

三省建設(株) 正会員 岡 英一

(1) まえがき

直積ブロック工法においては堤体上部を活用するために場所打ちコンクリートによつて普通厚さ50cm程度以上の上部床版を設ける。上部床版の前面形状は波に対して完全反射面となるので特に天端を低く押さえられる港内の岸壁等においては反射率が増加することが考えられる。本報告でははじめに実験による反射率の測定結果について述べ、次に理論を考察する。

(2) 反射率の実験

(i) 実験方法

実験断面及び模型断面を図-1と図-2に示す。実験条件は次の通りで模型縮尺はワーロックA型(堤体長3.5m)に対しては1/16, B型(同4.5m)に対しては1/20, C型(同6.0m)に対しては1/25である。またブロックは

水深 h	クリアランス Hr	l/h	l/k	周期 T	波高 H_0
44 cm	8 cm	≈ 0.5	≈ 1.0	1.0 s. 1.4 s.	4.0 cm
48 cm	4 cm			2.0 s. 2.4 s.	16.0 cm

方塊の上に積みマウンド内部の $x=0$ 面を通して流体運動ができないようにしている。また上部床版(ブロックの模型)を逆向きに使う下部には板を敷いてその面を通しての流体運動ができるないようにしている。また、越波も生じない。すなわち $x < 0$ の区域では流体運動はブロックの空隙部分のみに限られるようたる実験断面である。反射率の測定は堤体前面の部分重複波の振幅を容量式波高計によって検出し Healey の式を用いて反射率を計算した。また入射波高は模型前面 9m の地点で測定した。

(ii) 実験結果

入射波高は水深と周期から求まる浅水係数によって換算冲波波高 H_0 に直した。水面上のブロックの高さ(上部床版底面までの高さ)をクリアランス H_r とし入射波高に対する相対クリアランス H_r/H_0 と反射率 K_R の関係を周期 T をパラメータとして整理した。結果を図-3 に示す。

(iii) 考察

実験結果から次のとこ

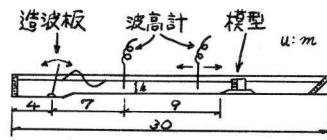


図-1

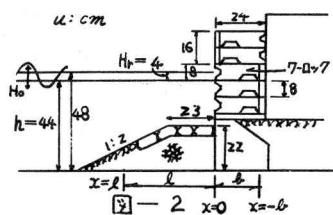


図-2

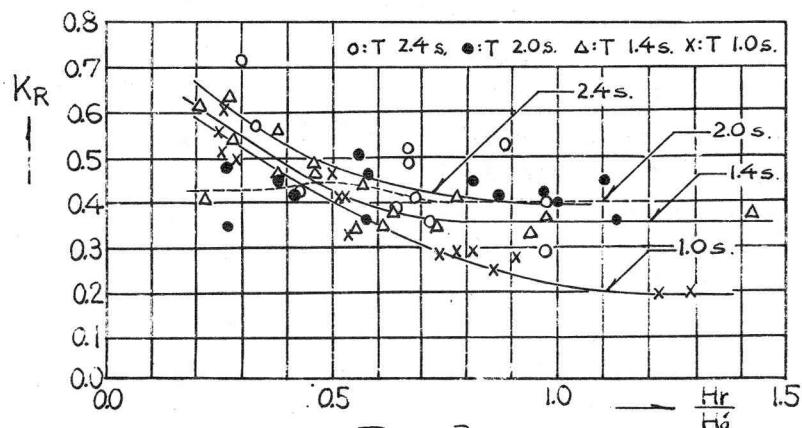
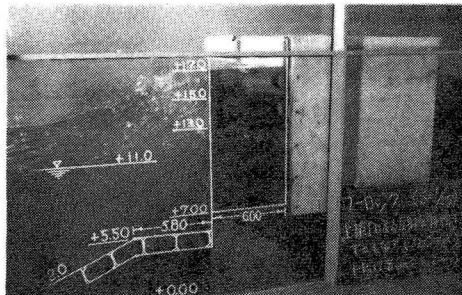


図-3

が(1)である。

- (A) K_R は $\frac{h}{h+H}$ が小さくなると増加する。
- (B) K_R の増加傾向が著しくなるのは $\frac{h}{h+H} = 0.6$ 付近である。
- (C) Tによって K_R に差があり T=1.05 の時が特に低く T が大きいほど K_R は高い。
- (D) 上部床版の影響がほとんどない場合の K_R は 0.2~0.4 の範囲にあるが $\frac{h}{h+H} = 0.3$ の時は 0.5~0.6 である。
- (E) T=2.05 の場合には他と異なり、 K_R の増加はみられない。

(3) 理論

本実験の理論解析には井島による速度ポテンシャル接続法を用いる。図-4に示すように水深 h 、マウンド

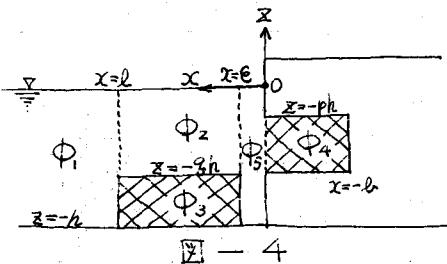


図-4

長 l 、ブロック長 e 、マウンド水深 $-h$ 、ブロック天端水深 $-p_h$ (微小振幅波理論であるから上部工の影響を知るために静水面をブロック天端よりも上にする必要がある)、マウンドとブロックの空隙率を ∇ とし、マウンドとブロックの物理的性質は全く同じとする。またマウンド形状も矩形とし単純化している。領域5(は計算上必要な仮想領域で実在しない)(後で $E \rightarrow 0$ とする)領域3と4の流体に対しては加速度と速度に比例する抵抗を考え各々抵抗係数を β 、 μ とする。各領域は速度ポテンシャル $\phi(x, z, t)$ が $\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$ を持つ。 $\phi(x, z)$ は次のラプラスの方程式を満足する。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

領域1と5では水底及び水面の条件は $z=0 \rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}$ である。

$$\phi_1 = \{e^{i\lambda_0(x-l)} + B_0 e^{i\lambda_0(x-l)} \frac{\cosh k_0(z-h)}{\cosh k_0 h} + \sum_{n=1}^{\infty} B_n e^{i\lambda_n(x-l)} \frac{\cosh k_n(z-h)}{\cosh k_n h} \} \quad (2)$$

$$\phi_5 = (E_s \cosh k_0 x + F_s \sinh k_0 x) \frac{\cosh k_0(z+h)}{\cosh k_0 h} + \sum_{n=1}^{\infty} (E_n \cosh k_n x + F_n \sinh k_n x) \frac{\cosh k_n(z+h)}{\cosh k_n h} \quad (3)$$

となる。 λ_0 、 k_0 は次式から求まる固有値である。

$$k_0 \tanh k_0 h = -k_0 h \tanh k_0 h = \frac{\sigma^2 h}{\gamma} \quad (n=1, 2, \dots)$$

領域2と3につけては $z=0 \rightarrow \frac{\partial \phi_2}{\partial z} = \frac{\partial^2 \phi_2}{\partial z^2}$, $z=-h \rightarrow \frac{\partial \phi_3}{\partial z} = 0$, $z=-h \rightarrow \frac{\partial \phi_4}{\partial z} = 0$, $\phi_2 = \beta \phi_3$ ($\beta = \frac{l+\alpha}{V}$, $\alpha = \xi - l \frac{k_0}{\sigma}$) でこれ

を満足する(1)の解、及び固有値 λ_0 を求める式は、

$$\phi_2 = \sum_{s=1}^{\infty} g_s(s) (E_s \cosh k_0 s x + F_s \sinh k_0 s x) (\cosh k_0 s z + \tanh k_0 s z) \quad (4)$$

$$\phi_3 = \sum_{s=1}^{\infty} (E_s \cosh k_0 s x + F_s \sinh k_0 s x) \cosh k_0 s z \quad (5)$$

ただし、 $\bar{g}(s) = \frac{\sinh k_0 s h}{\gamma \cosh k_0 s h - k_0 s \sinh k_0 s h}$

$$\frac{k_0 s (\tanh k_0 s h + \frac{1+\alpha}{V} \tanh k_0 s h)}{1+\alpha + \tanh k_0 s h \tanh k_0 s h} = \gamma$$

ただし、 $\bar{g} = 1 - \gamma$, $\gamma = \frac{\sigma^2 h}{\gamma}$ となる。

領域4では、 $z=-p_h \rightarrow \frac{\partial \phi_4}{\partial z} = 0$, $z=-h \rightarrow \frac{\partial \phi_4}{\partial z} = 0$, $x=-l \rightarrow \frac{\partial \phi_4}{\partial x} = 0$ でこの条件を満足する(1)の解は、

$$\phi_4 = A_0 + \sum_{s=1}^{\infty} C_s \frac{\cosh \bar{T} (x+l)}{\cosh \bar{T} l} \cosh \bar{T} (z+h) \quad (6)$$

ただし、 $0 \leq p < \bar{p}$, $\bar{T} = \frac{\pi \pi}{(\bar{p}-p) V}$ となる。

これらの $\phi_1 \sim \phi_5$ (は $x=l, e, 0$ において次のように連続しなければならない)。

$$x=l \rightarrow \frac{\partial \phi_1}{\partial x} = \frac{\partial \phi_2}{\partial x} (-ph \leq z \leq 0) \quad \phi_1 = \phi_2 (-ph \leq z \leq 0) \\ = \frac{\partial \phi_3}{\partial x} (-h \leq z \leq -ph) \quad = \beta \phi_3 (-h \leq z \leq ph)$$

$$x=e \rightarrow \frac{\partial \phi_2}{\partial x} = \frac{\partial \phi_3}{\partial x} (-ph \leq z \leq 0) \quad \phi_2 = \phi_3 (-ph \leq z \leq 0) \\ = \frac{\partial \phi_4}{\partial x} (-h \leq z \leq -ph) \quad = \beta \phi_4 (-h \leq z \leq ph)$$

$$x=0 \rightarrow \frac{\partial \phi_3}{\partial x} = 0 (-ph \leq z \leq 0) \quad \phi_3 = \beta \phi_4 (-ph \leq z \leq ph) \\ = \frac{\partial \phi_4}{\partial x} (-h \leq z \leq -ph) \quad = 0 (-h \leq z \leq -ph)$$

(2)~(6)をこの連続条件に代入した式において $\cosh k_0(z+h)$ と $\cosh k_0(z-h)$ ($n=1, 2, \dots$) が $z=0 \sim -h$ において完全直交であることを利用して $-h$ から 0 までの積分を行ない整理すると E_s と F_s を未知数とする次の連立方程式を得る。

$$\sum_{s=1}^{\infty} [\{i\lambda_s f_0(s) \sinh k_0 l + \lambda_s g_0(s) \cosh k_0 l\} E_s - \{i\lambda_s f_0(s) \cosh k_0 l\} F_s] = Z N_0 \sinh \lambda_0 \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^{\infty} [\{\lambda_s f_m(s) \sinh k_0 l - \lambda_m g_m(s) \cosh k_0 l\} E_s - \{\lambda_m f_m(s) \cosh k_0 l + \lambda_s g_m(s) \sinh k_0 l\} F_s] = 0 \quad (n=1, 2, \dots) \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^{\infty} \left[\sum_{r=1}^{\infty} \frac{Z d \tan k_0 l \bar{F}_r}{\beta(B-P)} \left\{ \frac{f_r d \lambda_0 g_0(s)}{N_0 \sinh \lambda_0 \cosh \lambda_0} + \frac{\bar{F}_r d \lambda_0 \lambda_m g_m(s)}{N_m \sinh \lambda_m \cosh \lambda_m} \right\} E_s - \lambda_s f_m(s) F_s \right] = 0 \quad (n=1, 2, \dots) \quad (9)$$

$$\sum_{s=1}^{\infty} \left[\frac{Z d \tan k_0 l \bar{F}_r}{\beta(B-P)} \left\{ \frac{f_r d \lambda_0 g_0(s)}{N_0 \sinh \lambda_0 \cosh \lambda_0} + \frac{\bar{F}_r d \lambda_0 \lambda_m g_m(s)}{N_m \sinh \lambda_m \cosh \lambda_m} \right\} E_s - \lambda_s f_m(s) F_s \right] = 0 \quad (n=1, 2, \dots) \quad (10)$$

ただし、 $\lambda_0 = k_0 h$, $\lambda_m = k_m h$, $\lambda_s = k_s h$ で $f_0(s)$, $d \lambda_0$, $g_0(s)$ 等は計算過程で出てくる計算式を表わして(1)。求めた反射率 K_R は $|B_0|$ で与えられるが B_0 は (7)~(10)を解いて得られる E_s , F_s ($s=1, 2, \dots$) により次式で求められる。

$$B_0 = 1 - \frac{c}{N_0 \sinh \lambda_0} \sum_{s=1}^{\infty} \lambda_s f_0(s) (E_s \sinh k_0 l - F_s \cosh k_0 l)$$

種々の P に対する K_R の計算結果は発表会において述べる予定である。

(参考文献) 1) 井島式土壩斜面・堤村や「潜堤効果に関する理論的研究(2)」