

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\phi}{(g/\sigma^2) - i(C_f D^2/l)} \Big|_{z=0} \dots\dots\dots (1)$$

ここに ϕ : 入射波と反射波の両者を合算した全速度ポテンシャルの複素振幅, g : 重力加速度, $\sigma = 2\pi/T$ (T : 周期), z : 水面を原点とする鉛直方向座標, D : 円柱部材の直径, l : 構成部材間の自由表面の幅, C_f : 等価線形抵抗係数で, 構成部材のスラミング係数 C_s との間に次式の関係がある。

$$C_f = \frac{2}{3} \frac{C_s}{\pi} \frac{\bar{w}}{D\sigma} \dots\dots\dots (2)$$

ここに, $\bar{w}$: 部材間での水面上昇速度の振幅である。

このように, 堤体内での水表面の境界条件を設定するには, 配列状態における水面付近の部材のスラミング係数が必要になる。ここでは, 既に著者らがポテンシャル理論に基づく数値解析法を用いて算出した各配列円柱の C_s (中村ら; 1992) が原則的に適用できるものとした。

一方, ブロック被覆堤では, 透過堤の場合に比較して, 背後の直立堤における不透過条件を付加する必要がある。このような不透過条件は, 直立堤壁面を鏡として湧出し関数の鏡像を考えたグリーン関数を用いるか, あるいは壁面上に湧出しを配置して不透過条件を満足するようにその強さを決定するかの方法で満足できる。ここでは, 前者の方法を適用して, 上述したような水面でのエネルギー吸収条件などを考慮して各種の模型による波の変形および堤体波力について算定を行った。

4. ブロック被覆堤による反射特性

(1) 1 段, 3 段配列円柱の場合

図-2 は, 直立堤の前に 1 段配列円柱を設置したときの反射率 C_R に関する実験結果と算定結果の比較を示す。図中では, 横軸に周期に関する無次元量 B/L (B : 円柱の配列長, L : 波長) がとってある。算定に用いたスラミング係数 C_s の値は, ポテンシャル理論に基づく 1 段配列円柱 5 本の平均値である 1.72 を基本値として, これの 2 倍ならびに 3 倍の値をそれぞれを採用した。まず実験結果に着目すると, C_R は B/L の大きな短周期側で若干減少する傾向が見られるが, ほぼ一定の値を示し, 周期による顕著な変動は見られない。算定結果に着目すると, C_s の値を基本, その 2 倍, 3 倍と増加して行くと, 特に $B/L=0.4$ 付近で減少する傾向が認められる。 C_R の実験結果と算定結果を比較すると, 基本の C_s 値を用いた算定結果が実験結果との対応が最も良いが, B/L の小さな長周期側では実験値に比べると大きくなるなどの相違点も見られる。これは, 長周期の条件下では水平方向の流体運動が卓越し, その鉛直運動のみによる逸散を考慮した上記解析法では不十分であることによるものと考えられる。

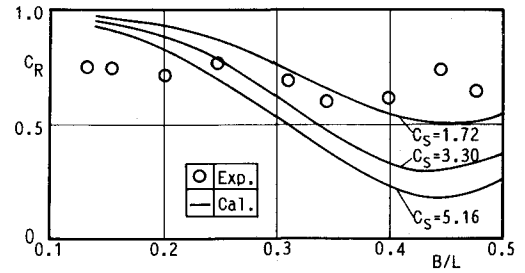


図-2 1 段配列円柱の反射率 ($H=7.5$ cm)

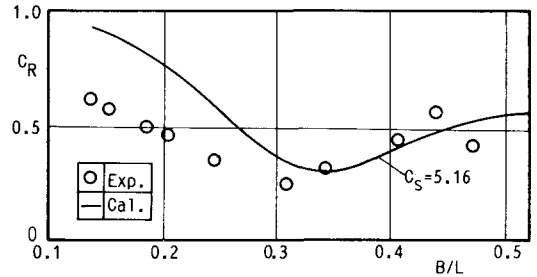
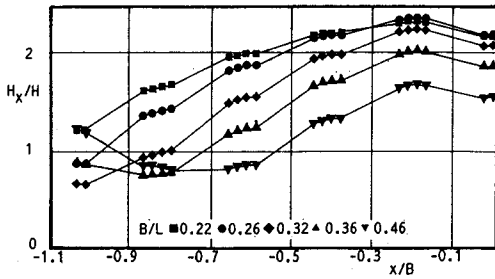
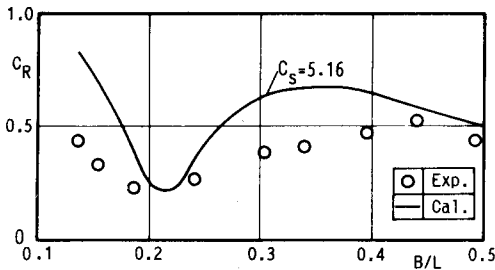
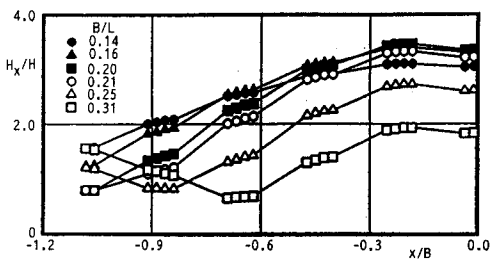


図-3 3 段配列円柱の反射率 ($H=7.5$ cm)

図-3 は, 3 段配列円柱の場合の反射率 C_R に関する実験結果と算定結果の比較を示す。算定では, 1 段配列円柱のときと同様に各種の C_s 値を用いて計算を行ったが, 図中には実験値との一致度が比較的良好だった 1 段配列円柱の基本値の 3 倍の値 ($C_s=5.16$) を用いた算定結果のみを示した。実験結果に着目すると, C_R は $B/L=0.3$ 付近で極小値を示すことや, 一段配列円柱の場合と比較して, 全体的に小さくなることなどが認められる。そして, このような C_R の変動特性は, 算定結果にも認められるが, やはり B/L の小さな長周期側での定量的な一致度は十分でない。

次に図-3 に見られるように C_R が特定の周期条件で極小値を示す原因を調べるため, 部材間の開口部における波高分布を検討してみた。図-4 は, このような開口部における波高分布の算定結果を 3 段配列円柱の場合について示す。図中で横軸には, x/B (x : 不透過堤よりの離岸距離, 波向き方向が正方向) が, 縦軸には, H_x/H (H_x : 位置 x での波高, H : 入射波高) がとってある。また, 図中にはパラメータとして周期に関する無次元量 B/L が示してある。この図より $B/L=0.3$ に近い周期条件では, 円柱列の最も沖側の位置で極小波高を示し, 節の形成される条件に相当していることがわかる。一方, $B/L=0.22$ の長周期の条件では, 円柱列の外の位置で, また, $B/L=0.46$ の短周期の条件では, 堤体内で節が生じていることもわかる。そして, $B/L=0.3$ 付近で反射波高が極小となる理由は, 円柱列前面よりの反射波と不透過堤よりのそれとの位相干渉によるものと推測される。


 図—4 3段配列円柱内の波高分布 ($H=7.5$ cm)

 図—5 ブロック被覆堤による反射率 ($H=7.5$ cm)

 図—6 被覆部内の波高分布 ($H=7.5$ cm)

(2) ブロック被覆堤の場合

図—5 は、図—1 に示すブロック被覆堤の反射率 C_R に関する実験結果と算定結果の比較を示す。算定に用いたスラミング係数は、3 段配列円柱の場合と同様に $C_s=5.16$ を採用した。この図より、 C_R は実験値および算定値共に $B/L=0.2$ 付近で極小値を示すことなど、定性的な変動傾向は両者で一致している。しかし、 C_R の絶対値は、全般的に算定値の方が大きく現れている。

図—6 はブロック被覆堤について、図—4 同様に水面付近の部材間開口部における波高分布を示す。この図より、 C_R が極小値を示す周期条件 ($B/L=0.2$) は、やはり被覆部の反射側表面で節の形成される条件に一致していることが認められる。このようにブロック被覆堤についても、ブロック部分よりの反射波と直立堤よりのその位相干渉により、反射率が低減するものと推測される。したがって、ブロック被覆堤による反射率を小さくするには、堤体の反射波側境界で波高が極小となるように被覆幅 B

を選定すれば良いものと言えよう。そして、このような被覆幅の設定法は、スリット式の低反射護岸の場合のそれと酷似していることが指摘できる (例えば樫木; 1991)。

また、図—4, 6 の比較から、部材間の開口部での波高は、部材をより多く配置したブロック被覆堤の方が大きく、ブロック被覆部には波高の増幅作用があることになる。しかしながら、本研究で用いた解析法には、被覆部内の流体抵抗に起因する逸散は考慮されていないため、このような増幅作用の有無についてはさらに実験的な検証が必要と考えられる。これについては、今後の研究課題としたい。

4. 不透過堤に作用する水平波力

(1) 実験結果と算定結果の比較

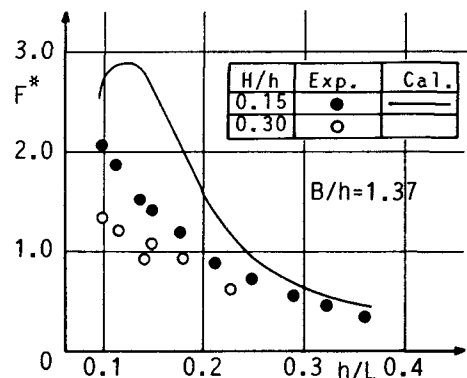
図—7 は、ブロック被覆堤の直立堤に作用する水平波力 F を周期に関する無次元量 h/L の変化で示す。図中で水平波力は、次式による無次元波力 F^* で表示してある。

$$F^* = F / (\rho g H h / 2) \dots\dots\dots (3)$$

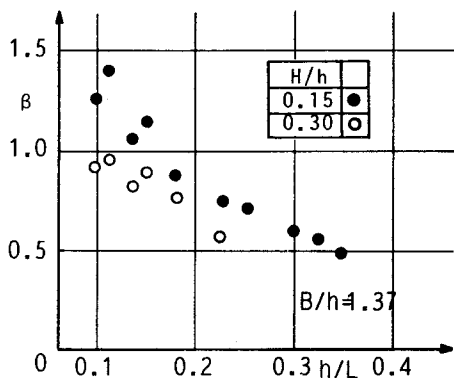
実験結果に着目すると、 F^* は h/L の大きな短周期の条件になるほど指数関数的に減少することや、長周期側では波高値による F^* の相違が顕著になることなどが認められる。実験結果と算定結果を比較すると、比較的短周期の条件下では、両者はほぼ一致しているが、長周期の条件下では、算定値が実験値を上回ようになる。このような差異は、長周期の条件下で卓越しやすい被覆部内の流体抵抗に起因する逸散を無視していることによるものと推測される。なお、算定結果は作用波高 $H=7.5$ cm の条件に対応する結果である。

(2) 波力低減係数 β

図—8 は、ブロック被覆堤の波力低減係数 β の周期による変動を図—7 と同様に h/L の変化で示す。ここで、低減係数 β は次式の定義による。



図—7 ブロック被覆堤の直立部に作用する波力

図-8 波力低減係数 β

$$\beta = \frac{\text{被覆した直立堤への水平波力}}{\text{被覆のない直立堤への水平波力}} \quad \dots\dots (4)$$

この図より、 β は短周期の条件になるほど、また入射波高が大きくなるほど減少することが認められる。しかし、 $h/L < 0.2$ の長周期の条件では、被覆することにより、波力は逆に増大する場合も見られる。このような周期条件の範囲は、 B/L で表すとほぼ 0.3 以下となり、図-6 に示すように被覆部内、特に直立堤前面で波高の増幅される条件に相当している。したがって、このような波力増大は、堤体内での波高の増幅現象に関係しているものと推測される。近藤 (1977) は、被覆部として円柱部材を立体格子に組み合わせた模型を用いて、同様の波力増大現象が見られることを報告している。

今後は、被覆部内の波高変動の実態や流体抵抗に起因する逸散現象の解明を含めて、更に検討を進めていきたい。

5. 結 語

(1) ブロック被覆堤の反射率は、ブロック部分よりの反射波と直立堤よりの反射波の位相干渉に左右されるため、被覆部の長さや波長の比により大きく変化する。そして、反射率が極小値となるのは、被覆部の沖側境界で節が形成されるような周期条件である。

(2) ブロック被覆堤の直立堤に作用する波力は、被覆部により必ずしも低減されず、逆に増大される場合もある。そしてこの波力増大は、特に長周期の条件下で現れやすい。

(3) 円柱部材で構成されるブロック被覆堤の反射率および背後の直立堤に作用する水平波力は、比較的短周期の条件下で、スラミング現象によるエネルギー逸散を考慮した解析法によりほぼ推定できる。

参 考 文 献

- 樫木 亨編著(1991): 波と漂砂と構造物, 技報堂出版, pp.226-230.
- 中村孝幸・西平和彦・小野修史 (1922): ブロック堤体内のスラミング現象によるエネルギー逸散に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 611-615.
- Hideo Kondo(1974): Wave pressure on vertical wall with porous absorber, Proc. of JSCE, No. 223, pp. 85-97.