緩傾斜護岸背後に位置する道路の越波対策に関する検討

Measures against wave overtopping for coastal roads behind gently sloping seawalls

室蘭工業大学大学院	○学生員	中村	彰吾	(Shogo Nakamura)
室蘭工業大学大学院教授	フェロー	木村	克俊	(Katsutoshi Kimura)
日本データーサービス(株)	正会員	越智	聖志	(Masashi Ochi)

1. はじめに

緩傾斜護岸は、親水性が高く、環境共生に優れている ことから各地で施工されている。しかしながら、護岸の 斜面部を波が遡上しやすいことから、背後地において越 波が問題になり、その利用状況によって越波対策を検討 することが重要となっている。越智ら¹⁰は、**写真-1**に示 す太平洋側に面するA海岸に設置された緩傾斜護岸を対 象とし、越波流量および越波水脈厚を水理模型実験によ り把握するとともに、背後の道路における車両の滑動安 定性を明らかにしている。

本研究では、当該道路の越波対策として、緩傾斜護岸 の法先部における消波工の効果を水理模型実験により明 らかにする.さらに、消波ブロックの耐波安定性につい て現地調査および水理模型実験によって検討すること目 的とする.

2. 緩傾斜護岸の現地調査

海岸線の延長は約2kmで図-1に現地における緩傾斜



写真-1 現地における緩傾斜護岸の状況

護岸の平面配置を示す.また,図-2 に区間ごとの緩傾 斜護岸の断面形状を示す.区間(a)は,消波工の天端が 最も高い.これに比べ,天端の低い区間(b)では,顕著 な越波が発生している.また,区間(c)では,法先部に 砂が堆積しているため越波が抑制される.

現地調査は、2015 年 10 月 1 日に実施し、海岸線に沿って平行に踏査し、波の遡上高さと消波ブロックの状況 を確認した.区間(b)における消波ブロックの状況を**写 真-2** に示す.岸側の消波ブロックが脱落し、護岸の斜 面上に打ち上げられた様子が確認できる.これは、2015 年 9 月 11 日に来襲した沖波波高 H_o = 6.0 m を超える波 によって生じたものと推測される.



図-2 現地における緩傾斜護岸の断面形状













図-3 緩傾斜護岸模型の断面形状

3. 水理模型実験

実験は、2次元造波水路(長さ 24.0 m, 幅 0.6 m, 深さ 1.0 m)内に海底勾配 1/30 の地形を設置し、図-3 に示すよ うに縮尺 1/40 で緩傾斜護岸および前面の消波ブロック (現地 3.2 t 型)を再現した.また、同図中には嵩上げした 消波ブロックの形状も示す(赤斜線).以下、模型実験の 諸元はすべて現地換算値で示す.本研究では、消波工を 嵩上げした場合の越波低減効果を検証するため、消波ブ ロックは水面から設置断面の天端高さを h_c とし、消波 工無し、 $h_c = 0.2(現状)$, 1.0, 1.8 および 2.6 m の 5 種類 に変化させた.潮位は h = + 1.3 m(H.H.W.L.)、周期は T_o = 11.0, 13.0 および 15.0 s の 3 種類、換算沖波波高は H_o = 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 および 7.0 m の 6 種類に変化 させた.また、実験波は、すべて 150 波 1 波群の不規則 波を用いた.

4. 消波工による越波低減効果

4.1 実験方法

越波実験実施にあたってまず,各換算沖波波高 H_o'に 対する消波ブロックの法肩位置における最大波高 H_{max} および有義波高 H_{1/3}を計測した. 図-4 に各周期 T_oにお ける,換算沖波波高 H_o'と最大波高 H_{max}および有義波高 H_{1/3}の関係を示す. H_{max} と H_{1/3} は,ともに H_o'が高くな るほど増加する傾向にあるが, H_{1/3} は,3.0 m程度で頭 打ちとなる. これは,有義波高計測位置の水深が 3.0 m のため砕波の影響で限界になったと推測される.

越波実験は,堤体模型の道路部で最も越波による影響 が大きい I 断面において,護岸模型の横断方向中央部に 幅 4 m 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.また, I 断面 において容量式波高計を設置し最大越波水脈厚 η_{max} の 計測を行った.なお,越波に関する実験は,越波の危険 性が大きい周期 $T_0 = 15.0 \text{ s} を対象とし,同一実験条件に$ 対し,それぞれ 3 回繰り返して計測を行い,その平均値を採用した.

4.2 越波流量

図-5 に各消波工の天端高さ h_c における,換算沖波波高 H_o 'と越波流量 q の関係を示す. q は、 h_c を大きくするほど減少する傾向にある.また、海岸道路を走行する車両の窓ガラスの破損に対する許容越波流量は、 1.0×10^{-2} m³/m/s であり、潮位が H.H.W.L.において $h_c = 0.2$ m(現状)では H_o ' = 2.5 m で危険になるのに対して、 $h_c = 2.6$ m まで嵩上げすることにより H_o ' = 7.0 m までの通行が可能になることがわかる.

4.3 最大越波水脈厚

図-6 に、各消波工の天端高さ h_c に対する換算沖波波 高 H_o 'と最大越波水脈厚 η_{max} の関係を示す. 同図中の各 破線は、各実験値の近似曲線を示す. η_{max} は、越波流量 と同様に h_c を大きくするほど減少していることがわか る. また,越智ら¹)は,車両滑動実験により,車両10.0 tの安全性を確保するためには $\eta_{max} = 1.0$ m以下に抑え る必要があることを明らかにしている.したがって,設 計波である $H_0' = 7.0$ mでも車両10.0 tの安全性を確保す るためには $h_c = 1.8$ mにする必要がある.

図-7 に,換算沖波波高 $H_0' = 7.0$ m に対する無次元消 波工高さ h_c/H_{max} と無次元最大水脈厚 $\eta_{max}/(\eta_{max})_0$ の関係 を示す.ここで, $(\eta_{max})_0$ は消波工が無い場合での最大 越波水脈厚である. η_{max} は, h_c を大きくすると直線的な 減少傾向が見られる.

5. 消波工の耐波安定性に関する検討

5.1 実験の方法

安定実験では,護岸前面に設置した消波ブロックの質 量を3種類(現地量で2.0,4.0および6.0t)に変化させ, 各有義波高 H₁₃に対する消波ブロックの移動状況を計測 した.なお,消波ブロックが護岸上を滑動する際に生じ る堆積した砂との摩擦を考慮し,護岸の緩傾斜部にサン ドペーパーを敷き粗度を合わせた.

消波ブロックの移動状況を撮影するため,護岸上部に デジタルビデオカメラを設置した.波作用前の平面画像 に存在する全消波ブロックをナンバリングし,そのうち 元の位置から半個長以上の移動が生じた消波ブロックを 被災とみなした.被災の程度を表すパラメーターである 被災度 No は,高橋ら²⁾と同様に,波の進行方向 1 列あ たりの被災ブロックの個数と定義した.

5.2 現況における消波ブロックの被災パターン

写真-3 に現状($h_c = 0.2 \text{ m}$)を再現した消波ブロックの被 災状況を示す.撮影時の波浪条件は, $T_o = 11.0 \text{ s}$, $H_o' = 6.0 \text{ m}$ であり,写真中の白および青の消波ブロックはそ れぞれ法面および天端部に位置する消波工を再現してお り、岸側の消波ブロックが脱落し、岸側に滑動する様子 が確認できる.これは**写真-2** で示した現地における被 災パターンにほぼ一致している.

5.3 周期の影響

図-8 に T_0 = 15.0 s, h_c = 0.2 m(現状)における, 有義波 高 $H_{1/3}$ と被災度 N_0 の関係を示す. N_0 は, $H_{1/3}$ とともに 増大している. また, 消波ブロックは質量が小さくなる ほど被災度が大きくなる. さらに, 高橋ら²⁾は, 後述す る(1)式で用いる K_D 値が 8.3 に対応する被災度 N_0 を 0.3 と設定していることから, 被災度 N_0 = 0.3 に注目すると, M = 2.0tでは $H_{1/3} = 1.72$ m, M = 4.0tでは $H_{1/3} = 2.15$ m, M = 6.0tでは $H_{1/3} = 2.54$ m, であることがわかる. また, 同様の実験を周期 $T_0 = 11.0$, 13.0 s についても実施した.

図-9 は、天端高さが $h_c = 0.2 \text{ m}$ の時の各周期 T_o にお ける、有義波高 $H_{1/3}$ と消波ブロック必要安定質量 M の 関係を示している. 同図中のプロットは実験値を示して おり、周期 T_o が長いほど消波ブロックの必要安定質量 M が大きくなることがわかる.また、同図中の実線は 消波ブロック設置位置で計測した有義波高 $H_{1/3}$ を用いて、 (1)式に示すハドソン式に各波高を代入して算定した消 波ブロックの必要安定質量 Mを示している.

$$M = \frac{\rho_r \cdot x \cdot H_{1/3}}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha}$$
(1)

ここで、ρrは消波ブロックの密度、Srは消波ブロックの







図-6 換算沖波波高と最大越波水脈厚の関係



図-7 消波工嵩上げによる越波低減効果



写真-3 ブロックの被災状況

海水に対する比重, α は消波工法面と水平面のなす角度, K_D は消波ブロックの種類および被災度により定まる定 数であり,ここではK_D = 8.3 とする.またxはハドソン 式の補正係数であり,実線で示すx = 1.0 とした従来の ハドソン式による計算値は実験値を大きく下回っている. これに対し,補正係数としてT_o = 15.0 sの時x = 5.2, T_o = 13.0 sの時x = 4.6, T_o = 11.0 sの時x = 4.3 を,それぞ れ用いることにより,図中の破線で示すように,計算値 は実験値を概ね良好な精度で再現できることがわかる.







 図-9 有義波高と必要安定質量の関係に 及ぼす周期の影響(hc=0.2 m)



図-10 有義波高との必要安定重量の関係に 及ぼす天端高さの影響(T_o = 15.0 s)

5.4 天端高さの影響

図-10 は、周期 $T_o = 15.0 \text{ s}$ に対して、各消波工の天端 高さ h_c における有義波高 $H_{1/3}$ と消波ブロック必要安定 質量 M の関係を示している.天端高さ h_c を大きくする ことにより M が小さくなる傾向がある.これは天端面 が高い位置にあるほど作用波力が小さく、消波ブロック が安定となるためである。補正係数として $h_c = 0.2 \text{ m}$ の 時x = 5.2, $h_c = 1.0 \text{ m}$ の時x = 4.5, $h_c = 1.8 \text{ m}$ の時x = 3.6, $h_c = 2.6 \text{ m}$ の時x = 2.5 c, それぞれ用いることにより, 図中の破線で示すように、計算値は実験値を概ね良好な 精度で再現できることがわかる.

また,第4章で提案した消波工の天端高さ $h_c = 1.8 \text{ m}$ に嵩上げをする場合には、同図を用いて、消波ブロックの必要安定質量がM = 6.0 tになることがわかる.

6. まとめ

本研究の結論を要約すると、以下のようになる.

- (1) 現地調査を行い、岸側の消波ブロックが緩傾斜護 岸上に打ち上げられていることを確認した.
- (2) 越波実験により、最大越波水脈厚に及ぼす消波工の天端高さの影響を明らかにした。その結果、現状より天端を 1.8 m 嵩上げすることにより沖波波高 7.0 m まで車両 10.0 t が安全になることを示した。
- (3) 安定実験により,消波工の天端高さを変化させて, 消波ブロックの必要安定質量と波高の関係を明ら かにした.また,天端を 1.8 m 嵩上げしたときの 必要安定質量が 6.0 t になることを示した.

ー連の実験において、当該道路に対しては消波工の嵩 上げによる越波低減効果が明らかになった。今後は通行 規制を講じるための明確な基準を設けるとともに、波浪 予測をベースとしたソフト的な対策の確立が求められる。 さらに、他の緩傾斜護岸において、本対策工の有効性を 検証する予定である。

本研究を実施するにあたり,室蘭工業大学4年豊田優 貴君と山下千帆さんにご協力を得た.ここに記して謝意 を表す.

参考文献

- 1) 越智聖志,木村克俊,中村彰吾,宮武誠,上久保 勝美,袖野宏樹:緩傾斜護岸背後の道路上の車両 に働く越波による波力に関する検討,土木学会論 文集 B3(海洋開発), Vol.72, No.2, pp.676-681, 2016.
- 2) 高橋重雄,半沢稔,佐藤弘和,五明美智男,下迫 健一朗,寺内潔,高山知司,谷本勝利:期待被災 度を考慮した消波ブロックの安定重量―消波ブロ ック被覆堤の設計法の再検討(第一報)―,港湾技術 研究所報告,第37巻,第1号,pp.3-32,1998.