

(45) 段波が構造物に作用する衝撃力 一水面衝撃実験からの推定一

立命館大学理工学部 大同淳之

1. はしがき；段波が物体に衝突するときに、物体に作用する衝撃力について考察した。段波の前面は不安定で、これを解析的に表現する、あるいは実験で再現することは難しいので、解析及び実験では液面に固体を衝突させて行なった。
 2. 水面衝撃力；図1のように静止した質量Mの物体に、速度 V_0 、密度 ρ の段波が衝突したとき、物体に作用する力Pは

$$P \equiv M \left(\frac{dV}{dt} \right) \equiv d \left(m; V \right) / dt \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

によって表わされる。ここで M は物体の質量、 m は仮想質量である。Karman は、二次元楔形の物体では、 $m = (1/2) \pi \rho C^2$ 、 C は物体の静水面における幅の $1/2$ 、とした。これは半径 C の円筒形の水の質量の $1/2$ と等価であるから、図 2 の斜線部に相当する。

球のような三次元対称形の仮想質量の表示式は複雑なため、物体の厚みを省略して零とした円波の仮想質量で近似すると、半径 C の円板の仮想質量 m は、Lamb によると、 $m = (21\pi\rho C^3) = (813)\rho C^3$ であるから、Karman にならって着水衝撃にかかる仮想質量 m を上式の半分、つまり

$$m = \left(\frac{4}{3}\right) \rho C^3 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2)$$

とすると、衝撃力 P は(1)式より $d(m\omega)/dt$ によって表わされるから、物体の速度を w 、接水幅の拡がる速度を dc/dt とし、 $u = \omega / (dc/dt)$ とすると、

$$P = \frac{\frac{4}{3} \rho^3 r^3 u_0^2}{\left(1 + \frac{4}{3} \rho \frac{r^3}{M}\right) \left(1 + \frac{m}{M}\right)^2 u} \dots\dots\dots (3)$$

もし、物体が球のとき、浸水深 h と球の半径 R との間に、 $\gamma = h \sqrt{2R-h}$ の関係があるから、これを代入し、 $h/R = \delta$ 、 $P/\rho\pi R^2 w_0^2 = F$ と無次元表示すると、球の場合 $u = \sqrt{\delta(2-\delta)/(1-\delta)}$ より、

$$F = -\frac{4\sqrt{\delta}(2-\delta)(1-\delta)\pi^2(\sigma/\rho)^3}{\{(\sigma/\rho)\pi + \delta^{3/2}(2-\delta)^{3/2}\}^3} \dots\dots\dots(4)$$

となる。 δ とFの関係を図4に示す。図ではRichardsonが球の仮想質量を $m = 2\pi G^3/3$ としている場合を比較のために記入した。

(4)の解によると、衝撃力 P は、流れの衝突速度 w_0 の二乗に比例

と表される。この定義に従うと、(4)式の E は $C_M / 2$ に相当する。また、般に伝導度量 α

$$P \equiv C M m : (dV/dt) \quad (2)$$

$$C_M \frac{R}{G} \frac{dw}{ds} = \frac{3\pi F}{4 \left(\frac{s}{2} - \frac{d}{2} \right)^{3/2}} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

となる。図 5 に(7)式の関係を示す。

3. 実験との比較；以上の解析の妥当性を確め、係数を決定するために実験を行なった。実験は球を水面に落し、沈降速度の変化を450コマ/sec のカメラで撮影して、速度変化から、球の受ける力を求めた。図4のFは任意の時間における力であるのに対し、実験で求められる力は、測定間隔 Δt の間の平均値であるから、任意の δ について、その δ に至るまでの力 F の平均値 \bar{F} で比較を行なう。解析から得られる \bar{F} と δ の関係は図6に、またこの計算値 \bar{F} と測定値 F の比較を図7に示す。(4)式で求めたものが実測値より大きく、適当な係数(< 1)を掛ける必要がある。この係数は定数ではなく δ の関数である。図8はCMの値を比較したものである。いずれにしてもRichardsonの用いた値より実際に近い。CMそのものの値は図9に示す。比較のため、球の仮想質量 m を浸水体積に等しいとして、同様の計算を行なうと、
$$\bar{F} = \delta(2-\delta)/\left\{1 + \frac{\rho}{4\sigma}\delta^2(3-\delta)\right\}^3 \quad \dots \dots \quad (8)$$
となる。この場合の比較を図10、図11に示すが、このほうが実験値に近い。いずれにしてもこれらの係数を用いると、段波による構造物への衝撃力が求まる。

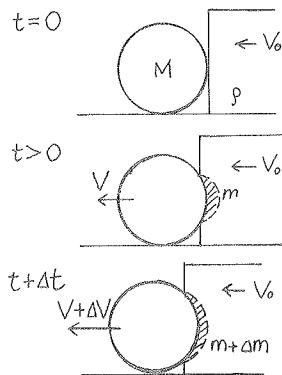


図1 段波が球に衝突するモデル

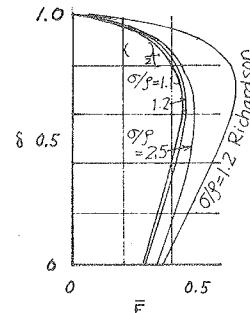


図6. F の平均値 \bar{F}

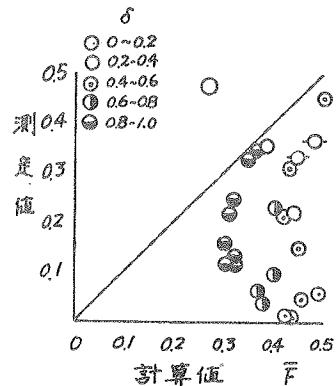


図7 測定値と計算値の比較
(4式による)

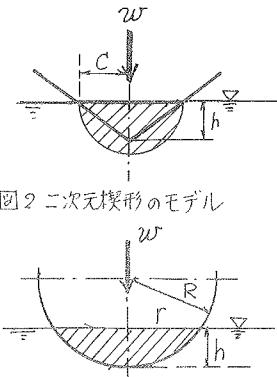


図2 二次元模型のモデル

図3. 球体

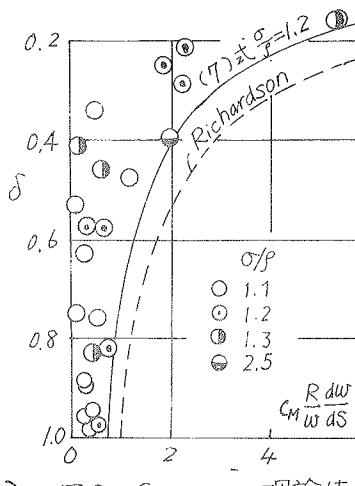


図8. C_M についての理論値
との比較

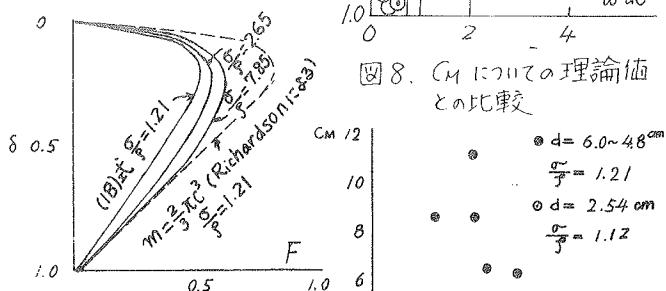


図4 δ と F の関係

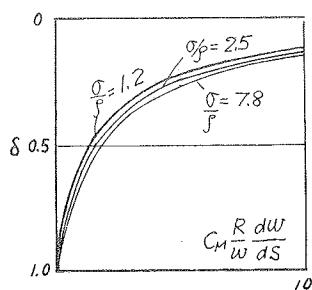


図5. δ と C_M の関係

図9. 実験より得た C_M の値

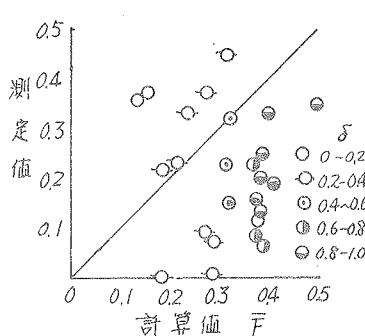


図10. 測定値と計算値の比較
(8式による)

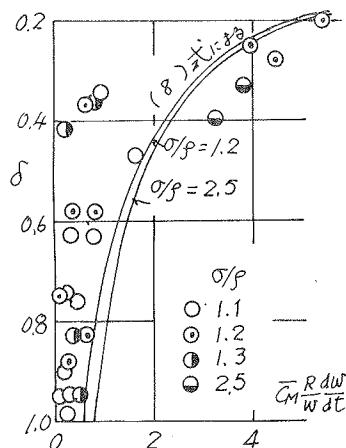


図11. C_M についての理論値
との比較 (8式による)