

海面上昇に伴う海岸護岸の越波防止機能低下について

井上雅夫*・島田広昭**・坂本佳弘***

1. 緒言

近年、わが国においても、地球の温暖化によって起こる海面上昇や台風の大規模化はきわめて重要かつ現実的な問題として注目されてきた。こうしたことから、海面上昇に伴うわが国沿岸域の浸水影響予測が行われ、特に東京湾域については、高潮時の越波に伴う浸水予測図(松井ら, 1992)が発表されている。さらに、直立護岸の場合については、海面上昇、台風の大規模化、海岸侵食などによって増大する越波量の推算(山本ら, 1992)も行われている。しかしながら、いずれの研究も直立護岸を対象にしたものであり、海面上昇や波浪規模の増大に対して、どのような護岸形状のものが好ましい越波特性を有するかについては明らかでない。

このため、著者ら(1993)は護岸の表のり勾配が4/3割の傾斜護岸と15割の緩傾斜護岸を対象とした不規則波による越波の模型実験を行った。その結果、緩傾斜護岸は波高の変化に対しては好ましい越波特性を有しているが、潮位の変化に対してはむしろ傾斜護岸の越波特性のほうが優れていることが明らかになった。しかしながら、海面上昇に伴う海岸護岸の越波防止機能の低下と護岸の表のり勾配との関係については明確にすることはできなかった。

このようなことから本研究では、海面上昇や波浪規模の増大に対して、越波率(越波する波と全波数との比)、越波流量、代表越波量比などが急増しないような護岸形状、特に表のり勾配を明らかにすることによって、海岸護岸の機能設計の向上に寄与しようとするものである。

2. 研究内容と実験方法

本研究では、護岸の表のり勾配を変化させた場合について、不規則波による越波特性を実験的に検討するとともに、模型縮尺を1/30と想定して、海面上昇に伴う海岸護岸の越波防止機能の低下予測を行った。実験では、2次元不規則波造波水槽中に勾配が1/30の模型海浜を設

け、その上に模型護岸を設置して、それらを越える不規則波群の越波率、越波流量の測定を行った。模型護岸は、最近、施工数の増加が著しい3割、5割および7割の緩傾斜護岸とし、4/3割および15割勾配護岸については、従来の実験結果(井上ら, 1993)を用いることにした。なお、7割勾配護岸については、不規則波群の1波ごとの越波量を詳細に測定することによって、代表越波量や越波量の出現頻度分布に及ぼす海面上昇の影響を調べた。実験波は、有義波周期が1.0sのBretschneider・光易型スペクトルの不規則波であり、その有義波形勾配 H/L は0.01, 0.02, 0.03, 0.04および0.05の5種類とした。また、のり先水深・波長比 h/L は0.194から0.213の間で4種類に変化させ、海面上昇量が原型で90cmまでの潮位変化に対応できるようにした。

3. 実験結果および考察

3.1 越波率と越波流量

図-1は、3割勾配護岸の越波率 r_0 とのり先水深・波長比 h/L との関係である。これによると、3割勾配護岸の r_0 は h/L が大きくなるほど、いずれの H/L の場合にも増大し、特にこの傾向は H/L が小さいほど著しい。また、 H/L が0.05の r_0 は、 h/L が0.194から0.207の間ではその増加する割合は緩やかであるが、 h/L が0.207以上になると急増し、 h/L が0.213ではほとんどすべての波が越波している。この原因は、 h/L が小さいときには傾斜海浜上で多くの入射波が碎波するが、 h/L が増大すると碎波しないで、そのまま護岸を越波するためである。

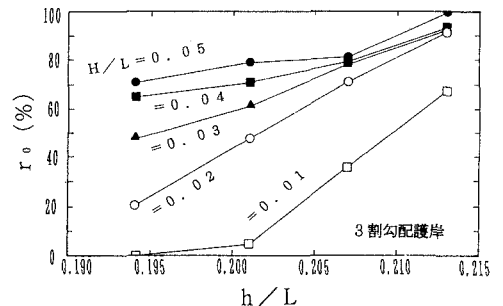


図-1 3割勾配護岸の越波率とのり先水深・波長比との関係

* 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

*** 正会員 工修 大阪府技師 土木部東部公働事務所

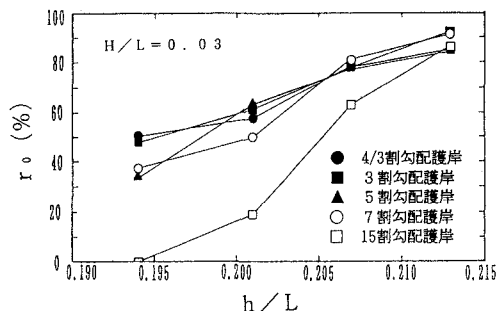


図-2 各護岸の越波率とのり先水深・波長比との関係 ($H/L=0.03$)

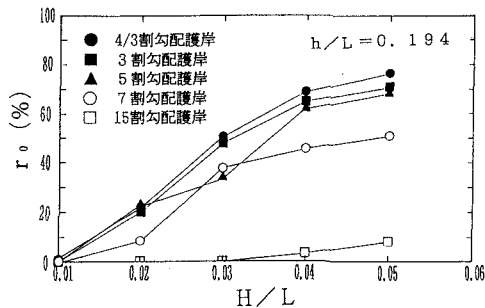
また、5割および7割勾配護岸の越波率も、図示はしていないが、図-1に示した3割勾配護岸のものと同様の結果であった。このように、いずれののり面勾配護岸の越波率も潮位の上昇とともに増大し、この傾向は波形勾配が小さい場合ほど著しいことがわかる。

図-2は、各護岸の越波率 r_0 とのり先水深・波長比 h/L との関係を示したものであり、これによると、15割勾配護岸の越波率は潮位の上昇によって急激に増大している。4/3、3、5および7割勾配護岸の越波率はいずれも同様な増加の傾向を示しているが、増加する割合は15割のものよりも小さい。特に、潮位が高くなると、いずれの護岸の越波率も90%程度となり、のり面勾配の影響はみられなくなる。

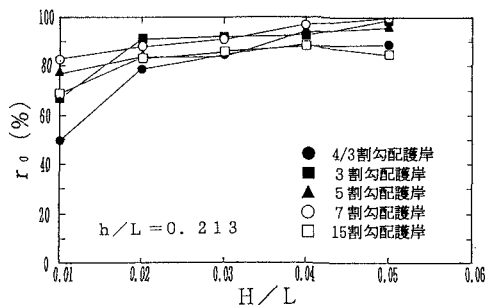
図-3(a)および(b)は、越波率 r_0 と波形勾配 H/L との関係を示したものであり、それぞれ h/L が0.194および0.213の場合である。これらによると、いずれの場合の r_0 も H/L の増大とともに増大する。また、この傾向は h/L が小さいほど顕著であるが、潮位が上昇し、 h/L が大きい場合には、 H/L が増大しても越波率はあまり急激には増大しない。

図-4(a)および(b)は、越波率 r_0 とのり面勾配 $\cot \theta$ との関係を示したものであり、それぞれ h/L が0.194および0.213の場合である。これらによると、図-4(a)に示した潮位が低いときには、のり面勾配を緩やかにすると、越波率はほとんどの場合減少するが、潮位が上昇すると図-4(b)に示すように、のり面勾配を緩やかにしても越波率はあまり減少しない。特に、 H/L が0.01の場合の越波率は、4/3割勾配護岸で50%であったものが、7割勾配護岸では80%にも増大している。

以上の結果から、越波率を低減させるために、護岸ののり面勾配を緩やかにすることは、潮位が低く、波形勾配が大きい場合には効果的である。しかし、潮位が高くなると、のり面勾配を緩やかにしてもあまり有効ではなく、かえって逆効果になる場合もある。

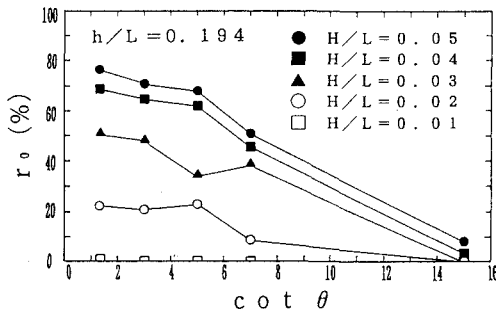


(a) $h/L=0.194$

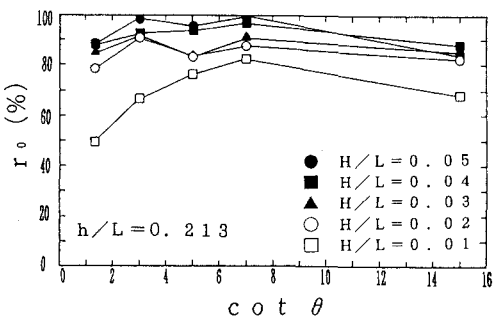


(b) $h/L=0.213$

図-3 越波率と波形勾配との関係



(a) $h/L=0.194$



(b) $h/L=0.213$

図-4 越波率とのり面勾配との関係

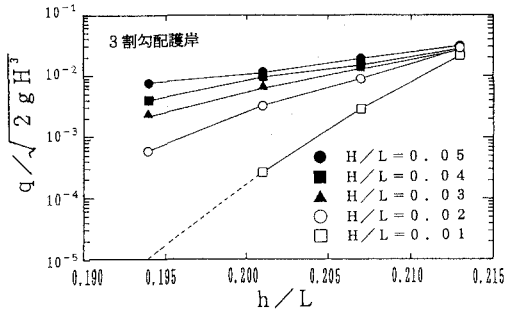


図-5 3割勾配護岸の無次元越波流量とのり先水深・波長比との関係

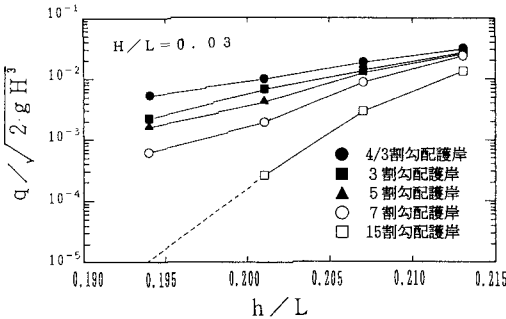
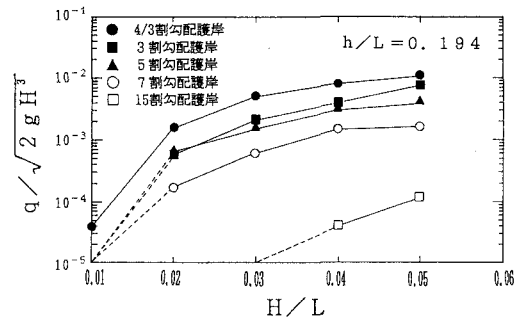
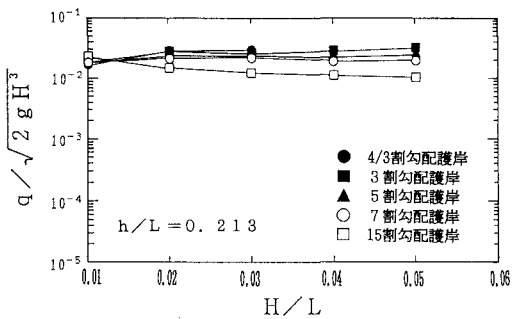


図-6 各護岸の無次元越波流量とのり先水深・波長比との関係



(a) $h/L=0.194$



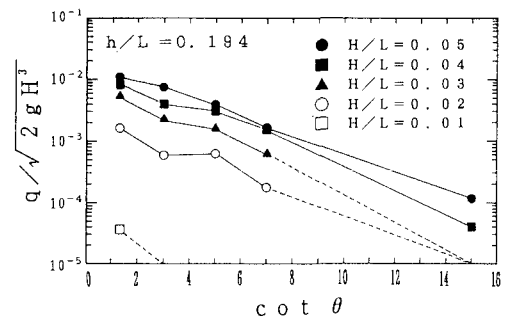
(b) $h/L=0.213$

図-7 無次元越波流量と波形勾配との関係

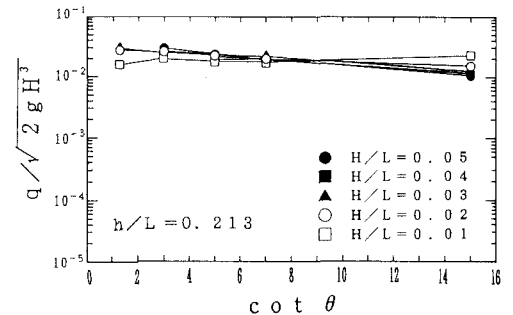
図-5は、3割勾配護岸の無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ とのり先水深・波長比 h/L との関係である。これによると、越波流量は、越波率とまったく同様に、いずれの H/L の場合についても潮位の上昇とともに増加し、特にこの傾向も H/L が小さいほど著しい。また、5割および7割勾配護岸の場合も、図-5とほとんど同じ結果が得られた。特に、潮位が上昇すると、いずれの H/L の越波流量もほとんど同じになるが、このことのもり面勾配が変化してもみられることである。

図-6は、各護岸の無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ とのり先水深・波長比 h/L との関係を H/L が0.03の場合について示したものである。これによると、越波流量に及ぼす海面上昇の影響は、のり面勾配が緩やかになるほど著しく、15割勾配護岸の場合には、特に著しい。

図-7(a) および (b) は、無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ と波形勾配 H/L との関係を示したものであり、それぞれ h/L が0.194 および 0.213 の場合である。この場合も、越波率について示した図-3と同様に、いずれの護岸の越波流量も潮位が低いときは H/L の増大とともに増加するが、潮位が上昇した場合には H/L が増大してもあまり変化しないか、むしろ逆に減少するような傾向がみられる。



(a) $h/L=0.194$



(b) $h/L=0.213$

図-8 無次元越波流量とのり面勾配との関係

図-8(a) および (b) は、無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ とのり面勾配 $\cot \theta$ との関係を示したものであり、それぞれ h/L が 0.194 および 0.213 の場合である。この場合も、潮位が低いときには、のり面勾配を緩くすることによって越波流量を減少させられるが、潮位が上昇すると越波流量の低減対策としての護岸のり面の緩傾斜化は、その効果がほとんど期待できなくなるといえる。

3.2 越波量分布に及ぼす海面上昇の影響

ここでは H/L が 0.03 の 7 割勾配護岸の場合を対象に、越波量の出現頻度分布に及ぼす海面上昇の影響を検討する。

図-9 は、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との関係を示したものであり、縦軸は各代表越波量と平均越波量との比 Q/Q_m 、横軸はのり先水深・波長比 h/L である。これによると、 $Q_{1/3}/Q_m$ は約 2、 $Q_{1/10}/Q_m$ は約 4、 Q_{max}/Q_m は 7~8 であり、いずれの代表越波量比も h/L の増大によって若干の変動はあるもののほぼ一定値を示し、海面上昇の影響はあまりみられない。このことは、海岸護岸の防災あるいは減災上好ましい特性である。

図-10(a) および (b) は、越波した波だけを対象とした場合の 7 割勾配護岸における 1 波ごとの越波流量の超過発生確率を示したものであり、それぞれ h/L が 0.194 および 0.207 のものである。なお、いずれも縦軸は越波流量 q の超過発生確率 $P(q/q_m)$ を百分率で示したもので、横軸は各越波流量と平均越波流量との比 q/q_m である。また、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。これらによると、いずれのり先水深・波長比の場合にも、Weibull 分布に適合している。また、形状母数 α については、図示していないものも含めていずれの場合も 1.0 程度で一定であり、7 割勾配護岸における越波流量の超過発生確率分布には、海面上昇の影響はあまりないものと思われる。

3.3 海面上昇による海岸護岸の越波防止機能の低下予測

ここでは海岸護岸の越波特性に及ぼす海面上昇の影響をより具体的に示すために、実験の模型縮尺を 1/30 と想定して、海岸護岸の越波防止機能の低下予測を行った。海面上昇については、IPCC の試算 (三村ら, 1991) の上限値を用い、1990 年を基準とし、2030 年までに 30 cm、2060 年までに 60 cm、2085 年までに 90 cm、2100 年までに 110 cm の上昇量があるものとした。

図-11 は、無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ の経年変化であり、(a) および (b) 図はそれぞれ H/L が 0.02 および 0.05

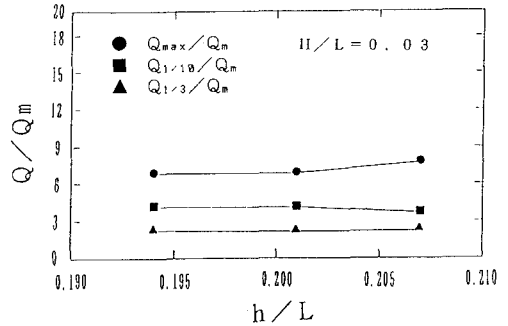
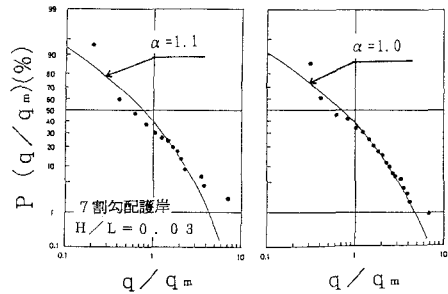
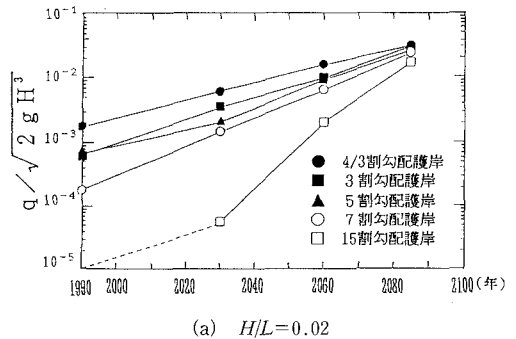


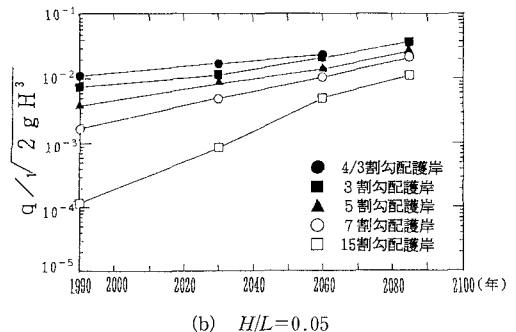
図-9 代表越波量比とのり先水深・波長比との関係 (越波した波だけを対象とした場合)



(a) $h/L=0.194$ (b) $h/L=0.207$
図-10 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)



(a) $H/L=0.02$



(b) $H/L=0.05$

図-11 無次元越波流量の経年変化

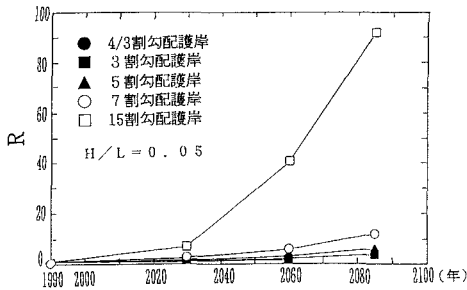


図-12 越波流量の増加率の経年変化
(1990年を基準とした場合)

のものである。これらによると、いずれの H/L の場合も年月の経過とともに $q/\sqrt{2gH^3}$ も著しく増加し、潮位上昇の影響がみられる。特に、15割勾配護岸でこの傾向が著しい。また、2085年ごろになると、各護岸の無次元越波流量の違いは小さくなり、この傾向は波形勾配の小さいものほど顕著である。

図-12は、1990年と各年の越波流量の比 R の経年変化である。なお、 H/L は 0.05 である。これによると、4/3、3 および 5割勾配護岸の R はほとんど同じ経年変化を示し、2085年でも現況の5倍程度であるが、7割勾配護岸のものは2060年ごろから増大し、2085年には現況の10倍になる。一方、15割勾配護岸の R は2030年ごろから急増し、2085年には現況の90倍にも達する。これらの結果から、海面上昇に対し越波防止機能が急激に低下しない護岸のり面勾配の限界は、いちおう7割程度であるといえよう。

4. 結 語

以上、著者らは、海面上昇や波浪規模の増大に対し、越波防止機能が急激に低下しないような海岸護岸のり面勾配を明らかにするため、のり先水深・波長比と波形勾配を変化させた不規則波による傾斜護岸の越波に関する模型実験を行った。それらの結果を要約するとつぎのようである。

1) のり面勾配が4/3、3、5、7および15割のいずれの護岸の越波率や越波流量も、ほとんどの場合は潮位の上昇や波高の増大とともに増加し、この傾向はのり面勾配が緩いほど著しい。特に、15割勾配護岸の場合には顕著である。しかし、潮位が上昇すると、いずれの護岸の越波率や越波流量も、波高の増大に対してはあまり変化しない。越波率や越波流量を低減させるために、護岸

のり面を緩傾斜にしても、潮位が上昇すると、その効果はほとんど期待できず、場合によっては逆効果になることもある。

2) 7割勾配護岸の越波した波だけを対象とした場合の代表越波量比 $Q_{1/3}/Q_m$ 、 $Q_{1/10}/Q_m$ および Q_{max}/Q_m は、それぞれ2、4および7~8であり、これらの値は潮位が上昇してもほとんど変化しない。また、1波ごとの越波流量の出現頻度分布は、越波した波だけおよび全波を対象としたいずれの場合も、Weibull分布に適合し、その適合度は潮位が上昇してもほとんど変わらない。さらに、その分布の形状母数は、越波した波だけを対象とした場合には、ほぼ1.0であり、この値も潮位が上昇してもほとんど変化しない。

3) 海面上昇量に関するIPCCの予測上限値を用いて、越波防止機能の低下予測を行うと、15割勾配護岸の越波流量は、2030年ごろから急増し、2085年には現況の90倍にも達する。一方、4/3、3および5割勾配護岸のものは、2085年でも現況の5倍程度であるが、7割勾配護岸のものは、2060年ごろから急増し、2085年には現況の約10倍になる。

以上の結果から、海面上昇に対し越波防止機能が急激に低下しない護岸のり面勾配の限界は、いちおう7割程度であるといえよう。したがって、のり面勾配が7割よりも緩やかな緩傾斜護岸については、潮位の上昇に対して有効な越波防止対策をあらかじめ講じておくことが望ましい。

最後に、本研究に際して大いに助力してくれた、現在、東洋建設(株)の梅山義晴、日商岩井鉄鋼リース(株)の川辺健一、若築建設(株)の杉野史郎、関西大学大学院の野村義一の諸君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 井上雅夫・島田広昭・坂本佳弘 (1993): 海岸護岸の越波特性に及ぼす海面上昇の影響, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 696-700.
- 松井貞二郎・立石英機・磯部雅彦・渡辺 晃・三村信夫・柴崎亮介 (1992): 海面上昇に伴う日本の沿岸域の浸水影響予測, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1031-1035.
- 三村信男・磯部雅彦・細川恭史・瀬岡和夫 (1991): 地球温暖化による海面上昇・海象変化の影響評価, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 936-940.
- 山本吉道・堀川清司・長沼良子 (1992): 地球温暖化が海岸堤防越波に及ぼす影響について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1036-1040.