(昭和 62 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

横波中の船の安定性に及ぼす 海水打込みの影響について

正員 愼 燦 益* 正員 大 楠 丹**

The Effects of Shipping Water on the Stability of Ships in Beam Seas

by Chanik Shin, *Member* Makoto Ohkusu, *Member*

Summary

Experimental observations teach us that the deck wetness does not necessarily occur repeatedly even in regular waves high enough to cause it when the wave period is close to the natural rolling period of the ship. The shipping water caused by the first one or two waves exceeding the critical wave height of deck wetness reduces GM, lengthens the natural rolling period to lead to the reduction of the rolling angle, and stops wet deck from occurring repeatedly.

In order to understand the stability of ships in waves exceeding the critical wave height of deck wetness, we propose in this report a simplified time domain simulation to describe the ship motions from the start of deck wetness to the capsize or to the stationary oscillation around a heeling angle while taking into account above mentioned rather transient effects of shipping water. In the formulation of the time domain simulation, we use an empirical formula relating the amount of the water flowing onto deck, every time deck wetness occurs, to the excess of the predicted relative wave elevation over the bulwark-top.

We compared the numerical simulations with the time histories of motions in experiments with the cylindrical models in beam seas, from the start of deck wetness to the capsize; we thereby concluded that the numerical simulations describe that process well.

1 ま え が き

波浪中で動揺している船が、ある限界をこえた波高の波に遭遇すると甲板上へ海水が打込まれ、乾舷の減少、大傾斜などが生じて、船は危険な状態に陥り、転覆にいたる場合がある。船の安定性におよぼす甲板上の海水の影響については多くの研究が行われている。例えば甲板上に海水が打込む状態では、船は波上側に横傾斜し、その傾斜角は打込み海水の傾斜モーメントと船の復元モーメントがつり合う角として準静的に決定されるとしたものの、さらに実験的に求められた波浪による定常傾斜モーメントなども考慮して傾斜角を計算する方法などが知られている^{1),2)}。しかしながら、これらの方法は近代的な船体運動理論の立場からは完全には納得し難い部分もふくんでいる。

一方、一定の量の海水が甲板上に滞留している時、船体動揺にともなう海水の動きを考慮して横方向の船体動

揺を計算する方法の研究が行われている。田宮³⁾は滞留した海水の深さが浅くないとして、船の横揺れに対する影響を解析した。Adee と Caglayan⁴⁾、Dillingham⁵⁾は甲板上の海水が十分に浅いとして、その挙動を時間領域で数値計算し、海水と船体の連成運動を求めている。

しかしながら波高が限界波高より高い場合に海水がどの程度の量打込んでくるのか、一度打込むと引き続き打込むものなのか、海水が打込みつつあるような過渡的な状況下での船の安定性はどうかなどについて検討した研究例はあまり見あたらない。本論文でも示すように海水が甲板上に打込む前と後では船の横揺れ特性が変化するため、一定周期の規則波中においても動揺の振幅が変化し、海水が引き続き打込まなくなる場合のあることが実験的にも知られており、海水が打込みつつあるような過渡的な状態での船の挙動について検討することが必要であると考えられる。

本論文においては、船が一定周期の横波中で動揺している時に、波高が限界波高を越え、海水が甲板上に打込みはじめてから、転覆あるいは定常動揺状態にいたるま

* 長崎総合科学大学

** 九州大学応用力学研究所

での過程を記述する運動方程式を導き、それを数値積分して船の挙動の時刻歴を求め実験と比較した。またこの結果を用い、ある一定の条件下における転覆の限界波高を求め実験値と比較した。

このように複雑な過程を完全に理論的に記述することは困難であるから、運動方程式の構成に際しては半実験的な方法や、いくつかの近似を導入している。例えば海水が打込むかどうかの限界波高については多くの研究が知られ^{8)~9)}、その理論的推定の精度は十分と考えられているが、波高が限界波高を越えた時にどのくらいの海水がブルワークを越えて甲板上に打込んでくるのかを知る理論的方法は、知られていない。そこで線型理論で予想される相対水位とブルワーク高さの差と、打込み海水の量との関係をあたえる実験式を導き、運動方程式中で用いた。また海水の打込みによって生じる大傾斜は、動揺の周期にくらべてゆっくりと変化するとし、動揺は一定傾斜角のまわりの動揺として準定常的に取り扱えるとした。甲板上の海水の動きも単純化して取り扱った。

2 運動方程式

まえがきに述べたように、甲板上の海水が船舶の安全性に及ぼす影響について論ずる場合には、海水が徐々に甲板上へ打込んでくるような状態あるいはその流出状態、さらに甲板上の滞留水の挙動等を総合的に考慮した運動方程式による必要がある。

甲板上に海水が打込みつつある状態あるいは流出しつつある状態では、船の横揺れ特性が変化し、それによって甲板上への連続的な打込みが誘発され、過渡的な横傾斜を伴った複雑な運動をする。この時、横傾斜が非常に大きくなれば船は転覆する。

このような波浪中における大振幅でしかも過渡的な船の運動を、甲板上へ海水が打込みつつある状態あるいは流出しつつある状態の水の影響まで考慮して、力学的に完全に記述するような理論モデルは非常に複雑なものとなる。そこで、以下のような仮定を導入して、甲板上へ海水打込みが生じる場合の規則的な横波中の船体運動方程式を導いた。

(1) 甲板上への海水打込みによる過渡的な横傾斜は、規則的な入射波の周期での横揺れに比較して、非常にゆっくり変化する。したがって、過渡的な傾斜に伴う船の横揺れ特性の変化(流体力、横揺れ固有周期等)は準定常的に取扱うことができる。すなわち、運動方程式中の流体力(波浪強制力を含む)は、時々刻々変化する横揺れ角を定常傾斜角とみなして、そのまわりに規則波の周期で微小振幅の運動をしているものとして計算した値を用いる。

(2) 甲板上への海水打込みは、船側における相対水

Fig.1 Coordinate system

位変動が有効乾舷高さを越えた瞬間に生じるものとする。その時の打込み水量と有効乾舷高さを越える相対水位変動の関係は次節で示す実験式で与えられるものとする。

(3) 甲板上へ海水が打込みつつある状態あるいは甲板上から流出しつつある状態では、甲板上の水量は時々刻々変化するが、甲板上に滞留した水の水面は船体運動や横傾斜にかかわらずいつも水平であるものとする。すなわち、滞留水の動的影響は無視し、滞留水の片寄りによる重心の移動や静的傾斜モーメント、船の排水量の時々刻々の変化のみを考慮する。船体が横揺れあるいは横傾斜した時にブルワークの上からあふれた水は瞬時に甲板上から流出するものとする。したがって、船の運動量の変化が甲板上の滞留水の増減によっても生じ、これが船体運動の減衰力として作用する場合もある。なお、簡単のため放水口からの流入あるいは流出は考慮していない。

船は、簡単に取り扱うために長さ方向に断面が変わらない柱状体とし、Fig.1に示すように

$$\zeta = \zeta_a \cos(\omega t + Ky) \quad (1)$$

で表わされる規則的な横波中で動揺しているものとする。ただし、 ζ_a は入射波振幅、 K は波数、 ω は入射波の円周波数である。

この時の船体運動方程式は次式のように表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} M_{HH}\ddot{z} + N_{HH}\dot{z} + C_{33}z + A_{32}\dot{y} + B_{32}\dot{y} + A_{34}\ddot{\phi} + B_{34}\dot{\phi} \\ + C_{34}\phi = F_{ze} \\ M_{SS}\ddot{y} + N_{SS}\dot{y} + A_{23}\ddot{z} + B_{23}\dot{z} + A_{24}\ddot{\phi} + B_{24}\dot{\phi} = F_{ye} \\ I_{RR}\ddot{\phi} + N_{RR}\dot{\phi} + W \cdot \overline{GZ}(\varphi) + A_{42}\ddot{y} + B_{42}\dot{y} + A_{43}\ddot{z} \\ + B_{43}\dot{z} + C_{43}z = M_{\phi e} + m(w, t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 $M_{HH} = M + A_{33} + w(t)/g$, $A_{33} = m_{33}$,

$$N_{33} = B_{33} + \frac{d}{dt}\{w(t)/g\}, \quad B_{33} = n_{33},$$

$$C_{33} = \rho g A_w / \cos \varphi, \quad A_{32} = m_{32}, \quad B_{32} = n_{32},$$

$$A_{34} = m_{34} - m_{33}l_y + m_{32}l_z, \quad B_{34} = n_{34} - n_{33}l_y + n_{32}l_z,$$

$$C_{34} = -\rho g A_w l_y / \cos \varphi, \quad M_{SS} = M + A_{22} + w(t)/g,$$

$$A_{22} = m_{22}, \quad N_{SS} = B_{22} + \frac{d}{dt}\{w(t)/g\}, \quad B_{22} = n_{22},$$

$$A_{23} = m_{23}, \quad B_{23} = n_{23}, \quad A_{24} = m_{24} - m_{23}l_y + m_{22}l_z,$$

$$B_{24} = n_{24} - n_{23}l_y + n_{22}l_z, \quad I_{RR} = I + A_{44} + \Delta I,$$

$$A_{44} = m_{44} - 2m_{34}l_y + 2m_{24}l_z - 2m_{23}l_y l_z + m_{33}l_y^2$$

$$\begin{aligned}
 &+m_{22}I_z^2, \quad N_{RR}=B_{44}+\frac{d}{dt}(AI), \quad B_{44}=(\text{後述}), \\
 &C_{43}=C_{34}, \quad A_{43}=A_{34}, \quad B_{43}=B_{34}, \quad A_{42}=A_{24}, \\
 &B_{42}=B_{24}
 \end{aligned}$$

(3)

$$\begin{aligned}
 F_{ye} &= -\frac{\rho g}{K} \zeta_a \bar{A}_s \sin(\omega t + \varepsilon_s) \\
 F_{ze} &= -\frac{\rho g}{K} \zeta_a \bar{A}_H \sin(\omega t + \varepsilon_H) \\
 M_{\varphi e} &= -\frac{\rho g}{K} \zeta_a \bar{A}_R d \sin(\omega t + \varepsilon_R) + I_z F_{ye} - I_y F_{ze}
 \end{aligned}$$

(4)

ここで、 W は排水量、 ρ は水の密度、 g は重力加速度および A_w は水線面積である。

(3) 式において、 M, I は船の質量および質量慣性モーメントである。 m_{ij}, n_{ij} は j 方向の運動による i 方向への流体力係数で、一定の周波数で運動しているとき、時々刻々変化する横揺れ角を定常傾斜角とみなし、その状態で同じ周波数で運動するものとして計算した。甲板上への打込み水量 $w(t)$ および滞留水による傾斜モーメント $m(w, t)$ は次節で示す方法で求める。横傾斜あるいは大振幅横揺れする時の重心座標 l_y, l_z は次式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} l_y(\varphi, w) &= -OG(w) \times \sin \varphi(t) + \frac{m(w, t)}{W+w(t)} \\ l_z(\varphi, w) &= OG(w) \times \cos \varphi(t) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(2) 式の左辺 $GZ(\varphi)$ は GZ 曲線から時々刻々変化する横揺れ角 $\varphi(t)$ に対応した値を用いる。

横揺れ減衰係数 B_{44} は甲板上への海水打込みによる傾斜状態や甲板縁あるいはブルワークが没水するような状態では水面下形状やブルワーク等の没水によって直立状態のそれと大きく異なるものと考えられるが、ここでは直立状態での自由横揺れ減衰曲線から求めた等価減衰係数を用いた。

(4) 式で、 $\bar{A}_s \cos(\omega t - Ky + \varepsilon_s)$, $\bar{A}_H \cos(\omega t - Ky + \varepsilon_H)$ および $\bar{A}_R d \cos(\omega t - Ky + \varepsilon_R)$ は二次元柱状体が静水面上で単位振幅の左右揺れ、上下揺れおよび横揺れするときの y 軸方向への進行波である。この $\bar{A}$ および ε は、 m_{ij}, n_{ij} と同様に横揺れ角の影響を考慮して計算した。

また、導いた運動方程式は、滞留水による傾斜状態の運動となるので、対称運動と反対称運動が相互に連成する運動方程式となっている。

3 甲板上への打込み水量とその影響

甲板上への海水打込みは、船側における相対水位変動が有効乾舷高さを越えると生じ、横傾斜や横揺れによって甲板上に滞留した水があふれると船外へ流出する。

ブルワーク・トップを越えた海水の打込み水量や、横傾斜あるいは横揺れによる滞留水の流出水量、甲板上的打込み水量が時々刻々変化する、船体運動によって流動するような現象を記述する理論的モデルを作ることは現段階では困難である。

したがって、ここでは次のような方法により打込み水量、流出水量および滞留水の移動を計算した。

今、 $\eta_{RW}(t)$, $\eta_{RL}(t)$ を波浪中で動揺している船の船側における波上側および波下側の相対水位変動、 f を有効乾舷高さ（ここでは静水面からブルワーク・トップまでとする）とすれば、甲板上への海水打込み条件は次式で表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} \eta_{RW}(t) \\ \eta_{RL}(t) \end{aligned} \right\} \geq f \quad (6)$$

この相対水位変動 $\eta_{RW}(t)$ と $\eta_{RL}(t)$ は、入射波面の船側での上下変動、船体運動による船側の上下変動、船体運動および船体表面での入射波の攪乱による動的水位変動を考慮して求めることができる。

甲板上への海水打込み水量は、ブルワーク・トップでの打込み持続時間、打込み水厚さおよび打込み水速度が分かれば求まる。

ここでは、理論計算で求まる $\eta_{RW}(t)$ と $\eta_{RL}(t)$ を用いて、(6) 式から甲板上への打込み持続時間を $\eta_{RW,RL}(t) - f$ が正になる時刻 t_1 から 0 になる時刻 t_2 までとする。

ブルワーク・トップでの打込み水厚さ $h_0(t)$ は実験値を利用して次式を用いる¹⁰⁾。

$$h_0(t) = 0.6 \times \{\eta_{RW,RL}(t) - f\} \quad (7)$$

(7) 式の係数 0.6 が甲板上へ打込む水の厚さをブルワーク・トップで計測して求めた実験係数である。

波がブルワーク・トップを越えて甲板上へ打込む際の水の流入速度は自由落下による速度 $v = \sqrt{2gz}$ と考える。したがって、ブルワーク・トップを越えて甲板上へ打込む水量は次式で求めることができる。

$$w(t) = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{h_0(t)} \sqrt{2gz} \, dz \, dt \quad (8)$$

この時、 $\eta_{RW,RL}(t) - f < 0$ の場合は当然甲板上への海水の打込みは生じない。また、(8) 式で時々刻々求まる水量および打込まれて片舷に滞留している水の全量 $w_T(t)$ は、ブルワーク高さや横揺れ角 $\varphi(t)$ によって定まる甲板上の片舷の最大滞留水量 $w_{\max}(\varphi)$ を越えることはできない。

ブルワークに放水口がない場合の最大滞留水量 $w_{\max}(\varphi)$ は、滞留水の水面が船体運動や横傾斜にかかわらずいつも水平であると考えれば、横揺れ角 $\varphi(t)$ によって定めることができる。すなわち、Fig. 2 から分かるように、次式で求められる。

Fig.2 Skech of shipping water on deck

$$\left. \begin{aligned} w_{\max}(\varphi) &= f'b_0 - \frac{b_0}{2} \tan |\varphi(t)| \\ 0 &< |\varphi(t)| \leq \tan^{-1}(f'/b_0) \\ w_{\max}(\varphi) &= f'^2 / [2 \tan |\varphi(t)|] \\ |\varphi(t)| &> \tan^{-1}(f'/b_0) \end{aligned} \right\} (9)$$

したがって、甲板上に打込まれた水の全滞留水量 $w_T(t)$ が $w_{\max}(\varphi)$ を越えるとその差だけ船外へ流出するものとする。流出に関しては計算上、ブルワーク・トップでの流出時間、流出水厚さおよび流出速度などを考えずに瞬時に船外へ出るものとする。

滞留水量の変化によって、船の運動量の変化をもたらされるが、この影響も運動方程式で考慮に入れる。

甲板上の滞留水の水面が船体運動にかかわらずいつも水平であるとする仮定のもとでは、横揺れ角 $\varphi(t)$ のときの全滞留水 w_T の重心位置は幾何学的に求めることができる。船体重心 G から w_T の重心までの水平距離を l_y' とすれば、滞留水による静的傾斜をモーメント $m(w, t)$ は次式で求められる。

$$m(w, t) = w_T \times l_y'(w, t) \quad (10)$$

さらに、重心 G は $m(w, t)/(W+w)$ だけ横移動するとともに滞留水の影響で上下移動もする。

4 数値計算の概略

波浪中で動揺している船は、甲板上へ海水が打込まれつつある状態あるいは打込んだ後の滞留水が流出しつつある状態では過渡的な動揺をする。この過渡的な動揺を、(2)式を4次の Runge-Kutta 法を用いて積分することによって求めた。計算の時間刻み Δt は 0.1 秒とした。

規則波中での挙動を知るために、入射波の振幅が 0 から徐々に大きくなって定常になるような条件で計算を実施した。

(1)式で表わされる入射波に対して、 Δt 時間ごとに(2)式によって船の上下揺れ $z(t)$ 、左右揺れ $y(t)$ および横揺れ $\varphi(t)$ を計算する。同時に、これらの運動と線型理論で求まるいわゆる dynamic swell up を用いて相対水位変動 $\eta_{RW}(t)$ 、 $\eta_{RL}(t)$ を求め、(6)式より甲板上への海水打込み発生の有無を判定する。甲板上へ

の打込みが生じない場合は Δt だけ進んで(2)式に戻る。打込みが生じた場合には(8)式によって Δt 間の打込み水量 $w(t)$ を求める。この時、滞留水によって生ずる傾斜モーメント、重心の移動をも計算する。甲板上の滞留水の増減はその時点での全滞留水量 w_T と(9)式で得られる最大滞留水量 $w_{\max}(\varphi)$ を比較することによって求められる。

流体力係数 m_{ij} 、 n_{ij} および $\bar{A}$ 、 ϵ を用いて表わされる波浪強制力は、その時点での水面下形状に対して入射波の周波数での値を用いる。本来はゆっくりした傾斜をともなして動揺しているのでその時点での平均位置に対して求めるべきであるが、計算時点での傾斜角を用いても大差はないと考えられる。

5 計算結果と実験結果の比較

一番簡単な場合として、規則的横波中におかれた柱状体を選び、甲板上への海水打込みが生じたときの過渡応答の理論計算値と実験値を比較した。

Fig. 3 に柱状体の断面を、Table 1 にその主要目を示す。Model 1 は船の中央横断面のような形状をしており、Model 2 は小型漁船の前後部の横断面に近い形状をしている。また、GZ 曲線の変化による運動状態をみるために、甲板高さおよびブルワーク高さを2種類選んだ。それらの状態での GZ 曲線を Fig. 4 に示す。この GZ 曲線は漁船の過載状態に似せている。また、柱状体中心

Fig.3 Cross sectional forms of models

Table 1 Principal particulars and conditions

	MODEL 1	MODEL 2
L (cm)	160	150
B (cm)	30	30
D (cm)	15 14	15 14
d (cm)	12	12
f (cm)	6 4	6 4
W (kg)	54.23	44.33
GM(cm)	1.65	2.04
Tr(sec)	1.378	1.32

Fig 4 $\overline{GZ}$ -curves

線には甲板上上部構造物の代りに、打込み水が反対舷へ流れていかないよう遮蔽板を設けた。

実験は、転覆の限界波高を検証するための実験を長崎総合科学大学船舶海洋試験水槽 ($L \times B \times D = 60\text{m} \times 4\text{m} \times 2.6\text{m}$) で、甲板上への海水打込みから転覆に至る過渡状態の実験を九州大学応用力学研究所大水槽 ($L \times B \times D = 80\text{m} \times 8\text{m} \times 3\text{m}$) で行った。

転覆の限界波高に関する実験では、同一周波数で数種類の波高について実施し、それぞれの波高に対して、打込みの有無と、打込みが生じた場合に転覆するか否かを調べた。

甲板上への海水打込みから転覆に至るまでの過渡状態を調べる実験では、模型を完全に自由な横波状態にし、運動は無接触式位置検出器を用いて計測した。

甲板上への海水打込み限界波高についての実験結果と計算結果が Figs 5, 6 である。横軸は無次元周波数 Kd 、縦軸は H/λ (波高/波長) で、○印が甲板上への海水打込みが無い場合、●印が打込みが有る場合、●印が海水打込みの結果転覆する実験結果である。図中実線は、入射波、柱状体の運動、dynamic swell up を考慮して、相対水位変動を周波数領域で計算して求めた甲板上への海水打込み限界波高を示している。また、破線は、2節で示した運動方程式を用いて計算した結果で、甲板上への海水打込みが発生した後、その影響により転覆した波高を示している。

Figs 5, 6 から明らかなように、転覆する限界波高は、ほとんどの場合に甲板上への海水打込み限界波高と

Fig 5 Critical wave height of deck wetness and capsizing

Fig 6 Critical wave height of deck wetness and capsizing

ほぼ同一であることが分かる。このことは、甲板上への海水打込みが一度はじまれば引き続き起こり、転覆を誘発するといえるであろう。ただ、横揺れ同調付近 (R.R.) においては、転覆する限界波高が打込み限界波高よりも大きく、打込み限界波高よりわずかに大きな波では、規

則波中でも引き続き海水打込みが起らず、転覆しないことを計算結果と実験計算が示している。上下揺れ同調付近を含む高周波数領域においては、横揺れは小さくなるが、甲板上へ海水が打込みだと連続的な打込みが生じ、大きな横傾斜となって転覆する。これは、少量の打込みであっても、連続的に打込むことによって定常傾斜モーメントが増すためである。

過渡状態の実験によって得られた過渡運動の時刻歴とシミュレーション計算の結果の比較を Fig. 7~12 に示す。

Figs. 7, 8 および 9 が Model 1 の結果を示しており、

Fig. 7 Transient responses under deck wetting

Fig. 8 Transient responses under deck wetting

Fig. 9 Transient responses under deck wetting

Fig. 10 Transient responses under deck wetting

Fig. 11 Transient responses under deck wetting

Fig. 12 Transient responses under deck wetting

その中で Figs. 7, 8 が横揺れ同調付近の周波数の場合の応答, Fig. 9 が高周波数での応答を示す。Fig. 7 は、入射波高が甲板上への打込み限界波高より高くても、打込んだ水の影響により、横傾斜はするが横揺れは減少する場合を示している。シミュレーション計算結果は、全過程の定性的な傾向については比較的に実験結果をよく説明している。しかしながら、15~18 秒間の過渡現象を忠実に説明することはできない。

Fig. 8 は打込み限界波高よりかなり大きい入射波に対する応答で、甲板上への海水打込みが発生した後転覆

していく過程を示している。また、Fig. 9 は高周波数の入射波に対して横揺れ角は小さいが連続的な打込みにより傾斜角が増加し転覆に至る過程を示している。

Figs. 8, 9 と同、シミュレーション計算は実験の過渡現象と比較的類似の結果を示しているが、いずれの場合も実験より時間的に早く転覆している。これは計算時の打込み水量が実際よりも多く推定されているためと考えられる。図示はしていないが、計算時の打込み水量を実験式より減らしてみると実験結果と非常によく一致した結果が得られた。

Figs. 10, 11 および 12 は Model 2 の結果で、Figs. 10, 11 が横揺れ同調付近の周波数の波に対する応答で、Fig. 12 が高周波数での応答を示し、挙動は Model 1 と類似しているが、時間的経過の一致度は Model 1 よりもよい。

甲板高さとブルワーク高さを高くし、復原力を大きくさせた場合も、甲板上へ海水が打込めば前述した結果と同様な結果が得られた。

Model 1 の甲板高さとブルワーク高さを高くした状態のシミュレーション計算結果を Figs. 13, 14 および 15 に示す。図中の一番上の入射波は柱状体の中心線上の波形を示しており、二番目の相対水位変動はこの波の中で動揺しているときの柱状体の波上側でのもので、 $\eta_{RW}/f > 1$ の時甲板上への海水の打込みが生じる。またその下は、甲板上の滞留水量／排水量および傾斜モーメント／初期復原モーメントの計算結果で柱状体の動揺によ

って変化する様子が分かる。一番下はこれらの影響による横揺れの過渡状態を示している。

Fig. 13 では一回の打込み量が多いがそれ以上大きな増減はなく横揺れがほぼ定常になっている。

Fig. 14 Transient responses under deck wetting

Fig. 13 Transient responses under deck wetting

Fig. 15 Transient responses under deck wetting

Fig. 14 では、Fig. 13 と同じ周波数の波であるが、波高が大きいために、波の成長とともに海水が連続的に打込み最後には大量の打込みのために転覆している。

Fig. 15 では横揺れは小さいにもかかわらず連続的な打込みにより、傾斜モーメントも連続的に増加し転覆している。

これらの結果はいずれも前述の実験結果と定性的に類似した結果を示している。また、Figs. 13, 14 のシミュレーション計算結果をみると、横揺れのために、滞留水による傾斜モーメントが変動していることが分かる。

6 結 言

船が横波中で動揺しており、甲板上に海水が打込みつつある場合の船の挙動を記述する運動方程式を導き、計算機によるシミュレーションと水槽実験の結果とを比較した。その結果、海水が連続して甲板上に打込み、船の安定性がおびやかされる過程を記述するためには、海水打込みと船体動揺の過渡的な相互作用を考慮する必要があることが明らかにされた。

甲板上への海水打込み限界波高より僅かに大きい波高では、打込んだ海水の影響により横揺れが減少し、継続した海水の打込みが発生せず安全な場合があること、限界波高をはるかに越える波高では連続的な海水の打込みで船は転覆することがあること、高周波数の波の中では横揺れは小さいが連続した海水の打込みがおきて船は転覆し易いことなど、水槽実験で観測された時間経過をシミュレーションの結果は大略説明している。いくつかの仮定を導入して、運動方程式を簡略化しているが、波浪中で甲板上へ海水が打込まれるような状態における船の安定性をこの方程式によって検討することが可能であると考えられる。

不規則波中における海水打込みの船の安定性に対する影響を議論するためには、導入された仮定について検討を加え、運動方程式の改良を行う必要がある。

水槽実験に協力していただいた九州大学応用力学研究所の技官、安永誠、稲田勝、同じく実験補助員、波止陽

一、長崎総合科学大学の大学院生の古香孝典の諸氏に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) Caglayan, I. and Storch, R.: "Stability of Fishing Vessels with Water on Deck: A Review" *Journal of Ship Research*, Vol. 26, No. 2, June, (1982) pp. 106~116.
- 2) Rakhmanin, N. N.: "Constant Heeling Forces and Their Effect upon the Stability of a Low-built Vessel in Waves" *Second International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, Tokyo, Oct., (1982) pp. 106~116.
- 3) 田宮 真: "遊動水の動的影響について" 造船協会論文集, 第103号, 昭和33年6月, pp. 59~67,
- 4) Adee, B. H. and Caglayan, I.: "The Effects of Free Water on Deck on the Motions and Stability of Vessels" *Second International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, Tokyo, Oct., (1982) pp. 413~426.
- 5) Dillingham, J.: "Motion Studies of a Vessel with Water on Deck" *Marine Technology*, Vol. 18, No. 1, Jan., (1981) pp. 38~50.
- 6) 雁野昌明: "斜波中を航行する船への海水打込みに関する一計算", 関西造船協会誌, 第145号, 昭和47年9月, pp. 75~81.
- 7) 慎 燦益: "二次元柱状体甲板上への海水打込み限界波高について", 西部造船会会報, 第56号, 昭和53年8月, pp. 207~228.
- 8) 慎 燦益: "横波中にある傾斜船の甲板上への海水打込み限界波高について", 西部造船会会報, 第64号, 昭和57年8月, pp. 135~143.
- 9) Grochowalski, S.: "The Prediction of Deck Wetting in Beam Seas in the Light of Results of Model Tests" *Second International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, Tokyo, Oct., (1982) pp. 433~447.
- 10) 慎 燦益, 青木伊知郎, 奥野直哉, 柿見紀一郎: "波の orbital motion による拘束柱状体甲板上への海水打込みについて", 長崎総合科学大学紀要, 第21巻, 第1号, (1980) pp. 13~24.