

透過壁を有する幅広潜堤に関する研究

九州産業大学 学生会員 小西 一典
九州産業大学 正会員 奥蘭 英明

1. はじめに

潜堤は水面下にあることから景観を損なわないという利点があり、さらに堤内水の閉塞を防ぐ効果がある。しかし、満潮時に天端上水深が大きくなると、伝達率を小さくできない。ここでは、透過壁を有する幅広潜堤についての消波効果を、計算と実験により検討した。

2. 有孔壁潜堤の解析法

静水面上に原点O(0, 0)、水平および鉛直上方にX軸、Z軸をとり、図-1の様な潜堤を考える。F'E'E'D'C'B'B'A'を不透過面、E'DCB'を有孔壁とする。流体は、非圧縮性、非粘性の無渦運動とし、入射波は非砕波として不透過面でのエネルギー損失は考慮していない。

領域を(I)、(II)、(III)、(IV)と分け、各領域の境界上のポテンシャルをそれぞれ添字1~15を付けて示す。また、流体と有孔壁との境界部分は*を付けて区別をした。A-A'とF-F'は原点O(0, 0)より十分離れた一様水深hの場所にある仮想境界面である。各領域の境界面での法線νは図示のような向きとした。

図-1に示すように、積分方向を各領域においてそれぞれ黒点を始点、終点として矢印方向に各領域の境界面を分割する。分割数はN₁, N₂, ..., N₁₅として、各領域に境界条件を考慮してグリーンの公式を離散化した式(1)を適用する。

$$\sum_{j=1}^{N_j} [F_{ij} \cdot \phi(j) - E_{ij} \cdot \bar{\phi}(j)] = 0 \quad (1)$$

領域(I)では次式のようになる。

$$\sum_{j=1}^{N_1} [F_{ij} - \Gamma \cdot E_{ij}] \cdot \phi(j) + \sum_{j=1}^{N_2} [F_{ij} \cdot \phi_2(j) - E_{ij} \cdot \bar{\phi}_2(j)] + \sum_{j=1}^{N_3} F_{ij} \cdot \phi_3(j) + \sum_{j=1}^{N_4} [F_{ij} \cdot \phi_4(j) + K_R \cdot \sum_{j=1}^{N_4} [F_{ij} + i\lambda \cdot E_{ij}] c(z_j)] = - \sum_{j=1}^{N_5} [F_{ij} - i\lambda \cdot E_{ij}] c(z_j) \quad (2)$$

領域(II)では次式のようになる。

$$\sum_{j=1}^{N_2} [F_{ij} + \Gamma \cdot E_{ij}] \cdot \phi_2(j) + \sum_{j=1}^{N_1} [F_{ij} \cdot \phi_2(j) - E_{ij} \cdot \bar{\phi}_2(j)] + \sum_{j=1}^{N_4} F_{ij} \cdot \phi_6(j) + \sum_{j=1}^{N_4} \left[F_{ij} - \frac{1}{b_2 \cdot V_2(\alpha - i\beta)} \cdot E_{ij} \right] \cdot \phi_6^*(j) + \frac{1}{b_2 \cdot V_2(\alpha - i\beta)} \cdot \sum_{j=1}^{N_4} E_{ij} \cdot \phi_6(j) + \sum_{j=1}^{N_1} [F_{ij} \cdot \phi_7(j) - E_{ij} \cdot \bar{\phi}_7(j)] = 0 \quad (3)$$

領域(III)では次式のようになる。

$$\sum_{j=1}^{N_3} F_{ij} \cdot \phi_3(j) + \sum_{j=1}^{N_4} \left[F_{ij} + \frac{1}{b_2 \cdot V_2(\alpha - i\beta)} \cdot E_{ij} \right] \cdot \phi_3(j) - \frac{1}{b_2 \cdot V_2(\alpha - i\beta)} \cdot \sum_{j=1}^{N_4} E_{ij} \cdot \phi_3(j) + \sum_{j=1}^{N_4} F_{ij} \cdot \phi_4(j) + \sum_{j=1}^{N_1} F_{ij} \cdot \phi_1(j) + \sum_{j=1}^{N_2} F_{ij} \cdot \phi_1(j) = 0 \quad (4)$$

領域(IV)では次式のようになる。

$$\sum_{j=1}^{N_{13}} F_{ij} \cdot \phi_{12}(j) + \sum_{j=1}^{N_{13}} F_{ij} \cdot \phi_{13}(j) + \sum_{j=1}^{N_7} [F_{ij} \cdot \phi_7(j) - E_{ij} \cdot \bar{\phi}_7(j)] + \sum_{j=1}^{N_{14}} [F_{ij} - \Gamma \cdot E_{ij}] \cdot \phi_{14}(j) + K_T \cdot \sum_{j=1}^{N_{14}} [F_{ij} + i\lambda \cdot E_{ij}] c(z_j) = 0 \quad (5)$$

以上のように、式(2)~(5)において未知量は、 $\phi_1, \bar{\phi}_2, \phi_3, \phi_4, K_R, \phi_5, \phi_2, \phi_6, \phi_7, \phi_8, \phi_9, \phi_{10}, \phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{13}, \phi_{14}, \bar{\phi}_7, K_T$ である。仮想境界面A-A', F-F'での未知数は、反射率K_Rと伝達率K_Tをそれぞれ1つ求めればよいから、未知数の合計は、N₁+N₂+N₃+N₄+1+N₅+N₂+N₆+N₇+N₆+N₈+N₈+N₉+N₁₀+N₁₁+N₁₂+N₁₃+N₁₄+N₇+1個である。この連立1次方程式をクラウト法により解いて、すべての未知量が求められる。

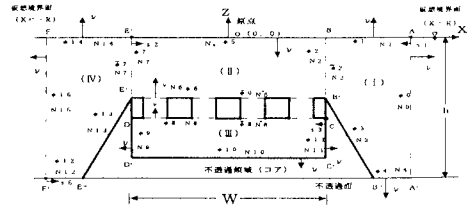


図-1 潜堤の各諸元

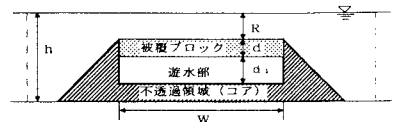


図-2 透過壁潜堤断面図

3. 計算結果と考察

図-3, 4, 5は横軸に周期を無次元化した SHG = $\sigma^2 h / g$ ($\sigma = 2\pi / T$: 角周波数, h : 水深) として透過壁潜堤の伝達率 K_T と反射率 K_R を示す。断面形状は水深 h により無次元化し、天端水深を $R = 0.2$ 、被覆ブロック層厚を $d = 0.1$ 、遊水部深さを $d_1 = 0.5$ と一定にした時、天端幅をそれぞれ $W = 3.0, 3.5, 4.0$ と変化させた。

反射率 K_R は $W = 3.0, 3.5, 4.0$ に対して、それぞれ $SHG = 0.98, 0.76, 0.63$ で最も小さくなり、 W が大きくなるにしたがって、周期の長い方に移動している。また、それに対応して伝達率 K_T は最大値となり、全体的に逆位相となっている。

伝達率 K_T は図-4の $SHG = 0.3$ の時、最も小さくなっている。そこで、図-6は $SHG = 0.3$ と一定にし、 W を横軸として K_T と K_R を示す。 $W = 3.59$ の時に、 $K_T = 0.082$ と最小値になっている。しかし、 $W = 3.75$ 付近では K_T は 0.91 と大きく、 W によって、 K_T, K_R ともに大きく変化することがわかる。

図-7は図-5と同一条件で、天端水深を $R = 0.1$ と浅くした場合を示す。伝達率 K_T が $R = 0.2$ と比べて全体的に小さくなっていることがわかる。

図-8は図-3と同一条件で、透過壁を有孔壁に置き換えた計算値を示す。 $SHG = 0.7$ より大きい部分で、伝達率 K_T が透過壁の時よりやや大きくなっているが、 K_T と K_R はともに、図-3とほぼ同様な傾向を示す。

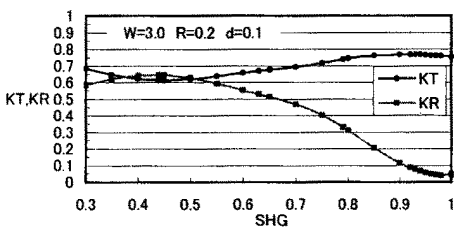


図-3 入射波の周期を変化した時の伝達率, 反射率 ($W=3.0$)

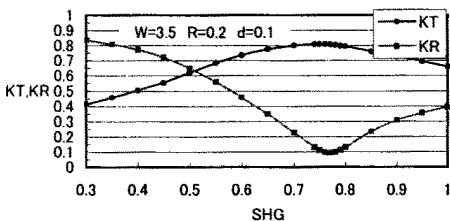


図-4 入射波の周期を変化した時の伝達率, 反射率 ($W=3.5$)

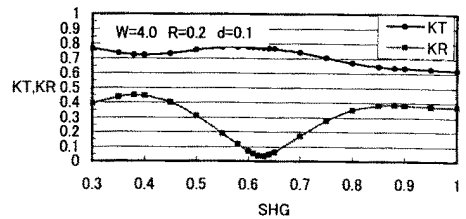


図-5 入射波の周期を変化した時の伝達率, 反射率 ($W=4.0$)

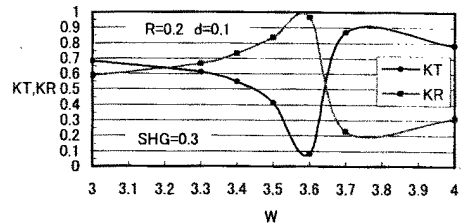


図-6 天端幅を変化した時の伝達率, 反射率

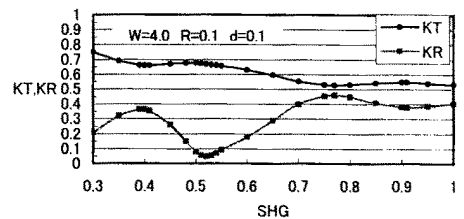


図-7 天端水深 ($R=0.1$) とした時の伝達率, 反射率

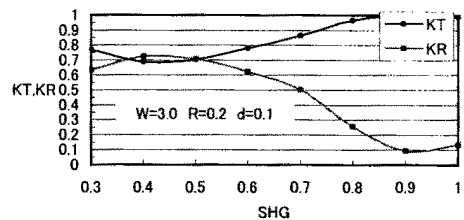


図-8 有孔壁潜堤の伝達率, 反射率

4. おわりに

ここでは透過壁を有する潜堤について計算結果より考察したが、現在、全面がスリット状で遊水部を3室にした潜堤の実験と計算を進めている。(図-9)これは、堤内外の海水交換をさらに促進することが出来る。本文の一部は関屋、廣井両君の卒業研究による。

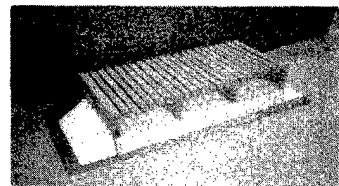


図-9 全面スリット状の潜堤