

タイヤ充填式透過性防波堤の抵抗係数と水理特性

九州共立大学工学部 学生員 松田 浩一
正会員 小島 治幸

1. 研究目的

近年、防波堤を取り巻く種々の情勢の変化により、海域利用の高度化を実現するための海域制御構造物に求められる条件も変化してきた。単に波浪や漂砂を制御するだけでなく、海水交換や集魚性など生物環境の改善および景観など、周辺海域への配慮が重要となってきた。このために、多くの透過性防波堤が開発されてきており、そのうちの一つにスリット式消波ケーソン堤の遊水部に古タイヤを適宜充填した構造形式が考えられる。この構造物における波浪に関する基本的水理特性は過去の研究である程度明らかにされている。

本研究は、堤体の形を矩形と単純化し、堤体全体の幅を変化させることにより抵抗係数と消波特性、堤体に作用する波力特性がどのように変化するかを水理模型実験と数値計算により明らかにする。

2. 研究方法

2.1 数値解析法の概要

数値解析法は、流体運動に関してラプラス方程式を満足する速度ポテンシャル $\Phi(x, z, t)$ が存在すると仮定し、グリーンの公式を適用した境界要素法を用いたものである。

堤体を図-1のように分割しスリット壁やタイヤ充填部の透過性堤体領域の空隙率を V 、局所平均流速を u^* 、 w^* とし、また抵抗を相対速度と加速度とに比例するものとし、それぞれの平均抵抗係数を μ_1 と μ_2 、流体圧力を p^* とすると、透過性堤体内の流体運動は速度ポテンシャルを持ち、圧力は次式で表せる。

$$\frac{p^*}{\rho g \zeta_0} = -i \left[\left(\frac{1 + \mu_2}{V} \right) + i \frac{1}{V} \left(\frac{\mu_1}{\sigma} \right) \right] \phi^* e^{-i\sigma} - \frac{gZ}{\zeta_0}$$

このことから、透過性堤体領域内の境界条件は、それぞれ次式で表される。

自由表面での条件

$$\frac{\partial \phi^*}{\partial z} = -\frac{\sigma}{g} \left[(1 + \mu_2) + i \frac{\mu_1}{\sigma} \right] \phi^*$$

透過性堤体と外部流体域との境界での条件

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{1}{V} \left[(1 + \mu_2) \frac{\partial \Phi^*}{\partial t} + \mu_1 \Phi^* \right]$$

これらの境界条件と境界要素法および適当な抵抗係数を与えることにより、堤体による通過率 K_T と反射率 K_R を算定することができる。そのために、水理実験によって得られる通過率、反射率と数値解析によるそれらの値との標準

偏差を求め、その値が最小となるような抵抗係数 μ_1 と μ_2 を最適な係数として決定した。

2.2 水理実験の方法と条件

水理実験は、図-2に示すように、全長30m、深さ0.7m、幅0.4mの2次元造波装置を用い、水槽の水深を $h=40\text{cm}$ に固定し、実験水槽の造波板から約15.8mほど離れた位置に堤体を設置した。堤体は、前面と後面に波に対して抵抗の無いような編み目のかごをつくり、その間にタイヤを充填したものを使用した。

実験は、消波特性に関して行い、堤体による反射率と通過率とを測定した。測定方法は、分離推定法を用い波を入射波と反射波、通過波に分離し、それらの波高を用いて反射率と通過率を算定した。また反射率に関しては、ヒーリーの方法も用い、部分重複波の波の腹 (H_2) と波の節 (H_1) を求め計算式により反射率を算定した。入射波は、規則波を用いた。波高を $H'_0=3.0$ から 8.0cm まで、周期を $T=0.506$ 秒から 2.146 秒まで変化させた。

実験ケースは、堤体の幅 $B=40\text{cm}$ ($B/h=1.0$) を case1 とし、 $B/h=0.5$ を case2、 $B/h=0.25$ を case3 とした。なお、タイヤを充填したところの空隙率は27.6%である。

3. 結果と考察

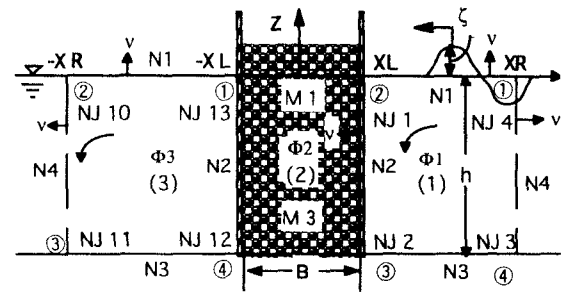


図-1 数値計算における堤体断面と領域図

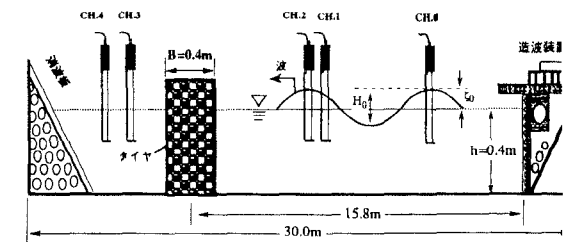


図-2 実験水槽と模型図

図-3は、case1-1における抵抗係数 μ_1 と μ_2 を変化させたときの通過率 K_T と反射率 K_R に関する計算値と実験値との標準偏差を示したものである。上図に入射波高 $H_0/h=0.075$ 、下図に $H_0/h=0.15$ を示している。この結果より K_T 、 K_R とも $\mu_2=0.0$ のときに他の μ_2 よりも標準偏差が小さくなり、 μ_1 を変化させると最小値が現れ、その値を最適抵抗係数とした。case1-1における抵抗係数の最適値は、通過率 K_T では $H_0/h=0.075$ のとき $\mu_1=0.6$ 、 $H_0/h=0.15$ のとき $\mu_1=0.8$ となった。反射率 K_R は偏差がそれぞれ0.1,0.2に近い値で、 μ_1 が変化してもほとんど変わらなかった。

図-4は、抵抗係数を $\mu_2=0.0$ と $\mu_1=0.1, 0.2, 0.6, 0.8, 2.0$ としたときの数値計算値と実験値を比べたものである。通過率 K_T に関してはそれぞれの最適値における実験値と計算値の一致はほぼ満足いく結果となった。反射率 K_R に関しては、計算値が実験値よりも大きな値となった。

図-5は、case2-1において抵抗係数 μ_1 と μ_2 を変化させたときの通過率 K_T と反射率 K_R に関する計算値と実験値との標準偏差を示したものである。通過率 K_T に関しては最適抵抗係数は $\mu_1=0.6$ 、 $\mu_2=0.0$ でありそのときの標準偏差は0.1以下であった。反射率 K_R はcase1と同様に μ_2 が0.3に近い値で変わらなかった。

図-6は、case1とcase2のそれぞれの波高に対して最適抵抗係数値である μ_1 の変化を表したグラフである。波高別に見ると μ_1 は、堤体の幅が変わってもほとんど変わりはなかった。波高が大きくなると μ_1 の値も大きくする必要

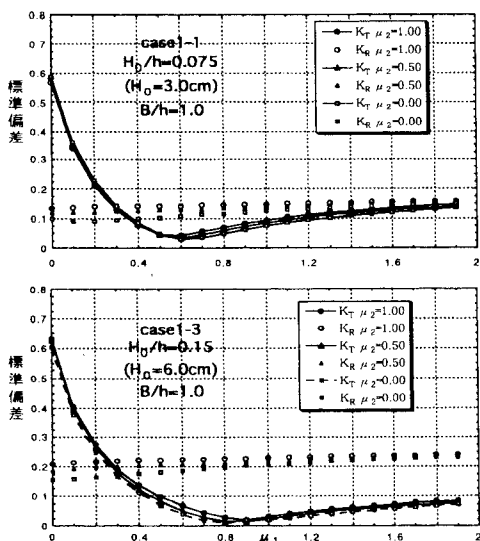


図-3 実験値と計算値の標準偏差(case1)

がある。case1,case2に関してはグラフ内の式で抵抗係数をほぼ表すことができる。

4. あとがき

case1,case2ともに、通過率 K_T は実験値と数値計算の標準偏差の最小値が、0.1以下と満足いく結果となったものの、反射率 K_R は計算値が実験値より全体的に大きくなる結果となった。

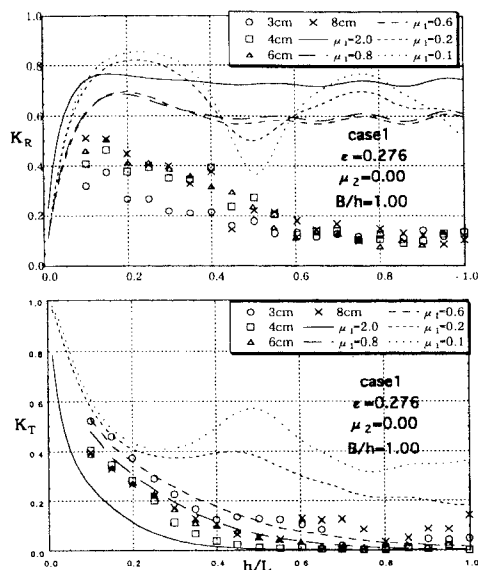


図-4 case1における実験値と計算値

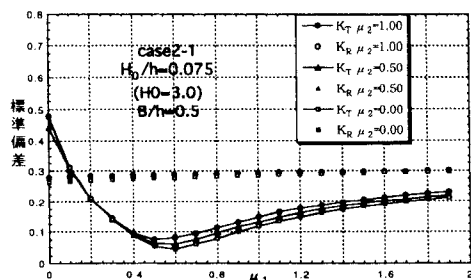


図-5 実験値と数値計算値の標準偏差(case2)

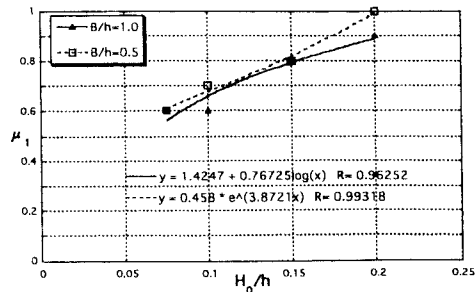


図-6 case1とcase2の最適抵抗係数 μ_1 の変化