

人工粗度を有する護岸の打上げ高と波圧に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON RUNUP HEIGHT AND WAVE PRESSURE ON A SEAWALL WITH ARTIFICIAL ROUGHNESS

水谷法美¹・許 東秀²・林 功治³

Norimi MIZUTANI, Dong-Soo HUR and Koji HAYASHI

¹正会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 工博 国立慶尚大学校助教授 海洋土木工学科 (大韓民国慶南統営市仁平洞445)

³南濃コンクリート工業 技術部長 (〒503-0414 海津市南濃町上野河戸1055)

Recently, precast concrete has been used in construction of seawall instead of cast-in-place concrete. It has several advantages such as shortening of construction period, cost reduction and the point of landscape and environmental view. In addition, it is possible to process precast concrete face in order that seawall has the artificial roughness for landscape as well as disaster prevention. In this study, hydraulic model experiments have been conducted to investigate hydrodynamic characteristics of a seawall with artificial roughness. Runup height and wave pressure on a seawall with artificial roughness have been discussed in relation with slope of seawall, incident wave condition and water depth, in comparison with those on smooth-face seawall.

Key Words : seawall, precast concrete, runup height, wave pressure, artificial roughness

1. はじめに

これまで現場打ちが主流であったコンクリート製の護岸や波返し工は、プレキャスト化が可能となってきたり、コンクリート二次製品化が進むことが予想される。二次製品化することにより、表面加工の自由度が高くなり、従来の滑らかな表面であった護岸にも容易に粗度(化粧)が付けられるようになってきた。沿岸域におけるリクリエーション空間としての位置づけの高まりを考えると、護岸表面の加工の自由度は今後高くなることが予想される。

また、近年、東海地震や南海・東南海地震のような巨大地震の発生が懸念され、それとともに津波災害への対策の強化が不可欠になってきている。日本沿岸では地震発生後数分で津波が来襲する場所も少なくなく、海岸に避難デッキや避難タワーなどを設置する場所もある。護岸高さが大きい場合、これらの避難施設は人命救助の上で有効であると考えられるが、収容可能人数にも限界があり、別途避難ルートを確保することも重要である。上述のように護岸表面を加工することにより、人が駆け上

ることが容易になり、緊急避難面での利点も挙げられる。したがって、護岸表面に粗度を与えることは、単に景観だけでなく防災上の意義も大きいと言える。

一方で、日本の沿岸域では施設の老朽化や設計外力の不足などによる沿岸施設の見直しが行われている箇所も少なくない。特にプレキャスト化は経費削減や工期の短縮の利点も有しており、経済の観点からも利点が多い。しかしながら、粗度による作用波力の増大や打上げ高の変化は設計に直接影響を及ぼす要因であり、十分に検討しておく必要がある。海岸堤防の打上高は豊島ら(例えば1967)によって系統的に行われており、また、打上高に及ぼす粗度や孔の影響については緩傾斜堤を対象に高橋ら(1990)が検討を加えている。しかし、打上高と波圧との関連を検討した例は少ない。Neelamani and Sandhya (2004)は一樣勾配斜面に矩形粗度をつけた場合の打上高や波圧などの検討を行っており、滑面に比べてその有効性を指摘しているが、パラペットを有するような場合の検討はされていない。

本研究では、表面に粗度を有する護岸と滑らかな表面の護岸を使った水理模型実験を行い、護岸上への波の打

- 576 -

3. 実験結果および考察

本章では、まず形の異なる2種類の護岸を遡上する打上高の違いを、入射波の特性に関連づけて考察する。その後、護岸表面の5箇所異なる高さ(図-1参照)に取り付けた小型圧力センサーに作用する波圧振幅と護岸の粗度との関係について検討を行う。

(1) 波形勾配と無次元打上高の関係

図-2は無次元打上高と波形勾配の関係を示しており、図-2(a), (b), (c)は護岸の傾きが $S=1:1.5$ の場合、図-2(d)は $S=1:2$ の場合に対する結果である。なお、図中の●と○は、それぞれ粗度を有する護岸(rough)と粗度の無い護岸(smooth)の値を示し、図の右端の線を付けた値はそれぞれの平均値である。

図より、粗度無し護岸と粗度有り護岸の両方ともに、波形勾配が大きいほど無次元打上高が小さくなるのがわかる。これは波形勾配が小さい波は、斜面上を碎波せずに進行し、それとともに浅水変形によって波高が増大して護岸に入射するが、波形勾配が大きい波は斜面上で碎波し、エネルギーを消散してから入射する。このような違いのため無次元打上高は入射波の波形勾配が小さいほど大きくなると考えられる。

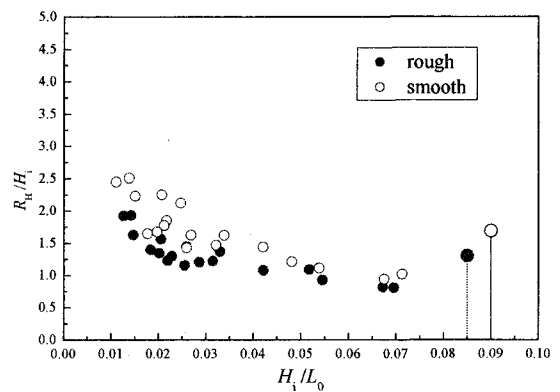
また、水深の異なる場合の結果である図-2(a)~(c)の比較からわかるように、静水深が大きくなると打上高が大きくなる傾向がある。これは水深が大きくなると、同一の波形勾配であっても斜面上での碎波が生じにくくなるためであると考えられる。

なお、粗度の有無に着目すると、粗度がある方が打上高は小さくなる。特に波形勾配が小さい場合にその差は明瞭になる。粗度による打上高の減少には、粗度による局所的な乱れの発生にともなうエネルギー損失に起因するところが多いと考えられる。また、非碎波の状態で入射する波形勾配の小さい波では、その先端部での乱れの状態が粗度の有無により差が大きく、そのため打上高の差が顕著になると考えられる。

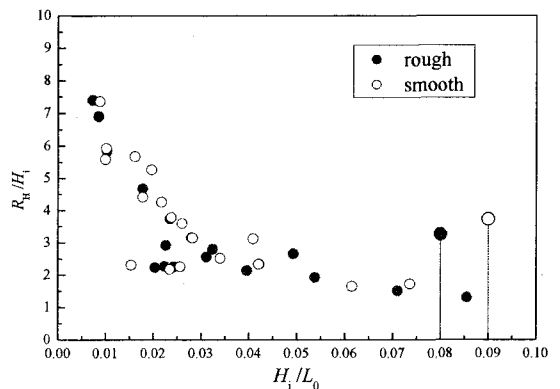
図-2(d)は法面勾配が $1:2$ の場合の結果である。法面勾配のみ異なる図-2(c)と比較すると、粗度の有無による打上高の差はより明瞭になる。これは図示していないケースでも同様に認められた。すなわち、法面勾配の緩い方が、鉛直高さに対する法長が長くなるため、粗度の個数が増えるなど、粗度の影響をより強く受けるようになるためであると考えられる。

(2) 護岸粗度と作用波圧の関係

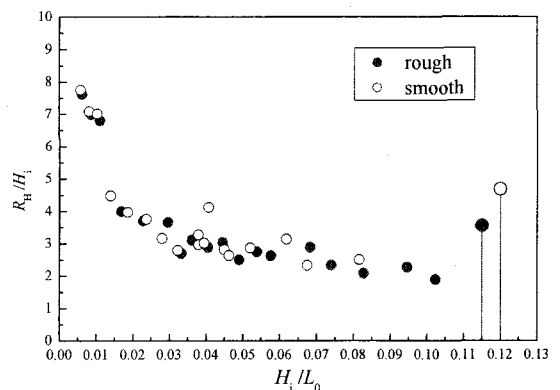
図-3と図-4は、護岸に作用する無次元圧力振幅 $P/\rho g H_i$ (H_i :入射波高)を示したものであり、それぞれ護岸の傾き $S=1:2$ と $S=1:1.5$ の場合を表す。ただし、圧力は 10^3 倍した値を示してある。なお、図中の●と○は、図-2と同様、それぞれ粗度有り護岸と粗度無し護岸の場合の結果を示す。また、図には粗度の有無の両ケースに対する



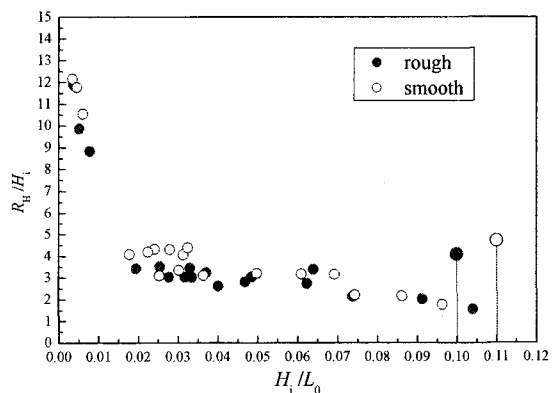
(a) $S=1/1.5, h=40\text{cm}$



(b) $S=1/1.5, h=45\text{cm}$

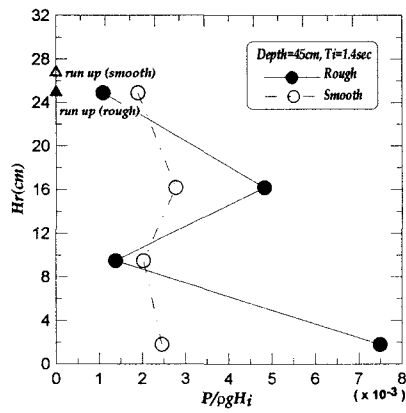


(c) $S=1/1.5, h=50\text{cm}$

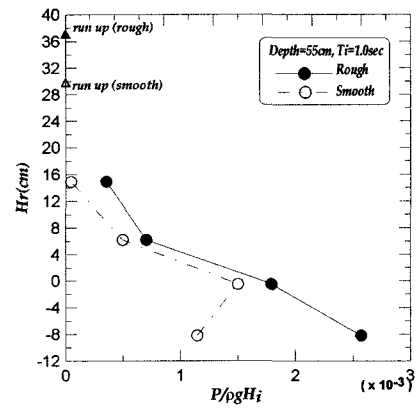


(d) $S=1/2, h=50\text{cm}$

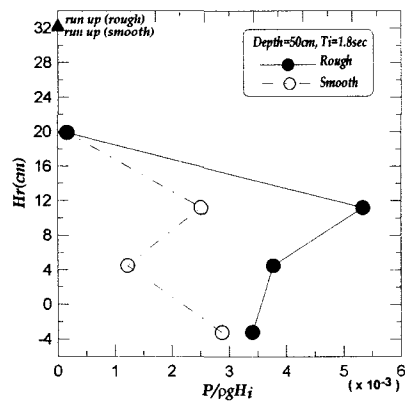
図-2 打上高と波形勾配の関係
(○印:粗度無し, ●印:粗度有, 右端の2点はそれぞれの平均値)



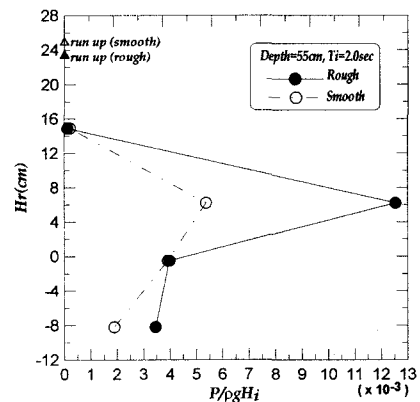
(a) $h=45\text{cm}$, $T=1.4\text{s}$



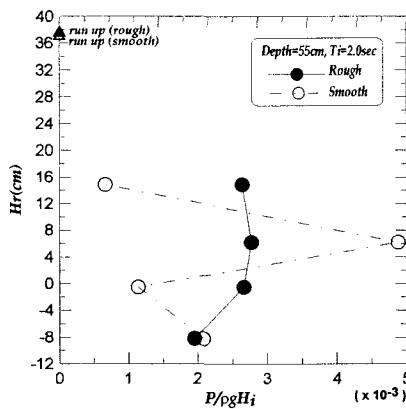
(a) $h=55\text{cm}$, $T=1.0\text{s}$



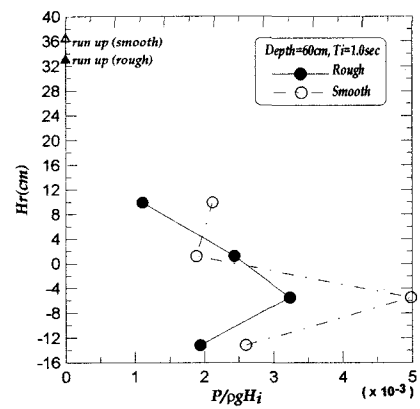
(b) $h=50\text{cm}$, $T=1.8\text{s}$



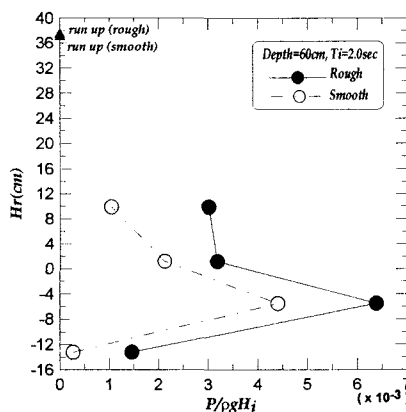
(b) $h=55\text{cm}$, $T=2.0\text{s}$



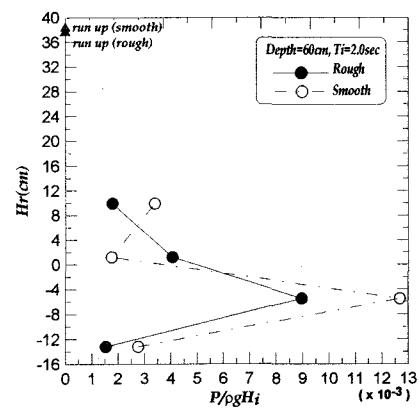
(c) $h=55\text{cm}$, $T=2.0\text{s}$



(c) $h=60\text{cm}$, $T=1.0\text{s}$



(d) $h=60\text{cm}$, $T=2.0\text{s}$



(d) $h=60\text{cm}$, $T=2.0\text{s}$

図-3 波圧の比較 ($S=1/2$)

図-4 波圧の比較 ($S=1/1.5$)

最大打上高さも示してある。

両図から分かるように、圧力はばらつきが大きいものの全般的には粗度を有する護岸の方が作用波圧は大きくなる傾向がある。しかし、静水面からの位置が高くなると、粗度の有無による波圧の差は小さくなる傾向があり、図-3(a)や図-4(c)と(d)のように護岸上部では粗度のない方の波圧が大きくなることもある。これは、次のように説明できる。すなわち、打上高との比較より、波が粗度によりエネルギーを消散する過程では粗度のある方が波圧は大きくなるが、護岸上部では、粗度のある方が既に消散したエネルギーが大きいため、勢いが弱められ、粗度の有無による圧力の差は小さくなると考えられる。

また、図-4(a), (c)と図-4(b), (d)から、静水深に関係なく、入射波の周期が長くなるほど護岸に作用する無次元圧力振幅は大きくなる傾向がある。なお、静水深が大きい場合、静水面下の圧力には粗度の有無による系統的な差は認められなかった。なお、最上部に設置した圧力計による出力が不安定であったためここでは解析の対象から外した。

以上より、粗度のある方が作用波圧は大きくなる傾向があるが、打上高の減少や護岸上部で圧力の大小関係が逆転する場合のあることなどから、護岸全般で考えると粗度の有無による圧力の差はそれほど小さくなく、耐波面で十分配慮することにより、本研究で提案する護岸工法は実用可能であると判断される。

4. 結論

本研究では、人工粗度を有する護岸の打上高と波圧について水理実験結果に基づいて検討を加えた。以下に、本研究から得られた主要な結論を示す。

- (1) 全般的に無次元打上高は波形勾配が小さくなるほど大きくなる。これは入射波の波形勾配が小さいほど碎波しにくく、エネルギーを保ったまま護岸に入射するためであると考えられる。

- (2) 粗度が打上高に及ぼす影響として、全般的に打上高を減少させる傾向がある。すなわち、粗度を有する方が打上高は低くなり、防災上有利であるといえる。また、粗度の有無による差は波形勾配の小さい方が明瞭になる傾向がある。
- (3) 護岸表面に粗度を付けることにより、護岸の打上高を減少させることが可能であるといえる。
- (4) 護岸に作用する波圧は、全般的に粗度を有する護岸の方が作用波圧は大きくなる傾向がある。
- (5) 静水面からの位置が高くなると、粗度の有無による波圧の差は小さくなる傾向があり、護岸上部では粗度のない方が波圧が大きくなることもある。
- (6) 波が粗度によりエネルギーを消散する過程では粗度のある方が波圧が大きくなるが、護岸上部では、粗度のある方が波圧が小さくなることもある。

今後の課題として、様々な粗度の形状についても考察し、実用化に向けて検討を加えていく所存である。

参考文献

- 高橋敏彦・首藤伸夫・沼田淳（1990）：緩傾斜堤の水理特性に関する実験的研究，海岸工学論文集，第37巻，pp.509-513.
- 豊島修・富永正照・橋本宏（1967）：海岸堤防に関する研究(8) 一波のうちあげ高一，土木研究所報告，第131号，pp.1-30.
- 柳生忠彦・白石修章・八尋明彦・渋谷晴夫・谷島義孝（1989）：消波式階段護岸の水理特性に関する実験的研究，海岸工学論文集，第36巻，pp.604-607.
- 山本正昭・西裕司（1984）：越波の少ない低天端堤の開発，第31回海岸工学講演会論文集，pp.537-541.
- Neelamani, S. and N. Sandhya (2004): Wave Reflection, Run-up, Run-Down and Pressure on Plane, Dentated and Serrated Seawalls, Coastal Engineering Journal, Vol.46, No.2, pp.141-170.