

# 水深が浅い消波護岸の防波フェンスに作用する波圧特性について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○菅原 健司  
上久保勝美  
山本 泰司

港湾、漁港及び海岸道路等の護岸天端高さについては、越波流量が許容値以下になるように設計されるが、微少な越波によって護岸背後の利用に支障を来すことは少なくない。その対策工としては、経済性や施工性に優れた防波フェンスが採用される例がある。しかしながら、静水面から高い位置に設置される防波フェンスの必要天端高さや、そのフェンスへの作用波圧等については明らかにされていない。本報告では、現地の2箇所の護岸をモデルに、水深が浅い消波護岸における越波特性と防波フェンスに作用する波圧特性を水理模型実験により検討する。

キーワード：消波護岸、防波フェンス、越波特性、波圧特性、水理模型実験

## 1. はじめに

海洋に面して護岸工を設置する場合、護岸の天端高は設計高波に対して越波流量が許容値以下になるように設計される。護岸背後に歩行者や通行車両があり、微少な越波や飛沫による利用障害があるような場合(写真-1)の対策工としては、コンクリート胸壁を設置することが一般的だが、鋼材等を使った防波フェンス(写真-2)の方が安価であり、また、透過性のある材料を用いた柵であれば景観上も有利となる。

木村ら<sup>1)2)3)4)</sup>は、防波フェンスの水理特性について個別の事例に対する検討を行っており、防波フェンスの設置が有効であることを示した。また、著者ら<sup>5)</sup>は、水深が浅い条件における直立壁へ作用する波圧特性を水理模型



写真-1 護岸からの越波状況



写真-2 防波フェンスの設置例

実験によって検討し、防波フェンスには合田式の数倍の波圧が作用することを示した。

しかしながら、静水面から高い位置に設置される防波フェンスの必要天端高さや、そのフェンスへの作用波圧等について十分には明らかにされていない。

本報告では、水深が浅い消波護岸を対象に、越波特性と防波フェンスに作用する波圧特性を水理模型実験により検討する。実験モデルには、実際に通行車両が越波によって支障を来しているA護岸とB護岸の2箇所を選定した。

## 2. 越波実験

### (1) 実験の目的

実務では、護岸の越波流量は越波流量推定図<sup>6)</sup>から求めるのが一般的である。しかしながら、防波フェンスを用いて防ぐような微少な越波については、推定精度が0.05~10倍と悪いことや、推定図の適用範囲を超える場合があるため、水理模型実験により越波特性を調べる。

### (2) 実験方法

A護岸については、長さ22m、幅0.8m、深さ2mの小型断面水路を用いて実験を行い、B護岸については、長さ28m、幅0.8m、深さ1mの小型断面水路を用いて実験を行った。実験は、全て不規則波を用い、造波開始1分後から約150波分の越波水を図-1、2に示すように、導水樋で背後の集水桶に集め、単位時間あたりの越波流量を算出した。実験は、同じ条件で3回ずつ繰り返して行い、平均値を用いて検討した。

A護岸及びB護岸における実験条件を表-1に示す。

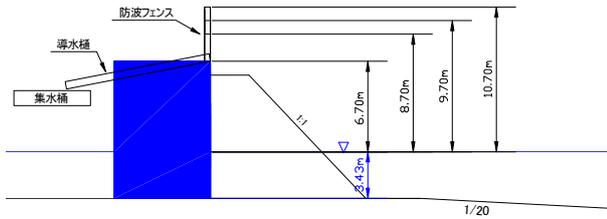


図-1 越波実験模型断面図 (A護岸)

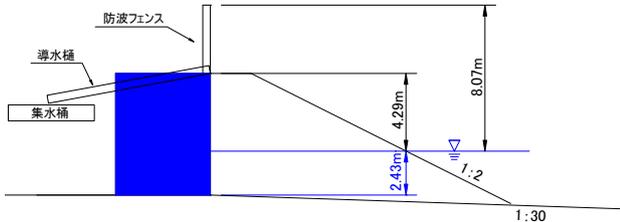


図-2 越波実験模型断面図 (B護岸)

表-1 越波実験条件 (現地値)

| 実験モデル                    | A護岸                            | B護岸          |
|--------------------------|--------------------------------|--------------|
| 海底勾配 (i)                 | 1/20                           | 1/30         |
| 実験縮尺 (s)                 | 1/15                           | 1/30         |
| 堤脚水深 (h)                 | 3.43m                          | 2.43m        |
| 換算沖波周期 (T <sub>o</sub> ) | 11.0s                          | 14.0s        |
| 換算沖波波高 (H <sub>o</sub> ) | 2.0m, 3.0m, 4.0m, 5.0m, 6.0m   |              |
| 天端高 (hc)                 | 6.70m, 8.70m,<br>9.70m, 10.70m | 4.29m, 8.07m |

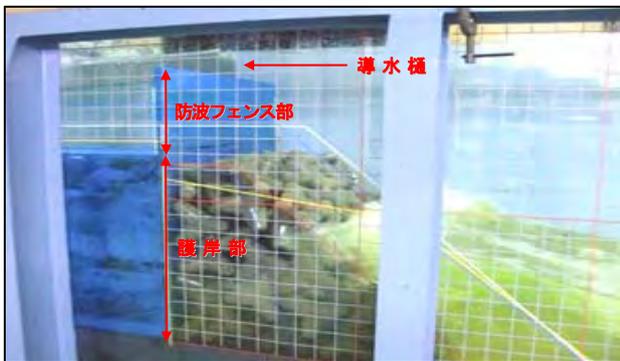


写真-3 越波実験状況の例 (A護岸 : hc=10.7m)

### (3) 実験結果

図-3は、A護岸に10年確率波相当波 (T<sub>o</sub>=11.0s、H<sub>o</sub>=6.0m) を作用させたときの天端高hcと越波流量qの関係を示したものである。A護岸は、海底勾配 (i) が1/20であるが、図中の破線は i=1/10の越波流量推定図<sup>9)</sup>から読み取った推定値である。図から実験値と推定値は、傾向が異なるがわかる。仮に、A護岸の許容越波流量を  $1 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$  とすると、推定値から求めた所要天端高は hc=9.0mとなるが、実験値では hc=10.7mとなり、推定値よりも高いフェンスが必要になることがわかった。

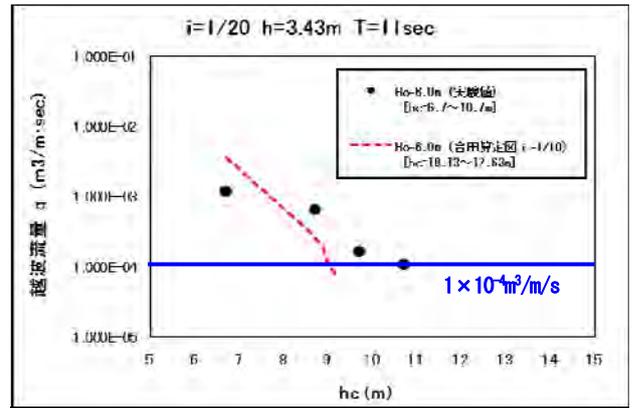


図-3 実験値と推定値の比較 (A護岸)

なお、hcが9.0m以上では、推定図の適用範囲外となる。

図-4は、A護岸の実験値を全てプロットしたものであり、各軸の越波流量  $q^*$  と天端高  $hc^*$  は、合田ら<sup>7)</sup> にならって堤前有義波高  $H_{1/3}$  を用いて、次式により無次元化して示してある。

$$q^* = q / \sqrt{gH_{1/3}^3} \quad (1)$$

$$hc^* = hc / H_{1/3}$$

バラツキはあるものの、対数表示した  $q^*$  と  $hc^*$  は、概ね直線的な関係にある。図中の実線は、次式に示す近似曲線である。

$$q^* = Q_0 \exp(-b \cdot hc^*) \quad (2)$$

ここに、 $Q_0$ 、 $b$  は定数であり、この条件の場合、 $Q_0=0.012$ 、 $b=1.9$ であった。

同様に、B護岸の実験値を図-5に示す。A護岸とは海底勾配や堤脚水深が異なるものの、 $q^*$  と  $hc^*$  は、概ね直線で近似できる。この条件の場合、 $Q_0=0.057$ 、 $b=3.1$ であった。

以上のように、水深が浅い消波護岸の越波流量は、式(2)を用いて推定できると考えられるが、式中の  $Q_0$ 、 $b$  は、海底勾配や堤脚水深等の影響を受けられるので、様々な条件で実験データを蓄積することが今後必要である。

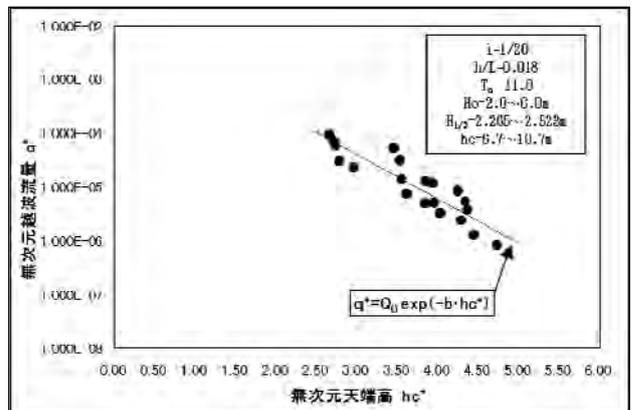


図-4 天端高毎の越波流量 (A護岸)

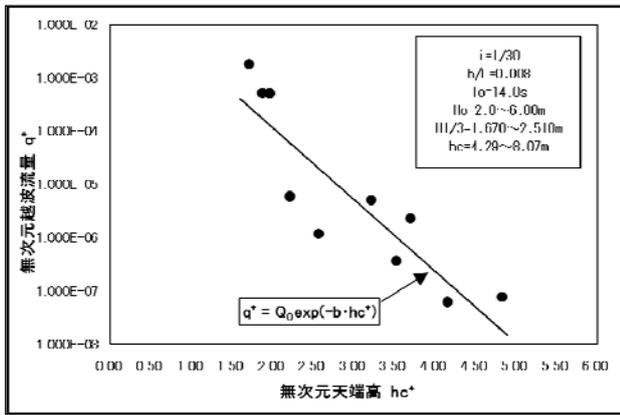


図-5 天端高毎の越波流量 (B護岸)

### 3. 波圧実験

#### (1) 実験の目的

直立壁に作用する波圧の算定には、合田式が用いられるが、合田式の波圧作用高さより高い位置においても、波圧が作用することが既往の研究<sup>3)4)5)</sup>で示されている。ここでは、防波フェンスに作用する波圧特性を調べるために、前章と同様に、A護岸とB護岸を対象として水理模型実験を行う。

#### (2) 実験方法

A護岸及び、B護岸ともに長さ28m、幅0.8m、深さ1mの小型断面水路を用いて実験を行った。50年確率波相当の不規則波を、約150波作用させてフェンスに作用する波圧を計測した。実験模型を図-6、7及び写真-4に示す。護岸本体上に複数設置した受圧板に作用する波力を、受圧板の両端に取り付けた定格5kgのロードセルにより、サンプリング周期0.005sで面的に計測した。

実験条件については、表-2に示すとおりであり、A護岸B護岸ともに波浪及び、水深条件は一定とした。また、比較のためB護岸については、消波工を取り除いた条件でも実験を行った。波圧はそれぞれ10回ずつ繰り返し計測した。なお、受圧板による計測系の固有振動数は120Hzである。

#### (3) 防波フェンスへの波の作用

図-8に、受圧板に作用する波力の時系列波形の例を示す。受圧板2枚の内、下の受圧板の波力を青線で、上の受圧板を赤線で示している。また、このときの波の作用状況を写真-5に示す。堤体からの反射波の上に乗り上げるように次の波が進行し、消波工の天端を乗り越えて、受圧板に衝突し打ち上がる状況であった。受圧板には、始め衝撃的で大きな力が作用し、その後静的な波力の腰掛け部が続いていることがわかる。

#### (4) 防波フェンスへ作用する波圧分布

各受圧板に作用する波圧の合力が最大となるときの同時波圧分布を図-9に示す。縦軸は静水面からの無次元高さ (z/Hmax) である。横軸は各受圧板が受けた荷重を

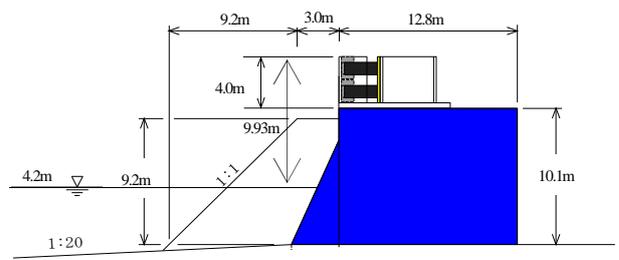


図-6 波圧実験模型断面図 (A護岸)

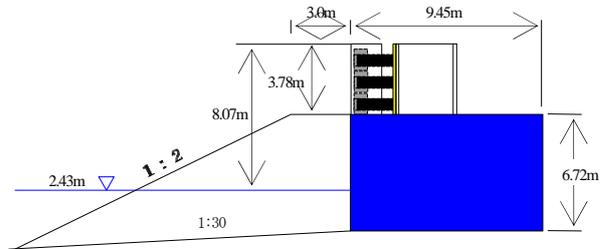


図-7 波圧実験模型断面図 (B護岸)

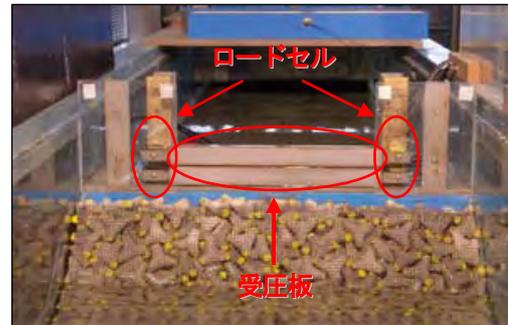


写真-4 堤体模型 (A護岸：正面)

表-2 波力実験条件 (現地値)

| 実験モデル       | A護岸   | B護岸   |
|-------------|-------|-------|
| 海底勾配 (i)    | 1/20  | 1/30  |
| 実験縮尺 (s)    | 1/40  | 1/30  |
| 堤脚水深 (h)    | 4.20m | 2.43m |
| 換算沖波周期 (T0) | 14.0s | 14.0s |
| 換算沖波波高 (H0) | 7.7m  | 6.72m |
| 天端高 (hc)    | 9.93m | 8.07m |

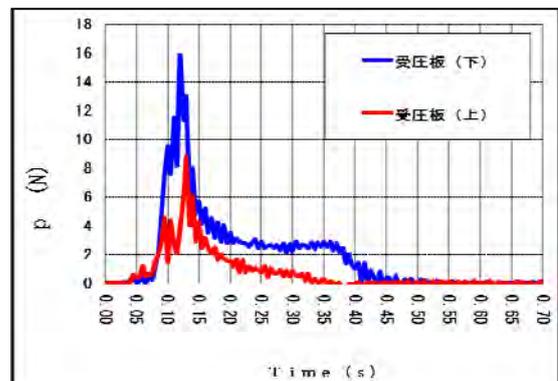


図-8 波力の時系列波形の例 (A護岸)



写真-5 波圧実験状況の例 (A護岸)

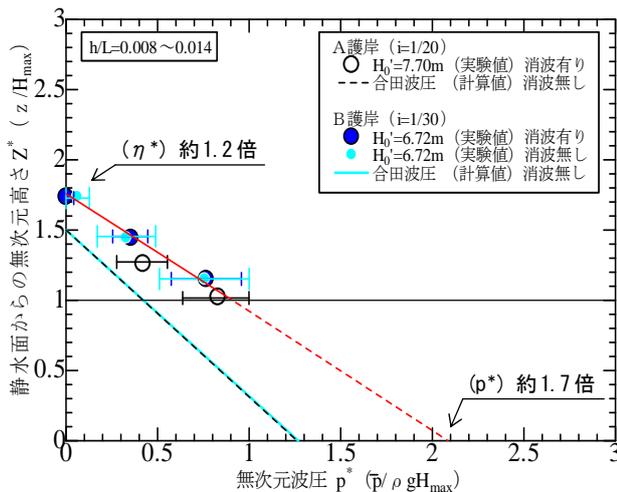


図-9 最大同時合成波時の波圧分布

受圧面積で除して求めた作用波圧  $\bar{p}$  を水の密度  $\rho_0$ 、重力加速度  $g$  及び最高波高  $H_{max}$  で無次元化した波圧である。実験値は、10回繰り返した実験の平均値と標準偏差を示している。

フェンスに作用する波圧は、静水面からの高さに対して、直線的に減少している。まず、B護岸の実験結果に着目すると、消波工が無い場合は有る場合と比べて波圧の標準偏差は大きい、平均値の分布はほぼ等しくなっている。さらなる検討が必要ではあるが、静水面よりも相当高い位置における作用波力は、消波工による波力低減効果は期待出来ない可能性がある。

次に、A護岸の波圧分布をみると、B護岸の波圧分布とほぼ等しくなっている。

そこで、上記の3条件の波圧分布が等しいと仮定して、近似線を図中に赤線で示した。また、合田式から求めた消波工無しの波圧分布を青線で示した。波圧作用高さと同様に、合田波圧より大きくなっている。これは堤脚水深が浅く、海底勾配が急であることが原因として考えられる。

合田波圧と比較すると、実験値の波圧作用高さは、約1.2倍、静水面の波圧強度は、約1.7倍であった。

以上のように、限られた検討結果ではあるが、護岸天端上に設置される防波フェンスの波圧分布は、消波工の有

無による影響が小さく、合田式を割り増して作用波圧を推定出来ることが示唆された。ただし、今回検討した防波フェンスの設置高さの無次元値は、概ね1.0以上であることに注意が必要である。

#### 4. まとめ

本報告では、水深が浅い消波護岸を対象に越波特性と防波フェンスに作用する波圧特性について、水理模型実験を実施して検討した。以下に得られた知見をまとめる。

- ① 水深が浅い消波護岸の越波流量は、式(2)を用いて推定可能なことが示唆された。ただし、式中の係数の値については、さらなる検討が必要である。
- ② 消波護岸上の防波フェンスには、衝撃的な力が作用する。防波フェンスの波圧分布は、消波工の有無による影響が小さく、また、合田式を割り増して作用波圧を推定出来ることが示唆された。今回の検討範囲では、波圧作用高さは約1.2倍、静水面の波圧強度は約1.7倍であった。ただし、今回検討した防波フェンスの設置高さの無次元値は、概ね1.0以上であることに注意が必要である。

以上に示した知見は、非常に限られた実験から導かれたものなので、今後様々な条件における検討が必要である。また、作用時間が短い衝撃的な荷重に対する防波フェンスの設計法については検討の余地がある。

#### 参考文献

- 1) 木村克俊・安田佳乃子・山本泰司・梅沢信敏・清水敏晶・佐藤隆：道路護岸における越波による通行障害とその対策について、海岸工学論文集、第48巻、pp.756-760、2001。
- 2) 木村克俊・浜口正志・岡田真衣子・清水敏晶：消波護岸における越波飛沫の飛散特性と背後道路への影響、海岸工学論文集、第50巻、pp.796-800、2003。
- 3) 木村克俊・古川諭・山本泰司・吉野大仁：海岸覆道用防波板の高波による被災特性とその再現実験、海岸工学論文集、第53巻、pp.871-875、2006。
- 4) 山本泰司・木村克俊・南部裕之・高橋元樹・今村晃久・熊木功治：国道231号湯泊地区の海岸道路における越波の観測と対策工の検討、海岸工学論文集、第55巻、pp.956-960、2008。
- 5) 菅原健司・上久保勝美・山本泰司：水深が浅い直立壁に作用する波圧特性について—防波フェンスを対象とした検討—、第52回北海道開発局技術研究発表会論文集、2009。
- 6) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、社団法人日本港湾協会、p.170、2007。
- 7) 合田良実：CLASHデータベースに基づく統一的越波流量推定式の提案、海洋開発論文集、第24巻、pp.939-944、2008。