

ブロック堤体内の水面付近で生じるエネルギー逸散について

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸  
愛媛大学大学院 学生員 西平和彦  
(株) ウエスコ 小野修史

1. まえがき：ブロック堤による波変形を予測する上で堤体と波との干渉過程で生じるエネルギー逸散が重要になる。ここでは、従来特に不明確なままとっていた水面付近に位置する部材と波面との衝突現象（スラミング現象）によるエネルギー逸散に着目して、その実態や理論的な評価法を明らかにする。

2. 実験装置および実験方法：（1）模型；模型の構成部材には、円柱を用いた。そして、実験に用いた円柱の配置は、図-1に示すように、1段配列（黒塗）、3段配列（黒塗と斜線）、ブロック堤の3種類である。また、円柱は、外径 $D=7.5\text{cm}$ の塩ビパイプを用いた。また、円柱の最短中心間距離は $9.3\text{cm}$ に固定した。このような間隔としたのは、ブロック堤に組み上げたとき、空隙率が現地のもとのほぼ同じ50%程度となるようにするためである。（2）実験方法；実験は、入射波、透過波および反射波の各々を同時に測定した。この際、反射波は、堤体の反射波側で2台の波高計により水面変動波形を測定し、入射波の分離推定法を介して反射率を算定した。この実験で円柱に作用せしめた入射波は、周期が $0.9\sim 2.3\text{SEC}$ の10種類、波高が $7.5, 15\text{cm}$ の2種類である。なお、設置水深は $44\text{cm}$ と一定にした。

3. 境界条件の設定：本研究では、中村による2次元波動場のGreen関数を核関数とするわきだし分布法<sup>1)</sup>を原則的に用いた。そして、水面付近に位置する部材と波面との衝突現象によるエネルギー逸散量は、衝撃時に作用する衝撃力によりなされる仕事量に等しいと仮定した。このエネルギー逸散を解析に考慮するため、図-2に示すようにブロック堤内の自由表面に水面上昇速度の2乗に比例する抵抗力 $\Delta f_d$ をもつdamperを設け、等価なエネルギー逸散が生じるようにモデル化した。このときのブロック堤内の自由表面の境界条件は次式のように導ける。ただし、等価仕事の原理に基づく線形化を行うものとする。

$$\partial \phi / \partial z = \phi / \{ (g/\sigma^2) - i f \} \quad (1)$$

ここで、 $\phi$ は入射波と回折波を考慮した全速度ポテンシャル、 $g$ は重力加速度、 $\sigma$ は角振動数、 $i = \sqrt{-1}$ 、 $f$ は線形抵抗係数で、等価仕事の原理に基づき次式のように導ける。

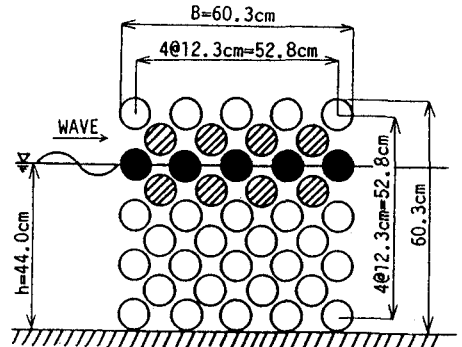


図-1 模型堤体

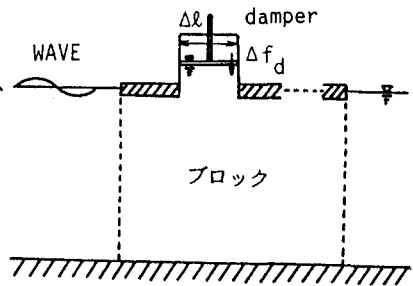
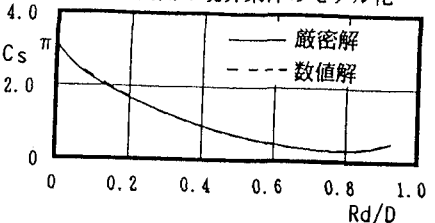
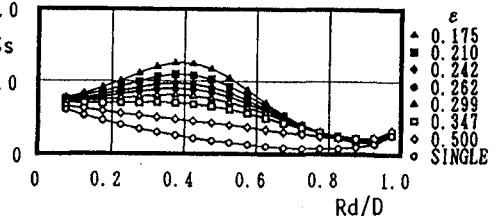


図-2 水表面の境界条件のモデル化



(a) 厳密解と数値解の比較



(b) 開口率の変化による $C_s$ の変動

図-3  $C_s$ の変動特性

$$f = (2 C_s / 3 \pi) (\hat{w} / \sigma) (D / \Delta \ell) \quad (2)$$

ここで、 $C_s$ はスラミング係数、 $\hat{w}$ はブロック堤体内の水表面での鉛直流速振幅である。

4. スラミング係数：図-3 (a) は、円柱1本のスラミング係数の厳密解<sup>2)</sup>とわきだし分布法による数値解の比較を没水長と直径の比  $R_d/D$  の変動で示す。図より  $C_s$  は、数値解析法により精度よく推定できることがわかる。一方図-3 (b) は水面に円柱を5本等間隔に並べたときの中央の円柱の  $C_s$  を同様に示す。図中では、配置間隔の効果についても検討できるように開口率  $\varepsilon$  (開口長/中心間距離) をパラメータにしてある。そして、比較のため円柱1本の数値解の結果に付いても併せ示した。図より  $\varepsilon$  が小さくなると、全体的に  $C_s$  の値が増大することや単一円柱と異なり  $R_d/D=0.4$  付近でピーク値を示すことが認められる。これは、隣接する部材の影響によるものと考えられる。

5. 透過率および反射率：図-4 (a) (b) (c) は、それぞれ1段配列円柱、3段配列円柱、ブロック堤の透過率  $C_T$  と反射率  $C_R$  の  $B/L$  ( $B$ : 円柱の配列長,  $L$ : 波長) による変動を示す。この時算定に用いた  $C_s$  の値は上記の解析法に基づき、1段配列の場合1.72、3段配列の場合2.15、ブロック堤の場合5.16とした。まずこれらの図の実験結果に着目すると、 $C_T$  は短周期の条件になるほどまた部材の配列数が増すほど減少することなどがわかる。一方  $C_R$  は周期による変動はあまり見られず、この傾向は配列数の多いブロック堤の場合でより顕著になる。次に、実験結果と算定結果の比較を行うと、 $C_T$ 、 $C_R$  の  $B/L$  による変化など定性的に両者はほぼ一致しているものの、定量的な一致度は十分でない場合も見られる。特に部材の配列数の多いブロック堤の場合で、 $B/L$  の小さな長周期側において両結果に差異が見られる。

6. エネルギー逸散率：図-5 は、代表例としてブロック堤のエネルギー逸散率  $E_L (=1-C_T^2-C_R^2)$  の  $B/L$  による変動を示す。この図より、 $E_L$  の実験値は長周期の条件になると多少減少する傾向が認められる。そして実験結果と算定結果を比較すると、短周期の条件下で両者はほぼ一致するが、長周期の条件になると、算定値が実験値を下回るようになる。これは長周期の条件になると水平流体運動が卓越するとともにブロック堤体内部での渦流れ等の発生によるエネルギー逸散が増加することによるものと考えられる。

6. 結語：水面付近に固定された部材と波面との衝突現象によるエネルギー逸散は、本研究で提案した評価モデルを用いてほぼ説明できることや、このエネルギー逸散を考慮することにより比較的短周期の条件下での透過・反射率を精度よく推定できることなどが明らかになった。

<参考文献>1)中村孝幸：薄肉物体まわりの波浪境界値問題に関する解析法、第30回海岸工学講演会論文集、pp. 410-414, 1983.  
2)Taylor, J. L.: Some Hydrodynamical Inertia Coefficients, Phil. Magazine, Vol. 9, Ser. 7, pp. 161-183, 1930

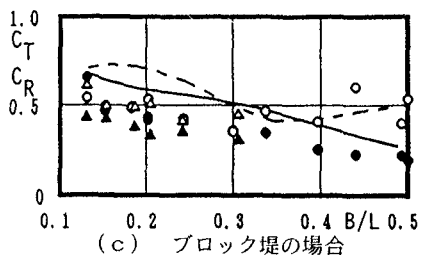
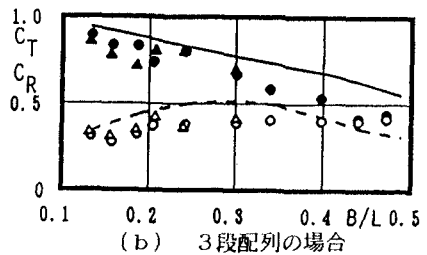
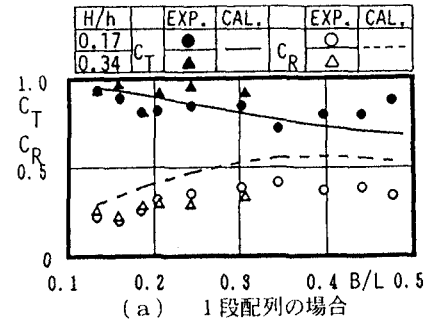


図-4 透過率および反射率

