

スリット壁を有する変位許容型防波堤による波の制御

九州大学 学生員○田 成 喜 村上啓介
九州大学 正 員 牛房幸光 吉田明徳

1. まえかき 著者らは、変位許容型防波堤による波の遮断効果および堤体の滑動に対する安定性を検討するための理論解析法¹⁾²⁾を示し、堤体にロッキング運動を許容することによって、堤体の滑動に対する安定性を著しく増大しうることを明らかにした。今回、堤体がスリット壁を有する場合に解析法を拡張し、実験による解析解の検証と透過性変位許容型防波堤による波の遮断効果、堤体の挙動について若干の検討を行った結果について報告する。

2. 理論解析の概略 図-1に示すように、一定水深 h の海域に設けられた天端高 h_2 のマウンド上に、底面が曲率半径 R の円弧状をなし、前後の側壁が縦スリット壁(開口率 ε)より成る堤体があり、これに対し振幅 ϕ_0 、角周波数 σ の微小振幅波が入射する場合を考える。ここでは、スリット壁を有する場合の変更部分についてのみ述べることにし、本文中の諸量については参考文献¹⁾²⁾を参照されたい。堤体に作用

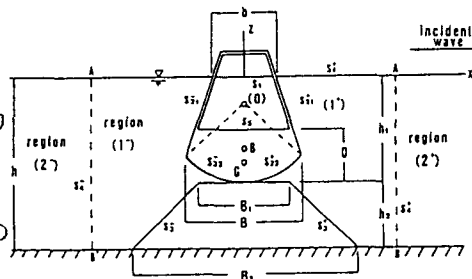


図-1 積分領域の分割

する流体圧力によって生じる重心まわりの回転モーメント $T \cdot \exp(i\sigma t)$ 、水平力 $P_x \cdot \exp(i\sigma t)$ 、鉛直力 $P_z \cdot \exp(i\sigma t)$ には領域(0)の影響が加わり、領域(0)、(1 $^+$)の速度ポテンシャルにより次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} T &= i\rho g \zeta_0 \left[\left\{ \int_{S_2^+} \phi_1^+(x, z) - \int_{S_1^+} \phi_0(x, z) \right\} \cdot \left\{ (x - x_g) \frac{dx}{ds} + (z - z_g) \frac{dz}{ds} \right\} ds \right. \\ P_x &= i\rho g \zeta_0 \left[\int_{S_2^+} \phi_1^+ dz - \int_{S_0} \phi_0 dz \right], \quad P_z = -i\rho g \zeta_0 \left[\int_{S_2^+} \phi_1^+ dx - \int_{S_0} \phi_0 dx \right] \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

ただし、 $S_2^+ = S_{21}^+ + S_{22}^+$ 、 $S_0 = S_{21}^- + S_5 + S_{21}^-$ で、 $\int_{S_2^+} \phi_1^+ dz$ は $\int_{S_2^+} \phi_1^+ dz + \int_{S_2^-} \phi_1^- dz$ を意味する。

水粒子速度の法線方向成分は、堤体の不透透側面上では側面速度の法線方向成分に等しく、スリット開口部ではそこでの水粒子速度の法線方向成分 ($U_m^+(z) \exp(i\sigma t)$ で表す) に等しいが、二次元問題として解析を行うために、堤体スリット壁面が奥行き方向に一樣な透過壁より成るものと仮定し、壁面上の法線方向速度成分を次式で与えるものとする。

$$h \frac{\partial \phi_0}{\partial y} = h \frac{\partial \phi_1^+}{\partial y} = (1 - \varepsilon) Q(x, z) \Theta - \varepsilon U_m^+(z) \quad \dots (2)$$

$Q(x, z) \Theta$ は堤体不透透側面の法線方向の速度成分である。

一方、スリット壁を横切る流れによって渦が生じ、流速の2乗に比例する抵抗が流体に作用するものと仮定し、その係数を C_D で表わす。このとき領域(1 $^+$)と領域(0)間の圧力の連続条件より次式を得る。

$$\phi_0 - \phi_1^+ = \beta |U_m^+(z) - Q(x, z) \Theta| \{U_m^+(z) - Q(x, z) \Theta\} \dots (3)$$

$$\beta = 1 + \frac{1}{3\pi} \cdot \frac{1}{\sigma^2 h/g} \cdot \frac{\zeta_0}{h} C_D$$

堤体の運動方程式に(1)式の流体力を用い、また、閉領域(0)、(1 $^+$)、(1 $^-$)の流体運動の速度ポテンシャルに関するクリーンの公式に(2)、(3)式の条件を用いて、これらの運動方程式とクリーンの公式を離散化して得られる連立一次方程式を解くことにより、反射率、通過率、堤体の回転変位等が決まることになる。

表-1 変位許容型堤体数値計算及び実験条件

条 件	数 値	数 値 計 算 条 件	実 験 条 件
堤 体 高 h_1	h_1/h	0.5	0.571
不透透部高 D	D/h_1	0.4	0.625
堤 体 幅 B	B/b	0.7	0.703
堤体水深 b	b/B	0.4	0.500
堤 体 比 重	γ	2.0	3.191
堤体重心座標 x_g	x_g/h	-0.4	-0.321
粘性無視係数	ν	1.0	0.426
底面曲率半径	R/h_1	1.0, 1.5, 2.0	1.250
転がり抵抗係数	μ	0.3	0.300
スリット透過率	ε	0.2	0.200
マウンド先端幅	B_1/b	0.7	0.857
マウンド底幅	B_2/b	0.7	0.857

h : 水深, h_2 : 下部ケーソンの高さ, $h = h_1 + h_2$
 ※ 浸水側面傾斜角 ψ と堤体重心座標 x_g は堤体断面形状(B, D, R, b)によって定まる。

ただし、この連立一次方程式には $|\bar{u}(z) - \bar{u}(x, z)| \theta$ $\{ \bar{u}(z) - \bar{u}(x, z) \}$ の非線型項が含まれるから、これらを直接解くことは出来ない。そこで、まず $\beta=0$ (すなわち、抵抗 $C_D=0$) の場合について解き、そのときの解を第一近似として $|\bar{u}(z) - \bar{u}(x, z)| \theta$ に用い、順次同様にして解が収束するまで、繰り返し計算を行うものとする。

3. 実験による検証と数値実験 解析法の妥当性を検証するため水槽実験を行って、反射率、通過率及び堤体の回転変位を求め、解析解と比較した。実験に用いた模型堤体の条件を表-1に示す。各繰り返し計算ごとの解は、繰り返し回数が進むに連れて収束値のまわりに振動しながら収束していく。そこで、計算は $(n+1)$ ステップの解と n ステップの解の差が10%となったときに計算を打ち切り、 $(n+1)$ ステップよりさかのぼって4ステップ分の解を平均して収束値とした。図-2(a)は反射率および通過率について解析解と実験値を比較したものである。 C_D の値は0.5から2.0まで0.5ききさみて計算を行った。これらの解析解と実験値の比較より、 C_D の値としては $C_D=2.0$ 程度にとるのが妥当である。このとき、反射率については実験値と計算値はよく一致する。通過率は kh の値が大きくなるにつれて解析解と実験値の差が若干大きくなる傾向にあるものの、両者は比較的良好に一致しており、解析法はほぼ妥当な解を与えているものと考えられる。ただし、図-2(b)に示す堤体の回転変位に関しては、実験値に比べて計算値の方が一様に小さく、両者の差も反射率・通過率に比べると大きくなっている。これらの点を含め、さらに実験を行って理論解の妥当性について検討する必要がある。数値実験例として、表-1に示す条件の堤体について、堤体底面の曲率半径を0.5, 0.75, 1.0の3通りに変化させ、反射率と通過率の変化を調べた結果を図-3に示している。これらの解析解および実験結果より、縦スリットを有する変位許容型防波堤の場合、ロッキングを許容することによる波力の低減効果¹⁾²⁾に加え、不透過堤体に比べて入射波の波長によらず一様な波の遮断効果が得られる点の特徴である。

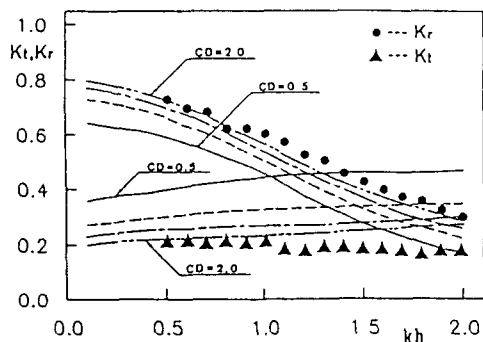


図-2(a) 通過率、反射率

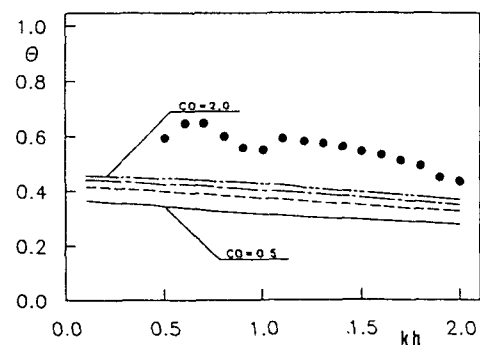


図-2(b) 回転変位

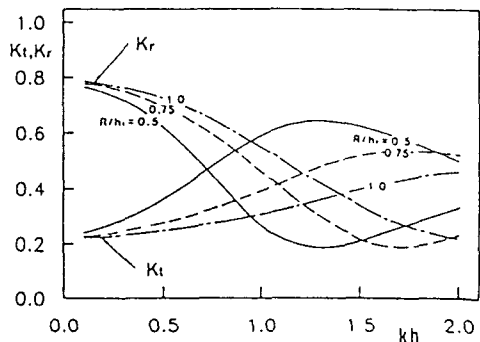


図-3 通過率、反射率

4. あとがき さらに実験を補足して解析法の検証をおこない、ついで縦スリット壁を有する変位許容型防波堤の防波効果を、数値実験によって明らかにするとともに、滑動に対する安定性についても、水槽実験による検討を行う予定である。

参考文献

- (1) 吉田, 西内, 葉丸, 牛房: 変位許容型防波堤の水理特性解析, 西部支部研究発表会講演概要集, 1988年
- (2) 吉田, 西内, 村上, 牛房: 変位許容型防波堤による波の制御, 第35回海岸工学講演会論文集, 1988年