

# 道路護岸用防波フェンスに関する水理模型実験

Model tests on hydraulic performances of splash barrier for coastal highway

室蘭工業大学 大学院  
室蘭工業大学 建設システム工学科

学生員 白井智司(Satoshi Usui)  
正会員 木村克俊(Katsutoshi Kimura)

## 1. まえがき

臨海道路では、越波飛沫によって運転者の視界障害や車両被害が生ずる危険性がある。越波飛沫の対策としては消波ブロックの設置などが考えられるが、施工が困難な地域も存在する。こうした場合の対策工として図-1のような防波フェンスが有効である。北海道内の国道においても既にいくつかの路線で採用実績があり、その効果が確認されている。しかしながら防波フェンスの標準的な設計法は確立されておらず、これまでの経験に基づいて各部の諸元を決定しているのが現状である。

そこで本研究では、消波工のない護岸を対象として水理模型実験を行い、防波フェンスの形状と設計波力を明らかにする。



図-1 道路護岸上に設置された防波フェンス

## 2. 飛沫の打ち上げ高さの算定法

図-2に示すような前面壁が傾斜した護岸における越波飛沫の打ち出し角度  $\theta$  と初速度  $v_s$  については、式(1)~(3)のように定式化されている<sup>1),2)</sup>。

$$\theta = 0.545\beta + 40.95 \quad (1)$$

$$v_s = K_D \cdot K_B \sqrt{gH_d} \quad (2)$$

$$K_D = 5.8 \exp\left\{-0.2\left(\frac{h}{H_o'}\right)\right\} \quad (3)$$

$$\left(-0.5 \leq h/H_o' \leq 4.0\right)$$

式中で、 $\beta$  は堤体前面角度、 $h$  は堤体設置水深、 $H_o'$  は換算沖波波高、 $H_d$  は堤体前面波高、 $K_D$  は水深係数で水深波高比により決まる。 $K_B$  は構造係数で、今回の実験で用いたような不透過構造の場合は  $K_B = 1.0$  である。

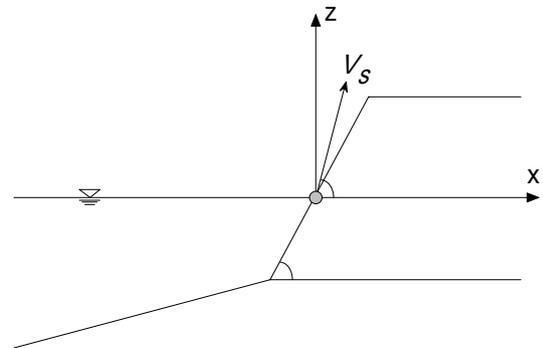


図-2 越波飛沫の打ち出し角度

## 3. 実験方法

水理模型実験は2次元造波水路(長さ24m,幅0.6m,高さ1.0m)で行い、海底勾配1/30の水路床上に堤体模型を設置した。図-3に示すようにパラペットのない堤体上に、単純な直立壁および水平型張り出し部を有する直立壁の2種類のフェンス模型を設置した。2種類とも不透過な条件とした。

表-1に実験条件を示す。実験縮尺は1/50とした。実験はすべて不規則波で行い、1波群150波を標準とした。なお、波圧の平均値および標準偏差を求めるため10波群の実験波を作用させた。沖波波高  $H_o'$  は6~14cmの3種類とした。堤体前面角度は45~90°の4種類、フェンス高さ  $l$  は4.7~14.0cmの3種類に変化させた。図中の黒丸は波圧計の位置を示している。

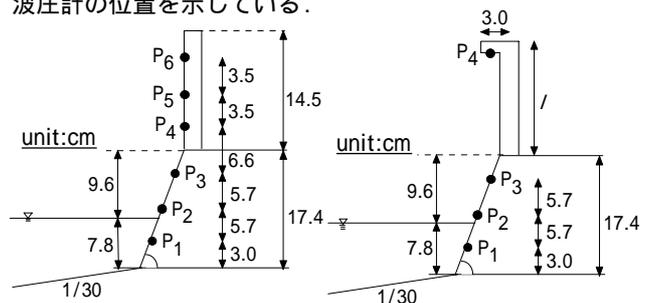


図-3 実験断面

表-1 実験条件

堤体設置水深 $h$ (cm)	7.8
周期 $T$ (s)	1.8
換算沖波波高 $H_o'$ (cm)	6、10、14
堤体前面角度 (°)	45、63、73、90
フェンス高さ $l$ (cm)	4.7、9.3、14.0
海底勾配	1/30
実験波(作用波数)	不規則波(150波)

4. 波圧特性

4.1 波の作用状況

図-4は波が護岸に衝突した後の水塊の動きを表している。図の左側に示す直立壁の場合には、波が衝撃的に作用し大きな波圧が働く。その後フェンスに沿って水塊が上昇し、フェンスの張り出し部を直撃する。

図の右側に示す  $\theta=73^\circ$  の場合には、壁面に沿う波力成分と、壁面に鉛直に働く波力成分に分かれる。傾斜壁を駆け上がった水塊は気泡を多く含むフェンスの上部まで到達し、張り出し部に波力が作用する。

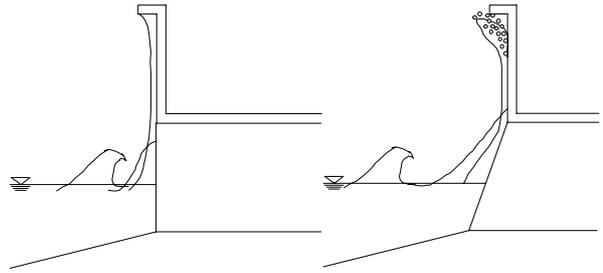


図-4 護岸への波の作用状況

4.2 直立部に働く波圧

図-5は  $\theta=90^\circ$  の護岸に作用する最大波圧  $p_{max}$  の分布を示している。実験では  $H_0'=6, 10, 14\text{cm}$  の3種類に変化させた。それぞれの波圧は10波群の平均値と標準偏差を示している。なお、図中の実線は合田式による計算値である。波高が大きくなるほど実験値が計算値より大きくなることわかる。また静水面より15cm高い場所では、波圧の計算値がゼロになっているが実験値では最大で0.2kPaの波圧が作用している。

図-6は傾斜壁に対する波圧分布を示している。波高は  $H_0'=14\text{cm}$  で一定とした。合田式による波圧の計算値は堤体前面角度  $\theta$  を考慮して補正した<sup>3)</sup>。波圧の実験値は計算値に比べて大きいことわかる。すでに図-5で示した  $\theta=90^\circ$  と比較する。傾斜壁では直立壁に比べて護岸およびフェンス上部に作用する波圧は小さくなるが、フェンス下部に作用する波圧は大きくなる。これは壁面に沿って遡上した水塊がフェンス下部に作用するためである。

図-7では、波圧の作用高さ  $z_{max}$  について合田式による計算値と実験値を比較している。堤体前面角度  $\theta$  は4種類に変化させた。図中の実線は合田式による計算値を示しており、実験値は各波高10波群の作用高さの平均値および標準偏差を表したものである。 $\theta$  を変化させても  $z_{max}$  に変化はなく、実験値が計算値の1.3倍程度の高さまで波圧が作用していることがわかる。

4.3 張り出し部に働く波圧

図-8は横軸にフェンス高さ  $l$ 、縦軸にフェンスの張り出し部に作用する最大波圧  $p_{max}$  を示したものである。波圧は10波群の平均値を示している。図中の点線は各波高の実験値を直線近似したものである。まず  $\theta=90^\circ$  ではフェンスが高くなるとともに  $p_{max}$  も減少している。次に堤体前面角度  $\theta$  による変化をみると、角度が小さくなるにつれてフェンスの張り出し部に作用する波圧も小さくなっていることがわかる。

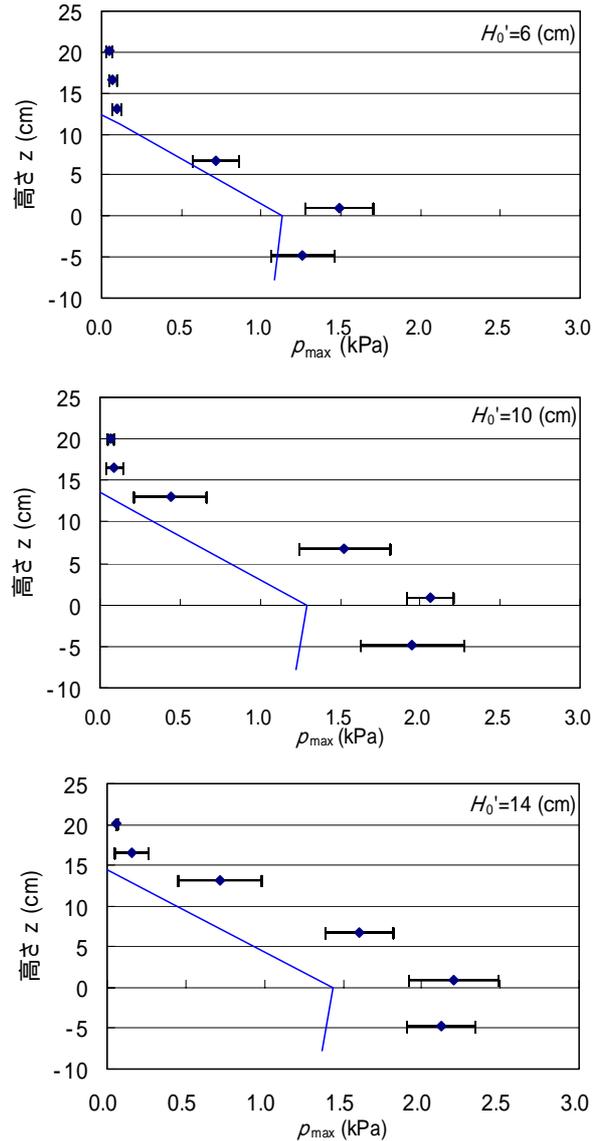


図-5 堤体前面における波圧分布 ( $\theta=90^\circ$ )

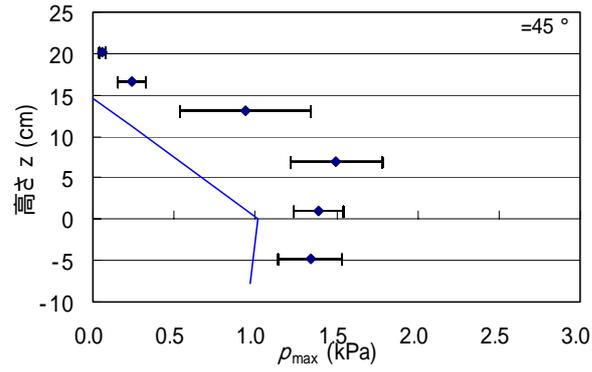
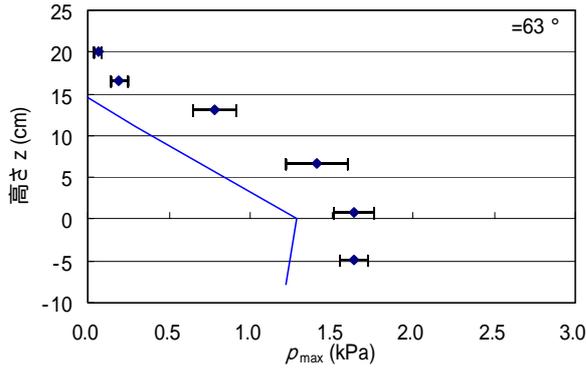
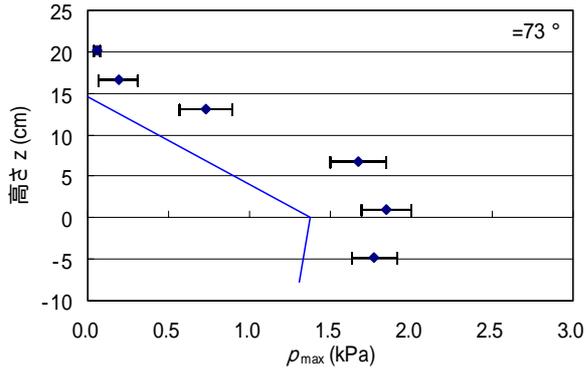


図-6 堤体前面における波圧分布 ( $H_0' = 14\text{cm}$ )

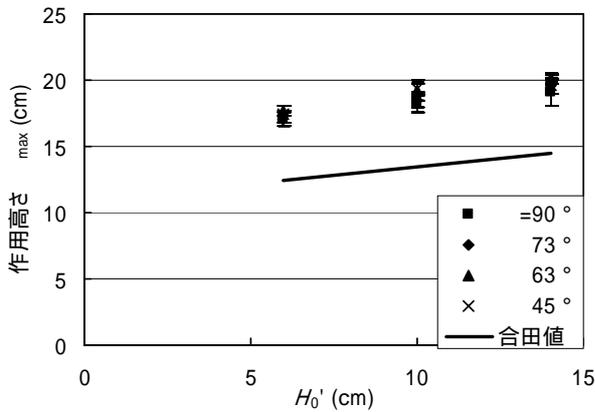


図-7 合田値と実験値との比較

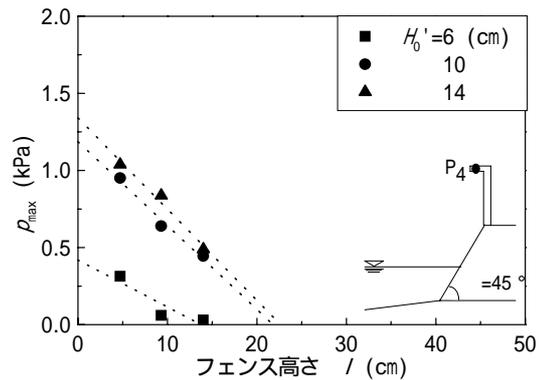
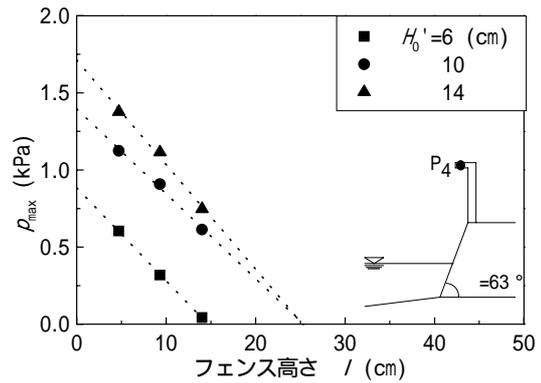
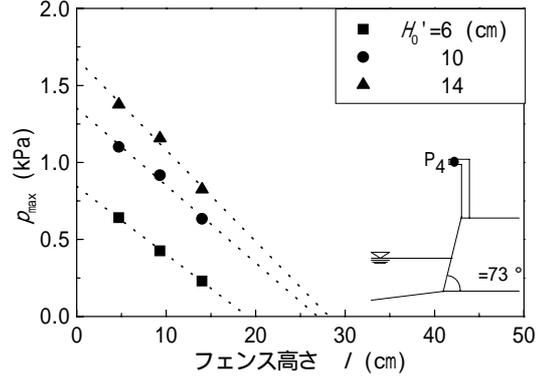
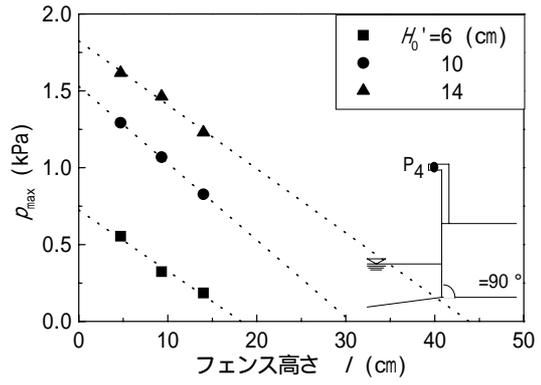


図-8 張り出し部に作用する波圧

5. 防波フェンスの試設計

5.1 必要高さ

図-9は試設計の対象とした護岸および防波フェンスの形状を示している。堤体前面角度は $73^\circ$ とし、フェンスの張り出し部は飛沫の上方への飛散を抑制するため、先端を沖側に曲げる構造を採用した。大きな波圧が作用するフェンス下部はコンクリートで補強し、それより上の部分にはアラミド繊維シートやポリカーボネート板などの光を透過する材料を使用する。必要高さを算定する際の対象波浪は $H_0'=3\text{m}$ とした。

図-10は $73^\circ$ の護岸に波が作用したときの越波飛沫の軌跡を示している。波高は $H_0'=1\sim 3\text{m}$ の3種類に変化させた。初速度および打ち上げ角度は式(1)~(3)から算出した。計算で求めた軌跡では、波高によって最大到達高さが変化するが、フェンスに飛沫が当たる位置は護岸天端から4.7mの高さとなっているので、若干の余裕をみてフェンスの必要高さを5.0mとした。

設計波浪条件を $H_0'=7.0\text{m}$ ,  $T=12.7\text{s}$ と仮定し、前出の図-6を用いてフェンスに働く水平波圧について検討する。岡田ら<sup>4)</sup>は、フェンスに使用する光透過性材料が現地換算で $3\text{tf}/\text{m}^2$  (30kPa)程度の強度を持つことを明らかにしている。これより、作用波圧がこの値を上回る天端から3.0mまではコンクリートで補強し、その上の2.0mの部分を光透過性材料を用いることとした。

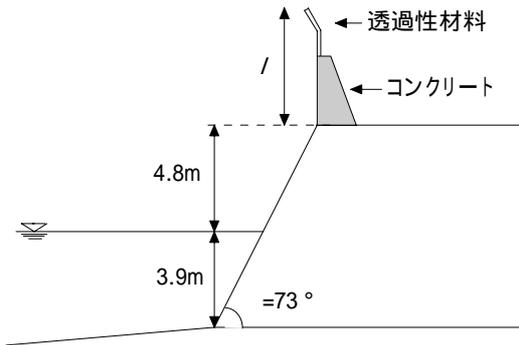


図-9 試設計の断面形状

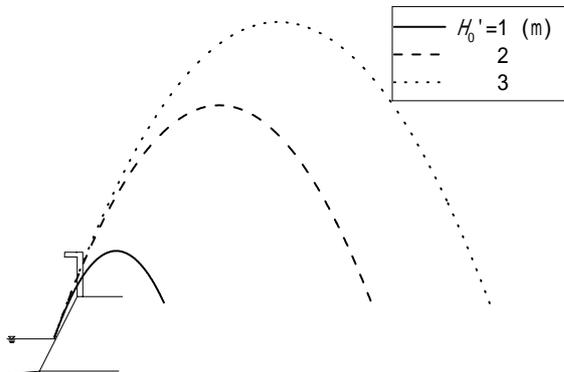


図-10  $73^\circ$ のときの越波飛沫の軌跡図

5.2 張り出し部の作用波力

図-11は張り出し部の形状を示している。作用波圧は張り出し部に直角に作用する成分と張り出し部に沿う成分の2つに分かれる。

前出の図-8から設計波浪条件に対応する水平型の張り出し部への作用波圧は1.2kPaとなる。図-11の張り出し部に作用する波圧は $\sin 30^\circ$ を乗じて0.6kPaとなる。これを現地換算すると30kPaとなることからフェンスに使用する光透過性材料の強度で十分であることがわかった。

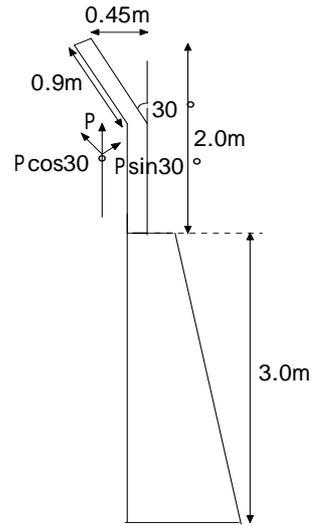


図-11 張り出し部に作用する波圧

6. 結論

護岸の傾斜角を変化させた場合の防波フェンスの設計法について検討した。主要な結論は以下の通りである。

防波フェンスに働く水平波圧の大きさおよび作用範囲を明らかにした。

防波フェンスの張り出し部への作用波圧を明らかにした。

具体的な設計条件に対して、防波フェンスの必要高さおよび作用波圧を検討した。

参考文献

- 1)三橋祐介：国道336号黄金道路における高波時の通行障害事例の分析，平成15年度室蘭工業大学卒業論文，2004。
- 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，海講論文集，第50巻，pp.796-800，2003。
- 3)中田邦男，池田龍彦，岩崎三日子，北野雅三，藤田隆：上部斜面堤の現地建設に伴う水理模型実験，海講論文集，第30巻，pp.313-316，1983。
- 4)岡田和三，佐々木博一，今野久志：アラミド繊維を活用した越波防止柵，第48回北海道開発局技術研究発表会，2004。