

九州大学工学部

正員

井島 武士

〇佐々木 富雄

湯村 やす

岡 泉仁

1. はしがき

海岸に入射する波を消波するには、一般に斜面を構成するのが最も有効で、特に周期の長い波に対しては、斜面によるのが唯一と考えられていた。海湾内等における周期の小さい波に対しては透過性の直立護岸が考えられるが、周期の長い波に対しては余程奥行の深い護岸でなければならず、これは実用上不可能なことというものが一般常識であった。

長尾教授⁽¹⁾は種々の型式の透過性堤体の背後に遊水部を設けた直立型式の護岸について研究し、反射率 0.2~0.3 を得ることが出来ることを認めたが、理論的に不十分で、条件を明確するまでに至っていない。

そこで本文では、直立透過性堤体に対して、三つの力学的モデルを想定して、微小振幅波としての厳密解を求め、実験的にこれを確認し、遊水部が反射率低下に及ぼす効果とその条件を明確にし、波長の長い波に対して直立型式の消波護岸が実際に使用することが可能であることを示した。

2. 理論

図 1, 2, 3 に示すように、水深 h の海域に幅 $2l$ の透過性堤体があり、中心から pl ($p \geq 1$) の位置に不透水の壁体があって幅 $(p-1)l$ の遊水部があるものとする。図-1 は一様な透過性物質から成る透過堤体の場合、図-2 は水平な不透水版とその中間の透過性物質とから成る堤体の場合で水面が水平版と一致している場合、図-3 は水面が水平版と水平版の中間にある場合である。前者を一様透過性護岸、後者を合成堤護岸(I), (II) とする。

流体域を図に示すように I, II, ... とし、入射波の frequency を ω ($= 2\pi/T$; T は周期), 振幅を a とすると、各々の場合の各流体域に対する流体運動の速度ポテンシャル ϕ は次々に表わされる。(添字は流体域を示す)

(i) 一様透過性護岸

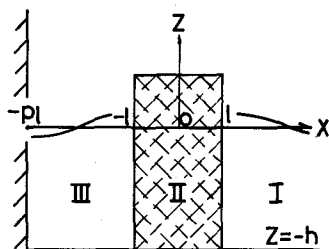


Fig.1 Sea Wall with Uniform Absorber

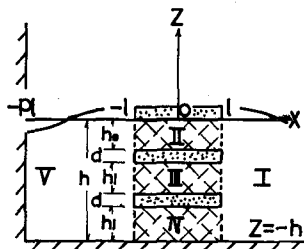


Fig.2 Sea Wall with Composite Absorber (I)

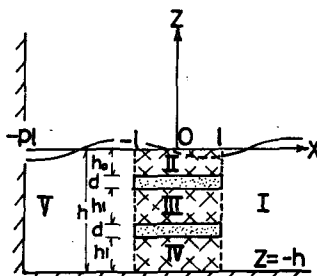


Fig.3 Sea Wall with Composite Absorber (II)

$$\phi_1(x, z) = (Ae^{i\bar{k}(x-l)} + Be^{-i\bar{k}(x-l)}) \cdot \frac{\cosh \bar{k}_n(z+h)}{\cosh \bar{k}_n h} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-\bar{k}_n(x-l)} \frac{\cos \bar{k}_n(z+h)}{\cos \bar{k}_n h} \quad (1)$$

$$\phi_2(x, z) = \sum_{r=0}^{\infty} \left(D_r \frac{\cos \bar{k}_r x}{\cos \bar{k}_r l} + E_r \frac{\sin \bar{k}_r x}{\sin \bar{k}_r l} \right) \cdot \frac{\cosh \bar{k}_r(z+h)}{\cosh \bar{k}_r h} \quad (2)$$

$$\phi_3(x, z) = F \cdot \frac{\cos \bar{k}(x+pl)}{\cos \bar{k} pl} \cdot \frac{\cosh \bar{k}(z+h)}{\cosh \bar{k} h} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\cosh \bar{k}_n(x+pl)}{\cosh \bar{k}_n pl} \cdot \frac{\cos \bar{k}_n(z+h)}{\cos \bar{k}_n h} \quad (3)$$

ここで $\bar{k}$, $\bar{k}_n$ 及び $\bar{k}_r$ は次式で表される固有値で、 $A, B, C_n, D_r, E_r, F, G_n$ は定数係数である。

$$\bar{k}_n h \tanh \bar{k}_n h = -\bar{k}_n h \tan \bar{k}_n h = \sigma^2 h / g, \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

$$\bar{k}_r h \tanh \bar{k}_r h = (1 - i \frac{V\mu}{\sigma}) \cdot \sigma^2 h / g, \quad (r = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

g は重力の加速度、 V は透過性物体の空隙率、 μ は流体運動に対する流量に比例する抵抗である。この理論計算では すべて $\mu/\sigma = 2.0$, $V = 0.5$ とする。

(ii) 合成堤護岸 (I)

$\phi_1(x, z)$ 及び $\phi_5(x, z)$ は式(1) 及び(3)と同じ形で $\phi_2(x, z)$, $\phi_3(x, z)$, $\phi_4(x, z)$ は次式となる。

$$\phi_2(x, z) = \sum_{r=0}^{\infty} \left(D_r^{(1)} \frac{\cosh R x}{\cosh R l} + E_r^{(1)} \frac{\sinh R x}{\sinh R l} \right) \cdot \cos R(z+h_1), \quad (0 > z > -h_1) \quad (6)$$

$$\phi_3(x, z) = \sum_{r=0}^{\infty} \left(D_r^{(2)} \frac{\cosh R x}{\cosh R l} + E_r^{(2)} \frac{\sinh R x}{\sinh R l} \right) \cdot \cos R(z+2h_1+d), \quad -(h_1+d) > z > -(2h_1+d) \quad (7)$$

$$\phi_4(x, z) = \sum_{r=0}^{\infty} \left(D_r^{(3)} \frac{\cosh R x}{\cosh R l} + E_r^{(3)} \frac{\sinh R x}{\sinh R l} \right) \cdot \cos R(z+h), \quad -(2(h_1+d) > z > -h) \quad (8)$$

ここで $R = r\pi/h_1$ (r は正整数), h_1 及び d は図-2 に示す水平版の間隔と厚さで D_r, E_r は定数係数である。

(iii) 合成堤護岸 (II)

ϕ_1 及び ϕ_5 は式(1), (3)と同じで、 ϕ_3, ϕ_4 は夫々式(7) 及び(8)と同じである。 $\phi_2(x, z)$ は次式で与えられる。

$$\phi_2(x, z) = \sum_{r=0}^{\infty} \left(D_r^{(1)} \frac{\cos \bar{k}_r' x}{\cos \bar{k}_r' l} + E_r^{(1)} \frac{\sin \bar{k}_r' x}{\sin \bar{k}_r' l} \right) \cdot \frac{\cosh \bar{k}_r'(z+h_0)}{\cosh \bar{k}_r' h_0} \quad (9)$$

ここで $\bar{k}_r'$ は次式で表される値である。

$$\bar{k}_r' h_0 \tanh \bar{k}_r' h_0 = (1 - i \frac{V\mu}{\sigma}) \cdot \sigma^2 h / g \quad (10)$$

ここで h_0 は図-3 に示すように、最上部水平版の深さである。

各々の場合において与えられた速度ポテンシャルで表わされる運動は、その仮想境界面 $x = \pm l$ で力学的に連続でなければならぬが、それは水平流速と圧力の連続性によって保証される。その条件を適用して、各々の速度ポテンシャルの式における定数係数に関する連立一次方程式が得られ、これを解いて速度ポテンシャル ϕ に入射波に対する定数 A (従って入射波の振幅 a) に對して確定する。

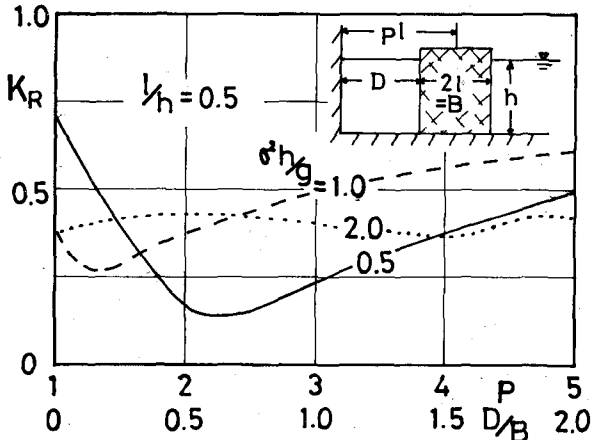


Fig. 4 Reflection Coefficient for Uniform Type Wall

するとこの護岸の反射率 K_R はび堤体前面の水面変動量 $\zeta(l)$ は次式で与えられる。

$$K_R = |B/A|, \quad (11)$$

$$\zeta(l)/a = \left| 1 + \frac{B}{A} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_n}{A} \right|$$

堤体に作用する圧力も同様に計算される。

3. 計算結果

上述の理論式において $h/a = 2.0$, $V = 0.5$ として、堤幅比 $B/h = 0.5$ に対して反射率 K_R を種々の $\sigma^2 h/g$ につき P の値を変えて計算した結果を示すと図-4、図-5 のようである。これに

よると $\sigma^2 h/g$ に対応して明らかに最小反射率を与える P の値が存在することが分る。そこで堤体幅を B 、避水部幅を D とし $B = 2l$, $D = (P-1)l$ として、之等による K_R の分布を求めると図-6 のようであり、波の条件 $\sigma^2 h/g$ が与えられると堤幅 B に対応する最適避水部幅が唯一存在し、 $B/h = 0.25 \sim 1.5$ の範囲については B/D が $0 \sim 2$ の間にあるとき最小反射率が得られることが分る。他の $\sigma^2 h/g$ についても同様の結果を得られるが、このような最小反射率の存在は $\sigma^2 h/g < 1.5 \sim 2.0$ の場合に認められ、これよりも波長の短い波については避水部は反射率低下に対する効果を持たないことも分る。

尚、ここでは水面変動量の計算結果は示していないが、上記の最適避水部幅に対して水面変動量は最小値を示すことが認められる。また護岸に対する水平圧力も揚圧力も計算の結果は避水部の存在のため、それがない場合に比べると著しく低下することが分った。

4. 実験及び結果

上記の計算結果を確かめる為に、幅 80 cm 深さ 80 cm 長さ 2.2 m の造波水路内に 図-7 図-8 に示すような形のアロックを積み上げて模型透過堤を作り、反射率及び水面上昇量の測定を行った。この模型は水平な乳を有する堤体と考えられるモデルでは 図-2, 3 の

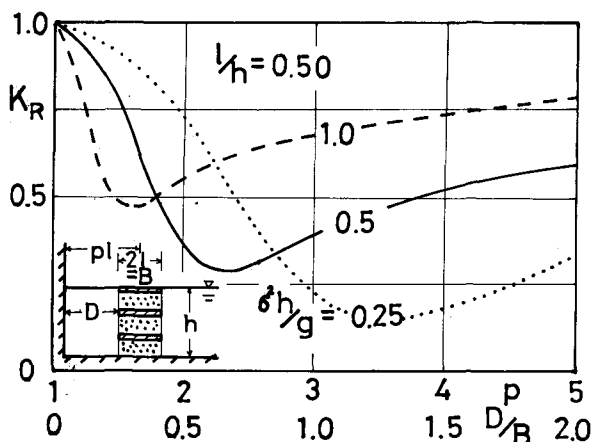


Fig. 5 Reflection Coefficient for Composite Type Wall (I)

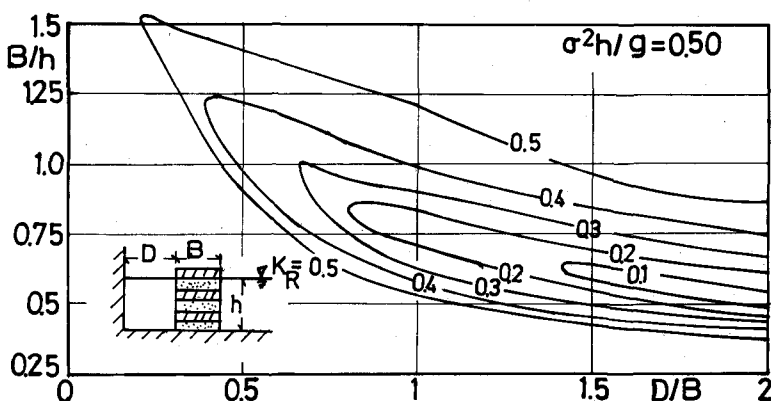


Fig. 6 Equi K_R Lines for Sea Wall (Composite Type Wall (I))

場合に近い。この幅 $2l = 25 \text{ cm}$ であるから、 $h = 25 \text{ cm}$ つまり $l/h = 0.50$ とし、 $\sigma^2 h/g = 1.0$ について、反射率をビデオテープによる堤前面の波形測定により Healy の方法で求めた。実験結果の一例を図-9に示し、図中に理論値を求めている。

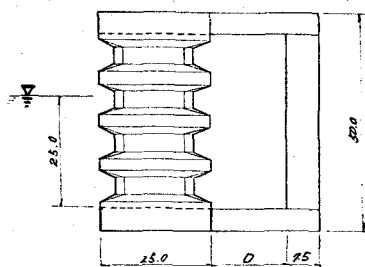


Fig.7 Side View (Model)

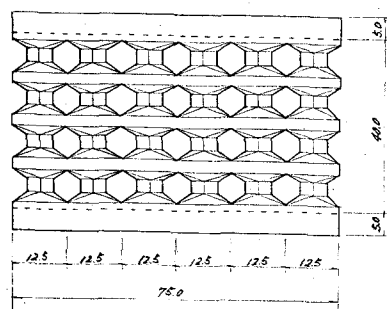


Fig.8 Front View (Models)

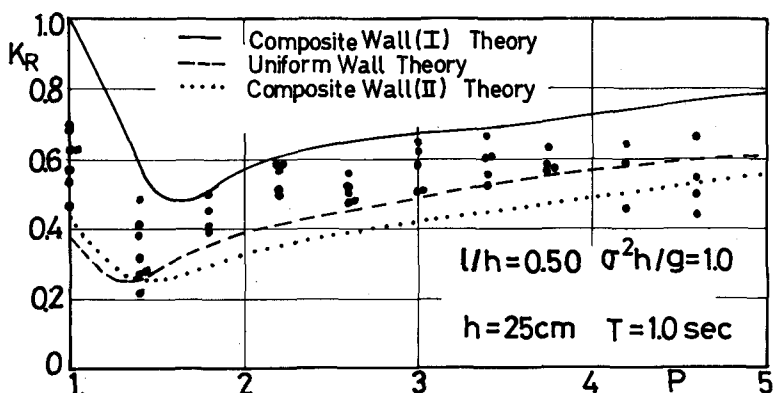


Fig.9 Measured Reflection Coefficients

5. 結論

上述の理論及び実験の結果、次の事項が明らかにされたと考えられる。

- (1) 遊水部をもつ直立消波護岸は $\sigma^2 h/g < 1.5 \sim 2.0$ 程度の遊長の波に対して反射率低下の効果をもつ
- (2) 波の特性値 ($\sigma^2 h/g$) と堤体幅 B と水深 h の比 B/h に対して、最小反射率を与える最適遊水幅 B/h が存在し、堤前面の水面変動量も最小となる。これにより反射率は $0.2 \sim 0.3$ まで低下することが出来る。
- (3) この特性は、透過堤体が空隙率約 50 % 程度の透過堤であるときは具体的構造の如何に拘らず成立する。(堤体がブロックであっても水平板のようなものであっても良い。)

参考文献

- (1) 長尾義三、加藤久徳：“直立消波岸壁に関する2,3の実験的研究”オ17回海岸工学講演会論文集、昭45年
- (2) 井島、尾崎 他：“直立消波岸壁に関する研究(I)”オ16回海岸工学講演会論文集、昭44年
- (3) 井島、尾崎 他：“水平板による防波堤と岸壁に関する研究”オ17回海岸工学講演会論文集、昭45年
- (4) 井島、江口 他：“透過性防波堤と岸壁に関する研究”オ18回海岸工学講演会論文集、昭46年