

IV-3

水平板をもつ透過性の防波堤と岸壁の研究

九州大学 正員 井島武士 同 正員 〇江口泰彦
同 正員 小林 彰 同 学生員 矢野信弘
同 学生員 永田憲行

1. 緒 言

港口部分の波の擾乱を軽減し、又港内の反射波をおさえて港内の静穏度をあげるという目的などにより、近年種々の異形ブロックを利用した消波構造が考案され施工されるようになった。しかしその理論的解析は完全にはなされていない現状である。

本論文では、水平板の下部に空隙と抵抗をもつ物質が填充されている場合の波の作用を、理論的に解析し、又その計算値と実験によって検証した結果を報告する。

2. 理 論

紙面の都合上、ここではその過程及び記号の説明を省略し、理論式だけを記述するにとどめる。詳細は第17回海岸工学講演会論文集(P.97~P.106)等を参照されたい。(なお ~~~ の部分は新たに訂正した箇所である。

① 透過性水平板防波堤の場合

座標系及び流体域は図-1のようにとするものとする。

(i) 領域(I)における速度ポテンシャルは

$$\phi_1(x, z, t) = a e^{i\omega t} \left[\left(e^{ik(x-l)} + \frac{b}{a} e^{-ik(x-l)} \right) \frac{\cosh kh(z+h)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_n}{a} e^{-k_n(x-l)} \frac{\cosh k_n(z+h)}{\cosh k_n h} \right] \quad \text{--- ①}$$

水面波形は

$$\zeta(x, t) = -\frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \alpha \left[e^{i(kx+\omega t)} + \frac{b}{a} e^{-i(kx-2kl-\omega t)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_n}{a} e^{-k_n(x-l)} e^{i(k_n l + \omega t)} \right] \quad \text{--- ②}$$

反射率 $K_r = \left| \frac{b}{a} \right|$ --- ③

(ii) 領域(II)における速度ポテンシャルは

$$\phi_2(x, z, t) = a e^{i\omega t} \left[\frac{e_0}{2a} + \frac{e_0}{2a} \frac{x}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{d_r \cosh rH}{a \cosh rH} + \frac{e_r \sinh rH}{a \sinh r} + \frac{e_r \sinh rH}{a \sinh rH} \right) \cos r \frac{x}{h} \right] \quad \text{--- ④}$$

入射波 $\zeta_0 = \alpha \cos(kx + \omega t)$ による流体圧力は静水圧を除くと、

$$\frac{p}{\rho g \alpha} = \frac{\beta}{V} e^{i(kx + \omega t - \nu)} \left[\frac{d_0}{2a} + \frac{e_0}{2a} \frac{x}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{d_r \cosh rH}{a \cosh rH} + \frac{e_r \sinh rH}{a \sinh rH} \right) \cos r \frac{x}{h} \right] \quad \text{--- ⑤}$$

これから水平板に作用する圧力 $P_{z=0}$ と全揚圧力 P_u はそれぞれ次のようである。

$$\frac{P_{z=0}}{\rho g \alpha} = \frac{\beta}{V} e^{i(kx + \omega t - \nu)} \left[\frac{d_0}{2a} + \frac{e_0}{2a} \frac{x}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{d_r \cosh rH}{a \cosh rH} + \frac{e_r \sinh rH}{a \sinh rH} \right) \right] \quad \text{--- ⑥}$$

$$\left| \frac{P_u}{\rho g \alpha} \right| = \frac{\beta}{V} \left| \left(\frac{d_0}{2a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{d_r \tanh rH}{rH} \right) \right| \quad \text{--- ⑦}$$

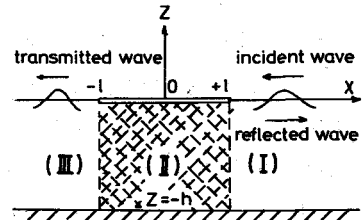


Fig-1 Definition Sketch (Breakwater)

(iii) 領域Ⅳにおける速度ポテンシャルは

$$\phi_3(x, z; t) = a e^{i\omega t} \left[\frac{f}{a} e^{i k(x+l)} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_n}{a} e^{k_n(x+l)} \frac{\cosh k_n(z+h)}{\cosh k_n h} \right] \quad \text{--- ⑧}$$

水面形状は

$$\zeta(x, t) = \alpha e^{i(kx + \omega t)} \left[\frac{f}{a} e^{i k(x+l)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_n}{a} e^{k_n(x+l)} \right] \quad \text{--- ⑨}$$

$$\text{通過率} \quad K_t = \left| \frac{f}{a} \right| \quad \text{--- ⑩}$$

② 透過性水平板岸壁の場合

図-2に示すように長さ l の水平板をもつ鉛直壁を考へる。

領域Ⅰにおける速度ポテンシャルは防波堤の場合と同じであり

領域Ⅱにおける速度ポテンシャルは次式で示される。

$$\phi_2(x, z; t) = e^{i\omega t} \sum_{r=0}^{\infty} D_r' \cosh \frac{r\pi x}{l} \cosh \frac{r\pi z}{h} \quad (r=0, 1, 2, \dots) \quad \text{--- ⑪}$$

以下の理論式はここでは省略する。

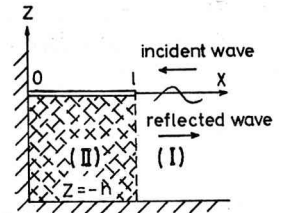


Fig-2 Definition Sketch (Quay Wall)

3. 実験

水平板の下部に5cm角の木材を並べ(写真-1参照)

空隙率 V 及び堤体の長さ l を自由に変えられるようにして

実験を行ない、反射率、通過率、圧力を求めた。実際に

実験を行なったのは $l/h = 0.5, 1.0, 1.5$ (但し防波堤の

場合、岸壁の場合は $l/h = 1.0, 2.0, 3.0$)。 $V = 0.4, 0.5, 0.6$

$\omega^2/g = 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5$ の場合である。なお、幅1m、深さ60cm、長さ20mの

造波水槽を用い、水深を30cmとし、波高を容量式波高計を用いて測定した。



【写真-1】

4. 計算及び実験の結果

(1) 反射率 K_r

通過率 K_t

式⑧、⑩を用い計算

した結果と実験値を図-

3に岸壁の K_r を図-4に

示す。これによると、

計算値は $\omega^2/g (= 2\pi h/L)$ 、

L は深部波の波長が

大きいほど、又 l/h の

増大と共に K_r は増加し

K_t は減少する。

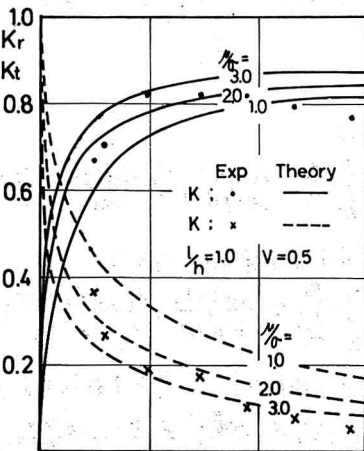


Fig-3 Transmission and Reflection Coefficients (Breakwater)

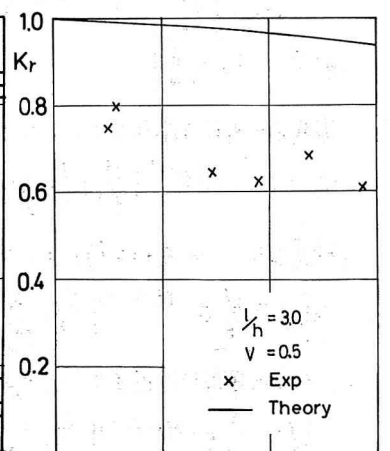


Fig-4 Reflection Coefficients (Quay Wall)

防波堤の場合、反射率は幾分理論値より小さくなることが認められており、図-3の K_r より $\sigma_h/\rho g$ と M/ρ の関係を見出すと図-5のようになる。しかし、この関係はまだ研究の余地がある。

岸壁の場合は、計算値では M/ρ のいずれにすわらず K_r は0.94以下には下がらないが、実験値では0.6~0.8程度である。これは越波の影響などのためであろう。

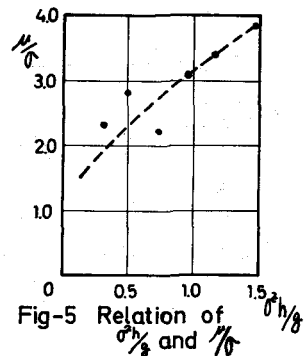


Fig-5 Relation of $\sigma_h/\rho g$ and M/ρ

(2) 水平板に作用する圧力

式④によつて計算した結果と実験値を $L/h=1.0, V=0.5, M/\rho=1.0$ の場合について図-6に示す。図-7は $L/h=3.0$ の岸壁の場合である。

これによると $\sigma_h/\rho g$ が大きいほど圧力分布の変化は著しく、また防波堤・岸壁共水平板前端付近に圧力が集中している。なお、実験値は計算値よりやや小さめであるが傾向はよく一致している。

(3) 全揚圧力

静水面上に位置する水平板に作用する単位振幅当りの平均圧力 $P_0/\rho g \lambda/2$ (P_0 は水平板全幅に働く単位奥行当りの全揚圧力)として $\sigma_h/\rho g$ について図-8にプロットした。水平板の下部に透過性物質のない場合と、又 V によつてもほとんどその値は変わらない。

(4) 鉛直壁面に作用する圧力

図-9に計算値と実験値を示す。これによると $\sigma_h/\rho g$ が小さいほど、つまり波長が長い波ほどその圧力は大きい。計算値・実験値共 L/h によつて圧力はほとんど変わらない。なお、実験値の方が計算値よりわずかに圧力は小さいが傾向は一致している。

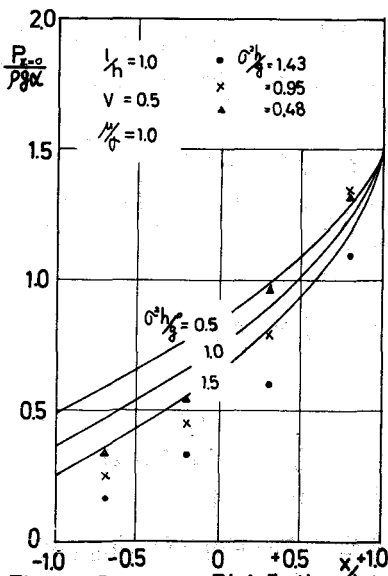


Fig-6 Pressure Distribution to Plate (Breakwater.)

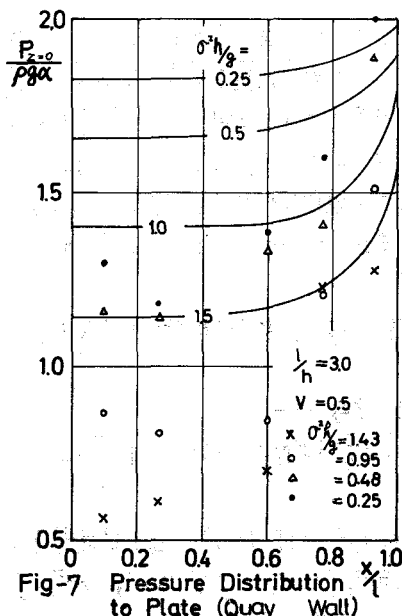


Fig-7 Pressure Distribution to Plate (Quay Wall)

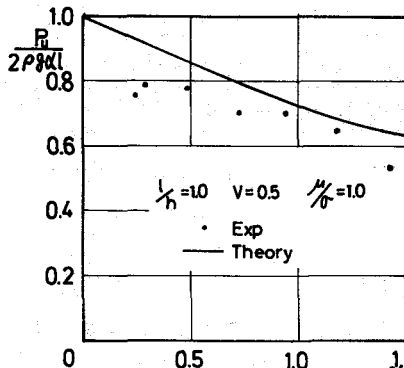


Fig-8 Averaged Uplift to Plate σ_h/h
(Breakwater)

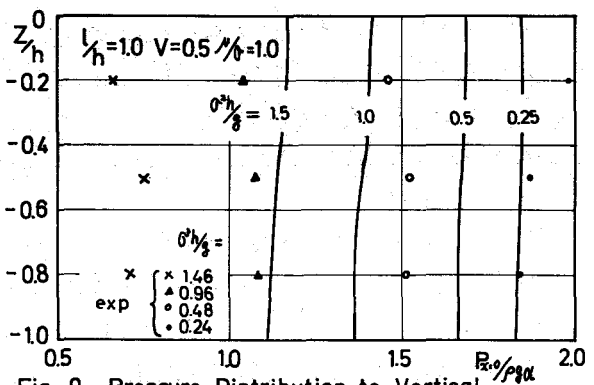


Fig-9 Pressure Distribution to Vertical Wall

5. むすび

理論式を導く過程は前述の論文集に詳細に記述されているので、ここでは簡単にその結果だけを記載すると共にその修正を加え、また実験値を新しく加え比較してみた。

計算及び実験も多く、Case について行なったが紙面の都合上割愛した。 R/h , V , M/h の差による反射率、通過率、圧力は次の機会に報告したいと思う。

模型実験であるから、理論値と実験値が完全に一致しないところがあるのはやむをえないが、全般的に良く傾向はつかめたと思われる。理論値と実験値がずれる理由として次のような事が考えられる。

- ① 空隙を流れる流体の真の流速を U , W とし、単位質量の流体についての抵抗係数を μ とすると、ここでは簡単のため、抵抗を流速に比例すると仮定し、1次元の μU , μW にとっている。しかし実際には2次元の αU^2 , αW^2 となることも考えられる。
- ② 理論式には、水平板を越える波は全然考慮されていないが、実際には越流している。
- ③ 実験水槽が小規模なため $T = 0.92 \text{ sec}$ 以下つまり $\sigma_h/h = 1.5$ 以上になると実験値に不審な点が現れてくる。また、底面の粗度等による波の減衰も認められる。

なお、計算には九州中央計測施設の OKITAC 5090H を用いた。

— 参考文献 —

- ① 井島・尾崎・江口・小林(1970): 水平板による防波堤と岸壁に関する理論的研究(2), 第17回海岸工学講演会論文集
- ② 井島・尾崎・松尾・小林(1969): 直立消波岸壁に関する研究(1), 第16回海岸工学講演会論文集
- ③ Stoker, J.J. (1957): "Water Waves", Interscience Publishers, New York