

# SR 232

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

## 新自由降下式救命艇システムの研究 成 果 報 告 書

平成11年3月  
社団 法人 日本造船研究協会



大型模型実験降下台



大型模型艇の落下実験

# SR232 「新自由降下式救命艇システムの研究」

## 要 約

### Ship Research Panel 232 "Development of a Free-fall Lifeboat System"

#### Summary

Research on the technical problems in design and productive procedure of a free-fall lifeboat system were conducted in SR232 during last three years.

The numerical simulation for motions during the launch of a free-fall lifeboat, the calculation of impact loads acting on the hull surface at the moment of contact with water and the evaluation of dynamic response for the occupants in the lifeboat are dealt with.

Comparing with the simulation and the experimental results for the small and large-scale model, it shows a good agreement.

The validity of a new sliding system proposed by Prof. Arai is investigated with the large-scale model.

#### 1. 研究の目的

自由降下式救命艇システムは、本船の船尾部分に設置した進水降下台上から、海面に自由滑走させて、乗員の避難・脱出を容易且つ短時間に実施できるものとして、欧州で開発されたものである。

しかし、自由落下時の水面衝撃による艇体及び人体への加速度の低減対策、本船傾斜時における降下システムの信頼性並びに回収方法等の検討は十分であるとは言い難く、設計・解析技術の高度化が必要である。

本研究では、短時間に安全、迅速なる艇の離脱・回収を可能とするシステムを検討するとともに、本委員会のメンバーである横浜国立大学荒井教授により提案された2段滑台方式の新型式システムの有効性についても実験により確認する。

#### 2. 研究の内容

##### 2.1 救命艇の形状及び構造等の解析手法

###### (1) 模型実験

a) 小型模型実験 主として艇体運動シミュレーション法の検証のため、船型の異なる3種類の小型模型（長さ約1m）による落下実験を実施した。その結果、救命艇の船型や落下条件が、自由落下式救命艇の着水時の挙動に与える種々の影響が明らかになり、今後の新型艇開発の有力な基礎データを得ることができた。

b) 大型模型実験 艇体がFRP製のため、艇体の衝撃強度は大型模型でなければ確認出来ず、人体への衝撃や降下装置の安全性についても実規模に近い状態で検証する必要がある。そのため、長さ6mの大型模型を用いて落下実験を実施し、次の結果を得た。

表1-1 大型模型による水面落下実験の概要

項目	調査項目	結果
新降下システム	新降下システム	格納状態から水面突入まで、艇のトリム角が一定であることを確認
人体の衝撃とシートベルトの有効性	ダミーの加速度、変位の計測 ダミー固縛状態の確認	シートベルトの有効性と人体衝撃加速度の評価に関する資料収集
艇体運動・加速度	落下時艇体運動、加速度、着水後の運動を計測	小型・大型模型の実験結果と比較し、推定手法を検証
衝撃荷重推定	衝撃水圧及びパネル応力の計測	実験結果と衝撃圧計算と比較し、衝撃荷重の推定精度を確認。
FRP艇強度評価法	歪計測による構造強度の調査	艇体の構造解析結果と計測値の対応を確認
衝撃強度	艇体と2次部材継ぎ手の歪計測により衝撃強度の調査	衝撃加速度と艇体強度に関するデータを取得

## (2) 艇体運動シミュレーション法

ピッキング運動をする母船上の自由落下式救命艇が、波のある水面上に落下した場合の着水後の艇体運動シミュレーション法を開発した。シミュレーション結果と実験結果の対応は極めて良好であった。

## (3) 衝撃力推定法

複雑な3次元形状を有する救命艇の各断面に作用する衝撃荷重計算法を検討し、前進速度を有する自由降下式救命艇の衝撃圧の計算値と実験値はよく対応する結果を得た。

## (4) FEM構造解析

汎用FEM構造解析プログラムNASTRANにより、大型模型艇の全船一体の構造解析を行い、強度の検討を行った。

## 2.2 衝撃緩衝用座席及びシートベルト

### (1) 人体加速度の緩衝効果

座席を厚さ6cmのクッション材で弾性支持することにより、座席に作用する加速度のピーク値を1/2~1/3に低減できた。但し、大きな加速度が作用する場合に備え、クッション材は硬質と軟質の2層構造とする必要がある。

### (2) 人体への衝撃力の評価

変位及び加速度データを、在来のDRM法 SRSS法及びHIC法の評価方法により衝撃力の評価を行った。

## 2.3 救命艇の製作技術

過度に荷重を与えた大型模型の水面衝突時に、船尾船底部に大きな撓みが発生し、船殻母材の破損、二次接合の剥離といった艇の破損原因となった。これに対して、内部構造下の船底部に発砲材を充填した船首船底は、船尾船底部より大きな水圧を受けているにも係わらず、二次接合の剥離にとどまり、船殻母材の破損までには至らなかった。又、内部構造物と艇体側面の二次接合部は、実験を通じてその大小の差はあるものの、常に二次接合の剥離が発生した。

## 2.4 進水・離脱／回収システム

各種の進水・離脱システム及び回収システム（案）の基本要件を階層分析法により評価し、選ばれたシステムについて試設計等により細部を検討した。また、救助艇兼用の回収システムについての検討を行った。

## 3. 得られた成果

### 3.1 設計・解析手法

#### (1) 艇体運動計算法

数値シミュレーションによって、着水運動や衝撃加速度への船型や落下条件の影響を定量的に評価することが可能となった。船型や落下条件を考慮して空中から水中までの自由落下式救命艇の挙動を理論的に求める手法は国際的にも無く貴重である。

#### (2) 艇体の衝撃荷重計算法

自由降下式救命艇の衝撃荷重の推定法について検討し、大型模型艇の実験結果と比較した。また構造解析に必要な荷重の分布を与えた。

#### (3) 艇体の構造解析法

FRP艇の全船一体構造解析のモデル化が可能になった。救命艇の開発において設計時の構造解析により強度の検討が出来るようになることは重要であり、その一例が示された。

### 3.2 新しい進水方式（二段滑台方式）

本方式は、従来の進水方式の弱点となっていた滑台端部で生ずる拘束落下運動時の船首下げ回転運動を除去することを狙っている。これにより、救命艇は初期の姿勢を保ったまま海面に着水するため、着水後の運動を安定化することができる。この方式は原油タンカー等の喫水変動の大きい母船からの離脱に一般的に有効な方法として開発されたものであり、実験等によって性能を確認することができた。

### 3.3 進水・離脱・回収システム

概念設計の段階であるが、種々の新規提案により、安全・迅速な回収システムの開発に有効な資料を得た。また、救助艇兼用のシステムにも展開できる可能性が見出せた。

### 3.4 製作技術

自由落下式救命艇では、水面衝突時に水圧を受ける船底部に発砲浮力材を充填して船殻FRPのパネル剛性を増す事が有効な手段である事が確認された。

また、内部構造物と艇体側面を接着するL型二次接合は、特に剛性の高い構造部材に隣接する箇所を除き、適切な接合方法とはいえないことが確認された。

## はしがき

本成果報告書は日本財団の補助事業として、日本造船研究協会 第232研究部会において、平成8年度から平成10年度の3カ年計画で実施した「新自由降下式救命艇システムの研究」の成果をとりまとめたものである。

### 第232研究部会 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	長田 修 (元船舶技術研究所)*
代表幹事	信貴 鴻一 (信貴造船所)
委員	荒井 誠 (横浜国立大学) 影山 和郎 (東京大学)
	宮本 武 (船舶技術研究所) 原野 勝博 (船舶技術研究所)
	金湖富士夫 (船舶技術研究所) 橋爪 豊 (船舶技術研究所)
	岡 正義 (船舶技術研究所) 平方 勝 (船舶技術研究所)
	今里 元信 (船舶技術研究所) 池本 義範 (船舶技術研究所)
	板垣 恒男 (船舶艤装品研究所) 角田 恒夫 (日本海事協会)
	安孫子玲一郎 (日立造船) 飯本 弘一 (川崎重工業)
	山口 豊利 (信貴造船所) 井汲 泰三 (石原造船所)
	岩波 淳 (アイ・エイチ・アイ・アムテック)** 和田 強 (常石林業建設)
	佐藤 孝志 (西日本エフアールピー造船) 石谷 亘 (豊永船舶)
	山根 和之 (西日本エフアールピー造船) 野々下盛公 (豊永船舶)
	後藤 国敏 (関ヶ原製作所) 林田 光磨 (辻産業)

\*H8年度は船舶技術研究所

\*\*H8、9年度はアイ・エイチ・アイ・クラフト

## 第232研究部会幹事会 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	長田 修 (元船舶技術研究所)*
主査	信貴 鴻一 (信貴造船所)
委員	荒井 誠 (横浜国立大学) 影山 和郎 (東京大学)
	宮本 武 (船舶技術研究所) 原野 勝博 (船舶技術研究所)
	金湖富士夫 (船舶技術研究所) 板垣 恒男 (船舶機器品研究所)
	安孫子玲一郎 (日立造船) 飯本 弘一 (川崎重工業)
	山口 豊利 (信貴造船所) 井汲 泰三 (石原造船所)
	後藤 国敏 (関ヶ原製作所) 林田 光磨 (辻産業)

## 第232研究部会ワーキンググループ 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	長田 修 (元船舶技術研究所)*
主査	安孫子玲一郎 (日立造船)
委員	信貴 鴻一 (信貴造船所) 荒井 誠 (横浜国立大学)
	宮本 武 (船舶技術研究所) 原野 勝博 (船舶技術研究所)
	金湖富士夫 (船舶技術研究所) 角田 恒夫 (日本海事協会)
	飯本 弘一 (川崎重工業) 山口 豊利 (信貴造船所)
	井汲 泰三 (石原造船所) 岩波 淳 (アイ・エイチ・アイ・アムテック)**
	佐藤 孝志 (西日本エフアールピー造船) 石谷 亘 (豊永船舶)
	山根 和之 (西日本エフアールピー造船) 野々下盛公 (豊永船舶)
	和田 強 (常石林業建設) 後藤 国敏 (関ヶ原製作所)
	林田 光磨 (辻産業)

## 討議參加者

(敬称略、順不同)

木村 栄 (日立造船)	倉田 俊正 (常石林業建設)
大成 英喜 (信貴造船所)	田中 武 (石原造船所)
池田 哲男 (石原造船所)	上飯坂 勝 (アイ・エイチ・アイ・アムテック)**
渡辺 圓治 (常石林業建設)	吉識 恒夫 (三井造船)
村上 雅己 (船舶機器研究所)	隅原 孝志 (常石林業建設)
湯 倭 (西日本エフアールピー造船)	落合 裕 (辻産業)
石井 久雄 (信貴造船所)	鴨井 紀之 (石原造船所)
野々下慎一 (豊永船舶)	野瀬 昭紀 (アイ・エイチ・アイ・アムテック)**
嶋田 武夫 (日本郵船)	地引 祺眞 (日本鋼管)

## 事務局

山内 康勝 (日本造船研究協会)	翁長 一彦 (日本造船研究協会)
青木 元也 (日本造船研究協会)	海部 雅之 (日本造船研究協会)

## 目 次

1. 研究の目的	1
2. 研究の目標	1
3. 研究の内容	1
3.1 救命艇の形状及び構造等の解析手法	1
(1) 模型実験	1
(2) 艇体運動シミュレーション法	4
(3) 衝撃水圧推定法	6
(4) FEM構造解析	7
(5) 艇体構造材料	8
3.2 衝撃緩衝用座席及びシートベルト	9
(1) 人体加速度の緩衝効果	9
(2) 人体への衝撃力	9
3.3 救命艇の製作技術	9
(1) 大型模型艇の設計	9
(2) 大型模型艇の製作	10
(3) 進水装置を利用した落下実験	11
3.4 進水・離脱／回収システム	11
(1) 進水・離脱システムの選定と要件	11
(2) 回収システムの選定・設計	13
(3) 救助艇兼用のシステム	15
4. 得られた成果	15
4.1 設計・解析手法	15
4.2 新しい進水方式（二段滑台方式）	16
4.3 進水・離脱・回収システム	16
4.4 製作技術	17
5. 成果の活用	17
6. あとがき	18

## 1. 研究の目的

自由落下式救命艇システムは、船舶海難時に予測される船体挙動や海象・気象条件の下で、本船の船尾部分に設置した進水降下台上から海面に自由滑走させて、乗員の避難・脱出を容易且つ短時間に実施できるものとして、欧州で開発されたものである。

しかしながら、一部の既存製品をみるかぎり、自由落下時の衝撃による艇体及び人体への加速度の低減対策、本船傾斜時における降下システムの信頼性並びに回収方法等の検討は十分であるとは言い難く、これらの面での性能改善に加えて、定量的な設計・解析技術の確立が必要である。

更に、近年、避難・脱出時におけるヒューマンエラーに関連して、船上における保守点検並びに取扱訓練の重要性が再認識されており、定期的な落下訓練を繰り返し実施することによる艇体強度劣化に対する検討・評価も重要課題となってきた。

本研究では、短時間に安全、迅速なる艇の離脱・回収を可能とするシステムを検討する。

なお、最近、横浜国大で開発された2段滑台方式の新型式のシステム\*) の有効性について、実験により確認する。更に、水面衝撃時の艇体及び人体への衝撃値を許容限界度内に抑えるため、艇の形状、座席構造並びに人体保持方法等について新しい形式を研究すると共に、繰り返し衝撃荷重等の過酷な条件下でも十分な強度、信頼性のある構造を検討し、自由落下式救命艇の設計・解析技術の高度化を計ることを目的とする。

\*) 荒井誠他：自由落下式救命艇の新しい離脱方式について、関西造船協会誌、第229号、1998

## 2. 研究の目標

研究目標は次のとおり

### (1) 新しい救命艇システムの検討

自由落下式救命艇に適した、進水・離脱・回収方法の検討

### (2) 救命艇の形状及び構造等の設計・解析技術の高度化

艇体運動シミュレーション法、衝撃力推定法、FEM構造解析

### (3) 衝撃緩衝用座席及びシートベルトの効果と人体への衝撃力の評価

### (4) 大型模型艇による総合的検証実験

2段滑台方式の有効性の確認、艇体の衝撃強度の確認

## 3. 研究の内容

### 3.1 救命艇の形状及び構造等の解析手法

#### (1) 模型実験

##### a) 小型模型実験

本研究の小型模型実験に用いた模型艇の鳥瞰図を図3.1(1)-1に示す。模型艇は、尖った船首をもつ瘦型船型のLifeboat-A、プラントな船首をもつLifeboat-Bおよび大型模型実験にも用いた超肥大船型のLifeboat-Cの3艇である。Lifeboat-Aは本232研究部会で試設計された自由落下式救命艇で、船首と船尾を細く絞り、また、定員上ぎりぎりの容積を確保しつつ可能な限り細長い船型としてある。さらに、滑台(skid)上に斜めに設置された状態で乗員が船尾ハ

ッチから搭乗し易いように船尾を斜めに切った極端なトランサムスターントンをもっている。Lifeboat-Bは、現在実用化されている自由落下式救命艇として標準的な船型であり、日本造船研究協会のRR-7部会の模型実験で用いられた艇と同一の船型である。Lifeboat-Cも本研究部会で試設計されたもので、限られた寸法において最大限の定員確保を狙って超肥大船型とし、下部船体に比べ上部船体が極端に大きな船型となっている。

小型模型実験では図3.1(1)-2に示す滑台を使用して、滑台傾斜角や落下高さ等の諸条件を種々変更し、また、母船の運動を考慮した動搖を滑台に与えた状態で模型艇を進水させることにより、着水時に発生する加速度や艇の運動を計測した。また、予備研究として行った0.2m模型による簡易実験によって、超肥大船型のLifeboat-Cを従来型の滑台から進水させると着水時に十分な前進速度を与えることができず、着水後常に後方に飛び上がるという非常に危険な運動モードが生ずることが明らかになったため、Lifeboat-Cの進水用には二段滑台方式を採用した。

得られたデータは、主として艇体運動のシミュレーション法の検証に使用された。また、模型実験とシミュレーション結果の検討により、救命艇の船型や落下条件が自由落下式救命艇の着水時の挙動に与える種々の影響が明らかになり、今後の新型艇開発の有力な基礎データを得ることができた。

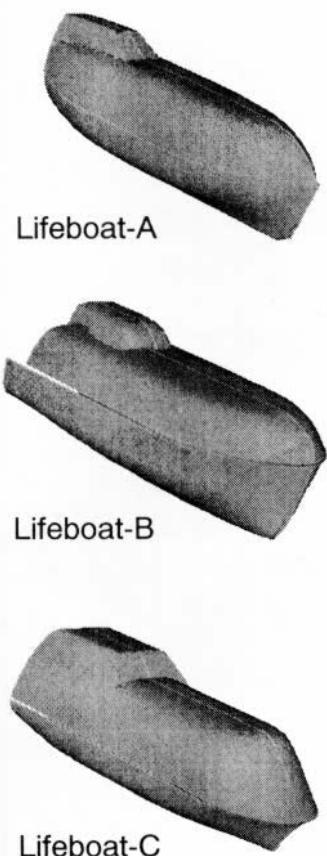


図3.1(1)-1 模型艇鳥瞰図

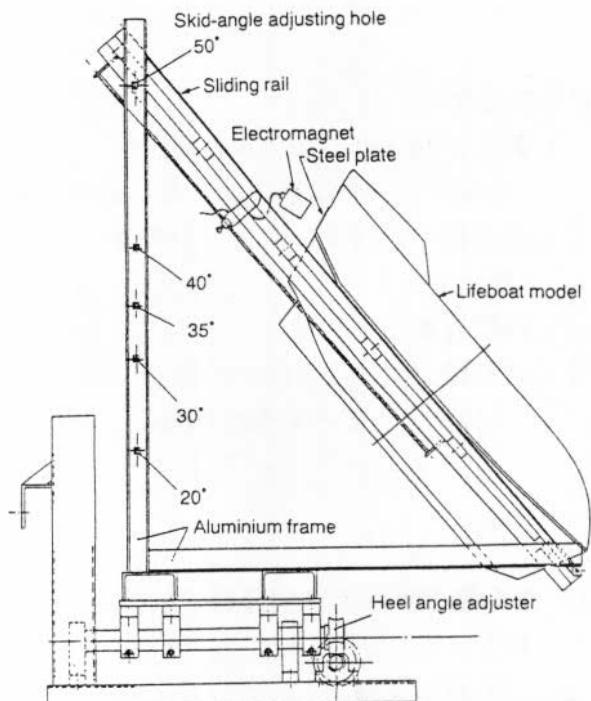


図3.1(1)-2 小型模型実験用滑台

### b) 大型模型実験

新救命艇システムの開発研究の一環として、設計技術に関する研究成果の検証並びに大型模型でなければ確認出来ない強度に関する事項について調査することを目的として大型模型実験を行った。この実験では、運動・加速度の推定法、模型艇の構造強度、実験室と大型艇の実験における座席の緩衝効果の比較、シートベルト、ヘッドベルトの効果、また、進水・離脱方式については、2段滑台方式による小型模型による水槽実験との比較、並びに、新降下方式による安全着水の確認等を目的に実験、計測が行われた。

実験は、本研究部会で試設計・建造された、写真3.1(1)-1に示す超肥大船型の長さL=6mの大型模型艇を供試艇として、写真3.1(1)-2に示すような新しい2段滑台方式による自由降下実験を実施した。本方式は、本研究部会へ提案されたもので着水時の姿勢制御が可能な斬新な方式である。

本実験における検証項目、検証方法及び結果を表3.1(1)-1にまとめて示す。

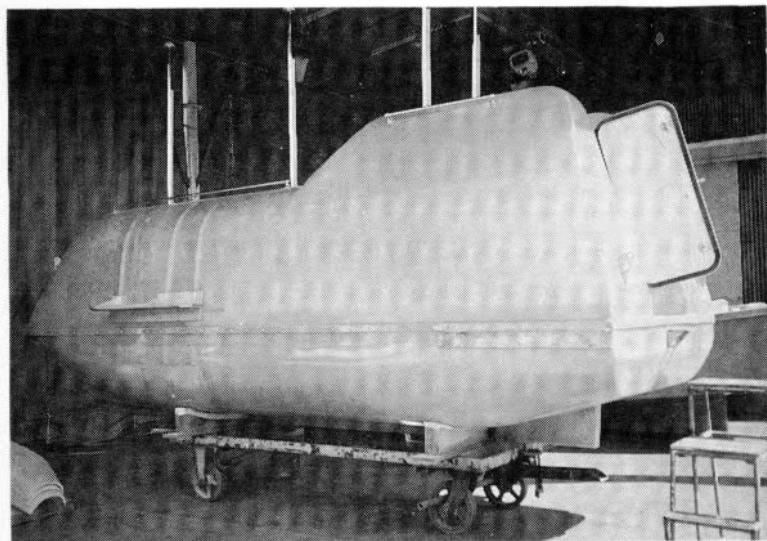


写真3.1(1)-1 大型模型艇

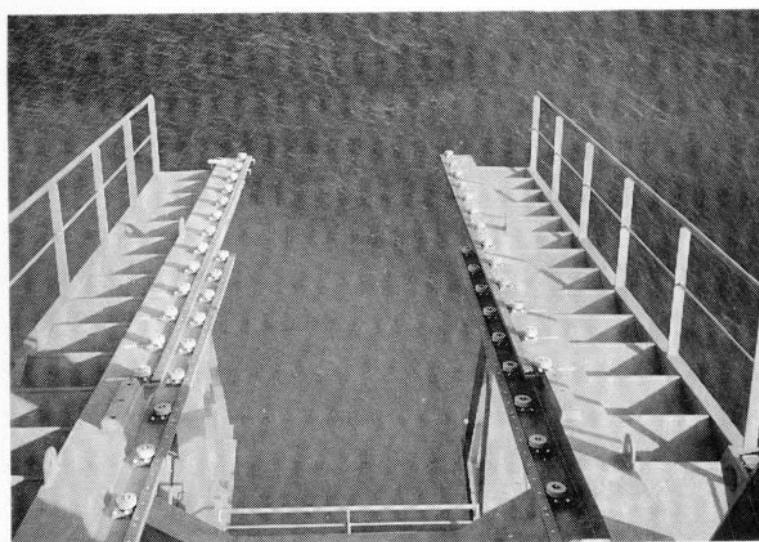


写真3.1(1)-2 二段スキッド進水システム

表3.1(1)-1 検証項目と実験結果

検証項目	検証方法	実験の結果
新降下システム	落下運動、加速度等の計測によりシステムの有効性を確認	落下姿勢の制御が可能であることが確認された。
シート及びシートベルトの有効性	座席、ダミーの加速度、変位の計測により、緩衝効果を確認	シート緩衝効果、シートベルトの有効性について、実験室と大型模型実験での差異が明らかにされた。
人体の耐衝撃性	ダミー頭部と座席間の変位、座席の変位、人体の加速度を計測し、人体の衝撃評価式により検討	人体に対する衝撃加速度の評価法について、既存評価式の検証データが得られた。
運動加速度推定法	艇体運動の画像解析、加速度の計測により、推定値と比較	小型模型と大型模型での推定結果、本実験結果を比較し、推定法が検証された。
衝撃荷重推定	衝撃水圧及びパネル応力の計測結果と推定値と比較	衝撃圧計算と比較し、定性的、定量的に実験結果とよく対応することが確認された。
FRP艇強度評価法	FEM構造解析結果と計測結果と比較し、FRP構造強度の評価を行う。	荷重を与えて艇体の構造解析を実施した。歪の計測値をよく説明する結果が得られた。
衝撃強度	2次部材継ぎ手部の歪を計測し、衝撃強度の確認	全実験を通して、衝撃加速度と艇体強度に関するデータが取得された。

## (2) 艇体運動シミュレーション法

本研究では、自由落下式救命艇の運動シミュレーション法として横浜国立大学が開発した方法を採用し、模型実験によりその精度を検証した。シミュレーション法については最終年度報告書に詳述してある。種々の条件で実施した模型実験結果とシミュレーション結果との比較検討により、同シミュレーション法によれば理論的に自由落下式救命艇の着水運動を評価できることが明らかになったため、図3.1(1)-1に示した三通りの異なる船型を持つ救命艇の解析を行い、船型や落下条件と着水挙動との関係を検討した。

図3.1(2)-1に三船型の着水挙動を同一の条件でシミュレーションし、着水挙動に与える船型の影響を調べた結果の一例を示す。同図より分かるように、浮上中および浮上後の三艇の運動は大きく異なり、与えたシミュレーション条件ではLifeboat-Aが浮上後容易に前方に進行するのに対し、Lifeboat-Bは浮上中にほとんど前進速度を失い浮上位置で上下動をして停止する。さらに、Lifeboat-Cは船首前面が極端に肥えているために水中で完全に前進速度を

失い、後方に逆戻りする。また、図3.1(2)-2の加速度時系列をみると、Lifeboat-Cが着水時に大きな上向きの加速度を受けることが分かる。これは、下部船体の深さが小さく船首に大きなフレアが付いているので水面衝撃が大きくなるためである。乗員数の問題を度外視すれば、スリムな船型をもつLifeboat-Aが運動性能の点で最も優れていることが分かった。

次に、母船の運動を模擬するために滑台を上下動させた状態で救命艇を進水させた場合の、シミュレーション結果と実験結果の比較を図3.1(2)-3に示す。シミュレーション結果と実験結果の対応は極めて良好である。

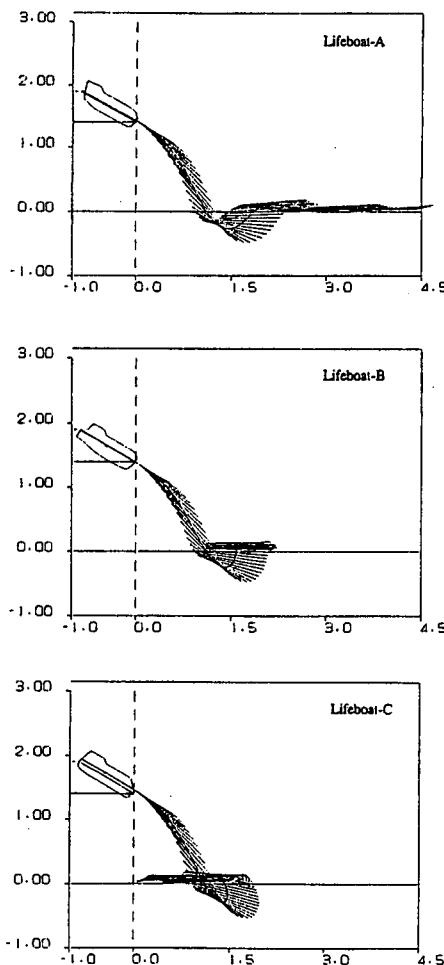


図3.1(2)-1 三艇の着水運動

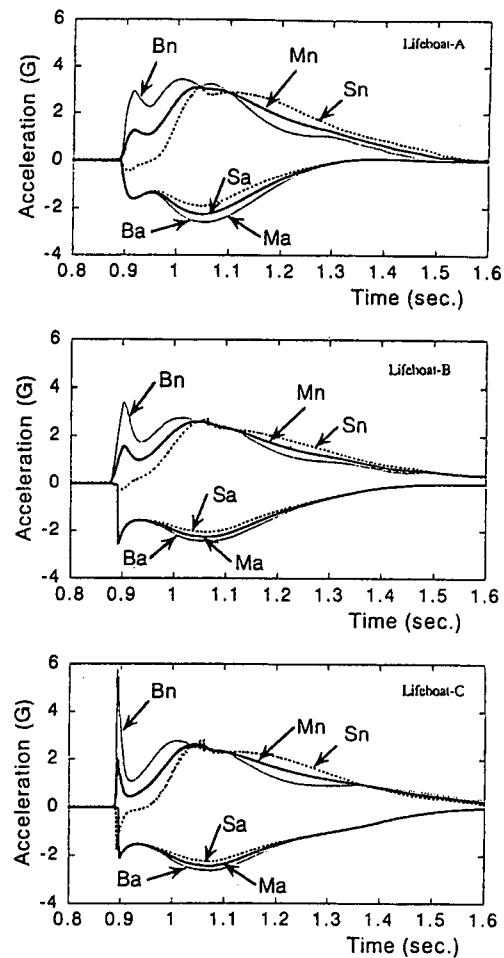


図3.1(2)-2 三艇の着水衝撃加速度  
(B:船首, M:中央, S:船尾, n:上下加速度,  
a:前後加速度)

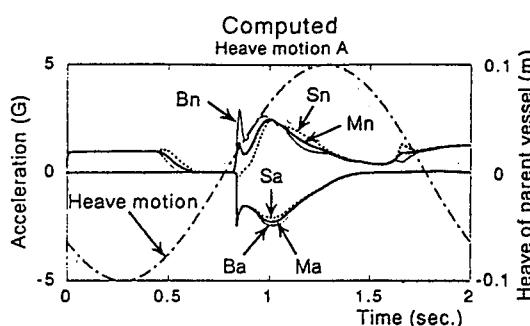


図3.1(2)-3 動揺する滑台からの落下時の加速度(計算と実験の比較)

従来型  $\Theta=30^\circ$

従来型  $\Theta=45^\circ$  二段滑台  $\Theta=45^\circ$

### (3) 衝撃水圧推定法

複雑な3次元形状を有する救命艇に作用する衝撃圧計算法について検討し、自由落下式救命艇の衝撃圧の計算を行った。

衝撃水圧の計算例を図3.1(3)-1に示す。大型模型実験で船首を40度下向きに傾斜させた状態で、垂直に落下させた場合についての計算例である。

実線が各断面の衝撃圧の空間分布を示している。また、図中の●が各断面で水面が水圧計測位置に達した時の衝撃圧計測値である。実際の艇体はセンターキールがあり、推定ではこれを無視している、また、海面の波面は乱れがあるために、理想的な状態を仮定している推定計算は実験値より高い。

図3.1(3)-2は、落下時の衝撃力(船首加速度)が最大となる時刻の各断面の水圧分布を示す。この時の荷重を用いて構造解析を行った。

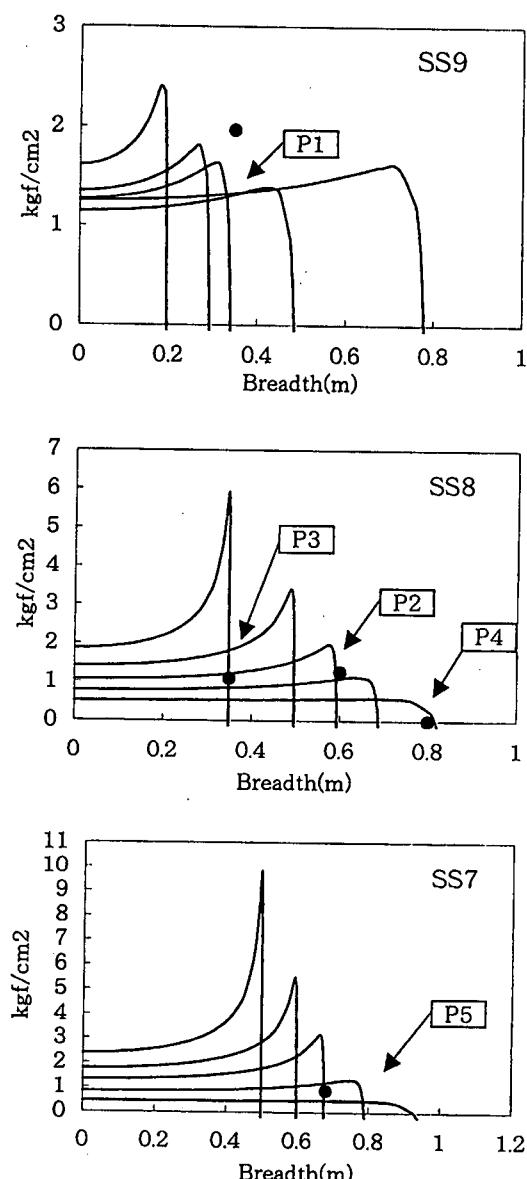


図3.1(3)-1 大型模型艇の衝撃水圧の推定

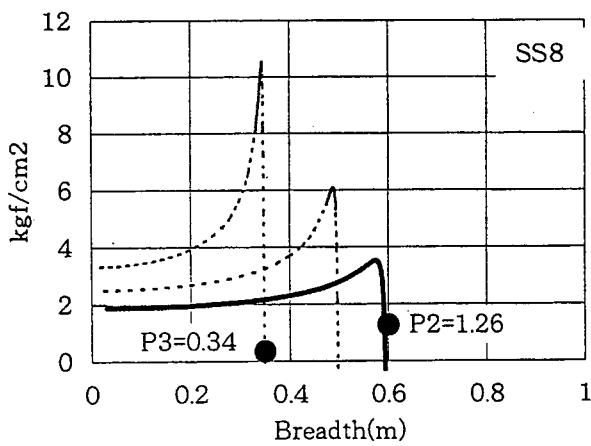
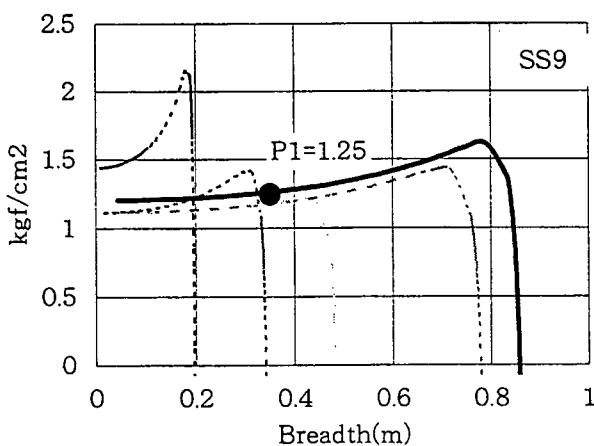
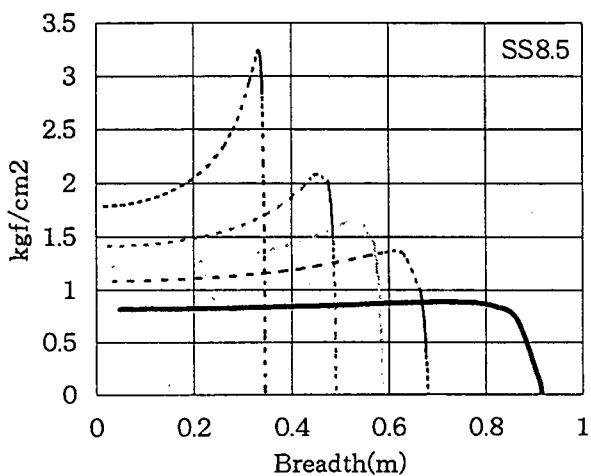
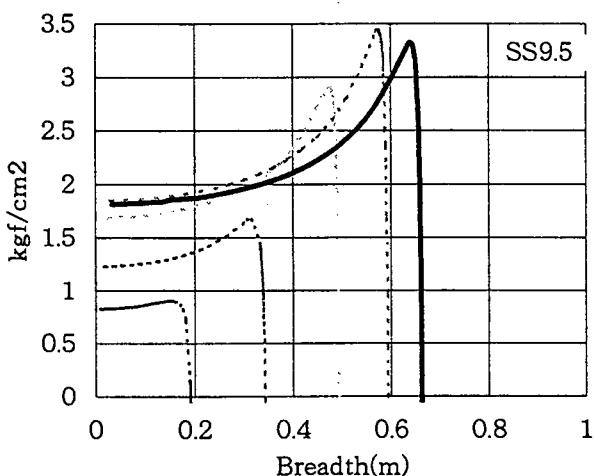


図3.1(3)-2 船首上下加速度最大時の衝撃水圧分布

#### (4) FEM構造解析

##### (i) 艇体材料・構造

試作された大型模型艇は肥大船型で、船殻は非常に薄く製作されている。

船殻は、不飽和ポリエステル樹脂とガラス繊維を使用した単板構造である。板厚は、船底が5~9mm、キール近傍は増厚してあり12mm、上部船体は5~6mmである。キールを有し、艇の内部構造は、全通する床板(板厚約3mm)、艇の中心線を挟んでバラスト用、計測機器格納用のホールドがある。また横方向には船体中央部船底部に仕切り壁を有し、船底ボイドの一部には浮力材として発泡ウレタンを詰めている。

##### (ii) 構造モデル

汎用FEMプログラムNASTRANによる大型模型艇の弾性構造解析を行うための構造解析モデルを図3.1(4)-1に示す。FEM構造解析モデルは、艇の長さ方向、幅方向にそれぞれ約40等分を基本として要素分割を行った。平均的な要素サイズは150x150mmである。要素は、板

要素と骨要素を使用している。材料定数は、模型艇に使用した材料の静的強度試験結果を用いた。艇体がガラスストランドの吹き付け加工によるため、等方性材料として取り扱った。

### (iii) 荷重条件

大型模型艇の落下高さ9mからの垂直落下試験時の衝撃荷重計算値を用いた。船首加速度が最大、即ち、衝撃力が最大となる時点の水圧を分布荷重として与えた。

解析結果を図3.1(4)-2に示す。

船首加速度が最大となる時点の応力について解析結果と計測結果とを比較した。

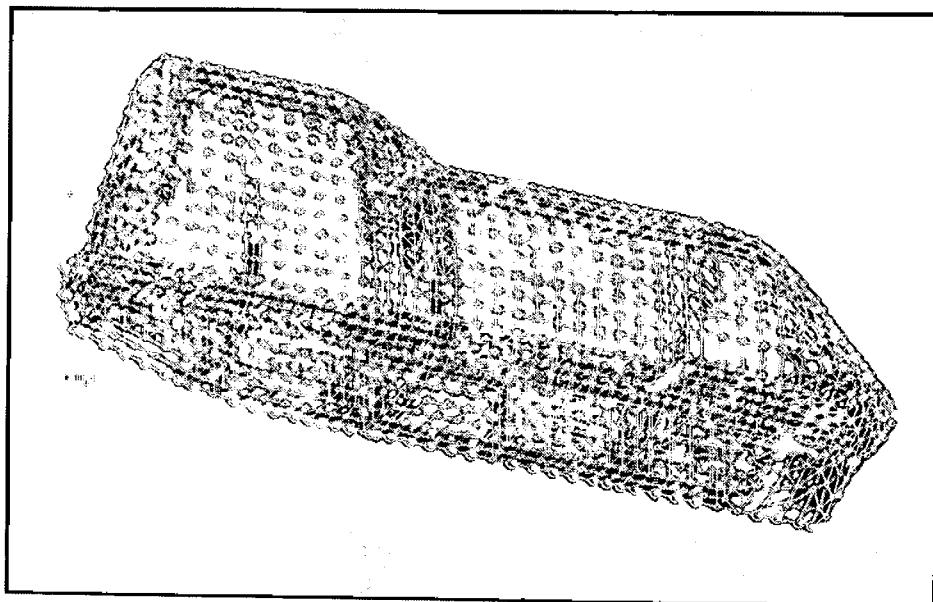


図3.1(4)-1 FEM構造解析モデル

## (5) 艇体構造材料

### a) 艇体材料

救命艇の艇体の材料として使用されているFRP材は、素材の組み合わせで任意の強度や剛性が得られ、加工性が良好であり複雑な形状の軽量構造物の製造に適している、更に、耐腐蝕性が良好であるという特長を有している。一方、金属に比較して強度は低く、弾性率も低いために変形し易く、衝撃強度が低いという短所がある。

本研究では、救命艇の艇体材料として用いられているFRP材について、素材と積層構成、試験方法、力学的特性に関する調査を行った。また、水槽試験に供した小型模型、及び実海面での模型試験に供した大型模型艇に用いた材料の強度試験を行った。

強化繊維としてガラス繊維とアラミド繊維、あるいはガラス繊維とカーボン繊維のハイブリッド繊維を強化材とする積層板のメリットが明らかにされた。

### b) 大型模型艇の構造材料

大型模型実験では、艇体の衝撃強度、二次部材継ぎ手の強度を調べることを目的として、外板板厚は5~8mmと意図的に薄く、二次部材継ぎ手の形状、積層数を左右舷で変える等の構造法が採用された。

大型模型実験の結果、二次継ぎ手部材の形状、積層数の違いの効果が認められた。また、船底パネルの歪の計測値から艇が大きく変形していることが分かり、衝撃水圧によるパネルの損傷が発生した。

### 3.2 衝撃緩衝用座席及びシートベルト

#### (1) 人体加速度の緩衝効果

本評価法によれば、座席を6cm厚のクッション材で弾性支持することにより座席に作用する加速度のピーク値を1/2~1/3に低減できると推察される。しかし、大きな加速度が作用する場合に備え、クッション材は硬質と軟質の2層構造とする必要がある。

#### (2) 人体への衝撃力

評価用ダミーの頭部変位測定及び廷内ビデオによる観察により、水面衝撃時における衝撃緩衝用座席とダミーの動きを把握することができ、提要されたシートベルトの効果が確認された。また、変位及び加速度データより、DRM法、SRSS法及びHIC法による衝撃力の評価方法の検討を行った。

### 3.3 救命艇の製作技術

一般的船舶が荒海中を航行する場合、船体と波面の衝突により衝撃圧が発生することがあるが、自由落下式救命艇は、海面に突入時非常に大きな衝撃荷重が艇体に働く。

従って、水面衝突時の衝撃を減らす様な船型と共に衝撃荷重に耐えうる構造、並びに製作方法とする事が艇体設計にとって重要となる。

本研究項目では、実艇を想定した縮尺6/8、長さ6.0mの大型模型による落下実験を行い、自由落下式救命艇の構造設計並びに製作手法を得ることとした。

#### (1) 大型模型艇の設計

##### (i) 船型

大型模型艇の製作に際しては、落下進水時の水面衝突衝撃圧により艇体が破損する前後のデータを収集することを目的として、船底のフラットな船型とした。表3.3.1に大型模型艇の主要目を示す。

表3.3.1 大型模型艇の主要目

	長さL (m)	幅B (m)	深さD (m)	縮 尺	L/B	B/D
大型模型艇	6.000	1.950	0.675	6/8	3.08	2.89
痩せ型模型	1.000	0.313	0.356	1/8	3.19	0.88
肥大型模型	1.000	0.358	0.211	1/7.4	2.79	1.70

## (ii) 一般配置

艇体は、艇体外板と内部構造の間に浮体容積を確保した二重構造とし、床面に相当する内部構造の上面に乗艇員用の座席を固定する配置とした。一般配置の概略を図3.3.1に示す。

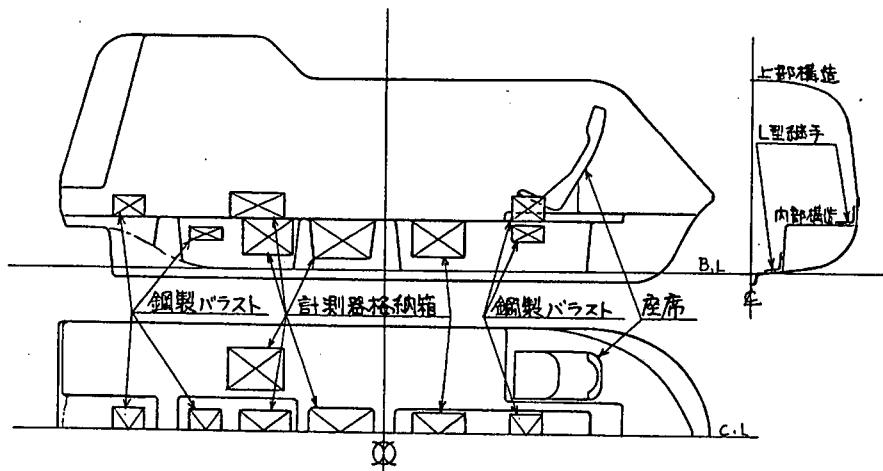


図3.3.1 艦装品の配置及び接合断面

## (2) 大型模型艇の製作

### (i) 構造

大型模型艇は、図3.3.2に示すように艇体・上部構造並びに内部構造の3つの型の構成とした。

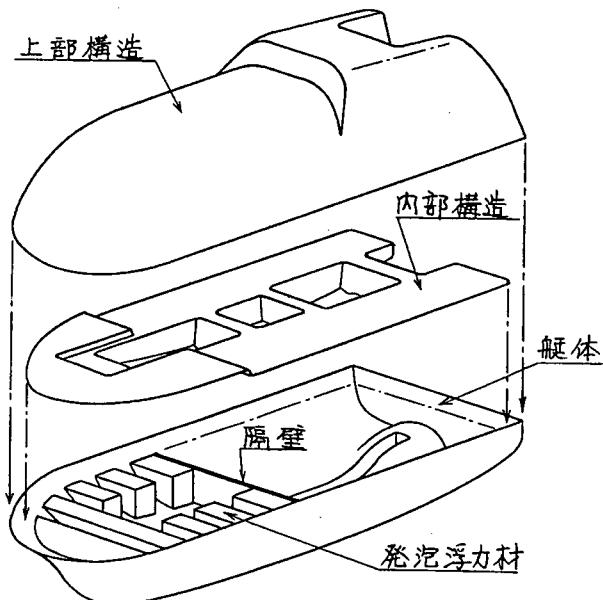


図3.3.2 大型模型艇の構成

艇体の構造として、艇内に充填される発砲浮力材のパネル強度に与える影響を調べるため、艇体の中央に隔壁を設け、隔壁より船首方向の計測用センサーを除く船底部に発砲浮力材を充填した。

## (ii) 接合方法

FRP構造物の接合方法は、「強化プラスチック船(FRP船)特殊基準」におけるL型継ぎ手とした。(図3.3.1)

## (iii) 艦装

艇内には計測器並びに計測器を保護する格納箱、人体ダミー並びに固定座席さらに重量調整用鋼製バラストを配置した。

人体ダミーは固定座席にシートベルトで固縛し、その他の艦装品は内部構造にボルト止めする方法とした。

## (3) 進水装置を利用した落下実験

落下進水時の水面衝突時における船尾船底部に発生した撓み量は大きく、船殻母材の破損、並びに二次接合の剥離といった艇の破損原因となっている。

これに対して、内部構造下の船底部に発砲材を充填した船首船底は、船尾船底部より大きな水圧を受けているにも係わらず、二次接合の剥離にとどまり、実験を通じて船殻母材の破損までには至らなかった。

又、内部構造物と艇体側面の二次接合部は、実験を通じてその大小の差はあるものの、常に二次接合の剥離が発生した。

## 3.4 進水・離脱／回収システム

### (1) 進水・離脱システムの選定と要件

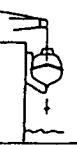
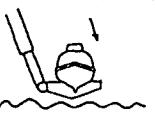
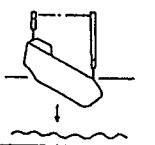
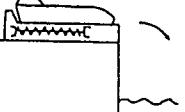
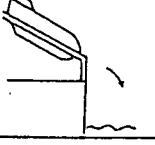
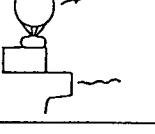
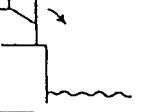
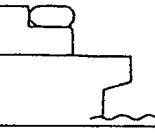
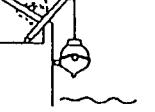
進水・離脱システム案として、表3.4.1に示す12案が提案された。

これらの案に対して、進水・離脱システムの基本要件（進水・離脱の迅速性、操作の容易性、安全性）について階層分析法を用いて進水・離脱システムの評価を行なった。その結果から、傾斜滑台方式を本研究に採用した。

傾斜滑台の要件に就いて検討・整理した。進水架台要件として、最適な海面への突入角を得るための滑降台の傾斜角および滑降距離、船体の横傾斜に対する対策、進水台下の係船作業スペースを確保できる滑降台の高さについて検討する必要があることが分かった。

また、海面への突入角に大きく影響する最大降下高さについて、船種および船舶の大きさを選んで調査した。VLCCの最大降下高さは25m程度であり、LNG船、LPG船では2m程度である。また、同じ船でもVLCCでは降下高さが満載とバラスト喫水で8mも差があることが分かった。

表3.4-1 進水システム案

N.	進水方法	イメージ図	特徴	備考
1	ロープ降下式		アームを振出し、ワインチによる2点吊りのロープ降下式。調速装置は遠心ブレーキが主流、油圧ブレーキもある。降下速度は60m/min程度。	既存の救命設備の主流
2	ガイド付 ロープ降下式		No.1に艇保護用ガイドを装備して本船の動搖による舷側との衝突を防ぐ。	既存ではミランダ型に近似
3	アーム式		海面着水まで艇を持ち、アームを伸ばして、降ろす。降下速度は遅いが、衝撃はほとんど無い。長いアームが必要で大掛かりな装置となる。	
4	落下式		艇に角度を付けてアームを振出し、そのまま落下させる。離船能力はない。装置はロープ降下式と大差なし。	
5	射出落下式		カタパルトなどの装置で水平格納状態から押出す。10度傾斜を上がる大きな推力を常時保持する必要がある。短時間で離船能力がある。	
6	滑走落下式		既存の自由落下式ダビットNo.5と同じく着水後の行足がつき、短時間で離船能力がある。傾斜滑台があれば進水可能。	
7	射出潜水式		船底近くより射出する。浮力があるので射出力は小さい。落下の衝撃、波との衝突の恐れがない。回収は困難。本船の設備、スペースが問題。	技術的課題多
8	滑走式		No.6の傾斜滑台を船内に下げ、滑走後、ほとんど落下しないで着水する。衝撃は小さいが、No.7同様、本船の設備、スペースが問題。	
9	飛行式		ガス気球を膨らませ、空中から安全域まで脱出する。救命艇は軽量な少人数のライフraftのようなものとなる。風・火災に弱い。	技術的課題多
10	分離落下式		本船居住区の一部が分離して落下させる。航行性能はない。	
11	待機カプセル		自由浮上式耐火強化カプセル。脱出はしないで本船上で待機する。	転覆、沈没時の浮上がカギ 技術的課題多
12	拘束型 滑走落下式		No.6滑走落下式の艇を横向きにし、ロープで落下を拘束しながら進水させる。	

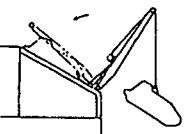
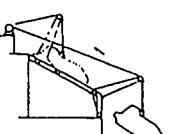
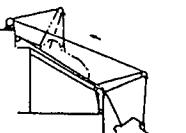
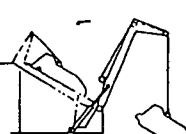
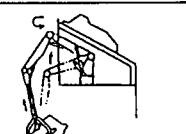
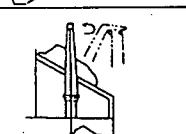
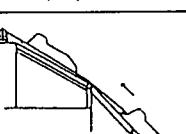
最適な海面への突入角を得るために二段滑台方式(4.2 新しい進水方式 参照)が本研究に採用された。船体の横傾斜に対する対策としては、滑降台サイドにガイドローラーを設ける方式を大型模型実験に採用した。

## (2) 回収システムの選定・設計

回収システムの代替案として、表3.4.2に示す8案が提案された。

この8案に対して、回収システムの基本要件(回収の迅速性、操作の容易性、安全性)について階層分析法を用いて回収システムの評価を行なった。その結果、第6案(ジブクレーン方式)および第4案(L型アーム方式)にトウイングワインチを追加する案を選定した。

表3.4.2 回収システム案

No.	進水方法	イメージ図	特徴	備考
1	ヒンジ ロープ巻上式		艇をワインチで海上より巻上げ、門型アームを油圧シリンダーで門型ビームを引き込み、艇を傾斜台上に格納する。	
2	トラックウェイ ロープ巻上式		艇をワインチで海上より巻上げ、門型アームを傾斜滑台に沿ってワインチで引き込み、艇を傾斜台上に格納する。	
3	トラックウェイ ロープ巻上式 (2)		No.2に加え、トウイングワインチを装備し、艇尾を引き込み、回収をガイドする。	
4	L型アーム ロープ巻上式		艇をワインチで海上より巻上げ、傾斜滑台を兼用したL型アームを油圧シリンダーで引き込み、艇尾をガイドしながらL型アーム上に格納する。	
5	多関節アーム 吊上式		多関節ジブを下げ、先端ロープ引込み装置と艇の案内枠で支持しながら傾斜滑台に格納する。 舷側からの回収が可能。	高揚程には対応できない
6	ジブクレーン ロープ巻上式		旋回式固定ジブクレーンで海上より巻上げ、クレーンを旋回、降下して、艇を傾斜滑台上に格納する。 舷側からの回収が可能。	
7	ガイドレール ロープ巻上式		トウイングワインチで海上より引込み、船尾から張出ガイドレールに沿って引上げ、艇を傾斜滑台上に格納する。 技術的課題多い。	高揚程には対応できない 波浪中で艇がガイドレールに衝突する。
8	ホイスト型 クレーン キャタピラ 巻上式		フックが簡単に掛かる梯子型の格子を、二つのフックを両端につけたキャタピラをホイストが引き上げる。ホイストは位置を適当に変えられ、母船のみの操作で引上げ可能。	動搖している艇にフックが容易には掛けられない。傾斜滑台との組み合わせが出来ない。

第4案と第6案について、船のサイズ大中小の3サイズ毎に概略の船上配置を検討および試設計を行なった。図3.4.1、および図3.4.2に示す。なお、コスト面の検討は行なっていないので実用に当って検討が必要である。

また、回収手順について項目毎に検討した結果、一番の問題は荒天時に動搖する艇の乗員が如何に安全かつ迅速に吊り上げ索と艇とを結合するかであることが認識された。対応策として、艇側にガイドパイプを装備し、吊上げ索のスリングビームをガイドパイプに預け、運転席から結合操作を行なう案が提案された。

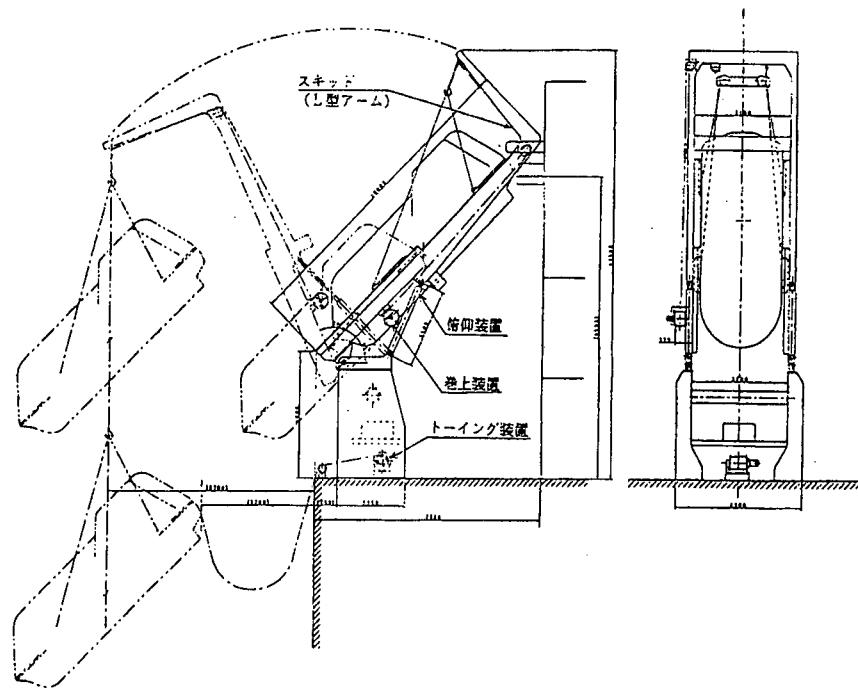


図3.4.1 第4案 L型アーム方式回収装置

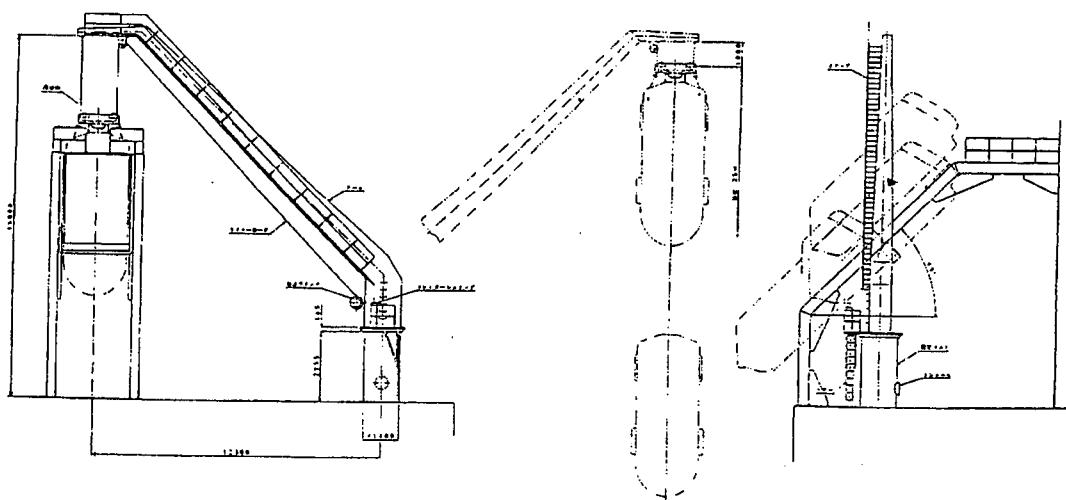


図3.4.2 第6案ジブクレーン方式回収装置

### (3) 救助艇兼用のシステム

救助艇の要件は海上人命安全条約に規定され、既に救命艇と救助艇の兼用は既存のシステムで実施されている。しかしながら、自由落下式救命艇を救助艇と兼用としたシステムはなく、自由落下式救命艇を救助艇と兼用するためには、被救助者の横臥場所の確保方法・被救助者の搬出方法・迅速な艇の回収方法の検討が必要である。

横臥場所の確保方法・被救助者の搬出方法については実船対応で可能であり、迅速な艇の回収方法に就いては前述の回収システムでシステムも構築は可能であると考えられる。

## 4. 得られた成果

### 4.1 設計・解析手法

#### (1) 艇体運動計算法

数値シミュレーションによって、着水運動や衝撃加速度への船型や落下条件の影響を定量的に評価することが可能となった。船型や落下条件を考慮して空中から水中までの自由落下式救命艇の挙動を理論的に求める手法は国際的にも無く貴重である。その計算精度を詳細に検証できたことは本研究の成果の一つである。

自由落下式救命艇は、落下条件(滑台傾斜角、滑台上の滑降距離、ガイドレール長さ、落下高さ等)を適切に設定しないと、極めて危険な着水運動や衝撃加速度が発生する可能性がある。このような危険性を排除するために初期設計時に数値シミュレーションを実施して安全性を確保することは非常に有効なことと考える。また、重量分布や船型等の影響を考慮可能な数値シミュレーション法によれば、最適な落下条件、最適な船型等を選択することも可能である。さらに、二段滑台方式のような新しいシステムを考案する際の性能確認計算も可能である。これらの目的に対し本研究で検証した数値シミュレーション法が極めて有効であることが分かった。

#### (2) 艇体の衝撃荷重計算法

自由落下式救命艇の衝撃荷重の推定法について検討した。推定結果と大型模型艇の実験結果とを比較し、衝撃圧分布並びに最大値とも良く対応することが確認された。実験値は艇の弾性変形による影響から、定量的な一致度は余り良くないが、設計荷重の推定には、簡便な推定方法であると言える。

この推定法により、構造解析で与える荷重分布を求めてFEM構造解析を行った。

#### (3) 艇体の構造解析法

FRP製救命艇のFEM構造解析例は非常に少ない。複雑な3次元形状であるために、モデル化に多大な時間と労力を費やしたがFEM構造解析が可能となった。今後、荷重の推定精度と併せて構造解析法の確立を図る必要がある。

#### 4.2 新しい進水方式（二段滑台方式）

本進水方式は、横浜国立大学が考案・開発したもので、従来の進水方式の弱点となっていた滑台端部で生ずる拘束落下運動時の船首下げ回転運動を除去することを狙っている。これにより、救命艇は最適な姿勢を保ったまま海面に着水するため、実験等によって性能を確認することができた。今後、自由落下式救命システムの新技術として海上における人命の安全に貢献すると期待される。

参考文献：荒井誠，岡崎一成：自由落下式救命艇の新しい離脱方式について，関西造船協会誌，第229号，pp.189-195，1998.

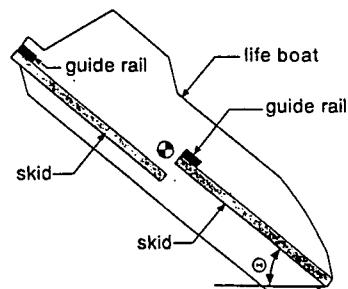


図4.2-1 二段滑台方式概要

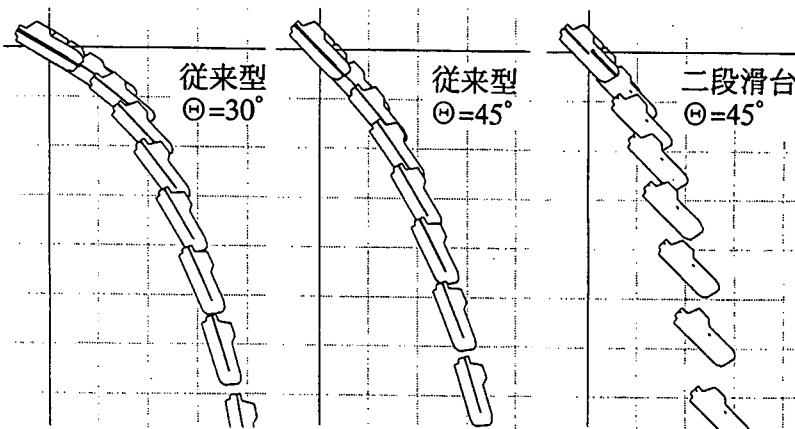


図4.2-2 自由落下運動の比較

#### 4.3 進水・離脱・回収システム

(1) 船体の横傾斜時に滑台の構造によっては、艇の進水がスムースに行なえないのではと危惧されたが、これに対する対策として、滑降台サイドにガイドローラーを設ける方式を大型模型実験に採用し、問題ない事が確認された。

(2) 回収システムは机上検討のみで実施されたが、下記の新規提案がなされ、検討の結果、安全・迅速な回収システムの構築は可能であると考えられる。従って、救助艇兼用のシステムにも展開できる可能性が見出せた。

回収時の問題点は、本船船尾へ艇を如何に接舷させるか、荒天時に動搖する艇の乗員が如何に安全かつ迅速に吊上げ索を艇へ結合させるか、吊上げた艇の振れ防止と如何に架台上に上架させるかである。

本船船尾へ艇を如何に接舷させるかについては、トーイングウインチで船尾端のダビットの真下まで引き寄せるか、あるいは、船側に艇を寄せてジブクレーン方式で吊上げ上架させる方式が考案された。

艇への結合要領は、艇側にガイドパイプを装備し、吊上げ索のスリングビームをガイドパイプに預け、運転席から結合操作を行なう案が提案された。

吊上げた艇の振れ防止と如何に架台上への上架方法はスリングビームのダビットへの固定と架台上にガイドを設置する事で対応可能と考えられた。

なお、L型アーム方式およびジブクレーン方式について試設計も行なった。

#### 4.4 製作技術

##### (1) 構造

自由落下式救命艇では、進水時に必ず作用する衝撃荷重に対し艇の強度を保証する為に、規則で要求される浮体容積必要量とは関係なく、水面衝突時に水圧を受ける船底部に発砲浮力材を充填して船殻FRPのパネル剛性を増すことが、水面衝撃時に発生する水圧に対して有効な手段である事が確認された。

##### (2) 接合方法

内部構造物と艇体側面を接着する時のL型二次接合は、特に剛性の高い構造部材に隣接する箇所を除き、適切な接合方法とはいえないことが確認された。

## 5. 成果の活用

##### (1) 設計・解析手法

艇体運動計算法、艇体の衝撃荷重計算法、及び艇体の構造解析法に関して、外国にもない新しいシミュレーション手法等、自由降下式救命艇を定量的に設計・評価する多くの知見が得られた。これらのうちの多くは直ちに実用に供せられる状態になっている。

##### (2) 新しい進水方式（二段滑台方式）

本方式は、着水後の艇の運動が安定化し、設計の自由度を増す。実船に搭載する場合の問題点等の詳細検討が必要であるが、日本独自の方式として、今後の利用が望まれる。

##### (3) 進水・離脱・回収システム

救助艇兼用のシステムにも展開できる可能性が見出せた。但し、IMO等の動向を考慮して、開発・設計する必要がある。

##### (4) 製作技術

船底部の構造、内部構造物と艇体側面を接着するL型二次接合の方法等、船底部衝撃荷重に対処できる設計資料は、直ちに実用可能である。

## 6. あとがき

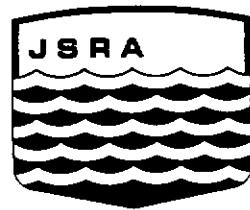
自由降下式救命艇システムの開発は、ヨーロッパで既に終え実用化の段階にある。

そのため、在来のシステムにない新規性と設計・評価技術の高度化に目標を置き、3年間の研究を実施した。

その結果、1)新しいシステムの検討と大型模型実験による検証、2)艇体の運動・衝撃荷重・構造解析等、外国にもない新しいシミュレーション手法の構築等、自由降下式救命艇を定量的に設計・評価するために必要な多くの基盤技術が確立された。

これらのうちの多くは直ちに実用に供せられる状態になっており、今後、有効に利用されることを期待する。

本成果が、国内はもとより諸外国やIMOにも広く紹介され、乗組員の安全性向上の一助に寄与することができれば幸いである。



The Shipbuilding Research Association of Japan