

波浪中漁船衝突時のガイド・フェンスの 特性の近似計算手法について

久保雅義*・斎藤勝彦**・上田 茂***・弓山 泰****

1. 緒 言

荒天時漁船が入港する時、漁船の入港を支援するためにガイド・フェンスの設置を提案してきた。ガイド・フェンスの使用法としては図-1に示すように、①風下への漂流防止としての利用、②、③、④防波堤や岩礁への衝突時の船舶の損傷防止、⑤舵による変針所用時間比べフェンスに衝突させた時に変針に必要な時間は短いことより、変針用フェンスとしての利用、⑥ヨット等が漁礁へ進入し、漁網を破る等の事故が発生していることより、漁礁への進入防止等が考えられる。

この様なガイド・フェンスを設計するためには、波浪中で漁船がガイド・フェンスに衝突した時の枠の衝撃荷重や漁船の横傾斜を数値計算により求めることが前提となる。そこで、本研究では設計に必要な枠変位、枠荷重及び横傾斜を算定するための近似計算モデルを見いだすことを目的としている。

2. 実験方法

前報(久保ら, 1993)においてガイドとしてネット式、ロープ式、およびビーム式の3形式を提案したが、波浪中での緩衝特性において、ネット式ガイドが優れている

事が判明したので、本報告においてはネット式ガイドを対象として検討を加える。

図-2はネット式ガイドの概略を示したものである。漁船が衝突する時、衝突に伴う横傾斜を低減するために取り付けられたフロート、さらに縦ラインを介して、受衝枠背後のダッシュポットとバネによりエネルギー吸収が行われる。

このガイドに漁船が衝突した場合の船体運動を把握するために、ビデオカメラの映像とBASICグラフィック画面を合成して作業モニターに映し出し、船体上の代表点での座標を数値的に入力した。これより、進入速度、進入角、真上からの船の軌跡、横傾斜を算出した。枠変位は枠に取り付けられた発光ダイオードを上方の光半導体変位検出カメラで追跡する事により求めている。受衝枠のバネとダッシュポットより構成される緩衝装置に作用する衝撃荷重はロード・セルにより検出している。

3. 漁船衝突時の船体と枠の運動の近似計算手法

(1) 船体の運動方程式

船体運動とガイド変位に関する座標系を図-3のようにとる。

x_3 軸方向の並進運動 (Heave) および x_1 軸まわりの回

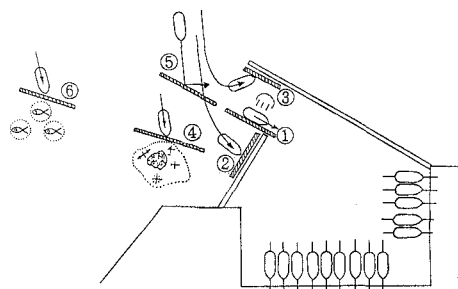


図-1 ガイドの使用法

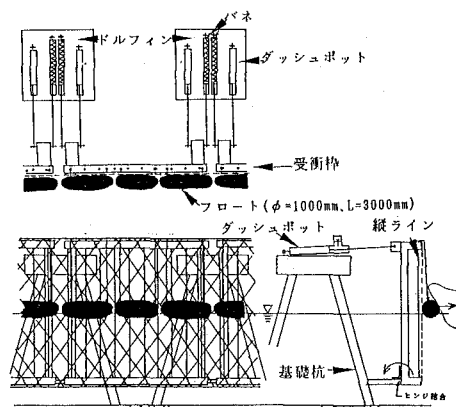


図-2 ネット式ガイドの構造

* 正会員 工博 神戸商船大学教授 船貨輸送研究施設
 ** 正会員 工博 神戸商船大学助手 船貨輸送研究施設
 *** 正会員 工博 鳥取大学教授 土木工学科
 **** 正会員 工修 東洋建設(株) 総合技術研究所

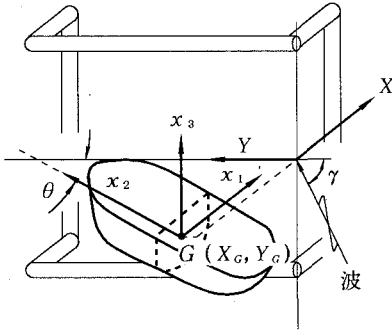


図-3 座標系の設定

転運動 (Pitch) を無視すると船体の運動方程式は並進運動

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= m_2 \dot{x}_6 \dot{x}_2 + F_{R1} + F_w \cos \theta \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -m_1 \dot{x}_6 \dot{x}_1 + F_P + F_{R2} + F_{SV} - F_w \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

回転運動

$$\left. \begin{aligned} m_5 \ddot{x}_5 &= F_{ST} + D - F_w d_3 \cos \theta \\ m_6 \ddot{x}_6 &= (m_1 - m_2) \dot{x}_1 \dot{x}_2 + N_R + F_w d_1 \cos \theta \\ &\quad - F_w d_1 \cos \theta - F_w d_2 \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

と表せる。ここに、 m_i は i 軸方向の見かけ質量および i 軸まわりの見かけ慣性モーメント、 x_i は i 軸方向の変位および各軸まわりの角変位、 \dot{x}_i および \ddot{x}_i は i 軸方向変位の時間に関する 1 階および 2 階微分、 F_{R1} は i 軸方向の流体抵抗力、 F_w はガイドからの反力、 F_{SV} はサージング波力、 θ はガイドに対する船の進入角度、 F_P は推進力、 F_{ST} は復原力、 D は横傾斜の粘性減衰力、 N_R は x_3 軸まわりの流体抵抗モーメント、 d_i は i 軸方向のモーメントの腕の長さである。

ガイドに接触後の船体運動の時系列は、上式を数値的に解くことにより求められる。

(2) 船体に作用する外力およびモーメント

a) 推進力

推進力 F_P は、 x_2 軸方向に一定速度 v_0 で航行するときの船体抵抗に等しいと仮定し、以下のように表す。

$$F_P = 0.5 \rho (C_f S + r_R \nabla^{2/3}) v_0^2 \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 ρ は流体密度、 C_f は摩擦係数、 S は船体の浸水面積、 r_R は剰余抵抗係数、 ∇ は排水容積である。

b) 流体抵抗力

x_1, x_2 軸方向の流体抵抗力 F_{R1}, F_{R2} および x_3 軸まわりの流体抵抗モーメント N_R は、次式で評価する。

$$\left. \begin{aligned} F_{R1} &= -0.5 \rho C_w v^2 L_{pp} d \\ F_{R2} &= -0.5 \rho (C_f S + r_R \nabla^{2/3}) \dot{x}_2^2 \\ N_R &= -0.5 \rho C_m v^2 L_{pp}^2 d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 C_w は流体横力係数、 C_m は流圧モーメント係数、 L_{pp} は船舶の垂線間長、 d は船舶の吃水、 v は対水速度 ($\sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2}$) である。

c) 復原力

船体の横傾斜による静的復原力 F_{ST} は、次式で表される。

$$F_{ST} = -mg \overline{GM} \sin x_5 \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 m は排水量、 g は重力加速度、 \overline{GM} はメタセンター高さである。

d) 横傾斜の粘性減衰力

船体の横傾斜の粘性減衰力 D は、船速の効果を無視して次式のようなフルードの表現を用いる。

$$D = -a_0 \dot{x}_5 - b_0 |\dot{x}_5| \dot{x}_5 \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 a_0 および b_0 は粘性減衰係数であり、次式で評価する。

$$a_0 = 4am_5/T_R, \quad b_0 = 3bm_5/4 \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 T_R はロールの固有周期、 a および b は減減係数であり、船体の自由振動試験によって得られる減減曲線より求める。

e) ガイドからの反力

図-4 に示すように、ネット式ガイドの縦ラインの伸びによる反力 F_w は、受衝棒上端に取り付けられたバネおよびダッシュポットによる反力 F_s および F_{DP} とつり合い、以下のように表される。

$$F_w = \beta (F_s + F_{DP}) \dots\dots\dots (8)$$

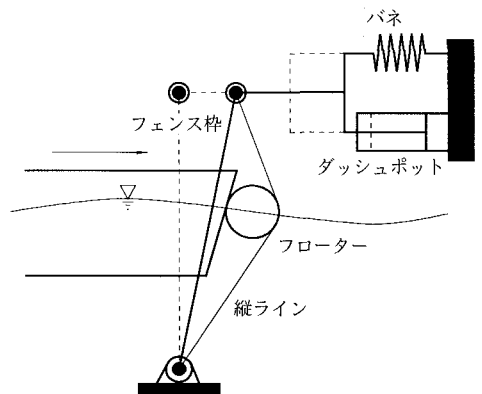


図-4 ガイドに作用する力のモデル化

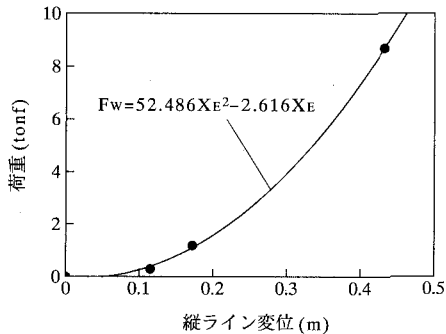


図-5 縦ライン変位—荷重特性

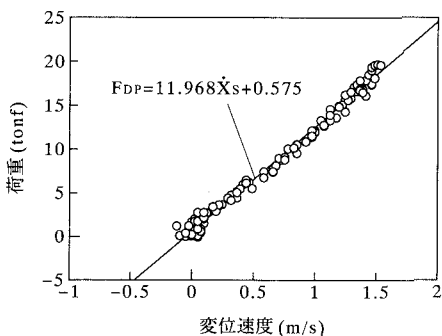


図-6 ダッシュポットの変位速度—荷重特性

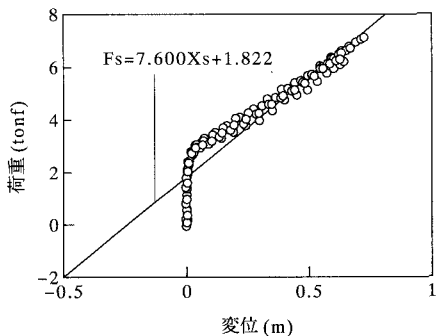


図-7 バネの変位—荷重特性

ここに、 β は図-4 に示すように、船体が縦ラインと接触する上下位置によって決まる定数である。

ここで、接触位置における受衝棒変位を x_s 、縦ラインの変位を x_E とし、実験より得た縦ラインの変位—荷重特性、ダッシュポットの変位速度—荷重特性およびバネの変位—荷重特性を図-5, 6, 7 に示す。

これより、 F_w 、 F_{DP} および F_s を次式で評価する。

$$\left. \begin{aligned} F_w &= 52.486x_E^2 - 2.616x_E \\ F_{DP} &= 11.968\dot{x}_s + 0.575 \\ F_s &= 7.6x_s + 1.822 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

今回使用したバネは初期反力を持っているが、これは今回使用したバネが筒の中に挿入されており、筒内面との間で摩擦力を持つためである。

f) サージング波力

波浪中におけるサージング波力は、船形を箱船近似とし、Lean (1971) の方法を準用して次式で評価する。

$$\left. \begin{aligned} F_{SV} &= -\frac{H}{2d}(m+m')gG \cos(r-\theta) \frac{\sin B_1 \sin L_1}{B_1 L_1} \\ &\quad \cdot \cos\{k(X_C \sin r + Y_C \cos r) - \omega t\} \\ G &= \frac{1}{k \cosh kh} \{\sinh kh - \sinh k(h-d)\} \\ B_1 &= \frac{kB \sin(r-\theta)}{2}, \quad L_1 = \frac{kL \sin(r-\theta)}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 H は波高、 m' は付加質量、 γ は波向、 k は波数、 X_C および Y_C は船の重心位置、 ω は角周波数、 h は水深、 B は船幅、 L は船長である。

4. 計算と実験との比較

(1) 漁船衝突時の衝撃荷重について

図-8 は横軸に杵に当たる直前の漁船の速度、縦軸に杵の衝撃荷重を表している。ここで、衝突直前の速度は前報 (久保ら, 1993) によれば通常船速に波による水粒子速度が加算されたものとなっている。

図中の○印は漁船及び波の進入角 (ガイド法面より測る) が共に 90 度 (ガイドに直角) の場合、△印は波の進入角が 90 度で漁船の進入角が 45 度の場合の実験値を表している。これより、斜め進入の場合の杵に働く衝撃荷重は直衝突の場合の衝撃荷重よりも小さい事より、直衝突を設計対象とする。

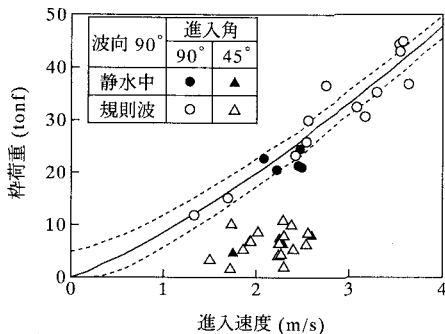


図-8 進入速度と杵荷重について

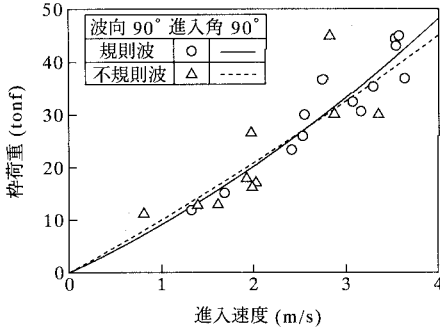


図-9 規則波と不規則波中での進入速度と杵荷重の比較

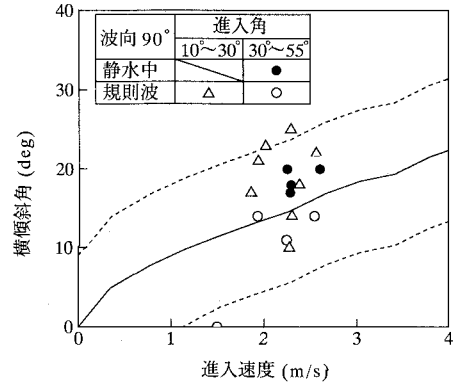


図-10 斜め進入時の船体横傾斜

3.(1)に示した運動方程式で波力の項を除いて差分化し、時々刻々の杵変位及び杵荷重を求め、速度と最大値の関係を示すと図-8の実線となる。図中の点線は波力項を考慮した場合の影響幅を示している。このように実験値と計算値がある程度合っていることより、杵に働く衝撃荷重は衝突速度に水粒子速度を加算することにより、ある程度算定でき、波力を考慮すれば、さらに精度よく算定できることが分かる。

図には示していないが、実験中の観察によれば、斜め進入波で、斜めに衝突する場合、船首がフロートや受衝杵の不連続部分に引っかかると衝撃荷重が大きくなるので、不連続部を無くすことが望まれる。

図-9は規則波と不規則波における進入速度と杵荷重との関係を示したものである。図中の太線は規則波の場合の回帰曲線、細線は不規則波の場合の回帰曲線を示している。これら2つの曲線が殆ど重なっている事より、規則波と不規則波の区別はなく衝突直前の船速により杵に作用する衝撃荷重が決まる事が分かる。

(2) 斜め衝突時の船体横傾斜について

波浪中での、斜め衝突時の船体横傾斜は波浪中での横傾斜と衝突した時の横傾斜とを加算したものと考えられる。ここでは便宜的に衝突時の横傾斜の計算では、波力を考慮せず、衝突速度の増減においてのみ波を考慮し、波浪中での横傾斜角は造船設計便覧(1983)より、次の4次方程式を解くことにより算定している。

$$B_R b^2 \phi_F^4 + 2ab B_R \phi_F^3 + (A_R + \alpha^2 B_R) \phi_F^2 - C_R^2 = 0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに A_R , B_R および C_R は T_R をロールの固有周期, T を波周期, γ を波の有効傾斜係数, θ_w を波形勾配とする時、次式にて与えられる係数である。

$$A_R = (1 - (T_R/T)^2)^2, B_R = (2T_R/T)^2, C_R = \gamma \theta_w \quad \dots\dots\dots (12)$$

図-10 は波による水粒子速度を加味した船速で初期

設定進入角度45度で衝突した場合の最大横傾斜角の実験値を示したものである。

図中、衝突直前の進入角が55~30度の場合の実験値を○, 30~10度迄の実験値を△で示している。図中の実線は水粒子速度を加味した船速で進入角45度で衝突した時の横傾斜の計算値、点線は横波中での横傾斜角を加味したものである。実験値は点線の間に納まっており、近似的ではあるが上述の方法で横傾斜を算定できることが分かる。

5. 結 語

実験及び数値計算より得られた結果を要約すれば次のようになる。

- 1) 受衝杵に作用する衝撃荷重は直衝突が最大となることより直衝突の場合を設計対象とする。
- 2) 杵に働く衝撃荷重は衝突速度に水粒子速度を加算する事により、ある程度算定でき、波力を考慮すれば、さらに精度よく算定できる。
- 3) 斜め進入波で、斜めに衝突する場合、フロートや受衝杵の不連続部分で船首が引っかかると衝撃荷重が大きくなることより、これらの不連続部を無くすことが望まれる。
- 4) 杵に作用する衝撃荷重の大きさにおいて規則波と不規則波の区別はなく、衝突直前の船速により杵に作用する衝撃荷重が決まる。
- 5) 波浪中での、斜め衝突時の船体横傾斜は波浪中での横傾斜と衝突した時の横傾斜との加算されたもので与えられる。

本研究を行うに当たり、港湾技術研究所の塩見室長および白石室長には多くの助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 関西造船協会編 (1983): 造船設計便覧, 海文堂, p. 417.
- 久保雅儀・斎藤勝彦・上田 茂・岡田 学・下田直克 (1992): 入港支援ガイド接触時の船体運動について, 日本航海学会論文集, 第 86 号, pp. 251-259.
- 久保雅儀・斎藤勝彦・上田 茂・岡田 学・下田直克 (1993): 波浪下における漁港用船舶入港支援ガイドの機能確認実験, 海岸論文集, 第 40 巻, pp. 946-949.
- Lean, G. H. (1971): Subharmonic Motions of a Moored Ship Subjected to Wave Action, Trans Roy. Inst. Naval Architects, London, 113, pp. 387-399.
-