

越波水の打ち込みによる海岸鉄道の道床被害の再現実験

Hydraulic experiments of ballast damage of wave overtopping to a coastal railway

室蘭工業大学大学院 ○学生員 齊藤 将久 (Tasuku Saito)
 室蘭工業大学大学院 学生員 越智 聖志 (Masashi Ochi)
 室蘭工業大学大学院 フェロー 木村 克俊 (Katsutoshi Kimura)

1. まえがき

海岸沿いを走る鉄道は、車窓から海岸沿いを一望でき、旅客からの人気も高くリゾート列車が運行されている。一方、このような海岸鉄道では、高波時の越波による運行障害が発生する恐れがある。これまで平野ら¹⁾によって海岸鉄道における越波に対する検討が行われているが、波返し直後の線路に水塊が直接打ち込むような状況での影響はあまり検討されていない。

本研究では、波返し直後に線路が設けられている地域を対象とし、越波状況の把握のために1/40スケールの越波実験を行うとともに、1/4スケールの道床バラスト移動実験を行って、越波による道床バラストの被害について検討した。

2. 越波実験

(1) 実験方法

越波実験は長さ24.0m、幅0.6m、深さ1.0mの2次元造波水路(海底勾配1/30)内に、図-1に示すように縮尺1/40で護岸模型および護岸前面の消波ブロック(5t型)を再現した。実験波の周期 T は9,12,15sの3種類、換算沖波波高 Ho' は2,3,4,5,6,8mの6種類に変化させた。実験はすべて不規則波を用い、150波を1波群として計測を行った。波返し背後に波圧計(3か所)を設置し、天端への打ち込み波圧を計測するとともに、越波流量の計測を行った。

(2) 越波流量

図-2に換算沖波波高 Ho' と越波流量 q の関係を示す。 $T=9s$ 、 $Ho'=8m$ 以下の条件においては越波が確認されなかった。周期の長い $T=12$ および $15s$ では、 $Ho'=3m$ 以上で $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s}$ 以上の越波流量が計測された。越波流量は Ho' が増大に伴い大きくなる。越波流量は不規則波群中の最高波の影響を強く受けるため、道床被害の把握には、不規則波中の最大越波に対する検証が必要となる。

(3) 越波による打ち込み波圧

図-3に実験時の一般的な越波の作用状況を示す。越波水塊は、護岸によって鉛直方向に打ち上げられ、波返しの影響により水平方向への力が弱まり、波返し直後に落下する。よって道床バラストの被害は、越波水塊の打ち込み波圧の影響を受けると考えられる。

天端上の3か所で測定した打ち込み波圧のうち最大値が得られた沖側の波圧計のデータを解析した。図-4に最大波圧 p_{max} と換算沖波波高 Ho' の関係を示す。周期 T および換算沖波波高 Ho' とともに最大波圧は増大する傾向がある。これは越波流量の増大に伴うものと考えられる。

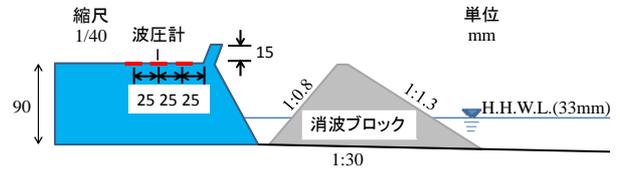


図-1 護岸模型

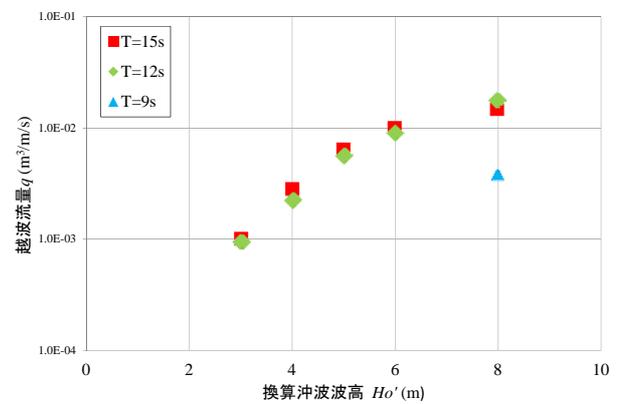


図-2 越波流量と換算沖波波高の関係(現地換算値)

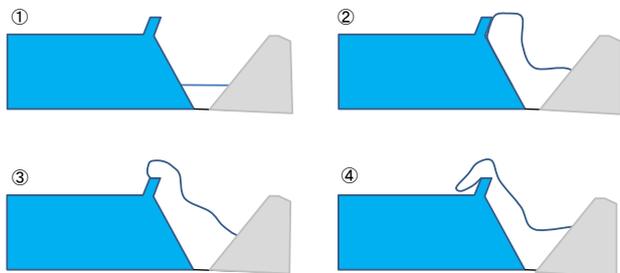


図-3 越波の作用状況($T=15s$, $Ho'=6m$)

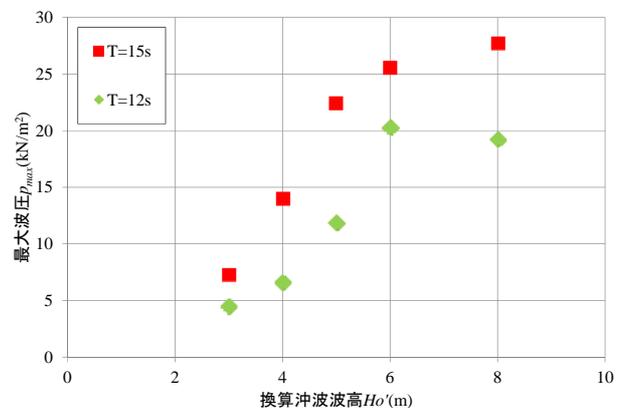


図-4 最大波圧と換算沖波波高の関係(現地換算値)

3. 道床バラストの移動特性

(1) 打ち込み波圧の再現

図-5 に道床バラスト実験に用いた水路を示す。実験は、現地におけるバラストの移動を詳細に再現するため、縮尺 1/4 の大規模模型を用いて実施した。

道床に作用する越波は、実験水路の上部に設置した貯留水槽のゲートを急開することによって生じる落水で再現した。バラスト移動実験に先立って、図-6 に示すように固定床に波圧計を設置し、打ち込み波圧を計測した。打ち込み波圧は貯留水槽幅 b および貯留水深 h を調整し、越波を再現した。

図-7 に最大波圧 p_{max} と貯留水深 h の関係を示す。貯留水深とともに最大波圧は増大する。また貯留水槽幅 b の影響は小さいことから、以下の実験では $b=10\text{cm}$ を用いて検討を行う。

(2) 道床バラストの被害率

再現した鉄道線路は、レール間の距離、枕木の本数、道床の厚さ、およびバラストの粒径は日本国内で用いられている規格を採用している。道床の被害は水塊を道床バラストに作用させることにより再現する。

図-8 に貯留水深 $h=20$ および 25cm を道床に作用させた際の被災状況を示す。 h が大きくなるのに伴ってバラストはレール側への堆積と道床外への流出が生じる。ここでは道床前面の台形の面積に対する流出面積の比を被害率として定義する。

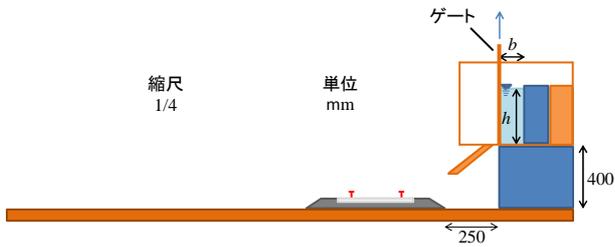


図-5 道床バラスト移動実験水路

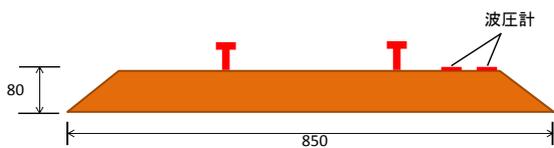


図-6 線路型の固定床

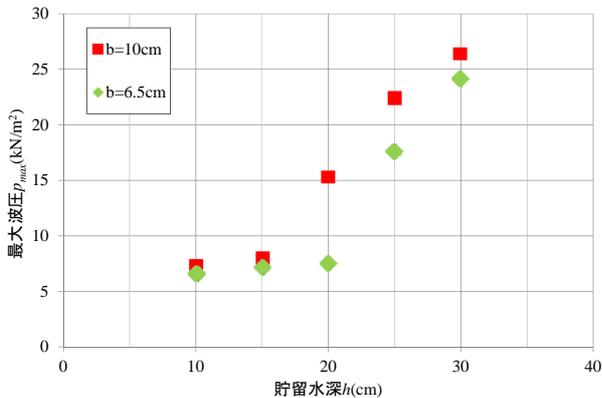


図-7 最大波圧と貯留水深の関係 (現地換算値)

図-9 に被害率 D と貯留水深 h の関係を示す。さらに越波実験で計測された最大波圧と道床バラスト移動実験で計測された最大波圧と被害率をもとに、被害率 D と換算沖波波高 Ho' との関係を図-10 に示す。 $T=12\text{s}$ では $Ho'=5\text{m}$ 、 $T=15\text{s}$ では $Ho'=4\text{m}$ から被害率は増大し 10% を越える。これらの沖波波高は運行停止や運行再開の判断基準とすることができる。

4. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである、

- 1) 越波の不規則性から時間平均ではなく、最大越波に注目する必要があることを示した。
- 2) 越波によって生じた道床被害率 D と換算沖波波高 Ho' の関係を明らかにした。
- 3) 現地における高波時の運行管理のための判断基準を示した。

参考文献

- 1) 平野夕焼・木村克俊ほか: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.

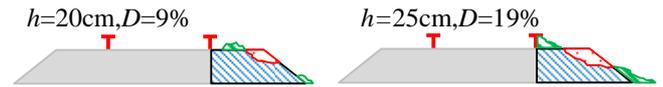


図-8 被災状況

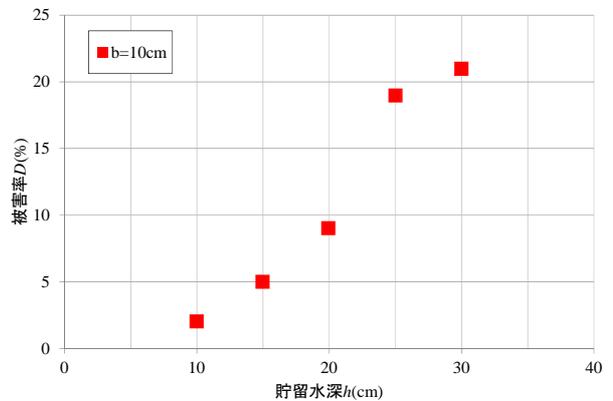


図-9 被害率と貯留水深の関係

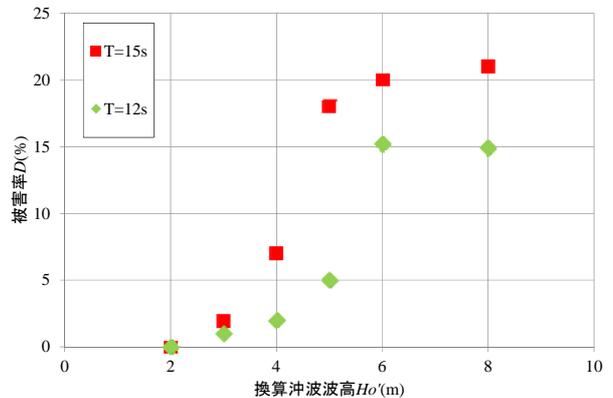


図-10 被害率と換算沖波波高の関係