

透水壁型防波堤における透水壁の水理特性の効果

空蘭工業大学 正会員 近藤 俊郎
 空蘭工業大学 学生会員 〇佐藤 隆一
 空蘭工業大学 学生会員 高橋 幹夫

1. まえがき

近年、海岸保全、レクリエーション施設、海水汚濁防止などの為に消波機能がすべれている消波構造物が望まれ、中でも占有面積が少い直立の消波構造物の開発が顕著に発展している。その一種として最も早く開発された透水壁を有する防波堤については多くのすべれた研究がなされている^{1) 2) 3)}。筆者の一人も最近、複数の透水壁の組み合わせにも適用できる理論を示している⁴⁾。

しかしながら、流体の非線形現象が非定常的、局所的に出現する複雑な現象である為、水理的作用についてはいまだ不明の点が多い。特に質量項の推定とその消波効果に対する影響は、わずかにMeir⁵⁾による理論的検討があるにすぎない。

そこで筆者らは、透水壁の抵抗係数や質量係数などの水理的な特性が防波機能に及ぼす効果を知る目的で、それらを実験的に推定する方法を考察し、それを用いて反射率や伝達率を求めて実験値と比較し、その方法の適用性を調べるものである。

2. 境界値問題としての長波理論解

(A) 基本式の誘導⁴⁾：本解法は、波は微小振幅の長波であり、透水壁の厚さはきわめて薄く、又エネルギー損失は透水壁のみで起こるとする。この仮定により、連続、運動の方程式は、

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \dots (2.1), \quad \frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \dots (2.2)$$

上式を満足する水域(j)において進行方向が逆な二成分波の波形と水平水粒子速度は、

$$\eta_j = a_j \exp i(\omega t - m_j x) + b_j \exp i(\omega t + m_j x) \dots (2.3)$$

$$u_j = \frac{g a_j}{h_j m_j} \exp i(\omega t - m_j x) - \frac{g b_j}{h_j m_j} \exp i(\omega t + m_j x) \dots (2.4)$$

Fig 1のように $x = x_J$ の位置に透水壁があるとすとき、境界条件は質量と運動量の保存であり各々

$$(h u)_{j-1} = (h u)_j; \quad x = x_J \dots (2.5), \quad \eta_{j-1} = \eta_j + \alpha_{j-1} \frac{\partial \eta}{\partial x} + K_{j-1} |u_j| u_j; \quad x = x_J \dots (2.6)$$

ここで α と K は各々質量係数、抵抗係数に比例する係数であるが、次元を有しているので、ここでは各々比質量係数、比抵抗係数と名付けておく。

式(2.3)、(2.4)を(2.5)、(2.6)に代入し次式を得る

$$\frac{\overline{b_{j-1}}}{\overline{a_{j-1}}} = \frac{-1 + \frac{m_{j-1}}{m_j} (1 + A_{j-1,j}) + 2(\overline{b_{j-1}}/\overline{a_j})}{1 + \frac{m_{j-1}}{m_j} (1 + A_{j-1,j})} \dots (2.7), \quad \frac{\alpha_{j-1}}{\alpha_j} = \frac{2 \frac{m_j}{m_{j-1}} + [1 + \frac{m_j}{m_{j-1}} (A_{j-1,j} - 1)] (\overline{b_j}/\overline{a_{j-1}})}{1 + \frac{m_j}{m_{j-1}} (1 + A_{j-1,j})} \dots (2.8)$$

ここで $\omega = 2\pi/T$, $m = 2\pi/L$,

$$\overline{a_j} = a_j \exp(-i m_j x_J) \dots (2.9),$$

$$b_j = b_j \exp(i m_j x_J) \dots (2.10)$$

$$A_{j-1,j} = \frac{g}{h_{j-1} m_j} (f_{j-1,j} + i \alpha_{j-1,j} \omega) \dots (2.11),$$

$$f_{j-1,j} = \frac{g}{3\pi} K_{j-1,j} \hat{u}_j \dots (2.12)$$

式(2.12)の f は線型化係数であって、 \hat{u} は u の振幅を表わしている。

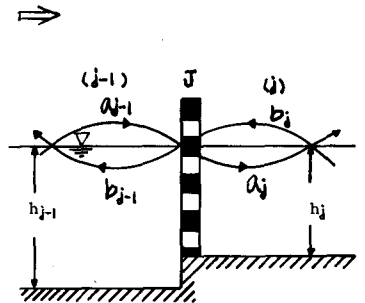


Fig. 1

(b) 単一多孔壁 : 式(2.7), (2.8) は各多孔壁について成立する。Fig 1 に示す単一多孔壁で、前面水域と後面水域で水深が変化しない場合の反射率 $K_R = |a_R/a_I|$, 伝達率 $K_T = |a_T/a_I|$ を考える。多孔壁を原点にとると $x_I = 0$ であり, $\bar{a}_{0I} = a_0 = a_{0I}$, $\bar{b}_{0I} = b_0 = a_R$, $\bar{a}_{1I} = a_{1I} = a_T$ 又後面水域からの反射波は存在しない。

$$x=0 \quad \frac{a_R}{a_I} = \frac{A_{01}}{2 + A_{01}} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (f_{01} + i\alpha_{01})}{2 + \sum_{n=1}^{\infty} (f_{01} + i\alpha_{01})} \dots (2.13), \quad \frac{a_T}{a_I} = \frac{2}{2 + A_{01}} = \frac{2}{2 + \sum_{n=1}^{\infty} (f_{01} + i\alpha_{01})} \dots (2.14)$$

(c) 単一多孔壁不透過堤 : Fig 2 に示す前面が透過壁で後面が不透過壁である Jarlan 型防波堤では、透過壁 I で式(2.7), (2.8) が成り立ち、II の壁で完全反射とすると次式が成り立つ。

$$x=0 \text{ (透過壁 I)} \quad \frac{\bar{b}_{0I}}{a_{0I}} = \frac{A_{01} + 2(\bar{b}_{1I}/\bar{a}_{1I})}{2 + A_{01}} \dots (2.15)$$

$$\frac{\bar{a}_{1I}}{a_{0I}} = \frac{2 + A_{01}(\bar{b}_{1I}/\bar{a}_{1I})}{2 + A_{01}} \dots (2.16)$$

$$x=B \text{ (不透過壁 II)} \quad \bar{b}_{1I} - \bar{a}_{1I} = 0 \dots (2.17)$$

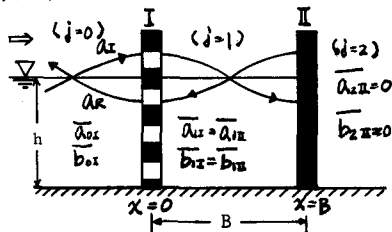


FIG.2

透過壁 I と不透過壁 II 間の両端での振幅相互関係は次式である。

$$\bar{a}_{1I} = a_I \exp(-i\mu B), \quad \bar{b}_{1I} = b_I \exp(i\mu B) \quad (2.18)$$

式(2.18)×(2.19)より $\bar{a}_{1I} = \bar{b}_{1I} = a_I \exp(-i\mu B) = b_I \exp(i\mu B)$ が成り立ち、未知数は a_R と a_I 又は b_I である。

上式より a_R/a_I を求めると
$$\frac{a_R}{a_I} = \frac{A_{01} + (2 + A_{01}) \exp(-i\mu B)}{2 + A_{01} - A_{01} \exp(-2i\mu B)} \dots (2.19)$$

この解は Tenne 氏の解において水深一定とした場合に一致する。

(d) 二重多孔壁透過堤ならびに二重多孔壁不透過堤 : これらについての K_R, K_T の式は既に発表済⁴⁾ であり、さらに原理的には多孔壁が3枚以上になっても解が得られる。

3. 比抵抗係数と比質量係数の推定

(a) 比抵抗係数 K : 理論式中に表われる非線型の比抵抗係数 K については従来の研究によればほぼ定常流のそれが採用できるようなのである。そうすると K は定常流での損失係数 α から次式によって求められる。

$$K = \alpha / 2g, \quad (\alpha = \Delta h / (V^2 / 2g)) \dots (3.1)$$

α はオリフスのような場合に理論的には式(3.2) から求めることができる。

$$\alpha = (S/S_0 - 1)^2 \quad C = 0.6 + 0.4(S_0/S) \dots (3.2)$$

ここで S は水路の全断面積, S_0 はオリフスの断面積, C は流量係数であり, S_0/S は多孔壁の空隙率入に相当する。多孔壁の場合の α の値はほとんど無いので実験によって決定する必要がある。

(b) 比質量係数 α : 比質量係数 α としては以下のような考え方に従って実験を行いその値を求めた。

Mei 氏は音響学で知られている次式を示している。

$$\alpha = \mathcal{L} / g \quad \dots (3.3) \quad \mathcal{L} / 2a^* = \frac{1}{\pi} \ln \frac{1 + \tan \frac{\pi b^*}{4a^*}}{1 - \tan \frac{\pi b^*}{4a^*}} + \cot \frac{\pi b^*}{4a^*}; \quad ma^* \ll 1 \quad \dots (3.4)$$

ここで \mathcal{L} は見かけのオリフス長さで, $2a^*$ は水路の全幅, $2b^*$ は間隙の全幅である。

そこで $x = z_j$ の位置に多孔壁がある運動方程式(2.6)において $\alpha = \mathcal{L} / g$ とし, η_0, η_1 を壁の前後の水位とすると。

$$\mathcal{L} = \frac{g(\eta_0 - \eta_1) - C_0 z_j |u_1| |u_1|}{\partial u_1 / \partial t} \dots (3.5)$$

上式により \mathcal{L} が求まり, $\alpha = \mathcal{L} / g$ が比質量係数である。

4. 反射率・伝達率ならびに比抵抗係数・比質量係数の実験

(A) 実験装置と方法 : 多孔壁は厚さ 10.0 mm, 30.0 mm のアクリル板を磨ねて一様に円孔を配列し孔径 ϕ は 20.0 mm で空隙率入は 20% と 34% の 2 種類である。孔径 ϕ と空隙率入と壁厚 d の組み合わせは 6 種類であるが実験は Table 1 に示してある 4 種類のものについて行った。

比抵抗係数の測定は長さ17.5 m, 幅0.6 m, 高さ0.5 mの可傾斜型開水路を用いた。この水路の一部を管路にしその前後の水深と流量を求め、式(3.1)より C_R を求めた。

非定常実験は長さ18.0 m, 幅0.4 m, 高さ1.0 mの片面ガラス張りの鋼製水槽で行った。式(3.5)において η_0 , η_1 は各々多孔壁前面, 後面の水位であり, 容量式波高計を前面, 後面に配置しペンレコーダーで記録した。木梁 $h=30.0$ cmであり, 周期 $T=1.5\sim 2.0$ secである。又水平水粒子速度 u , 加速度 du/dt は微小振幅波理論より求めた。

伝達率, 反射率の測定はHealyの方法で行った。実験波は一樣木梁 $h=50.0$ cm, 入射波高 $2a_1=4.0$ cmで周期 $T=0.7\sim 2.0$ secであった。

(b) 比抵抗係数 K : Fig 3は多孔壁の損失係数 C_R と Re 数で整理したものである。比抵抗係数 K は C_R と式(3.1)で関係づけられる。この図によると十分な乱流領域では, 比抵抗係数 K は一定値をとることがわかる。又空隙率が小さい方が大きな値を示し, 同じ空隙率でも壁厚が大きい方が小さな値を示している。

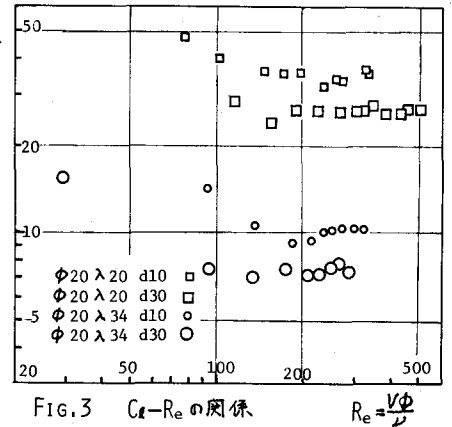


FIG.3 C_R-Re の関係

(c) 比質量係数 α : 上述の実験により得られた, 見かけのオリフィス長さ δ の時間特性の一例をFig 4に示した。縦軸は δ の値であり横軸には時間間隔 t/T をとっている。 δ が $T/2$ で振動する特性は円柱についても報告されているが⁶⁾, 負になることには疑問が残る今回の測定法に問題があるのかも知れない。ここではこのように周期変動する δ を理論式中へ定数としてとり入れる基準の値をとる部分 $T/4$ について時間平均したものを全周期にわたって平均した値 δ とした。 α と δ は式(3.4)で関係づけられる。

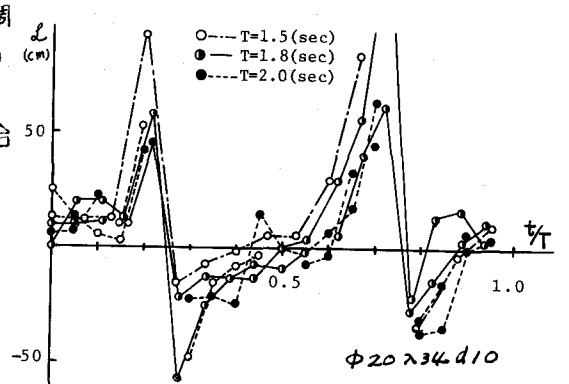


FIG.4 TIME CHARACTERISTIC OF δ

上述の C_R と δ の実験値を式(3.2), (3.4)による値を合わせてTable 1に示した。

TABLE 1

構造物			実験		理論	
ϕ	λ	d	比抵抗係数 C_R	見かけのオリフィス長さ δ	比抵抗係数 C_R	見かけのオリフィス長さ δ
20	20	10	34.9	17.18	40.36	1.50
20	20	30	25.6	29.24		
20	34	10	6.7	17.18	8.85	0.66
20	34	30	9.6	29.24		

(d) 反射率 K_R ・伝達率 K_T : $\phi=20$, $\lambda=20$, $d=10, 30$ の単一多孔壁の実験結果をFig 5に示した。伝達率は $d=30$ の方が小さいにもかかわらず反射率はほとんど同じ値である, これは $d=10$ が比抵抗係数が大きいにもかかわらず多孔壁によるエネルギー損失は $d=30$ の方が大きいということである。これは位相差が大きい為, 段落ちなどの比抵抗係数に含まれない現象によるものと思われる。

Fig 6, 7に単一多孔壁不透過堤の実験結果を示した。この場合は実験値がばらつき, 単一多孔壁透過堤のように厚さの効果は明瞭ではない。最小の反射率は $B/L=0.2$ 付近であると思われる。波長が短くなるほど位相差の効果が顕しくなると考えられ $B/L=0.2\sim 0.4$ の K_R の立ち上がりが見られる。

5. 実験値と理論値の比較

Fig 5の理論解は実験で測定した C_R , δ を用いて計算したものである。単一多孔壁においては理論値と実験値

とは必ずしも一致しているとは言えない。

理論値においては比質量係数のちがいによる K_R , K_T の差はみられず、比抵抗係数が同じ値を持つ場合には全く一致した。

これは理論流速は伝達波高すなわち伝達率の間数として収束計算をしているから、Fig 5に示されるように伝達率が大きいほど K_U の項が卓越し、質量項が無視される点と思われる。

単一多孔壁不透過堤での比較はFig 6, 7に示したようである。実験による比抵抗係数と式(3.4)による比質量係数を組み合わせた理論解が全体的な傾向はとらえているようであるが、 $B/L = 0.2$ 以下の範囲では実験による比抵抗係数と比質量係数を用いて行った計算が良く一致しているように思われる。比抵抗係数と比質量係数の作用について考察してみると比抵抗係数は反射率の大小のみを支配するが比質量係数は反射率をさらに減少させるとともに最小値の出現点をも変化させるようである。

5. むすび

多孔壁の抵抗係数を実験で求めるとともに波動が作用する場合の質量係数を実験的に求めた。それらを用いて長波理論による反射率、伝達率の推定を行った。その結果、質量係数はHieiらの提案する値よりかなり大きいようであり、今回の実験値を用いた方が良い結果を与えるようである。しかしながら、未だ満足すべき段階には致っており、今後はさらに質量係数の推定法およびその影響について詳しく研究する予定である。

終りに本研究に関して終始御指導いただいた河海工学研究室の藤間助教授、谷野助手、実験に協力していただいた浅間技官、学生に感謝いたします。

参考文献

- 1) Terrett, Osorio, Lean: Pro. 11th Coastal Eng. Conf pp.1104-1110, 1968.
- 2) 服部: 海工学講演会論文集, 第18回, pp.115-1120, 1971.
- 3) 若田: 海岸における波利権利に関する研究, pp.19-225, 1977.
- 4) 近藤: 自然災害シボシボ講演会論文集 pp.439-442, 1977.
- 5) Hiei, Liu, Ippen: Jr. of NW. Div. Proc. ASCE, pp.217-225, 1974.
- 6) 杯, 重村, 竹内: 海工学講演会論文集, 第24回, pp.337-341, 1977.

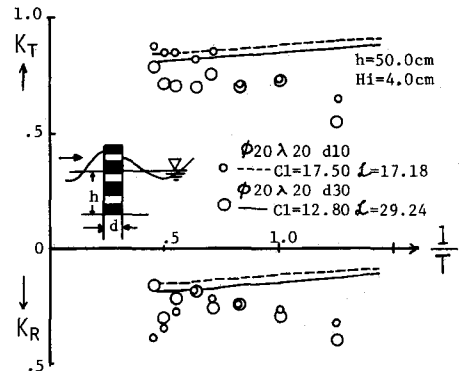


FIG.5 K_T AND K_R OF SINGLE PERFORATED PLATE

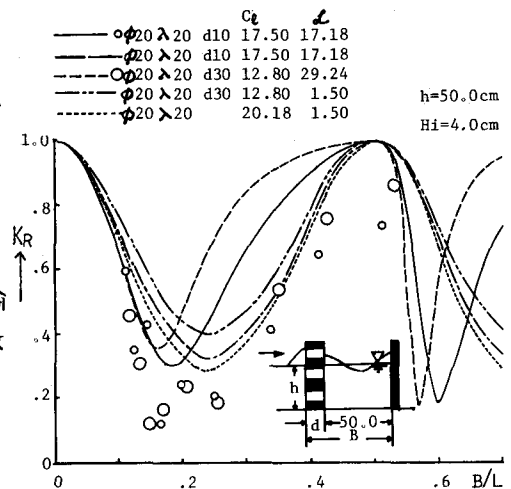


FIG.6 K_R OF IMPERVIOUS BREAKWATER

WITE PERFORATED WALL

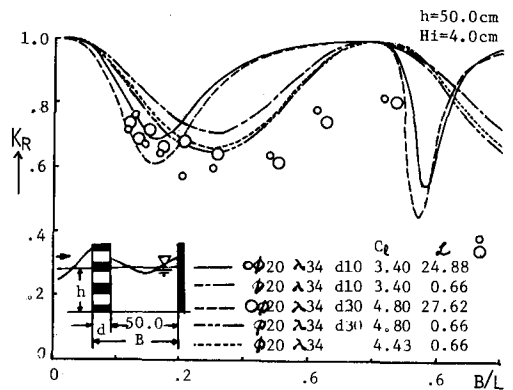


FIG.7 K_R OF IMPERVIOUS BREAKWATER

WITH PERFORATED WALL