

高松工業高等専門学校
高松工業高等専門学校

学生会員 ○森澤 海里
正会員 鶴本 良博

1. まえがき

日本は島国であり、面積に比べて海岸線が長い。また、昔から台風による高潮や高波、波浪による海岸侵食、地震に伴う津波などの被害を受けてきた。その対策として堤防や護岸などの海岸保全施設は必要不可欠である。しかし、防災の面で優れる海岸保全施設は堤内の水質悪化を引き起こすという欠点を持ち、環境保全が重要視されている今日では問題となる。そこで、本研究ではその対応策として透過性のある水平板と潜堤の複合型防波堤を設けることによってその欠点を和らげ、どれほどの防波効果が得られるかを調べる。

2. 実験概要

図-1 に示すように、水深 h を一定とし、水平板と潜堤の模型に周期の異なる波を X の正方向より入射させ、入射波と通過波の波高をそれぞれ測定する。波の周期は 0.7 秒から 0.1 秒ずつ増やしていき 1.6 秒まで変化させる。そして、入射波と通過波の波高の比から波の通過率を求め、防波効果の度合いをみる。今回の実験では潜堤の高さや水平板・潜堤の幅は変えず、水平板の位置のみを変えて、模型実験を行った。

3. 理論解析

理論解析では図-1 のように仮想境界面を考え (1) から (4) の 4 つの領域に分け、解析する。また、基礎理論の考えを用いるために、流体は非粘性、非圧縮性の完全流体、流れは 2 次元のうずなし流れとし、潜堤上の仮想境界面でのみエネルギー損失が生じるとする。

3. 1 速度ポテンシャル

グリーンの公式より境界上のポテンシャル関数は次式で表される。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \int_D \left(\frac{\partial \log r}{\partial \nu} \phi - \log r \frac{\partial \phi}{\partial \nu} \right) ds \quad (1)$$

(1) 式を離散化すると (2) 式となる。

$$\phi(i) = \sum_{j=1}^N \{ \bar{E}_{ij} \phi(j) - E_{ij} \bar{\phi}(j) \} \quad (2)$$

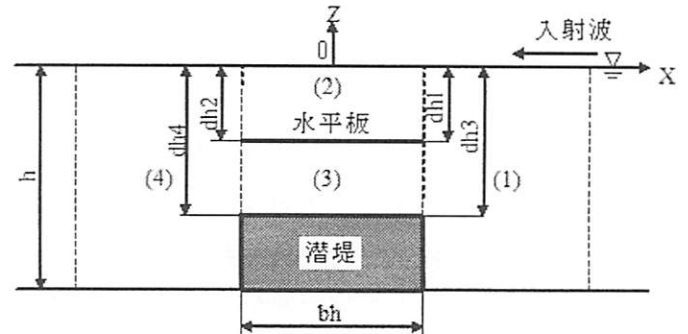


図-1 模型配置図および領域分割図

ここで、 i は求めるポテンシャル関数の位置、 j は境界を分割したときの個々の位置、 r は i から j までの長さ、 $E = (1/\pi) \log r$ 、 $\bar{E}$ と $\bar{\phi}$ はそれぞれ E 、 ϕ を法線方向 ν で微分したものを表す。

3. 2 境界条件

(1) 水面

微小振幅波の運動学的および力学的条件より

$$\frac{\partial \phi}{\partial \nu} = \mp \frac{\sigma^2}{g} h \phi \quad (3)$$

(2) 不透面

不透面では法線方向の速度が 0 だから

$$\frac{\partial \phi}{\partial \nu} = 0 \quad (4)$$

(3) 入射部の仮想境界面

下式の第 1 項は入射の項、第 2 項は反射の項を表す。

$$\phi = e^{k_0 x} Z^{(0)}(z) + \sum_{n=0}^{\infty} C_n^{(1)} e^{-k_n x} Z^{(n)}(z) \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \nu} = k_0 e^{k_0 x} Z^{(0)}(z) - \sum_{n=0}^{\infty} k_n C_n^{(1)} e^{-k_n x} Z^{(n)}(z) \quad (6)$$

ここで、

$$Z^{(n)}(z) = \frac{\cos k_n(z+h)}{\cos(k_n h)}$$

$$k_n : n=0 \text{ のとき } k_0 = ik \text{ (純虚数)}$$

$$n \neq 0 \text{ のとき } \frac{\sigma^2 h}{g} = -k_n h \tan(k_n h)$$

(4) 通過部の仮想境界面

$$\phi = \sum_{n=0}^{\infty} C_n^{(4)} e^{k_n x} Z^{(n)}(z) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \nu} = \sum_{n=0}^{\infty} k_n C_n^{(4)} e^{k_n x} Z^{(n)}(z) \quad (8)$$

(5) 潜堤・水平板の上の仮想境界面

$$\frac{\partial \phi_A}{\partial \nu} = \frac{\partial \phi_B}{\partial \nu} = V \text{ (速度)} \quad (9)$$

$$\phi_A - \phi_B = \beta |V| V \quad (10)$$

ここで、 ϕ_A, ϕ_B : 隣り合う速度ポテンシャル

3. 3 各領域のポテンシャル関数

3.1で離散化した(2)式に3.2で求めた境界条件を代入して、連立方程式を得る。この連立方程式を解くことにより境界上のポテンシャル関数 ϕ を算出し、通過率を求める。ここでは領域(1)についての方程式を示すが、他の領域についてもこれと同様に方程式をつくる。

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^{N_{11}} \left\{ \bar{E}_{ij} - \delta_{ij} - E_{ij} \frac{\sigma^2}{g} h \right\} \phi_1^{(1)}(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_{12}} \left\{ \bar{E}_{ij} - \delta_{ij} \right\} \phi_2^{(2)}(j) + \sum_{j=1}^{N_{13}} \left\{ (\bar{E}_{ij} - \delta_{ij}) \beta \left| \phi_2^{(2)}(j) \right| - E_{ij} \right\} \bar{\phi}_2^{(2)}(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_{14}} \left\{ \bar{E}_{ij} - \delta_{ij} \right\} \phi_2^{(3)}(j) + \sum_{j=1}^{N_{15}} \left\{ (\bar{E}_{ij} - \delta_{ij}) \beta \left| \phi_2^{(3)}(j) \right| - E_{ij} \right\} \bar{\phi}_2^{(3)}(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_{16}} \left\{ \bar{E}_{ij} - \delta_{ij} \right\} \phi_4^{(1)}(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_{17}} \left\{ \bar{E}_{ij} - \delta_{ij} \right\} \phi_5^{(1)}(j) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{N_{18}} \left\{ (\bar{E}_{ij} - \delta_{ij}) + k_n E_{ij} \right\} e^{-k_n x} Z^{(n)}(j) C_n^{(1)} \\ & = -e^{k_0 x} \sum_{j=1}^{N_{19}} \left\{ (\bar{E}_{ij} - \delta_{ij}) - k_0 E_{ij} \right\} Z^{(0)}(j) \end{aligned} \quad (11)$$

ここで、

$$i = j \text{ のとき } \delta_{ij} = 1$$

$$i \neq j \text{ のとき } \delta_{ij} = 0$$

4. 実験結果と考察

図-2と図-3は、横軸に波数 $K (=2\pi/L, L: \text{波長})$ を水深 h で無次元化した $Kh (=2\pi h/L)$ を、縦軸に波の通過率 $K_t (= \text{通過波の波高} / \text{入射波の波高})$ をとったものである。

図-2は潜堤の設置位置を固定し、水平板位置のみを変化させたときの実験値と理論値のグラフである。この図を見ると実験値は全体的に理論曲線に寄り添うか

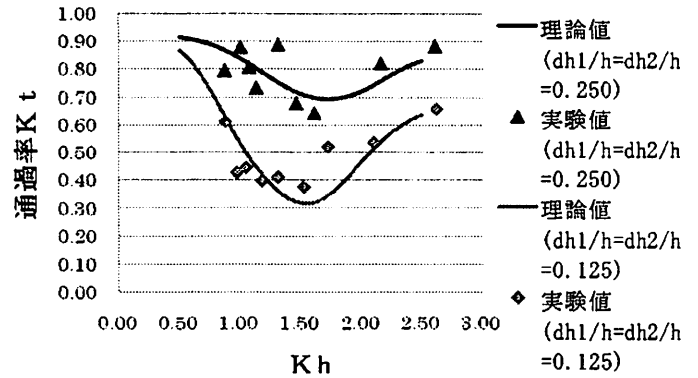


図-2 実験値と理論値、水平板位置の違いによる比較($bh/h=1.000, dh3/h=dh4/h=0.625$)

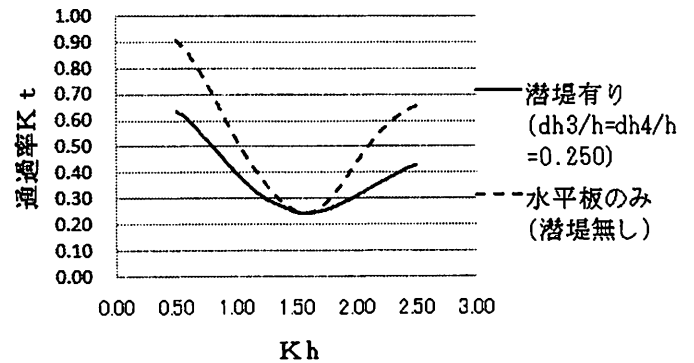


図-3 潜堤の有無による通過率(理論値)の比較($bh/h=1.000, dh1/h=dh2/h=0.125$)

たちになっており、理論値が有効だといえる。また、水平板を上方に移動させることにより通過率 K_t が減少していることがわかる。双方の理論曲線は、 $Kh=1.5$ 付近で極小で、通過率 K_t の差はこの部分で特に大きい。

図-3は水平板の設置位置を固定し、潜堤のないときと潜堤のあるときの通過率 K_t を比較した図である。双方のグラフは、極小部分で重なっている。しかし、潜堤無しのグラフに比べ、潜堤 ($dh3/h=dh4/h=0.250$) を加えたときのグラフの方が、曲線が緩やかで、広範囲の Kh に対して通過率 K_t が小さい。

5. まとめ

水平板位置や潜堤の高さを変化させることにより防波効果を上げることが可能だが、港湾の水質悪化の軽減が目的であるから、空隙率なども考慮する必要がある。今回は水平板のみの位置を変えて実験したが、人工リーフのように傾斜をつけるなど、潜堤の形状を変化させて実験することが今後の課題である。