

## 境界要素法の自由表面パネルの生成に関する研究

誌名	水産工学研究所研究報告
ISSN	03889718
著者	川島, 敏彦 梶谷, 尚
巻/号	10号
掲載ページ	p. 147-160
発行年月	1989年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 境界要素法の自由表面パネルの生成に関する研究

川島敏彦\*・梶谷 尚\*\*

## 目 次

1. 緒言	147	4.2. 縦方向の分割と数	152
2. 自由表面パネルと数値解	148	5. 自由表面パネルの生成の一指針	157
3. 自由表面パネルの影響の予備調査	149	6. 結言	157
4. 自由表面パネルの影響分析	151	参考文献	158
4.1. 開境界	151	Summary	159

## 1. 緒 言

境界要素法の間接法の一つである Rankine Source 法は Dawson<sup>1)</sup>, 茂里—西本<sup>2)</sup>, 荻原<sup>3)</sup> によって実用化への活路が見い出され, 今日では非線形自由表面条件での解法<sup>4),5)</sup> が常套的に試みられつつある状況に発展している。また波と粘性の相互干渉の問題や<sup>6)</sup>, 船体とプロペラ及び舵の相互干渉<sup>7),8)</sup> の機構の解析手法としても用いられ, 推進性能のいろいろな問題に活用されつつあることは周知のとおりである。

漁船は特殊性の強い船型で, その特徴を列挙すれば, (1)設計速度の Fn 数が高い, (2)幅広, (3)浅喫水, (4)バトック形状に代表される船型形状の特殊性, (5)高プロペラ荷重, (6)一般海中での載荷状態の変化が大きい, (7)初期トリムが不明確, (8)航走時の姿勢変化が大きい, (9)付加物の流場, 性能への影響が大きい, 研究上の問題として(10)船型, 流場, 性能の三者の関係が十分明らかにされていない等があげられる。漁船は漁業種類や排水量によって船型が大きく異なるので, これらの特徴に合わない船型もあるが, 一般性は表現されていると考えられる。夫々の特徴は漁船船型に対するアプローチに際して反映しなければならない事項で, 漁船の流場と性能の扱いに自由表面影響, 粘性影響, プロペラ影響が共に重要になることも示唆している。

本論にて研究の対象としている Rankine Source 法(この法がパネル法とも呼ばれていることもあり, 以下

では表現に一般性を持たせて境界要素法と称する)は, 計算原理の上からは解析的な理論の適用を難しくしている幅広船型に対しても制約はない。浅喫水, 特殊形状に基づく計算の困難性も解消でき, 自由表面条件の非線形項を考慮した計算を進めれば高 Fn 数での制約も取り除くことが可能である。この計算によれば船体近傍流場の流速, 圧力, 流線を直接求めることができ, 粘性流場の計算, 例えば境界層の計算に際して自由表面影響を考慮した外部流場としても利用できる。さらに姿勢変化の影響やプロペラの作動効果も無理なく取り入れられる。すなわち船型の三次元影響, 自由表面影響, 姿勢変化の影響を数値計算上厳密に取り込み, かつ粘性流場と自航時の計算法と合体して発展することが可能である。またこの計算より求まる航走時の船体の近傍流場の特性を有効に利用すれば, 漁船の推進性能の基礎的現象の機構の解析や船型計画の有力な手法として益々活用できる。これらを総合すると, 「幅広浅喫水高速高荷重船型」として位置づけられる漁船の推進性能の基礎から応用の問題に境界要素法は大きな可能性を持っていると考えられる。

ところでこの計算に際して, 自由表面のパネルの生成により解が大きく左右されることについてはあまり知られていない。実際, この影響は自由表面条件の非線形項と粘性影響, 境界層の排除効果等を考慮するか否かといった, 計算上の基本的原理と計算方法に関する高次の事項の影響にも増して大きい。しかし二次元問題での自由表面パネルの影響については荻原<sup>3)</sup> により詳細な分析が試みられているが, 三次元問題の自由表面パネルの生成

\* 漁船工学部, \*\* 東京大学工学部

に関する知見は十分でないように考えられる。境界要素法での自由表面パネルの影響分析は流場特性に対して試みられるべきである。例えば Xia<sup>9)</sup> は Wigley 船型を用いて自由表面のパネルの数と領域を変えた比較検討を試みているが、圧力抵抗の変化にのみ重きを置くだけで、この計算で最も本質的な物理量である船側波形や船体表面の圧力分布等の流場特性に対する分析が欠けている。自由表面パネルの配置領域、分割、個数を系統的に変えた比較計算を試み、これによる流場変化を調べることにより自由表面パネルの問題点を把握し、これより生成の指針とする例は見あたらない。

パネルの生成による数値解の変化は流体の境界面に分布させた特異点を離散化する段階での数値誤差として理解される。従ってパネルの数をより多く、且つパネル面積を小さくしていく、あるいは高次要素法を適用してパネル内の特異点の変化を考慮することによって対処できるものと考えられるが、計算機の記憶容量の制約により今日の計算機の最新のレベルにおいても容易なことではない。実際問題としてパネルの生成はこの計算の実行において最も苦心する作業でもある。それは述べるまでもなく得られる結果がパネルの設定により変わるからで、何らかのパネルの生成の指針が求められる。またパネルの生成の影響は船型改良に適用する場合にも問題になることが予想される。すなわち本来抽出すべき船型間の流場の差にも増してパネルの相違による影響が解に強く介入して、計算結果の比較が難しくなる可能性があるからである。この計算法の持つ高次の課題の追求を試みたり、推進性能の基礎現象の解析手法として、さらに船型計画法として応用していくには自由表面パネルの流場特性に与える影響を把握しておくことが必要である。理想的には解適合格子法等の数値解析的な手法によって決められるべきであるが、このような方法を導入する場合でもパネル生成の影響の分析は必須の事項である。パネルの影響の検討は計算技巧に位置づけられるべき内容で、その意味では高次の課題ではないとも言える。しかし数値計算を種々の工学問題に有効利用するにはこの種の分析を積み重ねておくことが不可欠であり、特に数値計算の分野ではこのような姿勢が求められるものとする。

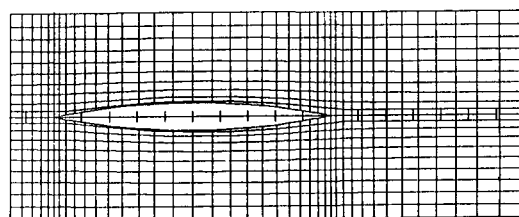
本論は以上の観点から、(1)境界要素法における自由表面パネルの影響を分析する、(2)自由表面パネルの生成の指針を抽出することを目的として、自由表面パネルを系統的に変えた計算を試み、この結果をまとめたものである。まず、Wigley 船型に対して自由表面パネルの配置領域、パネルの横方向の幅、縦方向の分割を変化させた計算を行ない、船体近傍流場への影響を調査した。これ

より自由表面パネルの縦方向の分割が船体近傍流場に最も強い影響を持つ結論を得た。ついで Todd60 船型を用いて自由表面パネルの縦方向の分割と数を系統的に変化させた計算を実施した。すなわち船体近傍流場への影響がない開境界域を求めこれを固定し、且つ自由表面パネルの横方向の幅を一定として縦方向の分割と数のみを系統的に変え、船側波形、船体表面圧力分布、圧力抵抗に及ぼす影響量を抽出することを試みた。この一連の計算の結果、今まで必ずしも明確でなかった自由表面パネルの影響の問題点を明らかにすることができ、自由表面パネルの生成の一指針を得たので報告する。

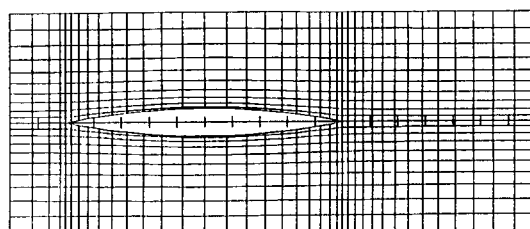
## 2. 自由表面パネルと数値解

自由表面パネルの生成が解に与える影響について、Wigley 船型に対する計算例を示す。図1の2つの自由表面パネル CASE-WA, WB は Wigley 船型の流場の計算に際して自由表面パネルの生成の条件を少し変えたもので<sup>10),11)</sup>、夫々自由表面を片舷400と380にパネル分割している。自由表面パネルの配置領域と分割法は若干異なるものの、共に二重模型流場を表わす流線帯の幅は船体近傍で密、順次外側で疎とし、流線帯の分割は岐点近傍で密、船体中央と伴流域で疎となる工夫をしている。この図からは自由表面パネルの差はあまり認められない。自由表面のパネルの要目を表1に示すが、要目的にも大きな違いはない。

船体表面は片舷240にパネル分割し、WA, WBに共



(1) CASE-WA



(2) CASE-WB (CASE-W6)

図1 自由表面パネル (Wigley)  
Free surface panels

表1 自由表面パネルの要目  
Principal dimensions of free surface panels

NAME	2X/L	2Y/L	S/L <sup>2</sup>	N	ΔS/L <sup>2</sup>
CASE-WA	-1.31 ~ 2.40	0 ~ 0.75	0.70	400 (40×10)	0.0018
CASE-WB	-1.40 ~ 2.40	0 ~ 0.00	0.76	380 (38×10)	0.0020

に同じ条件で計算した。船体表面のパネル分割を図2に、計算により得た圧力抵抗を図3に示す。圧力抵抗は夫々の船体表面パネルの中心点での圧力とその位置での方向余弦の前進方向成分を掛け合わせ、その値はパネル内で一定として計算した。圧力抵抗の算出法にも種々問題を含むが、二つの計算結果の相対的な差の大きいことがわかる。同時に、この図には船体表面条件の影響量も示している<sup>10)</sup>。これは船体表面条件の扱いが異なる Dawson の方法<sup>1)</sup>、茂里—西本の第1近似法<sup>2)</sup>、荻原の第2近似法<sup>3)</sup>の比較計算を同一のプログラムにて実行し、これより船体表面条件の影響量を抽出したものである。自由表面のパネル生成の影響は船体表面条件の影響にも増して大きいことが認められ、この計算結果より境界要素法において自由表面パネルの生成が重要であることが伺われる。

3. 自由表面パネルの影響の予備調査

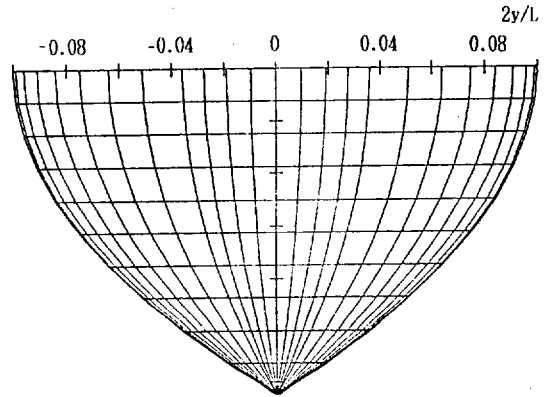


図2 船体表面パネル (Wigley)  
Hull surface panels

自由表面パネルの影響は配置領域、分割、個数に分離して検討することが効率的である。そこでその予備調査として Wigley 船型を用い、主に自由表面パネルの配置領域と分割を系統的に変えて、計算結果に与える影響を調べた。夫々の自由表面のパネルを図4に、要目を表2に示す。なお図4の図中の等高線は  $Fn=0.289$  での自由表面の吹き出し分布を表わしている。CASE-W1 は領域とパネル数を意図的に少なくし、W2, W3, W4,

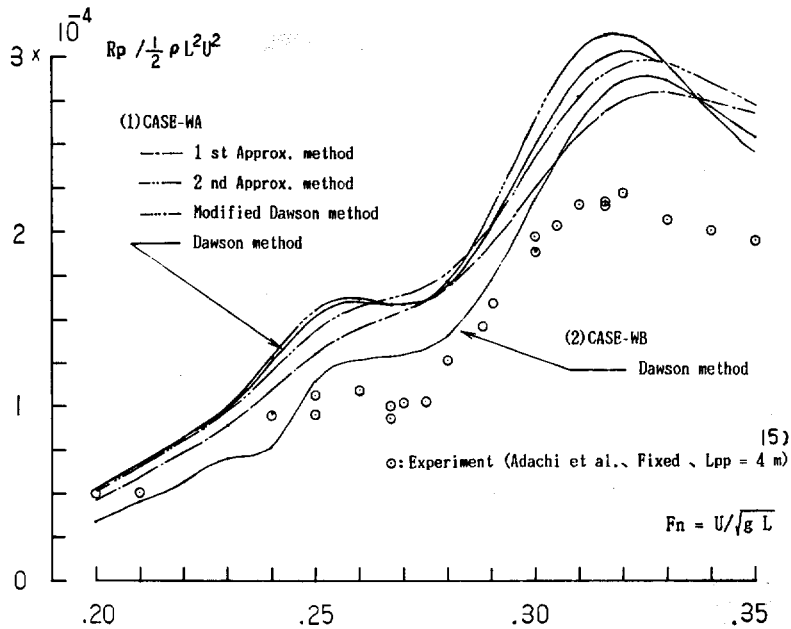


図3 圧力抵抗 (Wigley)  
Pressure resistance

W5, W6 でのパネル数は W1 よりも増して同一としている。W3 は横方向に W2 の領域を広げた場合であり、二重模型流場における流線計算の初期位置の横幅と、これより得られる流線帯の分割のピッチを全域で同一にしている。これに対して W4, W5, W6 は W3 を基準として分割したもので、W4 は流線の幅を横方向に、つまり流線帯を船体近傍で細かく順次外側で広げている。W4 の流線帯の分割は W3 と同じである。W5 は流線方向の分割を FP と AP の岐点近傍で細かくして船体中央部と伴流域では流線方向に直線的に粗く分割した場合で、流線帯は W3 の条件で計算している。W6 は W4 と W5 を合わせた配置としている。

計算は Dawson 法<sup>1)</sup>に従った。これは自由表面条件に Dawson より線形自由表面条件式 (Double model linearized free surface condition, 以下 DML と称す) を使い、遠方条件としてパネル上の吹き出しの相互干渉を 4 点上流差分で表わす。また自由表面と船体表面に配置したパネル上の吹き出しを Full Matrix の形で自由表面条件と船体表面条件から同時に計算する方法である。船体表面は図 2 に表わす分割とした。

計算より得られた船側波形と船体表面圧力分布を図 5, 6 に示す。W1, W2, W3 の比較より、領域が十分でない時は波高、圧力共に船体後半で振動し、波の波長が正しく計算されない。これは Dawson 法では自由表面の開境界の条件が入っておらず、無限領域にパネルを配置するべき計算上の基本原理を無視しているからである。これに対して W3 では W1, W2 に見られる船体後半での振動がなくなり、位相は実験値に合うようになる。従って W1, W2, W3 の比較より、妥当な解を得るには自由表面パネルの配置領域を十分広くとる必要があることがわかる。

他方、パネルの分割の影響については W3 と W4 を

表 2 自由表面パネルの要目  
Principal dimensions of free surface panels

NAME	2X/L	2Y/L	S/L <sup>2</sup>	N	ΔS/L <sup>2</sup>
CASE-W1	-1.40 ~ 1.60	0 ~ 0.28	0.21	210 (30 × 7)	0.0010
CASE-W2	-1.40 ~ 2.40	0 ~ 0.40	0.38	380 (38 × 10)	0.0010
CASE-W3	-1.40 ~ 2.40	0 ~ 0.80	0.76	380 (38 × 10)	0.0020
CASE-W4	-1.40 ~ 2.40	0 ~ 0.80	0.76	380 (38 × 10)	0.0020
CASE-W5	-1.40 ~ 2.40	0 ~ 0.80	0.76	380 (38 × 10)	0.0020
CASE-W6	-1.40 ~ 2.40	0 ~ 0.80	0.76	380 (38 × 10)	0.0020

2X/L, 2Y/L : パネルの配置領域  
S/L<sup>2</sup> : パネルの配置面積  
N : パネルの総数  
ΔS/L<sup>2</sup> : 一パネルの平均面積  
(=S/L<sup>2</sup>/N)

比べることにより、横方向の分割、つまり流線帯を変えても波高、圧力であまり差が見られず、縦方向の分割の異なる W3 と W5 の差が大きい。すなわち自由表面の横方向の分割より縦方向の分割の影響が強いことがわかる。特に岐点近傍で細かくすることにより船首、船尾波の岐点域で吹き出し分布に顕著な差を与える。W6 では W3 と W4 で認められる船体前半で抑制されていた船側波形と圧力が緩和され、実験値とよく合う傾向になっていることから、船体近傍の流線帯の縦方向の分割が重要であることが指摘できる。

自由表面パネルを再配置することを試みた。まず流線帯上の吹き出しの絶対値の総量が同一になるように、W3 の吹き出し分布を用いて 2 次元の内挿関数を適用する補間法<sup>2)</sup>によって横方向に再分割した。ついでこの流線帯に対して、各流線帯上の吹き出し強さの流線方向の

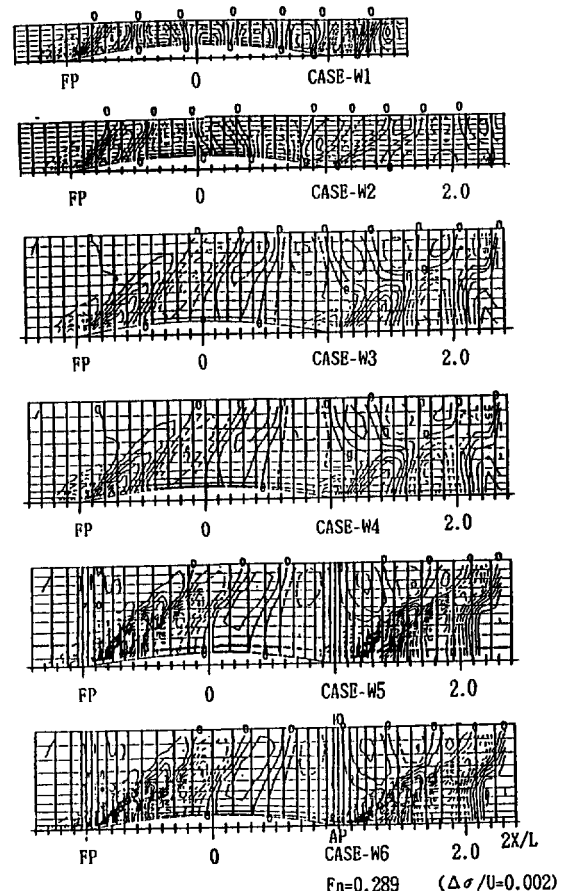


図 4 自由表面パネル (Wigley)  
Free surface panels

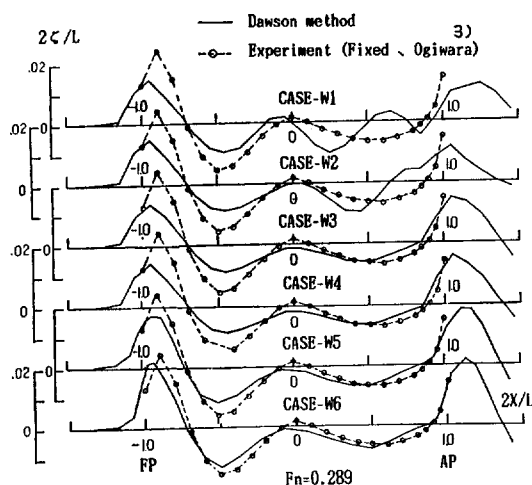


図5 船側波形 (Wigley)  
Wave profiles

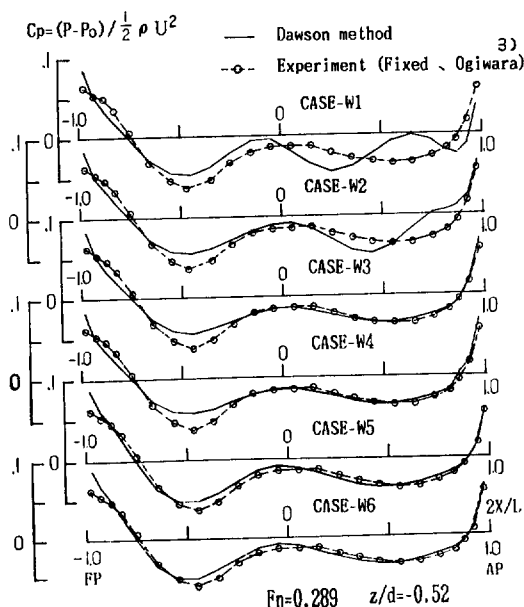


図6 船体表面圧力分布 (Wigley)  
Pressure distribution

傾きを評価指数として縦方向に分割した。以上により得られた自由表面パネルを図7に示す。この図での各流線帯での吹き出しの絶対値の総量は同一であり、夫々のパネルでの吹き出しの量は概略同じになっている。この計算法は境界要素法の間接法であるので、ある点のポテンシャルと速度はその位置に最も近いパネルからの寄与が

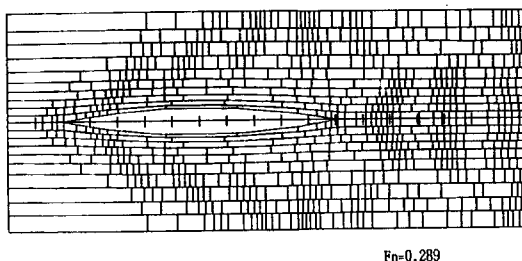


図7 自由表面パネル (Wigley)  
Free surface panels

強い。このため波高と自由表面の吹き出し分布は概略対応すると考えられる。ただし波の伝播条件が入るため位相のずれは介入するが、波の山と吸い込み、谷と吹き出しの関係で一致する。従って波高の高い船首船尾の波に合わせる形で船首船尾のパネルを細かく分割して、これを斜めに配置する Dawson<sup>1)</sup>、荻原<sup>3)</sup>、Xia<sup>9)</sup>の配置法が合理的であると考えられ、図7もこの事実を表わしている。しかし詳しく見ると、船体後半では単純に斜めに設定すればよいというのではなく、特に横波成分の強い船尾伴流域に対しては検討が求められるものと推定される。

#### 4. 自由表面パネルの影響分析

##### 4.1 開境界

Wigley 船型に対する自由表面のパネル影響の定性的な予備調査から、流線帯の分割法が船体近傍の流場に最も強い影響を与え、自由表面パネルの縦方向の分割の検討の求められることが判明した。また Wigley 船型での計算では分割数の影響分析が含まれていない。とりわけパネル数は計算の実行時の CPU と記憶容量に直接関与する事項でもあり重要である。このため Todd60 船型 ( $C_B=0.60$ ) を用いて自由表面パネルの縦方向の分割と数を系統的に変えた計算を実施し、船体近傍流場に与える影響量を分析することを試みた。

この計算に際して、自由表面パネルの配置領域を一定とした。すなわち計算の目的を船体近傍の流場を求めることに限定し、船体近傍の流れに影響を与えない開境界を自由表面領域を変えた比較計算より求め、これを固定した。図8に自由表面の領域を変えた3つの例を示す。若干の予備計算から得た CASE-TA350 をベースに、TA370 は TA350 を伴流方向にパネルを2列分伸ばした場合で、TA444 は TA370 から横方向にパネルを2列増している。夫々の自由表面パネルのもとで得られた  $Fn=0.25$  と  $0.30$  での船側波形と船体表面圧力分布を図

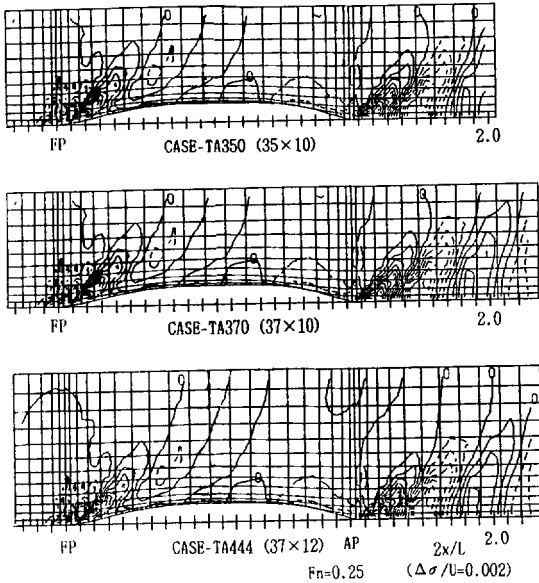


図8 自由表面パネル (Todd60)  
Free surface panels

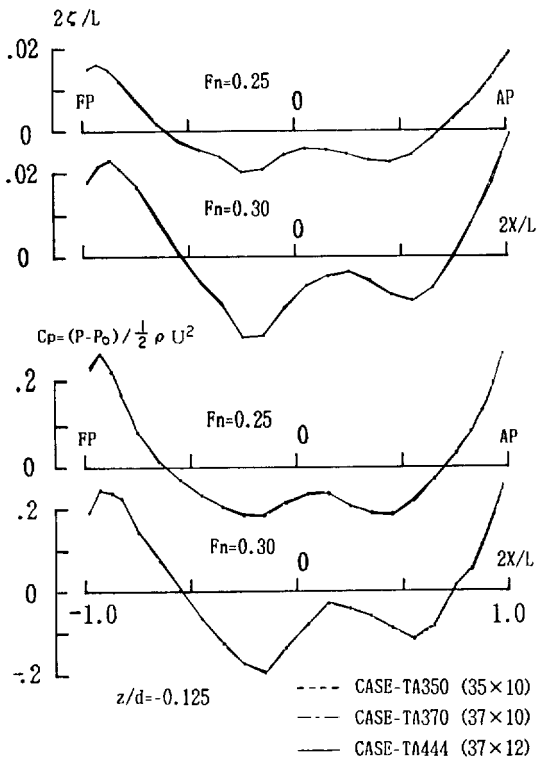


図9 船側波形と船体表面圧力分布 (Todd60)  
Wave profiles and pressure distribution

表3 圧力抵抗  
Pressure resistance

Fn	CASE-TA1	CASE-TA2	CASE-TA3
0.25	0.2243	0.2429	0.2412
0.30	2.0557	1.9598	1.9939

$C_{wp} \times 10^{-4}$

9に示す。また圧力抵抗の比較を表3に示す。どの場合も顕著な差が見られない。この結果より、船体近傍の流場を求めることが目的であればWigley船型でのCASE-W1のような極端な例は除いて、適当に領域を設定しておけば開境界の処理は無視し得ること、自由表面パネルの配置領域はTA350での領域で十分である結論が得られる。これより以下の計算ではTA350と同じ大きさとした。

なお、自由表面パネルの横方向の分割の影響はWigley船型の計算より二次の影響であることが認められているので、図10に示す算定式によって二重模型流場での流線追跡の初期位置を決め、これより自由表面パネルの流線帯を計算した。従って以下の系統的計算での流線帯はどの場合も同じにしている。

4.2 縦方向の分割と数

自由表面パネルの分割数として、CASE-TB350(35x10), TB450(45x10), TB520 (52x10), TB590 (59x10)

$$y = a \cdot i^{**} b$$

$$2y/L = 0.04 \text{ at } i = 1, \quad 2y/L = 0.80 \text{ at } i = 10$$

の条件では  $a = 0.04$ 、 $b = 1.301$

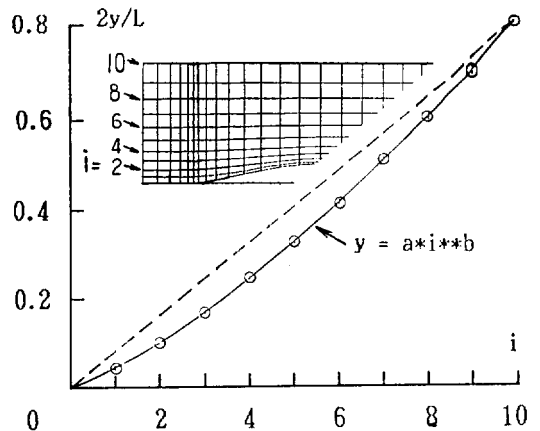


図10 自由表面パネルの生成 (流線帯の初期位置)  
Generation of free surface panels

[METHOD-1] :  $X1 = 2.0/N * i$  (0.0 ≤ 2X/LWL ≤ 1.0)

[METHOD-2] :  $X2 = \cos(\pi/2 * (1-i/N))$  (0.0 ≤ 2X/LWL ≤ 1.0)

$X = \alpha * X1 + (1 - \alpha) * X2$  (0.0 ≤ α ≤ 1.0)

2N:FP~SEまでの流線帯の分割数 (ただし、FP、SEにて対称に分割)

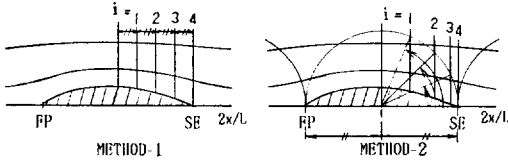


図11 自由表面パネルの生成 (流線帯の分割)  
Generation of free surface panels

10) の4例を設定した。夫々に対して図11に示す等分割法 (METHOD-1) と非等分割法 (METHOD-2) を併

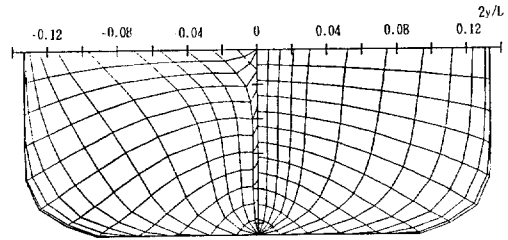


図13 船体表面パネル (Todd60)  
Hull surface panels

用し、その重みを表わすパラメーターαを順次変え、図10に示す方法から得た流線帯を縦方向に分割することにより自由表面パネルを解析的に生成した。αは0.0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00とした。これより得られた自由表面パネルを図12に示す。なお CASE-TB350 (α=0.25) のパネル分割は先の図8に示した CASE-TA350

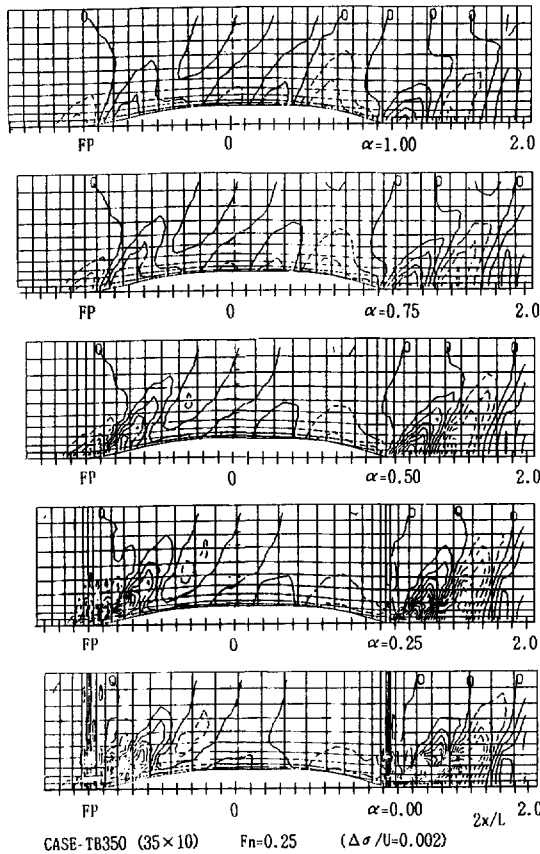


図12(a) 自由表面パネル (Todd60)  
Free surface panels

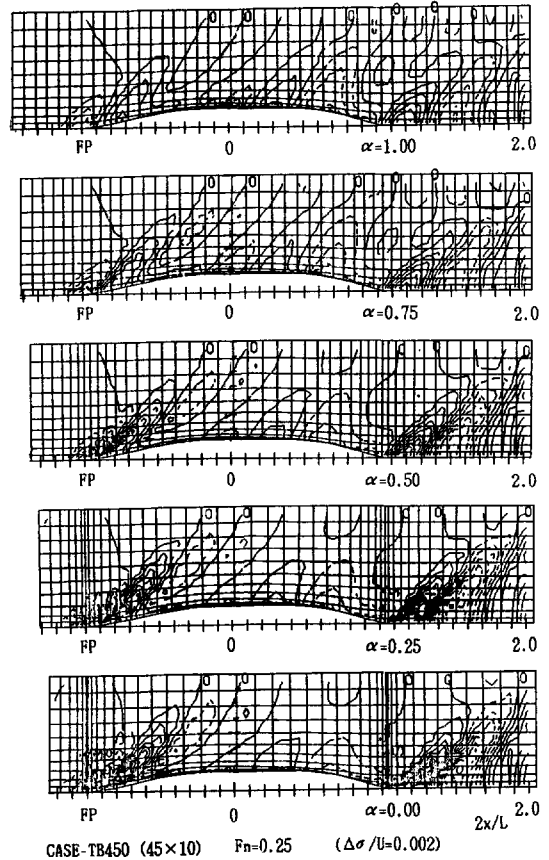


図12(b) 自由表面パネル (Todd60)  
Free surface panels



に対応したものであり、開境界の影響分析の計算ではこの分割を基準にした。ここで $\alpha$ は一定定数で場所の関数ではないので、船首と船尾端を境としてパネルは対称になるものの、流線帯の分割の有り方の大半が含まれていると判断した。METHOD-2は2次元の翼まわりの流場計算に用いられる手法で<sup>13)</sup>、式の上では船首、船尾端を岐点とみなしていることになる。しかしここで用いている計算法では、パネル内の吹き出しの分布形に対して一定要素の条件を採用しており、境界条件はパネルの中心でのみ合わせているため緻密な岐点を計算に含んでいない。従いMETHOD-2の分割にも問題を持つが、これらは今後の課題としてここでは指摘するだけに留める。なお計算はDawson法<sup>1)</sup>とし、船体表面を片舷291にパネル分割した。図13は船体表面の分割を示しており、先の図9に示した計算結果も含め以下の計算ではすべてこの分割にて実行した。

夫々の分割数において $\alpha$ を変えた時の自由表面の吹き

出しの分布を図12に示す。パネル数を増す、岐点で密とする程、吹き出しの変化が急になる。Fn=0.25, 0.30での船側波形、Fn=0.30での船体表面圧力分布を夫々図14, 15に示す。定性的にはどのケースも実験値をよく表わしているが、船側波形、船体表面圧力分布共に分割と数に強い影響を受ける。船首の波の山と谷で計算値が実験値より小さくなる傾向は、先の図5, 6に示すWigley船型の計算結果においても見られることである。船体前半の波の山谷が抑制される一要因として自由表面条件の非線形項の影響があげられるが、この計算によれば船体前半の波の山と谷において、 $\alpha$ の選択によって実験値をよくフォローする。また $\alpha$ が1.0の等分割では数を増す程、順次実験値に接近していく傾向にある。すなわちDMLの条件下でも自由表面パネルの縦方向の分割と数を適時設定すれば、実験値をよく表現でき、Dawson法の可能性を示していると考えられる。他方、船体後半での実験値との差は粘性影響、特に境界層の排除影響に

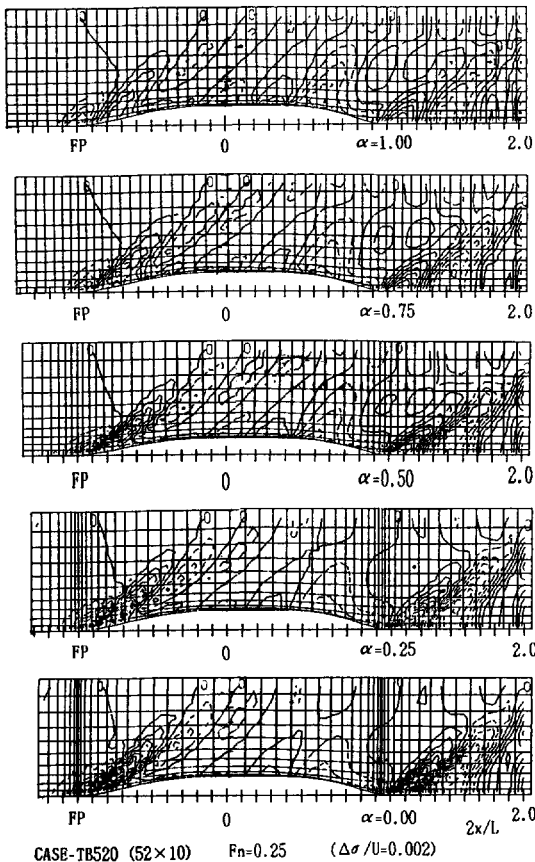


図12(c) 自由表面パネル (Todd60)  
Free surface panels

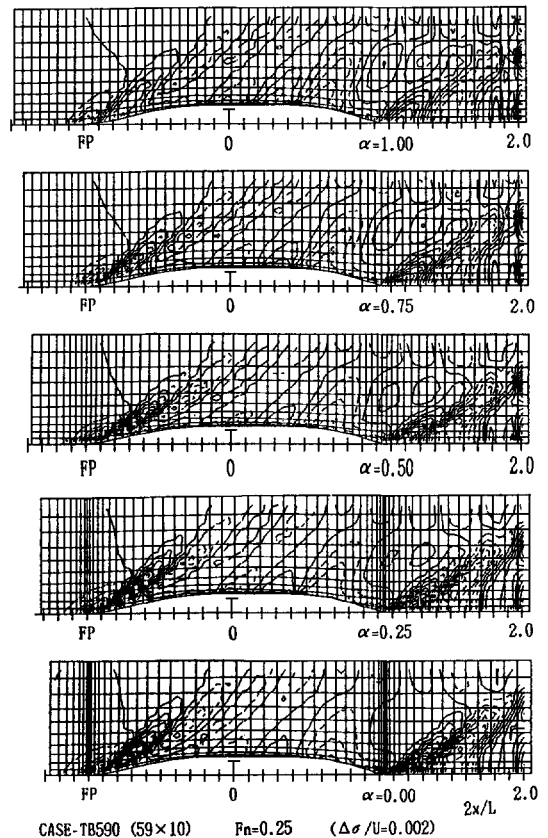


図12(d) 自由表面パネル (Todd60)  
Free surface panels

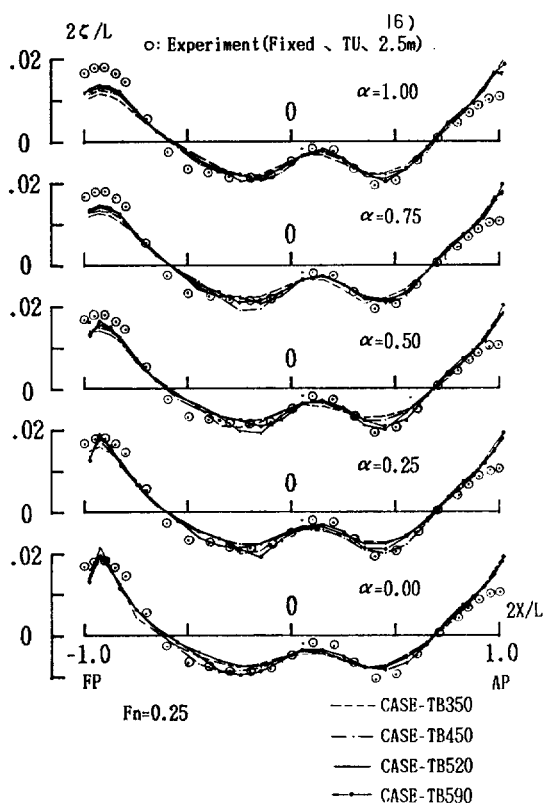


図14(a) 船側波形 (Todd60)  
Wave profiles

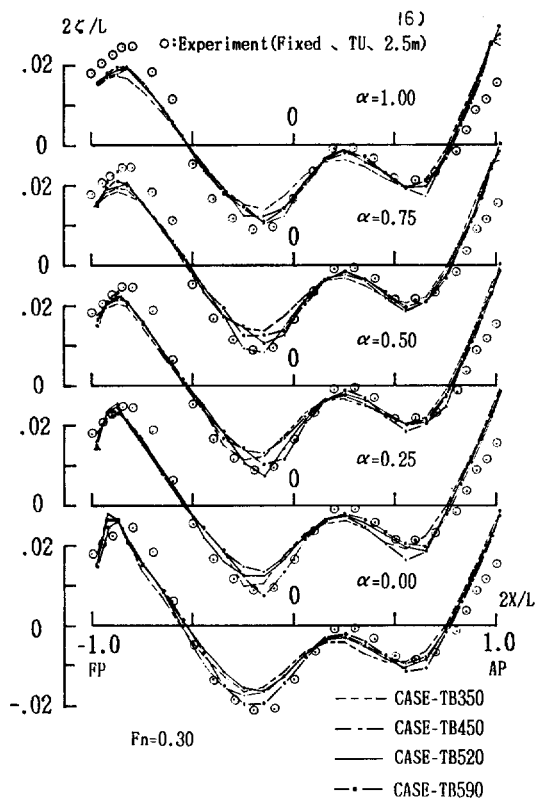


図14(b) 船側波形 (Todd60)  
Wave profiles

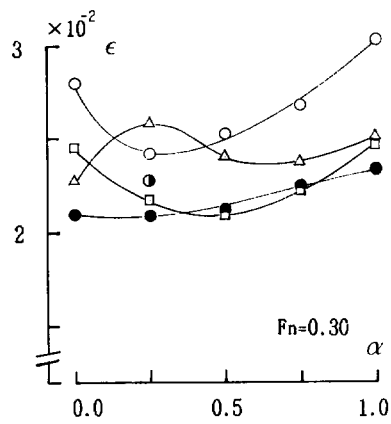
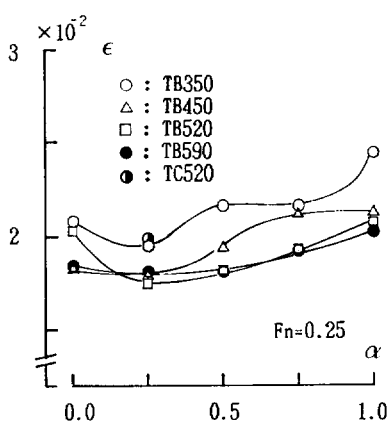


図16 船側波形の誤差評価  
Calculated error of hull side wave profiles

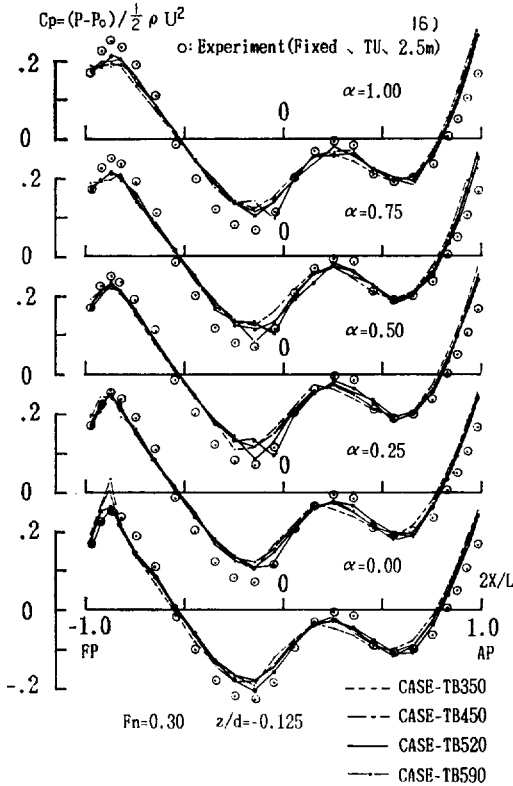


図15 船体表面圧力分布 (Todd60)  
Pressure distribution

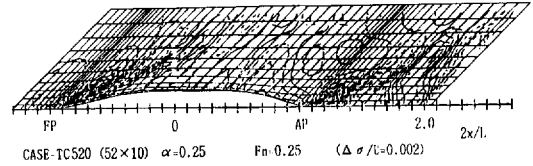


図18 自由表面パネル (Todd60)  
Free surface panels

よると考えられるが、この領域では自由表面パネルの分割の影響を受けない興味ある事実が得られている。これらの事実は一連の系統的な計算によって始めて得られた結果であり、数値計算での系統的計算の重要性を示唆しているものであることを強く強調したい。

計算条件の評価のため、計算値と実験値との差を定量的に扱うことを試みた。そこで(1)式に示す船体波形の実験値と計算値の差  $\epsilon$  をパネル生成の是非の評価関数として比較した。ここで  $L_R$  は船側に沿う水線長さである。 $\epsilon$  は単位水線長さの船体波形の計算値  $\xi$  と実験値  $\xi_0$  の差

$$\epsilon = \frac{g}{U^2} \sqrt{\frac{\int (\xi - \xi_0)^2 dt}{L_R}} \dots\dots\dots (1)$$

の無次元量を表わし、(1)式での積分はスプライン関数による補間法を用いて計算した。Fn=0.25 と 0.30 での  $\epsilon$  を図16に示す。この結果からも自由表面パネルの縦方向の分割と数が重要であることがわかる。 $\alpha$  が1に近い

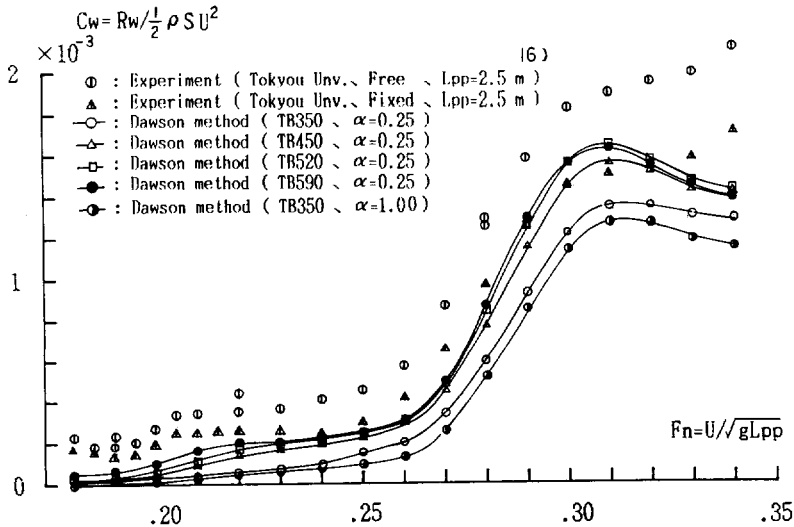


図17 圧力抵抗 (Todd60)  
Pressure resistance

時、すなわち等分割の重みが大い場合には数を増す程よい計算結果が得られており、逆に $\alpha$ が0に近い所では必ずしも数を増せばよい結果にはつながらないことを示している。この傾向はFn数が高い程著しい。ただしこの事実は一定要素法による計算であること、分割数が十分でないことに基づく可能性が強く、高次要素法を適用したり、パネル数を無制限に増加した場合には $\alpha$ の依存性は小さくなるものと推察される。さらに計算結果には境界層の排除影響、自由表面条件の非線形項や粘性影響が含まれていないので、実験値との必要以上の細かい比較は無意味であるが、自由表面パネルの影響の基本的な特性は得られていると考えられる。

圧力抵抗を計算した結果を図17に示す。圧力積分はWigley船型での計算と同様、圧力の作用をパネル内で一定として計算した。二重模型流場での圧力抵抗は0にならず、浸水面積ベースの無次元値で $-0.0421 \times 10^{-3}$ の抵抗が生じたが、この値を基準に積分値をソフトして処理した。船体表面パネルの設定と圧力積分法にも問題を残すが、自由表面パネルの縦方向の分割と数は圧力抵抗に対しても強い影響を与えることを示している。

なお、CASE-TB520( $\alpha=0.25$ )の分割をもとに、パネルを45°斜めにした時の計算を行った。この設定はXiaの方法<sup>9)</sup>で、この場合の自由表面パネルを表わす図18より、斜めへの配置は自由表面の吹き出しの分布と対応しているので合理的と考えられる。またWigley船型での自由表面パネルの再配置の計算結果を表わす図7においてもこのことが示されているが、図16にて図示する $\epsilon$ では必ずしも良い結果が得られていない。評価関数 $\epsilon$ の定義が妥当でないことによるのか理由は定かではないが、斜めに配置する方法にも問題を残していることが指摘できる。

## 5. 自由表面パネルの生成の一指針

Todd 60船型に対する系統的な計算結果からDawson法での自由表面パネルの生成に関する一指針として次のことがあげられる。自由表面パネルの配置領域は、図9に示したTodd60船型のCASE-TA350の計算結果より、横幅は船長の4割、船体件流域に対しては船長の5割が一基準になり得る。実用船型に適用する時、自由表面の遠場では細長体理論が適用できるものとするれば、上記の値をもとに船幅/船長比を変数として横方向に伸ばせばよい。自由表面パネルの横方向の分割は二重模型流場から求まり、この初期位置は図10に示した値が一つの目安になる。縦方向の分割は図11で示した方法を用いるとすれば、 $\alpha=0.25$ が妥当な値である。分割数は誤差評

価 $\epsilon$ と圧力抵抗がCASE-TB520で概略収束していることから500個程度が基準になり得る。ただし、船側波形、船体表面圧力分布、圧力抵抗共に一二の例外を除いて分割数を増せば計算精度が上がる傾向にあり、計算機の処理速度と記憶容量等に応じて決められるべきである。また、以上の値は流場が単純で、船型的にも扱いやすいTodd60船型に対して得られた目安であり、実用船型に適用する時はFn数や船型主要目及び船型形状の特殊性を考慮して決めなければならないことは述べるまでもない。

## 6. 結 言

境界要素法の自由表面パネルの影響を分析し、この生成の指針を得るため自由表面パネルを系統的に変えた計算を行った。この結果、以下の結論を得た。

- (1) 自由表面パネルの生成は数値解に強い影響を与える。特にパネルの生成に際して縦方向の分割の影響が大きく、岐点近傍での処理が重要である。
- (2) 自由表面パネルの横方向の分割、すなわち流線帯の幅も数値解に強い影響を持つが、縦方向の分割に比べ二次のオーダーである。
- (3) 自由表面パネルの配置領域も重要な課題であり、計算法の基本原理に立ち帰りより適切な遠場の取り扱いを検討しなければならない。ただし、実用的な観点から船体近傍の流場を求めることのみを目的とする場合には、適時領域を設定すれば開境界の処理は無視し得る。
- (4) 自由表面パネルの数は縦方向の分割と共に重要であり、Dawson法で用いられている一定要素法の限界と高次要素法の可能性を示唆している。
- (5) 自由表面パネルの縦方向の分割を解析的に求める手法を示したが、その適性値はFn数に依存し一意に定まらない。ただし $\alpha=0.25$ が概略の目安になり得る。
- (6) この系統的な計算により自由表面パネルの生成に関する一指針を示した。ただし、計算機のハード面の環境と適用する船型の特殊性に応じた模索と工夫が求められる。

この計算の一部は日本造船研究協会によるSR210<sup>11)</sup>において実施し、ここで用いた計算プログラムは(社)日本中型造船工業会のプロジェクト<sup>12)</sup>にて開発したものであることを付記する。本研究の実施において広島大学工学部の茂里一弘教授より有益な御助言をたまわったことを記して謝意を表す。また本論のまとめにあたり当研究所漁船工学部の斎藤宗韶部長と船体性能研究室の山越康行室長より種々御配慮を頂いた。厚く御礼申し上げます。計算は農林水産研究計算センターのACOS930によ

った。

### 参 考 文 献

- 1) Dawson, C. W.: A Practical Computer Method for Solving Ship Wave Problems, Pro. of 2nd Inter. Conf. on N. S. H., Berkeley (1977)
- 2) Mori, k., Nishimoto, H.: Prediction of Flow Fields around Ships by Modified Rankine Source Method, Journal of S. N. A. Japan Vol.150(1981)
- 3) 荻原誠功: Rankine Source 法による船体まわりの流れの近似計算法, 関西造船協会誌, No. 190 (1983)
- 4) 荻原誠功, 丸尾 孟: 船体まわりの自由表面流れの非線形計算法, 日本造船学会論文集, Vol. 157 (1985)
- 5) Jensen, G., Mi, Z. X., Söding, H.: Rankine Source Methods for Numerical Solutions of the Steady Wave Resistance Problem, Proceedings of Sixteenth Symposium on Naval Hydrodynamics, Berkeley (1986)
- 6) 池畑光尚, 田原祐介: 船体まわりの自由表面流に及ぼす境界層と伴流の影響, 日本造船学会論文集, Vol.161 (1987)
- 7) 安藤潤, 中武一明: Rankine Source 法による波流れの一計算法, 西部造船会々報, No.87 (1981)
- 8) 安川宏紀, 永松哲郎: Rankine Source 法による推力減少率に及ぼす自由表面影響の計算, 16th JS PC 研究資料 (1988)
- 9) Xia, F.: Numerical Calculations of Ship Flows with Special Emphasis on the Free Surface Potential Flow, PhD Thesis, Chalmers Univ. of Technology, Göteborg (1986)
- 10) 川島敏彦, 梶谷尚: Rankine-Source 法における船体表面条件の影響, 船舶数値流体力学フォーラム (1987)
- 11) 日本造船研究協会: SR210 船体及びプロペラ周囲流場の数値解析法に関する調査研究報告書 (1988, 1989)
- 12) 川島敏彦: 数値計算における自動作画処理法の開発, 水産工学研究所報告, No.10 (1989)
- 13) 土井康明: 数値計算における要素技術について, 船舶数値流体力学フォーラム (1987)
- 14) 日本中型造船工業会: 中型船の近代的設計・工作法に関する研究事業報告書 (1987, 1988, 1989)
- 15) 足達宏之, 曰夏宗彦, 神蔵輝男: 薄い船の抵抗成分分離の実験的研究, 船舶技術研究所報告 Vol.10, No.1 (1982)
- 16) Kajitani, H., Tsuchiya, Y., Kanai, M.: ITTC Cooperative Experiments on Series 60 Hull at UT-Tank (1986)

## Generation of the free surface panels in boundary element method

By

Toshihiko KAWASHIMA and Hisashi KAJITANI

### Summary

Numerical analysis is tried to investigate the effect of the free surface panels in Dawson's boundary element method. By systematically changing panel region, panel number, and panel division, examination is made on the hull side wave height, the hull surface pressure distribution, and the pressure resistance. It is obtained that the panel generation of the free surface has direct effects on the calculated hull flow field. Next it is shown that the division of streamline belts under double model flow and the number of free surface panels play the important role to obtain reasonable results. A guideline is proposed for the generation of free surface panels.