

1. 研究目的

本回連絡橋のような巨大な矩形断面橋脚に風や潮流等によって漂流衝突する船体の衝撃力を算定する理論式を導き、併せて模型実験によってその妥当性を検証する。また算定式に用いる船体付加質量（あるいは付加慣性モーメント）として元来の値を適用することの適否を検討する。さらに衝突力に及ぼす流水の影響を調べる。

2. 衝突力算定式の誘導

座標系を図-1のようにとる。理論解析の簡単のために次の仮定を設ける。

- (1) 緩衝工と船腹の接触点においては滑りはない。
- (2) 緩衝工と船腹の合成変形量と反力の関係は線型である。
- (3) 衝突時間中（緩衝工と接触中）の船体回転角 θ の変化は微小である。

図-1において、 y ：緩衝工と船腹の合成変形量、 k ：ばね定数、 F ：衝突力、 θ ：回頭角度（yaw）、 ϕ ：横揺角度（roll）、 ξ, η, ζ ：船体固定座標軸、 V_0 ：衝突速度、 θ_r ：速度ベクトルと ξ 軸のなす角度、 v_x, v_y ： η 軸、 ξ 軸方向の船体重心速度、 a ：衝突点と重心点の ξ 軸方向の水平距離、 h ：衝突点と重心点の鉛直距離、 $2b$ ：船幅、 F_n, F_t ：船腹に働く垂直反力および接線反力

衝突時の船体運動方程式は林・白井の接岸時の船舶衝突力の算定理論で用いたものと同様な次式で与えられる。

$$\eta \text{ 軸方向の並進運動 (sway) : } M_y \ddot{y} = -F_n \tag{1}$$

$$\xi \text{ 軸方向の並進運動 (surge) : } M_x \ddot{x} = -F_t \tag{2}$$

$$\xi \text{ 軸周りの回転運動 (yaw) : } I_y \ddot{\theta} = a F_n + b F_t \tag{3}$$

$$\xi \text{ 軸周りの回転運動 (roll) : } I_x \ddot{\phi} = F_n h - W h_m \phi \tag{4}$$

ここに、 $M_y = M_0 + M_{ya}$ ： η 軸方向の見掛質量、 $M_x = M_0 + M_{xa}$ ： ξ 軸方向の見掛質量、 $I_y = I_{y0} + I_{ya}$ ： ξ 軸周りの見掛慣性モーメント、 $I_x = I_{x0} + I_{xa}$ ： η 軸周りの見掛慣性モーメント、 M_0 ：船体質量、 $W = M_0 g$ ：船体重量、 h_m ：傾心高、subscript a ：付加質量および付加慣性モーメントを表わす。

船腹への接線反力を

$$F_t = \mu F_n \tag{5}$$

の形と与え、 $\cos \theta \approx 1$ 、 $\sin \theta \approx \theta$ と近似すると(1)式~(4)式の F_n, F_t は次式のように表わすことができる。

$$F_n \approx k y, F_t \approx \mu k y \tag{6}$$

$$\text{さらに、} v_y - a \ddot{\theta} - h \ddot{\phi} = \dot{y} \cos \theta \approx \dot{y} \tag{7}$$

の関係式を用いて(1)、(3)および(4)式を次の初期条件の下で解くと衝突力が(9)式のように求められる。

$$(\phi)_{t=0} = 0, (\dot{\phi})_{t=0} = 0, (\dot{y})_{t=0} = V_{y0}, (y)_{t=0} = 0, (\theta)_{t=0} = 0 \tag{8}$$

$$F = \frac{k V_{y0}}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \left[\frac{\omega_1^2 - \alpha \omega_2^2}{\omega_1} \sin \omega_1 t - \frac{\omega_2^2 - \alpha \omega_1^2}{\omega_2} \sin \omega_2 t \right] \tag{9}$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{1}{2} \left[(\omega_y^2 + \alpha \omega_x^2) + \sqrt{(\omega_y^2 + \alpha \omega_x^2)^2 - 4 \beta \omega_y^2 \omega_x^2} \right] \\ \omega_2^2 &= \frac{1}{2} \left[(\omega_y^2 + \alpha \omega_x^2) - \sqrt{(\omega_y^2 + \alpha \omega_x^2)^2 - 4 \beta \omega_y^2 \omega_x^2} \right] \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

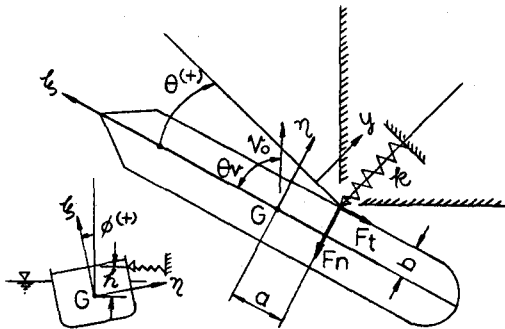


図-1 座標系

また、

$$\alpha = 1 + \frac{a(a+\mu b)}{R^2} + \frac{f^2}{r^2}, \quad \beta = 1 + \frac{a(a+\mu b)}{R^2} \quad (11)$$

$$\omega_y^2 = \frac{I_x}{M_2}, \quad \omega_z^2 = \frac{W h_m}{I_y}, \quad R^2 = \frac{I_x}{M_2}, \quad r^2 = \frac{I_y}{M_2}$$

3. 実験値と計算値の比較

実験に用いた橋脚模型の水平断面の寸法は、縦幅×横幅が 27 cm×45 cm, および 54 cm×90 cm の 2 種類である。また船体模型も長さ×船×吃水が 100 cm×17.0 cm×6.2 cm, および 150 cm×25.5 cm×7.8 cm の 2 種類のものを用いた。実験に用いた水槽は長さ 35 m, 幅 4.0 m, 深さ 0.8 m の回流水槽である。衝撃工として片持梁形式の板ばねを用い、そのばね定数は実物のものとして考えられている。衝撃工の圧壊実験の結果に基づいて模型で $\sigma = 1.76 \text{ kg/cm} \sim 6.78 \text{ kg/cm}$ (実物換算値で $1760 \text{ kg/m} \sim 6780 \text{ kg/m}$) の範囲のものを用いた。

図-2 は静水中で橋脚側面に $V_0 = 4 \sim 10 \text{ cm/sec}$ の速度で漂流衝突させて得られた衝突力の実験値と(9)式から求めた計算値と比較して示したものである。また、図-3 は流水中(橋脚正面に直交な流れ)で行った実験値と計算値の比較を示している。流速は約 20 cm/sec である。これらの図から静水中、流水中いずれの場合もばらつきは大きいほぼ実験値と計算値が一致していることが認められる。このことから、衝突時には流体力の影響は余りないものと考えられる。したがって、流れの中で漂流する船体が衝突する場合でも流れの影響を考慮していない(1)式～(6)式の運動方程式が適用できると考えられる。

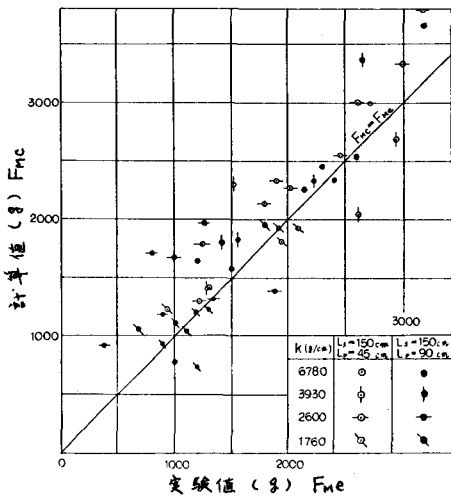


図-2. 静水時衝突力の実験値と計算値の比較

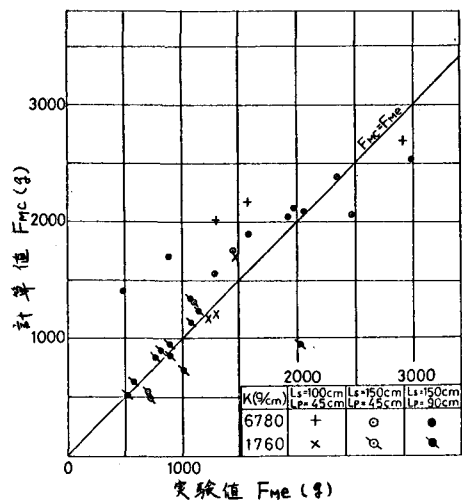


図-3. 流水時衝突力の実験値と計算値の比較

計算に用いた船体の見掛質量および見掛け慣性モーメントは元良の実験値に基づいて、 $L_s = 150 \text{ cm}$ 船では $M_2 = 1.68 M_0$, $I_x = 1.90 I_0$ 。また $L_s = 100 \text{ cm}$ 船では $M_2 = 1.81 M_0$, $I_x = 1.90 I_0$ である。これらの値を用いて計算した値と実験値が前述のようにほぼ一致していることから、橋脚のような境界を有する場合でも一応元良の値が適用できると思われる。本研究は文部省科学研究費自然発露特別研究「海洋構造物の安全性に関する研究」の一部であることを付記する。

参考文献

- (1) 林 泰造・白井 増次郎：接岸時船舶の衝撃力について，第 8 回 海岸工学講演会講演集，1961
- (2) 元良 誠三：船体運動に対する附加質量及び附加慣性モーメントについて，其の 1，造船協会秋季講演会 昭和 34 年
- (3) “ ”，其の 3，造船協会秋季講演会 昭和 34 年