

# SR 500

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

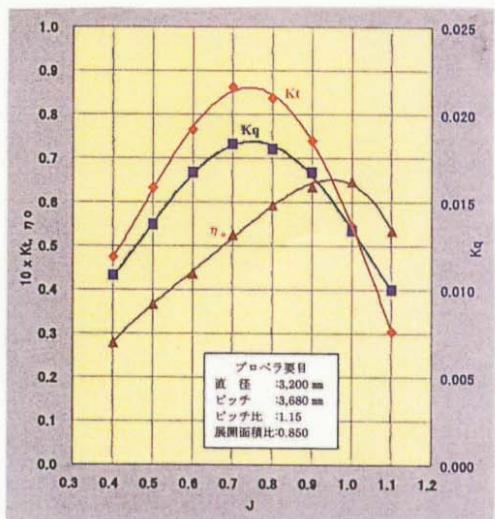
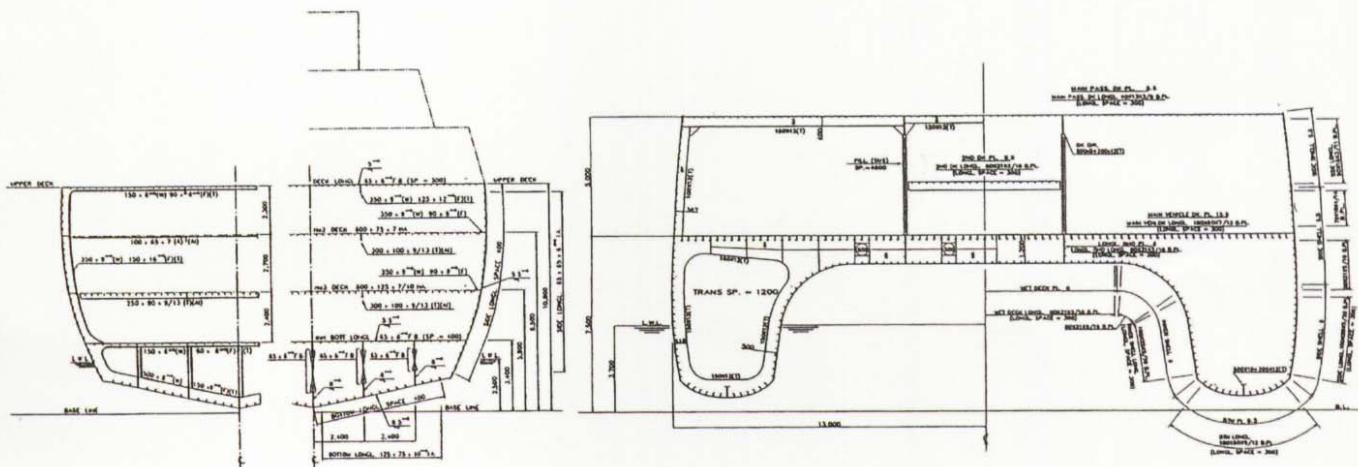
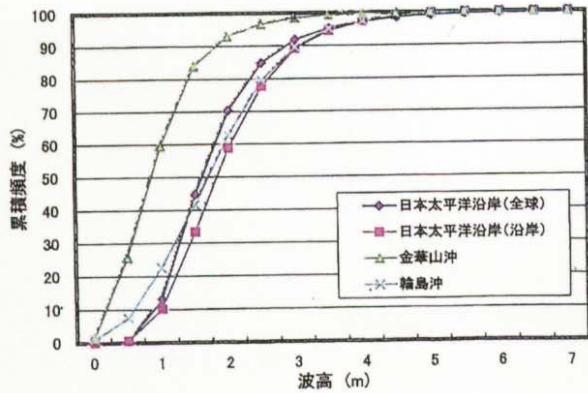
「船舶技術の創造的展開に関する調査研究」

## 第 502 分 科 会

高速船技術の創造的展開のための調査研究

成 果 報 告 書

平成14年3月  
社団 日本造船研究協会



# SR500「船舶技術の創造的展開に関する調査研究」

## 第502分科会「高速船技術の創造的展開のための調査研究」

### 要 約

### SHIP RESEARCH PANEL 502

#### Research for Development of Large Fast Ship Building Technology

Many large fast ships built in Australia and Europe are in service. In Japan, no large fast ship is and it seems that our fast ship building technology is inferior to Australia and Europe. In the future needs, all large fast ships will be supplied by such imported technology and no fast ship building technology will remain in Japan. Consequently, the technology shall be leveled up. For this purpose, data of fast ships were collected and analyzed. In the result, it is appeared that the propulsive performance depends on the displacement and no hull form. Trial-preliminary design is carried out on actual mono hull ferry TMV114 and catamaran INCAT96 to compare with between the released and estimated value about ship's weight. It was showed that the released value is much lighter in both of mono hull and catamaran than estimated one.

#### 1. 研究の目的

船舶の高速化を実現するため、世界中において、高度な造船技術を結集することにより様々な研究開発が行われてきた。我が国においても、T S Lを始めとして、各種の高速船開発が行われてきている。しかしながら、実用化されているものは、殆どが、外国のライセンスによるものであり、独自に開発されたものは、水中翼双胴船や半没水型双胴船等、いずれも小型で特殊な高速船であり、数隻に留まっている。一方、豪・欧州では、最近になって、従来存在しなかった通常型の大型高速船が、多数建造されており、我が国においても、豪州デザイン会社のライセンス建造例、更には、船自体の輸入が行われるケースも出てきている。その結果、大型高速船の建造例が皆無に等しい我が国との間には、高速船技術において大きな差が生じていると考えられ、将来、我が国においても大型高速船の需要が生じた場合、多くが外国技術で賄われることになり、高度な造船技術と言える高速船分野における我が国の開発・設計・建造技術力の空洞化を招く恐れもある。従って、高速船技術を支える人的資源等を維持し、その展開を図るには、豪・欧等のレベルに追いつき、追い越して、一般船におけるような国際的競争が可能な領域に達することが望まれ、このために必要なブレークスルー技術の検討を行う。

## 2. 研究の目標

我が国では、大型高速船の実績が殆ど無いため、豪・欧と比較し、その技術力において相当の開きがあるように思われ、技術の向上には、その差異を明らかにし、その上にブレークスルー技術を構築していくこととなる。そのためには、大型高速船の文献調査に加え、実船調査を行い、できるだけ広範囲の高速船データを収集する。適当な船を対象に試設計を行って実際の性能と比較し、軽量化技術・船型技術等、基本的なレベルを分析・評価する。即ち、代表的な単胴及び双胴型各1隻を対象に、要目、船級、基本配置、載荷条件、主機関出力を同じとして、一般配置、中央横断面図等の基本図を作成し、艤装品等を想定して、我が国の高速船技術による試設計を行う。これらの調査・分析結果を基に彼我の差について、規則、海象の関係等を含めた総合解析・評価を行い、更に、大型サーフェスプロペラ等の高効率推進装置及び乗り心地に関わる船型・船体運動制御装置の評価等を加えた総合的な高速艇技術について検討する。

## 3. 研究の内容

### 3.1 高速船技術資料の収集と分析・評価

#### 3.1.1 高速船関係データ集

高速船技術の検討には、広範囲で詳細なデータの収集・評価が基本であり、文献に加え、殆どの大型高速船が就航している欧州において乗船調査を行った。また、将来の高速フェリー動向を見極めるため、在来型フェリーの要目も収集し、船型要素等を比較した。最も重要な「長さ排水量比」は、値が大きく、7～9に分布していることが示された。その他、高速船に関連した船級規則等の比較・評価、ウォータージェット推進器についてもデータ収集を行った。

#### 3.1.2 船型と推進性能の分析・評価

大型高速船は、速力の絶対値は高いが、単胴・双胴共全て半滑走領域にあり、船体抵抗に及ぼす滑走揚力の比率が低い。従って、船体抵抗は、模型試験データ等を基に排水量型船と基本的に同様の手法で推定できる。そこで、彼我の速力性能の差と船型との関係を検証するため、性能及び船体重量データが明確な船について、所要出力を推定し、公表値と比較した。

図3.1.2-1及び3.1.2-2に示すように、単胴船は勿論のこと、船型がユニークな双胴船についても、公表値と推定値は殆ど一致しており、この種大型高速船においては、推進性能は船型に依存せず、長さ排水量比、即ち要目が類似であれば、船体重量によって決まることが検証された。従って、彼我の性能差は、全て軽量化技術の差によるものと言える。

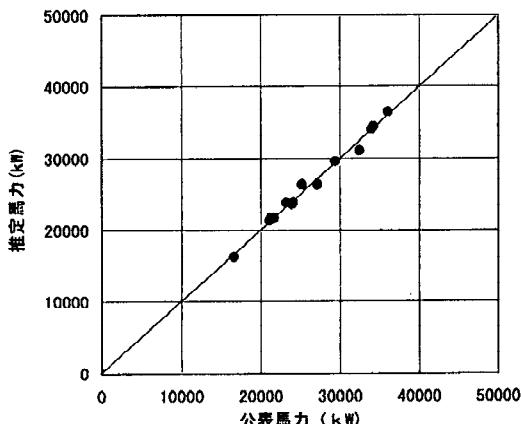


図3.1.2-1 単胴船型出力の公表値  
と推定値の比較

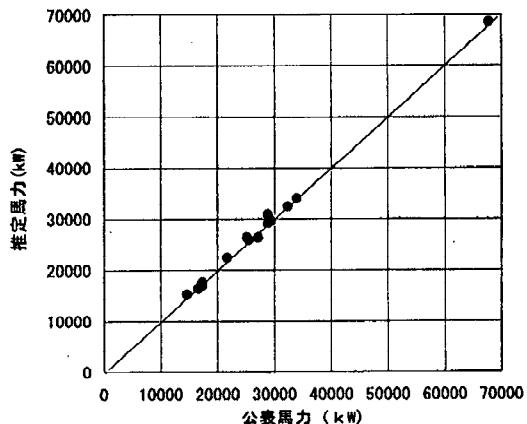


図3.1.2-2 双胴船型出力の公表値  
と推定値の比較

### 3.2 大型高速船の試設計による重量推定と評価

軽量化手法を検討するためには、まず、彼我の技術レベルの差を把握することが基本であり、基本データが公表されており、乗船調査も行ったイタリア製単胴船のTMV114、豪製最新最大の双胴船INC96m型を対象に、主要目、船級等、明らかになっている要目は同じとし、不明な艤装品等は想定して、一般配置図の復元、中央横断面図の作成等、試設計を行い船体重量を比較した。対象船の主要目を表3.2に示す。図3.2-1及び3.2-2に中央横断面図を示す。

公表値は軽量であり、推定値は、両船型共、相当重い結果となった。この種の船では、載貨重量が軽荷重量の20%程度しかなく、我が国の現状レベルでは、同一条件で設計した場合、十分な載荷重量が確保できず、燃料費等の運行費が悪化する。即ち、現状レベルで

表3.2 主要目の比較

	TMV114	INCAT96
船体材料	高張力鋼／軽合金	全軽合金
全長×幅 (m)	113.45×16.5	96.0×26.0
載貨重量 (t)	547	800
最大搭載人員	729	755
車両搭載数	200	230
速力 (ノット)	40	38
主機関 (kW)	6,000×6基	7,080×4基

は、通常の船舶が保持しているような国際競争力の確保は困難であり、将来、我が国においても大型高速船の需要が生じた場合においても、輸入される可能性が高い。従って、軽量化手法について検討を行う必要がある。

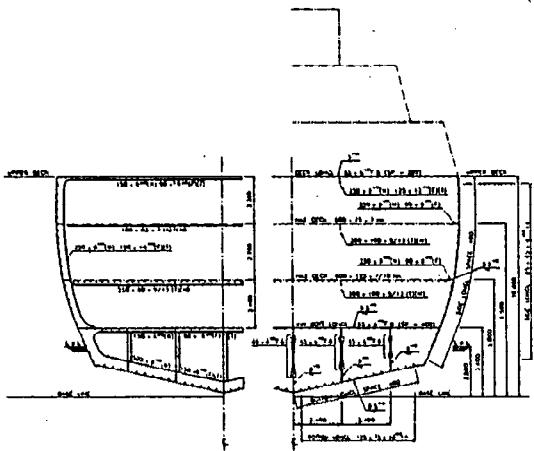


図3.2-1 単胴船TMV114型中央横断面図

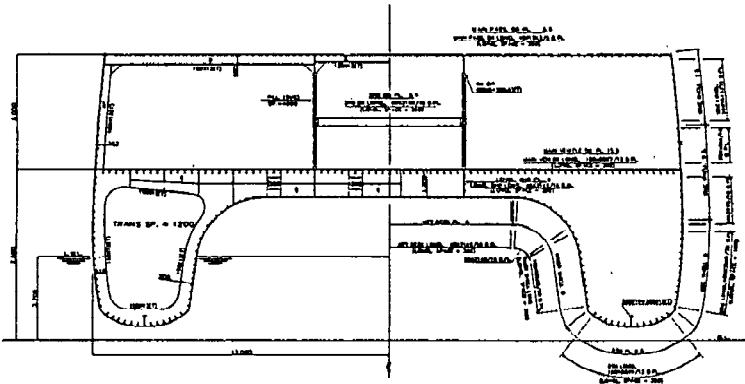


図3.3-2 双胴船INCAT 96m型中央横断面図

### 3.3 高速船の性能向上に関する検討

#### 3.3.1 船体重量の軽量化

豪・欧実績と我国現状推定結果との重量差は大きく、軽荷重量の60%以上になる構造重量即ち構造設計の考え方によるものであるとも思われる。例えば、就航海域は、波浪中と定義された外洋であるが、実際の海象が穏やかであれば、規則を斟酌して適用している可能性がある。従って、最も軽くなるケースとしてN V平水中規則(R 5)による構造設計を行ってみた。96m型双胴船の場合、構造重量は、469.5tであり、波浪中規則(R 1)による571.2tに比べ、100t以上も軽減した。実際には、この中間にあると考えられるが、このことは、規則の算式に拘らず航行海域の海象に適合した構造設計を行えば、相当の軽量化が可能であることが示している。

船体・機関・電気各艤装重量についても、簡潔で狭い操縦室、ウイング無しブリッジ等、我が国には無い合理的設計により、軽減されていると考えられ、今後の指針を得ることが出来た。

#### 3.3.2 推進性能の向上

キャビテーション性能や配置の面より、大型高速船は、全てウォータージェット推進である。サーフェスプロペラは、大型船には採用できないとされてきたが、推進性能の向上を図るために、上記試設計対象船に対して大型サーフェスプロペラを試設計し、配置の検討等を行った。

表3.3.2に要目を示す。プロペラ効率は0.64~

0.65であり、ウォータージェット推進器と同等であるが、船体重量低減により、総合効率は、優位にある。

表3.3.2 大型サーフェスプロペラの要目

項目	TMV114	INCAT 96
主機関／軸数	6機3軸 12,000KW／軸	4機2軸 14,160KW／軸
直 径 (mm)	3,200	3,800
ピッヂ (mm)	3,680	4,020
ピッヂ比	1.150	1.0579
展開面積比	0.85	0.90
翼 数	5	5

### 3.4 気象・海象条件の調査

合理的な軽量構造設計を行うには、就航海域の気象・海象データが重要である。近年、風や波浪の数値モデルによる海上風と波浪の推算データベースが構築されており、任意の海域、日時のデータ抽出が可能である。そこで、全球波浪推算データにより、乗船調査を行った欧州フェリー航路及び日本沿岸海域の気象・海象条件を調査した。日本沿岸については、日本沿岸波浪推算データベースによる推算も行い、比較した。両者の差は小さく、全球波浪推算データベースでも十分な推定精度を有しており、設計波浪荷重として使用できる可能性を示した。

### 3.5 高速船の船体運動制御装置

乗り心地の面より、高速船技術の中で、耐航性の向上は極めて重要な課題である。Wave Piercing CatamaranやHSS 1500のセミSWATH等、耐航性向上を狙った船型について調査すると共に、殆どの高速フェリーが装備している船体運動制御装置（ライドコントロールシステム）についても調査した。今後も一層の改良が続くものと考えられる。

## 4. 得られた成果と今後の課題

- (1) 高速船に関する広範囲なデータ集を構築した。技術検討の方向付けに有用である。
- (2) 推進性能は、单胴・双胴を問わず、船型に関係無く、主要目と船体重量に関係することを明らかにし、先行している豪・欧との性能差は、軽量化技術であることを示した。
- (3) 乗船調査した114m型单胴船TMV114及び96m型双胴船INCAT96について、要目、船級等を同一とした試設計を行い公表重量と比較した。両船型共、推定値は、公表値より相当重たい結果となり、豪・欧との性能差は、船体重量差に起因していることが示された。
- (4) 海象条件と規則、構造重量の関係等について検討した。海象条件に合った合理的な軽量構造とすれば、相当の軽量化の可能性があり、海象条件の推算が重要であるため、波浪推算データベースによる方法について調査し、実用に供し得る可能性を検証した。
- (5) 大型サーフェスプロペラについての概略検討を行い、全推進効率では、ウォータージェットを凌駕しており、高効率推進装置として実用化の可能性があることを示した。
- (6) 乗り心地と船型、船体運動制御装置について調査した。今後、一層の高速化により、制御装置の必要性は益々増加するものと思われ、我国においても、独自技術による運動制御装置の開発・実用化が望まれる。
- (7) 豪・欧の軽量化は、多数の建造実績による習熟度によって実現しているものと考えられ、当面、多数の実船建造が期待できない我が国では、対象船を設定した具体的構造様式の検討、救命・防火用軽量材料の実験研究、軽量係船装置の開発等、各構成要素についての軽量化の推進が今後の課題である。

## はしがき

本成果報告書は、日本財団の助成事業として実施した、日本造船研究協会第500研究部会「船舶技術の創造的展開に関する調査研究」のうち平成12年度から平成13年度の2カ年計画で実施した第502分科会「高速船技術の創造的展開のための調査研究」の成果を取りまとめたものである。

### 第500研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部 会 長	小山 健夫（東京大学名誉教授）	葉山 真治（富山県立大）
委 員	大和 裕幸（東京大学） 勝原光治郎（海上技術安全研究所） 油谷 正彰（商船三井） 青木征二郎（日本海洋科学） 小澤 宏臣（三井造船）	荒井 宏範（日本海事協会） 木原 和之（日本海洋科学） 河辺 勲（石川島播磨重工業）
事 務 局	(日本造船研究協会)	宮澤 徹 武田 晴雄
		山内 康勝 海部 雅之
大森 勝		

### 第502分科会委員名簿

(敬称略、順不同)

分科会長	木原 和之（日本海洋科学）	
幹 事	荒井 宏範（日本海事協会）	
委 員	池田 良穂（大阪府立大学） 鈴木 靖（日本気象協会） 増田 敬三（川崎重工業） 小澤 宏臣（三井造船） 山磨 敏夫（ナカシマプロペラ）	小河原義明（日本海事協会） 仲井 圭二（日本気象協会） 八田 和也（日立造船） 中山 一夫（住友重機械工業） 大内 一之（ナカシマプロペラ）

### 討議参加者

(敬称略、順不同)

井田 正道（日立造船）	山崎 幹夫（ナカシマプロペラ）
石原 泰明（ナカシマプロペラ）	
事 務 局	(日本造船研究協会)
	宮澤 徹 武田 晴雄
大森 勝	

## 目 次

1. 研究の目的	1
2. 研究の目標	1
3. 研究の内容	2
3. 1 高速船技術資料の収集と分析・評価	2
3. 1. 1 高速船関係データ集	2
(1) 高速フェリーと在来型フェリー要目との比較・評価	2
(2) 高速船関連船級規則の比較・評価	3
(3) ウォータージェット推進器要目表	3
3. 1. 2 船型と推進性能の分析・評価	3
(1) 高速船の推進性能推定法	3
(2) 既就航船における公表値と推定値の比較・評価	4
3. 2 大型高速船の試設計及び評価	7
3. 2. 1 試設計対象船の選定と試設計	7
3. 2. 2 高速船重量推定と評価	13
3. 3 高速船の性能向上に関する検討	13
3. 3. 1 船体重量の軽量化	13
(1) 高速船の船体構造	13
(2) 高速船の舾装	16
3. 3. 2 推進性能の向上	17
(1) 高効率推進装置	17
(2) 大型サーフェスプロペラの試設計と評価	17
3. 4 気象・海象条件の調査	18
3. 4. 1 波浪推算データベース	18
3. 4. 2 我が国周辺の気象・海象	18
3. 5 高速船の船体運動制御装置	19
3. 5. 1 高速船の船型と耐航性能	19
3. 5. 2 ライドコントロールシステム	20
4. 得られた成果と今後の課題	20

## 1. 研究の目的

船舶の高速化を実現するため、世界中において、高度な造船技術を結集することにより様々な研究開発が行われてきた。我が国においても、T S Lを始めとして、各種の高速船開発が行われてきている。しかしながら、実用化されているものは、殆どが、外国のライセンスによるものであり、独自に開発されたものは、水中翼双胴船や半没水型双胴船等、いずれも小型で特殊な高速船であり、数隻に留まっている。一方、欧州や豪州においては、最近になって、豪製ウェーブピアサーに代表されるように、従来存在しなかった通常型大型高速船が、多数建造されるようになってきており、我が国においても、豪州デザイン会社のライセンス建造例、更には、船自体の輸入が行われるケースも出てきている。その結果、大型高速船の建造例が皆無に等しい我が国との間には、高速船技術において大きな差が生じていると考えられ、将来、我が国においても大型高速船の需要が生じた場合、多くが外国技術で賄われることになり、高度な造船技術と言える高速船分野における我が国の開発・設計・建造技術力の空洞化を招く恐れも考えられる。従って、高速船技術を支える人的資源等を維持し、その展開を図るには、豪・欧等のレベルに追いつき、更には追い越して、一般船における国際的競争が可能な領域に達することが望まれ、このために必要なブレークスルー技術の検討を行うことを、本研究の目的とする。

## 2. 研究の目標

豪・欧において開発建造されている大型高速船においては、その公表された船体重量及び推進性能は、我が国における通常型の小型高速艇をベースとして想定した重量・性能とは相当の開きがあるように考えられる。従って、高速船技術の向上のためには、その技術力の差異を明らかにし、その上にブレークスルー技術を構築していくことが必要となる。そのためには、既就航大型高速船の文献調査に加えて、代表的な船について実船調査を行うことによって、高速船データを収集し、詳細調査を行った船を対象に試設計を行い比較することによって、軽量化技術・船型技術等、基本的な現状技術レベルを分析・評価する。具体的手法としては、詳細データ入手できた代表的な単胴型高速船及び双胴船各1隻を対象に、同じ設計要求、即ち、主要目ないしは寸法制限、船級、載貨要件、主機関出力等と同じとして、一般配置図、中央断面図等の基本図を作成し、データが入手できない詳細な艤装品等を想定することにより、我が国の現状高速船技術レベルによる試設計を行う。これらの調査・分析結果及び試設計結果を基に、先進レベルとの差について、規則、設計対象海域を含めた総合的な解析・評価を行い、更に、大型サーフェスプロペラ等の高効率推進装置の評価と試設計及び乗り心地を含めた船体運動制御装置に関する資料収集と評価等を加えた総合的な高速船技術に関して検討する。

### 3. 研究の内容

#### 3.1 高速船技術資料の収集と分析・評価

##### 3.1.1 高速船関係データ集

高速船技術の検討を行うには、出来るだけ広範囲に亘る詳細なデータベースを作成することが基本であり、FAST FERRY INTERNATIONALに代表される専門誌、インターネットによる文献収集に加え、豪州製、欧州製の区別無く殆どの大型高速船について、高速フェリーが就航している欧州に出向き、2回に亘り、乗船実地調査と船主・乗員への聞き取り調査を行った。また、将来における高速フェリーの大きさや速力等、高速船技術の発展動向を見極めるため、高速フェリーだけでなく在来型の中・低速フェリーについても要目を収集した。その他、高速船に関連した船級規則等の比較・評価、ウォータージェット推進器についてもデータ収集を行った。

##### (1) 高速フェリーと在来型フェリー要目との比較評価

欧洲を中心に就航中の高速フェリーの速力域は、全て半滑走領域であり、その船体抵抗は、フルード数と長さ排水量比 ( $L/\nabla^{1/3}$ 、 $L$ ：船長、 $\nabla$ ：排水容積) によって決定されると考えられ、当然のことながら、その値は、在来型中低速フェリーに比べてはるかに大きい。高速フェリーと在来型フェリーとの船型特徴を最もよく表す例として、船長と長さ排水量比の関係を図3.1.1に示す。

両船種共、長さ排水量比は、船長の増大に伴って増加するが、高速フェリーは、7～9、中低速フェリーは、5～7に分布しており、船型要素の特徴が鮮明である。

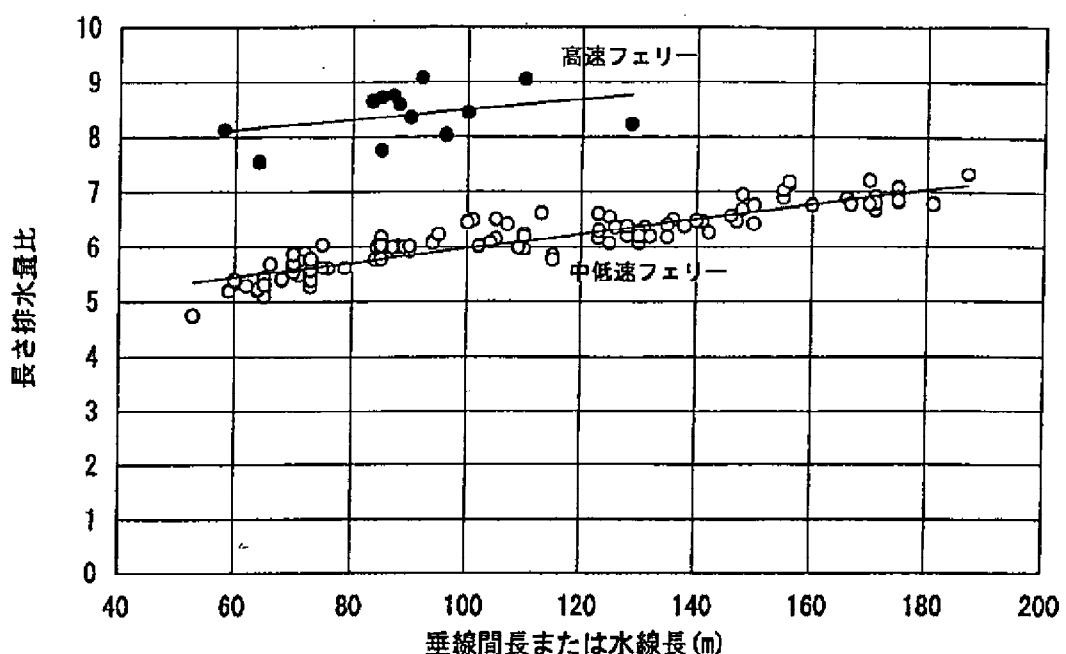


図 3.1.1 船長と長さ排水量比との関係

## (2) 高速船関連船級規則等の比較・評価

在来の排水量型船については、LLC、SOLAS等の国際条約ならびに船級協会の定める規則に従って設計・建造されるので、船級協会間で構造寸法等に大きな差が出ることはないが、高速船については、形式が多様なこと、また、その用途、使用海域が限られ、比較的最近まで国際航海に投入されることが無かったため、船級規則は協会毎の独自の開発・発展を反映しており、かなり複雑な構成となっている。従って、国際的に合意された技術基準は、1977年にIMOで制定されたDSCコードが始まりであり、これを基礎としたDNVやLRの高速船ルールを経て、1994年IMOにおいてHSCコードが制定され、1996年に発効した。

HSCコードは、更に全面改定され、2002年7月1日にはHSCコード2000年版が発効する。本研究では、豪・欧製大型高速船の船級の中で最も多いDNV高速船規則、NK及びHSCコードを比較評価した。

特に船体重量に最も影響が大きい船殻構造については、HSCコードには具体的な規定は無く、「Design by Analysis」であり、DNVも同様に設計者に広範囲な裁量を与えており。これに対し、NK高速船構造基準では、設計荷重及び船体構造について、具体的な算式を与えているが、大型高速船の実績が皆無であることもあって、対象は、長さ50m以下の単胴型高速船であり、欧州にて就航中の大型高速船のサイズに対しては、そのまま適合するのではなく、やはり「Design by Analysis」方式となると考えられる。

## (3) ウォータージェット推進器要目表

大型高速船に装備される高入力のウォータージェット推進器のメーカーとしては、世界的メーカーであるKaMeWa社、Lips社の他に、我が国では、三菱重工業、川崎重工業、新潟鉄工、ナカシマ荏原、イシガキ社等がある。しかしながら、実績の点では、三菱重工業製の試作品がTSL実海域模型船「飛翔」(現「希望」)に、また、川崎重工業の初号機が100型双胴高速フェリー「はやぶさ」に搭載されているのみであり、世界規模で見れば、実績は殆ど無いに等しい。全ての豪・欧製大型高速船は、KaMeWa社またはLips社製である。なお、KaMeWa社は、入力50MWの機種を開発中と伝えられており、一層高速・大型化する豪・欧製高速フェリーへの対応を考えていると想定される。

### 3.1.2 船型と推進性能の分析・評価

#### (1) 高速船の推進性能推定法

大型高速船は、速力の絶対値は高いが、船長が長いため、单胴・双胴を問わず、全て半滑走型であり、船体抵抗に及ぼす滑走揚力の比率が低い。従って、船体抵抗は、排水量型船と同じく剩余抵抗係数と摩擦抵抗係数との組み合わせで推定することができる。この場合、剩余抵抗係数については、フルード数がラストハンプを超えていたため、剩余抵抗係数、フルード数、長さ排水量比の関係をプロットした適当な図表によって求めることができる。また、

摩擦抵抗については、シェーンヘルの推定式等に、模型実験や実績をベースに適当な修正を行って求めることができる。なお、船体抵抗推定には、浸水面積が大きな影響を及ぼすことになるので、概略推定には、フルードやオルセンの式に、適当な修正係数を乗じて求めて良いが、船型の自由度が大きい双胴船については、出来るだけ、概略線図を作成して求める方が望ましい。

次に、推進効率については、就航中の大型高速船は、キャビテーション性能及び配置の面より、全てがウォータージェット推進であり、プロペラのように設計の自由度が無いため、吸水口の形状が、一般的なフラッシュ形である限りは、推進器の効率は、概ね速力にリンクしていることから、様々な実績推進器効率を速力ベースにプロットした図より求め、機械効率を考慮して推定することができる。

## (2) 既就航船における公表値と推定値の比較・評価

上記の考え方による推進性能の推定精度及び船型による船体抵抗の差異について考察するため、収集した高速船データの中で、要目、排水量、主機関出力、速力及びその定義が公表されているものについて、所要出力を推定した。単胴・双胴の別無く、公表値と推定値との関係は、概ね 1 : 1 であり、半滑走型速力域にある高速船は、船型に関係なく、フルード数、長さ排水量比によって船体抵抗が一義的に求められることが検証されたことになる。

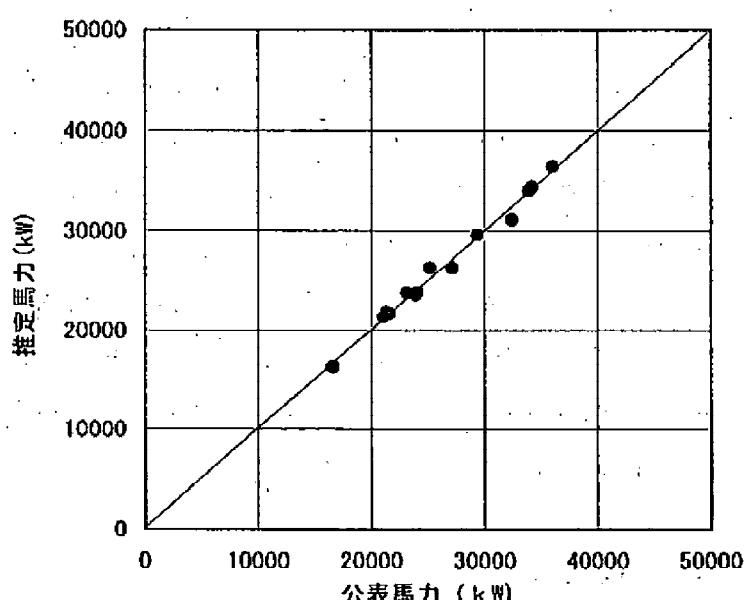


図 3.1.2-1 単胴船型出力の公表値と推定値の比較

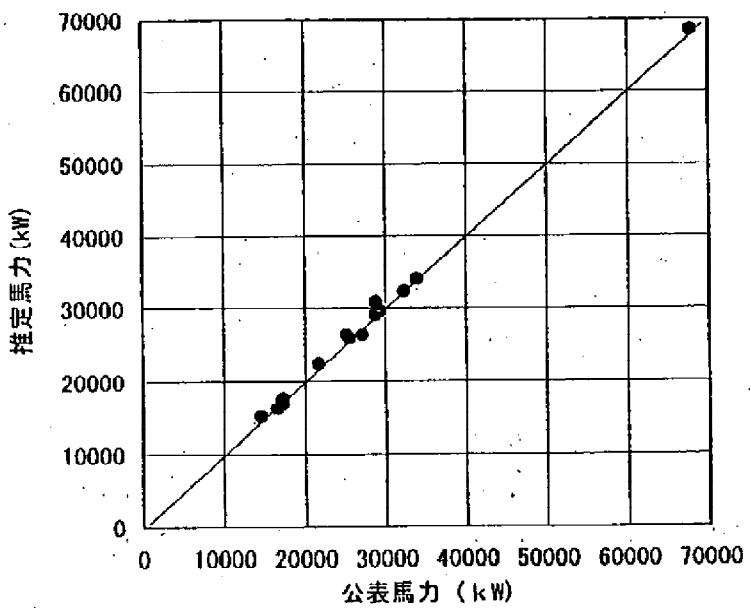


図 3.1.2-2 双胴船型出力の公表値と推定値の比較

因みに、船型が異なっている双胴船の例として、要目、載貨重量、車両搭載数が殆ど同じである角型船型 I N C A T 86 と球状船首付きセミ SWATH 船型、Auto Express86を比較して3.1.2-1に示すが、主機関出力と速力は殆ど同じ値となっており、推進性能が船型に関係ないことを示している。従って、高速船の技術の優劣は、船体重量によることとなり、高速船技術のブレークスルー技術を検討するには、何よりもまして、以下に述べる軽量化技術が第一の課題となる。

表 3.1.2 86m型双胴船要目比較表

	INCAT 86	Auto Express 86
船 型	ウェーブピアシング型 細長角型	球状船首付きセミ SWATH型
全 長 (m)	86.62	86.00
水線長 (m)	76.41	74.20
全 幅 (m)	26.00	24.99
双胴幅 (m)	4.33	5.40
喫 水 (m)	3.50	3.20
フルード数 (40ノット)	0.744	0.763
載貨重量 (t)		
通常航海	340	379
最 大	345	379
排水量 (t)		
軽 荷	810	978
通常航海	1,150	1,357
満 載	1,155	1,357
旅客数 (人)	776	768
車両搭載数 (台)	200cars 182cars + 4 coaches	203cars 75cars + 10coaches
主機関 (kW)	Ruston20RK270 × 4 7,080 × 4	Cat3618 × 4 7,200 × 4
速力と主機関出力		
載貨重量 (t)	340	379
排水量 (t)	1,150	1,357
定格出力 (kW)	28,280	28,800
速力 (ノット)	44	42
90%定格出力 (kW)	25,488	25,920
速力 (ノット)	40	40
特記事項	角型船型故、浸水面積は、 単胴船型用の推定式及び 修正係数による値を2倍 したもので求められる。	丸型船型故、浸水面積が 小さく、角型船型より排 水量が多い分を相殺して いると考えられる。

### 3.2 大型高速船の試設計及び評価

#### 3.2.1 試設計対象船の選定と試設計

実績面で大きく先行している豪・欧の高速船に追いつき、追い越すに足るブレークスルー技術を検討するには、我々自身の高速船技術レベルを評価・認識することが基本的に重要である。そこで、欧州において就航中の高速フェリーの中から、文献において船体重量や速力等、基本要目が明らかな船を選定し、乗船等による実船調査を行って、文献では不明な部分を可能な限り把握した上で試設計を行い、船体重量等を比較することによって彼我の技術レベルを明らかにすることとした。

即ち、通常、船主が造船所に引き合う時に示される所謂設計条件「主要寸法或いはその制限値、船級、載貨条件、主機関等」を、検討対象既就航船と全く同一にして試設計を行い、船体重量を算定して、公表或いは入手データと比較する。

この比較により、軽量化における技術レベルの差を理解・認識することができ、如何にすれば、先進の豪・欧に追いつけるかという技術検討のスタートラインに付くことが可能となる。

さて、就航中の大型高速船即ち高速フェリーは、主として豪州で建造或いはデザイン（豪社デザイン、スペインBazan造船所建造例等もある）されている双胴船と欧州で建造されている単胴船とに分類されるため、各々1船型を選定して、試設計を行った。因みに、欧州独自のデザイン・建造の双胴型大型高速フェリーは、超大型船として有名な HSS 1500 及び 900 と SEA JET 250 のみである。ここで、豪州の双胴船は、INCAT社によるウェーブピアシング型高速フェリーとAustal Ships社によるAuto Expressシリーズがあるが、元来大型高速船の扉を開けたのは、1990年に英仏海峡に就航したINCAT社の74m型であり、その後、次々に大型化しながら高速フェリーの世界をリードしてきた上、船体重量等、各種データも公開されていることから、対象船としては、ウェーブピアサーの中から最も新しくて大きいINCAT 96m型を選定した。一方単胴型については、TSL実海域模型船「飛翔」を改造した高速フェリー「希望」を除けば、我が国唯一の35ノット級の高速フェリーである「ゆにこん」との比較が可能なように、同じく主船体が高張力製のイタリア建造Aquastrada TMV114を選定することにした。両船型については、海外調査において、できるだけ詳細データを集めることとした。

試設計においては、公表ないしは海外実船調査等で入手したデータに基づいて、一般配置図を復原し、これを基に詳細艤装品等を想定した。

次に、船体重量において最も影響が大きい船殻重量の算定精度を向上するため、各船級に基づいて構造計算を行い、中央横断面図を作成し、これを基に、通常用いている長さ当たりの重量を推定する方法で、船殻重量を算出した。なお、単胴船TMV114については、単胴船型であり、船型がスタンダードであるため、概略線図を作成し、船長方向10断面について、構造寸法を決定して船殻重量の推定精度の向上に努めた。

競装重量の中で、甲板機械や空調機等、海外メーカーが不明なものについては、容量を推定し、国産品とした。機関部・については、主機関重量や発電機重量の占める割合が大きいため、推定値は、実態に最も近いものと思われる。

両船型の要目及び船型の特徴等を、表3.2.1に並べて示す。

表 3.2.1 試設計対象船要目

船 型	114m 単胴船 Aquastrada TMV114	96m型双胴船 INCAT 96 Wave Piercing Catamaran
船 名	Volcan de Tauro	Bonanza Express
航 路	スペイン領カナリア諸島 Las Palmas～Santa Cruz	同左
造 船 所	Rodriquez (伊)	INCAT Tasmania(豪州)
船 級	B V	D N V
全 長 (m)	113.45	96.00
水 線 長 (m)	96.20	86.00
全 幅 (m)	16.5	26.00
深 さ (m)	10.80 5.70	12.50 7.50
喫 水 (m)	2.50	3.70
双 胴 幅 (m)		4.50
載 荷 重 量 (t)	547	800
最 大 搭 載 人 員	729人 (旅客 712+乗員 17)	755人 (旅客 735+乗員 20)
搭 載 車 両	乗用車 200台 トラック 3台+乗用車 186台	乗用車 230台 トレーラー24台+乗用車95台
主 機 関	Cat3616 6,000KW×6基	Ruston20RK270 7,080KW×4基
推 進 器	ウォータージェットLips LJ135D	ウォータージェットLips LJ150D
速 力 (満載)	40ノット	38ノット
船型及び仕様の特徴	主船体を高張力鋼として、1993年に登場したAquastradaシリーズの大型版。TMV90及び100がガスタービン搭載であるのに対し、運行経済性を重視してディーゼル搭載している。  船型は、伝統的なディープV船型。船底形状は、オメガ型のように耐航性能を考慮した船型ではなく、ほぼ直線であり、浸水面積ができるだけ小さくして船体抵抗の軽減を図っている。  船側と船底の交差部であるチャイン部は、チャイン材も無く、船底両端を平坦にした伝統的なスタイルを踏襲している。	小型船からスタート。実績に基づいた改良を重ねながら、徐々に大型化。96m級になって初めて重車両(トレーラー)の搭載が可能となり、その1番船として“Devil Cat”が誕生。本船は、それに旅客定員を増加する等の改造を加えた2番船として建造。WPC船型の特徴は、双胴を全面的に細長形状とした上に、船首部分を極細形状として、波を突っ切る形にしていること、通常の単胴型高速船とは逆に、船尾から船首に掛けて船底を切り上げていること、更には、船尾船底を切り上げてトランサム抵抗の軽減を図っていること、船首中央に縦搖用予備浮力確保のための第3胴を有すること等、船型的には種々の特徴を有している。

以下、図3.2.1-1及び図3.2.1-2に単胴船 T M V 114ベースの一般配置図及び中央横断面図を、  
図3.2.1-3及び図3.2.1-4に双胴船 I N C A T 96mベースの一般配置図及び中央横断面図を示す。

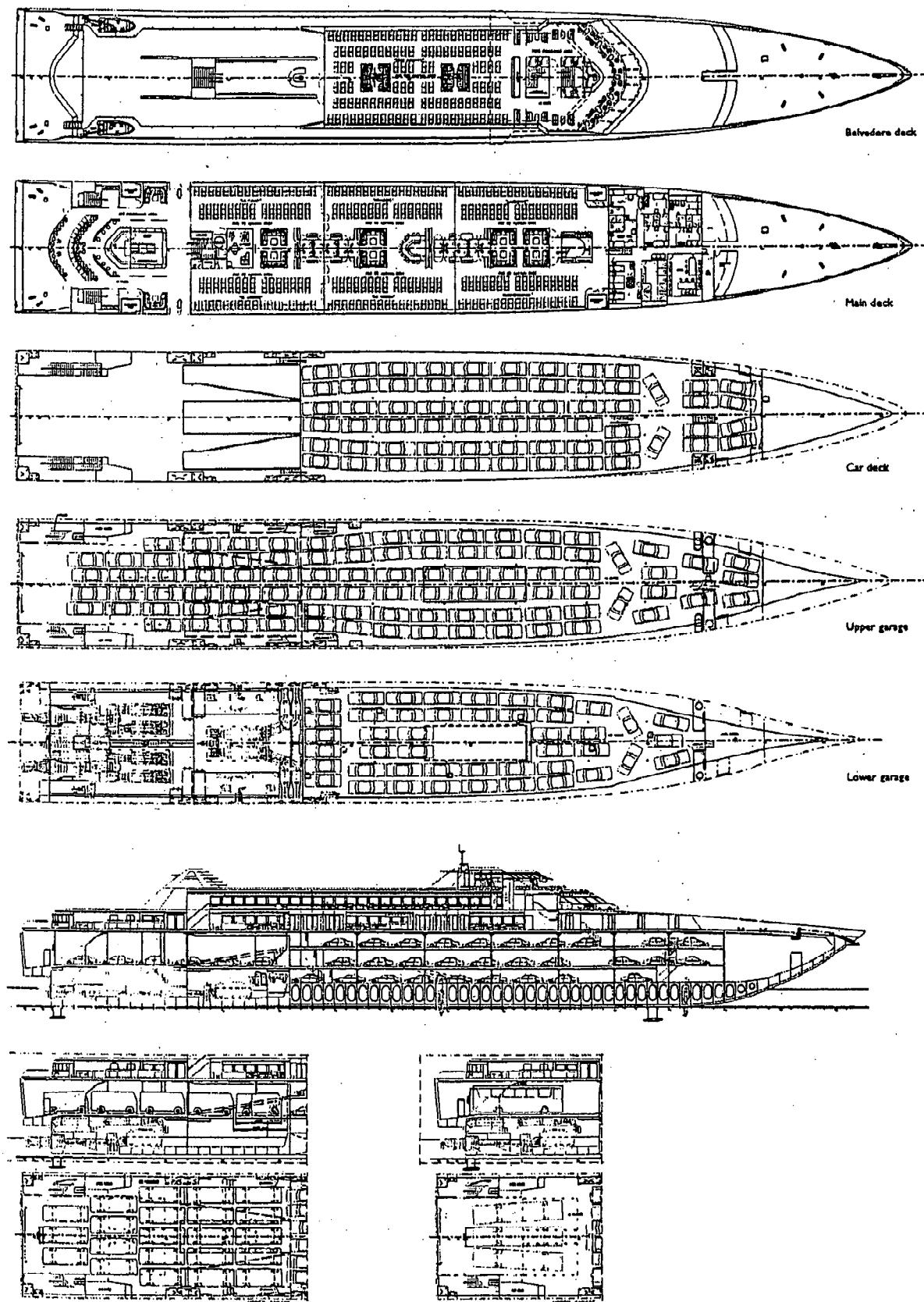


図 3.2.1-1 単胴船 T M V 114型一般配置図

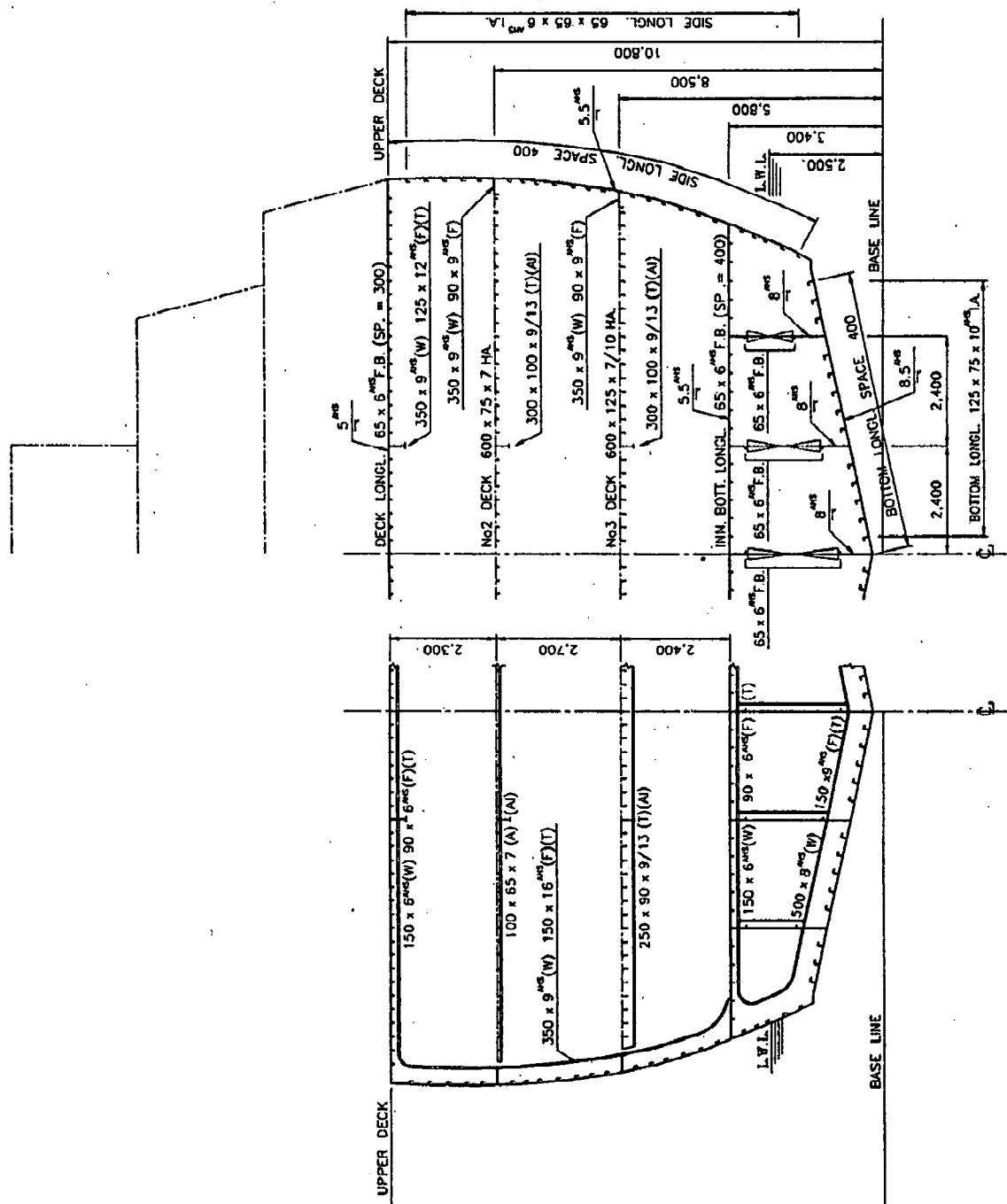


図 3.2.1-2 単胴船 TMV114型中央横断面図

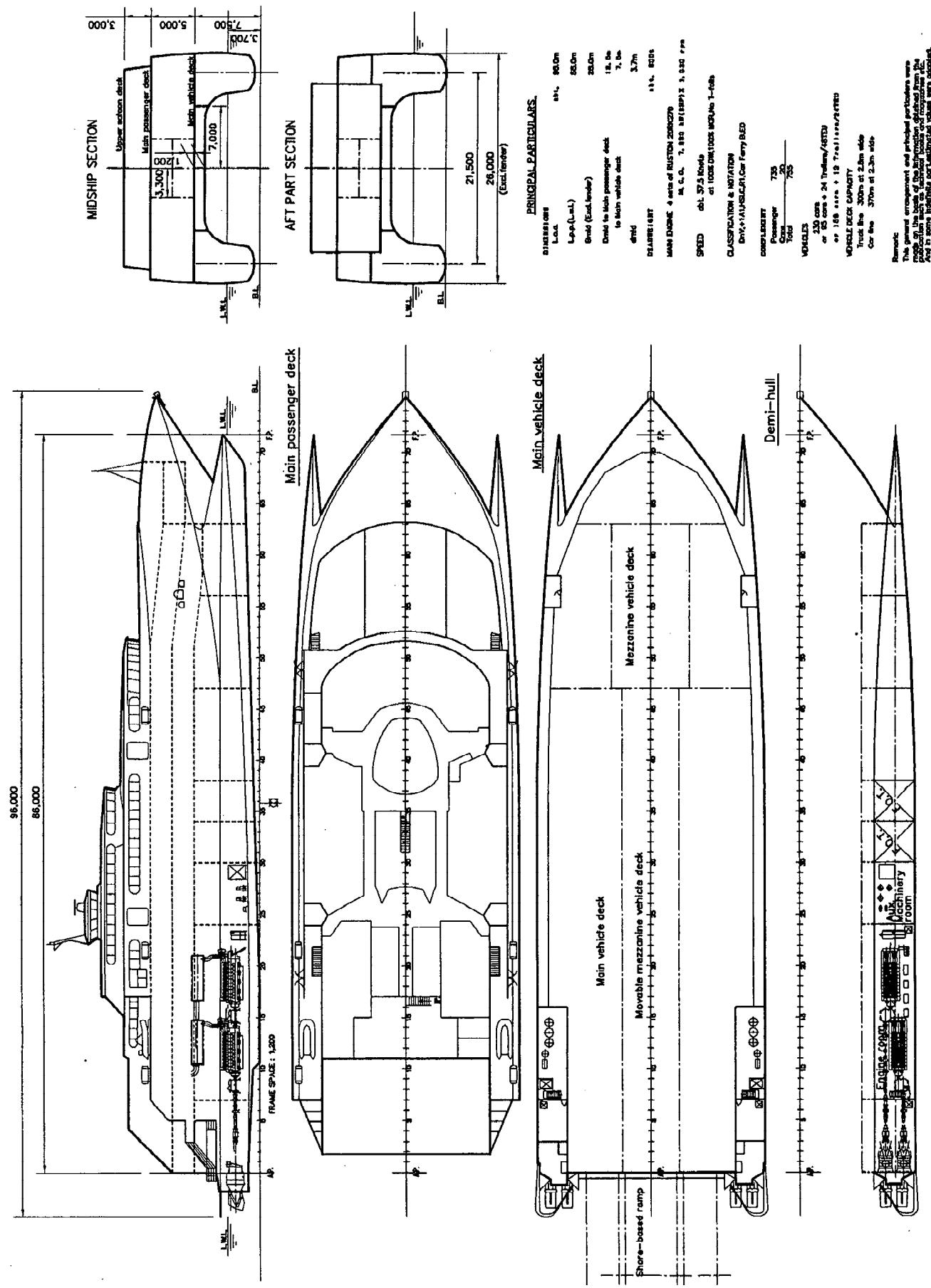


図 3.2.1-3 双胴船 INCAT 96m型一般配置図

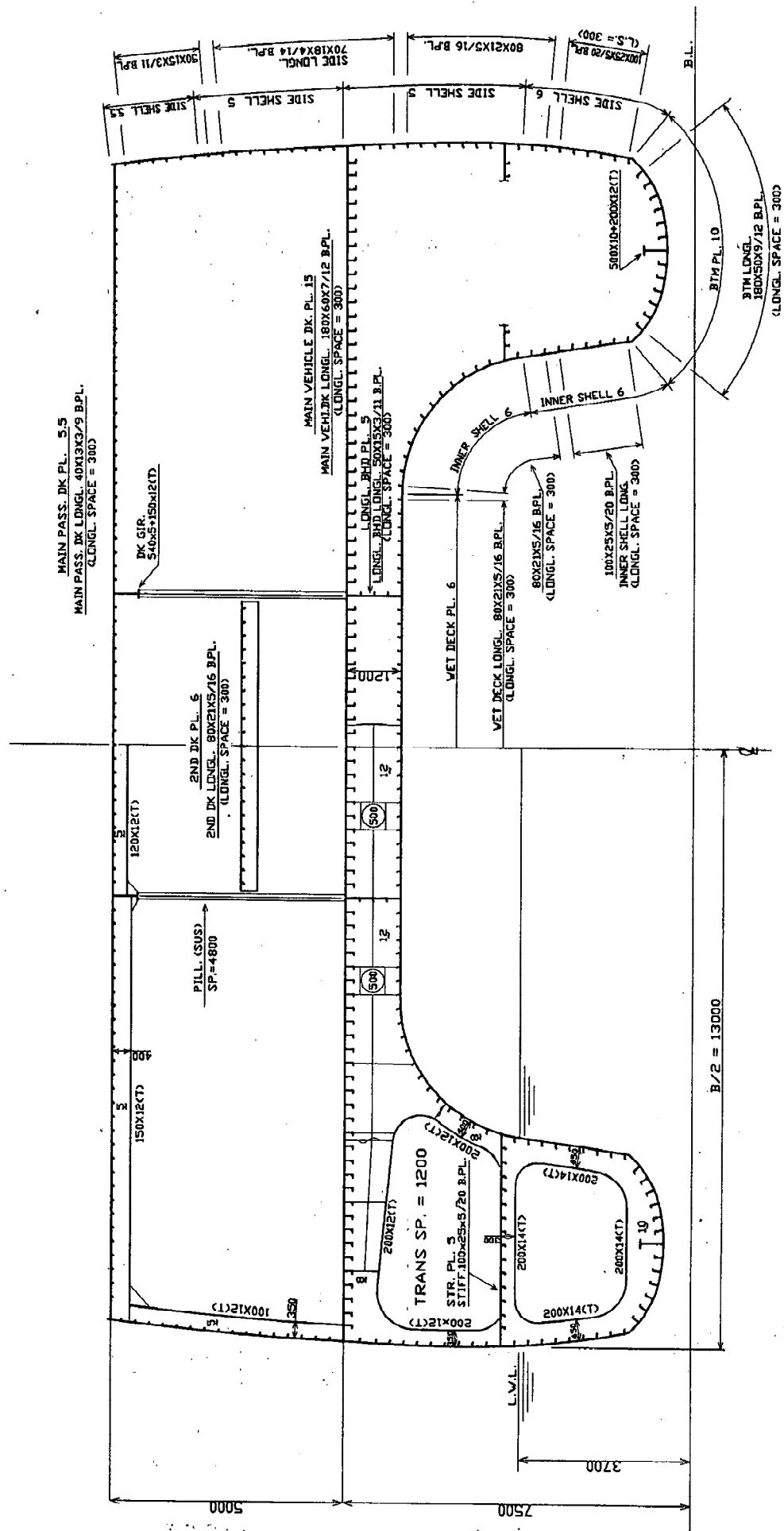


図 3.2.1-4 双胴船 INCAT 96m型中央横断面図

### 3.2.2 高速船重量推定と評価

重量推定の結果、やはり、豪・欧製高速船は、軽量であり、単胴船T M V 114型、双胴船INCA T 96m型共、推定値と公表値との間には相当の重量差があることが示された。従って、この種大型高速船では、載貨重量が軽荷重量の20%程度であることから、同一要目、同一主機関とした場合、我が国の現状技術レベルで設計した船は、豪州船に比べ、十分な載貨重量が確保できないという現象が生じることになる。このことは、旅客や車両等、貨物の単位当たりの建造費、燃料費等が増大することを意味する。即ち、載貨重量が軽荷重量よりもはるかに大きく、軽荷重量の大小が、載貨重量の大小に及ぼす影響がそれほど大きくなない通常船舶における軽量化技術とはその意味が根本的に異なっており、船体重量が運行採算を直接左右することになる。言い換えれば、現状の軽量化レベルでは、通常船舶が保持しているような国際競争力を確保することは困難であり、将来我が国において大型高速船の需要が生じた場合においても、載貨重量の差に起因する運行採算の圧倒的な差により、国内船主が豪州或いは欧州より輸入運行するというケースとなる可能性が強い。現実に、30m級の客船は、既に豪州より3隻が輸入され、内2隻が運行中であり、また、大型高速船については、丸ごと輸入ではないが、豪州からの技術導入より2隻が建造され、1隻が運行中である。以上の状況において、我が国では、高速船技術の基本である軽量化技術の向上を図り、豪・欧に追いつくことは、早急の要請と考えられ、以下、軽量化を実現する手法について検討を行うこととする。

## 3.3 高速船の性能向上に関する検討

### 3.3.1 船体重量の軽量化

#### (1) 高速船の船体構造

大型高速船の構造設計においても、基本は規則によるものであり、特に、DNV規則では、大型の双胴船も対象とした構造寸法の算式が定められているのに比べて、我が国では、実績が無いために、長さ50m以下の単胴船用の規則しかなく、大型高速船に対しては、規則による基本検討は困難である。然るに、前項において述べたように、同じ条件で設計したはずの軽荷重量において、豪・欧と我が国の差はあまりに大きく、軽荷重量の中で最も比率が大きい構造重量の差即ち構造設計の差があると考えざるを得ない。従って、例えば、就航海域は規則上外洋であっても、実際の海象が穏やかであれば、外洋の構造算式を機械的に適用するのではなく、実情に合わせて斟酌すること等により、軽量化が行われている可能性があると想定し、海象・海域による差異を把握するため、最も軽くなる平水域航行船として検討を行ってみた。

単胴船に比べ、双胴船の方が、軽荷重量の差が大きいことから、双胴船における検討例について、図3.3.1-1に平水航行区域即ちDNVR5規則に基づいて構造検討、作成した中央横断面図を示す。また、表3.3.1に、算定した構造重量を通常の波浪中航行区域即ちDNV

R 1 規則に基づいて算定した重量と比較して示す。構造重量差は、100tを越えており、相当に差がある。勿論、豪州製 I N C A T 96m型が、平水区域を航行するものとして構造設計が行われているはずは無いが、斟酌の具合によっては、相当の軽量化の可能性があることを示している。加えて、直接計算によって構造設計が行われている可能性が強く、特に、構造設計において最も影響が大きい縦曲げモーメントの設定値がポイントとなる。特に、我が国においては、実績船が無いため、どうしても安全側の設計になり勝ちであるが、模型実験の手法や数値計算のレベルは、寧ろ豪州等より進んでいることから、今後、これら手法を駆使して構造設計を進めていくことが望まれる。

さて、前後部構造等、規則で決まらない部材寸法の設定については、基本構造に比べて、特に実績に基づいた経験的な影響が大きいと考えられる。因みに、最も代表的な I N C A T シリーズにおいて、1990年に登場し、大型高速船の先駆けとなった74m型から現在の96m型に至るまでの過程を見てみると、78m、81m、86m、91mという具合に、一足飛びに大型化するのではなく、少しずつ大きくしてきていることが分かる。この手法は、急に大型化した場合の不安代として、構造に余裕を持たせ勝ちであるやり方を完全に排除できていることを物語っていると考えられ、実績が殆どない我が国との大きな差が横たわっている。しかしながら、我が国においても、上記縦曲げモーメント設定の場合と同じように、実験と数値シミュレーションのやり方を工夫し、恰も実船を造ってその実績をフィードバックするかのような手法により詳細設計部の軽量化を図って行く手法の可能性があるのではないかと考えられる。

表 3.3.1 I N C A T 96m型双胴船の D N V 規則における就航海域による構造重量比較

項 目	重 量 (t)	
	波浪中 (R 1)	平水中 (R 5)
主 船 体	465.5	366.7
居 住 区	48.2	48.2
機 器 台 及 び 梯 子	40.9	40.9
板 厚 公 差 及 び 溶 接	16.6	13.7
合 計	571.2	469.5

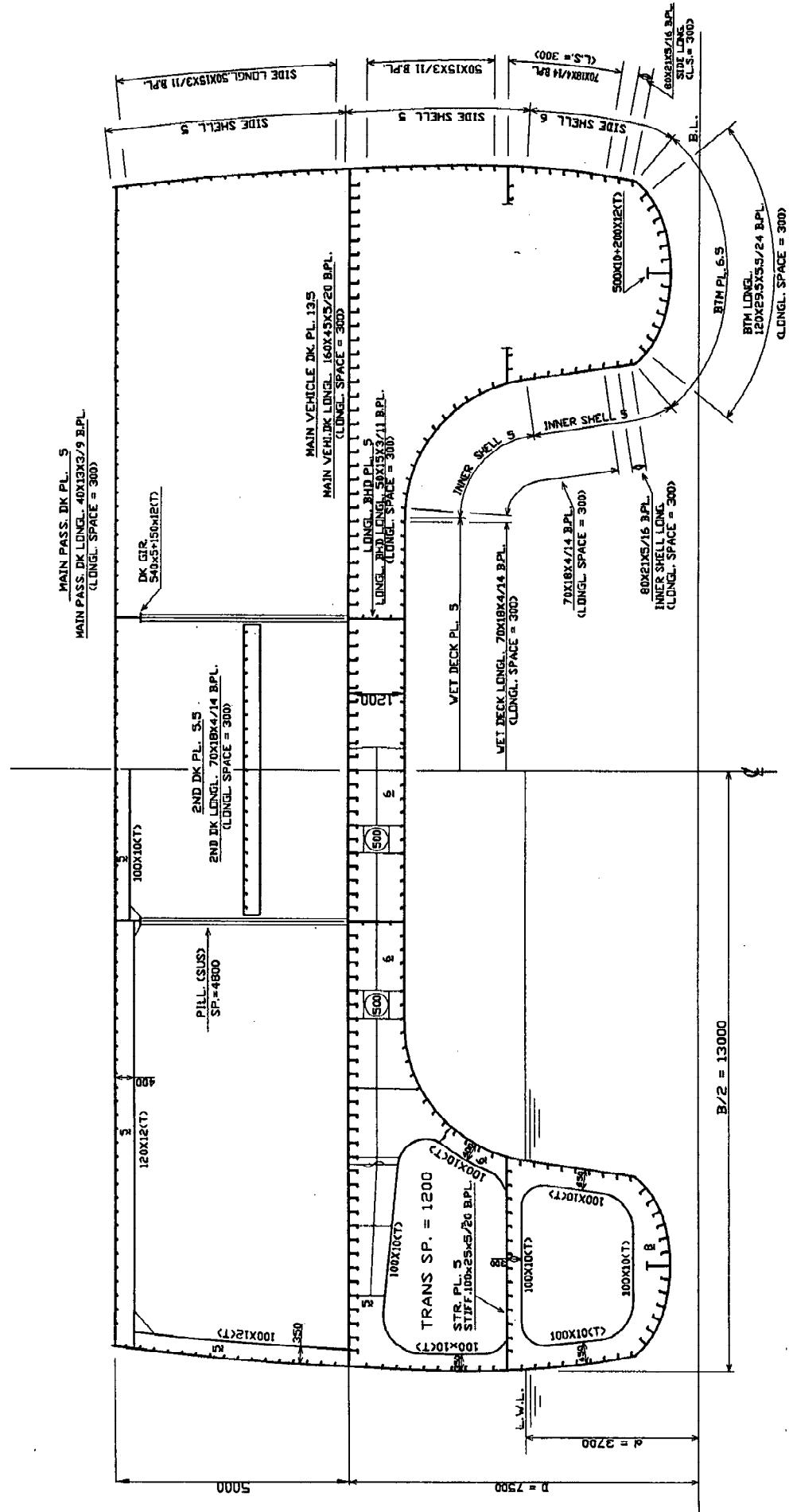


図 3.3.1-1 双胴船 INCA T96m型中央断面図 (DNV R5)

## (2) 高速船の艤装

材質の変更による軽量化は、防火・救命等の安全性の面から高速フェリーに使用が認められている認定品であることを要求されるため、高価な割には重量低減の効果は薄い。軽量化において、最も効果的なのは、船体部では床面積、壁面積、管長さ等を減じることであり、機関部においても、出来るだけ狭い範囲に各機器を配置することにより、管類や点検用フラットを少なくすること、また、電気部においても電線長さが少なくなる機器配置とすること等である。

乗船調査した豪・欧製の高速フェリーにおいても、これらのことを行ったために、例えば、客室の間仕切りはできるだけ廃止し、オープンスペースとして、電線長、照明器具、空調設備等を減少する効果をもたらしており、軽量化に寄与していると考えられる。また、室内の照明についても、室内装飾との調和を図ることにより、照度が低くても洒落た雰囲気を醸し出し、照明関連重量を低減している。

図3.3.1-2に、豪州製 INCAT型双胴船の操縦室内写真を示すが、操船コンソールは、CRT表示を多用することにより、コンパクトにまとめてあり、結果として軽量化に寄与していると考えられる。

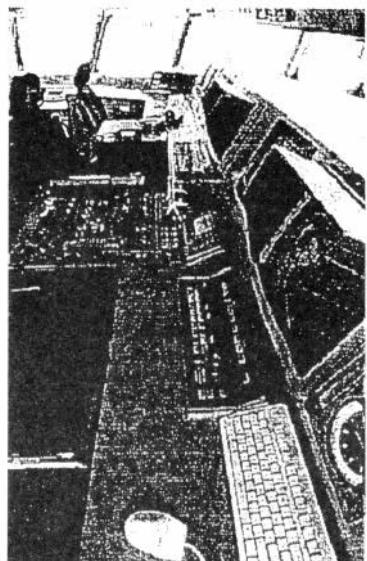


図 3.3.1-2 豪州製 INCAT型双胴船の操縦室内

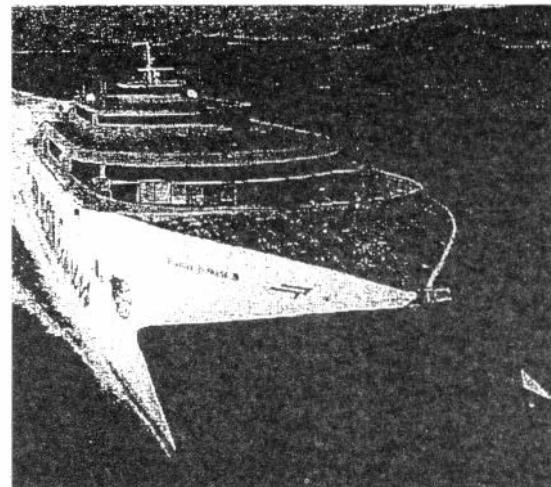


図 3.3.1-3 豪州製 INCAT型双胴船におけるブリッジウイングの無い操舵室

また、図3.3.1-3に示すように、GPSやテレビカメラによる離着桟時の監視装置を装備することにより、幅広の双胴船にも拘らず、ブリッジウイングが無く、その分軽量化した豪州製高速フェリーも就航している。

即ち、軽量化を実現するには、船体構造のところで述べたような規則の緩和、軽量機材の採用、装備のコンパクト化、新システムの開発による不要な機器・場所の廃止等に加え、上記のブリッジウイングの廃止など、感覚や慣習の変革が重要であると考えられる。

### 3.3.2 推進性能の向上

#### (1) 高効率推進装置

大型高速船においては、配置やキャビテーション特性により通常のプロペラ推進は困難であるため、例外なくウォータージェット推進器が装備されている。しかしながら、ウォータージェット推進方式の場合、本体重量に加えてダクト内の海水重量のために、船体重量が増加しており、一層の高速化を実現しようとする場合、それがハンディとなる他、建造費や整備費も一般のプロペラ推進に比べて高いという欠点がある。

従って、平水域を航行する小型艇においては、隻数は少ないものの、キャビテーションフリーであり、重量を含めた全効率においてもウォータージェットより優れているサーフェスプロペラが採用されるケースが見られる。これに対し、従来の常識では、水面を貫通することにより過大な振動発生の恐れがあること、プロペラレーシングを生じやすいこと、また、試運転結果により軸傾斜の調整が必要な場合があること等により、外洋航行の大型高速船には採用できないと考えられてきた。

然るに、高速フェリーのような大型高速船は、波浪中船体運動も相対的に小さくなっている、また、船体運動制御装置を装備している場合が多いことから、プロペラレーシングの問題は、それほど大きくなく、また、プロペラ起振力についても、上部に船体構造が無いため、起振力が直接船体に伝わるのではなく、軸を介して伝わることから、最近大幅に軽量化されているフレキシブル継手を適切に組み合わせることにより回避できる可能性があると考えられる。

これらの観点より、将来における詳細な検討と対策が前提ではあるが、一層の高速化が可能な推進装置として、大型サーフェスプロペラについての概略検討を行う。

#### (2) 大型サーフェスプロペラの試設計と評価

サーフェスプロペラにおいても、直徑大、低回転程効率は高い。然しながら、小型高速艇における実際の装備例では、舵装備のため、プロペラ上に船尾甲板を延長する必要があり、自ら直徑が制限されるが、特に、高速フェリーの場合、船尾からの車両乗り込みを考慮すると、甲板高さを船尾端部だけ上げることは不都合であり、この点から直徑が決まつてくる。

即ち、配置面より、TMV114型单胴船では、直徑3.2m、INCAT96m型双胴船では、直徑3.8mとしてプロペラ設計を行った。表3.3.2に両船型のプロペラ要目を並べて示す。

表 3.3.2 大型サーフェスプロペラの要目

項 目	T M V114 型単胴船	I N C A T96m型双胴船
主機 関 及び 軸 数	6 機 3 軸 12,000KW／軸（2機）	4 機 2 軸 14,160KW／軸（2機）
直 径 (mm)	3,200	3,800
ピ ッ チ (mm)	3,680	4,020
ピ ッ チ 比	1.150	1.0579
展 開 面 積 比	0.850	0.900
回 転 方 向	外回り	外回り
翼 数	5	5

プロペラ効率は、両船型共、0.64～0.65程度であり、ウォータージェット推進装置と大きな違いは無いが、サーフェスプロペラ装備の場合が、船体重量が減少するため、総合推進効率としては、サーフェスプロペラの方が優位であると言える。

### 3.4 気象・海象条件の調査

#### 3.4.1 波浪推算データベース

高速船が波浪中を高速航行する場合、大きな波浪荷重が掛かるため、これに耐える合理的な構造設計を行うためには、就航海域の気象・海象データが非常に重要である。然しながら、陸上のような豊富な観測データを収集することは困難であるため、従来、船舶通報による風・波の情報に頼らざるを得なかったが、船舶は、荒天を避けて航行するため、必然的に荒天データの比率が少ない等の欠点を有している。ところが、近年の数値シミュレーション技術の進歩により、風や波浪の数値モデルの精度が飛躍的に向上し、観測値に準じた気象・海象データとして利用することが可能となってきている。即ち、数値モデルを用いることによって、長期間に亘る海上風と波浪の推算データベースが構築されており、任意の海域、日時のデータを手軽に抽出できる環境が整ってきている。そこで、全球波浪推算データベースに基づいて、乗船調査を行った欧州フェリー航路及び日本沿岸を含む海域の気象・海象条件を調査、比較した。

また、日本沿岸については、日本沿岸波浪推算データベースによる推算も行い、両者の比較も行った。全球波浪推算データベースは2.5度×2.5度格子（約250km）、推算時間間隔は6時間毎であり、日本沿岸波浪推算データベースは2分格子（約3.7km）、推算時間間隔は6時間毎である。

#### 3.4.2 我が国周辺の気象・海象

図3.4.2に、全球波浪推算データベース及び日本沿岸波浪推算データベースによる波高の累積出現頻度（冬季）を並べて示す。

対象海域：日本太平洋沿岸（小笠原航路、30.0 N、140.0 E）

金華山沖（38° 12' N、141° 42' E）

輪島沖（37° 42' N、136° 34' E）

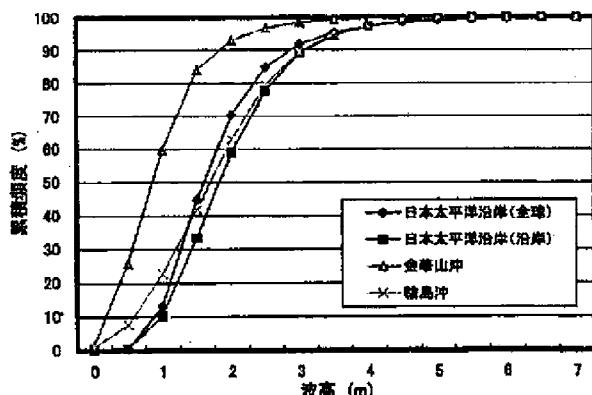


図 3.4.2 波高の累積出現頻度（日本沿岸データベース：冬季）

金華山沖は、太平洋側の沿岸であり、冬季においても、波高は小さい。一方、輪島沖は、沿岸であるが、日本海側であるため海象は比較的厳しく、太平洋側ではあるが、完全な外洋である小笠原航路とほぼ同じ海象となっている。なお、小笠原航路を見れば、全球波浪推算データベースと日本海沿岸波浪推算データベースとの差は僅かであり、全球波浪推算ベースでも、十分な推定精度を有していると言える。

### 3.5 高速船の船体運動制御装置

#### 3.5.1 高速船の船型と耐航性能

高速船においては、燃料消費と直結する推進性能と並んで耐航性能即ち旅客にとっての乗り心地の向上が要求される。高速化するに従い、特に向波中では出会い周期が短くなり、その2乗で上下加速度が増加するためである。乗り心地については、旅客の嘔吐率を指標とする場合が多いが、上下加速度が0.2 gを越えると急激に増加することが知られており、例えば、50ノット航走の場合、波高0.4 mの向波で上下加速度は0.3 gを越える。特に、船のサイズが小さくなるほど乗り心地は厳しくなる。

因みに、高速フェリーの先達として1990年に英仏海峡に就航したINCAT74m型は、耐航性能向上を狙ったウェーブピアサー型（波浪貫通型）第1船であったにも拘らず、船体構造の問題だけでなく、乗り心地の面においても船酔者が続出し、急速ライドコントロールシステムを搭載している。海外・国内共に、旅客の船酔が多いために運行停止に至った例も稀ではない。従って、高速フェリーにおいては、一層の耐航性能を考慮した船型改善を行うと共に何らかの船体運動制御装置（ライドコントロールシステム：RCS）を装備することが、半ば一般的になりつつある。

さて、ウェーブピアサー型双胴船は、74mの第1世代に続き、81mの第2世代を経て現在96m型まで大型化されているが、それに伴い、船型事態の耐航性能も向上していると考えられる。

また、推進性能と耐航性能のバランスを考え、半没水型船のコンセプトを高速フェリーに導入したものが、セミSWATH船型である。球状船首を有して、船首の水線面を非常に薄く鋭い形状とし、船首に作用する縦揺れ強制力を小さくしている。航行速度域は、半滑走域であるにも拘らず、浸水面積が角型船型より却って減少することによって船体抵抗が低減、通常の高速船船型と同等の推進性能を有していることは、先に述べたとおりである。この船型の基本コンセプトは、ステナラインのHSS1500で開発され、また、豪州Austal Ship社の高速フェリーAuto Expressシリーズも、HSS型程SWATH型ではないが、ほぼ同様のコンセプトに基づく船型となっている。セミSWATH型の運動の特徴は、向波中において、船首での上下加速度が減少し、船長方向の加速度分布が平坦となる傾向があり、船首まで旅客スペース配置が可能となり、配置の自由度が増すという利点がある。但し、船尾の加速度は若干増加する。

単胴船型は、従来から採用されているハードチャイン・ディープV船型であり、双胴船型のようなバラエティは無い。但し、出来るだけ、船首部の排水量を減らして、縦揺れを減少するため、鋭く尖った船首を有している場合が多い。

### 3.5.2 ライドコントロールシステム

一般にライドコントロールシステム（RCS）と呼ばれる船体運動制御装置は、主に水中に設置した揚力面に働く流体力を利用しているが、この揚力は、速度の2乗に比例することから、高速航行時には非常に大きなものとなり、船体運動を制御することが可能となる。

最近の高速カーフェリーに装備されるものとしては、船尾トランサム下の船底に設けられるトリムタブ、船首船底のTフォイルまたはIIフォイル、ビルジ（チャイン）部に取り付けられるフィンスタビライザー等があるが、最近では、船尾トランサムから垂直に突き出すタイプのインターチェプターも開発されている。実際には、一層の乗り心地向上を図るため、これらを組み合わせて装備するのが一般的である。

## 4. 得られた成果と今後の課題

欧州を中心に急速に増加している高速フェリーに代表される大型高速船の性能は、我が国における中小型高速艇実績から類推した性能や、僅か2～3隻の実績しかないが、既建造高速フェリーに比べ、格段に優れているように思われる。従って、このままでは、将来、我が国においても、大型高速船の需要が生じた場合、外国製の高速船が我が国周辺を走り回ることになり兼ねない。また、高速船技術は、長年に亘って発展してきた高度な造船技術の重要な一角を成すものもあり、豪・欧に追いつき追い越し、一般船舶におけるような国際競争力を保持するように発展することが望ましい。このため、まず、先進レベルとの技術差を認識、評価し、そ

の上に、高速船のブレークスルー技術の検討を行った。

得られた成果と今後の課題を以下に示す。

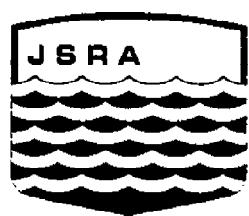
- (1) 文献調査に加え、海外乗船調査も行って、高速船に関する広範囲なデータを収集し、その評価を行うと共に、検討すべき方向と手法を組み立てるベースとした。
- (2) 豪・欧建造高速フェリーの速力性能の優位性は、豪州双胴船において特に大きいことから、その差がウェーブピアサーのような船型のユニークさにあるのか、それとも、船体重量の影響が大きいのかを調査するため、半滑走船に対する推進性能推定法により、船体重量や速力の定義等が明確な全船について、主機関出力と速力の関係を評価した。その結果、推進性能には、船型の影響が殆ど無く、船体重量と船の長さによって決定されることが明らかになった。
- (3) 豪・欧の高速船技術レベルに追いつくには、軽量化が必須条件であり、技術の検討には、まず、重量差を数値的に認識し、その上で、所要の手法を検討する、即ち、乗船調査等によりデータを入手した単胴船 T M V 114型及び双胴船 I N C A T 96m型について、主要目や船級等を同一条件として試設計を行い、推定した船体重量を公表値と比較した。その結果、両船型共、推定値は公表値より相当重たい結果となり、性能差は、やはり船体重量差に起因していることが示された。
- (4) 軽量化技術において、豪・欧に追いつくべく、海象条件と規則、構造重量の関係、船体・機関・電気舾装における軽量化手法について検討した。
- (5) 海象条件と船体構造の関係に供すべく、最新の数値シミュレーションによる波浪推算データベースに基づく海象の調査法について検討し、設計条件として用いる海象条件として実用に供し得る可能性を検証した。
- (6) 大型高速船の推進性能を向上する手法として、全く実用例が無い大型サーフェスプロペラについて概略検討を行った。全推進効率では、ウォータージェットを凌駕しており、将来における強度・振動等の所要の対策が前提ではあるが、一層の高速化を実現する高効率推進装置として実用化される可能性があることを示した。
- (7) 大型高速船の乗り心地と船型及び船体運動制御装置に関して調査・評価した。伝統的なフィンスタビライザー、トリムタブ、TまたはIIフォイルに加え、新タイプのインターセプター型も開発されており、今後も改良が続くものと考えられる。
- (8) 豪・欧製大型高速船の軽量化は、多数の建造実績による高い習熟度によって実現していると考えられ、当面、多数の実船建造が期待できない我が国においては、対象船を設定した具体的構造様式の検討、救命・防火用軽量材料の実験研究、軽量係船装置の開発等、各構成要素についての軽量化の推進が今後の課題である。

---

発 行 平成14年3月  
発行所 社団法人 日本造船研究協会  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門一丁目15番16号  
海洋船舶ビル6階  
電 話 総務部 03-3502-2132  
研究部 03-3502-2133  
F A X 03-3504-2350

---

「本書は、競艇の交付金による日本財團の助成金を受けて  
作成したものを増刷し頒布するものです。」



The Shipbuilding Research Association of Japan