

III-38 接岸時の船舶の衝撃力

中央大学 正員 林 泰 造

§ 1 緒 言

船舶の接岸時の衝撃力の評価は繫船岸設計上重要な事柄である。船舶のもたらす運動のエネルギーを吸収する機構として考えられているものほつぎの4つのものである：

- a. 船舶のローリング
- b. 船舶の縦方向回転
- c. 船舶の変形
- d. 繫船施設(防衝工もふくめて)の変形

このうち、a. の船舶のローリングによる吸収は極めて少いとして、従来の理論的取扱いにおいてははこの影響が無視されているようである¹⁾。

しかし、そのような仮定の妥当性が未だ数量的には検討されていないように思われるので、本研究においては、その影響(ローリング)も考慮した一般理論を導き、この問題につき種々検討する。

§ 2 基本方程式

図示のような座標系をとる。すなわち、 y は防舷材の縮み(繫船構造物の歪を含む)、 θ は船舶が繫船岸となす角度)、 ϕ は船舶の傾き(鉛直線となす角度)、 X は船舶の重心と防舷材との鉛直距離、 y_g は繫船岸に垂直な方向への船舶重心の変位、である。

重心 G の併進運動の方程式は

$$M \ddot{y}_g = -cy \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 M は船舶の質量(仮想質量を含む)、 c は繫船施設全体のバネ常数である。ところで、図から明らかに

$$\ddot{y}_g - a\ddot{\theta} - X\ddot{\phi} = \ddot{y}$$

であるから、この関係を(1)に代入すれば

$$M(\ddot{y} + a\ddot{\theta} + X\ddot{\phi}) = -cy \quad \dots \dots \dots (2)$$

つぎに、平面形の高転運動の方程式は

$$I_\theta \ddot{\theta} = cy \cdot a \quad \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 I_θ は G を通る鉛直線の周りの慣性モーメント (MR^2) である。

また、 G を通る水平線の周りの高転運動(ローリング)の方程式は

$$I_\phi \ddot{\phi} = cy \cdot X - wJ_\phi \phi \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 I_ϕ は G を通る水平線周りの船舶の慣性モーメント (Mr^2)、 J_ϕ は同水平線周りの、船舶の平面形がもつ断面2次モーメント ($\doteq b^3l/12$)、である。

(2)、(3)、(4) の3式が所要の基式となる。

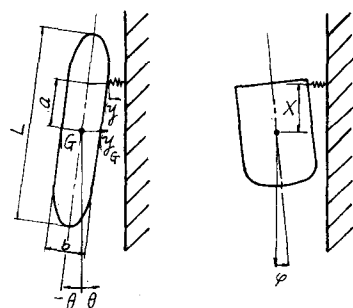


図-1 座標系

§ 3 基本方程式の処理

θ を消去するため、(3) を(2)に代入して整理すれば

$$\ddot{y} + \left(\frac{a^2}{I_\theta} + \frac{1}{M} \right) cy = -X\ddot{\phi} \quad \dots \dots \dots (5)$$

また、(4) から

¹⁾ 例えば、肥後春生：繫船岸の防衝工について、土木学会誌昭和33年10月

$$\ddot{\varphi} + \frac{w J_{\varphi}}{I_{\varphi}} \varphi = c X \cdot y \quad \dots \dots (6)$$

C' M は明らかに、船舶が重心で防舷材に当たった時 ($a=0, X=0$) の防舷材の振動角速度 ω_y を、また $w J_{\varphi} / I_{\varphi}$ は同じく重心で当たる時の船舶のローリング角速度 ω_{φ} を表わす。したがって

$$\frac{c}{M} = \omega_y^2, \quad \frac{w J_{\varphi}}{I_{\varphi}} = \omega_{\varphi}^2, \quad I_{\theta} = M R^2$$

を (5) と (6) とに代入すれば、両式は

$$\ddot{y} + \left(\omega_y^2 + \frac{a^2}{R^2} \right) y = -X \ddot{\varphi} \quad \dots \dots (7)$$

$$\ddot{\varphi} + \omega_{\varphi}^2 \varphi = \frac{c X}{I_{\varphi}} y \quad \dots \dots (8)$$

となる。この両式から y を消去すると

$$\ddot{\varphi} + \left(\omega_y^2 + \omega_{\varphi}^2 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2} \right) \varphi + \omega_y^2 \omega_{\varphi}^2 \varphi = 0 \quad \dots \dots (9)$$

となり、これが所要の基本式である。

§ 4 基本式の解

基本式 (9) の解は

$$\varphi = A \sin \omega_1 t + B \cos \omega_1 t + C \sin \omega_2 t + D \cos \omega_2 t \quad \dots (10)$$

ただし

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\omega_y^2 + \omega_{\varphi}^2 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2} + \left(\omega_y^2 + \omega_{\varphi}^2 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2} \right)^2 - 4 \omega_y^2 \omega_{\varphi}^2}{2}} \quad \dots (11)$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{\omega_y^2 + \omega_{\varphi}^2 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2} - \left(\omega_y^2 + \omega_{\varphi}^2 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2} \right)^2 - 4 \omega_y^2 \omega_{\varphi}^2}{2}} \quad \dots (12)$$

(10) を (6) に代入して y を求めると

$$y = \frac{I_{\varphi}}{c X} \left[(-\omega_1^2 + \omega_{\varphi}^2) A + (-\omega_1^2 + \omega_{\varphi}^2) B + (-\omega_2^2 + \omega_{\varphi}^2) C + (-\omega_2^2 + \omega_{\varphi}^2) D \right] \quad \dots \dots (13)$$

となる。(10) および (13) の A, B, C, D は積分定数であって、つぎの4つの初期条件から定められる：

$$(\varphi)_{t=0} = 0, \quad (\dot{\varphi})_{t=0} = 0, \quad (y)_{t=0} = 0, \quad (\dot{y})_{t=0} = v_0 \quad \dots (14)$$

この結果 y は (13) から

$$y = \frac{v_0}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \left[\frac{\omega_1^2 - \omega_{\varphi}^2}{\omega_1} \sin \omega_1 t + \frac{\omega_2^2 - \omega_{\varphi}^2}{\omega_2} \sin \omega_2 t \right] \quad \dots (15)$$

となる。

§ 5 平面回転およびローリングによる防舷材の衝撃の減少の割合

y の起りうる最大値は (15) から

$$y_{\max} = \frac{v_0}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \left[\left| \frac{\omega_1^2 - \omega_{\varphi}^2}{\omega_1} \right| + \left| \frac{\omega_2^2 - \omega_{\varphi}^2}{\omega_2} \right| \right] = \frac{v_0}{\omega_1 + \omega_2} \frac{\omega_1 \omega_2 + \omega_{\varphi}^2}{\omega_1 \omega_2} \quad \dots (16)$$

一方、船舶が重心で防舷材に当たる時 ($a=0, X=0$ の時) の $y_{\max}$ は明らかに

$$(y_{\max})_{a=0, X=0} = \frac{v_0}{\omega_y} \quad \dots \dots (17)$$

(16) と (17) との比を μ とおくと、

$$\mu = \frac{\omega_y}{\omega_1 + \omega_2} \left(1 + \frac{\omega_{\varphi}^2}{\omega_1 \omega_2} \right) \quad \dots \dots (18)$$

となり、 μ は防舷材に作用する力が船舶のローリングおよび平面運動の影響による減少の割合を表わす。上式を書き直すと

$$\mu = \frac{\lambda + (1/\sqrt{1 + \frac{a^2}{R^2}})}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad \dots \dots (19)$$

ただし、 $\lambda = \omega_y / \omega_{\varphi}$

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{\frac{1 + \left(1 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2}\right) \lambda^2 + \sqrt{\left[1 + \left(1 + \frac{a^2}{R^2} + \frac{X^2}{I_{\varphi}^2}\right) \lambda^2\right]^2 - 4 \left(1 + \frac{a^2}{R^2}\right) \lambda^2}}{2}} \\ \lambda_2 &= \sqrt{\frac{\dots \dots \dots - \sqrt{\dots \dots \dots}}{2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots (20)$$

§ 6 μ の値

(19) によって計算することができ：

$\lambda = 0.2$ の場合

$\frac{X}{r} \backslash a/R$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0	1	.9806	.9285	.8575	.7809	.7071
0.5		.8566	.8282	.7778	.7091	.6356
1		.8375	.8200	.7699	.7091	.6297
1.5		.8248	.8064	.7577	.6913	.6201
2		.8063	.7886	.7412	.6768	.6075

$\lambda = 1$ の場合

$\frac{X}{r} \backslash a/R$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0	1	.9619	.8622	.7362	.6096	.5000
0.5		.9699	.9517	.9029	.8368	.7626
1		.8945	.8786	.8367	.7786	.7145
1.5		.8000	.7872	.7527	.7115	.6522
2		.7072	.6969	.6687	.6299	.5871

上表によっても $a/R, X/r$ の値により μ が減少する状況がよく認められる。

本研究は、大成建設KK研究部 友人 白井増次郎氏との討議の間に成されたものであり、同氏の着想は同氏に負うところが多い。記して厚く謝意を表す。