

変位許容型防波堤の水理特性解析

九州大学 学生員 ○西内雄一 薬丸信之

九州大学 正会員 吉田明德 牛房幸光

1. まえがき 昨年度当研究会において、回転変位許容型防波堤の水理特性を実験的に検討した結果について報告した。しかし、堤体による波の遮断効果や堤体の滑動に対する安定性等の水理特性は堤体条件(断面形状、堤体重量、重心位置、底面曲率、転がり抵抗、etc)によって大きく異なるため、実験的に最適条件を検討するのは困難である。そこで今回、流体運動の速度ポテンシャルに関する境界値問題として理論的に解析する方法と、その妥当性を水槽実験により検証し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 の海域に底面が曲率半径 R の円弧をなす不透透堤体があり、これに対し振幅 ζ_0 、角周波数 σ の微小振幅波が入射する場合を考える。堤体は滑らず、堤体の底面円弧の曲率中心 C に関する回転と、それに伴う転がり運動のみを行うものとし、任意時刻 t における回転角 θ を、 $\theta = \omega_0 \exp(i\sigma t)$ と表す。流体運動を、非圧縮性完全流体の無渦運動と仮定すると、次の形の速度ポテンシャルが存在する。

$$\phi(x, z; t) = \frac{g\zeta_0}{\sigma} \phi(x, z) \exp(i\sigma t) \quad (1)$$

関数 ϕ (ポテンシャル関数と呼ぶ)は、Laplaceの方程式を満足する無次元の関数である。

いま、仮想の境界線 $AB, A'B'$ を堤体の運動によって生じる散乱定常波が十分小さくなる位置まで離して設け、流体域を領域(1 $^\circ$), (2 $^\circ$)の4つに分割する。反射率を K_r 、通過率を K_t で表すと、領域(2 $^\circ$)のポテンシャル関数は次式で表される。

$$\begin{aligned} \phi_2(x, z) &= \{ \exp(ikx) + K_r \exp(-ikx) \} Z(z) \\ \phi_2(x, z) &= K_t \exp(ikx) Z(z) \end{aligned} \quad (2)$$

$$Z(z) = \cosh k(z+h) / \cosh kh$$

k は入射波の波数

領域(1 $^\circ$)のポテンシャル関数は、グリーンの定理より各領域の境界線に関する次の形の積分方程式で表すことができる。

$$\phi_1(X) = \frac{1}{\alpha} \oint_{S_1+S_2+S_3} \{ \phi_1(X_b) \frac{\partial}{\partial n} G(r) - G(r) \frac{\partial}{\partial n} \phi_1^*(X_b) \} ds \quad (3)$$

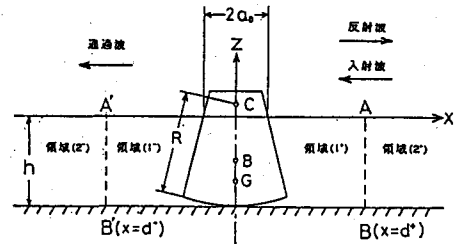


図-1 回転変位許容型防波堤と領域分割

堤体に作用する流体力の水平合力 P_x 、鉛直合力 P_z 及び重心回りの回転モーメント T はそれぞれ次式で表せる。

$$\begin{aligned} P_x &= i\rho g \zeta_0 \int_{S_2} \phi_1(x, z) dz, \quad P_z = -i\rho g \zeta_0 \int_{S_2} \phi_1(x, z) dx \\ T &= i\rho g \zeta_0 \int_{S_2} \phi_1(x, z) \{ (x-x_g) \frac{dx}{ds} + (z-z_g) \frac{dz}{ds} \} ds \end{aligned} \quad (4)$$

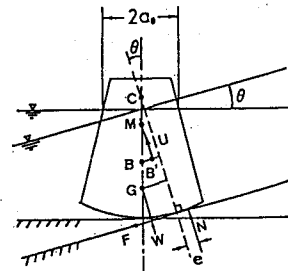


図-2に示すように、堤体重量を W 、堤体に作用する垂直反力を N 、浮力を U 、接線力を F で表し、垂直反力 N が回転中心とつくる腕の長さ e を、

$$\begin{aligned} T_s \exp(i\sigma t) &= -N \{ GC \sin \theta + e \} \\ &= -U(BM + CB) \sin \theta + F(h+z_g) \end{aligned} \quad (5)$$

上式で、 BM は浮心 B とメタセンター M 間の距離である。任意時刻 t における堤体重心の x 座標を x_g とすると、堤体重心の水平運動及び重心まわりの回転運動に関する運動方程式は次式のように書ける。

$$\begin{aligned} M \frac{d^2 x_g}{dt^2} &= P_x \exp(i\sigma t) - F \\ I_0 \frac{d^2 \theta}{dt^2} &= \{ T + T_s \} \exp(i\sigma t) \end{aligned} \quad (6)$$

(3)式に(2)式より得られる仮想境界面での境界条件と、水面と堤体面上の境界条件を代入して離散化し、また(6)式の運動方程式に(4),(5)式を代入して離散化して得られる連立一次方程式を解くことにより、境界上の各要素に関する $\phi(j)$ および $K_r, K_t, \Theta (= \omega_2 a / \zeta_0)$ の値が決まることになる。

3. 実験による検証と数値実験 実験は2次元造波水路(幅0.3m, 深さ0.5m, 長さ28m)を用い、水深を0.35m、入射波高を4cm程度に取り、水路のほぼ中央に堤体を設置し

て容量式波高計により、入射波高、通過波高を測定して通過率を算定した。また堤体の運動は変位計により回転中心の変位を測定し、回転角を算定した。実験と計算の条件は、図-3に示す3通りの堤体断面形状について表-1に示す条件で行った。通過率と回転変位について

表-1 堤体条件

形状	水槽実験			数値実験		
	a	b	c	a	b	c
R/h	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
B/h	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
D/h			0.57			0.57
a_w/h	0.57	0.25	0.	0.57	0.25	0.
$-z_{w1}/h$	0.65	0.68	0.67	0.5	0.5	0.7
$-z_{w2}/h$	0.48	0.55	0.68	0.48	0.55	0.68
ν_r	0.96	0.72	0.55	0.96	0.72	0.55
ν_x	1.73	1.63	1.70			
ν_w	1.03	1.31	0.86	1.0	1.0	1.0
μ				0.3	0.3	0.3

* 斜線部の値は図中に記入(ν_w, μ)

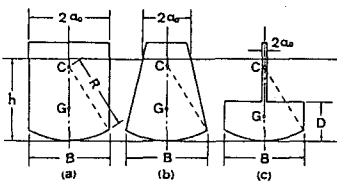


図-3 堤体断面形状

の理論値と実験値との比較を堤体形状(b)の場合について図-4,5に示している。転がり抵抗係数の値は $\mu = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ について計算を行っている。図より $\mu = 0.3 \sim 0.4$ 程度に取れば両者の周波数特性はだいたいにおいて良く一致し解析法は妥当なものと考えられる。

堤体(b)について、堤体重量を変化させた場合の転がり抵抗によって生じるエネルギー損失の割合を図-6に、また堤体に作用する水平波力 P_x と鉛直波力 P_z の鉛直壁に作用する重複波圧 F_w に対する比を図-7に示している。これを見ると、入射波の波数と堤体条件によってはエネルギー損失の割合が60%近くにもなること、またRocking運動によって水平波力が著しく減少することがわかる。

4. あとがき 解析法を実験によって検証した結果、実験値と理論値の一致は良く解析法の妥当なことが確かめられた。いくつかの堤体条件について

本解析法により数値実験を行った結果、堤体は不透過であるが転がり抵抗により、入射波のエネルギー損失がおこり消波機能をも有すること、堤体に作用する水平力は入射波の波数と堤体条件によっては鉛直壁に作用する重複波力の20~30%まで減少することがわかった。従って、若干の波の通過を許容すれば従来の堤体に比べ滑動に対してきわめて安定な堤体とできる可能性があると言える。

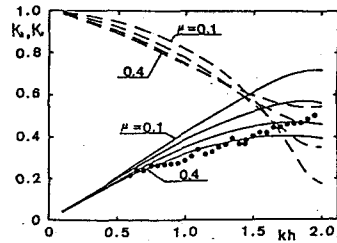


図-4 理論値(—通過率)と実験値(●)の比較(堤体b)

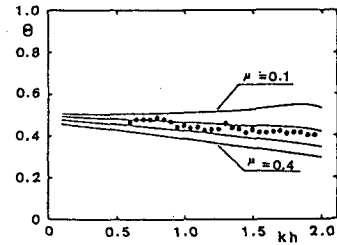


図-5 理論値(—一回転変位)と実験値(●)の比較(堤体b)

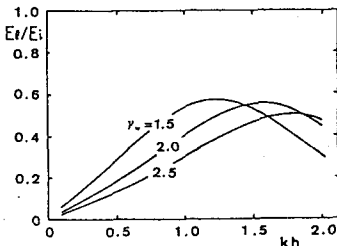


図-6 エネルギー損失の割合(堤体b)

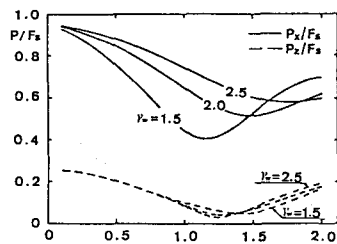


図-7 水平波力と鉛直波力(堤体b)

参考文献:1)吉田他,回転変位許容型防波堤の水理解析特性,九大工学集報,第60巻,第6号
2)山下,吉田 他,回転変位許容型防波堤の通過率特性,土木学会西部支部研究発表会講演概要集,昭和61年