

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

木村克俊¹・古川 諭²・山本泰司³・吉野大仁⁴

越波対策として防波板が設置されている海岸覆道 15 箇所を対象として, その設計および施工実態を調査した。使用材料としては, 越波流量が大きい条件では鉄筋コンクリート板が, 小さい条件では採光性を考慮してポリカーボネードやアラミド繊維シートが用いられていた。次に 2004 年台風 18 号により鉄筋コンクリート製防波板が被災した国道 229 号神恵内村大森覆道の事例を分析した。この覆道は岩礁域に建設された消波護岸上に設置されていたが, 設計を上回る潮位と波浪により消波ブロックが散乱し, その後, 衝撃的な波力によってアンカーで固定されていた鉄筋コンクリート製防波板が倒壊した。再現実験の結果, セン断耐力の約 3 倍に相当する波力の作用により被害が生じたことが明らかになった。

1. はじめに

急峻な崖に近接した海岸道路においては, 落石対策として写真-1 に示すような海岸覆道が建設されてきた。その構造としては, 落石を受け止める天井部を, 山側の壁および海側の柱で支える形式が一般的であるけれども, 高波時には柱の間から覆道内に流入する越波によって, 通行車両に影響が及ぶ危険性がある。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すでに採用されているけれども, その耐波性については十分検討されていないのが現状である。

本研究では, 北海道内の国道における海岸覆道用防波板の実態調査を行ない, その設計および施工条件を明らかにする。さらに 2004 年台風 18 号にもたらされた高波によって被害を受けた国道 229 号神恵内村大森覆道について分析するとともに, 水理模型実験により被災状況の再現を行なった。

2. 海岸覆道における防波板の設置状況

(1) 高波による通行障害事例

北海道内の国道には海岸覆道が 107 箇所 (新ルート開通による市町村への移管分を含む) 設置されており, その総延長は約 14 km に及ぶ。覆道の柱の間隔は 1.5~3.0 m であり, 高速で走行中の車内からは海側の状況の把握が難しい。このため越波水塊が飛散した場合には, 運転者はその襲来を事前に予測することが困難となる。このような状況下では, 急停車による追突や車線変更による正面衝突といった大きな事故につながる危険性がある。

木村ら (2003) は, 越波流量が $10^{-5} \text{ m}^3/\text{m/s}$ のオーダー

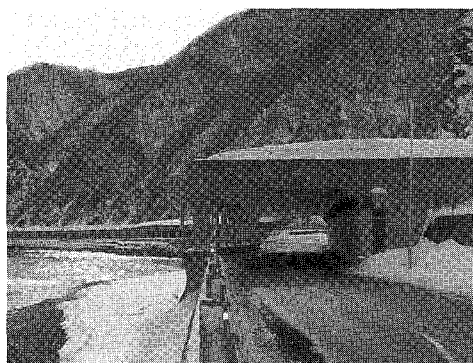


写真-1 海岸覆道の一部

一の高波の来襲時に, 海岸覆道を走行中の車両の正面および側面のガラスが越波により破損した事例を報告している。この海岸覆道において越波流量が $10^{-5} \text{ m}^3/\text{m/s}$ を上回る期間は, 年平均で 100 時間程度となる。防波板の設置によって越波水塊の覆道内への侵入が抑えられれば, 高波による通行規制の回数の低減が可能となる。

(2) 防波板の使用材料

北海道内では, 国道 4 路線, 合計 15 箇所の海岸覆道において防波板が施工されている。表-1 にその諸元を示す。防波板の材質としては, 鉄筋コンクリート板, デッキプレート, ポリカーボネード, アラミド繊維シートなどが用いられていた。

各覆道の設計資料に基づいて越波流量を求めた。なお資料が入手できない箇所については, 近隣の漁港の設計波を用いて越波流量を推定した。防波板の設計には 50 年確率波が用いられており, 越波流量は $10^{-1} \sim 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m/s}$ であった。設計波に対する越波流量が大きい場合は鉄筋コンクリート板が使用され, 差筋により覆道本体部に固定されていた。越波流量が小さい条件に対しては覆道内の採光のため, 光透過性の高い材料が用いられていた。

写真-2 は, 防波板の上部をポリカーボネード板とし, 波圧の大きな下部を鋼製デッキプレートで施工した事例

1 正 会 員 博(工) 室蘭工業大学助教授 建設システム工学科
2 学生会員 室蘭工業大学大学院 建設システム工学専攻
3 正 会 員 博(工) (独)土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 上席研究員
4 株式会社ドーコン 防災保全部 次長

表-1 海岸覆道における防波板の施工事例

覆道	防波板タイプ	T_0 (s)	H_0 (m)	海底勾配	W. L.	護岸形状	護岸天端高(m)	堤脚水深(m)	hc/H_0	h/H_0	q ($m^3/m/s$)
A	ポリカーボネード	13.8	9.7	1/100	+1.4	直立	5.0	3.0	0.37	-0.16	0.005
B	ポリカーボネード+デッキプレート	13.8	9.9	1/100	+1.4	直立	6.0	0.5	0.46	0.09	0.009
C	ポリカーボネード	13.8	9.7	1/100	+1.4	直立	6.0	-1.0	0.47	0.25	0.027
D	ポリカーボネード+デッキプレート	13.8	9.9	1/100	+1.4	直立	6.5	0.5	0.52	0.09	0.006
E	ポリカーボネード+デッキプレート	13.8	9.9	1/100	+1.4	直立	6.5	0.5	0.52	0.09	0.006
F	ポリカーボネード+デッキプレート	13.7	9.7	1/100	+1.4	消波	6.5	-2.0	0.53	0.35	0.011
G	アラミド繊維シート	13.7	9.7	1/100	+1.4	消波	6.5	-2.0	0.53	0.35	0.011
H	木材(仮設時)→アラミド繊維シート	13.7	9.8	1/100	+1.4	直立	6.5	1.5	0.52	-0.01	0.003
I	ポリカーボネード+デッキプレート	13.7	9.7	1/100	+1.4	消波	6.5	-2.0	0.53	0.35	0.011
J	ポリカーボネード	14.4	9.6	1/30	+1.1	消波	7.0	-1.0	0.61	0.22	0.003
K	ポリカーボネード	14.4	9.6	1/30	+1.1	消波	7.0	-1.0	0.61	0.22	0.003
L	金属ネット	14.4	11.1	1/30	+1.1	消波	7.5	-2.0	0.58	0.28	0.005
M	ポリカーボネード	12.5	4.6	1/20	+1.3	消波	6.5	-1.0	1.13	0.50	0.026
N	鉄筋コンクリート板	15.4	11.4	1/30	+1.2	消波	9.0	-5.0	0.68	0.54	0.153
O	鉄筋コンクリート板	15.4	12.6	1/30	+1.2	消波	6.6	-4.8	0.43	0.48	0.059

を示している。なお下部については、作用波力を低減するため有孔型デッキプレート（開口率 30 %）の使用例も見られた。

また仮設工としては、H 覆道のように木材（板厚 15 mm）を用いる場合や、L 覆道のように越波により連行される砂礫や浮遊物の飛散を抑える目的で金属製ネットを設置する場合もある。

（3）アラミド繊維シートの適用例

透過性防波板用の新素材として、近年、アラミド繊維シートの適用例が増加している。アラミド繊維シートは従来から用いられてきたポリカーボネードに比べて光透過率が高く、耐荷性や疲労耐久性に優れていることが特徴である。G 覆道では、写真-3 に示すように、柱間の幅 3.0 m、高さ 3.8 m の空間に、幅 2.9 m × 高さ 0.9 m × 厚さ 10 cm のシートパネルを 3 段配置し、パネルの上下端を鋼板で固定し覆道内に取り付けた。

波力算定に当たっては、消波工の天端高さが不十分であったため、上久保ら（2001）の不連続消波による波圧増大効果を考慮した。その結果に基づいて、シート部分の設計荷重を求め、引張試験および衝撃載荷試験を行なって部材設計に適用した（巽ら、2005）。さらに、現地においては波圧計が設置され、作用波圧と海象条件の関係についてデータ取得が継続されている。

3. 鉄筋コンクリート製防波板の被災再現

（1）被災の概要

2004 年台風 18 号は、2004 年 9 月 8 日に北海道西岸を北上し広い範囲を暴風圏に巻き込み、北海道日本海沿岸各地に高波被害をもたらした。積丹半島西岸に位置する神恵内村（図-1 参照）では、海岸家屋や漁港施設等に大きな被害が発生した（名越ら、2006）。同村を縦貫す

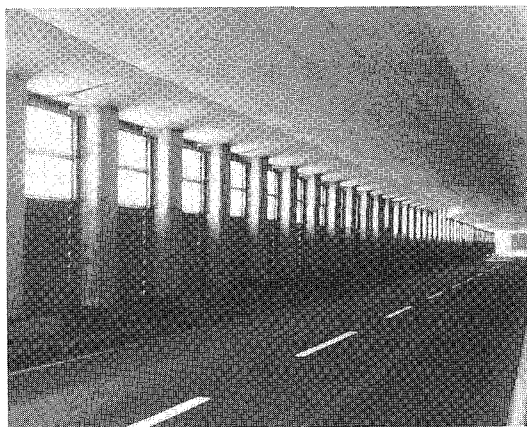


写真-2 デッキプレートとポリカーボネードの併用例

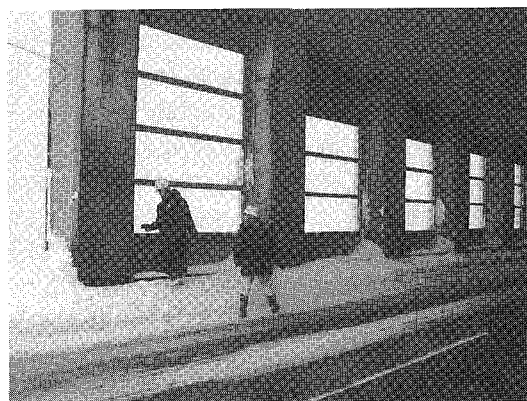


写真-3 アラミド繊維シートの施工例

る国道 229 号では大森大橋が高波により落橋し、仮橋完成までの数ヶ月間、通行止めとなった（本間ら、2005）。この台風により大森大橋に隣接する大森覆道およびキナ

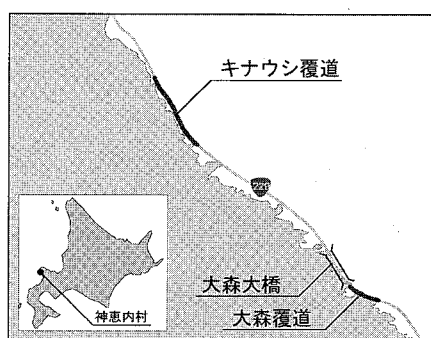


図-1 神恵内村の位置

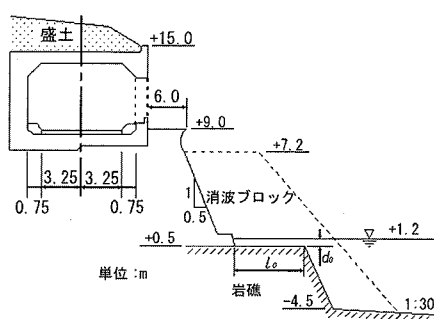


図-2 大森覆道の標準的な断面形状

ウシ覆道（前出表-1のNおよびO）において、鉄筋コンクリート製防波板が被災した。

写真-4は被災した大森覆道の全景である。総延長285mの覆道に設置されていた鉄筋コンクリート製防波板（5.5m×4.3m）35枚のうち15枚が脱落し、写真-5に示すように覆道内に倒壊した。さらに9枚の防波板に亀裂が発生し、覆道の内側に入り込んでいた。なお、写真-4の中には、覆道上に白抜きの数字で防波板番号を付してある。それぞれの防波板の被害状況を、後出の図-7に記号で示した。当初設計では海底地形に対応してA～Dの4区間に分けられていたが、本報告では消波ブロックの被災状況も加味して、B区間を2つ、C区間を3つ、D区間を2つに分割し、合計8区間に対して検討を行なった。

被災箇所の護岸の標準的な形状を図-2に示す。岩礁上に1:0.5勾配の傾斜壁が設けられており、その前面には消波ブロックが設置されていた。今回の来襲波浪により消波ブロックが沖側に散乱したため、越波が顕著と

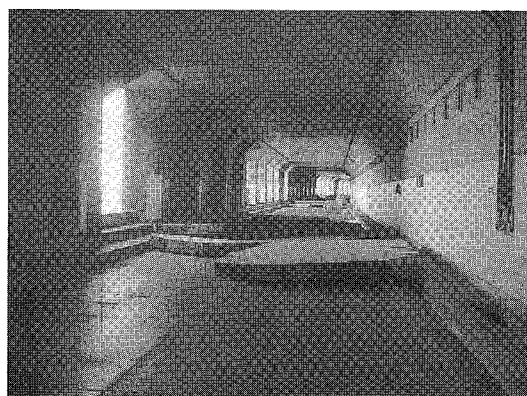


写真-5 覆道内に倒壊した防波板

なったと推定される。現地では打ち上げられた水塊によって覆道上の緩衝用盛土が大きく洗掘されたことが確認されている。

この台風では急激な気圧変化による海面上昇が特徴的で、図-3に示すように小樽港ではT.P.+85cmの異常潮位が観測されていた。潮位が上昇した中で高波浪が継

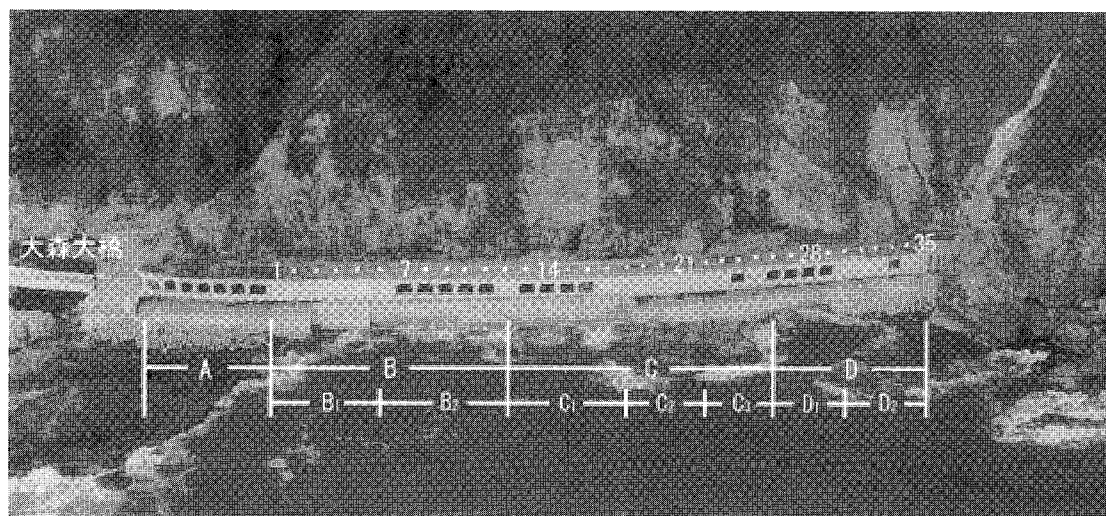


写真-4 大森覆道の被災状況

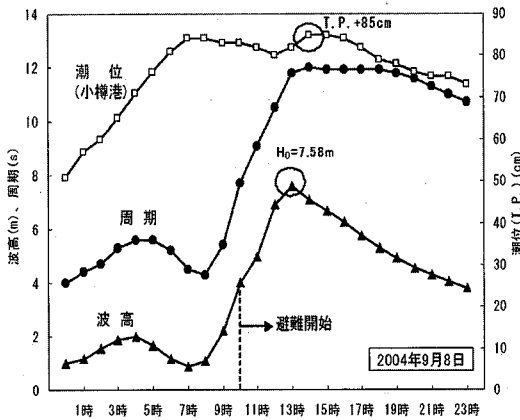


図-3 被災時の海象変化

続したため岩礁上の消波ブロックが不安定となったものと考えられる。

被災当日は午前10時に国道229号の当該区間は全面通行止めの措置が講じられており、大森覆道および大森大橋において通行車両等への被害は報告されていない。また、海岸住民も自主的に避難し、神恵内村において高波による人的被害は発生しなかった。

(2) 実験方法

被災再現実験は、長さ24 m、幅0.6 m、深さ1.0 mの造波水路において海底勾配1/30の条件下で、幾何縮尺1/55として実施した。実験模型では図-4に示すように前面の岩礁地形を再現した。堤脚部から岩礁先端までの距離 l_0 および水深 d_0 は、A~D₂の各区間に対して現地の地形に合わせて設定した。なお、岩礁部の前面水深 h は10.8 cmで一定とした。

堤体の法面勾配は1:0.5とし、その上に覆道部を模擬した直立壁を配置した。波圧計(定格20 kPa)は、堤体部に3個(P1~P3)、覆道部に3個(P4~P6)設置した。構造条件としては、覆道部の後退距離 B を0~22 cmの5種類に変化させて、その影響を把握するとともに、消波工の効果についても調べた。

実験にはすべて不規則波を用い、前出の図-3で示した現地における波浪のピーク時に着目して、換算沖波波高 $H_0' = 6.7$ m、 $T = 12.7$ sを検討対象の波浪条件とした。実験潮位はT.P.+85 cmを採用した。波圧データはサンプリングタイム10 msで取得し、これを統計解析した。同一条件の実験を10回繰り返して実施し、波群中の最大波圧の平均値と標準偏差を求めた。

(3) 波圧特性

図-5には、現地のB₂部およびC₁部に相当する地形条件($l_0 = 3.5$ cm、 $d_0 = 1.0$ cm)に対して、消波ブロックの被災後を想定した「消波なし」の場合の波圧分布を示している。図の上側は覆道部の後退距離 B が0 cmの場

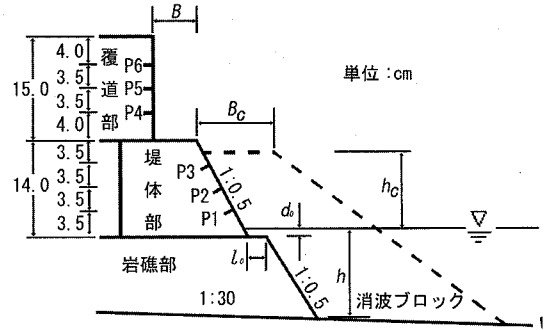


図-4 実験模型と波圧計の位置

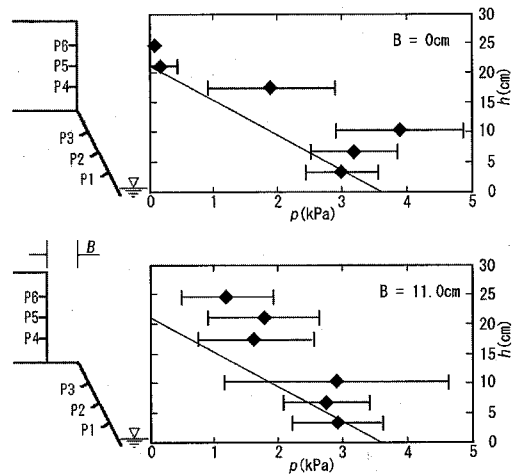


図-5 波圧分布

合、下側は B が11.0 cmの場合である。図中の実線は岩礁部をマウンドと仮定して、衝撃波力係数(高橋・谷本ら, 1992)を考慮して合田式により求めた計算値である。 B が0 cmのケースでは堤体上部から覆道部の下端で計算値を上回っているが、覆道部上側での波圧は小さい。これに対し B が11.0 cmのケースでは、覆道部で全体的に計算値を上回る波圧が生じている。 B が0 cmの場合は堤体から覆道部に沿って薄い水脈が打ち上げられるため波圧が小さいのに対し、覆道部が後退した場合には越波した水塊の衝突によって衝撃的な波圧が発生する。

図-6は、覆道部(P4~P6)の平均波圧 $\bar{p}$ (10データの平均値)と後退距離 B の関係を示している。消波ブロックの被災後を想定した「消波なし」の断面に対しては、 $B = 11.0$ cm(現地換算6 m)付近で波圧がピークとなり、さらに B が大きくなると波圧は減少する傾向にある。高橋・遠藤ら(1992)は後部パラベット堤を対象として実験的研究を行なって、パラベットの後退距離の影響に関して本実験と同様な傾向を得ており、越波水

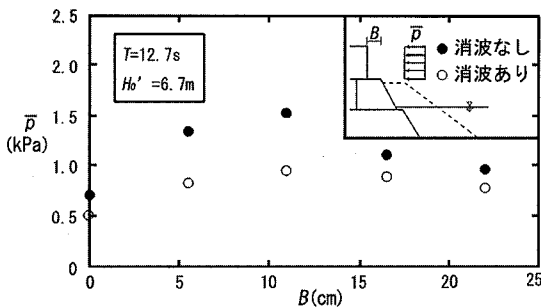


図-6 後退距離の影響

が直接打ち込む範囲において波圧増大が生じている。一方、消波ブロックの被災前を想定した「消波あり」の実験結果では、平均波圧が消波なしの場合の60～80％に低減されている。後退距離 B の影響については消波なしの場合とほぼ一致している。

(4) 現地の被災状況との比較

図-7は、大森覆道の各区間における防波板に働く波力 F と被害の関係を示している。作用波力が大きい区間ほど、防波板の被害が大きい傾向が認められる。防波板の倒壊が顕著となった B_2 部、 C_1 部、 C_3 部および D_1 部では、防波板1枚当たりの作用波力は1,500～1,700 kNとなった。防波板を覆道本体に固定していたアンカーのせん断耐力は約500 kNであり、その約3倍の波力が働いたことになる。また、防波板に亀裂が多く発生し

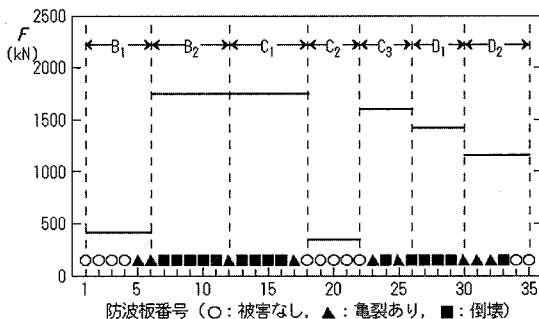


図-7 防波板への作用波力と被害の関係

た D_2 部での作用波力は1,200 kNであり、アンカーのせん断耐力の2.5倍程度であった。

4. まとめ

本報告により明らかになった事項は以下のとおりである。

- ①北海道内の国道を対象として、海岸覆道における防波板の施工実態を示した。
- ②現地における防波板の被災再現実験を行って、覆道部に働く波圧に及ぼす構造条件の影響を示した。
- ③実験により推定した波力を用いて、現地における鉄筋コンクリート製防波板の被災状況を説明した。

本報告で示した調査の実施に当たっては、国土交通省北海道開発局の小樽、室蘭、函館および留萌の各開発建設部の関係各課から、現地事例に関して多くの資料を提供していただいた。ここに記して関係各位に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)：消波工と本体工の天端高さが異なる消波ブロック被覆堤の水理特性，海岸工学論文集，第48巻，pp.706-710。
- 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，海岸工学論文集，第50巻，pp.796-800。
- 高橋重雄・遠藤仁彦・室善一郎(1992)：混成防波堤上の越波水の運動と波力に関する実験的研究，港研報告，第31巻，第1号，pp.3-50。
- 高橋重雄・谷本勝利・下迫健一郎・細山田得三(1992)：混成防波堤のマウンド形状による衝撃波力の提案，海岸工学論文集，第39巻，pp.676-680。
- 巽治・小野俊博・佐々木博一・三田村浩・今野久志・岸徳光(2005)：アラミドネット補強シートを用いた越波防止柵の開発，平成16年度土木学会北海道支部論文報告集，第61号，IV-5。
- 名越隆雄・木村克俊(2006)：2004年台風18号による神恵内村内の海岸家屋の越波被害について，平成17年度土木学会北海道支部論文報告集，第62号，II-37。
- 本間大輔・窪内篤・山本泰司・畑山朗・木村克俊(2005)：台風0418号による大森大橋の被災メカニズムと応急復旧対策について，海洋開発論文集，第21巻，pp.23-28。