

海岸道路用防波フェンスの必要高さ と作用波圧に関する検討

(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

港湾・漁港の臨港道路、および海岸道路において、護岸からの越波による飛沫や水塊が、走行する車両に支障を来す例がある。この場合の対策工としては、防波フェンスがあるが、必要天端高さや防波フェンスに作用する波圧については、十分に明らかにされていない。

本報告では、実際に車両被害が発生した現場をモデルケースとして、防波フェンスの必要高さや作用波圧について、実験的に検討するものである。

キーワード：防波フェンス、海岸道路護岸、越波水塊、越波飛沫、波圧特性

1. はじめに

北海道では、港湾・漁港の臨港道路の他、海岸線に沿って道路が整備されているが、高波浪時には、**写真-1**のような護岸越波によって通行被害が発生する箇所も多く存在する。越波による被害には、飛沫による視程傷害や、**写真-2**のように、水塊によってフロントガラスが破損する被害がある。清水ら¹⁾は、当該箇所において越波による車両被害のメカニズムを検討しており、被害時の越波状況と打ち込み波圧を再現し、車両の走行速度を制限することで被害の回避に効果があることを明らかにしている。このような越波対策については、消波ブロックの嵩上げ等の改良が一般的であるが、環境上の問題や漁業補償、そして景観性の問題から消波工を改良する事が出来ないケースも少なくない。消波工以外の対策については、これまで様々な検討がされており、著者ら^{2) 3)}は、経済的に有利な防波フェンスについて、限られた条件ではあるが、必要天端高さや防波フェンスに作用する波圧の特性を検討している。しかしながら、現段階では汎用性ある防波フェンスの必要な天端高さの設定や、作用波圧の特性については十分に明らかにされていない。

本報告では、A海岸で発生した車両被害を例に、海岸道路用防波フェンスの必要天端高さの設定方法や、作用波圧の設定方法を実験的に検討するものである。

2. 防波フェンスの必要天端高さ

(1) 護岸背後の利用状況に対する被害の定義

必要天端高さを求める際、実務では越波実験によって単位時間当たりの越波流量を計測し、許容値を満足する



写真-1 海岸道路の越波状況の例



写真-2 越波によって被災した車両

天端高さを求める方法が一般的である。しかしながら、護岸背後を走行する車両に打ち込まれる波圧については、単位時間当たりの越波流量では評価出来ない。

現行の基準では、防波フェンスの必要天端高さを求める際、背後の利用状況によって安全度を区分しているが、仮設工で一時的に対応する場合等、護岸背後の利用状況や費用対効果を考慮した天端高さの設定が求められている。

本報告では、護岸背後を走行する車両に対し、被害の

定義として、間接被害と直接被害の大きく2つに分けて、天端高さを求める方法をそれぞれ検討した。

間接被害に対する必要天端高さは、これまでと同様に越波実験によって求めるものとし、直接被害に対する天端高さについては、打ち込み波圧実験によって直接背後を走行する車両に作用する波圧を計測して求めるものとした。

(2) 越波実験 (間接被害に対応)

本実験は、著者ら²⁾による単位時間当たりの越波流量 q を推定する方法を用いて、A海岸における間接被害に対して、必要な天端高さを検討した。ここでは、長さ22m、幅0.8m、深さ2mの小型断面水路を用いて実験した。作用波は全て不規則波を用いて、造波開始1分後から約150波分の越波水を、**図-1**に示すように、防波フェンス部の天端上に設置した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。実験条件を表-1に示す。

実験は、越波流量のばらつきを考慮して3回ずつ繰り返して行い、平均値を用いて検討した。実験結果を**図-2**に示す。各軸の越波流量 q^* と天端高さ hc^* は、堤前有義波高 $H_{1/3}$ を用いて無次元化して示してある。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、次式に示す近似線である。

$$q^* = Q_0 \exp(-b \cdot hc^*) \quad (1)$$

ここに、 Q_0 、 b は定数であり、この条件の場合、 $Q_0=0.18$ 、 $b=2.14$ であった。

この図から、許容越波流量を $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ とすると、A海岸の10年確率波相当にあたる $H_0=6.0\text{m}$ では、 $hc=14.9\text{m}$

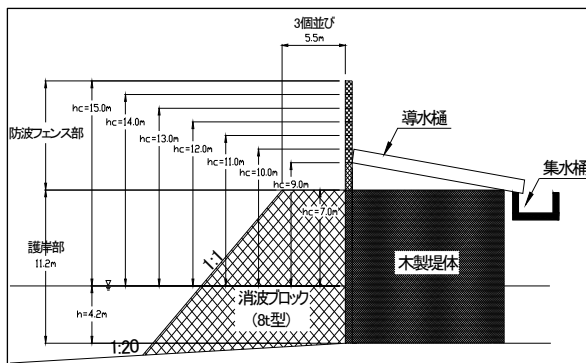


図-1 越波実験模型断面図

表-1 実験条件 (現地値)

海底勾配 (i)	1/20
実験縮尺 (s)	1/40
堤脚水深 (h)	4.20m
換算沖波周期 (To)	14.0s
換算沖波波高 (Ho)	4.0~6.0m : 3波高
天端高 (hc) (フェンス高さ)	7.0~15.0m : 8断面 (0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8m)

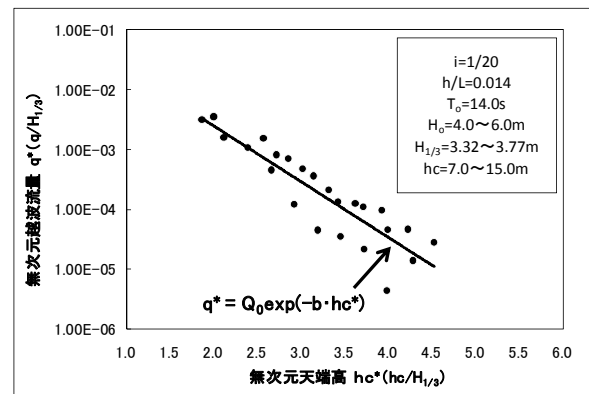


図-2 無次元越波流量分布図

(防波フェンス高さ=7.9m) 以上必要であることが分かった。

(3) 海岸道路を走行する車両の破壊限界荷重

清水ら¹⁾は、MPS法による解析ソフトウェアを用いて、水平部に働く水圧 p が 10kN/m^2 になるように調整し、**図-3**に示すように、フロントガラス角度 $\theta=45^\circ$ に打ち込まれる流体平均圧力 \bar{p} と、車両走行速度 V_D との関係を示している。

本報告では、同じ方法で水平部に働く水圧 p を各種変化させて解析を行った。この図から、 $p=10\text{kN/m}^2$ の場合では、車両走行速度 V_D が 30km/h を満たない時点で、フロントガラス (厚さ4mmの強化ガラス) の破損荷重である 20kN/m^2 を上回る結果であるが、法定速度 (60km/h) を走行する場合には、 $p=4\text{kN/m}^2$ まで水平部に働く水圧を低減させなくてはならないことが分かった。よって、車両の破壊限界荷重を 4kN/m^2 とする。

なお、本解析は、フロントガラスが水平と成す角度 $\theta=45^\circ$ の場合の結果であるため、今後 θ を変化させて解析を行うことを考えている。

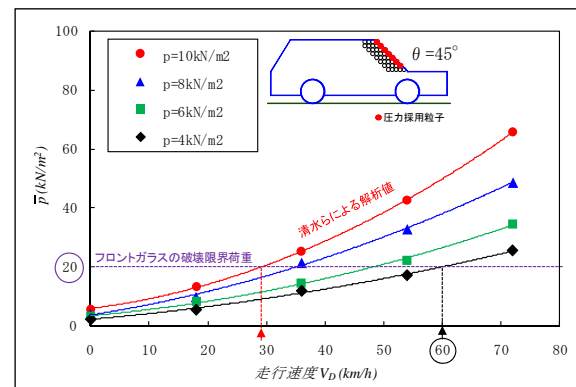


図-3 車両走行速度と平均圧力の関係 ($\theta=45^\circ$)

(4) 打ち込み波圧実験 (直接被害に対応)

本実験は、越波実験と同じ実験条件で行うが、越波水塊を対象としているため、天端高さ hc を低い条件 ($9.0 \sim 12.0\text{m}$: 4断面) で実験した。また、実験で使用する模型は、**図-4**、**写真-3**に示すように、車両のフロントガラスの位置 (護岸天端上から+1.6m) にロードセルを両端に設置した鋼製の受圧板を水平に設置し、背後を走行す

る車両に打ち込まれる越波波圧を計測した。実験はそれぞれ10回ずつ繰り返して、以降その平均値を用いて整理した。また、消波工の天端ブロック個数は、現地に合わせて3個並びとした。

なお、受圧板による計測系の固有振動数は120Hzである。

各受圧板に作用する波圧の最大値に着目し、10年確率波相当にあたる $H_o=6.0m$ の波圧分布を図-5に示す。縦軸は、計測受圧板に打ち込まれる越波の波圧 p_H である。横軸は、護岸前面からの距離 D を示しており、各天端高さの実験値を実線で結んで示している。この図から、比較的に海側車線で波圧が最大となることが分かった。

さらに、本実験で得られた打ち込み波圧の最大値に着目した波圧分布を図-6に示す。縦軸を最大打ち込み波圧 p_{Hmax} とし、横軸は、静水面からの天端高さを示している。この図から、天端高が大きくなるにつれて、各波高における最大打ち込み波圧は低減する傾向を示しているが、上述で得られた護岸背後を走行する車両の破壊限界

荷重 ($4kN/m^2$) を下回る必要天端高さは、 $hc=12.0m$ (防波フェンス高さ $=5.0m$) であることが分かった。

ちなみに、越波実験で得られた天端高さと比較すると、2.9mの差があることが分かった。

このように、護岸背後を走行する車両に対して、安全度を評価する場合、費用対効果を考えると、背後の施設や利用状況を十分に勘案し、抑制したい被害に対応した天端高の設定が必要であると考えられる。

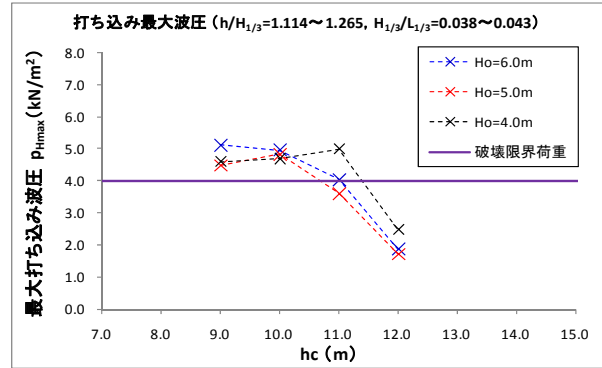


図-6 打ち込み最大波圧分布

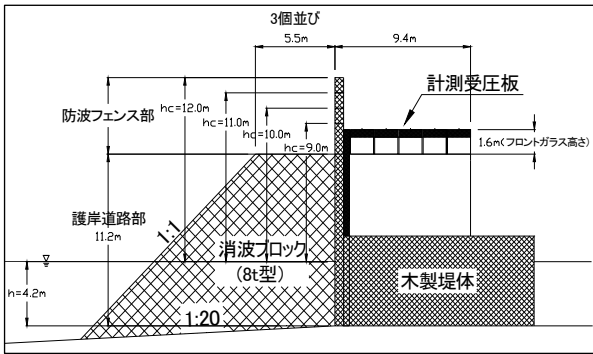


図-4 打ち込み波圧実験模型断面図

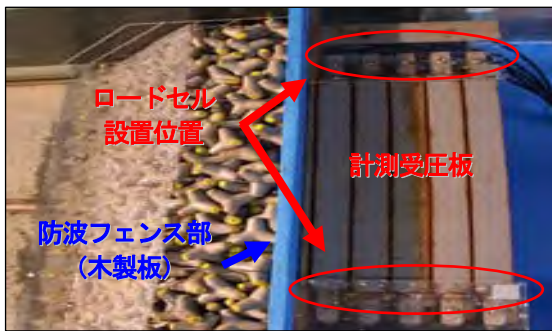


写真-3 堤体模型

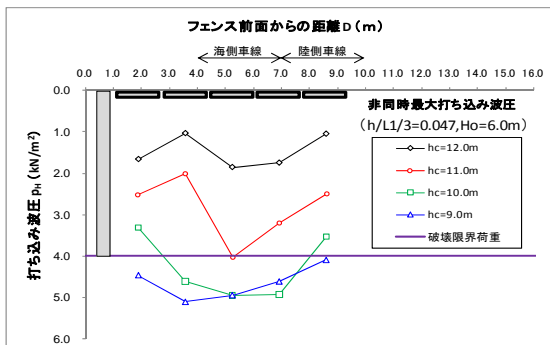


図-5 打ち込み波圧分布の例 ($H_o=6.0m$)

3. 防波フェンスに作用する波圧の算定法

(1) 波圧実験

本実験では、前章の越波実験で得られた必要天端高さに対し、防波フェンス部に作用する波圧特性を水理模型実験によって検討した。さらに、著者ら²⁾による作用波圧の推定方法を参考とし、合田準用式の一部を割り増して、消波護岸における作用波圧の推定方法を検討する。

(2) 実験方法

前章の越波実験及び打ち込み波圧実験と同じ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、護岸本体の天端上に設置した複数の受圧板の両端に、定格5kgのロードセルを取り付け、サンプリング周期0.005sで面的に越波波圧を計測した。実験模型を図-7に示す。実験条件については、表-2に示すとおりである。また、実験はそれぞれ10回ずつ繰り返し計測を行い、以降その平均値を用いて検討した。

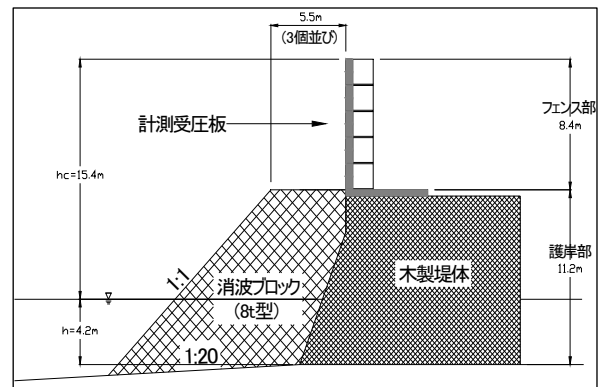
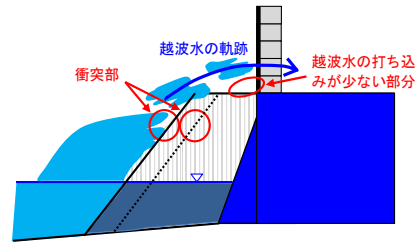


図-7 波圧実験模型断面図

表一 2 波圧実験条件 (現地値)

海底勾配 (i)	1/20
実験縮尺 (s)	1/40
堤脚水深 (h)	4.20m
換算沖波周期 (To)	14.0s
換算沖波波高 (Ho)	7.7m



図一 8 越波水が防波フェンスへ作用するイメージ図

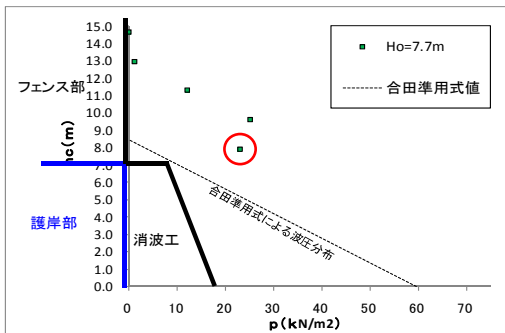
(3) 実験結果 (波圧特性)

防波フェンスに作用する波圧の合力が最大となる際の同時波圧分布を図一 7 に示す。縦軸は、静水面からの天端高さhcを示す。横軸は、防波フェンスに作用する波圧を示す。図中の赤丸印に示す実験値は、消波工の法肩の影響によって、下から 2 枚目の実験値よりも小さい値になっている。これは、図一 8 に示すように、消波工の天端幅の影響が考えられる。破線で示すように、基本的な消波工の天端幅である 2 個並びよりも海側に波の衝突部があることで、越波水の軌跡が防波フェンスの下端に作用しにくくなるためと考えられる。よって、最下端の実験値を含めると、作用波圧が過小となる場合があることから、設計する際には、この値を除いて求めることが望ましい。これを反映した実験結果と、著者ら³⁾の実験結果を併せて、無次元化した波圧分布を図一 9 に示す。縦軸は、静水面からの無次元高さz*である。横軸は、無次元波圧p*である。静水面からの無次元高さz*が1.0より高い位置の波圧分布に着目すると、概ね直線的な関係にある。図中には、z* > 1.0に着目した場合の実験値の傾向を赤色の実線で示している。また、実験値は黒色の破線で示すように、合田準用式から求められる波圧分布よりも大きな値を示している。これは、急勾配による波力増大の影響が原因と考えられる。

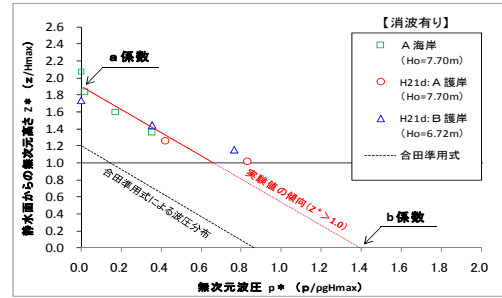
この図から、赤色の近似線に示すとおり、合田準用式による波圧分布と平行する関係にあり、波圧の作用高さη' と、静水面における波圧強度 p₁' は、割増係数を a, b とすると、次のように表せる。

$$\eta' = a \cdot \eta^* \quad p_1' = b \cdot p_1 \quad (2)$$

今回の条件では、a, b ≒ 1.6 であった。



図一 7 防波フェンスに作用する波圧分布 (現地)



図一 9 最大同時合成波圧時の無次元波圧分布

4. まとめ

本報告では、A海岸を対象に水理模型実験によって得られた必要天端高さ、海岸道路用防波フェンスに作用する波圧特性について、以下に得られた知見をまとめる。

- ① 海岸道路の背後を走行する車両に対して及ぼす越波被害を、間接被害と直接被害に区分し、10年確率波相当における防波フェンスの必要高さをそれぞれ求めた。間接被害に対応する越波実験では、越波流量推定式(1)により、7.9m以上必要であることが分かった。直接被害に対応する打ち込み波圧実験では、車両の破壊限界荷重を4kN/m²とした場合、最低限必要な防波フェンスの天端高さは、5.0m以上必要であることが分かった。
- ② 合田準用式を割増す式(2)により、係数 a, b を用いて割増すことで、50年確率波相当における防波フェンスに作用する波圧を推定できることが示唆された。z* = 1.0以上に限られるが、今回の検討範囲では、a, b ≒ 1.6であった。

参考文献

- 1) 清水敏明・木村克俊・高橋翼・山本泰司・上久保勝美・名越隆雄・吉野真史：海岸道路を走行する車両の高波によるフロントガラス被害の分析，海岸工学論文集，第 57 巻，pp746-750，2010。
- 2) 菅原健司・上久保勝美・山本泰司・木村克俊：防波フェンスに作用する波圧特性について，第 65 回年次学術講演会論文集，II-110，2010。
- 3) 菅原健司・上久保勝美・山本泰司：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，第 53 回北海道開発局技術研究発表会論文集，2010。