

透水性を有する緩傾斜護岸の越波特性

井上雅夫*・島田広昭**・円間弘起**

1. 緒 言

近年、わが国では面的な海岸防護方式の導入にともなう、緩傾斜護岸が各地で多く建設されるようになってきた。これは、本来、海岸侵食対策として考案されてきたものであるため、その越波特性についてはあまり明らかにされていない。一方、豊島(1987)は、緩傾斜護岸への波のうちあげ高に関する室内実験や現地観測の結果から、そのり面勾配を5～6割にすれば、侵食性海岸の護岸としてだけでなく、高潮対策のものとしても期待できることを明らかにしている。こうしたことから、本研究では、緩傾斜護岸の大きな特徴である護岸の透水性を考慮して、不規則波による越波実験を行うとともに、それらの結果を、井上ら(1990)による従来の不透水性護岸のものと比較することによって、代表波法と同じ定義による代表越波量や越波量の出現分布など、緩傾斜護岸の越波特性に及ぼす護岸の透水性の影響を明らかにしようとした。

2. 実験装置および方法

実験では、不規則波造波機を有する二次元水槽内に勾配が1/10の傾斜海岸を設け、その上に設置した透水性を有する緩傾斜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。緩傾斜護岸の表のり勾配は3割および5割の2種類に変化させた。不規則波の期待スペクトルは有義波周期が1.0s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、有義波の波形勾配 $(H/L)_{1/3}$ を0.04、相対護岸天端高 $H_c/H_{1/3}$ を1.0、のり先水深・波長比 $h/L_{1/3}$ を0.026と一定にし、護岸のり面の透水性に大きな影響を与える中詰め砂の中央粒径 d と波高との比 $d/H_{1/3}$ を0.001, 0.013, 0.058および0.236の4種類に変化させた。図-1は、緩傾斜護岸の模型を示した。ここでは、越波特性に及ぼす堤体の透水性の直接的な影響だけを見い出すために、緩傾斜護岸のり面にはジオテキス

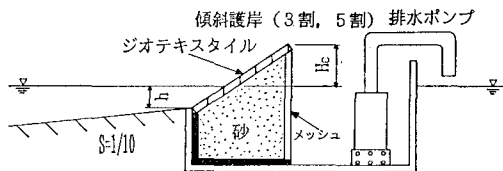


図-1 緩傾斜護岸の模型

タイルを張り、波によるのり面の変形をできるだけ防ぐことにした。さらに、砂の湿潤状態も一定にするため、堤体から流出した水はポンプで排水し、水槽中に戻すようにした。なお、本研究で対象とした代表越波量は、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 (合田の越波流量と同じもの)である。また、越波量をビデオ撮影によって実測したそれぞれの越波時間で除した1波ごとの越波流量についても同様な取り扱いを行い、それら統計量の相互間の関係を検討した。さらに、越波量の出現分布については、越波した波だけを対象とした場合と全波を対象とした場合のそれぞれについて、Weibull分布の適合性を検討した。

3. 実験結果および考察

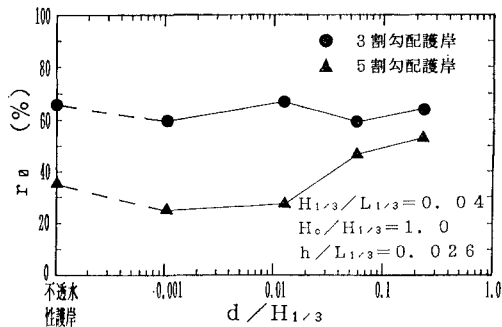
3.1 越波率および越波流量

図-2は、不規則波群の越波率 r_0 と粒径波高比 $d/H_{1/3}$ との関係を示した。なお、この場合の越波率とは、不規則波群のうち越波する波数を全入射波数で除した百分率である。これによると、3割勾配護岸に対する越波率には、透水性の影響はあまりみられず、その値は60～70%程度でほぼ一定である。これに対し、5割勾配護岸に対する越波率には透水性の影響がみられる。すなわち、 $d/H_{1/3}$ が0.01程度までは不透水性護岸のものよりも小さくなるが、それ以上になると、逆に不透水性護岸のものよりも大きくなる。これらの原因としては、 $d/H_{1/3}$ が大きい場合には、戻り流れの影響がなくなり、越波しやすかったことのほかに、 $d/H_{1/3}$ が小さい場合には、護岸前面が波によって変形し、越波しにくかったことなども考えられる。また、いずれの $d/H_{1/3}$ の場合

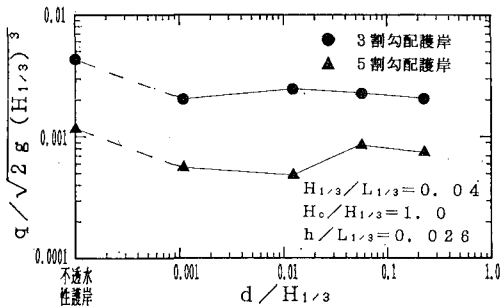
* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

** 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 工学研究科



図—2 越波率と粒径波高比との関係



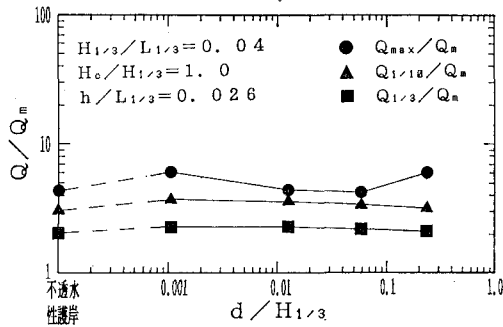
図—3 無次元越波流量と粒径波高比との関係

についても、5割勾配護岸の越波率は3割勾配護岸のものより小さい。

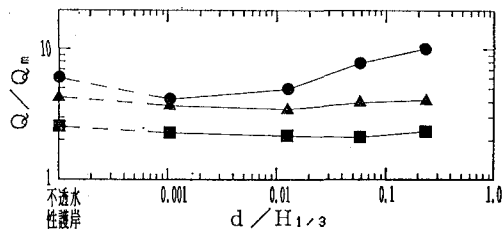
図—3 は、無次元越波流量 $q/\sqrt{2g(H_{1/3})^3}$ と粒径波高比 $d/H_{1/3}$ との関係を示した。これによると、3割勾配護岸の場合、透水性護岸の越波流量は不透水性護岸のものに比べ約50%に減少するが、透水性護岸では $d/H_{1/3}$ の影響はほとんどみられない。また、5割勾配護岸の場合は、3割勾配護岸の場合と同様に、透水性護岸の越波流量は不透水性護岸のものに比べると減少し、透水性護岸では $d/H_{1/3}$ の影響が若干現れている。すなわち、透水性護岸の越波流量は $d/H_{1/3}$ が0.01程度以上になると増加する傾向がみられる。この原因としては、越波率について前述したようなことが考えられる。

3.2 代表越波量

図—4 および 5 は、代表波法の定義に従って求めた平均越波量と他の代表越波量との関係であり、それぞれ越波した波だけを対象とした場合と全波を対象とした場合のものである。なお、いずれも (a) 図は3割勾配護岸、(b) 図は5割勾配護岸のものであり、縦軸は各代表越波量と平均越波量との比 Q/Q_m である。これらによると、図—4 の越波した波だけを対象とした場合、有義越波量 $Q_{1/3}$ は平均越波量 Q_m の2~3倍で、この値は面勾配や $d/H_{1/3}$ によってほとんど変化しない。1/10 最大越波量 $Q_{1/10}$ は平均越波量 Q_m の3~5倍で、この値も面勾配や $d/H_{1/3}$ によってあまり変化しない。

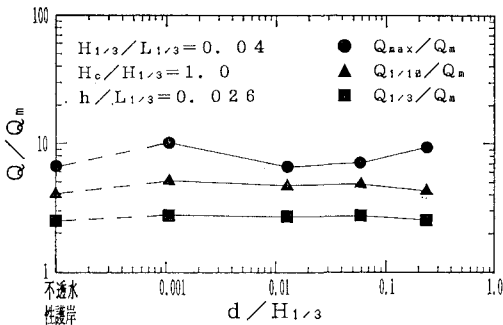


(a) 3割勾配護岸

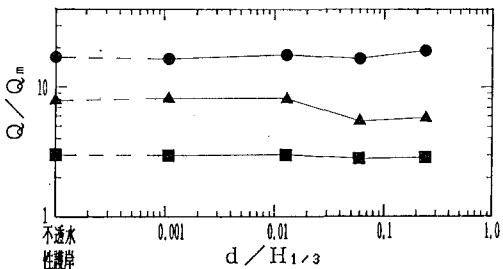


(b) 5割勾配護岸

図—4 平均越波量と他の代表越波量との関係 (越波した波だけを対象とした場合)



(a) 3割勾配護岸



(b) 5割勾配護岸

図—5 平均越波量と他の代表越波量との関係 (全波を対象とした場合)

い。最大越波量 $Q_{\max}$ は Q_m の 4～10 倍にもなり、この場合にはのり面勾配や $d/H_{1/3}$ の影響が現れている。特に、5 割勾配護岸で $d/H_{1/3}$ が、0.01 より大きくなると、 $d/H_{1/3}$ の増大とともに $Q_{\max}/Q_m$ の値も増加し、 $d/H_{1/3}$ が 0.236 では $Q_{\max}$ が Q_m の 10 倍にも達している。これらのことは、緩傾斜護岸の機能設計において特に注意すべきことであろう。つぎに、3 割と 5 割勾配護岸を比較してみると、全般的に 3 割勾配護岸より 5 割勾配護岸のほうが $d/H_{1/3}$ の影響が顕著に現れている。この原因としては、相対護岸天端高が一定であっても、5 割勾配護岸のほうが護岸ののり面の長さが長くなることから、透水効果の影響が大きくなるためと考えられる。さらに、図-5 の全波を対象とした場合は、いずれも図-4 の越波した波だけを対象としたものよりも、 Q/Q_m の値は $Q_{1/3}$ のものを除いて大きい値を示している。特に、5 割勾配護岸については、 $d/H_{1/3}$ が 0.236 で $Q_{\max}$ が Q_m の約 20 倍にも達している。これについては、全波を対象にすると、 Q_m の値が小さくなるためである。なお、これらのことは、図示はしていないが、越波量をそれぞれの越波時間で除した 1 波ごとの越波流量についても、ほぼ同様の結果であった。

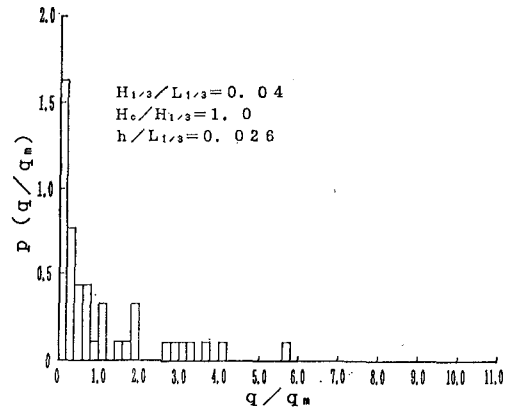
3.3 越波量の出現分布

図-6 は、5 割勾配護岸における越波した波だけを対象とした場合の 1 波ごとの越波流量 q の出現分布であり、(a)～(c) 図はそれぞれ不透水性護岸、 $d/H_{1/3}$ が 0.013 および 0.236 の場合のものである。なお、横軸は出現越波流量 q と平均越波流量 q_m との比 q/q_m であり、縦軸は次式で示される確率密度 $p(q/q_m)$ である。

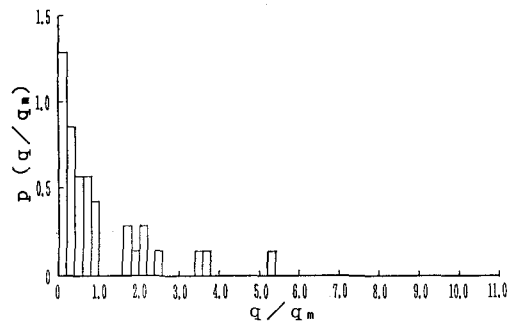
$$p(q/q_m) = \frac{\text{相対度数}}{\Delta(q/q_m)} = \frac{1}{\Delta(q/q_m)} \cdot \frac{NN(q/q_m)}{N} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 N は全測定越波数、 $\Delta(q/q_m)$ は越波流量の読み取り間隔（この場合には 0.2 とした）、 $NN(q/q_m)$ は q/q_m が q/q_m と $q/q_m + \Delta(q/q_m)$ の範囲にある越波数である。

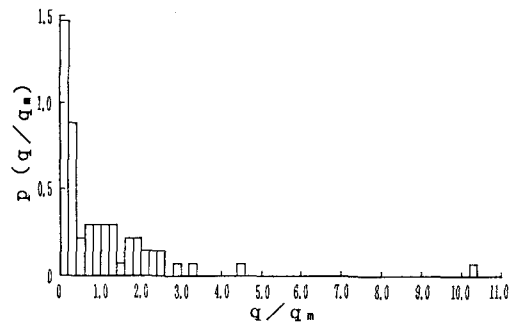
これらによると、 $p(q/q_m)$ の極大値の出現位置については、図示していない $d/H_{1/3}$ が 0.001 の場合に q/q_m が 0.2～0.4 の範囲で現れる以外は、すべて図示するように q/q_m が 0～0.2 の範囲で現れている。また、 $p(q/q_m)$ の極大値は不透水性護岸のものより透水性護岸のほうが小さくなり、透水性護岸では $d/H_{1/3}$ の増大にともなって、 $p(q/q_m)$ の最大値は増加する傾向を示している。なお、3 割勾配護岸の場合は図示していないが、これとは若干異なった傾向がみられた。すなわち、 q/q_m の極大値は、3 割勾配護岸ではいずれの $d/H_{1/3}$ についても、ほぼ一定の 3.7～5.1 程度であり、透水性の影響はみられない。しかし、5 割勾配護岸の q/q_m の極大値



(a) 不透水性護岸



(b) $d/H_{1/3} = 0.013$



(c) $d/H_{1/3} = 0.236$

図-6 越波流量の出現分布

は、図-6 にみられるように、不透水性護岸や $d/H_{1/3}$ が小さいものについては、3.9～5.7 でほぼ一定であるが、 $d/H_{1/3}$ が大きくなると、その値は 10 以上にも達している。

図-7 は、3 割勾配護岸における越波した波だけを対象とした場合の越波流量の超過発生確率の例であり、(a)～(c) 図はそれぞれ不透水性護岸、 $d/H_{1/3}$ が 0.013 および 0.058 の場合のものである。なお、図中の曲線は Weibull 分布であり、この分布の形状母数 α の決定は、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

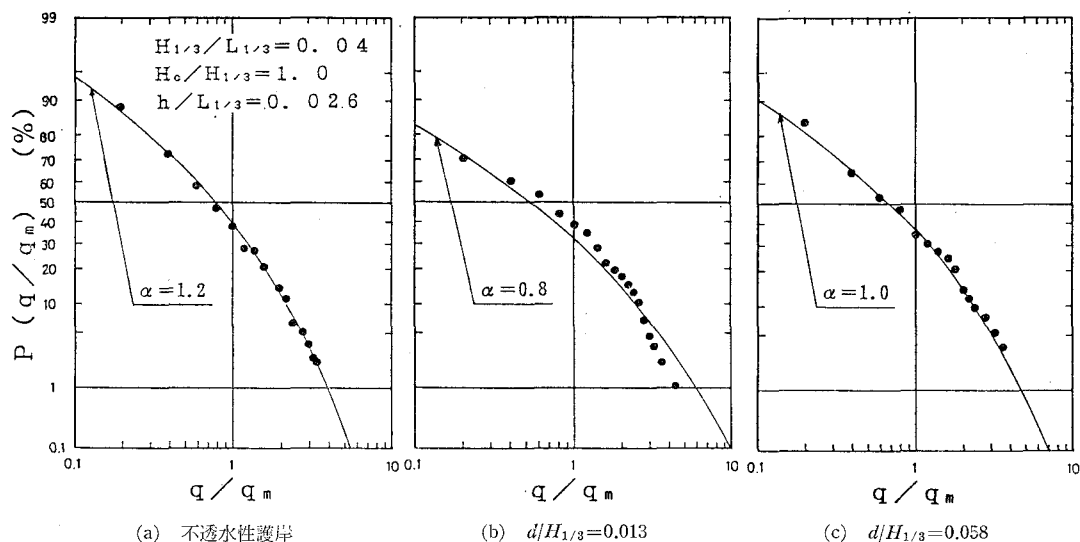


図-7 越波流量の超過発生確率 (越波した波だけを対象とした場合)

値が最小になるものを採用した。これらによると、全般的には実験値は Weibull 分布によく一致している。また、図示はしていないが、すべての $d/H_{1/3}$ の場合を含めて考察すると、不透水性護岸のほうが透水性護岸のものよりも Weibull 分布によく一致する傾向がみられる。さらに、透水性護岸だけに限ってみると、 $d/H_{1/3}$ が小さい場合には Weibull 分布への適合度はあまりよくないが、 $d/H_{1/3}$ が大きくなると Weibull 分布への適合度がよくなる傾向がみられる。

図-8 は、全波を対象とした場合の一例であり、越波した波だけを対象とした場合の 図-7(c) に対応している。これらを比較すると、全波を対象とした場合は越波した波だけを対象とした場合ほど Weibull 分布への適合度はよくない。しかし、全波を対象とした場合も、透水性護岸のものよりも不透水性護岸のものの方が適合度がよいことなどは、越波した波だけを対象とした場合と同様の傾向を示している。なお、5割勾配護岸のものについては、越波数が少ないため、Weibull 分布の適合性を明確にすることはできなかった。

図-9 は、図-7 に示した 3 割勾配護岸に対する Weibull 分布の形状母数 α と粒径波高比 $d/H_{1/3}$ との関係である。これによると、透水性に関係なく、越波した波だけを対象とした場合の形状母数が、全波を対象とした場合のものよりも大きいことがわかる。また、いずれの場合についても、透水性護岸に対する形状母数は、 $d/H_{1/3}$ が非常に大きい 0.236 のものを除いて、不透水性護岸に対するものに比べてかなり小さくなる。また、透水性護岸に対する Weibull 分布の形状母数は、 $d/H_{1/3}$ が大きいほど大きくなり、これらの傾向は越波した波だけを対象とした場合のほうが著しい。

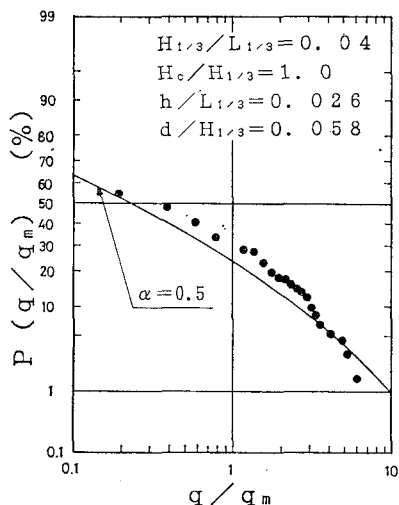


図-8 越波流量の超過発生確率 (全波を対象とした場合)

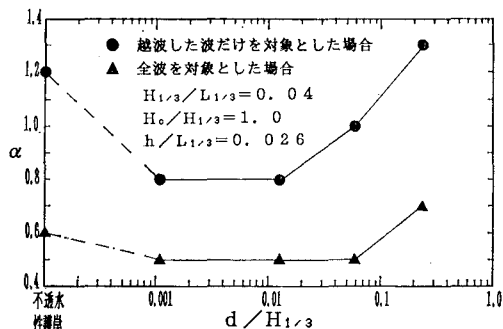


図-9 Weibull 分布の形状母数と粒径波高比との関係

4. 結 語

以上、本研究での結果を要約するとつぎのようである。

1) 越波率は、3割勾配護岸では透水性の影響はあまりなく、ほぼ一定である。5割勾配護岸では、 $d/H_{1/3}$ の値によって異なり、透水性の影響がみられるが、いずれの $d/H_{1/3}$ の場合についても、3割勾配護岸に対するものよりも小さい。

2) 3割勾配の透水性護岸における越波流量は、 $d/H_{1/3}$ によっては変化せず、不透水性護岸のものの約50%に減少する。5割勾配の透水性護岸における越波流量も不透水性護岸のものに比べると減少するが、3割勾配護岸の場合に比べると、 $d/H_{1/3}$ によって若干変動する。

3) 越波した波だけを対象とした場合の平均越波量と他の代表越波量との関係については、 $Q_{1/3}$ および $Q_{1/10}$ は、それぞれ Q_m の約2~3倍および約3~5倍であり、不透水性護岸の場合とほぼ同様である。また、この関係は護岸の透水性やのり面勾配によってほとんど変化しない。 $Q_{\max}$ は Q_m の約4~10倍に達し、この値は護岸の透水性やのり面勾配によって変動する。さらに、全波を対象とした場合には、 Q_m が小さくなるため $Q_{1/10}/Q_m$ および $Q_{\max}/Q_m$ の値は越波した波だけを対

象とした場合のものよりいずれもかなり増大する。

4) 越波した波だけを対象とした場合の3割勾配護岸における越波量分布は Weibull 分布によく適合するが、全波を対象とした場合には、越波した波だけを対象とした場合に比べて適合度はやや劣る。3割勾配護岸に対する Weibull 分布の形状母数は、越波した波だけを、また、全波を対象としたいずれの場合についても、粒径波高比の増大とともに増大する。5割勾配護岸の越波量分布については、越波率が小さいため Weibull 分布の適合性は明確でない。

今後は、実験条件を種々変化させた系統的な研究を行い、特に越波量分布に及ぼす堤体の透水性の影響、具体的には Weibull 分布の形状母数と粒径波高比との関係を明確にし、緩傾斜護岸の設計実務に役立つものとしていきたい。

最後に、本研究に際して大いに助力してくれた、現在、兵庫県農林水産部漁港課の北浦好志、大阪府港湾局の田中誠敏の両君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 井上雅夫・島田広昭・殿最浩司 (1990): 不規則波による緩傾斜護岸の越波特性, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 514-518.
豊島 修 (1987): 緩傾斜護岸工法, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 447-451.