

親水性護岸の越波防止機能

井上雅夫*・島田広昭**・坂本佳弘***

1. 緒 言

わが国の海岸では、面的防護方式の導入などに伴って、緩傾斜護岸で代表されるような親水性護岸が数多く建設されるようになり、こうした傾向は今後もますます著しくなるものと思われる。一般に、親水性護岸は表のり勾配が緩いうえに、表のり面に透水性をもたせるため、有孔性のコンクリートブロックで被覆されている場合が多い。しかしながら、こうしたものの防災機能、なかでも越波防止機能については、これまであまり検討されていないのが現状である。さらに、緩傾斜護岸の越波形態は、従来の傾斜護岸上をしぶきとなって越波する衝突型とは異なり、波の実質部分が越波するはいり型であるため、現場ではよく目立ち、問題になり易いことが指摘されている(豊島, 1988)。このようなことから、本研究では親水性護岸、具体的には表のり勾配がきわめて緩やかな傾斜護岸や表のり面を有孔性にした護岸の越波特性を実験的に明らかにし、その防災機能の向上に寄与しようとした。

2. 研究内容と実験方法

本研究では、各護岸の越波率 η_0 (越波数と全波数の比)、越波流量、代表越波量、越波量の出現分布などの越波特性に及ぼす表のり面の勾配、護岸のり面の開孔率の影響を調べ、特にのり面勾配の影響については、有風時の場合についても検討を加えた。なお、代表越波量としては最大越波量 $Q_{\max}$ 、1/10最大越波量 $Q_{1/10}$ 、有義越波量 $Q_{1/3}$ および平均越波量 Q_m を対象とし、それらの相互間の関係も明らかにした。また、越波量の出現分布については、越波した波だけと全波を対象とした場合のそれぞれについて、Weibull分布への適合性を検討した。

実験では、風洞付き二次元不規則波造波水槽中に勾配が1/10あるいは1/15の傾斜海浜を設置し、その背後にある親水性護岸を越える不規則波群の1波ごとの越波量を測定した。親水性護岸ののり面勾配は、5、7および

10割の3種類に変化させ、著者ら(1992)の直立や3割勾配護岸に関する従来の実験結果も加えて考察を行った。また、のり面を有孔性にした護岸の模型としては、のり面勾配が7割および10割で、中詰砂を入れた堤体を孔径が1.0 cmの有孔板で被覆したものをを用いた。有孔板の開孔率 K は10、20および30%の3種類に変化させ、不透水性(開孔率0%)のものと比較した。なお、この場合の開孔率とは護岸のり面にあけた孔の総面積を護岸のり面の総面積で除したものを百分率で表したものである。入射波の期待スペクトルは有義波周期が1.0 sのBretschneider・光易型であり、入射波高は入・反射波分離推定法で求めた。実験条件は波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ を0.04、相対護岸天端高 $H_c/H_{1/3}$ を0.5および1.0、のり先水深・波長比 $h/L_{1/3}$ を0.026とし、護岸天端上での風速 V を用いた無次元風速 $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ を0、4および8の3種類に変化させた。

3. 実験結果および考察

3.1 越波率、無次元越波流量

図一は、海底勾配が1/10の場合の不規則波群の越波率とのり面勾配との関係である。これによると、いずれの風速についても、直立と3割勾配護岸および7割と10割勾配護岸の越波率はほぼ同じか、あるいは勾配がゆるくなると若干減少する程度であり、越波率に及ぼすのり面勾配の影響はほとんどみられない。しかし、のり面勾配が3割から7割に緩くなると、越波率は急減し、のり面勾配の影響が顕著に現れている。なお、図示はしていないが、海底勾配が1/15の場合についても、のり面勾配が5割から7割にかけて、越波率は急減している。

図二は、海底勾配が1/15の場合の越波率と護岸のり面の開孔率との関係である。これによると、いずれの護岸の越波率も開孔率が0%の不透水性のものをもっとも大きく、開孔率が増加するにつれて越波率も減少している。また、いずれの開孔率においても、7割より10割勾配護岸の越波率が10~20%程度小さくなっている。

図三は、海底勾配が1/10の場合の無次元越波流量 $q/\sqrt{2g(H_{1/3})^3}$ とのり面勾配との関係である。これによると、越波流量は無風時では3割勾配護岸で、有風時では

* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科

*** 学生会員 関西大学大学院

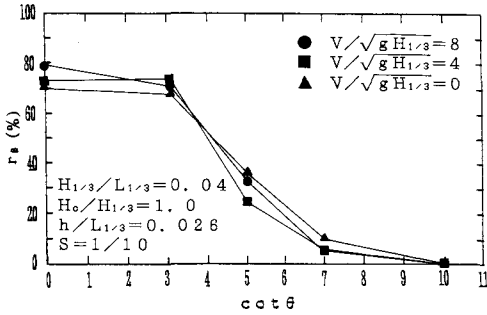


図-1 越波率とりの面勾配との関係

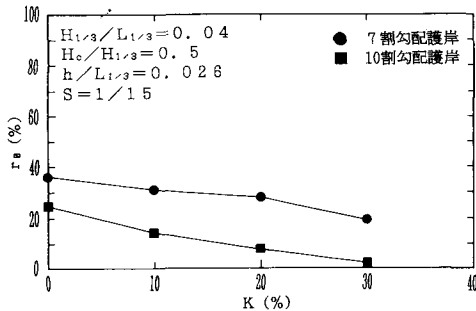


図-2 越波率と護岸のり面の開孔率との関係

直立護岸でそれぞれ最大となり、風の有無にかかわらず、のり面勾配が3割よりも緩くなると越波流量は急減する。なお、図中7割から10割勾配護岸にかけては実験値が破線で結ばれているが、これは、10割勾配護岸では風の有無にかかわらず越波しなかったためである。

図-4は、海底勾配が1/10の場合の無次元越波流量と無次元風速との関係である。これによると、いずれの護岸も風の影響が現れている。すなわち、直立護岸の越波流量は、風速の増大とともに増加するが、3割、5割および7割勾配護岸については、いずれも風速の増大とともに越波流量は減少し、特に勾配が緩くなるほど、その傾向は顕著である。なお、図示はしていないが、海底勾配が1/15の場合についても、のり面勾配が5割、7割および10割の緩傾斜護岸では風速の増大とともに越波流量は減少している。

図-5は、海底勾配が1/15の場合の無次元越波流量と護岸のり面の開孔率との関係である。これによると、7割および10割勾配護岸の越波流量は、図-2に示した越波率の場合と同様に、不透水性護岸のものがもっとも大きく、いずれも開孔率が增大するほど減少し、透水性の影響が明確に現れている。特に、この傾向は7割より10割勾配護岸のほうが顕著である。

以上のように、のり面勾配が緩やかになったり、のり面の開孔率が增大すると、傾斜護岸の越波率や越波流量

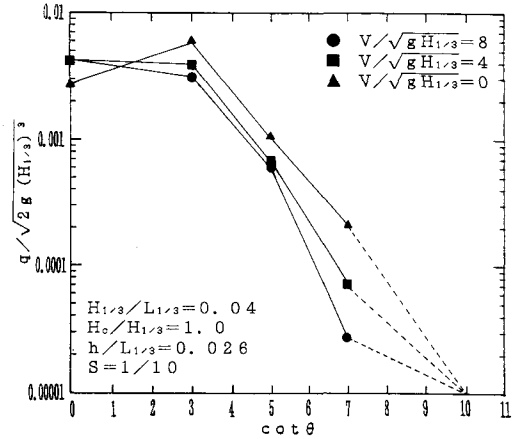


図-3 越波流量とりの面勾配との関係

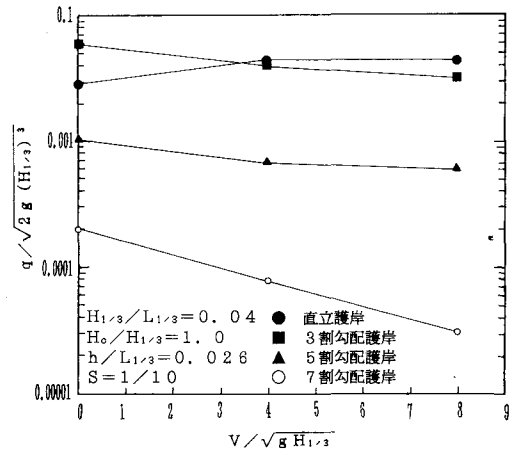


図-4 越波流量と風速との関係

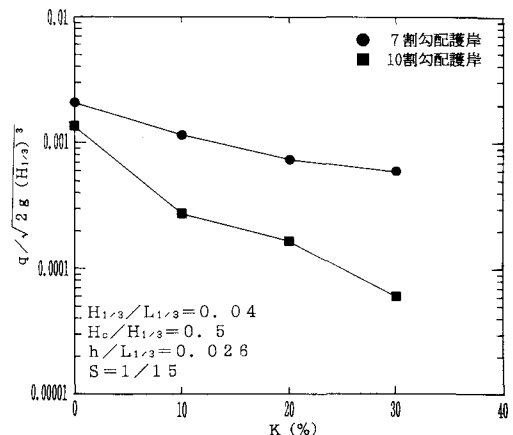


図-5 越波流量と護岸のり面の開孔率との関係

が減少する原因としては、つぎのようなことが考えられる。すなわち、のり面勾配が緩くなり、のり面の長さが長くなるほど、碎波した波が護岸上を遡上する際にその波のもつエネルギーが失われ、特に透水性を有する護岸では、波が護岸のり面を遡上していく際に、護岸内部の砂層の浸透効果が作用するためと考えられる。しかし、風速の増大とともに緩傾斜護岸の越波流量が減少することは好ましい特性ではあるが、その理由は不明である。ただ、緩傾斜護岸を遡上する波は風によって波面が押さえつけられて、越波しにくくなっていることが観察された。

3.2 代表越波量

図-6(a) および (b) は、 $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ が 0 および 8 の越波した波だけを対象とした場合の各代表越波量と平均越波量の比 Q/Q_m とのり面勾配との関係である。なお、海底勾配は $1/10$ である。 $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ が 0 である図-6(a) では、 $Q_{1/3}$ および $Q_{1/10}$ はそれぞれ Q_m の約 2 倍および約 3 倍でほぼ一定値を示し、 Q_{max} は Q_m の約 3～5 倍で 3 割勾配護岸で最大値を示しているが、いずれの Q/Q_m についてものり面勾配の影響はあまりみられない。 $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ が 8 である図-6(b) では、 $Q_{1/3}$ および $Q_{1/10}$ はそれぞれ Q_m の約 2～3 倍および約 2～4 倍で、のり面勾配が緩くなると、 Q/Q_m はやや増大する傾向を示している。また、 Q_{max} は Q_m の約 3～7 倍で 5 割勾配護岸で最大値を示している。なお、図示はしていないが、 $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ が 4 の場合については、 $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ が 8 のものとはほぼ同じ傾向を示していた。さらに、全波を対象とした場合については、いずれの風速でも、 $Q_{1/3}/Q_m$ には、のり面勾配の影響はみられないが、 $Q_{1/10}/Q_m$ および Q_{max}/Q_m は、のり面勾配が緩くなるほど増加し、それらの最大値はそれぞれ約 10 および約 80 にも達していた。このように全波を対象とした場合には、 $Q_{1/10}$ や Q_{max} へのり面勾配の影響が顕著にみられることが特徴であった。

図-7 は、7 割勾配護岸の越波した波だけを対象とした場合の各代表越波量と平均越波量の比 Q/Q_m と無次元風速との関係である。なお、海底勾配は $1/15$ である。これによると、いずれの Q/Q_m も風速の増大とともに若干増加する傾向を示しているが、 $Q_{1/3}$ 、 $Q_{1/10}$ および Q_{max} はそれぞれ Q_m の約 2～3 倍、約 3～4 倍および約 5～7 倍であり、風の影響はあまり著しくはない。また、図示はしていない 5 割および 10 割勾配護岸についても 7 割勾配護岸とほぼ同じ傾向である。さらに、全波を対象とした場合については、いずれの護岸でも、 $Q_{1/3}/Q_m$ および $Q_{1/10}/Q_m$ には風の影響はみられないが、 Q_{max} は風速の増大とともに増加し、その最大値は 5 割、7 割および 10 割勾配護岸でそれぞれ Q_m の約 10 倍、約 20 倍および約 22 倍にも達し、風の影響が顕著に現れていた。

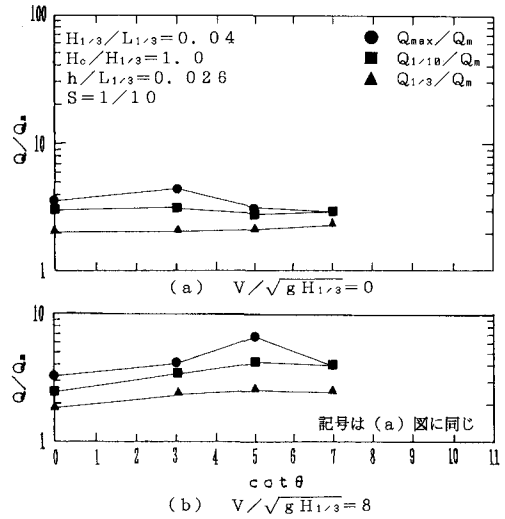


図-6 代表越波量とのり面勾配との関係
(越波した波だけを対象とした場合)

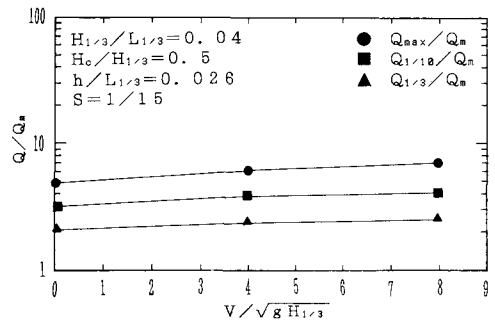


図-7 代表越波量と風速との関係
(越波した波だけを対象とした場合)

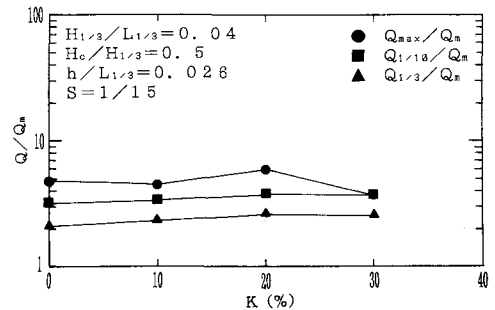


図-8 代表越波量と護岸のり面の開孔率との関係
(越波した波だけを対象とした場合)

図-8 は、7 割勾配護岸の越波した波だけを対象とした場合の各代表越波量と平均越波量の比 Q/Q_m とのり面の開孔率との関係である。なお、海底勾配は $1/15$ である。これによると、 $Q_{1/3}$ 、 $Q_{1/10}$ および Q_{max} はそれぞれ Q_m の

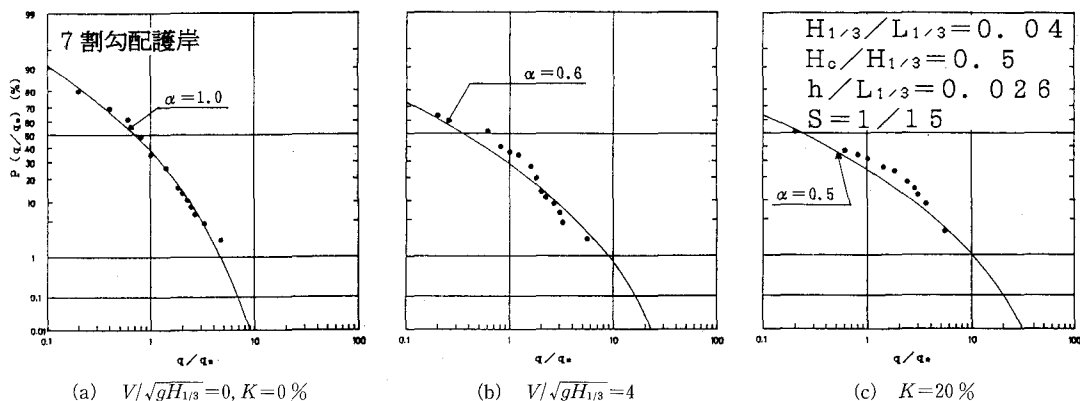


図-9 越波流量の超過発生確率 (越波した波だけを対象とした場合)

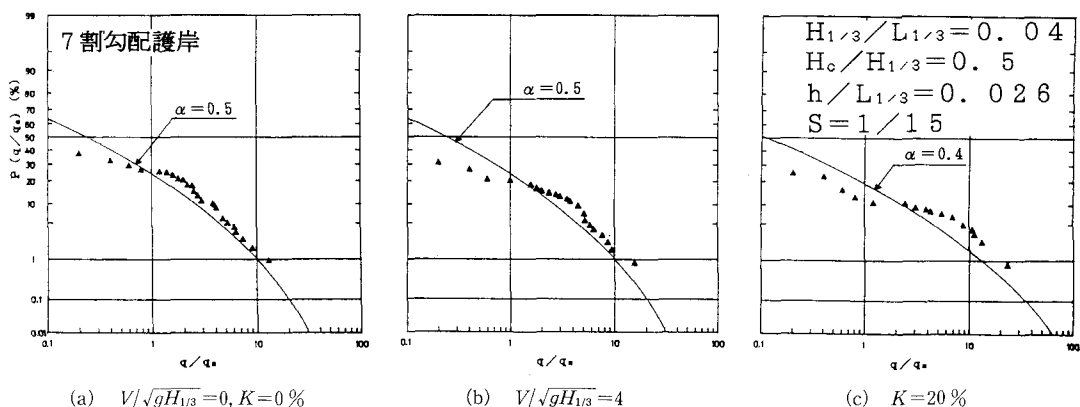


図-10 越波流量の超過発生確率 (全波を対象とした場合)

約2～3倍, 約3～4倍および約4～6倍であり, いずれも開孔率の影響はあまりみられない。また, 図示はしていない10割勾配護岸についても, 7割勾配護岸のものと同様に, $Q_{1/3}/Q_m$ および $Q_{1/10}/Q_m$ については開孔率の影響はあまりみられないが, Q_{max} は Q_m の約2～7倍で開孔率の影響がみられる。さらに, 全波を対象とした場合については, 7割および10割勾配護岸のいずれも, $Q_{1/3}/Q_m$ および $Q_{1/10}/Q_m$ には開孔率の影響はほとんどみられないが, Q_{max} は開孔率の増大とともに増加し, その最大値は7割および10割勾配護岸でそれぞれ Q_m の約22倍および約90倍にも達し, 開孔率の影響が顕著に現れていた。

3.3 越波流量の出現分布

図-9(a), (b) および (c) は, 海底勾配が1/15で, いずれも越波した波だけを対象とした場合における7割勾配護岸の1波ごとの越波流量 q の超過発生確率を示したものである。なお, 図-9(a) および (b) はいずれも不透水性護岸 (開孔率が0%) で, それぞれ $V/\sqrt{gH_{1/3}}$ が0および4, 図-9(c)は無風で, 護岸のり面の開孔率が20%のものである。さらに, 図-10は, 図-9に対応し

た全波を対象とした場合のものである。また, いずれも図中の曲線はWeibull分布であり, この分布の形状母数 α としては, 確率密度を求める段階で, α を0.1ずつ変化させて計算し, それと実験値との間で χ^2 -検定を行い, その検定値が最小になるものを採用した。

これらのものに図示はしていないものも含めて考察すると, 風速, のり面勾配, のり面の開孔率にかかわらず, 一般的に越波した波だけを対象とした場合のほうが, 全波を対象とした場合よりもWeibull分布への適合性は良い。さらに, 越波した波だけを対象とした場合については, いずれの護岸でも, 風速やのり面の開孔率が大きいほど, またのり面勾配は緩いものほど, Weibull分布への適合度は悪くなる傾向がみられる。特に, 10割勾配護岸の開孔率が大きい場合にはWeibull分布への適合度はきわめて悪い。全波を対象とした場合についても, のり面勾配が緩くなるほどWeibull分布への適合度は悪くなる傾向がある。また, 5割勾配護岸では風速の大小にかかわらずWeibull分布にほぼ適合しているが, 7割および10割勾配護岸では風速が大きくなるほど, また開孔率が大きいものほど, Weibull分布への適合度は悪く

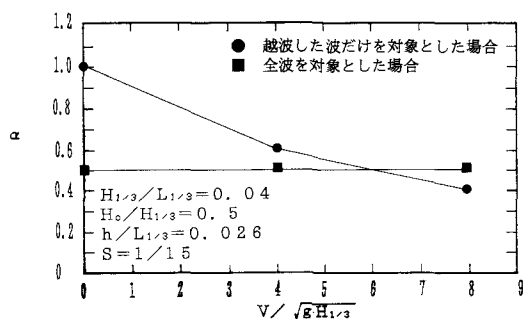


図-11 Weibull 分布の形状母数と風速との関係

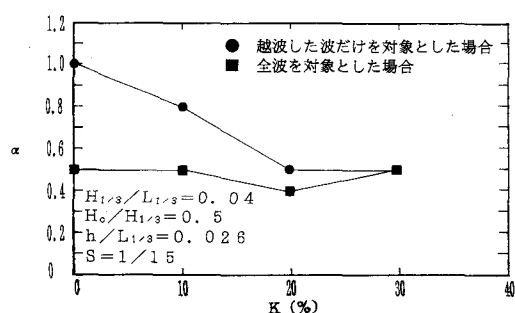


図-12 Weibull 分布の形状母数と護岸のり面の開孔率との関係

なる。

図-11 は、海底勾配が 1/15 の場合の 7 割勾配護岸における Weibull 分布の形状母数 α と無次元風速との関係を示したものである。これによると、形状母数は、越波した波だけを対象とした場合は、風速の増大とともに減少するが、全波を対象とした場合は、風速にかかわらず一定値を示している。

図-12 は、海底勾配が 1/15 の場合の 7 割勾配護岸における Weibull 分布の形状母数 α とのり面の開孔率との関係を示したものである。これによると、形状母数は、越波した波だけを対象とした場合は、開孔率が 0 % から 20 % までは、その増大とともに減少し、20 % と 30 % では同じ値である。全波を対象とした場合は、開孔率にかかわらずほぼ一定値を示している。

このように、越波した波だけを対象とした場合の Weibull 分布の形状母数が風速や開孔率の増大とともに減少することは、最大越波量時に対処できなくなる場合のあることを示唆しており、防災面からは好ましい特性ではない。

4. 結 語

以上、著者は、親水性護岸の越波特性について実験的に検討してきた。それらの結果を要約すると、次のようである。

1) 越波率はのり面勾配が 3 割より緩くなると急減するが、7 割より緩くしてもあまり変化しない。また、この減少比は有風時でもほとんど変化しない。さらに、のり面が有孔性の護岸の越波率は不透水性のものより小さく、この傾向は開孔率が大きいほど著しい。

2) 越波流量は無風時には 3 割勾配護岸、有風時には直立護岸の場合にそれぞれ最大になり、いずれものり面勾配が 3 割より緩くなると急減する。また、越波流量は

風速の増大とともに直立護岸では増大するが、傾斜護岸ではいずれも減少する。さらに、護岸のり面の開孔率が大きいほど越波流量は減少するが、この傾向は 7 割勾配護岸よりも 10 割勾配護岸のほうが著しい。

3) 越波した波だけを対象とした場合の代表越波量比については、 $Q_{1/3}/Q_m$ は約 2～3 で、この値は風速、のり面勾配、護岸のり面の開孔率によってほとんど変化しない。 $Q_{1/10}/Q_m$ や Q_{max}/Q_m は、無風時には 3 割勾配護岸、有風時には 5 割勾配護岸でそれぞれ最大になる。また、これらの比は緩傾斜護岸では風速の増大とともに増大する場合が多いが、護岸のり面の開孔率の影響はあまり明確ではない。なお、全波を対象とした場合も越波した波だけを対象とした場合とほぼ同じ傾向を示すが、 Q_m が小さくなるため、いずれの代表越波量比も大きくなる。

4) 越波量の出現分布の Weibull 分布への適合性については、風速、のり面勾配、のり面の開孔率にかかわらず、越波した波だけを対象とした場合のほうが、全波を対象とした場合よりも適合性はよい。また、越波した波だけを対象とした場合の Weibull 分布の形状母数は、緩傾斜護岸では風速やのり面の開孔率の増大とともに小さくなる。したがって、親水性護岸については、現行の越波流量を対象とした機能設計では十分でなく、最大越波量なども考慮することが望ましい。

最後に、本研究に際して大いに助力してくれた、現在、日本建設コンサルタント㈱の檜橋幹郎、東洋建設㈱の藤田誠、高石市の堀義行、大阪府の門田晃の諸君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 井上雅夫・島田広昭・円間弘起 (1992): 緩傾斜護岸の越波特性に及ぼす風の影響, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 586-590.
- 豊島 修 (1988): 続・緩傾斜護岸 Q & A, 海岸, 第 28 巻, pp. 51-60.