

透過型潜堤による消波効果に関する解析

九州産業大学 学員 ○中村直史  
福岡大学 正員 黒木健実

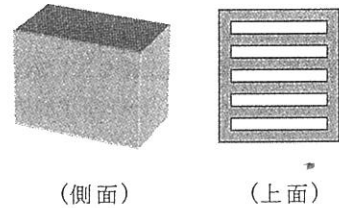
九州産業大学 正員 加納正道  
九州産業大学 正員 赤坂順三

1. はじめに

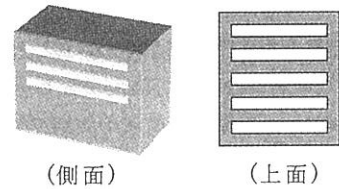
筆者らは、景観的に有効でかつ良好な消波効果が期待できる透過型潜堤の消波効果に関する模型実験を行い、消波現象を再現するための数値解析手法について検討を行った。造波水路実験では、透過型潜堤の間隙を通過する回転流や乱流を可視化する工夫を行った。本報において、数値解と模型実験結果との比較・検討を行い、透過型潜堤および数値解析手法の有効性を示す。

2. 二次元造波模型実験

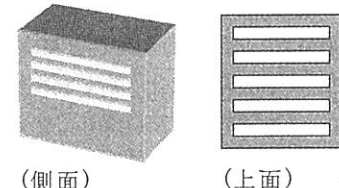
実験は、長さ 17.4m、幅 39cm の反射波吸収式二次元造波装置と直立透過型潜堤を用いて、波高(H)、周期(T)を変化させて行った。入射波は、規則波でかつ非碎波を対象とした。実験装置、実験条件の概要は図1、表1の通りである。堤体条件に関しては、図2~図4、表2のように、直立潜堤の天端のみにスリットを設けたもの、天端および側壁部両面にスリットを設けたもの、三種類の模型を用いている。潜堤の前後に波高計を設置して、入射波高、伝達波高を測定し、伝達率を求めた。なお、伝達波にみられる不規則波については、ゼロダウクロス法で定義し、有効波数内において有義波高を求め、同条件下で3回の実験を行い、その平均値を実験解とした。また、潜堤周辺の流況把握のため、フロートとして水の比重と等しく調整した直径5mm程度のプラスチックボールを投入し、VTR撮影を行った。また、撮影中は暗室化し、ブラックライトによりフロートを照射することで、スリット間の流れを明確に観察する工夫を行った。



(側面) (上面)  
図2 潜堤(模型I)



(側面) (上面)  
図3 潜堤(模型II)



(側面) (上面)  
図4 潜堤(模型III)

表2 堤体条件

	模型I	模型II	模型III
堤高 $h'$ (m)	0.28		
堤幅 B (m)	0.58		
上部スリット	幅5cmの透過部		
側壁部スリット	なし	幅2.5cmの透過部	幅1.5cmの透過部

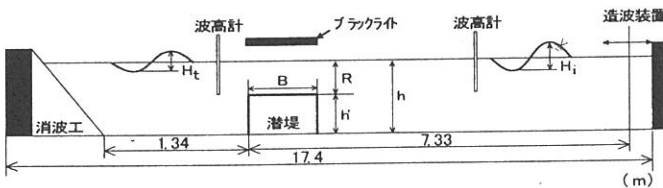


図1 実験装置の概略図

表1 実験条件 (空間縮尺 1/36)

	実海域	模型
水深 $h$ (m)	12.6, 13.32, 14.4	0.35, 0.37, 0.40
天端上水深 R (m)	2.52, 3.24, 4.32	0.07, 0.09, 0.12
波形勾配 (H/L)	0.01~0.05	
周期 T (s)	6.0~12.0	1.0~2.0
波長 L (m)	51.12~132.84	1.42~3.69
波高 H (m)	0.504~2.808	0.014~0.078

3. 境界要素法を用いた解析

本解析では、境界要素法(BEM)の特徴である、インプットデータの数や計算時間が短縮されるような解析モデルを用いた。時間依存型の速度ポテンシャル  $\phi(x,z,t)$  を用いて、鉛直(x,z)平面における、二次元渦なし流れをポテンシャルで表示するために、ラプラス方程式を採用した。BEM 要素分割の一例を、図5に示す。

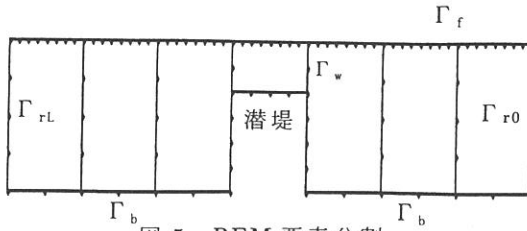


図5 BEM要素分割

境界  $\Gamma$  を持つ流体領域  $\Omega$  におけるラプラス式は(1)で示される。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{領域 } \Omega \text{ 内} \quad (1)$$

自由表面の  $\Gamma_f$  上でポテンシャル  $\phi$  は、非線形な二つの境界条件(2)、(3)を満たす。

$$D\mathbf{r}/Dt = \mathbf{u} = \nabla \phi \quad : \Gamma_f \text{ 上} \quad (2)$$

$$D\phi/Dt = -gz + 1/2 \cdot \nabla \phi \nabla \phi - Pa/\rho : \Gamma_f \text{ 上} \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{r}$  は、自由表面の流動性粒子の位置ベクトルを表し、 $g$  は重力加速度、 $P_a$  は大気圧であり、 $\rho$  は、水の密度である。

時間  $t$ 、 $t+\Delta t$  で積分を行い、テーラー展開を用いれば、自由表面の境界条件は、(4)、(5)として表される。式(4)が自由表面の位置、式(5)がポテンシャルのための境界条件である。

$$\mathbf{r}(t+\Delta t) = \mathbf{r}(t) + \Delta t \cdot (D\mathbf{r}/Dt) + \left\{ (\Delta t)^2 / 2 \right\} \cdot (D^2 \mathbf{r} / Dt^2) \quad : \Gamma_f \text{ 上} \quad (4)$$

$$\phi(\mathbf{r}(t+\Delta t)) = \phi(\mathbf{r}(t)) + \Delta t \cdot (D\phi(\mathbf{r}(t)) / Dt) + \left\{ (\Delta t)^2 / 2 \right\} \cdot (D^2 \phi(\mathbf{r}(t)) / Dt^2) \quad : \Gamma_f \text{ 上} \quad (5)$$

波は、ピストン型造波装置で作られる。その境界  $\Gamma_{r0}$  の運動  $\bar{x}$ 、及び造波板の速度は下のよ

$$\bar{x} = A/\omega(1 - \cos \omega t) \quad (6)$$

$$\nabla \phi \cdot \mathbf{n} = v_n - A \sin \omega t \quad (7)$$

底部  $\Gamma_b$ 、仮想境界部  $\Gamma_{rl}$  および潜堤の不透過部  $\Gamma_w$  の境界条件は次式となる。

$$\partial \phi / \partial n = 0 \quad (8)$$

#### 4. 模型実験結果

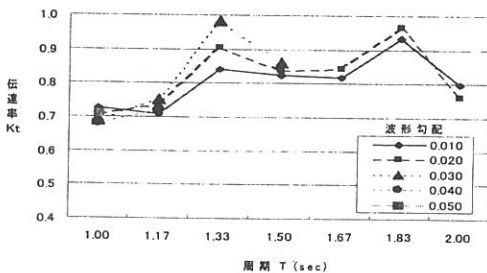


図6 潜堤 I (h=0.4m)

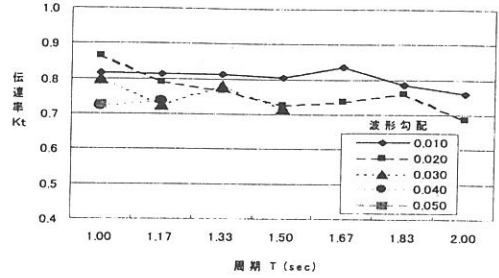


図7 潜堤 II (h=0.4m)

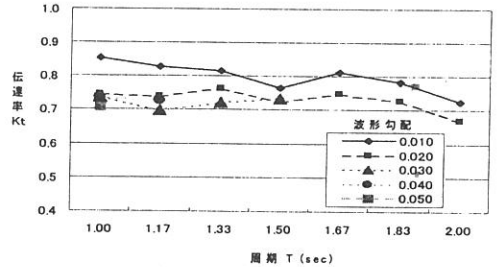


図8 潜堤 III (h=0.4m)

図6~図8に、実験結果の一部を示す。潜堤 I は、周期 1.00, 1.17 秒あたりで消波効果が高く、伝達率 0.5~0.6 を得た。しかし、周期が 1.33~1.83 秒で、次第に伝達率が 0.7~0.95 に増加する傾向にあった。波形勾配の違いによる影響はなかったが、水深が小さいほど伝達率が小さい。次に、潜堤 II・潜堤 III は、伝達率が、0.7~0.75 程度であり、波形勾配が小さいほど伝達率が小さい。水深の違いによる影響はなかった。潜堤 III は、潜堤 II と比べて水深 37cm での伝達率が、0.05~0.1 小さくなった。

#### 5. おわりに

実験結果より、上部スリットのみ潜堤よりも、側面部にもスリットを設けた潜堤の方が、より良い消波効果を得る傾向であった。現在、数値解析結果との比較・検討を進めている。また、潜堤周辺の流況を把握する目的で、ブラックライト等を用いて可視化する工夫を行った。その結果、流れを明確に観察でき、透過型潜堤の間隙を通過する回転流や乱流が確認された。更に、伝達波の波形について述べると、上部スリットのみ潜堤は、入射波が側面でさえぎられるため、水深が低いほど波峰のとがった波形の乱れた波であり、このときに伝達率が小さかった。一方、側面部にもスリットを設けた潜堤の場合は比較的波峰が丸く、水深による伝達率の違いがほとんどないことなど、各潜堤の消波機構の特性がみられた。

今後は、渦を考慮した解析などを念頭に入れ対応する数値解析手法の開発を目指す。

【参考文献】 M. Kanoh, H. Okuzono, N. Nakamura, T. Kuroki and H. Power: Boundary element and experimental solutions to water motion of incident waves against quadrilateral breakwaters, Proc. of 24th Int. Conf. on Boundary Element Method, eds. C. A. Brebbia & A. Tadeu, WITpress, Sinta, Portugal, pp. 559-567, 2002