海岸工学論文集，第 48 巻（2001）
土木学会，701-705

人工リーフ付き透水性防波護岸の水理特性

谷 本 勝 利*・鈴 木 智 浩**・Mohammed Fazlul Karim***

1. はじめに

現代の港湾・海岸防災施設の整備においては，防災機能のみならず，平時の利用や環境共生といった面も考慮しなければならない．たとえば，横須賀港馬堀海岸地区の埋立護岸では，高潮災害後の防災機能の向上に際して，平時の利用や環境共生に配慮した人工リーフ付き透水性護岸とすることになり，現在整備が進められている（運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所，2000）．この護岸は直立壁の前に天端水深の浅い人工リーフと水面上に天端を有する捨石による透水部を設けた低天端で幅の広い構造である．水深の浅い人工リーフは新たな生態系環境を創出し，水面上に天端を有する透水部の一部は平時に市民の遊歩道等としての利用が期待されている．

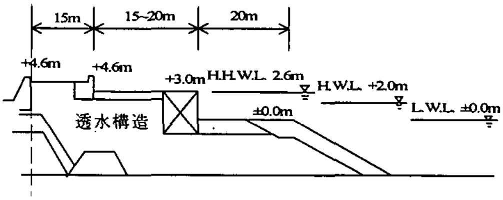
本研究はそうした新しい実際の構造をモデルとして，人工リーフ付き透水性防波護岸の基本的水理特性を実験的に明らかにするものである．具体的には，まず他の種々の形式の護岸と越波量の比較を行って，その優位性を確認し，人工リーフ付き透水性防波護岸における波高分布，平均水位分布，反射率といった水理特性により，越波軽減のメカニズムを検討するものである．

2. 実験方法

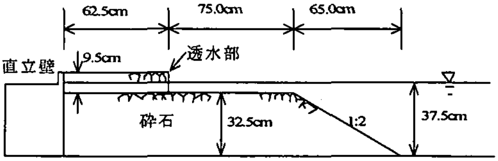
実験は幅 40 cm，高さ 75 cm，長さ 18 m の二次元造波水路で行い，水深を 37.5 cm とした．対象とした護岸は，現地では図—1 に示すような人工リーフ付き透水性護岸であるが，模型では図—2 に示しているように簡略化している．すなわち，模型は直立壁の前に水平天端幅 137.5 cm，天端水深 5.0 cm，法面勾配 1：2 のリーフを設け，さらにその上直立壁寄りに水平天端幅 62.5 cm，静水面上天端高 4.5 cm の透水部を設けたものである．すべて直径 4～5 cm のやや大きめの砕石を用いており，透水部は金網枠に砕石を詰めて作成している．これを本論文では，単に透水性護岸と略称する．

このほか，比較の対象として，透水部を耐水性ベニヤにより不透水性とした構造（不透水性護岸），不透水部を取り除き，人工リーフのみとした構造（人工リーフ護岸）についても実験を行った．図—3 にこれらの比較断面を示しているが，いずれも直立壁の天端高は同じである．さらに，通常の消波ブロック被覆護岸および直立護岸についても，実験は行わないけれども，既往の越波モデルを用いて比較の対象としている．

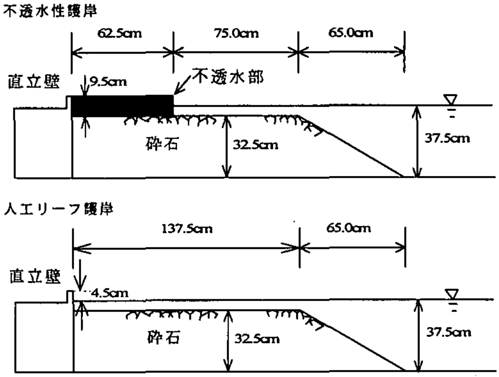
波は基本的性質を明らかにするという観点から規則波のみを対象とし，周期 T を 1.2，1.6，2.0 s の 3 種，入射



図—1 護岸断面（現地）

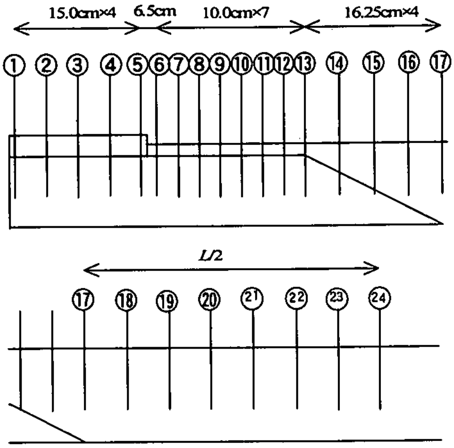


図—2 護岸断面（模型）

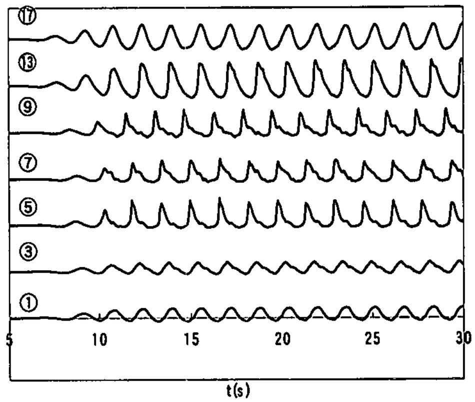


図—3 比較断面

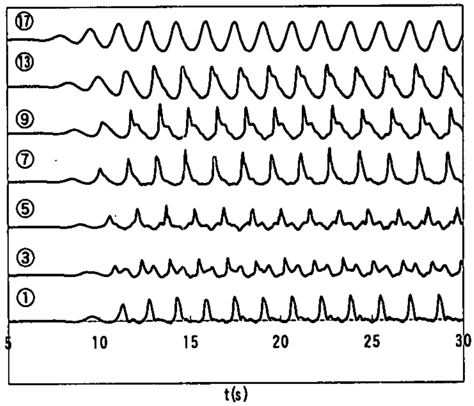
* フェロー　工博　埼玉大学教授　工学部建設工学科
** 学生会員　　埼玉大学大学院　理工学研究科　建設工学専攻
***　　工修　埼玉大学大学院　理工学研究科　生物環境科学専攻



図—4 波高測点



図—5 時間波形（透水性護岸，T=16 s，H_I=9.6 cm）



図—6 時間波形（人工リーフ護岸，T=16 s，H_I=9.6 cm）

波高 H_I をそれぞれ 5 種に変化させ，各構造について 15 ケースの実験を行った．波の測定には 5 台の容量式波高計を用いた．測点は，人工リーフ付き透水性護岸の場合，図—4 に示しているように，護岸上に 17 点，さらに反射率を算出するために，法尻から沖側 1/2 波長の区間に 7 点設けた．うち透水部における測点は 5 であり，波高計のテフロン線は 3 mm メッシュで直径 3.5 cm の円筒で保護した．

データ解析においては，造波板で起こされた入射波が護岸から反射されてすべての波高計の区間で部分重複波となった状態を対象とする必要がある．そのため，波が計測点に到達して 9 波から 13 波までの 5 波を対象とした．越波量の測定においも同様に 9 波から 13 波までの 5 波を解析の対象とし，測定を 3 回繰り返して平均値をとることとした．

3. 実験結果と考察

(1) 時間波形

図—5 は透水性護岸で T=1.6 s，H_I=9.3 cm，図—6 は人工リーフ護岸で，T=1.6 s，H_I=9.3 cm の場合の代表的測点での時間波形を示したものである．両護岸とも，波は斜面上で砕波し，リーフ水平部で減衰していく傾向を示している．ただし，直立壁直前では反射によって増大し，その程度は人工リーフ護岸で大きい．また，波形は透水性護岸のほうが滑らかであり，直立壁への作用は重複波的となる．

(2) 越波量

図—7 は横軸に人工リーフのみの護岸の越波流量を，縦軸に人工リーフ付き透水性護岸および不透水性護岸の越波流量をとって，同一波条件での結果をプロットしたものである．不透水性護岸の越波流量は人工リーフのみの護岸より平均的に 1.6 倍程度と大きくなるのに対し，透水性とすることによって越波流量が激減することが明らかである．

一方，通常の消波ブロック被覆護岸と直立護岸の越波流量については，合田ほか（1975）の越波流量の計算モデルで算出する．計算式は次のとおりである．

$$q=\sqrt{2g}A_0\left(\frac{K}{K+1}\right)^{3/2}H^{3/2}\left(1-\frac{h_c}{KH}\right) \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

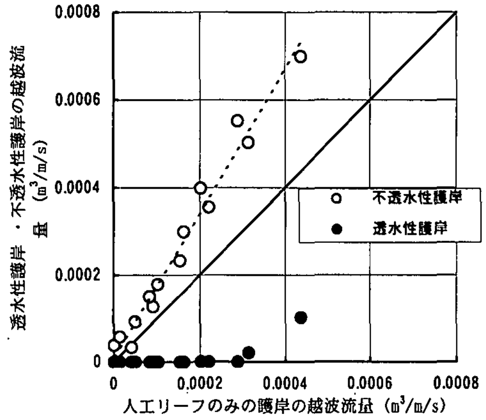
ここに，q：越波流量，g：重力の加速度，A_0：越流係数に対応する定数(=0.1)，h：堤脚水深，h_c：静水面上天端高，K：波頂高比．波頂高比は次式で与える．

$$K=\min\left[\left\{1.0+a\frac{H}{h}+\frac{b}{K_{sb}}\left(\frac{H}{h}\right)^2\right\},\ c\right] \quad \cdots\cdots(2)$$

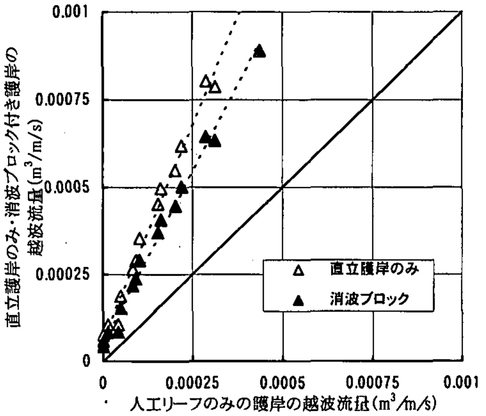
ここに，K_{sb} は浅水および砕波変形による係数である．本研究の場合，波高水深比は最大でも 0.37 程度であり，微小振幅波理論による浅水係数を用いる．また，a，b，c は不規則波に対するものであるが，次の値をそのまま用いる．

a=1.0，b=0.8，c=10（直立護岸）

a=0.5，b=0，c=5（消波ブロック被覆護岸）



図—7　越波流量の比較(1)

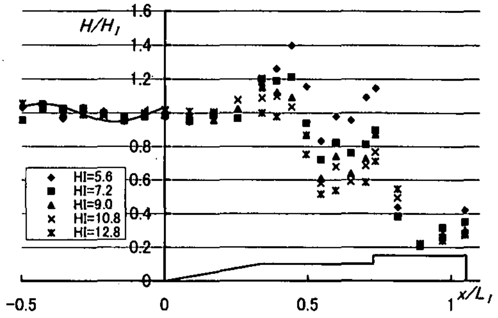


図—8　越波流量の比較(2)

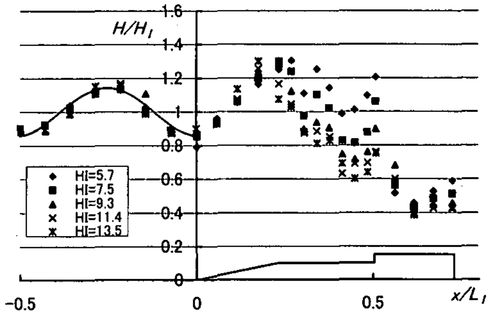
消波ブロック被覆護岸と直立護岸の越波流量を人工リーフのみの護岸の越波流量と比較したのが図—8である．消波ブロック被覆護岸の場合は人工リーフのみの護岸の2.2倍，直立護岸の場合は2.7倍程度であり，人工リーフの効果の大きいことが確認できる．

(3) 波高分布

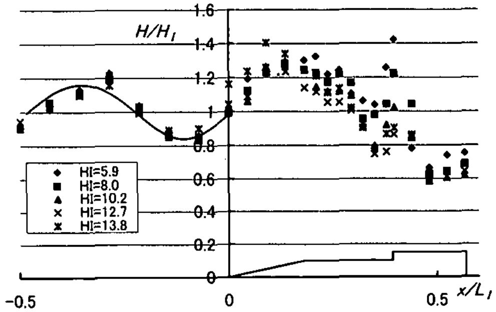
図—9〜11は，透水性護岸の波高分布を示したものである．横軸は人工リーフの法尻を基点とした水平距離xを入射波長L_Iで，縦軸は各測点での波高Hを入射波高H_Iでそれぞれ割って無次元化してある．Healyの方法で算出した平均的な反射率は周期によりそれぞれ0.05，0.14，0.16と小さい．図中，横軸が負の領域に示した曲線はこのときの部分重複波高の分布である．波は人工リーフ斜面上あるいは法肩付近で砕波し，人工リーフ天端を進むにつれて減衰するが，透水部に衝突するところで波高が局所的に急増する．透水部に入った後は急減して直立壁の前でやや増大する変化を示している．直立壁面での波高比は周期1.2 sのとき0.4，1.6 sのとき0.6，



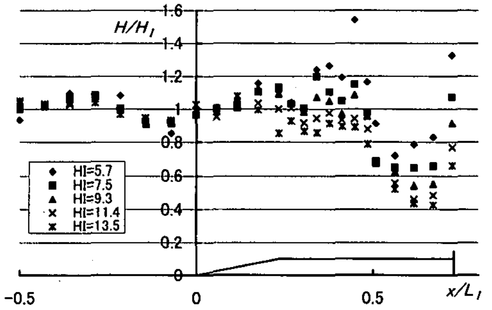
図—9　波高分布（透水性護岸，T=1.2 s）



図—10　波高分布（透水性護岸，T=1.6 s）



図—11　波高分布（透水性護岸，T=2.0 s）



図—12　波高分布（人工リーフ護岸，T=1.6 s）

2.0 sのとき0.8程度以下で，周期が長いほど，波高が小さいほど大きな波高比となっている．

一方，図—10は比較の例として，人工リーフ護岸の周期1.6 sの場合の波高分布を示したものである．この場合，人工リーフ天端を進行する波が直立壁に直接衝突することになるので，壁面での波高比は局所的であるが0.6〜1.4倍程度と大きい．これが，人工リーフ護岸の越波流量が透水性護岸より大きな理由の主因をなしている．なお，この場合の反射率は0.10程度で，透水性護岸の周期1.6 sの場合の0.14よりやや小さい．これは波形でも見られたように，波は人工リーフ天端を砕けながら伝播するので，エネルギー消費がやや大きくなることによると考えられる．

(4) 平均水位の分布

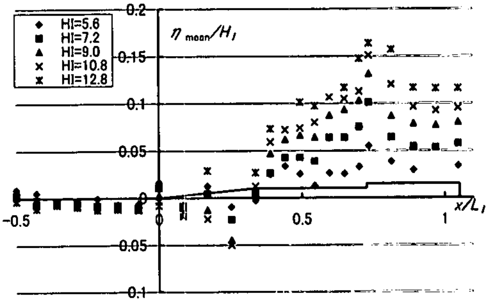
護岸の越波には波高のみならず平均水位の上昇も影響する．図—13〜15は透水性護岸の，図—16は人工リーフ護岸の平均水位の分布を示したものである．この場合も，横軸は人工リーフの法尻を基点とした水平距離xを入射波高L_Iで割り，縦軸は各測点での平均水位η_{mean}を入射波高H_Iで割ってそれぞれ無次元化してある．

平均水位の変化は波高の変化と逆に人工リーフ天端上で増大傾向を示すが，透水性護岸において特徴的なのは，透水部の中では低下する傾向を示していることである．これは透水部前端付近で波高が急増，急減していることと関係していると思われるけれども，そのメカニズムは今後さらに調べなければならない課題である．平均水位の上昇は周期が長いほど，波高が大きいほど大きくなる傾向を示している．

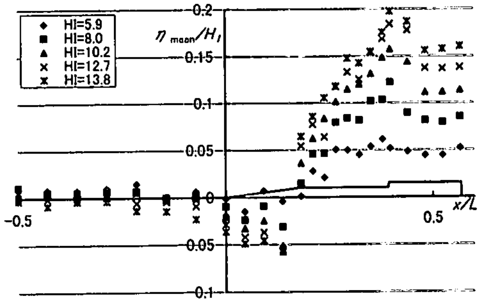
一方，人工リーフ護岸の例（T=1.6 s）では天端中央付近で増加傾向が鈍化し，直立壁面付近で急増する変化を示している．直立壁面での平均水位は，波高ほどの違いはないものの，人工リーフ護岸のほうがやや大きい．平均水位は透水部を設けることによって，むしろ上昇することが懸念されたのであるが，わずかではあるものの低下する結果であることは注目に値するといえよう．

(5) 壁面での波高と平均水位

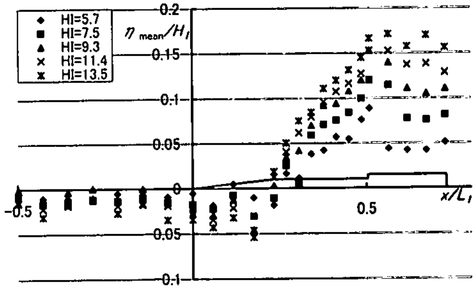
最後に，人工リーフ護岸と透水性護岸の壁面での波高と平均水位を比較する．図—17は波高の比較，図—18は平均水位の比較を示したものである．図中の点線はデータの傾向を最小自乗法により直線で表したものである．ピアソンの積率相関係数は波高の場合0.83，平均水位の場合0.94であるが，いずれも透水性護岸のほうが小さいことが確認できる．これと，前出の図—5，6の波形に見られるように，透水部で波の勢いが減じられることが，透水性護岸の越波を顕著に減じることの理由といえる．



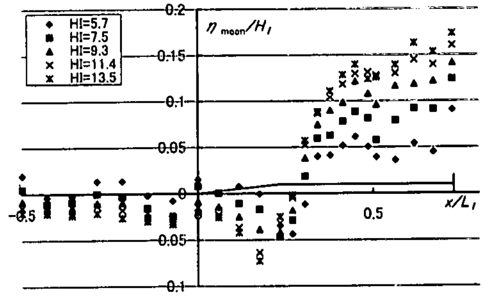
図—13 平均水位分布（透水性護岸，T=1.2 s）



図—14 平均水位分布（透水性護岸，T=1.6 s）



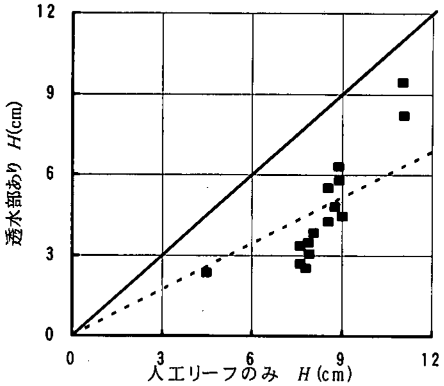
図—15 平均水位分布（透水性護岸，T=2.0 s）



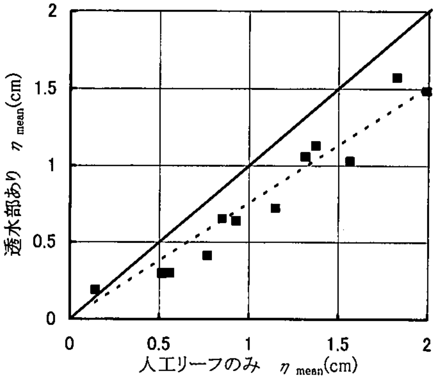
図—16 平均水位分布（人工リーフ護岸，T=1.6 s）

4. むすびに

本研究で得られた主な結論をまとめると以下のとおり



図―17 直立壁面での波高の比較



図―18 直立壁面での平均水位の比較

である．

1）越波流量を5種類の護岸形式に対し比較した結果，直立壁の前に天端面を水面上に有した透水部を設けることの効果が高いことが確認された．

2）人工リーフ付き透水性護岸の反射率は本実験条件の場合0.16以下と小さい．

3）透水性護岸の越波軽減効果は透水部が波を減衰させ，直立壁面での波高を低下させるとともに，平均水位の上昇を抑えることによる．

本実験では，透水性護岸について，透水部の幅など1種類の諸元しか検討していないが，今後その幅の影響，さらには透水部先端の構造（透過壁，不透過壁等）の影響など明らかにしていかなければならない．また，数値計算による検討も今後の課題である．

なお，本実験を行うにあたっては，埼玉大学工学部藤田明人技官ならびに平成12年度卒研生藤丸和浩君の協力を得た．ここに記して，謝意を表する次第である．

参考文献

運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所（2000）：Hello YOKOCHO，第21号，15 p.

合田良実・岸良安治・神山　豊（1975）：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第14巻第4号，pp. 3-44.