

# 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—

(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

近年、海岸護岸からの越波飛沫に対し、安全策として比較的経済性や施工性に有利な越波対策工の設計法が急務となっている。海岸部などの水深が浅い条件において直立壁に作用する波圧を算定する場合、一般的に合田式が用いられている。しかしながら、堤体のやや前面で碎波する波により水塊と飛沫が打ち上がり、防波フェンス部における作用波圧を合田式では過小に評価される場合がある。

本研究では、堤体天端上で設置される防波フェンスに着目し、水理模型実験による波圧実験を行い、フェンスに作用する波圧分布特性について考察を行うものである。

キーワード：防波フェンス、直立壁、飛沫、波圧分布、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、護岸天端高さ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、微小な越波や飛沫による利用障害があるような場合の対策工としては、一般的なコンクリート胸壁を設置するよりも鋼材等を使った越波防止柵の方が安価であり、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。

田村ら<sup>1)</sup>は、水深に対して波高が比較的小さな重複波条件において、越波防止柵に作用する波力特性を2次元水理模型実験により検討し、合田式が適用可能であることを示した。また、有孔型の柵ではその透過率に応じて作用波力が低減することも併せて明らかにした。

本報告では、水深の浅い条件を対象に同様の検討を行うものである。写真-1は海岸道路における越波による

通行障害の例である。このような海岸護岸は一般的に水深が小さいが、極めて浅い条件における合田式の適用性については検討の余地がある<sup>2)</sup>。また、合田式は本来、防波堤の耐波安定性の確保を目的にしているため、静水面より相当高い位置における構造物の耐波設計への適用性は十分検討されていないと考えられる。このため、このような条件における防波フェンスに作用する波圧特性を、2次元水理模型実験により検討する。また、実物大のフェンスを用いた落水実験を実施し、フェンス部材の断面形状や透過率が波力に与える影響を明らかにするものである。

## 2 直立壁に作用する波圧

### (1) 実験方法

水深が浅い条件において、護岸天端部に設置される防波フェンスへの作用波圧を把握するため2次元水理模型実験を行った。長さ28.0m、幅0.8m、深さ1.0mの2次元造波水路に、勾配1/30のモルタル水路床を製作し、図-1、写真-2に示す護岸模型を設置した。模型前面の静水面より上方には受圧版が5枚配置され、それぞれの板の両端に固定されたロードセルにより作用波力を計測する。これにより、不規則に発生する水塊や飛沫の波圧を面的に計測出来るようになっている。

実験では約150波の不規則波を作用させたときの波力を200Hzにて計測した。実験条件については表-1に示すとおりであり、水深は一定とし、波浪条件を3周期、3波高に変えた。また、田村ら<sup>1)</sup>と同様に、写真-3



写真-1 海岸護岸からの越波状況と被害状況

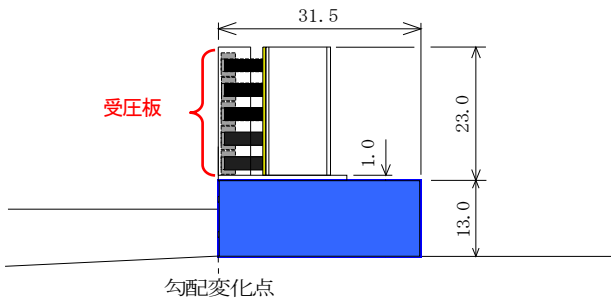


図-1 堤体模型断面図 (cm)

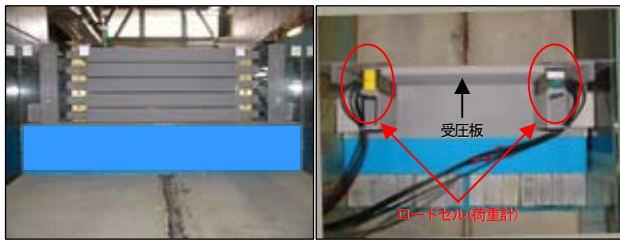


写真-2 堤体模型 (左:前面、右:平面) [ $\epsilon=0\%$ ]

表-1 実験条件

勾配 (i)	1/30
水深 (h)	8.1 cm
周期 ( $T_0'$ )	1.83 s, 2.19 s, 2.56 s
波高 ( $H_0'$ )	16.7 cm, 20.0 cm, 22.3 cm
構造 ( $\epsilon$ )	受圧板の透過率 3 種類 ( $\epsilon=0\%$ , $30\%$ , $50\%$ )

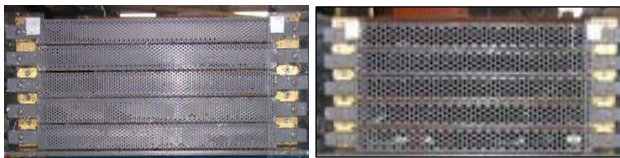


写真-3 透過受圧板 (左:  $\epsilon=30\%$ , 右:  $\epsilon=50\%$ )

に示す有孔型の受圧板を用い透過率を 3 種類変化させた実験も行った。

なお、受圧板による計測系の固有振動数は 124 Hz であった。

## (2) 直立壁に作用する波圧特性

図-2 に、各受圧板に作用する波圧合力が最大となるときの同時波圧分布を示す。横軸は作用波圧であり、受圧板が受けた荷重を受圧面積で除して求めた。縦軸は静水面からの受圧板の高さであり、波高をパラメータとし、各周期別に示している。各図中の実線は合田式から求めた波圧分布である。

5 枚の受圧板のうち下から 2 枚の受圧板に作用する波圧は、合田式の数倍に達していることがわかる。これは、海底勾配が 1/30 と急であることと、堤体水深がかなり小さいことによると考えられる。波圧の大きさにはバラツキがあるものの、波高が大きくかつ周期が長いほど波圧

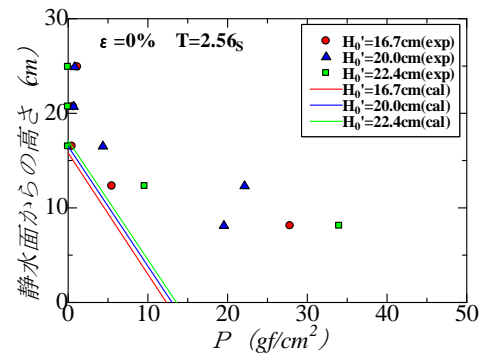
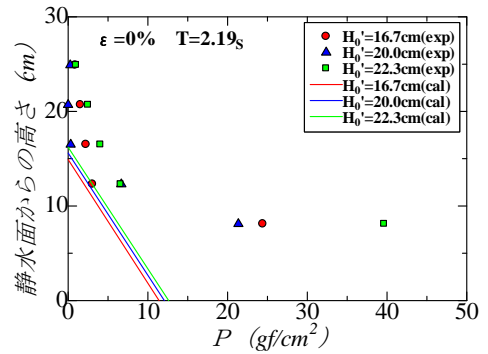
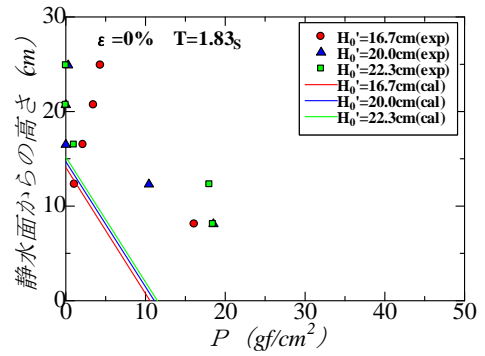


図-2 受圧板に作用する最大同時波圧分布 ( $\epsilon=0\%$ )

は大きくなる傾向であることが分かる。また、合田式の波圧作用高よりも高い位置においても波圧が作用していることが確認できる。防波フェンスは、微小な越波や飛沫より利用障害があるような場合の対策として護岸上に設置されるものであるが、合田式の波圧作用高よりも高い位置においても波力が作用するので、フェンスの設計には注意が必要である

## (3) 波の打ち上がりパターン

前節で述べた、合田式の波圧作用高よりも上の箇所と比較的大きな波圧が作用するときの、波の作用状況を撮影したビデオにより確認する。写真-4 は、 $T_0' = 2.56$  s、 $H_0' = 22.4$  cm の条件における波の代表的な作用パターンの連続写真である。写真-4 (1) に示すパターン①は、堤体からの反射波の上に乗上げるように次の波が進行し、静水面よりも上の受圧板に対し、垂直に衝突して打ち上がる現象。写真-4 (2) に示すパターン②は、堤

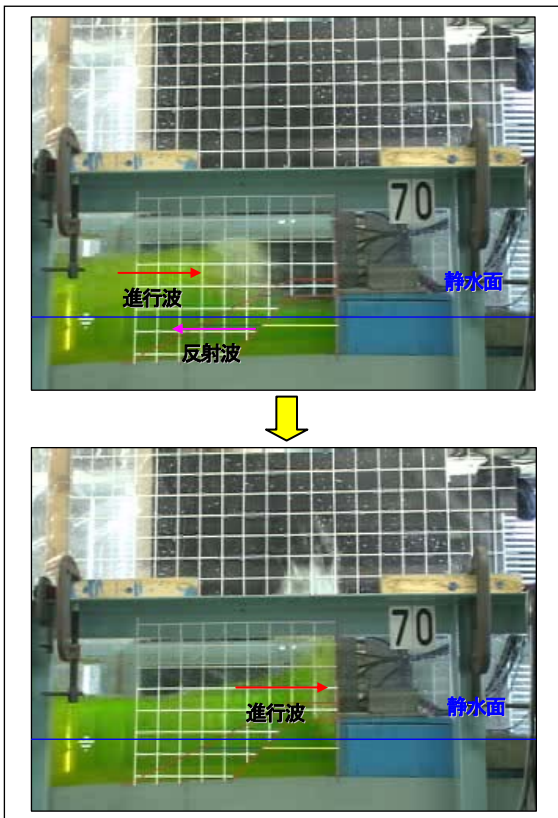


写真-4 (1) 波の打ち上がりパターン①

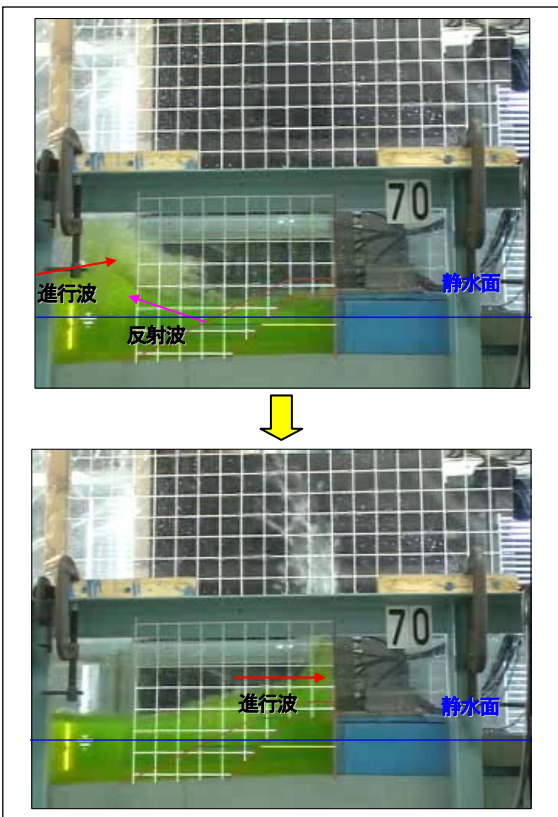


写真-4 (2) 波の打ち上がりパターン②

体前面で反射波と進行波がぶつかり、反射波がジャンプ台のような作用となって、進行波が静水面より上の受圧

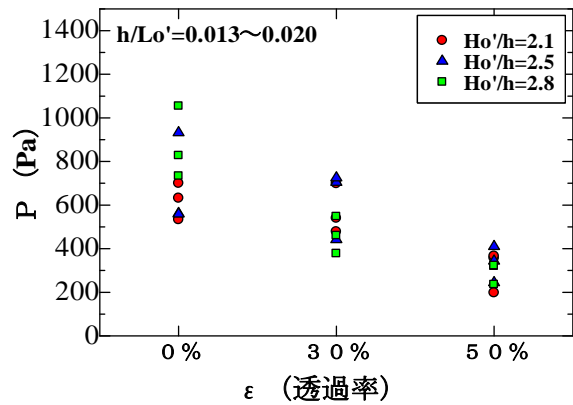


図-3 透過率の変化に伴う波圧分布図

板に衝突して打ち上がる現象である。このように、合田式の波圧作用高より高い位置への波力の作用には、堤体からの反射波が大きくかかわっている。このような現象は、波の不規則性が重要な要素であり、また、水深が極めて浅い条件で顕著になると思われる。

#### (4) 透過率が波圧に及ぼす影響

有孔型の受圧板を用いたときの、透過率と無次元波圧分布の関係を図-3に示す。横軸を透過率、縦軸を各受圧板で同時に計測された最大の合成波圧とし、波高をパラメータとして示した。

この図から、透過率が大きくなると受圧板に作用する波圧がほぼ直線的に低減することが確認できる。なお、 $\epsilon=0\%$ においては波高の影響を受けてバラツキも大きいですが、透過率が増すにつれてバラツキは小さくなり、周期や波高の影響を受けにくくなる傾向であることがわかった。

### 3. 落水実験

#### (1) 実験方法

前章では造波水路を用いた実験により、有孔型のフェンスに作用する波力とフェンス透過率の関係を検討したが、フルードの相似則の適用性は明らかではない。このため、実際に海岸護岸で設置されているフェンス部材を用いた実験を行い、透過率の影響を調べた。また、現地で用いられているフェンス部材の断面は、凹凸形状となっており（以下、折板と呼ぶ）、波力に及ぼす断面形状の影響についても検討する。

図-4に示す実験模式図とおり、定格500Nの分力計2台の上にフェンス部材を水平に固定し、約1.0m上方に設置した塩ビ管の中に入れた水を落下させてフェンス部材に作用する荷重を200Hzで測定した。実験においては落水状態の再現性を高めるため、管の下部に水を満たした

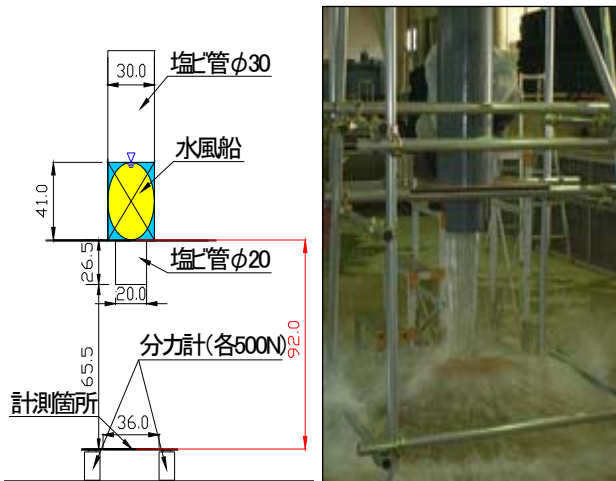


図-4 落水実験模型図 (cm)

写真-5 落水実験状況



写真-6 計測板(左:平板、右:折板)  $\varepsilon=30\%$

風船を置き、塩ビ管中の水位を一定に保って、風船を針で破裂させることで一気に落水させた(写真-5)。

実験に用いたフェンス部材は写真-6に示すように平板と折板の2種類とし、透過率は0~37%の4種類を用いた。実験は同一条件で10回繰り返し、波力は各実験の最大値に着目し、10回分の平均値と標準偏差を用いて整理した。

## (2) 透過率と断面形状の影響

図-5に、平板に作用する力の時間波形の例を示す。穴のないケースである透過率 $\varepsilon=0\%$ の場合では、着水直後に比較的大きな衝撃的な力が作用し、その後になだらかに減じる力(腰かけ部)が続いている。一方、 $\varepsilon=30\%$ の場合は、初期の衝撃波形が現われていない。また、腰かけ部の力の大きさも一定の割合で小さくなっているようである。図-6は、各条件における最大圧力の平均値と標準偏差を示している。圧力は、便宜的にフェンスに作用した力の最大値を、落水筒の下端の面積で除したものである。フェンスの断面形状によらず、透過率が大きくなると作用圧力は減少しているが、その傾向はフェンス形状によって異なっている。平板では、 $\varepsilon=0\%$ のときには前述のとおり衝撃力が作用するが、透過率が10%以上では、透過率が大きくなるに従って直線的に圧力が低減している。折板の場合は、平板より1.4倍程度大きな力が作用している。これは、落下した水が着水後にフェンスのくぼみに集まるためであると考えられる。

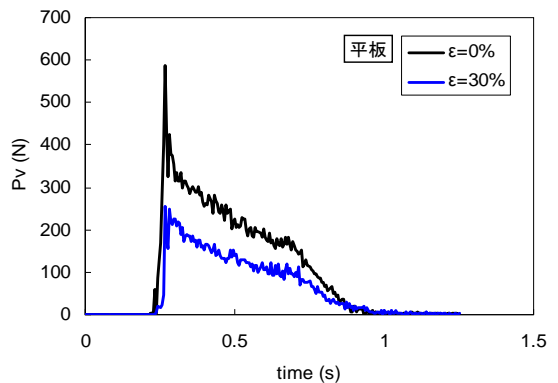


図-5 平板に作用する力の時系列の例

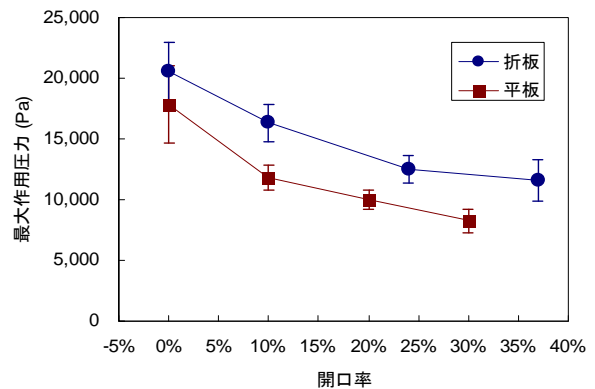


図-6 フェンスに作用する最大圧力

## 4. まとめ

本実験結果により海岸護岸のような水深が比較的浅く、海底勾配も比較的急な条件下における防波フェンスへの波圧分布特性について以下に知見をまとめる。

- ① 海岸護岸の天端上に防波フェンスを設置する場合、合田式で求める波圧作用高さより上の箇所においても波圧が作用し、静水面付近では合田式で求めた値よりも最大で数倍もの波圧が作用していた。
- ② フェンス部へ打ち上がる波の状況をビデオにより確認した。打ち上がりパターンとしては大きく2パターンに分けられ、堤体設置位置よりやや前面において、反射波と進行波が重なり、または衝突することで静水面よりかなり高い位置まで波圧が作用することがわかった。
- ③ 断面実験の結果、田村ら<sup>1)</sup>と同様に、水深が比較的浅い条件下においても、透過率が増すほど波圧の低減効果が確認出来た。
- ④ 落水実験により、一定の波圧を作用させることで、実物規模のフェンスに対し、透過率の変化に伴う波圧の低減効果や形状の変化による波圧の違いがわかった。

今回の実験から、水深の浅い条件において護岸上に防波フェンスを設置する場合には、合田式の適用性について十分な検討が必要であることが分かった。今後は更に実験データを蓄積することで防波フェンスの設計指針を示すことが可能となると思われる。

付記：本研究は室蘭工業大学との共同研究として実施しているものである。

## 参考文献

- 1) 田村友行、山本泰司、森昌也：防波フェンスを用いた簡易な越波対策工の検討，第51回北海道開発局技術研究発表会論文集，2008.
- 2) 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.202，2007.