

海岸鉄道用護岸の高波被害の再現実験

Hydraulic model tests on a damaged seawall for a coastal railway due to high waves.

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院

○学生員 橋田 雅也 (Masaya Hashida)
教授 フェロー 木村 克俊 (Katsutoshi Kimura)
学生員 越智 聖志 (Masashi Ochi)

1. まえがき

海岸沿いを走る鉄道は、車窓から風景を一望できることから人気が高く、全国各地でリゾート列車が運行されている。しかし、海岸鉄道においては、強風や波浪により運行障害が発生することが少なくない。こうした事例に対し、平野ら¹⁾は高波による道床バラストの散乱特性について検討している。また越智ら²⁾は、越波の打ち込みによる盛土の洗掘特性を明らかにしている。

本研究は、青森県川部と秋田県東能代を結ぶ五能線での高波による護岸背後の盛土洗掘事例に関する調査を行った。さらに、当時の護岸越波状況を水理模型実験により再現し、越波による盛土洗掘の要因を明らかにするものである。

2. 五能線における脱線事例の分析

1972年12月2日午前6時頃、旧国鉄五能線の広戸～追良瀬間において、深浦発弘前行きの5両編成の普通列車が図-1に示すように脱線して海へ転落し、機関士1名が死亡、乗客3名が負傷する事故が発生した。

この事故を報じた新聞記事(合計8紙)から推定した被災箇所の断面形状を図-2に示す。護岸の天端高さは3.0mで、護岸前面から2.0m離れて盛土(高さ1.0m)が設置されていた。鉄道線路は盛土の法肩から2.0mの位置に敷設されていた。現地においては、護岸のパラベット(延長200m)が倒壊し、その後の越波により護岸背後の盛土部(延長150m)が洗掘され、線路が宙吊り状態となった。当該列車の機関士がこうした線路の異常に気付くのが遅れたことが、事故の原因と考えられている。

図-3に現地に近接した深浦港における事故発生前後4日間の波浪推算結果を示す。事故前日の20時06分に最終列車が通過した後、波高は急激に増大し、事故当日の午前3時に有義波高9m、周期13sでピークとなった。

3. 実験方法

長さ22m、幅0.8m、高さ2.0mの2次元造波水路(海底勾配1/30)内に、図-4に示す縮尺1/35の護岸模型を設置した。実験波はすべて不規則波(1波群150波)を用い、周期 T は13s(事故当時の推算値)とし、換算沖波波高 H_0 は3.0～9.0mの7種類に変化させた。

現地における越波特性を解明するため、パラベット倒壊前と倒壊後の2パターンに対して、幅10cmの樋を護岸模型の前面に設置し、背後への越波流量を測定した。さらに、パラベット倒壊後の盛土洗掘要因を明らかにするため、現地において盛土前面にあたる護岸背面から60mmの位置での流速 u と、水脈厚 η を計測した。

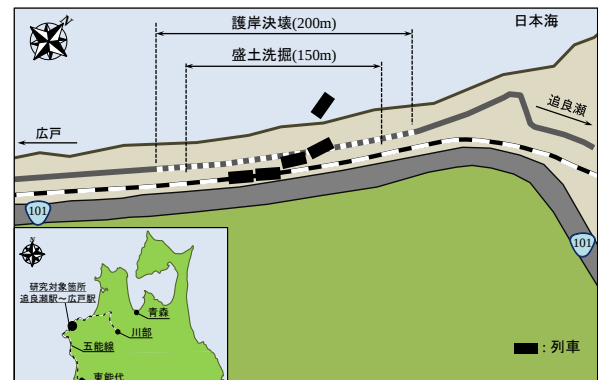


図-1 被災箇所平面図

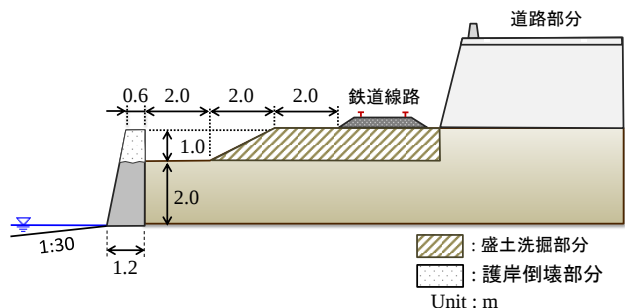


図-2 被災箇所断面図

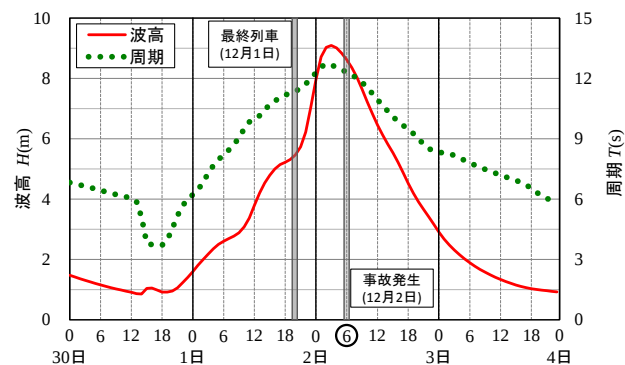


図-3 事故当時の波浪推算値

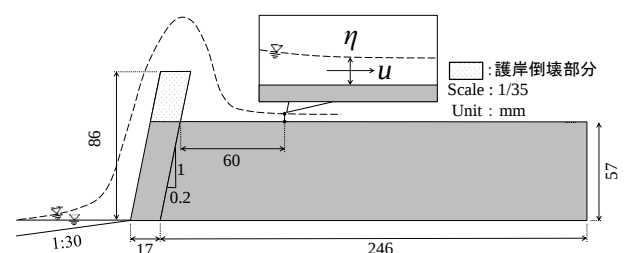


図-4 護岸模型

4. 越波特性

(1) 越波流量

図-5 に、パラペット倒壊前後における、換算沖波波高と越波流量の関係を示す。いずれの条件に対しても波高の増大とともに徐々に越波流量も増加している。波高 9m においては、パラペット倒壊前の越波流量が $1.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{m/s}$ であるのに対し、倒壊後の越波流量は $4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{m/s}$ となっており、パラペットの倒壊により越波流量は約 4 倍となった。

(2) 流速および水脈厚

パラペット倒壊後を対象として、波群中で越波流量が最大となる波に着目し、その最大流速および水脈厚を計測した。図-6 に換算沖波波高と最大流速 u_{peak} および水脈厚 η の関係を示す。最大流速は波高に対して緩やかに変化するのにに対し、水脈厚は波高 7m において急激に増大している。これは入射波と反射波の干渉により厚い水脈を伴う越波が作用していることが理由と考えられる。波高 9m においては、現地量で最大流速が 4.9m/s、水脈厚が 0.85m の越波が発生していることがわかった。

最大流速と水脈厚を乗じることにより単位幅当りの最大越波流量 q_{max} が求められる。図-7 に示すように、 q_{max} は波高 7m 以上で急激に増大しており、前出の図-6 と同様の傾向が認められた。盛土被害が発生した波高 9m の条件においては、 q_{max} は約 $4 \text{m}^3/\text{m/s}$ となっており、大きな水塊が盛土に作用していたことがわかる。

(3) 越波流量の経時変化

図-8 は、パラペット倒壊の前後を対象として、前出の図-3 および図-5 を用いて越波流量の経時変化を推定したものである。ただし、被災発生前後においては周期が 9~13s で推移していたが、ここでは周期を 13s

で一定としている。波高が 9m(ピーク値)に達した 12 月 2 日午前 3 時にパラペットが倒壊したと仮定すると、3 時から 6 時までは $4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{m/s}$ の越波流量が生じ、これによって盛土洗掘が進行したと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである、

- 1) 越波による護岸背後の盛土洗掘は、水脈厚の影響が支配的であり、1972 年の五能線における事故当時の流速が 4.9m/s、水脈厚が 0.85m の越波が発生していることがわかった。
- 2) 越波流量は、パラペット倒壊前後で比較すると約 4 倍の差が生じ、パラペット倒壊による越波の危険性が明らかとなった。
- 3) 事故当時は、越波流量 $4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{m/s}$ が 3 時間継続したことにより、護岸背後の盛土の洗掘が進行したと考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり(独)土木研究所寒地土木研究所寒冷沿岸域チームに多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 平野夕焼, 木村克俊, 越智聖志, 高橋幹夫, 浜口正志: 海岸鉄道の高波による運行障害事例とその対策に関する検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.688-693, 2013.
- 2) 越智聖志, 木村克俊, 宮武誠, 上久保勝美: 護岸背後への越波による盛土洗掘の再現実験, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, pp.241-246, 2014.

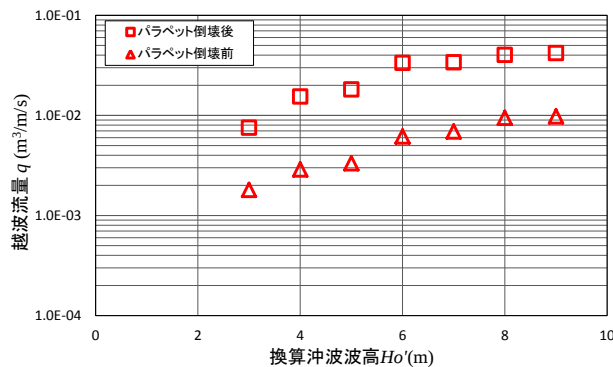


図-5 越波流量

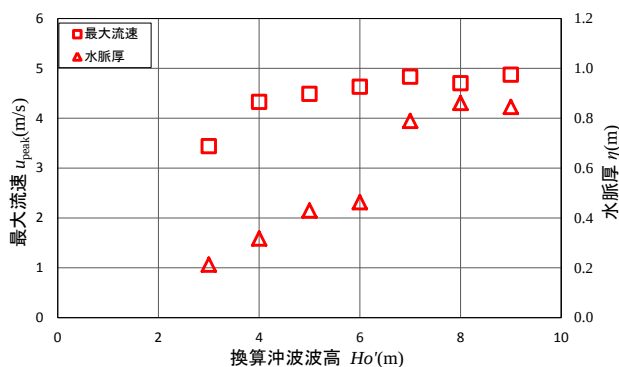


図-6 最大流速および水脈厚

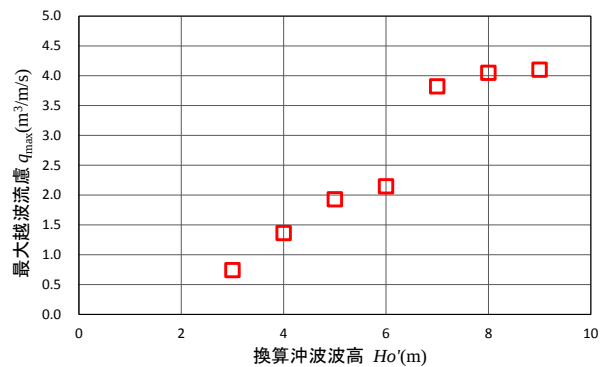


図-7 最大越波流量

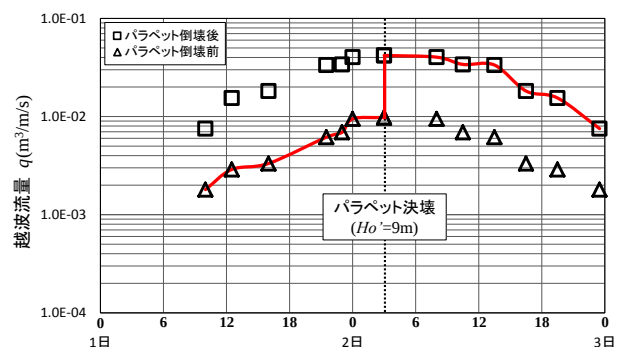


図-8 事故当時の越波流量経時変化