

1-7 放水暗よりに発生する揚圧力に関する研究

高知大学工学部 正員 〇玉 井 佐一
島根県庁土木部 中 尾 美樹夫

1. まえがき

河口暗よりにしげしげ波の侵入によっておこる衝撃的揚圧力が発生し、暗よりの破壊による排水不能が洪水災害の一因ともなっている。この研究は放水暗よりに発生する衝撃波力の特性について実験的に検討するとともに若干の理論的考察を行い、実験結果と比較検討したものである。

2. 理論解析

静水面上の距離にある板に働く動水圧の理論的取扱いは、波、海浜板の特性をすべて考慮すると非常に複雑となる。ここでは単純化し水平板について取扱う。板に作用する圧力の基本式は表面波の振幅を η とすると

$$\eta = d, \quad \frac{P_0}{r} = A \frac{d}{dt} \left(\frac{M}{r} u_0 \right) \dots \dots \dots (1)$$

静水面から与える位置の圧力 P_0 の一般式は

$$\eta > d, \quad \frac{P_0}{r} = -g - \frac{1}{2} \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} f(t) \dots \dots \dots (2)$$

ここに P_0 : 衝撃力, M : 衝撃力として作用する水の質量, u_0 : 質量 M の鉛直方向速度, A : 受圧面積, r : 水の単位重量, ϕ : 速度ポテンシャル, g : 重力加速度

(1) 定常波の場合

カルマンの仮定によれば、このような板の衝撃圧力に関係する質量 M は幅 b , 直径 $2S$ をもつ半円筒の水の質量に等しいとしている。すなわち

$$M = \frac{\rho \pi}{2} S^2 b \dots \dots \dots (3)$$

また $A = 2Sb$ とし、 u_0 は自由表面における水粒子速度 U とすると

$$\frac{P_0}{r} = \frac{\pi \rho}{2g} \frac{dS}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

となる。またおこる波の波高の基準線は図-1 のような面をもつとすると

$$\frac{dS}{dt} = U (\cot \theta_1 + \cot \theta_2) \dots \dots \dots (5)$$

これを(4)式に入ると

(1) Von. Kármán, T. The impact on airplane floats during landing. National Advisory Committee for Aeronautics, Technical note 7430, 1953

$$\frac{P_0}{r} = \frac{\pi \rho U^2}{2g} \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{\sin \theta_1 \sin \theta_2} = \frac{\pi \rho U^2}{2g} \cdot \delta \dots \dots \dots (6)$$

という。一方(2)式にあり

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -g \eta \frac{\cosh \frac{2\pi(R+\eta)}{\lambda}}{\cosh \frac{2\pi h}{\lambda}} \dots \dots \dots (7)$$

とすると

$$\begin{aligned} \frac{P_0}{r} &= -g + g \frac{\cosh \frac{2\pi(R+\eta)}{\lambda}}{\cosh \frac{2\pi h}{\lambda}} + (\text{higher order terms}) \\ &= -g + \rho g \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

静水面上の位置では

$$\frac{P_0}{r} = \rho g - d \dots \dots \dots (9)$$

(ρ : Pressure Response factor = 1.2)

(2) 進行波の場合

図-2 のように板の下方に波が侵入した時の瞬間的な変化率は

$$\frac{dS}{dt} = C + U \cot \theta \dots \dots \dots (10)$$

これを(4)式に入ると

$$\frac{P_0}{r} = \frac{\pi \rho}{2g} U (C + U \cot \theta) \dots \dots \dots (11)$$

浅瀬波の水面変化は、水面における水粒子鉛直速度 U と波速 C とを式、さらに

$$\cot \theta = \frac{dx}{dy} = \frac{\lambda}{\pi H (1 - \frac{4y^2}{H^2})^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (12)$$

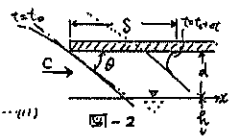
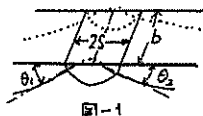
を(11)式に入ると

$$\frac{P_0}{rH} = \frac{\pi}{2} \tanh \frac{2\pi b}{\lambda} \left(1 - \frac{4y^2}{H^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (13)$$

H は任意長の波高である。静水面上の位置にある板に与える(13)式の $y = d$ とする。すなわち

入射波高 H_1 とすると、長さ L の間 d における波の伝達率を考慮すると

$$\frac{H}{H_1} = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[\frac{\pi L}{\lambda} \left(1 - \frac{2d}{H_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}} \dots \dots \dots (14)$$



(14)と(13)に代入

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\pi}{2} H_1 \tanh \frac{2\pi L}{\lambda} \left\{ \frac{1 - 4d^2 \left(1 + \left(\frac{\pi L}{\lambda} \left(1 - \frac{2d}{H_1} \right) \right)^2 \right)}{1 + \left(\frac{\pi L}{\lambda} \left(1 - \frac{2d}{H_1} \right) \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

.....(15)

また P_2/P_1 は(9)式において $\beta = 2.0$ とすると

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{H_1}{\left\{ 1 + \left(\frac{\pi L}{\lambda} \left(1 - \frac{2d}{H_1} \right) \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} - d \quad \text{..... (16)}$$

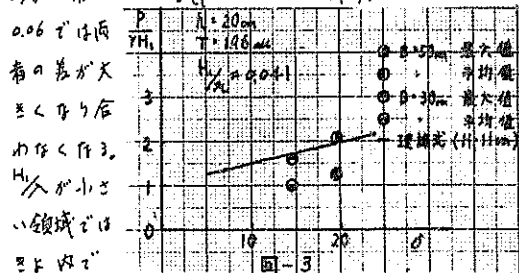
と得る。

3. 実験設備および実験方法

実験は長さ20m、幅2m、深さ15cmの波水槽を使用し、一端に水平部長42cm、高さ50cmの固定板をマウンドと設けた。マウンド沖側の斜面勾配は1:7とし、この斜面より50cmの位置に暗さ計測先端がくさそう設置した。暗さ計の大きさは長さ15cm、高さ30cm、幅が50cmの二種類とした。上板中央線上に先端部より15cm、25cm、.....と10cm間隔に15隻、波圧計をとりつけた。放水暗さ計の波については定常波と進行波を対象とし、定常波の場合は長さ内水深 $h = 20cm, 25cm$ とし、波は周期 $T = 1.2, 1.6$ 秒、波高 $H_1 = 4 \sim 5cm$ とした。進行波の場合は長さ $L = 24, 27cm$ とした。なお波高 H_1 (入射波高)は暗さ計測先端で測定した。また、長さ内の波形の变化は写真撮影によった。

4. 実験結果とその考察

定常波の場合、横軸に(16)式における δ 、縦軸に P_2/H_1 ($P = P_1 + P_2$)をとって示す図-3のようである。実験数が少ないが、最大値については実験値と計算値は比較的良好に合っている。 $(\beta = 2.0$ とし計算) δ が $H_1/\lambda > 0.06$ では両者の差が小さくなり合致する。 H_1/λ が小さい領域では



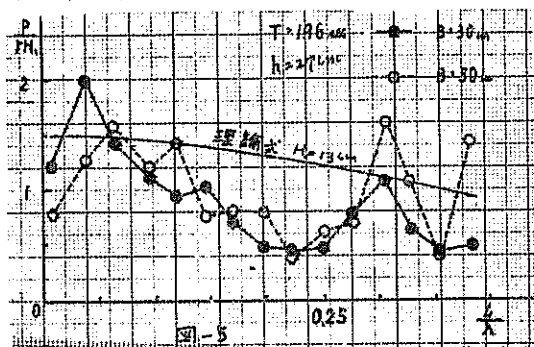
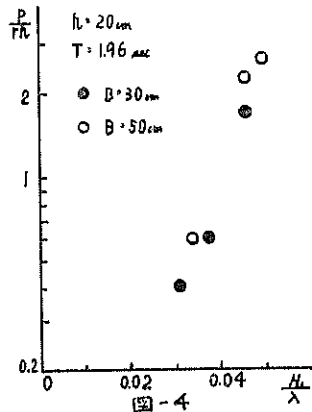
スムーズな重複波が現れるのに伴い、 H_1/λ が大きくなるにつれて波形が乱れることが原因といえる。

図-4は H_1/λ と P_2/H_1 の関係を示した。両者は片対数グラフで直線的関係が示される。

2) Carr, H. G. J., Reflection and transmission of water waves by floating and fixed rigid surface barriers, C.I.T. Hydrom. Lab., Progress Report on Contract N65-TU-27, 1950.

進行波の場合

長さ内に発生する波力の特性を横軸に暗さ計の長さ L と波長 λ の比 L/λ ととり、示す図-5のようである。理論値と実験値とはその傾向を果している。これは理論計算における波高は放水暗さ計



先端より徐々に波高を小さくするとしているのに対し、実験では側壁の影響等により、かなり複雑に運動している。入口部で衝突した波は急に波高が減少する。したがって計算では最大波圧発生地長は暗さ計先端部であるが、実験値は先端よりやや奥部で第一次極大波圧が発生し、その後波圧は急に減少するが、再び奥部で波圧が増大し、第二次極大波圧が発生する。この極大波圧は $T = 1.96$ sec の時 $L/\lambda = 0.05 \sim 0.1$ 及び $0.3 \sim 0.35$ の2地長、 $T = 1.6$ sec の時 $L/\lambda = 0.05 \sim 0.1$ 、 $0.3 \sim 0.35$ 及び $0.6 \sim 0.65$ の3地長、 $T = 1.2$ sec では $L/\lambda = 0.1 \sim 0.15$ 及び $0.6 \sim 0.65$ の2地長に発生する。

長さ内に発生する最大波圧 P_{max}/H_1 と H_1/λ の関係の一例を図-6に示す。これはかなり直線的な関係があることがわかる。

