

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

Experimental Study on Damage to Wave Splash Barrier for a Coastal Road

上久保勝美¹・山本泰司²・菅原健司¹・木村克俊³・清水敏明⁴

Katsumi KAMIKUBO, Yasuji YAMAMOTO, Kenji SUGAWARA
Katsutoshi KIMURA and Toshiaki SHIMIZU

National Route E is a coastal road where overtopping waves cause frequent traffic disturbances. High waves resulting from a storm surge damaged the wave splash barrier for length of 78m out of 400m in October 2006. Impulsive wave pressure, acted on sections that were rendered incomplete due to scattering of wave-dissipating blocks as a result of the high waves and abnormal tide level, caused the damage of the wave splash barrier. The results of experiments revealed that the ratio of the critical wave force to the wave force acting on the barrier ranged from 2.6 to 3.0 in the damaged section, while the corresponding value in the undamaged section was 1.7 to 2.2.

1. はじめに

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る。越波対策工の一つである防波フェンスに関しては、木村ら(2001, 2003, 2006)、山本ら(2008)が、個別の事例に対する検討を行っている。しかしながら、防波フェンス(以下、フェンスという)の標準的な設計法は確立しておらず、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。

海岸に面した急峻な崖に沿って建設されたE国道は、従来から越波による通行障害が多発する海岸道路を多くかかえている。2001年度には、越波対策として、写真-1に示すA区間(180m)、B区間(100m)およびC区間(120m)にフェンスが設置されたものの、2006年10月の低気圧による高波により、フェンスが2カ所で延長78mにわたって損傷する被災が生じた。現地においては写真-2に示すように、孔開け加工された波型鋼板(以下、有孔折板とい

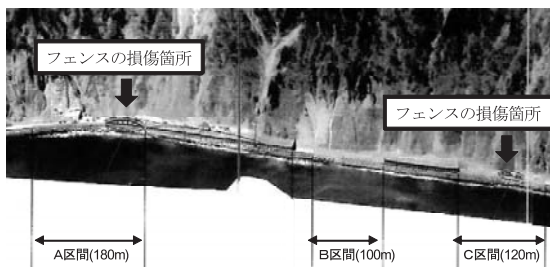


写真-1 E国道の防波フェンス設置区間



写真-2 防波フェンスの損傷状況(A区間)

う)部材を取り付けたフェンスの支柱が基部から折れ曲った。近隣の波浪観測地点では50年確率波相当の波浪が観測されており、この高波と異常潮位によって、消波ブロックが散乱、沈下し、不完全消波となった箇所において衝撃的な波圧が作用してフェンスが被災したと考えられる。

本研究では、現地で被災したフェンスを対象として、2次元造波水路における波力実験および実規模落水実験を行い、被災時にフェンスに作用した波力を明らかにするものである。

2. 被災発生時の海象変化

図-1は、被災発生当時、被災箇所から約60km北に位置する波浪観測地点(水深22m)における2006年10月7日～10月8日までの波高、周期および潮位の時間変化を示している。10月8日3時に最高波高 $H_{max}=11.66m$ 、有義波高 $H_{1/3}=7.44m$ 、有義波周期 $T_{1/3}=14.2s$ 、潮位D.L+1.54mが観測された。なお、当該路線は10月7日13時より全面通行

- | | |
|------------|--------------------------------|
| 1 正会員 | (独法)土木研究所寒地土木研究所寒冷沿岸域チーム |
| 2 正会員 博(工) | (独法)土木研究所寒地土木研究所寒冷沿岸域チーム 首席研究員 |
| 3 正会員 博(工) | 室蘭工業大学大学院教授工学研究科 |
| 4 正会員 | 室蘭工業大学大学院工学研究科博士後期課程 |

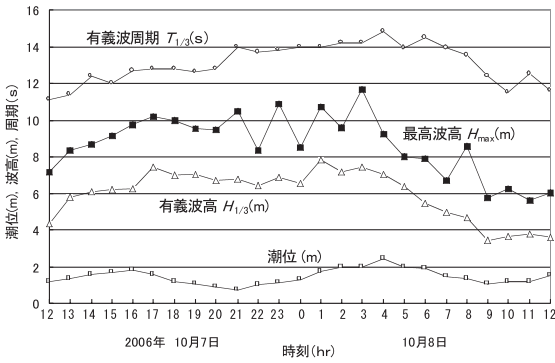


図-1 被災時の海象変化

止めとなっており、通行車両への高波被害は発生していない。

3. 実験方法

実験は、図-2に示す不規則波発生装置を備えた二次元造波水路(長さ28.0m, 幅0.8m, 深さ1.0m)で行い、実験縮尺は1/30とした。水路内に海底勾配*i*=1/30の一樣斜面とそれに続く水平床を設けた。水平床上に図-3に示す堤体模型を設置した。フェンス模型は空隙のない平板を3段並べた構造とし、平板の左右に荷重計(定格50N)を取り付けて作用波力を求めた。消波ブロック(118g)の設置形状は現地の横断面を参考にして、図-4に示す断面①~⑤を再現した。A区間は断面①および④に、B区間は断面③に、C区間は断面①および④にそれぞれ対応している。このうち被災を受けたのは断面①である。また、消波ブロック無しの断面⑥についても実験を行った。

実験水深は8.1cm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。実験に用いた波浪条件は被災発生時の波浪観測結果を参考にして決定した。周期を $T_{1/3}=1.83s, 2.19s$ および $2.56s$ の3種類、波高 $H_0=16.7cm, 20.0cm$ および $23.3cm$ とした。1波群の作用波数は150波とした。波圧データはサンプリング周期0.005sで測定した。

4. 波の作用状況

図-5は、被災発生時の堤体前面での波浪条件 $H_{max}/h=1.42, h/L_{1/3}=0.036$ の波群中の最高波に相当する波がフェンス部に作用した状況をビデオ画像から描いたものである。

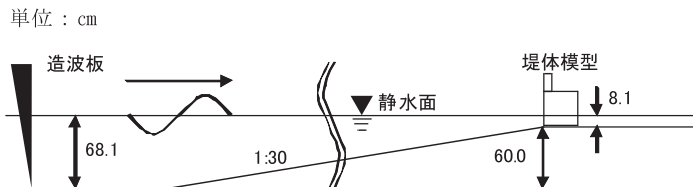


図-2 二次元造波水路

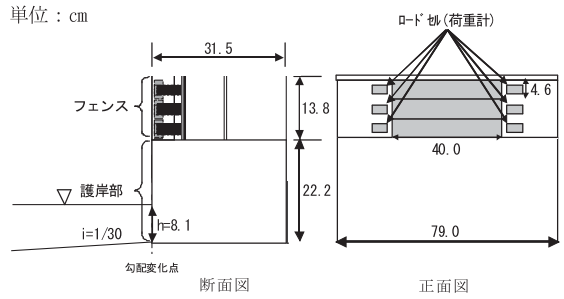


図-3 堤体模型

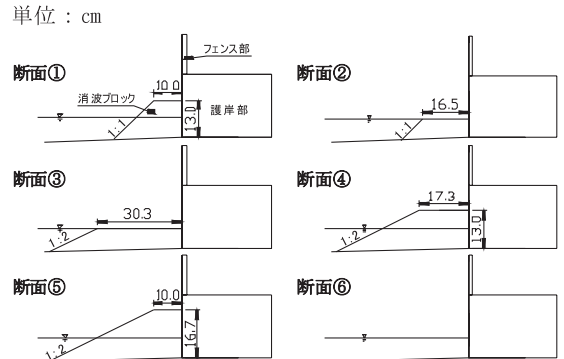


図-4 消波ブロックの形状

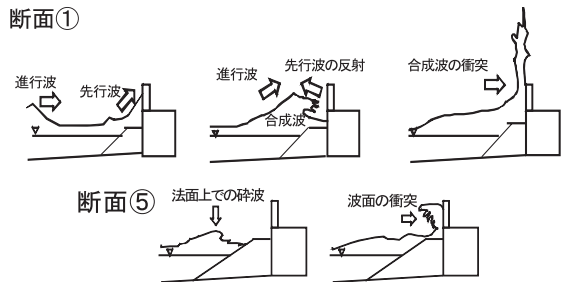


図-5 波の作用状況 (上段: 断面①, 下段: 断面⑤)

図の上段に示す断面①では、先行した波の反射波と、その後続の進行波とが重複し、水塊となってフェンス部に衝撃的に作用する波面形態が見られる。断面②および消波ブロックの無い断面⑥についても同様の波の作用状況が確認された。

一方、図の下段に示す断面⑤では、消波ブロックの法面上で碎波が生じて、空気を巻き込みながらフェンス部に波面が衝突しているのが確認できる。断面③および④

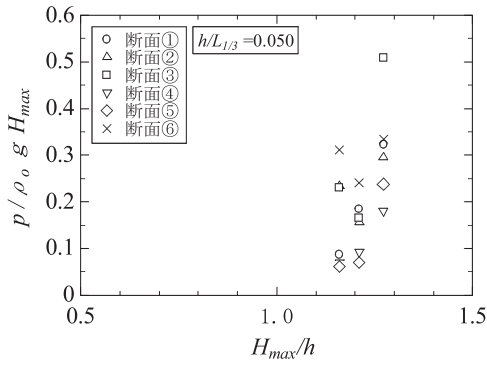


図-6 (a) フェンス部に働く波力

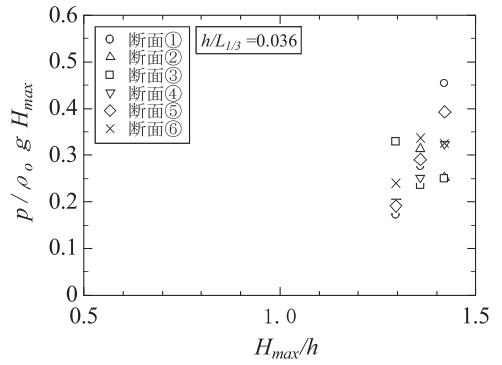


図-6 (c) フェンス部に働く波力

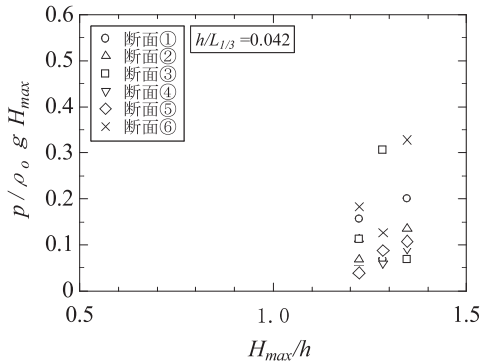


図-6 (b) フェンス部に働く波力

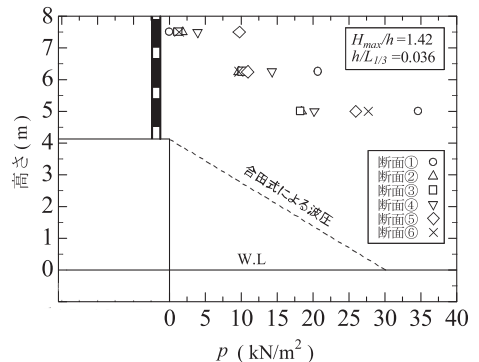


図-7 フェンス部の波圧分布

についても類似した波の作用状況が確認された。

5. フェンス部の波力特性

図-6 (a), (b) および (c) は、実験結果に基づいて、フェンス部に作用する波群中の最大波力に着目して、無次元波力強度 $p / \rho_0 \cdot g H_{max}$ を周期ごとに示したものである。いずれの周期においても H_{max}/h が大きくなるとともに波力も大きくなる傾向を示している。

フェンスに作用する波力を求める手法としては、合田ら (1973) による波力算定法が一般に用いられている。また、上久保ら (2001) は消波工と本体工の天端高さが異なる条件での直立部に作用する波力算定法を提案している。しかしながら、その提案は、 H_{max}/h が約 0.8 の条件における算定法であるため、本施設の設計波に相当する $H_{max}/h=1.42$ の条件では波力特性が異なる。

図-7 は、被災発生時の波浪条件 $H_{max}/h=1.42$, $h/L_{1/3}=0.036$ におけるフェンス部の最大波圧時の波圧分布を示したものである。合田式による波圧分布を示した破線では、波圧の作用高さが 4.2m であるのに対し、実験ではその 1.8 倍となっており、フェンスの上部にまで波圧が作用していることがわかる。実験結果では、断面①に作用する波圧が最も大きい。これは越波水塊の発生位置や打ち出し角度が、フェンスにとって厳しい条件となることが理由と

考えられる。

6. 落水実験

(1) 実験方法

現地で使用されていた有孔折板を対象として、実規模の流体衝撃力の再現を試みた。図-8 に示すように、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、その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サンプリング周期 0.005s で測定した。管の下部に水を満たしたゴム袋を置き、塩ビ管中の水位を一定に保って、ゴム袋を針で破裂させることで一気に落水させた。落水の状況を写真-3 に示す。

実験に用いたフェンス部材は写真-4 に示すように平板と折板の 2 種類とし、開孔率 ε は 0~37% の 4 種類に変化させた。実験は同一条件で 10 回繰り返し、衝撃力のピーク値に着目し、10 回分の平均値と標準偏差を用いて整理した。なお、平板 ($\varepsilon=0\%$) の条件に対して予備実験を行い、被災時の作用波力を実規模 (縮尺 1:1) で再現できるように落水高さを調整した。

(2) 開孔率と断面形状の影響

図-9 に、平板に作用する力の時間波形の例を示す。孔のない $\varepsilon=0\%$ 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力が減じる腰かけ部

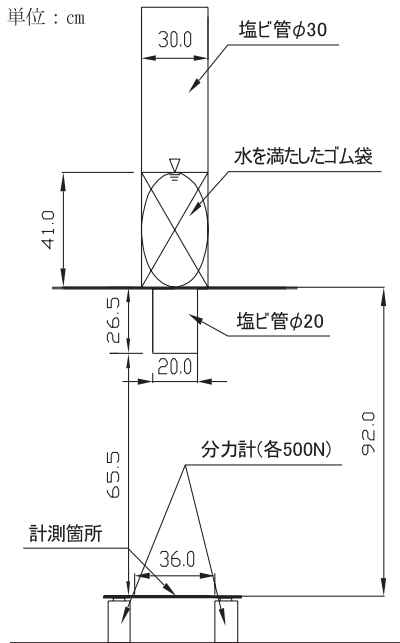
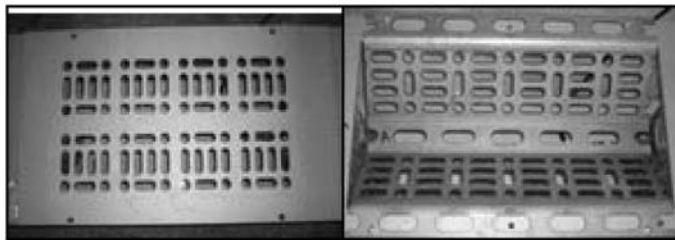


図-8 落水実験模型



写真-3 落水実験状況



が続いている。一方、 $\epsilon=30\%$ の場合、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。

図-10は、最大圧力の平均値と標準偏差を示している。ただし、圧力は、フェンスに作用した力の最大値を、落

水筒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、 ϵ が大きくなると作用圧力は減少している。折板の場合は、平板より1.4倍程度の大きな力が作用している。これは、落下水が折板の凹部に集まるためであると考えられる。

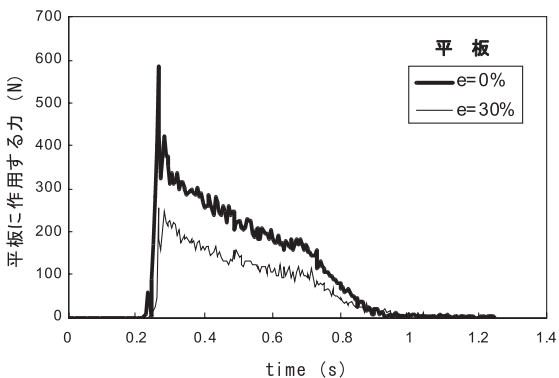


図-9 平板に作用する力の時系列

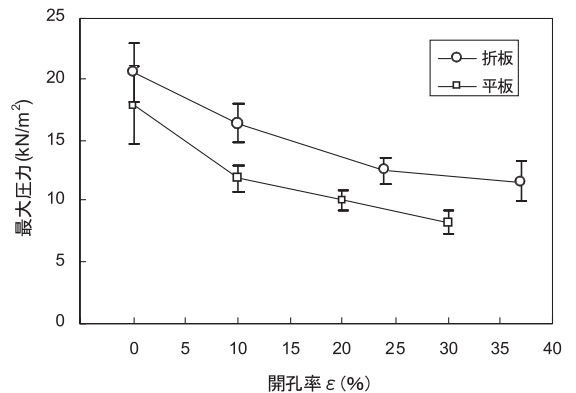


図-10 フェンスに作用する最大圧力

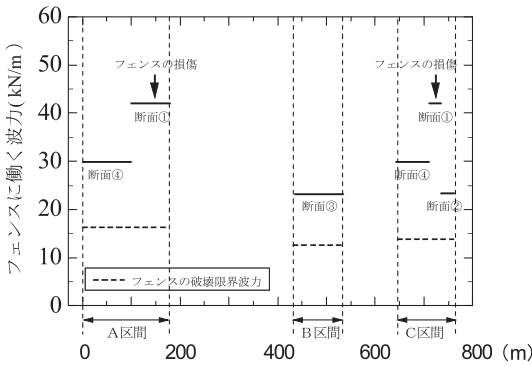


図-11 被災箇所ごとの作用波力

7. 被災したフェンスの作用波力

図-11に被災箇所ごとの作用波力を示す。波力実験によって得られた平板 ($\epsilon=0\%$) の作用波力を用いて、現地で使用されていた有孔折板 ($\epsilon=30\%$) の作用圧力を補正した値を実線で示す。なお、開孔率の補正は、図-10の折板 ($\epsilon=30\%$) の最大圧力を平板 ($\epsilon=0\%$) で除した値を用いた。また、鋼材の降伏応力度から求めたフェンスの破壊限界波力を破線で示す。A区間の右側およびC区間の中央部分では、破壊限界波力の2.6～3.0倍の波力が作用した箇所ではフェンスが損傷している。これに対しA区間の左側およびC区間の左右部分とB区間は、計算値の1.7～2.2倍の波力が作用しているがフェンスの損傷は生じていない。

8. まとめ

海岸道路における防波フェンスの被災事例とその再現実験に関して得られた主要な結論は以下のとおりである。

① 消波ブロックの形状および波浪条件がフェンスに働く波圧に及ぼす影響を示した。

② 落水実験により、実規模のフェンスに対し、開孔率や形状の変化による波圧の違いを示した。

③ フェンスの破壊限界波力の1.7～2.2倍に相当する波力ではフェンスの損傷はなく、2.6～3.0倍に相当する波力が作用した箇所において、フェンスの損傷による被災が生じたことを明らかにした。

本研究では、被災時に限定した検討を行ったが、波浪条件および消波ブロックの形状によっては、フェンスへの作用波力が変化することが明らかとなった。今後は種々の条件を変化させた系統的な検討が必要と考えている。

謝辞：水理模型実験の一部は、室蘭工業大学の学生、今井浩平君ならびに桃野聡志君によって行われたものである。ここに記して心から謝意を表します。

参考文献

上久保勝美・山本泰司・梅沢信敏・木村克俊・土井善和 (2001)：消波工と本土工の天端高さが異なる消波ブロック被覆堤の水理特性，海工論文集，第48巻，pp.706-710。
 木村克俊・古川 諭・山本泰司・吉野大仁 (2006)：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，海工論文集，第53巻，pp.871-875。
 木村克俊・浜口正志・岡田真衣子・清水敏晶 (2003)：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，海工論文集，第50巻，pp.796-800。
 木村克俊・安田佳乃子・山本泰司・梅沢信敏・清水敏晶・佐藤 隆 (2001)：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，海工論文集，第48巻，pp.756-760。
 合田良実 (1973)：防波堤の設計波圧に関する研究，港研報告，第12巻第3号，pp.31-69。
 山本泰司・木村克俊・南部裕之・高橋元樹・今村晃久・熊木功治 (2008)：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，海工論文集，第55巻，pp.956-960。