

II-510

透過性防波堤に作用する波力と波圧に関する数値実験的検討

電力中央研究所 正会員 ○榊山 勉・鹿島遼一

1. はじめに 数値計算手法の発達により、これまで水理実験でしかできなかったことが数値計算によっても行えるようになりつつある。断面2次元の非線形波の変形計算に“数値波動水槽”の概念を導入し、大山・灘岡(1991)は不透過潜堤による波の分裂を数値計算により再現した。また、著者ら(榊山ら,1991)は透過性構造物を含む場合の非線形波の変形計算について、ポアラスボディモデルを用いて傾斜堤周辺の波浪変形を再現できることを示した。以下に、前報の数値計算結果を用いて遡上波や消波ブロックに作用する波力ならびに波圧特性に解析した結果を報告する。

2. 検討内容 図-1および図-2に対象とする傾斜堤を示す。図-1は1種類の消波ブロックからなる傾斜堤であり、図-2は透過波を低減するために内部に幅の狭い不透過壁(以下ケーソンと呼ぶ)を挿入した消波ブロック被覆ケーソン堤である。これら両者について波高 $H = 9.0\text{m}$ 、周期 $T = 11.6\text{s}$ (原型値)の条件のもとに数値計算を行った。数値計算手法の詳細は文献(榊山ら, 1991)に示されているので省略する。図-1の消波ブロック傾斜堤については被覆層に沿う各計算点における遡上波の流速波形を抽出し、遡上波の斜面に沿う流速成分とその加速度を算出した。ここでは、これらと式(1)のモリソン式を用いて消波ブロックに作用する抗力 F_D 、慣性力 F_I とその合力 $F = F_D + F_I$ の波力波形を評価した。

$$F(x, z, t) = F_D(x, z, t) + F_I(x, z, t) = \frac{1}{2} \rho C_D A u_s(x, z, t) |u_s(x, z, t)| + \rho C_M V \alpha_s(x, z, t) \quad (1)$$

ここに、 ρ は流体密度、 A 、 V はそれぞれ消波ブロックの断面積、体積 $u_s(x, z, t)$ 、 $\alpha_s(x, z, t)$ は被覆層法面に沿う方向の被覆層外の遡上波の流速と加速度である。また、 C_D 、 C_M はそれぞれ消波ブロックの抗力係数、慣性力係数で、本来はレイノルズ数、 KC 数の関数であり、斜面に沿って場所的に変化するものであるが、著者ら(榊山・鹿島, 1989)の消波ブロックの抗力係数と慣性力係数の測定結果を参考にして、ここでは $C_D = 1.0$ 、 $C_M = 2.0$ の一定値を用いた。図-2の消波ブロック被覆ケーソン堤に関しては、消波ブロックに被覆されたケーソン周辺ならびに消波ブロックの外側の圧力分布を抽出し、圧力の分布特性を調べた。

3. 計算結果と考察 消波ブロック傾斜堤の遡上波の流速ホドグラフを代表的な4点について図-3に示す。静水面に近い(a) $z/h = -0.061$ の図中の点線は空中に露出していることを意味する。自由表面に近い(a) $z/h = -0.061$ 、(b) $z/h = -0.20$ では計算結果に若干の変動が生じている。流速ホドグラフの軸はいずれも法面勾配1:1.5に平行になっている。(d) $z/h = -0.90$ の底面の流速と比べて、水面近傍に近づくにしたがって遡上波の流速が急激に大きくなることがわかる。

静水面近傍の計算点($z/h = -0.061$)での遡上波の水平流速 u 、鉛直流速 w の各波形とモリソン式を用いて算出した波力波形(榊山ら,1991)を図-4に示す。遡上時の慣性力 F_I はピーク値が大きいが作用時間が短い。これに対して、抗力 F_D は長時間作用する。流下時には抗力と慣性力との位相がずれ、下向きの合力が遡上時より長い時間作用する。

遡上時、流下時の抗力、慣性力、合力のピーク値を図-5に示す。横軸は波力を消波ブロックの水中重量の斜面方向成分 $W' \sin \theta$ で無次元化して表した。(a)遡上時では、静水位で抗力、慣性力、合力とも最大になっている。また、(b)流下時では、静水面より若干下でピークを示している。これらのことは静水位近傍で消波ブロックが最も不安定であることを説明している。また、抗力のピーク値の遡上時と流下時の違いは約30%である。

消波ブロックによる波圧低減効果を調べるために、消波ブロック被覆ケーソン堤について、被覆工内のケーソンの沖側面に作用する波圧の最大値 p_{in} と被覆層外側の波圧の最大値 p_{out} ならびに両者の比 p_{in}/p_{out} を図-6に示す。図中の記号は、ケーソンに作用する波圧の実験結果であり、計算結果と良好に一致した。底面付近の p_{out} の屈曲は消波工の小段の影響である。静水位近傍を除き、被覆層内外の波圧の比 p_{in}/p_{out} は約0.85でほぼ一定となっている。波圧の大きい静水位近傍で波圧の減衰効果が大い。したがって、静水面近傍の消波工の機能が減少すると背後に消波ブロックがない場合にはケーソンの滑動、転倒に及ぼす波力の影響が顕著に表れることになる。

図-7はケーソン周辺の圧力分布を示したものである。(a)は静水圧を含む全圧力、(b)は全圧力の値から各計算点の静水圧分を差し引いた圧力の波動成分の分布を示す。(a)と(b)では図の圧力のスケールが10倍異なる。(b)の波動成分は沖側の静水面で最大となり約 $p/wH = 0.55$ である。岸側では、マウンドを通過した透過波の影響で(透過率は0.01)ケーソン底面近傍で圧力の波動成分は0にはならず約 $p/wH = 0.1$ を得た。また揚圧力は、(a)の全圧力からほとんどが静水圧に起因する。これは、本計算条件では消波工内で減衰した波高に比べて水深が大きいためである。また、揚圧力の波動成分は直線的な変化を示し、合田の揚圧力の三角形分布の仮定とほとんど一致した。

4. おわりに 従来から水理実験を中心に検討が進められてきた透過性構造物に関して、数値実験により消波ブロックに作用する波力やケーソンに作用する波圧の空間的な特性を示した。今後、さらに数値計算手法の精度向上を図り、水理実験と併用することによって、数値計算は現象の解明や設計のための有力な手段になるものと考えられる。

<参考文献>大山・灘岡(1991), 海岸工学論文集, 第38巻(1), pp.16-20., 榊山ら(1991), 海岸工学論文集, 第38巻(2), pp.546-550. 榊山・鹿島(1989), 海岸工学論文集, 第36巻, pp.653-657.

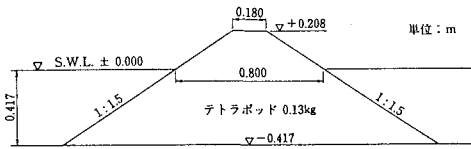


図-1 消波ブロック傾斜堤（実験縮尺 $\lambda=1/60$ ）

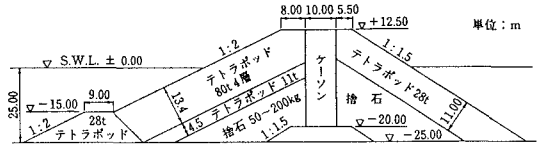


図-2 消波ブロック被覆ケーソン堤（原型値）

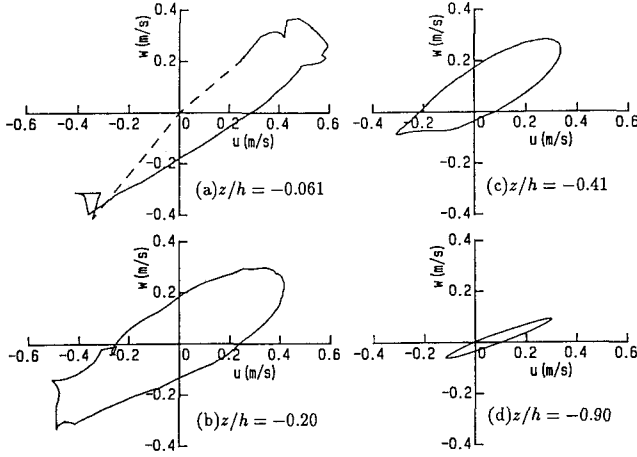


図-3 遡上波の流速 hod グラフ

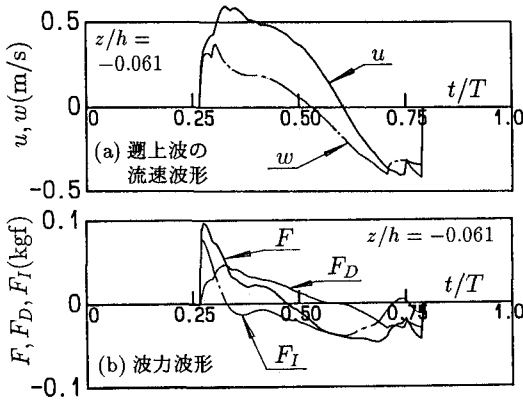


図-4 遡上波の流速波形と波力波形（榊山ら，1991）

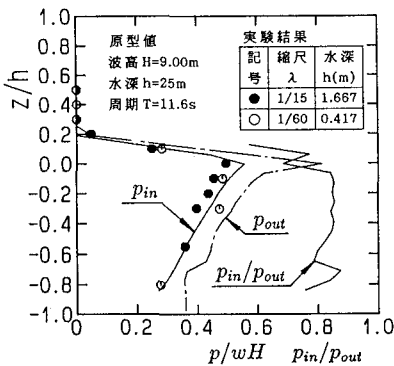


図-6 消波ブロックによる波圧の低減効果

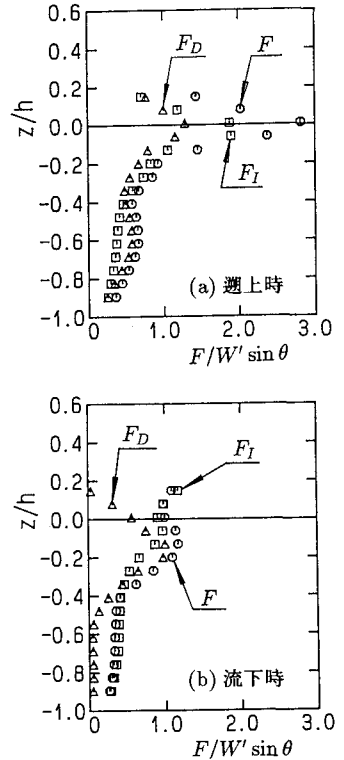


図-5 消波ブロックに作用する波力の鉛直分布

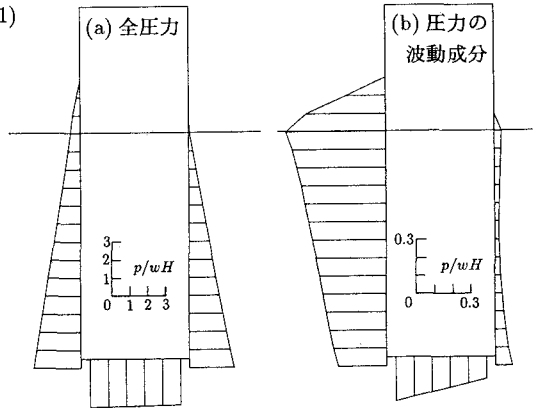


図-7 消波工内部のケーソン周辺の波圧分布