

# SR 243

---

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

スーパーシャロードラフト船の船型開発の研究

成 果 報 告 書

平成14年3月

主催 日本造船研究協会

# SR243<スーパーシャロードラフト船の船型開発の研究>

平成14年5月14日

## 1. 研究の目的

東アジア地域 : 海上物流の飛躍的な伸びが期待されているが、同地域の港湾は水深が浅い。

・ 港湾調査の結果 → P.2 港湾調査の一例（東アジア）

・ 喫水を 10~11m 程度に抑えると東アジア地域の約 50% の港湾に入港可能

➤ 現在運航されている船型の例 → 4~5万トン DW のハンドルマックス型

新規需要船型の開発

従来船型の倍近い貨物量（9~10万トン）を運べる新船型の開発

→  $L_{pp} = 250m, B = 50m, d = 10 \sim 11m, C_b = 0.82$

( $L/B = 5, B/d = 5, L/B(1-C_b) = 0.9$ )

従来の船型範囲から大幅に隔離 ← P.1 浅喫水肥大度の比較

• 一般的には、2軸船指向…コスト高

船型的な課題 { • 1軸船…推進性能(流れの剥離)、操縦性能(針路安定性)が課題  
• 1軸、2軸の共通課題(荒天下運航性能、浅水域操縦性能)

## 2. 研究の内容／得られた成果

### (1) 船型計画と主要性能の把握

	Single Screw Ship			Twin Screw Ship	
	SR243A	SR243C	SR243D	SR242B	SR243E
	1軸コア船型	船尾流場の改善	さらに浅喫水肥大化	2軸コア船型	さらに浅喫水肥大化
$L_{pp}(m)$	250	250	250	245	240
$B(m)$	50	50	55	54.5	60
$D(m)$	17.6	17.6	18.0	18.0	19.0
$d(m)$	10.5	10.5	10.0	10.5	10.0
$C_b$	0.823	0.823	0.823	0.820	0.822
$DW(mt)$	93,300	93,300	98,000	96,400	99,700
Cargo Capacity( $m^3$ )	127,100			133,700	
$L/B$	5.00	5.00	4.55	4.50	4.00
$B/d$	4.76	4.76	5.50	5.19	6.00
$L/B(1-C_b)$	0.88	0.88	0.80	0.81	0.72
Main Eng.	$18,900\text{ps} \times 105\text{rpm}$			$9,450\text{ps} \times 124\text{rpm} \times 2$	
$V_s(\text{kt})$ At 90%MCO / 15%SM	14.58	14.67	14.25	14.66	14.37
$C_{adm}$	483	492	465	512	355
$MCO/(V_s \times DW)$	0.0139	0.0138	0.0135	0.0134	0.0132

### (2) 理論による性能推定手法の評価（水槽試験結果との比較検証）

<従来にない超幅広浅喫水船への適用評価>

理論推定	1軸船	2軸船（スケウ型）
造波抵抗	ランキンソース法によって、かなりの精度で推定が可能であることを確認 口絵：ランキンソース法による船体表面圧力分布 P.5 造波抵抗係数の実験値と推定値（ランキンソース法）の比較例	2軸肥大船へのランキンソース法の適用に初めて適用に成功し、実用的な精度で推定が可能であることを確認

粘性抵抗 自航要素	CFD 計算 (NICE 法) で、粘性抵抗、船尾流場、自航要素が、かなりの精度で推定計算が可能であることを確認	CFD 計算に非構造格子法の適用して、流場の計算に初めて成功し、実用的なレベルで流場の推定が可能であることを確認
	口絵：CFD による船体圧力分布及び流場（曳航状態）	
	P.5 NICE 法による Form Factor の計算と水槽試験結果の相関 P.5 NICE 法による自航要素の計算と水槽試験結果の相関	
規則波中運動/波浪中抵抗増加	<ul style="list-style-type: none"> <li>規則波中運動計算…1 軸船及び 2 軸船ともスリップ法による推定の精度がいいことを確認</li> <li>波浪中抵抗増加…丸尾の方法に藤井・高橋の方法を加味した推定計算は船型によりバラツキがあるが、有用な推定方法であることを確認。</li> </ul>	

理論推定	1 軸船
操縦性能 (深水域／浅水域)	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜航流体力の CFD (NICE コード) 計算…B/d 変更の影響は定性的には求められるも定量的にはかなりの差がある。</li> <li>細長体理論による操縦流体力計算…B/d 変更、フレームライン変更による影響が、深水域及び浅水域とも実用的なレベルで推定可能。</li> </ul>
	P.6 細長体理論による浅水域操縦流体力推定値と実験値の比較

### (3) 1 軸船型の操縦性能向上対策

- ① 適切な船尾形状、舵面積及びプロペラ直径の組合
  - IMO の操縦性暫定基準をクリアするレベルを達成し得る指針が得られた。
- ② 特殊舵（フラップ付き舵/シリング舵等）の採用
  - 小舵面積で、推進性能の大幅な低下をきたさない設計資料が得られた。

P.3 操縦性能シミュレーション計算結果

### (4) 実海域運航性能

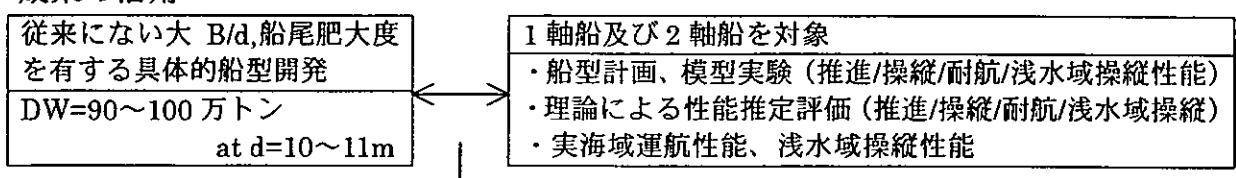
- ① 評価海象（平均海象及び荒天海象）を設定し、運航性能を計算。
- ② 荒天海象下での運航性能計算
  - 船首甲板冠水、船底露出、プロペラ先端露出の発生確率が得られた。
- ③ 荒天海象下での船速低下
  - 主機トルク一定制御等での船速低下 (P.7 波浪中船速低下)

実海域での特性と船型要素が変化した場合の影響を把握

### (5) 浅水域操縦性能

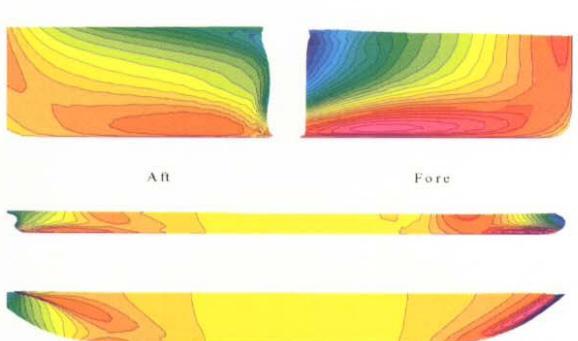
- ① 深水域から浅水域にいたる性能の変化を把握。
  - P.7 水深変化が針路安定性性能に及ぼす影響
- ② 浅水域での船体沈下
  - 水深と船速に応じた沈下量の関係が求められ運航上の指針が得られた。

## 3. 成果の活用

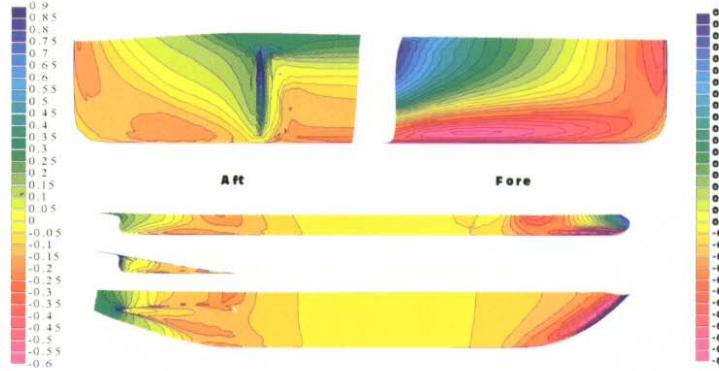


類似の超幅広浅喫水船の開発に有効活用ができるとともに、

1 軸船及び 2 軸船の選定にも有益な資料となる。

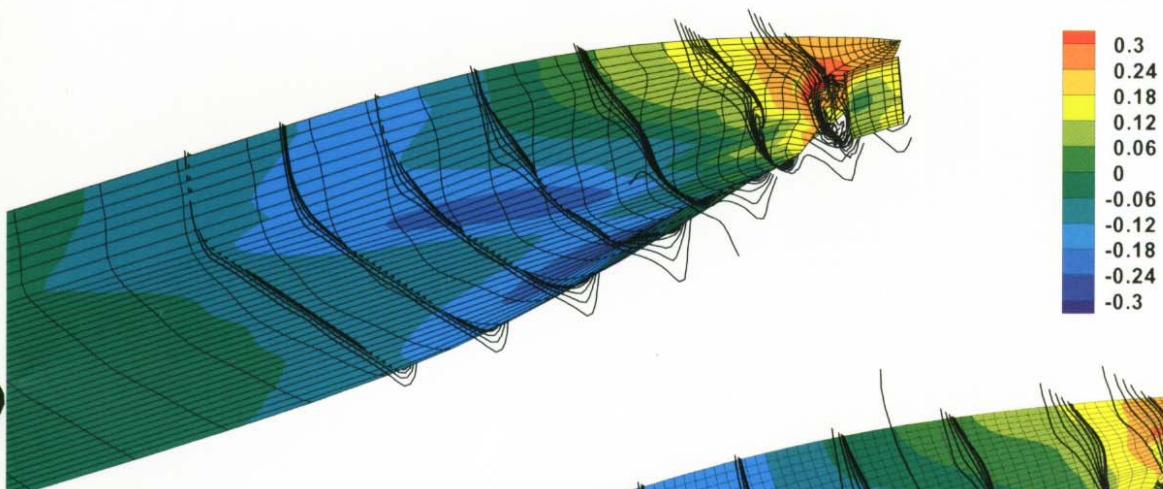


SR243A (1軸船)

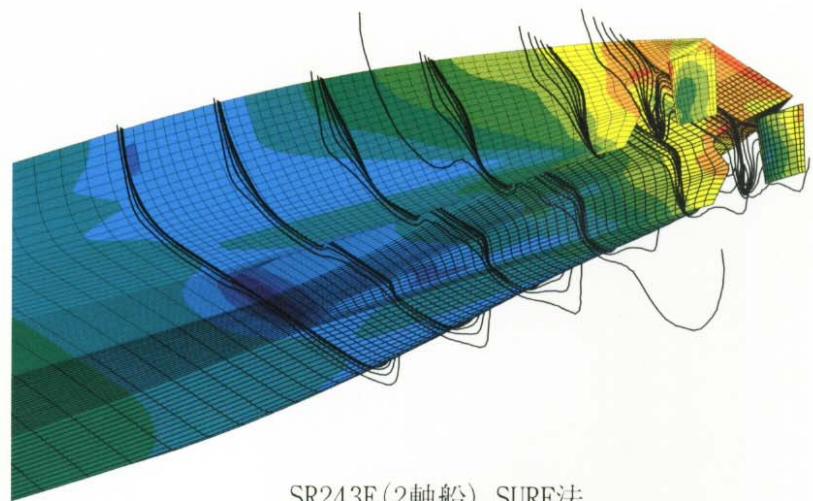


SR243B (2軸船)

### ランキンソース法による船体表面圧力分布

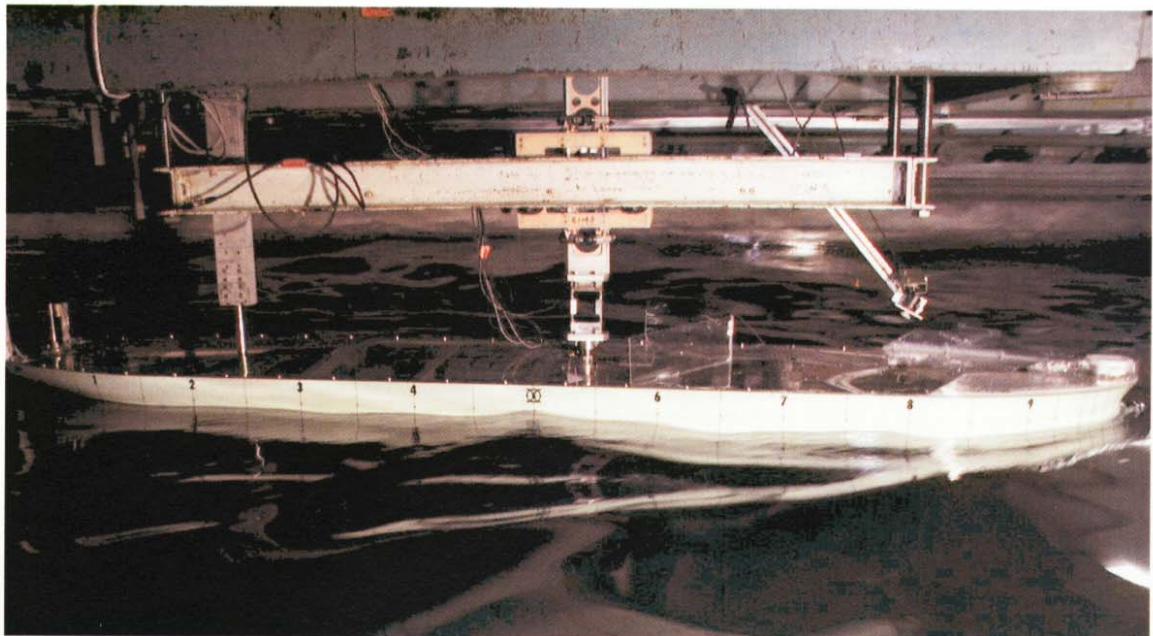


SR243A(1軸船) NICE法



SR243E(2軸船) SURF法

CFDによる船体圧力分布及び流場 (曳航状態)



SR243A 規則波中試驗



(a) 拘束試驗



(b) 船体沈下試驗



(c) 自由航走試驗

SR243A 浅水域操縱性能試驗

# SR243 「スーパー・シャロードラフト船の船型開発の研究」

## 要 約

SHIP RESEARCH PANEL 243

### Hydrodynamic Design and Development for Super Shallow Draft Full Ship

#### Summary

To propose a high economical cargo transportation for shallow water area, such as East Asia, the Super Shallow Draft Full Ship (SSDS) has been developed to carry much larger cargo at restricted shallow draft than the existing vessels.

The hull form of SSDS, having 100,000 tones DW at 10 m draft, is featured by small Length/Beam(L/B) than 5, large Breadth/draft(B/d) around 5, high block coefficient(Cb) around 0.82 and the resultant fullness parameter L/B x (1-Cb) below 0.88. Such hull form has been so far recognized being deteriorated in maneuvering and propulsive performance in the single screw ship, but feasible in the twin screw ship due to its excellent maneuverability.

The hull form for the single screw ship has been extensively investigated into the effect of B/d, after body shape, and rudder configuration etc., in order to get course keeping ability for satisfying the IMO Interim Standard of ship maneuverability and better propulsive performance by model tests, ship motion simulations, numerical calculations (Rankine Source method, CFD etc.). The twin screw ship has been also studied on improvement in propulsive performance.

Performance in rough sea condition and operation in shallow water have been investigated to comprehend the single screw SSDS's characteristics in service.

As results, hull forms for both single and twin screw SSDS have been successfully developed. For the single screw ship, good ship's performance was obtained as expected, such as good course keeping ability above the Interim Standard, and for the twin screw ship, superior propulsive performance to the single screw ship was obtained beyond expectations.

## 1. 研究の目的

世界の海上物流は大きく変わりつつあり、特に東アジア地域を中心に飛躍的な伸びが期待されている。しかし、同地域の港湾は水深が浅いため、浅喫水型で多量の貨物が運べる船舶が求められる。同地域の港湾の調査結果、計画喫水を11m以内に制限すると、約50%の港湾に運航が可能となることが分かった。この喫水で現在運航されている船型は、最大の船型で載貨重量4~5万トンのハンディマックス型のバルクキャリアーである。これからの貨物輸送量の増大に備えるため、この喫水条件で倍近い載貨重量を有する船型が開発できれば、海運界他のニーズに応えることが出来ると考えられる。

計画喫水を11m以下とし、載貨重量を9~10万トンに設定すると、船長及び船幅はそれぞれ250m及び50m程度となり、肥瘦度は0.82程度の船型となる。これを船型的に見ると  $L/B = 5$ 、 $B/d = 5$ 、 $L/B(1 - C_b) = 0.9$ となり、幅広かつ浅喫水でさらに船首尾の肥大度が大きい、いわゆる超幅広浅喫水な船型となり、従来の船型に比べてかけ離れて浅喫水肥大度が大きくなる。

このような船型の範疇では、一般的に推進性能及び操縦性能に問題が無いとされる2軸船型が指向されてきたが、1軸船型に比べるとコスト高となり運航経済性能が劣ると考えられる。一方、1軸船は浅喫水肥大度の程度が従来になく大きくなる故、異常な推進性能の劣化を惹起する懸念があり、針路安定性の劣化から操船上の問題が生じる恐れがある。更に、両船型に共通する課題として、実海域の運航性能の評価及び東アジア地域のみならず、水深の浅い海域や内水河川等への航行の安全性の評価も重要な課題となる。

本研究においては、従来船型の倍近い9~10万トンの載貨重量を有する新船型の開発を目指し、上述の諸課題を解決する研究に取り組み、1軸、2軸のいずれの船型が運航性能上優れているのかの検討も踏まえ、これらの研究過程から得られる設計指針を確立し、新船型創出の基盤固めを行うことを目的とする。

## 2. 研究の目標

従来船型の範疇を遥かに超えるスーパーシャロードラフト船の船型開発において、実用上問題のない船型計画・性能評価を可能とする設計指針を得るために、以下の項目を取り上げ、研究の目標とした。

### (1) 1軸／2軸船の船型と主要性能に関する研究

従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つ船型の主要性能を実験的に把握するとともに、理論による性能推定手法（ランキンソース法による造波抵抗、CFDによる粘性抵抗、船尾流場、自航要素、ストリップ法による耐航性能、細長体理論による操縦流体力微係数など）の評価を行う。

### (2) 1軸船型の操縦性能向上対策に関する研究

針路安定性の劣化が懸念されるので操縦性能の検討とともに、この向上を図るための方策を検討する。

### (3) 実海域運航性能（波浪中運航性能）に関する研究

対象とする実海域を検討し、平均海象とともに荒天海象下の甲板冠水等の発現頻度や船速低下を求めて実海域運航性能を評価する。

### (4) 浅水域操縦性能に関する研究

模型による性能試験結果と現有推定手法の精度検討を行い、浅水域での基本的な操縦性能特性を把握する。

### (5) 総合評価と設計指針

1軸／2軸の選定指針、推進性能、操縦性能及び風波浪下運航性能に関する設計指針、浅水域性能評価指針などを取りまとめ、今後に残された課題を整理する。

## 3. 研究の内容

### (1) 1軸／2軸船の船型と主要性能に関する研究

世界の主要港を調査し、特に東アジアの港湾を対象に、1軸及び2軸船の主要目及び目標性能を設定した。1軸及び2軸のコア船型及びB/d、船尾フレームライン等を変更した船型の模型試験による性能把握と理論による性能推定（ランキンソース法による造波抵抗、CFDによる粘性抵抗、船尾流場、自航要素、ストリップ法による耐航性能、細長体力論による操縦流体力微係数など）を行い、スーパーシャロードラフト船の性能把握と理論計算による推定手法の評価を行った。

### (2) 1軸船型の操縦性能向上対策に関する研究

操縦性能の検討とともに針路安定性の向上を図るために、船尾フレームラインの改良、舵面積比増加、特殊舵などによる改善効果を実験的に把握した。

### (3) 実海域運航性能（波浪中運航性能）に関する研究

評価海象（平均海象及び荒天海象）を設定し、荒天海象における甲板冠水や船底衝撃の発生確率を検討した。また、短期予測法を適用して不規則波抵抗増加を求め、荒天海象下での船速低下を計算した。

### (4) 浅水域操縦性能に関する研究

浅水域での操縦性能を調査するため、水深を変えた模型試験を施行し、その特性を把握するとともに、浅水域での船体沈下を模型試験により計測し、運航上の留意点を検討した。

### (5) 総合評価と設計指針

1軸／2軸の選定指針、推進性能、操縦性能及び風波浪下運航性能に関する設計指針、浅水域性能評価指針などに関する設計資料を取りまとめた。

## 4. 得られた成果

(1) 設計に利用できる世界の主要港の膨大な港湾データを整理して、東アジア地域の港湾を対象に船型の用件を設定し、従来船型の倍近い載貨重量を有するスーパーシャロードラフト船の船型を検討する一般配置、トリム計算等の基本的な設計資料が得られた。

(2) 従来にない大B/dと肥大度を併せ持つスーパーシャロードラフト船に関し、船型要素も変化させた1軸船及び2軸船の推進性能、操縦性能、耐航性能に関する模型船による水槽試

験データが得られた。

- (3) 模型試験結果との比較で、理論による現有の推定手法（ランキンソース法による造波抵抗、CFD による粘性抵抗、船尾流場、自航要素、ストリップ法による耐航性能、細長体理論による操縦流体力微係数など）の有用性が確認できた。また、スケグ付き 2 軸船で、ランキンソース法による造波抵抗及び CFD による船尾流場計算等、2 軸肥大船への適用に初めて成功し実用的なレベルでの性能推定に活用できることを確認した。
- (4) 1 軸船の操縦性能を改善する方策として、船尾フレームラインの改良、舵面積増加、特殊舵の採用などの設計データが得られた。
- (5) 評価海象（平均海象及び荒天海象）を設定し、荒天海象における甲板冠水や船底露出の発生確率の検討、また、短期予測法を適用して不規則波抵抗増加を求め、荒天海象下での船速低下の検討により、スーパーシャロードラフト船の実海域での運航特性が把握できた。
- (6) 浅水域での模型試験結果から、スーパーシャロードラフト船が浅水域を運航する場合の特性の把握ができた。
- (7) 従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つスーパーシャロードラフト船は、運航上留意すべき点はあるが、船型性能の観点からは実船化できることが確認された。

## 5. 成果の活用

本研究部会で開発に取り組んだ船型は、東アジア地域の港湾を対象とし、喫水を 11m 以下に設定し、9~10 万トンの載貨重量を有する船型であり、実船化するまでの課題の解決が図られたが、得られた成果はこれにとどまらず、これに類似の従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つ船型の開発に有効に活用ができる。その研究成果の活用について以下に述べる。

- (1) 1 軸船及び 2 軸船の一般配置、貨物容積、トリム計算を始めとした基本計画の設計資料が、個々の計画船の初期検討に有効に活用できる。
- (2) 船型線図と推進性能、操縦性能、耐航性能に関する水槽試験結果が得られており、また、船型の改良、さらに船型要素を変化させたときの性能変化のデータが得られているので、計画船の性能の最適化に有効に活用できる。
- (3) 浅水域の航行を考慮したプロペラ設計の手法が把握できたので、類似船のプロペラ設計に有効に活用できる。
- (4) 現有の理論計算による推定手法の有効性が確認されたので、個々の計画船の性能推定の初期検討に有効に活用できる。
- (5) 1 軸船で懸念される操縦性能の向上のための方策が得られたので、船尾フレームライン改良、舵面積増加、特殊舵の採用など、計画船の制約に応じて対応ができる。
- (6) 実海域での運航性能が把握でき、理論による荒天海象下での甲板冠水等の発生確率計算及び回帰分析による波浪中抵抗増加の計算手法が得られたので、計画船の馬力マージンなどの設定に有効に活用できる。
- (7) 浅水域での操縦性能の特性の把握ができ、理論による計算手法の有効性が確かめられたので、計画船の性能推定ができ、また、船体沈下などの運航上の留意点が計画船に生かせる。

## はしがき

本成果報告書は、日本財團の助成事業として、日本造船研究協会第243研究部会において、平成11年度から平成13年度の3カ年計画で実施した「スーパーシャロードラフト船の船型開発の研究」の成果を取りまとめたものである。

なお、本研究は日本造船工業会から受託して行ったものである。

### 第243研究部会 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	池畠 光尚 (横浜国立大学)	内藤 林 (大阪大学)
代表幹事	荻野 繁之 (サノヤス・ヒシノ明昌)	不破 健 (海上技術安全研究所)
委員	平山 次清 (横浜国立大学) 貴島 勝郎 (九州大学) 竹子 春弥 (海上技術安全研究所) 武隈 克義 (日本造船技術センター) 上野 弘顯 (サノヤス・ヒシノ明昌) 岡田 利治 (尾道造船) 副島 信 (常石造船) 青木伊知郎 (大島造船所) 成田 征 (函館どつく) 百崎 典英 (カナサシ) 山磨 敏夫 (ナカシマプロペラ)	上野 道雄 (海上技術安全研究所) 金井 健 (日本造船技術センター) 濱田 克明 (名村造船所) 末吉 明 (新来島どつく) 藤田 均 (今治造船) 安田 耕造 (佐世保重工業) 莊田 雅信 (カナサシ) 原島 啓剛 (幸陽船渠) 大内 一之 (ナカシマプロペラ)

### 第243研究部会幹事会 委員名簿

(敬称略、順不同)

主査員	荻野 繁之 (サノヤス・ヒシノ明昌) 池畠 光尚 (横浜国立大学) 内藤 林 (大阪大学) 不破 健 (海上技術安全研究所) 上野 道雄 (海上技術安全研究所) 金井 健 (日本造船技術センター) 濱田 克明 (名村造船所) 末吉 明 (新来島どつく) 藤田 均 (今治造船) 山磨 敏夫 (ナカシマプロペラ)	平山 次清 (横浜国立大学) 貴島 勝郎 (九州大学) 竹子 春弥 (海上技術安全研究所) 武隈 克義 (日本造船技術センター) 上野 弘顯 (サノヤス・ヒシノ明昌) 岡田 利治 (尾道造船) 副島 信 (常石造船) 青木伊知郎 (大島造船所) 大内 一之 (ナカシマプロペラ)
-----	--	---

### 討議参加者

(敬称略、順不同)

東濱 清 (新来島どつく) 林田 英輝 (新来島どつく) 吉田 剑児 (常石造船)	片岡 史朗 (新来島どつく) 小山 博道 (今治造船) 栄 泰道 (ナカシマプロペラ)
---	---

事務局 (日本造船研究協会) 宮澤 徹・大森 勝・村上 好男  
(日本造船工業会) 吉識 恒夫

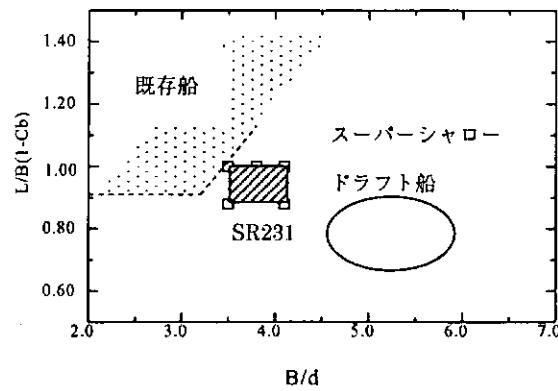
## 目 次

1. 研究の目的 .....	1
2. 研究の目標 .....	2
3. 研究の内容 .....	2
3.1 1軸／2軸船の船型と主要性能に関する研究 .....	2
(1) 船型計画と主要性能の把握 .....	2
(2) 理論による性能推定 .....	3
(3) プロペラ設計 .....	3
3.2 1軸船型の操縦性能向上対策に関する研究 .....	3
3.3 実海域運航性能（波浪中運航性能）に関する研究 .....	3
3.4 浅水域操縦性能に関する研究 .....	4
3.5 総合評価と取りまとめ .....	4
4. 得られた成果 .....	4
(1) スーパーシャロードラフト船（1軸及び2軸船）の主要性能把握 .....	4
(2) 理論による性能推定手法の評価 .....	5
(3) 1軸船型の操縦性能向上対策指針 .....	6
(4) 実海域運航性能 .....	7
(5) 浅水域操縦性能 .....	7
(6) 総合評価と設計指針 .....	8
5. 成果の活用 .....	8
6. 結言 .....	9

## 1. 研究の目的

世界の海上物流は大きく変わりつつあり、東アジア地域を中心とした飛躍的な伸びから、同地域の浅水港湾に入港可能な、経済性に優れた新船型を求める動向が海運界などにある。この動向に対応するには、従来から建造されている船型の領域を超えた、浅喫水で画期的に載貨重量を大きくした新船型の開発が望まれている。

本研究部会では、この要望に応えるため、新船型の要件を見出すべく世界の主要港を調査し、岸壁長及び水深別に港湾数の統計データを作成した。その膨大な調査結果のデータから東アジア地域の港湾を主たる対象としたとき、船型要件として船長を 250m 程度、計画喫水を 11m 程度に制限することで、同地域の約 50% の港湾に運航が可能となることが分かった。この条件で現在運航されている船型は、例えばハンディマックス・バルクキャリアー等があるが、その載貨重量は 4~5 万トン程度となっている。ここで貨物輸送量の大幅な増加を図るために、9~10 万トンと従来船型の倍近い載貨重量を有する船型とするには、船長を 250m 程度、船幅を 50m 程度、肥瘦度を 0.82 程度とする必要がある。これを寸法比で見ると、 $L/B = 5$ 、 $B/d = 5$ 、 $L/B(1 - C_b) = 0.9$  となり、従来になく船首尾の肥大度の大きい超幅広船となる。従来の船型との違いを認識するため、既存の船型と比較したもののが図 2.1-1 に示す。横軸に浅喫水度を示す  $B/d$  をとり、縦軸に船首尾の肥大度を示す  $L/B(1 - C_b)$  をとると、大略○印で示した領域の船型となり、従来の船型範囲から大幅に隔離しているのが読み取れる。(図中には、本研究取組の先導役となった SR231 の研究船の浅喫水肥大度も参考に示している。)



浅喫水肥大度の比較

このような船型の範疇では、一般的には推進性能及び操縦性能に問題が無いとされる 2 軸船型が指向してきた。しかし、2 軸船型は 1 軸船型に比べると、主機、プロペラ、舵及び操舵機などの機器が多く船価は割高になり、これにより運航経済性能が 1 軸船に劣ると想定される。一方、1 軸船は浅喫水肥大度の程度が従来になく大きくなる故、流れの不安定現象、剥離が生じやすく異常な推進性能の劣化を惹起する懸念がある。また、 $B/d$  が大きいことに加え、推進性能の改良を図る余り船尾の旋回抵抗が小さくなり、針路安定性の劣化から操船上の問題が生じる恐れがある。1 軸船のこれらの諸課題を解決し、その上でこのような領域の船型として 1 軸、2 軸のどちらの船型が運航性能上優位であるか、総合的に比較検討する必要がある。更に、両船型に共通する課題として、実海域の運航性能の評価及び東アジア地域のみならず、水深の浅い海域や内水河川等への航行の安全性の評価も重要な課題となる。

本研究においては、従来船型の倍近い 9~10 万トンの載貨重量を有する新船型の開発を目指し、上述の諸課題を解決する研究に取り組み、1 軸、2 軸のいずれの船型が運航性能上優れているのかの検討も踏まえ、これらの研究過程から得られる設計指針を確立し、新船型創出の基盤固めを行うことを目的とする。

## 2. 研究の目標

従来船型の範疇を遥かに超えるスーパーシャロードラフト船の船型開発において、実用上問題のない船型計画・性能評価を可能とする設計指針を得るため、以下の項目を取り上げ、研究の目標とした。

### (1) 1軸／2軸船の船型と主要性能に関する研究

従来にない大B/dと肥大度を併せ持つ船型の主要性能を実験的に把握するとともに、理論による性能推定手法（ランキンソース法による造波抵抗、CFDによる粘性抵抗、船尾流場、自航要素、ストリップ法による耐航性能、細長体理論による操縦流体力微係数など）の評価を行う。

### (2) 1軸船型の操縦性能向上対策に関する研究

針路安定性の劣化が懸念されるので操縦性能の検討とともに、この向上を図るための方策を検討する。

### (3) 実海域運航性能（波浪中運航性能）に関する研究

対象と考える実海域を検討し、平均海象とともに荒天海象下の甲板冠水等の発現頻度や船速低下を求めて実海域運航性能を評価する。

### (4) 浅水域操縦性能に関する研究

模型による性能試験結果と現有推定手法の精度検討を行い、浅水域での基本的な操縦性能特性を把握する。

### (5) 総合評価と設計指針

1軸／2軸の選定指針、推進性能、操縦性能及び風波浪下運航性能に関する設計指針、浅水域性能評価指針などを取りまとめ、今後に残された課題を整理する。

## 3. 研究の内容

### 3.1 1軸／2軸船の船型と主要性能に関する研究

#### (1) 船型計画と主要性能の把握

- ① 世界的主要港を調査し、東アジアの港湾を主たる対象に、研究のベースとなる1軸及び2軸船の主要目を選定し、目標性能を設定し両船型のコア船型（SR243A及びB船型）の船型計画を行った。
- ② 両コア船型の主要性能把握の水槽試験（抵抗、自航、伴流、操縦、規則波中）を実施した。

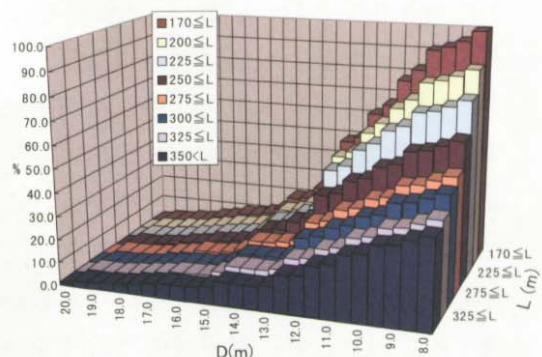


図1 港湾調査の一例（東アジア）

- ③ 1 軸コア船型の水槽試験結果から推進性能及び操縦性能の向上が課題とされ、船尾流場の改善を図った SR243C 船型を計画し性能の確認を行い、さらに浅喫水肥大度が大きく出来る可能性が見えたので限界を探る目的も兼ね、喫水を 10 m とし L/B 小、B/d 大でかつ船首尾の肥大度を増した SR243D 船型を計画し性能確認を行った。
- ④ 2 軸船型については、1 軸船型で最大に浅喫水肥大度を増した SR243D 船型の主要目に対応し喫水を 10 m とし、さらに L/B 小、B/d 大の SR243E 船型を計画し、性能の確認を行った。

### (2) 理論による性能推定

- ① 現有的理論計算の有用さを調査するため、理論による性能推定（ランキンソース法による造波抵抗、CFD による粘性抵抗、船尾流場、自航要素、ストリップ法による耐航性能、細長体理論による操縦流体力微係数など）と模型試験結果との比較検証を行い、これらを推定手法とする場合の評価と問題点を把握した。

### (3) プロペラ設計

- ① 1 軸コア船型の水槽試験結果をもとに、深水域に加え浅水域での船体抵抗増加（速力低下）と船尾流場の変化を考慮に入れ、キャビテーション特性改善に注力しプロペラ理論によってプロペラ設計を行った。
- ② プロペラ模型を製作し、プロペラ単独性能、キャビテーション性能及び変動圧力計測を行った。

## 3. 2 1 軸船型の操縦性能向上対策に関する研究

- ① L/B が 5、B/d が 5 度程の 1 軸スーパーシャロードラフト船の重要な課題は、操縦性（針路安定性）の改善にあるとされ、1 軸コア船型の船尾フレームラインの改良、舵面積比増加、特殊舵の採用による改善効果を、模型船を用いて実験的に把握した。

操縦性能シミュレーション計算結果

	SR243A船型 オリジナル		" " "		" " "		" " "		船尾形状変更		IMO 基準	
	左旋回	右旋回	左旋回	右旋回	左旋回	右旋回	左旋回	右旋回	左旋回	右旋回		
									旋回運動			
AD/Lpp	2.65	2.68	2.62	2.66	1.98	2.02	2.54	2.58	2.81	2.85	≤4.5	
TD/Lpp	2.23	2.29	2.21	2.28	1.56	1.60	2.12	2.19	2.48	2.55	≤5.0	
初期旋回運動												
TR/Lpp	1.38	1.41	1.34	1.37	0.96	0.98	1.28	1.31	1.42	1.45	≤2.5	
10° / 10° Zig/Zag												
1st O.A.	18.5	15.9	15.8	13.7	6.9	6.5	14.5	12.7	13.4	11.9	≤20.0	
2nd O.A.	29.8	34.1	26.0	29.2	8.8	9.2	22.1	25.0	24.4	27.1	≤35.0	
20° / 20° Zig/Zag												
1st O.A.	24.3	22.4	22.3	20.9	15.0	14.6	20.8	19.5	20.6	19.4	≤25.0	

## 3. 3 実海域運航性能(波浪中運航性能)に関する研究

- ① 評価海象（平均海象及び荒天海象）を設定し、実海域での運動に伴う甲板冠水や船底露

出等の発生確率を検討し、実海域での運動特性を把握した。

- ② 短期予測法を適用して不規則中波抵抗増加を求め、荒天海象下での船速低下を計算した。
- ③ 以上の推定法を確認するため波浪中水槽試験を実施した。

### 3. 4 浅水域操縦性能に関する研究

- ① 浅水域での操縦性能を調査するため、水深を変えた模型試験を施行し、その特性を把握した。
- ② 浅水域での船体沈下を模型試験により計測し、運航上の留意点を検討した。

### 3. 5 総合評価と取りまとめ

- ① スーパーシャロードラフト船を設計するに当って、1軸船及び2軸船のそれぞれにつき設計指針の纏めを行った。

## 4. 得られた成果

### (1) スーパーシャロードラフト船（1軸及び2軸船）の船型計画と主要性能把握

#### a) 船型計画

設計に利用できる世界の主要港の膨大な港湾データを整理して、これから東アジア地域の港湾を対象に船型の主要目他、載貨重量を増大する船型の要件を設定する資料を得た。1軸船及び2軸船の基本計画で、一般配置／機関室配置の検討、軽荷重量／貨物容積の推定、トリム計算等、スーパーシャロードラフト船の船型を検討する基本的な資料を得た。

#### b) 推進性能

スーパーシャロードラフト船は、これまでの船型の範疇を大きく超えた大B/dと肥大度を併せ持つため、特に1軸船で流れの不安定現象、剥離などで異常な推進性能の劣化が懸念されたが、浅喫水肥大化しているにもかかわらず従来船型と大きく変わらない性能を有するコア船型が設計でき、1軸及び2軸船の性能データが得られた。1軸船ではコア船型をベースに船尾フレームラインの改良が図られた船型、さらに、1軸及び2軸船の肥大度、B/d等の変更船型の性能データなど、船型要素を変化させた時の推進性能の変化が把握できるデータが得られ、船型変更がシリーズ的に評価できる設計資料が得られた。また、浅水域での航行等厳しい船尾流場を想定して設計されたプロペラの単独性能、キャビテーション性能及び変動圧力の計測結果が得られ、スーパーシャロードラフト船に装備するプロペラを設計する上での有益なデータが得られた。

#### c) 操縦性能

1軸及び2軸のコア船型他、1軸船の船尾フレームライン改良船型、舵面積増加、特殊舵付き船型、さらに1軸及び2軸船でB/dなどを変更させた船型の操縦流体力微係数が実験的に求められ、実船操縦運動のシミュレーション結果から、船型変更がシリーズ的に評価できる設計資料が得られた。

#### d) 耐航性能

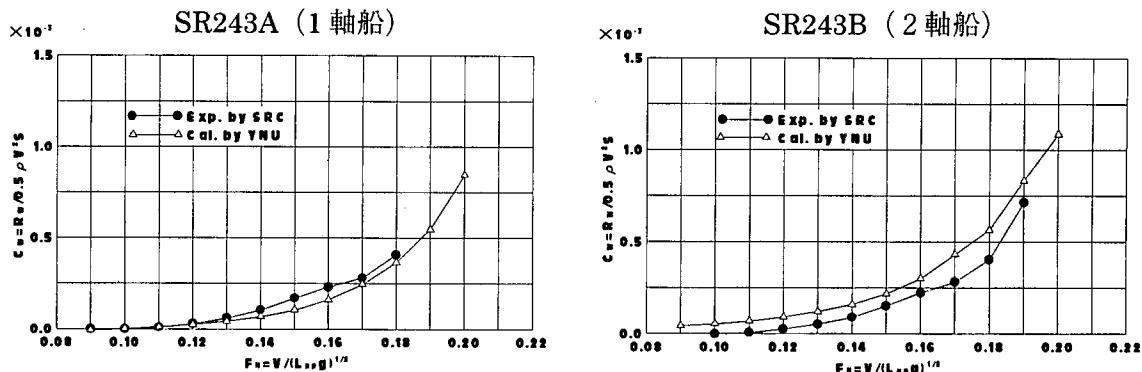
1軸及び2軸のコア船型他、B/dを変更した船型の向い波規則波中の運動性能及び抵抗増

加の計測結果が得られ、船型変更に有益な設計資料が得られた。

## (2) 理論による性能推定手法の評価

### a) ランキンソース法（造波抵抗）

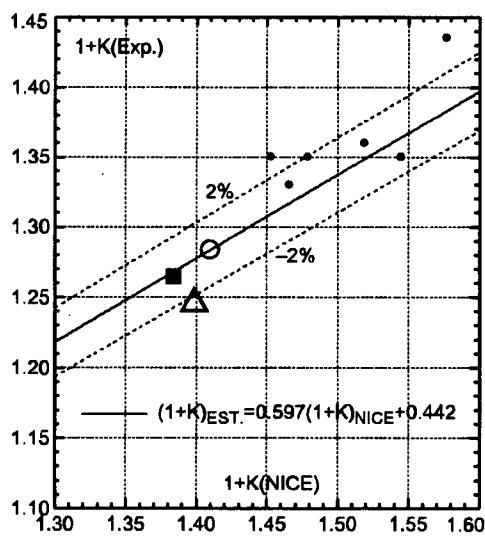
ランキンソース法（横浜国大法）により、スーパーシャロードラフト船（大  $B/d$  でかつ肥大船型）においてもかなりの精度で造波抵抗が推定できることが分かった。また、スケグ型 2 軸船については、パネル分割を工夫することで 2 軸肥大船への適用に初めて成功し、実用的な精度で推定が可能となった。



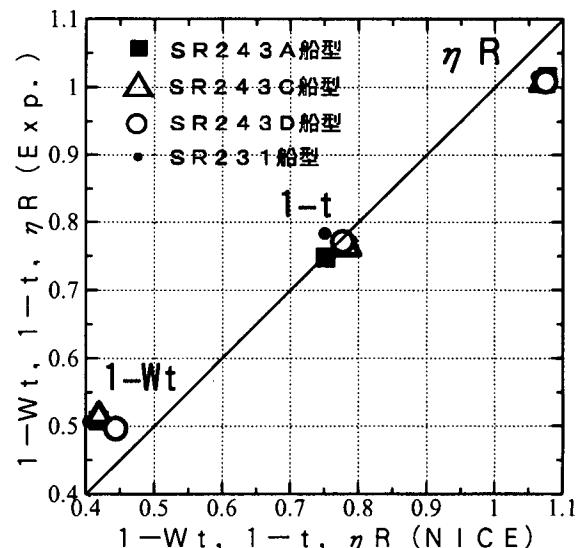
造波抵抗係数の実験値と推定値（ランキンソース法）の比較例

### b) CFD（推進性能）

従来船型から遙かに浅喫水肥大度の大きい 1 軸スーパーシャロードラフト船に対しても、CFD 計算は有用で、水槽試験結果と比較してかなり精度よく粘性抵抗、船尾流場、自航要素の推定計算が可能であることが分かった。スケグ付き 2 軸船の CFD 計算は、非構造格子法の適用を考えるなどの努力をした結果、2 軸肥大船への適用に初めて成功し、実用的なレベルでの流場の推定計算の可能性を示した。



NICE 法による Form Factor の計算と水槽試験結果の相関



NICE 法による自航要素の計算と水槽試験結果の相関

### c) 操縦流体力

斜航流体力の推定に、NICE コードを用いた CFD 計算を行った結果、PMM 試験結果との比較で、1 軸の  $B/d$  の違いによる影響が定性的には求められるが、定量的にはまだかなりの差があり、流場構造等更なる課題があることが分かった。

細長体理論により深水域及び浅水域における 1 軸船型 ( $B/d$  変更、フレームライン変更) の操縦流体力を計算し、実験値と比較した結果、船型変更に対応して深水域及び浅水域とも、実用的なレベルで推定が可能なことが分かった。特に浅水域においても、このような大  $B/d$  でかつ肥大度の大きい船型にも適用の可能性が示された。

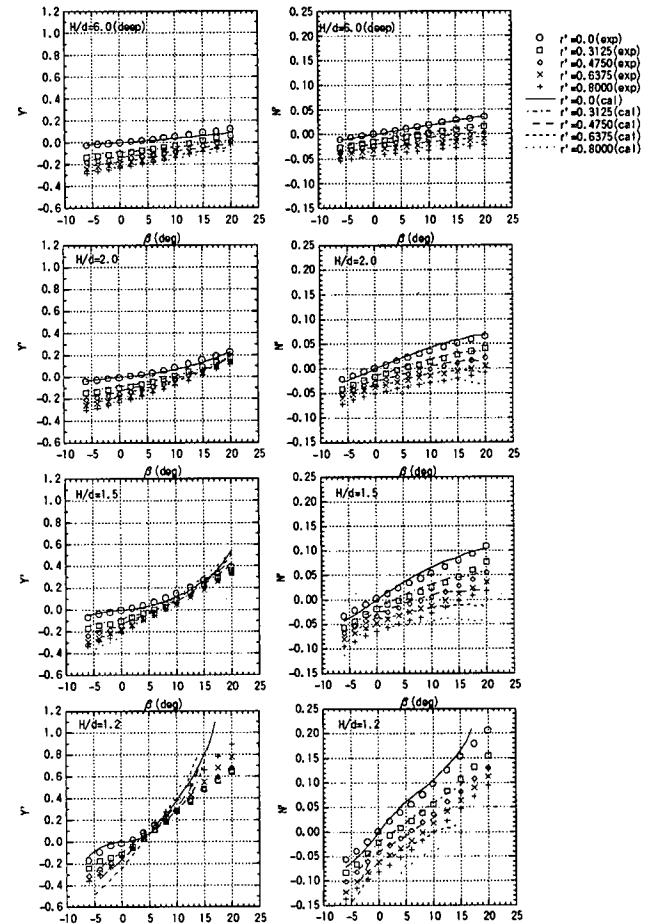
### d) 規則波中運動／波浪中抵抗増加

ストリップ法により、1 軸の 3 船型、2 軸の 2 船型の規則波中運動計算を行い、実験値と比較した結果、このような大  $B/d$  でかつ肥大度の大きい船型にもかかわらず、船型変更にも対応し、かなりの一致で運動性能が推定できることが分かった。

また、波浪中抵抗増加を丸尾の方法に藤井・高橋の方法を加味した方法で推定計算を行った結果では、船型によりバラツキが見られるが、依然として有用な推定手法であることが分かった。

## (3) 1 軸船型の操縦性能向上対策指針

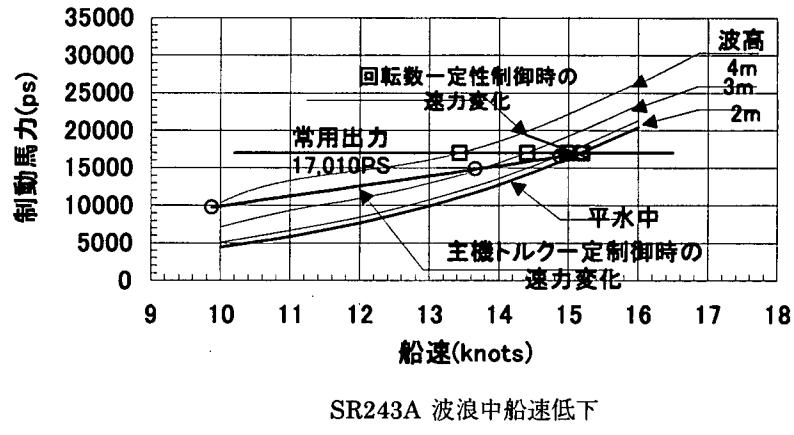
大  $B/d$  の 1 軸船型においても、適切な船尾形状、舵面積及びプロペラ直径を組み合せることにより、IMO の操縦性暫定基準をクリアーするレベルを達成し得る指針が得られた。また、フラップ付き舵やシリング舵等の特殊舵を装備することにより、通常舵よりも舵面積を減らし、推進性能の大幅な低下をきたさず操縦性能向上を図るのに有用な設計資料が得られた。



細長体理論による浅水域操縦流体力推定値と実験値の比較 (SR243A)

#### (4) 実海域運航性能

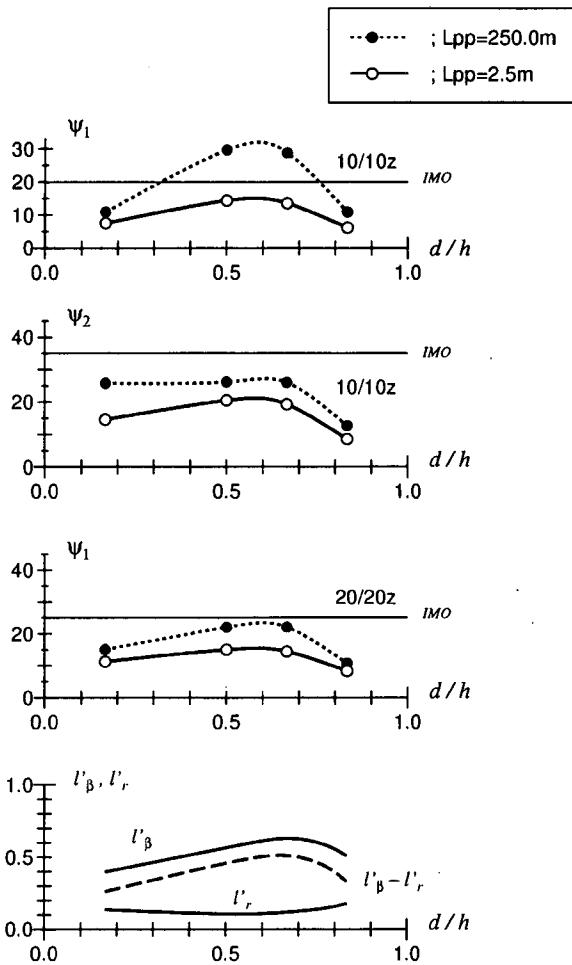
評価海象（平均海象及び荒天海象）を設定し、荒天海象下での運航性能計算により、船首甲板冠水、船底露出、プロペラ先端露出の発生確率が得られた。また、規則波中の抵抗増加を理論計算と模型実験値から船首肥大度、 $B/d$ 、フルード数を関数とした回帰式を求め、短期予測法を適用して不規則波中抵抗増加を求め、荒天海象下で主機トルク一定制御等での船速低下を計算した。これらから従来にない幅広浅喫水肥大船の実海域での特性と、さらに船型要素が変化した場合の影響を把握した。



#### (5) 浅水域操縦性能

1軸コア船型の満載状態で、水深と喫水の比を3種に変えた浅水域での操縦性能（旋回及び針路安定）の模型試験を施行し、深水域から浅水域になるにつれての性能の変化を把握した。旋回半径は浅水域になるにつれ大きくなるが、 $H/d$ が2付近で $10^\circ Z$ の1stオーバーシュートアングルが大きくなり、深水域でのIMOの暫定基準を多少超えるも、全般的にはあまり変化しない結果が得られ、浅水域での操縦性能の理解と運航上の指針が得られた。模型試験により得られた主船体に働く流体力微係数を用いたMMG数学モデルによる計算は、実験結果と十分な精度で一致することを確認した。

また、浅水域での船体沈下を模型試験により計測し、水深と船速に応じた沈下量の関係が求められ運航上の指針が得られた。



水深変化が針路安定性性能に及ぼす影響 (SR243A)

## (6) 総合評価と設計指針

従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つスーパーシャロードラフト船の開発に取り組み、船型性能の観点からは、運航上留意すべき点はあるも実船化出来ることが確認された。1 軸船及び 2 軸船に関して、上述のとおり船型計画から推進性能、プロペラ設計、操縦性能、耐航性能、さらに実海域での運航性能、浅水域における操縦性能等にわたって、いずれの船型を設計する場合にも有効に活用できる貴重な指針が得られた。1軸船と2軸船の評価は、特に建造効率など造船所で異なることも考えられ、一概に評価はできないが、2 軸船で約 20 % のコスト高と仮定したとき、運航経済性指数（載貨重量  $\times$  速力／主機馬力）は略同レベルにあることが分かった。実船化にあっては、個々の案件で具体的に検討できる資料が得られた成果は大きい。

## 5. 成果の活用

本研究部会では、我が国造船の新たな展開を目指し、東アジア地域の港湾で多量の貨物が運べる、従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つスーパーシャロードラフト船の船型開発の研究に取り組み新船型創出の基盤固めを行った。

本研究部会で開発に取り組んだ船型は、東アジア地域の港湾を対象とし、喫水を 11m 以下に設定し、9~10 万トンの載貨重量を有する船型であり、実船化する上での課題の解決が図られたが、得られた成果はこれにとどまらず、これに類似の従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つ船型の開発に有効に活用ができる。その研究成果の活用について以下に述べる。

- (1) 1 軸船及び 2 軸船の一般配置、貨物容積、トリム計算を始めとした基本計画の設計資料が、個々の計画船の初期検討に有効に活用できる。
- (2) 船型線図と推進性能、操縦性能、耐航性能に関する水槽試験結果が得られており、また、船型の改良、さらに船型要素を変化させたときの性能変化のデータが得られているので、計画船の性能の最適化に有効に活用できる。
- (3) 浅水域の航行を考慮したプロペラ設計の手法が把握できたので、類似船のプロペラ設計に有効に活用できる。
- (4) 現有の理論計算による推定手法の有効性が確認されたので、個々の計画船の性能推定の初期検討に有効に活用できる。
- (5) 1 軸船で懸念される操縦性能の向上の方策が得られたので、船尾フレームライン改良、舵面積増大、特殊舵の採用など、計画船の制約に応じて対応ができる。
- (6) 実海域での運航性能が把握でき、理論による荒天海象下での甲板冠水等の発生確率計算及び回帰分析による波浪中抵抗増加の計算手法が得られたので、計画船の馬力マージンなどの設定に有効に活用できる。
- (7) 浅水域での操縦性能の特性の把握ができ、理論による計算手法の有効性が確かめられたので、計画船の性能推定、また、船体沈下などの運航上の留意点が計画船に生かせる。

## 6. 結 言

高度成長を続けてきた東アジア地域は、数年前にタイの通貨危機に端を発した経済危機に見まわれ一時停滞したが、ここにきて新たな勢いで経済復興がなされつつあり、一般炭他の荷動き量が増大してきている。今後は、さらなる海上物流の飛躍的な伸びが期待されている。

本研究部会では、水深の浅い東アジア地域の港湾の貨物輸送量の増大に備え、従来の船型から大幅に浅喫水肥大化させることで、従来船型の倍近い載貨重量を有する新船型の開発を目指し、実用化に当っての諸課題解決の研究及びその研究過程から得られる設計指針の確立を目指した研究に取り組んだ。

開発に取り組んだスーパーシャロードラフト船は、従来にない大  $B/d$  と肥大度を併せ持つ船型で、発足にあたって設定した研究目標を達成するのに多くの困難に見舞われたが、委員各位の多大な貢献によって、これらを克服し貴重な成果を上げることが出来た。これらの研究成果が設計の現場で、必ずや有効に利用され、我が国造船・海運業界の国際競争力の向上に寄与するものと期待している。

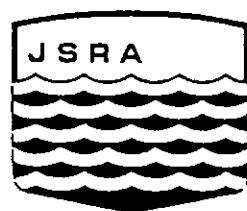
最後に、本研究の実施にあたりましては、日本財団より多大なご支援いただいたことに対し深くお礼を申し上げるとともに、終始積極的に研究に取り組んでいただいた委員各位に感謝する次第である。

---

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・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