

直立消波護岸の構造と周波数特性について

井 島 武 士*・奥 蘭 英 明**・牛 房 幸 光***

1. 概 要

著者らは遊水部をもつ直立消波護岸は、その遊水部幅と水深に対応する特定の周波数の波に対して最も有効な消波効果を表わすことを明らかにしてきた^{1)~4)}。ここではその透過壁体の構造（即ち一様透過壁体においては空隙率と空隙物質及び壁体幅、有孔壁体においては孔径と壁体幅）と消波効果の関係を調べて最も効果的な壁体構造を明らかにすること、および今迄の遊水部護岸における、特定周波数の波に対してのみ著しい消波効果を示すという特性を改善して広範囲の周波数の波にも一様な効果を表わすような構造を探索することを目的として実験的研究を行ない、更にこの護岸を柵式とした場合についての効果を検討した。その結果透過壁体については消波効果を最大ならしめる最適構造が存在すること、周波数特性の改善は遊水部に僅かの空隙率をもつ補助隔壁を設けるか、また遊水部奥行の異なる2種類の護岸を法線方向に並列することにより実現されること、および柵式護岸においては前面水深の0.3倍以上の深さを与えれば実用上有効な消波効果を表わすことが出来ることを見出した。

2. 実験装置と方法

(1) 実験装置

実験は図-1に示す様な長さ22m、幅80cm、高さ80cmと長さ22m、幅100cm、高さ60cmのフラップ式造波装置をもつ2次元水路において、水深 $h=40$ cmまたは50cmとし $\sigma^2 h/g=0.3\sim 1.1$ （周期1.21~2.59秒、 σ ：周波数、 g ：重力加速度）、入射波高 $H_i=4.0\sim 6.2$ cmの波について抵抗線式波高計を用いて Healy の方法により反射率を測定した。

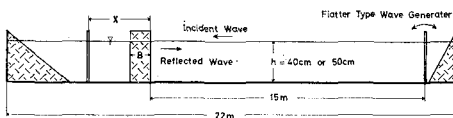


図-1 実験装置概略図

* 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木学教室

** 正会員 九州大学助手 工学部水工土木学教室

*** 九州大学文部技官 工学部水工土木学教室

(2) 模型

使用した模型は以下の様である。

④ 透過壁体構造の検討のためには一様透過壁体として金網のわくに粒径40~50mmの碎石または直径62mmのプラスチック球を詰めたもの（この時の空隙の調節には金網を用いた）、有孔壁体として厚さ50mmの発泡スチロール板に直径 $d=32$ mm, 48mm, 66mm, 80mmの水平孔をあけたものを用い、遊水部後壁には厚さ22mmの合板を鋼材により固定したものを用い、板と水路壁間からの漏水には十分注意を払って実験を行なった。

⑤ 周波数特性改善のための実験には図-2のModel-2, 3の様に厚さ5mmの仕切板によって奥行の異なる2種の遊水部を並列することにより平面的平均化を意図したハモニカ型護岸およびModel-4, 5, 6の様な厚さ9mmのベニヤ板に直径 $d=4.8$ cmの穴、または高さ3.4cmの横型スリットをもつ隔壁を遊水部内に設けることによる長周期波および短周期波での特性を利用した隔壁護岸について実験を行なった。この時、透過壁体は図-2に示すように石膏製 Kingblock（高さ15cm×横

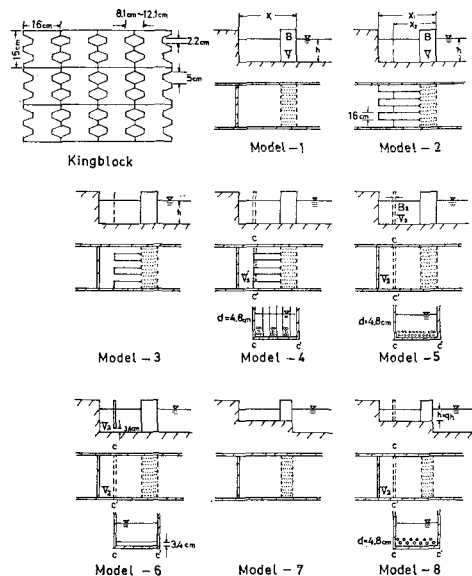


図-2 遊水部をもつ護岸模型図

16 cm × 厚さ 7 cm) を積み重ねたものを用いた。

③ 断面縮小を目的として Model-7 の様にコンクリートブロックで遊水部内水深を前面水深の 0.3 倍、また 0.5 倍とし、透過壁を 図-2 の左上に示すようなブロックを積むことにより壁厚 $B=7$ cm, 14 cm, 21 cm, 空隙率 $V=0.25, 0.33, 0.40$ とした棚式護岸について実験を行なった。さらに Model-8 の様に隔壁を設けた場合についても検討した。

3. 実験結果および考察

(1) 透過壁体の構造について

図-3 は透過壁体として碎石を用い、 $\sigma^2 h/g=0.5$ 入射波高 $H_i=5.0$ cm の波に対して、透過壁厚 B を 10 cm, 20 cm, 30 cm, 空隙率 V を 0.40, 0.50, 0.60 とした場合の反射率 K_r を示すもので横軸は全堤体幅 X と波長との比 X/L である。この中で $V=0.50, B/L=0.049$ の時、 K_r が最も小さくなり、透過壁体には最適空隙率 (V^*)、最適透過壁厚 (B^*) が存在することがわかる。

この他、 $\sigma^2 h/g=0.3, 0.7$ についても実験を行なったが、まったく同様なことが言え、 V^* はいずれの場合にも 0.50 で波長によって変化せず、 B^* は波長 L との

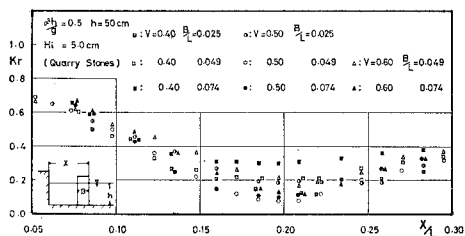


図-3 一様透過壁体の例

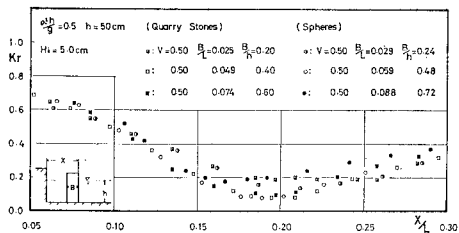


図-4 碎石と球との比較例

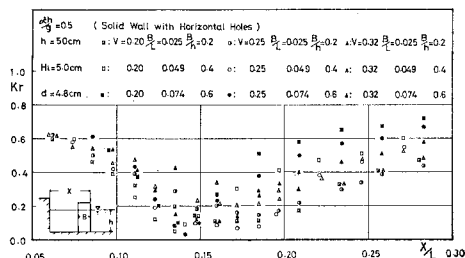


図-5 有孔壁体の例

比 B^*/L として比較すると $\sigma^2 h/g$ が小さくなるにしたがって小さくなるが、水深 h との比 B^*/h で比較するといずれの場合にも 0.4 となる。

図-4 は透過壁体が碎石の場合とプラスチック球の場合とを比較したもので、 $\sigma^2 h/g=0.5$ の時、球は碎石の場合とまったく同様な傾向で $V^*=0.50, B^*/L=0.059$, 最小反射率 K_r^* は 0.1 程度となり、最適空隙率においては粗度の影響は小さいことがわかった。

図-5 は孔径 $d=4.8$ cm の有孔壁体の場合で、この場合にも $V^*=0.25, B^*/L=0.049 \sim 0.074$ 程度と最適空隙率、最適壁厚が存在することがわかる。

図-6, 7 はそれぞれ 図-3 (碎石)、図-5 (有孔壁) による最小反射率 K_r^* と最適全堤体幅 X^*/L の値の分布を縦軸に空隙率 V 、横軸に透過壁厚と波長との比 B/L をとり示したものである。

碎石、有孔壁ともに透過壁厚が厚いほど、また空隙率

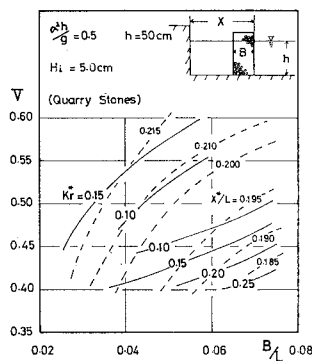


図-6 B 及び V に対する最小反射率とその全堤体幅

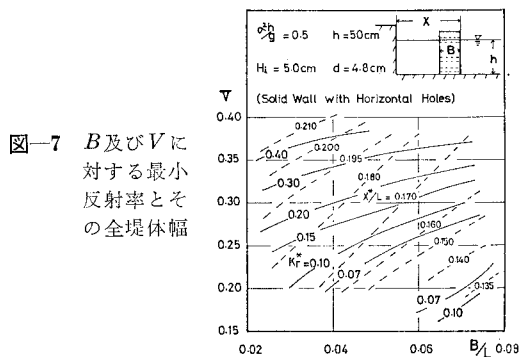


図-7 B 及び V に対する最小反射率とその全堤体幅

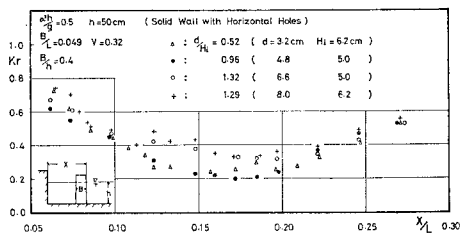


図-8 有孔壁体における孔径の影響

が小さいほど最適全堤幅は狭くなり、砕石の場合 $V=0.50$, $B/L=0.050$ で K_r^* は 0.1 以下, X^*/L は 0.20 となり、有孔壁の場合 $V=0.22$, $B/L=0.058$ 程度で K_r^* は 0.07 以下, X^*/L は 0.14 となり、それぞれ最適空隙率、最適壁厚が存在することがわかる。この時、両者の最適透過壁厚は $B^*/L=0.05\sim 0.06$ と同程度であるが、最適空隙率は砕石の場合 0.50 に対して有孔壁の場合は 0.22 で、砕石の 1/2 程度となる。最適全堤幅 X^*/L は砕石の場合 0.20 に対して有孔壁の場合 0.14 と著しく小さくなる。

図-8 は $\sigma^2 h/g=0.5$, $V=0.32$, $B/L=0.049$ の時の孔径の影響を示したもので、孔径 d と入射波高 H_i との比 d/H_i が 0.52, 0.96, 1.29, 1.32 の場合であるが $d/H_i=0.96$ のとき K_r^* の値は最も小さくなり消波効果が良いことがわかる。

(2) 周波数特性について

図-9 はハモニカ型護岸の反射率を Model-1 のような一様護岸の場合と比較して示したもので横軸は $\sigma^2 h/g$ である。水深 $h=40$ cm, 入射波高 $H_i=4.0$ cm とし透過壁厚および空隙率はほぼ最適値と考えられる $B=14$ cm, $V=0.25$ である。 $X_1/L_{0.5}=0.15$ は全堤幅 X_1 と $\sigma^2 h/g=0.5$ の時の波長 $L_{0.5}$ の比が 0.15 ということを示すもので、これは $\sigma^2 h/g=0.5$ の波に対して反射率が最も小さくなるような最適遊水部幅である。以下 $X_1/L_{0.9}=0.15$, $X_1/L_{0.65}=0.15$ についても同様でこの時の K_r はそれぞれ $\sigma^2 h/g=0.5, 0.65, 0.9$ 付近で最も低下し、その値はいずれの場合にも 0.2 程度である。

ところが Model-2 の様に遊水部奥行きを $X_1/L_{0.5}=0.15$,

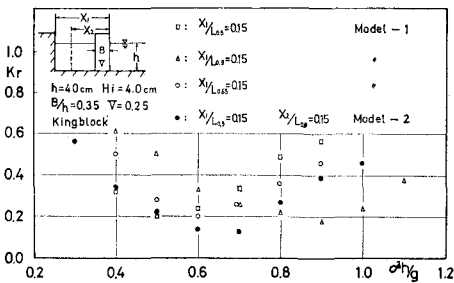


図-9 ハモニカ型護岸の反射率

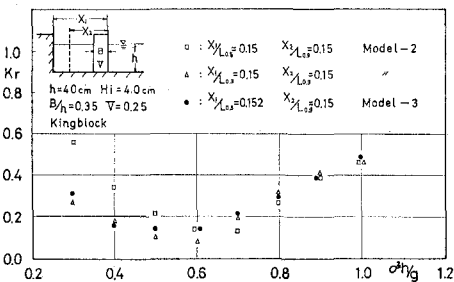


図-10 ハモニカ型護岸の反射率

$X_2/L_{0.9}=0.15$ と 2 種にした場合、 K_r は 0.15 まで低下し、周波数に対する特性も良くなっている。

図-10 は図-9 の Model-2 と同一条件で $X_1/L_{0.5}=0.15$, $X_2/L_{0.9}=0.15$ の場合と全堤幅を $X_1/L_{0.5}=0.15$ と広くした場合とを比較したもので、後者の方が最小反射率は 0.1 程度と小さく、周波数特性も良くなっている。 $(X_1/L_{0.5}=0.152, X_2/L_{0.9}=0.15)$ は図-2 の Model-3 に示すように遊水部総容積は $X_1/L_{0.5}=0.15$ の場合と等しくしたままで全堤幅を狭くした場合であるが、この両者の K_r はほとんど同程度となっている。

図-11 は透過壁体および波の条件は同一としてハモニカ型と隔壁護岸とを比較したもので、後者が反射率は $\sigma^2 h/g=0.4\sim 0.9$ の間ですべて 0.3 以下となり消波効果が良く、周波数特性も優れていることがわかる。この中で特に Model-6 の場合が最も良い値を示している。

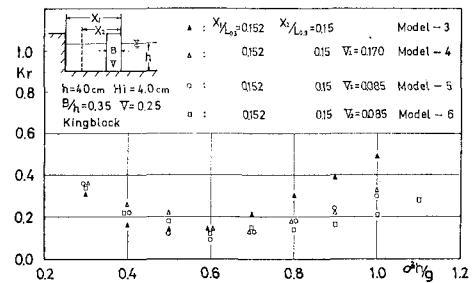


図-11 ハモニカ型と隔壁護岸の比較

(3) 棚式護岸について

図-12 は断面縮小を目的として、 $q=0.3$ すなわち遊水部内水深を前面水深の 30% とした場合の反射率を X/L を横軸にとって示している。水深 $h=50$ cm, $\sigma^2 h/g=0.5$, $H_i=5.0$ cm の波に対して、透過壁体の空隙率を $V=0.25, 0.33, 0.40$, 壁厚を $B/L=0.017, 0.034, 0.052$ とした場合である。この中で $V=0.40$, $B/L=0.017$ の時、 K_r が 0.15 程度と最も小さくなり最適空隙率 (V^*), 最適透過壁厚 (B^*) が存在することがわかる。

図-13 は $q=0.5$ の場合で、この時も $q=0.3$ の場合と類似の傾向が見られるが、最小反射率は 0.1 以下と

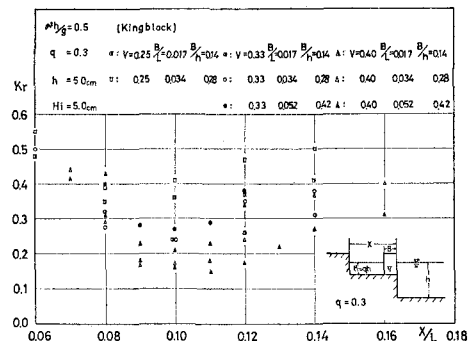


図-12 棚式護岸の反射率

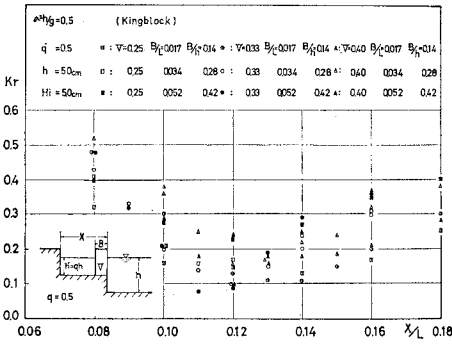


図-13 棚式護岸の反射率

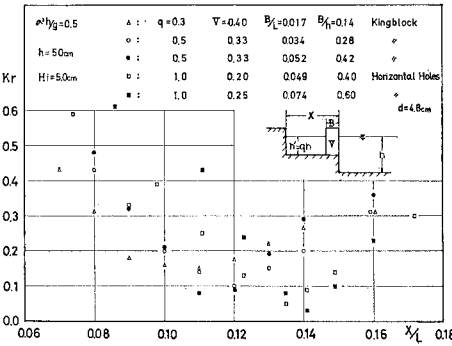


図-14 棚式護岸における遊水部水深の影響

なり、最適空隙率、最適透過壁厚の値はそれぞれ $V^*=0.33$, $B^*/L=0.052$ 程度である。

図-14 は $\sigma^2 h/g=0.5$, $H_i=5.0$ cm で $q=1.0, 0.5, 0.3$ の時、それぞれの透過壁体の空隙率、壁厚を最適値にした場合の反射率を比較したものである。 $q=1.0$ の時、最適空隙率は $V^*=0.22$ 、最適透過壁厚は $B^*/L=0.058$ 、最小反射率は $K_r^*=0.05$ 、最適全堤幅は $X^*/L=0.14$ 程度である。同様に $q=0.5$ では $V^*=0.33$, $B^*/L=0.052$, $K_r^*=0.10$, $X^*/L=0.11 \sim 0.12$ 程度、 $q=0.3$ では $V^*=0.40$, $B^*/L=0.017$, $K_r^*=0.15$, $X^*/L=0.10 \sim 0.11$ 程度である。

すなわち、遊水部内水深が浅くなるにしたがって最適空隙率は大きくなり、最適透過壁厚は小さくなり、最小反射率は大きくなり、最適全堤幅は狭くなる傾向にある。

図-15 は棚式護岸の遊水部内に有孔隔壁を設けた場合、隔壁の空隙率 V_2 を変えたときの反射率を示している。水深 $h=50$ cm, $q=0.5$, 透過壁体の空隙率 $V_1=0.33$, 壁厚 $B_1/h=0.14$ で隔壁の壁

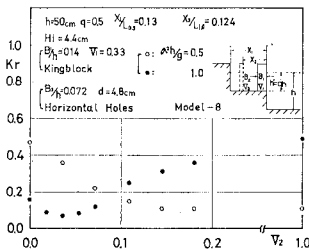


図-15 棚式護岸における隔壁空隙率の影響

厚 $B_2/h=0.072$ の時、 $\sigma^2 h/g=0.5$ と 1.0 として入射波高がともに $H_i=4.4$ cm の波を作用させた場合である。 V_2 が大きくなるにしたがって $\sigma^2 h/g=1.0$ の時の反射率は大きくなり、 $\sigma^2 h/g=0.5$ の時は小さくなる傾向にある。また、 $V_2=0.10$ 程度とすると両者の K_r は 0.2 と同程度になり、 $\sigma^2 h/g=0.5$ から 1.0 の波に対して K_r は 0.2 以下になることが予想される。

図-16 は図-15 と同一条件のもとに、隔壁の空隙率を $V_2=0.109$ として $\sigma^2 h/g=0.4 \sim 1.2$, $H_i=4.4$ cm の波を作用させた時の反射率を示している。 $X_1/L_{1.0}=0.124$ および $X_1/L_{0.5}=0.13$ はそれぞれ $\sigma^2 h/g=1.0, 0.5$ で反射率が最も低下するように全堤幅をとったもので、隔壁を設けない場合である。両者とも最小反射率は $0.1 \sim 0.15$ 程度と低下するが、それぞれ $\sigma^2 h/g$ が 1.0 および 0.5 からずれるにしたがって K_r は大きくなる傾向にある。

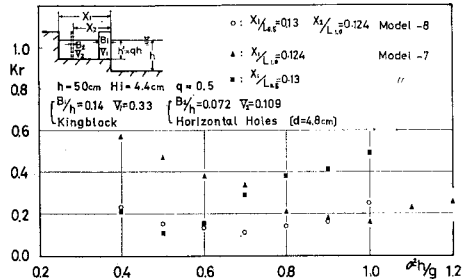


図-16 隔壁をもつ棚式護岸の反射率

ところが隔壁を設けて $X_1/L_{0.5}=0.13$, $X_2/L_{1.0}=0.124$ とした場合には最小反射率は 0.1 程度で、 $\sigma^2 h=0.4$ から 1.0 に対して反射率がすべて 0.30 以下となり周波数特性が著しく良くなることがわかる。

4. 結 論

1) 透過壁体の構造について

④ 一様透過壁体においては透過物質の大きさが波高と同程度の時、最適空隙率および透過壁厚はそれぞれ 0.5 、および水深の 0.4 倍程度と考えられる。

⑤ 有孔壁体においては、孔径は波高の $0.5 \sim 1.0$ 倍で空隙率および壁体厚さはそれぞれ 0.22 および水深の 0.4 倍程度と考えられる。

2) 周波数特性を改善するための方法としては遊水部内に孔隔壁を設けるのが良く、その隔壁には約 0.10 の空隙率をもたせるのが適当である。

3) 遊水部護岸の断面を棚式とする場合は、その深さを前面水深の 30% 程度以上とし孔有隔壁を設けると反射率を 0.3 程度以下に抑えることが出来、同時に遊水部の奥行も縮小される。

5. む す び

以上の様に、遊水部をもつ護岸において、透過壁体は最適空隙率、最適壁厚にする必要があり、周波数特性を改善するためには遊水部内に有孔隔壁を設けるのが良い。

また遊水部護岸を柵式とし有孔隔壁を設けると断面は縮小され、消波効果も良く、有効な護岸と言える。

参 考 文 献

- 1) 井島 武士・奥蘭 英明・湯村 やす・坂井 久雄： 遊水部をもつ直立消波堤と護岸，第19回海講論文集，土木学会，1972.
 - 2) 井島 武士・奥蘭 英明・坂井 久雄： 2層透過性または遊水部をもつ直立消波護岸の理論と実験，第20回海講論文集，土木学会，1973.
 - 3) 井島 武士・奥蘭 英明： 遊水部をもつ護岸における透過壁の厚さと空隙率について，九州大学工学集報，第50巻，第4号，1977.
 - 4) Ijima, T., E. Tanaka, and H. Okuzono: Theory and Experiment on Permeable Quay Wall with Reservoir, Proc. Conf. on Coastal Eng., July, 1976, Hawaii.
-