

フレア型護岸を用いた防波護岸システムの開発

九州大学工学部 学生員 ○井口要 上久保祐志 神田一紀
正会員 入江功 牛房幸光
宮崎大学工学部 正会員 村上啓介

1. はじめに

海岸におけるアメニティ向上の要請から、護岸天端を低くして景観を妨げないことや、護岸上を散策・魚釣りといったレクリエーションのための親水空間として開放することが望まれている。その一方で、高波浪が来襲した場合には、護岸背後の人命財産を災害から守る必要がある。護岸上をいつでも自由に利用できるように安全に開放するためには、越波量を極力小さくすることが重要な課題となる。これまでに、越波低減を目的として種々の形式の護岸構造物が提案され、それらの水理特性について研究がなされているが、これらの目的を達成するまでには至っていない。

著者らは十分な越波阻止機能を有し、低天端となりうる護岸の一つとして図-1 に示すフレア型護岸を考案し、その水理特性を実験的に検討してきた。当初考案した四半円形のフレア型護岸では、護岸の安定性や鉛直上向きの波力の増大が懸念されたが、それらの問題点は護岸下部にフーチングを設けることにより解決された。一方、砕波帯内・不規則波に対する水理特性及び反射率の問題は未解決であり現地への施工を考える場合これらの評価は必要不可欠であると考えられる。

本研究では、フレア型護岸の砕波帯内における越波制御特性、及び護岸の反射率を水理模型実験を用いて調べることを目的としている。

消波工：フレア型護岸

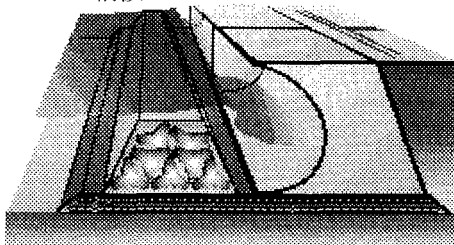


図-1 概念図

2. 実験装置と実験条件

(1) 限界天端高さの実験

(a) 規則波の場合の砕波帯内における限界天端高さの実験

実験は、図-2 に示す 2 次元造波水槽(長さ 20.0m, 高さ 1.2m, 幅 0.6m)に勾配 1/20 の不透過傾斜海浜を設け、その上にフレア型護岸の模型 ($B=10.0\text{cm}$) を設置して行った。入射波は規則波を用い、護岸前面で必ず砕波が生じる条件(波形勾配 $H_0/L_0=0.036$ のもと、波高 $H_0=10.0\text{cm}\sim 16.0\text{cm}$) で造波させ、設置水深 h を種々変化させた場合に越波が生じないために必要な最小の天端高さ hc (限界天端高さ)を求めた。

(b) 不規則波による砕波帯内及び沖浜帯の限界天端高さの実験

実験は、(a) の実験と同様の 2 次元造波水槽を用いて、スロープ上のフレア型護岸(護岸高さ $B=22.5\text{cm}$, 10.0cm) に不規則波を作用させて行った。実験では、Bretschneider-光易型スペクトルに基づいて沖波有義波高を $H_{1/3}=3.5\text{cm}\sim 10.0\text{cm}$ 、有義周期を $T_{1/3}=0.79\text{s}\sim 1.36\text{s}$ の範囲で変化させ、限界天端高さ hc を求めた。有義周期は、沖波の有義波高と有義波の波長の比が 0.036 となるように求めた。

(a), (b) 両実験とも護岸前面に消波工は設置せず、また、越波の有無は目視で確認した。

(2) 反射率の測定

実験は、図-2 の 2 次元造波水槽に勾配 1/20 の不透過傾斜海浜を設け、フレア型護岸(護岸高さ $B=22.5\text{cm}$) を設置して行った。入射波は規則波を用い、波形勾配 $H_0/L_0=0.036$ のもとで入射波の波高を $H_0=4.0\text{cm}\sim 14.0\text{cm}$ の範囲で変化させて反射率を測定した。護岸の設置水深 h は $h=9.0\text{cm}, 12.0\text{cm}, 15.0\text{cm}, 18.0\text{cm}$ と 4 点とり、護岸前面に消波工(奥行き 19.8cm 、天端高さ 3.75cm)がある場合とない場合についてそれぞれ実験を行った。

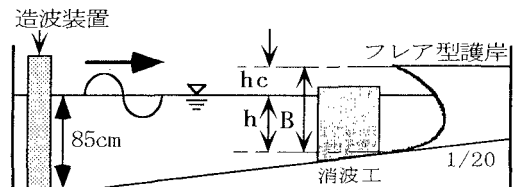


図-2 実験装置図

3. 実験結果と考察

(1) 限界天端高さ

(a) 規則波の場合の砕波帯内における限界天端高さの実験

図-3は、相対水深 h/H_0 に対する限界天端高さ hc/H_0 の変化を示したものである。図中の●は規則波の沖浜帯の結果、○は今回測定した砕波帯内の結果を示している。図より、 hc/H_0 は、 h/H_0 の減少とともに大きくなり、 $hc/H_0=0.8$ でピークをとって砕波帯内で減少していることが分かる。これは、砕波帯内では砕波により波が減衰され、護岸前面に達する波高が大幅に低減されるためであると考えられる。

(b) 不規則波による砕波帯内及び沖浜帯の限界天端高さの実験

不規則波による相対水深 h/H_0 に対する限界天端高さ hc/H_0 の変化も図-3 に示してある。不規則波を作用させた場合の限界天端高さは波群中の最大波高に依存するものと考えられる。一般に、構造物の設計における最大波高 H_{max} と有義波高 $H_{1/3}$ の関係は、海洋鋼構造物では $H_{max}=2.0 \times H_{1/3}$ 、混成防波堤では $H_{max}=1.8 \times H_{1/3}$ が用いられる。そこで、図-3 では沖波波高 H_0 を有義波高の1.8倍に取った場合と2.0倍に取った場合について各々■、◆で示している。図より、護岸設置水深と限界天端高さを沖波最大波高で整理すると規則波実験とほぼ同等の結果が得られることがわかる。また、不規則波においても、砕波の影響で砕波帯内では hc/H_0 が大きく減少していることがわかる。

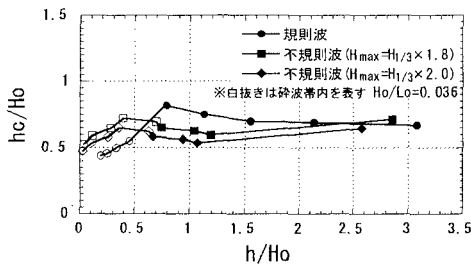


図-3 限界天端高さ

(2) 反射率

フレア型護岸前面に消波工を設置しない場合、設置する場合の反射率をそれぞれ図-4、図-5 に示す。図中の各プロットは、波形勾配 $H_0/L_0=0.036$ の波が護岸に作用した場合の相対設置水深 h/H_0 に対する反射率 K_r を示したものである。ただし、直立護岸については $h/B=0.53$ の結果を示している。図-4において、直立護岸の反射率と比較すると、フレア型護岸の反射率

は波高の増大に従って大きく低減している。これは、波高の増加に伴いフレア型護岸の断面に沿って返される水塊の量が大きくなり、前方の水面を乱す効果が大きくなるため反射率が低減するものと考えられる。

図-5 に示すフレア型護岸と直立護岸の結果を比較すると、波高が大きい場合には前述の理由でフレア型護岸の反射率が小さくなるが、波高が小さい場合には直立護岸の反射率が小さくなっている。これは、直立護岸では護岸直前に消波工があり、護岸前面にできる重複波の腹の部分が消波工の影響でエネルギーを大きく損失するが、フレア型護岸では護岸前面と消波工が離れており、エネルギー損失が少なくなるためであると考えられる。

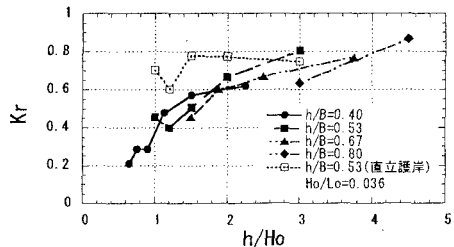


図-4 消波工を設置しない場合の反射率

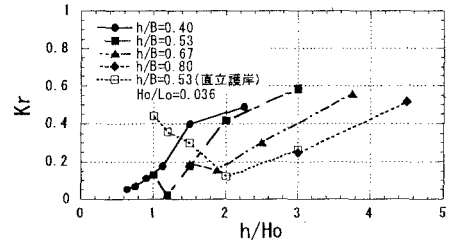


図-5 消波工を設置する場合の反射率

4. あとがき

今回の研究により、フレア型護岸の砕波帯内・不規則波に対する水理特性および反射率が明らかになった。主な結論は以下のとおりである。

- ① 砕波帯内では、砕波による波高の減衰により限界天端高さが小さくなる。
- ② 不規則波の最大波高に対する限界天端高さは規則波とほぼ同等の結果を与える。
- ③ フレア型護岸の反射率は、消波工の有無にかかわらず波高の増大に伴い減少し、また、消波工のない場合では直立護岸に比べて小さい。

なお、本研究では、フレア型護岸本体及び波の消波技術について、それぞれ九州電力(株)、(株)神戸製鋼所との共同研究として実施しているものである。