

海水打ち込みによる甲板水量及び甲板荷重に関する実験的研究

正員 小川剛孝* 正員 田口晴邦*
正員 石田茂資*

Experimental Study on Shipping Water Volume and its Load on Deck

by Yoshitaka Ogawa, Member Harukuni Taguchi, Member
Shigesuke Ishida, Member

Summary

In order to develop a practical prediction method for shipping water volume, load and pressure due to deck wetness, a model test was carried out for a domestic tanker in regular head seas. Shipping water height, load and pressure were measured at various ship speed and wave steepness. As for the occurrence of deck wetness, N. S. M. calculation of relative water height at bow gives a good estimation if the bow top height is reduced by considering the static swell up.

A practical prediction method for shipping water height, load and pressure was proposed. The inputs of this method are relative water height at bow, pitching angle and bow vertical velocity, those can be calculated by strip theory and so on. The theory of "flood waves" was applied for evaluating the shipping water height from the relative water height at the bow and so on. This theory gives a better estimation of the water height distribution on deck than the conventional model of "dam collapsing" because it can include the effect of ship forward speed. On the shipping load and pressure, not only the static component but also the time derivative of the momentum of the shipping water were considered. It was clarified that the momentum component is important to estimate the peak of shipping water load and pressure. Having compared with measured data, it was confirmed that the combination of these two methods is practical enough for predicting shipping water load and pressure.

1. 緒 言

満載喫水線基準は、復原性、構造強度等の様々な安全性を確保する目的で船舶の最大喫水を決定する基準である。現行の基準は、国際的には1966年の国際満載喫水線条約として、国内的には内航船に関する基準も含めて1968年に満載喫水線規則として規定されている。しかしながら、これらの基準は経験則に基づくものが多く、工学的手法を用いた合理化を国内外から求められており、近年条約及び国内規則の見直し作業が行われつつある¹⁾。

満載喫水線基準を合理的に規定するためには、基準が担保している安全性を定量的に評価する必要があると考えら

れる。しかしながら、現在行われている基準の見直し作業では、海水打ち込みに関する安全性をどのように評価するかが問題となっている。海水打ち込みはよく知られているように、船体及び甲板上構造物への損傷や作業性の低下を引き起こす可能性がある。このため、海水打ち込みに関する安全性を評価するためには、甲板水位及び甲板荷重を定量的に求める必要があるが、打ち込み水の挙動は複雑であり、これに関連する諸量を精度よく求ることは難しい。

これまでにも海水打込みに関して数多くの研究がおこなわれている。甲板水については、郷田等²⁾³⁾、溝口⁴⁾の研究などがあり、波浪衝撃圧については、栖原等⁵⁾、川上等⁶⁾、竹沢⁷⁾等の研究などがある。また、船型要素が海水打込みに及ぼす影響についても数多く調べられており、Newton⁸⁾、Lloyd et. al.⁹⁾、O'Dea et. al.¹⁰⁾、高木等¹¹⁾の研究がある。海水打込みに関する諸量の相関については、打込み現象に相対水位変動や船速の影響が大きいこと¹²⁾また、甲板荷重は甲板水位に強い相関があること⁴⁾⁶⁾等数多く調べられて

* 運輸省船舶技術研究所

原稿受理 平成9年7月10日
秋季講演会において講演 平成9年11月14, 15日

いる。しかしながら甲板水圧や甲板水量に関する簡易推定式⁵⁾⁶⁾¹³⁾や甲板水の挙動に関する数値計算⁴⁾はあるものの精度のよい実用的推定手法が確立されているとは言い難く、現状では相対水位変動と乾舷の大小関係により海水打ち込みの有無を判別する程度にしか研究成果が活用されていない。近年めざましい発達を遂げている数値流体力学も現状では打ち込み現象を説明するには至っていない。

今回、筆者らは、合理的な満載喫水線基準を検討するためのツールとして甲板水や甲板荷重といった打ち込み水に関連する甲板上の諸量を推定する実用的な手法を開発することを目的に、船体運動、船首相対水位、甲板水位分布及び甲板荷重等の計測を行い、これらの定量的な関係を調べるとともに甲板水の挙動に関してモデル化を行った。そして、これらを用いて甲板荷重の推定及び検討を行ったので以下に報告する。

2. 模型実験

2.1 実験方法

使用した模型は、一般的な内航タンカー（749 GT型、 $L_{pp}=72.0\text{ m}$ ）の木製相似模型（縮率：1/18）である。主要目をTable 1に、Body planをFig. 1にそれぞれ示す。実験は、運輸省船舶技術研究所角水槽（80×80×4.5 m）において

Table 1 Principal particulars

	Ship	Model
L_{pp}	72.0 m	4.00 m
B	11.5 m	0.638 m
D	5.25 m	0.292 m
d	4.74 m	0.263 m
Disp.	2720 t	466.4 kg
GM	1.37 m	0.076 m
C _b	0.68	0.68
T _r	7.8 sec.	1.83 sec.

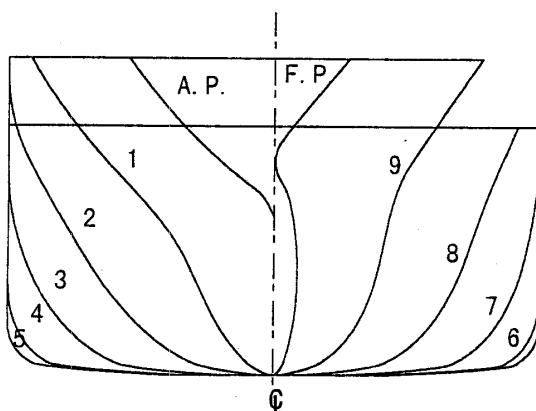


Fig. 1 Body plan

て行った。模型船を無線操縦により規則波中で自由航走させ、船体運動、相対水位変動、甲板上水位分布、甲板荷重及び甲板水圧を計測した。これにより、どのような場合に海水打ち込みが発生し、その際にどの程度の水量や荷重及び水圧が甲板に作用するかを調べた。波との出会い方では打ち込みが最も激しいと考えられる正面向波中で行った。

船速と波高波長比は、それぞれ $F_n=0.1$, $H/\lambda=1/30$ を基本にした。ただし、打ち込みが激しく発生する場合には、船速と波高影響を調べるためにこれらを変えて計測を行った。実海域で海水打ち込みが発生するような状況では、自然減速や意識的減速により船速が低下するはずであるが、ここでは各パラメータの影響評価を行うという目的から、モーター回転数ではなく船速を一定とした。また、波長船長比は $\lambda/L=0.5 \sim 2.0$ の範囲で変化させ、打ち込み限界を調べた。

2.2 計測項目

船体運動に関しては、光ファイバージャイロを用いて、縦揺れ、上下加速度、前後加速度の計測を行った。両加速度は、重心位置等の補正を行った後に動搖変位に換算した。また、船首に容量式相対水位計を取り付けた。

甲板上の代表量としては、甲板水位分布と甲板荷重及び水圧の計測を行った。船首部の計測装置の配置をFig. 2に示す。船首樓甲板に作用する甲板荷重を計測するために、船首樓甲板全面を主船体から分離し、甲板下に検力計を取り付けた。なお、船首樓甲板及び取り付け治具による慣性力の影響を極力押さえるため、これらの軽量化に留意した。解析の際は、検力計と同じ位置で計測した加速度計データを用いて慣性力を取り除いた。模型船内部への防水のため甲板と主船体の間にシリコンを注入したが、これによる減衰力等の影響はないことを確認した。また、局所的な荷重も調べるために船首樓甲板上で上下方向水圧の計測も行った。水圧計は船首付近でセンターライン上の4点（F.P.の前方120 mmと70 mm及び後方50 mmと120 mm、以

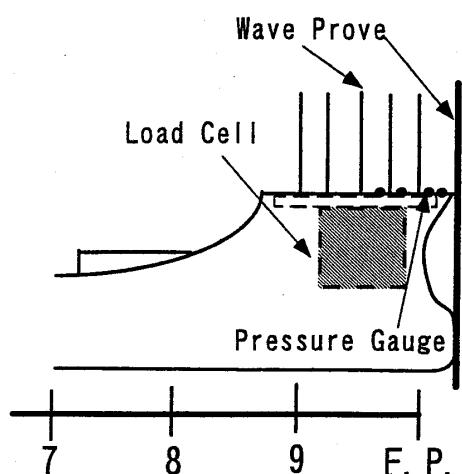


Fig. 2 Sensors on the foredeck

下各々 P 1～P 4 と呼ぶ)に取り付けた。

また、船首樓甲板上での水位分布を計測するために、F. P. から S. S. 9 までの 1/4 S.S. 每 (模型船スケール 10 cm 間隔) に容量式水位計¹⁴⁾ を配置した。この水位計により各 S. S. での平均水位がわかる。甲板水量は、これらを船長方向に積分することで求めた。

これらの計測データは模型船上に搭載したテレメータ装置で計測室に送信し、A/D 変換を行った。また、甲板荷重及び水圧は、高い周波数応答が予想されたため、模型船上に搭載した A/D 変換器で直接記録する方法を採用した。さらに、甲板上の打ち込みの様子を観測するため模型船上にビデオカメラを取り付けた。

3. 実験結果

3.1 船体運動及び相対水位変動

波高波長比 $H/\lambda = 1/30$ の場合の船体運動を、Fig. 3 から Fig. 5 に各々示す。実験値は計測波形を Fourier 解析して求めた出会い周波数成分の振幅であり、縦揺れは波傾斜、上下揺、前後揺は波振幅で各々無次元化した値である。横軸には波長長比 λ/L を示す。図中の実線は、Strip 法 (NSM) による計算値である。波長が長くなると若干実験値の方が計算値よりも過大になるが概ねよい一致を示している。本実験の船型は、船体中央部の乾舷が低いため水が乗り上げやすいという特徴があり、実験でもほとんどの実験状態で中央部が冠水していたが、strip 法のような線形計

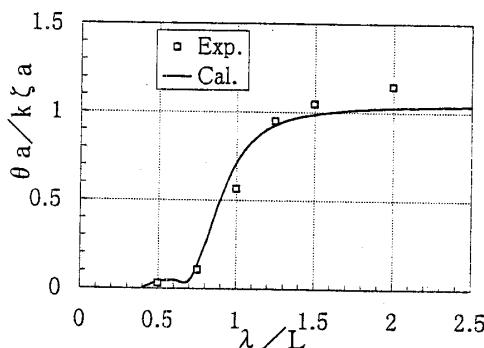


Fig. 3 Pitch amplitude ratio ($F_n=0.1, H/\lambda=1/30$)

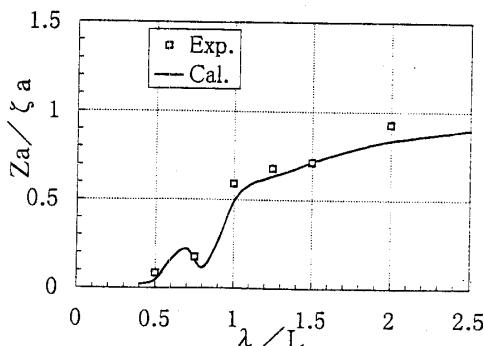


Fig. 4 Heave amplitude ratio ($F_n=0.1, H/\lambda=1/30$)

算でも実用上問題はないと考えられる。

同様に船首相対水位の振幅を Fig. 6 に示す。実線は NSM による計算値で、Dynamic Swell up 成分も含んだものである。また、比較のために、Bow Top の高さを波振幅で無次元化した値 f' も同図中に示した。相対水位振幅が f' より上にあれば打ち込みが発生することになる。ただし、打ち込み限界を精度良く推定するためには、図中の実験値および計算値に含まれていない Static Swell up 成分も考慮しておく必要がある。そこで、平水中の計測値からその成分を求め、Bow Top 高さの低下と見なして補正したもの ($f' - hs$) を同図中に点線で示す。

実験では $\lambda/L = 1.0 \sim 2.0$ の間で打ち込みが観測されており、船首相対水位の実験値と $f' - hs$ との大小関係に一致していることがわかる。このケースでは船首相対水位に計算値を用いた場合も概ね一致しているが、Bow top がもう少し高くなると打ち込みの発生する波長範囲をやや過大評価することが予想される。この点を改良するには、非線形性が大きくなる大振幅船体運動の計算手法の精度向上が必要となると考えられる。

3.2 甲板水量及び甲板荷重に対する波高及び船速の影響

海水打込みに影響を及ぼすものとして、船速、波高、乾舷高さやフレア、ナックル及び甲板形状などの船型要素等

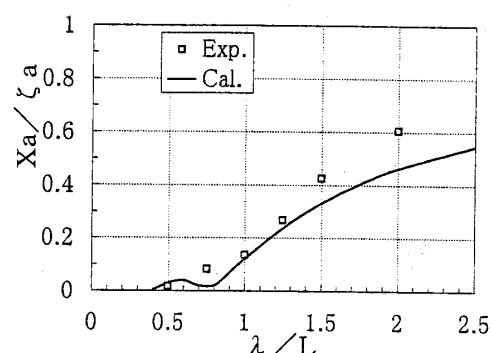


Fig. 5 Surge amplitude ratio ($F_n=0.1, H/\lambda=1/30$)

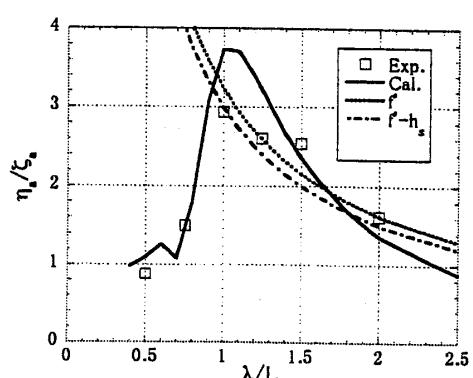


Fig. 6 Relative water height amplitude ratio ($F_n=0.1, H/\lambda=1/30$)

が考えられる。本実験では、このうち船速と波高を変化させた実験を行い、甲板水量や甲板荷重に及ぼす影響を調べた。

はじめに計測波形の一例を Fig. 7 に示す。甲板水位の時系列から、急激に水が流入していることや甲板荷重と水圧が衝撃波形になっていることがわかる。竹沢等⁷⁾は甲板水圧の波形を主に振動型と非振動型に分け、各々について推定方法の検討を行なっている。そこでは、計測波形の 6 割が振動波形であることが報告されているが、今回計測を行った水圧は大部分が非振動型であった。

波高の影響について調べるために $\lambda/L = 1.0, 1.25, 1.5$ の場合について波高波長比を変えて計測を行った。Fig. 8 に横軸に波高波長比をとった際の、甲板水量や荷重及び水圧の変化を示す。水量は一周期当たりの平均水量であり、甲板荷重及び水圧についてはピーク値の平均値である。すべての λ/L に関して、波高波長比が大きくなるにつれて水量、荷重及び水圧は各々大きくなることがわかる。同様に横軸に船速をとった際の変化を Fig. 9 に示す。すべての λ/L に関して、船速が大きくなるにつれて水量、荷重及び水圧各々大きくなるが、その傾向は打込みの激しい $\lambda/L = 1.25$ において顕著である。

また、同じ λ/L の場合の甲板水量、荷重及び水圧は定性的に同じような傾向を示している。この事から、これら甲

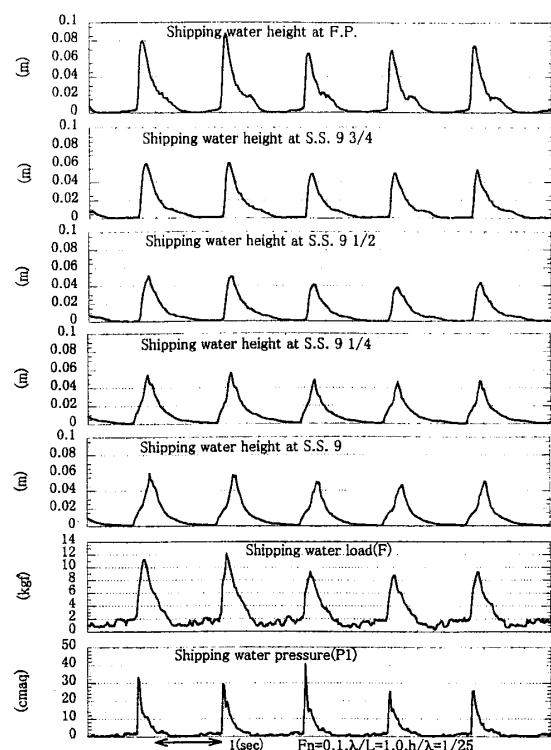


Fig. 7 Example of time histories of shipping water height, load and pressure

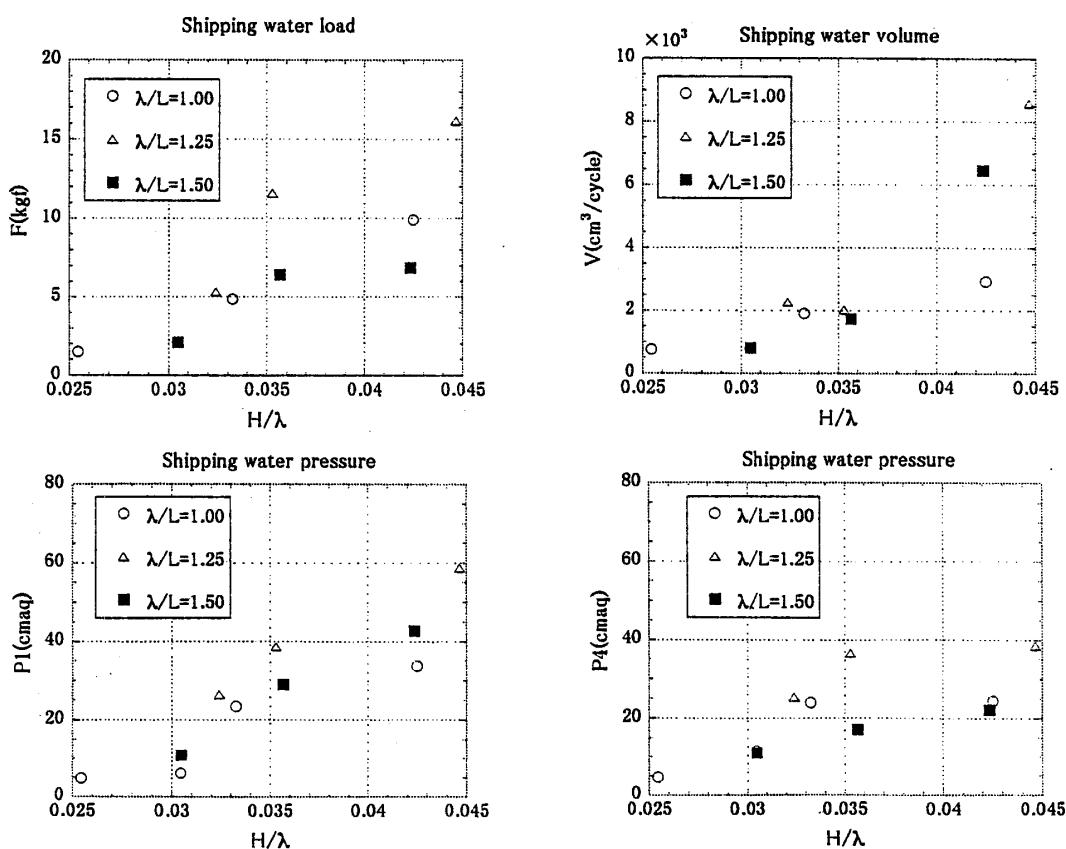


Fig. 8 Effect of wave steepness on shipping water ($F_n = 0.1$)

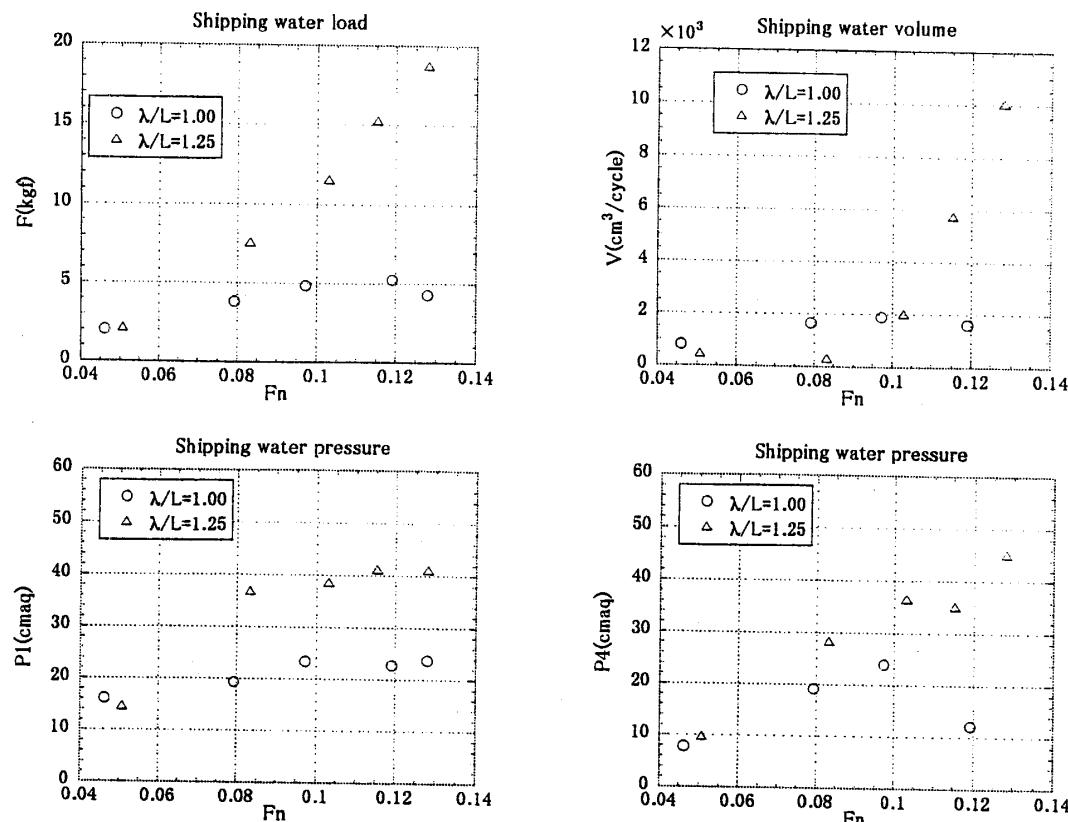


Fig. 9 Effect of ship speed on shipping water ($H/\lambda = 1/30$)

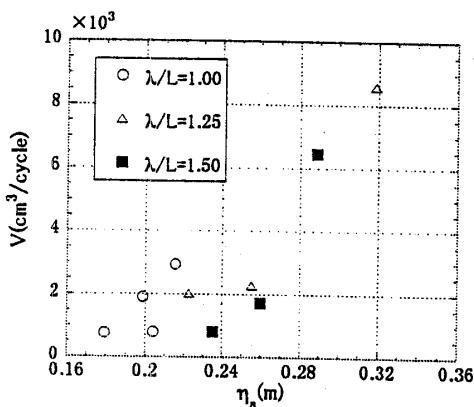


Fig. 10 Relation between shipping water and relative water height at stem

板上の諸量の相関はかなり強いと考えられる。また、Fig. 10に横軸を船首相対水位変動とした場合の甲板水量を示す。水量は船首相対水位とも強い相関をもっていることがわかる。

4. 甲板水量及び甲板荷重の推定

前節に示したように、船首相対水位、甲板水位、甲板荷重等の間には強い相関関係が存在する。ここでは、これらの量を定量的に結びつけるモデルを示し、Strip 法等によ

って計算できる船首相対水位、縦揺れ及び船首上下速度を用いて、甲板水位、甲板荷重及び甲板水圧を推定する手法を提案する。モデルは、甲板水位等を既知として甲板荷重及び甲板水圧を推定するものと、船首相対水位等を既知として甲板水位を推定するものに分かれるので、それぞれ別個に説明する。

4.1 甲板水量による甲板荷重の推定法

まず、甲板水位等を既知として甲板荷重及び水圧を推定する方法について述べる。

甲板水圧と甲板水位との相関は、これまでに、川上等⁶⁾や竹沢等⁷⁾による実験でも確かめられているが、甲板水位やそれを積分して求めた甲板水量から甲板水圧や甲板荷重をよい精度で定量的に推定するには至っていない。

近年、Buchner¹⁵⁾は甲板水圧 P を

$$\begin{aligned} P &= \frac{d(\rho h \cdot W)}{dt} + \rho gh \cos \theta \\ &= \rho \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) W + \rho \left(g \cos \theta + \frac{\partial W}{\partial t} \right) h \end{aligned} \quad (1)$$

で推定することを提案している。ここで ρ は密度、 h は甲板水位、 W は鉛直方向速度、 g は重力加速度、 θ は縦揺れ角である。この式は甲板水のもつ運動量変化による動的な水圧も含めて推定するもので、第1項は打ち込み水位の変動に伴う運動量変化、第2項は慣性力を表わす。Buchner は甲板水位データを用いてこの式から甲板水圧を推定し、計測

値とよく一致することを示した。また、衝撃荷重は(1)式の第1項に起因するため、甲板水圧のピーク値にはこの項が大きく影響すると考察している。

ここでは、同様の考え方で甲板水量と甲板荷重の関係を調べた。Fig. 11に荷重の計測値と推定値の時系列の比較を示す。(1)式の h には甲板水量の計測値を用いた。求めた甲板荷重と各成分を共に図中に示す。これによると、甲板水量から推定した甲板荷重は計測値とかなりよく一致している。全般的には(1)式の第2項、すなわち甲板水の静的な荷重が最も大きい割合を占める。しかし、立ち上がりからピークにかけては、水位変化の項が大きな影響を及ぼしている。従って、甲板水の自重だけでは、荷重のピーク値を過小に評価することとなり、水位変化に伴う運動量変化を無視できないことがわかる。他の場合についても以上と同様の結果を得ており、波高波長比や船速が異なる場合でも(1)式で甲板荷重を表現できることを確認した。

4.2 甲板水位の推定法

これまでの結果から、甲板荷重や甲板水圧を推定するためには、甲板水位 h の時間変化を精度よく推定する必要があると考えられる。しかし、甲板水の挙動は複雑であり、これらを厳密な形で表現することは容易でない。よって、甲板水の挙動をモデル化し、それを用いて甲板水位の推定を行うこととした。甲板水を表わすモデルとして考えられているものにダムの崩壊モデル²³⁾があり、これは静止した水壁がある瞬間から崩れて起きる流れを表現したモデルである。しかし、今回模型船に搭載したビデオカメラによる観察結果では、激しい打込みが生じる場合には、水が大きな壁となって後方に流れており、溝口⁴⁾による観察結果と同様の結果を得た。また、ダムの崩壊モデルを用いて甲板水位の推定を行ったが、Fig. 7に示すような水位を表現できないことがわかった。これらのことから船速による動的な影響を取り入れる必要があると考えられた。

溝口⁴⁾は、船首樓甲板端部での船長方向の流入速度を船

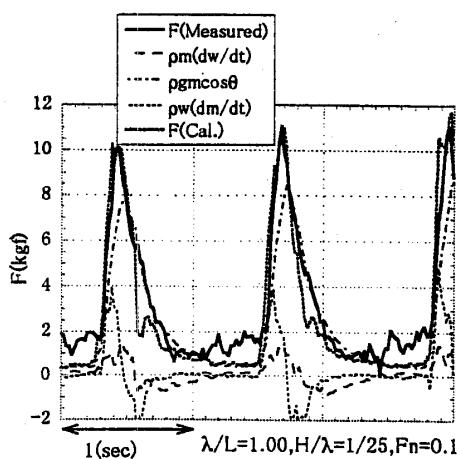


Fig. 11 Comparison between measured and estimated shipping water load

速とし、浅水波の仮定のもとに特性曲線法を使って甲板水位を求めている。現状では、この手法はよい精度で解を与えると考えられる。しかしながら、甲板上の諸量の実用的な評価手法の確立という所期の目的を考えると簡易さに欠けることも否めない。そこで、洪水流の理論¹⁶⁾を甲板水位の推定に適用し、実験値との比較及び検討を行った。

一般に、開水路における2次元非定常流の連続式及び運動方程式は、時間 t 、空間座標 x とするとき、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial vq}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = gh(i_0 - i_f) \quad (3)$$

で表わされる¹⁷⁾。ここで、 h は水深、 q は流量、 v は平均流速(q/h)、 i_0 は路床勾配、 i_f は摩擦勾配を表わす。いま、定常流中(水深 $h=h_0$ 、流速 $v=v_0$)の上流端 $x=0$ において擾乱が加えられた際の波形の伝播を考える。空間スケール $L \equiv Tv_0$ 、擾乱の時間スケール T で表わされる無次元パラメータ $\alpha = h_0/Li_0$ 、 $\beta = v_0/\sqrt{gh_0}$ を用いて(3)式のオーダー比較を行うと、 $\alpha \approx 1$ で $\beta^2 \approx 0.1$ の場合(3)式の左辺において第1、2項を第3項の水面勾配項や右辺に比べて小さいものとして無視できるため、 i_f をマニング則を用いて $i_f = n^2 q^2 / h^{10/3}$ (n はマニングの粗度係数)で表わすと、(2)及び(3)式は

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{5}{3}v \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{vh}{2\left(i_0 - \frac{\partial h}{\partial x}\right)} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (4)$$

となる。これを初期条件 $t=0$ 、 $h=h_0$ (一定)、上流端での境界条件を $x=0, t \geq 0$ 、 $h=h_0+F(t)$ として解を求める。 h を

$$h = h_0 \left(1 + \frac{\phi_1}{h_0} + \frac{\phi_2}{h_0^2} + \dots \right) \quad (5)$$

の様に展開すると、その1次成分は、

$$\phi_1(x, t) = \frac{x}{2\sqrt{\pi D}} \int_0^t \frac{F(\tau)}{(t-\tau)^{3/2}} \times \exp\left\{-\frac{(x - \omega_0(t-\tau))^2}{4D(t-\tau)}\right\} d\tau \quad (6)$$

となる。この式を洪水流の理論式と呼ぶ。ここで、 $D =$

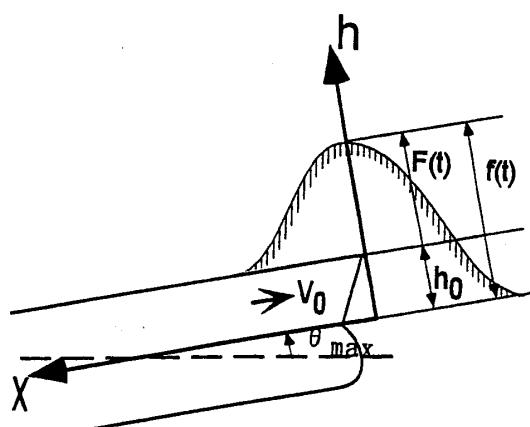


Fig. 12 Model of flood waves

$v_0 h_0 / 2 i_0$, $\omega_0 = 5 v_0 / 3$ である。これらの式を用いて、Fig. 12 に示すような座標系を考え、船首を $x=0$ とし、船尾方向に向かって x 軸を正にとり、定常流の水深 h_0 及び流速 v_0 を

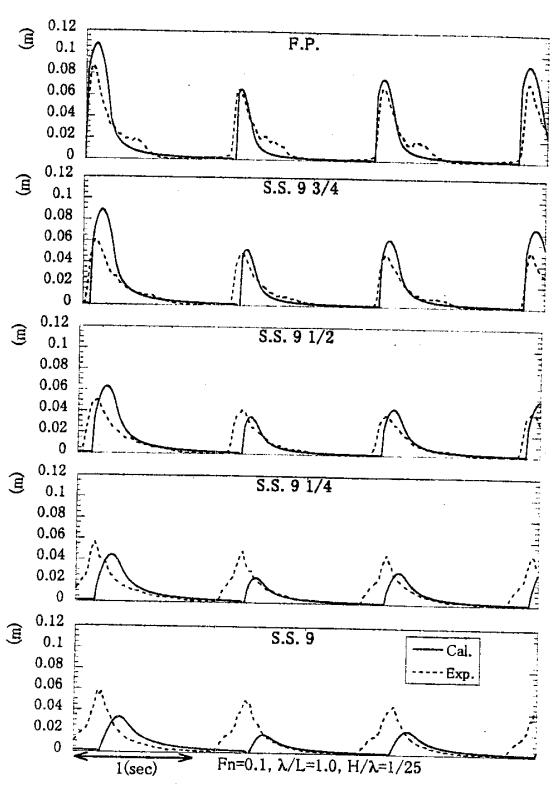
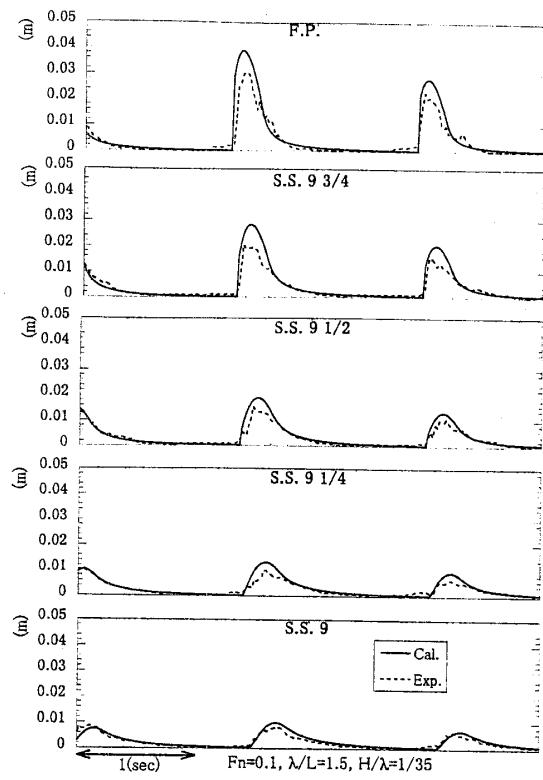


Fig. 13 Time histories of shipping water height

各々 Bow Top Height f' 及び船速、また、上流端での擾乱 $F(t)$ を、 $F(t)=f(t)-h_0$ として $f(t)$ を船首相対水位と考えれば海水打込みにも適用することができる。ここでは、3次元的な影響を考慮するために、幅の広がりを考慮した補正を(6)式に施し、

$$\phi_1(x, t) = \frac{B_0}{B(x)} \cdot \frac{x}{2\sqrt{\pi D}} \int_0^t \frac{F(\tau)}{(t-\tau)^{3/2}} \times \exp\left\{-\frac{(x - \omega_0(t-\tau))^2}{4D(t-\tau)}\right\} d\tau \quad (7)$$

で表わすこととする。ここで、 $B(x)$ は各位置での船幅、 B_0 は有効幅を表わす。

田崎¹³⁾は、有効幅 B_0 は船首相対水位が Bow top を超えた高さ $\delta = \eta_{max} - f'$ に比例するとして、 $B_0 = 0.8\delta$ という結果を得ている。これは計測された一出会い周期当たりの甲板水量をもとにした結果である。本実験でも同様の解析を行ったところ比例係数は 1.1 となつたので、以後の解析ではこの値を用いることとする。この係数の差はフレアなど船首形状の違い等によるものと考えられるが、詳細については今後の課題としたい。

船首相対水位 $f(t)$ については、実験で計測した相対水位の時系列を用いた。また、路床勾配 i_0 については、溝口と同様に縦揺れの最大角 θ_{max} (船首上げ) を用いて $\sin \theta_{max}$ とした。さらに、本実験や竹沢等⁷⁾の実験から打込みは船首相対水位がピークに達した直後から始まっているので、船首相対水位がピークに達した時間を $t=0$ とした。Fig. 13(a)(b)に計算結果と計測値の時系列による比較を示す。波高波長比の小さい Fig. 13(a)では、各横断面とも推定値と計測値はよく一致しており、この計算法の有効性を示している。しかし、波高波長比がより大きく打ち込みの激しい Fig. 13(b)では、Bulwark 端である S.S. 9 1/2 より後方の一一致度は良くない。推定値は(6)式のように幅の広がりを考慮しているため後方になるほど甲板水位のピークが低くなるが、計測値はその傾向が顕著に現れない。これは、舷側からの海水流入によるものであり、ビデオカメラによる観察でも流入が確認されている。従って本

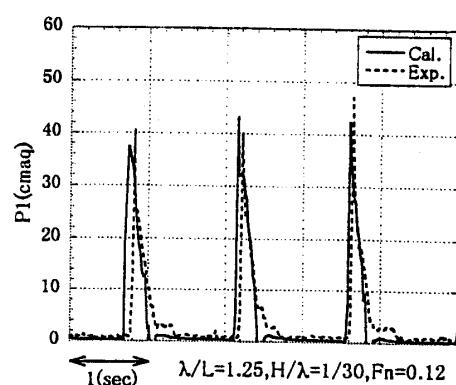


Fig. 14 Time histories of shipping water pressure (120 mm fore from F.P.)

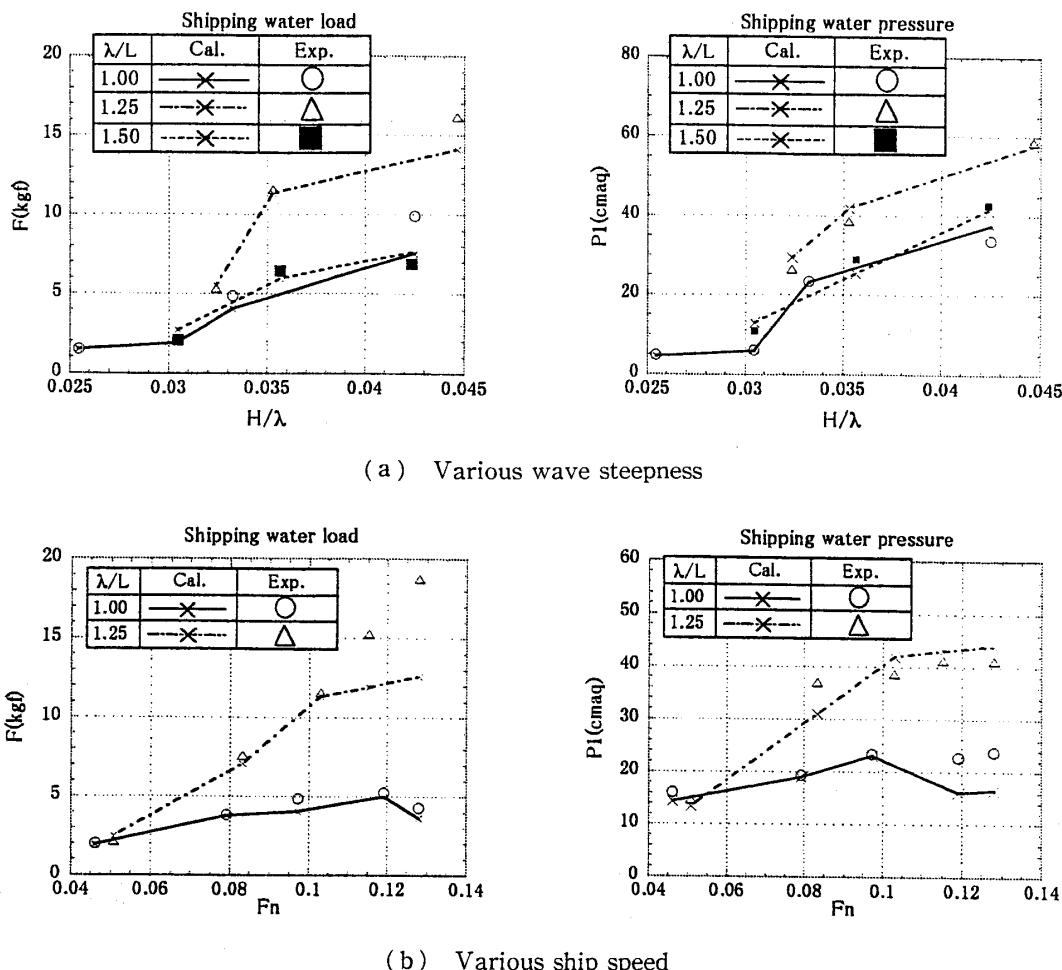


Fig. 15 Predicted shipping water load and pressure

推定法は、海水が主に Stem から打込むという仮定が成り立つ範囲では非常に有効であると言える。舷側からの流入を考慮する方法については、後に一案を述べる。

4.3 推定法の評価及び考察

前節の手法で計算した甲板水位の時系列をもとに甲板水量を求めて、4.1 で示した推定法を用いて甲板荷重及び甲板水圧の計算を行った。Fig. 14 に水圧の時系列の計算例を示す。計算値と実験値のピーク値は概ねよく一致しており、甲板水圧のような局所的な荷重についてもよい精度で推定できることがわかる。Fig. 15(a), (b) に波高波長比及び船速を変えた場合の甲板荷重及び甲板水圧の計算結果を実線及び破線で示す。これらの図から、概ね実験値と定性的及び定量的によく一致していることがわかる。波高波長比や船速が大きい場合には、甲板荷重は実験値との差が大きくなるが、これは、前述したとおり舷側からの水の流入によるものである。しかし、実船では荒天になれば減速や変針等の避航操船を行う¹⁸⁾。また、最近まとめられた日本近海の波浪データ¹⁹⁾によると今回用いた内航タンカーで $\lambda/L = 1.25$, $H/\lambda = 1/25$ に相当する波浪の発現頻度は約 2 パーセント以下と低いことから、本手法は実用的な範囲においては十分であると考えられる。

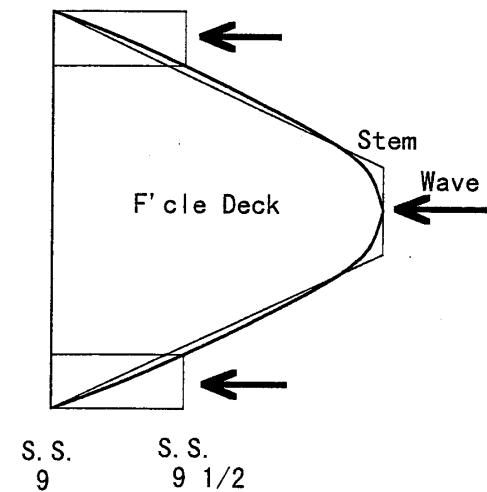


Fig. 16 A model of shipping water from the side of deck

舷側からの流入を考慮する方法として Fig. 16 に示すように Bulwark 端の S. S. 9 1/2 から S. S. 9 までの水路を考え、船首部からの流入と同様の手法で計算を行ってみた。

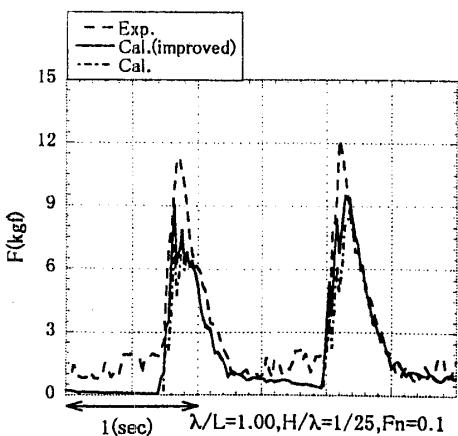


Fig. 17 Time histories of shipping water load

計算結果の一例を Fig. 17 に示す。Stem からだけの流入を考慮するのに比べて改善されているが、定量的にはまだ差がある。有効幅等流入の様子が船首とは異なるため、改良を行う必要があると考えられるので今後も引き続き検討して行きたい。

5. 結 言

内航タンカー船型を用いて船体運動、船首相対水位、甲板水位、甲板荷重及び水圧について計測を行った。Bow top height、船首相対水位及び甲板上の諸量についてその相関を調べてモデル化を行った結果、以下のような結論を得た。

(1) 内航タンカーのように船体中央部に水が乗り上げる船型についても Strip 法により船体運動等の推定ができることがわかった。

(2) 本船型については Swell up 成分を考慮することで、船首相対水位と Bow top height の大小関係から海水打込みの有無を判別することができる。

(3) 甲板荷重及び水圧は甲板水の運動量変化を考慮することによりピーク値を精度よく推定できる。

(4) 洪水流モデルを用いることにより、甲板水位及びその時間変化の推定を精度よく行うことができる。

(5) 今回示した手法により Strip 法などで計算した船首相対水位、船首上下速度及び縦揺れの時系列を用いて、甲板水位や荷重の推定を行うことができる。

今回触れたなかったフレアなどの船型要素が海水打込みに及ぼす影響や甲板上を流下する水塊が Water Breaker 等に及ぼす水圧についても今後検討を行う予定である。また、舷側からの流入についても引き続き検討を行いたい。

最後に本研究は社団法人日本造船研究協会との共同研究の一環として行われたことを付記し、部会長である藤野正隆東京大学教授をはじめ、本研究にご指導、ご助力を賜った第 45 基準研究部会関係各位に深く謝意を表します。また、本研究を遂行するにあたり有益なご討論を頂いた高木

健大阪大学助教授、実験を行なうにあたり多大なる御協力を頂いた三井造船昭島研究所田倉進氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 渡辺巖、田口晴邦、芳村康男：安全性に関する国際規則と船体運動研究、運動性能委員会第 13 回シンポジウム、日本造船学会、1997
- 2) 郷田国夫、宮本武：二次元模型実験の大振幅動搖試験による変動水圧および甲板水圧の計測、西部造船学会会報、第 49 号、1975
- 3) 郷田国夫、宮本武：二次元模型実験による甲板水圧の研究、日本造船学会論文集、第 140 号 1976
- 4) 溝口純敏：デッキ打ち込み水の挙動について、日本造船学会論文集 163、1988
- 5) 栖原寿郎、肥山央、古賀洋治：水塊の衝突圧力と弾性板の応答、西部造船学会会報、第 46 号、1973
- 6) 川上益男、田中一雅：肥大船の青波衝撃と過渡振動について、西部造船学会会報、第 50 号、1975
- 7) 竹沢誠二、小林頭太郎、萩野功、沢田和男：大波高不規則正面向波中における Deck Wetness および甲板衝撃水圧について、日本造船学会論文集、第 141 号、1976
- 8) R. N. Newton: Wetness Related to Freeboard and Flare, Transaction R. I. N. A., vol. 102, 1960
- 9) Lloyd, A. R. J. M., Salsich, J. O. and Zseleczky, J. J.: The Effect of Bow shape on Deck Wetness in Head Seas, Transaction R. I. N. A., vol. 128, 1986
- 10) J. F. O'Dea and D. A. Walden: The effect of Bow Shape and Nonlinearities on Prediction of Large Amplitude Motions and Deck Wetness, Proc. 15th Symp. on Naval Hydrodynamics, 1984
- 11) 高木健、内藤林：海水打ち込みと船首形状の影響について、関西造船協会誌 220 号、1993
- 12) S. Mizoguchi: Design of Freeboard Height with the Numerical Simulation on the Shipping Water, PRADS' 89, 1989
- 13) 田崎亮：船舶の波浪中における甲板上への海水打ち込みについて、運輸技術研究所報告、第 11 卷、第 8 号、1961
- 14) 村重淳、石田茂資、渡辺巖、小川剛孝：Ro-Ro 船車両甲板の浸水と波浪の関係についての模型実験、平成 7 年度第 66 回船舶技術研究所研究発表会講演集、1995
- 15) Buchner, B.: On the impact on green water loading on ship and offshore unit design, PRADS' 95, September 1995
- 16) Shoichiro Hayami: On the Propagation of Flood Waves, Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No. 1, 1951
- 17) 岩佐義朗、金丸昭治編：水理学 II、朝倉書店、1993, 26~54 頁
- 18) 日本航海学会：船舶の荒天運航に関するシンポジウム、1973
- 19) 社団法人日本造船研究協会：第 45 基準部会平成 8 年度報告書第 3 章、1997