

大型低速超肥大船の実海域運航性能推定法の確立  
成果概要報告書

2011年3月

財団法人 日本船舶技術研究協会

## 目次

1. 概要	3
2. 大型低速超肥大船の波浪中水槽試験の技術要件の抽出	4
2. 1 概要	4
2. 2 VLCC持回り試験の概要	5
2. 3 水槽間の速力低下量算定結果の幅について	7
2. 4 まとめ	16
3. 大型低速超肥大船に対するオプション試験法案の検討	17
3. 1 目的・概要	17
3. 2 水槽試験結果を用いた周波数応答関数の推定法	18
3. 3 向波中周波数応答試験（オプション試験）実施の技術的検討	20
3. 4 向波中周波数応答試験（オプション試験）の適用	27
3. 5 まとめ	30
4. 結論	31

## 1. 概要

大型低速超肥大船の実海域運航性能について、高い精度を有する推定法を確立するため、肥大度の大きいV L C C模型により、造船3社と独立行政法人海上技術安全研究所の曳航水槽において波浪中抵抗増加試験を行い、その試験データを用いて実海域性能を推定し、水槽間で結果の比較を行い、波浪中水槽試験の技術要件の抽出を行った。

また、ハイブリッド評価法の算定式等に代えて採用することができるその他の水槽試験のうち、実施される可能性が高いと考えられる向波中周波数応答試験（オプション試験）の方法について技術的検討を行った。

## 2. 大型低速超肥大船の波浪中水槽試験の技術要件の抽出

### 2. 1 概要

平成 21 年度実海域性能評価技術（海の 10 モード）研究会にて、バルクキャリア模型により各社で実施した水槽試験結果を用いて、水槽間の速力低下量算定結果の幅の評価、速度影響係数の近似方法の検討を行い、ビューフォート 6 での速力低下量の算定結果の違いが概ね $\pm 0.1\text{knot}$ の幅におさまることを確認し、速度影響係数の近似方法について SPICA の方法が実用上問題ないことを確認した。

一方、水槽間の試験結果の幅については、大型低速超肥大船（VLCC）模型による持回り試験の実施が提案され、これをうけ、平成 22 年度に VLCC 船型を設計し、模型による持回り試験を実施し、水槽間の試験結果における、速力低下量算定結果の幅の評価、速度影響係数の近似方法の検討を行った。

なお、水槽試験の技術要件（波品質、計測装置、解析方法等）は「コンテナ船の実海域性能指標 ー海の 10 モードー 鑑定ガイドライン」を採用し、大型低速超肥大船に対して本要件を適用した場合の性能指標推定精度を検証する事とした。



図 2.1 VLCC イメージ

## 2. 2 VLCC 持回り試験の概要

### 2. 2. 1 試験内容

#### (1) 模型船

VLCC 大型模型（模型船の垂線間長 6.821m）

材質：パラウッド

模型船外観を図 2.2 に示す。



図 2.2 持回り模型船外観

#### (2) 水槽試験項目

下記水槽試験を実施した。

①平水中抵抗試験

②平水中自航試験

③プロペラ単独試験

④海の 10 モード試験（向波短波長における 3 速度以上での波浪中抵抗試験）

海技研では、波浪中抵抗試験（向波での周波数応答試験：1 速度、波長船長比 8 点）も実施。

#### (3) 試験法案

##### 1) 共通事項

- ・喫水状態：計画満載状態
- ・曳航点：浮心位置、シャフト高さ

##### 2) 平水中抵抗試験

- ・速度：10 速度程度以上

3) 平水中自航試験

- ・速度：4 速度程度以上

4) プロペラ単独試験

- ・レイノルズ数：プロペラ直径ベースの場合  $6 \times 10^5$  程度以上
- ・計測点数：6 点程度以上

5) 波浪中試験

- ・波長船長比： $\lambda/L = 0.4$
- ・波高：実船 3m 相当の規則波
- ・波向：向波
- ・速度：3 速度
- ・計測回数：各 2 点（合計 6 点）

## 2. 3 水槽間の速力低下量算定結果の幅について

### 2. 3. 1 波浪中抵抗増加試験結果

4 機関で行われた規則波中抵抗増加の水槽試験結果を速度別に図 2.3 に示し、周波数応答との関係を図 2.4 に示す。なお、NMRI-1、NMRI-2 は海技研で行った平水中計測装置による結果、波浪中計測装置による結果を表す。

ここで、 $K_{AW}$ ：規則波中抵抗増加の無次元値 ((2.1)式)、 $F_n$ ：フルード数、 $\lambda$ ：波長、 $L_{pp}$ ：垂線間長であり、 $R_{AW}$ ：規則波中抵抗増加、 $\rho$ ：流体密度、 $g$ ：重力加速度、 $\zeta_a$ ：入射波振幅、 $B$ ：船幅である。

$$K_{AW} = \frac{R_{AW}}{4\rho g \zeta_a^2 B^2 / L_{pp}} \quad (2.1)$$

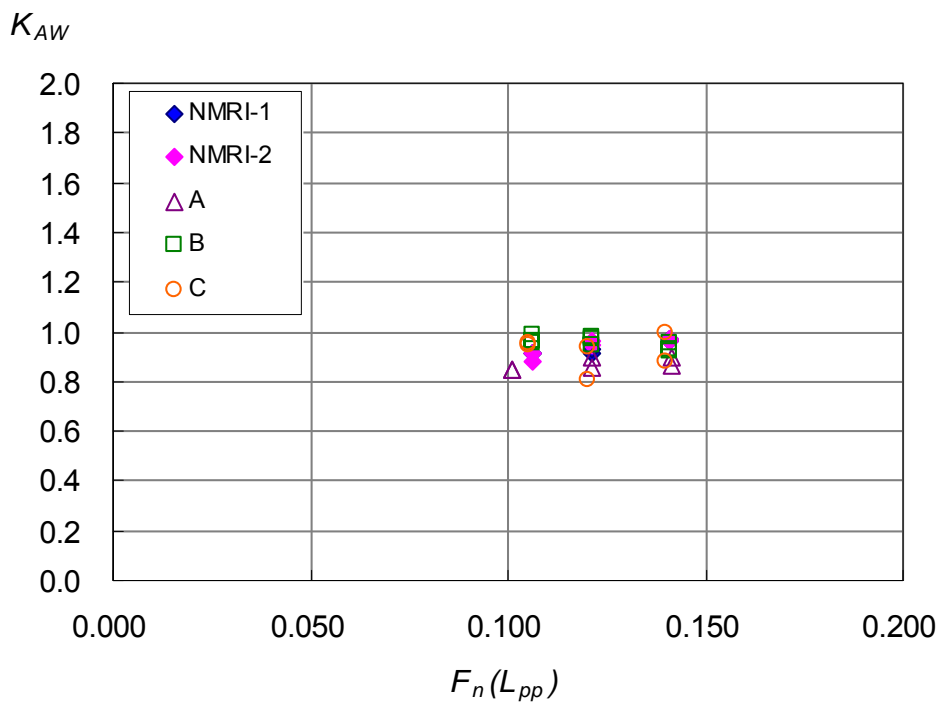


図 2.3 規則波中抵抗増加 (向波、 $\lambda / L_{pp} = 0.4$ )

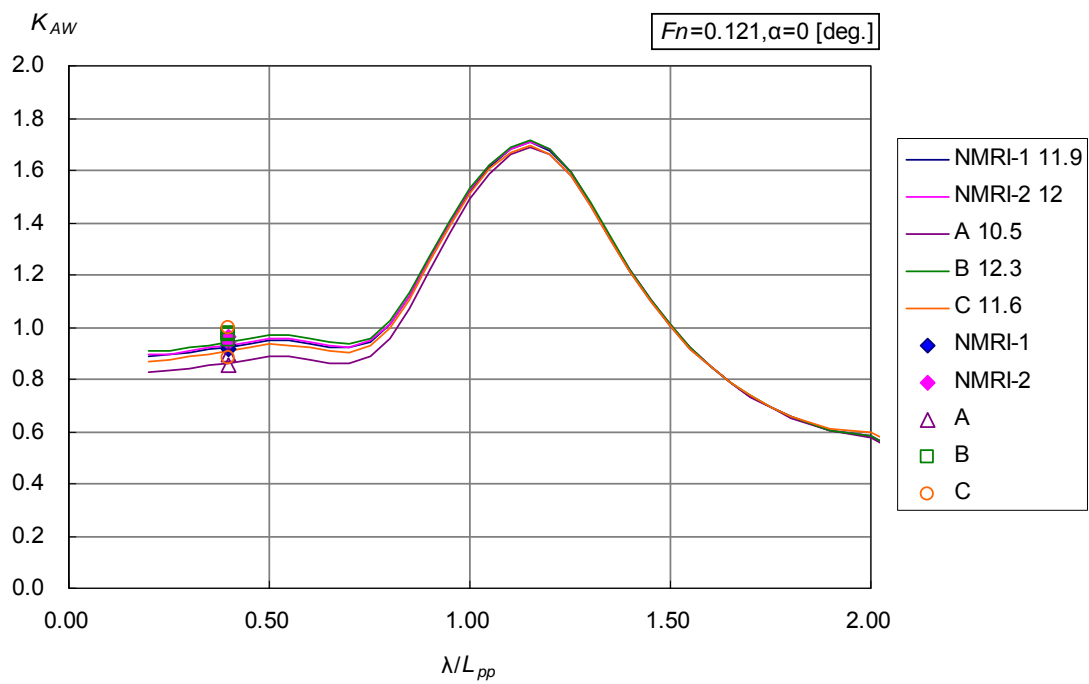
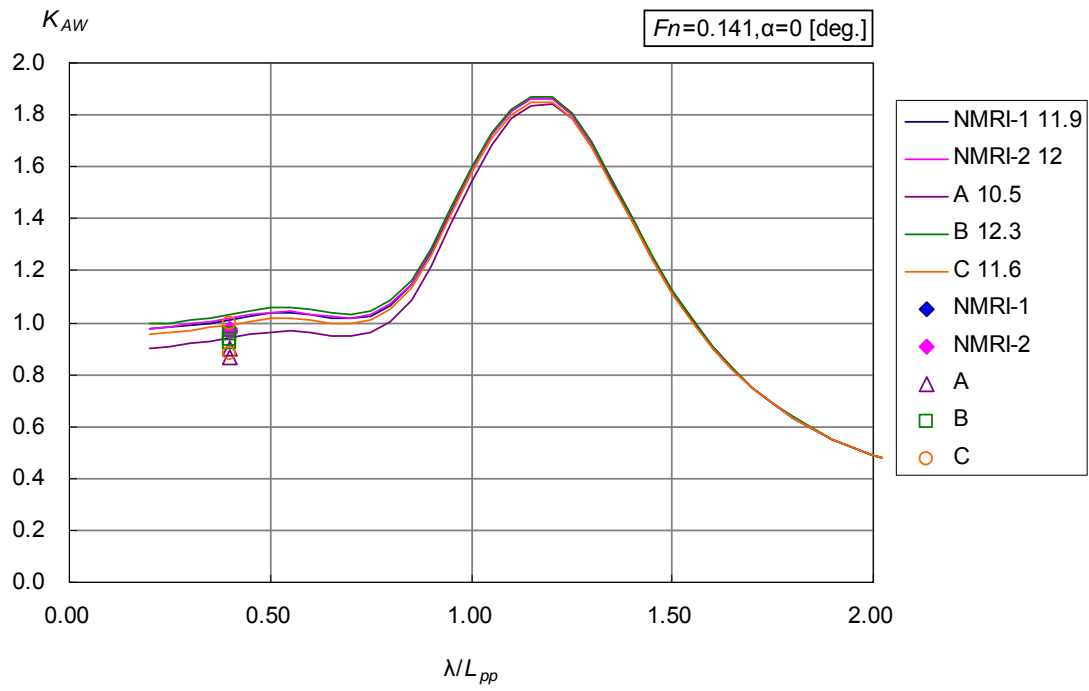


図 2.4 規則波中抵抗増加周波数応答関数 (向波)



### 2. 3. 2 反射波抵抗増加の速度影響係数

規則波中抵抗増加から抽出される反射波抵抗増加の速度影響 ( $\alpha_U$ ) を図 2.5 に示す。

図 2.5 に図示する直線は速度影響  $\alpha_U$  を  $F_n$  の関数として表した場合の線形近似式である。  $C_U$  は速度影響係数であり近似式の傾きを表す。ただし、  $F_n=0$  のとき、  $\alpha_U=0$  の点を通る。

この結果より各水槽で求められた速度影響係数  $C_U$  は 10.5~12.3 であることが分かる。

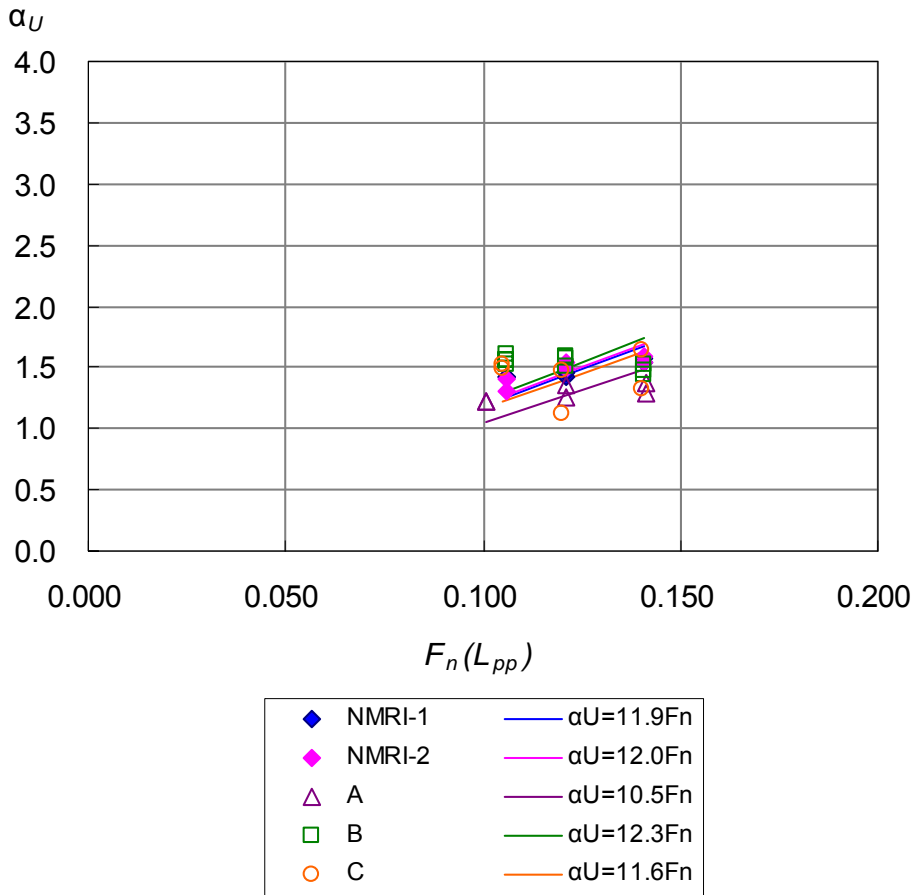


図 2.5 反射波抵抗増加の速度影響

### 2. 3. 3 速力低下の評価

規則波中抵抗増加が速力低下に及ぼす影響調査を行った。ここで、対応馬力は  $75\%MCR$  とした。

(1) 規則波中抵抗増加応答と試験値との幅を  $\pm 10\%$  とした時の速力低下に及ぼす影響

規則波中抵抗増加応答と試験値との幅を  $\pm 10\%$  とした時の周波数応答関数を図 2.6 に示し、規則波中抵抗増加に  $\pm 10\%$  の幅を与えたときの速力低下を図 2.7、表 2.1 に示す。

ここで、  $V$  : 船速、  $H$  : 有義波高である。

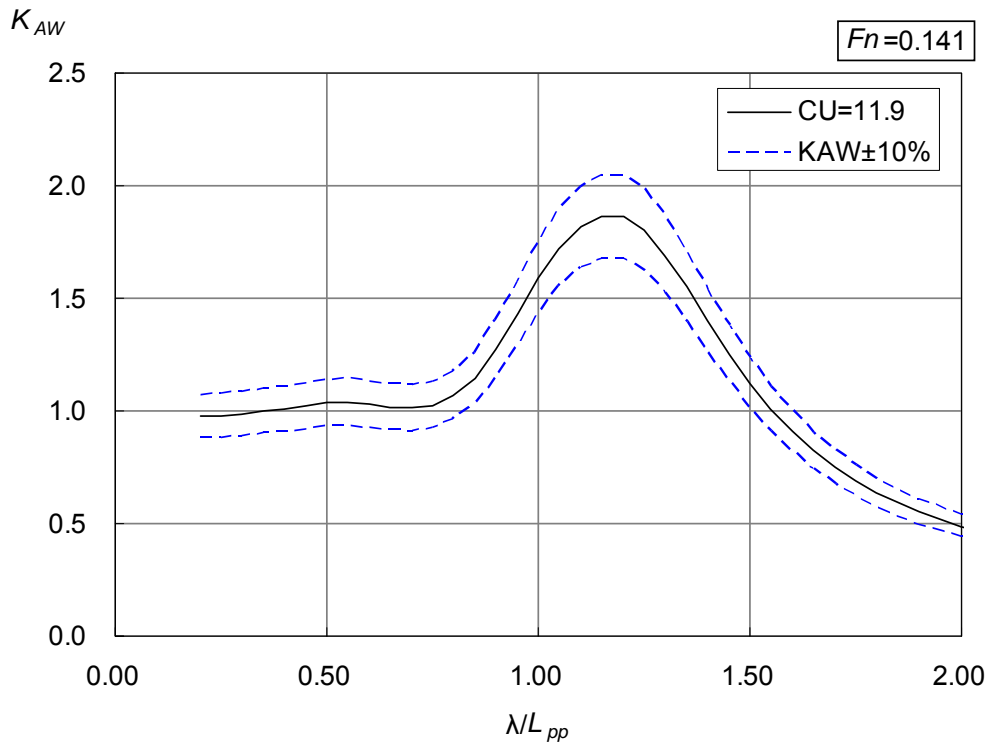


図 2.6 規則波中抵抗増加の幅

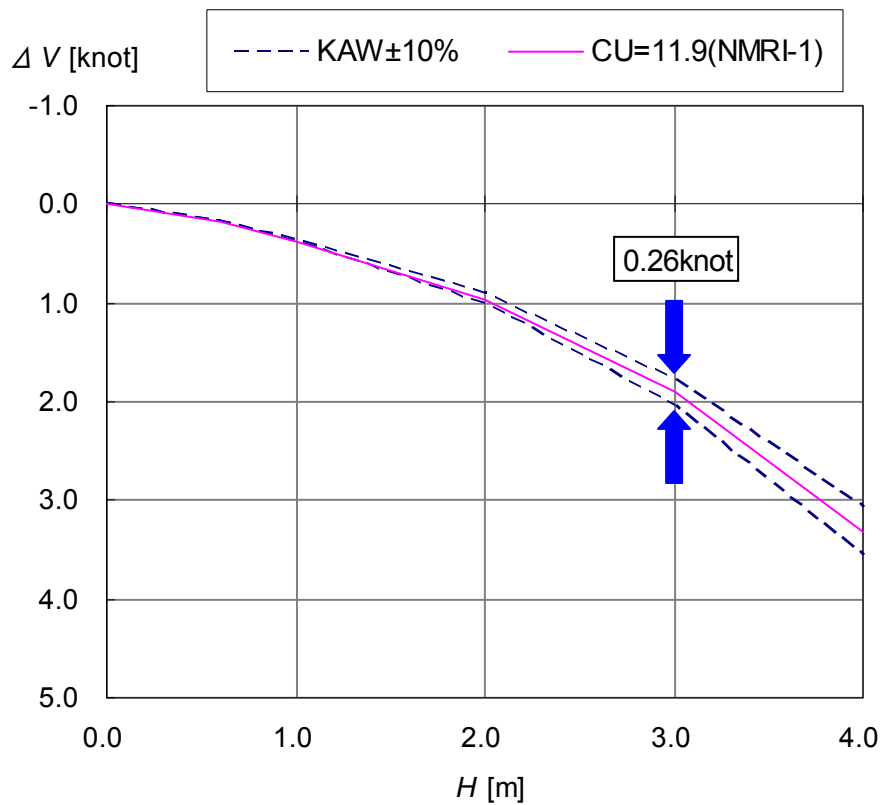


図 2.7 規則波中抵抗増加に±10%の幅を与えたときの速力低下

表 2.1 規則波中抵抗増加と船速低下

	$C_U$	$\Delta V$ [knot]	$\Delta V_{diff}$ [knot]
Base	11.9	1.91	
110% $K_{AW}$		2.04	0.13
90% $K_{AW}$		1.78	-0.13

$\Delta V_{diff}$  : 速力低下量の基準値 (Base) からの差

これから、速力低下は、BF6 (向風・向波) で $\pm 0.13$  [knot] (最大最小で 0.26 [knot]) の幅を有することが分かる。

(2) 持回り試験の結果、得られた速力低下の幅

持回り試験結果から算定される実海域での速力低下を図 2.8、表 2.2 に示す。

ここで、 $\Delta V$  : 船速低下である。

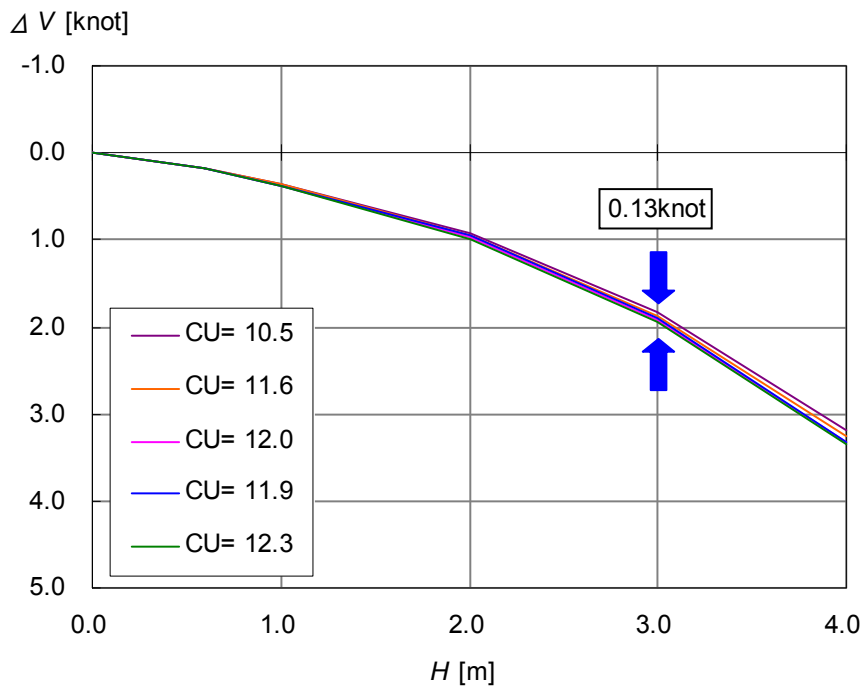


図 2.8 持回り試験結果から算定される速力低下

表 2.2 反射波抵抗増加の速度影響係数と船速低下

	$C_U$	$\Delta V$ [knot]	$\Delta V_{diff}$ [knot]
Average	11.6	1.89	-
NMRI-1	11.9	1.91	0.02
NMRI-2	12.0	1.91	0.02
A	10.5	1.83	-0.06
B	12.3	1.95	0.07
C	11.6	1.87	-0.02

$\Delta V_{diff}$  : 速力低下量の平均値 (Average) からの差

これから、速力低下は、BF6 (向風・向波) で $\pm 0.07$  [knot] (最大最小で 0.13 [knot]) の幅を有することが分かる。以上から、図 2.9 に示すとおり、規則波中抵抗増加 $\pm 10\%$ の差 ( $\pm 0.13$  [knot] (最大最小で 0.26 [knot])) に比べて、持回り試験結果のばらつき ( $\pm 0.07$  [knot] (最大最小で 0.13 [knot])) は小さいことが分かる。

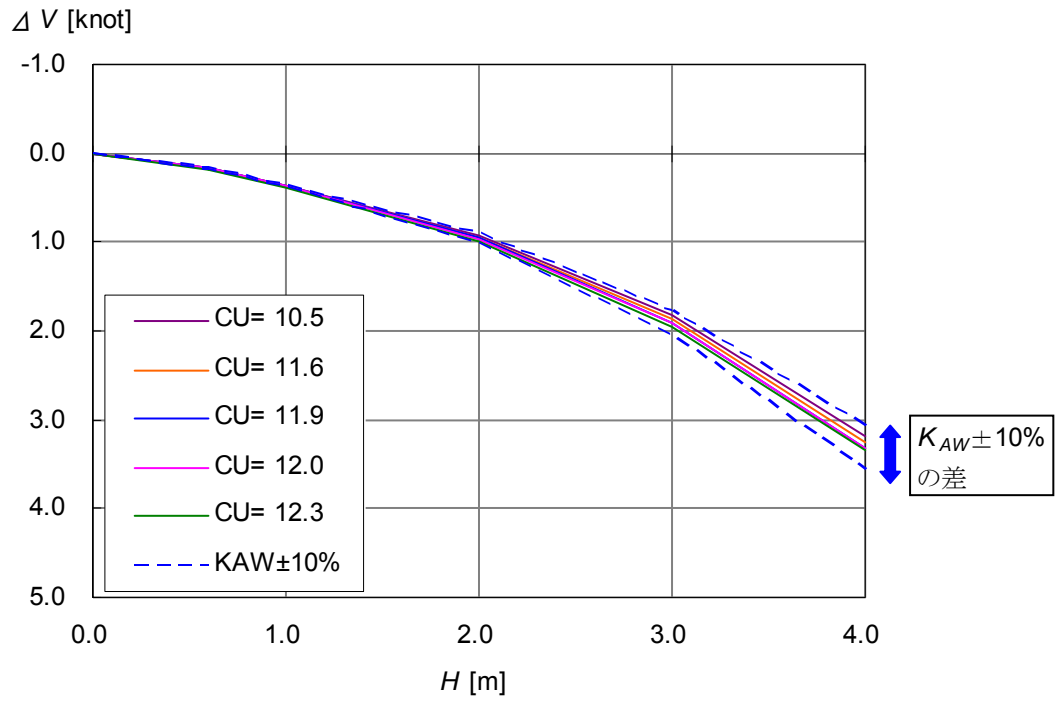


図 2.9 速力低下の幅の評価

2. 3. 4 反射波抵抗増加の速度影響近似についての検討

図 2.5 に示した速度影響について、速度影響係数を用いて表す場合と、試験値を直接用いた時の差異について検討した。

以下の2通りで速力低下を算出し、差異を調査した。

- (1) 各水槽の試験結果から求めた速度影響  $\alpha_U$  を用いる場合。

ただし、フルード数  $F_n$  で 0 点を通るように近似 ( $\alpha_U = C_U F_n$ )。

- (2) 各水槽の試験結果 (フルード数別に平均 ( $\alpha_{Uexp}$ )) を直接用いる場合。

**正面規則波中抵抗増加算出結果**

(1)  $\alpha_U = C_U F_n$  とした場合と、(2) 試験結果を直接用いた場合の正面規則波中抵抗増加係数の結果を図 2.10 から図 2.13 に示す。

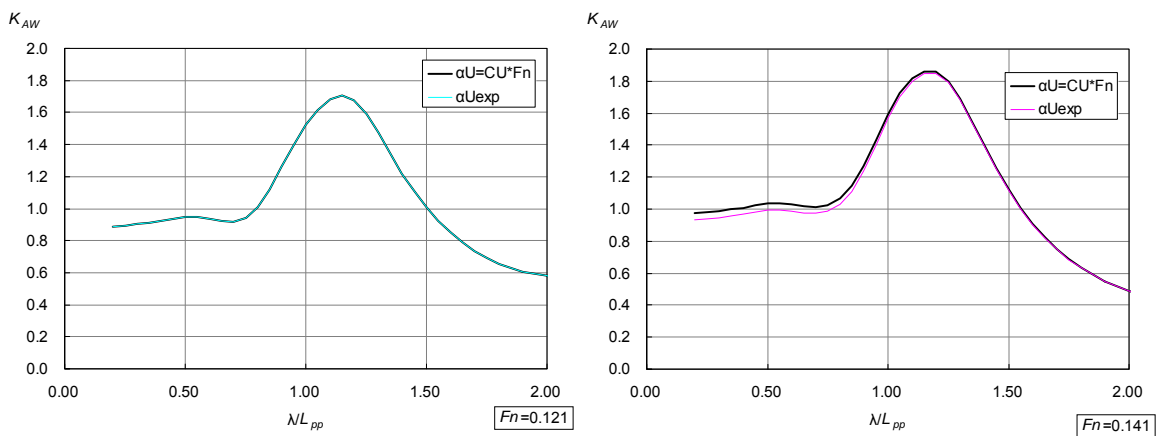


図 2.10 正面規則波中抵抗増加算出結果(NMRI-1)

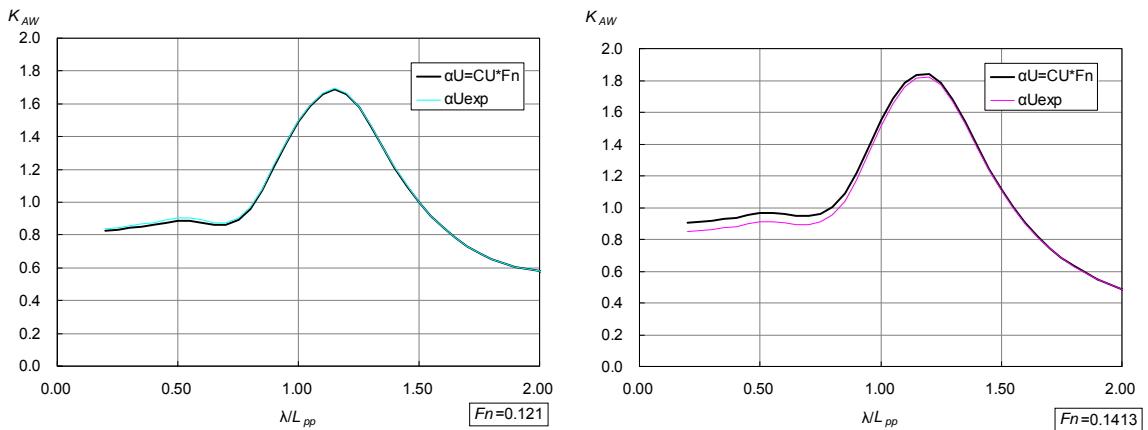


図 2.11 正面規則波中抵抗増加算出結果(A)

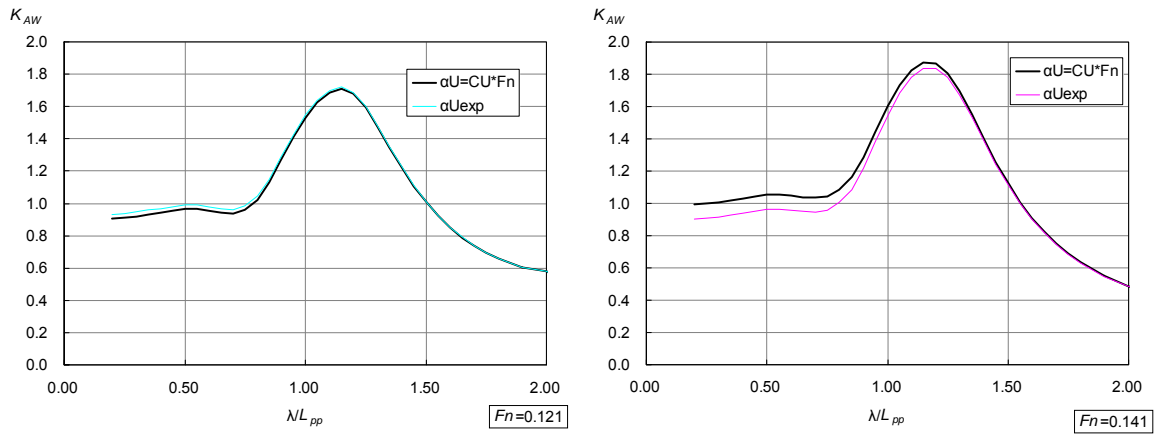


図 2.12 正面規則波中抵抗増加算出結果(B)

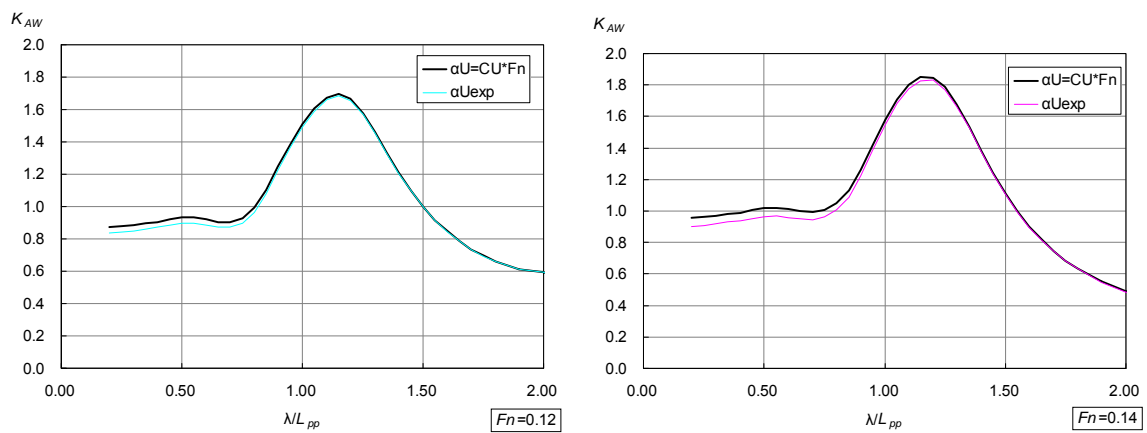


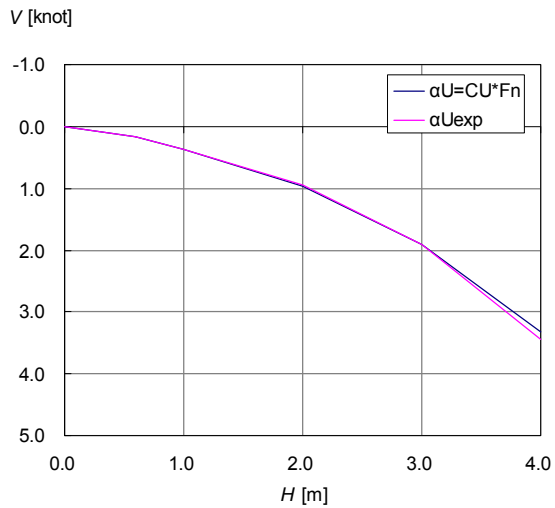
図 2.13 正面規則波中抵抗増加算出結果(C)

### 向風向波中速力算出結果

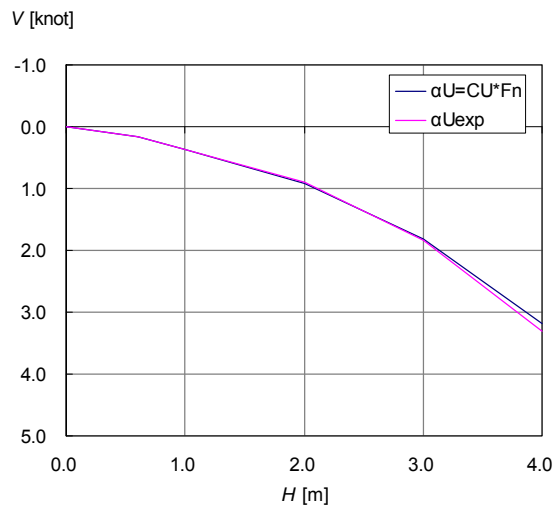
(1)  $\alpha_U = C_U F_n$  とした場合と、(2) 試験結果を直接用いた場合の向風向波中速力( $V$ )の算出結果を図 2.14・表 2.3 に示す。

表 2.3 に、(1)  $\alpha_U = C_U F_n$  とした場合と、(2) 試験結果を直接用いた場合の、速力の差異( $\Delta V_{diff}$ )を示す。ここで、馬力については  $75\%MCR$  とした。

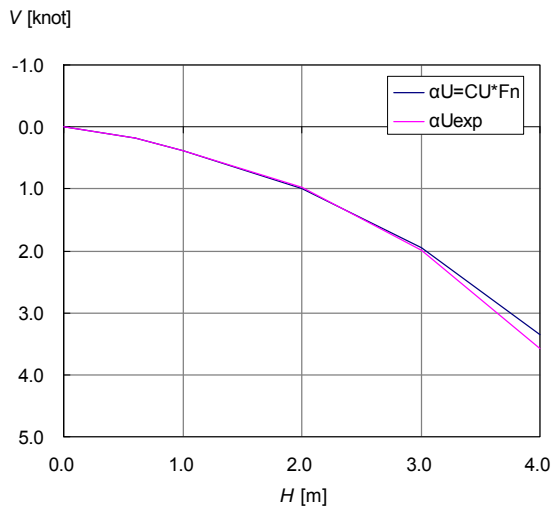
それぞれの場合で、実海域中の速力を算出した結果、BF6 (向波・向風) での差異は最大で  $0.05[\text{knot}]$  であった。



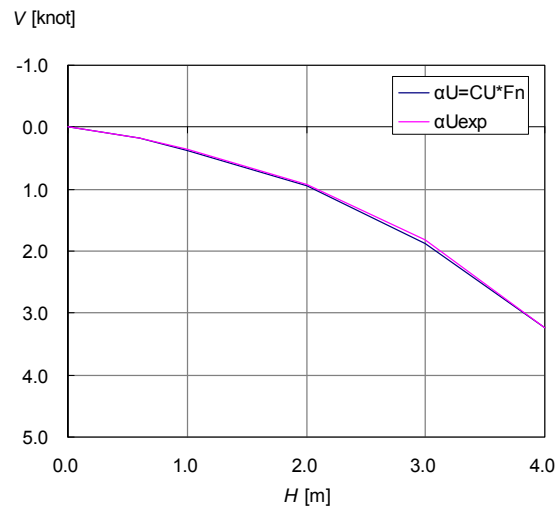
(NMRI-1)



(A)



(B)



(C)

図 2.14 実海域中速力算出結果

表 2.3 算出結果速力比較 (単位 : knot)

	NMRI-1	A	B	C
	$\Delta V_{diff}$	$\Delta V_{diff}$	$\Delta V_{diff}$	$\Delta V_{diff}$
BF0	0.00	0.00	0.00	0.00
BF3	0.00	0.00	0.00	0.00
BF4	0.00	0.00	0.01	0.00
BF5	0.01	0.01	0.02	0.02
BF6	0.00	-0.01	-0.03	0.05
BF7	-0.13	-0.13	-0.23	-0.02

$\Delta V_{diff}$  :  $\alpha_U = C_U F_n$  とした場合と試験結果を直接用いた場合の速力の差

## 2. 4 まとめ

海の 10 モードの計算法の肥大船への適用を検討するため、大型曳航水槽を有する 4 水槽機関において VLCC 模型を用いた水槽試験を行った。波浪中試験は短波長域で複数の速度で行った。

各水槽で得られた結果を用いて BF6（向波・向風）での船速低下量を比較したところ、各水槽の違いは $\pm 0.07$ [knot]以内であった。これは、昨年度検討したパナマックスバルクキャリアでの結果と比べてほぼ同等であり、持回り試験のロバスト性が示された。また、規則波中抵抗増加応答と試験値との幅を $\pm 10\%$ とした時の速力低下に及ぼす影響もパナマックスバルクキャリアでの検討結果と同等であった。

速度影響について、速度影響係数を用いて表す場合と、実験値を直接用いた時の差異について調査した。それぞれの場合で、実海域中の速力を算出した結果、BF6（向波・向風）での差異は最大で 0.05[knot]であることを示した。

以上の結果から、「コンテナ船の実海域性能指標 ー海の 10 モードー 鑑定ガイドライン」にて規定された技術要件を採用する事により、大型低速超肥大船についても実海域性能指標を実用的な精度で推定し得る事が判った。今後、本ガイドラインの技術要件（波品質、計測装置、解析方法等）は、肥大船に対する必要最低限の試験要件として採用可能である。



### 3. 大型低速超肥大船に対するオプション試験法案の検討

#### 3. 1 目的・概要

海の10モード指標認証ガイドラインに記載の向波中周波数応答試験において、水槽試験と計算による周波数応答関数の推定精度の確保のための技術的検討を行う必要がある。そこで、向波規則波中での周波数応答試験を対象に、水槽試験点数と周波数応答の表現の関係、スペクトラムとの関係から、周波数応答関数の表現が速力低下に及ぼす影響についての技術的検討を行った。

以下にこれらの検討内容について報告する。

### 3. 2 水槽試験結果を用いた周波数応答関数の推定法

#### 3. 2. 1 概要

規則波中水槽試験によって得られた規則波中抵抗増加のデータに対してスプライン補間を行うことによって、規則波中抵抗増加の周波数応答関数を推定する方法について検討を行った。スプライン補間を用いる場合、水槽試験の範囲外の取り扱いと補間の端点条件が問題となる。この点について以下検討を行った。

#### 3. 2. 2 規則波中抵抗増加の周波数応答関数の推定

##### (1) スプライン補間

スプライン補間において、3次自然スプライン曲線を使用する。この曲線は3次関数を多項式として用いたものである。また、3次自然スプライン曲線の0次から2次までの導関数は、全ての点において連続である。

##### (2) 水槽試験の範囲内

水槽試験の範囲内はスプライン補間を用いて内挿する。

##### (3) 水槽試験の範囲外

水槽試験を行っていない範囲はスプライン補間を用いて推定した場合、波浪中抵抗増加を過小または過大に推定する可能性がある。特に過小評価は避ける必要があるため、福田らの方法に従い、試験範囲外を一定値として取り扱う<sup>1)</sup>。すなわち、実験データの存在しない短波長側は、試験点の最小の波長船長比における波浪中抵抗増加値で一定とし、規則波中抵抗増加を算定する。長波長側も同様に、試験点の最大の波長船長比における波浪中抵抗増加値で一定とし、規則波中抵抗増加を算定する。これによって、算定値が過小としないようにしている。

試験値の外側をスプライン補間により外挿した場合と一定値とした場合とを図3.1に示す。

これから、試験値の外側を一定値とした方が、周波数応答関数を適切に表現することが分かる。

##### (4) スプライン補間の端点条件

スプライン補間における端点の扱いは、補間曲線の形状に影響する。

このため、2つの方法で補間曲線の検討を行った。

①端点の直前の2点を使って3次多項式でつなぐ場合

②端点での1次の導関数をゼロとする場合

①と②の場合の補間曲線を図3.2に示す。①の場合、節点（水槽試験値）の取り方によっては補間曲線がうねる場合があること、②の場合は、水槽試験の範囲外は一定値で取り扱うため、これと整合がとれ、滑らかに補間表現していることが分かる。

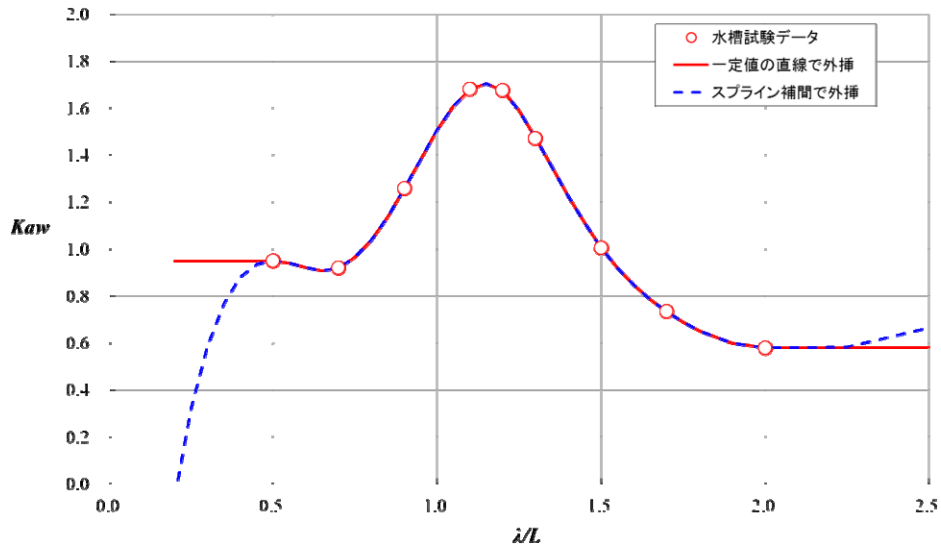


図 3.1 スプライン補間を用いた周波数応答関数の推定（外挿方法の比較）

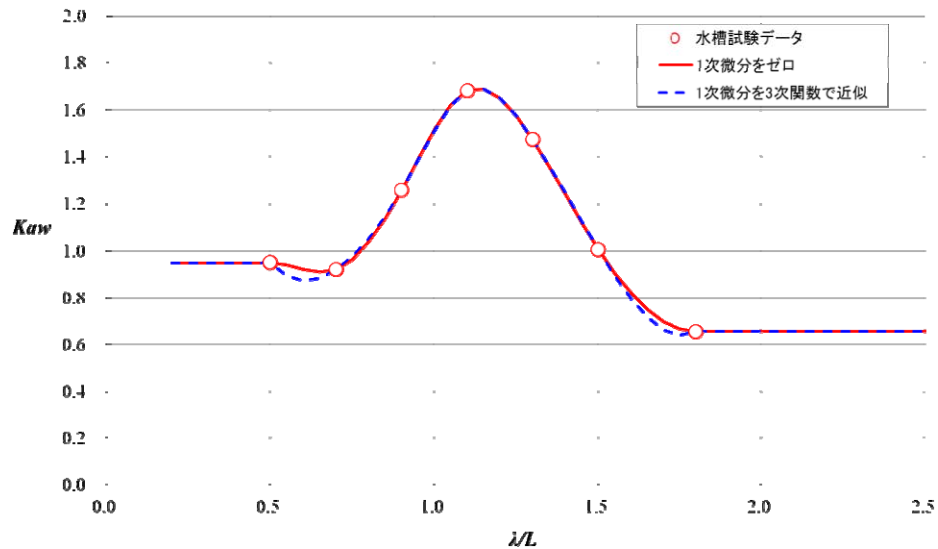


図 3.2 スプライン補間を用いた周波数応答関数の推定（端点処理の比較）

### 3. 2. 3 まとめ

以上の検討により、水槽試験結果を用いた周波数応答関数の推定法として、水槽試験の範囲外の取り扱いと補間の端点条件は以下とする。

- ・水槽試験データの存在しない外挿範囲は直線で近似を行う
- ・補間の端点条件は1次微分をゼロとする

### 参考文献

- 1) 福田 淳一，新開 明二：不規則波中での船体応答スペクトル計算における二、三の問題，西部造船会々報，第50号，1975，pp.111-122.

### 3. 3 向波中周波数応答試験（オプション試験）実施の技術的検討

#### 3. 3. 1 概要

向波中周波数応答試験（オプション試験）実施にあたり、試験波長数、波長船長比の選定等について技術的検討を行い、規則波中抵抗増加の向波中周波数応答試験の技術的留意点を取りまとめることを目的とする。

#### 3. 3. 2 検討内容

##### (1) 検討データ

検討に用いる規則波中抵抗増加の周波数応答関数は、持回り水槽試験用 VLCC のものとする。この周波数応答関数から、水槽試験を行い得られるデータを想定して任意のデータ点を抽出し、検討のサンプルデータとする。

試験波長数、波長船長比の選定の検討は、周波数応答関数に波の周波数スペクトラムをかけて行う。このとき、設定海象と船長により、周波数応答関数とスペクトラムの関係は相対的に変化する。水線間長 324m の VLCC における BF7 のスペクトラムとの関係を図 3.3 に示す。これから、船長が 300m を超える場合、波長船長比 1.3 程度でスペクトラムの成分がゼロとなることが分かる。

一方、本検討では周波数応答関数のピーク付近での試験波長数の選択についても検討を行うため、この周波数応答関数とスペクトラムの相対的關係を変え、以下では船長を 200m、海象を BF7 として検討を行う。このときの周波数応答関数とスペクトラムの関係を図 3.4 に示す。

ここで、BF7 は有義波高 4m、平均波周期 7.7s である。

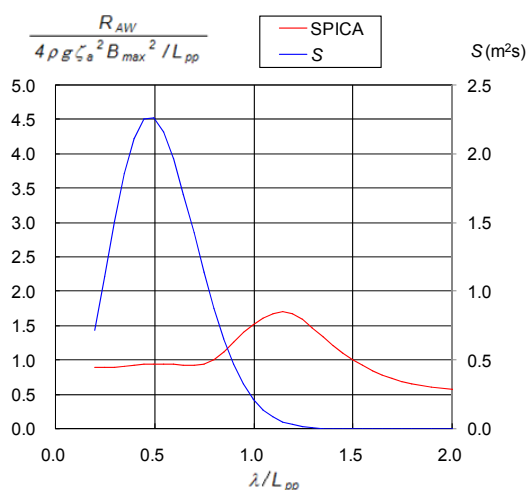


図 3.3 周波数応答関数と周波数スペクトラム  
(船長 324m、BF7)

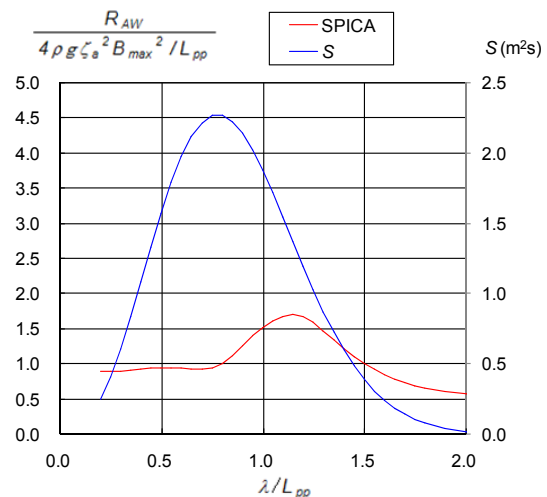


図 3.4 周波数応答関数と周波数スペクトラム  
(船長 200m、BF7)

##### (2) 試験波長数、波長船長比の選定

周波数応答試験の試験波長数、波長船長比の選定について、以下の 5 つの検討を行う。

- (a) 短波長の試験波長数の影響
- (b) 長波長の試験波長数の影響
- (c) 試験波長数とデータ間隔の影響
- (d) 周波数応答関数のピーク値付近の試験波長数の影響
- (e) 中波長域での試験波長数の影響

試験波長数、波長船長比の選定の影響の評価は、周波数スペクトラムを考慮して(3.1)式に示す  $\Delta D$  の値により行う。

$$C_{AWL} = \int_0^{\infty} K_{AW}(\omega) S(\omega) d\omega \quad (3.1)$$

$$\Delta D = \left( 1 - \frac{C_{AWL}}{C_{AWL}^B} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

ここで、 $K_{AW} = \frac{R_{AW}}{4\rho g \zeta_a^2 B^2 / L}$  : 規則波中抵抗増加 ( $R_{AW}$ ) の無次元係数

$C_{AWL}$  : 周波数スペクトラムを考慮した抵抗増加の係数

$C_{AWL}^B$  : 評価のベースとなる  $C_{AWL}$  値

$S$  : 波の周波数スペクトラム (IACS)

$\rho$  : 流体密度、 $g$  : 重力加速度、 $B$  : 船幅、 $L$  : 船長である。

#### (a) 短波長の試験波長数の影響

短波長域での試験は、実海域性能評価指標 (海の 10 モード指標) 認証ガイドラインで規定されているため、これに従って実施する。

短波長では反射波抵抗増加が卓越し、抵抗増加量はほぼ一定であることから、以下の検討では短波長域での試験波長 (サンプルデータ) は  $\lambda/L=0.4$  を用いる。

#### (b) 長波長域の試験波長数の影響

最初に、以下で行う試験波長数、波長船長比の選定の影響の評価の基準には、 $\lambda/L=0.4$  から 1.8 まで 0.2 刻みでデータ点を 8 点抽出した場合 (Case1) を用い、これを評価のベースとする。

長波長域の影響を調べるため、Case1 から長波長域のデータ点を 1 点削除し計 7 点としたものを Case1-1、2 点削除した 6 点を Case1-2、3 点削除した計 5 点を Case1-3 とする。これらのデータにスプライン補間を用いて周波数応答関数を求め、その結果を表 3.1 に示す。また、周波数応答関数の表現を図 3.5 から図 3.8 に示す。

この結果より、ピーク値を十分捉えていない Case1-3 で  $\Delta D$  値に約 5% の差が出ることが分かる。ただし、これはスペクトラムとの相対関係で影響は異なることに留意する。

以上より、長波長域の試験波長は、スペクトラムが周波数応答関数のピークより長波長側にも影響する場合は、1 種類以上試験波長を設定する必要がある。

表 3.1 長波長域のデータ点の影響

	$\Delta D$ %	検討条件
Case1	—	$\lambda/L=0.4$ から 0.2 刻みで 8 点
Case1-1	0.2	$\lambda/L=0.4$ から 0.2 刻みで 7 点
Case1-2	1.4	$\lambda/L=0.4$ から 0.2 刻みで 6 点
Case1-3	5.7	$\lambda/L=0.4$ から 0.2 刻みで 5 点

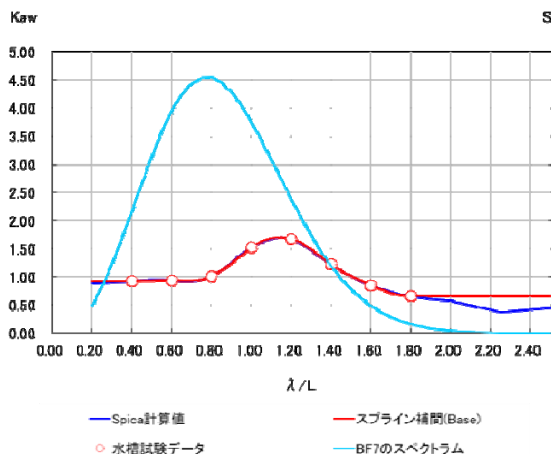


図 3.5 Case1 の周波数応答関数の表現

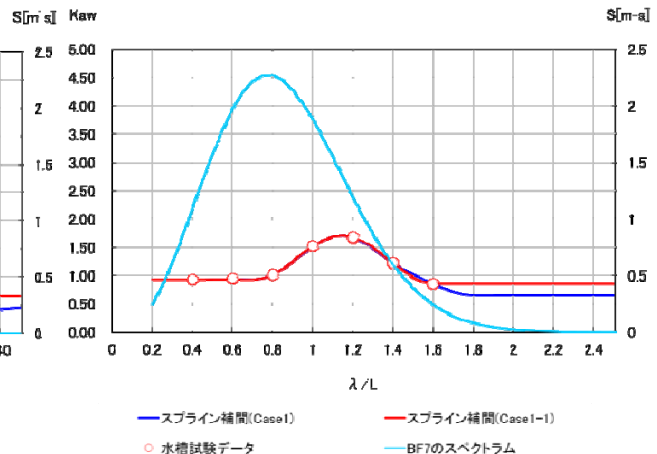


図 3.6 Case1-1 の周波数応答関数の表現

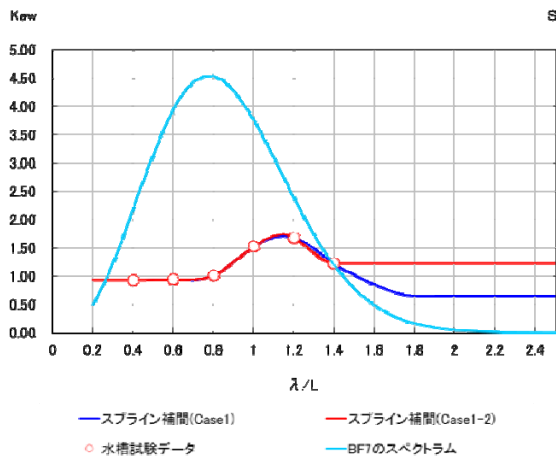


図 3.7 Case1-2 の周波数応答関数の表現

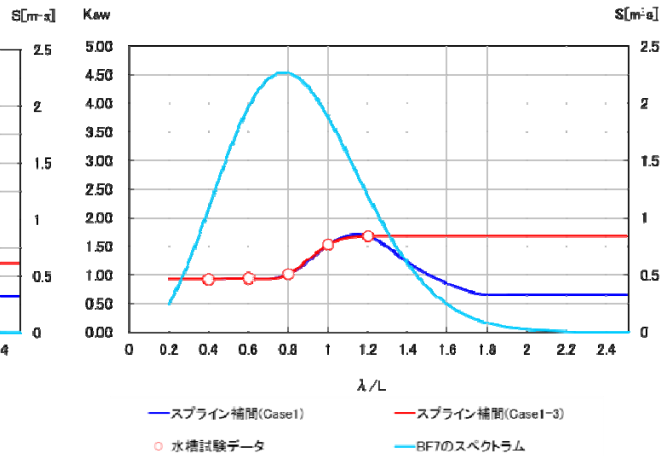


図 3.8 Case1-3 の周波数応答関数の表現

(c) 試験波長数とデータ間隔の影響

試験波長数とデータ間隔の影響を検討するため、 $\lambda/L=0.4$  から 1.6 まで 0.3 刻みでデータ点を 5 点抽出した場合を Case2-1、 $\lambda/L=0.4$  から 1.6 まで 0.4 刻みでデータ点を 4 点抽出した場合を Case2-2 とし、周波数応答関数の表現を検討した。その結果を表 3.2 に、周波数応答関数の表現を図 3.9 と図 3.10 に示す。

この結果より、データ点数が 4 点であっても周波数応答関数のピーク値を捉えることができれば、十分な精度で計算できることが分かる。

表 3.2 試験波長数とデータ間隔の影響

	$\Delta D$ %	検討条件
Case2-1	0.0	$\lambda/L=0.4$ から 0.3 刻みで 5 点
Case2-2	-1.7	$\lambda/L=0.4$ から 0.4 刻みで 4 点

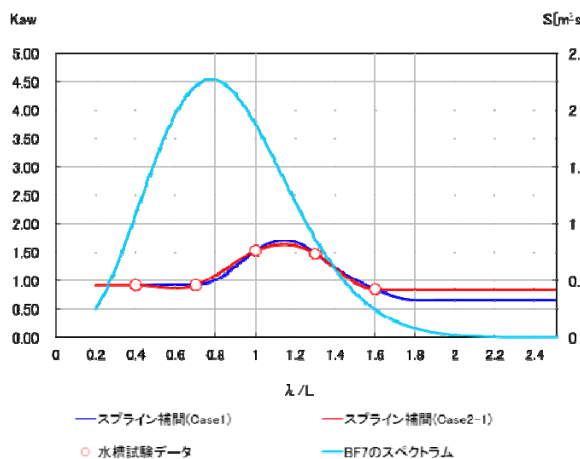


図 3.9 Case2-1 の周波数応答関数の表現

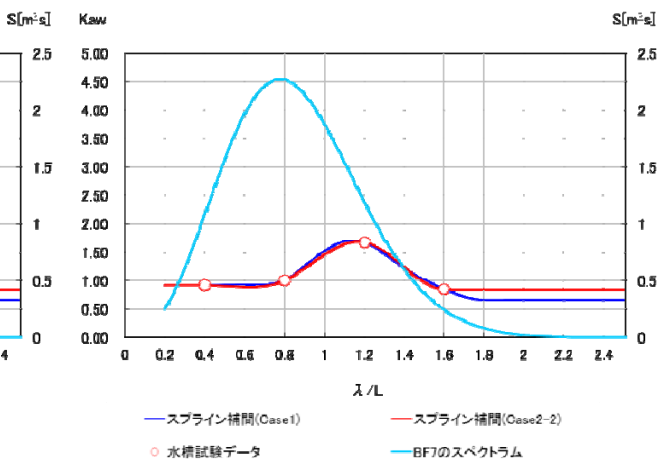


図 3.10 Case2-2 の周波数応答関数の表現

(d) 周波数応答関数のピーク値付近の試験波長数の影響

周波数応答関数のピーク値付近の試験波長数の影響を検討するため、試験波長を 4 点とした場合 (Case2-2) をベースに、ピーク値付近のデータ点を移動、追加して、その影響の調査を行った。

データ点の取り方として、Case3-1 は Case2-2 の  $\lambda/L=1.2$  の点を  $\lambda/L=1.0$  に変更したもの、Case3-2 は Case2-2 の  $\lambda/L=1.2$  の点を  $\lambda/L=1.4$  に変更したものである。

また、データ点を追加する場合として、Case3-3 は Case3-1 に  $\lambda/L=1.2$  の点を追加、Case3-4 は Case3-1 に  $\lambda/L=1.4$  の点を追加、Case3-5 は Case3-2 に  $\lambda/L=1.2$  の点を追加したものである。

これらの結果を表 3.3 に示す。また、周波数応答関数の表現を図 3.11 から図 3.15 に示す。この

結果から、ピークを捉えられなかった場合(Case3-1, 3-2)、計算精度が低下することが確認できる。

一方、ピークを捉えられていない場合でも、ピーク近傍の波長を追加することによって計算精度を高めることができることが確認できる(Case3-3, 3-4, 3-5)。

これより、ピーク付近に1種類以上試験波長を設定することで十分な精度で計算することができると分かった。なお、同型船データを過去に取得している場合等を除き、通常は水槽試験でのピーク位置であるかは分からないため、その場合はこの試験波長に1種類試験波長を追加する。

表 3.3 周波数応答関数のピーク付近の試験波長の影響

	$\Delta D$ %	検討条件
Case3-1	-2.0	Case2-2 の $\lambda/L=1.2$ の点を $\lambda/L=1.0$ に変更
Case3-2	-8.5	Case2-2 の $\lambda/L=1.2$ の点を $\lambda/L=1.4$ に変更
Case3-3	-1.0	Case3-1 に $\lambda/L=1.2$ の点を追加
Case3-4	-1.9	Case3-1 に $\lambda/L=1.4$ の点を追加
Case3-5	-1.7	Case3-2 に $\lambda/L=1.2$ の点を追加

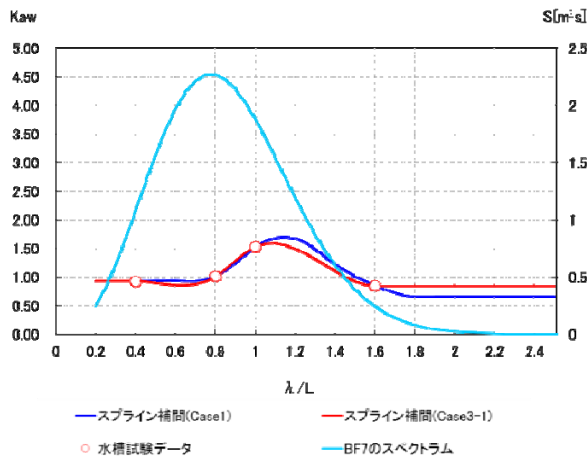


図 3.11 Case3-1 の周波数応答関数の表現

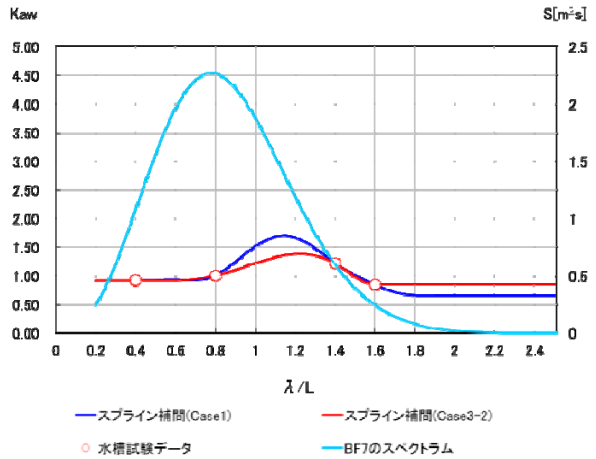


図 3.12 Case3-2 の周波数応答関数の表現

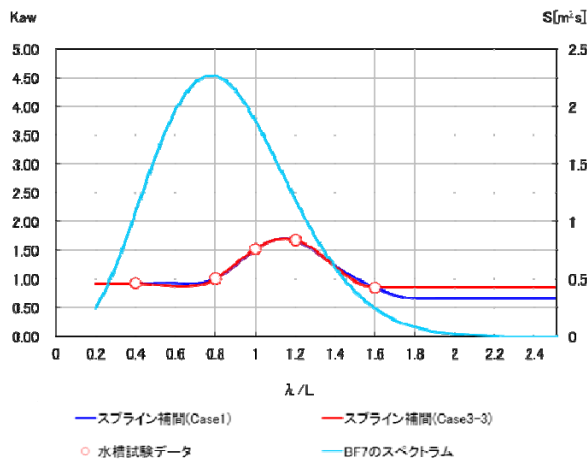


図 3.13 Case3-3 の周波数応答関数の表現

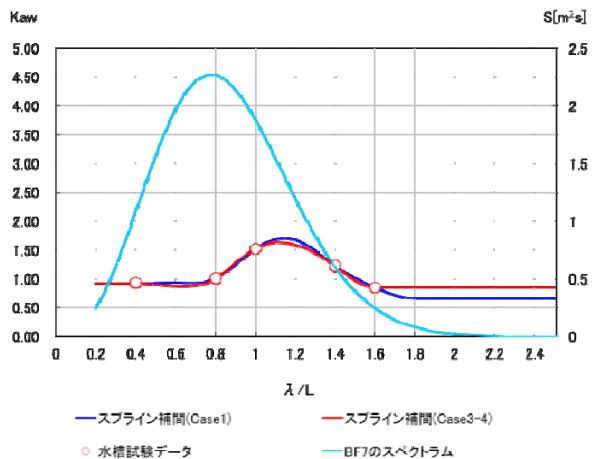


図 3.14 Case3-4 の周波数応答関数の表現

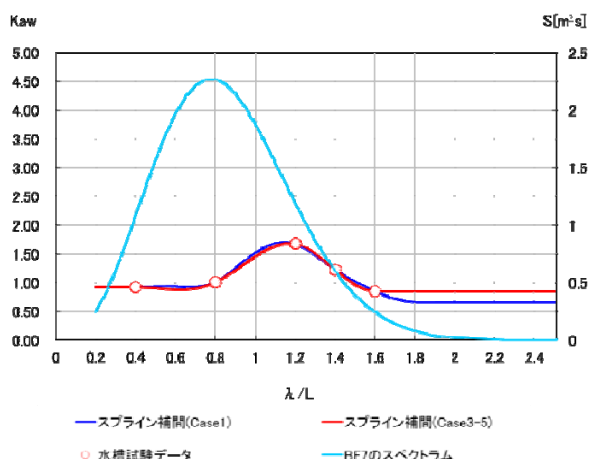


図 3.15 Case3-5 の周波数応答関数の表現

(e) 中波長域での試験波長数の影響

中波長域（周波数応答がほぼ一定となる短波長域と周波数応答関数のピーク値付近までの波長範囲）での試験波長数の影響を検討するため、Case2-2 のデータ点をベースに、中波長域のデータ点を変えて、その影響の調査を行った。

Case4-1 は Case2-2 の  $\lambda/L=0.8$  の点を  $\lambda/L=0.6$  へ変更、Case4-2 は Case2-2 の  $\lambda/L=0.8$  の点を  $\lambda/L=1.0$  へ変更したものである。

また、データ点を追加する場合として、Case4-3 は Case4-1 に  $\lambda/L=0.8$  の点を追加、Case4-4 は Case4-2 に  $\lambda/L=1.0$  の点を追加、Case4-5 は Case4-2 に  $\lambda/L=0.8$  の点を追加したものである。

これらの結果を表 3.4 に示す。また、周波数応答関数の表現を図 3.16 から図 3.20 に示す。これから、中波長域に試験波長を設定しない場合、周波数応答関数の傾斜を十分表現することができず、計算精度が低下することが確認できる。

一方、Case4-3, 4-4, 4-5 の結果より、この範囲の中間付近に試験波長を設置することにより、精度が向上していることが確認できる。

以上より、中波長域に 1 種類以上試験波長を設定することで十分な精度で計算できることが分かった。

表 3.4 中波長域での試験波長の影響

	$\Delta D$ %	検討条件
Case4-1	-5.9	Case2-2 の $\lambda/L=0.8$ の点を $\lambda/L=0.6$ へ変更
Case4-2	-6.7	Case2-2 の $\lambda/L=0.8$ の点を $\lambda/L=1.0$ へ変更
Case4-3	-0.96	Case4-1 に $\lambda/L=0.8$ の点を追加
Case4-4	3.5	Case4-2 に $\lambda/L=1.0$ の点を追加
Case4-5	-1.2	Case4-2 に $\lambda/L=0.8$ の点を追加



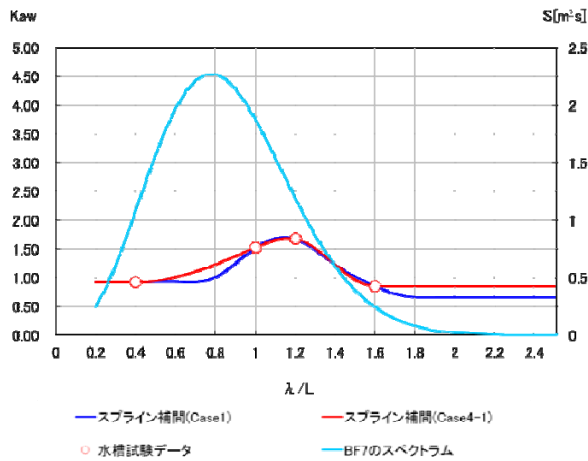


図 3.16 Case4-1 の周波数応答関数の表現

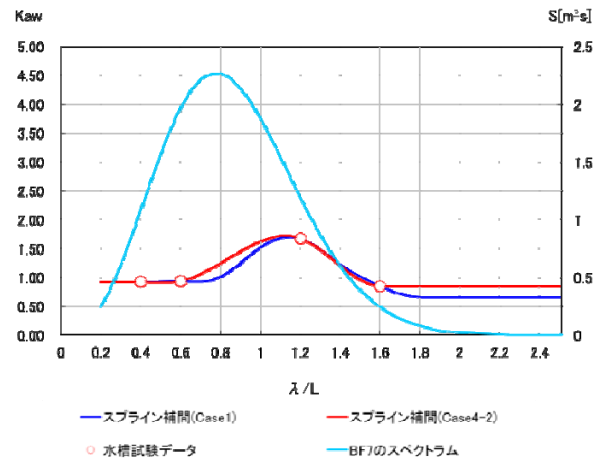


図 3.17 Case4-2 の周波数応答関数の表現

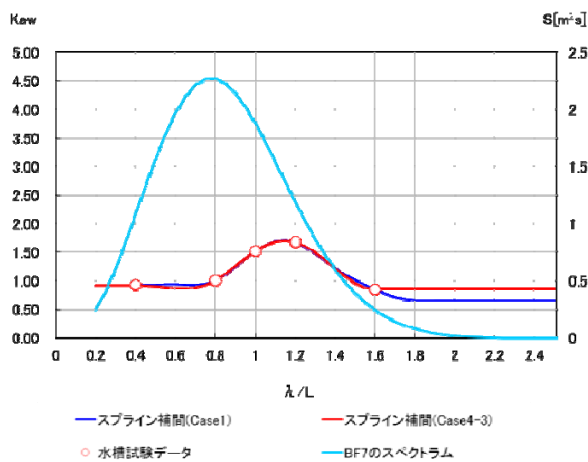


図 3.18 Case4-3 の周波数応答関数の表現

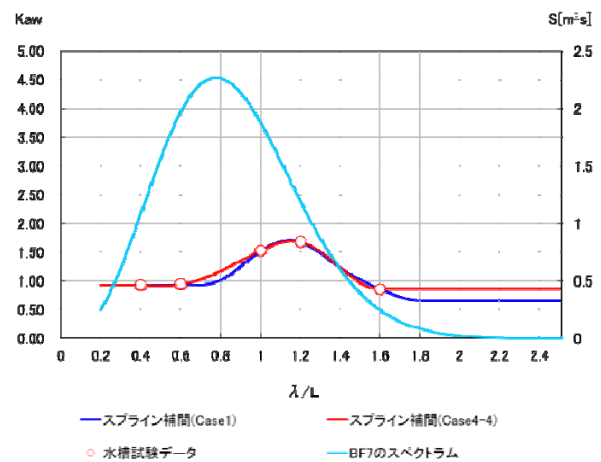


図 3.19 Case4-4 の周波数応答関数の表現

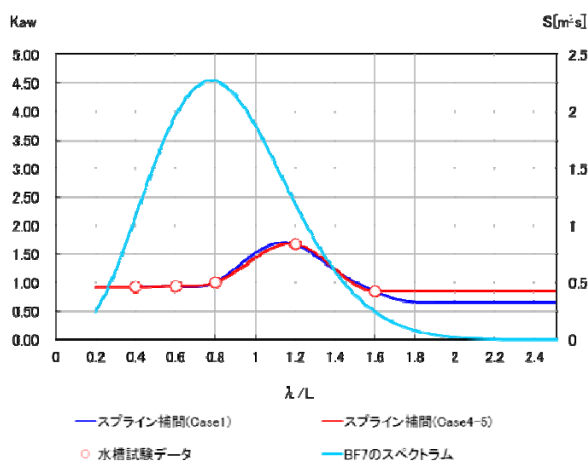


図 3.20 Case4-5 の周波数応答関数の表現

### 3. 3. 3 まとめ

持回り水槽試験に使用した VLCC の計算結果を用いて、向波中周波数応答試験の検討を行った。試験波長数、波長船長比の選定について以下の点に留意すれば、向波中周波数応答試験を十分な精度で計算できることが分かった。

- ・試験波長数は少なくとも4種類の波長以上とする。
  - ・短波長域では、波長船長比が0.5以下の範囲で1種類以上試験波長を設定する。
  - ・長波長域では、ピークを越えた位置に1種類以上試験波長を設定する。  
ただし、その位置・必要性は、周波数応答関数とスペクトラムとの対応を見て決定する。
  - ・周波数応答関数のピークを捉えるために、ピーク値の近傍で1種類以上試験波長を設定する。
- なお、同型船データを過去に取得している場合等を除き、通常は水槽試験でのピーク位置であるかは分からないため、その場合はさらにこの試験波長近傍に1種類試験波長を追加する。
- ・中波長域では、周波数応答関数の傾斜を捉えるために1種類以上試験波長を設定する。

### 3. 4 向波中周波数応答試験（オプション試験）の適用

#### 3. 4. 1 概要

向波周波数応答試験を実施した場合に、その試験結果を SPICA に適用した場合の検討を行う。対象とする船型は持ち回り試験を行った VLCC 船型である。水槽試験の詳細については、第 2 章に示す。

#### 3. 4. 2 周波数応答試験

持ち回り VLCC 模型船を用いた周波数応答試験の結果を以下に示す

##### (1) 試験場所

海上技術安全研究所

三鷹第 2 船舶試験水槽（長さ 400m、幅 18m、深さ 8m、造波機-プランジヤー式）

##### (2) 模型船及び状態

模型船：M.S.No.803（持ち回り VLCC 模型）

載荷状態＝満載状態

##### (3) 試験状態

- ・試験速度：フルード数  $F_n(L_{pp})=0.121$
- ・試験波高：実船で 3m 相当の規則波
- ・波向：向波

##### (4) 試験結果

$F_n(L_{pp})=0.121$ にて周波数応答試験を行った船体運動、波浪中抵抗増加の結果を図 3.21～3.23 に示す。ここで、 $z_a$ : 上下揺振幅、 $\varepsilon_z$ : 上下揺位相、 $\theta_a$ : 縦揺振幅、 $\varepsilon_\theta$ : 縦揺位相であり、位相は、入射波の山が S.S.5 にあるときを基準に、遅れを正としている。図 3.23 中の波浪中抵抗増加計算値については、平水中用ガイドを用いた海の 10 モード試験より算出した速度影響係数 11.9 を用いて求めた結果である。また、参考に反射波抵抗増加を高橋法で計算した結果もあわせて示す。

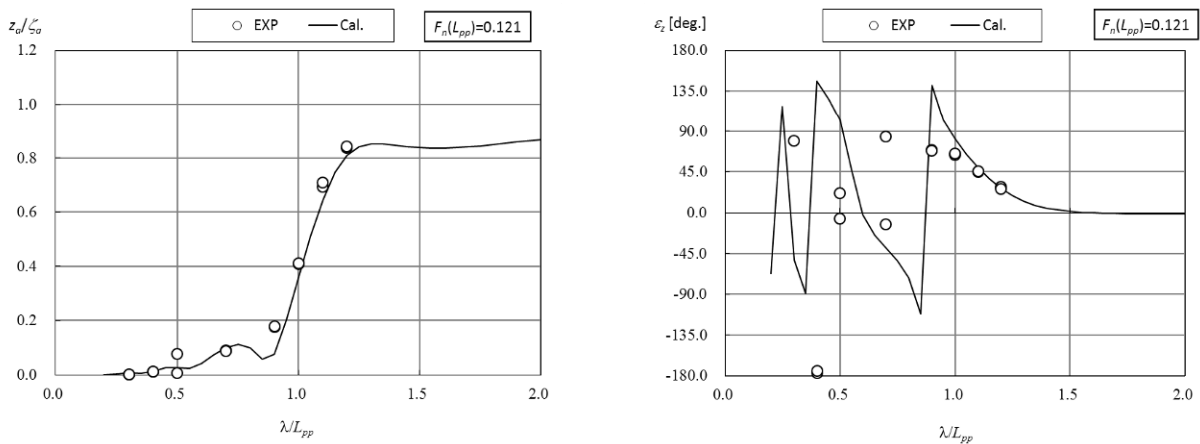


図 3.21 上下揺周波数応答試験結果（左：振幅、右：位相）

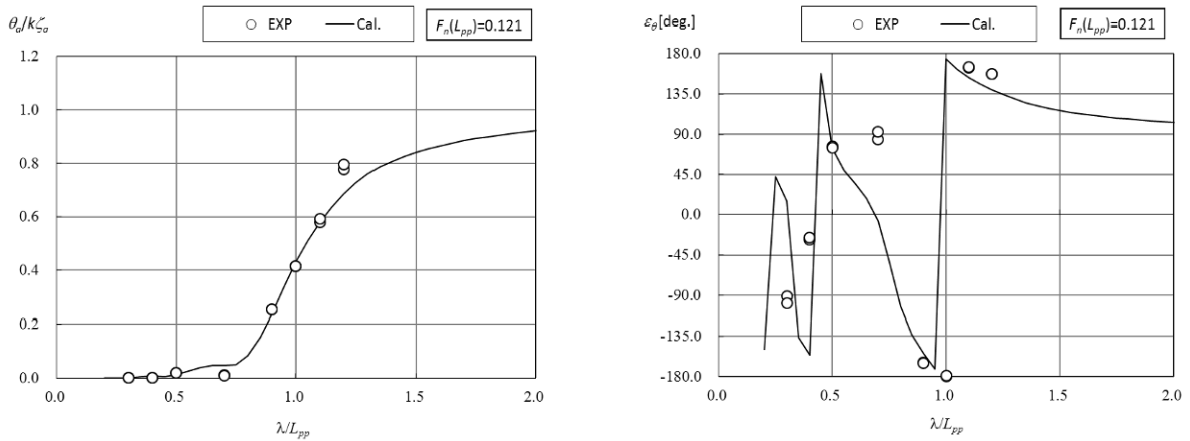


図 3.22 縦揺周波数応答試験結果（左：振幅、右：位相）

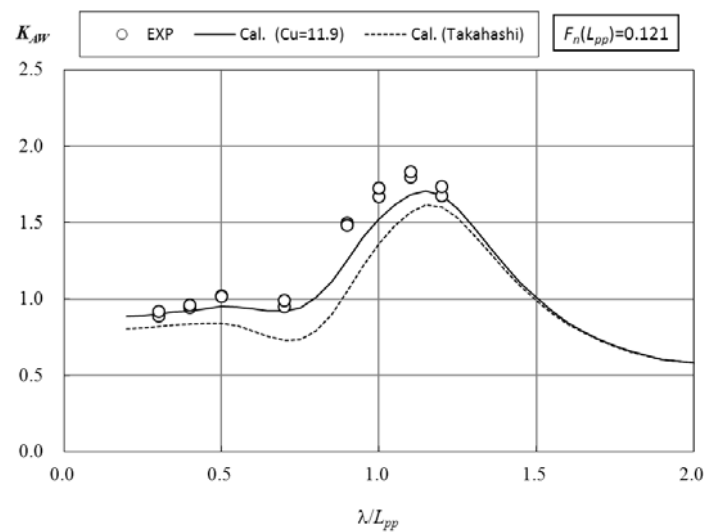


図 3.23 波浪中抵抗増加周波数応答試験結果

### 3. 4. 3 向波周波数応答試験の SPICA への適用

向波周波数応答試験を用いて、周波数応答関数を補間により求めたものを図 3.24 に示す。BF7 の周波数スペクトラムも併せて記載する。これから VLCC のような船長が 300m を超える大型船では短波長域での抵抗増加が支配的であり、長波長域での周波数応答の影響が小さいことが分かる。

向波周波数応答試験結果を SPICA に適用して算定される実海域での速力低下を表 3.5、表 3.6 に示す。これから、その影響は BF7 向波向風で 0.003knot と小さい。

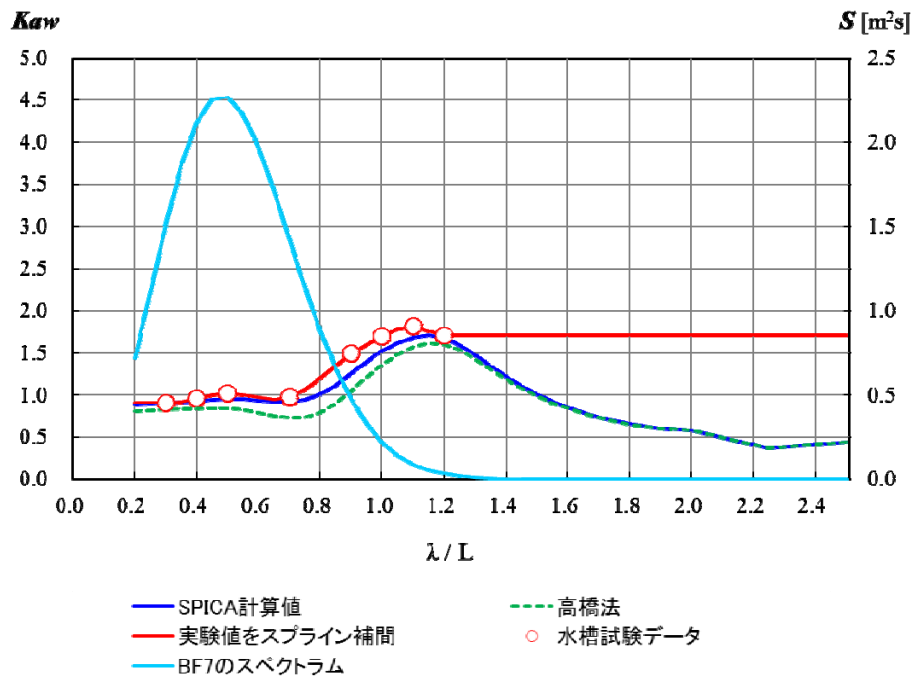


図 3.24 波浪中抵抗増加周波数応答関数の補間結果と周波数スペクトラムとの関係

表 3.5 実海域での速度低下 (SPICA)

weather	direction [deg.]	decrease of ship speed [knot]
BF3	0	0.174
BF4	0	0.372
BF5	0	0.958
BF6	0	1.907
BF7	0	3.318

表 3.6 実海域での速度低下 (向波周波数応答試験の適用)

weather	direction [deg.]	decrease of ship speed [knot]
BF3	0	0.174
BF4	0	0.372
BF5	0	0.958
BF6	0	1.908
BF7	0	3.321

### 3. 5 まとめ

向波規則波中での周波数応答試験を対象に、水槽試験点数と周波数応答の表現の関係、スペクトラムとの関係から、周波数応答関数の表現が速力低下に及ぼす影響についての以下に示す内容について技術的検討を行った。

- (1) 水槽試験結果にスプライン補間を用いて周波数応答関数を推定方法について検討を行い、短波長・長波長側での端点処理及び計測範囲外の周波数応答の表現を適切に行うことで、十分な精度で周波数応答関数を推定できることを確認した。
- (2) 向波規則波中で周波数応答試験を行う場合に重要となる試験波長数、波長船長比の選定について、様々な水槽試験の状況を想定した水槽試験データを用いて検討を行い、周波数応答試験を行う際の技術的検討を行った。
- (3) VLCC 持回り試験の向波規則波中周波数応答試験の試験結果に、構築した推定法を適用し、周波数応答関数を十分な精度で推定できることを確認した。

#### 4. 結論

大型低速超肥大船の実海域運航性能について高い精度を有する推定法を確立するため、VLCCモデルを設計し、大型曳航水槽を有する4水槽機関において水槽試験を行った。本研究により得られた成果は以下の通りである。

##### (1) 大型低速超肥大船の波浪中水槽試験の技術要件の抽出

各水槽で得られた結果を用いてBF6（向波・向風）での船速低下量を比較したところ、各水槽の違いは $\pm 0.07$ [knot]以内であった。これは、昨年度検討したパナマックスバルクキャリアでの結果と比べてほぼ同等であり、持回り試験のロバスト性が示された。また、速度影響の近似方法について検討するため、速度影響を、速度影響係数を用いて表す場合と、実験値を直接用いた場合と、それぞれの場合で実海域速力を算出し、BF6（向波・向風）での差異は最大で0.05[knot]であることを示した。以上の結果から、「コンテナ船の実海域性能指標 一海の10モード 鑑定ガイドライン」にて規定された技術要件を採用する事により、大型低速超肥大船についても実海域性能指標を実用的な精度で推定し得る事が判った。今後、本ガイドラインの技術要件（波品質、計測装置、解析方法等）は、肥大船に対する必要最低限の試験要件として採用可能である。

##### (2) 大型低速超肥大船に対するオプション試験法案の検討

ハイブリッド評価法の数値計算に代えて採用することができるオプション試験として、向波中周波数応答試験を対象に、水槽試験点数と周波数応答の表現の関係、スペクトラムとの関係から、周波数応答関数の表現が速力低下に及ぼす影響についての技術的検討を行った。水槽試験結果を用いて周波数応答関数を推定する際の補間方法について検討するとともに、試験方法について検討し、試験波長数、波長船長比の選定について、技術的検討を行った。また、VLCCモデル試験結果を向波中周波数応答試験（オプション試験）として適用した例を示し、周波数応答関数を十分な精度で推定できることを確認した。