国道 238 号猿払海岸道路における路肩部の高波被害とその復旧

越智 聖志¹・木村 克俊²・宮武 誠³・上久保 勝美⁴

¹学生会員 室蘭工業大学大学院 公共システム工学専攻 (〒050-0071 北海道室蘭市水元町27-1)
E-mail : 11058003@mmm.muroran-it.ac.jp

²フェロー会員 室蘭工業大学大学院教授 暮らし環境系領域 (〒050-0071 北海道室蘭市水元町27-1)
E-mail : kimura@mmm.muroran-it.ac.jp

³正会員 函館工業高等専門学校准教授 環境都市工学科 (〒042-8501 北海道函館市戸倉町14-1)
E-mail : miyatake@hakodate-ct.ac.jp

⁴正会員 (独)土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail : kamikubo-k22aa@ceri.go.jp

2006 年 10 月、北海道のオホーツク海に面した猿払村において、国道 238 号の海岸道路が高波により被災した。本研究では、2 次元水理模型実験を行って被災時の状況を再現するとともに、応急復旧工の効果について検討した。現地においては、約 12 時間にわたって高波が法面を遡上し、路肩が侵食したことが明らかになった。応急復旧工は、土のうを 2 段積みとし、その前面に消波ブロックを設置することにより、設計波条件に対して、それ自体の耐波安定性と道路の安全通行を確保することが確認された。さらに、2007 年 1 月に来襲した高波時に現地観測を行って、これらの防波性能および耐波性能を検証した。

Key Words : coastal road, storm waves, temporary countermeasures, sandbag, armor block

1. はじめに

海岸道路の設計においては、車両の安全な通行を確保するため、飛沫や水塊の打ち上げを抑制することが重要となる。さらに、近年の低気圧の大型化や海面上昇に伴い、海岸道路に來襲する高波の頻度は増加傾向にある。こうした状況下において、道路管理者は、気象・海象情報を把握しながら、必要に応じて徐行、片側交互通行あるいは全面通行止めの規制を講じる必要がある。福田ら¹⁾は、現地観測結果に基づき背後地の利用状況と許容越波流量の関係について検討している。また、木村ら²⁾³⁾、清水ら⁴⁾は、高波時に海岸道路を走行する車両に生じる越波に伴う通行障害や、その対策について検討している。しかしながら、現状では海岸道路の通行規制については、明確な基準が定められておらず、高波時において通行車両に被害が発生する事例も少なくない。

我が国においては、海崖や浜がけの背後に位置する海岸道路が少なくない。川村ら⁵⁾は、海崖を対象として地盤工学の視点から、その力学機構の解明や、安定性評価法の検討を行なっている。一方、浜がけに関しては、漂砂移動の観点からのアプローチは行われているが、

海岸道路の路肩部の被災事例に対して波浪条件などを考慮した崩壊プロセスの検討は行われていない。

一般国道 238 号沿いの猿払海岸道路は、2006 年 10 月 9 日に台風並みに発達した低気圧による高波によって、路肩舗装部分が欠落するまで侵食、崩壊が進行した。本研究では、武田ら⁶⁾による被災報告に基づいて、高波による路肩欠損時の越波状況の再現実験を行うとともに、現地で適用された応急復旧工の防波性能および耐波性能の評価を行うことを目的としている。

2. 被災の概要

一般国道 238 号は、北海道の宗谷地方と網走地方を結ぶ幹線道路である。被災箇所は図-1 に示す猿払村市街地より北方約 4 km に位置する知来別地区である。被災箇所周辺は海岸侵食が急速に進行し、昭和 52 年(1977)から平成 18 年(2006)までの 29 年間で汀線が 90 m も後退している。

後出の図-5 に紋別港ナウファス観測点における平成 18 年 10 月 8 日、9 日の潮位・有義波高・有義波周期の時系列観測データを示す。太平洋からオホーツク海

に移動した低気圧により強風が吹き荒れ、8日午前9時には最大有義波高7.7 m(最高波高12.7 m)を記録した。このような気象・波浪状況のもと、8日15時頃の異常時巡回において路面上への越波水の打込みが確認され、翌9日2時半頃には、写真-1に示すように海側の路肩部が道路延長約100 mにわたって、高さ3.0 m、幅7.5 mの範囲で侵食・崩壊を受けた。

3. 被災時の越波状況の再現実験

(1) 実験方法

図-2に示す2次元造波水路(長さ28.0 m、高さ1.0 m、幅0.8 m)において現地の海底地形を縮尺1/50で再現した。造波板から岸向き方向に8.6 m地点から1/100の海底勾配を10.0 m設け、前浜勾配1/10地形を0.6 m、その背後に道路法面を1/1勾配で0.05 m、道路部を水平に0.2 m、それぞれモルタル床で作成した。

実験はすべて不規則波を用い、実験波数150波を1波群とし、図中の表に示す3潮位、3周期、4波高の合計36種類の実験波を作成した。なお、潮位は1/10前浜勾配の前面を基準面(0.00 m)と設定した。ま

図-1 路肩欠損の発生位置

た、造波板から岸向きに4.45 m地点に波高計2台を設置して、有義波周期 $T_{1/3}$ および有義波高 $H_{1/3}$ を測定した。

水路上部および側部にデジタルビデオカメラを設置し、前浜部および法面部への波の遡上を撮影した。その後、動画を静止面に変換し、不規則波群中の最大波の遡上高さと水面形を読み取った。

さらに、模型断面の法面部および道路部を除去し、1/10勾配の前浜背後の横断方向中央部に幅10 cmの樋を設置して、法面部に流入する越波量を計測し、単位時間および単位幅あたりの越波流量の算出を行った。

(2) 法面部への流入越波流量

$T_{1/3}=10.0$ s、 $h=0.75$ mの条件に対して、換算沖波波高 H_o' を5.00、6.00および7.00 mに変化させた場合の水面形を図-3(a)、(b)および(c)に示す。なお、水面形は0.2 sごとに読み取った。それぞれの条件に対する水面形と法面部への流入越波流量 q_F には以下のような関係がある。図-3(a)では $q_F=3.0\times10^{-5}$ (m³/m/s)であり、遡上波が法面部まで達している。また、図-3(b)は、 $q_F=3.0\times10^{-3}$ (m³/m/s)であり、法面部に波面

写真-1 被災状況

図-2 実験模型

が衝突した後、水塊がそのまま上部に打ち上げられ、落水後の水脈が道路部中央にまで達している。一方、図-3(c)では、 $q_F = 8.0 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{m/s})$ であり、遡上波が法面部を完全に越流して道路部に遡上している。

(a) $q_F = 3.0 \times 10^{-5} (\text{m}^3/\text{m/s})$

(b) $q_F = 3.0 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{m/s})$

(c) $q_F = 8.0 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{m/s})$

図-3 遡上波の水面形

図-4(a), (b)および(c)には、 $h = 0.00, 0.75$ および 1.50 m に対する法面部への q_F の計測結果を示す。各潮位条件に対する q_F は $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-1} (\text{m}^3/\text{m/s})$ の範囲に分布しており、波高とともに増加傾向にある。

図-5 に路肩被災時の法面部への q_F の推定結果を示す。猿払海岸では 10 月 8 日 15 時の異常時巡回において、路面への越波が確認されていたが、路肩には異常が見られなかった。その 1 時間前の q_F は $2.0 \times 10^{-1} (\text{m}^3/\text{m/s})$ と推定される。翌 9 日の 2 時 30 分に路肩部の欠落が確認されたが、その時の q_F は $6.0 \times 10^{-2} (\text{m}^3/\text{m/s})$ であった。猿払海岸における路肩欠損は、流入越波流量 q_F のピーク時から約 12 時間後に生じたことがわかる。

(a) $h = 0.00 \text{ m}$

(b) $h = 0.75 \text{ m}$

(c) $h = 1.50 \text{ m}$

図-4 流入越波流量

図-5 被災当時の波浪状況と流入越波流量

4. 応急復旧工に関する実験

(1) 実験方法

応急復旧工の効果を検証するため、2次元造波水路(長さ24.0 m, 高さ1.0 m, 幅0.6 m)において、縮尺1/25で模型実験を実施した。水路内に、造波板から岸向き方向に1.5 m地点から1/30の海底勾配を11.0 m設け、前浜勾配1/10地形を1.0 m, その背後に道路法面を1/1勾配で0.08 m, 道路部を水平に0.3 m, それぞれ木製床で再現した。

実験はすべて不規則波を用い、実験波数150波を1波群とし、表-1に示すように潮位および有義波周期を一定とし、波高を5種類に変化させた。

表-2に標準的な土のうと消波ブロックの諸元を示す。実験用土のうは、一般的な土のう形状をプラスチック製模型で作成し、その中に粒状の鉛とシリコン樹脂を挿入することにより、現地の土のうに重量を合わせ作成した。表-3に応急復旧工の施工ケースを示す。復旧工は、土のうを法先部に2段積みとし、その前面の消波ブロックの設置方法を4種類に変化させた。Case1は土のうのみ、Case2, 3, 4は土のう前面に消波ブロックをそれぞれ1段1列, 1段2列, 2段3列配置したものである。

土のうの被災状況は、実験水路上部からデジタルビデオカメラを用いて撮影した。ここでは、2段積みの上段部の土のうに着目し、その被災率を求めた。また、応急復旧工の防波性能を評価するため、路面部の横断方向中央部に幅10 cmの樋を設置して越波量を計測し、単位時間および単位幅あたりの越波流量 q に換算した。

(2) 道路路面における越波流量

表-1 実験波浪条件

	現 地	実 験
潮位 h	1.50 (m)	6.00 (cm)
有義波周期 $T_{1/3}$	14.0 (sec)	2.80 (sec)
換算沖波波高 Ho'	3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00 (m)	12.0, 16.0, 20.0, 24.0, 28.0 (cm)

※模型縮尺: 1/25

表-2 土のうと消波ブロックの諸元

土のう		消波ブロック	
	現 地	現 地	実 験
容 積	1.0 (m ³)	64.0 (cm ³)	
重 量	1.70 (t)	109 (g)	
		高 さ	1.42 (m)
		重 量	2.00 (t)

※模型縮尺: 1/25

表-3 応急復旧工の施工ケース

Case1	Case2	Case3	Case4
土のう+消波ブロック無し	土のう+消波ブロック1段1列	土のう+消波ブロック1段2列	土のう+消波ブロック2段3列

図-6に、換算沖波波高と越波流量の関係を示す。福田ら¹⁾は、車両走行時(50%安全度)の許容越波流量を $2 \times 10^{-5} (\text{m}^3/\text{m/s})$ と定義している。 $Ho' = 5.00 \text{ m}$ に対しては、Case3およびCase4の対策工を採用することによって、越波流量を許容値以下に抑えることができる。一方、 $Ho' = 6.00 \text{ m}$ に対しては、いずれの対策工を用いても越波流量は許容値を上回ることから、通行規制等のソフト的な対策が必要となる。

(3) 土のうの耐波安定性

上段部の土のうは、押し波時に不安定となり、引き波によって沖側方向に転落する。 $Ho' = 7.00 \text{ m}$ に対するCase1およびCase4の土のうの被災状況を写真-2(a)および(b)に示す。Case1では、上段部の土のうが8個、下段部の土のうが6個被災している。一方、

Case4 では、上段部の土のうが 1 個被災しただけであり、消波ブロックを 2 段 3 列配置したことの効果が認められた。

図-7 に、換算沖波波高と土のうの被災率の関係を示す。土のうのみを配置した Case1 では、 $Ho' = 4.00$ m まで被災は生じない。消波ブロックを配置した Case2 および Case3 では $Ho' = 5.00$ m まで、Case4 では $Ho' = 6.00$ m まで土のうは被災していない。応急復旧工の設計波は $Ho' = 6.00$ m であることから、耐波安定性の観点から Case4 の妥当性が確認された。

5. 応急復旧工の効果の検証

現地で Case4 の応急復旧工が施工された後、2007 年 1 月 6 および 7 日に、オホーツク海全域に大型低気圧が来襲した。猿払海岸においては、通常の道路パトロールに加えて、汀線直角方向に測量用ポールを設置して越波観測が行われた。

図-8 に、紋別港ナウファス観測点における潮位、有義波高、有義波周期の観測データと遡上高さの計測結果を示す。黄色の範囲は、遡上高さが法先部まで達している時間帯を示している。7 日の午前 10 時には、 $Ho' = 5.00$ m, $T_{1/3} = 10.0$ s, $h = 1.30$ m となり、遡上高さは法先部にまで達していることがわかる。

高波浪は同日 20 時まで継続したが、道路路面への

図-6 越波流量

図-7 土のう被災率

越波は確認されず、通行規制等の処置は講じられていない。また、土のうにも特に変状が見られなかった。従って、本実験により得られた応急復旧工(Case4)の防波性能および耐波性能が現地においても確認された。

6. まとめ

本研究で得られた結果を要約すると、以下に示すとおりである

- (1) 2006 年 10 月に国道 238 号猿払海岸において路肩欠損が生じた際の越波状況を水理模型実験により再現し、法面部への流入越波流量を推定した。
- (2) 土のうと消波ブロックを用いた応急復旧工に関する水理模型実験を行って、土のうの被災率と路面への越波流量を明らかにした。
- (3) 2007 年 1 月に来襲した高波時の波浪データおよび越波状況を分析することにより、現地で施工された応急復旧工の妥当性を確認した。

今後は、移動床実験と数値解析を用いて、現地における路肩欠損の再現性をさらに向上させていく所存である。

(a) Case1 (被災個数:8 個)

(b) Case4 (被災個数:1 個)

写真-2 土のう被災状況($Ho' = 7.0$ m)

図-8 現地遡上高さ計測結果

謝辞：国土交通省北海道開発局稚内開発建設部からは、当該道路に関する詳細なデータを提供して頂いた。現地における波浪データの分析においては、財団法人日本気象協会北海道支社の西村修一氏の協力を得た。また、実験データの解析においては、日本データサービス株式会社の清水敏明氏の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 福田伸夫, 宇野俊泰, 入江 功：防波護岸の越波に関する現地観測(第2報), 第20回海岸工学講演会論文集, pp.113-118, 1973.
- 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.766-770, 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) 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, 土木学会論文集 B2, Vol. 66, No.1, pp.746-750, 2010.
- 5) 川村志麻, 栗林正樹, 三浦清一：波の侵食作用を受ける海岸斜面の力学特性とその評価, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.536-540, 2008.
- 6) 武田光邦, 山本隆, 及川秀一：一般国道238号猿払村における海岸侵食被災状況と復旧後の管理体制について, 平成18年度北海道開発技術研究発表会, 2006.

DAMAGE PATTERN ON COASTAL ROAD OF NATIONAL ROUTE NO.238 AT SARUFUTSU VILLAGE BY STORM WAVES AND ITS COUNTERMEASURES

Masashi OCHI, Katsutoshi KIMURA, Makoto MIYATAKE
and Katsumi KAMIKUBO

In October, 2006, the coastal road of national route No.238 was damaged by storm waves at Sarufutsu Village in Hokkaido. In this research, two-dimensional hydraulic model experiments were conducted to reproduce the damage condition and to examine the temporary countermeasures. At the site of the damage, wave run-up induced by high waves continued for about 12 hours, and the deficit of the road shoulder arose. Based on the test results, tetrapods of two layer with three row should be necessary for the stability of large sand bags and the safety traffic. The applicability of the proposed countermeasures was also confirmed by field observations.