船体運動に対する船型要素の影響と船型改良

正員 高 木 幹 雄*

Effect of Hull Forms on Ship Motions and Optimization of Hull Forms for Seakeeping Performance

by Mikio Takaki, *Member*

Summary

It is of importance to design a ship which has a good seakeeping performance in her sea-lane. It is, however, hard to say that an optimization of the hull form for seakeeping performance has been sufficiently carried out from the seakeeping point of view at the initial design stage of a merchant ship so far, because it has been difficult to make clear the seakeeping criteria and the correlation between the hull forms and the seakeeping qualities.

In this paper the author derives the regression equation to estimate the correlation between the hull forms and the seakeeping qualities by applying the Bales' procedure to the container ships. He provides the guidelines to optimize the hull form for the seakeeping performance and the added resistance in irregular waves. The calculation is made to determine the hull forms in accordance with the above guidelines, and finally the optimized hull form is shown for the seakeeping performance and the added resistance. It is concluded that the present method is very easy and useful in the early stage of ship design for determining the dimensions of a new ship which has a good seakeeping performance and a small added resistance.

1. 緒 言

船舶の性能設計において、就航する海域の海象の中で船舶に課せられた使命を遂行できる十分な性能を発揮できるように設計することは最も重要なことである。船の耐航性能に関する研究は電子計算機の発展と共に活発となり、船体強度の分野¹⁾ならびに運行性能の分野²⁾ではすでに実用化されており、有用な設計ならびに運行指針を与えている。他方、波浪中における船体運動と船型とは密接な関係があるにもかかわらず、船体運動の許容限界（いわゆる耐航性の criteria）を適切に決定すること、ならびに船体運動と船型要素とを適切に関係付けることが難しいことなどから、耐航性能の観点から船型を改良することは初期設計の段階で十分に反映されているとは言えない³⁾。

耐航性能の観点から船型改良に関する研究は、排水量型高速船に関して、盛んに行われている^{4)~13)}。しかしながら、それらの研究の多くは与えられた船型の要素パラメータを変化させた時の耐航性能を推定し、その船型の良否を評価するもので、耐航性能と船型要素との直接の関係式が求め

られていないために、船型パラメータを変化する度に全計算を実行しなければならず、電子計算機の発達した現在においても初期設計の段階において便利な方法とは言えない。

Bales⁴⁾は耐航性能の 1 つ 1 つに点数を付けて、総合点によってランク付けを行い、ランクと船型要素とを回帰直線で結合することによって船型を改良する方法を提案している。この方法は単純すぎて危険な場合があるという批判はあるものの¹⁴⁾、耐航性能におよぼす船型要素の影響を定量的に把握することが可能であり、初期設計の段階における船型改良に便利な方法と考えられる。

著者は先のシンポジウムにおいて、Bales の方法⁴⁾を適用して一般貨物船型の耐航性能のランク付けを行い、船型要素と船体運動応答とを関係付ける近似式の提案を行うと共に、運動応答の減少を計るための船型要素の変形方針を示した¹⁵⁾。

今回、新たに波浪中の抵抗増加を耐航性能を評価する先の応答関数¹⁵⁾に追加し、船の耐航性能を再評価することを試みた。次に、コンテナ船型を計算例に取り上げて、これらの耐航性能に対する船型要素の影響を明らかにすると共に、耐航性能を向上させる船型改良方針を求めている。最

* 広島大学工学部

Table 1 Principal Dimensions of Parent Hull Forms

Hull	L (m)	B (m)	d (m)	Δ (ton)	L/B	L/d	C_H	C_B	C_W	C_{UP}	L_{CF} (m)
C-1-0	150.0	21.77	7.28	13059.3	6.89	20.59	0.960	0.549	0.680	0.860	-5.62
C-2-0	150.0	21.43	7.14	13760.4	7.00	21.00	0.964	0.599	0.791	0.756	-9.96
C-3-0	150.0	21.77	8.14	15202.9	6.89	18.42	0.969	0.571	0.712	0.802	-5.88

後に本論で求めた船型改良方針を適用し、耐航性能の観点からコンテナ船型の船型改良を行い、本方法が船型改良を行うに当たって簡便で有効な方法であることを示している。

2. 供試船型

今回の計算に用いた船型は、コンテナ船型3種類 (C-1, C-2, C-3) を母船型とし、さらにこの船型を基に船幅および喫水をそれぞれ10%, 20%, -5%増加させた船型6種類を加えた総計21 (3×7) 船型を用いて行った。Table 1に母船型3隻の主要目を示す。以後の図表中の船型の種類を表示する最後の符号-の後の記号は、0:母船型, 1B, 2B, 5B:船幅をそれぞれ10%, 20%, -5%増加させた船型, 1T, 2T, 5T:喫水をそれぞれ10%, 20%, -5%増加させた船型に対応している。また各船型間の耐航性能を比較し易くするために各船型の船長は全て、150mに統一し、それに伴って各船型要素の規格化を行っている。

3. 耐航性能の評価

3.1 耐航性能応答関数

船型要素と耐航性能を精度良く関係付けるために、船型との相関の高い応答関数を選択することが必要である⁵⁾。今回は、先のシンポジウム¹⁵⁾で検討済みである上下揺れ、縦揺れ、船首、船尾の上下加速度と相対運動および船体中央の絶対加速度の他に、新たに波浪中抵抗増加を加えて計8個の応答関数をもって、各船型の耐航性能を評価することにした。

規則波中の周波数応答関数 $H_i(\omega)$ は、すでに実用化されているNSM (ニューストリップ法) を用いて推定し、正面規則中の抵抗増加は Gerritsma-Beukelman の方法¹⁶⁾により計算した。さらに船が長波頂の不規則波中を向い波状態 ($\chi=180^\circ$) で航行している時の各応答の短期予測を行っている。すなわち標準偏差 $\sigma_i (i=1, 2, \dots, 7)$ は次式で求められる。

$$\sigma_i^2 = \int_0^\infty S(\omega) \cdot H_i^2(\omega) d\omega \quad (1)$$

有義波高と平均波周期は次式で求められる。

$$H_{1/3} = 4\sqrt{m_0}, \quad T_{01} = 2\pi m_0 / m_1, \quad (2)$$

ただし、

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega \quad (3)$$

したがって、単位有義波高当りの各応答は次式で求められる。

$$Y_{i/3} = 4\sigma / H_{1/3} \quad (4)$$

また抵抗増加 ($i=8$) は次式で求めている¹⁷⁾。

$$\overline{R_{AW}} = 2 \int_0^\infty S(\omega) \cdot R_{AW}(\omega) / \zeta_a^2 d\omega \quad (5)$$

ここで、 $S(\omega)$ は1969年ITTCスペクトルを使用した。

計算は、スペクトルの平均波周期 $T_{01}=6, 8, 10, 12, 14$ 秒の5状態において、船速 $Fn=0.20, 0.25, 0.30$ の3状態の各15ケースについて行った。Table 2は各船型の15状態における各船体応答および抵抗増加の平均値を示している。表の右端のランクは文献 [15] の方法に従って、各応答の重みを同一 ($W=1$) として求めた各船型の耐航性能の相対評価関数で、ランク値 $R=10$ の船型 (C-2-2B) が計算に用いた船型の中で最も性能の良い船型であり、 $R=1$ の船型 (C-1-2T) は最も性能の悪いものに対応している。抵抗増加の最も小さい船型はC-1-5Bであり、ランク値の最も高いC-2-2Bの抵抗増加は比較的大きな値となっている。全般に運動性能の良い船型ほど、ランク値は高くなる傾向がある。

3.2 耐航性能と船型要素との関係

Table 2 耐航性能の相対評価値 (ランク値) と船型要素とを [15] に従って次式で関係付ける。

$$R = C_1 \cdot C_{WF} + C_2 \cdot C_{WA} + C_3 \cdot C_{VPF} + C_4 \cdot C_{VPA} + C_5 \cdot L/B + C_6 \cdot L/d + C_7 \quad (6)$$

ただし、 C_{WF} : 船体前半部の水線面積係数、 C_{WA} : 船体後半部の水線面積係数、 C_{VPF} : 船体前半部の豎柱形肥瘦係数、 C_{VPA} : 船体後半部の豎柱形肥瘦係数、 L : 船長、 B : 船幅、 d : 喫水

Table 3は抵抗増加の重み関数を $W=0\sim 3$ と変化させた時の耐航性能のランク値 R を求め、 $W=0$ の時の耐航性能のランク順に配列し直して各船型要素と共に示したものである。また、抵抗増加の重み関数を変化させた時のランク値の変化の様子を Fig. 1 に示す。抵抗増加の重みを大きくするにつれて ($W \geq 2$)、船幅の小さな船型の耐航性能のランク値 R が向上している反面、船幅の増加につれてランク値 R が低下する傾向がある。

Table 3の結果を用いて重回帰分析を行い、(6)式の係数 $C_i (i=1, 2, \dots, 7)$ を決定して Table 4 に示す。また、Table 5はランク方程式 (6) の信頼度を表す標準偏差 σ の値を示したものである。抵抗増加の重みを増加させるにつ

Table 2 Average Response for Container Ship

Ship	Heave (m/m)	Pitch (deg/m)	Acc (F) (g/m)	Acc (M) (g/m)	Acc (A) (g/m)	Re. M (F) (m/m)	Re. M (A) (m/m)	Resist (kg/kg)	Rank (W=1)
C-1-0	0.779	1.241	0.168	0.056	0.126	2.398	1.351	0.520	3.701
C-1-1B	0.766	1.214	0.159	0.053	0.120	2.350	1.332	0.559	4.502
C-1-2B	0.754	1.187	0.151	0.050	0.113	2.304	1.313	0.595	5.259
C-1-5B	0.786	1.254	0.173	0.057	0.130	2.422	1.360	0.499	3.293
C-1-1T	0.821	1.301	0.170	0.058	0.131	2.476	1.438	0.547	2.264
C-1-2T	0.865	1.356	0.170	0.060	0.134	2.542	1.532	0.568	1.000
C-1-5T	0.759	1.210	0.166	0.054	0.123	2.354	1.312	0.504	4.497
C-2-0	0.718	1.014	0.136	0.049	0.091	2.150	1.039	0.530	9.124
C-2-1B	0.707	0.996	0.130	0.047	0.086	2.118	1.035	0.575	9.562
C-2-2B	0.697	0.976	0.123	0.045	0.082	2.083	1.030	0.616	10.0
C-2-5B	0.725	1.020	0.140	0.050	0.094	2.162	1.041	0.506	8.917
C-2-1T	0.750	1.056	0.138	0.051	0.094	2.216	1.091	0.552	8.081
C-2-2T	0.785	1.088	0.138	0.052	0.096	2.263	1.148	0.570	7.174
C-2-5T	0.704	0.989	0.135	0.048	0.090	2.109	1.016	0.518	9.690
C-3-0	0.815	1.209	0.155	0.056	0.118	2.362	1.317	0.560	4.266
C-3-1B	0.800	1.181	0.147	0.053	0.111	2.311	1.303	0.600	5.050
C-3-2B	0.786	1.153	0.139	0.050	0.105	2.261	1.289	0.636	5.794
C-3-5B	0.823	1.223	0.160	0.057	0.121	2.389	1.323	0.539	3.858
C-3-1T	0.866	1.256	0.154	0.058	0.120	2.421	1.404	0.581	3.047
C-3-2T	0.919	1.292	0.152	0.059	0.120	2.472	1.489	0.590	2.159
C-3-5T	0.791	1.183	0.155	0.054	0.116	2.327	1.275	0.546	4.969

Table 3 Rank of Container Ships

Ship	C _{WF}	C _{WA}	C _{UPF}	C _{UPA}	L/B	L/d	Rank (W=0)	Rank (W=1)	Rank (W=2)	Rank (W=3)
C-2-2B	0.650	0.933	0.869	0.743	5.833	21.00	10.0	10.0	9.633	8.995
C-2-1B	0.650	0.933	0.858	0.722	6.364	21.00	9.301	9.562	9.481	9.123
C-2-5T	0.650	0.933	0.835	0.682	7.000	22.10	9.047	9.690	10.0	10.0
C-2-0	0.650	0.933	0.843	0.696	7.000	21.00	8.579	9.124	9.355	9.300
C-2-5B	0.650	0.933	0.835	0.682	7.368	21.00	8.212	8.917	9.315	9.423
C-2-1T	0.650	0.933	0.858	0.722	7.000	19.09	7.721	8.081	8.164	8.007
C-2-2T	0.650	0.933	0.869	0.743	7.000	17.50	6.966	7.174	7.137	6.898
C-3-2B	0.628	0.796	0.878	0.800	5.741	18.42	6.080	5.794	5.302	4.689
C-1-2B	0.599	0.762	0.862	0.820	5.742	20.59	5.288	5.259	5.054	4.724
C-3-1B	0.628	0.796	0.867	0.783	6.263	18.42	5.119	5.050	4.813	4.459
C-3-5T	0.628	0.796	0.846	0.750	6.890	19.39	4.683	4.969	5.102	5.059
C-1-1B	0.599	0.762	0.852	0.802	6.264	20.59	4.318	4.502	4.550	4.478
C-1-5T	0.599	0.762	0.832	0.768	6.890	21.67	3.948	4.497	4.923	5.202
C-3-0	0.628	0.796	0.854	0.762	6.890	18.42	4.096	4.266	4.308	4.239
C-3-5B	0.628	0.796	0.846	0.750	7.252	18.42	3.562	3.858	4.048	4.130
C-1-0	0.599	0.762	0.839	0.780	6.890	20.59	3.285	3.701	4.021	4.228
C-3-1T	0.628	0.796	0.867	0.783	6.890	16.74	3.065	3.047	2.945	2.783
C-1-5B	0.599	0.762	0.832	0.768	7.253	20.59	2.751	3.293	3.759	4.115
C-3-2T	0.628	0.796	0.878	0.800	6.890	15.35	2.264	2.159	2.002	1.819
C-1-1T	0.599	0.762	0.852	0.802	6.890	18.72	2.077	2.264	2.406	4.495
C-1-2T	0.599	0.762	0.862	0.820	6.890	17.16	1.0	1.0	1.0	1.0

Table 4 Coefficients of Regression Equation for Rank and Seakeeping Response for Container Ships

Item	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Rank (W=0)	33.657	15.640	-11.071	-13.365	-2.229	0.323	-0.418
Rank (W=1)	23.563	15.105	3.740	-20.070	-1.747	0.453	-6.732
Rank (W=2)	12.172	13.936	18.890	-26.179	-1.177	0.568	-12.939
Rank (W=3)	0.839	12.354	32.805	-31.176	-0.592	0.660	-18.435
A.Resist	-107.333	-10.551	144.041	-58.749	5.345	1.112	-53.758
Heaving	185.657	41.588	-396.680	139.055	-4.334	-0.211	122.093
Pitching	56.366	8.339	42.729	-8.299	-0.346	0.854	-81.058
Accel (FP)	-120.728	-1.451	232.000	-134.913	-2.280	0.079	0.147
Accel (M)	-37.506	21.834	-63.424	-39.013	-5.419	-0.289	136.153
Accel (AP)	-44.885	7.908	158.241	-73.730	-0.953	0.538	-56.512
Re. Mo (FP)	-15.456	0.294	86.818	-62.860	-1.824	0.585	-10.431
Re. Mo (AP)	201.543	26.976	-217.926	99.786	-1.435	0.397	-30.651

Table 5 Comparison of the Normalized Standard Deviation for Rank

S.D.	R (W=0)	R (W=1)	R (W=2)	R (W=3)
σ	0.183	0.2045	0.2191	0.226

Fig. 1 Rank for Seakeeping Performance

れて、標準偏差 σ は大きくなっている。これは後で示すように、抵抗増加の向上のための船型改良方針とランク値の向上のための船型改良方針とが逆の方向になっているためと考えられる。

Table 6 は抵抗増加の重み $W=1$ の時のランク値に与える各係数の影響の大きさならびに可能性を示したものである。ランク値に大きな影響を与えるのは船体前後半部の水線面積係数 (C_{WF} , C_{WA}), 船体後半部の縦柱形肥瘦係数 (C_{VPA}) ならびに船幅 (B) である。耐航性能を向上させるには、ランク方程式の係数の符号より、水線面積係数を増加させ、船体後半部の縦柱形肥瘦係数を減少させると良いことが分る。

3.3 船体応答と船型要素との関係

8 個の船体応答で評価した耐航性能のランク値 R は 6 個の船型要素を用いて (6) 式で精度良く推定されたので、個々の船体応答も同程度以上の精度でもって船型要素と関連付けられるものと推察できる。各船体応答を Y_i とすると、 i ; ($i=1, 2, 3, \dots, 8$) はそれぞれ上下揺れおよび縦揺れ振幅、船首、船体中央および船尾の上下加速度、船首およ

Table 6 Coefficients and Characteristics of the parameters in the Seakeeping Rank Equation ($W=1$)

Parameter	Rank Eq. const.	Parameter Min.	Parameter Max.	Variable Range	Potential Change
C_{WF}	$C_1 = 23.563$	0.582	0.666	13.713 15.692	1.979
C_{WA}	$C_2 = 15.105$	0.762	0.933	11.510 14.093	2.853
C_{UPF}	$C_3 = 3.740$	0.660	0.922	2.468 3.448	0.980
C_{UPA}	$C_4 = -20.070$	0.592	0.831	-11.881 -16.678	4.636
L/B	$C_5 = -1.747$	5.741	7.252	-10.029 -12.669	2.640
L/d	$C_6 = 0.453$	15.350	21.670	6.953 9.816	2.863
---	$C_7 = -6.732$	----	----	----	----

Table 7 Comparison of the Normalized Standard Deviation for Response Functions

S. D.	Resist	Heave	Pitch	Acc (F)	Acc (M)	Acc (A)	R. M (F)	R. M (A)
σ	0.194	0.287	0.191	0.167	0.195	0.165	0.166	0.280

び船尾の相対運動, 抵抗増加を示す。ここで, 文献 [15] で示したように, 各船体応答を直接各船型要素と関係付けてもよいが, その場合, 船体応答値を小さくするときの船型要素の変形方向は, ランク値を求めた時の係数の符号と逆方向にしなければならず混乱を招くので, 3.2 節の耐航性能のランク値の場合と同様に係数の符号に従った変形方針を取ることにする。 i の応答の最小値 $Y_{\min}$ に 10, 最大値 $Y_{\max}$ に 1 を付けて分析することになると, 任意の応答値 Y_i の評価値 F_i は次式で表される。

$$F_i = (Y_i - Y_{\max}) / (Y_{\min} - Y_{\max}) * 9 + 1 \quad (7)$$

この評価値と船型要素とを次式で関係付けて, 重回帰分析を行う。

$$F_i = C_1 \cdot C_{WF} + C_2 \cdot C_{WA} + C_3 \cdot C_{VPF} + C_4 \cdot C_{VPA} + C_5 \cdot L/B + C_6 \cdot L/d + C_7 \quad (8)$$

(7) 式で推定した F_i 値より, 船体応答は次式を用いて求めることが出来る。

$$Y_i = (F_i - 1) * (Y_{\min} - Y_{\max}) / 9 + Y_{\max} \quad (9)$$

重回帰分析を行って求めた各応答に対する (8) 式の各係数を Table 4 に示す。また, これらの分析結果の精度を表す標準偏差 σ を Table 7 に示す。各船体応答の推定値と計算値との標準偏差 σ は, 上下揺と船尾の相対運動の場合を除いて, ランク値の σ より小さくなっている。

3.4 耐航性能向上の方針

Table 8 は Table 4 の各係数の符号より推定される耐航性能のランク値を向上させると同時に船体応答を減少させるための船型要素の増減変形方針を示したもので, +印は増大, -印は減少を表している。耐航性能のランク値 R を向上させる方向と各応答関数を減少させる方向とは必ずしも一致していない。特に抵抗増加の減少方向は, 水線面積係数および船幅に関して, ランク値, 上下揺および縦揺れの場合と逆となっている。すなわち, 抵抗増加を減少するためには, 船幅および水線面積を減少させなければならない。しかしながら, これは正面向い波状態において最も卓越する運動である縦揺れの復原モーメントならびに造波減衰力の減少を招いて, 結果として縦揺れおよび上下揺れを増大させることになる。したがって抵抗増加と船体運動を同時に改善することによって耐航性能の総合的に評価しているランク値を向上させることは不可能である。今回は, 耐航性能のランク値 R を向上させる方針で, 船型改良を行うことにする。コンテナ船型の耐航性能向上は, 幅と水線面積の増加, 喫水の減少, それらに伴って船体の痩せ型化

を行えば良いことが推察できる。

4. 船型改良

船舶は, その使命ならびに用途が多様多様であるので, それぞれの使命ならびに用途に応じた船体応答を減少させることによって総合的な耐航性能を向上させることが重要と考えられる。その場合は重要と考える応答の重み (W) を大きくすればよい。今回は全ての応答の重みを同一 ($W=1$) として船型改良を行うことにし, その条件を次のように規定する。

- (1) 個々の船体応答の向上よりも総合的な耐航性能の向上を最重点とし, 他の応答の向上も合わせて考慮する。
- (2) 船体の主要寸法 (船長, 船幅, 喫水, 排水量) は変化させないで, 船型要素 (C_{WF} , C_{WA} , C_{VPF} , C_{VPA}) のみの変化により改良を行う。
- (3) 船型要素はコンテナ船型のみでなく痩せ型船型の値を含めて考慮する。

本計算に用いた船型の耐航性能のランク値 R と船型要素は Table 3 に示す通りである。これらの船型要素を変形して, 現在のランク値 R を増加させることによって, 現在の船型より優れた耐航性能の般型を求めることができる。本研究においては, Table 3 に示す中で最も性能の良い船型 (C-2-2 B) と悪い船型 (C-1-2 T) 2 隻を改良することによって, 更に優秀な船型を求めることにする。

まず, (2) の排水量一定の条件より次式を得る。

$$\Delta = L \cdot B \cdot d \cdot (C_{WF} + C_{WA}) / 2 \cdot (C_{VPF} + C_{VPA}) / 2 = \text{const.} \\ \therefore (C_{WF} + C_{WA}) \cdot (C_{VPF} + C_{VPA}) = \text{const.} \quad (10)$$

ここで, (10) 式および Table 6 の制約条件のもとに Table 8 の変形方針に従って, (6), (8) を用いて 4 個の船型要素

Table 8 Guidelines for Improvement of Container Hull

Item	C_{WF}	C_{WA}	C_{VPF}	C_{VPA}	L/B	L/d
Rank ($W=0$)	+	+	-	-	-	+
Rank ($W=1$)	+	+	+	-	-	+
Rank ($W=2$)	+	+	+	-	-	+
Rank ($W=3$)	+	+	+	-	-	+
A. Resist	-	-	+	-	+	+
Heaving	+	+	-	+	-	-
Pitching	+	+	+	-	-	+
Accel (FP)	-	-	+	-	-	+
Accel (M)	-	+	-	-	-	-
Accel (AP)	-	+	+	-	-	+
Re. Mo (FP)	-	+	+	-	-	+
Re. Mo (AP)	+	+	-	+	-	+

Table 9 Change of Seakeeping Qualities for Parameters

***** SHIP = C-1-2T *****

Cwf	Cwa	Cvpf	Cvpa	R(W=1)	Resist	Heave	Pitch	Ac(F)	Ac(M)	Ac(A)	Re(F)	Re(A)
0.5990	0.7620	0.8620	0.8200	1.3922	5.8108	3.5888	1.3562	1.7264	1.3574	1.2345	1.2994	1.5338
Cwf	Cwa	Cvpf	Cvpa	R(W=1)	Resist	Heave	Pitch	Ac(F)	Ac(M)	Ac(A)	Re(F)	Re(A)
0.6660	0.9300	0.8300	0.8327	9.1483	3.2421	9.8614	6.7209	11.2410	11.8499	8.3028	9.3098	7.8512
0.6660	0.9300	0.8320	0.8313	9.1846	3.6143	8.6689	6.8183	11.8982	11.7789	8.7249	9.5732	7.2724
0.6660	0.9300	0.8340	0.8298	9.2208	3.9866	7.6764	6.9156	12.5554	11.7079	9.1470	9.8369	6.6936
0.6660	0.9300	0.8380	0.8284	9.2570	4.3588	6.6839	7.0130	13.2126	11.6370	9.5691	10.1008	6.1149
0.6660	0.9300	0.8380	0.8270	9.2932	4.7310	5.6913	7.1103	13.8699	11.5660	9.9911	10.3643	5.5361
0.6660	0.9300	0.8400	0.8255	9.3295	5.1032	4.8988	7.2077	14.5271	11.4950	10.4132	10.6279	4.9573
0.6660	0.9300	0.8420	0.8241	9.3657	5.4755	3.7063	7.3050	15.1843	11.4241	10.8353	10.8916	4.3786
0.6660	0.9300	0.8440	0.8227	9.4019	5.8477	2.7138	7.4023	15.8416	11.3531	11.2574	11.1553	3.7998
0.6660	0.9300	0.8460	0.8212	9.4382	6.2199	1.7213	7.4997	16.4988	11.2821	11.6795	11.4189	3.2210
0.6660	0.9300	0.8480	0.8198	9.4744	6.5921	0.7287	7.5970	17.1560	11.2111	12.1016	11.6826	2.6423

Table 10 Hull Form Element

	C-2-2B		C-1-2T	
	Proto	New	Proto	New
C _{WF}	0.650	0.666	0.599	0.666
C _{WA}	0.933	0.933	0.762	0.930
C _{UPF}	0.869	0.878	0.862	0.838
C _{UPA}	0.743	0.722	0.820	0.627

について Table 9 に示すようにパラメータを変化させてランク値および船体応答の増減状況を判断して、最適な船型要素を求め Table 10 に示す。

この新しく求めた船型要素を(6),(8)式に代入し、それぞれの船型について各応答値とランク値を推定すると、次のようになる。ただし、括弧内の値は改良前のランク値の推定値である。

C-2-2 B 船型: $R=11.344(10.333)$

C-1-2 T 船型: $R=9.074(1.392)$

これらの推定値からも明らかなように、最も性能の良い C-2-2 B 船型は既に性能が頭打ちとなっており、大きな性能向上は得られない。一方、性能の悪い C-1-2 T 船型は大幅な性能の向上を計ることが出来た。このような性能向上の精度を確認するために、NSM で直接計算を行った。ここでは大幅な性能向上の計られた C-2-2 T 船型については図面を説明する。

Fig. 2 Waterplane Area Coefficient Curves of C-1-2T Ship

Fig. 3 Prismatic Curves of C-1-2T Ship

Fig. 4 Body Plan of C-1-2T Ship

Fig. 2, Fig. 3 は改良された C-2-2 T 船型の水線面積係数および C_p -曲線を示したものである。水線面積は大幅に増大している。特に船体後半部の増大が顕著になっている。 C_p -曲線は排水量を一定としているために、船体後半部を減少した量だけ船体前半部が増大した結果になっている。

Fig. 5 Comparison of Heaving Response Functions in Regular Wave

Fig. 6 Comparison of Pitching Response Functions in Regular Wave

る。Fig. 4は船体断面形状をルイスフォーム近似で示したものである。Prototypeは原船型を、New Shipは改良船型を表している。また、各ラインに記された数字はSS. Noを示す。これらの図より水線面積が増大し船体前後部が相対的に痩せ形となるような改良を施されたことがわかる。

Fig. 5～Fig. 7は規則波中での原船型と新船型の上下揺

れ、縦揺れ応答関数および抵抗増加係数の比較である。まず、上下揺れおよび縦揺れに関して、改良船型の応答値はピークを示す位置を中心にして原船型の値より大幅に減少している。特に縦揺れ応答の減少が顕著となっている。ここでは示さないが、これらの運動応答が小さくなったことにより、他の加速度ならびに相対運動の応答も減少してい

Fig. 7 Comparison of Added Resistance in Regular Wave

Fig. 8 Comparison of Significant Heaving Amplitudes in Irregular Waves

る。また、Fig. 7 の抵抗増加係数に関して、運動応答の減少によりピーク近傍において改良船型の値は減少しているが、水線面積が増大するために短波長領域で原船型の値より増大している。

Fig. 8～Fig. 10 は不規則波中短期予測による各運動性能および抵抗増加の比較である。各運動は大幅に減少してお

り、船型改良の結果が顕著に表れていることが分る。他方、改良船型の抵抗増加は長波長領域において減少しているが、短波長領域では逆に増加しており、運動ほどの改善は達成されていない。これは 3.4 節で述べたように、運動応答と抵抗増加を同時に改善することが難しいことを数値計算で確認したことになる。

Fig.9 Comparison of Significant Pitching Amplitudes in Irregular Waves

Fig.10 Comparison of Significant Added Resistance in Irregular Waves

各運動および抵抗増加はフルード数の変化に対し、改善による減少幅がさほど変化している様には見えず、このことより通常船型の耐航性能は速度によって左右されないと言える。即ち、高速で良い性能を発揮する船型は低速でも高性能であり、その逆も言うことができる。

以上のように直接数値計算より求めた値と、(6)、(8)

式の重回帰分析による耐航性能の推定値との比較を Table 11 に示す。ただし、表の Cal. は NSM による計算値であり、Est. は (6)、(8) 式より求めた推定値である。この表の数値の比較より明らかにように、(6)、(8) 式による推定値と NSM による計算結果とは良い一致を示しており、回帰式の推定精度ならびに本方法による船型改良法

Table 11 Comparison of Estimated and Calculated Values of Rank and Seakeeping Qualities

	C-2-2B				C-1-2T			
	Prototype		New Ship		Prototype		New Ship	
	Cal.	Est.	Cal.	Est.	Cal.	Est.	Cal.	Est.
Rank (R)	10.0	10.333	10.344	11.178	1.0	1.392	8.172	9.074
A. Resist.	0.616	0.611	0.618	0.599	0.568	0.563	0.584	0.580
Heaving	0.697	0.686	0.703	0.771	0.865	0.855	0.800	0.804
Pitching	0.976	0.966	0.953	0.905	1.356	1.341	0.997	1.098
Accel (F)	0.123	0.123	0.119	0.107	0.170	0.168	0.128	0.102
Accel (M)	0.045	0.044	0.044	0.045	0.060	0.059	0.053	0.042
Accel (A)	0.082	0.081	0.081	0.068	0.134	0.133	0.093	0.082
Re. Mo (F)	2.083	2.074	2.036	1.981	2.542	2.526	2.113	2.064
Re. Mo (A)	1.030	1.002	1.016	1.046	1.532	1.502	1.047	1.272

の有効性を確認することができた。

本方法による船型改良の特徴として、波周期や船速に影響されずほぼ一様に応答が減少していること、ピークを持つような応答に関しては、そのピーク付近で最も応答が減少していること、どの応答に関しても全て原型の応答を上回るものがないこと等が挙げられる。しかしながら、各船体応答を向上させる推定式の結果が計算値と必ずしも一致していない場合もある。これは数少ない実船型の幅および喫水を一定の割合で増減して作成した船型を加えたためと考えられる。今後は推定式の精度を更に向上させるために、多くの実船型を基にしたデータベースの蓄積が必要である。

5. 結 言

コンテナ船型の船体応答と船型要素とを関連付ける方法を示し、船体応答および抵抗増加を小さくするための船型要素の変形指針を明らかにすると共に船型改良を行い、次の結論を得た。

1) 船体運動と抵抗増加に対する船型要素の関係を明らかにすると共に各船体応答と抵抗増加を向上させる船型変形方針を示した。船体縦運動に最も大きな影響を与える船型要素は船体前半部の水線面積係数である。他方、抵抗増加に最も大きな影響を与えるのは船体前半部の縦柱形肥瘦係数である。

2) 個々の船体応答の変形方針と耐航性能の評価式とを勘案することによって、耐航性の観点から簡便に船型改良を行うことが出来ることを示し、NSMによる直接計算により回帰式の推定精度ならびに船型改良法の有効性を確認した。

3) 船体前半部の水線面積係数の増加は船体運動を減少さ

せるが、逆に抵抗増加となり、船体応答と抵抗増加を同時に改善することは難しい。したがって、船舶の使命ならびに用途に最適な船型改良が望ましい。

本方法はデータの蓄積さえあれば、容易に船の耐航性能および抵抗増加を推定できると共に、さらにそれらの性能を向上させた船型の開発を行うことができるものであり、船の初期設計段階において有力な設計手法となるものと確信している。今後は実船のデータを補強し、静水中の推進性能と結び付けて総合的に船型改良を行う予定である。

最後にデータの整理ならびに図面作成にご協力戴いた広島大学工学部船舶・海洋工学教室の許平助手、ならびに研究当時大学院生の溝畠仁君に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 福田淳一、他：波浪中船体応力長期予測（その1）、日本造船学会論文集、第144号、(1978)。
- 2) 細田龍介、他：船舶の初期設計における耐航性の総合的評価に関する研究(第1報)、日本造船学会論文集、第153号、(1983)。
- 3) 大楠 丹：ITTC技術委員会の活動と世界の研究の動向——(その6)耐航性能研究における世界の動き——日本造船学会誌、第704号、(1988)。
- 4) Bales, N. K.: Optimizing the Seakeeping Performance of Destroyer Type Hulls, 13th ONR, (1980)。
- 5) Walden, D. A. & Grandmann P.: Method for Designing Hull Forms with Induced Motions and Dry Decks, Naval Engineers Journal, (1985)。
- 6) Lin, W. C. et al: An advanced Methodology for Preliminary Hull Form Development, Naval Engineers Journal, (1984)。
- 7) Murdy, D. C. & Simoes Re, A. J.: The NRC Hull Form Series—An Update, Marine Workshop on

- Development in Hull Form Design, Wageningen, Netherlands, (1985).
- 8) Wijngaarden, A. M. van : The Optimum Form of a Small Hull for the North Sea Area, ISP, Vol. 31, No. 359, (1985).
- 9) Blok, J. J. & Beukelman, W. : The High-Speed Displacement Ship Systematic Series Hull Forms -Seakeeping Characteristics, TSNAME, Vol. 92, (1984).
- 10) Walden, D. A. et al : Optimization of Hull Form for Seakeeping and Resistance Marine Workshop on Development in Hull Form Design, Wageningen, Netherlands, (1985).
- 11) Oosanen P. van & Pieffers, J. B. M. : NSMB-Systematic Series of High-Speed Displacement Ship Hull Forms, Marine Workshop on Development in Hull Form Design, Wageningen, Netherlands, (1985).
- 12) Wilson, P. A. : A Seakeeping Analysis of a Family of Merchant Ships International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Marine and Offshore Industries, Washington DC, USA, (1986).
- 13) McCreight, W. R. : Estimating the Seakeeping Qualities of Destroyer Type Hulls, DTNSRDC Report, SPD-1074-01, (1984).
- 14) REPORT OF THE SEAKEEPING COMMITTEE, Proceedings of 18th ITTC, (1987).
- 15) 高木幹雄, 他 : 船型と船体運動, 運動性能研究委員会・第5回シンポジウム, (1988)。
- 16) Gerritsma, J. and Beukelman, W. : Analysys of the Resistance increase in Waves of a Fast Cargo Ship, I. S. P., Vol. 19, No. 217, (1972).
- 17) 新谷厚 : 波浪中抵抗増加の簡易推定法について, 日本造船学会論文集, 第161号, (1987)。
-