止するための設計

氷の乗上げを防ぐために、最も簡単な方法は、

(i) 乾舷の増加

(ii) 斜面勾配の増加

であることは明らかであるが、このため、余分の材料が必要で、経済的な見合が必要となる。

(iii) 斜面上への障害物の設置

この方法は、ポートフォート海で、掘削用人工島で用いられ、春の解氷時にビーチを守るために、鋼製パイプが使用された。しかし、実際には氷が弱く、水際で碎氷堆積が形成されたため、パイプまで氷片が達することはなかった。

(iv) 氷の運動の不安定を増すビーチ形状の採用

は、氷の乗上げを防ぐためには、最も適した方法と考えられる。一例として、図6.2.20を示す。尚、ビーチ形状、限界条件等については、標型試験を行うなど、今後、詳細な検討、研究が必要であろう。

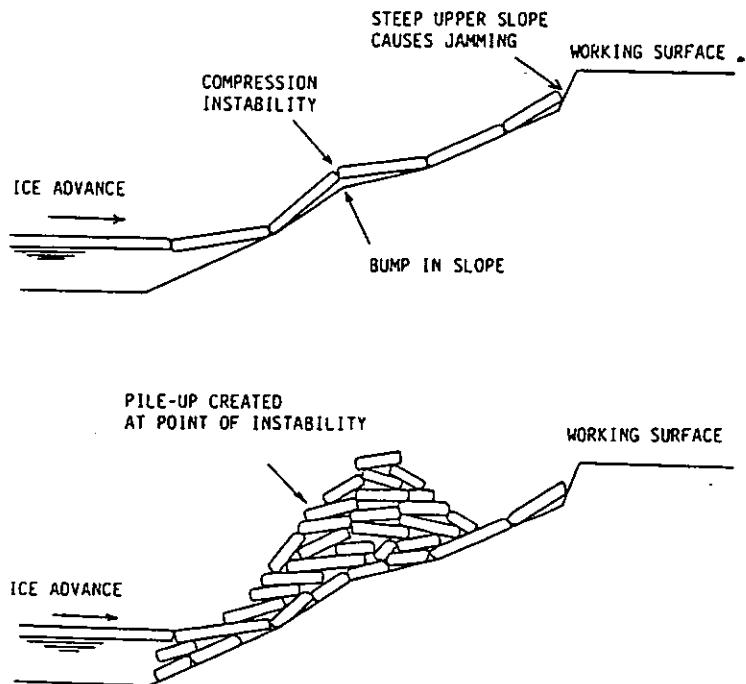
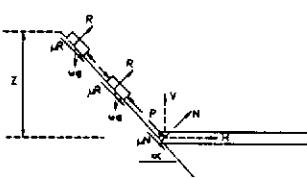
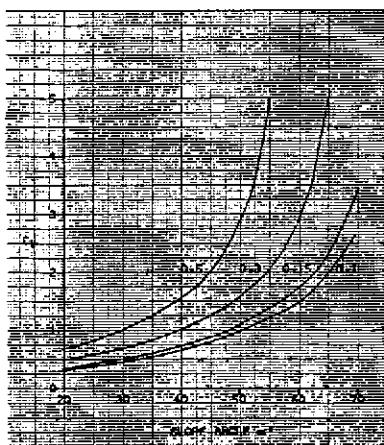
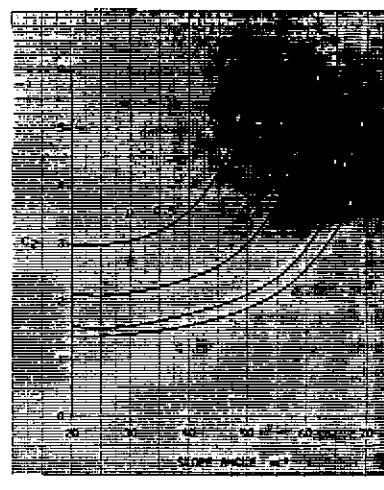


図6.2.20 乗上げ阻止法

付録 人工島関連氷荷重公式集

氷力計算式	対象	$\alpha$	提案者	CROASDALE, K.R
	傾斜構造	1	出典	IAHR W/G REPORT
計算式	$V = 0.68 \sigma_f \cdot b \left( \frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{1/4}$ $H = 0.68 \sigma_f \cdot b \left( \frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{1/4} C_1 + Z t \rho_i g C_2$ $C_1 = \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$ $C_2 = \frac{(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)^2}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} + \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\tan \alpha}$			
$V$ : 垂直力, $H$ : 水平力 $\sigma_f$ : 氷の曲げ強度 $b$ : 構造体の幅 $\rho_w$ : 水の密度 $g$ : 重力加速度 $t$ : 氷板の厚さ $E$ : 氷のヤング率 $Z$ : 氷の到達高さ $\rho_i$ : 氷の密度 $\alpha$ : 壁の傾斜角 (水平に対する) $\mu$ : 氷と壁の摩擦係数				
適用範囲	<p>水平力の第1項は氷が曲げ破壊を起す破壊荷重を示し、第2項は破壊氷が傾斜壁へ乗り上った事によるライドアップ荷重を示す。</p>			
導出根拠	<p>二次元弾性理論より、傾斜壁に對する水平力、垂直力を分離し、弾性支床梁と仮定した曲げモーメント <math>M_o = \frac{V}{\beta e \pi/4} \sin(\frac{\pi}{4})</math> と氷の許容曲げ <math>\sigma_f = \frac{6 M_o}{b t^2}</math> より、 <math>V</math> を得る。但し</p> $\text{但し } \beta = \left( \frac{K}{4 E I} \right)^{1/4} = 1.316 \left( \frac{\rho_w g}{E t^3} \right)^{1/4}$ $H = V \left( \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)$			
精度・問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜壁が一様の角度で可成りの長さで広がっている場合を対象としており、幅の狭い構造へは不向き。</li> </ul>			
備考				
				
				
	<p>Figure 7. General interaction between ice and sloping structure.</p> <p>Figure 8. <math>C_1</math> vs slope angle and friction.</p> <p>Figure 9. <math>C_2</math> vs slope angle and friction.</p>			

水力計算式	対象	M	提案者
	傾斜構造	2	出典 IAHW/G REPORT
計算式			
$H = 0.68 \sigma_f \cdot \ell \left( \frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{0.25} C_1 + Z b t \rho_i g C_2$ $\ell = 0.25 \pi^2 \ell'$ $\ell' = \left( \frac{E t^3}{12 \rho_w g (1 - \nu^2)} \right)^{0.25}$ <p style="text-align: right;">νは氷のボアン比 他の各係数は水力計算式M1に同じ</p>			
適用範囲	氷力計算式M1に準ずる。		
導出根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 実際の氷の割れる幅は構造体の幅 b より大きくそれをCharacteristic lengthにより補正</li> <li>◦ 実験観察により補正</li> </ul>		
精度・問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 構造幅に無関係で氷の強度特性のみに支配される為、幅が小さく氷厚が大きい場合は過大評価を又、幅が大きく氷厚が小さい場合は過小評価を与える傾向となる。</li> </ul>		
備考			

氷力計算式	対象	3	提案者	KRY, P.R
	人工島	3	出典	CAN.GEOTECH. Vol 17 1980
計算式				
① 曲げ荷重	$F = \left[ \frac{\rho_w g e \pi}{108 E} \right]^{1/4} \sigma_f \cdot t^{5/4}$		$\rho_w$	: 水の密度
② 座屈荷重	$R_b v = \left[ \frac{\rho_w g E}{3(1-v^2)} \right]^{1/2} t^{3/2}$		$g$	: 重力加速度
③ 圧碎荷重	$R_c v = \sigma_c \cdot t$		$E$	: 氷のヤング率
			$\sigma_f$	: 氷の曲げ強度
			$t$	: 氷厚
			$v$	: 氷のボアソン比
適用範囲				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 単位幅当たりの荷重</li> <li>◦ 大型構造</li> </ul>				
導出根拠				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 曲げ荷重は Hetenyi の弾性解</li> <li>◦ 座屈荷重は弾性支床上の梁の弾性座屈</li> <li>◦ 圧碎荷重は単純に <math>\sigma_c</math> に依存するという考え方</li> </ul>				
備考				
<p>The graph plots the average force per unit width, <math>\bar{R}_t</math> (in <math>\text{MN}\cdot\text{m}^{-1}</math>), against the ice sheet thickness, <math>t</math> (in m). Two curves are shown, corresponding to friction coefficients <math>\mu = 0.4</math> and <math>\mu = 0.2</math>. Both curves originate from the origin (0,0) and increase linearly. A vertical dashed line is drawn at <math>t = 1.0</math> m, which intersects the <math>\mu = 0.4</math> curve at approximately <math>\bar{R}_t = 1.2</math> and the <math>\mu = 0.2</math> curve at approximately <math>\bar{R}_t = 0.5</math>. The regions above these points are labeled "MAXIMUM STRESS DUE TO BUCKLING" and "MAXIMUM STRESS DUE TO CRUSHING" respectively.</p>				
Fig. 9. Average force per unit width to fail an ice sheet against a rubble pile as a function of the ice sheet thickness.				

水力計算式	対象	4	提案者	SODHI & HAMZA
	人工島	4	出典	POAC '77
計算式	$R_b/R_{bu} = 1 + 3.32 / (D/\ell + (D/2\ell)^2)$ $R_b u = \rho_w g \ell^2 = \frac{1}{2} R_b v$ $\ell = \left[ \frac{E t^3}{12 \rho_w g (1-\nu^2)} \right]^{1/4}$ $R_b v = \left[ \frac{\rho_w g E}{3(1-\nu^2)} \right]^{1/2} t^{3/2}$			
$D$ : 人工島直径 $\rho_w$ : 水の密度 $g$ : 重力加速度 $E$ : 氷のヤング率 $t$ : 氷の厚さ $\nu$ : 氷のポアソン比 $R_b u$ : 半無限弾性支持梁の座屈荷重 $R_b v$ : 端部拘束で一様荷重を受ける場合の座屈荷重				
適用範囲	人工島へ作用する氷の座屈荷重検討			
導出根拠	弾性支持梁の単位幅当たりの座屈に関して、解析的に求めている。			
精度・問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>D/\ell</math> が 0.5 より小さい領域では座屈は荷重幅に無関係となり、集中座屈荷重となり</li> <li><math>B_c = 3.32 \rho_w g \ell^3</math></li> <li><math>D/\ell</math> が 1.0 以上になると単位幅当たりの梁の座屈荷重として取扱う。</li> </ul>			
備考	<p>NORMALIZED BUCKLING FORCE (<math>R_b/R_{bu}</math>)</p> <p>BUCKLING ASPECT RATIO (<math>D/\ell</math>)</p> <p>APPLICABLE TO ARTIFICIAL ISLANDS</p>			

FIG. 11. Buckling force as a function of buckling aspect ratio.

氷力計算式	対象	$M$	提案者	KRY, P.R.
	人工島	5	出典	POAC '77

計算式

$$Q = PWt - R$$

$$R = Aw \tan \phi$$

$$A = (WL - \frac{\pi D^2}{4})$$

$$w = (1-C) [hmp_i + y(\rho_i - \rho_w)]$$

Q : 人工島へ作用する水平力

P : 氷板へ作用する氷圧力

W : rubble ice の幅

L : rubble ice の長さ

t : 氷板の厚さ

R : rubble ice のすべり抵抗

w : スベリ面の単位面積当たりの反力

C : rubble ice の porosity

hm : 水線面上の rubble の平均高さ

$\rho_i$  : 氷の密度      y : 水深

$\rho_w$  : 水の密度       $\phi$  : rubble ice のマツ角

適用範囲

人工島まわりの rubble ice の海底地盤とのすべり抵抗を考慮した氷荷重

導出根拠

人工島まわりには破壊された氷が堆積し、 rubble ice により閉される事が実機観測より得られ、この影響を考慮する為と考えられた。

精度・問題点

人工島まわりの幅が増加する事による氷力増加と海底地盤マツカ力による軽減とを検討する必要あり。

備考

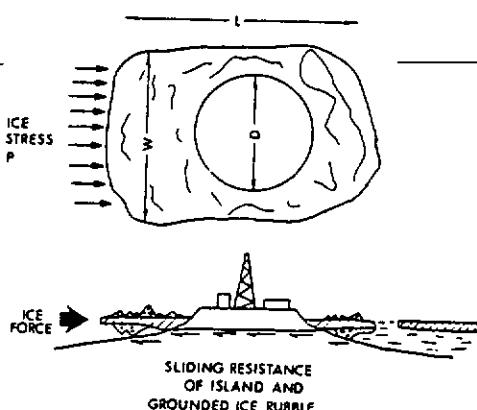


Figure 35. Ice action on island and rubble.

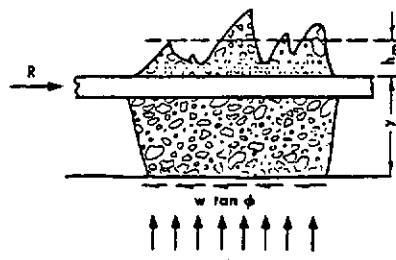


Figure 36. Sliding resistance of rubble.

水力計算式	対象	M	提案者	KPY, P.R.																																						
	人工島	6	出典	POAC '77																																						
計算式																																										
$Re = \frac{1}{2} \rho_i g H t$	$\left[ \frac{\frac{(\rho_w - \rho_i)}{\rho_i} \frac{(H_{km})^2}{(H)^2} + 1}{\frac{H_{km}}{H} + 1} \right]$																																									
適用範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工島まわりの rubble ice の影響を考慮</li> </ul>																																									
導出根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>rubble ice のエネルギー釣合により導出。</li> <li>rubble の sail, keel 部分が同時に形成される。</li> </ul>																																									
精度・問題点																																										
備考																																										
<p>TABLE 2. Forces per unit width during rubble formation. (MN·m<sup>-1</sup>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Water depth (m)</th> <th rowspan="2">Sail height (m)</th> <th colspan="3">Sheet ice thickness (m)</th> </tr> <tr> <th>0.5</th> <th>1.0</th> <th>2.0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>5</td> <td>0.02</td> <td>0.03</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>10</td> <td>0.08</td> <td>0.09</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>15</td> <td>0.16</td> <td>0.19</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>5</td> <td>0.02</td> <td>0.03</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>10</td> <td>0.07</td> <td>0.08</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>15</td> <td>0.13</td> <td>0.18</td> <td>0.22</td> </tr> </tbody> </table>					Water depth (m)	Sail height (m)	Sheet ice thickness (m)			0.5	1.0	2.0	5	5	0.02	0.03	0.04	5	10	0.08	0.09	0.13	5	15	0.16	0.19	0.25	15	5	0.02	0.03	0.04	15	10	0.07	0.08	0.11	15	15	0.13	0.18	0.22
Water depth (m)	Sail height (m)	Sheet ice thickness (m)																																								
		0.5	1.0	2.0																																						
5	5	0.02	0.03	0.04																																						
5	10	0.08	0.09	0.13																																						
5	15	0.16	0.19	0.25																																						
15	5	0.02	0.03	0.04																																						
15	10	0.07	0.08	0.11																																						
15	15	0.13	0.18	0.22																																						

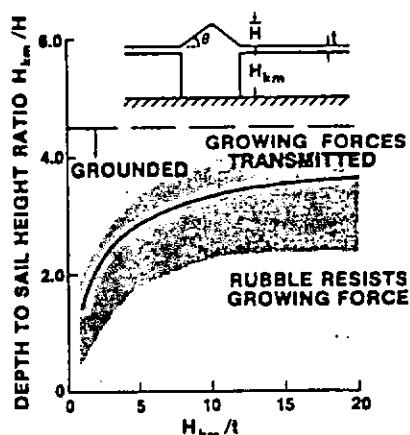


FIG. 10. Ratio of water depth and rubble sail height as a function of water depth divided by ice sheet thickness at which a rubble pile is capable of resisting the forces causing its growth.

水力計算式		対象	M	提案者	AFANA SEV.
		コーン	7	出典	MSSI REPORT
計算式	$F_H = \sigma_f h^2 S_x \tan \beta / 1.93 L_c$				
	$F_H$ : 水平力			$\rho_w$ : 水の密度	
	$\sigma_f$ : 氷の曲げ強度			E : 氷のヤング率	
	h : 氷厚			$\nu$ : 氷のポアソン比	
	$\beta$ : 傾斜角度				
	$S_x$ : 円周クラックの長さ ( $= 1.76 \frac{R}{\sqrt{2}} + \frac{\pi}{4} L_c$ )				
	$L_c : \left[ \frac{Eh^3}{12\rho_w(1-\nu^2)} \right]^{1/4}$				
	R : 氷レベルでの構造物の半径				
適用範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>○円錐構造</li> </ul>				
導出根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>○小型のモデルテストにより得られた。</li> <li>○傾斜角は <math>30^\circ, 45^\circ, 60^\circ</math> について行われた。</li> <li>○氷厚は <math>3 \sim 3.5</math> cm</li> </ul>				
精度・問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>○氷厚に対して、大きく影響を受けるが、構造幅には余り影響を受けない。</li> </ul>				
備考					

氷力計算式	対象	M	提案者	EDWARD & CROASDALE
	コーン	8	出典	IAHR W/G. 1978
計算式	$F_H = 1.6 \sigma_F t^2 + 6.0 \rho_w g D t^2$			
	<p><math>F_H</math> : 水平力  <math>t</math> : 氷板の厚さ  <math>\rho_w g</math> : 水の単位重量  <math>D</math> : コーンの水線面直径  <math>\sigma_F</math> : 氷の曲げ強度</p>			
適用範囲	○コーン			
導出根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>○コーンのモデルテストにより得られた実験式</li> <li>○コーンの傾斜角 45°で、氷とコーンの摩擦係数は 0.1</li> </ul>			
精度・問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>○荷重のうち第1項は氷を割るに必要な成分で、第2項はコーンに氷を押し上げるに要する成分</li> <li>○第1項にコーンの直径が入っておらず、精度上問題がある。</li> </ul>			
備考				

- Afanasev, V.P., Dolgopolov, Y.V. and Shraishtein, Z.I., 1971, "Ice Pressure on Individual Marine Structures". In *Ice Physics and Ice Engineering*, Israel Program for Scientific Translation, 1973, p 50-68.
- Allen, J.L., 1970, "Analyses of Forces in a Pile-up of Ice". NRC Technical Memo No. 98, Ottawa, Nov. 1970.
- Arya, S.P.S., 1973, "Air Friction and Form Drag on Arctic Sea Ice". Aidjex Bulletin No. 19, pp 43-57, University of Washington, Seattle, W.A.
- Banke, E.G. and Smith, S.D., 1973, "Wind Stress on Arctic Sea Ice". *Journal of Geophysical Research*, 78 (35), pp 7871-7882.
- Bercha, F.G. and Danys, J.V., 1976, "Investigation of Ice Forces on a Conical Offshore Structure". *Ocean Engineering*, Vol 3, No. 5, p 299-310.
- Bercha, F.G. and Danys, J.F., 1975, "Prediction of Ice Forces on Conical Offshore Structures". *Marine Science Communications*, 1975, p 365-380.
- Bruun, P.M. and Johannesson, P., 1971, "The Interaction Between Ice and Coastal Structures". First International Conference on Port and Ocean Engineering and Arctic Conditions, University of Trondheim.
- Calladine, C.R., 1969, "Engineering Plasticity". Oxford, Pergamon Press.
- Croasdale, K.R. and Marcellus, R.W., 1978, "Ice and Wave Action on Artificial Islands in the Beaufort Sea". *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 5, No. 1, 1978.
- Croasdale, K.R., 1974, "The Crushing Strength of Arctic Ice", "The Coast and Shelf of the Beaufort Sea", Editors - Reed, J.D., and Sater, J.E., Arctic Institute of North America, 1974. pp 377-98.
- Croasdale, K.R., 1975, "Ice Forces on Marine Structures". Third International Symposium on Ice Problems, I.A.H.R.
- Croasdale, K.R., Morgenstern, N.R., and Nuttal, J.B., 1977, "Indentation Tests to Investigate Ice Pressures on Vertical Piers". *Journal of Glaciology*, Vol 19, No. 81, p 301-312.
- Croasdale, K.R., 1977, "Ice Engineering for Offshore Petroleum Exploration in Canada". Fourth International POAC, Memorial University, St. John's, Newfoundland, 1977. p 1-32.
- Danys, J.V. 1977, "On Wind Induced Static Ice Forces on Offshore Structures". Fourth International POAC, Memorial University, St. John's Newfoundland, September 26-30, 1977. p 718-729.

Edwards, R.Y., Croasdale, K.R., 1976, "Model Experiments to Determine Ice Forces on Conical Structures". Symposium on Applied Glaciology, Cambridge, England, 1976.

Frederking, R. and Gold, L.W., 1975, "Experimental Study of Edge Loading of Ice Plates". Canadian Geotechnical Journal, Vol 12, No. 4, November 1975, p 456-457.

Hanson, A., 1978, Private communication. Naval Arctic Research Laboratory, Barrow, Alaska.

Haynes, F.D., Nevel, D.E. and Farrell, D.R., 1975, "Ice Force Measurements on the Pembina River". Second Canadian Hydro-technical Conference, Burlington, Ontario.

Hetyenyi, M., 1947. Beams on Elastic Foundations. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1946.

Hirayama, K., Schwarz, J. and Wu, H., 1974. "An Investigation of Ice Forces on Vertical Structures". Iowa Institute Hydraulic Research Report, No. 158.

Irwin, G.J., 1975, "Ice Pressures at the Shore of Lincoln Bay". Report No. 729, Defense Research Establishment, Ottawa, October, 1975.

Jazrawi, W. and Davies, J.F., 1975, "A Monopod Drilling System for the Canadian Beaufort Sea". The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Symposium on Ice Breaking and Related Technologies, Montreal, P.W.

Jazrawi, W. and Khana, J., 1977, "Monocone; A Mobile Gravity Platform for the Arctic Offshore". Fourth International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Memorial University, St. John's, Newfoundland.

Karelin, I.O. and Timokhov, L.A., 1971, "Experimental Determination of the Wind Drag on an Ice Sheet". Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo Nauchno-Issledovatel' Skogo Instituta, 303, pp 155-165. Also 1972, Aijex Bulletin, 17, pp 49-52.

Korzhavin, K.N., 1962, "Action of Ice on Engineering Structures" U.S.S.R. Academy of Science, Siberian Branch (1962) Draft Translation by U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (C.R.R.E.L.), 1971.

Kovacs, A., Weeks, W.R. and Hibler, W.D., 1971, "Pressure Ridge Characteristics in the Arctic Coastal Environment". First International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, University of Trondheim.

Kry, P.R., 1977, "Ice Rubble Fields in the Vicinity of Artificial Islands". Proceedings of the Fourth International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), Memorial University, St. John's, Newfoundland, Canada, Sept. 1977.

Kry, P.R., 1978, "A statistical Prediction of Effective Ice Crushing Stresses on Wide Structures". IAHR Ice Symposium, Lulea, Sweden, 1978.

Lewis, J.W. and Croasdale, K.R., 1978, "Modeling the Interaction Between Pressure Ridges and Conical Structures". IAHR Ice Symposium, Lulea, 1978. (preprint).

Lo, K.Y., 1970, "The Operational Strength of Fissured Clays". Geotechnique (London), Vol 20, No. 1, pp 57-74.

Michel, B., 1970, "Ice Pressure on Engineering Structures". CRREL Monograph 111 Blb, Corps of Engineers, U.S. Army, Hanover, New Hampshire, 1970.

Michel, B., and Toussaint, N., 1977, "Mechanisms and Theory of Indentation of Ice Plates". Symposium on Applied Glaciology, Cambridge, England, 1976. Published in Journal of Glaciology, Vol 19, No. 81.

Morgenstern, N.R. and Nuttall, J.B. Unpublished. The Interpretation of Ice Strength from In-situ Indentation Tests. (Report to Imperial Oil Limited, APOA Project No. 16, 1971.)

Neill, C.R., "Dynamic Ice Forces on Piers and Piles. An Assessment of Design Guidelines in the Light of Recent Research". Canadian Journal of Civil Engineering, Vol 3, No. 2, 1976, pp 305-41.

Nevel, D.E., "The Ultimate Failure of Floating Ice Sheets". Proc. of IAHR Symposium, Lennigrad, 1972, pp 17-22.

Parmenter, R.R., Coon, M.D., 1972, "Model of Pressure Ridge Formation in Sea Ice". Journal of Geophysical Research, Vol 77, No. 33, pp 6565-6576, 1972.

Prager, W. and Hodge, P.G., 1951, "Theory of Perfectly Plastic Solids". New York, John Wiley and Sons.

Ralston, T.O., 1977, "Ice Force Design Considerations for Conical Offshore Structures". Fourth POAC Conference, St. John's, Newfoundland, 1977.

Robbins, R.J., Metge, M., Taylor, T.P., Verity, P.H., 1975. Test Techniques for Study of Ice Structure Interaction. POAC Third Conference, Fairbanks, Alaska, 1975.

Sackinger, W.M. and Sackinger P.A. (1977), "Shear Strength of the Adfreeze Bond of Sea Ice to Structures". Fourth International POAC, Memorial University, St. John's, Newfoundland, p 607-614.

Schwarz, T., Hirayama, K. and Wu, H.C., 1974, "Effect of Ice Thickness on Ice Forces". Offshore Technology Conference, Houston, 1974.

Shapiro, L.H. and Harrison, W.D., 1976, "Mechanics of Origin of Pressure Ridges, Shear Ridges and Hummock Fields in Landfast Ice". Annual report, Contract No. 03-5-022-55, Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks, March 1976.

Stefansson, V., 1913, "My Life with the Esquimaux". McMillan, New York, 1913.

Tryde, P., 1972, "A Method of Predicting Ice Pilings". Prog. Report 25, Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, April 1972, p 17-23.

Tryde, P., 1977, "Ice Forces". Journal of Glaciology, Vol 19. No. 81, 1977.

Tsang, G., 1974, "Ice Piling on Lakeshores". Scientific Series Report No. 35, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario, 1974.

Zabilansky, L.J., Nevel, D.E. and Haynes, F.D., 1975, "Ice Forces on Model Structures". Second Canadian Hydrotechnical Conference, Burlington, Ontario.

Allyn, N., Wooster, S., and Wasilenwski, B.R., 1979, "Some Influences of Ice Rubble Field Formations around Artificial Islands in Deep Water", POAC 79.

Garratt, D.H. and Kry, P.R., 1978, "Construction of Srtificial Islands as Beaufort Sea Drilling Platforms", Technology, April-June, 1978, Montreal.

Riley, J.G., 1976, "The Construction of Artificial Islands in the Beaufort Sea", Journal of Petroleum Technology, 1976.

### 6.3 浮遊式氷海リグの係留システム及び非常時離脱装置

#### 6.3.1 係留システム

##### 6.3.1.1 基礎調査

###### (1) 浮遊式氷海リグとその係留諸元

氷海及びこれに類する厳しい自然環境で稼働実績を持つリグと、これら海域での稼働を前提に計画建造中のリグについて調査し、形式別に表 6.3.1.1.1 にまとめた。<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> <sup>3)</sup>

表 6.3.1.1-(a) 浮遊式氷海リグの係留諸元

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
RIG 58	1966	600'	2,000'		12×2,500'×2 <sup>1</sup> /16" chain 8×3,000lb anchors 4×2,000lb anchors	North Sea
PENTAGON 81	1969	600'	2,000'		10×5,70'×2" wire, 3,3,000lb anchors	
OCEAN VICTORY	1972	600'	2,500'		8×3,600'×3" chain, 3,0,000lb anchors	
ALADDIN	1973	650'	2,500'		8×3" chain	North Sea (Norway)
OCEAN KOKUEI	1973	600'	2,500'		8×3,600'×3" chain, 3,0,000lb anchor	
OCEAN LIBERATOR	1973	600'	2,500'		8×3" chain, 3,0,000lb anchor	North Sea (UK)
SEDNETH 701	1973	2,000'	2,500'	op. 70'-90' survival 60'+	8×4,000'×3" chain, 3,0,000lb anchor DP(Honeywell RS-5)	North Sea (Maureen Field)
WEST VENTURE(Norrig 5)	1973	1,300'	3,000'	op. 50' Survival 100'	10×3,960'×3" chain(i.s.o 4,959') 3,0,000lb anchor	West coast of Canada
DYVI ALPHA	1974	600'	2,500'	op. 47' Survival 100'	8×3,000'×3" chain 3,0,000lb anchor	North Sea (Norwegian Sea)
GLOMAR BISCAY II	1974	600'	2,500'		8×3,600'×3" chain 3,0,000lb anchors	North Sea
PENTAGONE 84	1974	660'	2,500'	op. 72' Survival 59'	10×5,570'×2" wire, 3,3,000lb anchors	North Sea
SINBAD SAXON	1974	650'	2,500'		8×3,600'×3" chain	North Sea (UK)

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
ZAPATA UGLAND	1974	1,000'	25,000'	OP40~50' Survival 100'	10×3,500'×3" chain, 40,000lb anchors	Canadian East Coast
BENRACKIE	1975	660'	25,000'	99' wave height	8×3,500'×3" chain	
BIDEFORD DOLPHIN	1975	1,500'	25,000'	OP70', Survival 60'	8×4,000×3" chain, 3,000lb anchor	North Sea
BYBORD DOLPHIN (現 Bowdrill 1)	1975	1,500'	25,000'		8×5,000'×3" ORC chain	North Sea (N.E.Frigg)
CHRIS CHENERY	1975	600'	20,000'		8×3,600'×3 1/4" chain 45,000lb anchors	North Sea
DUNDEE KINGSNORTH (H-3)	1975	1,000'	25,000'	OP. 35', Survival 100'	8 point mooring	North Sea
KINGSNORTH U.K.	1975	1,250'	25,000'	OP. 35', Survival 100'	8 point mooring	North Sea (UK)
ROSS RIG (Upgraded H-3)	1975	1,250'	25,000'	70' draft 51.0IVCG ft Survival 60' draft		Norwegian North Sea
STADRIL(SEDCO 700)	1975	800'	25,000'		8×4,000'×3" chain, 30,000lb anchor	North Sea
ZAPATA SARATOGA	1976	2,000'	25,000'		8×4,500'×2 3/4" wire+2,500' ×chain	
ALEUTIAN KEY	1976	3,000'	30,000'		8×6,000×3 1/2" cable+3,000 chain 30,000lb anchor	
ALI BABA (H-3)	1976	1,000'	25,000'			North Sea

RIG NAME	CONSTRU- CTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
BENDORAN	1976	660'	25,000'	9' 9" wave heights	8×3,500'×3" chain	North Sea (UK)
BORGSTEN DOLPHIN	1976	700'	25,000'			
DEEPSSEA SAGA	1976	1,250'	25,000'	OP .70' Survival 100'	8×2,600lb Stevin anchor DP(Honeywell RS-505)	North Sea
NEPTUNO NORDRAUG ( H - 3 )	1976	1,000'	25,000'	OP .70' Survival 100'	chain	
NORTRYM	1976	1,000'	25,000'	OP .70' Survival 100'	chain	
OCEAN BOUNTY	1977	1,200'	25,000'		8×4,000lb anchor $3\frac{1}{4}$ " chain	North Sea
DAN QUEEN	1977	1,000'	2,000	OP .70	3 chain 3,000lb anchors	
OCEAN BEN LOYAL	1977	1,100'	25,000'		8×3,000lb anchor	U.K. North Sea
VILDKAT ( H - 3 )	1977	1,000'	25,000'	OP .30' Survival 100' 110knot wind	8×4,000'×3" chain, 30,000lb anchors	North Sea ( U. K. )
BORGNY DOLPHIN ( H - 3 )	1980	1,150'	25,000'		8×4,600'×3" chain, 6.5Ton anchor	North Sea
CHOCTAWI ( RIG 130 )	1981	800	2,0000		8×3,000 lb anchors	
DYVI DELTA ( Ocean Ranger Type )	1981	1,500'	3,000'			Norwegian North Sea

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
BOWDRILL 1 (H-3)	(1975)	1200'	25,000'			Eastern Canada
" 2 (Pacesetter)	1983	1,500'	25,000'		"	
" 3 (H-3-2)	1983	1,500'	25,000'		"	
DEEPSA BERGEN (H-3-2)	1982	1,500'	25,000'		3" chain	
DRILL STAR	1982	1,500'	1,500'		8×4500'×3" chain, 30,000 lb anchor	North Sea (U.K.)
JOHN SHAW	1982	1,500'	2,5000'		8×5,500'×3" chain, 40,000 lb anchors	East Canada
VINLAND (Enhanced Pacesetter)	1982	1,500'	25,000'	Norwegian Standard for safety	8×all chain system	East coast of canada
WEST VANGUARD(3,000)	1982	450m	7,620m		8×1,700m×84φmm chain	North Sea
DYDI OMEGA	1983	1,500'	30,000'		8×5,400'×84φmm (ORQ) chain	
M.G.HULME JR.	1983	2,500'	25,000'		8×7500'×3 1/2" wire+270'× 4 1/2" chain	U.K.
OCEAN ODYSSEY	1983	1,500'	25,000'		8×45,000'×3 1/4" chain 45,000 lb anchor	
PENROD 76	1983	1,500'	30,000'		8×5,000×3 1/8" chain, 30,000 lb anchor 4×1,600 hp(360° azimuthing thruster)	North Sea

RIG NAME	CONSTRU CTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
RENROD 77	1983	1,500'	30,000'	-	8×5,000'×3½" chain, 30,000 lb anchor 4×1,600 hp(360° azimuthing thruster)	
RIG 135	1983	1,500'	25,000'	-	8×45,000 lb anchors	North Sea
" 140	1983	1,500'	25,000'	-	8×45,000 lb anchors	
ROSS ISLE (BINGO 3,000)	1983	1,500'	25,000'	OP. 2.35m wave height		North Sea
SEDCO 600	1983	600'	20,000'		8×6,200'×2¾" wire 20,000 lb anchors	Worldwide
" 601	1983	600'	20,000'		8×6,200'×2¾" wire 20,000 lb anchors	Worldwide
" 602		600'	20,000'	"	"	Worldwide
SEDCO 700	1973	1,500'	25,000'	OP. 40' Survival 100'	8×4,000×3" chain 20,000 lb anchors DP(6,400 hp thrusters)	North Sea
" 702	1973	1,000'	"	"	DP(1,600-hp thrusters)	
" 703	1973	2,000'	"	"	DP(6,400-hp propulsion)	U.K. waters
" 704	1974	1,500'	"	"	"	North Sea
" 706	1976	1,000'	"	"	DP(4×20,000-hp thrusters)	Eastern Canada

RIG NAME	CONSTRU CTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
SEDCO 707	1976	2,000'	25,000'	OP .40, Survival 100'	8×40,000'×3" chain 20,000 lb anchors DP(6,400hp thruster assist)	
" 708	1977	1200'	"	"	DP( 4×20,000hp thrusters)	Alaska
" 709	1976	6,000'	"	"	DP 25,000hp+8×3,500 chain (full Dynamic)	Canada
" 710	1983	5,000'	"	"	8×3,300'×3" chain 30,000lb anchors DP.(8×3,000hp)	Canada
" 711	1982	1,500'	"			North Sea
" 712	1983	1,500'	"			North Sea
" 714	1983	1,500'	"			East Coast Canada North Sea
SOVEREIGN EXPLORER	1983	1,500'	25,000'	ABS Ice class 1-A	8×all chain	North Sea (U.K.)
ZAPATA SS4,000	1983	2,000'	25,000'		12×(2250'×2 3/4" chain+5,500' ×3" wire)40,000lb	
WESTERN PACESTER I	1973	1200'	25,000'		8×3,000'×3" chain, 30,000 lb anchors	North Sea
" II	1975	1,200'	25,000'		8×4,000'×3chain, 30,000 lb anchors	North Sea
" III	1974	1200'	25,000'	OP .60, Survival 100 year storm		

RIG NAME	CONSTRU CTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
WESTERN PACESTER M	1983	2,000'	25,000'		8×30,000lb anchor,	
GLOMAR ARCTIC I	1983	1,800'	25,000'		8×4,800'×3" chain, 26,500lb anchor	Finland
" II	1983	1,800'	25,000'	"	"	Finland
" III	1984	1,800'	25,000'	"	"	Finland
OCEAN ALLIANCE	1984	4,500'	25,000"	D.P.		North Sea
PENROD 78	1983	3,000'	30,000'		8×3,000'×3" chain+6,300×3 1/4" wire, 3,300 lb Bruce anchors 4×2,000 hs (360° azimuthing thruster )	
HENRY GOODRICH (Sonat Mitsui)	1985	9 5'— 10,000'	30,000'		12×5,500'×3" chain(grade 4)	
MITSUBISHI MD 802	plan	4,500	27,000	wind speed 110 kt Wave height 35m	DPS 8×3,000hp azimuthing thruster	
BS 8,000	plan	4,500		Wave height 36.5m	DP-8×3,500hp	
TREASURE SAGA	1982	1,500'	25,000'		8×all chain system	Norwegian North Sea
TREASURE SCOUT	1982	1,500'	25,000'		8×all chain system	North Sea
TREASURE SEEKER (H-3)	1977	1,250'	25,000'			North Sea

RIG NAME	CONSTRU- CTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
TREASURE SWAN ( convert )	1981	1,000'	25,000'			North Sea (U.K.)
DIXILYN-FIELD RIG # 96	1975	1,200'	25,000'		10×2 3/4"×5,700' wire, 30,000lb anchor	North Sea (U.K.)
DIXILYN-FIELD RIG # 97		1,200'	25,000'		10×2 3/4"×5,700' wire, 30,000lb anchor	North Sea (U.K.)
N/A ( polar Frontier Drilling A/S )	1985	100— 450m	6,500m		8×1,750×84φmm K4 chain, 4×3,000hp thruster	

表 6.3.1.1 - 1 (b) Drillships

RIG NAME	CONSTRU-CTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
PETROMAR NORTH SEA	1965	600'	25,000'		8×2500'×2 $\frac{3}{4}$ " chain, 20,000lb anchor	worldwide
PETREL	1965					
CANMAR EXPLORER	1976	600'	20,000'	ABS ICE class 1-AA	8×3300'×2 $\frac{3}{4}$ " wire 30,000lb anchor Skagit Model DMW~250	Beaufort Sea
" II	1976	600'	20,000'	ABS ICE class	"	"
" III	1973	1,500'	25,000'		DPS+8×3300'×2 $\frac{3}{4}$ " wire, 30,000lb anchor	"
" N	1973	600'	25,000'		8×3,300'×2 $\frac{3}{4}$ " wire, 30,000lb anchor	"
PELERIN	1976	3,300'	20,000'		DP(CIT Alcate1)	Labrador
DIAMOND M DRAGON	1977	750'	25,000'		4×30,000lb anchors	Alaska
NEDDRILL I	1976	100'~ 1,500'	25,000'	BV worldwide	8×(3650'×3" wire+500'×8" chain 33,000lb piggy bucking anchor, 33,000lb DELTAFLIP Anchors)	Labrador
" II	1977	100'~ 4,000'	25,000'	BV Super ice class	DPS+( " )	"
PACNORSE I	1979					
VALENTIN SHASHIN (USSR)	1982	3 00m	6,500m	ice-class drillship	Dynamic Korgoberg Vaapen fabric A/S	Barent Sea

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
N/A	1981	300m	6,500m	world first ice-class drillship	Dynamic Korgoberg Vaapenfabrik A/S	Barent Sea
N/A	1982	300m	6,500m	"	"	"
Swivel Drillship	plan				turret Mooring	
BEN OCEAN LANCER					DP( 5×1,750hp thrusters )	

表 6.3.1.1 - 1 (c) Floating type

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
KULLUK	1983	24~ 55m	6,100m	OP(1) open water sig.wave 2.8m, 8 sec wind 12.5m (sustend) current 0.5m/sec (2) ice 1.2m (75.8kpa) wind 15.3m current 0.5m/sec survival	12×3 1/2" wire×3,000 (T <sub>b</sub> =520Ton)	Canadian Beaufort Sea

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
Arctic Drill Hull	plan	18~180m		碎氷能力 無風時：1.5m厚の氷 板碎氷可能 風速100kt: 1.2 m	多点係留	Beaufort/Mackenzie delta 沖合
Round Drillship	plan	25~200m			16点係留	Beaufort Sea

表 6.3.1.1 - 1 (d)Caisson type

RIG NAME	CONSTRUCTION	WATER DEPTH	DRILLING DEPTH	SEA STATE	MOORING EQUIPMENT	LOCATION
MOLIKPAQ (Mobile Arctic Caisson)	1984	50~120'	20,000'		着底式	Canadian Beaufort Sea

## 参考文献

- 1) "1980-81 Directory of Marine Drilling Rigs"  
Ocean Industry Sept. 1980
- 2) "1982-83 Directory of Marine Drilling Rigs"  
Ocean Industry Sept. 1982
- 3) "1983-84 Directory of Marine Drilling Rigs"  
Ocean Industry Sept. 1983
- 4) "Arctic Technology" Offshore, May 1980
- 5) "OGJ Report, North American Arctic", Oil and Gas Journal,  
June 27, 1983
- 6) 岸浩一他 "氷海における石油開発" Ocean Age April 1983
- 7) Baller, H. "TECHNOLOGY: Rig winterization to allow year-round  
drill off northern Norway", Oil and Gas Journal, Aug. 1, 1983
- 8) Dingle P.J. "Constructing artificial islands in Canada Beaufort  
Sea" Ocean Industry, June 1982
- 9) "New Drilling Island Concepts for Beaufort Sea"  
Ocean Industry, June 1982
- 10) "British Shipbuilders' heavy duty 'semi'"  
The Naval Architect, Jan. 1983
- 11) "Designing the Trosvik Bingo 3000"  
The Naval Architect, March 1981
- 12) Tubb "New Drilling Rigs" Ocean Industry, June 1982

### (2) 各種係留方式の特徴

各種係留方式と、その概略特性を文献から再掲すると共に、氷海域構造物についても、その概略特性を同様なフォームにまとめた。ここに表 6.3.1.1-2 は係留方式を、表 6.3.1.1-3 は係留ラインの特性を示し、表 6.3.1.1-4 は特に氷海域用に考案された方式について、その特性を示した。

表 6.3.1.1-2 係留方式の特性

			多点係留	ドルフィン保留	ジャケット ダンバー	スパッド
適正水深	20 ~ 200m		20 ~ 200m		10 ~ 30m	10 ~ 50m
コスツト	安価		普通		高価	高価
主要機器	ワインチ		大型ワインチ・ウンドラス		ジャケット, ダンバー	スパッド装置
作業船	不要		大型		ジャケット据付工事	不要
操作保守・管理	外力の方向に注意		普通		ダンバー・係船装置チェック	スパッド強度
移動性	良		良		不可	不可
信頼性	一時停止の時のみ		実績多		新方式	実績多
船体への影響	小		重量増・重心高		良	小
通常(作業)時	一方向についてのみ有効		比較的の安定		横方向の動搖小	比較的安定
暴風時	エネルギー吸収効果小さく走錨し易い		エネルギー吸収効果大		エネルギー吸収効果大	エネルギー吸収効果小 スパッド破損注意
浅水	深		走錨し易い		適	適
大水	深		水深に制限有り		不経済	不経済
大外力	走錨し易い		比較的の安定		安定	スパッド強度/問題有り

表 6.3.1.1-2 係留方式の特性(1) (つづき)

特 性	多点係留方式+スラスター	DPS	TLP	Guyed Tower 方式
	中間シンカー付も含む			
適 正 水 深	200~1000m	200m~	300~700m	~500m
	高 価 値	高 価 値	高 価 值	高 価 値
主 要 機 器	大型ウインチ及びウンドラース位 置検出、制御装置 スラスター	位置検出、制御装置 スラスター	高品質の係留脚	大型ウインチ
作 業 船	大 型	不 要	大 型	大 型
	ウインチ、ウンドラースの保守、 管理を煩雑に行う必要あり、 スラスターの故障対策	故障 対 策	係留脚の保守、管理を煩雑に行う 必要あり	係留索の保守、管理は普通
操 作 保 守・管 理	係留地点への移動性	良	比較的 良	不 良
	信 賴 性	実績や少	新 方 式	新 方 式
船 体 へ の 影 韻	重心高、重量増	小	大(余剰浮力)	比 較 的 小
	通 常(作業)時	水平移動比較的小	上 下動ほどなし、水平移動比較的 小	上 下動なし、水平移動小
能 力	暴 風 時	エネルギー吸収効果大 大容量スラスター	エネルギー吸収効果大 大容量スラスター	エネルギー吸収効果大
	水 深	ワイヤ切断の危険性と制御限界に 問題	制御限界に問題	不 經 流
問 題 点	大 水 深	安 定	問 題 な し	水深に制限あり
	大 外 力	比 較 的 安 定	不 經 流	安 定

表 6.3.1-3 保留ライシンの特性(1)

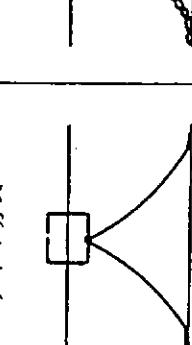
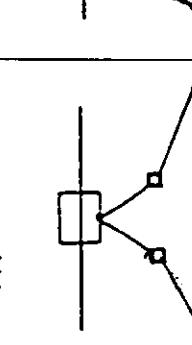
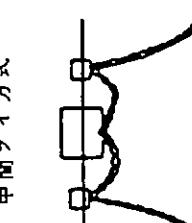
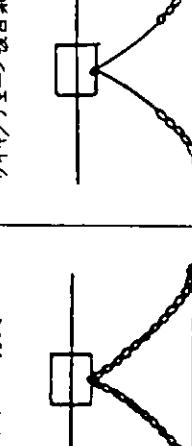
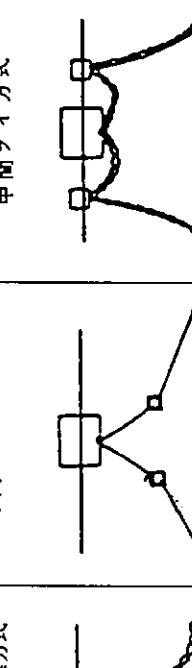
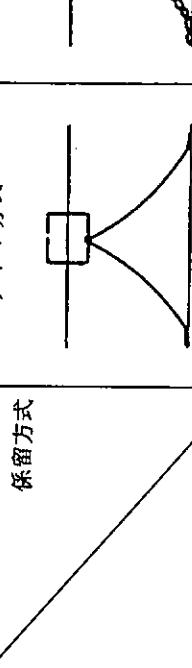
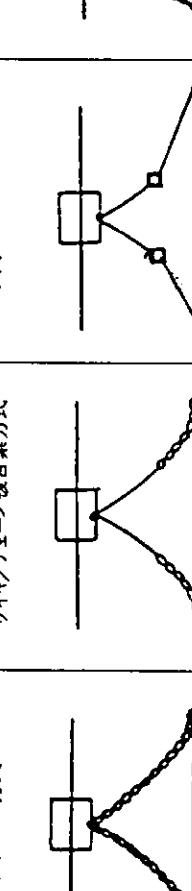
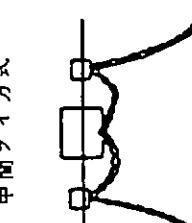
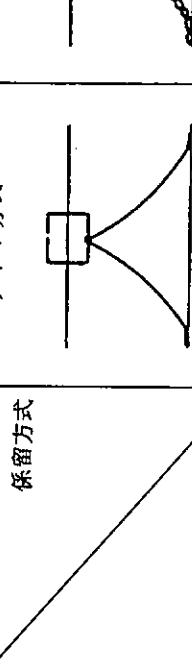
保留方式	ワイヤ方式	チャーン方式	ワイヤ/チャーン複合架方式	中間シンカ方式	中間ブイ方式
	特性	通 正 水 深	通 正 水 深	通 正 水 深	通 正 水 深
コスロット		50 ~ 200m	普 通	普 通	高 価
主 要 機 器		20 ~ 500m	大型ワインドラス	大型ワインドラス	大型ワインドラス
作 業 船		400 ~ 1000m	大型ワインドラス	大型ワインドラス	大型ワインドラス
操 作 保 守・管 理		20 ~ 1000m	中間シンカ	中間シンカ	中間ブイ
保留地点への移動性		400 ~ 1000m	大型ワインドラス	大型ワインドラス	大型ワインドラス
信頼 性		20 ~ 1000m	中間シンカ	中間シンカ	中間ブイ
船体への影響		20 ~ 1000m	大型ワインドラス	大型ワインドラス	大型ワインドラス
通 常 (作業) 時		20 ~ 1000m	中間シンカ	中間シンカ	中間ブイ
暴 風 時		20 ~ 1000m	大型ワインドラス	大型ワインドラス	大型ワインドラス
淺 水 深		20 ~ 1000m	中間シンカ	中間シンカ	中間ブイ
大 外 力		20 ~ 1000m	中間シンカ	中間シンカ	中間ブイ

表 6.3.1.1-4 水海域用係留方式の特性(2)

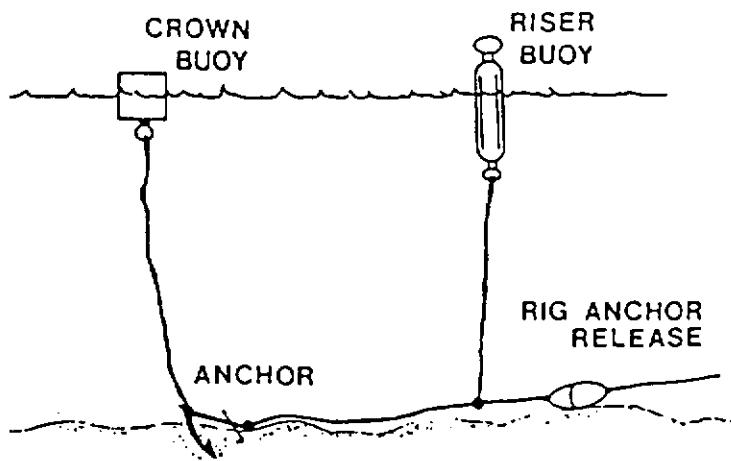
適正水深	深海域	~ 20 m	~ 20 m
コス	ト	高価	高価
操作	主機器 作業船	高品質のライザー兼用係留脚, 緊急離脱装置	アイス・メルト・システム 大型ウインチ
操作	保守・管理	ライザー兼用係留脚, 緊急離脱装置の保守管理	アイス・メルト・システムの 維持
移動性	性	良(緊急離脱可能)	良
性能	信頼性	新方式	新方式
問題点	船体への影響	小	影響なし
	船体への影響(作業時)	上下動ほとんどなし, 水平移動比較的少	定着氷の状態による 動搖はほとんどなし
	暴風時	エネルギー吸収効果大	環状防波堤への影響大
浅水	深	不経済	防波堤の材料が近くにある事
大水	深	水深に制限あり	不適
大外力	力	安定, 緊急離脱で離脱する。	定着氷の動きには対処できない。 防波堤の強度が必要

(3) 氷海域での係留方法

氷海域での係留は、未だ実績が少なく、浮遊式構造物の稼働は主として氷の無い時期に行われてきたため、通常の海域とほぼ同様である。ただし、構造物と氷の衝突や接触から防止するための工夫や、ラインの保護装置に二、三の特徴が見られる。

(a) 緊急離脱装置 (図 6.3.1.1-1)<sup>(4)</sup>

氷山や密集した氷脈が接近した場合、構造物を現場より緊急に退避させるため、係留ラインの一部に切離し装置を組込んだものもある。本装置については実績がある。



RIG ANCHOR RELEASE EQUIPPED MOORING LINE

図 6.3.1.1-1

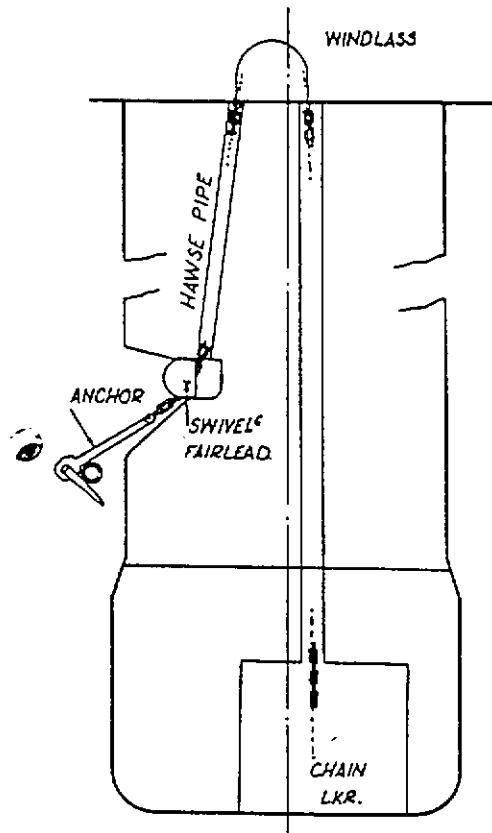


図 6.3.1.1.2. 係留ラインの内部格納例(セミサブ)

(b) 係留ラインの内部格納

氷と係留ラインの接触をさけるため、船体やコラム内にライン通過用の管路を設け、水面下からラインを展張することが行われている。

図 6.3.1.1-2 はセミサブについての例である。水線面付近をラインが通過するのをさけるため、コラム内に HAWSE PIPE を設けラインを通し、フェアリーダーもコラム内に配置したものである。(6)

図 6.3.1.1-3 は、円盤状構造物における実例である。(5)

氷と係留ライン接触の影響としては、氷がラインにからみつき引張ること、コラムの周囲での氷の動きが妨げられ、ラインとコラムの間に氷の破片が集積すること等が考えられる。

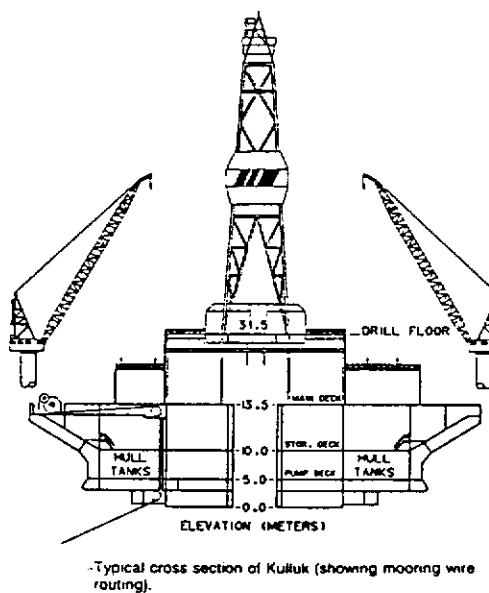


図 6.3.1.1-3 係留ラインの内部格納例

(c) ice management system (5)

砕氷船で厚い氷を砕き構造物を援助する。

(d) 砕氷装置を兼ねた固定式構造物によるもの(3)

タンカーや作業船等耐氷能力のないものを保護するため、砕氷装置を兼ねた構造物を被係留物として設置する。（図 6.3.1.1-4）

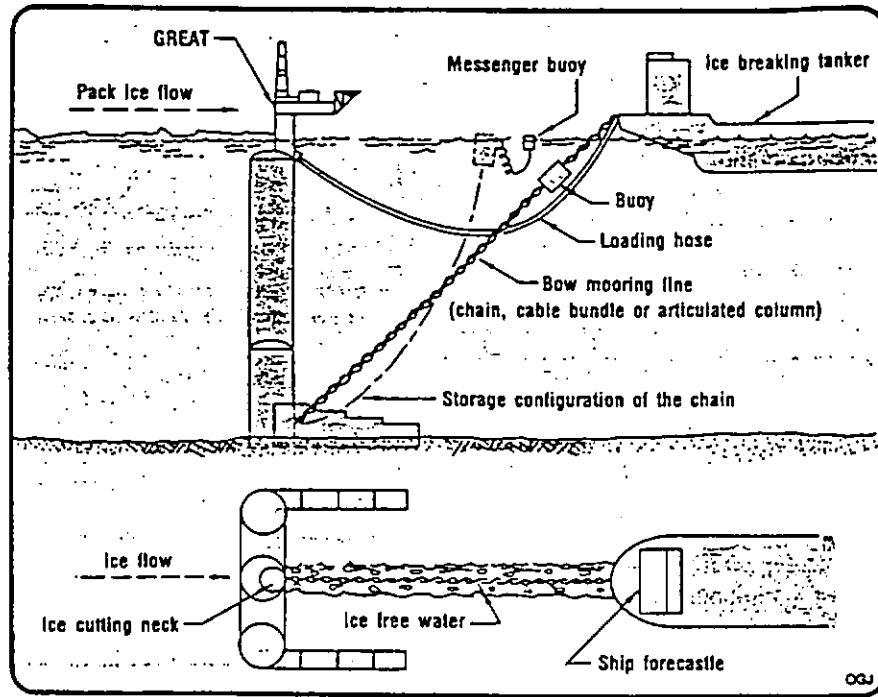


図 6.3.1.1-4 Tanker loading in icy waters

### 参 考 文 献

- 1) 日本造船研究協会 第187研究部会  
“海洋構造物の深海係留に関する調査研究”研究資料No352, 昭和57年3月
- 2) 日本造船研究協会 第186研究部会  
“氷海用船舶・海洋構造物の設計・建造に関する研究” No351-2, 昭和57年3月
- 3) Loire, R.他 "Multipurpose fixed-gravity structure aimed at producing, exporting oil in deep frozen seas"  
Oil and Gas Journal, Aug. 16, 1982
- 4) Lasch, J.E.他 "Special Mooring Systems Using Remote Controlled Quick Disconnects for Beaufort Sea Drilling Operations"  
OTC 3888, OTC 1980
- 5) Gaida, K.P.他, "Kulluk-An Arctic Exploratory Drilling Unit"  
OTC 4481, OTC 1983
- 6) Noble P.G. "Floating and Submerged Structures in Ice" WEGEMT 1983
- 7) Conona, E.N.他, "Development of a Novel Ice-Resistant Semisubmersible Drilling Unit" OTC 4602, OTC 1983
- 8) Gerwick, B.C.他, "Conceptual Design of Floating Drilling Production and Storage Caisson for Arctic Waters" POAC 79
- 9) Carrean, D.W.他. "Arctic Offshore Drilling-A Technical Development and Economic Evaluation" OTC 1687, OTC 1972

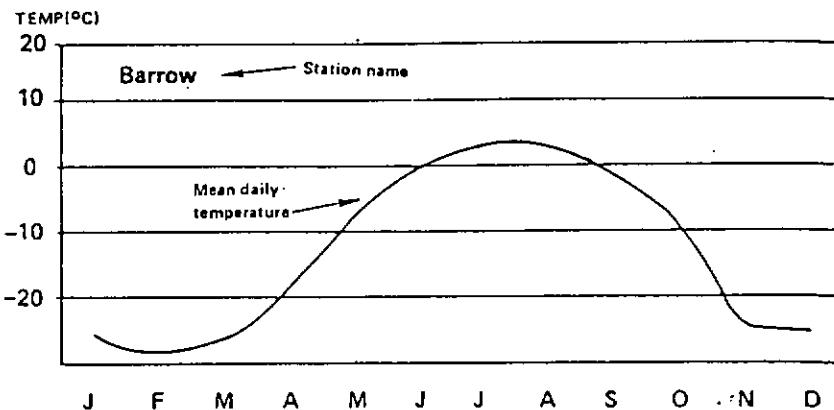
### 6.3.1.2 係留システム設計条件の調査

#### (1) 氷海域における自然条件

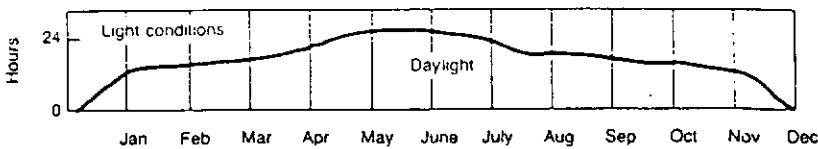
氷海域の自然条件に関するデータの中で、係留システムの設計と密接な関係のある氷・風・波・潮流のデータについて、ボーフォート海を対象とするものを取り上げて示す。

##### (a) 気象一般について

ボーフォート海は、北緯 $70^{\circ}$ 前後に位置し、図6.3.1.2.1に示すように、冬期には、日照時間は殆どなく、日平均気温は $-30^{\circ}\text{C}$ 近くとなる。夏期には、白夜となり、日平均気温は $0^{\circ}\text{C}$ をやや越えている。<sup>1), 2)</sup>



マッケンジー海域における日照時間



Barrowにおける日平均気温

図6.3.1.2.1 ボーフォート海の日照時間と平均気温

#### (b) 氷象

ボーフォート海の氷は、海域により、3つの部分に分けられる。<sup>3)</sup>第一の海域は、水深20mまでの沿岸海域(shore zone)で、10月から翌年の5月ないし6月まで、定着氷(land fast ice)が存在し、最大厚さ約1.7mまで発達する。さらに、冲合いは、季節流水域(seasonal pack ice zone)で、10月より翌年6月頃まで、季節流水が密集し、セール高さ約3.5m以上の氷丘脈(pressure ridge)が存在する。季節流水域より沖合いでは、極流氷域(polar pack ice zone)で、最大氷厚約3.5mの多年氷(multi-year ice)が存在する。図6.3.1.2.2～図6.3.1.2.7にボーフォート海の年間の氷の密接度を示す。<sup>4)</sup>ボーフォート海では、11月頃より翌年の4月頃までは、全域にわたって、氷が密接して存在し、8月から9月にかけては、沿岸海域にのみ開水域が存在する。

図6.3.1.2.8にボーフォート海の氷の状態を、図6.3.1.2.9にボーフォート海の開氷日数の記録を示す。<sup>5)</sup>

表6.3.1.2.1にボーフォート海の4海域における氷の状況を示す。<sup>6)</sup>



図 6.3.1.2.2 氷の密着度（8段階表示）（1～2月）

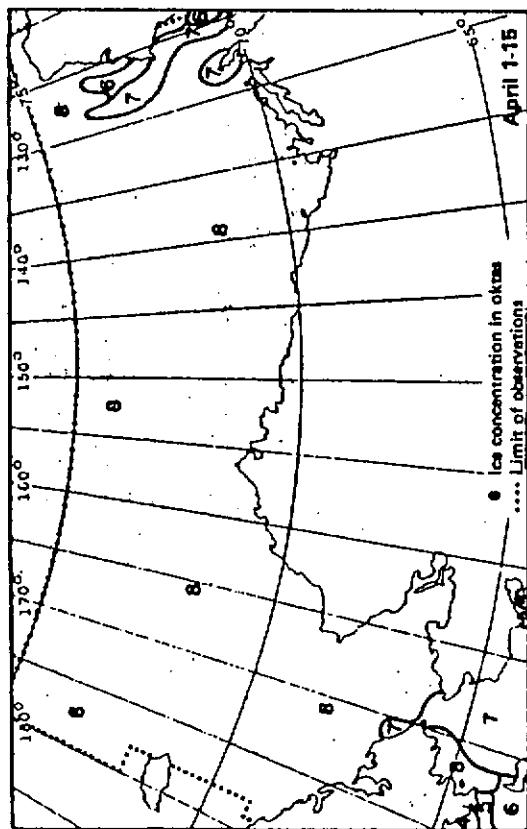
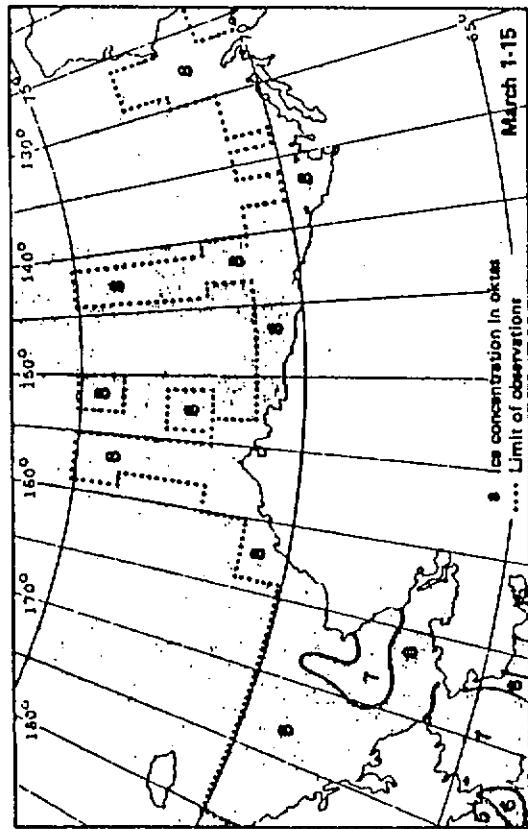
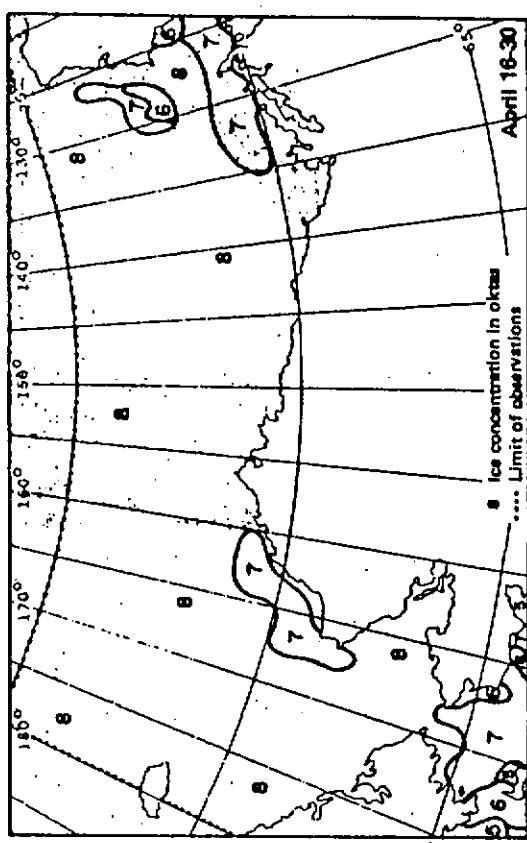
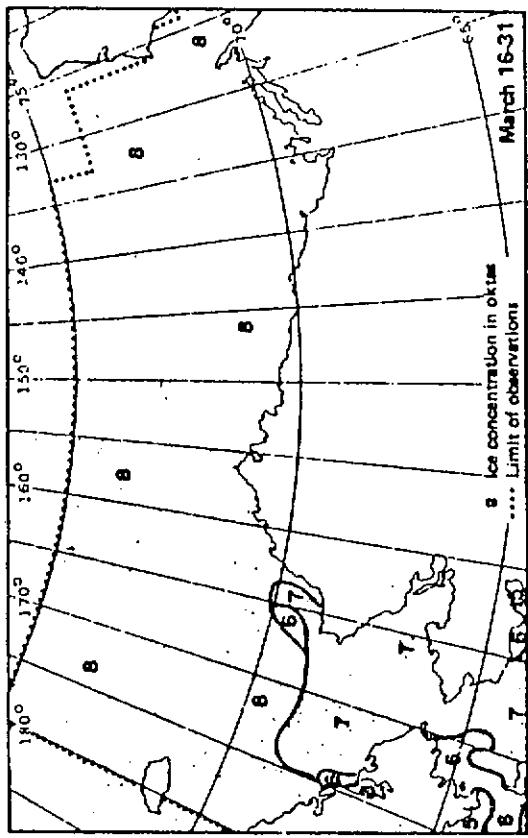


図 6.3.1.2.3 氷の密着度（8段階表示）（3～4月）

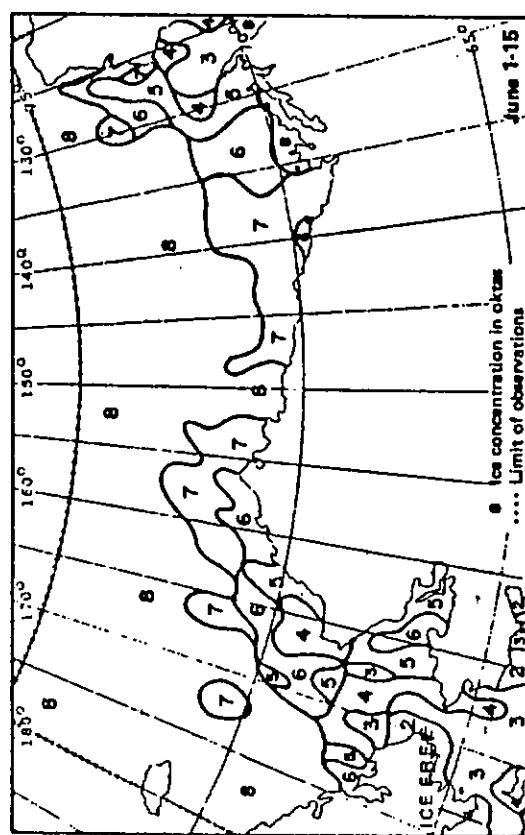
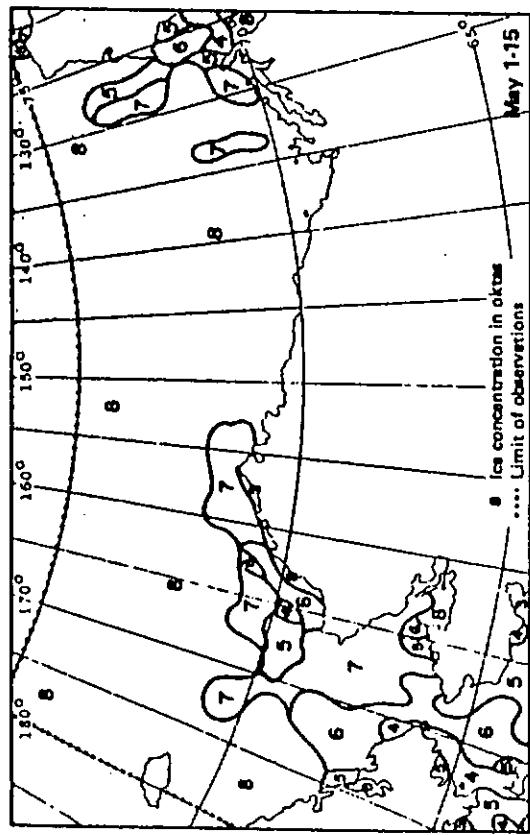
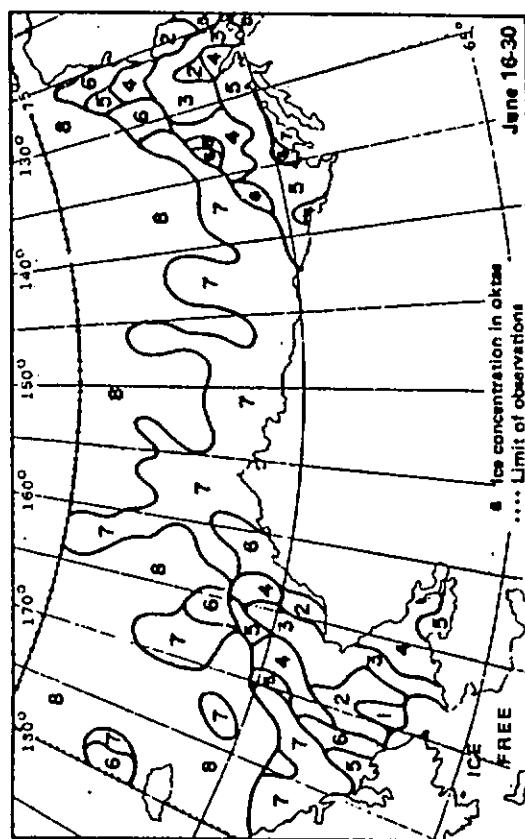
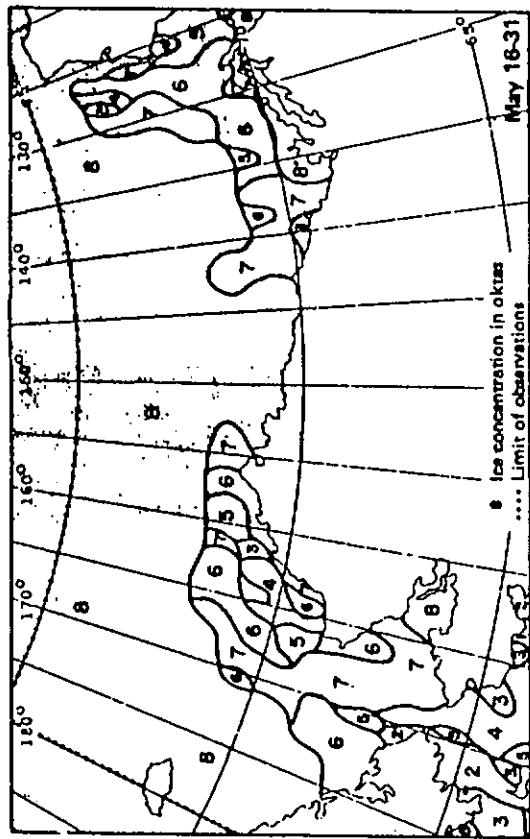


図 6.3.1.2.4 氷の密着度（8段階表示）(5~6月)

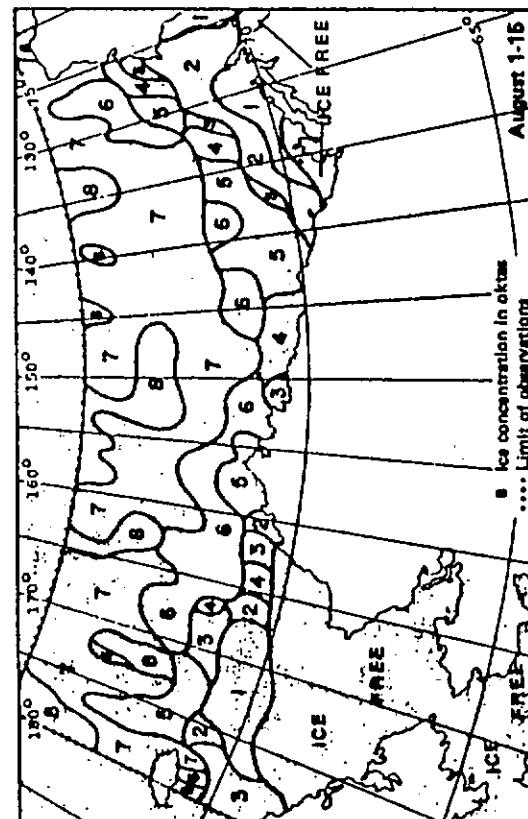
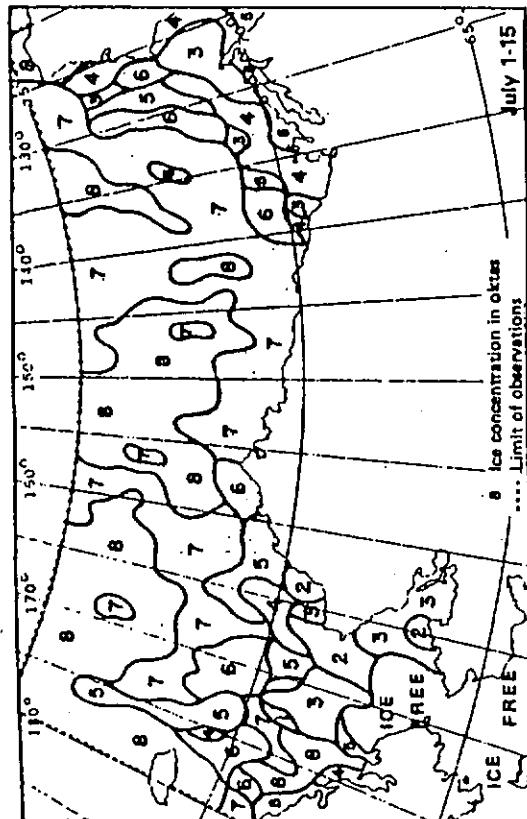
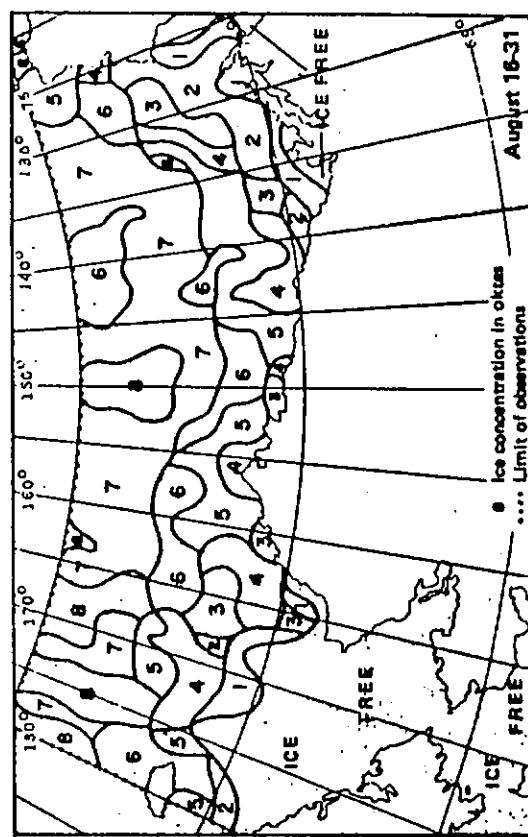
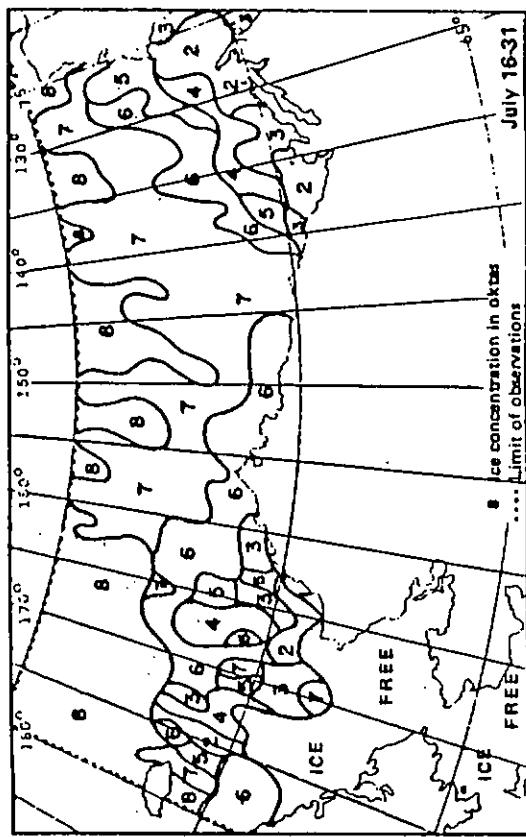


図 6.3.1.2.5 氷の密着度（8段階表示）(7～8月)

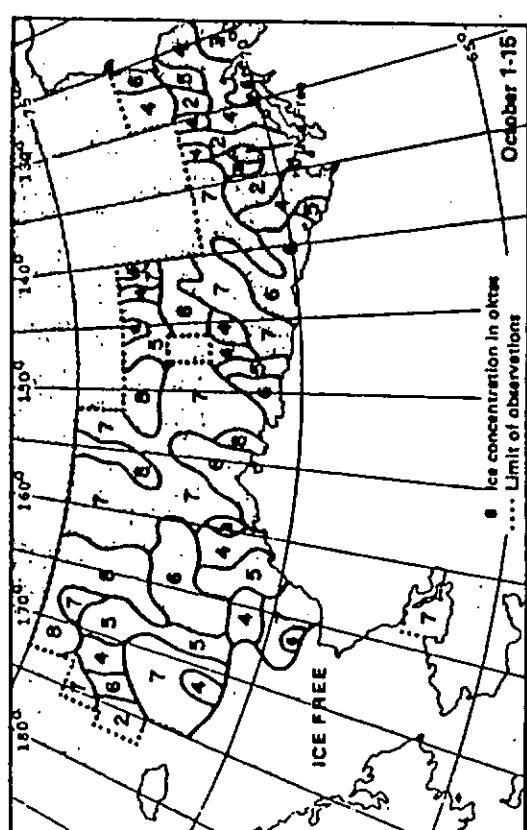
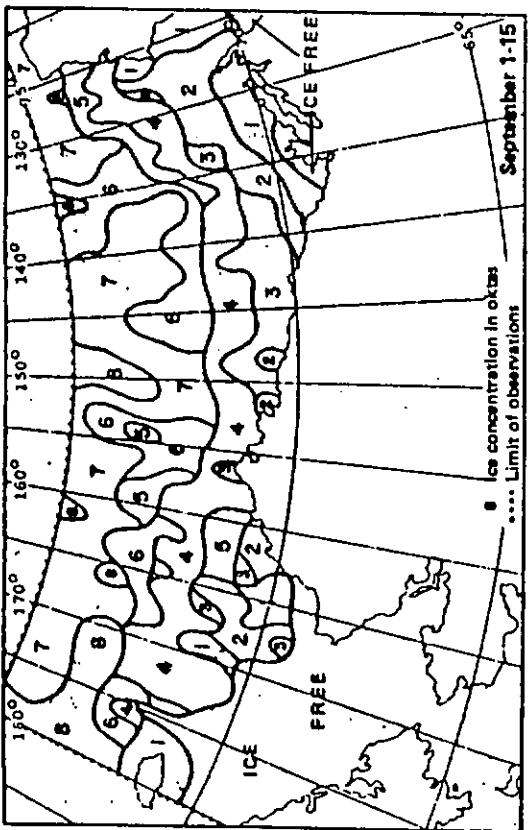
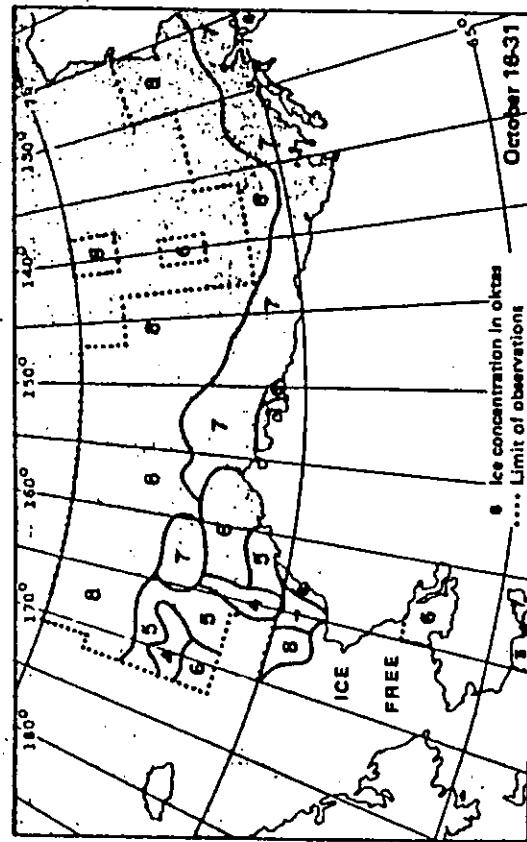
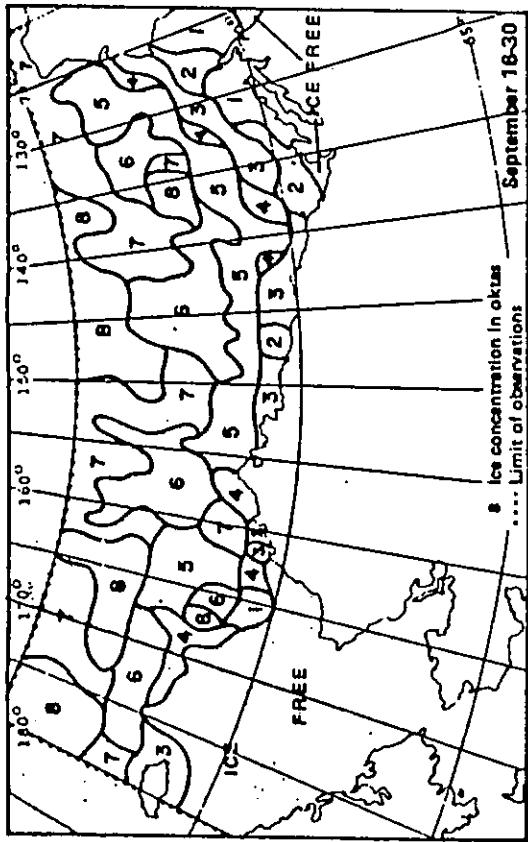


図 6.3.1.2.6 氷の密着度（8段階表示）（9～10月）

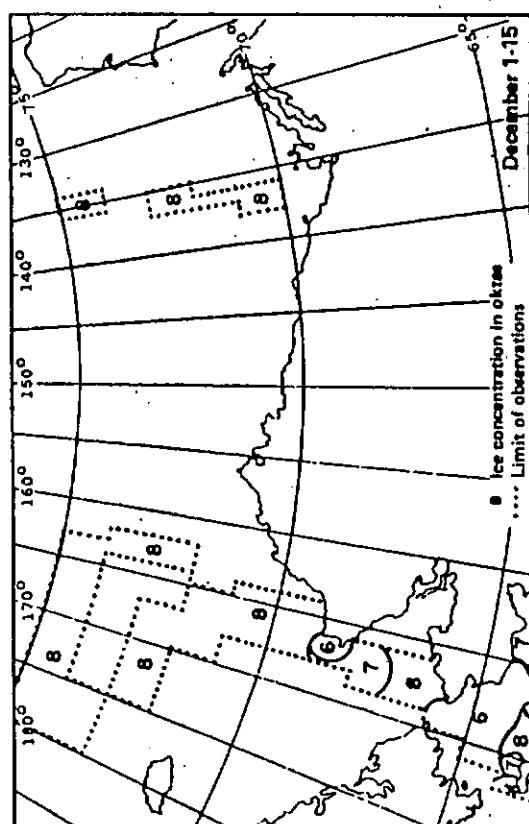
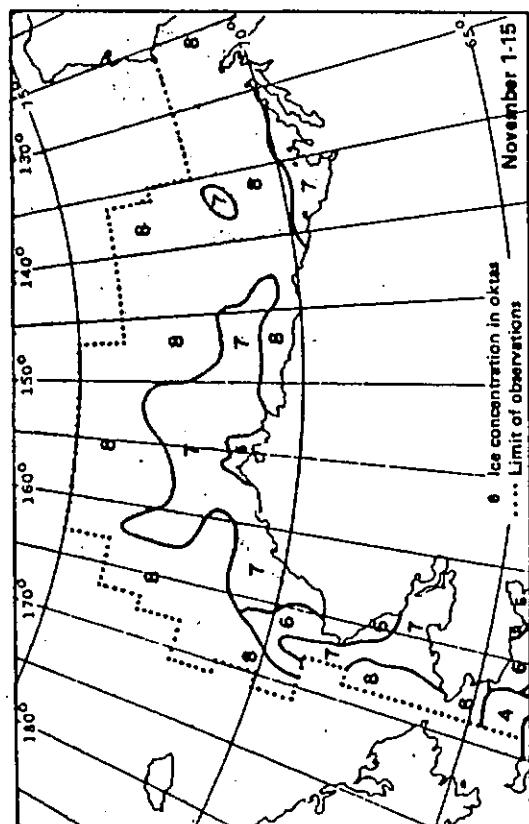
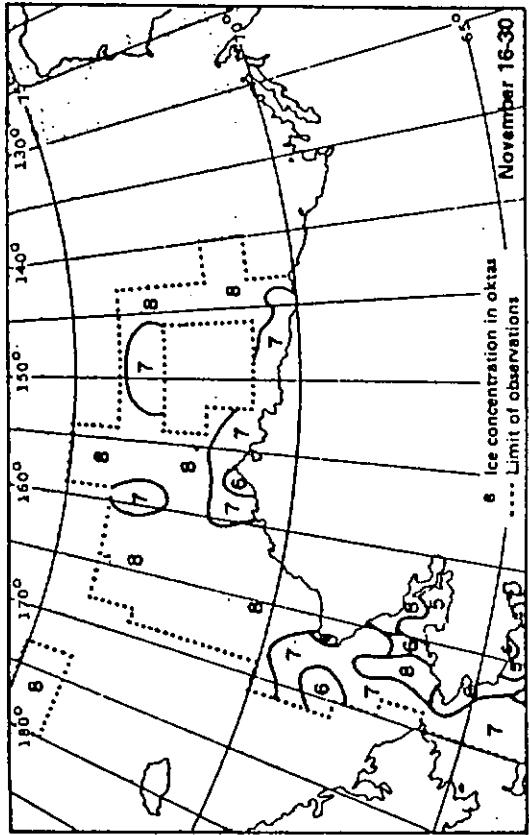


図 6.3.1.2.7 氷の密着度（8段階表示）(11～12月)

### Beaufort Sea ice features

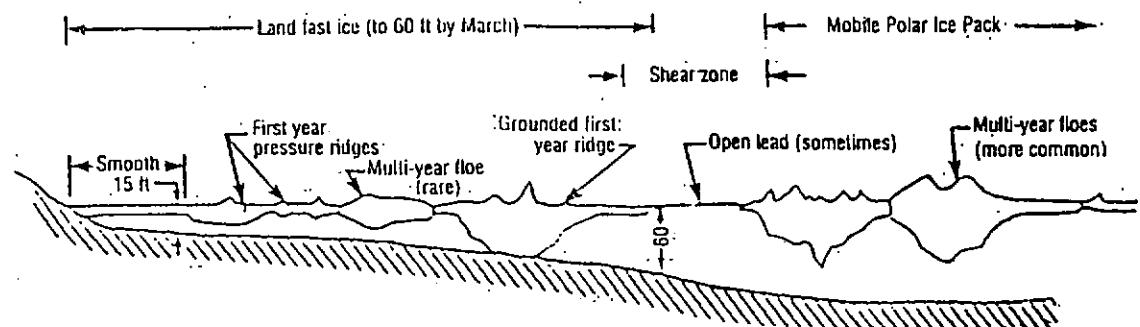


図 6.3.1.2.8 ポーフォート海の氷の状態

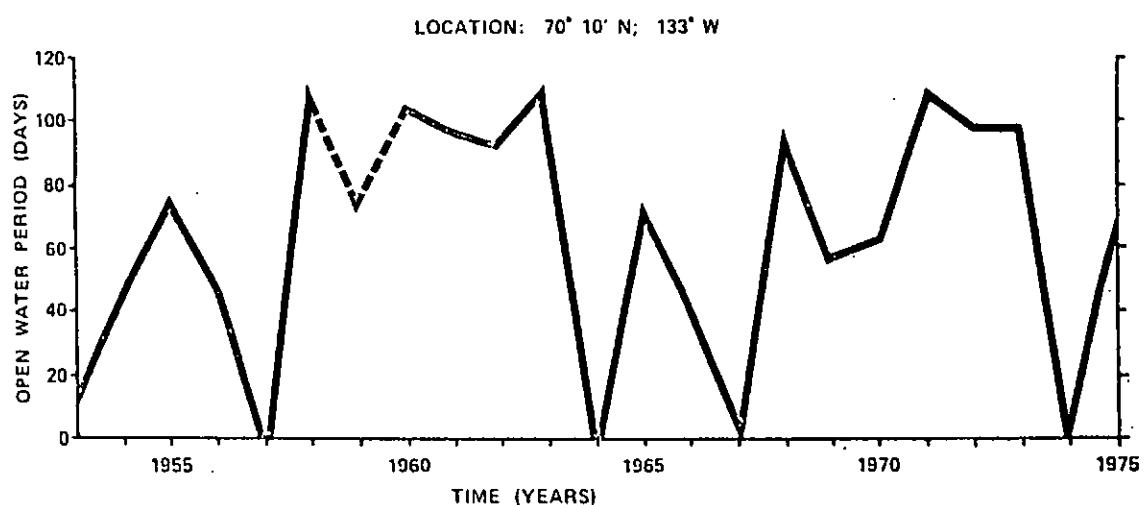


図 6.3.1.2.9 ポーフォート海の年間開水日数

表 6.3.1.2.1 ポーフォート海の氷象

Ice characteristic	Dipir field	Barrow Arch	Norton Basin	Navarin Basin
Period of ice coverage (typical)	early October to mid-July	mid-October to early July	late October to early June	early January to mid-May
Winter ice concentration	100%	100%	70-100%	0-85%
Ice thickness				
Maximum first-year unrafted	7 ft	7 ft	4 ft	2 ft
Maximum first-year rafted	20+ ft	20+ ft	15+ ft	10+ ft
Multi-year floes	>15 ft	>15 ft	unlikely	unlikely
First-year ridge thickness				
Typical	25 ft	25 ft	15 ft	15 ft
Extreme	>100 ft	>100 ft	>90 ft	>100 ft
Other ice features	Scattered ice islands and multi-year ice pieces >100 ft thick are common.	Scattered ice islands and multi-year ice pieces >100 ft thick are common.	Rubble piles thick around grounded ice features.	unlikely
Ice movement (maximums)				
Fast ice (0-30 ft isobaths)	10 ft/hr, $10^2$ ft/season	10 ft/hr, $10^2$ ft/season	10 ft/hr, $10^2$ ft/season	NA
Fast ice (30-80 ft isobaths)	>10 <sup>2</sup> ft/hr, $10^3$ ft/season	>10 <sup>2</sup> ft/hr, $10^3$ ft/season	NA	NA
Transition zone (>80 ft isobaths)	10 <sup>3</sup> ft/hr, $>10^4$ ft/season	10 <sup>3</sup> ft/hr, $>10^4$ ft/season	NA	NA
Pack ice	$10^3$ - $10^4$ ft/hr, > $10^5$ ft/season	$10^3$ - $10^4$ ft/hr, > $10^5$ ft/season	$10^3$ - $10^4$ ft/hr, > $10^5$ ft/season	$10^3$ - $10^4$ ft/hr, > $10^5$ ft/season
Ice features (open water)	$10^3$ - $10^4$ ft/hr	$10^3$ - $10^4$ ft/hr	$10^3$ - $10^4$ ft/hr	NA

## (c) 風

ポーフォート海の月平均風速は、約 5 m/sec であるが、発達したサイクロンの中では、風速 25 ~ 27 m/sec 程度の風が観測されている。

1月及び7月の観測データをそれぞれ図 6.3.1.2.10, 図 6.3.1.2.11 に示す。<sup>1)</sup>

ポーフォート海マッケンジー湾近傍（図 6.3.1.2.12 参照）の観測値及び陸上の測候所の記録より、風速・風向の標準値及び極値を求めたデータを表 6.3.1.2.2 に示す。

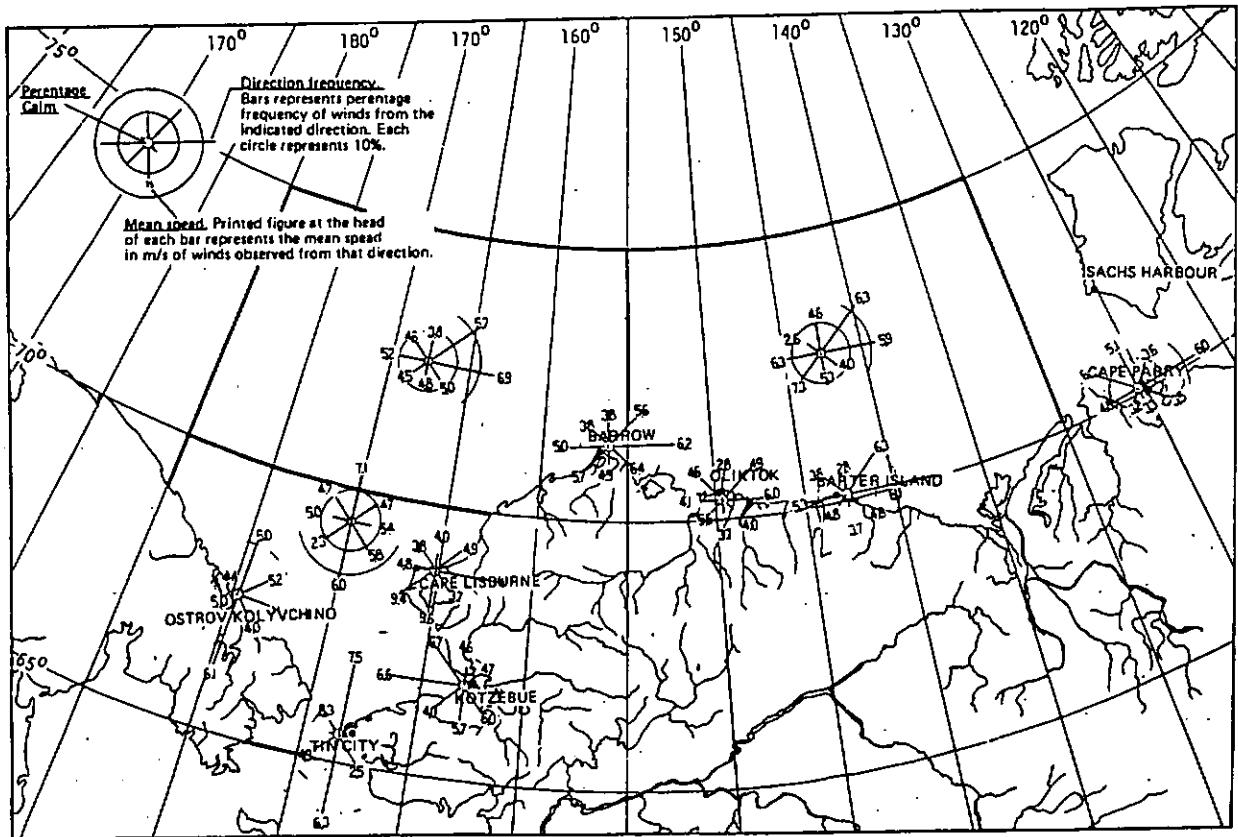


図 6.3.1.2.1 0 風の観測データ(1月)

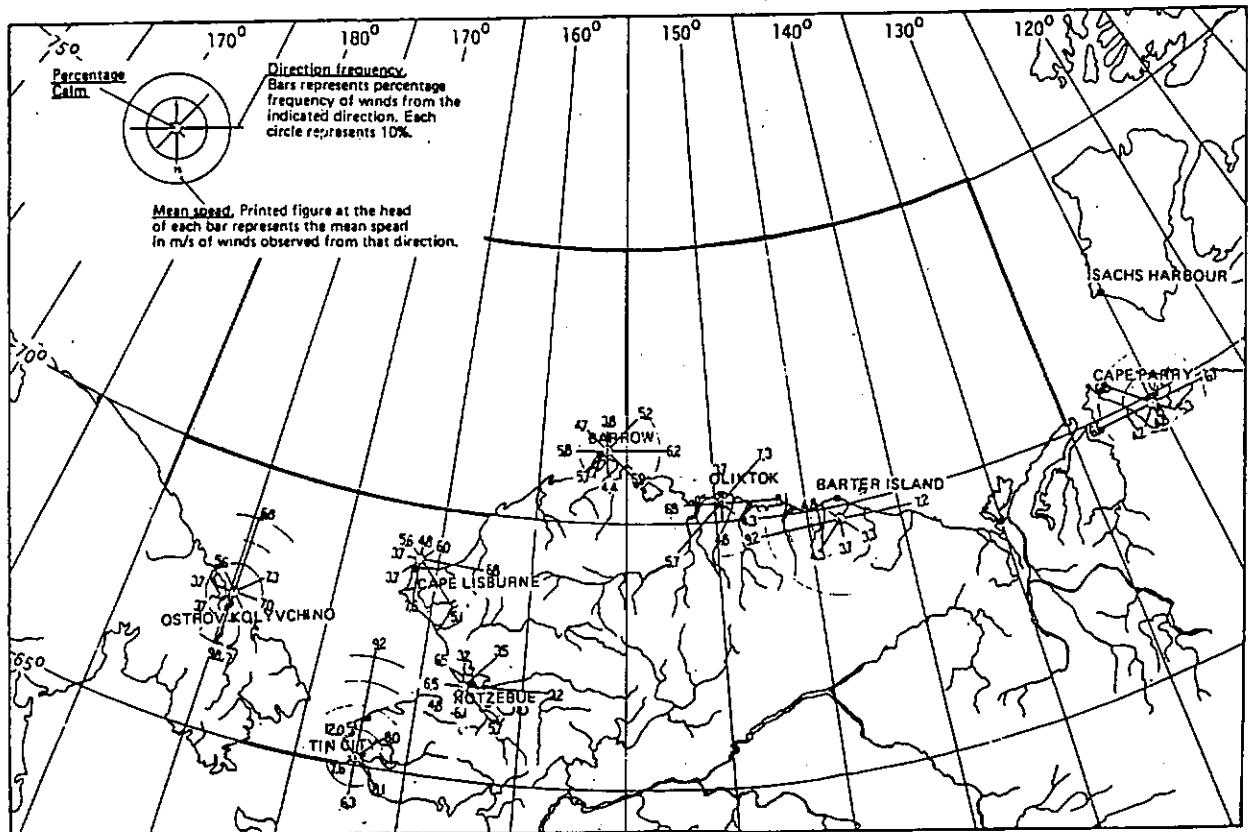


図 6.3.1.2.1 1 風の観測データ(7月)

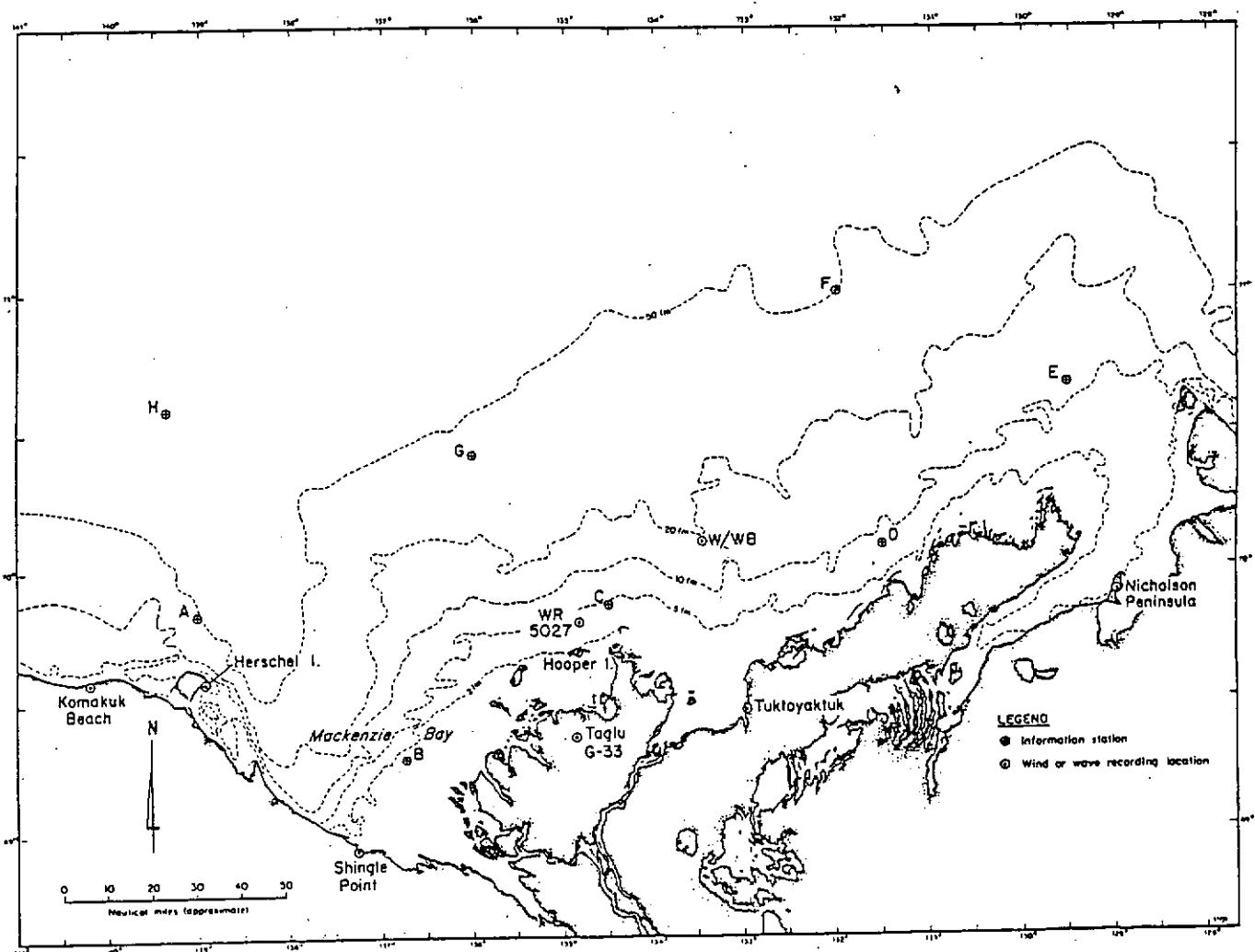


図 6.3.1.2.1 2 風の観測地点

表 6.3.1.2.2 Normal and Extreme Wind Conditions at Each of Eight Locations  
(During June - October)

Chart Depth (feet)	LOCATION (図 6.3.1.2.1 参照)							
	A 250	B 10	C 25	D 49	E 63	F 360	G 190	H 3660
Geographical Coordinates	Lat: 69°50'	69°17'	69°52'	70°04'	70°39'	71°00'	70°25'	70°36'N
	Long: 138°59'	136°45'	134°30'	131°30'	129°30'	132°00'	136°00'	139°20'W
<u>NORMAL CONDITIONS</u>								
<u>Wind Direction</u> (June-October)	E	E	E	E	E	E	E	E
Most frequent direction from: and % occurrence:	21.4	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.4	21.4
Secondmost frequent direction: and % occurrence:	NW 15.3	NW 15.3	NW 15.3	NW 17.7	NW 17.7	NW 17.7	NW 15.3	NW 15.3
<u>Wind Speed</u>								
% of time speed ≥ 15 knots								
June	18.9	18.9	18.9	18.6	18.6	18.6	18.9	18.9
July	7.7	7.7	7.7	22.0	22.0	22.0	7.7	7.7
August	12.7	12.7	12.7	24.0	24.0	24.0	12.7	12.7
September	21.6	21.6	21.6	26.4	26.4	26.4	21.6	21.6
October	40.4	40.4	40.4	38.1	38.1	38.1	40.4	40.4
% of time speed ≥ 25 knots								
June	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0.4	0.4
July	0.4	0.4	0.4	1.5	1.5	1.5	0.4	0.4
August	0.9	0.9	0.9	2.8	2.8	2.8	0.9	0.9
September	0.8	0.8	0.8	2.7	2.7	2.7	0.8	0.8
October	7.6	7.6	7.6	2.4	2.4	2.4	7.6	7.6
<u>EXTREME EVENTS</u>								
<u>Wind Direction</u>								
Most probable direction:	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Secondmost probable direction:	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW
<u>Wind Speed</u> (hour) (knots)								
2 year	35	35	35	42	42	42	35	35
5 year	38	38	38	46	46	46	38	38
10 year	41	41	41	49	49	49	41	41
20 year	42	42	42	51	51	51	42	42
50 year	43	43	43	53	53	53	43	43
100 year	45	45	45	54	54	54	45	45
<u>Wind Speed</u> (6-hour) (knots)								
2 year	31	31	31	38	38	38	31	31
5 year	35	35	35	42	42	42	35	35
10 year	37	37	37	44	44	44	37	37
20 year	39	39	39	46	46	46	39	39
50 year	40	40	40	48	48	48	40	40
100 year	42	42	42	50	50	50	42	42
<u>Wind Gust</u> (1-minute average) (knots)								
2 year	50	50	50	60	60	60	50	50
5 year	55	55	55	65	65	65	55	55
10 year	57	57	57	68	68	68	57	57
20 year	59	59	59	71	71	71	59	59
50 year	61	61	61	73	73	73	61	61
100 year	63	63	63	75	75	75	63	63

(d) 潮流

ボーフォート海の表面潮流を図 6.3.1.2.1.3 に示す。<sup>1)</sup> バーター島より西側では、水深 20 m より浅い海域では、西向きの表面潮流（流速 1 cm/sec 以下）があり、水深が 100 m までの海域では、東向きの潮流が、マッケンジー湾まで流れている。マッケンジー湾では、表面潮流は、マッケンジーリー川の流出に支配される。水深が 100 m より深い海域では、ボーフォート海の表面潮流は西向きが支配的である。

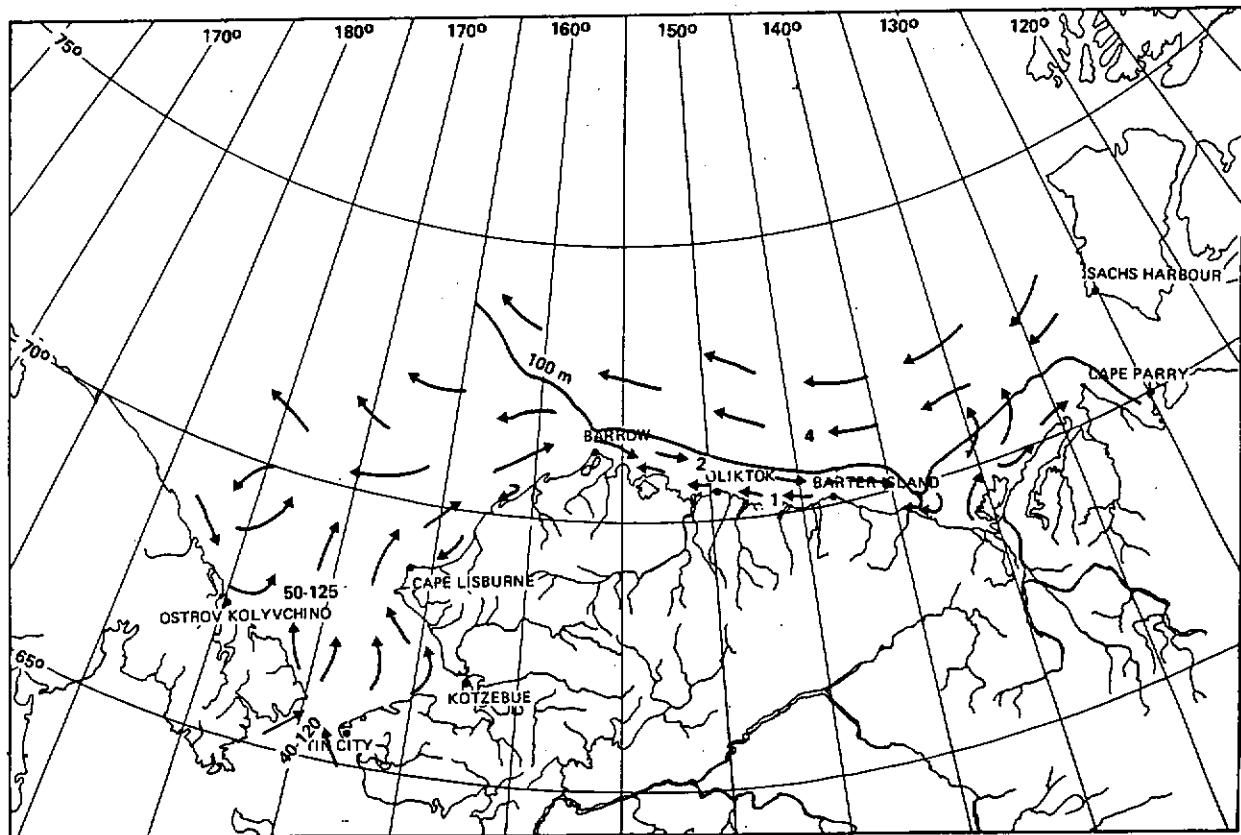


図 6.3.1.2.1.3 ボーフォート海の表面潮流

(e) 波

ボーフォート海は、11月頃から翌年の4月頃までは、氷で覆われているために、波は発生しない。7月から10月の間の冲合いにおける目視観測による最大波高は 5.5 m 程度であるが、波高 1.0 m 以下の波が 68~83% を占めている。（表 6.3.1.2.3）<sup>1)</sup>

観測データに基づく推測値を表 6.3.1.2.3 に示す。これによると、沿岸では、波高 1.0 m 以下の波がほぼ 80% 以上を占めており、100 年再現期間の有義波高は 4.9 m になるところがある。

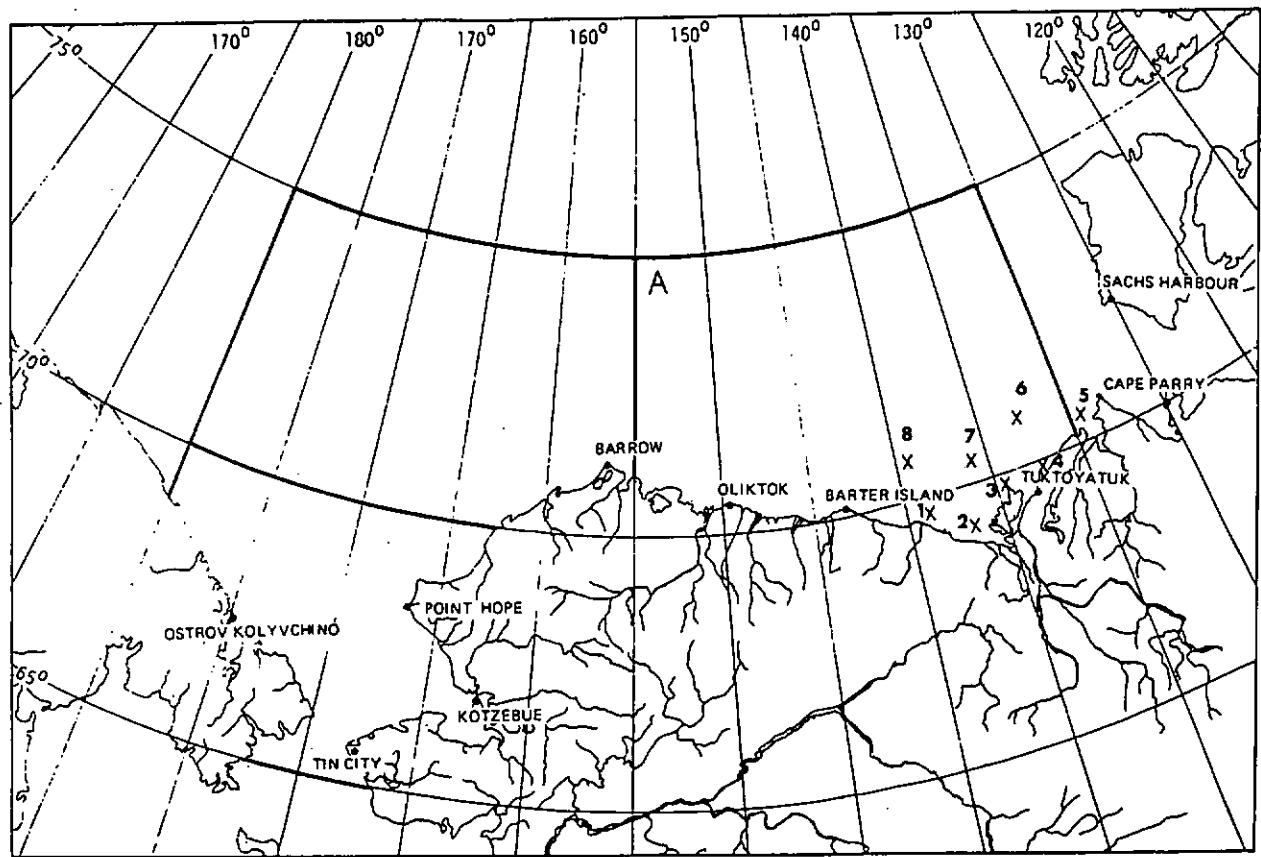


図 6.3.1.2.1.4 波の観測地点

表 6.3.1.2.3 観測値に基づく波高推測値  
(図 6.3.1.2.1 4 参照)

MARINE AREA A Wave Summary (Visual observations)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Percent wave height 0-1.0 m							83	80	73			
Percent wave height 1-2 m	No significant				Insuff		16	18	27	20	No sign	
Percent wave height 2 m	wave activity				Data		2	2	5	7	wave	
Max observed wave height							3.5	5.5	5.5	2.5	activity	
Station 1 Wave Summary (Hindcast model)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Percent sign wave height 0- 1 m							100	92	88	76	91	
Percent sign wave height 1- 2 m	No prediction						0	16	10	20	9	No prediction
Percent sign wave height 2 m							0	2	2	4	0	
10 years sign wave height										3.3		
50 years wave height										4.3		
100 years sign wave height										4.6		
Station 2 Wave Summary (Hindcast model)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Percent sign wave height 0-1 m							100	100	92	89	99	
Percent sign wave height 1-2 m	No prediction						0	0	8	10	1	No prediction
Percent sign wave height > 2 m							0	0	0	1	0	
10 years sign wave height										3.3		
50 years sign wave height										4.0		
100 years sign wave height										4.3		
Station 3 Wave Summary (Hindcast model)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Percent sign wave height 0-1 m							100	99	94	91	98	
Percent sign wave height 1-2 m	No prediction						0	1	5	7	2	No prediction
Percent sign wave height > 2 m							0	0	1	2	0	
10 years sign wave height										3.7		
50 years sign wave height										4.0		
100 years sign wave height										4.3		
Station 4 Wave Summary (Hindcast model)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Percent sign wave height 0-1 m							100	95	83	82	97	
Percent sign wave height 1-2 m	No prediction						0	4	13	14	2	No prediction
Percent sign wave height > 2 m							0	1	4	4	1	
10 years sign wave height										4.0		
50 years sign wave height										4.6		
100 years sign wave height										4.9		

## 参考文献

- 1) "Ice and Environmental Data from the Arctic", Marine Structures and Ships in Ice, A Joint Norwegian Research Project, Report No. 81-01/2, July 1981
- 2) "Constructing Artificial Islands in Canada's Beaufort Sea", Ocean Industry, June 1982
- 3) "Meteorology and Ice Data for Arctic Icebreaking Vessel Design", Arctec CANADA Ltd., Dec. 1981
- 4) K.R. Croasdale  
"Ice Engineering for Offshore Petroleum Exploration in CANADA", POAC 77
- 5) J. Hnatink  
"Results of An Environmental Research Program in the Canadian Beaufort Sea", OTC 2445
- 6) Offshore, Dec. 1982
- 7) Normal and Extreme Winds and Waves in the Canadian Southern Beaufort Sea, Intersea Research Corporation, July 1974

### (2) 船級協会等の規則及び基準

船級協会等の規則及び基準として示されている海洋構造物の設計条件について、以下に紹介する。  
海洋構造物の設計条件は、所有者が規定するのが原則であり、船級協会等の示す値は基準として与えられているものである。

参照した文献は次のものである。

Det Norske Veritas (DnV) Rules for Classification Mobile Offshore Units 1983

American Bureau of Shipping (AB) Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units 1980

Norwegian Maritime Directorate (NMD) Mobile Drilling Platforms 1982

#### (a) 風

DnV では風速は次式で与えられている。

$$V_{tz} = \alpha V_{1min10} (0.1Z)^{\beta} \quad (\text{m/sec})$$

$V_{tz}$  : Mean water level 上 Z mにおける平均風速

$V_{1min10}$  : Mean water level 上 10 mにおける1分間平均風速

(通常 55 m/sec より大きな値をとる必要はない)

$\alpha$  : Gust factor  
 $\beta$  : Height exponent  
 $z$  : Still water level からの距離

$\alpha$  及び  $\beta$  は以下のように与えられている。

Factor	Averaging time interval		
	1 hr	1 min (Sustained)	3 sec
$\alpha$	0.85	1.00	1.13
$\beta$	0.126	0.090	0.076

AB では、風速として次の値が示されている。

稼動状態及び移動状態 : 36 m/sec (70 kn) 以上

暴風状態 : 51.5 m/sec (100 kn) 以上

NMD では、係留システムに対する recommended weather criteria として、風速は次の値が与えられている。

$$V_{1\text{hr}10} = 41 \text{ m/sec}$$

### (b) 波

DnV では、guidance として波高を次のように与えている。

—Regular design waveについて

$$H_w = \begin{cases} 0.22 T^2 & (T \leq 6 \text{ sec}) \\ \frac{T^2}{4.5 + 0.02 (T^2 - 36)} & (T > 6 \text{ sec}) \end{cases}$$

T : 設計波周期 (sec)

$H_w$  : 設計波高 (m)

—Short term irregular states of seaについて

$$H_s = \begin{cases} 0.156 T_z^2 & (T_z \leq 6 \text{ sec}) \\ 0.206 T_z^2 - 0.0086 T_z^3 & (6 \text{ sec} < T_z \leq 12 \text{ sec}) \\ 0.104 T_z^2 & (12 \text{ sec} < T_z) \end{cases}$$

$T_z$  : 平均ゼロアップクロス波周期 (sec)

$H_s$  : 有義波高 (m)

AB では、所有者の指定する値を使用するものとしている。

NMD では、recommended weather criteria としてノルウェー海域の各フィールドにおける有義波高 ( $H_s$ ) が与えられているが、それによると、以下の範囲になる。

$$H_s = 10 \sim 17 \text{ m}$$

### (c) 潮流

DnV は、潮流を潮汐流と吹送流の合成流として次の式で与えている。

$$V_c = V_{tc} + 0.017 V_{1\text{min}10} \frac{50 - Z}{50}$$

$V_{tc}$  : reference tidal current velocity (m/sec)

$V_{1\text{min}10}$  : reference wind velocity (m/sec)

Z : vertical distance from still water level (m)

(Z ≤ 50 m)

A B では、潮流を潮汐流と吹送流の合成流として求められているが、算定方法は示していない。NMD では、recommended weather criteriaとして、ノルウェー海域の潮流を以下のように示している。

$$V_{tide} \text{ (潮汐流)} = 0.5 \sim 0.8 \text{ (m/sec)}$$

$$V_{wind} \text{ (吹送流)} = 0.8 \text{ (m/sec)}$$

### (3) 円錐構造物に働く氷荷重推定法

本資料は氷海域構造物に特徴的に見られる円錐状構造物に作用する氷荷重の推定法の概説資料としてまとめた。主たる参考資料としてはMSSI レポート "MARINE STRUCTURES AND SHIPS IN ICE; ICE LOADS ON MARINE STRUCTURES", 5章 ICE LOADS ON STRUCTURES WITH INCLINED WALLS を用いた。<sup>1), 2)</sup>

また、氷荷重の考え方、計算式の詳細については、本研究部会昭和57年度報告書<sup>3)</sup>を参照して頂きたい。

#### (a) 氷圧力の考え方

水海で稼働する構造物にとって氷圧力は最も主要な外力であり、その軽減は重要な課題である。構造物の水線面付近の形状を鉛直面より傾斜面に変えることにより、氷圧力の軽減が可能になることが、経験的実験的に明らかにされつつある。

本文では、円錐構造物に作用する氷荷重推定法の概要を述べる。氷圧力推定式の典型例として、単純2次元理論式を取上げると次式で表わされる。

$$F_H = 0.68 \sigma_F b \left( \frac{\rho_w g t^3}{E} \right)^{0.25} C_1 + Z b t \rho_i g C_2 \quad (1)$$

ここで  $F_H$  : 水平力

$\sigma_F$  : 氷の曲げ強度

$\rho_w$  : 水の密度

$\rho_i$  : 氷の密度

$g$  : 重力加速度

$b$  : 構造物の幅

$t$  : 氷板の厚さ

$E$  : 弾性係数

$Z$  : 氷片の到達高さ

$\alpha$  : 水平に対する斜面の角度

$\mu$  : 摩擦係数

$C_1, C_2$  : 斜面の角度  $\alpha$  と摩擦係数  $\mu$  によって決まる関数

(1)式の右辺第1項は、破壊するに必要な力の項であり、第2項は、氷の破片を動かすために必要な力の項である。これらの項の相対的大きさは、構造物の大きさ、氷厚・氷状により変わる。また、構造物と氷あるいは氷と氷との間に働く摩擦力は大きな作用をおよぼす主要なパラメータであるが、マツカ自体を独立に算定することはしていない。

(1)式は氷板が構造物との相互作用により、曲げにより破壊されることを前提とした式であるが、氷の破壊モードは、(I)圧縮破壊、(II)曲げ破壊、(III)剪断破壊、(IV)座屈あるいはこれらモードの重なり合った(V)混合破壊がある。破壊モードについては、その極値に最初に達したモードにより破壊されると言われている。

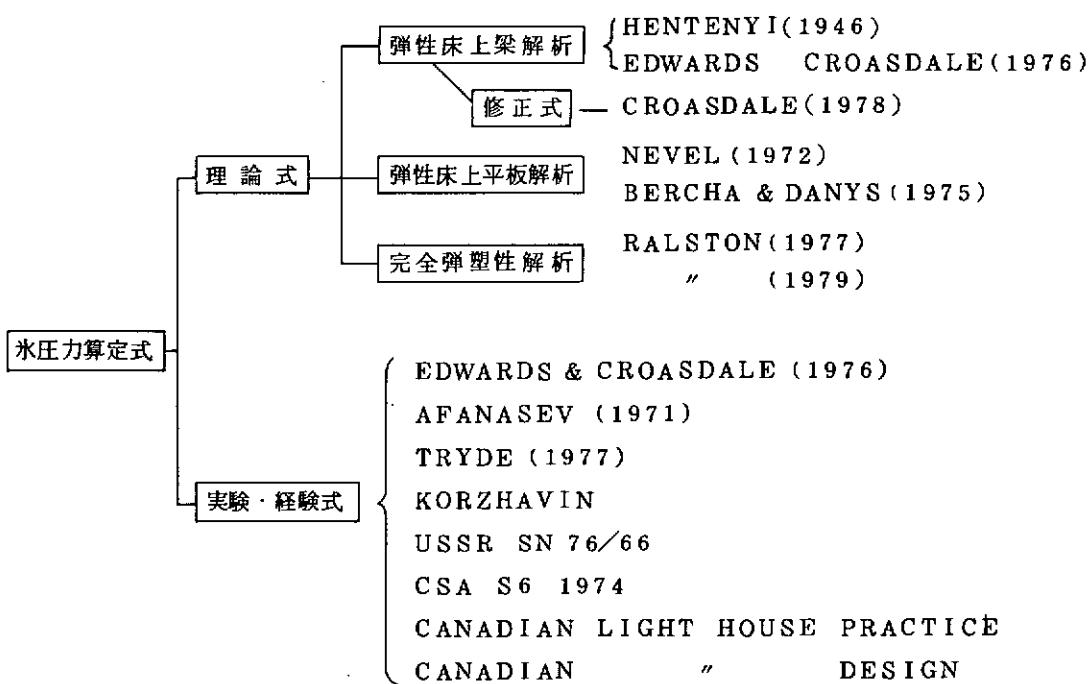
氷の強度はひずみ速度の影響を強く受けるが、この影響を除いた氷の各強度の代表的な“高め”<sup>2)</sup>の値としては表 6.3.1.2.5 が示されている。

表 6.3.1.2.5 水の強度

引 張	0.8 ~ 1.0	MPa
曲 げ	1.0 ~ 1.2	MPa
剪 断	0.3 ~ 1.0	MPa
一軸圧縮強度	5.0 ~ 10.0	MPa
ヤ ン グ 率	2.0 ~ 5.0	MPa

構造物の表面を傾斜することにより、氷から構造物に伝えられる水平力に応じて鉛直力が生起され、この鉛直力による剪断力、曲げモーメントが水板に作用する。これに伴い氷の破壊モードは圧縮破壊から曲げ剪断破壊へと移行し結果として、より低い水平力により氷が破壊される。つまり圧縮破壊という local な破壊から、曲げ破壊という global な破壊に変わり荷重が低下するとされている。構造物の位置保持や安定性には主として水平力が影響を与えるため、氷荷重も水平力の扱い方が主となっている。算定法の考え方としては、弾性論・弾塑性論等材料力学の解析法を用いた理論式と一連の小型試験や計測の結果を考察することにより導いた実験式がある。これらの主なものを表 6.3.1.2.6 に系統図的にまとめた。

表 6.3.1.2.6 円錐、斜面に作用する氷圧力の算定式



## (b) 理論式

ここでは、円錐構造物につき提案された水平力の理論式について述べる。その多くは、水中で氷に作用する浮力に基づく復原力をバネとする弾性床上の梁あるいは、平板についての考え方に基づくものである。

まず考え方について概説し、具体的な式は一括して後掲する。

(i) 弹性床上の弾性梁解析(単純2次元理論)

氷板を弾性床上の弾性梁として扱う。(HETENYI 1946)

破壊された氷の破片が斜面上に持ち上げられるための項を付加した式が用いられている。

(EDWARDS & CROASDALE 1976)

この理論では、氷は構造物の幅だけ破壊されることになり、幅広の構造物については妥当であるが狭い構造物については、実情にそぐわない。

(ii) 修正2次元解析(CROASDALE 1978)

破壊される氷の幅を考慮に入れ、単純理論解析を修正した解析である。氷の幅としては、円周クラックの長さを用いる。この式では非常に幅広の構造物についても狭い構造物についても同じ荷重を与えることになり、正当でない。

(iii) 弹性床上平板解析(NEVEL 1972)

平板の破壊問題を検討して導いた。Bercha-Danys(1975)はこの理論を応用して円錐に働く圧力の碎氷成分を求めた。

(iv) plastic limit analysis(RALSTON 1977)

完全弾塑性モデルを仮定し導いた理論である。JohansenとTrescaの降伏条件を用いた結果につき比較を行っている。

(c) 実験式

小型模型試験あるいは現地計測等の結果より考察された実験式のうち主なものは次のとおりである。

(i) EDWARDS and CROASDALE(1976)

傾斜角45°、直径1mの円錐について氷厚7cmについて行なわれた試験より考察した式で、氷の破壊部と氷の破片を押しのける項から成る。氷と円錐のマツツ系数は約0.1であった。この式の中に円錐の直径は含まれていない点に注意が必要である。

(ii) AFANASEV et al(1971)

直径2.8cmまでの円錐について、3.5cm厚までの氷板で実験し、弾性平板理論に基づいて考察した。円錐台の角度は60°、45°、30°であった。

(iii) TRYDE(1977)

狭いくさび状に働く氷の模型試験を行ない、氷板の破壊モードを仮定することにより導いた。この破壊モードを続けるためには、氷の速度は0.1~4m/sが必要である。また氷の曲げ強度は圧壊力の10~30であることも含まれている。この式は厳密な意味では円錐台構造物には適用できない。

(iv) KORZHAVIN

圧壊、曲げ、せん断力について各々算定式を考察し、その値の内の最小値により氷が破壊されると考えた。

この他、ソ連やカナダの橋脚、燈台等設計指針等がある。

(v) USSR SN 76/66

地域的天候係数を含む式である。

(vi) CSA S6 1974

(vii) Canadian Lighthouse Practice

(d) 計算式

前節で述べた計算法の計算式を表 6.3.1.2.7 にまとめる。

表 6.3.1.2.7 斜面に作用する計算式

解 析 法		水 平 力 計 算 式	
		破 壊 力 の 項	破 片 を 動 か す 力
理 論 式	弾性床上梁解析法 (Simple 2-D Theory)	$0.68 \sigma_F b \left( \frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{0.25} C_1$	$Z b t \rho_1 g C_2$
	修正式 (Adjusted 2-D Theory)	$0.68 \sigma_F l \left( \frac{\rho_w g t^5}{E} \right)^{0.25} C_1$	$Z b t \rho_1 g C_2$
	完全弾塑性解析 (RALSTON)	$A_4 (A_1 \sigma_F t^2 + A_2 \rho_w g t D^2)$	$A_3 A_4 \rho_w g t (D^2 - D_T^2)$
	弾性床上平板解析 (NEVEL)	$\frac{1}{6} b_0 \sigma_F t^2 \left\{ 1.05 + 2.0 \left( \frac{a}{L} \right) + 0.5 \left( \frac{a}{L} \right)^3 \right\}$	
実 驗 経 験 式	EDWARDS & CROASDALE	$1.6 \sigma_F t^2$	$6.0 \rho_w g D t^2$
	AFANASEV	$\sigma_F h^2 S_x \tan \beta / 1.93 L_c$	
	TRYDE	$\sigma_F \sigma_c b h$	
	KORZHAVIN	圧縮 $C_{imk} \sigma_c b h$ 曲げ $C_0 \sigma_F b h \tan \beta$ せん断 $1.1 k \sigma_s b h (\tan \beta / \sin \alpha)$	
	USSR SN 76/66	$A \sigma_F h^2 \tan \beta$	
	CSA S 6 1974	$C_n P_n b h$	
	CANADIAN LIGHT-HOUSE PRACTICE	$m \sigma_c b h \sin^2 \beta$	

ここで

$\sigma_F$  : 水の曲げ強度

b : 構造物の幅

$\rho_w$  : 水の密度

$\rho_1$  : 氷の "

g : 重力の加速度

t : 氷板の厚さ

E : 氷の継続弾性係数

$C_1$  : 斜面の傾斜角とマサツ係数の関数

$C_2$  : "

Z : 傾斜面上で氷のとどく高さ

$l$  : 円周クラックの長さ

$A_1$  : 無次元関数  
 $A_2$  : "  
 $A_3$  : "  
 $A_4$  : "  
 $D$  : 円錐台の水線部での直径  
 $D_T$  : 円錐台の上面の直径  
 $b_0$  : 構造物の幅の関数  
 $a$  : 荷重の作用する楔状氷片先端からの距離  
 $L$  : 代表長さ  
 $S_x$  : 円弧状クラックの長さ  
 $\beta$  : 傾斜角(水平からの角度)  
 $h$  : 氷の厚さ  
 $L_c$  : 氷板の代表長さ  
 $m$  : 形状関数  
 $k$  : 接触係数  
 $\sigma_c$  : 氷の圧縮強さ  
 $\sigma_s$  : 剪断強さ  
 $A$  : 気候係数 0.75 ~ 0.25  
 $C_s$  : 傾斜角  
 $P_r$  : 有効水圧 690 ~ 2,760 KN/m<sup>2</sup>  
 $m'$  : 形状と接触状態による係数 0.9 ~ 0.4

#### (e) 計算例

氷板が作用する部位での直径が3 mØと20 mØの円錐に作用する氷圧力の算定値を比較する。

表 6.3.1.2.8 に計算条件を示し、図 6.3.1.2.15 及び 16 に結果を棒グラフとして図示する。

表 6.3.1.2.8 計算条件

氷 状	氷 厚	1 m
	圧縮強さ	$\sigma_c = 2,760 \text{ KN/m}^2$
	曲げ強さ	$\sigma_f = 1,380 \text{ KN/m}^2$
	剪断強さ	$\sigma_s = 690 \text{ KN/m}^2$
	ヤング率	$E = 7 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$
	ポアリン比	$\nu = 0.33$
氷と構造物のマサツ係数		$\mu = 0.1$
構造物の傾斜角		$\beta = 45^\circ$
氷の破片の到達高さ		直径 3 m の円錐 1 m " 20 m " 6 m

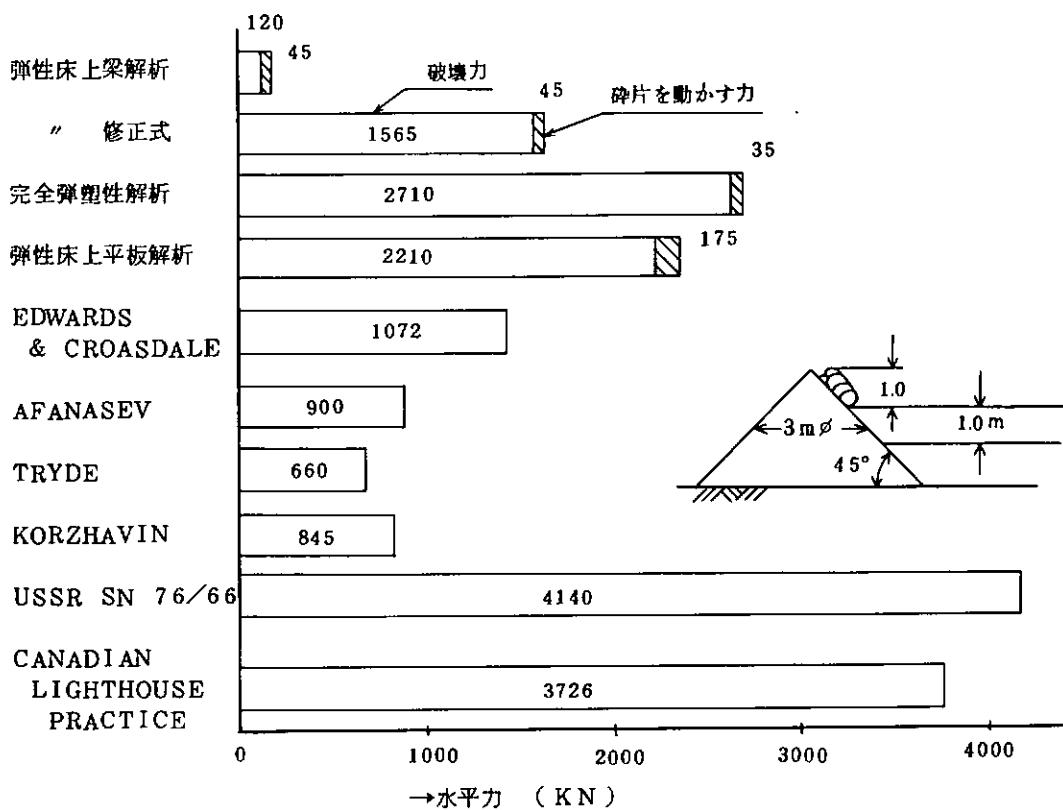


図 6.3.1.2.1.5 直径 3 m の円錐に作用する氷圧力

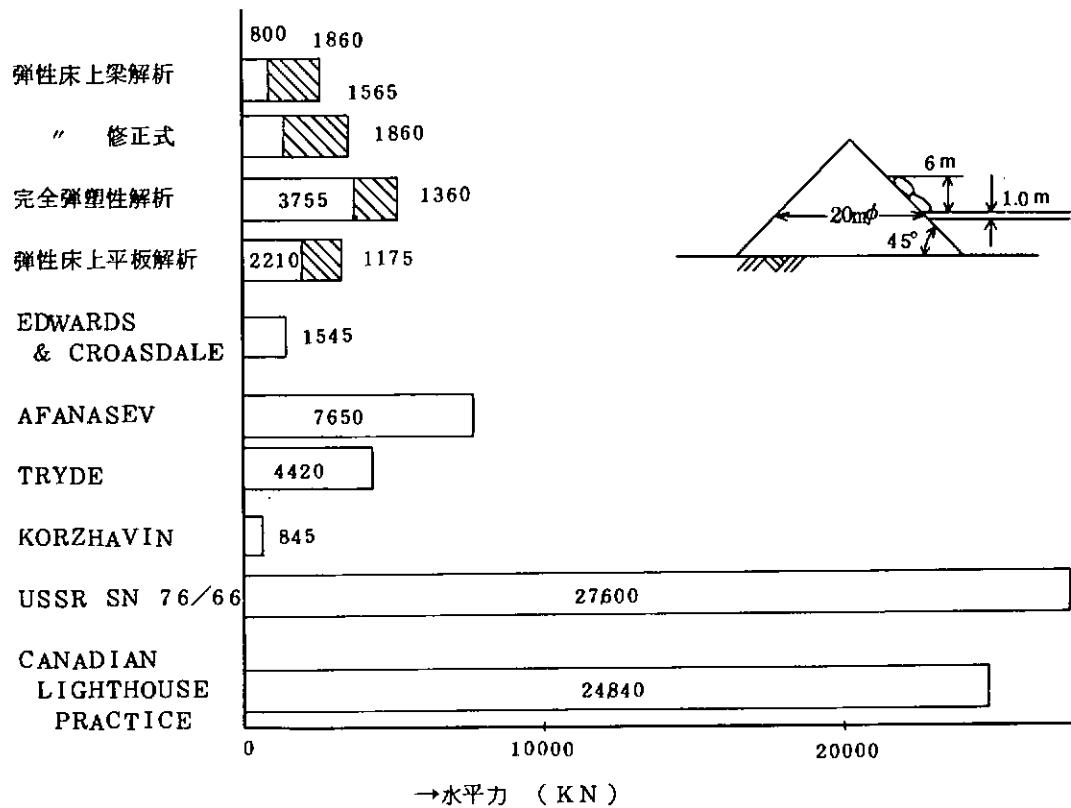


図 6.3.1.2.1.6 直径 20 m の円錐に作用する氷圧力

## 参考文献

1) MARINE STRUCTURES AND SHIPS IN ICE

"ICE LOADS ON MARINE STRUCTURES", REPORT NO. 79-02, Aug. 1979

2) DNV, "VERITAS' ACTIVITIES ON ICE; Draft proposals for joint industry R and D projects"

3) 日本造船研究協会第187研究部会“氷海用船舶・海洋構造物の設計・建造に関する研究報告書”

研究資料No.351-2 昭和57年3月

(4) 係留装置の設計条件

(a) Rule, Regulationによる設計条件

船級協会のRuleや各國政府機関の定めるRegulationの係留装置関連事項を調査し、

① ラインの安全率

② 解析法

③ 移動量

④ ライン長

について一覧表にした。(表6.3.1.2.10)

表6.3.1.2.9に参照した各國政府機関や船級協会のルール名を示す。

表6.3.1.2.9 参照法規、規則等

略号	正式名称
	法規名
NMD	NORWEGIAN MARITIME DIRECTORATE Mobile Drilling Platforms
UK/DEN	U. K. DEPARTMENT OF ENERGY
DNV	DET NORSKE VERITAS
	Rule For Classification Mobile Offshore Units
ABS	AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
	Rule For Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units Single Point Mooring
API	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
	API Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units
港湾構造物	日本港湾協会
基準・解説	港湾の施設の技術上の基準・同解説
海洋鋼構造物設計指針	土木学会 海洋鋼構造物設計指針(案)解説
ETA	ETA offshore Seminars Inc.

表 6.3.1.2.1.0 各 Rule, Regulation による設計条件一覧表

設計基準名 項目	N M D	U K / D E N	D N V	A B S	A P I	湾 湾 構 造 物 …… … 基 準 ・ 解 説	海洋鋼構造物設計指針	ル ー ル 以 外 E T A																
(1) ラインの安全率	(a) 準静的解析  安全率		<p>(a) 準静的解析 ・チェーン・ワイヤの区別なし   <math>\eta : T_{max}/P_B</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>条件</th> <th>POSMOOR</th> <th>POSMOOR V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>operating</td> <td>0.37</td> <td>0.33</td> </tr> <tr> <td>Survival</td> <td>0.55</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>Damaged operating</td> <td>0.55</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>Damaged Survival</td> <td>0.8</td> <td>0.70</td> </tr> </tbody> </table> <p>他 の 計 算 法 に よ る 場 合、上記と 同 等 の 安 全 性 が あ る 場 合、他 の 安 全 率 も 認 め る。</p>	条件	POSMOOR	POSMOOR V	operating	0.37	0.33	Survival	0.55	0.50	Damaged operating	0.55	0.50	Damaged Survival	0.8	0.70	<p>S B M アンカーライン 安全率 3.</p>	<p>準静的解析   Riser connected 30 % BS Max. design 50 % BS</p>	<p>許容張力は J I S 規格 に示された破断試験荷 重の 1/3 とする。</p>	<p>常時荷重 3.5 ~ 4.0  非常時 2.5 ~ 3.0</p>		
条件	POSMOOR	POSMOOR V																						
operating	0.37	0.33																						
Survival	0.55	0.50																						
Damaged operating	0.55	0.50																						
Damaged Survival	0.8	0.70																						
operating	3	operating	3																					
一本破断後 operating	2	一本破断後 operating	2																					
extreme weather	2	extreme weather	2																					
一本破断後 extreme weather (ただし近傍に構造物が ある場合)	1.4 2.0	一本破断後 extreme weather (近傍に他の構造物が ある場合)	1.43 2.0																					
他の計算法による場合、上記と 同等の安全性がある場合、他の 安全率も認める。																								
(2) 移動量	規定なし  Riser 長 × tan 10° - 0.025 水深	規定なし	規定なし  最大変位量や一本破断時の変 位過程を記録する事。		<p>Max. oper. 6 % 水深 Riser Connected 10 % Max. Design 制限なし</p>			<p>条件 安全率 Normal Drilling 約 3 % Drilling 6 Stand-by 10 Survival or maximum Unrestricted</p>																
(3) ライン長	アンカーへの上向き力をさける に十分な長さ。	アンカーへの上向き力をさける に十分な長さ	定めていない アンカー把駐力：Damaged Survival の最大ライン張力 に対して十分であること。		アンカーに上向き力が 作用しない長さ。	水深の 5 倍に潮差を加 えたものとすることが 多い。																		
特記事項	• 計算法の承認が必要  • Thruster assist についても 規定あり		• POSMOOR V 近くに別の構造物がある時 • Thruster assist についても規 定あり。																					

(b) 氷海における係留装置の設計条件

冬期、ポートフォート海で掘削を行なう浮遊式掘削装置“KULLUK”の設計条件を述べる。ポートフォート海は夏期の無水期間、冬期の結氷期間の異なる自然条件があるため、設計条件も各々について設定されている。<sup>1)</sup>

表 6.3.1.2.1 1 設計条件

稼 働 条 件	<p>(1) Open Water</p> <p>a) 有義波高 2.8 m ピーク周期 8 sec</p> <p>b) 風速 (sustained wind) 45 km/時 (12.5 m/sec)</p> <p>c) 潮流 0.5 m/sec</p> <p>(2) Ice Condition</p> <p>a) 氷厚 1.2 m, 曲げ強度 758 kpa</p> <p>b) 風速 (sustained wind) 55 km/時 (15.3 m/sec)</p> <p>c) 潮流 0.3 m/sec</p>
暴 風 時	<p>Survival</p> <p>(1) Open Water</p> <p>a) 有義波高 7.3 m ピーク周期 12.5 sec</p> <p>b) 風速 (sustained wind) 110 km/時 (30.5 m/sec)</p> <p>c) 潮流 0.7 m/sec (最大値)</p> <p>(2) Ice Condition</p> <p>係留システムは破断に至る前に、アンカーから離脱できるように設計されること。</p>

Ice Conditionについては、碎氷船等からなるice management supportにより、厚い氷やRidge、氷山等から守られるようになっている。11月中旬でpressure ridgeが稀で氷厚0.3~0.5 m程度においては、本体のみで稼働可能に設計されている。また、大きな初年氷のRidgeや多年氷の衝突に対してもSurviveするようになっている。アンカーラインの緊急離脱装置は、夏期の氷山等ice management supportが有効に作用しない時の一時避難に備えたものである。

(c) 海気象条件の推定法

通常海域の海気象条件については各種資料もある程度整い、推定法も固められつつある。<sup>3)</sup> 表 6.3.1.2.1 2 に必要な海象・気象条件の統計資料を示す。また、これらのデータを用いた海象条件推定のFlow chartを表 6.3.1.2.1 3 に示す。しかしながら、氷象条件については、未だ十分に確立された手法がないのが現況である。また氷象データは、結氷条件・集積状況により大きく変り、場所毎にも年毎にも大きくバラつくため推定が難しい。

現在は、碎氷船のice engineerが、コース上の氷象につき空から目視を行ない、氷状図(ice map)を作成することが行われている。

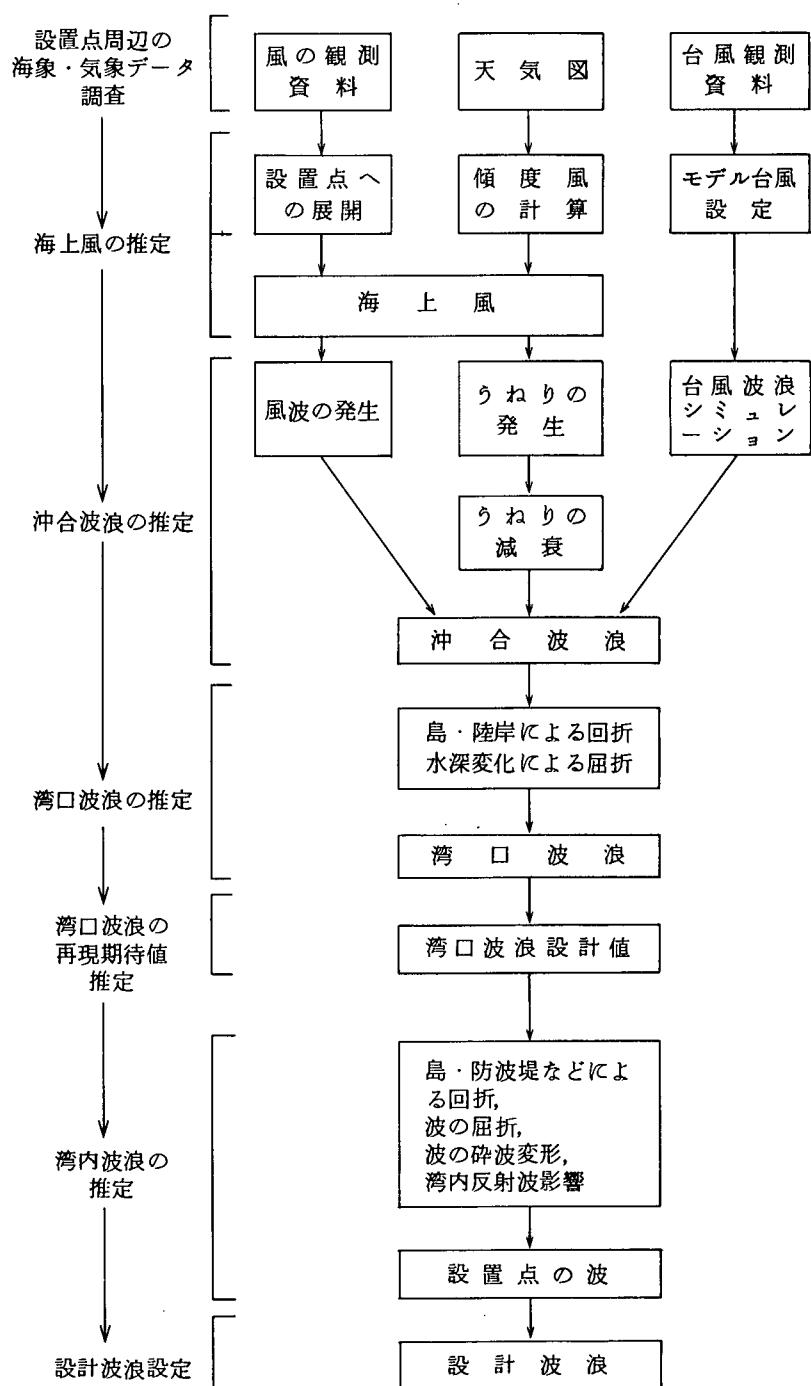
氷板の形や色等により10段階程度の区分を行う。継続的ice mapを作成することにより、氷の履

歴も明らかになるため、実用上有益なデータとなっているようである。したがって、設置場所周辺の過去の水状図を入手し、数値化して統計的に処理することによりある程度の精度を持ったデータが得られるものと思われる。数値化の基準としては、水サンプルの物理試験と対応の付く数値を用いる必要があろう。

表 6.3.1.2.1.2 必要な海象・気象の統計資料

	年間発現確率統計	長期極値統計
必要統計年数	2～3年間の平均	30年以上
波浪	(1) 波高一周期一波方向の組合せ発現確率統計 (2) 波高別継続時間発現確率統計 (Wave climate 波候統計と呼ばれている <sup>16)</sup> )	(1) 年最大波を含む極大波浪の統計 (波高一周期一波方向の組合せで) (2) 極大波浪の波スペクトル実測例
風	(1) 風速一風向の組合せ発現確率統計 (2) 風速別継続時間発現確率統計	(1) 年最大風速を含む極大風速の統計 (2) 極大風速のスペクトルあるいは突風率の実測例
潮流	(1) 最大流速 (2) 流向	
潮位	(1) 最高潮位、最低潮位	

表 6.3.1.2.1.3 海気象条件推定の Flow chart



## 参 考 文 献

- 1) Goida, K.P., 他, "KULLUK-An Arctic Exploratory Drilling Unit"  
OTC 4481 , OTC 1983
- 2) 三井-KULLUK
- 3) 高橋雄他“海洋構造物の設計と海象”, 日本造船学会誌「海洋工学」特集号 №609, March, 1980

### (5) 浮体の挙動と係留力

#### (a) 浅海係留の特徴

現在、開発が行なわれている氷海域の水深は数十m程度の浅海域である。浅海域での係留は、構造物の変位が比較的小さくてもラインに大きな張力変化を引き起こすため、厳しい条件となる。図6.3.1.2.1.7に水深200mと水深50mでの係留システム(76mmφチェーン, 8本ライン, 対称パターン)の特性を示す。初期張力の設定条件は同一とする。(水深5%変位時に最大張力を受けるラインが破断張力の1/3に達する。) 図で示すとおり、水深50mでは、変位に対する張力の増加が急である。

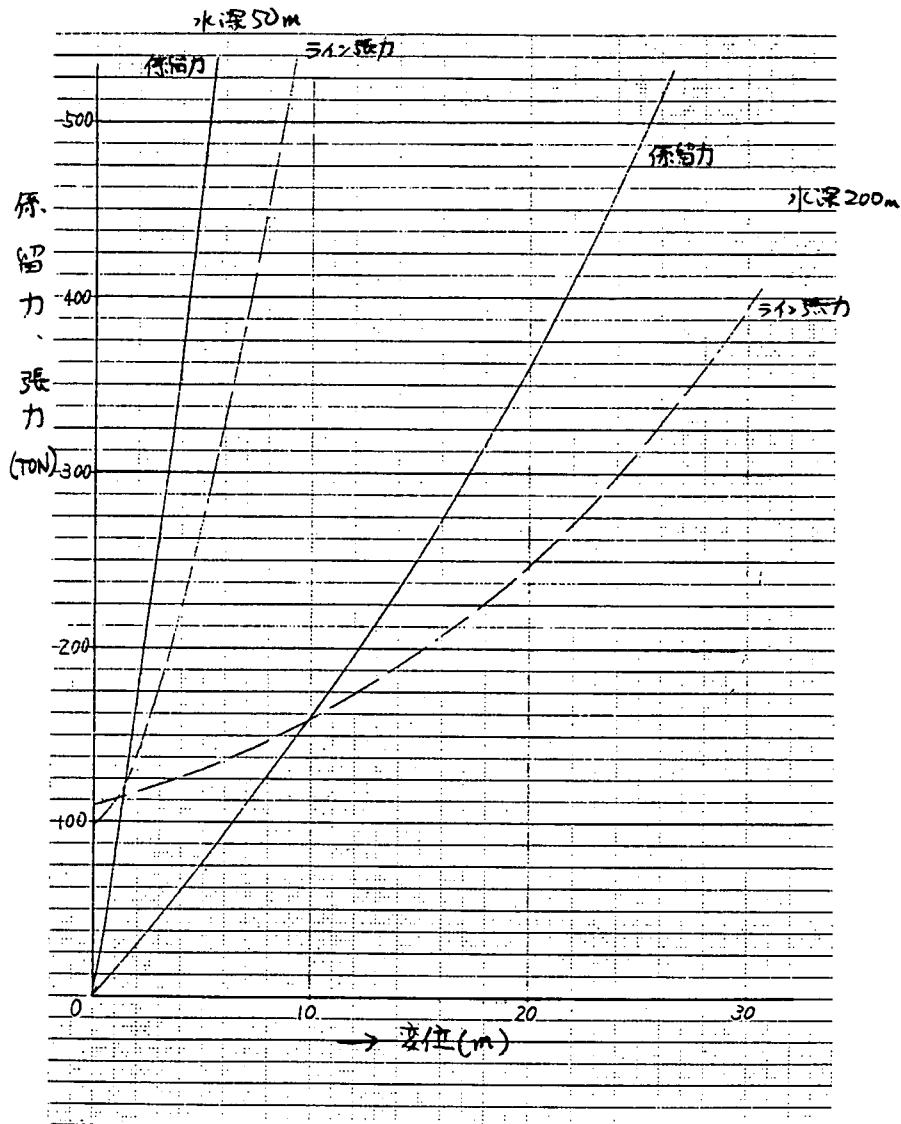


図 6.3.1.2.1.7 係 留 特 性

同一の係留力についても、ラインの最大張力は水深 50 mの方が非常に大きい。夏期の open water 時、波浪により引起される構造物の動搖量がほぼ同一とすると、ライン中の変動は、水深 50 mの方が非常に大きくなる。動搖中のラインには慣性力、流体抗力も作用しラインの静的な張力増分とこれら成分との相殺効果もあるため、静的特性のみで論じることはできないが、水深 50 m内外での係留はラインに非常に大きな張力を引き起こす事は明らかである。

また構造物の質量と係留系のバネ効果が構成する系の水平運動の固有周期が短くなるため、不規則波等に起因する長周期動搖に基づく係留力についても十分検討しておく必要がある。

一本の係留ライン自体の固有周期も短くなると考えられる。流体抗力の減衰作用が大きいため、共振を起こすとは考えられないが、注意をする必要がある。この他外力としては、潮流条件も激しくなると思われる。また海底地形の影響も相対的に大きくなるため注意が必要である。

このように浅海における係留は、100 m～300 m海域の係留にくらべて格段に厳しい条件にあると言える。したがって、中間シンカーや中間パイ等をラインの中間に配置した特殊ラインの適用についても検討されることがある。

#### (b) 係留系の解析法

海洋開発の進展と、これに基づく浮遊式海洋構造物の建造に伴い、その位置保持装置である係留系の挙動解析のため多くの研究がなされてきた。ラインの動的挙動についても、ラインを構成するチェーンやワイヤーに作用する流体力係数の測定、水槽内での強制振動実験等が鋭意進められている。

##### (i) 静的解析法

係留ラインの解析は、従来カテナリー理論でなされてきた。現在でもカテナリー理論による解析が主流であることは変りがない。

しかしながら、カテナリー理論は、不伸性で一様な重力分布を持つラインの重力のみが作用する平衡状態に基づくものであるため、①ラインの伸びが考慮できない事、②一様な材料で構成されるラインにしか適用できない、③潮流の影響を考慮できない等の欠点がある。

前述の浅海係留のごとく変位と張力のカーブの傾きが急な場合、ラインの伸びはこれを緩和する効果を持つため、ラインの伸びを考慮しないと特にワイヤー等伸びの大きいラインでは厳しくなりすぎる。カテナリー理論のこの欠点は、ラインを数個の部分に分けると共に、各部分において一様伸びを仮定することにより、十分な精度で考慮することができる。次点②もこの補正により取除くことができる。

通常の海洋構造物の係留ライン、特にチェーンを用いたラインにおいては、潮流の影響は小さいと考えられるが、潮流の影響はカテナリー理論では取扱えない。この場合、係留ラインを有限個の要素に分割し、各要素に働く重力、潮流力等の力を考慮して順次要素の平衡を計算する方法により計算される。

##### (ii) 動的解析法

動的解析法について多くの研究がなされている。表 6.3.1.2.1 3 に動的計算法の概要を掲載する。最近の傾向としては、ランプトマス法と簡易法がある。

簡易法は、ラインの振動モードの第1近似として静的な変化による変位を用いるものである。計算時間も短かく、経済的で水槽試験結果もよく説明する実用的な方法である。適用範囲を拡げるため、高次のモードを考える研究もなされている。

ランプトマス法は、係留ラインをバネと質点で置換し解析するものである。このモデル化による解析は以前より行なわれてきた。この方法の欠点は計算費用であった。バネと質点の構成する

最小系の固有周期に比例して計算の時間きざみを決める必要があるため、計算時間が長くなっている。最近行なわれている方法は、変位から張力を計算するのではなく、張力をまず推定することにより、時間きざみを適度にする方向で成果を得ている。<sup>7)</sup>水槽試験との比較も精力的に行なわれている。<sup>8)</sup>

最近のもう一つの方向としては、係留ラインの不規則応答解析がある。これまでの研究はほとんど、規則波加振に対する応答解析であったが、不規則加振に対する応答の最大値・分散等の推定と、水槽試験との比較が行なわれている。<sup>8)</sup>

船級協会の解析法に対する考え方は、静的解析に基づく準静的解析法が主であるが、DNVでは動的解析も認めている。その方法として、「波による最大応答を含む20分間以上について時系列計算を行なう。」となっている。

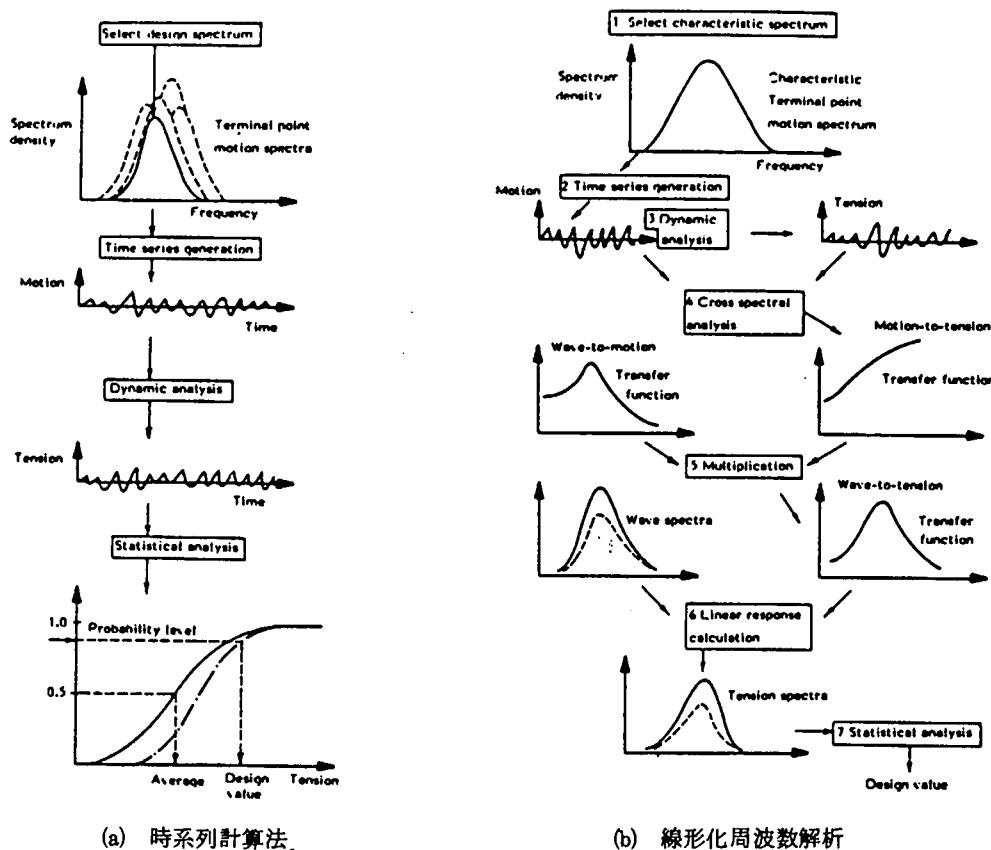


図 6.3.1.2.1-8 係留ラインの不規則解析法

図 6.3.1.2.1-8 に係留ラインの不規則解析のフローチャートを示す。(a) 時系列計算による方法、(b) 時系列計算に基づく応答関数を介してスペクトル解析を行なう方法である。

係留ラインの解析は、変位と張力増分の非線形性、ラインと周囲流体との相対速度の二乗に比例する抗力等の非線形性等を含むため、解析面では、多くの困難が付きまといつ今後更に研究が必要である。

9)

表6.3.1.2.1 3 動的計算法の分類と特徴

	計 算 法	対 象	非定常 解析	減衰 力	計算時間	適 用 範 囲	文 献 号
簡 易 法	係留ラインの運動方程式を直接解かずには、準静的な運動を用いて、係留ラインに作用する流体力を積み分し、動的係留力を求めめる方法。	均一 ライン	不可能	非線形	短い	動搖加速度が大きい場合には不適。	小寺山 <sup>30)</sup> 島田 <sup>31)</sup>
線 形 化 法	係留ラインの運動を微小とし、運動方程式を線形常微分方程式に変換して解く方法。	均一 ライン	不可能	線形	短い	動搖振巾が大きい場合には不適。	Chang <sup>5)</sup> Alexandrov <sup>32)</sup>
特 性 曲 線 法	係留ラインの運動方程式を特性曲線を用いて連立常微分方程式に変換して解く方法。	均一 ライン	可能	非線形	長い	適用範囲や広い。	Reid <sup>33)</sup> Wilson <sup>34)</sup>
Lumped mass 法	保留ラインを有限個のハメ一質点系で置きかえて解く方法。	不均一 ライン	可能	非線形	長い	適用範囲広い。	Thresher <sup>12)</sup> , 小寺山 <sup>13)</sup> Walton <sup>35)</sup> , 植原 <sup>36)</sup> 中嶋 <sup>37)39)</sup> , Nuckolls <sup>38)</sup> Griffin <sup>40)</sup>
有 限 要 素 法	Lumped mass 法と同様に、保留ラインを有限個の要素でモデル化して解く方法。	不均一 ライン	可能	非線形	長い	適用範囲広い。	Webster <sup>9)</sup> , 吉田 <sup>10)</sup> , 片山 <sup>21)</sup> Johansson <sup>43)</sup>

## 参考文献

- 1) 日本造船研究協会, 第187研究部会  
“海洋構造物の深海係留に関する調査研究”, 研究資料352, 昭和57年3月
- 2) 小寺山亘, “係留浮体の運動と係留鎖張力について” 西部造船会会報 第53号 昭和51年2月
- 3) 栖原寿郎他 “振動する係留鎖の挙動と張力” 造船学会論文集 第140号 1980
- 4) 中嶋俊夫他 “特殊係留ラインの動的特性について” 第5回海洋工学シンポジウム, 1981
- 5) 安藤定雄他 “鉄鎖係留ラインの静的張力特性と動的変動張力特性について”  
西部造船会会報 第66号 昭和58年8月
- 6) Ormberg, H. 他 “Dynamic Response in Anchor Lines :  
Numerical Simulations Compared with Field Measurements” OTC 4497, OTC  
1983

### (6) 浮体の運動

水海向の浮遊式構造物は水圧力や水片の集積を軽減するため、水線面部の形状を単純化したものが多い。コニカルドリリングユニット等の円盤状の構造物があり、これらは従来の船型やセミサブとは形状を異にする。したがって波浪中の運動につき検討する必要がある。ここでは円盤等軸対称体の運動特性計算法について述べる。

軸対称体では、対称性により運動の自由度は、上下揺、前後揺、縦揺の三成分になる。これら運動成分を次のように置く。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{上下揺} & Z = \zeta_0 Z_0 e^{-i(\omega t - \epsilon_z)} \\ \text{前後揺} & X = \zeta_0 X_0 e^{-i(\omega t - \epsilon_x)} \\ \text{縦揺} & \theta = k \zeta_0 \theta_0 e^{-i(\omega t - \epsilon_\theta)} \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここで

$$\begin{aligned} \zeta_0 &: \text{波振幅} \\ t &: \text{時刻} \\ Z_0, X_0, \theta_0 &: \text{無次元化運動振幅} \\ \epsilon_z, \epsilon_x, \epsilon_\theta &: \text{位相差} \\ k &: \text{波数} \end{aligned}$$

原点の回りの運動方程式は

上下揺について

$$(M + M_{zz}) \ddot{Z} + N_{zz} \dot{Z} + (\rho g A_w + K_{zz}) Z = F_z e^{-i(\omega t - \delta_z)}$$

前後揺について

$$\begin{aligned} (M + M_{xx}) \ddot{X} + N_{xx} \dot{X} + K_{xx} X \\ + (TM_{x\theta} - \bar{O}Z_0 \cdot M) \ddot{\theta} + TN_{x\theta} \dot{\theta} + K_{x\theta} \theta = F_x e^{-i(\omega t - \delta_x)} \end{aligned} \quad (2)$$

縦揺について

$$\begin{aligned} [M(k_{yy}^2 + \bar{O}Z_0^2) + M_{\theta\theta}] \ddot{\theta} + N_{\theta\theta} \dot{\theta} + (Mg \cdot \bar{G}M + K_{\theta\theta}) \theta \\ + (TM_{\theta z} - \bar{O}Z_0 \cdot M) \ddot{X} + TN_{\theta z} \dot{X} + K_{\theta z} X = M_\theta e^{-i(\omega t - \delta_\theta)} \end{aligned} \quad (2)$$

で表わされる。

ここで

$$\begin{aligned} M &: \text{浮体の質量} \\ k_{yy} &: \text{慣動半径} \end{aligned}$$

$M_{zz}$ ,  $M_{xx}$  : 上下動および前後揺の付加質量  
 $M_{\theta\theta}$  : 付加慣性モーメント  
 $N_{zz}$ ,  $N_{xx}$  : 線形減衰係数  
 $M_{x\theta}$ ,  $N_{x\theta}$  : 連成係数  
 $T$  : 吃水  
 $\rho$  : 流体密度  
 $g$  : 重力加速度  
 $\overline{GM}$  : メタセンタ半径  
 $\overline{OZ_g}$  : 原点と重心の距離  
 $A_w$  : 水線面積  
 $\nabla$  : 排水量  
 $F_z$ ,  $F_x$ ,  $M_\theta$  : 波強制力およびモーメントの振幅  
 $\delta_z$ ,  $\delta_x$ ,  $\delta_\theta$  : " の位相差

$K_{zz}$ ,  $K_{xx}$ ,  $K_{\theta\theta}$ ,  $K_{x\theta}$ ,  $K_{\theta x}$  : 係留システムによる復原バネ定数

波強制力, モーメント, 線形減衰係数及び付加質量(付加慣性モーメント)の計算は,

- ① 領域分割法
- ② 積分方程式法
- ③ ストリップ法
- ④ 有限要素法

等で計算されるが、詳しくは文献<sup>1)</sup>を参照願いたい。

係留システムによる復元バネ定数は、係留ラインの各関係成分の総和であり、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} K_{xx} &= \sum_1^n C_{xx}, \\ K_{zz} &= \sum_1^n C_{zz}, \\ K_{\theta\theta} &\doteq \sum_1^n (T_{h0} b_i + C_{xx} h^2 - C_{xz} b h - C_{zx} b h + C_{zz} b^2 - T_{v0} h), \\ K_{\theta x} &= \sum_1^n (C_{xx} h - C_{zx} b), \\ K_{x\theta} &= \sum_1^n (C_{xx} h - C_{xz} b) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで  $C_{xx}$ ,  $C_{zz}$ ,  $C_{xz}$ ,  $C_{zx}$  : 係留ライン 1 本の前後方向、上下方向、及び連成成分のバネ定数である。

$b_i$  : 原点から  $i$  番目係留ラインの係留点の水平距離

$h_i$  : 原点から  $i$  番目 " の上向き距離

$n$  : 係留ライン数

$T_{h0}$  :  $i$  番目係留ライン張力の水平成分

$T_{v0}$  :  $i$  番目係留ライン張力の鉛直成分

係留ラインのバネ定数は、係留ラインが伸びの小さいチェーンから構成された单一カテナリーラインの場合で、動搖が微小な場合、桑野の方法により計算される。

桑野の方法によるバネ定数は次のとおりである。<sup>2), 3)</sup>

$$\left. \begin{aligned} C_{xx} &= \frac{W \sinh D}{D \sinh D - 2(\cosh D - 1)}, \\ C_{zz} &= W \frac{D \cosh X \cosh(X+D) - \sinh D}{D \sinh D - 2(\cosh D - 1)}, \\ C_{zx} = C_{xz} &= W \frac{\cosh X (\cosh D - 1) + \sinh X \sinh D}{D \sinh D - 2(\cosh D - 1)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで

$$D = \frac{d_1}{a}$$

$$X_q = \frac{X_q}{a}$$

$$a = \frac{T_{ho}}{W}$$

である。また、 $d_1, X_q$  は図 6.3.1.2.1.9 に示すとおりである。  
特殊ラインや伸びの多いラインについては、適當な方法で  
上下及び水平方向の変位に対する張力成分を計算すること  
により計算されている。

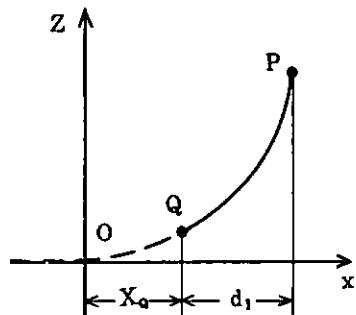


図 6.3.1.2.1.9

#### 参考文献

- 1) 大楠丹 “浮遊構造物に作用する流体力とその運動について”  
一田才福造教授の講義ノート（その2），日本造船学会誌 N647，昭和58年5月
- 2) 同上 ..... (その3)，日本造船学会誌 N649，昭和58年7月
- 3) 小寺山 亘“係留浮体の運動と係留鎖張力について”

#### 6.3.1.3 係留用機器の調査

##### (1) ウインチ、ウインドラス

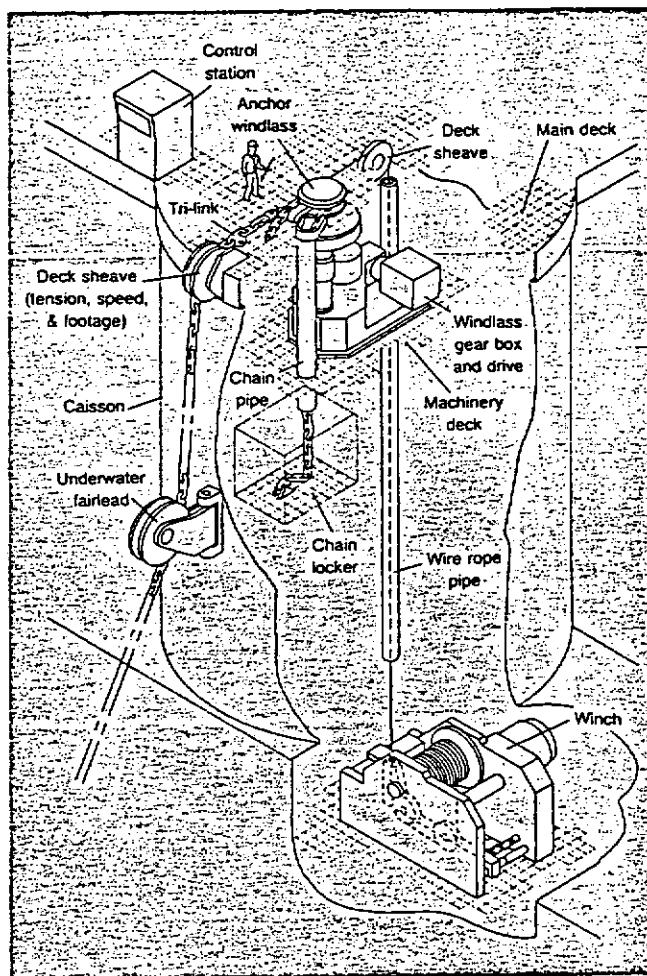
リグの係留に用いられるウインチ、ウインドラスには以下の条件が要求される。

- (1) ブレーキ力がチェーン、ワイヤの破断力以上であること。または、チェーン、ワイヤの緊急解放装置がついている時は、チェーン、ワイヤの破断力の 80% 以上であること。
- (2) 卷込力は、暴風時チェーン、ワイヤに働く張力以上であること。この張力は各リグの設計条件や稼働海域によって異なるが、通常チェーン、ワイヤの破断力の 1/2 程度である。
- (3) 投錨、収錨作業中のチェーン、ワイヤの巻出し、巻込み速度が十分であり、かつコントロールされること。このため通常、ウインチ、ウインドラスには流体ブレーキなどのダイナミックブレーキが装備され、120 m/min ~ 200 m/min の速度で連続制動線出し可能になっている。
- (4) セミサブリグなどでは、1本の係留ラインに過大な張力がかかり、リグ自体が危険になるのを防ぐ意味から、非常用の緊急解放装置が設けられる。

水海リグにおいても上記条件はそのままあてはまり、機器そのものにおいては本質的に相違はないが、耐寒対策において配慮が必要である。

耐寒対策としては、ウインチ、ウインドラス周辺を完全に建屋で囲み、スペースヒーターを装備するのがこれまで取られている方法である。コントロールルームは完全に別区画とし、暖房を施している。電動モーターにもスペースヒーターが必要であり、配管にもヒートトレーサーを施工する要がある。

以上の通常取られている方法とは別にウインチ、ウインドラスを完全にデッキ下に格納し、デッキ上にはデッキシーブまたはチェーンホイールのみを置くことにより着氷や低温による機器のトラブルを防止する方法もある。一例として複合索鎖システムでの配置図を図 6.3.1.3.1 に示す。



VERTICAL-SHAFT WINDLASS with a combination wire rope/chain mooring system will open up space on the main deck and allow higher variable load.

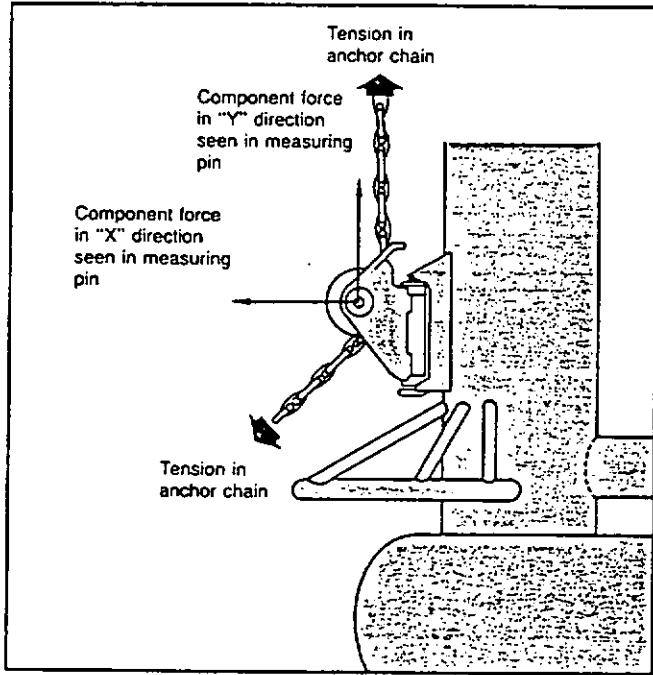
図 6.3.1.3.1

## (2) フェアリーダー

フェアリーダーとしてはローラータイプのスイベルフェアリーダーが用いられる。チェーン、ワイヤが破断力に達しても安全なよう十分な強度が要求される他に、チェーン、ワイヤへの無理な荷重のかかり方および摩耗を防ぐためチェーン用では少くとも5つ以上のボケットが設けられ、またワイヤ用では少くともワイヤ径の20倍以上の径の大きさのものが用いられる。フェアリーダーは通常没水部に設けられており、荷重のかかっている状態で低温にさらされることはないが、リグの曳航状態では空中に出るため、強度とともに耐低温性について材料選定時考慮が必要であろう。

また、氷海においては浮遊氷により物理的損傷を受けないようチェーン、ワイヤと共に配置上の考慮またはプロテクターの設置などが必要であろう。

なお、リグの係留のコントロールにおいてはチェーン、ワイヤの張力の正確な検出が必要不可欠であるが、従来はウインドラス、ワインチのロードセルによりそれを検出している。この場合、フェアリーダーにおける摩擦ロスにより必ずしも正確な張力は計測できない。また、チェーン、ワイヤ張力の水平方向成分が不明であり、実際にリグに作用している張力の実態がつかめないくらいがあった。これらを解決するために、最近フェアリーダーにストレインゲージを設け、チェーン、ワイヤ張力を正確に検出する装置が開発されている。このような装置は、スラスター・アシスト係留システムのように特に微妙な張力の変化の計測を要求される場合に有効であろう。（図6.3.1.3.2参照）



STRAIN GAUGE mounted in lower fairlead pin functions as the principle sensor in a computerized mooring load monitoring system that measures both horizontal and vertical components of anchor tension.

図 6.3.1.3.2

### (3) チェーン

リグの係留に用いられるチェーンは、従来の船舶用アンカーチェーン（第1種、2種、3種）より強度の大きいAPI Oil Rig Qualityが最も実績が多い。しかし、近年大型のリグまた、深海用リグの開発が進むにつれ、より強度の大きいチェーンが必要となり、APIのものよりさらに強い第4種のチェーンが制定されつつある。

表6.3.1.3.1に第4種とAPI ORQ チェーンの強度および重量を示す。

過去の浮遊式リグの実績では50mmから84mmまでのチェーンが使用されており、最も実績の多いのは76mmチェーンである。チェーンの長さについては、リグのチェーンロッカーの容積および曳航状態でのデッキロードとの関係から最大1,500程度が今までの実績である。

なお、チェーンのサイズ、長さについてはリグの基本設計条件である水深、外力条件から決定されるものであることは言うまでもない。

水海リグにおいてはチェーンの選定にあたり、強度のみならず、耐低温性の点についても考慮しておく必要がある。係留中、大部分のチェーンは海水中にあるが、フェアリーダーとウインドラスとの間は空中にさらされており、最大の張力が発生するこの部分の取扱いが問題となる。

この部分の配置をどうするかについて浮遊水からの保護ともからめ検討の要がある。

表 6.3.1.3.1

Test load and mass. Stud link chain cables of grades NV K4 and ORQ.

Diameter of chain, mm	Chain of Steel Grade NV K4		Chain of Oil Rig Quality (ORQ)		Guidance Approx. mass per m kg
	Proof test load kN	Minimum breaking strength kN	Proof test load kN	Minimum breaking strength kN	
50	2 160	2 740	1 400	2 110	54.0
52	2 330	2 960	1 510	2 270	58.4
54	2 500	3 170	1 620	2 440	63.0
56	2 680	3 400	1 740	2 610	67.8
58	2 860	3 630	1 850	2 794	72.7
60	3 050	3 870	1 980	2 978	77.8
62	3 240	4 120	2 100	3 170	83.1
64	3 440	4 370	2 230	3 360	88.6
66	3 640	4 630	2 360	3 560	94.2
68	3 850	4 890	2 500	3 760	100.0
70	4 060	5 160	2 630	3 970	106.0
73	4 390	5 580	2 850	4 290	115.2
76	4 730	6 010	3 070	4 620	124.9
78	4 960	6 300	3 220	4 850	131.6
81	5 320	6 750	3 450	5 190	142.0
84	5 680	7 220	3 680	5 550	152.9
87	6 060	7 690	3 930	5 920	164.2
90	6 440	8 180	4 170	6 290	176.0
93	6 700	8 510	4 340	6 590	184.0
95	7 100	9 010	4 600	6 910	195.6
97	7 370	9 360	4 770	7 200	205.0
100	7 730	9 880	5 040	7 600	218.5
102	8 050	10 250	5 220	7 870	227
105	8 480	10 770	5 560	8 190	241
107	8 760	11 130	5 880	8 560	250
111	9 350	11 870	6 060	9 130	269
114	9 790	12 440	6 350	9 570	284
117	10 240	13 010	6 640	10 000	299
120	10 700	13 590	6 940	10 450	314
122	11 010	13 980	7 140	10 750	326
124	11 320	14 380	7 340	11 060	335
127	11 790	14 980	7 640	11 520	351
130	12 270	15 580	7 950	11 930	367
132	12 590	15 990	8 160	12 290	378
137	13 400	17 020	8 680	13 090	408
142	14 220	18 060	9 210	13 890	432
147	15 050	19 120	9 750	14 700	470
152	15 890	20 190	10 300	15 520	500
157	16 740	21 270	10 850	16 350	530
162	17 500	22 350	11 140	17 190	570

## (4) ワイヤロープ

リグの係留に用いられるワイヤロープとしては従来API 6×37 Class Extra Improved Plow Steelが主に用いられている。

表 6.3.1.3.2 に API 6×37 Class の強度および重量を、図 6.3.1.3.3 にワイヤロープの組成を示す。

なお係留に用いられるワイヤロープは強度重視の点から、通常のメッキは適用されない。(メッキをすると10%程度強度が低下する。) 素線段階でメッキをするDrawn-Galvanizedが用いられる。また、従来は6-strandのワイヤロープが係留用に用いられてきているが、これに対してSpiral strandのワイヤロープの使用も検討されつつある。図 6.3.1.3.4 ~ 6.3.1.3.7 に 6-strand と Spiral strand のワイヤロープの強度などの性能を示す。

6-strand と Spiral strand の特徴を記すと以下のようになる。

6-strand :

- a) 柔軟で取扱いが簡単
- b) 強い
- c) 曲げ疲労に強い

Spiral strand

- a) 強度大
- b) 腐食に強い
- c) 引張疲労に強い
- d) ねじれがない

係留に用いられるワイヤロープは腐食が問題となるが、従来のメッキに加え、近年ポリエチレンやポリウレタンでSheathingする方法も開発されている。一例として、プラスチックでSheathingし、かつ亜鉛アノードを施したものを図6.3.1.3.8に示す。

ワイヤロープの長さは、アンカーウインチのドラム容量により制約を受けるが、これまでリグに用いられたものは概ね1,500 mが最大長さである。

氷海リグにおいてはワイヤロープの選定に当り、強度とともに耐食性が大きな要素となる。上に述べたようなSheathingなどの採用も検討する必要があろう。

また、ワイヤロープが浮遊水と接触しないよう係留ラインの配置について十分な配慮が必要である。

表 6.3.1.3.2

**.6 x 37 CLASSIFICATION WIRE ROPE, BRIGHT (UNCOATED) OR  
DRAWN-GALVANIZED WIRE, INDEPENDENT  
WIRE-ROPE CORE**

Nominal Diameter	Approx. Mass	Nominal Strength							
		Improved Plow Steel				Extra Improved Plow Steel			
		in.	mm	lb/ft	kg/m	lb	kN	Metric Tonnes	lb
1/4	13	0.46	0.68	23,000	102	10.4	26,600	118	12.1
5/16	14.5	0.59	0.88	29,000	129	13.2	33,600	149	15.2
3/8	16	0.72	1.07	35,800	159	16.2	41,200	183	18.7
7/16	19	1.04	1.55	51,200	228	23.2	58,800	262	26.7
1/2	22	1.42	2.11	69,200	308	31.4	79,600	354	36.1
1	26	1.85	2.75	89,800	399	40.7	103,400	460	46.9
1 1/16	29	2.34	3.48	113,000	503	51.3	130,000	578	59.0
1 1/8	32	2.89	4.30	138,800	617	63.0	159,800	711	72.5
1 3/16	35	3.50	5.21	167,000	743	75.7	192,000	854	87.1
1 7/16	38	4.16	6.19	197,800	880	89.7	228,000	1010	103
1 1/4	42	4.88	7.26	230,000	1020	104	264,000	1170	120
1 5/8	45	5.67	8.44	266,000	1180	121	306,000	1360	139
1 3/4	48	6.50	9.67	304,000	1350	138	348,000	1550	158
2	51	7.39	11.0	344,000	1530	156	396,000	1760	180
2 1/16	54	8.35	12.4	384,000	1710	174	442,000	1970	200
2 1/8	57	9.36	13.9	430,000	1910	195	494,000	2200	224
2 5/16	61	10.4	15.5	478,000	2130	217	548,000	2440	249
2 3/8	64	11.6	17.3	524,000	2330	238	604,000	2690	274
2 7/16	67	12.8	19.0	576,000	2560	261	662,000	2940	300
3	70	14.0	20.8	628,000	2790	285	722,000	3210	327
3 1/16	74	15.3	22.8	682,000	3030	309	784,000	3490	356
3 3/16	77	16.6	24.7	740,000	3290	336	850,000	3780	386
3 5/16	80	18.0	26.8	798,000	3550	362	916,000	4070	415
3 7/16	83	19.5	29.0	855,000	3820	389	984,000	4360	446
3 1/2	86	21.0	31.3	918,000	4080	416	1,058,000	4710	480
3 9/16	90	22.7	33.8	982,000	4370	445	1,128,000	5020	512
4	96	26.0	38.7	1,114,000	4960	505	1,282,000	5700	582
	103	29.6	44.0	1,254,000	5580	569	1,440,000	6410	653

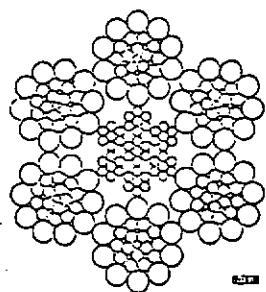


FIG. 5.8  
6 x 31 FILLER WIRE SEAL  
WITH INDEPENDENT  
WIRE ROPE CORE

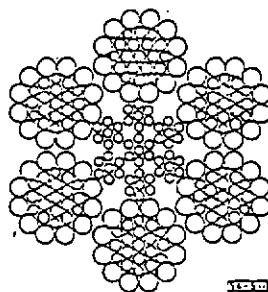


FIG. 5.9  
6 x 31 WARRINGTON SEAL  
WITH INDEPENDENT  
WIRE ROPE CORE

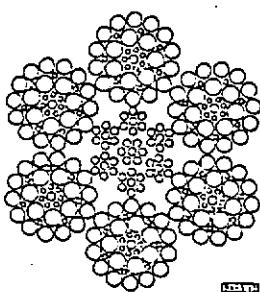


FIG. 5.10  
6 x 36 FILLER WIRE  
WITH INDEPENDENT  
WIRE-ROPE CORE

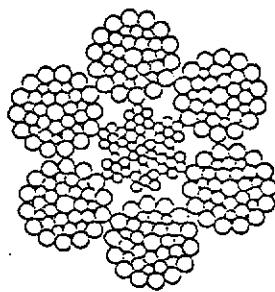


FIG. 5.11  
6 x 36 WARRINGTON SEAL  
WITH INDEPENDENT  
WIRE ROPE CORE

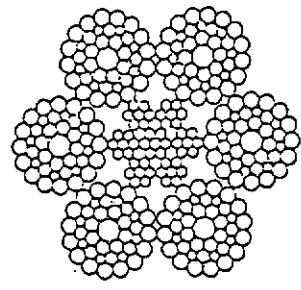


FIG. 5.12  
6 x 41 WARRINGTON SEAL  
WITH INDEPENDENT  
WIRE-ROPE CORE

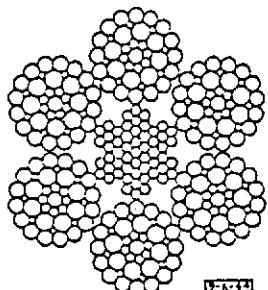


FIG. 5.13  
6 x 41 FILLER WIRE  
WITH INDEPENDENT  
WIRE-ROPE CORE

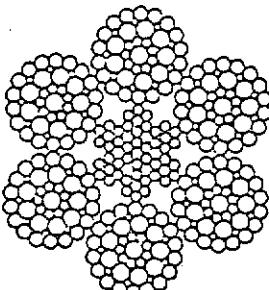


FIG. 5.14  
6 x 46 FILLER WIRE  
WITH INDEPENDENT  
WIRE-ROPE CORE

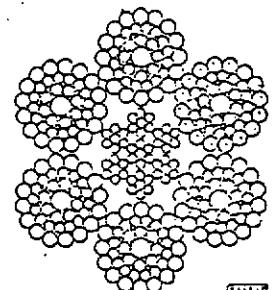
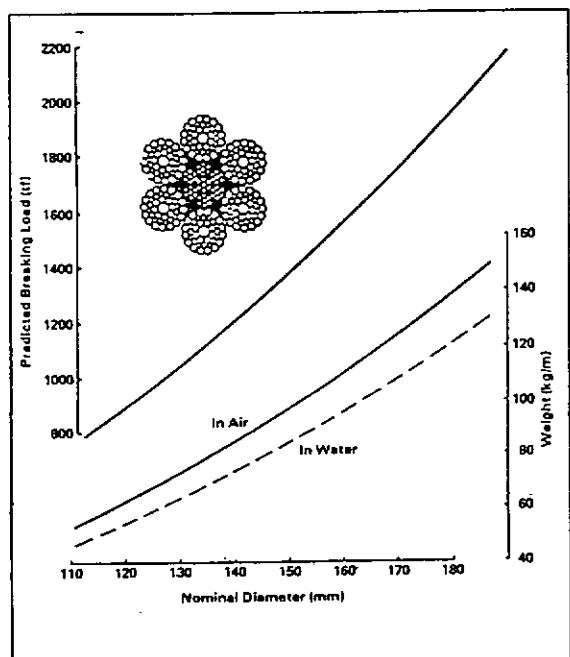


FIG. 5.15  
6 x 49 FILLER WIRE SEAL  
WITH INDEPENDENT WIRE  
ROPE CORE

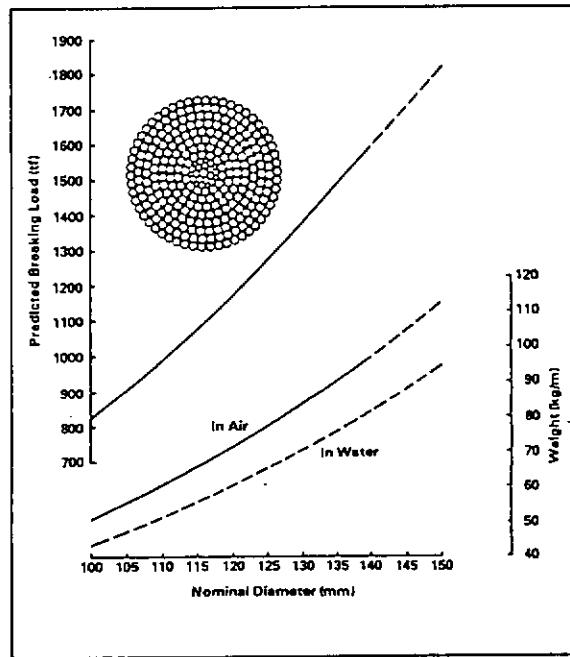
### 6 x 37 CLASSIFICATION

☒ 6.3.1.3.3



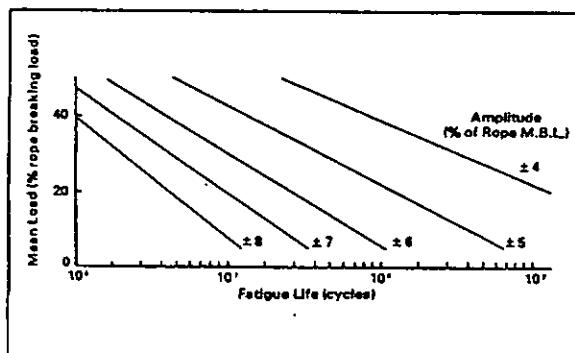
Six strand rope characteristics : - size, weight and breaking load relationship.

☒ 6.3.1.3.4



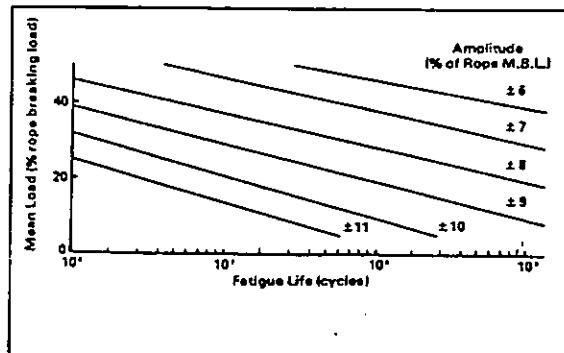
Spiral strand characteristics : - size, weight and breaking load relationship.

☒ 6.3.1.3.5



Six strand rope characteristics : - tension fatigue.

図 6.3.1.3.6



Spiral strand characteristics : - tension fatigue.

図 6.3.1.3.7

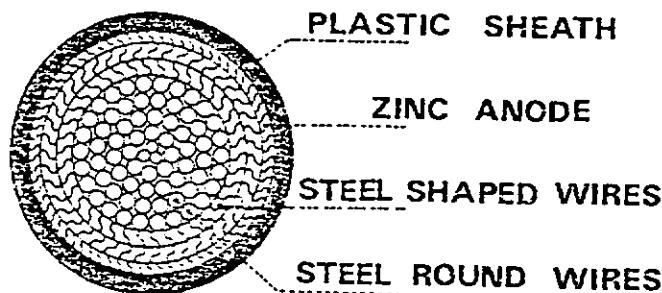


図 6.3.1.3.8

### (5) 複合索鎖

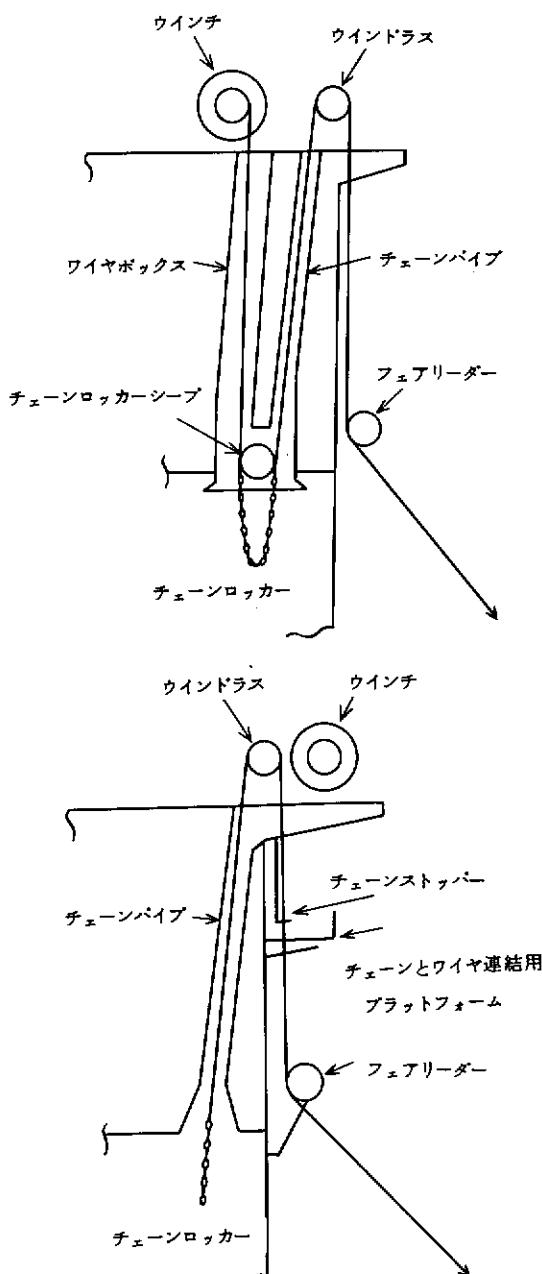
チェーンとワイヤのカテナリー特性の長所を組合わせよりよい係留性能を得るために複合索鎖システムが用いられる。

このシステムは特に大水深用に開発されたもので、大水深の場合必要となる係留ラインの長さを減少させ、チェーン、ワイヤそれぞれの長さを実用上可能な長さ以下におさえる効果がある。

チェーンはアンカー側に設けられその重量によりアンカーでの係留ラインの立上りを防ぐ効果を果している。チェーンとワイヤの長さの比としては過去の実績では1:4または2:3のものが多い。

複合索鎖システムにはチェーンとワイヤの連結要領から2つの方式があり、1つはチェーンとワイヤが常に連結されておりチェーンを全量巻出すと自動的にワイヤが繰出されワインチに荷重がかかるものであり、他方はチェーンをある程度繰出した段階で連結リンクによりワイヤをチェーンに連結し、残りのチェーンは切離すものである。

図 6.3.1.3.9 に複合索鎖システムの2つの方式を示す。



(a) チェーンとワイヤが常に連結されているもの。

まずウインドラスによりチェーンロッカー内のチェーンを繰り出す。チェーンがほとんど全量繰り出され、チェーンロッカーシーブにチェーンがかかると、ウインチを動かしワイヤを巻き出す。

(b) チェーンとワイヤを連結リンクによりつなぐもの。

まずウインドラスによりチェーンロッカー内のチェーンを繰り出す。チェーンの末端近くには連結用リンクが設けられており、チェーンが繰り出されてこのリンクもチェーンストッパーの所にくると、チェーンをチェーンストッパーにかけ連結用リンクをはずす。次にワイヤを巻出し、チェーンストッパーにかけられているチェーンに連結用リンクを用いて接続する。

ワイヤとチェーンが連結されるとウインチを作動させワイヤを巻き出す。

### 図 6.3.1.3.9 複合索鎖

ここで氷海リグに複合索鎖システムを適用するに当っては(b)の方式だと、チェーンとワイヤの連結・解除作業が必要であるため寒冷な気温を考慮すると問題であろう。(a)の方式だとこの作業が不要であるが、チェーンロッカーシーブに大きな荷重のかかる方式であるため、構造上注意を要する。

#### (6) 新保留ライン

従来保留ラインとしてはチェーンまたはワイヤロープが使用されてきているが、これ以外の保留ラインについても開発が進められている。

##### (a) Hollow Cylindrical Link (HCL)

これは内部が中空のリンクを保留ラインとして使用するもので、チェーンのように重畠がかさばるという欠点はない。しかし、コストが高く、また耐食性とメンテナンスの点で問題がある。

(b) 合成繊維索

合成繊維索は重量が軽く、弾性に富み、特に深海係留用として有望である。しかし強度的に同程度のワイヤロープと比較するとコスト的に問題がある。

上記のように現状では依然チェーンおよびワイヤロープが標準的な係留ラインとして認められるが、ワイヤロープの欠点である耐食性を向上させるためにSheathingなど種々の改良が図られていることは(4)で述べたとおりである。

(7) アンカー

アンカーは大別して以下の形式に分類される。

ドラッグアンカー (Drag Anchor)

重力式アンカー

パイルアンカー

(a) ドラッグアンカー

ドラッグアンカーはリグに最もよく用いられるもので、主な種類をあげると図 6.3.1.3.1 0 のとおりである。

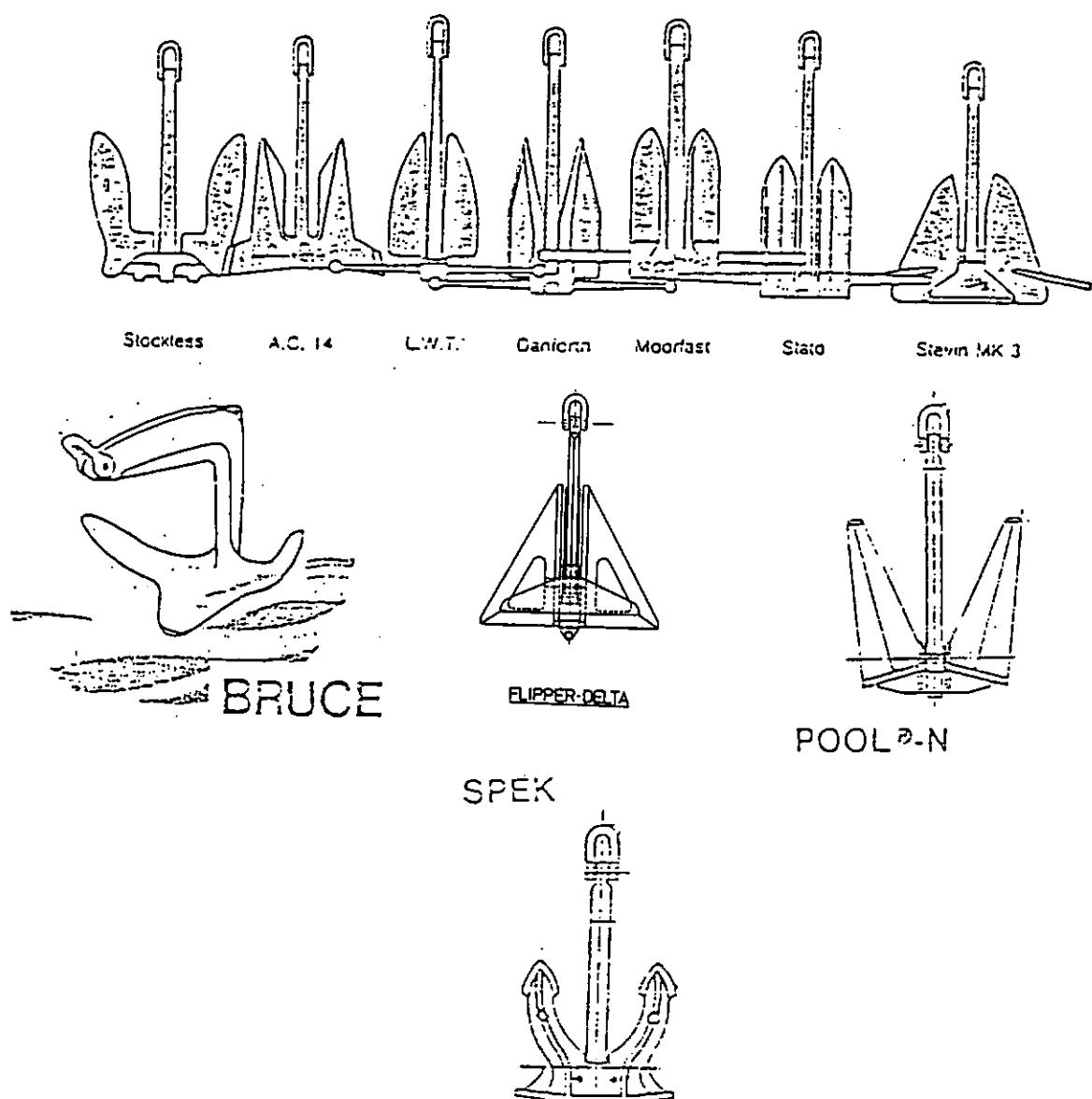


図 6.3.1.3.1 0 主なドラッグアンカー

ドラッグアンカーの把駐力については海底土質との関係から一律に規定することは難しく、また投錨時の状態にもよるため、予想が難しいものとなっているが、近年アンカー把駐力の実験、解析も多く行われ、性能のよいアンカーが開発されつつある。

参考までに各種アンカーの公称されている把駐力係数を示すと表 6.3.1.3.3 のようになる。

表 6.3.1.3.3 各種アンカーの把駐力係数(把駐力／アンカー自重)

	Sand	Mud	Hard Soil
Baldt	7	6	5
Pool	7	5	4
L,W,T	1.5	7.2	1.1
Moorfast	1.7	1.2	1.3
Stato	2.2	1.5	1.5
Stevin	2.8	1.8	1.7

上記把駐力は係留ラインのアンカーでの立上り角が0°の時の値であり、係留ラインが立上ると、アンカーには上向きの力がかかり把駐力は減少する。一般に10°の立上り角で把駐力は40%減少し、20°では60%減少すると言われている。

ドラッグアンカーはそのハンドリングが比較的容易であることから、リグIC最も多く使用されているが、把駐力に対する信頼性、確実性が低い。このため、Back-up Anchor もよく用いられる。

なお、セミサブリグでは15~20 TONのアンカーがよく用いられている。

#### (b) 重力式アンカー

重力式アンカーは鋼またはコンクリートなどのブロックを海底に据付け、その大きな重量により係留ラインを支えるものである。

オフショアの場合、アンカーブロックは巨大なものとなるため、布設に当ってデリック・バージなどの用意が必要で、布設費用がかかる。

また、一度布設すると、回収することが難しいため、リグにおいてはめったに使われない。

#### (c) パイルアンカー

パイルアンカーはパイルを海底土中に埋込み、強固に係留ラインを支えるもので、信頼性は高い。布設に当っては水中でのパイル打込作業が必要で、方法としてパイルハンマーやジェット水または掘削装置が用いられる。

図 6.3.1.3.1 1 ~ 6.3.1.3.1 6 に種々のパイルアンカーの例を示す。

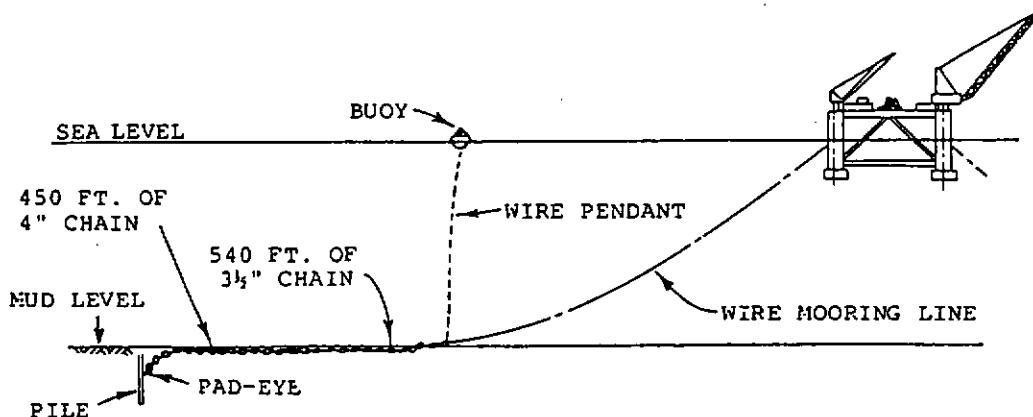
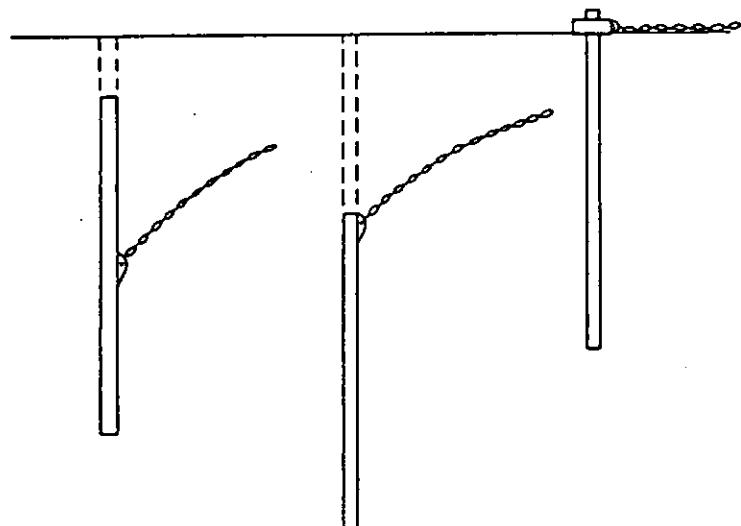


図 6.3.1.3.1 1 パイルによる係留例

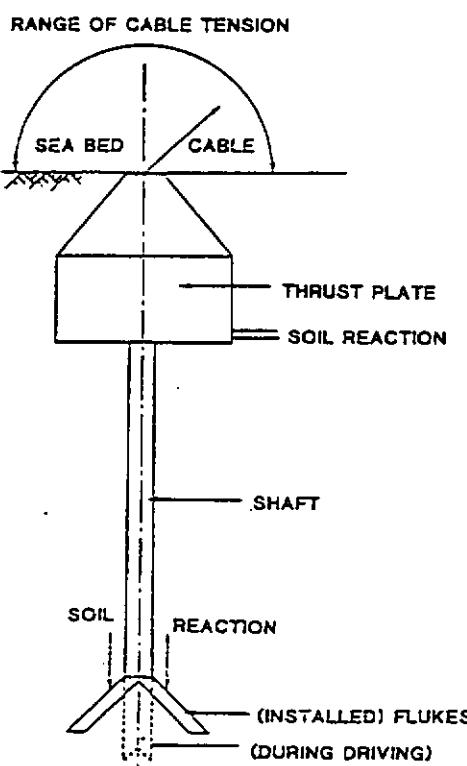


(a) CONNECTION AT MID-LENGTH

(b) CONNECTION AT PILE-HEAD,  
HEAD DRIVEN  
BELOW SEAFLOOR

(c) CONNECTION AT SEAFLOOR

**図 6.3.1.3.1 2 Pile anchor types**



**図 6.3.1.3.1 3 QMC Pile Fluke Anchor**

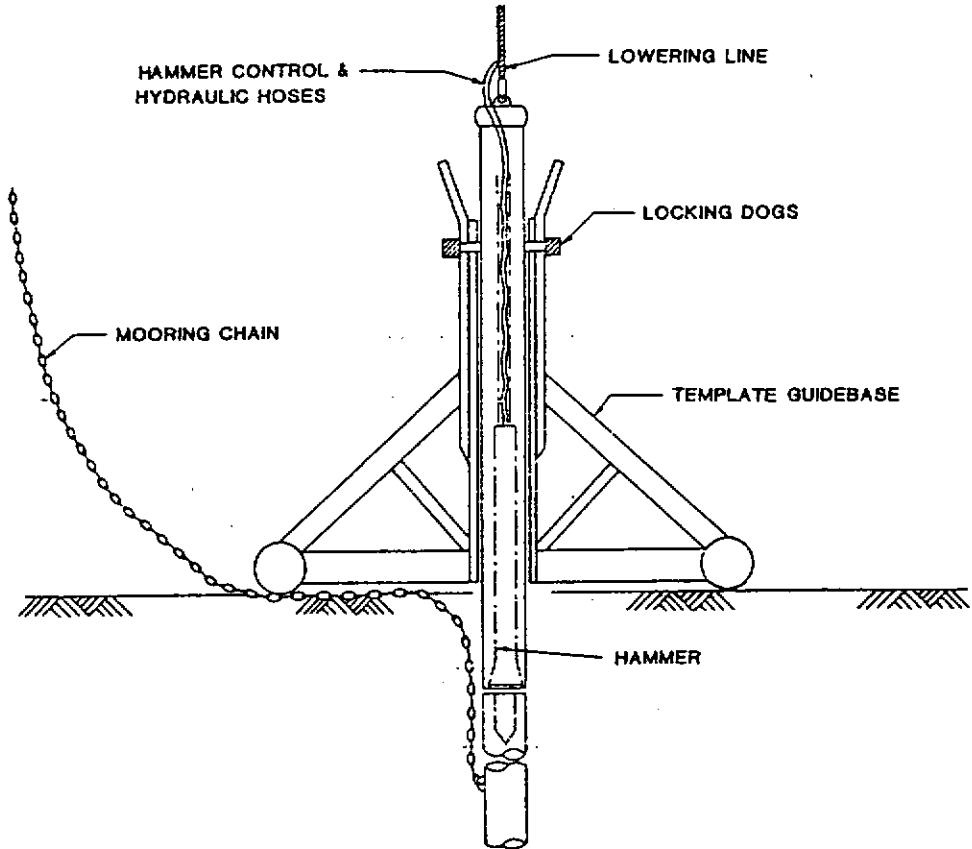


図 6.3.1.3.1 4 バイル布設要領例

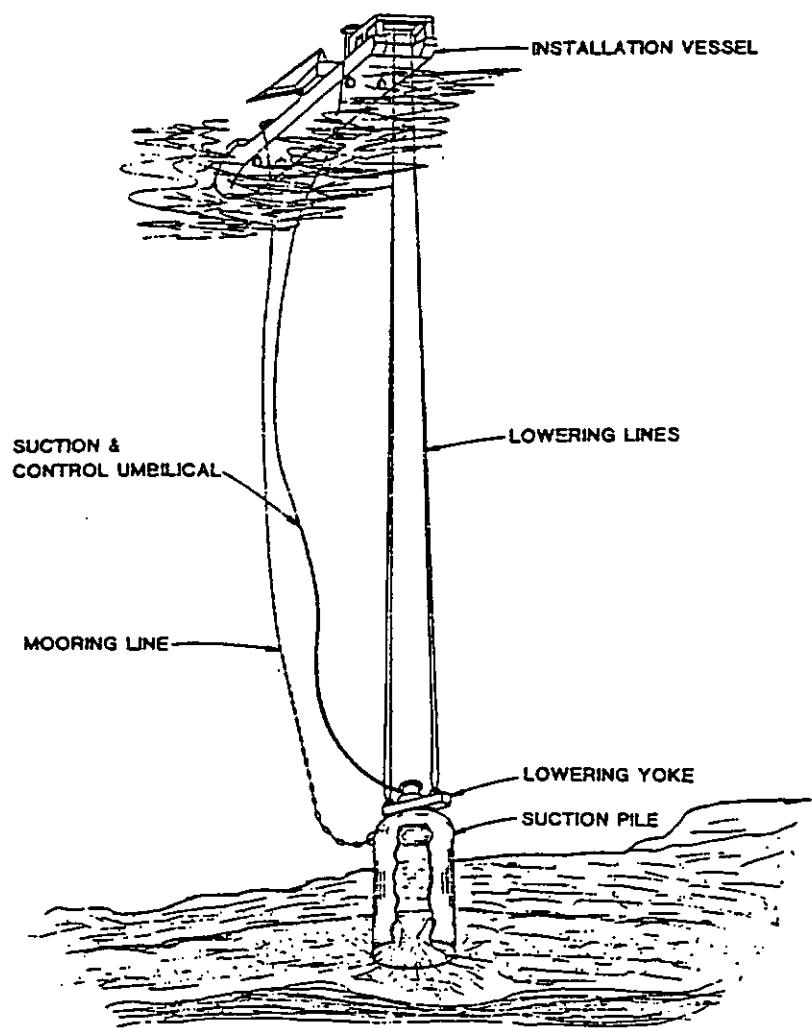


図 6.3.1.3.1.5 Suction Anchor Installation

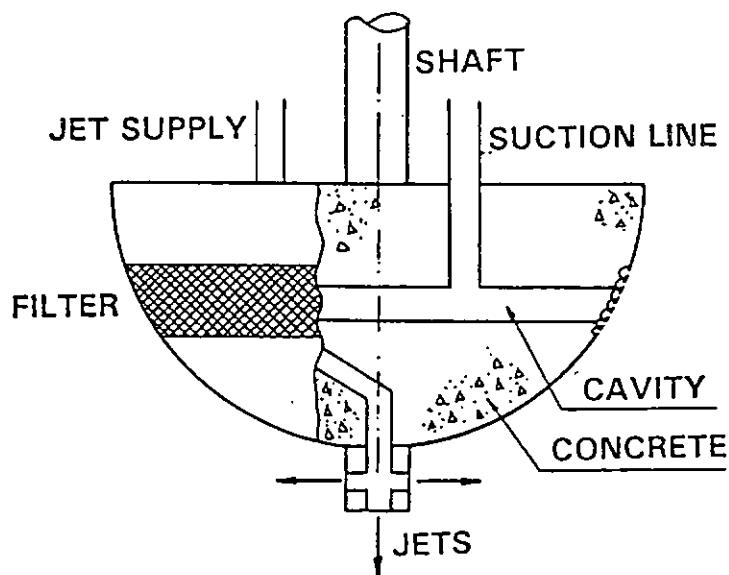
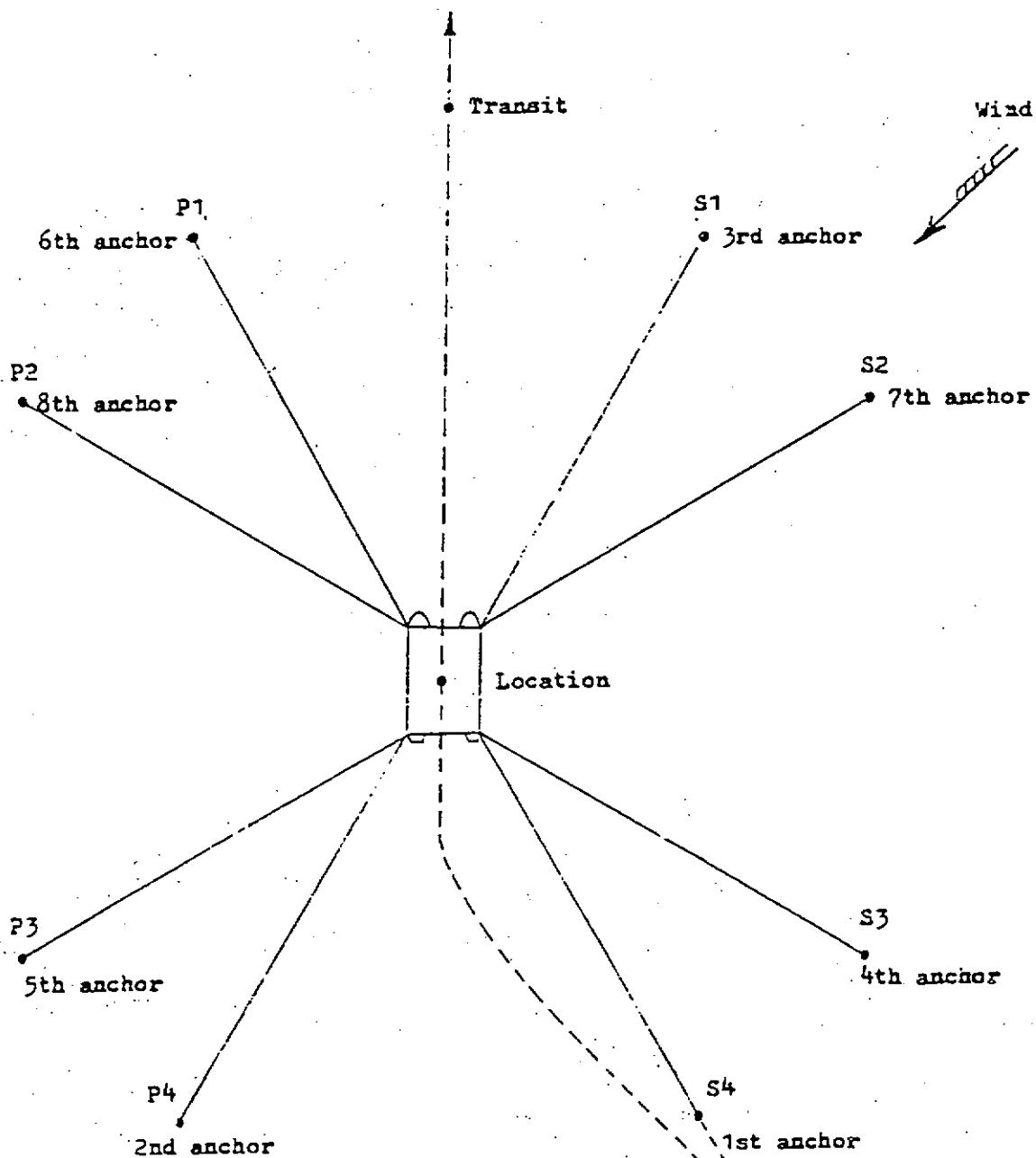


図 6.3.1.3.1.6 Typical suction anchor with Jet

Normal approach and anchoring procedure with light to moderate wind from all directions on starboard side of location. Rig heading



With the wind on the portside of location, approach is made with location and No. P4 in transit.

The anchors are set in this order:  
No. P4, No. S4, No. P1, No. P3, No. S3,  
No. S1, No. P2 and No. S2.

图 6.3.1.4.1 Anchoring Procedure

#### 6.3.1.4 係留システム施工方法

浮遊式リグにおける通常の係留システム施工手順は以下のとおりである。

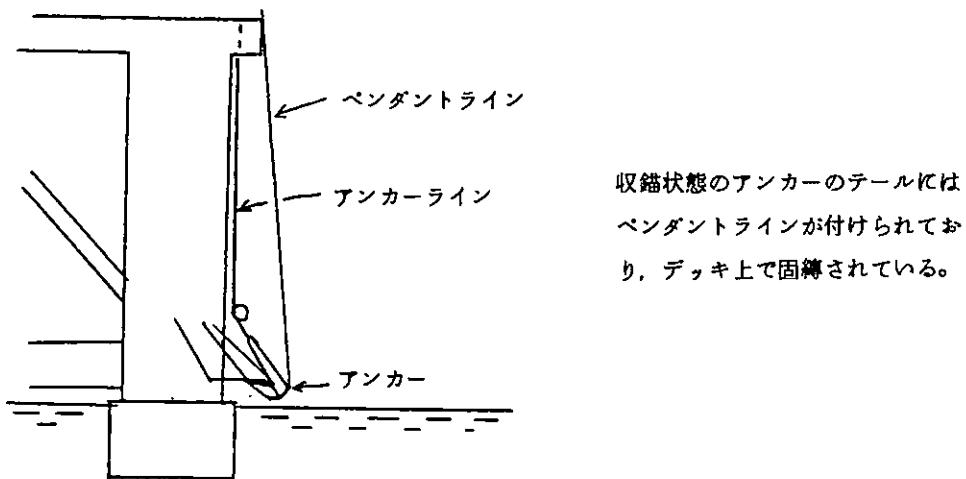
- ① リグはタグにより曳航され風下側から目標位置に近づく。船尾側アンカー設置位置を通過する時点で船尾側のアンカーを投下する。
- ② 船尾側の係留ラインを繰出しながら目標位置に近づく。目標位置に到達するとタグまたはスラスターによりリグをその位置に保持する。
- ③ 各係留ラインについて順次タグによりアンカーを所定の位置まで運び布設する。各係留ラインの施工順序の例については図 6.3.1.4.1 を参照のこと。
- ④ 全係留ラインの設置が完了するとアンカーが必要な把駆力を持っているか確認の後、所定の係留ライン張力にセットし、作業に入る。

上記の作業においてはアンカーハンドリング用のタグポートが大きな役割を占めている。ここでタグによるアンカーハンドリングの手順を示すと図 6.3.1.4.2 のようになる。

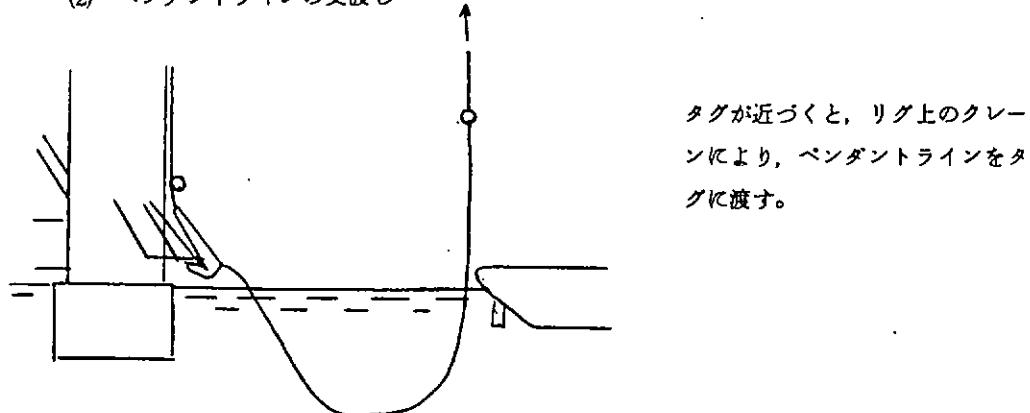
重量の大きなアンカーおよび係留ラインを曳航するため、タグには大きなボラードブルが要求される。タグの必要馬力は係留ラインの重量、繰出し長さおよび水深によって決定されるが、大体の目安として係留ラインがワイヤだと 4,000 HP、チェーンだと 8,000 HP 必要と言われている。

氷海においては、ボラードブルのみならず、碎氷能力もタグの大きな性能上の重要点となる。碎氷タグについては、現在既にカナダボーフォート海などにおいて人工島リグなどのサプライポートとして稼働が開始されており、今後もその需要が増大することが予想される。

(1) アンカー収録状態



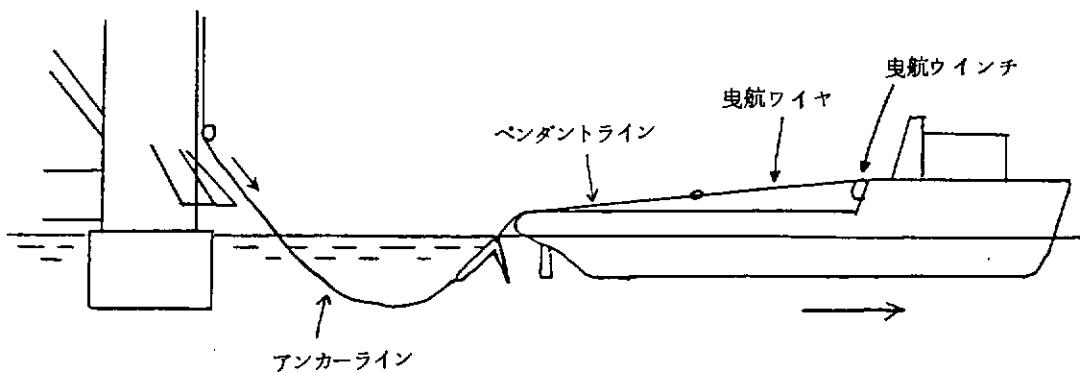
(2) ペンドントライインの受渡し



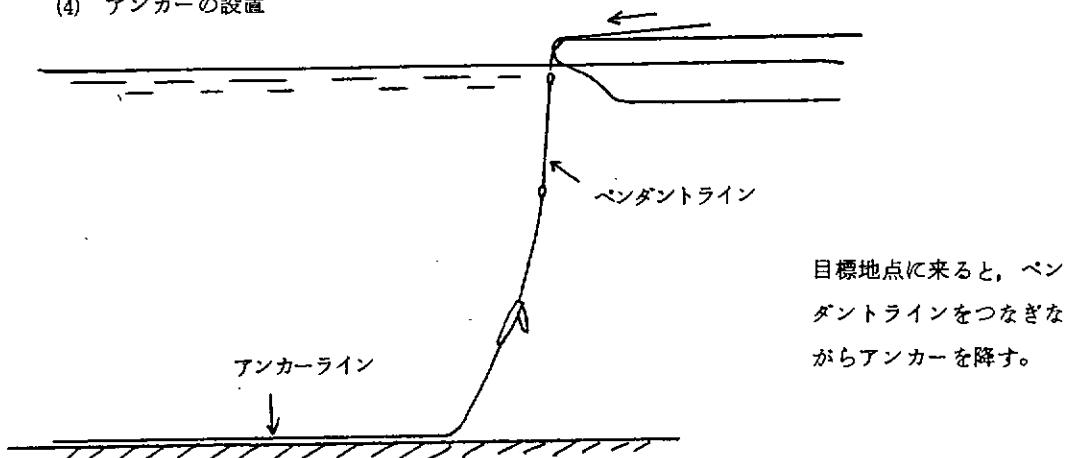
(3) タグの曳航ワイヤにペンドントラインを接続

ペンドントラインはタグの曳航ワイヤに接続する。

アンカーはタグの船尾にぶら下げ、アンカーラインを繰出し、タグは目標位置まで移動する。



(4) アンカーの設置



(5) ブイの設置

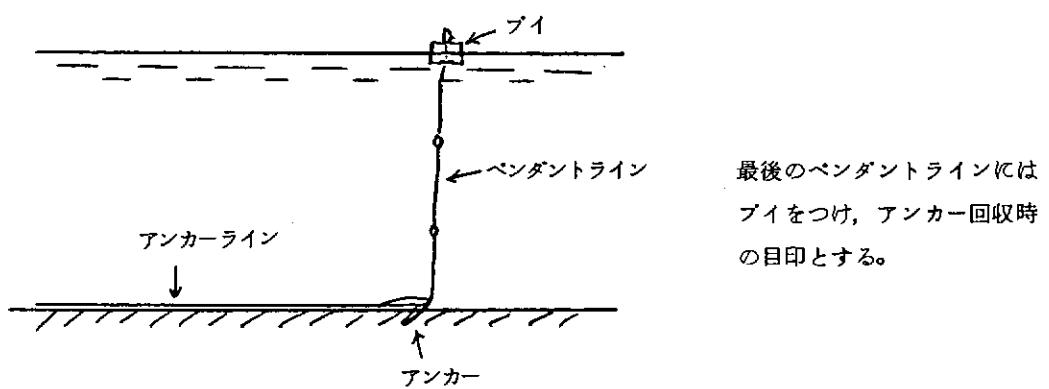


図 6.3.1.4.2 タグによるアンカーハンドリング手順

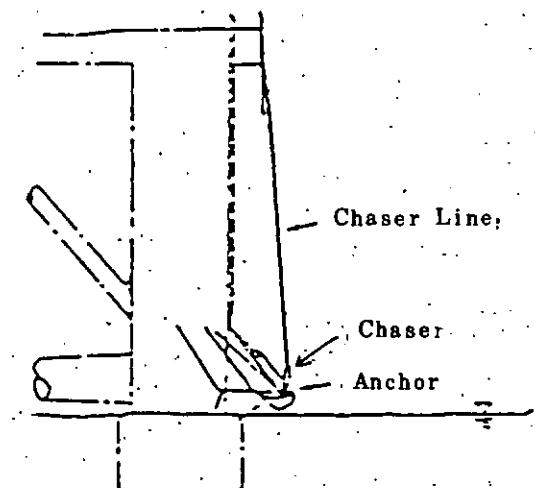
以上はアンカー設置時の手順であるが、アンカー回収時はこれと逆の手順で行えばよい。

なお、最近ではアンカーハンドリング方法として、ペンダントラインおよびブイを必要としないチーサーシステムが用いられてきつつある。

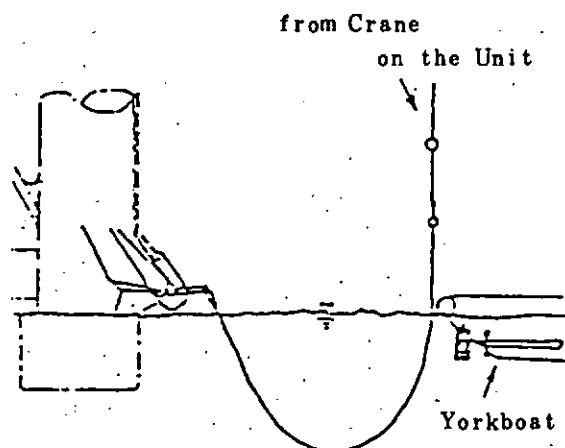
図 6.3.1.4.3 にチーサーシステムの概要を示す。本システムだとブイを必要としないため、氷海においても適用可能である。

以上通常の浮遊リグにおける係留システム施工方法について述べたが、6.3.1.3(7)で述べた、重力式アンカーおよびバイルアンカーを施工する場合にはデリックバージまたは専用の敷設船が必要である。

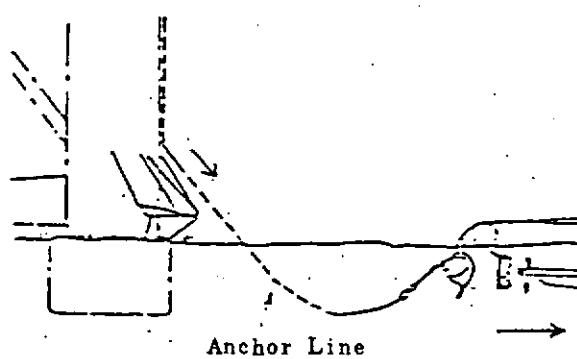
これらのアンカーを使用するのは半恒久的な海洋構造物の場合がほとんどであり、リグにはめったに使用されないことから本報告書では、それらの施工方法については省略する。



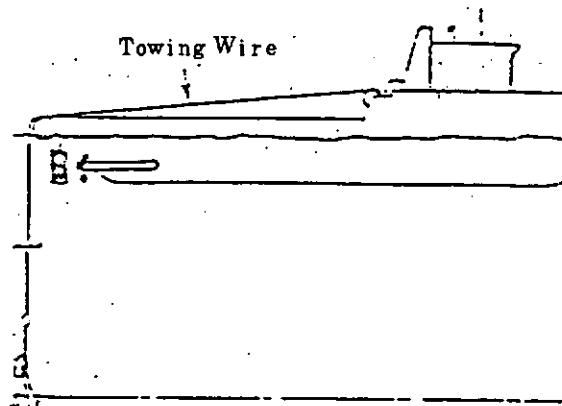
(1) アンカー収録状態



(2) リグのクレーンによりチーサーラインをタグに渡す。



(3) チーサーラインはタグの曳航ワイヤに接続し、アンカー、アンカーラインを繰出す。



(4) 目標位置に着くと、タグの曳航ワイヤを繰り出し、アンカーを設置する。

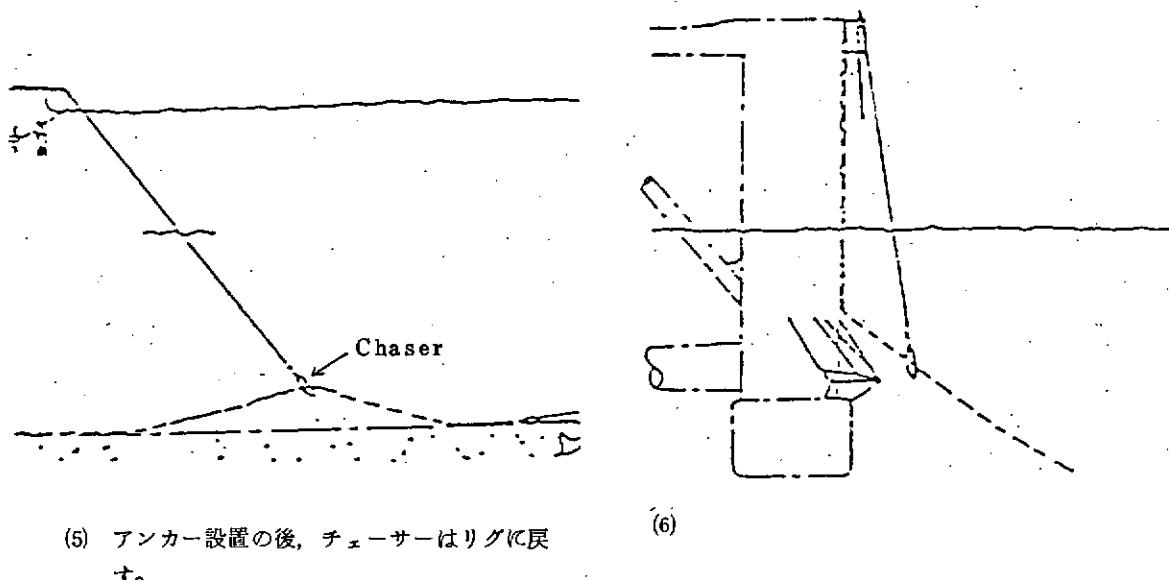


図 6.3.1.4.3 Operation of Chaser System

#### 6.3.1.5 係留システムの維持、メンテナンス方法

浮遊式リグの場合、係留システムは特に重要であり、その維持、メンテナンスには細心の注意を払う必要がある。NMD (Norwegian Maritime Directorate)においては、係留システムの定期検査について次のように定めている。

フェアリーダー 1年に1回以上

アンカーチェーンまたはワイヤ 2年に1回以上(全長にわたる検査)

4年以上経過したものについてはテストサンプルによる材料試験およびそれ以後は2年毎に材料試験

緊急解放装置 半年毎

ワインチ、ウインドラスの機能試験 1年に1回

上記のように、船級協会または各国官庁の定めた検査においてはリグの稼働を停止して検査を行うので損傷個所はこの時には発見できると思われるが、リグが稼働中においては損傷個所が発見されない場合もあり、大事故につながる恐れも考えられる。このため、日常のメンテナンスが重要となるが、フェアリーダー、アンカー、アンカーチェーン／ワイヤは没水しているため、そのメンテナンスは非常に難しい。特に氷海の場合は人による水中検査は大きく限定されると思われる。このため、近年海底のBOP STACKの検査用などに用いられてきているRCV（遠隔操縦観察システム）の使用も検討の必要があるであろう。図 6.3.1.5.1 にRCVシステムの概念を示す。

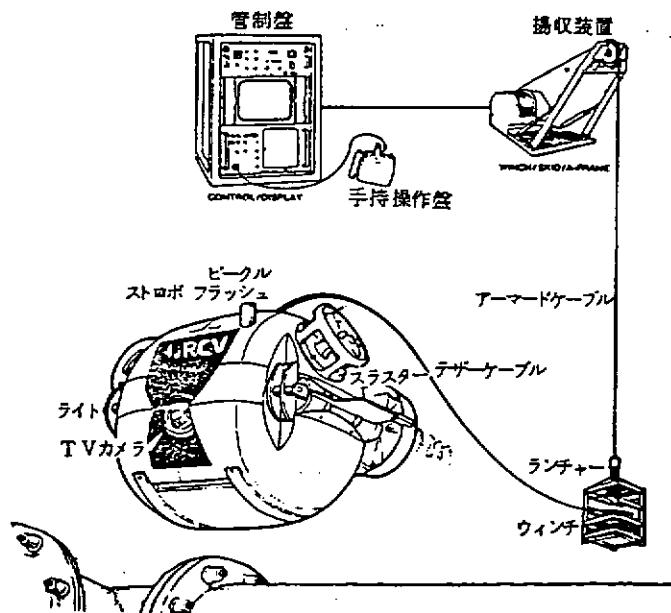


図 6.3.1.5.1

また、アンカーチェーン／ワイヤ、フェアリーダー、アンカーなどの耐用年数については、その基準なり考え方方が未だ確立していないのが現状であり、今後疲労強度からみたその面での研究が待望される。

#### 参考文献

OCEAN INDUSTRY VOL. 18, NO. 6 JUNE 1983

OCEAN INDUSTRY VOL. 18, NO. 4 APRIL 1983

OTC 4050 DEEPWATER HIGH CAPACITY MOORINGS

by P.G.S. Dove, P.A. Abott, D.G. Hervey, Brown & Root Development Inc.

OTC 3850 ROPES FOR DEEP WATER MOORING

K.T. Ronson, British Ropes Ltd.

OTC 4177 Deep Ocean Mooring Design Technology - Present Status and Future Development

T.R. McNatt, Giannotti & Associates, Inc.

1981 国際ダイビングシンポジウム調査報告

56.5 海洋科学技術センター、日本深海技術協会

### 6.3.2 非常時離脱システム

浮遊式氷海リグの係留装置の設計を行う場合、通常の海面とは異なって流氷や氷山の存在を考慮しなければならない。

グリーンランド西部やラブラドル沿岸のような氷山の多い海域では、氷山の動きを常時観測し、掘削地点に接近するものは曳船により、その進路を変えることが一般に行われている。氷山曳航の様子を図 6.3.2.1 に示す。

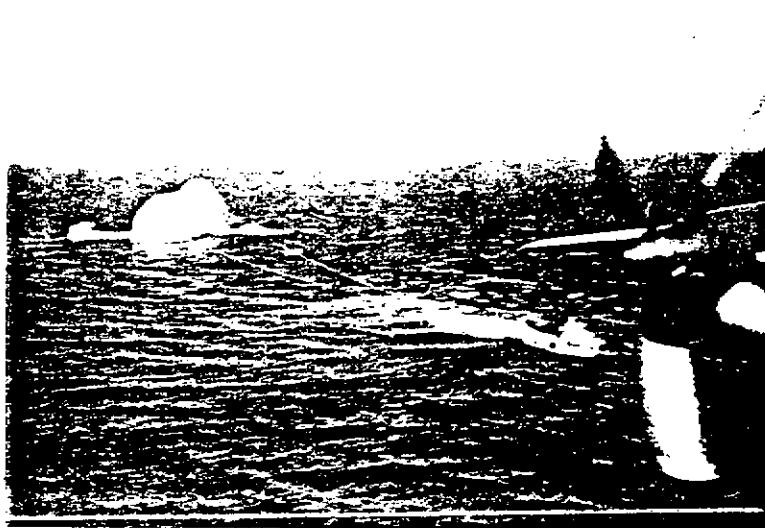


図 6.3.2.1. 氷山曳航

しかし、進路変更可能な氷山の大きさは、300万トン位までと言われており、それ以上大きな氷山が接近してくると、掘削リグは一時的に掘削地点より離脱せざるを得なくなる。

ポートフォート海においても、氷山の出現はないものの冬期はともかく夏季においても極氷 (polar ice) の侵入を受けることがあり、掘削リグを危険な状況に追い込むことがある。密接度の低い小さな多年氷盤であれば、支援碎氷船を使ってこれを取り除くことができるが、多年氷の侵入が厳しく支援碎氷船の手におえなくなると掘削リグは、氷の状態が良くなるまで一時的に掘削地点を離れねばならない。このような、一時的にでも掘削地点を離れるという状況は、掘削作業の中止を余儀なくさせ、一連の退避作業によるロスタイムは経済的に大きな損失となる。従って掘削地点からの退避を決定する警戒ラインをできるだけ近くに設定してロスタイムの短縮を図ったり、無駄な移動を避けるためにアンカーと係留ラインを遠隔操作により迅速に切り離すことができ、しかも容易に再結合できる離脱装置の設置が望まれる。

揚錨船を使用する通常の方法による係留ラインの撤収には一般に数時間要するが、氷海域では下記要因によりさらに多くの時間を要し、時間的にもまた安全面からも本方法によることは不適当である。

—海面の凍結（状況によっては、揚錨船を支援する碎氷船が必要）

—作業甲板の凍結

—低温による補機類の作動効率の悪化

—係留ライン構成要素の凍結

—防寒装具による作業員の作業効率悪化

坑井からの暴噴が起った場合にも、アンカーからの緊急離脱は船体だけでなく人命を救うことにもなり、本装置の設置は一層有効なものとなる。

### 6.3.2.1 非常時離脱の条件調査

非常時離脱の条件は、人命、構造物、掘削作業等の安全を確保できるように決める。これらに危険を及ぼす因子としては次のものが考えられる。

- 一 氷 象
- 一 海気象
- 一 暴 噴

浮遊式リグの場合、海気象の survival 条件を設定してリグ即ち係留装置は、これに耐え得るように設計されているので、非常時離脱の条件としては、氷象および暴噴が支配的因子となる。

#### (1) 氷 象

非常時離脱の対象となる氷象は、海域によって異なる。即ち、海水の卓越した海域、氷山の卓越した海域、その両方が出現する海域によって条件設定の仕方が異なる。以下に各海域における設定条件の実例を簡単に紹介する。

##### (a) 氷海用コニカル型石油掘削リグ "KULLUK" <sup>2)</sup>

氷海用コニカル型石油掘削リグ "KULLUK" は、24面を有する円錐台形をした、二重殻構造の耐水船体構造を有する掘削バージで、12個のアンカーによる係留装置を装備している。図 6.3.2.1.1 にレイアウト、表 6.3.2.1.1 に主要目を示す。

表 6.3.2.1.1 主 要 目

Performance:	
Water Depth	24 - 55 meters
Drilling Depth	6100 meters
 Hull : 24 sided hexagonal truncated cone	
Diameter: main deck	81.0 m
water, min. draft	63.0 m
max. draft	72.0 m
 Quarters : 108 persons	
 Mooring :	
Winches	12 - Hepburne electric driven, single drum type; band brake holding of 408 tonnes.
Lines	12 - 89 mm x 1150 m; 520 tonnes breaking strength
Anchors	12 - 15,000 Kg TS Bruce
Auxillary	12 - Intercean acoustic Rig Anchor Release units

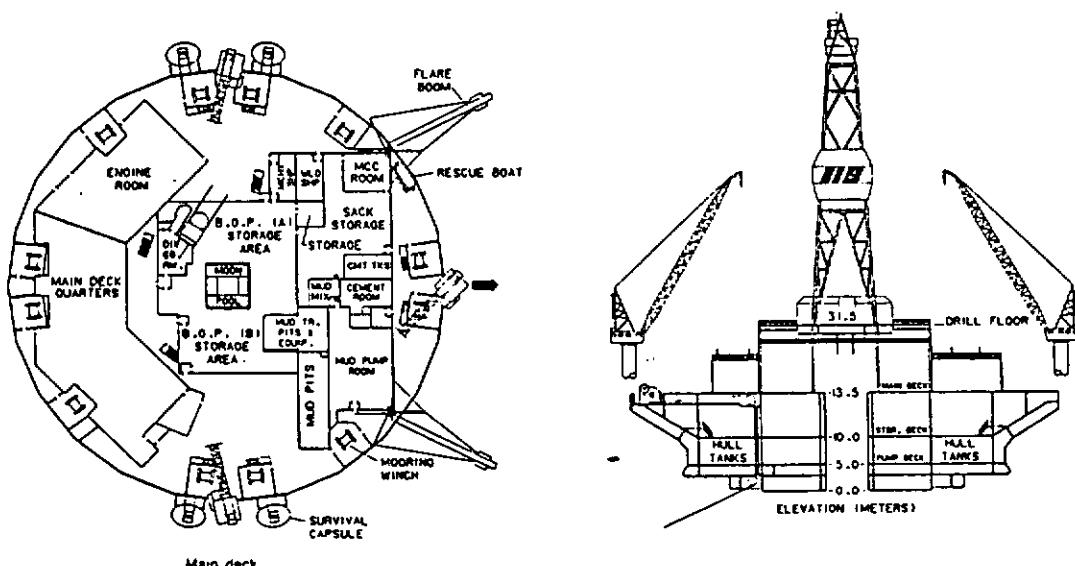


図 6.3.2.1.1 レイアウト

(i) 離脱条件

表 6.3.2.1.2 IC, survival 条件を示す。

表 6.3.2.1.2 survival 条件

Open Water	Ice Conditions
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 7.3 significant wave height 12.5 second peak period</li> <li>b) 110 km/hr sustained wind</li> <li>c) 0.7 m/sec extreme current velocity</li> </ul>	<p>The mooring system shall be designed to be capable of releasing from the anchors, prior to the loads reaching the system's breaking strength.</p>

(ii) 発生頻度

本リグは本年初めてポートマート海にて、石油掘削作業に入ったばかりであり、実測データ等まだ公表されていない。

(b) Gravel Island "Tarsiut Island"

Tarsiut Island は、コンクリートケーンで外周を構成し、中央部に土砂を満たし、その上に掘削機器、居住設備、ユーティリティ設備などを設置した人工島である。

設置場所およびレイアウトを図 6.3.2.1.2 IC 示す。<sup>3)4)</sup>

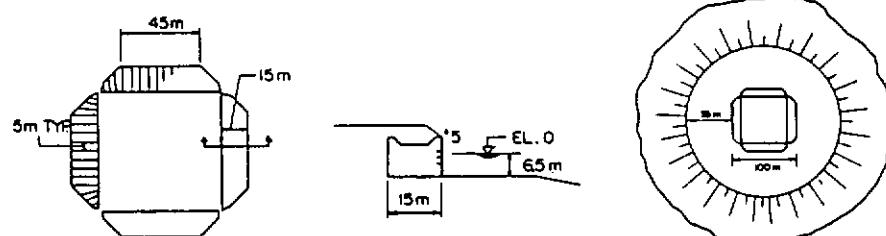
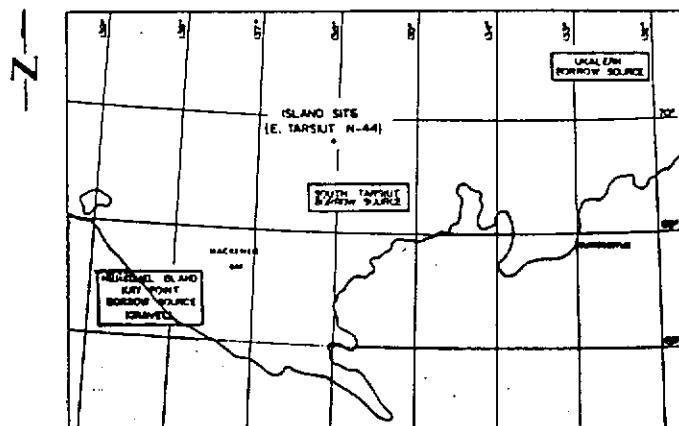


図 6.3.2.1.2 設置場所およびレイアウト

(1) 離脱条件

表 6.3.2.1.3 および表 6.3.2.1.4 にて、1981年から1982年にかけて、Tarsiut Island で実施された警戒警報システムをまとめて示す。<sup>5)(6)</sup> Tarsiut Island は、人工島なので最終的には人員がヘリコプターにより、島より退避することになる。

表 6.3.2.1-3 警戒警報システム

警戒レベル	反応	氷	島	井戸
Alert Level	Reaction	Ice	Island	Well
<u>Blue</u>	Normal Operations	<p>Either</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>First year ice less than 40 cm thick with no hazardous ice pile-up expected, or well established grounded rubble field 30 m out from the caisson faces with 6 m component ridges and rubble movements less than 30 cm.</li> <li>Multi-year floes greater than 500 m in diameter at a distance greater than 50 km from the island.</li> </ol>	<p>Ice loads not exceeding 50% of the island resistance as defined by outward caisson movements not exceeding 4 cm and shear strains within the seabed of less than 0.017.</p>	Normal Drilling Operations
<u>Yellow</u>	Early Warning No operations taking more than 6 hours to complete will be undertaken without clarification of forecast and/or events.	<p>Either</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>First year ice cover more than 40 cm but less than 1 m thick and rubble field less than 30 m wide with 6 m component ridges.</li> <li>Or</li> <li>Multi-year floes, greater than 500 m in diameter within 50 km of island.</li> </ol>	<p>Ice loads exceed 50% but not greater than 70% of the island resistance as defined by outward caisson movements between 4 and 11 cm and seabed shear strains between 0.017 and 0.052.</p>	Normal Drilling Operations
<u>Red</u>	Drilling operations suspended and well secured.	<p>Either</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>First year ice thickness of more than 1 m and the potential for rapid ridge formation within the well established rubble field.</li> <li>Or</li> <li>Large multi-year ice floes greater than (500 m diameter) within 15 km, moving towards island within 20 hour alert period.</li> </ol>	<p>Ice loads exceed 70% but not 90% of the island resistance as defined by outward caisson movements greater than 11 cm but less than 28 cm or seabed shear strains between 0.052 and 0.123.</p>	<p>Well kick problematic with well beginning to flow.</p>
<u>BLACK</u>	Well secured. All non-essential personnel evacuated.	<p>Either</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>First year ice interactions resulting in rapid destruction of well established rubble field with active piling of ice over caissons exceeding 10 m.</li> <li>Or</li> <li>Large multi-year floe (500 m diameter) within 3 km of island with 4 hour alert period.</li> </ol>	<p>Environmental loads exceeding 90% of the design strength of the island as defined by outward caisson movements greater than 28 cm or seabed shear strains in excess of 0.123.</p>	Blowout with uncontrolled flow.

表6.3.21-4 警戒警報システム

<u>警戒水準</u>	<u>反応</u>	<u>氷</u>	<u>島の安定性</u>	<u>天候と波浪</u>	
Blue	All normal drilling operations	No multi-year ice floes greater than 1 km <sup>2</sup> in area are within 30 miles (50 km) of the island. At an extreme speed of 20 km/day, this would provide a minimum warning time of at least 60 hours, during which time the floe movement would be tracked by radar.	Outward Caisson Movement < 25 mm	Sea Bed Shear Strain < 1.0%	Significant Waves <u>Observed</u> < 2.0 m <u>Forecasted</u> < 2.0 m for 8 hrs.
Yellow	Routine drilling and tripping, but no well operations longer than 6 hours permitted. Weather advisory.	Multi-year ice floes are within 30 miles (50 km) and it is anticipated that the travel time to the island would be less than 10 hours calculated from the monitoring. For these conditions, well operations were restricted to T + 4 hours, where T is the estimated travel time to impact the island.	Outward Caisson Movement < 50 mm	Sea Bed Shear Strain < 2.4%	Significant Waves <u>Observed</u> 2 to 3 m <u>Forecasted</u> 2 to 3 m for 8 hrs.
Red	Drilling operations suspended, and non-essential personnel evacuated. Secure the well.	The multi-year ice is within 10 miles (15 km) or 10 hours travel time AND the forecast wind velocities and drift prediction indicated that there was a real possibility of ice impact.	Outward Caisson Movement < 75 mm	Sea Bed Shear Strain < 6.8%	Significant Waves <u>Observed</u> 3 to 3.5 m <u>Forecasted</u> > 3.0 m for 8 hrs.
Black	Total evacuation.	Hazardous multi-year floes are within 2 miles (3 km) of the island and the forecast wind velocities and drift conditions indicated that the floe will impact the island.	Outward Caisson Movement > 75 mm	Sea Bed Shear Strain > 6.8%	Significant Waves <u>Observed</u> > 3.5 m <u>Forecasted</u> > 3.0 m for 4 hrs. + wind speed > 50 knots

(ii) 発生頻度

(1) 夏季

1982年6月15日より10月7日までの期間に記録された各警戒警報の発生頻度を表 6.3.2.1.-5 に示す。

表 6.3.2.1.-5 警戒警報発生頻度

Alert Level	No. of Events	Hours	%	Cumul. %	Better
Blue	-	2420	88.5	-	
Yellow	6	188	6.9	88.5%	
Red	3	23	0.8	95.4%	
Black	<u>3</u>	<u>105</u>	<u>3.8</u>	<u>96.2%</u>	
	12	2736	100.0		

表に示す各警戒警報 (yellow~black) は、総て海気象の悪化に伴ない発令されたもので、ウェルオペレーション、氷の侵入、島のスタビリティに基づく警戒状態は発生していない。1982年夏季は、permanent ice pack の張り出しが少なく、吹送距離が長くなつたので、暴風は例年よりきつかったと報告されている。

(2) 冬季

1981年から1982年にかけての冬季には、大きな多年氷氷盤を伴なつた polar pack の縁が、限界ラインあたりまで張り出したものの、警戒警報 (yellow~black) は発令されなかつた。

(c) ラブラドル沿岸および西部グリーンランド海域

ラブラドル及び西部グリーンランド沿岸では、氷山が主要な危険因子であり、図 6.3.2.1.-3 に示すような「氷山の接近海域」が作られる。<sup>7)</sup>

実地観測と気象状況に基づいて、氷山の移動方向の角度を想定し、危険海域の大きさは、安全係数のとり方如何で決まる。

もし氷山が近接海域に来たら絶えず氷山の移動方向を監視し、衝突範囲に入つて来たら、リグは早速移動準備を始めて退避海域へ移らねばならない。

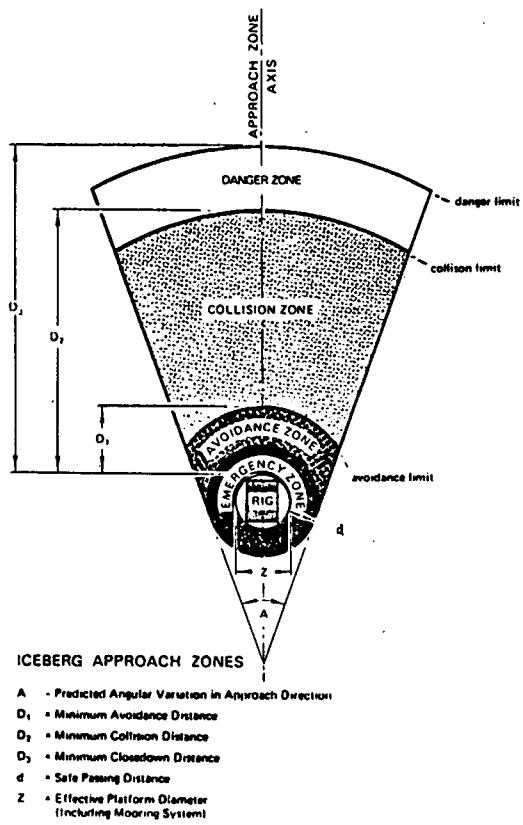


図 6.3.2.1-3 氷山の接近海域

(i) 離脱条件

1976年および1977年の夏季掘削シーズンに西部グリーンランド沿岸で稼動したドリルシップ "SEDCO 445" とセミサブリグ "SEDCO 709" を対象に設定された離脱基準を表6.3.2.1-6に示す。1)

両船共にダイナミックポジショニングシステムを装備している。稼動地域を図6.3.2.1-4に示す。

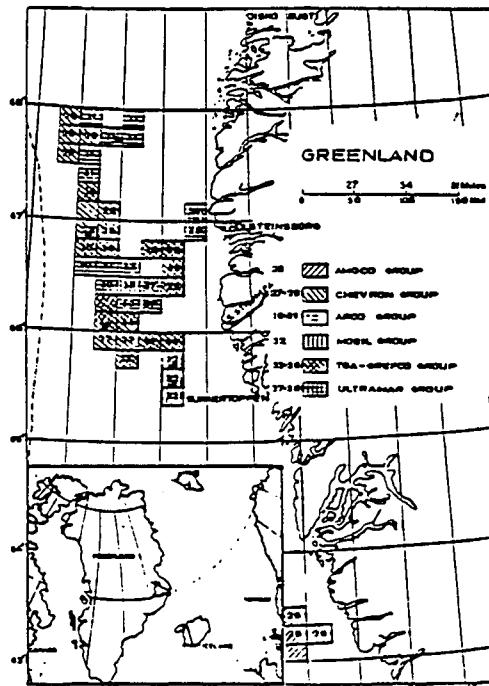
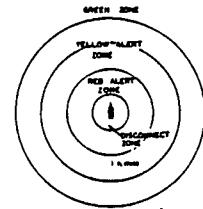


図 6.3.2.1-4 西部グリーンランド沿岸図

表 6.3.2.1-6 離脱基準

Disconnect Zone	Red Alert Zone	Yellow Alert Zone	Green Zone
Established by a line drawn at a distance of 0.5 n. miles from the vessel, all ranges being defined by the position of the radar antenna on the bridge.	Inner edge established at the DISCONNECT Zone. Outer edge set at distance equivalent to two hours' drift from the DISCONNECT Zone, or the drift over the number of hours estimated by the Sonar Drilling Supervisor to secure operations, or 1.0 n. miles whichever is the greater. Should measurements of berg depth indicate a danger to the wellhead, allowance for time to cement the hole must be included in determining the size of the Red Zone.	Inner edge at end of RED ALERT Zone, outer edge at RED ALERT plus 4 hours, or the number of hours required to safely terminate an operation prior to securing the well for evacuation, whichever is the greater.	Extends beyonds YELLOW ALERT Zone. Maximum zone of plotting of bergs in 25 n. miles.



(ii) 発生頻度

1973年および1974年にドリルシップ“PELICAN”で記録された、流氷および氷山による待機時間を表 6.3.2.1-7 8) に示す。本船はダイナミックポジショニング システムを装備しており、移動海域はラブラドル沿岸である。(図 6.3.2.1-5)

ライザーパイプの切り離しは、氷山が掘削地点より 0.5 マイルと 1 マイルの間にあり、氷山の接近が確実視された時に行なわれた。

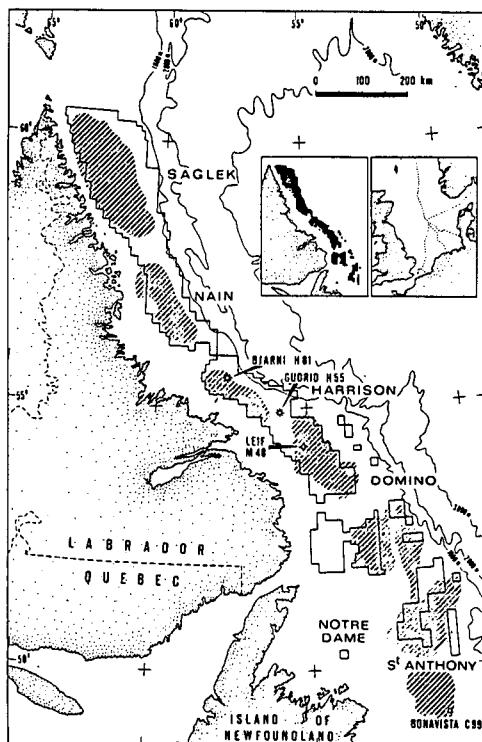


図 6.3.2.1-5 ラブラドル沿岸図

表 6.3.2.1-7 流氷および氷山による待機時間

PERIOD	ICE		ICEBERG		TOTAL ( Ice + iceberg )	
	1973	1974	1973	1974	1973	1974
JULY 16 - 31	0	21.5	0	8.7	0	30.2
AUGUST 16 - 31	0	12.9	0	4.1	0	17
	0	0	0	0	0	0
SEPTEMBER 16 - 30	0	0	0	0.8	0	0.8
	0	0	6.8	0	6.8	0
OCTOBER 16 - 31	0	0	0	0	0	0
	-	0	-	0	-	0

TIME SPENT WAITING ON ICE-PACK AND ICEBERG. OPERATIONS WITH PELICAN: 1973 AND 1974.  
THE ABOVE PERCENTAGE INCLUDES TIME LOST WHEN OPERATIONS ARE SUSPENDED IN CASE OF ICE-PACK OR  
ICEBERG APPROACHING. IT INCLUDES ALSO TIME NECESSARY FOR SAFETY OPERATIONS AND SPENT BEFORE  
RESUMING OPERATIONS. (NOTES: NO ICE HAS BEEN SEEN IN JULY 1973. NUMBER OF ICEBERGS SEEN  
WITHIN 25 MILES IN 1973: 66; IN 1974: 220)

## (2) 暴噴

暴噴とは、坑井掘削中、油層・ガス層または水層に出会った時、それらの圧力が坑井内の泥水の圧力に

表 6.3.2.1-8 事故発生件数

Number of accidents for platforms in world-wide operation during  
70.01.01. - 80.12.31. according to initiating event and extent  
of structural damage

Source : Lloyds' list

ALL PLATFORMS ( MOBILE PLATFORMS )						
Initiating event	Structural loss					SUM
	Total	Severe	Damage	Minor	No	
Weather	7 ( 3 )	12 ( 10 )	30 ( 22 )	21 ( 17 )	9 ( 8 )	79 ( 60 )
Collision	4 ( 2 )	5 ( 2 )	17 ( 11 )	21 ( 18 )	23 ( 12 )	70 ( 45 )
Blow - out	15 ( 5 )	13 ( 7 )	15 ( 9 )	14 ( 7 )	13 ( 6 )	70 ( 34 )
Leakage	-	2 ( 2 )	3 ( 3 )	-	3 ( 2 )	8 ( 7 )
Machine etc	1	2 ( 1 )	5 ( 4 )	5 ( 6 )	-	13 ( 11 )
Fire <sup>1)</sup>	3 ( 1 )	6 ( 2 )	20 ( 12 )	19 ( 12 )	-	48 ( 27 )
Explosion <sup>1)</sup>	2 ( 0 )	3 ( 2 )	10 ( 4 )	9 ( 6 )	1 ( 0 )	25 ( 12 )
Out-of-pos	-	-	3 ( 2 )	-	6 ( 4 )	9 ( 6 )
Foundering	4 ( 1 )	-	-	-	-	4 ( 1 )
Grounding	2 ( 1 )	6 ( 6 )	3 ( 2 )	5 ( 2 )	1 ( 1 )	17 ( 12 )
Capsizing	11 ( 11 )	4 ( 4 )	3 ( 1 )	1 ( 1 )	-	19 ( 17 )
Structural strength <sup>2)</sup>	1 ( 1 )	6 ( 4 )	20 ( 14 )	25 ( 20 )	2 ( 2 )	54 ( 41 )
Other	2 ( 0 )	3 ( 0 )	1 ( 0 )	12 ( 8 )	15 ( 10 )	33 ( 18 )
SUM	52 ( 25 )	62 ( 40 )	130 ( 84 )	132 ( 97 )	73 ( 45 )	449 ( 291 )

1) Fires and explosions occurring in connection with blow-outs do not belong to this category as the initiating event in this case is the blow-out

2) This category includes structural failures that are not apparently included by rough weather or accidental loads. Hence, accidents caused by a deficient structure belong to this category

打ち勝って噴き上げてくる現象であるが、その処置を誤ると、人命の損傷の他構造物の焼失や倒壊、道具類の損失等、経済損失も、計りしれないものとなる。

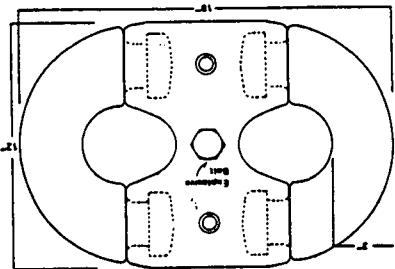
表 6.3.2.1.-8 に 1970 年から 1980 年の間に発生した暴噴事故の件数を示す。<sup>9)</sup>

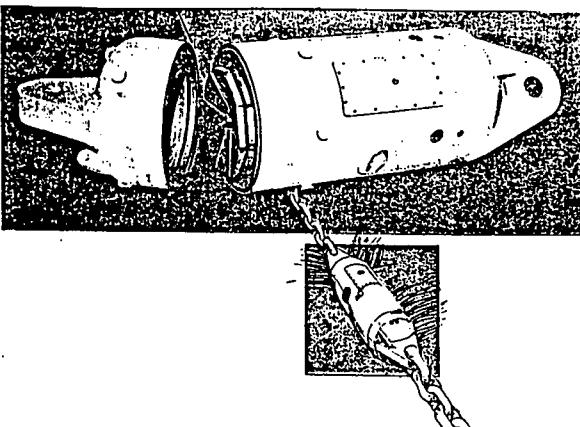
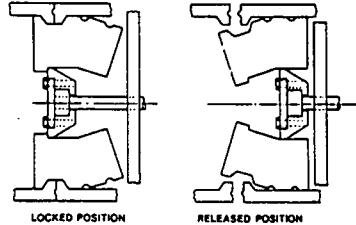
### 6.3.2.2 離脱装置の調査

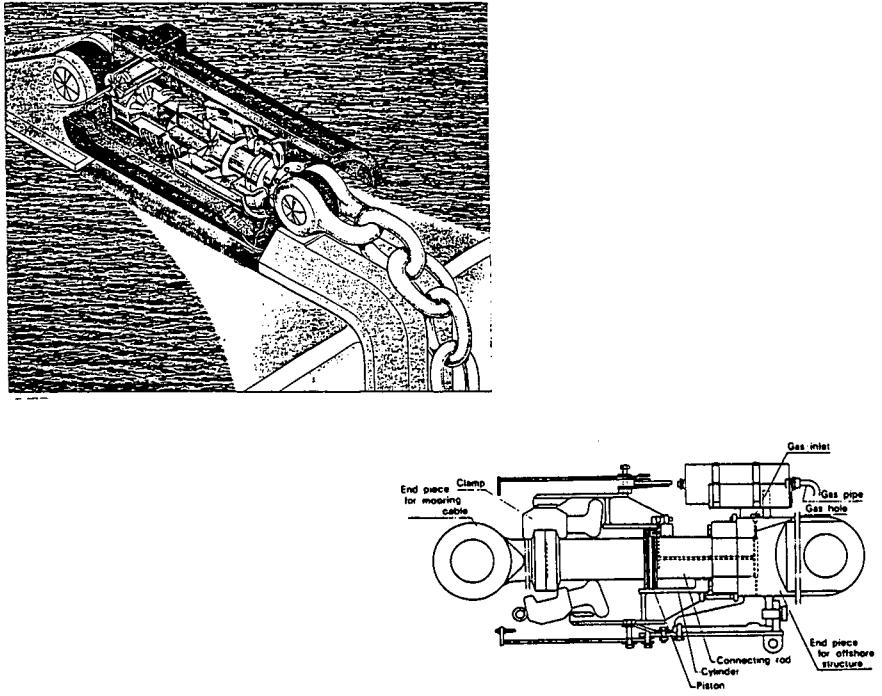
離脱装置には下記の機能が要求される。

- 迅速、安全、確実にアンカーを切り離せること。
- 迅速に再結合できること。

様々な方式のものが考案されているが、以下に文献、カタログ等に発表されているものにつき、簡単に紹介する。

名 称	DISCONNECT LINK <sup>13)</sup>
概 要	コントロールルーム内より、explosive bolt を爆破する。 
設計・考案会社等	Baldt Inc.
備 考	

名 称	RIG ANCHOR RELEASE (RAR) 10) 11) 12)																											
概 要	<p>このシステムは船上に設けられたコマンドユニットと海底の各係留ラインの途中に設けられた切離装置で構成される。コマンドユニットは信号コードの発信、および切離装置からの一連の応答信号を受信するのに使われる。各切離装置は2つの異ったコードを受信するようになっている。一つは海底の切離装置の状態を示す“診断コード”であり、もう一つは切離機能を働かせる“切離コード”である。コマンドユニットからの“診断コード”が水中トランステューサを介して切離装置に伝えられると、同装置に内蔵された諸機械の状態、すなわち、電気回路、係留ラインのロック装置、バッテリー電圧、アクチュエータの油圧の状態がコマンドユニットに伝送される。一方、“切離コード”が伝えられると、油圧回路が働き、アンロッキングシリンダーが作動し、係留ラインを切離す。シリンダーの動きはセンサーでモニターされ、これにより、切離しが行なわれたことを確認するためのソナー信号をコマンドユニットに伝えるようになっている。</p> <p>各係留ラインに設けられた切離装置は各々、固有のコードを持っており、個別にコントロールおよびモニタリングができるようにしている。これにより、システムを安全に、また、誤って切離装置を作動させないようにしている。また、システムの安全をより高めるために、コマンドユニットには2つのインターロックが設けられている。一つはコマンドユニットに電源を入れるのに使われるロックである。このロックを入れた状態では“診断コード”のみ発信でき、“切離コード”は発信できないようになっている。“切離コード”を発信するには第2のロックを入れねばならない。</p>																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model No.</th> <th>Ultimate Load</th> <th>Proof Load</th> <th>Release Load</th> <th>Actuation</th> <th>Control</th> <th>Wt. in Air</th> <th>Operating Depth</th> <th>Key Features</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6600</td> <td>1,150,000 Kg 2,500,000 lbs</td> <td>690,000 Kg 1,500,000 lbs</td> <td>255,000 Kg 600,000 lbs</td> <td>Hydraulic</td> <td>Acoustic</td> <td>3969 Kg 8750 lbs</td> <td>1000 M (Std) Other Available</td> <td>Remote Selective Quick Disconnect Fully Reusable High Load Cap</td> </tr> <tr> <td>6500</td> <td>550,000 Kg 1,200,000 lbs</td> <td>365,000 Kg 800,000 lbs</td> <td>183,000 Kg 400,000 lbs</td> <td>Hydraulic</td> <td>Acoustic</td> <td>1790 Kg 3925 lbs</td> <td>1000 M (Std) Other Available</td> <td>Remote Selective Quick Disconnect Reusable High Security Control</td> </tr> </tbody> </table>	Model No.	Ultimate Load	Proof Load	Release Load	Actuation	Control	Wt. in Air	Operating Depth	Key Features	6600	1,150,000 Kg 2,500,000 lbs	690,000 Kg 1,500,000 lbs	255,000 Kg 600,000 lbs	Hydraulic	Acoustic	3969 Kg 8750 lbs	1000 M (Std) Other Available	Remote Selective Quick Disconnect Fully Reusable High Load Cap	6500	550,000 Kg 1,200,000 lbs	365,000 Kg 800,000 lbs	183,000 Kg 400,000 lbs	Hydraulic	Acoustic	1790 Kg 3925 lbs	1000 M (Std) Other Available	Remote Selective Quick Disconnect Reusable High Security Control
Model No.	Ultimate Load	Proof Load	Release Load	Actuation	Control	Wt. in Air	Operating Depth	Key Features																				
6600	1,150,000 Kg 2,500,000 lbs	690,000 Kg 1,500,000 lbs	255,000 Kg 600,000 lbs	Hydraulic	Acoustic	3969 Kg 8750 lbs	1000 M (Std) Other Available	Remote Selective Quick Disconnect Fully Reusable High Load Cap																				
6500	550,000 Kg 1,200,000 lbs	365,000 Kg 800,000 lbs	183,000 Kg 400,000 lbs	Hydraulic	Acoustic	1790 Kg 3925 lbs	1000 M (Std) Other Available	Remote Selective Quick Disconnect Reusable High Security Control																				
	 																											
設計・考案会社等	Compagnie Francaise des Petroles / Inter Ocean Systems, Inc.																											
備 考																												

名 称	係留ケーブル緊急離脱装置 15)
概 要	<p>この装置は海洋構造物の甲板上に設置し、これに係留ケーブルを接続して使用するもので、通常時は係留ケーブルの単なる取付金具として機能するが、緊急事態が発生した場合、遠隔操作で係留ケーブルを瞬間に離脱し、海洋構造物の迅速な避難を可能とするものである。</p> <p>作動原理： 離脱システムは遠隔制御装置、ガス発生器および離脱装置で構成される。遠隔制御装置は離脱指令をガス発生器に伝えるもので、信頼性を高めるために、有線或いは無線信号の何れによってもガス発生器の点火フィラメントに通電し、これにより固体燃料を加熱し窒素ガスを発生できるようにしている。発生した窒素ガスは離脱装置に導かれ、ここでアソロッキングシリンダを作動し、係留ケーブルをとめているクランプを外して係留ケーブルを離脱する。本装置は、耐久性および信頼性を最優先に、長期間無保守で係留に使用した後でも確実に係留ケーブルを離脱できるよう万全の配慮をもって設計されている。</p> <p>主要諸元： 参考のために、最大係留荷重 650 トンの離脱装置の諸元を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構 造……………アソロッキングシリンダ付クランプ接続方式</li> <li>駆 動 源……………固体燃料加熱による窒素ガス使用</li> <li>制 御 方 式……………一次：有線、二次：無線</li> <li>作 動 時 間……………離脱指令後約 4 秒</li> <li>最大係留荷重……………650 トン</li> <li>主 要 尺 法……………エンドピース中心間：約 3,000 mm 直径（防熱材含む）：約 1,350 mm</li> </ul> 
設計・考案会社等	石川島播磨重工業(株)
備 考	

名 称	連 結 装 置
概 要	<p>この考案による連結装置は、下図の構成を有するので、連結時には、ばね24によって付勢された連結片保持部材25のテープ状の連結片押付け面25aで連結片26を外側に押すことにより、2個の接続筒部21、22の突起21a、22aを連結片26の突起挿持凹部26aに挿んでこれらを確実に連結することができ、切離し時には、連結片解放装置23によって連結片保持部材25を移動させ、連結片保持部材25で連結片26のストッパ26bを傾けて、2個の接続筒部21、22を簡単に短時間で切離すことができる。</p> <p>図面の簡単な説明：</p> <p>図面はこの考案の実施例を示すもので第1図は、実施例の使用状態を示す垂直断面図、第2図は連結装置の垂直断面図、第3図は第2図III—III線の断面図、第4図は連結時の一拡大垂直断面図、第5図は切離し時の一拡大垂直断面図である。</p> <p>20……連結装置、21、22……接続筒部、21a、22a……突起、23……連結片解放装置、24……ばね、25……連結片保持部材、25a……連結片押付け面、26……連結片、26a……突起挿持凹部、26b……ストッパ。</p>
設計・考案会社等	東洋海洋開発(株)
備 考	実用新案公報 昭57-41113

### 6.3.2.3 離脱および復帰手順の調査

#### (1) 緊急離脱決定手順

前節で述べたように、緊急離脱の決定は予め定められた基準に基いて下されることになるが、適切な離脱時期を決めるためには、掘削リグを取りまく状況を的確につかんでおく必要がある。このためには、次の諸情報を常時把握しておかねばならない。

- 氷象（移動速度、移動方向、氷厚、種類、内部圧力の存在、氷脈の厳しさ）のモニタリング
- 海気象のモニタリング
- 氷象、海気象の正確な予報
- 氷荷重（あるいは索張力）のモニタリング
- ウェルコンディションのモニタリング

氷象のリモートセンシングには次のような方法がとられる。

- リグ搭載レーダ
- ヘリコプターによる偵察
- SAR (Synthetic Aperture Rader)

上記情報を基にリグに係る「危険度」を評価し、「危険度」が低いと判断されれば作業は続行、「危険度」が極めて高いと判断されれば作業は一時中断され、事態が回復するまでリグは現場より一時待避することになる。図 6.3.2.3-1 に以上の手順を式的に示す。<sup>1)</sup>

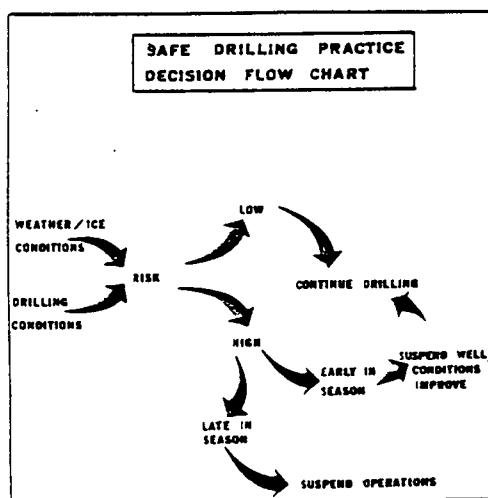


図 6.3.2.3-1 緊急離脱決定手順

#### (2) 離脱および復帰手順

緊急離脱装置の切離しおよび再結合の方法は各装置ごとに異なる。

以下に Inter Ocean Systems, Inc. により開発された *remotely controlled rig anchor release* (RAR) を装備したドリルシップの例を簡単に紹介する。<sup>11)</sup>

図 6.3.2.3-2 に係留パターン、図 6.3.2.3-3 に係留システム構成図を示す。

RARはアンカーより 500 ft 離して取りつけられ、アンカーにはワラウンブイが、また RAR より 15 ft アンカーよりの点にライザーブイが各々、ペンダントラインを介して取りつけられた。

以下に離脱および復帰の手順を示す。

- ① ドリルシップからの音波による遠隔操作により、すみやかに RAR を切り離す。  
(main body および anchor end に分かれる)

- ② 切り離された RAR の main body および係留ラインをドリルシップに回収する。アンカー、一部係留ラインおよび RAR の anchor end 部は、そのまま放置。
- ③ ドリルシップ退避
- ④ ドリルシップ復帰
- ⑤ サプライポートが整備済の RAR をドリルシップより受けとる。
- ⑥ サプライポートがライザーパイプ付きのペンドントラインを介して、海底に残された anchor end を回収する。
- ⑦ 回収された anchor end を係留ラインより取りはずす。
- ⑧ 整備済 RAR をセットする。
- ⑨ 係留ライン再展張

RAR をアンカーのすぐ近くにセットした場合もある。この時には、揚錨船を使ってアンカーを引き揚げ RAR の再設置を行った。

#### (3) ライザーパイプ切離し

緊急避難を行う場合、係留装置を切り離すだけでなく、ライザーパイプも海底で分離し閉鎖する必要がある。

以下にその手順を示す。<sup>14)</sup>

- ① ドリルパイプを hole より引き上げる。
- ② BOP の blind ram を閉鎖する。
- ③ BOP 部で分離する。
- ④ リグ退避

この作業には通常数時間ないし十数時間を要する。従って緊急離脱の基準にはこれに要する作業時間を十分考慮する必要がある。極めて緊急事態の場合は次の手順による。

- ① ドリルパイプを Shear ram で切断、シールする。
- ② BOP 部で分離する。
- ③ リグ退避

この場合、数分間を要するだけである。しかしドリルパイプを切断するためリグ復帰後、フィッシングショブが必要となる。

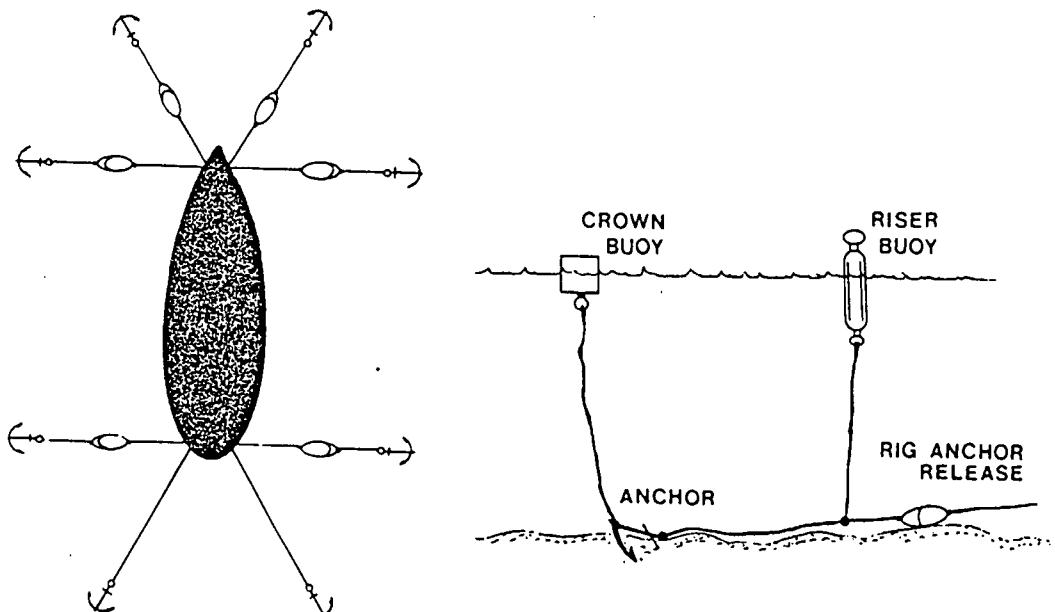


図 6.3.2.3-2 係留パターン

図 6.3.2.3-3 係留システム構成図

## 参考文献

- 1) "DRILLING OFFSHORE WESTERN GREENLAND-ICE"  
by D.S. Hammett and Gary Finney, SEDCO, OTC 3059
- 2) "KULLUK-AN ARCTIC EXPLORATORY DRILLING UNIT"  
by K.P. Gaida, J.R. Barnes, and B.D. Wright, Gulf Canada Resources Inc., OTC 4481
- 3) "Design and Construction of Tarsiut Island in the Canadian Beaufort Sea" by John Fitzpatrick and D.G. Stenning, Dome Petroleum, OTC 4517
- 4) "The Tarsiut Island Monitoring Program"  
by J.S. Weaver, I.S.E. Engineering Consultants Ltd., and William Berzins, Canadian Marine Drilling Ltd., OTC 4519
- 5) "Tarsiut Winter Alert Monitoring"  
by B.D. Wright, Gulf Canada Resources Inc., and J.S. Weaver, I.S.E. Engineering Consultants Ltd., OTC 4518
- 6) "Experience with Alert and Evacuation, Tarsiut Island, Summer 1982" by D.L. Townsend and H.R. Stewart, Gulf Canada Resources Inc., and R.M. Myers, Canadian Marine Drilling Ltd., OCT 4521
- 7) Offshore Technology Year Book, 1974
- 8) "Exploratory Drilling on the Canadian Continental Shelf, Labrador Sea" by Bernard C. Duval, Eastcan Exploration Ltd., OTC 2155
- 9) "Risk Assessment of Offshore Structures Experience and Principles" by Ivar Holand and Torgeir Moan, The Norwegian Institute of Technology, POAC '81
- 10) 第186研究部会“氷海用船舶・海洋構造物の設計・建造に関する研究報告書”昭和57年3月
- 11) "Special Mooring Systems Using Remote Controlled Quick Disconnects for Beaufort Sea Drilling Operations" by James E. Lasch, Michael D. Pearlman and Erich C. Riotte, Inter Ocean Systems, Inc., OTC 3888
- 12) Inter Ocean Systems, Inc., Catalogue
- 13) OCEAN INDUSTRY, October 1983
- 14) "Arctic Offshore Drilling - A Technical Development and Economic Evaluation" by David W. Carreau, General Dynamics Corp., Electric Boat Div., OTC 1687

- 15) 石川播磨重工(株), カタログ
- 16) "Conceptual Design of Floating Drilling Production and Storage Caisson for Arctic Waters"  
by Ben C. Gerwick, Jr., University of California and Hans O. Jahns, Exxon Production Research Company, POAC '79

## 6.4. モノコーン型氷海リグの保持システム及び非常時離脱装置

### 6.4.1. 保持システム設計条件

#### (1) 氷海域の自然条件

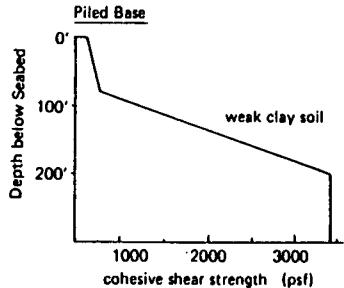
自然条件に関しては 6.3 章「浮遊式氷海リグの係留システム及び非常時離脱装置」のうち、「氷海域における自然条件」の項を参照されたい。

参考としてモノコーン型の設計条件の例を表 6.4.1-1 に示す。

表 6.4.1-1 モノコーン型に対する設計条件 (OTC 3630)

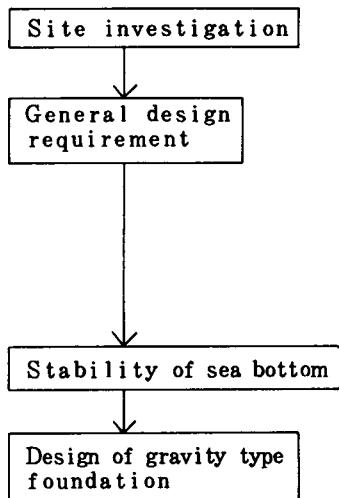
#### GENERAL DESIGN CRITERIA

- |   |   |
|---|---|
| 1. Design Water Depth: 200 feet   | 7. Soil Conditions:   |
| 2. Service Life: 25 years   | <u>Gravity Base</u><br>An over consolidated clay soil with an undrained shear strength of 2500 PSF.   |
| 3. Design Temperatures:<br>Minimum Air Temperature -60°F<br>Maximum Air Temperature +80°F<br>Minimum Water Temperature 27°F                         | <u>Piled Base</u>   |
| 4. Ocean Currents:<br>Maximum Surface Current 3 knots<br>Maximum Bottom Current 1.5 knots<br>Note: Operating currents were taken as 2/3 of Maximum. | Depth below Seabed 0'<br>100'<br>200'<br>cohesive shear strength (psf)  |
| 5. Seismic Conditions:<br>Maximum Firm Ground Accelerations as a percentage of gravity 8.8%<br>Note: This corresponds to NBC Zone 3                 | 8. Ice Conditions:<br>Maximum - A 115' thick multi-year ridge combined with a 10' thick multi-year ice sheet<br>Operating - A 50' thick multi-year ridge combined with a 10' thick multi-year ice sheet |
| 6. Sea State:<br>Maximum Wave Height 35 feet<br>Predominant Wave Period 10 seconds  | 9. Operating Conditions:<br>Production Rate: 120,000 BOPD<br>Required No. of Wells: 40<br>No. of Wells Drilled per Re-supply: 2   |



#### (2) 船級協会等の規則、基準

一般に、船級協会や、DOE, NMD 等の各国内規則で述べられている重力式プラットフォームの Foundation design の流れは下記の通りである。



- ・プラットフォームを設置する場所の海底地形や地質の調査を行い、結果は船級協会に提出する。
- ・土質特性を in-situ test や laboratory test により確認する。
- ・波浪や地震等の外力による繰返し負荷が土質に及ぼす影響を考慮する。
- ・土質の安定性を適当な方法で評価する。
- ・プラットフォーム上の荷重や外力あるいは土質特性等の不均一による不等沈下の影響を検討する。
- ・土とプラットフォームの静、動的干渉効果を検討する。
- ・傾斜している海底や、水圧が土質に及ぼす影響を考慮する。
- ・プラットフォーム下部の洗掘現象とその対策の検討を行う。
- ・基礎 (foundation) の安定性、即ち滑動や地盤耐力の検討を行う。(スカート、ドウエル等)
- ・プラットフォームと地盤の干渉効果を考慮に入れた構造物の動的解析を行う。
- ・安定性上必要ならプラットフォーム下部と海底の間を grouting する。

一方、氷海域に於けるプラットフォームの Foundation design 上、特徴的なのは下記の点である。

- (i) 一般に氷海域の海底土には Permafrost<sup>\*</sup> が存在している。  
\* Soil with partially or completely frozen pore water
- (ii) Ice gouging 即ち氷が海底をひっかく現象を考慮した Site investigation を実施する必要がある。
- (iii) 氷荷重が foundation stability に与える影響を検討する。

### (3) 構造物に働く氷荷重推定法

氷海域に建造される構造物を設計する際に最も重要な事は氷荷重を精度良く推定することである。この推定に当たり次の基本情報が必要となる。

- (i) 結氷期間、時期、氷域の広がりについての情報
- (ii) 氷 厚
- (iii) 氷の移動量、速度、方向
- (iv) 氷の機械的性質
- (v) 氷丘脈、氷山、流氷等の規模、形状、発生ひん度、ルートとその強度

実際に構造物に働く氷荷重は、

- (i) 氷盤の移動による氷荷重
- (ii) 流氷による衝撃力
- (iii) 着氷による凍着力
- (iv) 船舶の衝突あるいは大型氷山の衝突による力

等々であるが、現在のところ(i)を除きほとんど資料がないのが現状である。

以下にモノコーン型構造物に対する氷荷重について考察してみる。

モノコーン型のように氷に接する面が円すい状に傾斜している場合、氷の破壊は非常に複雑な状況を示し、氷盤には圧縮応力のほかに面の傾斜に伴うせん断応力と曲げ応力が発生し、垂直面を持つ円柱の圧壊に比べて小さな力で破壊することになる。

円錐構造物に対する氷荷重推定式はいくつか提案されている。ここにはいくつかの試設計に用いられている T.D. RALSTON の式とその計算例を示す。

T.D RALSTONによる計算式

$$R_H = [A_1 \sigma_b h^2 + A_2 \rho_w g h D^2 + A_3 \rho_w g h (D^2 - D_T^2)] A_4$$

$$R_V = B_1 R_H + B_2 \rho_w g h (D^2 - D_T^2)$$

$R_H$  : HORIZONTAL FORCE

$R_V$  : VERTICAL FORCE

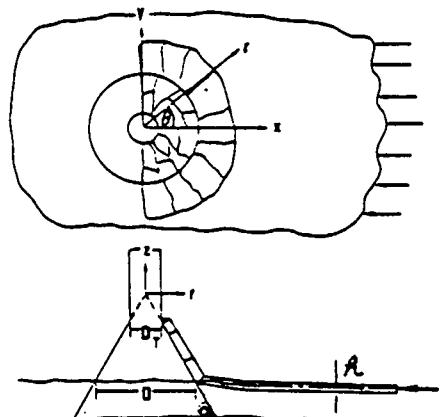
$\rho_w g$  : WEIGHT DENSITT OF WATER

$h$  : 氷 厚

$\sigma_b$  : 氷の曲げ強度  $D$  : 円錐の水線面直径

$\mu$  : 氷と構造間の摩擦係数  $D_T$  : 円錐の頂部直径

$A_1, A_2, A_3, A_4$  } 無次元係数  $\alpha$  : 円錐の傾斜角  
 $B_1, B_2$  } (別図系)



計算例として "Marine Structures and Ships in Ice" Report No. 81-09/2 に示されていたものを示す。

設置海域は、バレンツ海 ( $26^\circ E$ ,  $76^\circ 30' N$ ) である。結果として  $3.0\text{ m}$  の氷厚に対し、水平力  $37,600\text{ KN}$  鉛直力として  $57,820\text{ KN}$  を得ている。レポートはさらに図 6.4.1-1 に示すリッジを仮定し計算結果として、 $612,194\text{ KN}$  の氷荷重を示している。

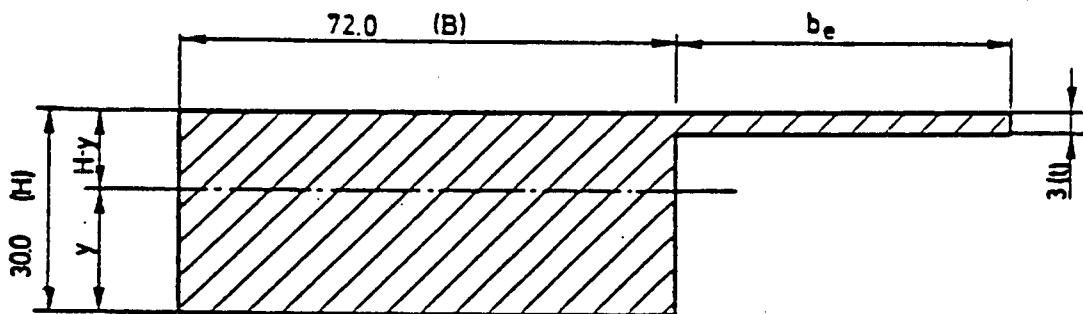


図 6.4.1-1 Shape of Pressure Ridge

計算例

$$\begin{aligned} R_H &= A_1 \sigma_f t^2 + A_2 \rho_w g t d^2 \\ &\quad + A_3 \rho_w g t (D^2 - D_T^2) (A_4) \end{aligned}$$

$$R_V = B_1 R_H + B_2 \rho_w g t (D^2 - D_T^2)$$

$$A_1 = 2.0$$

$$A_2 = 0.09$$

$$A_3 = 0.32$$

$$A_4 = 1.4$$

$$B_1 = 0.92$$

$$B_2 = 0.37$$

$$\sigma_f = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$g = 9.81$$

$$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D^2 = 2916$$

$t$  = thickness of ice = 3.0 m

$R_H$  = Horizontal ice force.

$R_V$  = Vertical ice force.

Assume an ice/structure friction coefficient ( $\mu$ ) of 0.15.

$$R_H = 37600 \text{ kN}$$

$$R_V = 57.82 \cdot 103 \text{ kN}$$

$$q_H = \frac{37600}{54} = 696.3 \text{ kN/m}$$

$$q_V = \frac{57820}{54} = 1070.7 \text{ kN/m}$$

$q_H$  = Horizontal ice pressure.

$q_V$  = Vertical ice pressure.

D = 54 (diameter of cone).

#### 6.4.2 モノコーン設置方法

モノコーン型は、対 ICE LOAD の観点から極力そのCONE DIAMETER を小さくする必要があるので、着底作業中の復原性能が問題となる例が多い。

モノコーン設置時の復原性に関する規則については、Fixed offshore structure rule 又は Mobile offshore drilling unit rule のいづれを適用すべきか明らかでないが、こゝでは参考として下記の規則を示しておく。

DNV "Rules for the design construction and inspection of offshore structures"

Marine Operation 中は、充分な予備浮力を確保すると共に下記の復原性基準を満足させる必要がある。

- (i) 自由表面影響を考慮に入れたメタセンター高さは、少くとも 1 m あること。
- (ii) 強風や、曳航時及び係留時の負荷による構造物の傾斜は、 $5^\circ$  を超えないこと。
- (iii) 浮遊式の構造物は、特別な予防策が施されない場合には、重い荷重を移動させている間に生じる急激な重量増に耐え得ること。
- (iv) 構造物は、海水に面したいかなる 1 区画に浸水しても、充分な乾舷を有し、安定平衡状態で浮かんでいること。

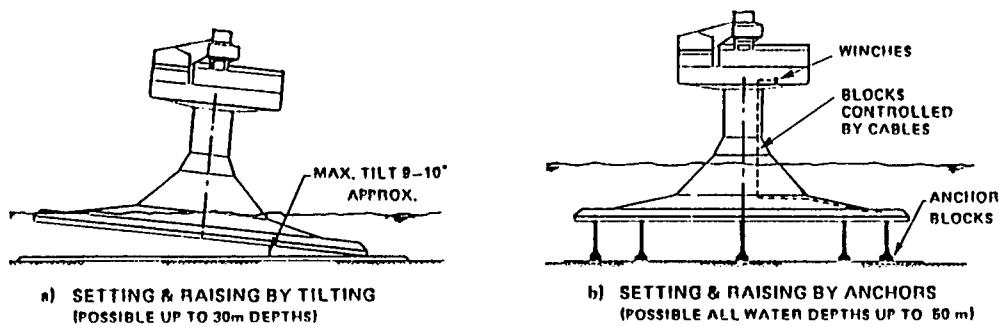
以上の要求は、もし同程度の安全性を維持する適當かつ承認された対策が講じられるならば、特に免除しても良い。

以下にその対策として考えられている着底方法の例を示す。

##### (1) MAGP (Mobile Arctic Gravity Platform)

Tilting 方式の場合、水深 30m までなら支障なく installation 可能である。

Tilting 方式とは下図 a) に示すように、モノコーンのベース部の片舷 toe 部をまず着地させた後、反対舷にバラストィングすることにより、モノコーン全体を着底させるもので、設置作業中、充分な Stability が得られるという利点があるものの、モノコーンを大傾斜させるという問題点も残っている。従って水深が大きい場合は、下図 b) に示すように、モノコーン底部と海底上のアンカーブロックを係留した後、常に若干の浮力が出るように注意深くバラストコントロールしながら、テッキ上のウィンチでモノコーンを押し下げるという level setting による方法が望ましいとしている。



##### (2) AMDS (Arctic Mobile Drilling Structure)

水深 60 フィートの場合、ベース部の片側 toe が着底した状態の傾斜角が約  $14^\circ$  の Tilting 方式により installation できると述べられている。

##### (3) APM (Arctic Production Monocone)

APM では、テッキ部とそれ以外の下部構造に分離して設置される。即ち、まずアンカーバイルに係留された 4 隻のタグボート上のウィンチで位置決めしながら下部構造を level setting 方式により

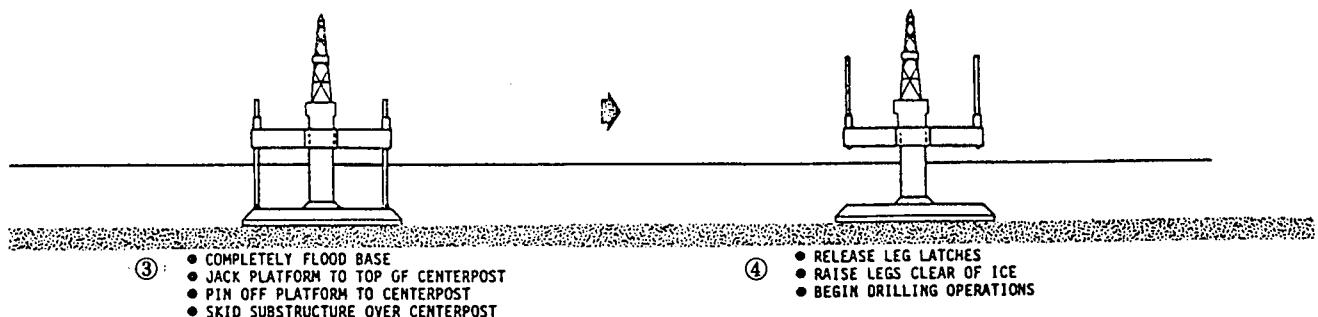
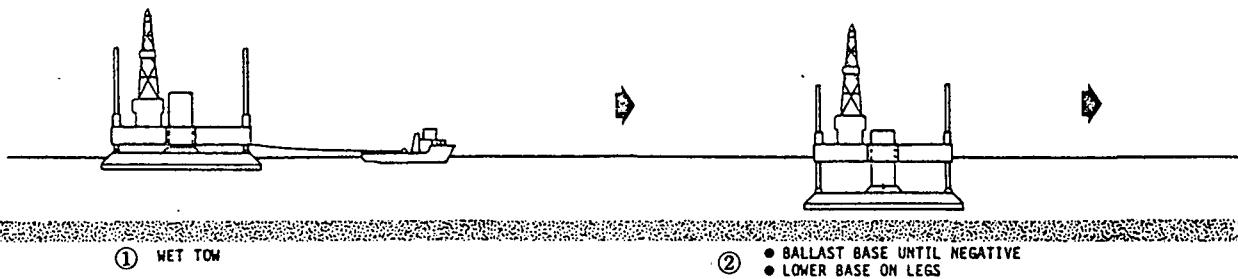
着底させる。次に、2分割されてそれが浮いた状態のデッキ部を索取りしながら下部構造に1体化結合した後、所定の高さまでジャッキアップする方法である。この方式を採用した場合、軽荷重量の重心高さを低くできるので、水深200フィートでも、*Stability*上支障なくモノコーンを設置できる。

#### (4) Imperial Oil Ltd. 設計のMonocone

このモノコーンの特徴は、水深に応じて上下できる*movable conical collar*を備えている事にある。水深41m相当で、設置法の模型試験を行った結果、52m直径の*conical collar*の場合、*level setting*よりは*Tilting*方式による着底が好ましいこと、又2隻のデッキバージとモノコーンの組み合わせで*level setting*する実験も行ったがモノコーンが不安定となる事が判明したという。

#### (5) Monopod Jack-up Drilling Unit

これはGlobal Marine Development社の開発したモノポッド式リグであるが、図に示すようにデッキ部をジャッキアップしながらベース部を着地させる*Stability*上有効な方式であるので、モノコーンにも採用できるアイディアと考えられる。



### 6.4.3. 着底時の保持システム

#### (1) ポーフォート海の土質について

海底の土質性状は、モノコーンタイプ構造物を含む着底型構造物の基礎形式を決める重要な要素である。文献に示された試設計によると、*Stiff clay*に対しては*Gravity foundation*を*Soft clay*に対しては*piled foundation*を推奨している。

ポーフォート海域の土質について一般的に述べると、西経133度以東では、厚い中細砂の層の上に15m程度のシルト層がのっているが、西経133度以西(マッケンジー湾)では厚いシルト層で被われている。図6.4.3-1参照。

当然ながら土質はSite毎に異なるものであり、実際の設計に当っては現地調査により土質情報を得ることが重要である。この際考慮すべき項目を表6.4.3-1に示す。カナダ側ポーフォート海域の土質

の深度一剪断強さの実測データを一例として図 6.4.3-2 に示す。

GENERAL GEOLOGICAL PROFILE OF THE SEA-BED IN THE MACKENZIE BAY

POAC 1975

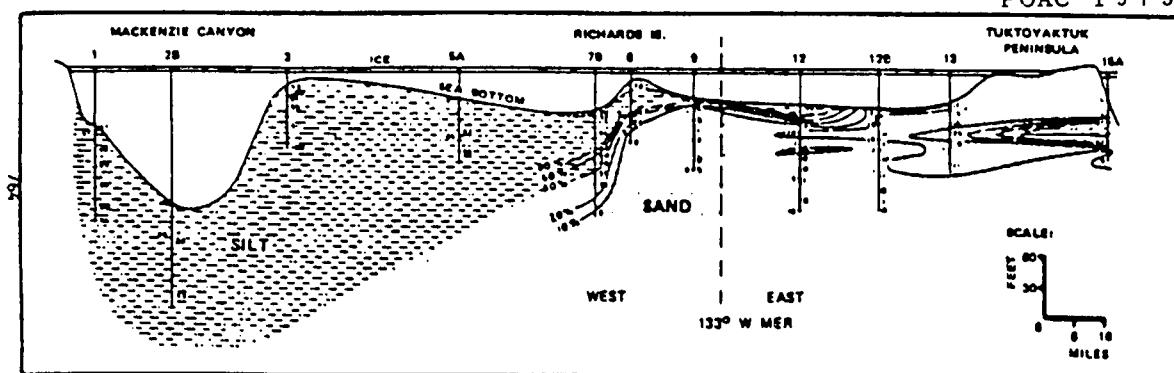


図 6.4.3-1 ポーフ オート海の土質

### SHEAR STRENGTH, $C_u$ (kPa)

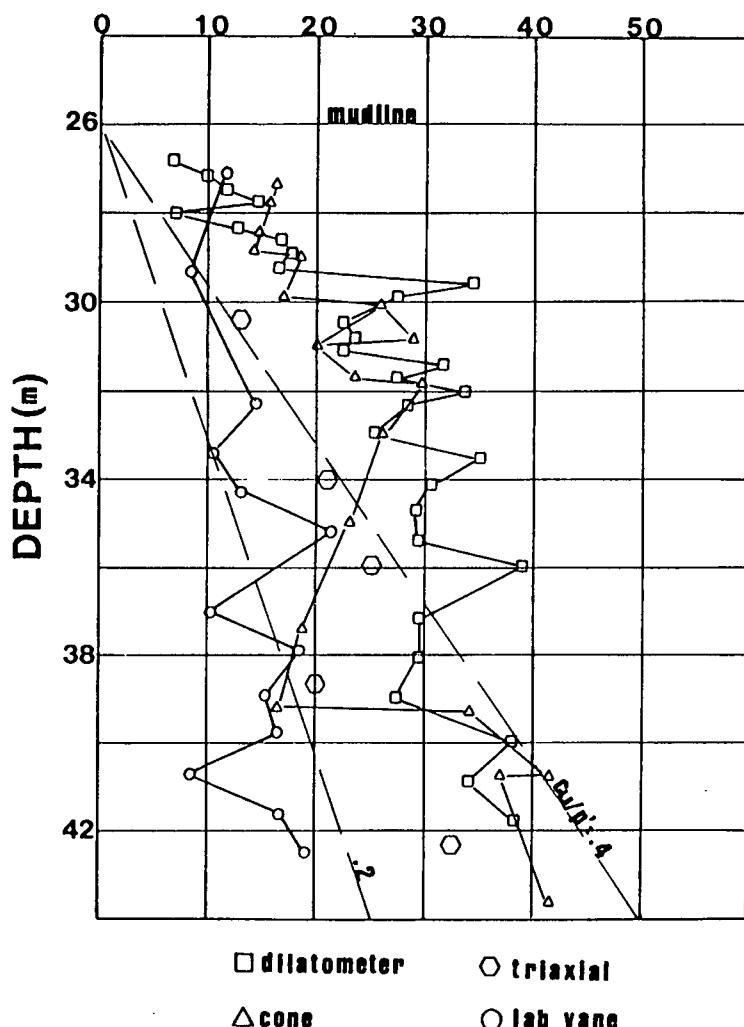


図 6.4.3-2 土の剪断力 (OTC, 4583)

表 6.4.3-1 Geotechnical design considerations for silt foundation soils

GEOTECHNICAL PROBLEM	SOIL BEHAVIOR ASPECTS	ITEMS FOR INVESTIGATION
<b>1. STABILITY</b> Safety under Applied Load.	Strength	a) Total and Effective Stress Strength Parameters; (b) Anisotropy; (c) Stress History and Gradation; (d) Correlation with Initial Density.
<b>2. DETERIORATION OF STABILITY</b> Safety under Long-term and Repeated Loads.	Pore Pressure Generation and Dissipation	Pore Pressure: (a) Extent and Magnitude; (b) Rate of Dissipation.
<b>3. DEFORMATION</b> Soil-structure Interaction.	Stress-Strain-Strength Relationship	(a) Drained and Undrained Stress-Strain Relationships; (b) Creep; (c) Consolidation Rate.
<b>4. PIPING EROSION</b>	Piping Resistance	(a) Piping Susceptibility, (b) Filter and Surcharge Requirements.
<b>5. SOIL PARAMETER DETERMINATION</b> Interpretation of Laboratory and Field Test.	Effects of Sample Disturbance on Lab Tests	(a) Improved Procedures for Sampling and Lab Testing, (b) Correlation between Engineering Parameters and Field Measurement.

## (2) 保持システム

モノコーン着底時の保持システムとしては、自重による摩擦力だけで滑動抵抗を得る重力式が基本であるが、これだけでは滑動安定性が不充分な場合剪断キーの一種である Skirt ( 図 6.4.3-3 ) あるいは土中に深く打ち込んだパイプの剪断力を附加する方法が考えられる。

一般に、海底が硬土質の場合、ある限られた期間内で多数のパイルを打設することが困難なので、重力式保持システム単独となり、この際モノコーンの自重が大きくなるよう設計上留意する必要がある。

又ある程度軟弱地盤の場合でも、大水深あるいは氷海中でバイプロハンマーや油圧でパイルを打設することが困難な時には Suction Anchor ( 図 6.4.3-4 ) 方式による保持システムを採用することも考えられる。

### (a) Skirt

Gravity type platform が、その自重だけで滑動に対する安全率を確保できない場合、その底部に楔形の鋼製又はコンクリート製の Skirt が設けられる。即ち滑動に対する抵抗力は、基礎下面の支持面積に滑動面における土の剪断強度を乗ずることにより得られるが、この剪断強度は一般に深い所ほど大きく、従って Skirt 等により滑動面を下げるほど良好な着地時安定性が確保できるからである。

一方、プラットフォーム着底後の現象の 1 つとして、土中の水分が基礎下からの荷重により排出されて、土が収縮する圧密現象があり、この為、プラットフォームはゆっくりと沈下し安定化する。従って、圧密により土の強度が増加するので、掘付後できるだけ早期に沈下を完了させることが望ましく、プラットフォーム底部と Skirt で仕切られた区画内に閉じ込められた水を、外部に通じたパイプを通じて逃がす必要がある。

図 6.4.3-3 は、Brent B Condeep の例であるが、着底時に基礎下からの海水排出により、構造物が横流れするのを防ぐ為、鋼管状の Dowel が設けられている。

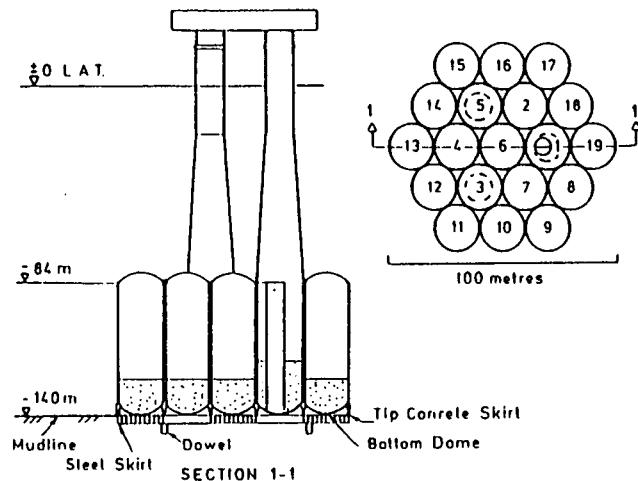


図 6.4.3-3

(b) Suction anchor

Suction anchor は、図 6.4.3-4 に示すように円柱頂部に据え付けられた Submerged pump で内部の水を排水することにより得られる内外の圧力差を利用して頂部が閉じられた円柱状パイプを海底土中に貫入させるものである。従って理論上の貫入力は設置される水深での水頭圧になるが、実際は土質と seepage flow (海水浸透流) の関連により若干理論値より小さくなるといわれている。

Suction anchor 貫入後は、通常のパイプと同様に、重力着底式プラットフォームに取りつけられた場合、その滑動に対する抵抗となる。

Suction anchor の実績としては、北海の Gorm field (水深 40 m) の oil loading terminal 用として 3.5 m 直径、9 m 長さのものを 12 本設置した例などがあるが、Suction pump の遠隔操作や水中テレビによる penetration control を船上で行えるなど短期間、小人数でかつ大深度での工事が可能なので将来有望なパイプ工法の一つといわれている。

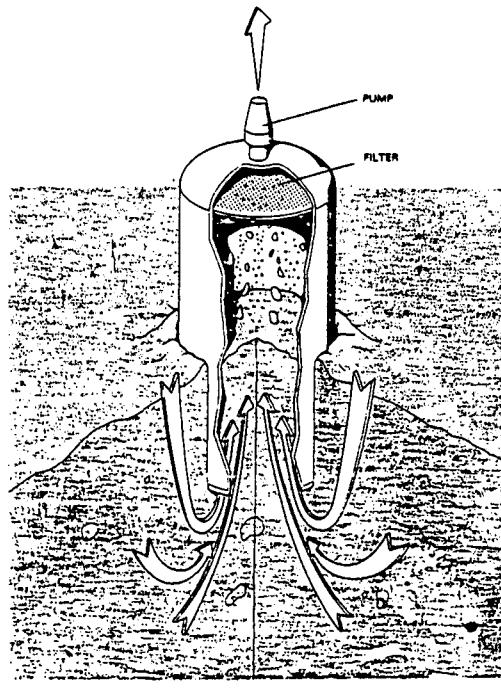


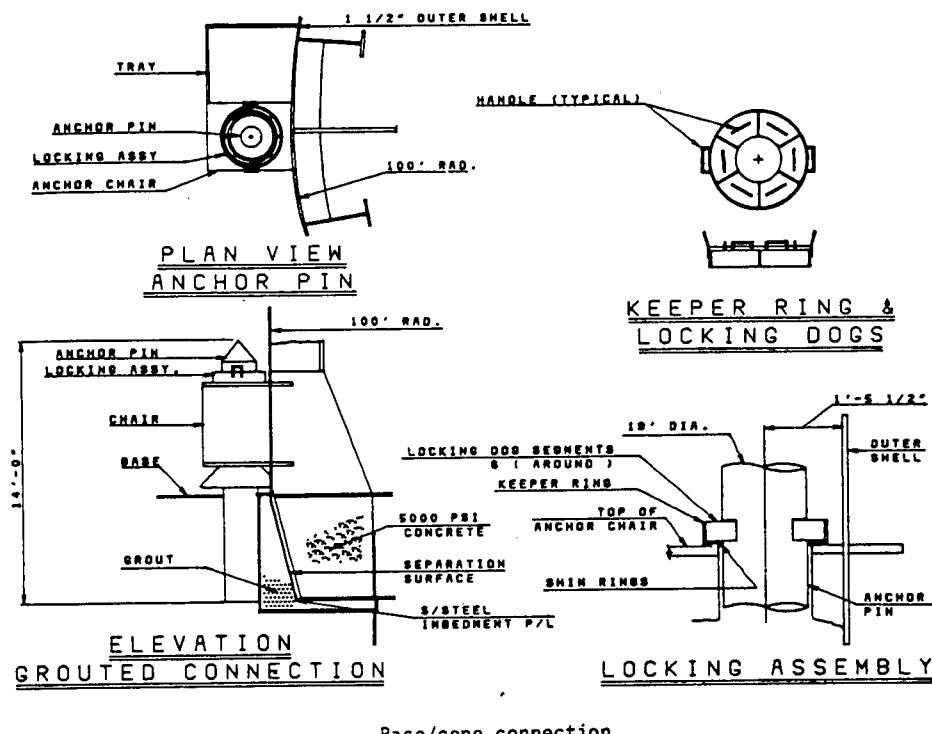
図 6.4.3-4 (OTC, 3817)

#### 6.4.4. 非常時離脱システム

本章の対象構造物モノコーン型に対する非常時離脱システムとは Ice Island の接近に対し緊急離脱する装置である。氷海域に於いては常に Ice Island の動きをモニターし、少くとも 1 ヶ月前に警告を発することが必要である。これを受けて離脱システムにより本体は避難する。

離脱システムの一例として、ベース構造とコーン構造を 32 本のアンカーピンで連結しておき、非常時に図に示されている Locking Dogs をはずすことにより上部構造が避難するシステムを図 6.4.4-1 に示す。又 MARINE STRUCTURES AND SHIPS IN ICE ; REPORT No.81-09/2 による設計例に於いてもこの種の離脱装置を考慮するように要求している。

以上よりモノコーン型に対しては、Ice Island の接近に対し何らかの対策を講じる必要があると考える。



Base/cone connection.

図 6.4.4-1 (OTC, 3630)

#### 6.5. ケーソン型氷海リグの保持システム

ボーフォート海におけるリグはまず非常に浅い海域に土砂の埋立て式人工島を構築する事から始まった。しかし、より深い海域でのリグの必要性に伴い、土砂の埋立て式人工島では所要土砂量が膨大なものになり、土砂の入手が困難な事、又、費用が大きくなる事等の理由により、ケーソン型氷海リグが出現するに及んだ。

ケーソン型氷海リグは通常はケーソンの内側部分を土砂で満たしており、リグ本体が非常に緊急離脱するという事は考えられておらず、かつ、設置対象水深も比較的浅い事から氷山や多年氷丘脈に遭遇する機会も少いものと考えられる。

## 6.5.1. 設計条件

### 6.5.1.1. 自然条件

対象海域はボーフォート海とし、自然条件は 6.3.1.2.(1) 及び表 6.5.1 を参照されたい。なお、ボーフォート海でも氷象は水深により大きく異なる。ケーソン型氷海リグが対象となる様な水深が浅い海域では 1 年氷の定着氷が卓越し、氷の動きは極めて遅い。水深が深くなるに従って、氷の動きは大きくなり、多年氷の流氷に遭遇する様になり、自然条件はきわめて厳しくなる。

表 6.5.1 (OTC, 4580)

DESCRIPTION	SITE		
	A	B	C
Chart Depth (ft)	20	40	60
Storm Surge (ft)	3	2	2
Design Water Depth (ft)	23	42	62
Significant Wave Height (ft)	10	12	15
Maximum Wave Height (ft)	19	22	24
Mean Wave Period (sec)	9	9	9
Storm Duration (hr)	6	6	6
Sustained Wind Speed (kn)	50	50	50

### 6.5.1.2. ケーソン型人工島の実績

ケーソン型人工島 (Caisson Retained Island) はこれまでに 3 基建設されている (建造中のものも含む)。以下にその概要を述べる。

#### (1) イズグナーク人工島

カナダ・ボーフォート海 エッソカナダ社所有 図 6.5.1 参照

長さ 142 ft, 高さ 40 ft, 底面の幅 43 ft の鋼製ケーソンを 8 個結合して 8 角形をつくり、その内部へ土砂を投入して使用する。ケーソンは水深 30 ft を対象に設計されている。

#### (2) タルスート人工島

カナダ・ボーフォート海 ドーム石油社所有 図 6.5.2, 表 6.5.2 参照

長さ 69.0 m, 高さ 11.5 m, 幅 15 m, 重量 5,000 t のコンクリートケーソンを 4 つ組合せた構造で、個々のケーソンは独立に設置されている。対象水深は 70 ft であるがケーソンは高さ約 15 m の盛土の上に設置され、ケーソンの吃水は 5.5 m である。

#### (3) MOLIKPAQ

建造中 ガルフ・カナダ・リソース社所有 図 6.5.3, 表 6.5.3 参照

内部の大きさが 73 m × 73 m で高さが 29 m の 1 体となった鋼製ケーソンで水深は 15 ~ 40 m を対象としている。

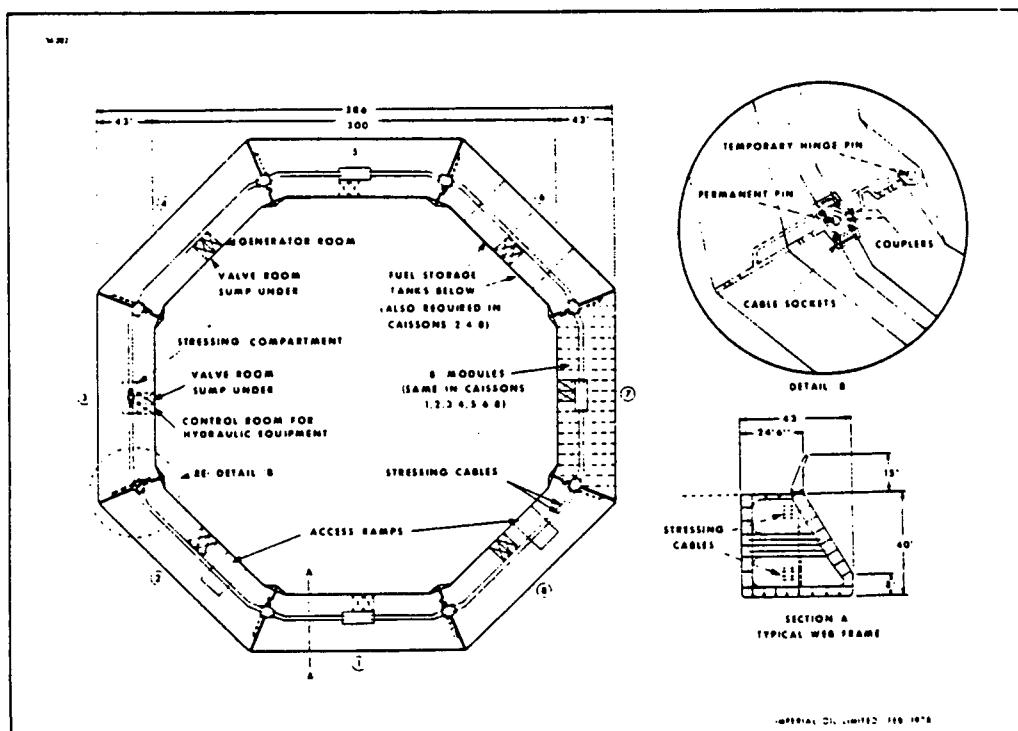
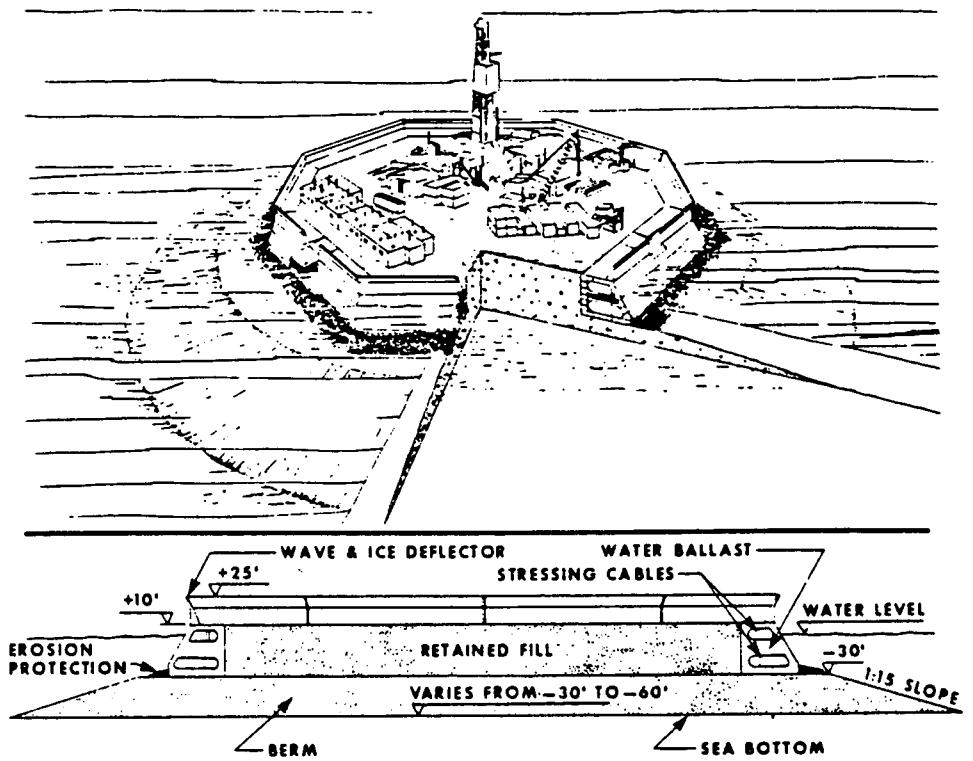


図 6.5.1 Caisson Retained Island Drilling Platform  
(OTC 3294, 1978)

表6.5.2 Basic Properties of Each Caisson of Tarsuit Island

Draft	5.5 metre
Weight	5,000 tonnes (11,000 Kips)
Plan area	887 m <sup>2</sup> (9,550 sq. feet)
Height	11.5 metres
Length	69.0 metres
Width (max.)	15.0 metres
Centre of gravity	6.96 m from outside face and 4.3 m above base

Radii of gyration

Pitch 20.4 m

Yaw 20.4 m

Roll 5.4 m

Moment of inertia

I <sub>xx</sub> (uncracked)	300m <sup>4</sup> (7.2 x 10 <sup>8</sup> in <sup>4</sup> )
I <sub>yy</sub> (uncracked)	1000m <sup>4</sup> (2.4 x 10 <sup>9</sup> in <sup>4</sup> )

Ultimate hogging moment of resistance 600 MNM  
(450,000 KIP feet)

Ultimate sagging moment of resistance 1000  
MN M (750,000 KIP feet)

Allowable local impact stress 700 kPa (15  
Ksf)

(OTC 4517)  
1983

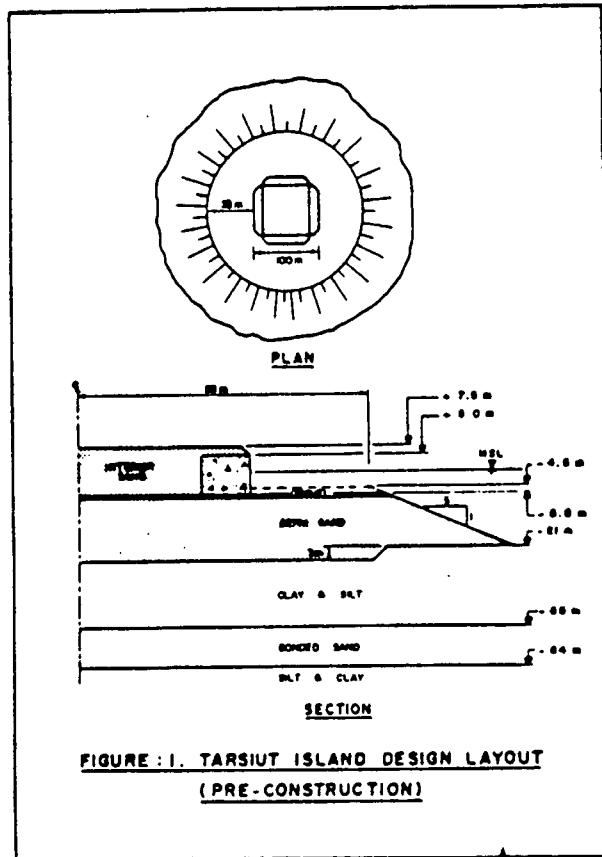
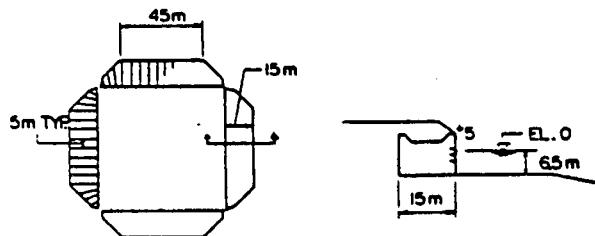
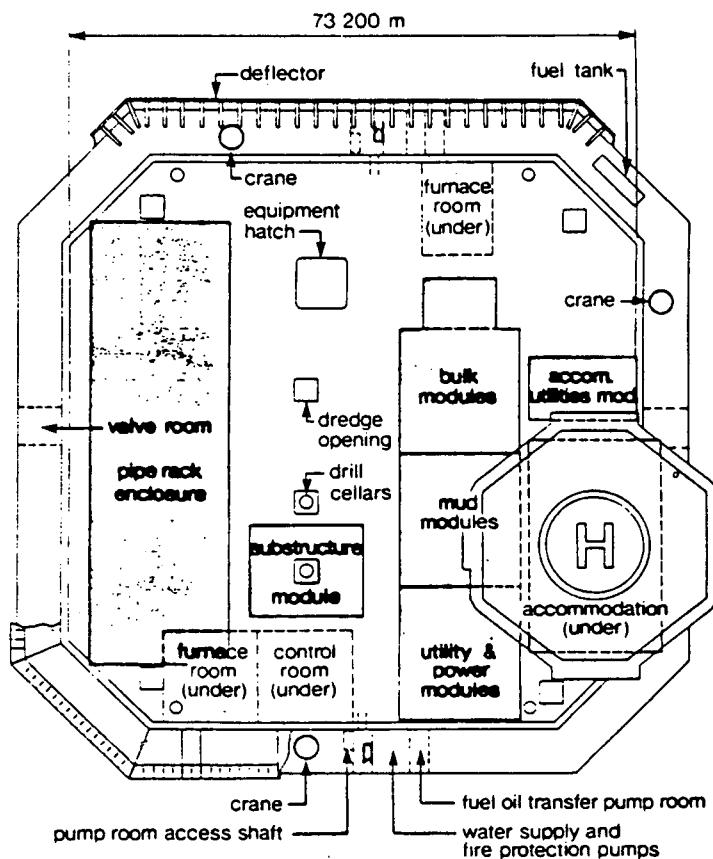
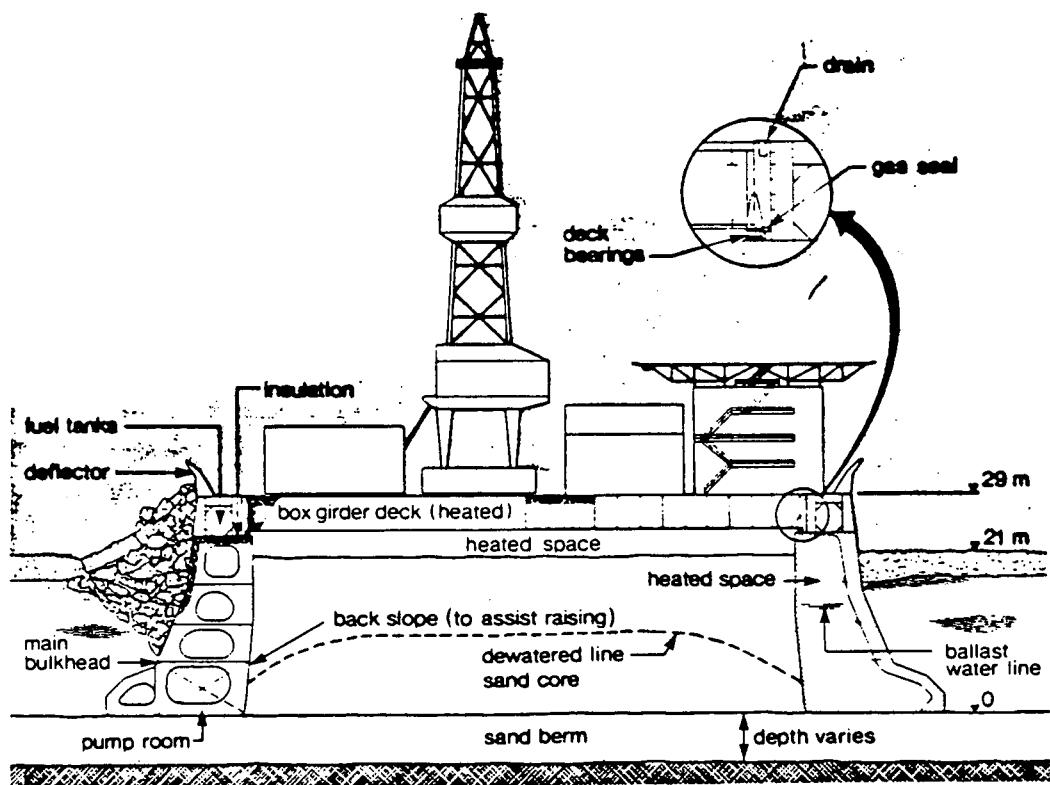


FIGURE : I. TARSUIT ISLAND DESIGN LAYOUT  
(PRE-CONSTRUCTION)

图 6.5.2 Tarsuit Island Concrete Caisson (OTC 4517, 1983)



## Deck Plan

图 6.5.3. Mobile Arctic Caisson (MAC) (OTC 4333, 1982)

表6.5.3 Main Feature of Mobile Arctic Caisson  
(OTC 4333, 1982)

Operational range	20-40 m	(70-130ft.)
Minimum operating depth (in dredged hole)	15 m	(50 ft.)
Constant set-down depth	21 m	(70 ft.)
Core dimensions	73x73 m	(240x240ft.)
Core quantity	110,000cu.m	(145,000 cu.yd)
Overall dimensions, waterline	88.5 m	(290 ft.)
Overall dimensions,toe	110 m	(364 ft.)
Height, deck level	29.0m	(95 ft.)
Height, top deflector	33.7 m	(110 ft.)
Available deck area (approx.)	6400 m <sup>2</sup>	(69000 ft <sup>2</sup> .)
Displaced weight (lightship)	31,000 tonnes	
Draft (lightship)	5.2 m	(17 ft.)
Displaced weight (fully laden)	46,100 tonnes	
Draft (fully laden)	8.9 m	(29 ft.)

#### 6.5.1.3. 外力算定(氷荷重)

- ケーソン型氷海リグには種々の外力が作用するが、その中でも氷荷重が卓越している。氷荷重の算定にはいくつかの方法があるが、以下の式を用いるのが一般的のようである。

$$F = I \cdot f_c \cdot \sigma_c \cdot D \cdot t$$

F : 人工島に作用する氷荷重

I : Indentation Factor

結晶粒径や氷厚と構造物の幅との比などにより異なるが、人工島のような広幅構造物では 1.2 ~ 3 の間の値をとる。Indentation Factor の解析の1例を図6.5.4に示す。

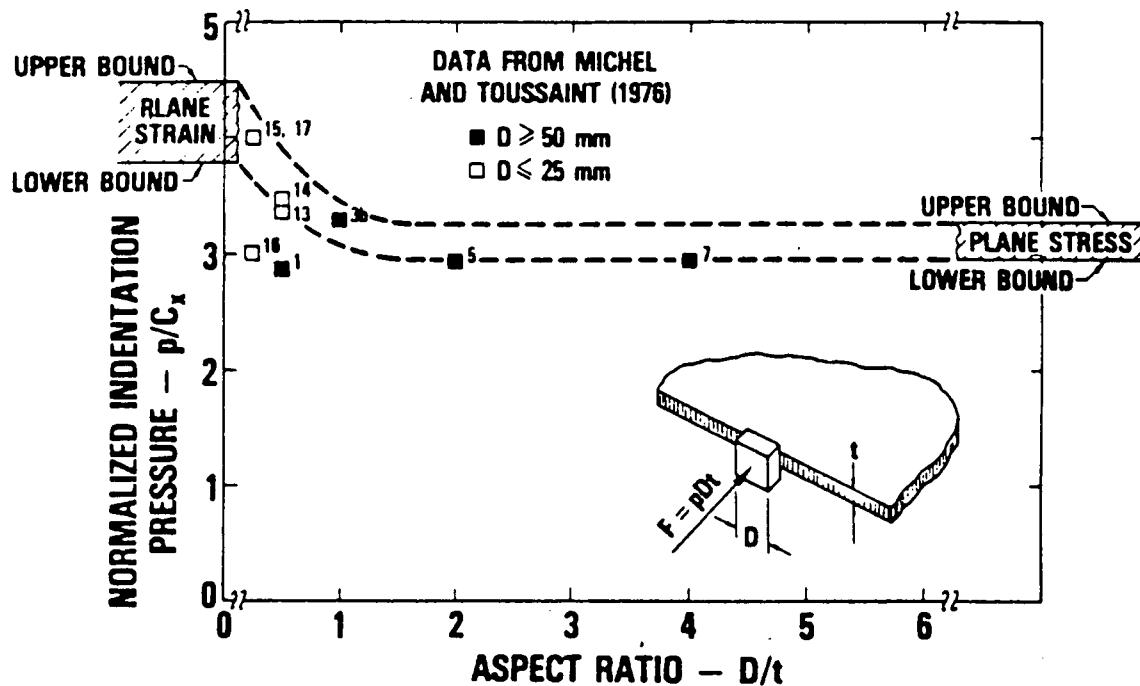


図 6.5.4 ( T.D. Ralston : An Analysis of Ice Sheet Indentation, IAHR Ice Symposium, 1977 )

$f_c$  : Contact Factor, 氷盤と構造物の接触の度合を表わすもので、完全接触では  $f_c = 1$  と考える。また歪速度によっても異なるので、Michel らは以下のような値を提唱している。

$$10^{-8} < \dot{\varepsilon} < 5 \times 10^{-4} \text{ (1/sec)}$$

$$f_c = 1.0 \sim 0.6$$

$$\dot{\varepsilon} > 10^{-2} \text{ (1/sec)}$$

$$f_c = 0.3$$

( B. Michel and N. Toussaint : Mechanisms and theory of indentation of ice plate, J. Glaciology, No. 81, 1977 )

$\sigma_c$  : 氷の一軸圧縮強度、氷の圧縮強度は歪速度に大きく依存するので歪速度を考慮して圧縮強度を設定する。歪速度は

$$\dot{\varepsilon} = V/4D \quad (\text{上記文献より})$$

で求める。Vは氷の動く速度、Dは構造物(人工島)の幅又はIce Rubbleの幅をとる。人工島のような広幅構造物が水深が浅く定着氷の中にあるようなときは氷の動きが遅いため、 $\dot{\varepsilon}$ は  $10^{-6} \sim 10^{-9}$  (1/sec) 程度となり、このような歪速度の領域では圧縮強度は極めて小さくなる。氷の圧縮強度の歪速度依存性の1例を図 6.5.5 に示す。

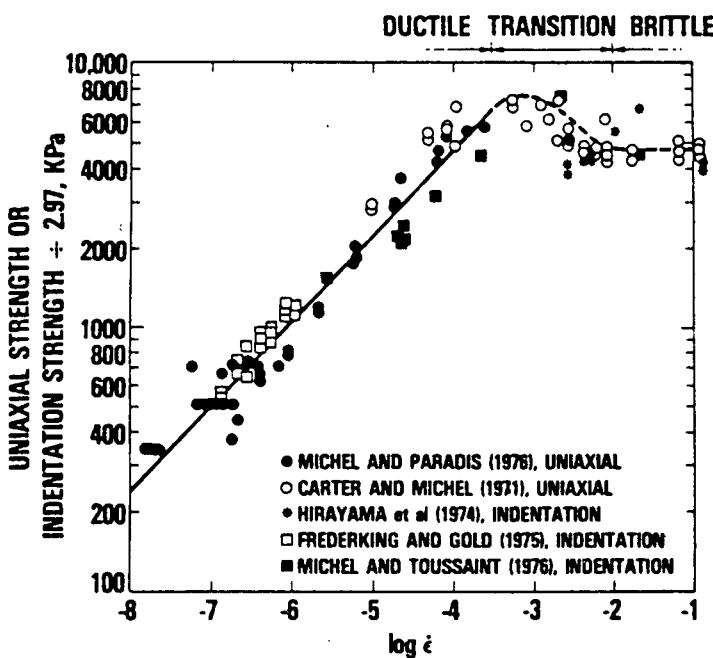


図 6.5.5 Uniaxial crushing and indentation strength of S-2 ice at  $-10^{\circ}\text{C}$

( B. Michel and N. Toussaint : Mechanisms and theory of indentation of ice plate, Symposium on Applied Glaciology, 1976 )

( この図自体は T. Ralston が書き直したものとの論文より借用した。 )

D : 構造物(人工島)又はIce Rubbleの幅

t : 氷厚又は再凍結やRaftingがあるときはその厚さ。

### 6.5.2. 保持システム

モノコーンの場合に比べ、比較的浅い海域においては、ケーソン方式になる可能性が多い。ケーソンが設置される場所としては、海底土質が良好でかつ埋め立て用土砂が入手しやすいという立地条件が必要となる。

現在石油開発が積極的に進められているボーフォート海は、水深が 60 フィート以下で氷象条件が厳しいことから、現在までのところ、埋め立て式人工島やケーソン式人工島が建造されている。

6.4.3.にて示された“ボーフォート海の土質”等の資料によるとボーフォート海のカナダ側では、海底土質が良好で、埋め立て用土砂も入手しやすい。しかしアラスカ側では海底土質が悪く、ケーソン設置後の沈下を防ぐためには、地盤改良あるいは杭等により支持力を増大させる必要があるといわれている。また、水深が 30 フィートを超えた場合には、海底地盤の上に海中堤(UNDERWATER BERM)を築造し、その上にケーソンを据え付ける等の提案もされている(図 6.5.6 参照)。一方、厳しい氷荷重(水平力)に耐えるためには、ケーソンおよび土砂の自重や積載荷重を利用するのであるが、それは海底地盤との摩擦力に依存する。資料(OTC 3294)によると直径 386 フィートの 8 角形ケーソンに作用する氷荷重は、65,000~140,000 トンと記載されている。同時に、このような大きな氷荷重に耐えるためにも、また充分な作業スペースを得るためにも、人工島の直径は、約 100 m 以上必要といわれている。

ここでは、ケーソン型構造物の保持システムとして考えられる重力式と杭式の 2 つに分け、各々の安定性検討の方法を以下に簡単に述べることとする。但し、保持システムの補助として考えられる“スカート”，“サクションアンカー”については、前節を参照のこと。

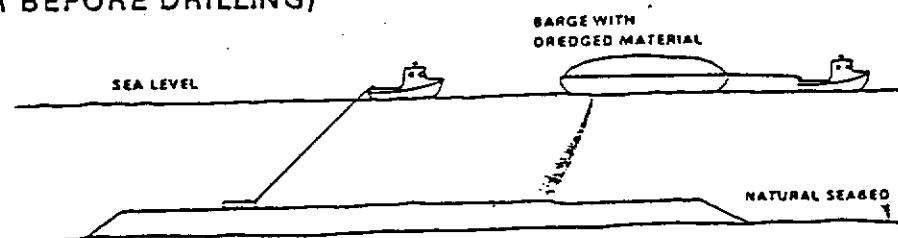
重力式

- ① 地盤の支持力
- ② 摩擦力

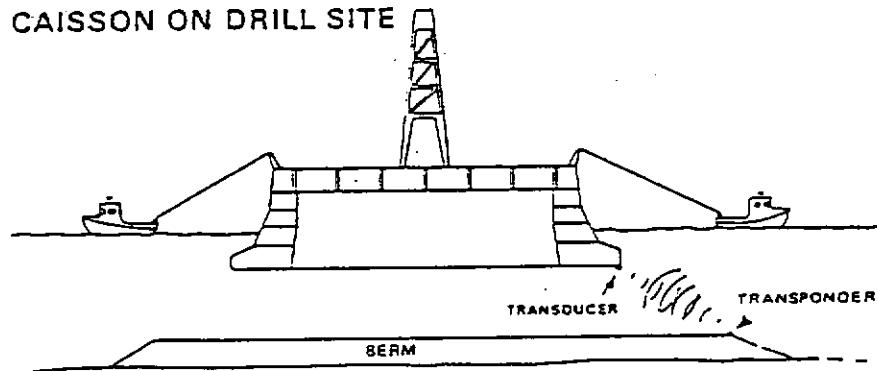
杭式

- ① 軸方向支持力
- ② 横方向支持力

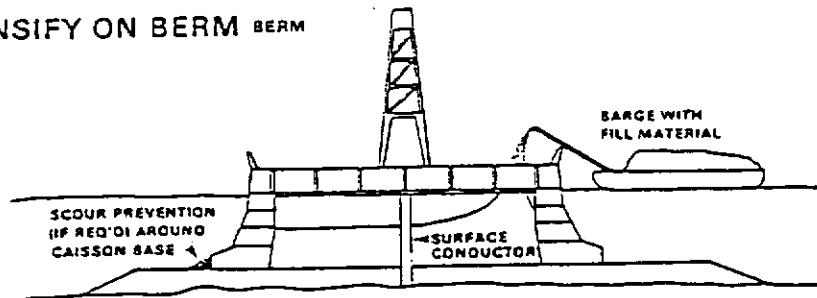
① DREDGE, LEVEL AND DENSIFY IF REQUIRED  
(SUMMER BEFORE DRILLING)



② CAISSON ON DRILL SITE



③ SET/FILL/DENSIFY ON BERM  
DRILL WELL



④ REFLOAT CAISSON.

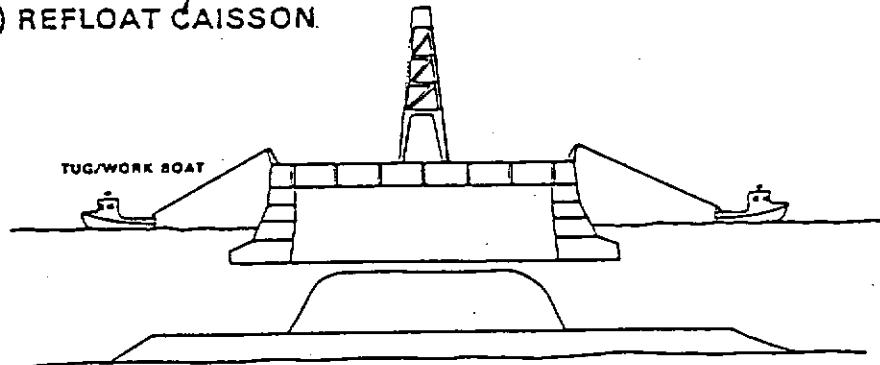


図 6.5.6 ケーソン据え付け方法の例

### 6.5.2.1 重 力 式

#### (1) 地盤の支持力

(「建築基礎構造設計規準・同解説」より)

地盤の支持力算定方法としては、従来から、いろいろの方式のものが提案されていて、地盤を完全塑性体とした理論にもとづく Prandtl, Terzaghi 系のもの、弾塑性論的な見方にたつ Fröhlich, 星埜系のもの、円弧すべり面を仮定した Fellenius, Kögler 系のもの、および土粒子のアーチ作用を考慮した Housel の理論体系などがある。

これらのうち国際的にも一般に用いられており、また載荷試験結果とも最もよく合致するという一応の裏付けもあるので、ここでは Terzaghi の支持力公式を取上げることにした。Terzaghi の提案した公式は

$$q_d = cN_c + \frac{1}{2} rBN_r + rD_f N_s \quad (\text{t/m}^2)$$

ここで

$q_d$  : 地盤の極限支持力度 ( $\text{t/m}^2$ )

$c$  : 粘着力 ( $\text{t/m}^2$ )

$r$  : 単位体積重量 ( $\text{t/m}^3$ )

$B$  : 基礎荷重面の最小幅 (m)

$D_f$  : 基礎の根入れ深さ (m)

$N_c, N_r, N_s$  : 支持力係数、内部摩擦角  $\phi$  の関数

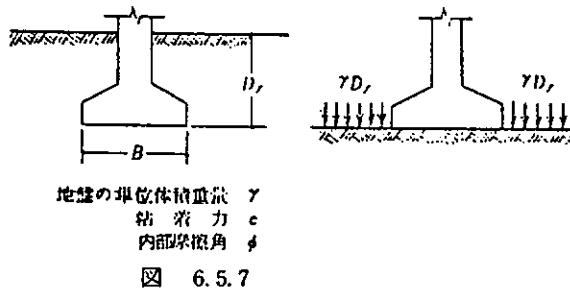


図 6.5.7

なる形のものである(図 6.5.7 参照)

上式で右辺第 1 項は地盤の粘着力に支配される項、第 2 項は基礎底面の幅に左右される項である。また、右辺第 3 項は  $D_f$  すなわち基礎底面の根入れ深さに比例する項で、基礎底面下の地盤の破壊を上部からおさえて防止する効果を表わすものである。

支持力係数  $N_c, N_r, N_s$  の値は、基礎底面下にある地盤の内部摩擦角の関数である。Terzaghi は地盤の破壊する様相によって、これを

- (i) 全般せん断破壊 地盤がかなり密か、あるいは硬くて、塑性流動を起こして破壊するまでのひずみが小さいような性質の場合に起こる破壊。
  - (ii) 局部せん断破壊 地盤がゆるいあるいはかなり軟らかくて、塑性平衡状態が理論上想定した範囲まで及ぶ以前に、基礎がかなり沈下するような条件の場合に起こる破壊。
- の 2 種類に分類し、図 6.5.8 に示したようなそれぞれの場合に応ずる支持力係数の値を与えた。

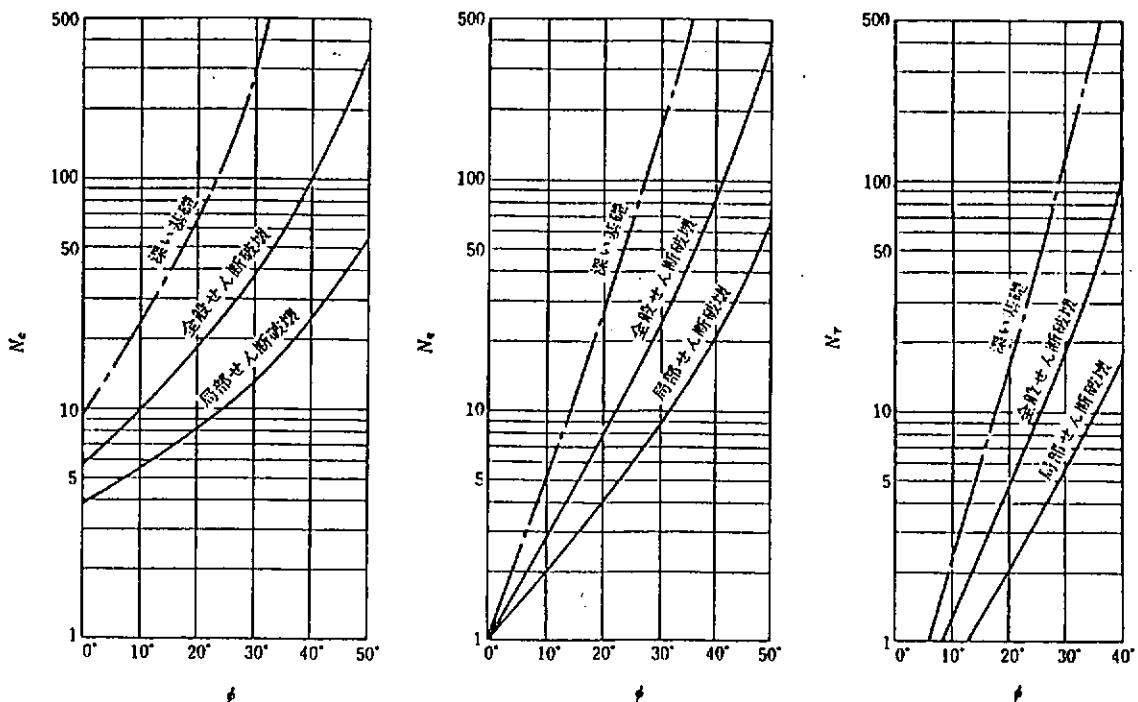


図 6.5.8 支持力係数

## (2) 摩擦力

(「港湾の施設の技術上の基準・同解説」より) 社団法人 日本港湾協会

安定計算に用いる静止摩擦係数は、一般に、表 6.5.4 の値を用いるものとする。

上記に示した値は、構造物全体としての滑動に対する安定計算に用いる場合の値であり、くいの支持力計算に用いるくい周面と土との間の摩擦係数、傾斜堤の安定計算に用いる摩擦係数、斜路によるケーソンの進水計算に用いる摩擦係数、土圧計算に用いる壁面摩擦角などのように、構造物の部分的な設計計算に用いる摩擦係数については適用しない。

なお、ここで示した値は、構造物に常時の外力が作用するときの静止摩擦係数であるが、地震時のような振動状態においては適当な資料が皆無であるため、本数値を用いているのが実情である。

表 6.5.4 静止摩擦係数

コンクリートとコンクリート	0.5
コンクリートと岩盤	0.5
水中コンクリートと岩盤	0.7～0.8 <sup>注)</sup>
コンクリートと捨石	0.6
捨石と捨石	0.8
木材と木材	0.5(乾)～0.2(湿)

注) 標準的な条件のもとでは、0.8とする。

ただし、基岩がぜい弱あるいは亀裂の多い場合、基岩を覆っている砂の移動が激しい場合などでは、それらの条件に応じて0.7程度まで低減させる。

### (3) 滑動に対する安定

荷重が鉛直方向以外に作用するときは、滑動による地盤の破壊荷重（H）を以下のように算定する。

#### (i) 非排水条件

$$H = cA$$

ここに

$$H = \text{崩壊時の水平荷重}$$

#### (ii) 排水条件

$$H = cA + Q \tan \phi$$

ここで

C = 粘着力

A = 基礎の有効面積

Q = 正味の最大鉛直荷重

$\phi$  = 内部摩擦角

### (4) 安全係数について

設計荷重条件のもとでの基礎の崩壊に対して、適当に余裕のある安全係数を確保しなくてはならない。

次の安全係数が以下に示す特殊な崩壊形式に対し使用されなければならない。

崩壊形式	安全係数
支持破壊	2.0
すべり破壊	1.5

これらの値は、繰り返し荷重効果を考慮したうえで使用しなくてはならない。地質工学的データがまばらにしかないか、又は現場条件が特に定かでないときには、これらの値の割増しが必要となるかもしれません。

## 6.5.2.2 杭式

(「API-RP-2A, 1980 大陸棚石油開発協会誌」より)

### (1) 軸方向支持力

#### (a) 極限支持力

ヘル付パイプを含む杭の極限支持力  $Q_d$  は次式によって定められる。

$$Q_d = Q_f + Q_p = f A_s + q A_p$$

ここに

$Q_f$  : 周面摩擦抵抗力  $lb (kN)$

$Q_p$  : 先端支持力  $lb (kN)$

$f$  : 単位周面摩擦力  $lb/ft^2 (kPa)$

$A_s$  : 杭周面積  $ft^2 (m^2)$

$q$  : 単位先端支持力  $lb/ft^2 (kPa)$

$A_p$  : 杭先端の総面積  $ft^2 (m^2)$

杭に沿った極限周面摩擦力は、必ずしも直接的に付加することはできないし、極限先端支持力もまた極限周面摩擦力に加えることもできない。これらの効果に関しては ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division for Load Transfer for Axially Loaded Piles in Clay, by H.M. Coyle and L.C. Reese, Vol.92 No.1052, March 1966 を参照のこと。

(b) 粘土中の周面摩擦抵抗及び先端支持力

粘土中に打込まれた杭に対する  $f$  の値は ASTM の "Methods of Tests for Unconfined Compression Strength of Cohesive Soil, ASTM Designator D-2166-63 T" によって定められたか又はミニチュアベーン剪断試験によって決定された、粘土の非排水剪断強度  $C$  と同等かそれ以下としての値を越えてはならない。

(c) 砂及びシルト中の周面摩擦抵抗及び先端支持力

砂又はシルトに打ち込まれた杭の  $f, 1b/ft^2$  (kPa) の値は次式より計算する。

$$f = K_p \cdot \tan \delta$$

ここに

$K_p$  = 水平土圧係数

$p_0$  = 有効上載圧,  $1b/ft^2$  (kPa)

$\delta$  = 杭表面と土の摩擦角, deg

砂又はシルトに杭より小さく掘削された孔、又はシェッティングされた孔に打ち込まれる杭の場合、 $f$  値はバイリングによる土の乱れの量を考慮した信頼性のある方法により砂又はシルト中の杭先端支持力  $q$  は次式で計算する。

$$q = p_0 N_q$$

ここに

$N_q$  = 支持力係数

次に掲げる値は、中程度にしまった、もしくは充分しまった砂質層に対して適用できると思われる。

$K$  = 軸方向圧縮荷重に対して 0.5~1.0

土 質	$\phi'$	$\delta$	$N_q$
きれいな砂	35°	30°	40
シルト質の砂	30°	25°	20
砂質のシルト	25°	20°	12
シルト	20°	15°	8

ここに

$\phi'$  = 土の内部摩擦角 deg

(2) 横方向支持力

表面近くの土の横方向抵抗力は杭設計に重要であり、従って洗掘や杭打中の土の乱れが、この抵抗力に及ぼす影響を考慮しなくてはならない。一般に横方向力がかかると粘土は塑性物質としてふるまうので、土の抵抗に杭と土の変形を関係づけることが必要とされる。この手法を促進するために実験室の土の資料から得られる応力と、歪のデータを用いて  $p - y$  曲線を作らなければならない。この曲線図の縦座標は土の抵抗  $p$  であり横座標は土のたわみ  $y$  を表わす。くり返し手法によって、この杭と土の系に適合したワンセットの荷重ーたわみの値が求められる。

(a) 粘土に対する横方向支持力

静的横方向荷重の場合は、やわらかい粘土の極限横方向支持力  $p_u$  は  $8c$  から  $12c$  の間で、変化することが知られている。但し上載圧が少ないために異なる形の破壊がおこる浅いところは除く。周期的な荷重の場合、静荷重にくらべて横方向力の低下を招く。より明確な基準がないなら次のことが推奨されよう。

$X$ が0から $X_R$ に増加するにつれ、 $p_c$ の値は下記のように3 cから9 cに増加する。

$$p_e = 3e + rX + J \frac{X_e}{D} \quad (1)$$

及び

$$p_s = 9c \quad \text{for } X > X_s \quad (2)$$

二三七

$p_u$  = 極限抵抗力 psi ( kPa )

$c'$  = 乱されない粘土のサンプルの非排水せん断強さ  $p_s i$  ( kPa )

D = 杖の径 in (四)

$\gamma$  = 土の有効単位重力  $lb/in^3$  ( $MN/m^3$ )

J = 野外試験により測定された0.25から0.5の範囲にある値をもつ経験的無次元定数

0.5の値はメキシコ灘の粘土の場合に該当する

X = 土表面からかっさを深き

$X_R$  = 土表面から強度低減域の底までの深さ in (mm)。深さにより土の強度が変化しないとき、式(1)及び(2)は同時に解かれ下記をとる：

$$X_n = \frac{6 D}{\frac{r D}{a} + J}$$

土の強度が深さによって変化する場合には、式(1)及び(2)は2つの式の深さに対する  $p_a$  をプロットすることによって解いてよい。2つの式のカーブの最初の交点が  $X_*$  とされる。これらの経験的関係式は、土の強度の変化が不規則である場合には適用してはならない。

一般に  $X_R$  の最小値は杭径の約 25 倍程度でなければならぬ。

(b) 砂に対する横方向支持力

砂に対する極限横方向支持力は浅い所では(3)式によって表わされ、深い所では(4)式によって表わされることがわかっている。ある決められた砂層の性質のいろいろな深さに対するこの2つの式の数値解が、深い所と浅い所を分ける遷移深さ  $X_t$  になる。

$$pus = A \left\{ \frac{r'H}{D} \left[ \frac{KoH \tan \phi' \sin \beta}{\tan(\beta - \phi') \cos \alpha} + \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \phi')} (D + H \tan \beta \tan \alpha) + \right. \right. \\ \left. \left. KoH \tan \beta (\tan \phi' \sin \beta - \tan \alpha) - KaD \right] \right\} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$pud = A [ K_a r' H (\tan^3 \beta - 1) + K_b r' H \tan \phi' \tan^4 \beta ] \dots \dots \dots (4)$$

二三七

$p_u$  = 極限抵抗 ( $s$  = 浅い,  $d$  = 深い),  $ps_i$  (kPa)

A = 経験的補正係数

$\gamma$  = 土の有効単位重量  $1\text{b/in}^3 (\text{MN/m}^3)$

H = 深さ in (mm)

$K_0$  = 靜止土圧係数 (0.4)

$\phi'$  = 土の内部摩擦角

$$\theta = 45^\circ + \phi'/2$$

$$a = \phi'/2$$

$D$  = 杭の直径 in (mm)

$K_a$  = ランキン最小主動土圧係数 ( $\tan^2(45^\circ - \phi'/2)$ )

係数Aは静的な動きと周期的な動きの差異を説明する経験的補正係数である。図6.5.9は無次元深さ、 $H/D$ に対する係数Aの推奨値変化を示すものである。

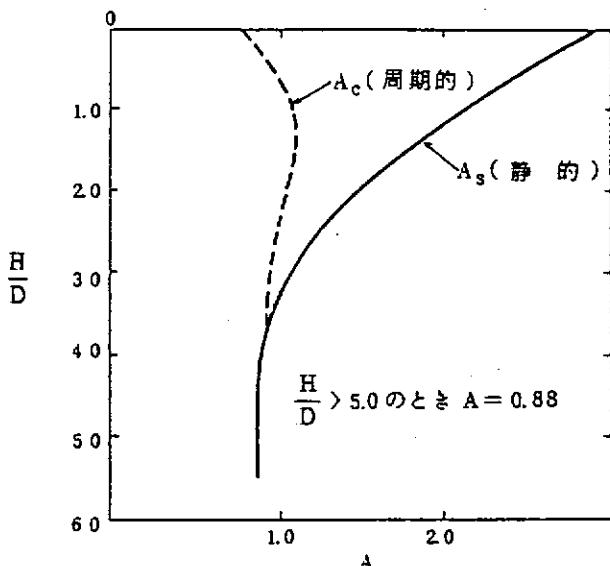


図6.5.9 深さに対する極限土抵抗に関する無次元係数A

#### (c) 群杭作用

杭間隔が小さくなることにより、もたらされる群杭の荷重及びたわみ特性への影響を考慮しなければならない。一般に、直径の8倍より小さい杭間隔に関しては、群杭効果を評価しなければならないかも知れない。

##### (横方向の特性について)

粘性土及び砂質土のいずれに埋込まれた杭に対しても、横荷重を受けたときに生ずる群杭の変形は、その荷重を群杭内の杭が平均的に受け持つとして算出された荷重を、一本杭に作用させるときには生ずる横方向の変形量よりも大きいのが普通である。群杭の変形型及び個々の杭への荷重の分配に影響する主要要因は、杭の間隔、杭の貫入量の直径に対する比、地盤に対する杭のたわみ性、及び群杭の寸法である。

### 6.5.3 考 察

ケーソン式人工島は、土砂の埋め立て式人工島に比べ、斜面の保護の心配が少なく、かつ、水深が大きくなると経済的に有利となる等の特徴を持っている（図6.5.10参照）。

しかしながら、まだ氷海域での実績は少ない北海においては、既に大型コンクリート製構造物が石油生産設備として多く建造されているが、ボーフォート海に据え付けられるケーソン構造物は、直径が100m以上で水平荷重（氷力）も大きく、また水深が浅く、海底地盤が軟弱で永久凍土も存在する等、北海に比べて環境条件が大変異なる。従って、過去の経験だけでは解決できない技術的問題、例えば最大氷力の推定法、地盤の安定性の検討法、永久凍土の評価法、曳航、据え付け法等が残されている。

その他にも、保持システムとしてのスカート、アンカー、パイル等補助装置の効果の評価法、重力式と杭式の併用の問題、新しい補助装置の開発の提案も今後の課題である。

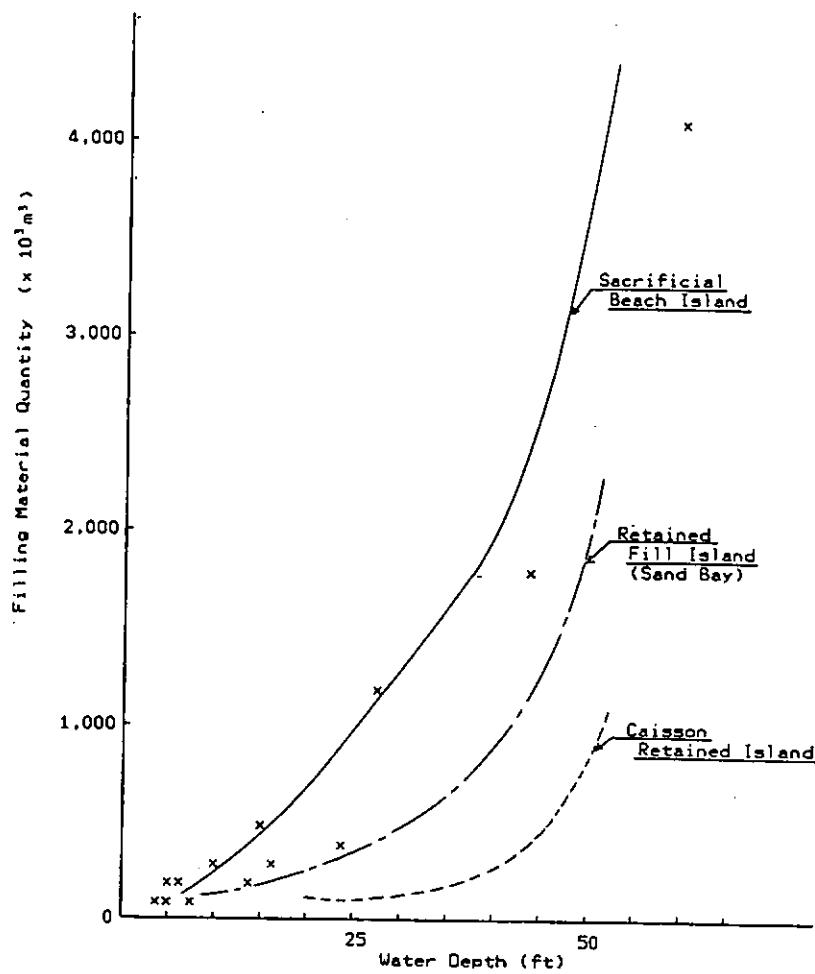


図 6.5.10 Quantity of Gravel for Manmade Island in Beaufort Sea

## 6.6 円柱群に働く氷圧力の模型試験

一般の海洋構造物にあっては、複数個の脚柱を持つのが一般であり、このような多脚構造物の氷海域への延長も検討されている。脚柱の形状としては直円柱が基本となっているが、場合によっては、円錐や逆円錐形状の脚柱も可能であろう。

円柱等の氷荷重については、様々な研究がある。しかし、複数個の円柱群に対する氷荷重の研究は余り多くない。これは、氷海域用の海洋構造物としては、モノコーンやその他の単脚形式の構造物が、最適と考えられてきたことと、多脚柱の場合、これらの脚柱に同時に氷盤が当たる場合でも、脚柱それぞれでの碎氷には time lag があり、多脚柱に作用する氷荷重を推定する際に、それぞれの脚柱に対して単独の氷荷重を想定しておけば、一般には、安全側となるからである。

円柱に作用する氷荷重は、半無限氷板に円柱が貫入する場合、柱径の半分程貫入した時に氷荷重が最大となり、その後、貫入が続ければ、円柱周りの氷板の破壊と共に氷荷重は増減するが、その極大値  $F_c$  は、貫入直後極大値（最大値） $F_i$  には達せず、かなり低く

$$F_c = \left( \frac{1}{2} \sim \frac{1}{3} \right) F_i$$

である。

円柱群への総氷荷重を  $F_t$  , 個々の円柱に対する氷荷重を  $F_j$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) とすれば, 実際には前述の理由で

$$F_{t,t} < \sum_j^n F_{j,t}$$

$$F_{t,t} < \sum_j^n F_j$$

となる。

円柱直径を  $D$ , 円柱間の空隙距離を  $kD$  とすれば明らかに

$$\alpha = F_t / n F_j \rightarrow 1 ; k \rightarrow \infty$$

であるが,  $\alpha \sim 1$  となる  $k$  値については, 定説がない。特に,

$$\alpha_1 = F_{t,t} / n F_{j,t} \sim 1$$

となる  $k_1$  値についてはばらつきが多い。一般に, 精密な貫入試験を行うことは予想外に難しく, 荷重計の動特性, 取付方法, 取付精度, 氷板の整形などに細心の注意が必要となる。文献によれば,  $F_t$  と  $F_{j,t}$  の混同や, 試験方法に疑念のあるものも少なくなく, これらが  $k$  値のばらつきの主因と考えられる。

今年度は, 図 6.6.1 のような円柱群模型を製作し, 平坦氷中の実験を行った。実験結果は現在解析中である。

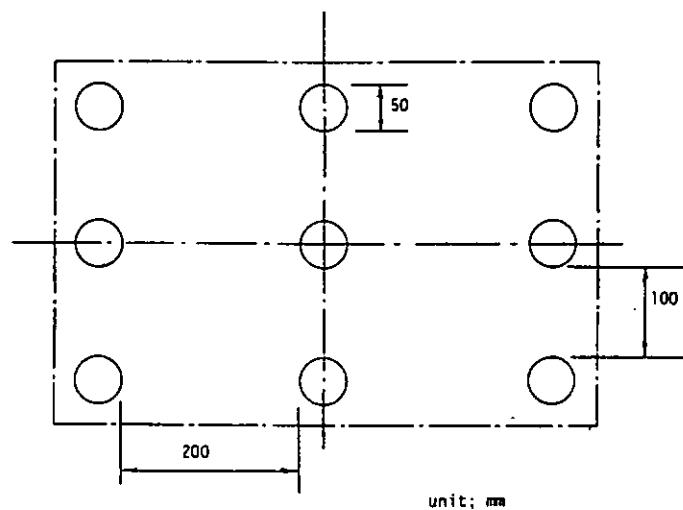


図 6.6.1 a 円柱群模型(最多配列)

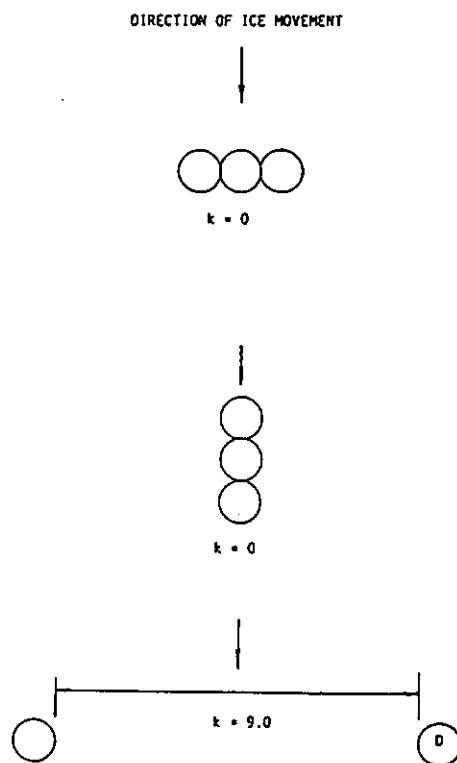


図 6.6.1 b 円柱配列例

単円柱の直径は 50 mm とし、単円柱が narrow vertical cylinder (日本造船研究協会研究資料 No. 361 参照) として扱いうるものとした。

但し

$$k = 0 \sim 9.0$$

である。

## 7. 南極観測船“しらせ”による氷海域実船試験

### 1. はしがき

欧米の高緯度諸国と異なり、我が国は、幸いなことではあるが、本格的な氷海域がなく、そのために又、保有する氷海船舶が際立って少ない。氷海船舶の開発研究や安全性評価において、氷海域での実船試験の重要性は言うまでもない。我が国において氷海域の実船試験を行うためには、南極観測船か砕氷型の巡視船を利用するか、あるいは又、外国籍の砕氷船を共同利用するしかない。外国籍の砕氷船の利用では、手続、経費の面で難問があり、次善の策と考えるべきであろう。

南極観測船、あるいは砕氷型巡視船については、それぞれに本務行動があり、氷海域での各種の測定を実施するにしても、本務行動を阻害しないことが前提であり、実船試験の方法、内容が制約を受ける可能性のあることを考慮する必要がある。

このような背景の下に、第25次南極観測事業に協力し、南極氷海域での南極観測船「しらせ」による実船計測を計画した。今次航は「しらせ」にとって処女航海でもあり、特にその氷中航行性能については未確認のまゝの航海であることも勘案して、本年度における氷海域実船計測は、予備実験的性格を持たせることとした。

「しらせ」による南極氷海域実船計測の計画、実施に際しては、防衛庁、文部省、国立極地研究所など関係機関の御指導、御協力を戴いた。

### 7.2. 南極観測船“しらせ”的概要

「しらせ」の主要目等を表7.2.1に、一般配置等を図7.2.1に示す。「しらせ」は、氷厚約1.5mの平担氷を3ktsで連続砕氷可能な砕氷能力を有し、砕氷補助装置としてトリミング及びヒーリング装置を装備する。

### 7.3 計測項目

南極氷海域において、下記の項目について計測を行うものとする。但し、氷海航行データの基礎データとして、平水航行時及び荒天時においても適時計測を行う。

#### (1) 平水域

- a) 吃水及び排水量
- b) 気象及び海象
- c) 船速、馬力、機関性能等

#### (2) 荒天海域

- a) 吃水及び排水量
- b) 気象及び海象
- c) 船体運動及び加速度
- d) 船速、馬力、機関性能等

#### (3) 氷海域

- a) 吃水及び排水量
- b) 気象及び氷象
- c) 船体運動及び加速度
- d) 船体外板応力頻度
- e) 船速、馬力、機関性能等

機器配置、計測システムの概要を図7.3.1～7.3.1.2に示す。

## 7.4. 計測実施要領

状況によっては艦長の指示に従い、適宜計画変更を行う。

### (1) 平水域直進試験

- a) 吃水及び排水量の確認
- b) 気象及び海象状況の記録
- c) 主機出力を  $1/4$  とし、約 5 分間計測
- d) 計測終了後、主機出力を  $2/4$  に上げ、同様手順にて計測
- e) 以下、出力  $3/4$ ,  $4/4$  の状態で実施
- f) 終了後、航海日誌より主要データを転記、確認

### (2) 荒天海域動揺試験

- a) 吃水及び排水量の確認
- b) 気象及び海象状況の記録（含ビデオ記録）
- c) 主機出力、航行方向を一定に保ち、約 15 分間計測
- d) 終了後、航海日誌より主要データを転記、確認

### (3) 氷海域直進試験

- a) 吃水及び排水量の確認
- b) 気象及び氷象の状況記録（含ビデオ及び 8mm シネ記録）
- c) 主機出力及び航行方位を一定に保ち、約 5 分間計測
- d) 終了後、航海日誌より主要データを転記、確認

### (4) 氷海域旋回試験

- a) 吃水及び排水量の確認
- b) 気象及び氷象の状況の記録（含ビデオ及び 8mm シネ記録）
- c) 主機出力及び航行方位を一定として 300~400 m 助走した後、舵角面舵  $7.5^\circ$  を取り、舵角を固定
- d) 面舵  $7.5^\circ$  発令後、 $180^\circ$  又は  $360^\circ$  旋回終了まで計測
- e) 計測終了後、再び方位を一定して助走した後、舵角取舵  $7.5^\circ$  とし、同様に計測
- f) 以下、面舵  $15^\circ$ 、取舵  $15^\circ$  にて同様に計測
- g) 終了後、航海日誌より主要データを転記、確認

### (5) 氷質試験

海水の力学的性状データは、氷海航行性能の推定あるいは模型試験の実施上必須の資料であるが、その測定は容易ではない。氷上作業を伴う関係上、任意に計測しうる訳ではないが、機会があれば、隨時計測を実施する。

氷海航行性能試験時、氷海域での長時間停船時、あるいは昭和基地周辺にて海水の切出しを行い、氷試料の採取、試験を行う。

#### a) 氷盤、塩分濃度、及び密度の計測

切出した氷試料により、盤上にて、氷温計、電気伝導率計等を使用し測定する。

#### b) 曲げ試験

切出した氷試料を  $400 \times 50 \times 50$  mm に加工し、甲板上の曲げ試験機により 3 点曲げ試験を行う。

但し、試料の切出し方向、深さ、上下位置関係を記録する。

#### c) 圧縮試験用試料の採取保存

切出した氷試料を  $500 \times 100 \times 100$  程度の手法に加工し、断熱箱に封入の上、艦内冷凍庫に保存、帰国後、整形の上圧縮試験を実施。氷試料は、200 本程度を採取。

#### d) 結晶写真

船上にて薄氷板を作成(融解法にて可)，偏光写真を撮る。水平及び鉛直断面。

## 7.5. 実船計測

「しらせ」第25次南極観測行動予定図を図7.5.1に示す。実船計測は、概ね良好である。計測結果の一部は「しらせ」船上にて解析が行われてはいるが、本格的解析を行うためには、「しらせ」の帰国を待たねばならない。

表7.2.1 "しらせ" 主要目等

項目	しらせ	ふじ
全長 (Loa) .....	134. m	100. m
最大幅 (型) (B max.mld) .....	280 m	22.0 m
深さ (型) (D mld) .....	145 m	11.9 m
喫水 (計画常用) (d designed) .....	9.2 m	8.1 m
排水量 (基準) .....	11,600 tons	5,250 tons
推進方式 (Propulsion system) .....	ディーゼル電気推進 (AC-R-DC system)	ディーゼル電気推進 (DC-DC system)
主機械型式 (Main engine) .....	三井 12V 42M	横浜 MAN V8V
主機械出力 (Main engine output) .....	5,750 ps × 6	3,500 ps × 4
推進発電機出力 (Generator output) .....	4,050 kW × 6	2,420 kW × 4
推進電動機出力 (Electric motor output) .....	3,680 kW × 6	2,250 kW × 4
軸馬力 (SHP) .....	30,000 ps	12,000 ps
翼数 (Propeller) .....	3	2
最大速力 (V max) .....	abt. 19.0 knots	17.2 knots
巡航速力 (V cruise) .....	15.0 knots	abt. 12.0 knots
ボイラ (Boiler) .....	4 ton/hr × 3 sets	4 ton/hr × 1 set 2.3 ton/hr × 1 set 0.95 ton/hr × 1 set
船内サービス用発電機 (Ships service generator) .....	900kW × 4 sets	500kW × 2 sets 120kW × 1 set
輸送物資量 (Cargo) .....	1,000 tons	500 tons
ヘリコプター (Helicopter) .....	物資輸送用 × 2 氷状偵察用 × 1	S 61 A × 3
定員 (Complement)		
乗員 (Officers and crew) .....	170 p	180 p
観測隊員等 (Scientists etc) .....	60 p	50 p
連続砕氷能力 (Icebreaking capability .....	1.5m-3 knots continuous mode)	0.8m-3 knots
軸馬力 / 排水量 (SHP/△ designed) .....	1.70	1.49
軸馬力 / 水線幅 (SHP/Bwl) .....	1111	558

新南極観測船(新砕氷艦)一般配置図

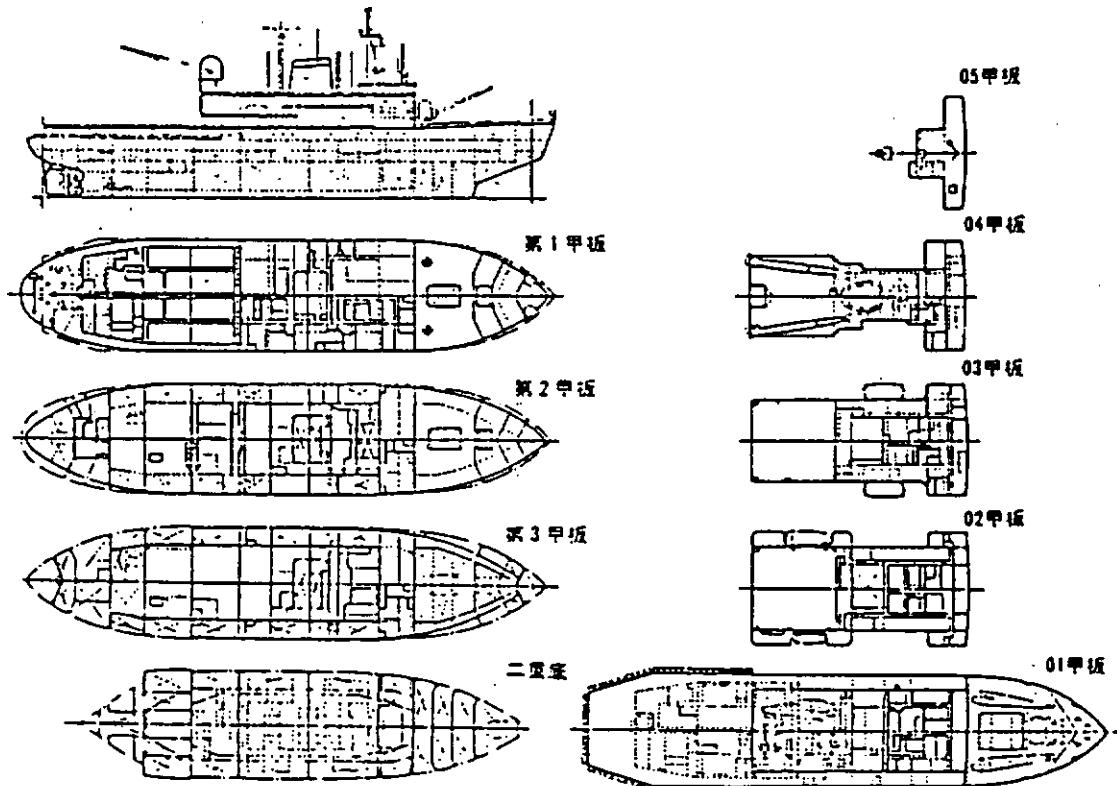


図 7.2.1 “しらせ”一般配置図

- ◎ 実験開始に際し "ON" 操作要。
- ◎ 実験中常時人員配置要。

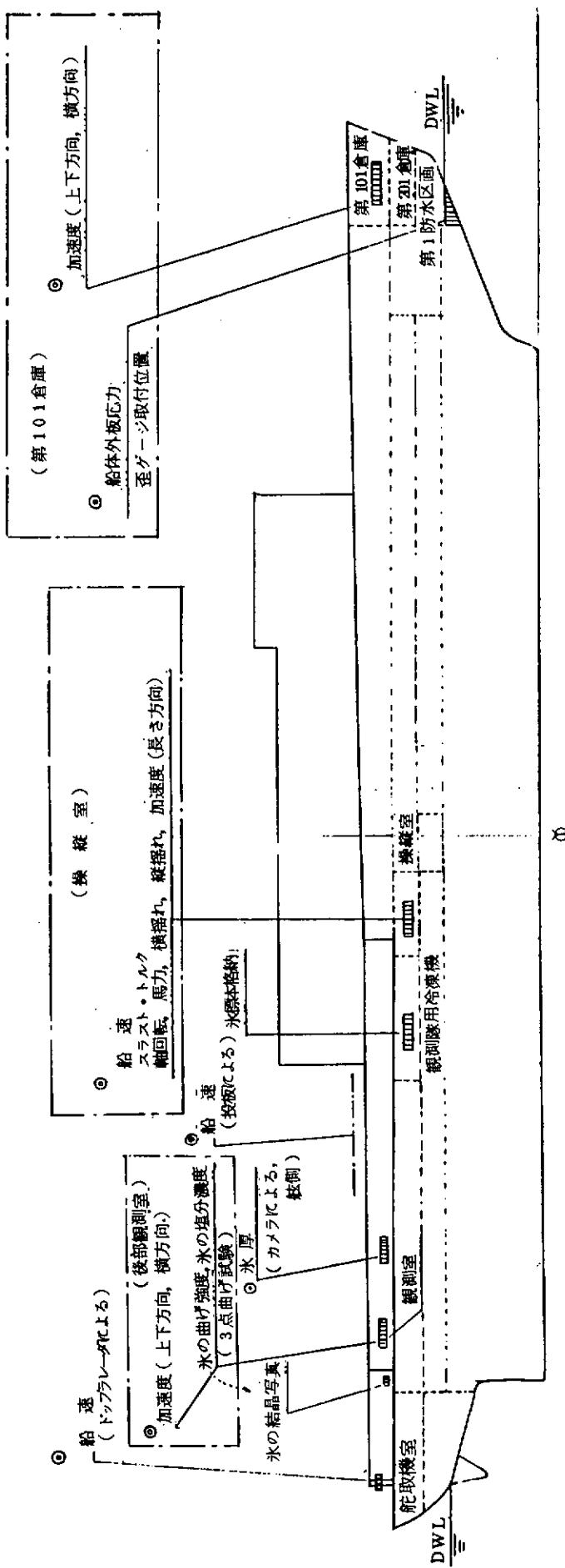


図 7.3.1 計測機器配置図

操縦室

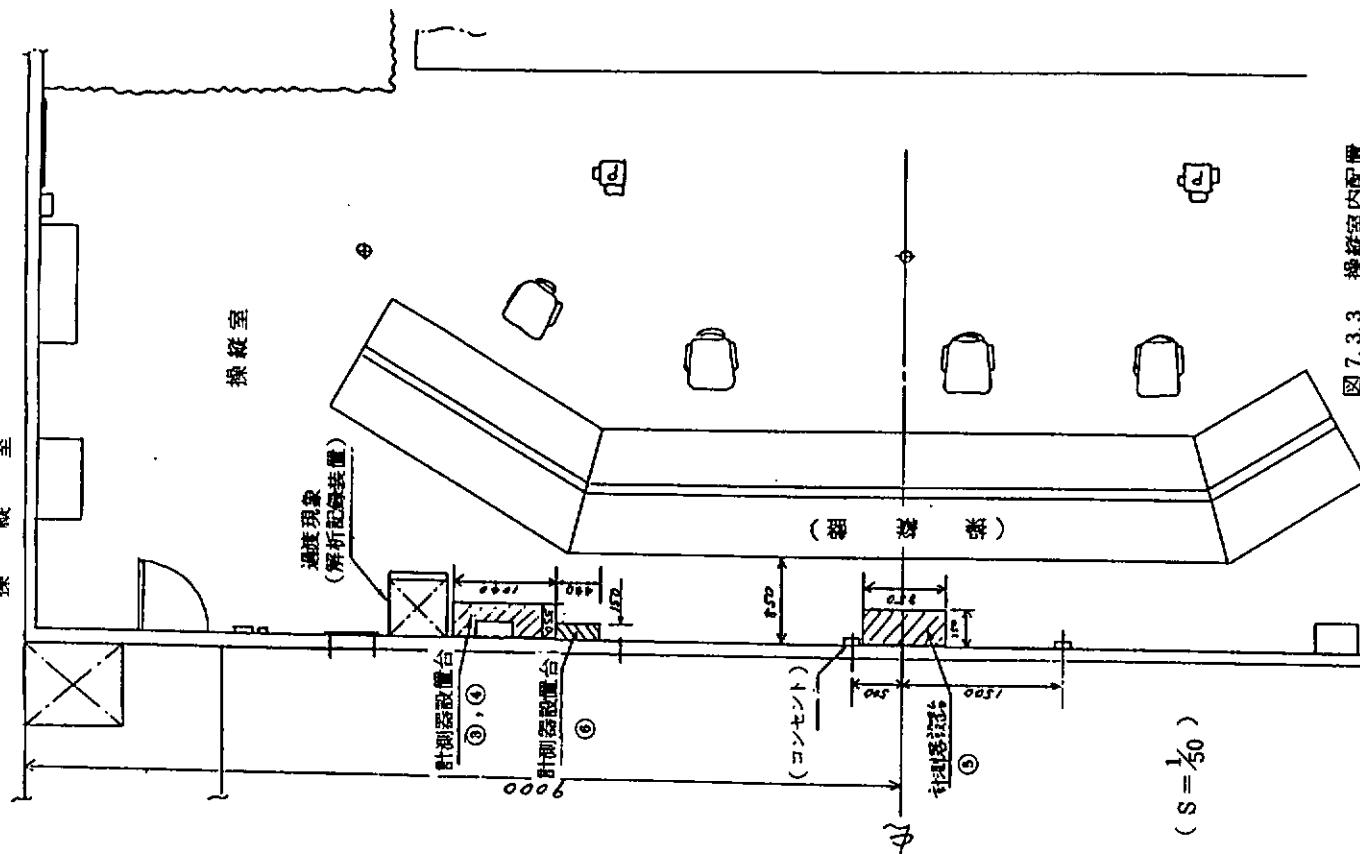


図 7.3.3 操縦室内配置

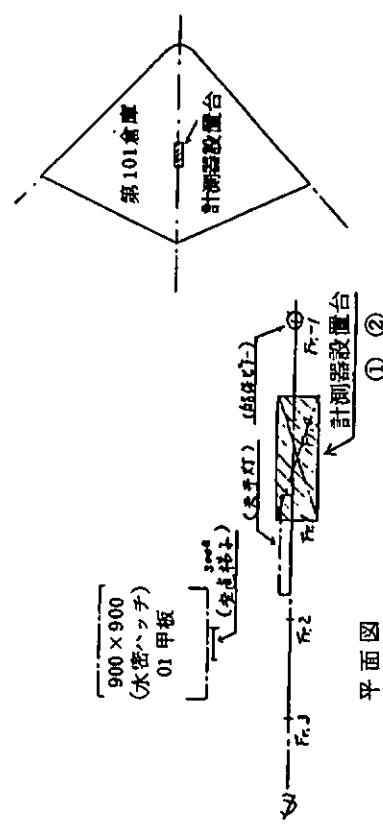


図 7.3.2 応力頻度計等

正面図

(天井内縦)

(天井内縦)

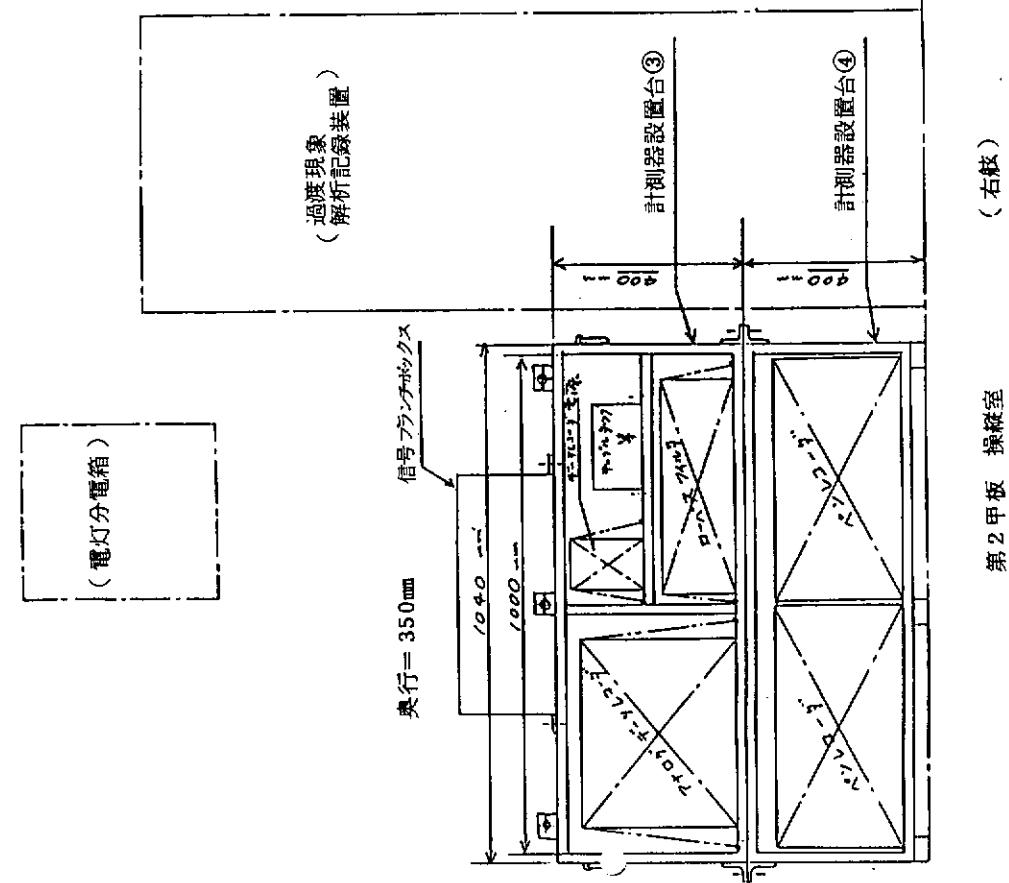


図 7.3.4 推進性能関係機器

(天井内縦)

(天井内縦)

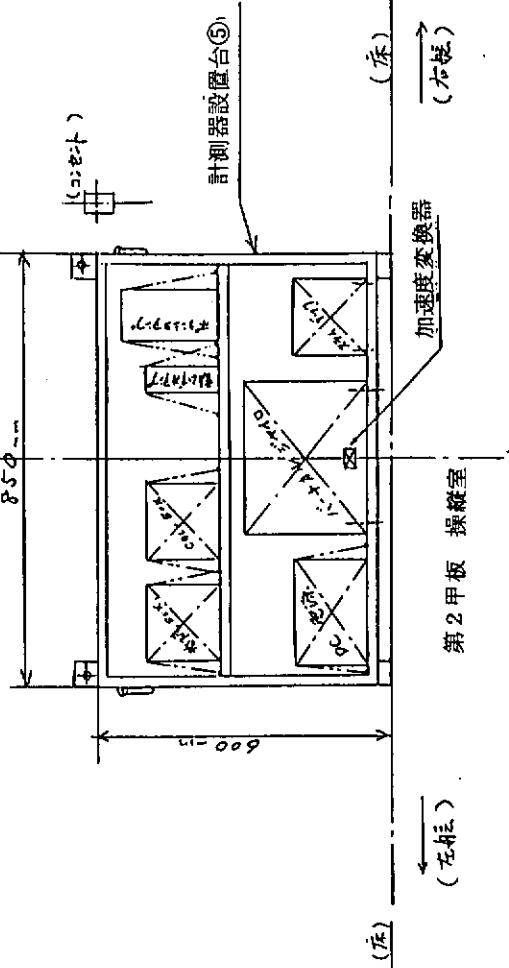


図 7.3.5 船体運動関係機器等

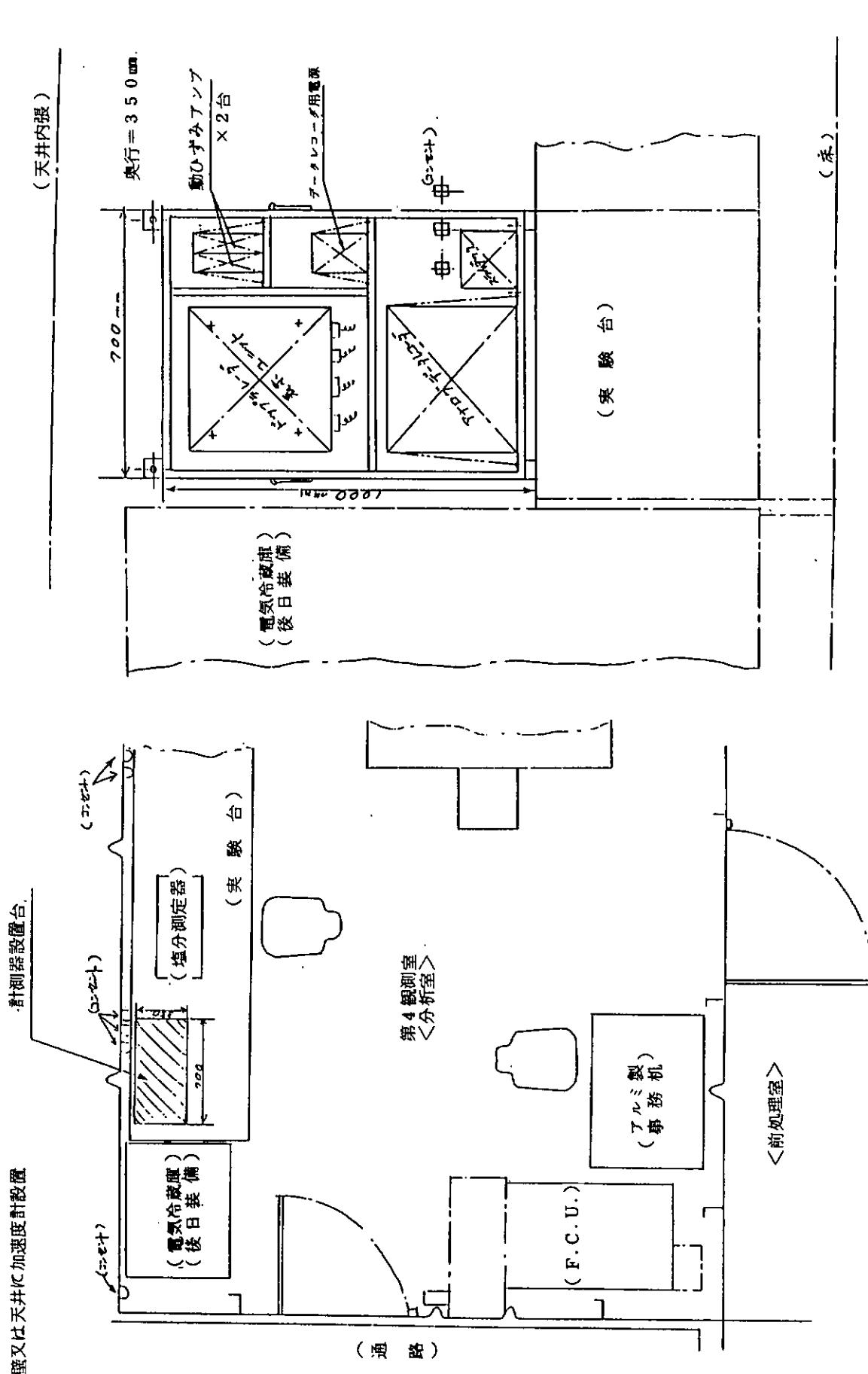


図 7.3.7 ドップラーレーダ電気部

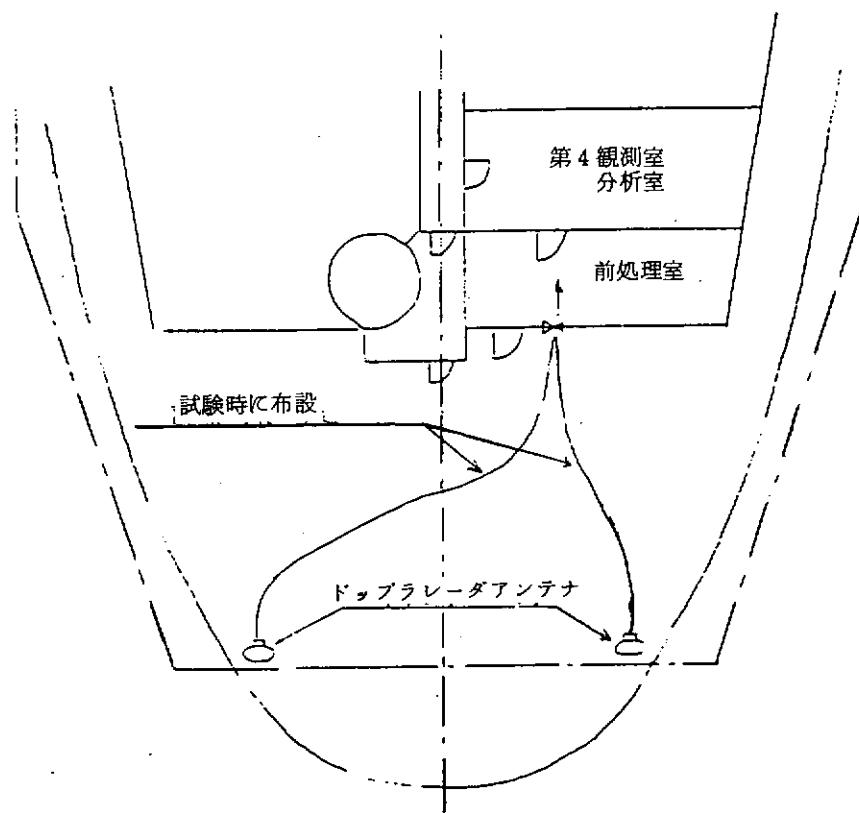
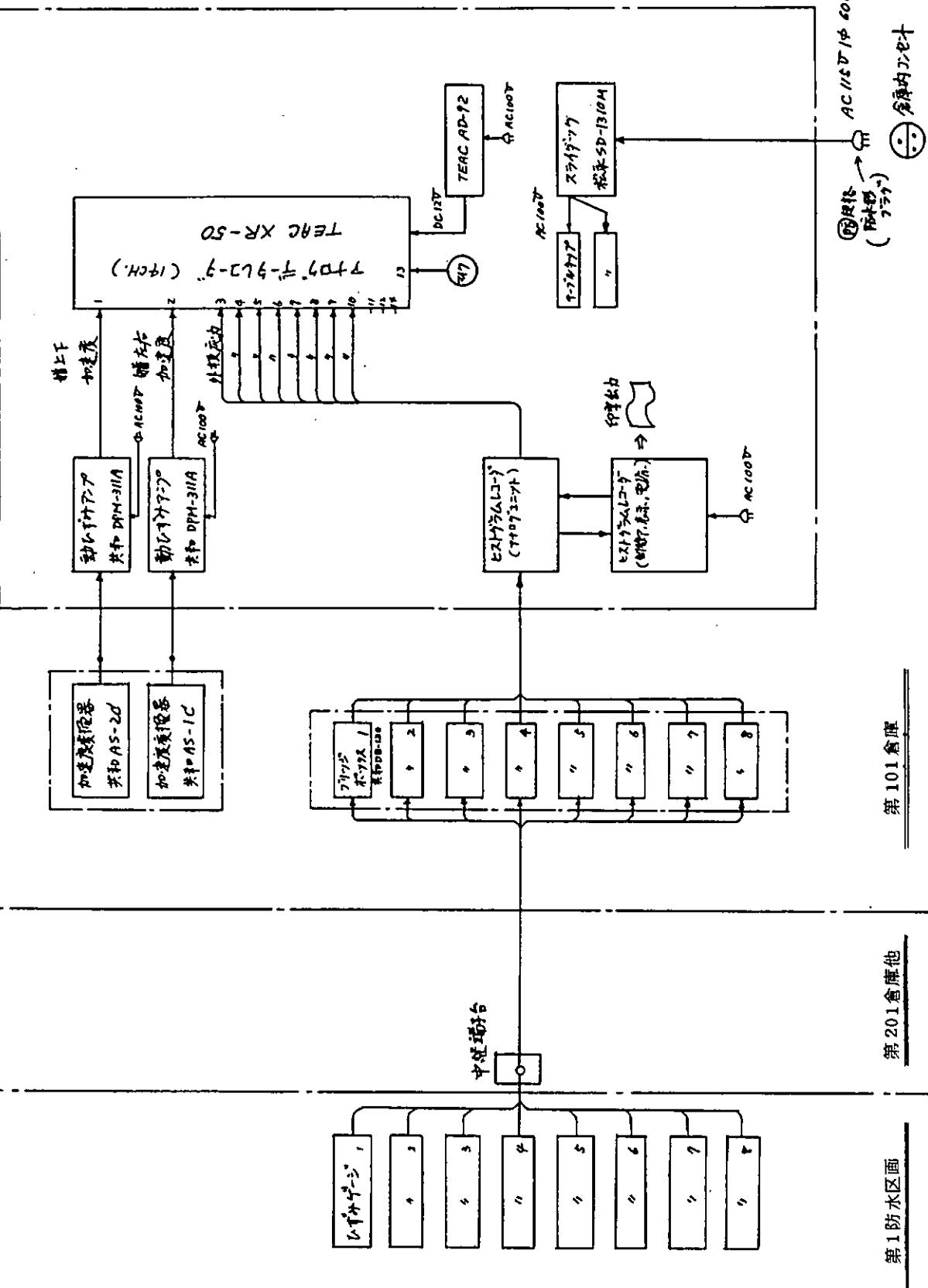


図 7.3.8 ドップラーレーダアンテナ位置



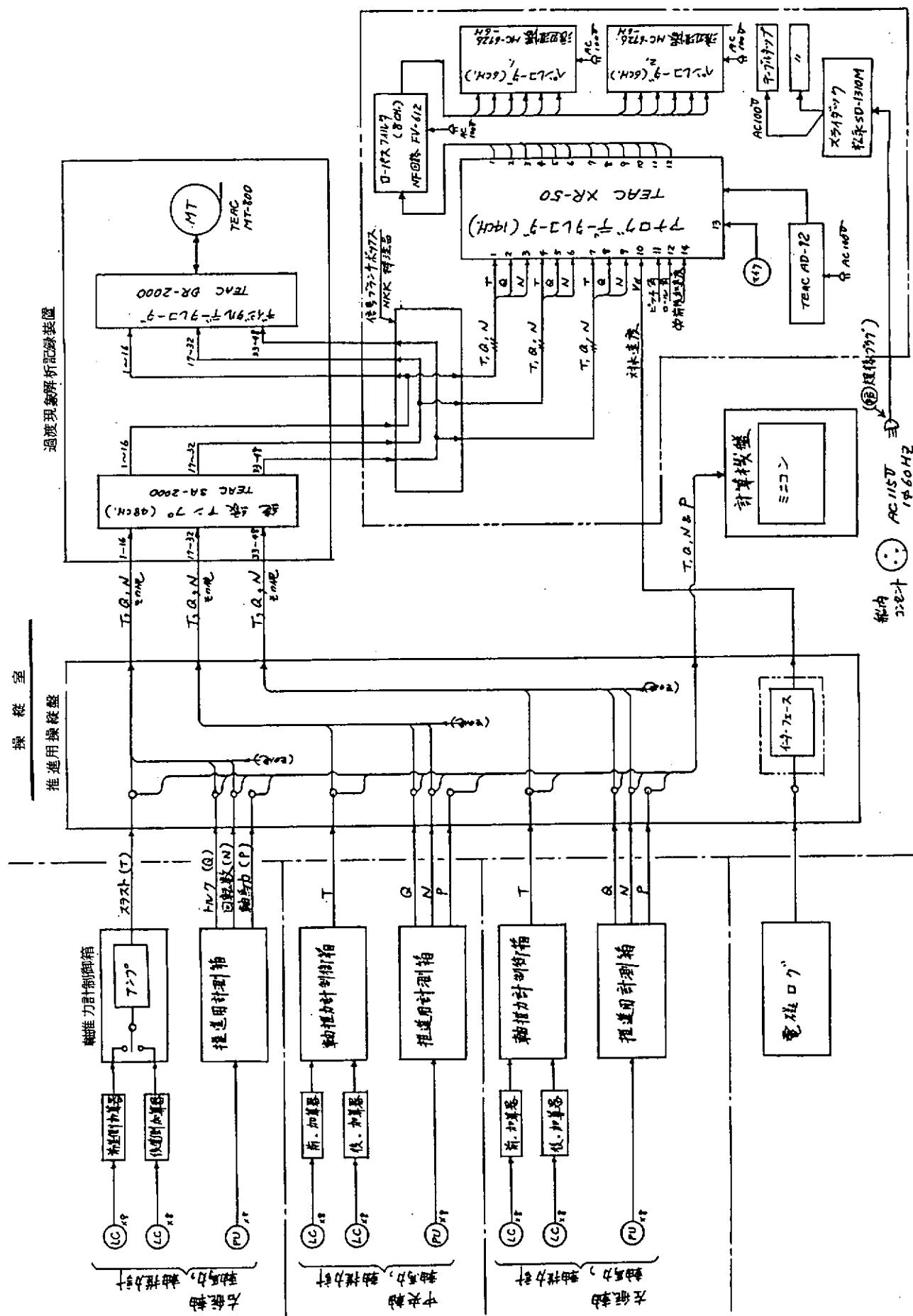
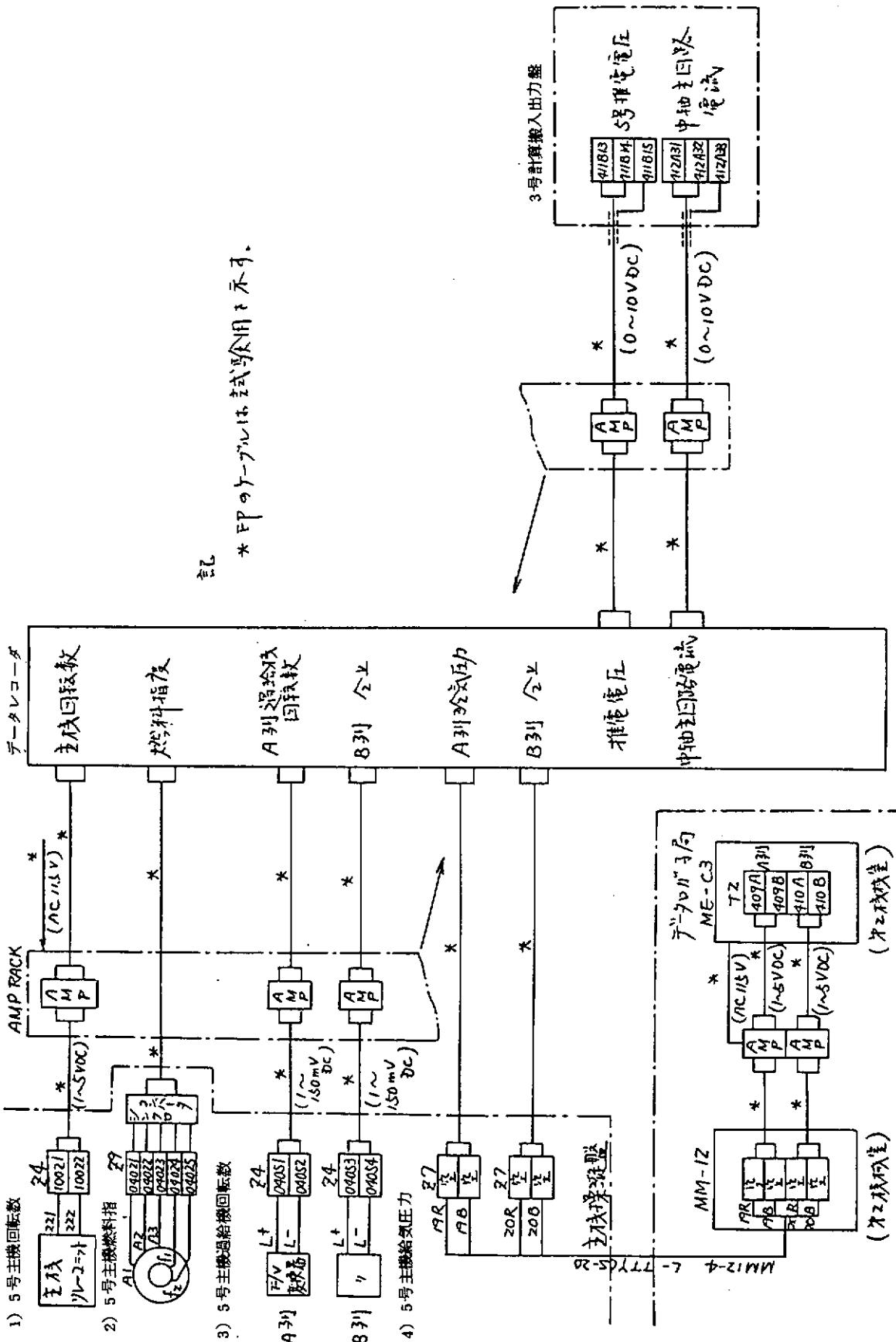


図 7.3.1.0 推進性能関係計測ダイヤグラム



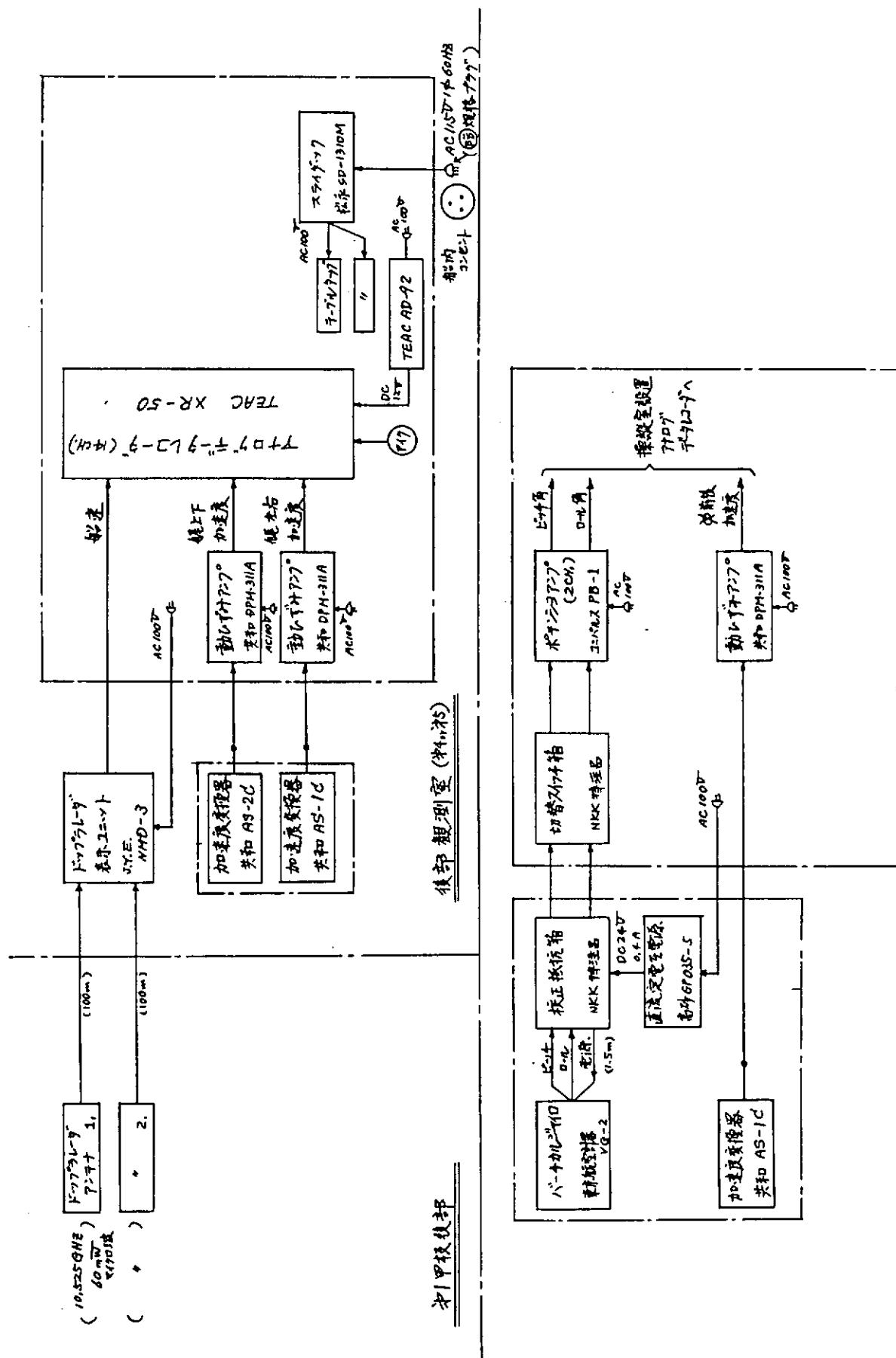


図 7.3.1.2 船体運動等計測ダイヤグラム

第25次南極地質観測「しらせ」行動範囲図

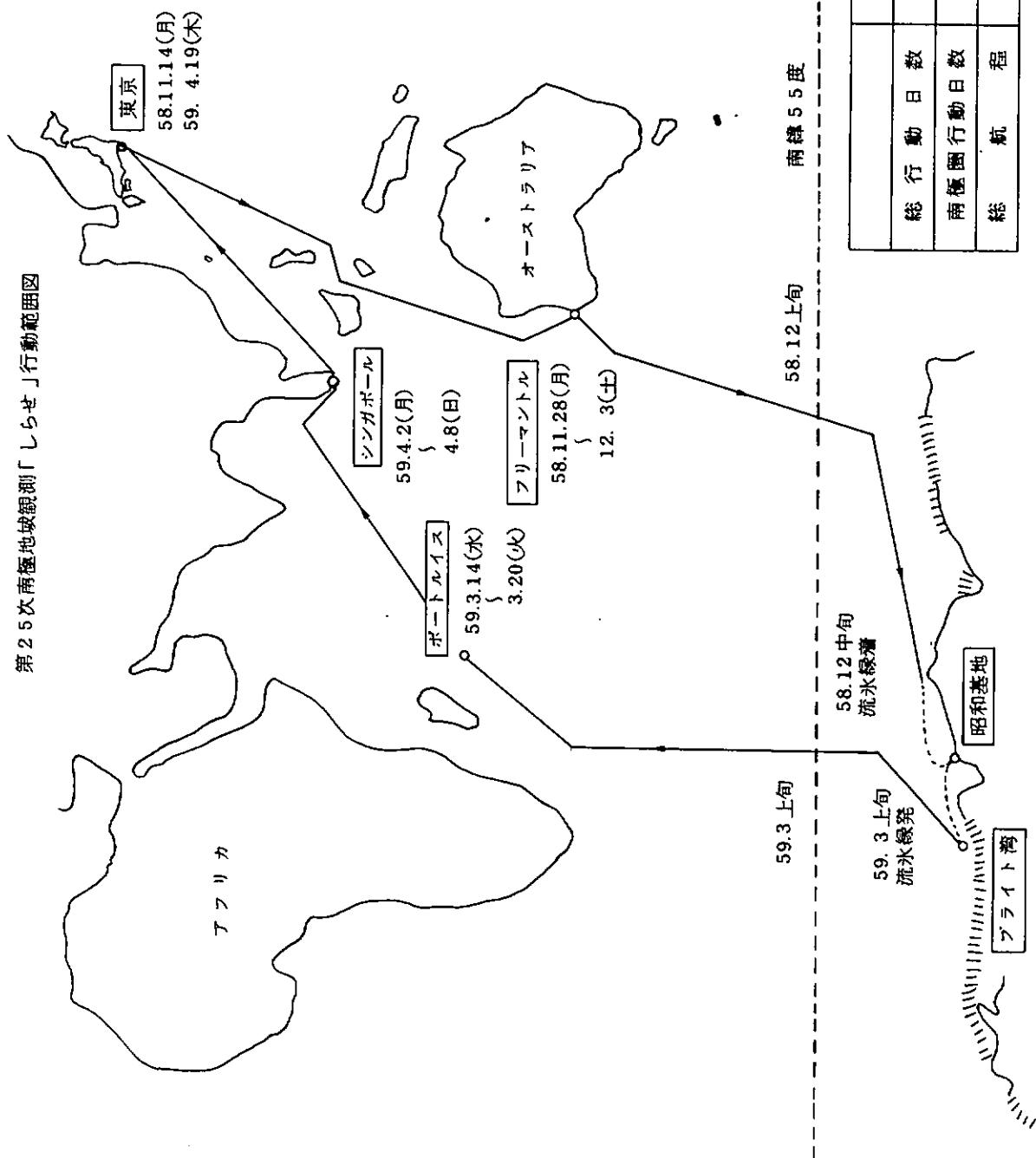


図7.5.1 “しらせ”行動計画

南極大陸

## 8. まとめ

本年度は、本研究も4年目に入り、北西航路における気象・氷況資料の収集、Joint Norwegian Research Project の文献による補足的資料の調査、氷海船舶試験水槽における模型試験、200,000 DWT 砕氷タンカー概略試設計のための基礎調査と概略試設計の一部開始、氷海用海洋構造物概念設計のための基礎資料の調査などの実施に加え、南極において砕氷艦「しらせ」による実船試験も開始する等、研究内容の拡充を図ると共に、所期の成果を得た。

### 8.1 氷況等調査

前年度までのポートフォート海～日本間の航路に加えて、本年度は、北極域からの資源輸送としてもうひとつの有力な航路である北西航路（ポートフォート海～カナダ東岸）に焦点を当て、本航路上における氷象（密接度、氷厚、氷丘脈の分布と大きさ、氷山の出現頻度、氷の移動速度等）、氷の機械的特性（圧縮強度、曲げ強度等）及び気象（気温、風向速度、降水量、湿度、大気圧、視界、日照時間等）に関するデータを、米国のアーテック社にまとめさせ、これを購入調査した。

本航路は、ポートフォート海～日本間の航路とはやゝ異り、北極諸島間の狭くて、且つ氷象の厳しい海峡を通過することと、バフィン湾からデービス海峡にかけては、グリーンランド西岸等から流出した氷山に遭遇する危険性があるということを特徴としている。

北西航路に限らず、北極域の一般的氷象及び土質についても資料を補足するため、Joint Norwegian Research Project の文献も購入調査した。

3年度にわたる氷況等の文献調査により、ポートフォート海を中心とした西回り、東回り両航路上の氷象・気象の概況を把握し得た。

### 8.2 氷海船舶試験水槽における模型試験

船体中央横断面形状について、side flare,  $B/d$ 、及び船底勾配などの船型因子が、平坦水中の抵抗性能に及ぼす影響を検討すると共に、船首形状及び $C_B$ を変化させたシリーズ模型船を製作し、氷中の模型試験を行って、その影響を調べた。

#### (1) side flare

長い平行部を有する氷海商船では、wall-sided 船型に比して、side flare 付船型は、氷中抵抗はやゝ大きくなるが、wall-sided 船型に見られた異常現象はなく、安定した氷中性能を示した。実海面での氷盤内圧力を考慮すると適当な side flare が必要と考えられる。

#### (2) $B/d$

砕氷船と異なり、長い平行部を有する氷海商船では、氷中抵抗は、船幅に比例せず、複雑な氷縁抵抗が無視し得ないことが明らかになった。

#### (3) 船底勾配

船首部での砕氷によって、船底部にかなりの砕氷片が廻り込むが、長い船体平行部が平底であれば、これらが底部に滞留し、その一部はプロペラ面へ浮上することから、推進効率上及び冷却水取入れ上問題がある。これらは船底勾配によってかなり改善されることが判ったが、砕氷片を早く浮上させることによって氷縁抵抗が増大する可能性もあり、船底勾配の選定には注意が必要である。

#### (4) 船首形状

stem 角については、砕氷船におけると同様、 $20^\circ$ 付近に最適値があるようと思われて、stem 角が $15^\circ$ 程度まで小さくなると、氷中航走もやゝ不安定で氷中抵抗が大きくなることが判った。

スプーン船首の効用は、供試船型に関する限り negative であるが、砕氷船と異なり、長い平行部を

有する場合には、適当な version が必要であろう。

### 8.3 氷海船舶概略試設計用基礎資料調査

最終年度に予定されている 200,000 DWT 砕氷タンカーの概略試設計の準備作業として構造、船体艤装及び機関W.G.によりそれぞれ 25 件、39 件及び 35 件の文献について、その概要を抄訳整理すると共に各分野の設計に関する動向を調査した。これにより上記概略試設計の為の有益な知見を得る事が出来た。

さらに当概略試設計についても初期的な基本計画を実施すると共にそれに基づき各要素技術分野につきそれぞれの W.G. において検討を開始し次年度において概略試設計を実施完了する見通しを得ることが出来た。

### 8.4 人工島に作用する氷荷重

人工島に作用する氷荷重は、人工島が浅海域に設けられること、人工島周辺に rubble の形成があること、人工島ビーチへの氷片に ride-up があることによって特徴づけられる。このような人工島に働く氷荷重、ride-up 等について調査を行い、state-of arts をとりまとめた。又、氷荷重算式を、設計、試算を行う際に便利な形にとりまとめた。

### 8.5 氷海用海洋構造物の係留及び非常時離脱方式の検討

浮遊式氷海リグについて、その係留システム及びその設計条件、ウィンチ等係留機器、係留システムの施工、維持、保安、並びに非常時離脱システムと復帰方法等に関する調査、検討を行った。又、モノコーン型、及びケーソン型氷海リグについても同様の調査、検討を行った。

### 8.6 「しらせ」による氷海実船試験

第 25 次南極観測事業に協力し、南極観測艦「しらせ」により南極氷海域氷海航行性能実船試験を行った。今回は予備的性格のものではあるが、氷況データ、推進性能関係、主機性能関係データの収集ができ、この関係の情報の乏しい我が国にとって貴重な資料となるものと期待される。データの本格的解析は「しらせ」の帰国を待って行われる。

### 8.7 その他の

氷海タンカー C<sub>B</sub> シリーズ模型船、及び円柱群模型についてはいずれも氷水槽における模型試験を終了し、現在解析、検討中である。