

第 181 研究部会

救命艇の耐波性能に関する研究

報 告 書

昭和 55 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

本報告書は、1974年SOLAS第3章の改正に伴ない、IMCOで将来要求され
ると思われる自己復原性能を持つ密閉型救命艇の開発のために、現存の耐火救命艇を
出発点とした船型改良と、模型実験による復原性範囲の調査を行ないとりまとめたもの
である。

目 次

1. 緒 言	1
1.1 調査研究の目的	1
1.2 調査研究の概要	1
1.3 委 員 会	1
2. 自己復原性を有する船型の開発	3
2.1 キャノピー巾変化シリーズ	3
2.2 高さ変化シリーズ	3
3. 転覆実験による自己復原性の要件の検討	12
3.1 実験の目的	12
3.2 模 型 船	12
3.2.1 小型模型	12
3.2.2 大型模型	12
3.3 実験に用いた波	13
3.4 転覆実験結果とその解析	14
3.4.1 A型模型による実験	14
3.4.2 D型模型による実験	15
3.4.3 結果の解析	15
4. 結 言	38

1. 緒 言

1.1 調査研究の目的

1974 年 SOLAS 第 3 章の全面改正にともない、現在 IMCO においてその作業及び検討が進められ、その草案はほぼ完成されている状態にある。その草案によれば救命艇は客船搭載のものを除き、密閉型救命艇 (Totally enclosed Lifeboat) であり、且つ自己復原性能 (Self righting property) を要求されている。これに対処して、より効率的な転覆しない救命艇を研究開発する必要性が生じてきた。

本調査研究では、現存の耐火救命艇を出発点として船型を改良して、復原性範囲が大きく、且つ実用的な船型設計を行なうと同時に、復原性範囲がどの程度以上ならば、実質的に self righting であると判断されるかについて模型実験により確かめようとするものである。

1.2 調査研究の概要

1) 自己復原性を有する船型の開発

現存する耐火救命艇 (A 型と呼ぶ) を原型とし、キャノピーの巾を極端に狭くしたもの (B 型) について試算した所、満載、軽荷共、復原性範囲が 180° となり、完全 self righting となった。しかしこの型はキャノピーの巾が狭く、定員だけの人員を収容するのが困難であると思われたので、A と B の中間のキャノピー巾を有する C 型を設計した。

この型では復原性範囲が満載で 130° 、軽荷で 150° となり、ほぼ IMCO の要求である実質的に self-righting という要件を満たすが、上部のスペースが狭く理想的な設計と云い難いので、更にキャノピー巾は原型と同じで、キャノピーの高さを増し、丸みをつけたもの (D 型) を設計した。この D 型は完全に self righting であり、上部スペースも充分で、これで目的とする実用的船型を開発できたわけである。

2) 転覆実験による自己復原性の要件の検討

一般に survival carft は Sea state 8 程度の荒天に耐えうる事が望ましいと云われている。即ちこの海象で転覆しないか、しても必ず起上るという事である。

これを実証するために、Sea state 8 を代表するような波を作り、救命艇の復原性範囲がどの位以上になったら実質的に self-righting と判断できるかを調べた。

波としては、Sea-state 8 に相当する模型スケールの波を水槽で起こすことは不可能であるので、その中の転覆に有意な影響を持つと思われる周波数範囲の波成分で集中波 (砕波) を作り、その巾で実験を行なった。

その結果、今回実験を行なった船型については、復原性範囲が 130° 程度以上あれば、一旦転覆しても同じ海象下では必ず起上り、実質的に Self-righting であると判定された。1 例だけの実験で結論するのは早すぎるが、一般に云って復原性限界角が 150° 以上あれば実質的に Self-righting であると判定して差支えないであろう。

尚、結局は船型の改良で、実用的な Self-righting の船型が開発されたので、上記の実験結果を待つまでもなく本研究の目的は達せられたわけである。

1.3 委員会

1.3.1 委員構成

(敬称略、順不同)

部 会 長 元 良 誠 三 (東 京 大 学)

委 員 伊 田 力 (東 京 大 学) 岡 本 洋 (川 崎 重 工 業)

加 納 正 義 (日 立 造 船) 川 口 昇 (三 菱 重 工 業)

小柳 雅志郎 (東京大学)	(島) 本 参之助 (石原造船所)
杉村 泰 (三井造船)	多田 羅 憲 男 (石原造船所)
長田 修 (船舶技術研究所)	永松 秀 一 (住友重機械工業)
藤野 正 隆 (東京大学)	船尾 洋 二 (船舶品質管理協会)
古川 達 郎 (函館ドック)	元 綱 数 道 (石川島播磨重工業)
山口 豊 利 (信貴造船所)	山中 義 夫 (日本鋼管)
オブザーバー 戸田 邦 司 (船舶局)	田崎 正 幸 (船舶局)

1.3.1 討議参加者

相原 和 樹 (三菱重工業)	井伊 英 夫 (石川島播磨重工業)
小保方 準 (住友重機械工業)	(信) 貴 初太郎 (信貴造船所)
熊田 展 郎 (日本鋼管)	小池 哲 夫 (函館ドック)
沖 明 雄 (三菱重工業)	高品 純 志 (三井造船)
高梨 伊三夫 (川崎重工業)	中西 正 (日本鋼管)
野上 浩 (石川島播磨重工業)	

1.3.3 委員会開催状況

第1回委員会 54. 6. 29 (金) 10.00 ~ 13.00

主な審議事項

- 部会の運営方針
- 研究実施計画
- 予備実験結果

第2回委員会 54. 10. 15 (月) 14.00 ~ 17.00

主な審議事項

- 研究中間報告
- 自己覆元性能の変化

第3回委員会 55. 2. 22 (金) 13.30 ~ 17.00

主な審議事項

- 54年度研究報告

1.3.4 配付資料

第1回委員会

- | | |
|----------------------|---------|
| (1) 事業計画書 | (造 研) |
| (2) 委員名簿(案) | (造 研) |
| (3) 現行救命艇の自己覆元性能(補足) | (石原造船所) |
| (4) 救命艇予備実験 | (東京大学) |

第2回委員会

- | | |
|-------------------------|---------|
| (1) 研究中間報告 | (東京大学) |
| (2) 上部構造の形状による自己覆元性能の変化 | (石原造船所) |

第3回委員会

- | | |
|----------------|--|
| (1) 54年度報告書(案) | |
|----------------|--|

2. 自己復原性を有する船型の開発

現存する耐火救命艇，石原造船所 GF80B型 を原型とし，主船体はそのままとし，キャノピー形状を変化させることにより復原性範囲を広げることを試みた。

原型の要目については表 2.1 及び 2.2 に示す。図 2.1 に原型の一般配置図，図 2.2 に線図を示す。又図 2.3 に満載状態の傾斜水線図を，図 2.4 に軽荷状態の傾斜水線図を示す。

2.1 キャノピー巾変化シリーズ

キャノピーの巾を原型を含め 3 種類変えて (A・B・C・船型) 復原力曲線を求めた。中央断面の比較を図 2.5 に，満載及び軽荷の復原力曲線の比較をそれぞれ図 2.6，2.7 に示す。

原型 (A 型) は復原性範囲が満載で 120° 軽荷で 137° であるのに対し，キャノピー巾を極端に狭くした B 型では 180° となり，完全 Self righting となっている。然しながら図 2.5 で見るように，B 型はキャノピーの巾が狭く，定員一杯の人員が乗った場合，非常に窮屈で実用的でないので，キャノピー巾のやや広い C 型を設計した。

C 型は復原性範囲が満載で 130° ，軽荷で 150° であり，実質的には Self-righting であると実験的に判断されることが予想されたが，やはりキャノピーの巾が狭いため，窮屈で理想的な設計とは云い難い。

2.2 高さ変化シリーズ

上記の結果から，キャノピー巾を狭くする代りに，キャノピーの高さを高くし，丸みをつけることを試み (D 型) を設計した。中央断面の比較を図 2.8 に，復原力曲線を図 2.9 に示す。

図に示すごとく，D 型は完全に self-righting であり，キャノピーのスペースも充分であることから，IMCO の要件を完全に満たす実用的な船型であると云えよう。

従って本研究の船型開発の目的は達成されたわけである。

表 2.1 原 型 要 目 表 (1)

長	さ	8. 000 M
幅		2. 800 M
深	さ	1. 220 M
総	容 積	18. 205 M ³
機 関	ス ペ ー ス	1. 132 M ³
純	容 積	17. 073 M ³
定	員	45 人
艇 体	重 量	3. 798 T
艀 装 品	重 量	0. 500 T
人 員	重 量	3. 375 T
総	重 量	7. 673 T
速	力	6 ノット
主 機 関	LISTER MARINE DIESEL ENGINE HRW2MG/R 29. 5 ^{HP} /2200 RPM.	
燃 料	タ ン ク	180 l
撤 水 用	ポ ン プ	45 m ³ /h × 12 m
圧 縮 空 気 装 置	総 容 積	30,000 l
	圧 力	150 kg / cm ²
	気 蓄 器	40 l × 5 本

表 2.2 原 型 要 目 表 (2)

ARTICLES			LIGHT CONDITION	FULL LOAD COND
DISPLACEMENT	T		3. 7977	7. 6727
DRAFT	F. P.	M	0. 235	0. 538
	A. P.	"	0. 627	0. 839
	MEAN	"	0. 427	0. 684
TRIM	M		0. 397	0. 301
TPC	T		0. 133	0. 153
MTC	T-M		0. 047	0. 061
KB	M		0. 256	0. 410
BM	"		1. 338	1. 018
KM	"		1. 594	1. 428
KG	"		0. 820	0. 949
GM	"		0. 774	0. 479
⊗B	"		- 0. 190	- 0. 155
⊗F	"		- 0. 160	- 0. 055
⊗G	M		0. 301	0. 084
Cb	/		0. 380	0. 490
Cp	/		0. 580	0. 620
Cw	/		0. 540	0. 642
C⊗	/		0. 680	0. 790
FREE BOARD	M		0. 793	0. 536

**FIRE-RESISTING FRP LIFEBOAT
FOR TANKERS**

LENGTH	8.000 M
BREADTH	2.800 M
DEPTH	1.220 M
GROSS CAPACITY	18.205 M ³
MOTOR SPACE	1.132 M ³
NET CAPACITY	17.073 M ³

NO. OF PERSONS	45
BOAT WEIGHT	3.798 KG
EQUIPMENT WEIGHT	500 KG
PERSONS WEIGHT	3.375 KG
TOTAL WEIGHT	7.673 KG
SPEED (WHEN FULLY LOADED) AT LEAST	6.0 KTS
MAIN ENGINE	LISTER MARINE DIESEL ENG.
	HRW 2 MG/R 29.5 HP/2.200 RPM

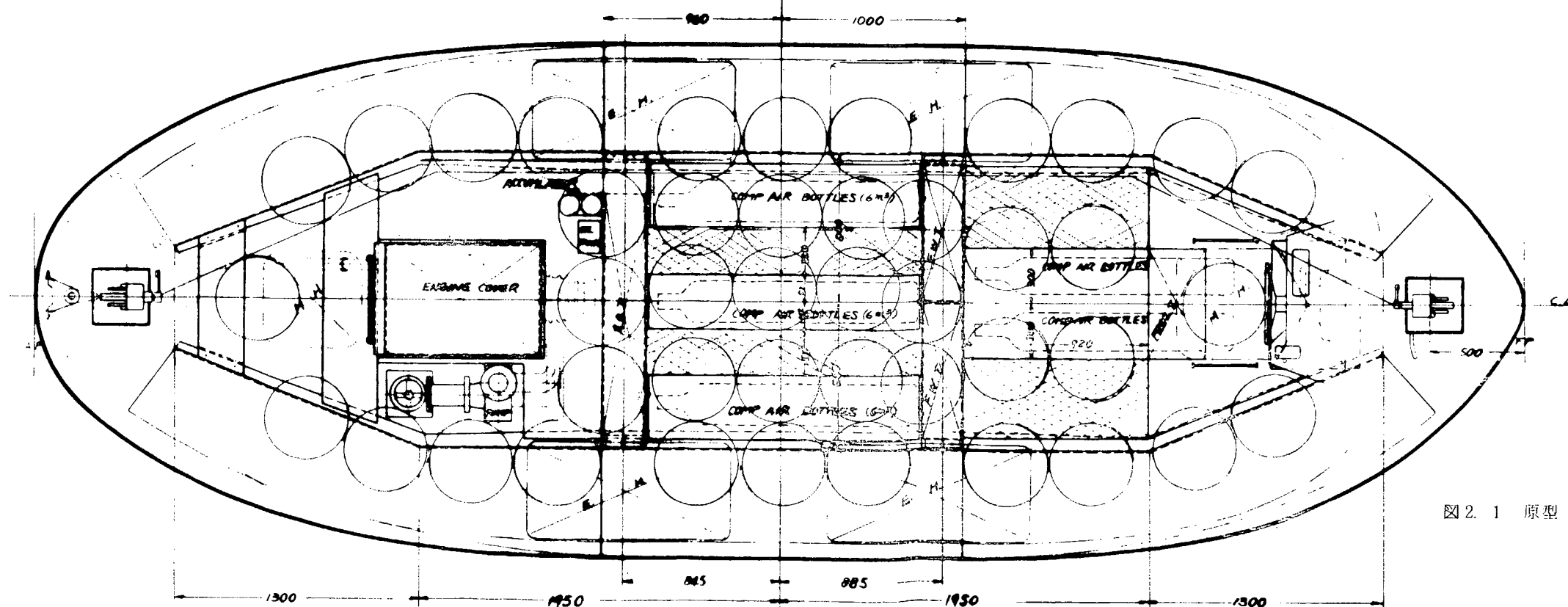
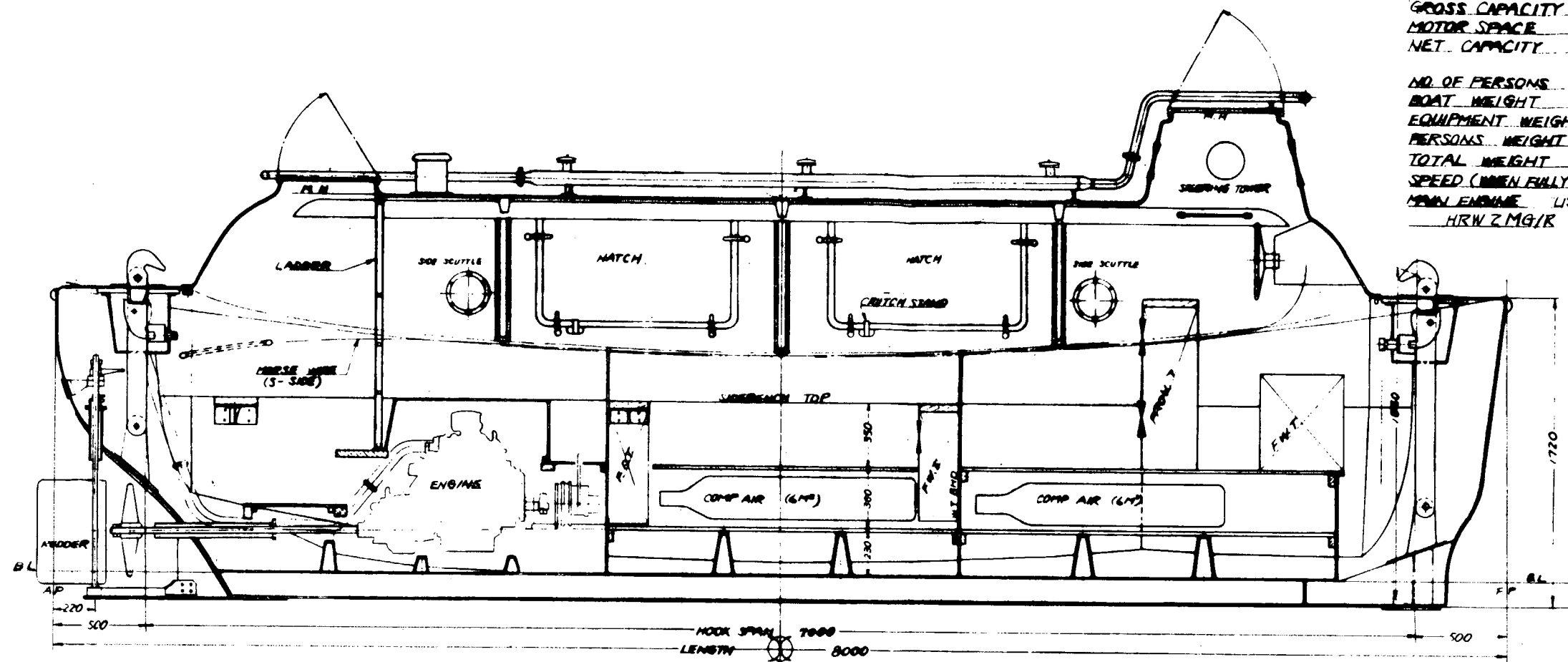


图 2. 1 原型 (A型) 一般配置图

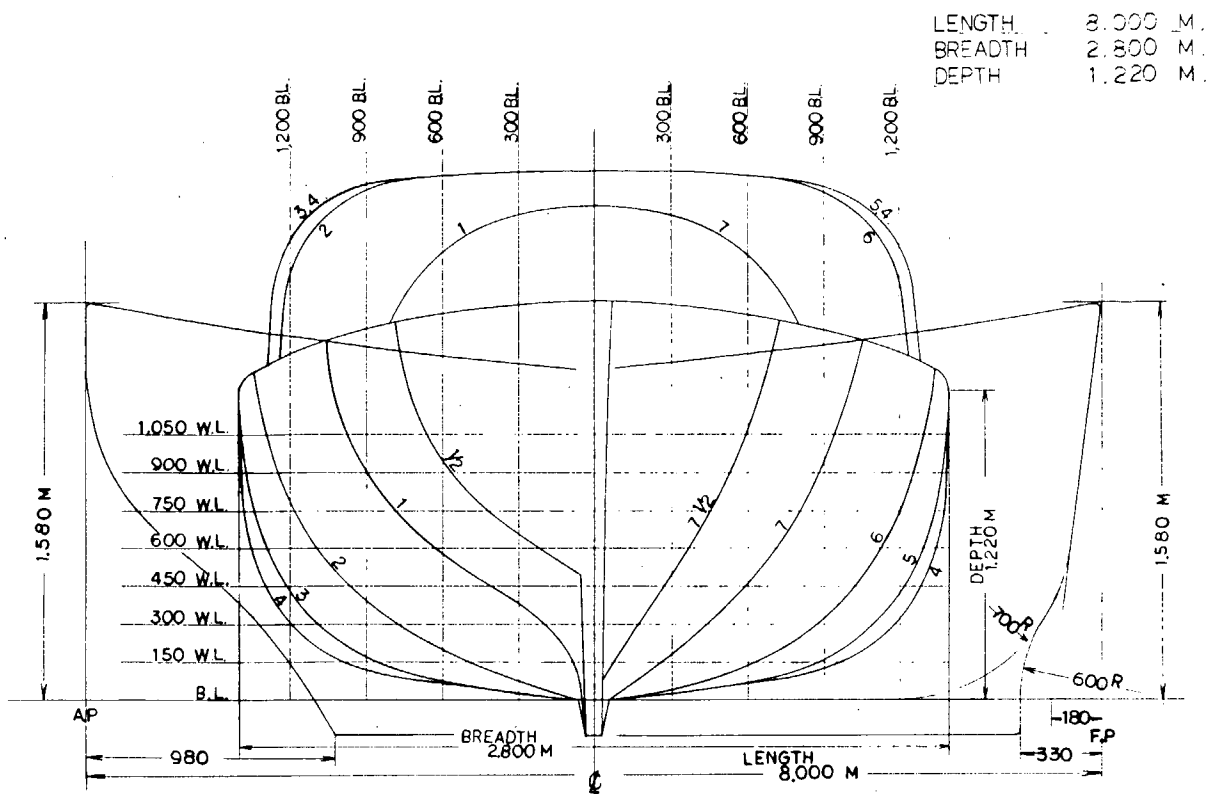


図 2. 2 原型 (A 型) 線図

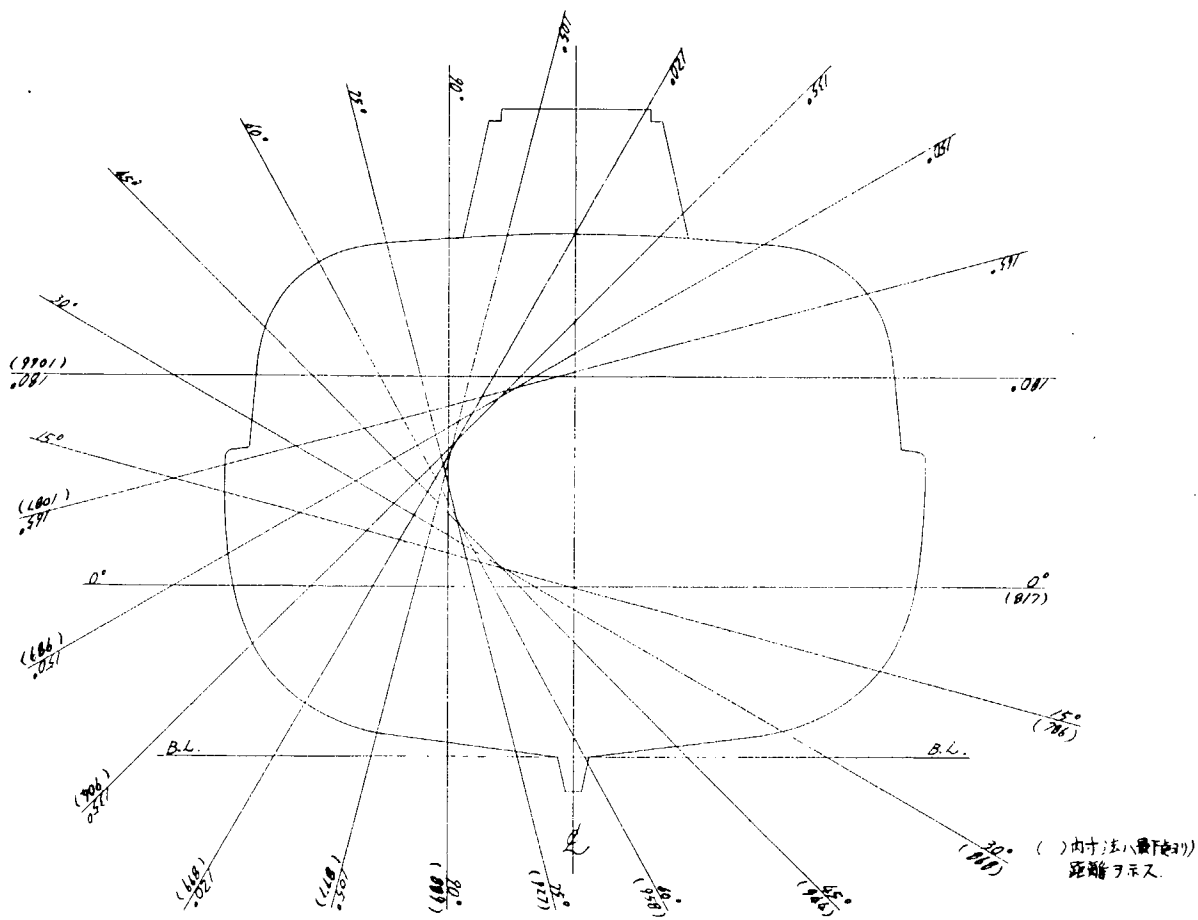


図 2. 3 傾斜水線図 (満載)

151-13

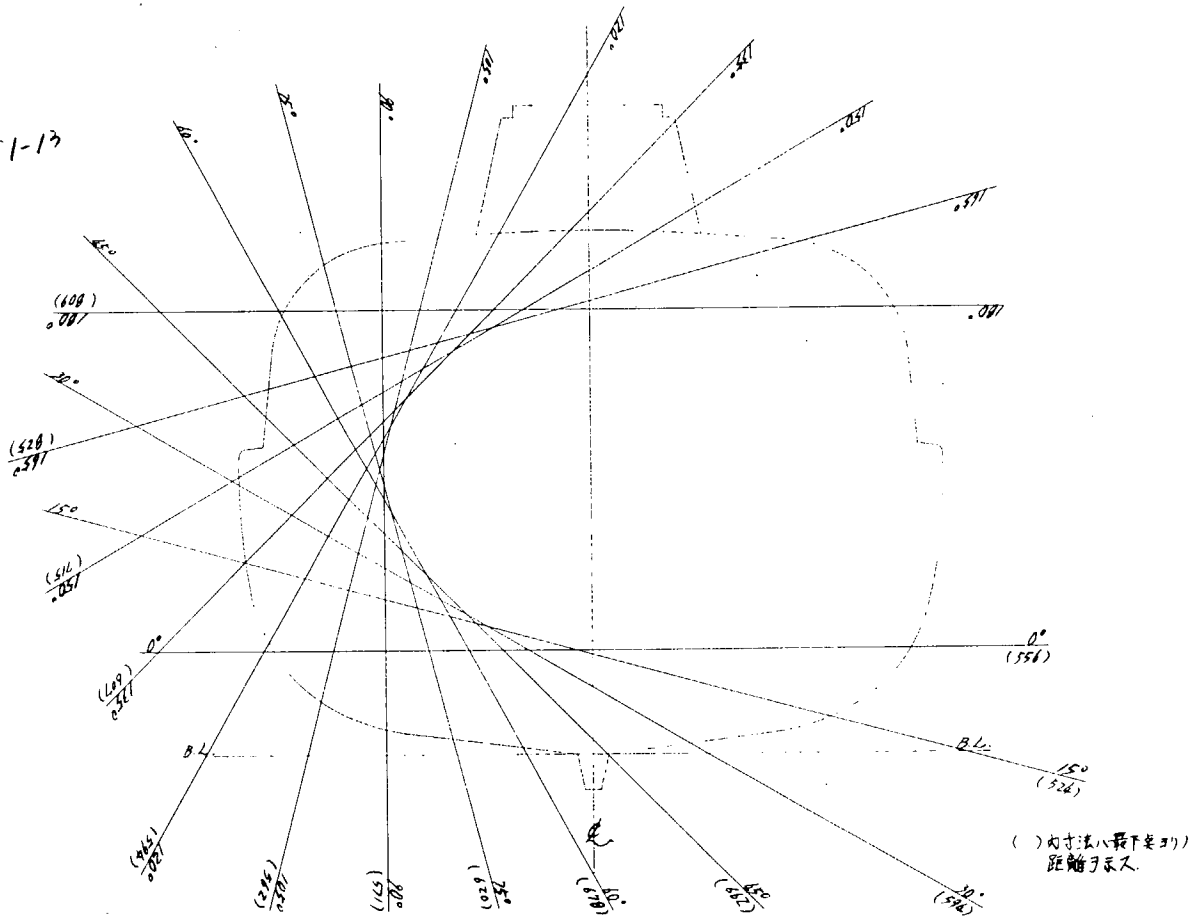


図 2. 4 傾斜水線図 (軽荷)

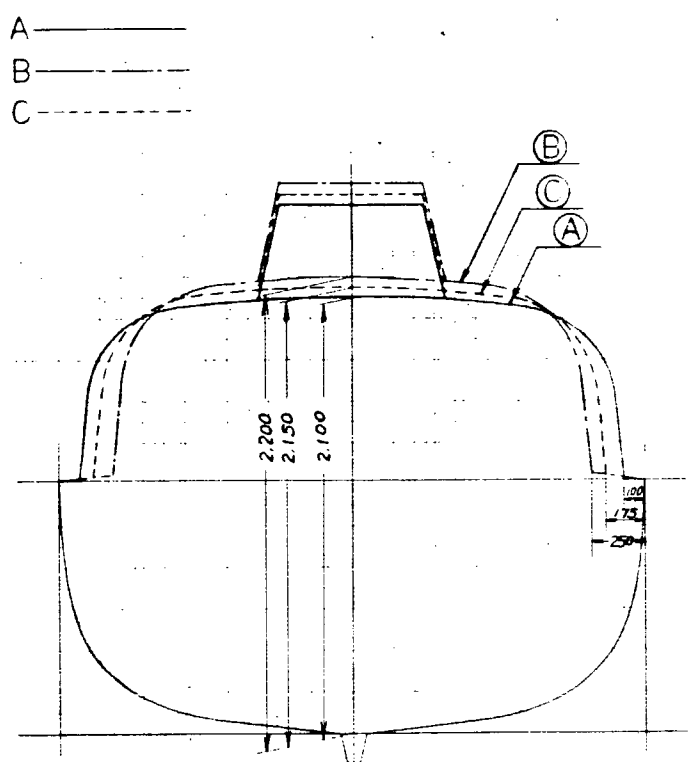


図 2. 5 中央断面比較図 (A・B・C)

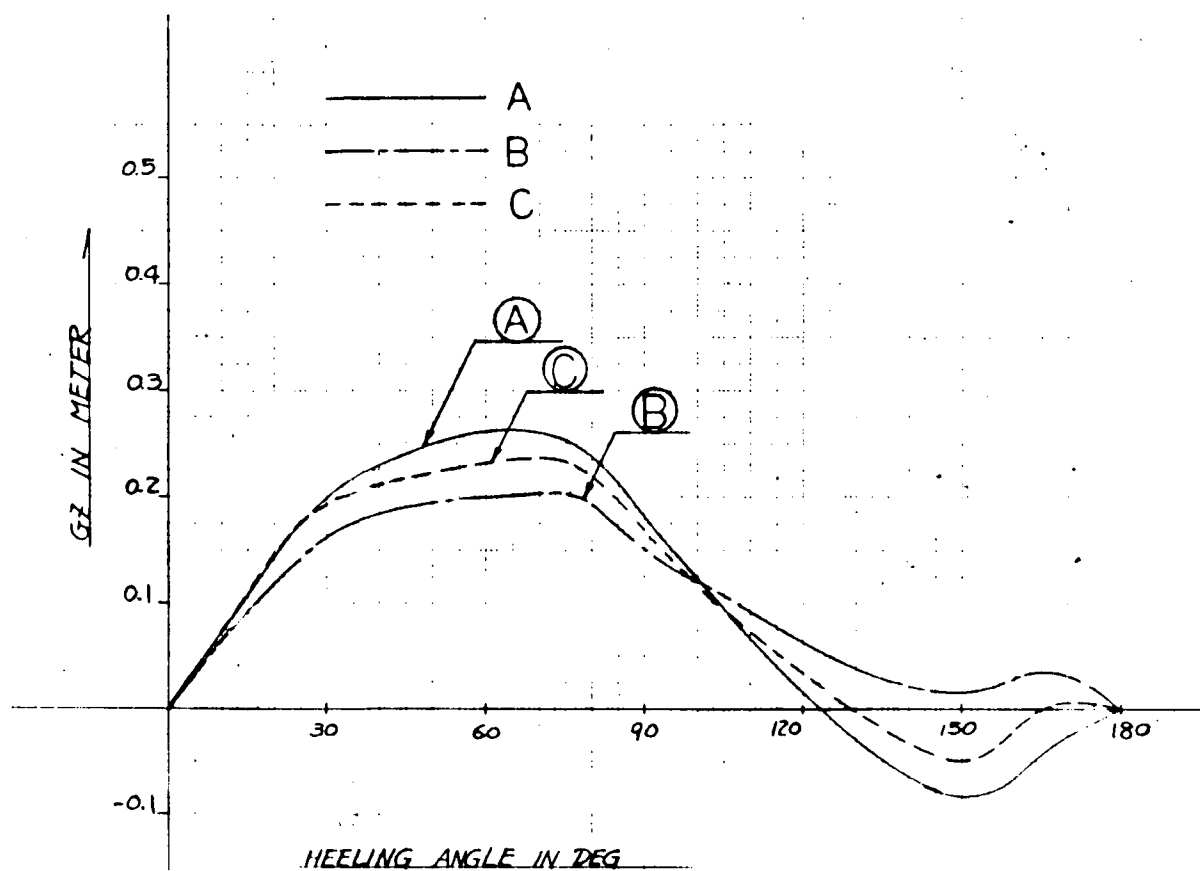


图 2. 6 復原力曲線 (滿載·A·B·C)

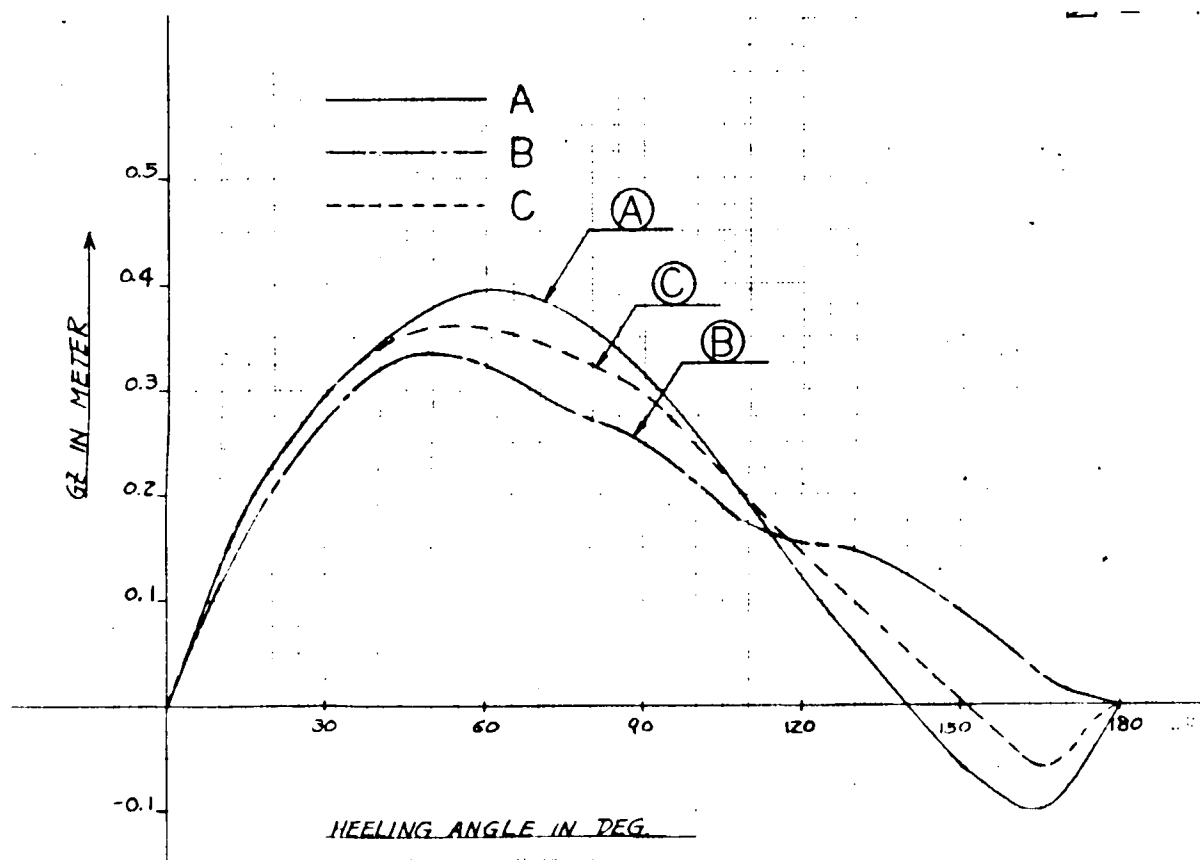


图 2. 7 復原力曲線 (輕荷·A·B·C)

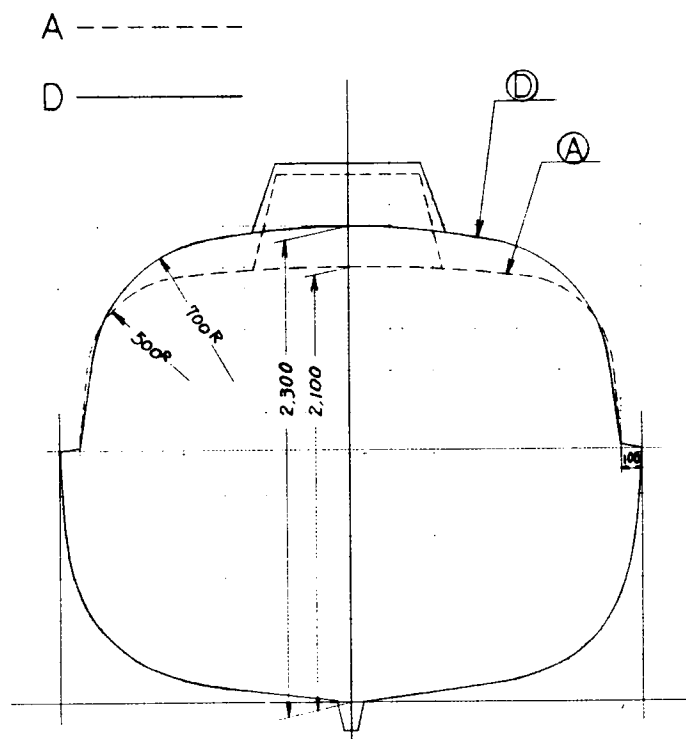


图 2. 8 中央断面比较图 (A · D)

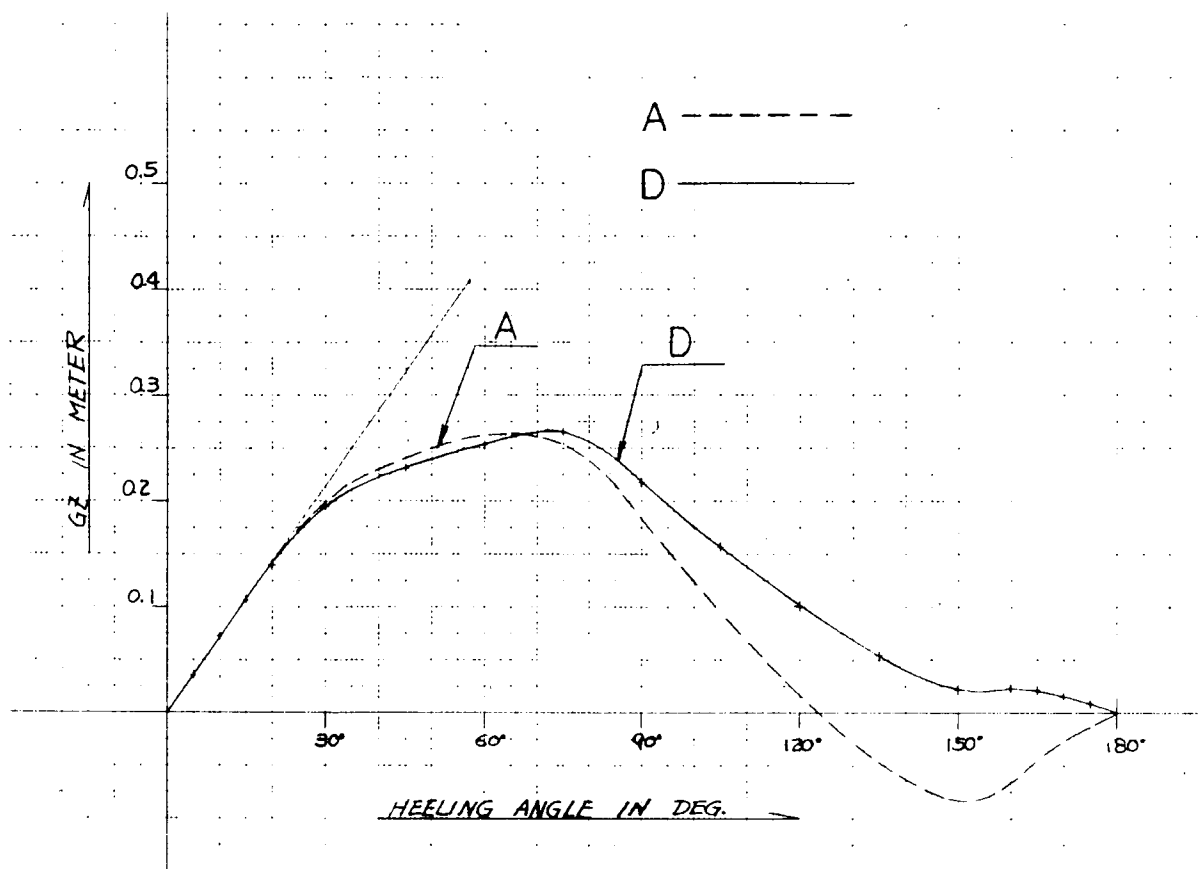


图 2.9 復原力曲線 (滿載 A · D)

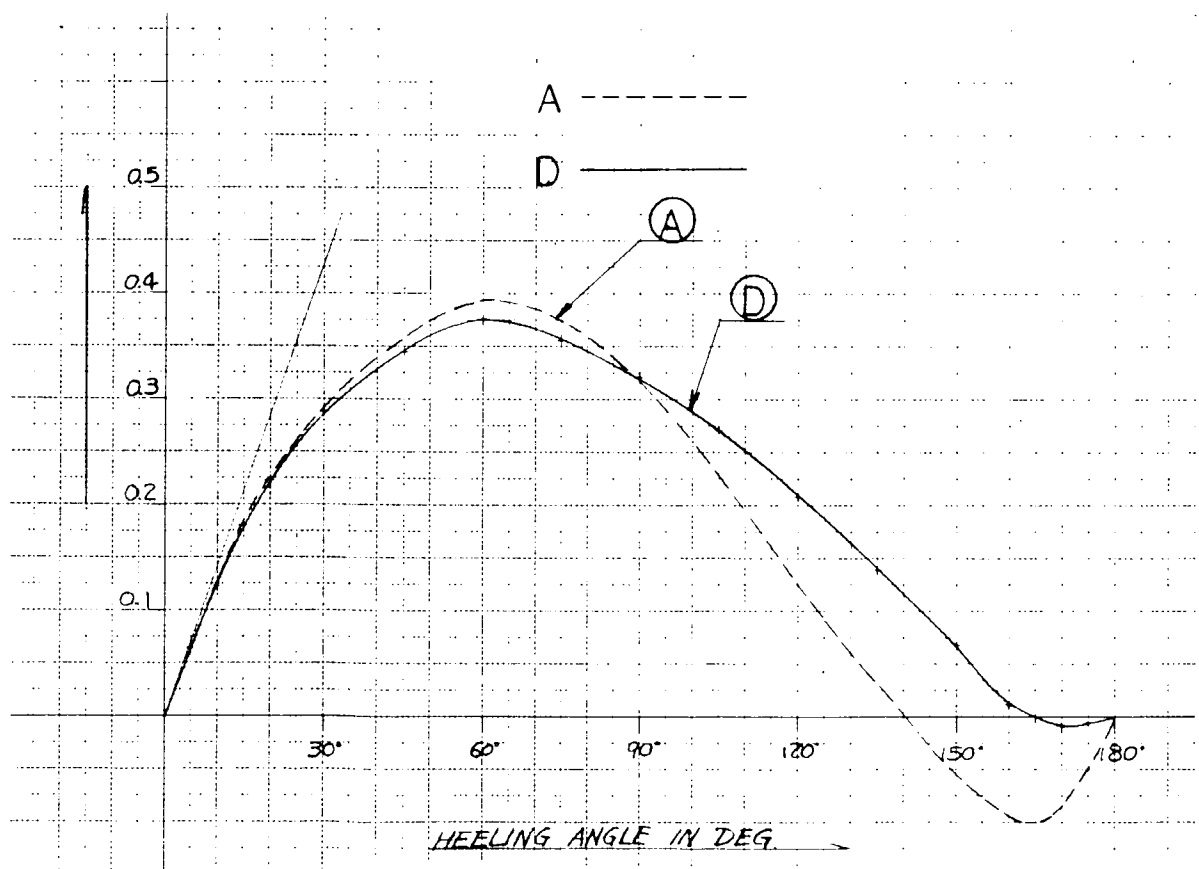


图 2.10 復原力曲線 (輕荷 A · D)

3. 転覆実験による自己復原性の要件の検討

3.1 実験の目的

本模型実験の目的は、復原性限界角がどの程度以上になれば、実質的に転覆しない救命艇であると認められるかを確かめるにある。

完全なself-rightingの船は、どのような波に出会っても転覆しないことは勿論で、実験の必要がないが、復原性限界角が 180° より小さく、負の復原力がある程度存在するものについては、次の二つのケースが考えられる。

- (1) ある大きさの波になると転覆するが、転覆した状態からそれより小さな波で起上る。
- (2) なかなか転覆せず、転覆しても倒立状態で釣合わず、転覆した勢いで起上ってしまう。

(2)の場合は波で転覆する限り余勢で必ず起上るわけであるから実質上self-rightingである。

(1)の場合は転覆する波と起上る波の大きさ（例えば高さ）の比率の問題で、転覆する波に対し遥かに小さい波で起上るとすれば実質的にはself-rightingと考えてよいであろう。

これらの事を試験するため、原型（A型）の重心を変えて復原性限界角を $60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ （原型） 132° に変えたもの4種及びD型の重心を変えて限界角 $120^\circ, 132^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ に変えたもの4種の計8種について転覆及び起上り実験を行なった。

3.2 模 型 船

3.2.1 小型模型

予備試験用の小型模型として原型（A型）の1/25模型をバルサ材で作製した。その要目を表3.1に示す。

表 3. 1 小 型 模 型 要 目

項 目	実 船	模 型
L	8.000 m	0.320 m
B	3.000 m	0.120 m
D	1.220 m	0.049 m
d	0.660 m	0.026 m
W	8.000 Ton	0.512 kg
GM	0.745 m	0.030 m
T _R	2.873 sec	0.575 sec

3.2.2 大型模型

本実験のため1/10尺度のFRP模型を2種作成した。その要目を表3.2に示す。

表 3. 2 大 型 模 型 要 目

項 目	実 船	A 型 模 型	D 型 模 型
L	8.000 m	0.802 m	左に同じ
B	2.800 m	0.230 m	〃
D	1.220 m	0.122 m	〃
df	0.538 m	0.0538 m	〃
da	0.839 m	0.0839 m	〃
dm	0.676 m	0.0676 m	〃
trim	0.301 m	0.0301 m	〃
W	7.673 Ton	7.673 kg	〃
KG	0.949 m	0.0949 m	0.0960 m
GM（標準）	0.422 m	0.0422 m	0.0408 m

この2種の模型について重心を4種変えて次の実験状態とした。

表 3.3 A 型 模 型 実 験 状 態

名 称	A — 1	A — 2	A — 0	A — 3
項目 \ 限界角 θ_r	60°	90°	120°(原 型)	132°
W	7.673 Ton	左に同じ	左に同じ	左に同じ
dm	0.676 m	"	"	"
KG	1.264 m	1.115 m	0.949 m	0.851 m
GM	0.107 m	0.256 m	0.422 m	0.520 m
T _R	5.186 sec	3.542 sec	2.82 sec	2.783 sec

表 3.4 D 型 模 型 実 験 状 態

名 称	D — 1	D — 2	D — 3	D — 0
項目 \ 限界角 θ_r	60°	90°	150°	180°(原 型)
W	7.693	左に同じ	左に同じ	左に同じ
dm	0.676	"	"	"
KG	1.177	1.078	1.004	0.960
GM	0.201	0.297	0.366	0.408
T _R		3.162	2.814	2.767

A型の復原力曲線図を図 3.1 に、D型の復原力曲線を図 3.2 に示す。

模型の配置を図 3.3 に示す。図中重量移動装置は模型の天蓋を外すことなく重心位置を調節出来るようにしたもので、図 3.4 のような構造になっており、外部からのパルス信号でパルスモーターを廻転させて一定量だけ重錘を上下又は左右に移動させるものである。

3.3 試験に用いた波

一般にsurvival craft は Sea state 8 程度の荒天に耐えることが望ましいと云われているが、模型スケールで sea state 8 に相当する波を水槽で起こすことは不可能なので、一般の救命艇の要件である sea state 6 の波を標準にとって考える。

sea state 6 の波は有義波高にして 5 m 平均周期 11.1 sec である。これを模型スケールにすると次表のようになる。

表 3.5

	尺 度	模 型 相 当 有 義 波 高
小 型 模 型	1 / 24	20.8 cm
大 型 模 型	1 / 10	50 cm

水槽で起こせる規則波の波高の限界は 30cm なので、小型模型相当の波でもやっと起こせる程度で、大型模型相当の波を起こすことは不可能である。

造波機的能力として長周期大振巾の波を起こすことが難しく、短周期の波を起こすのは容易である。一方船の転覆に有義な影響を持つのは船の横揺固有周期を中心とし、その 2 倍程度の周期を持つ周波数帯の波までであって、あまり長周期の波は殆んど影響を与えないことは、小型模型による予備実験でも検証されたので、ここでは Sea state 6, 5, 4, 3 の波について、そのスペクトラムの中で、造波機能力のある高周波成分のみを取り、そのような成分波で過渡水波 (transient wave) (図 3.5 参照) を作って実験を行なった。

過渡水波を用いた理由は、通常の不規則波では異常に粗い波に遭遇する為には多数の波を当てなければならず時間が掛かるので、確実に捲き波となる過渡水波を用いたわけである。

なお、あるスペクトラムを有する海面で、過渡水波に相当する異常波が発生する確立は正確には判らないが極めて小さいと考えられ、従って、実験に用いた波は、その対応する Sea state で極めて稀にしか起こらないような異常な波であると考えられる。

図 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 に Sea state 夫々 3, 4, 5, 6 に相当する波を実際に造波した場合のスペクトラムと、造波機直後の波形記録を示す。

又、図 3.10 には、Sea state ④の波の集中点の時間波形を、又図 3.11 には空間波形を示す。

波形記録から見て、完全に集中した波になっておらず、又波高も（下表）Sea-state の高い方が必ずしも高くなっていない。

	最高波高（起こした波）
Sea state 3	40 cm
4	54 cm
5	53 cm
6	48 cm

このように Sea-state と波高の関連がおかしいのは、集中波（過渡水波）の集中度が悪いことと、低周波域で素成波の振巾を造波機の容量から cut していることに起因していると思われる。

従って、今後は Sea-state 幾つの波という呼び方をやめ、単に図 3.6 ～ 9 に示したスペクトラムを有する過渡水波として、波高幾らの波と呼ぶことにする。

なお、このような波高の波が、あるスペクトラムを有する海面で発生する確率は、スペクトラムの累積エネルギー密度を σ^2 とすると次の式で求められる。

$$N H_{max} = \sqrt{\ln\left(\frac{N}{\ln 2}\right)} \times \sqrt{2 \sigma^2}$$

但し $N H_{max}$ は N 波の中の最大波高の期待値である。

これによると Sea state 4 の波の場合、 $\sigma^2 = 22.84 \text{ cm}^2 \text{ sec}$ で、水槽で起こした集中波の波高は 54 cm であるから、このような波高の波が出現する確率は 10^{-28} 程度である。

このことから考えて、この実験に用いた波は、その海面のエネルギーレベルにしては極めて稀にしか起こらないような異常波であることがわかる。

3.4 転覆実験結果とその解析

3.4.1 A型模型による実験

A型模型に種々の波高の集中波を当てたときの結果を表 3.6 (A～D) に示す。

表 3.6 (A～D) の上段は直立状態から転覆するかどうかを示したもので、表中×は転覆しない場合、○は転覆、◎は一旦転覆するが一回転して起上る場合を示す。又表 3.6 (A～D) の下段は転覆した状態に、種々の波高の波を当てたとき、起上るかどうかを示したもので、×は起上らない場合、○は起上る場合、◎は一旦起上って一回転して又、転覆する場合、◎は 1 回転半して起上る場合を示している。

これをわかりやすく示すために、図 3.12, 図 3.13 を作製した。これらの図は横軸に復原性限界角をとり、縦軸に平均高波を取って転覆又は、起上りの状況を示したものである。図中白丸は転覆（又は起上り）が生じない場合、黒丸はすべてのケースで転覆（又は起上り）、扇形の黒白は、黒の割合が大きい程、数度の実験中転覆（又は起上り）の回数の比率が大きかった事を示す。

又、星印はSea state 4の波の造波機のinput信号の振巾を減じて波高を小さくして行き、転覆の起きない限界の波高を求めたものである。従って図中破線は、このようにして求めた転覆（又は起上り）限界波高の予想を示している。

次に船の位置を波の集中の位置から前後にずらせた場合の影響を調べる為に図3.14を作製した。図中ベースは船の位置を示し、0が波の集中点、一は波の来る方向、+は波の進む方向である。破線が限界波高を示す。

なお限界波高を求めるため、Sea state 4（波高54cmの波）のinput信号の振巾を徐々に絞って波高を減じ、転覆する限界の波高を求めたものを表3.6（E）に示す。

3.4.2 D型模型による実験

A型と同様の実験をD型についても行なった。

表3.7〔A～D〕の上段は直立状態から転覆するかどうか、表3.7〔A～D〕の下段は転覆した状態から起上るかどうかを示したものである。表中の記号は表3.1、3.2と同様である。これを判りやすく示したのが図3.15、図3.16である。記号は図3.12、図3.13と同様である。

なお、限界波高を求めるため、Sea state（波高54cm）の波のinput信号の振巾を徐々に絞って波高を求めたものを表3.7（E）に示す。

3.4.3 結果の解析

(1) 復原性限界角の転覆限界波高、及び起上り限界波高の関係

復原性限界角 θ_r が大きくなると、転覆限界波高が大きくなることは予想された事であったが、実験結果も図3.12（A型）、図3.15（D型）で見ると、確かに限界角が大きくなると転覆限界波高が大きくなるのがわかる。そしてA型 $\theta_r 132^\circ$ の場合及びD型の $\theta_r 150^\circ$ 位の大きな限界角となると、仲々転覆せず、転覆しても1回転して起上るケースが出て来る。又D型の $\theta_r 180^\circ$ では当然転覆は全くしないが、1回転して起上るケースが増えて来るのがわかる。

一方、転覆して倒立した状態から起上る限界の波高は図3.13（A型）図3.16（D型）からわかるように、復原性限界角 θ_r が大きい程、倒立状態での限界角は小さいわけなので、 θ_r が大きい程、倒立状態からの起上りは容易になり、従って限界波高は小さくなって行くのがわかる。しかも θ_r の大きい場合、倒立状態から単純に起上る場合と、1回転半して起上る場合とがあり、 θ_r が大きくなる程、1回転半する割合が多くなって行く。

θ_r が0に近づくと、直立状態は極めて不安定でちょっとした波で転覆するはずであるが、実験ではあまりその辺りを詳しくやっていないので、はっきりしたことは云えないが、案外大きな波高を要しているのは、横ゆれ周期が極めて長くなるため、今使っている、比較的短周期の波（直立時の横揺周期に近い周期の波）では、マッチしない為と見られる。同じことが θ_r が 180° に近い場合の倒立状態からの起上りについても云える。

これらの関係を定性的に示したものが図3.17である。

以上のことから $\theta_r = 180^\circ$ では勿論self rightingであるが $\theta_r > 130^\circ$ 程度であれば、転覆しても1回転して起上る可能性があり、又完全に転覆しても比較的小さい波で起上るのでこの船型に関する限り事実上self rightingであると云えよう。この1例で結論を下すのは早計であるが、余裕を取って、一般に $\theta_r > 150^\circ$ であれば事実上Self rightingと云って差支えないであろう。

(2) A型とD型の相違

A型は標準状態で $\theta_r = 132^\circ$ であり、この程度の θ_r では稀には転覆する可能性があるが、転覆しても1回転して起上るケースも観測されており、又完全に転覆しても比較的小さい波で起上ることから、事実上は、Self rightingと考えてよいであろう。一方D型の標準状態は $\theta_r = 180^\circ$ であるから勿論完全にself rightingである。この状態では殆んどの場合、傾いても又元の方向に戻るが、稀に1回転するケースも出ている。

D型の重心を標準状態より上げて、故意に θ_r を小さくしたケースでは、 $\theta_r = 150^\circ$ の場合、やはり実験した範囲では1度も転覆せず、1回転して起上ったケースが1度観測された。従って実質的に Self-righting という事ができる。

更に重心を上げて $\theta_r = 120^\circ$ とすると、かなり転覆するケースが増えて来て、A型の $\theta_r = 120^\circ$ の場合より転覆しやすいが、これは重心を無理に上げて θ_r を小さくしているわけであるから当然と云えよう。

(3) 波の集中点からの相対位置の影響

以上の結果は何れも船が波の集中点にあって、丁度崩れる波に巻き込まれるような位置にある場合の話で、船が波の集中点より風上側又は風下側にずれた場合にどうなるかを調べて見よう。

図 3.18 は波高が集中点を中心としてどのように変化するかを測ったもので、これより見て集中点を中心に実船スケールで ± 10 m 位の範囲では、波高に大きな変化はなく、10 m 以上風下側では波が崩れて低くなっているのが判る。

これに対し、各位置での船の転覆の有無を図示してみると A 型の例として図 3.14 のようになる。

これより極端に波の集中点より風上又は風下にずれると、転覆し難くなり、従って転覆限界波高は高くなって行く傾向があるが、 ± 10 m 位の範囲では位置の影響はそれほど大きくないと云うことが出来よう。

(4) 波の種類の影響

今回は、予備実験の結果からも、捲き波でないと転覆しないことが予想されたので、ある Sea-state のスペクトラムの内、高周波の部分の成分のみ使って過渡水波による捲き波を発生させて実験を行った。

従って、転覆限界は遭遇する波によって変わる事が当然予想され、又同じ捲き波でも、素成波のスペクトラムの帯域を変えると、限界波高が変わることも予想される。

その為、波を変えて幾つか実験した結果は次のような結果を得た。

- 1) 規則波：横揺同調周期を中心とした規則波ではかなり粗い波を当てても、全く転覆しなかった。
- 2) 不規則波：今回用いた各 Sea-state の高周波部分のみのスペクトラムを用いて、random な位相で発生させた不規則波では、捲き波も出来ず、全く転覆しなかった。
- 3) 周波数帯を変化させた過渡水波：時間が無く、十分な検討は行えなかったが、今回用いたスペクトラムより高周波部分によりエネルギーを持つスペクトラムを用いて発生させた過渡水波によると、限界波高が低く出た例もあり、周波数帯域をかえることにより、限界波高が変わることは十分予想される。然しながら、(1)で述べた θ_r と転覆しやすさの関係には大きな違いはないものと考えられる。

(5) 転覆過程の考察

転覆実験をビデオに撮り、検討を行なった結果、転覆の過程に幾つかのパターンがあることが判明した。

図 3.19 は波が集中して崩れてゆく経過を下から 0.2 秒おきに示したものである。これに模型の位置と、その姿勢をいろいろなケースについて示したのが図 3.20～図 3.26 である。

- 1) 図 3.20 は A 型で $\theta_r = 60^\circ$ の場合であるが転覆したケースを黒い水線マーク、転覆しなかったケースを縞マークで示す。波は砕波で押し流され、砕波が通り過ぎた後に波の背の所で転覆していることがわかる。
- 2) 図 3.21 は A 型の $\theta_r = 90^\circ$ の場合で、砕波に巻き込まれ砕波中で転覆している。
- 3) 図 3.22 は A 型の $\theta_r = 120^\circ$ の場合で、この場合も前と同様砕波の衝撃により転覆している。
- 4) 図 3.23 は D 型の $\theta_r = 120^\circ$ の場合で完全に砕波の衝撃で転覆している。
- 5) 図 3.24 は稀に起きたケースで波の来る側に転覆した例である。
- 6) 図 3.25 は、船の集中点に対する船の位置の影響を調べたもので、船が波の集中点にある場合には砕波により下流に大きく流されると同時に転覆しているのに対し、波の下流側に船がある場合には船に当たる前に波

は崩れ、そのまま崩れた波の前面に乗って船は押し流されるだけで転覆しない。

又、波の上流側に船がある場合は波が碎ける前に船の位置を通過するので転覆を起こさない。

以上は正常の位置からの転覆のパターンであるが、転倒した状態からの起上りの例を図 3.26 に示す。船は碎波に巻かれ、押流されながら起上っている。

今回は時間も無く、転覆の機構まで解明するに至らなかったが、これらの資料は、転覆機構の解明に大きく役立つものと考えられる。

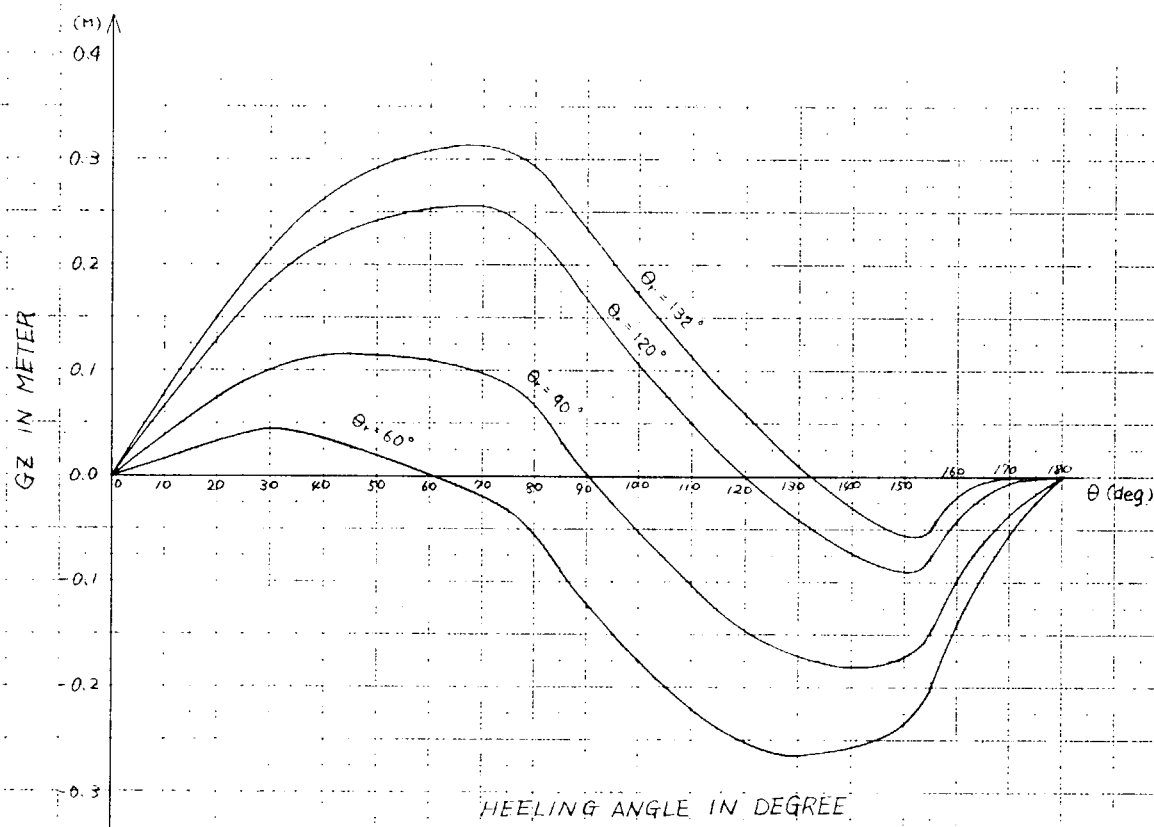


图 3. 1 A型復原力曲線

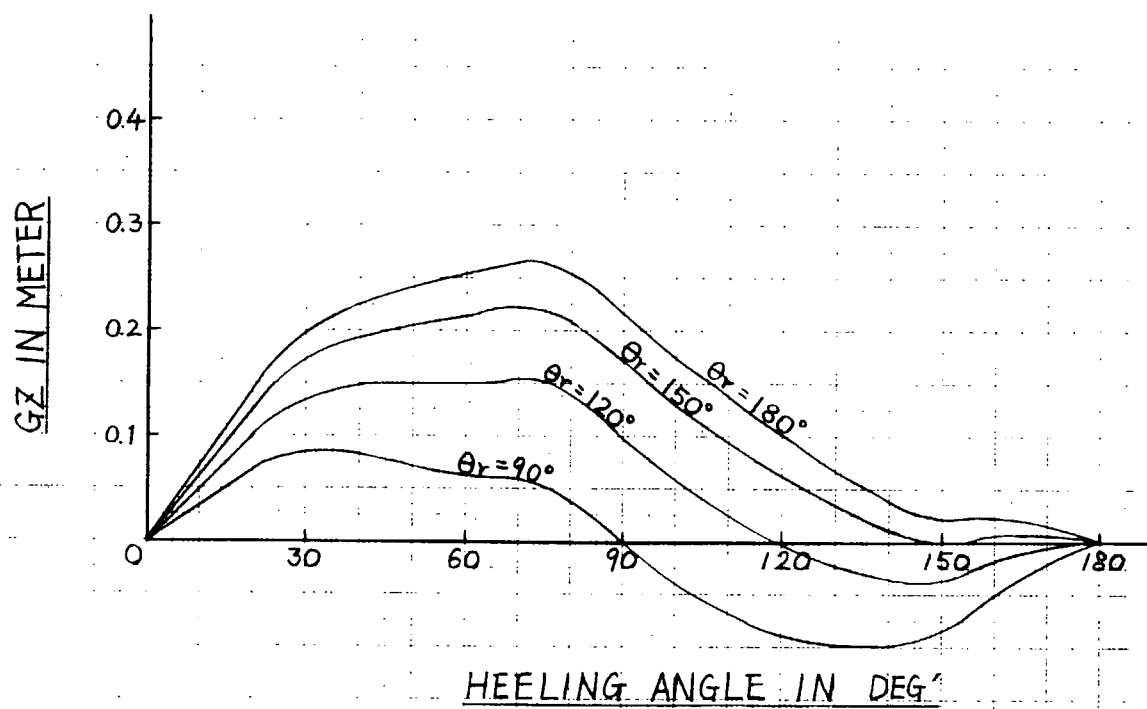


图 3. 2 D型復原力曲線

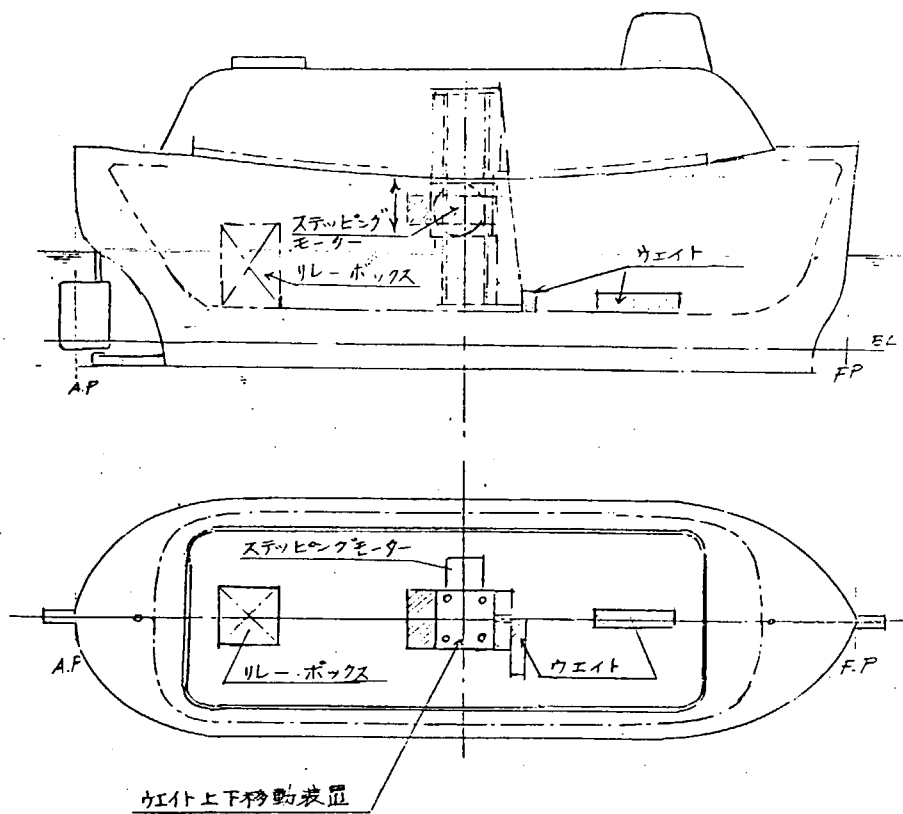


図 3. 3 模型配置図

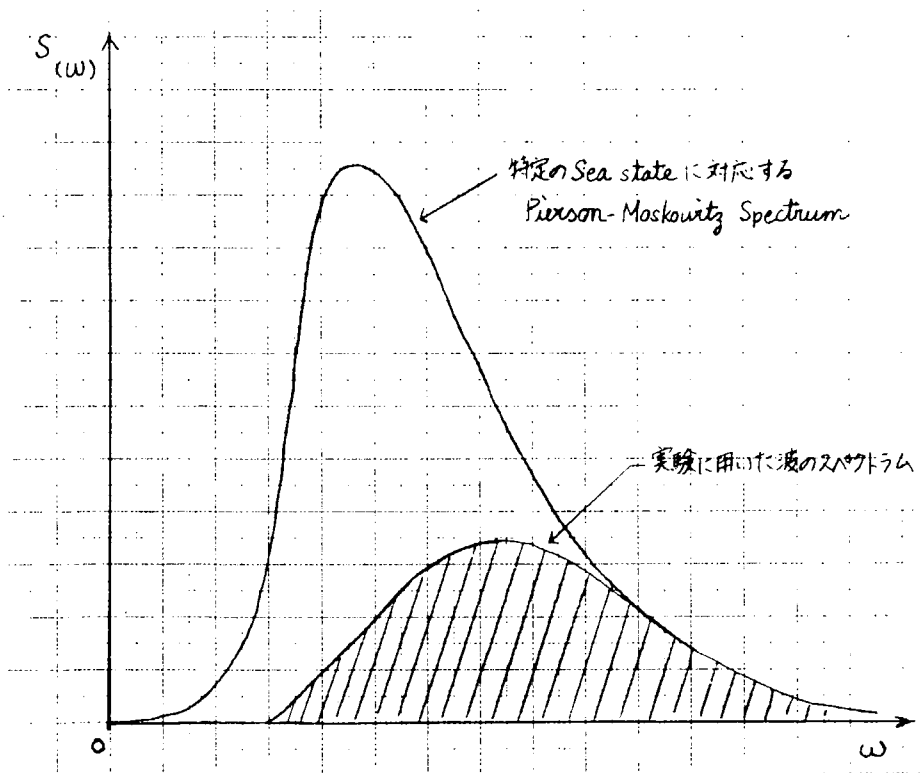


図 3. 5

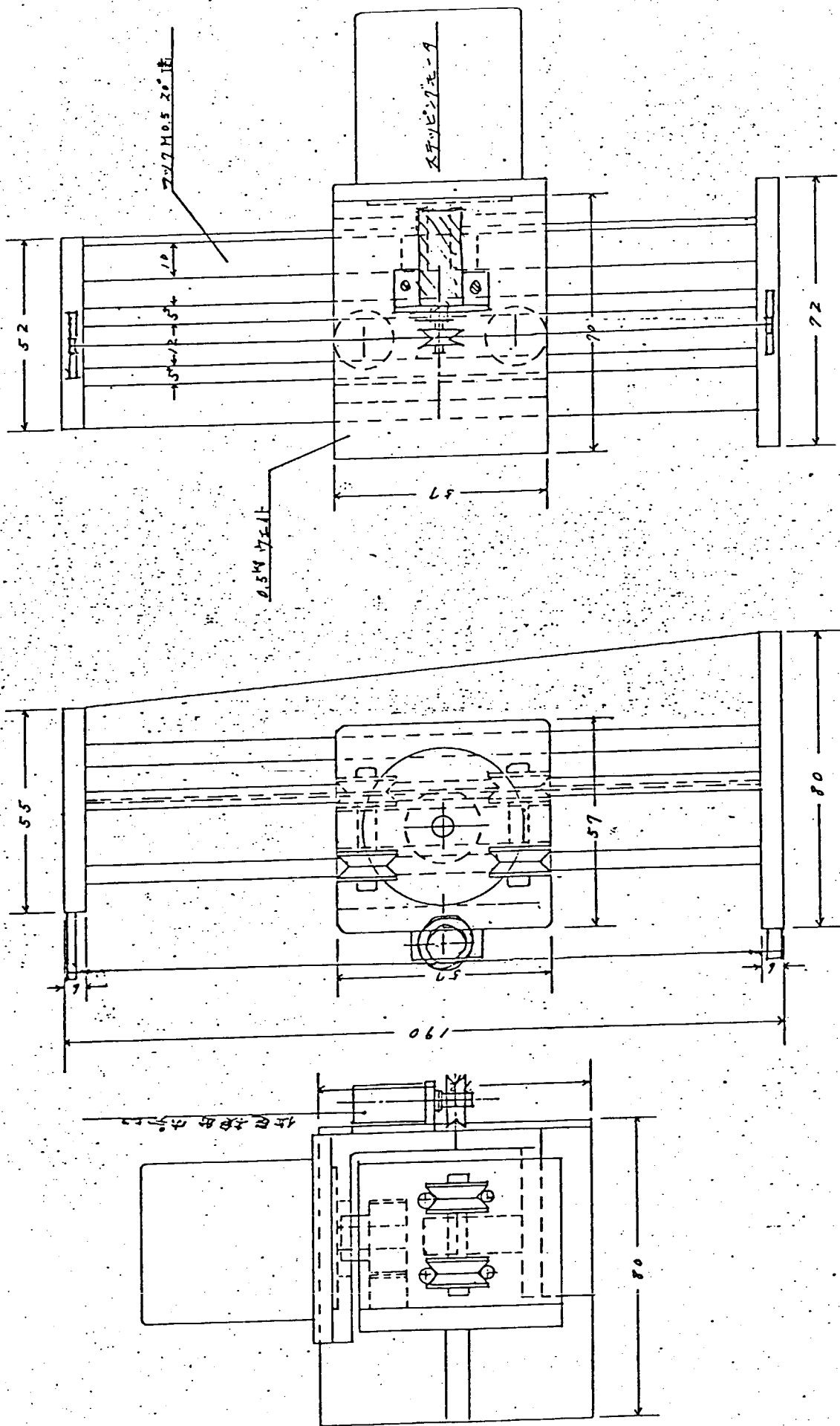


図 3. 4 重量移動装置

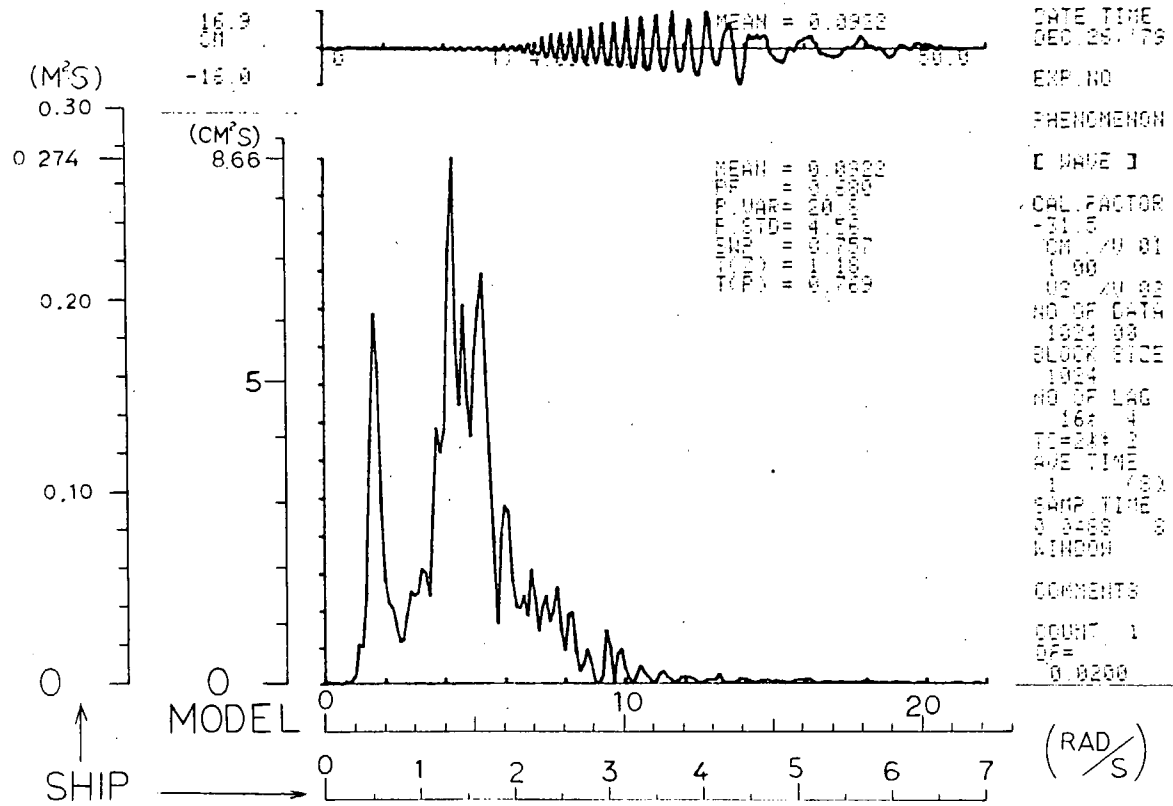


图 3. 6

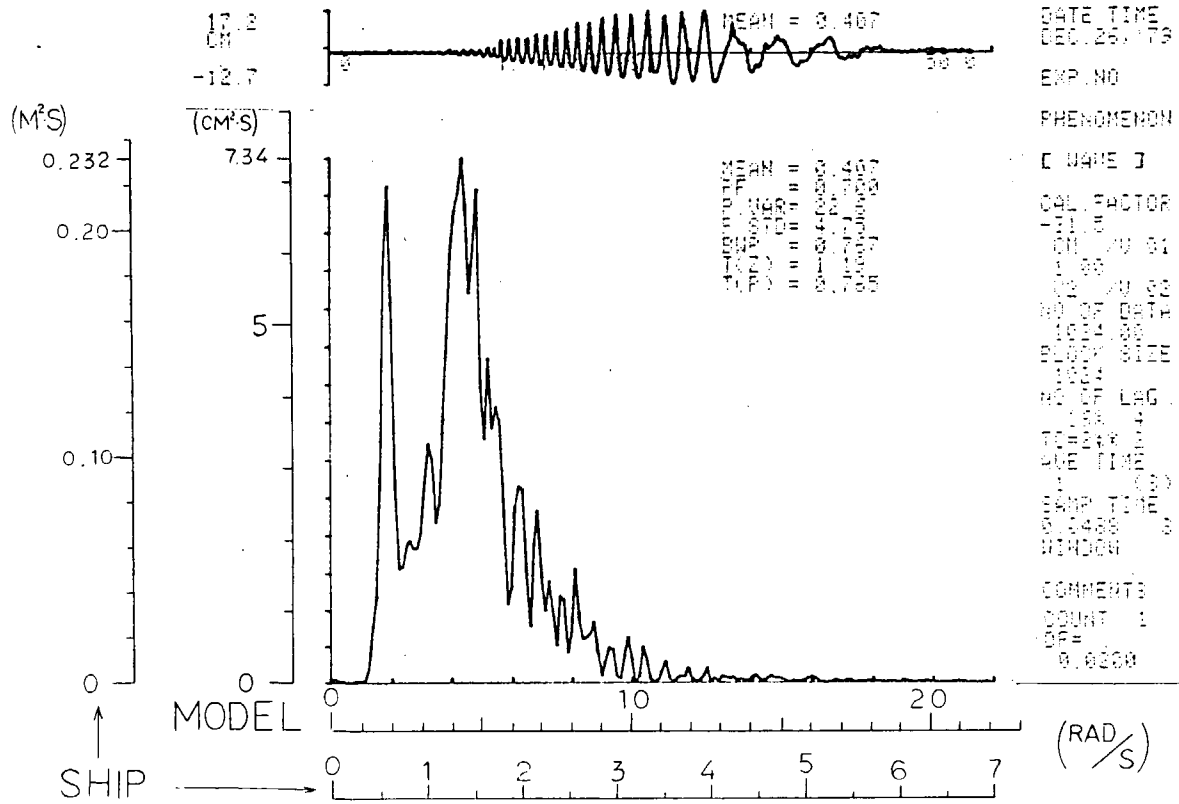
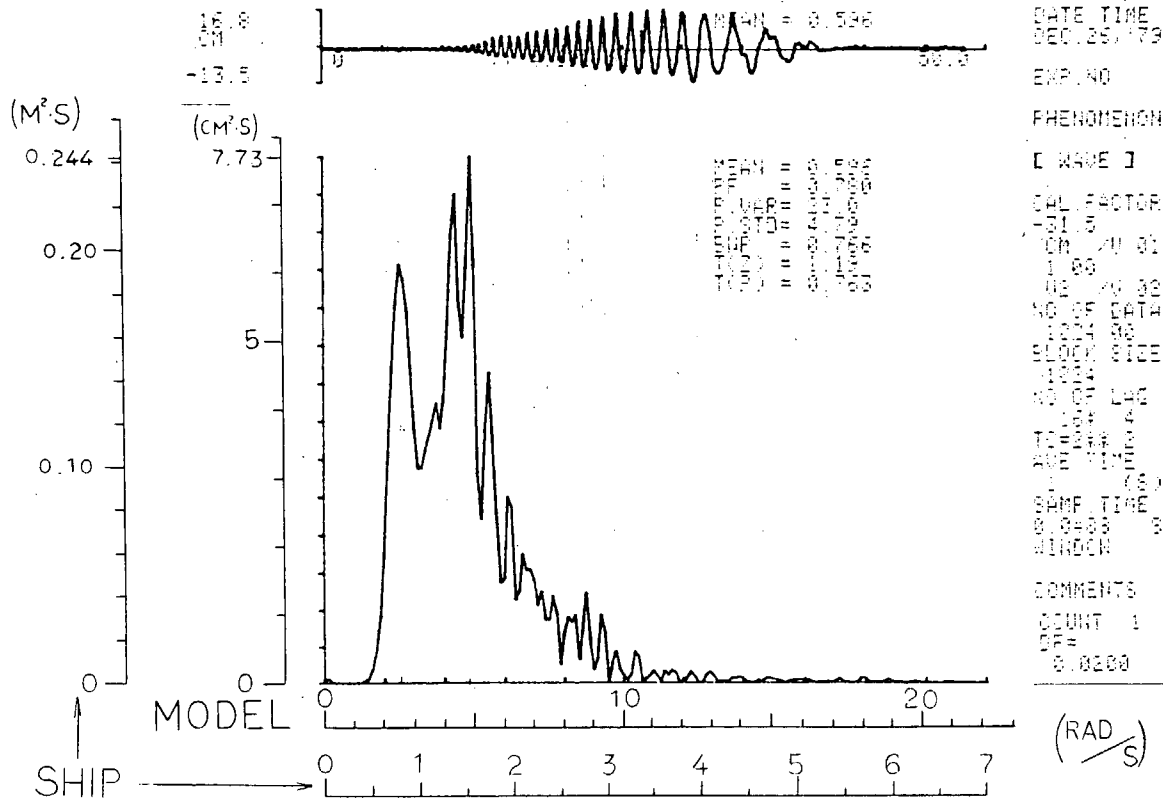
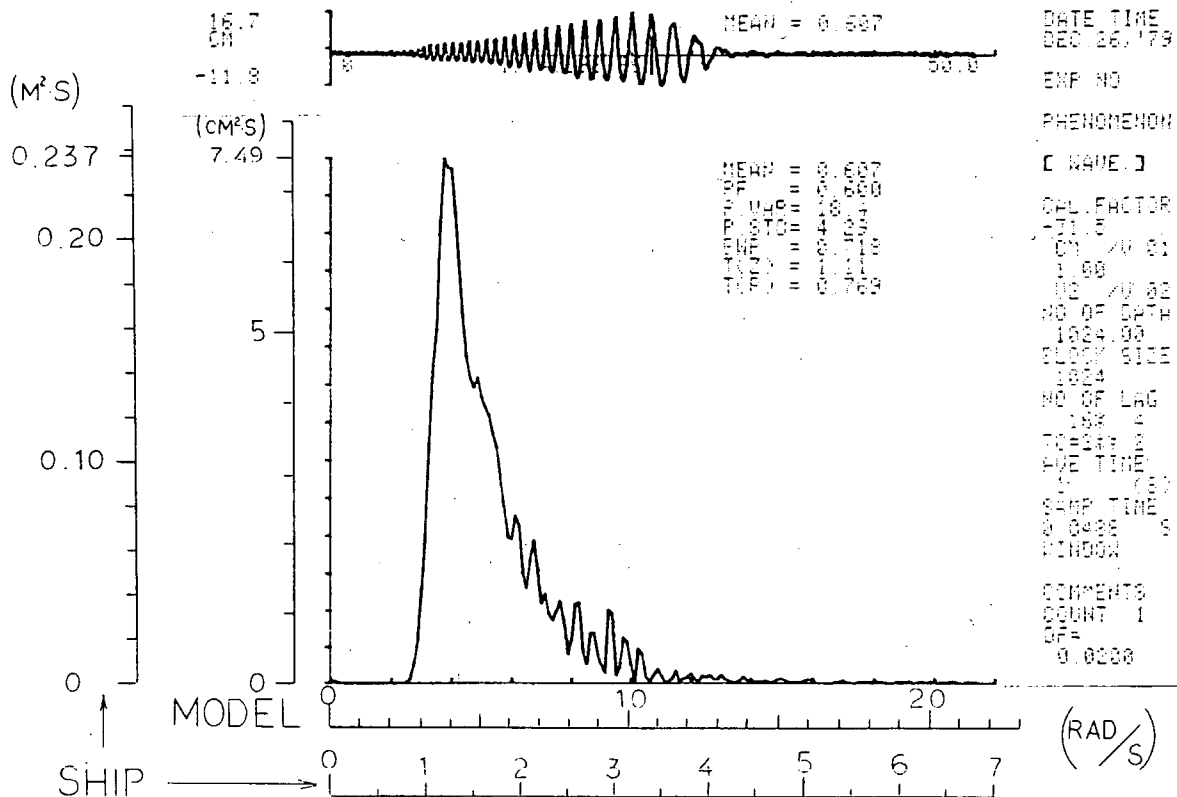


图 3. 7



3. 8



3. 9

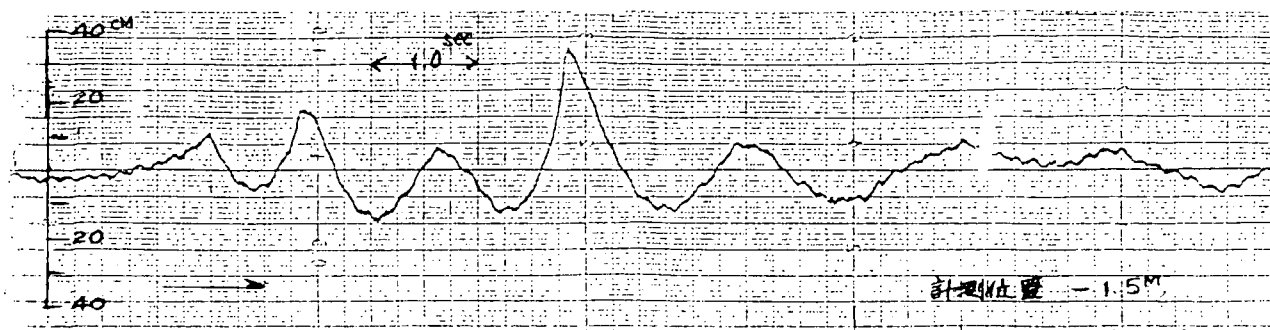


図 3.10 時間波形記録の一例 (S・S 6)

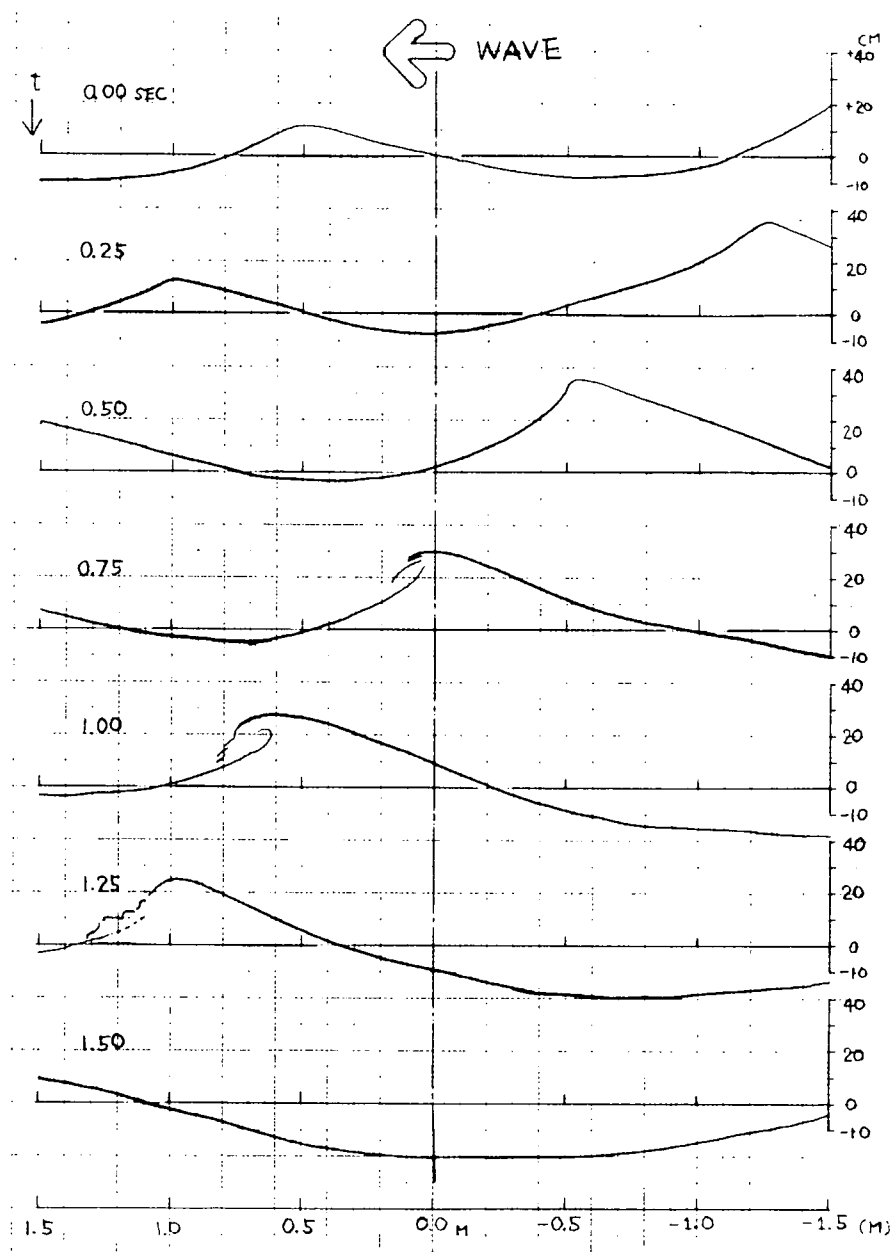


図 3.11 実験に使用した波の一例 (模型スケール)

表 3.6.(A) A 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+ 20. 0	+15. 0	+10. 0	+5. 0	0	- 5. 0	-10. 0	-15. 0	-20. 0
転 覆 実 験	最 大 波 高 (S.S 6) (m)		4. 60	4. 70	4. 55	5. 00	4. 95	4. 70	4. 80	
	Stability Range 60°		×	×	○	×	×	×	×	
	" 90°		×	×	○	○	○	○	○	×
	" 120°		×	×	×	×	×	×	×	
	" 132°		×	×	×	×	×	×	×	
起 上 り 実 験	Stability Range 60°		×	×	×	×	×	×	×	
	" 90°		×	×	○	○	○	○		
	" 120°		×	×	○	○	○	○	○	○
	" 132°		○	○	○	○	○	◎	○	

記 号 転覆実験 ×…転覆せず ○…転 覆 ◎…一回転 ◎…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ◎…一回転半

表 3.6.(B) A 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+ 20. 0	+15. 0	+10. 0	+5. 0	0	- 5. 0	-10. 0	-15. 0	-20. 0
転 覆 実 験	最 大 波 高 (S.S 5) (m)		5. 20	5. 20	5. 60	5. 65	5. 35	5. 15	5. 05	
	Stability Range 60°		×	×	○	○	○	○	○	
	" 90°		○	○	○	◎	○	○	◎	○
	" 120°		○	○	○	○	○	◎	○	
	" 132°		×	◎	◎	○	×	○	×	
起 上 り 実 験	Stability Range 60°		×	×	◎	×	×	×	×	
	" 90°		×	○	×	○	○	×	×	
	" 120°		×	○	○	○	○	○	○	○
	" 132°		○	○	○	○	◎	◎	○	

記 号 転覆実験 ×…転覆せず ○…転 覆 ◎…一回転 ◎…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ◎…一回転半

表 3.6 (C) A 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+20.0	+15.0	+10.0	+5.0	0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0
転覆実験	最大波高 (S.S 4) (m)		3.90	4.45	5.55	5.50	5.60	5.20	5.10	
	Stability Range 60°		×	○	○	○	○	○	×	
	" 90°		×	○	◎	○×	×	◎	×	
	" 120°	×	○	○	○	×	◎	○	×	
	" 132°		×	×	×	×	×	×	×	
起上り実験	Stability Range 60°		×	×	×	×	○	×	×	
	" 90°		×	×	×	○	○	×	×	
	" 120°		○	×	○	○	○	○	○○	×
	" 132°		×	○	○	○	○	○○	○○	

記号 転覆実験 ×…転覆せず ○…転覆 ◎…一回転 ◎…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ◎…一回転半

表 3.6 (D) A 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+20.0	+15.0	+10.0	+5.0	0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0
転覆実験	最大波高 (S.S 3) (m)		3.70	3.90	4.00	4.25	4.15	4.15	3.90	
	Stability Range 60°		×	×	×	×	×	×	×	
	" 90°		×	×	×	×	×	×	×	
	" 120°				×	×	×			
	" 132°		×	×	×	×	×	×	×	
起上り実験	Stability Range 60°									
	" 90°		×	×	×	×	×	×		
	" 120°									
	" 132°									

記号 転覆実験 ×…転覆せず ○…転覆 ◎…一回転 ◎…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ◎…一回転半

表 3.6(E)D型 転覆限界波高，起上り限界波高（S・S・4）

(1) $\theta r = 90^\circ$ ，転覆限界 $\theta r = 90^\circ$ ，起上り限界

Stroke	波 高 (m)	結 果	Stroke	波 高 (m)	結 果
200	5.05	○	180	4.82	○
190	4.95	○	175	4.65	○
185	4.85	×	170	4.55	○
180	4.75	×	165	4.35	×
180	4.75	×	160	3.65	×

(2) $\theta r = 120^\circ$ ，転覆限界 $\theta r = 120^\circ$ ，起上り限界

300	5.50	○	200	5.00	○
280	5.50	○	160	4.10 ※	○
260	5.40	◎	155	4.65	○
240	5.20	○	150	3.65	○
220	5.20	◎	145	3.50	×
(3) 200	4.97	○	140	3.52 ※	×

180	4.32	○
180	4.32	○
175	4.17	○
170	4.14	×
165	4.14	×
160	3.90	×
140	3.22	×

記 号 転 覆 起上り
 ◎…一回転 ○…起上り
 ○…転 覆 ×…起上らず
 ×…転覆せず

$\theta r = 150^\circ$ ，起上り限界

※印は内部没入のため測定は不正確

100	3.00	○
65	1.80	○
60	1.50	×

表 3.7(A) D 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+20.0	+15.0	+10.0	+5.0	0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0
転 覆 実 験	最 大 波 高 (S.S 6) (m)									
	Stability Range 120°				○	○	×			
	" 150°				×	×	×			
	" 180°				×	×	×			
	"									
起 上 り 実 験	Stability Range 120°				×	○	○			
	" 150°									
	" 180°									
	"									

“記号” 転覆実験 ×…転覆せず ○…転覆 ◎…一回転 ⊙…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ⊙…一回転半

表 3.7(B) D 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+20.0	+15.0	+10.0	+5.0	0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0
転 覆 実 験	最 大 波 高 (S.S 5) (m)									
	Stability Range 120°				○	○	○			
	" 150°				×	×	◎			
	" 180°				×	×	×			
	"									
起 上 り 実 験	Stability Range 120°				○	×	○			
	" 150°				◎	○	○			
	" 180°									
	"									

“記号” 転覆実験 ×…転覆せず ○…転覆 ◎…一回転 ⊙…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ⊙…一回転半

表 3.7(C) D 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+20.0	+15.0	+10.0	+5.0	0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0
転 覆 実 験	最 大 波 高 (m) (S.S 4)									
	Stability Range 120°				○	◎	○			
	" 150°				×	×	×			
	" 180°				×	◎	×			
	"									
起 上 り 実 験	Stability Range 120°				○	○	○			
	150°									
	180°									

“記 号” 転 覆 実 験 ×…転覆せず ○…転 覆 ◎…一回転 ◎…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ◎…一回転半

表 3.7(D) D 型 実 験 結 果

		船 の 位 置 (m)								
		+20.0	+15.0	+10.0	+5.0	0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0
転 覆 実 験	最 大 波 高 (m) (S.S 3)									
	Stability Range 120°						×	×	×	
	150°						×	×	×	
	180°						×	×	×	
起 上 り 実 験										

“記 号” 転 覆 実 験 ×…転覆せず ○…転 覆 ◎…一回転 ◎…一回転半
 起上り実験 ×…起上らず ○…起上り ◎…一回転 ◎…一回転半

表 3.7(E)A 型 転覆限界波高，起上り限界波高（S・S・4）

$\theta r = 60^\circ$ ，転覆限界

$\theta r = 60^\circ$ ，起上り限界

Stroke	波 高 (m)	結 果	Stroke	波 高 (m)	結 果
250	5.25	○	250	5.15	○
230	5.12	○	220	5.12	○
210	5.12	○	200	4.98	○
190	5.05	○	180	4.35	○
185	4.90	×	170	4.50	○
180	4.65	×	160	4.25	×
170	4.15	×			
160	4.15	×			
150	3.30	×			

$\theta r = 90^\circ$ ，起上り限界

$\theta r = 90^\circ$ ，転覆限界

			250	5.05	○
270	5.12	○	200	4.90	○
260	5.15	○	180	4.59	○
250	5.15	×	175	4.56	○
240	5.15	×	170	4.68	×
220	5.05	×	170	4.02	×
200	4.55	×	160	4.15	×

$\theta r = 120^\circ$ ，転覆限界角

$\theta r = 120^\circ$ ，起上り限界

290	5.12	○	180	4.10	○
280	5.12	×	170	4.05	○
270	5.10	×	160	4.02	×
260	5.16	×	150	3.50	×
250	5.10	×	100	3.10	×

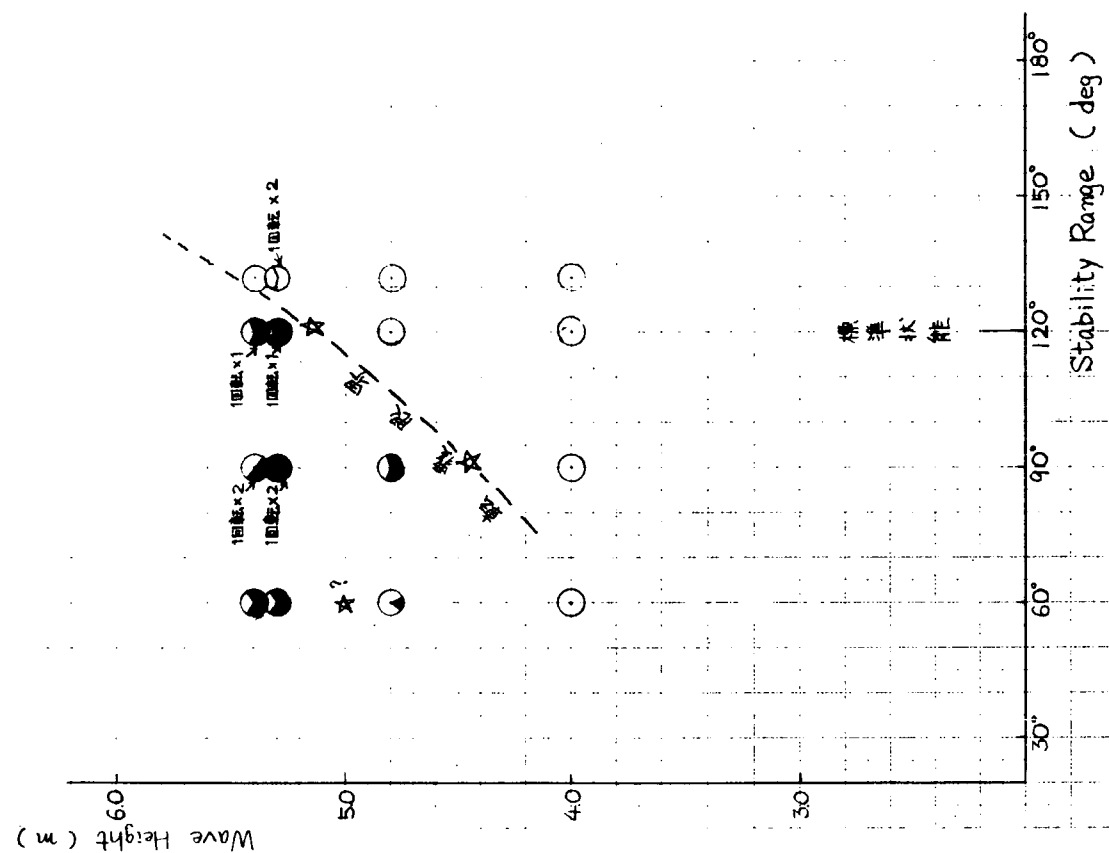


図 3.12 A 型転覆実験

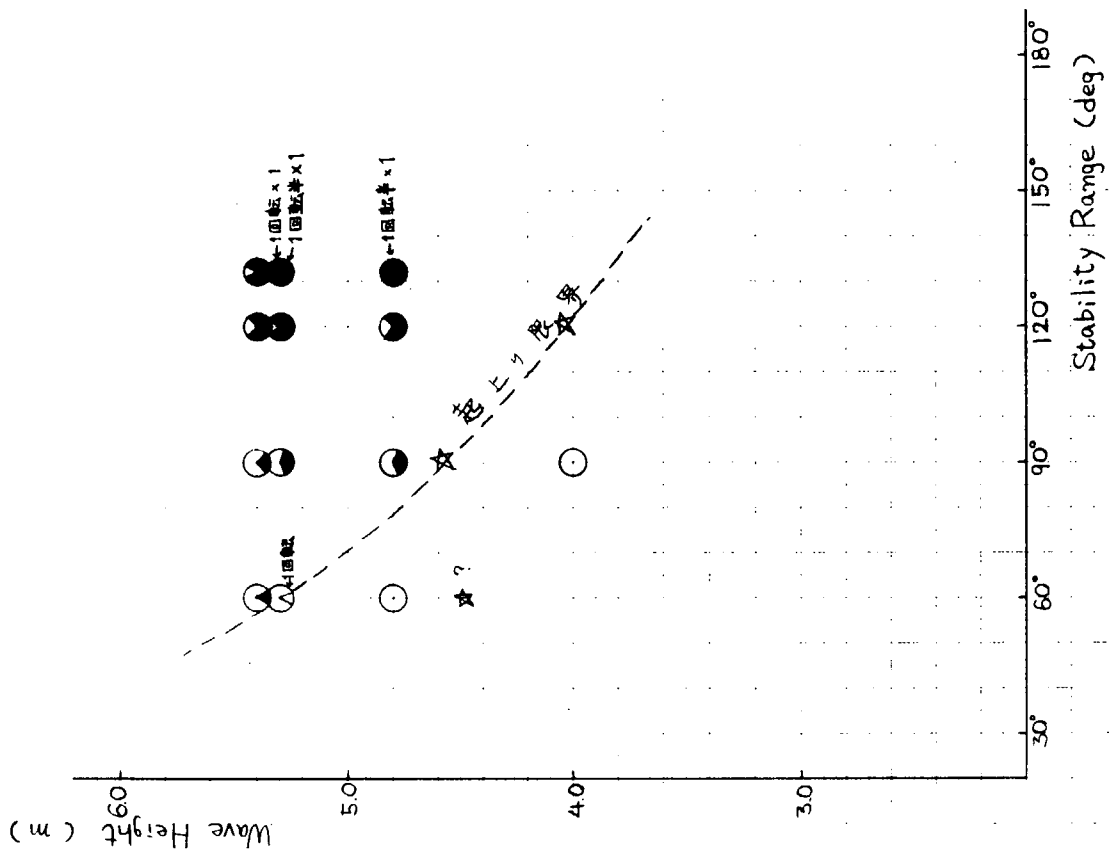


図 3.13 A 型起上り実験

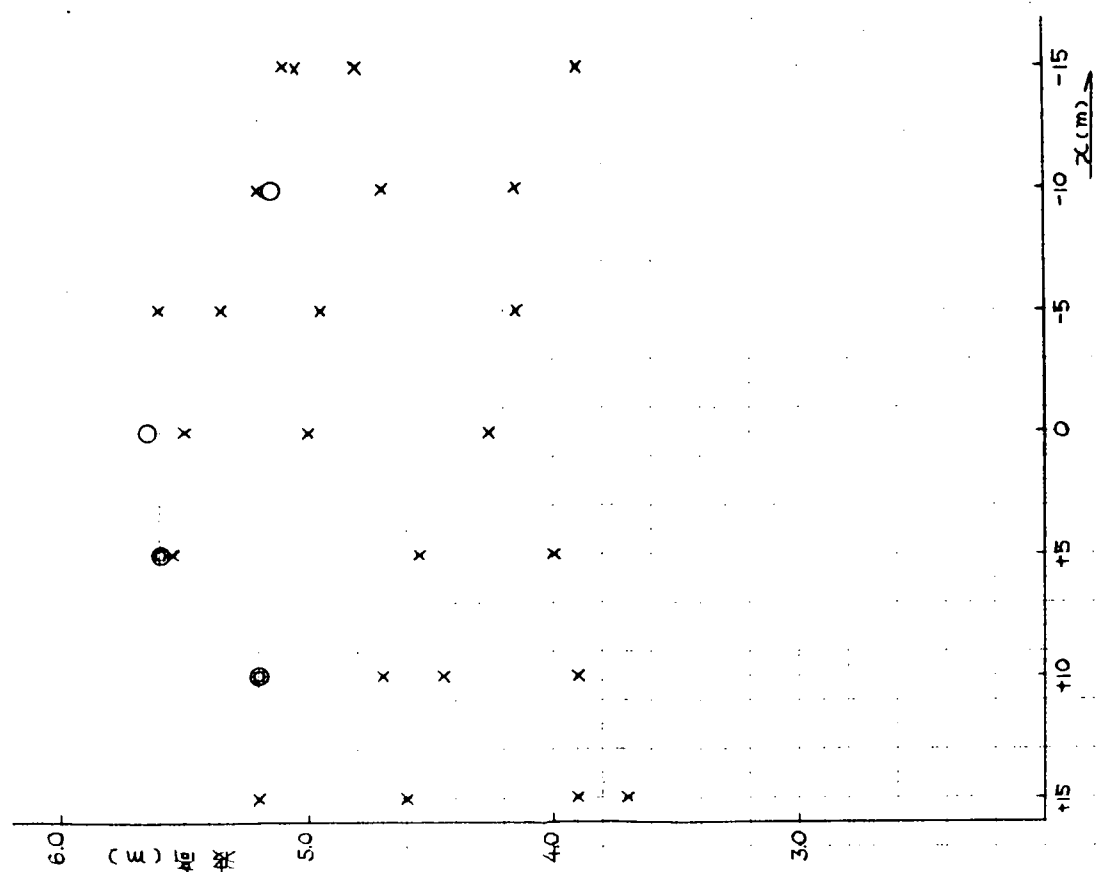


図 3.14 A 型 (132°) 転覆実験 (位置の影響)

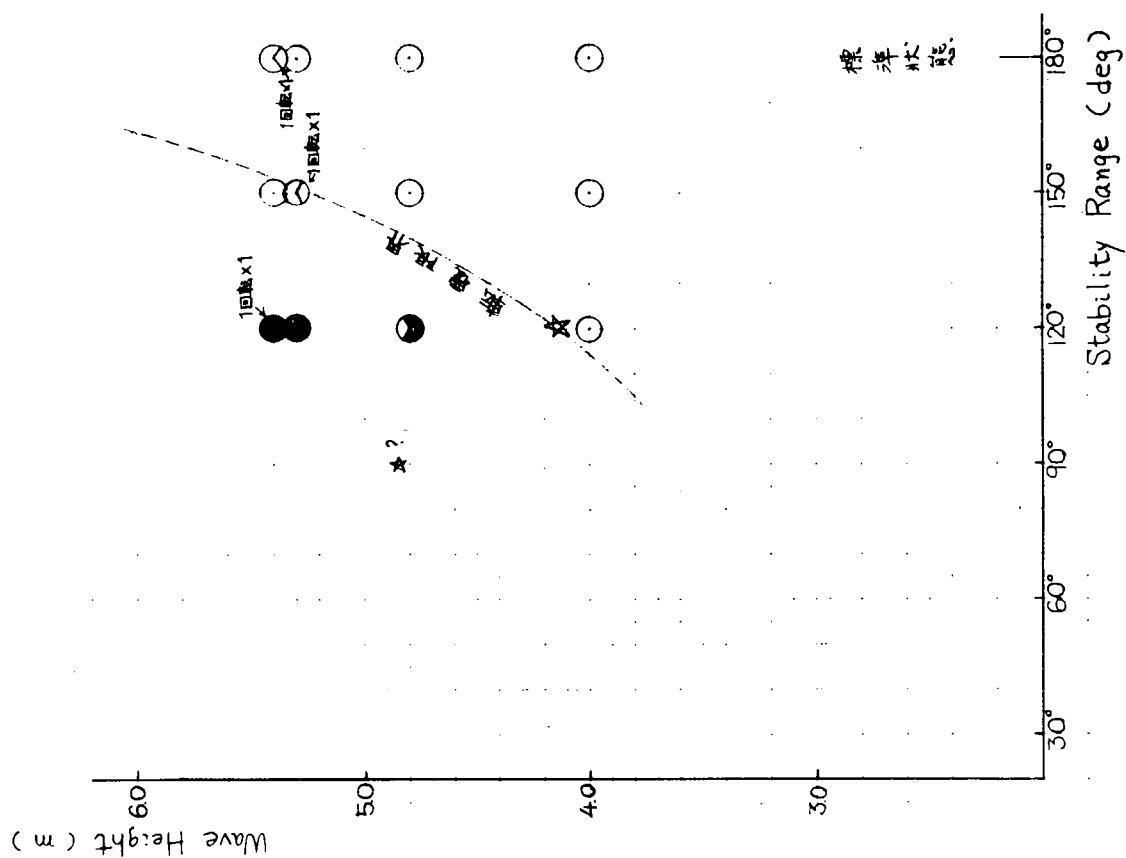


図 3.15 D 型 転覆実験

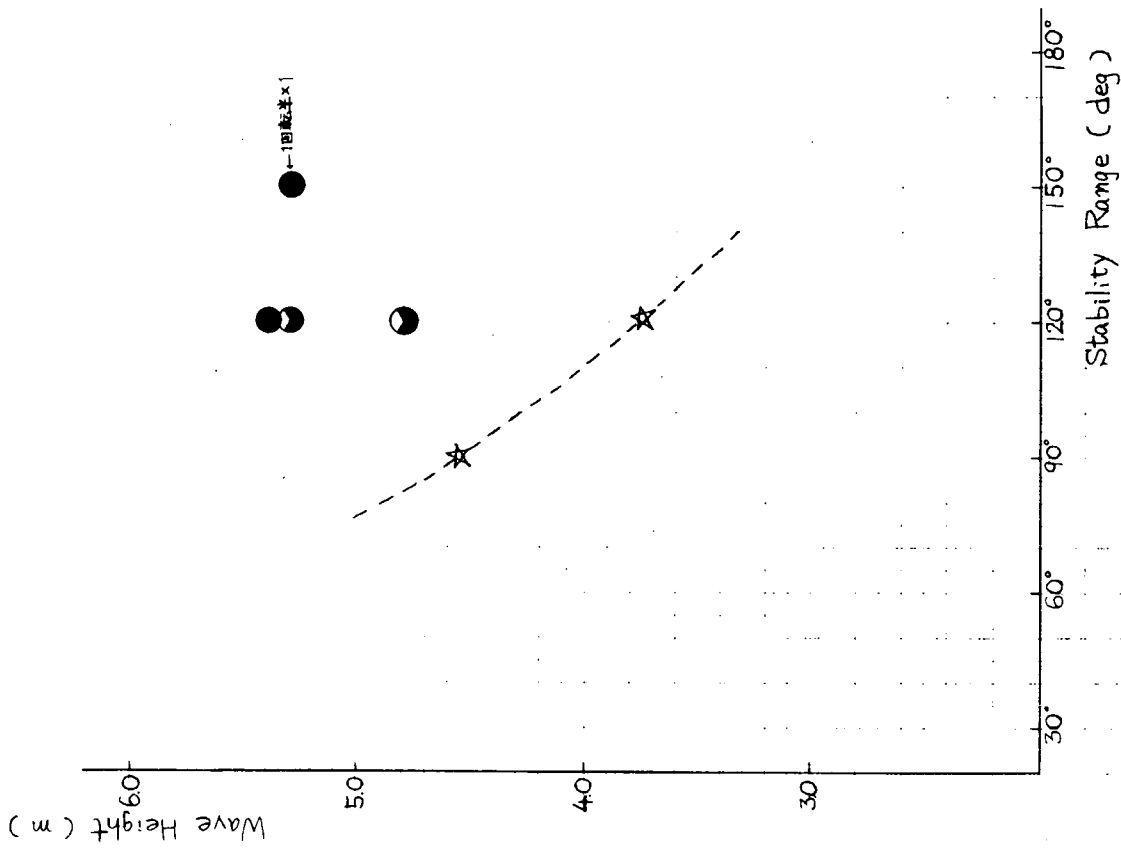


図 3.16 D型 起上り実験

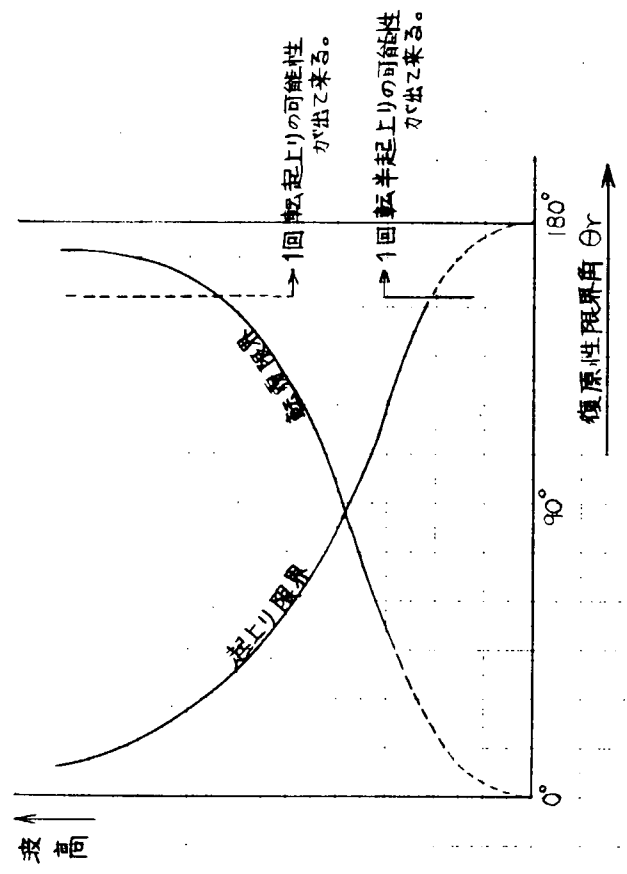


図 3.17

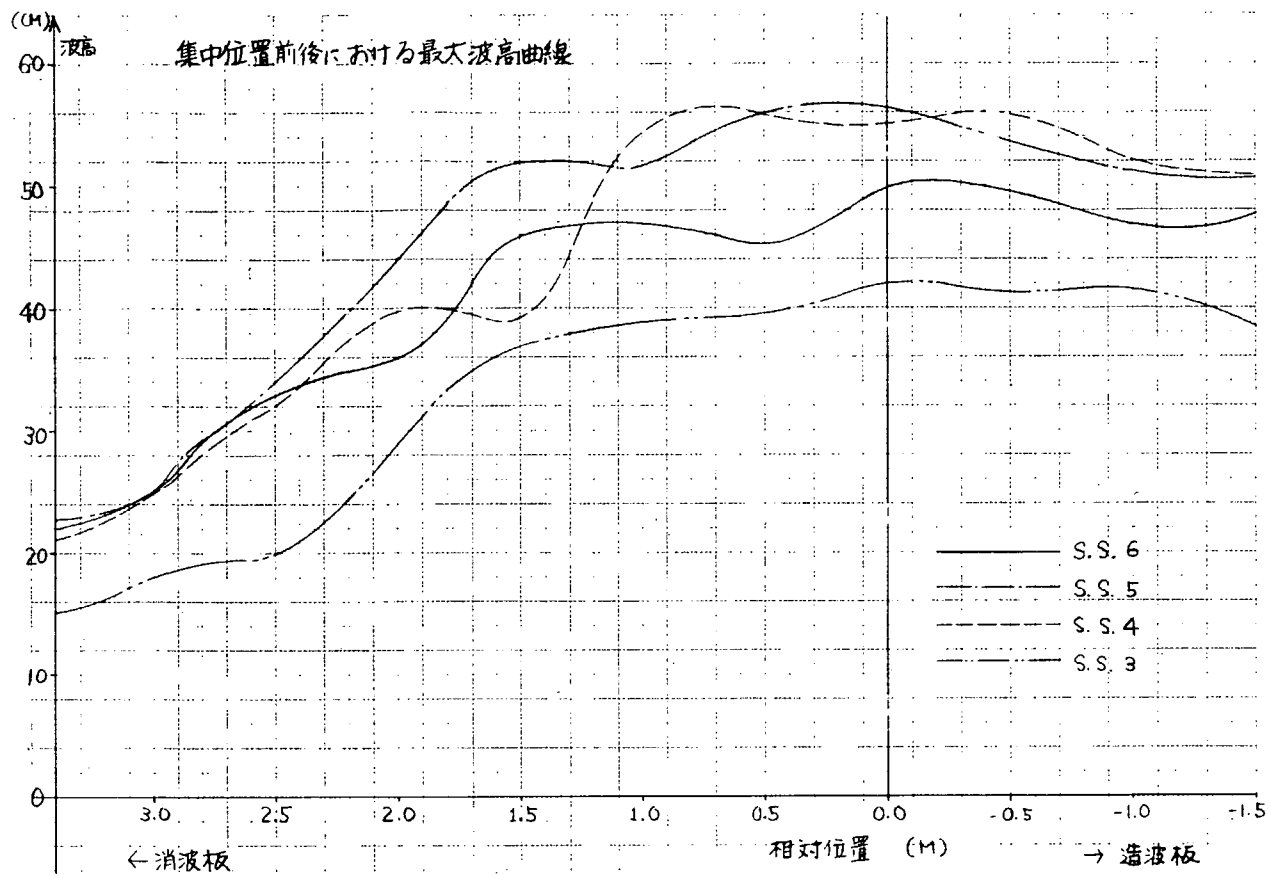
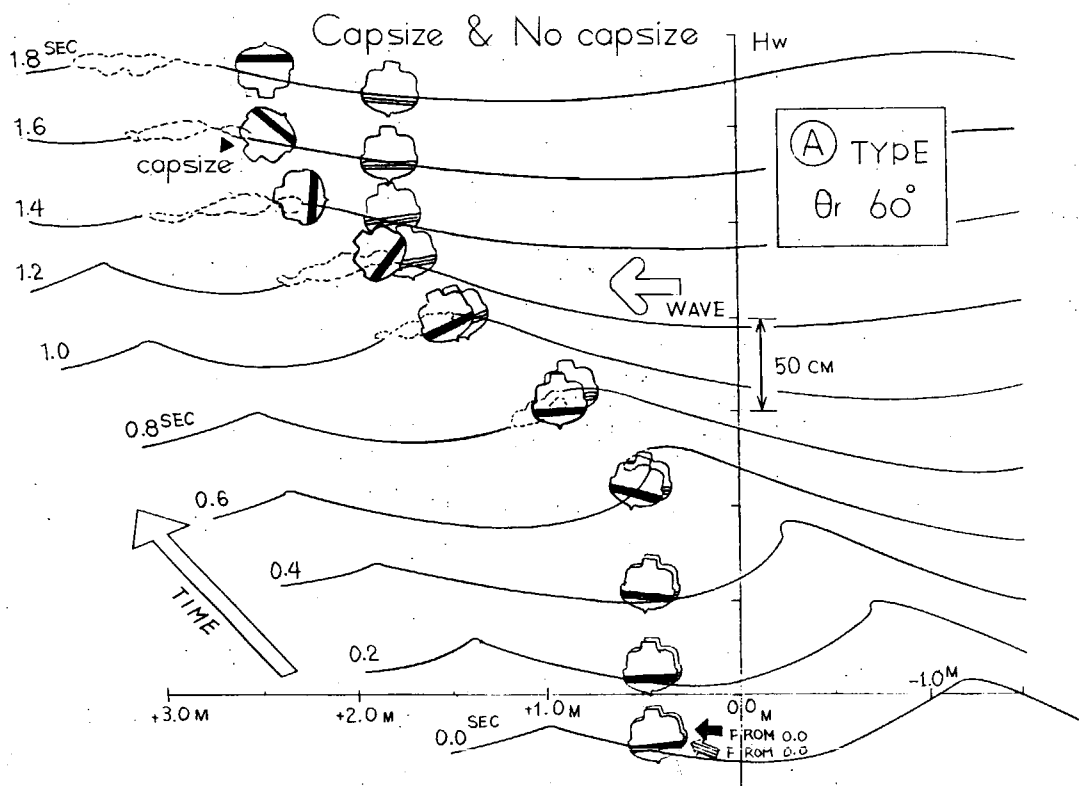
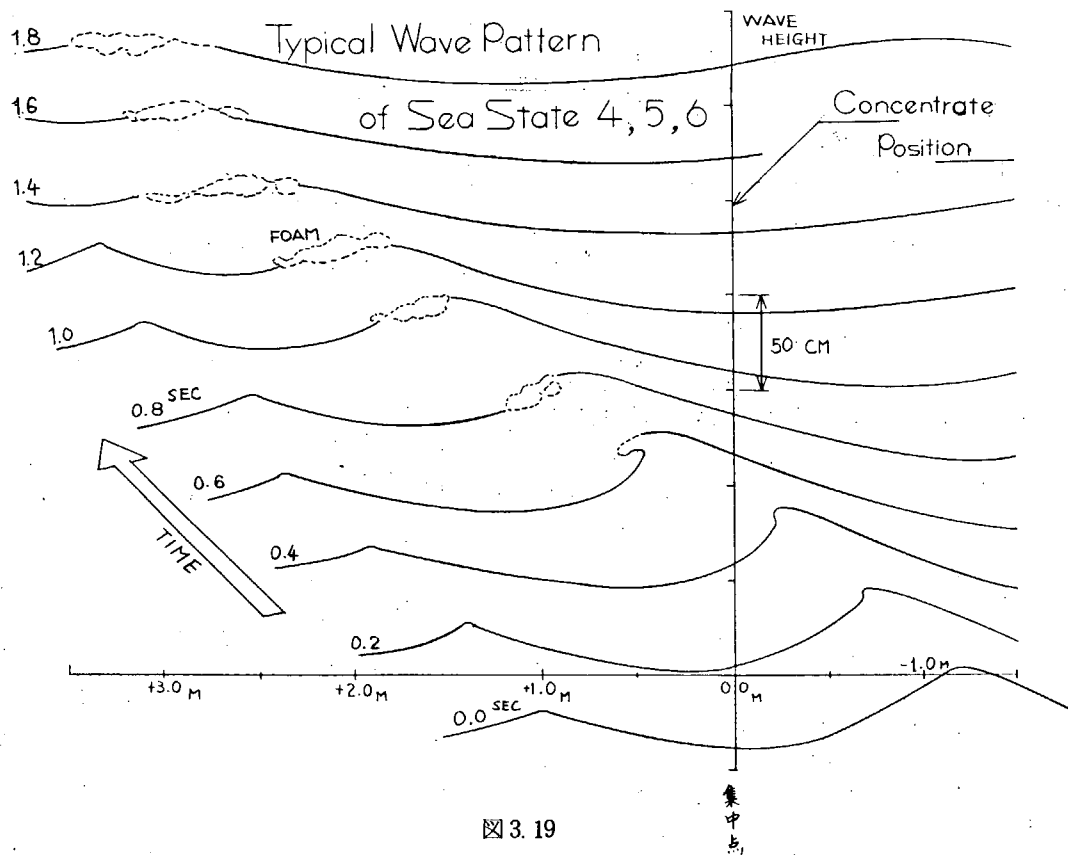


図 3.18 集中位置前後における最大波高曲線



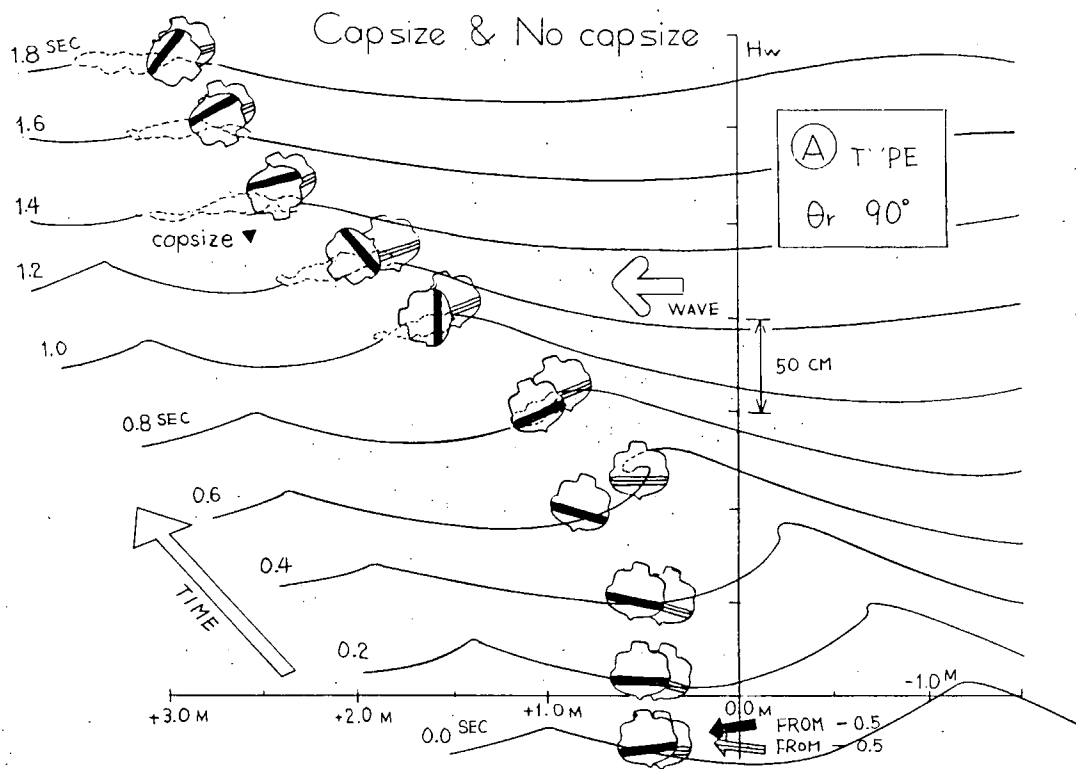


图 3.21

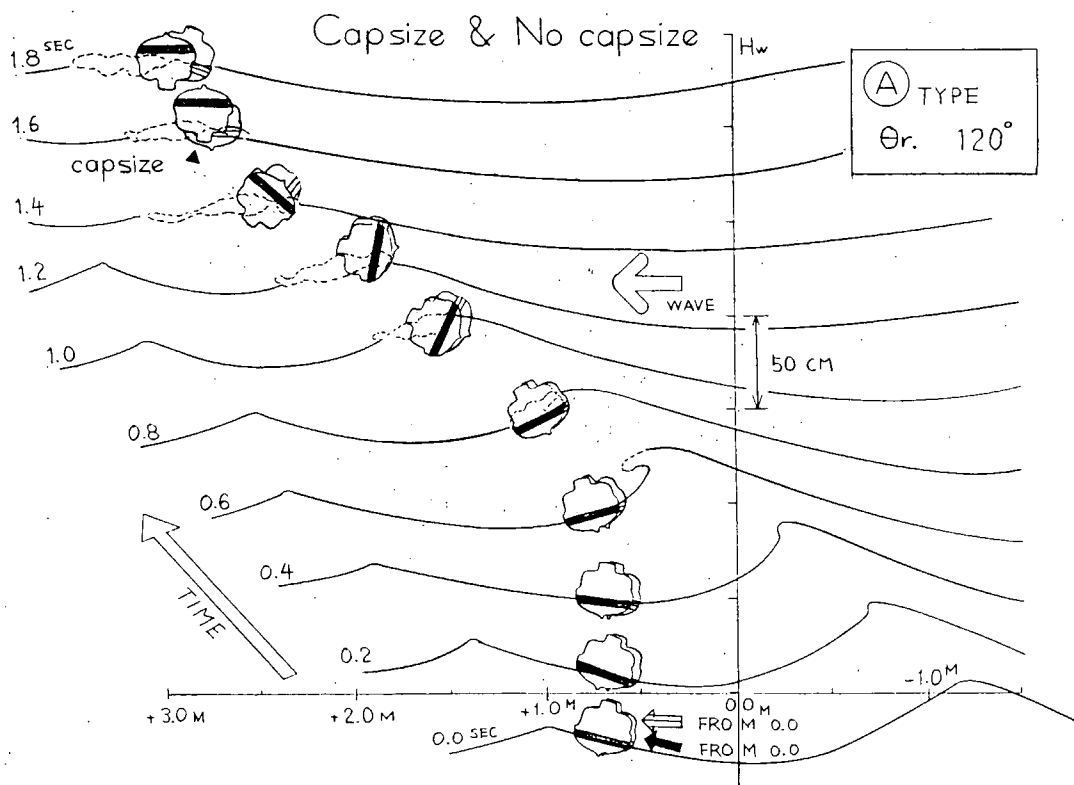


图 3.22

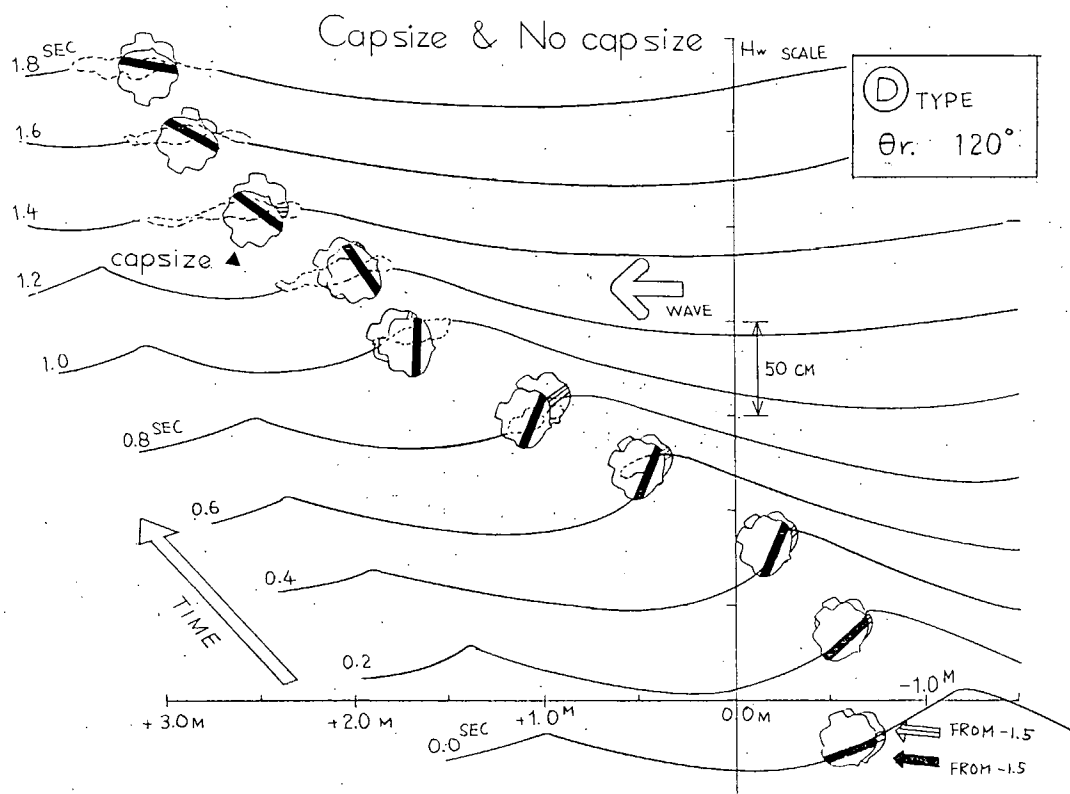


图 3.23

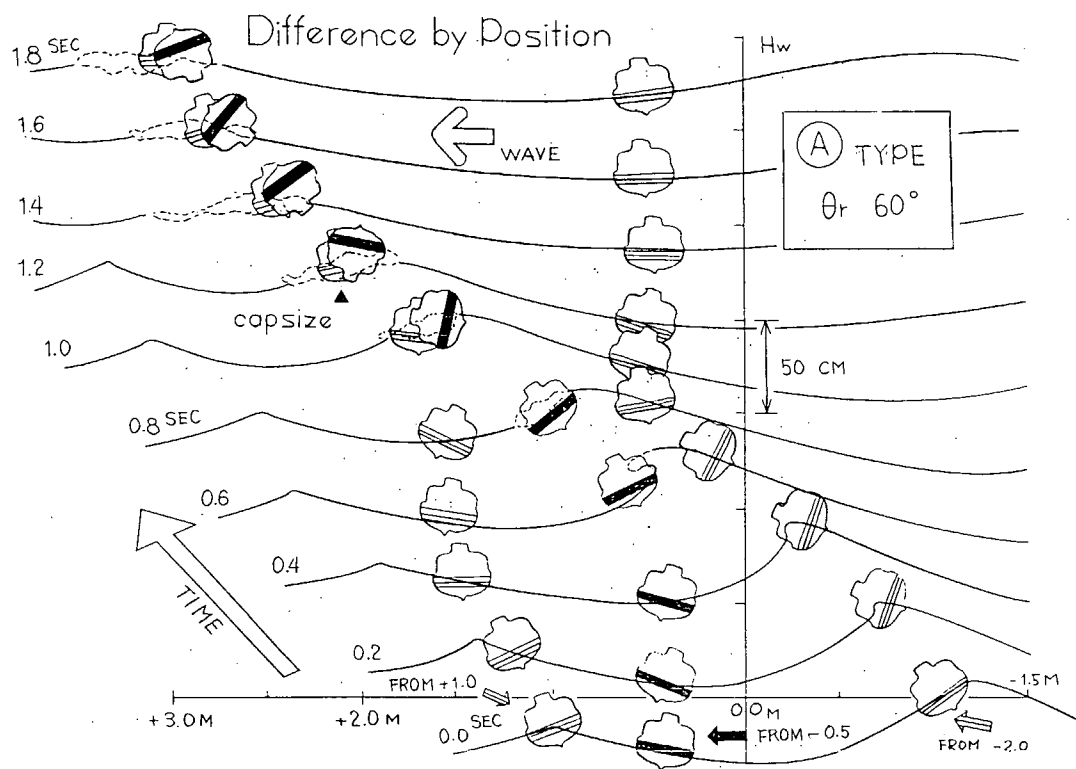


图 3.24

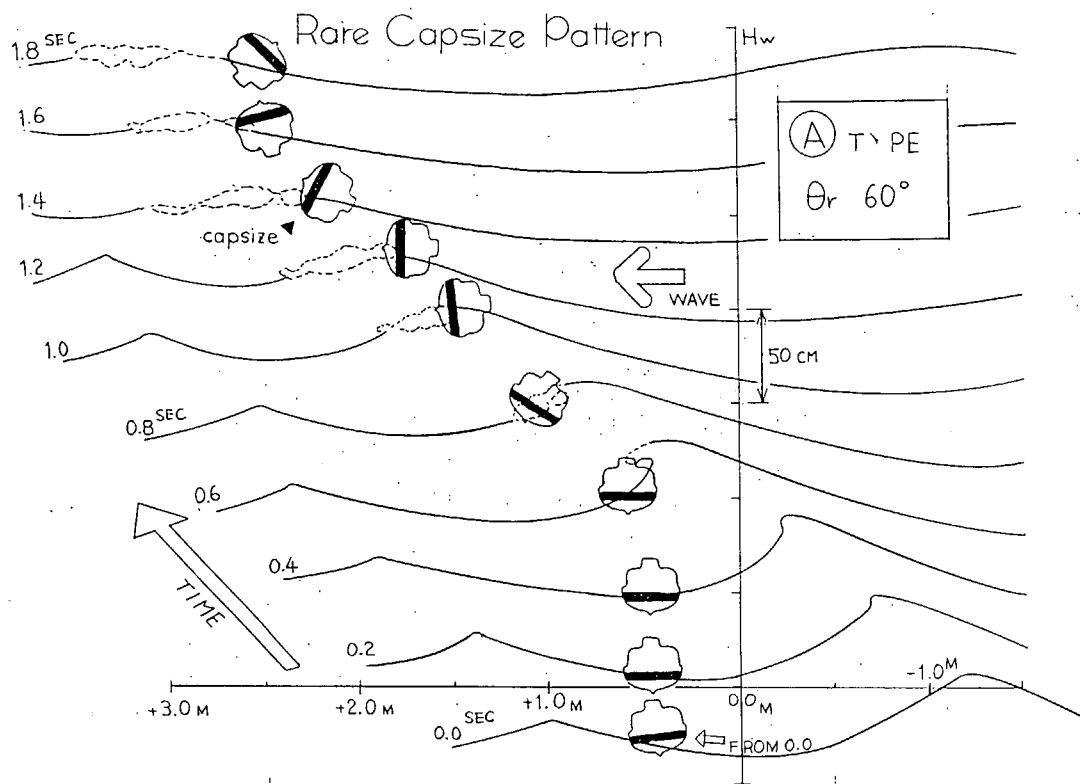


图 3.25

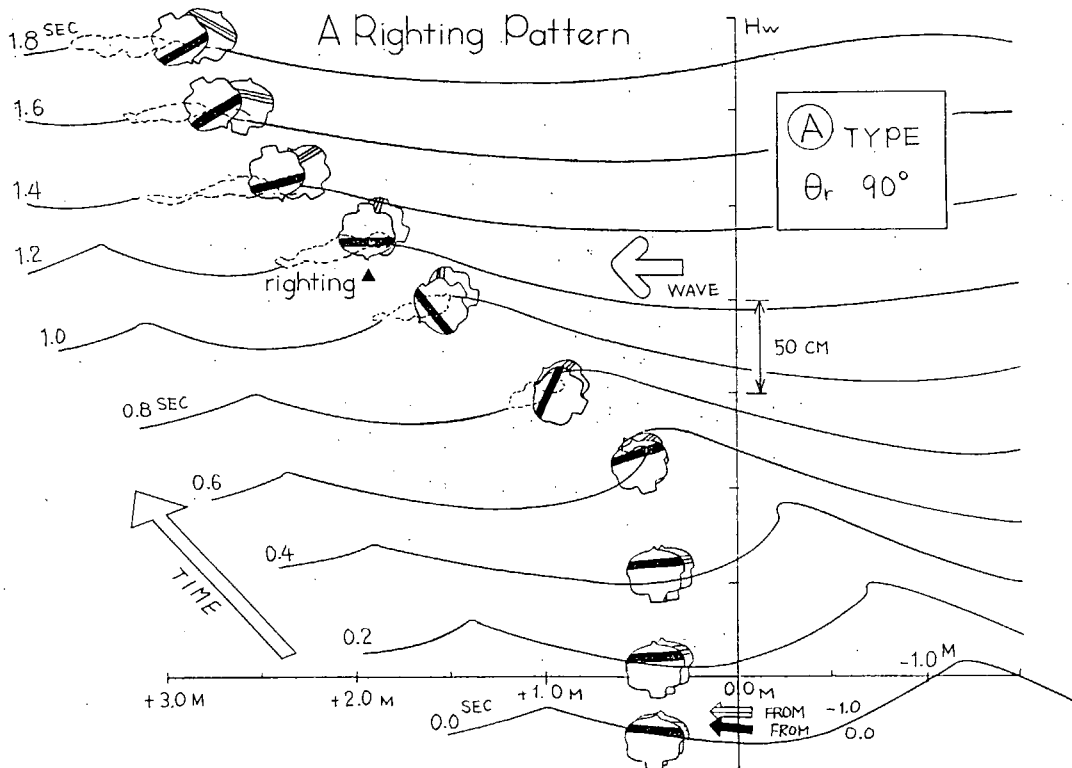


图 3.26

4. 結 言

本研究の目的は、SOLAS 第3章の改正に伴い IMCO で将来要求されると思われる自己復原性能をもつ密閉型救命艇を開発することと、自己復原性能の定義、要件を明らかにすることにあったが、以下に要約するように満足すべき結果を得ることができる。

4.1 自己復原性を有する船型の開発

既存の密閉型救命艇を原型として、キャノピーの巾及び高さをシリーズ的に種々に変えて復原力計算を行なった結果、原型のキャノピー巾のままで高さを少し高くし、屋根に丸みを持たせたもの（D型）が、満載状態、軽荷状態共に復原性限界角 180° となり、完全な自己復原性能を有することがわかった。又この型はキャノピー巾は原型と変わらず、天井が多少高くなるので乗員に対するスペースも原型以上にあり、又建造費は殆んど変わらない等、極めて満足すべき結果が得られた。

なお、原型の満載における復原性限界角は 120° であり、これを実用的な範囲でどの程度 180° に近づけるかが開発の目標であっただけに、今回の船型の開発は予想以上に満足すべき結果を得たわけである。

4.2 転覆実験による自己復原性能の要件の検討

4.1 にも述べたように、当初完全な自己復原性能、即ち復原性限界角 180° の実用的な救命艇を開発することは難しく、限界角 150° 程度が限界であると予想されたので、どの程度の限界角を持てば、実質的に自己復原性を持つと判定できるかを検討するため転覆実験を計画したわけであるが、前記のように限界角 180° を有する実用船型が開発されたので、この実験の意義は多少薄れたが、復原性限界角と転覆及び起上りの関連を知ることは、重要な意義を持つので、予定通り実験を行ない次のような成果を得た。

(1) 復原性限界角 θ_r と転覆限界波高の関係について

過渡水波により発生した種々の高さの捲き波を当てて実験を行った結果 θ_r が大きくなるにつれて転覆し難くなり、従って転覆限界波高が高くなり、 θ_r が 130° を超えると、殆んど転覆せず、転覆しても一回転して起上るケースが増えて来ることが判った。

なお、 $\theta_r 180^\circ$ の完全自己復原性は転覆しないことは、勿論であるが、数回に1度は1回転して、反対側に起上るケースがあった。

(2) 復原性限界角 θ_r と起上りの容易さについて

一旦転覆した艇に波を当てて、起上りの実験を行なったところ、 θ_r が大きい程、倒立状態での限界角が小さいので低い波高で起上ることが判った。

(3) 自己復原性能の要件

上記のように限界角 θ_r が大きくなるにつれて、転覆し難くなり、 θ_r が 130° 以上になると殆んど転覆しない上に、転覆しても1回転して反対側に起上るケースが増えて来ることと、一方転覆した状態からの起上りは、 θ_r が大きい程容易で、 θ_r が 130° 以上になると、転覆に要する波高の半分程度の波で起上ることから、仮に転覆しても同じ海象では容易に起上ることが予想され、限界角 130° 以上は実質的に自己復原（Self righting）であると思われる。

4.3 考 察

今回の実験は一種類の船型について実施した結果で結論を出すためには尚 2, 3 種類の船型について追加実験を行った結果でないと尚早であろう。しかし現在の一般的な救命艇においては本実験からの感触から、実質的に自己復

原であると判定される復原性限界角は概ね 130° から 150° 辺に存在すると感ぜられるので、暫定的に限界角が 150° あれば自己復原性を有していると判定して差支えないと考えられる。

尚、将来救命艇としての実用性・乗心地等を考える時、初期メタセンター高さ及び最大 GZ 値をある程度以上確保することが望ましく、自己復原性能とあわせて最適の復原性能を有する船型の開発・研究を引続き行うことが望ましい。