

九州大学工学部

正会員

井島武士

〃 〃

〃

○奥田英明

〃 〃

湯村やす

1. まえがき

著者は、1972年¹⁾、1973年²⁾において、遊水部をもつ直立消波護岸の特性について明らかにしてきたが、今回、透過堤体を二重にした護岸について理論解析、および実験と透過壁体が極端に薄い壁となった場合につき、実験、考察を行な、たのでここに報告する。

2. 解析法

図-1に示す様に、一定水深の海域に、不透過鉛直壁があり、その前面に、遊水幅、 d_2 , d_1 , へびて層厚が h , h の二重の透過壁があり、右方向より周波数 $\sigma (=2\pi/T$, T は周期)の波長の長い波が入射する場合を考える。領域を

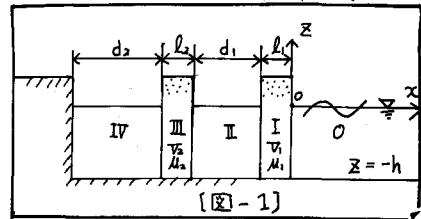


図-1の様に0, I, II, III, IV, と分け堤体Iの前面静水面上に原点O, 水平にx軸, 鉛直上方向にz軸を取る。透過壁体内では, Darcy の流れを仮定し, 領域[I]では空げき率, 抵抗係数は μ , および μ_1 で, 領域(III)ではそれぞれ μ_2 , μ_3 とし, 各領域で異なった流体運動がおこる。その運動は波長が水深に比べて十分に長く、長波近似理論に従うものとするれば、水面変動と水平流速は、 $\zeta(x)e^{i\sigma t}$, および $u(x)e^{i\sigma t}$ の形で表される。各領域に於ける値を、添字0, 1, 2, ……によって区別すれば次の様になる。

(a) 領域(0); [$x \leq 0$]

重力の加速度を g とすると、長波近似理論より、連続および運動の方程式は

$$\frac{\partial \zeta_0}{\partial t} = -h \cdot \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta_0}{\partial x} \quad \text{----- (1), (2)}$$

入射波と反射波の振幅を、それぞれ a_0 , b_0 , とすると、水面変動 ζ_0 は次の様に表される。

$$\zeta_0(x, t) = (a_0 e^{i\sigma x} + b_0 e^{-i\sigma x}) e^{i\sigma t} \quad \text{----- (3)}$$

すると、式(2)より、水平流速 u_0 は次の様になる。

$$u_0(x, t) = -\frac{g b_0}{\sigma} (a_0 e^{i\sigma x} - b_0 e^{-i\sigma x}) e^{i\sigma t} \quad \text{----- (4)}$$

また、式(1)から、 b_0 は次の様に表される。

$$(b_0 h)^2 = \frac{\sigma^2 h}{g} \quad \text{----- (5)}$$

(b) 領域(I); [$0 \leq x \leq -l_1$]

この領域では、空げき率と抵抗があり、連続および運動の方程式は、式(1)(2)に対応して、次の様に表される。

$$\frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = -\frac{h}{\mu} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial x}, \quad \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - \frac{\mu_1}{\mu} u_1 \quad \text{----- (6), (7)}$$

水面変動 ζ_1 を次の様におく

$$\xi_1(x, t) = (a_1 e^{i k_1(x+l_1)} + b_1 e^{-i k_1(x+l_1)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(8)}$$

すると、水平流速は、 u_1 とは、次の様に表される。

$$u_1(x, t) = -\frac{g B_1}{\sigma} \beta_1 (a_1 e^{i k_1(x+l_1)} - b_1 e^{-i k_1(x+l_1)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(9)}$$

$$(k_1 h)^2 = (1 - \lambda V_1) \cdot \frac{\sigma^2 h}{g} = T \left[\beta_1 = V_1 / (1 - \lambda V_1), \quad V_1 = u_1 / \sigma \right] \quad \text{---(10)}$$

(c). 領域(II); $[-l_1 \leq x \leq -(l_1 + d_1)]$

領域(0)と同様に

$$\xi_2(x, t) = (a_2 e^{i k_2(x+l_1+d_1)} + b_2 e^{-i k_2(x+l_1+d_1)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(11)}$$

$$u_2(x, t) = -\frac{g B_2}{\sigma} (a_2 e^{i k_2(x+l_1+d_1)} - b_2 e^{-i k_2(x+l_1+d_1)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(12)}$$

(d). 領域(III); $[-(l_1 + d_1) \leq x \leq -(l_1 + d_1 + l_2)]$

領域(1)と同様に

$$\xi_3(x, t) = (a_3 e^{i k_3(x+l_1+d_1+l_2)} + b_3 e^{-i k_3(x+l_1+d_1+l_2)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(13)}$$

$$u_3(x, t) = -\frac{g B_3}{\sigma} \beta_3 (a_3 e^{i k_3(x+l_1+d_1+l_2)} - b_3 e^{-i k_3(x+l_1+d_1+l_2)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(14)}$$

$$(k_3 h)^2 = (1 - \lambda V_3) \cdot \frac{\sigma^2 h}{g} = T \left[\beta_3 = V_3 / (1 - \lambda V_3), \quad V_3 = u_3 / \sigma \right] \quad \text{---(15)}$$

(e). 領域(IV); $[-(l_1 + d_1 + l_2) \leq x \leq -(l_1 + d_1 + l_2 + d_2)]$

領域(0), (II)と同様に

$$\xi_4(x, t) = (a_4 e^{i k_4(x+l_1+d_1+l_2+d_2)} + b_4 e^{-i k_4(x+l_1+d_1+l_2+d_2)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(16)}$$

$$u_4(x, t) = -\frac{g B_4}{\sigma} (a_4 e^{i k_4(x+l_1+d_1+l_2+d_2)} - b_4 e^{-i k_4(x+l_1+d_1+l_2+d_2)}) e^{i \sigma t} \quad \text{---(17)}$$

(f). 境界条件

上記の各領域の運動は、境界面 $x=0, -l_1, -(l_1+d_1), -(l_1+d_1+l_2)$ で互いに連続であり、 $x=-(l_1+d_1+l_2+d_2)$ では不透過壁のため、水平流速は0であるから、次の条件式が成立する。

$$x=0 \quad \text{で} \quad \xi_1 = \xi_0, \quad u_1 = u_0 \quad \text{---(18)(19)}$$

$$x=-l_1 \quad \text{で} \quad \xi_2 = \xi_1, \quad u_2 = u_1 \quad \text{---(20)(21)}$$

$$x=-(l_1+d_1) \quad \text{で} \quad \xi_3 = \xi_2, \quad u_3 = u_2 \quad \text{---(22)(23)}$$

$$x=-(l_1+d_1+l_2) \quad \text{で} \quad \xi_4 = \xi_3, \quad u_4 = u_3 \quad \text{---(24)(25)}$$

$$x=-(l_1+d_1+l_2+d_2) \quad \text{で} \quad u_4 = 0 \quad \text{---(26)}$$

(g). 解

各領域の ξ, u を境界条件(18)~(26)に代入して解くと次のようになる。

$$\begin{cases} z \alpha_0 = (1 + \alpha_1) a_1 e^{i \pi} + (1 - \alpha_1) b_1 e^{i \pi} & \text{---(27)} \\ z \beta_0 = (1 - \alpha_1) a_1 e^{i \pi} + (1 + \alpha_1) b_1 e^{i \pi} & \text{---(28)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2\alpha_1 a_1 = (1 + \alpha_1) a_2 e^{i\lambda_1} + (\alpha_1 - 1) b_2 e^{-i\lambda_1} \dots\dots (29) \\ 2\alpha_1 b_1 = (\alpha_1 - 1) a_2 e^{i\lambda_1} + (\alpha_1 + 1) b_2 e^{-i\lambda_1} \dots\dots (30) \end{cases} \quad \text{--- } \tau$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = \beta_1 \beta_1 / \beta_0 \\ \alpha_2 = \beta_2 \beta_2 / \beta_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2\alpha_2 a_2 = (\alpha_2 + 1) a_3 e^{i\lambda_2} + (1 - \alpha_2) b_3 e^{-i\lambda_2} \dots\dots (31) \\ 2\alpha_2 b_2 = (1 - \alpha_2) a_3 e^{i\lambda_2} + (\alpha_2 + 1) b_3 e^{-i\lambda_2} \dots\dots (32) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \lambda_1 = \beta_0 d_1 \\ \lambda_2 = \beta_0 d_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2\alpha_3 a_3 = (1 + \alpha_3) a_4 e^{i\lambda_3} + (\alpha_3 - 1) b_4 e^{-i\lambda_3} \dots\dots (33) \\ 2\alpha_3 b_3 = (\alpha_3 - 1) a_4 e^{i\lambda_3} + (\alpha_3 + 1) b_4 e^{-i\lambda_3} \dots\dots (34) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \lambda_3 = \beta_0 d_3 \\ \lambda_4 = \beta_0 d_4 \end{cases}$$

$$a_n = b_n \quad \text{--- (35)}$$

以上、式(27) ~ (35)より

$$a_n = C_n a_0, \quad b_n = C'_n a_0 \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad C_n, C'_n \text{ は } a_n, b_n \text{ に independent} \dots\dots (36), (37)$$

の形に表わされる、そこで次の様式特性が求まる。

(i) 反射率 $R_R = \left| \frac{b_0}{a_0} \right|$

(ii) 水面変動量

$$\frac{\zeta(0)}{a_0} = \left| \frac{a_0 + b_0}{a_0} \right|$$

$$\frac{\zeta(-l_1)}{a_0} = \left| \frac{a_1 + b_1}{a_0} \right|$$

$$\frac{\zeta(-l_1 - d_1)}{a_0} = \left| \frac{a_2 + b_2}{a_0} \right|$$

$$\frac{\zeta(-l_1 - d_1 - d_2)}{a_0} = \left| \frac{a_3 + b_3}{a_0} \right|$$

$$\frac{\zeta(-l_1 - d_1 - d_2 - d_3)}{a_0} = \left| \frac{a_4 + b_4}{a_0} \right|$$

(iii) 圧力

透過堤体部(I), (II), および不透過壁に作用する水平力は次の様になる。

$$\frac{P_1}{\rho g \zeta_0 h} = \frac{1}{a_0} (a_0 + b_0 - a_2 e^{i\beta_0 d_1} - b_2 e^{-i\beta_0 d_1}) e^{i\omega t}$$

$$\frac{P_3}{\rho g \zeta_0 h} = \frac{1}{a_0} (a_2 + b_2 - a_4 e^{i\beta_0 d_2} - b_4 e^{-i\beta_0 d_2}) e^{i\omega t}$$

$$\frac{P_4}{\rho g \zeta_0 h} = \frac{1}{a_0} (2a_4) e^{i\omega t}$$

又、透過堤体を一体とした場合の全水平力は次の様である。

$$\frac{P_H}{\rho g \zeta_0 h} = \frac{P_1 + P_3 + P_4}{\rho g \zeta_0 h}$$

3. 実験および計算

長さ22m, 幅80cm, 高さ80cmの二次元波浪水路に於いて、透過堤体は合板及び発泡スチロールに水平孔をあけたものを用い、水深 $h = 50\text{cm}$, $\sigma/\rho = 0.50$ および 0.75 とし、図-2の様な3つの型について、反射率を熱抗式波高計を用い、Heclyの方法により測定した。図-3, 図-4, は

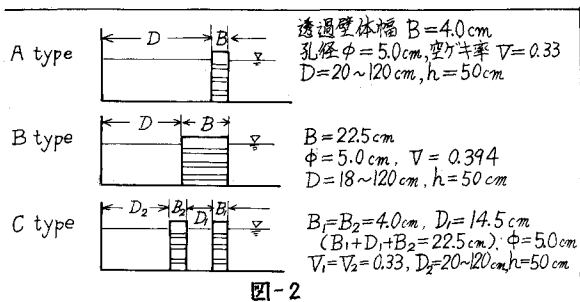


図-2

実験結果で、透過堤体部が薄い、A-typeについては他の2つのtypeほど反射率は低下せず、最小反射率を与える最適遊水幅Dは、広くその値は、ほぼ波長の半になる。B-typeについては直立壁に水平孔をあけた場合にも、参考文献(2)に述べていることと、まったく同様なことが言え、反射率も十分に低い値を示している。二重透過壁を持つ護岸のC-typeでは最適遊水幅Dは、B-typeと比較して、幾分広いものの、反射

率は0.1程度まで低下し、有効な護岸といえる。

図-5は二重透堤を持つ護岸の計算値で
 $\sigma R/\phi = 0.5$, $R = 50\text{cm}$, $B_1/R = B_2/R = 0.08$ の場合、二つの透水幅口、 D_2 を変化させた場合の反射率である。ここで $V_1 = V_2 = 0.200$, $M_1/\phi = M_2/\phi = 2.5$ は、それぞれ実験値にもっとも良く一致する様に決定した仮定の空ゲキ率と抵抗係数である。 $D_1/R = 0.6$, 0.9 , 1.2 の時もこの値を用いて計算している。 D_1 が一定の時、反射率が最小となる D_2 がそれぞれ存在するが、この最小反射率は $D_1/R \div D_2/R (= 0.9)$ の場合最小となる。

4. あとがき

以上の様に、遊水部を持つ護岸については、透堤全体幅 B が、せますぎると、消波効果が非常に低下することが、確認された。又、透堤全体を二重にした場合、全体幅が、以前の遊水部を持つ護岸と同じであっても同程度の消波効果が期待できる事がわかった。

今後、広範囲の実験と計算を進める予定である。

参考文献

- (1) 井島武士, 奥藺英明, 湯村やす, 坂井久雄(1972); 遊水部を持つ直立消波防波堤と護岸, オ19回海岸工学講演会論文集, 昭和47年11月,
- (2) 井島武士, 奥藺英明, 坂井久雄(1973); 2層透堤性又は遊水部を持つ直立消波護岸の理論と実験, オ20回海岸工学講演会論文集, 昭和48年11月.

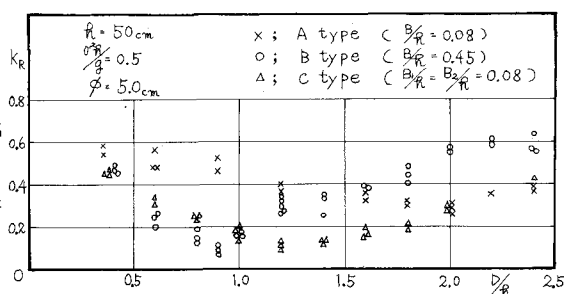


図-3

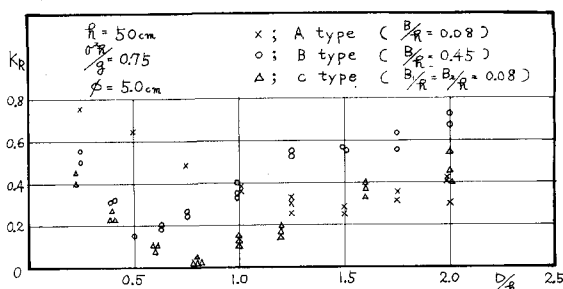


図-4

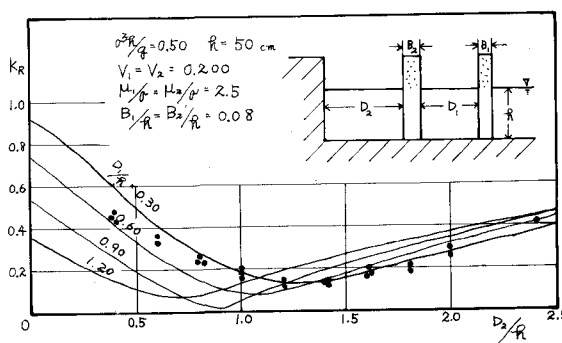


図-5