

道路護岸における越波に伴う粗石の打ち上げの再現実験

Hydraulic model tests on boulder run-up by wave overtopping on a coastal road

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院 教授
室蘭工業大学大学院
(独)土木研究所寒地土木研究所
(一財)北海道道路管理技術センター

○学生会員 阿部翔太 (Shota Abe)
フェロー 木村克俊 (Katsutoshi Kimura)
学生会員 越智聖志 (Masashi Ochi)
正 会 員 上久保勝美 (Katsumi Kamikubo)
正 会 員 名越隆雄 (Takao Nakoshi)

1. はじめに

海岸線に近接した道路では通行車両に対する越波被害が大きく、このような区間では通行止めや片側交互通行などの対処が必要となる。しかしながら、現状ではこうした交通規制の明確な基準が定められておらず、走行中の車両被害が発生する事例も少なくない。

越波による通行障害について、清水ら¹⁾は越波飛沫の飛散による運転者の一時的な視界障害をもたらす間接的被害について検討している。一方、木村ら²⁾は、越波水塊の衝突による車両破損のような直接的被害について検討しているものの、越波に連行された石の作用による被害に関する研究は数少ない。

本研究は、越波により道路護岸上に打ち上げられた粗石(直径 7.5~30cm)の実態調査を行った。さらに、越波による粗石の打ち上げに関する再現実験を行い、その結果に基づき、越波による粗石の連行特性について検討した。

2. 現地における粗石の打ち上げ状況

北海道の太平洋側に面した A 海岸は越波の発生が顕著であり、とくに礫や石の打ち込みに伴う交通障害が数多く発生している。図-1 は、A 海岸で撮影された越波と打ち上げられた粗石の状況を示す。比較的大きな粗石は、護岸直背後に打ち込まれる傾向があることが確認されている。

表-1 は、1995~2004 年の 9 年間に、A 海岸に打ち上げられた粗石についての調査結果を示している。粗石の質量は最大で 10.3kg、直径は 28cm 程度であり、そのほとんどが扁平率の大きい丸みを帯びた薄い形状であった。一方、粗石が打ち上げられた当時の波浪状況を分析した結果、周期 $T_{1/3}=10.0\sim12.0s$ 、波高 $H_{1/3}=2.6\sim3.0m$ であることが確認された。

3. 実験方法

実験では、図-2 に示す二次元造波水路(長さ 22.0m、幅 0.8m、高さ 2.0m)内に 1/30 および 1/10 勾配を有するモルタル製斜面を作成し、その上に斜面勾配 1:0.4 の傾斜護岸を縮尺 1/20 で再現した。なお、本研究において越波による粗石の移動を把握するにあたり、現象を単純



図-1 A 海岸における越波の状況

表-1 越波により打ち上げられた粗石の諸元

データNo.	A	B	C	D	E
採集日	1995.1.30	1995.1.30	1997.9.19	2004.1.23	2004.1.23
質量 [kg]	10.300	2.800	5.900	4.600	6.400
長辺 [m]	0.260	0.160	0.260	0.200	0.280
短辺 [m]	0.185	0.130	0.180	0.170	0.165
高さ [m]	0.130	0.095	0.080	0.090	0.095
体積 [m³]	0.00363	0.00100	0.00208	0.00176	0.00232
密度 [kg/m³]	2837	2800	2837	2614	2759
扁平率	1.000	0.684	2.250	1.222	1.947
潮位 h [m]	0.99	0.99	1.01	1.81	1.81
周期 $T_{1/3}$ [s]	10.3	10.3	12.6	10.2	10.2
波高 $H_{1/3}$ [m]	3.0	3.0	2.9	2.6	2.6
写真					

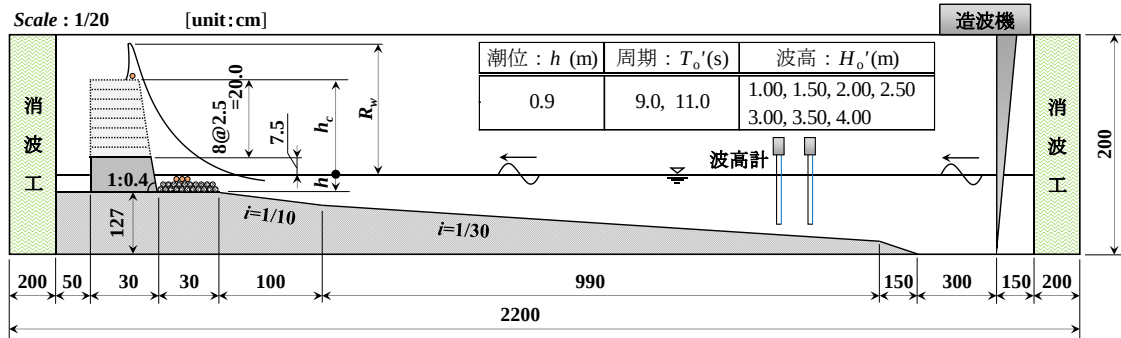


図-2 再現実験の概要

化させるため、護岸の波返し工を省略した。また、護岸前面には直径 $d=1.5\text{cm}$ のガラス玉を用いた固定マウンド(2層厚)を設置した。

実験波は、すべて不規則波(1波群 150波)とし、図中の表に示す2周期、7波高に変化させた。なお、護岸前面の水深 h は 0.9m で一定とした。

実験水路の側面には、デジタルビデオカメラを配置して越波の状況を撮影するとともに、導水樋(幅 10cm)を用いて越波流量 q を計測した。撮影した動画は静止面に変換した後、静水面からの最大打ち上げ高さ R_w をデジタルタイザーにより読み取った。

粗石の模型は、比重を2.5になるように中詰め材を調整したスチロール製球体を用い、その直径 d を $0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ および 3.0cm の5種類に変化させた。実験では粗石をマウンド上に40個ずつ配置し、静水面から護岸天端上までの高さ h_c を 7.5cm ～ 32cm まで 2.5cm ずつ変化させ、越波によって粗石が1個打ち上がる時の R_w を計測した。

4. 粗石の打ち上げ特性

図-3は、天端高さ h_c を 27.5cm (現地 5.5m)とした場合の、周期 $T_0'=11\text{s}$ 、波高 $H_0'=3.0\text{m}$ に対する直径 $d=1.0\text{cm}$ (現地 20cm)の粗石の打ち上げ状況を示している。粗石は押し波時に護岸法先部に集まり、引き波時に露出する。その直後に、法先部直前で砕波した波により打ち上げられる。

図-4および図-5に、それぞれ天端高さ $h_c=27.5\text{cm}$ (現地 5.5m)とした場合の、換算沖波波高 H_0' と最大打ち上げ高さ R_w および越波流量 q の関係を示す。波高の増大に伴い R_w は大きくなるものの、 q は $H_0'=2.0\text{m}$ 以上で一定となる。これは、マウンド直前の急勾配斜面の影響を受け、砕波点が護岸寄りになり、衝撃砕波が生じたことで打ち上げ高さのみが増大したものと考えられる。

図-6は、横軸に粗石の直径 d 、縦軸に天端高さ h_c に対する最大打ち上げ高さ R_w の比 R_w/h_c を示している。 R_w/h_c は周期による差異が小さく、 h_c に対する R_w が大きいほど打ち上げられる粗石の直径も大きくなる。これらの傾向を図中の曲線で示す算定式により近似した。

現地で打ち上げられた粗石(表-1のA~E)に対して、前出の図-4から R_w を求め、 h_c を 5.5m で一定とし、図中に○印で示した。これらの傾向は、図中の曲線とほぼ一致しており、提案した算定式の妥当性が明らかとなった。

5. まとめ

本研究により以下に示す結論が得られた。

- 1) 北海道の太平洋側に面したA海岸において、越波により打ち上げられた粗石の諸元や来襲した波浪の状況を示した。
- 2) 2次元造波水路を用いた不規則波実験により、粗石を伴う越波現象を再現し、打ち上げられる粗石の直径 d と、天端高さ h_c に対する最大打ち上げ高さ R_w の比 R_w/h_c の関係を定式化した。
- 3) 現地で打ち上げられた粗石のデータを用いて、定式化の妥当性を明らかにした。



図-3 越波により打ち上げられた粗石の状況

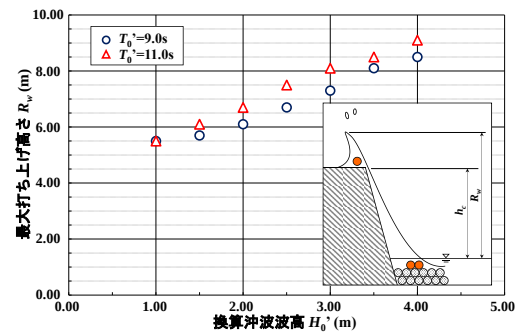


図-4 換算沖波波高と最大打ち上げ高さの関係

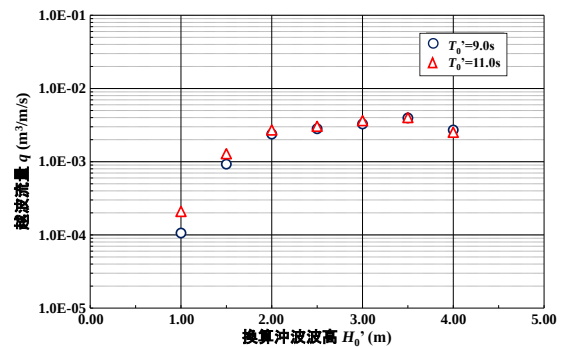


図-5 換算沖波波高と越波流量の関係

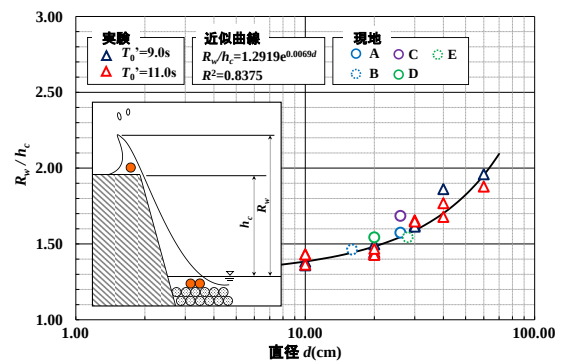


図-6 粗石の直径 d と R_w/h_c の関係

参考文献

- 1) 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: 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, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 66, No.1, pp.746-750, 2010.
- 2) 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: 木村克俊・安田佳乃子・山本泰司・梅沢信敏・清水敏明・佐藤 隆, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.756-760, 2001.