

消波護岸における防波フェンスに作用する水塊の水理特性

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○上久保勝美
酒井 和彦

海岸道路では、越波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り、越波対策工の一つとして防波フェンスがある。しかしながら、越波による防波フェンスの設計法は、護岸天端高および消波工形状など限られた条件下においては確立しているが、標準的な設計法に至っていないのが現状である。

本報告では、水理模型実験結果に基づき、護岸天端高を変化させた場合の1波群中の最大越波流量に着目して、防波フェンスに作用する水塊の水理特性について示す。検討の結果、護岸の天端高の違いによる防波フェンスへの局所的に作用する波圧がわかった。また、護岸の天端高および周期の違いによる単位幅当たりの最大越波流量を示すことで、最大越波流量と時間平均越波流量との相関性がわかった。

キーワード：消波護岸，防波フェンス，波圧，越波，水塊

1. まえがき

海岸道路では、高波時の越波によって運転者の視界障害や走行車両に被害が生ずる危険性があり、その対策工として、護岸の嵩上げ、消波ブロックの設置、防波フェンス（以下、フェンスという）の設置などの対策を行っている。また、海岸覆道では防波板を設置し道路への越波の侵入を防いでいる。中でもフェンスによる対策は、道路護岸天端に越波を遮蔽するフェンスを設置して、道路への越波の侵入を防ぐ工法である。道路用地内で対策可能であり、フェンスが高い場合には透過性のある材質（ポリカーボネイト）を使用することによって、運転者への圧迫感を軽減できる対策である。

フェンスに関しては、木村ら^{1), 2), 3), 4)}、山本ら⁵⁾が、個別の事例に対する検討を行っている。また、上久保ら^{6) 7)}はフェンスの被災事例を分析し、現設計法よりも波圧が増大することを明らかにし波圧の割増しを行ったフェンスの設計法を提案している。

一方、井上ら⁸⁾は不規則波浪の1波ごとの越波量を測定することによって最大越波量が平均越波量の5～10倍、条件によっては20倍程度にも達することを示している。

本報告では、2次元造波水路における波圧実験を行い、1波群中の最大越波流量に着目して、フェンスに作用する水塊の水理特性について示す。

2. 防波フェンスの被災事例

写真-1は、透過性のある材質のポリカーボネイト板が破損した事例である。いずれの破損箇所もフェンス下段部で局所的に生じている。また、海岸覆道における越波対策として、柱の間に防波板を設置する工法が採用されている。写真-2は、防波板が破損した事例である。写真-1および写真-2のいずれの被災事例もフェンスに作用する波圧が過小に評価されたことによるものと考えられる。

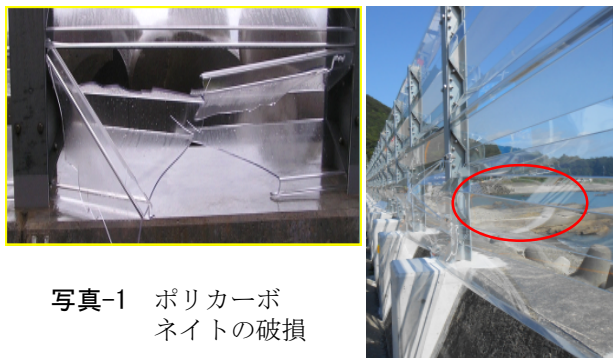


写真-1 ポリカーボネイトの破損



写真-2 覆道板の破損

3. 防波フェンスへの作用波圧

3.1 実験方法

実験は、**図-1**に示す不規則波発生装置を備えた2次元造波水路（長さ 28.0m、幅 0.8m、深さ 1.0m）を用いて行った。海底勾配 $i=1/20$ の一様斜面に続く水平床を設けた。水深は $h=4.2\text{m}$ で一定とした。実験波は Bretschneider・光易型のスペクトルを有する不規則波を用いた。周期は $T_o'=12\text{s}$ 、波高は $H_o'=8.0\text{m}$ で一定とした。実験模型を**図-2**に示す。フェンス部は、**写真-3**に示す護岸本体の天端上に設置したフェンスに見立てた受圧板の横方向に、定格 2 N の波圧計を取り付け、サンプリング周期 0.005s で波圧を計測した。波圧の計測は 10 回繰り返し計測を行い、その平均値を用いた。また、現地のフェンスの固有応答数は 10Hz 程度であり、実験で用いた受圧板の固有応答数も縮尺を考慮して現地に合わせて行った。実験縮尺は 1/40 とした。なお、消波工の天端幅 $B_c=5.5\text{m}$ で一定とした。また、護岸の天端高は $h_c=+4.5\text{m}$ 、 $+7.0\text{m}$ および $+8.5\text{m}$ の3種類とした。

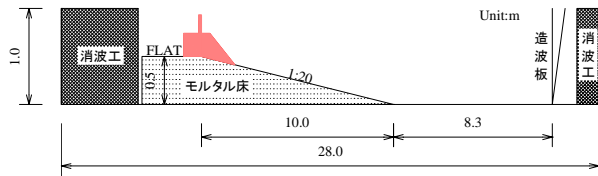


図-1 2次元造波水路

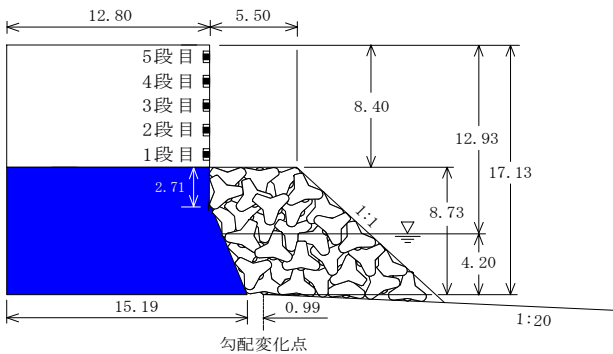


図-2 波圧実験模型

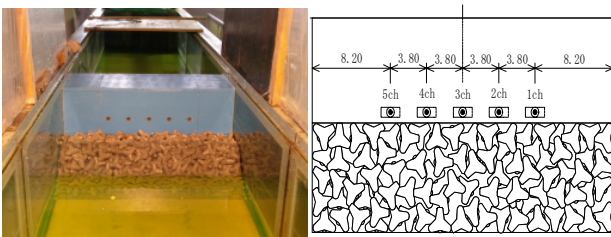


写真-3 波圧計測模型

3.2 波圧特性

図-3(1)～(3)は、護岸の天端高さ $h_c=+4.5\text{m}$ 、 $+7.0\text{m}$ および $+8.5\text{m}$ ごとに、消波工の天端幅を $B_c=5.5\text{m}$ 、静水面からの高さおよび単位面積当たりの波圧強度の関係を示している。

フェンス高さ1段目および2段目に着目すると、 $h_c=+4.5\text{m}$ の条件で、フェンス高さ1段目では平均波圧で 607kN/m^2 、2段目の高さでは 449kN/m^2 の局所的な波圧が作用している。これは後述する波の作用状況からもわかるように消波ブロック法面を遡上した波面がフェンスに衝撃的に作用していることが原因と考えられる。 $h_c=+7.0\text{m}$ の条件では、フェンス高さ1段目で 204kN/m^2 、2段目の高さでは 157kN/m^2 の局所的な波圧が作用している。 $h_c=+4.5\text{m}$ の条件に比べて1段目では34%、2段目では35%に波圧が小さくなっている。 $h_c=+8.5\text{m}$ の条件では、フェ

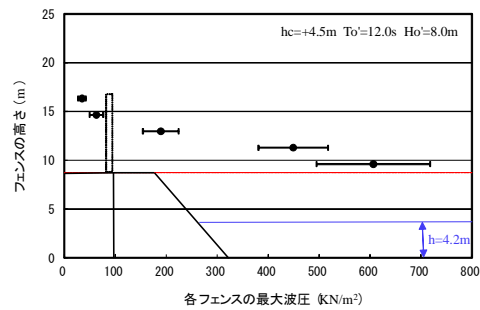


図-3(1) 波圧分布 ($h_c=+4.5\text{m}$)

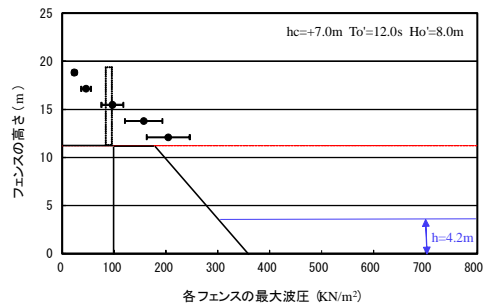


図-3(2) 波圧分布 ($h_c=+7.0\text{m}$)

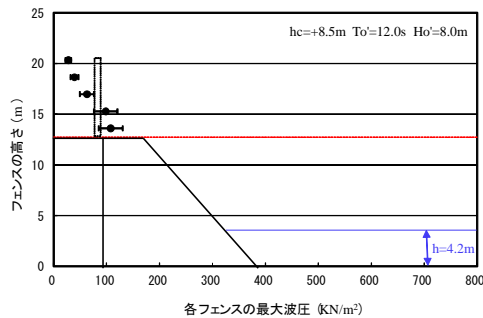


図-3(3) 波圧分布 ($h_c=+8.5\text{m}$)

ンス高さ1段目および2段目の平均波圧は、100kN/m²程度に小さくなっている。h_cが高くなるにつれて波圧が小さくなる傾向にある。

3.3 波の作用状況

写真-4は、護岸の天端高さ h_c=+4.5m、+7.0m および+8.5m ごとに、最高波高がフェンスに作用した瞬間の波の作用状況を示したものである。

h_c=+4.5m の場合、消波ブロック法面を遡上した波面の水脈は厚みを増してフェンスに衝撃的に作用している。h_c=+7.0m では、h_c=+4.5m に比べて水脈厚は薄く、消波ブロック天端上で水塊が飛散しながらフェンスに衝撃的に作用している。h_c=+8.5m では、その現象がより顕著に現れ、h_c=+7.0m に比べて水塊の飛散も減少している。波圧実験結果からも h_c が高いほどフェンスに作用する波圧は小さくなる傾向にあり、波圧特性も波の作用状況からも一致している。

4. 越波特性

越波実験は、波圧実験と同じ水路を用いて行った。水深は h=4.2m で一定とした。実験波は Bretschneider・光易型のスペクトルを有する不規則波を用いた。周期を T₀'=12s, 14s および16s とし、波高 H₀'=5.0m, 6.0m, 7.0m および 8.0m の4種類とした。実験断面を図-4に示す。フェンス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。越波流量の計測は3回繰り返して行いその平均値を用いた。1波群の作用波数は150波とした。実験縮尺は1/40とした。護岸の天端高は h_c=+4.5m、+7.0m および+8.5m の3種類とした。

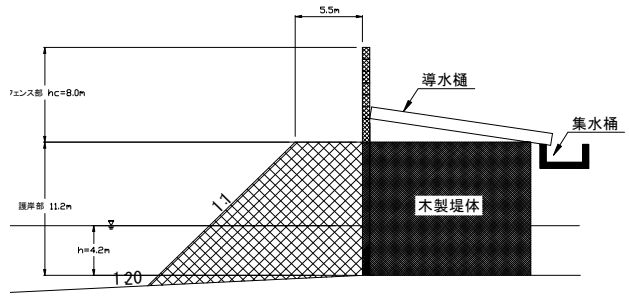


図-4 越波実験模型

4.1 最大越波流量

波圧実験結果からも見られるように局所的に大きな波圧が作用することは、たとえ1波の越波でもきわめて危険な場合があることがわかる。

図-5(1)は、T₀'=12sにおける1波群中の最大波高 H_{max} に着目して、護岸天端高 h_c および最大越波流量の関係を示している。h_c=+4.5m の条件では、波高の変化に関わらず 50m³/m 程度の越波流量が得られている。h_c=+7.0m, h_c=+8.5m と天端高が高くなるほど越波流量は減少する傾向を示し、いずれの天端高さにおいても大きな波高の変化はみられない。

図-5(2)は、T₀'=14sにおける実験結果を示している。

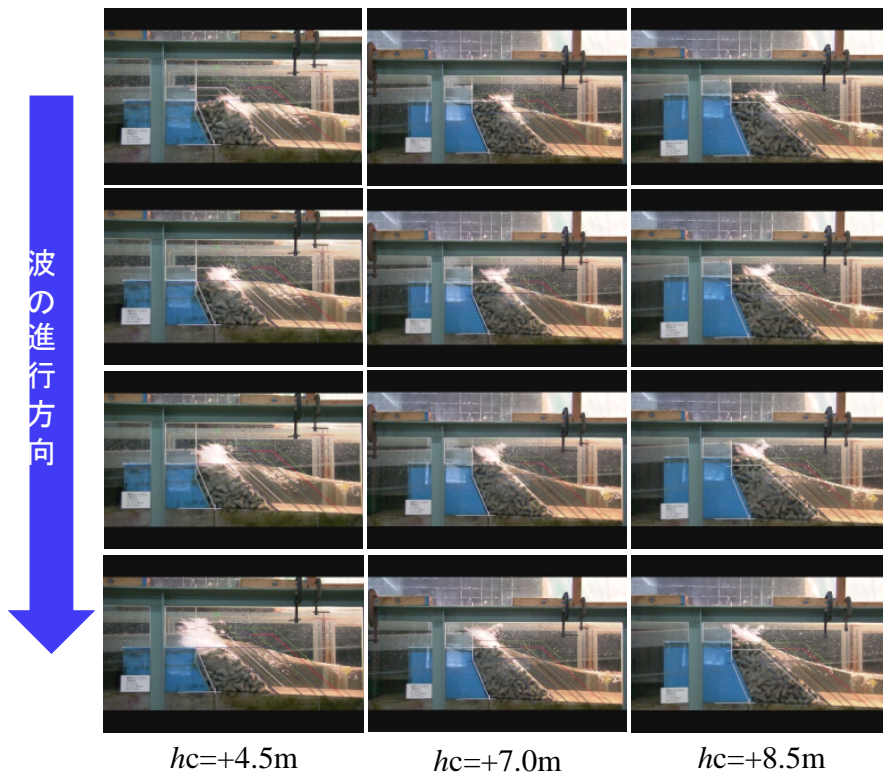


写真-4 波の作用状況

$h_c=+4.5\text{m}$, $H_{\max}/h_c=1.82$ の条件では, $160\text{m}^3/\text{m}$ の越波流量が得られており, H_{\max}/h_c が低くなるほど越波流量は減少する傾向を示している. 図-5 (3) に示す $T_o'=16\text{s}$ の条件では, $h_c=+4.5\text{m}$, $H_{\max}/h_c=1.70$ で, $268\text{m}^3/\text{m}$ の越波流量が得られている. また, H_{\max}/h_c が低くなるほど越波流量が減少する傾向は $T_o'=14\text{s}$ に比べて, より顕著に現れている.

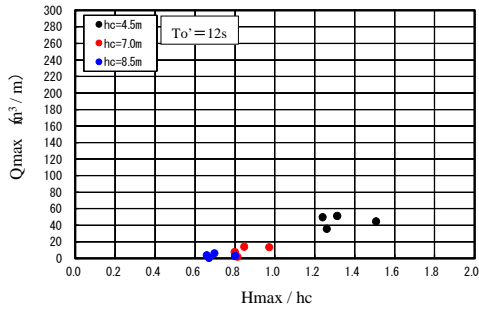


図-5(1) 最大越波流量($T_o'=12\text{s}$)

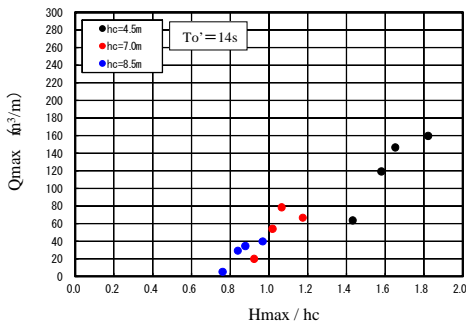


図-5(2) 最大越波流量($T_o'=14\text{s}$)

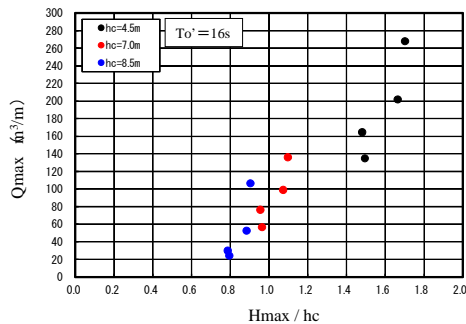


図-5(3) 最大越波流量($T_o'=16\text{s}$)

4.2 時間平均越波流量

図-6 (1) ~ (3) は, $T_o'=12\text{s}$, $T_o'=14\text{s}$ および $T_o'=16\text{s}$ ごとに $h_c=+4.5\text{m}$, $+7.0\text{m}$ および $+8.5\text{m}$ の条件に対して, 換算沖波波高 H_o' と時間平均越波流量 q の関係を示している. 何れの天端高さにおいても周期が長くなるにつれて q も大きくなる傾向にある.

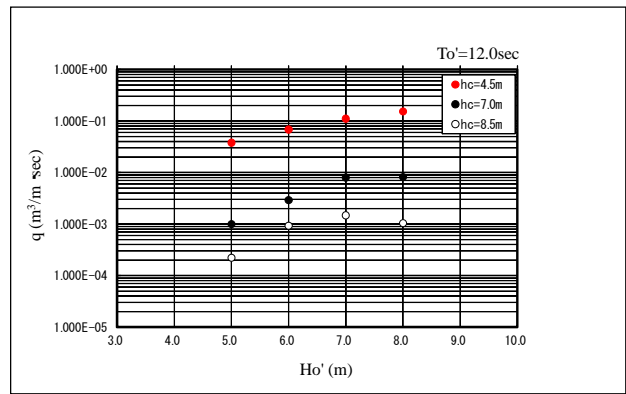


図-6(1) 時間平均越波流量($T_o'=12\text{s}$)

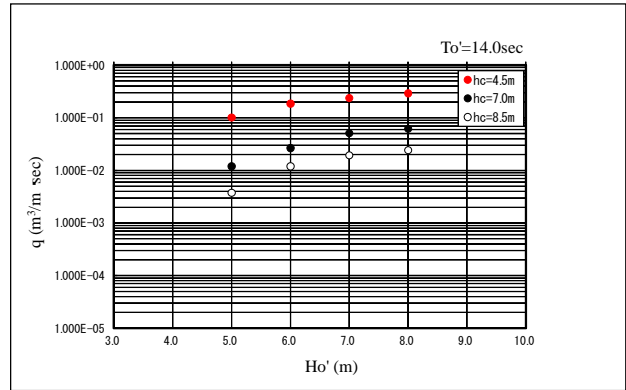


図-6(2) 時間平均越波流量($T_o'=14\text{s}$)

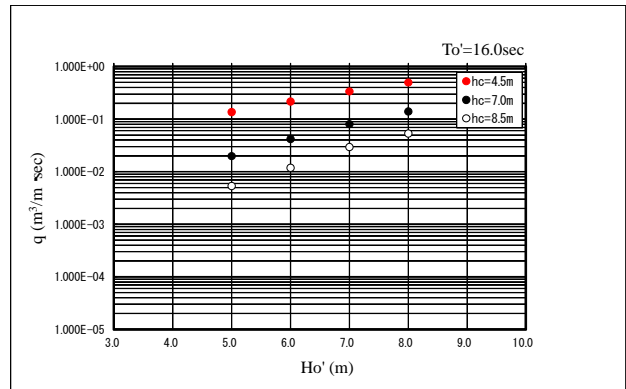


図-6(3) 時間平均越波流量($T_o'=16\text{s}$)

4.3 最大越波流量および時間平均越波流量との関係

図-7は, 最大越波流量 Q_{\max} および時間平均越波流量 q との関係を周期ごとに示したものである. H_{\max}/h_c が 1.00 以上の条件では, Q_{\max} は q の 200 倍程度の値に分布している. H_{\max}/h_c が 1.00 付近では Q_{\max}/q が 400 倍程度の値に分布しており, $H_{\max}/h_c=0.70$ では $Q_{\max}/q=1035$ 倍に達している. 最大越波流量と時間平均越波流量との関係が明らかになることで, 時間平均越波流量から最大越波流量を求めることができる.

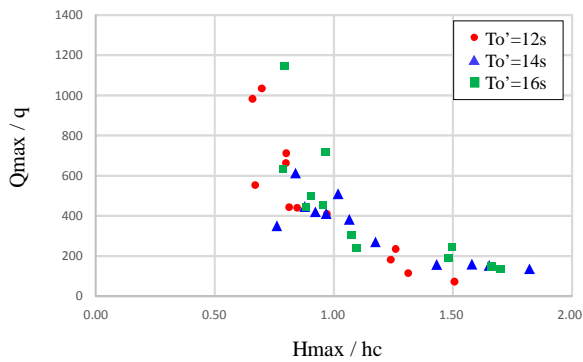


図-7 最大越波流量および時間平均越波流量との関係

5. まとめ

主要な結論は以下のとおりである。

- ①護岸の天端高さの違いによるフェンスへの局所的に作用する波圧がわかった。
- ②護岸の天端高さおよび周期の違いによる単位幅当たりの最大越波流量がわかった。
- ③最大越波流量および時間平均越波流量との相関性がわかった。

今後は、消波ブロック法面に作用した水塊がフェンスに作用するまでの到達時間を把握し、フェンスに局所的に作用する波圧の算定を目指す。

参考文献

- 1) 木村克俊, 藤池貴史, 上久保勝美, 安部隆二, 石本敬志: 海岸道路における波の打ち上げ特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp.676-680, 1998.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 上久保勝美, 山本泰司, 菅原健司, 木村克俊, 清水敏晶: 海岸道路を対象とした防波フェンスの被災事例とその再現実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B2-65, pp.821-825, 2009.
- 7) 上久保勝美・菅原健司・山本泰司・木村克俊・今井浩平・小原康信・名越隆雄・上北正一: 海岸道路用防波フェンスの必要高さと作用波力に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.B3-67, No.4, pp.862-867, 2011.
- 8) 井上雅夫・島田広昭・殿最浩司: 不規則波における越波量の出現分布特性, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp.618-622, 1989.