

一般区間におけるバラスト軌道の 沈下再発の要因分析と対策施工

軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

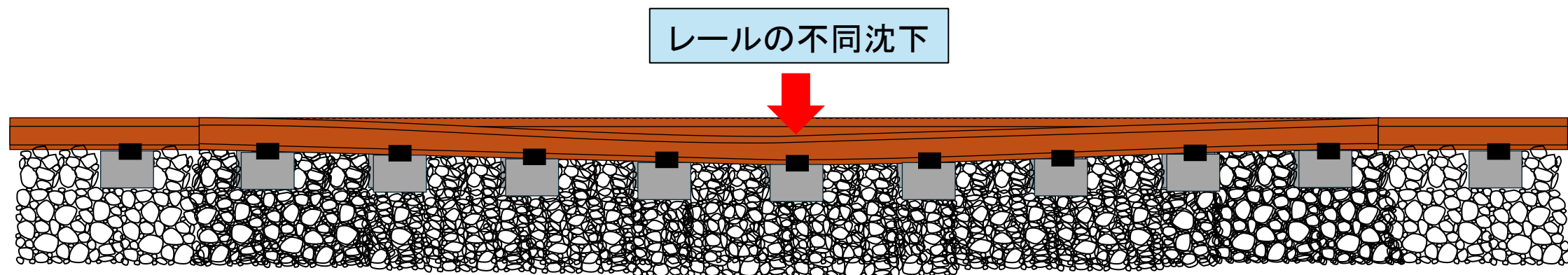
研究員 廣尾 智彰

目次

1. 背景
2. 軌道検測データを活用した実態調査
3. 小型模型による再現試験
4. DEMによるメカニズム分析
5. 実物大模型試験による対策工法の検討
6. まとめと成果の活用

■バラスト軌道と問題点

バラスト軌道は列車荷重を繰り返し受け、レールの不同沈下(軌道変位)が発生



軌道変位が増大

⇒

列車の乗り心地
走行安全性

に悪影響

⇒

保守作業を実施

しかし、

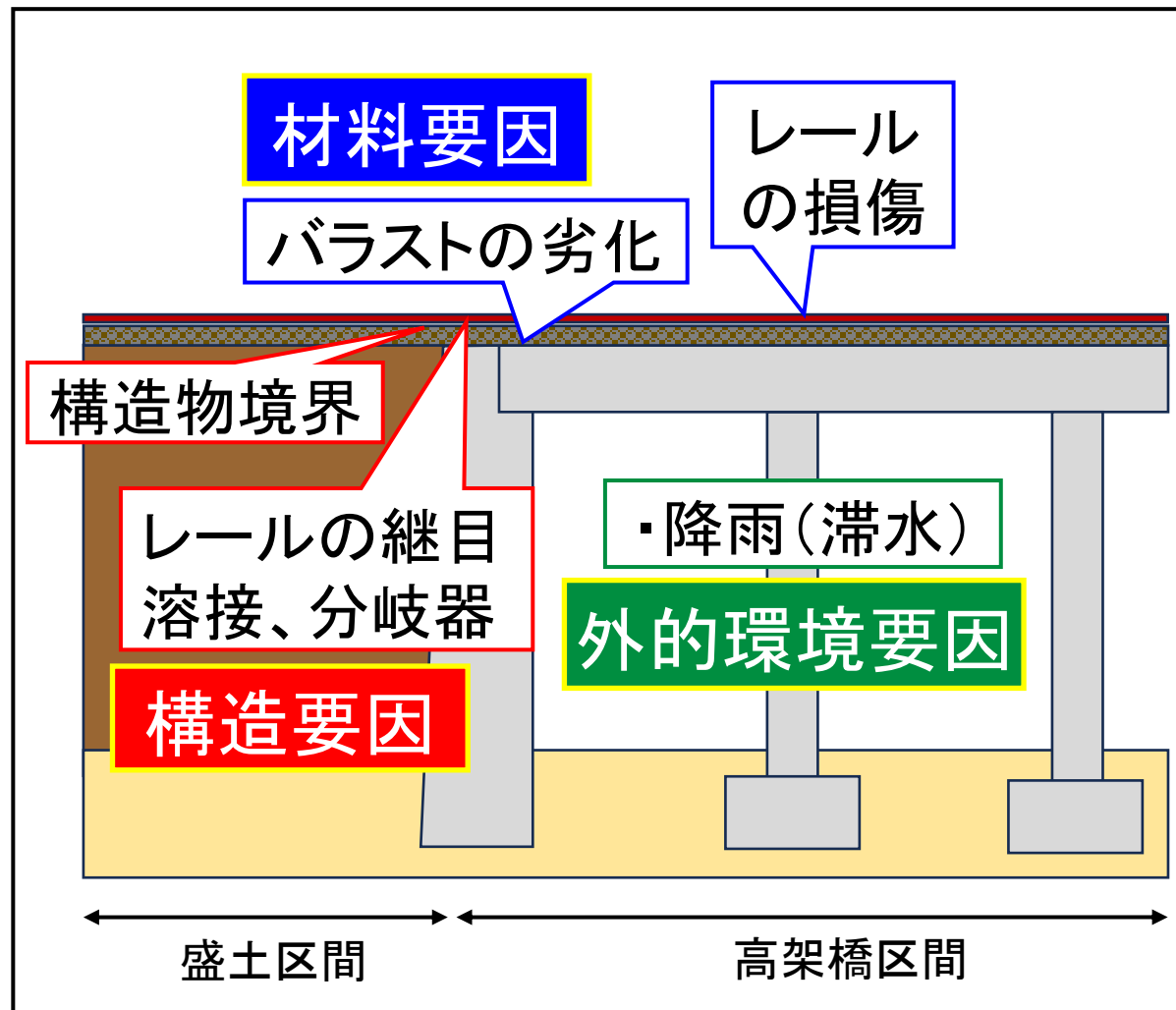
- 保守作業後に再沈下すると保守コストが増大
- 保守作業自体がバラストの劣化を促進

①再沈下が発生する要因

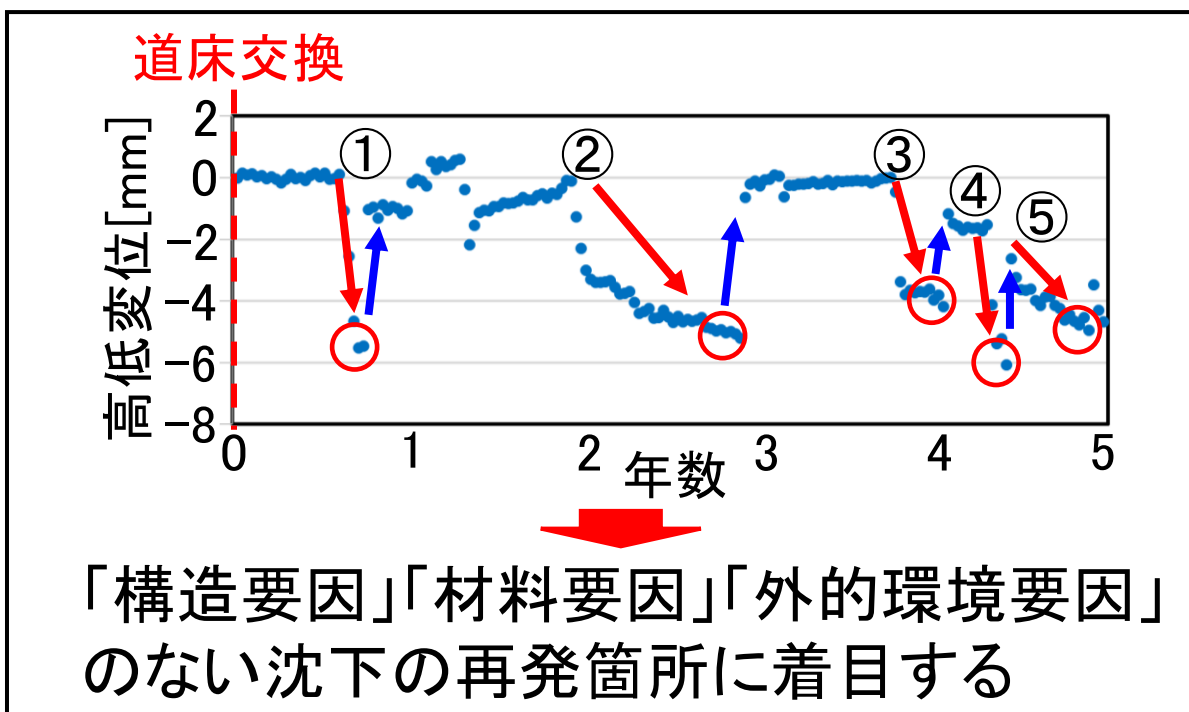
②再沈下が生じにくい施工方法

を検討した

■ バラスト軌道において沈下が生じやすい要因



- ・既往研究・経験的に沈下が生じやすい要因についてある程度は解明されている
- ・しかし、これらの要因が存在しない箇所でも沈下が繰返し生じることがある



■ 軌道検測データを活用した実態調査

【調査延長】のべ延長「980km」の軌道検測データ(2018年4月～2023年6月、1mピッチ)

【抽出条件】ロングレール区間、道床交換5年以内

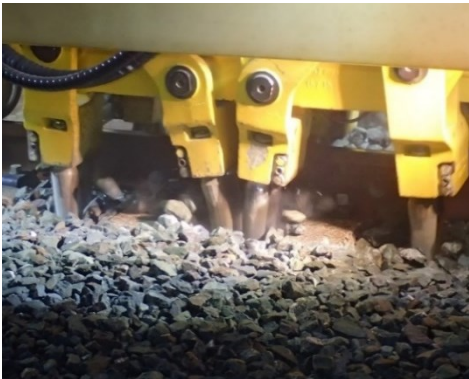
【除外条件】継目部、レール溶接部、分岐器区間、構造物境界部

} ⇒ 対象延長「96km」

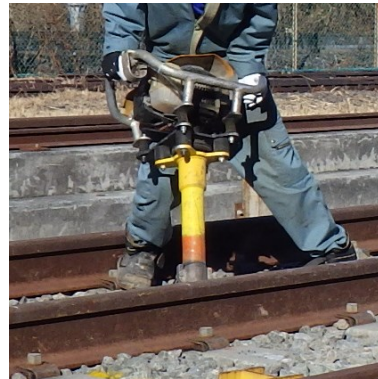
○再沈下の発生箇所数: **388箇所**

○保守作業の種別

マルチプルタイタンパ(MTT)

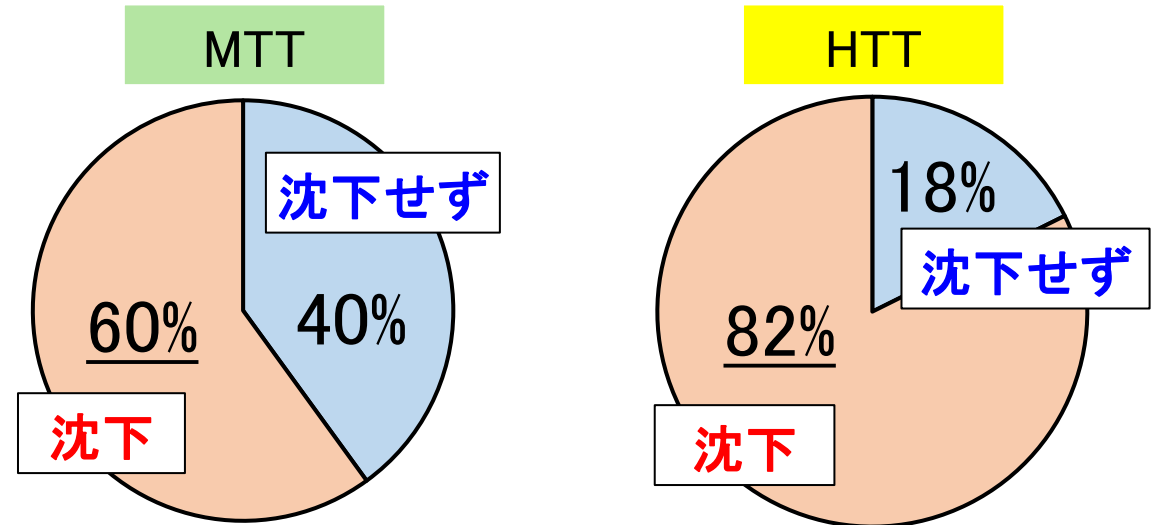


ハントタイタンパ(HTT)



保守作業が年2回未満の**153箇所**を
対象に**のべ428回**の保守作業を分析

○保守作業種別ごとの沈下の再発生割合



- ・MTTよりHTTで再沈下が発生しやすい
- ・MTTよりHTTの方が保守作業時のこう上量大
⇒こう上量が寄与している可能性がある

■ 小型模型による再現試験

■ 1/5縮尺模型の諸元

【軌道模型の諸元】

- ・新幹線バラスト軌道を想定
- ・相似則を考慮して1/5縮尺で製作
- ・延長は4m(まくらぎ35本分)

【載荷諸元】

- ・台車の軸間距離: 0.5m
- ・軸重: 1.7kN
- 設計荷重と実機を参考に縮尺

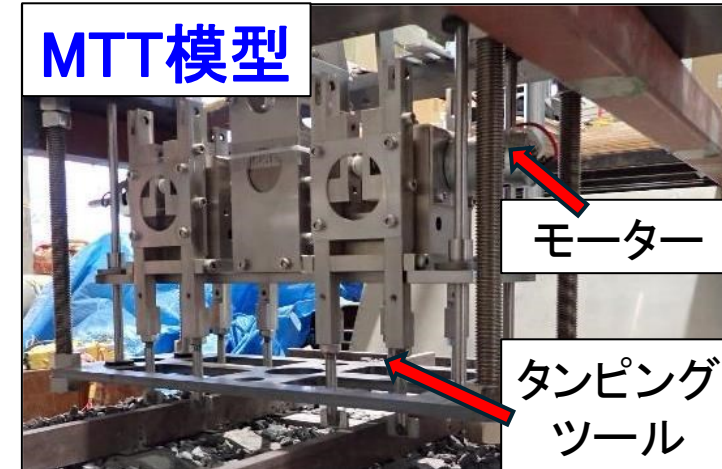
【MTT模型諸元】

- ・タンピングツール振動周波数
- ・ツールの挿入、スクイズ時間
- 実機での施工を参考に縮尺

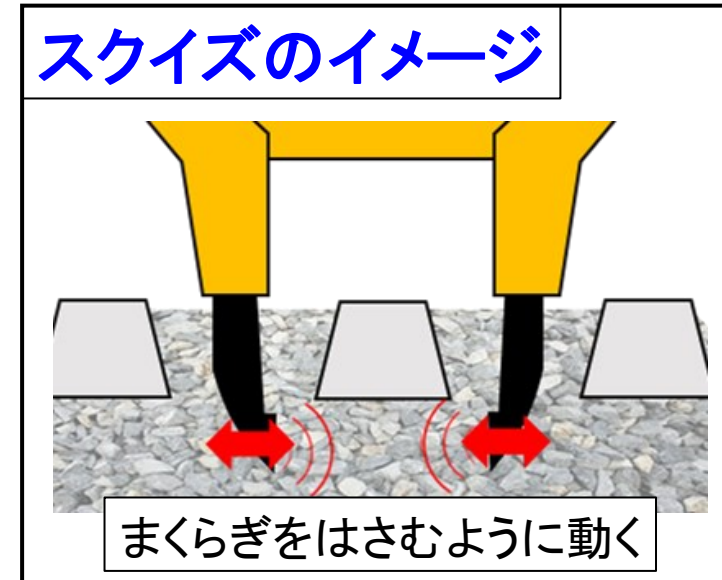
載荷台車模型



MTT模型



スクイズのイメージ

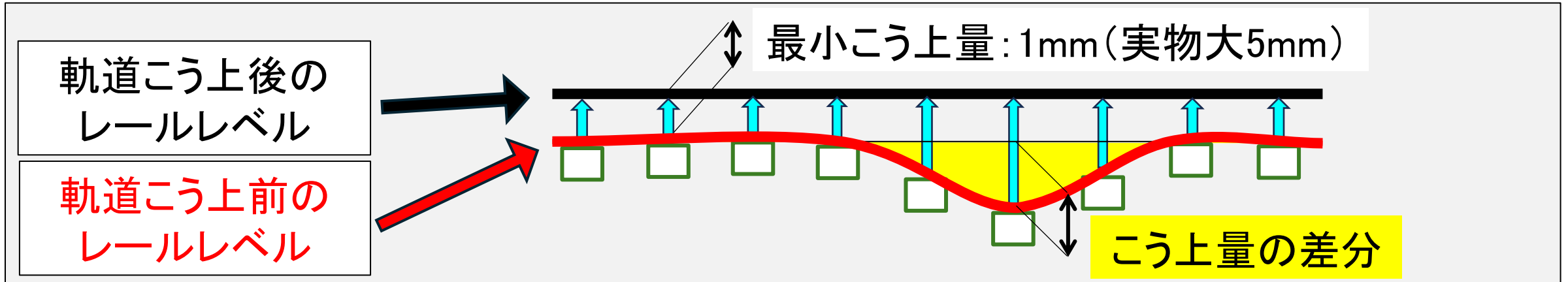


■ 小型模型による再現試験

■ 試験手順

- ① 小型軌道模型を構築
- ② 軌道をこう上し、MTT模型でつき固め
※レールの不同沈下を促すため、
中央のまくらぎ5本分はスクイズ無し
- ③ 予備载荷(2万往復の4万回载荷)
- ④ 軌道をこう上しMTT模型でつき固め
- ⑤ 载荷1セット目(2万往復の4万回载荷)
- ⑥ 軌道をこう上しMTT模型でつき固め
- ⑦ 载荷2セット目(2万往復の4万回载荷)

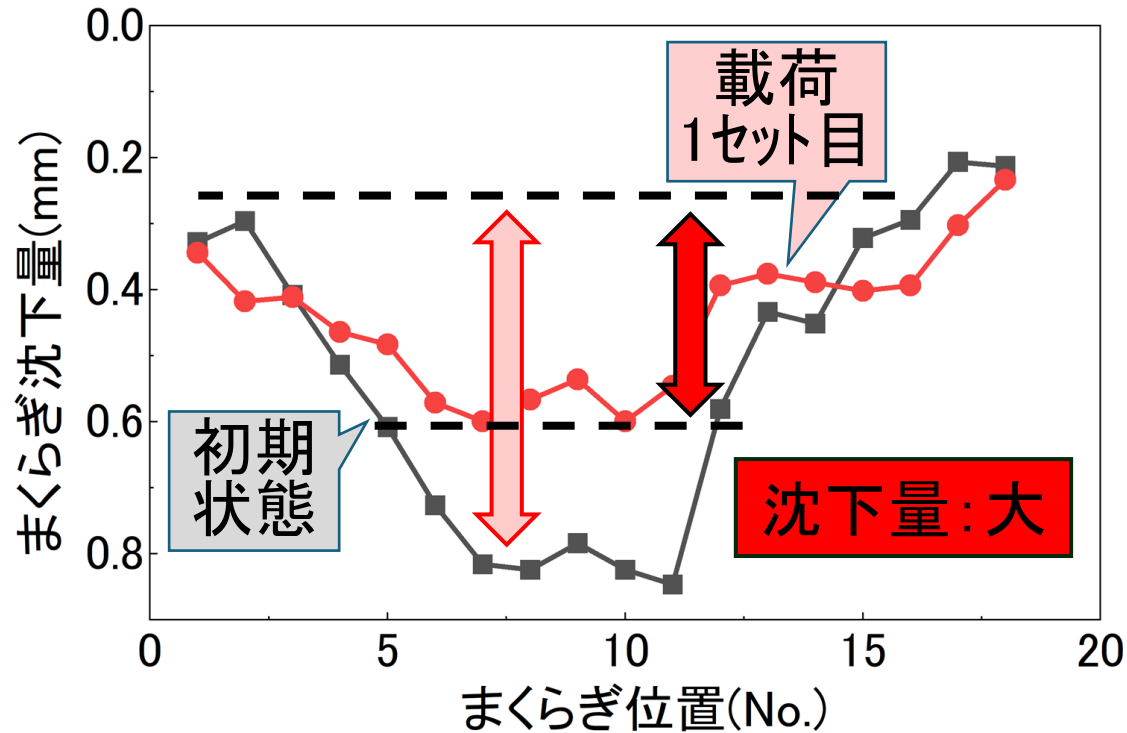
■ MTT模型によるつき固め作業時の軌道こう上の考え方



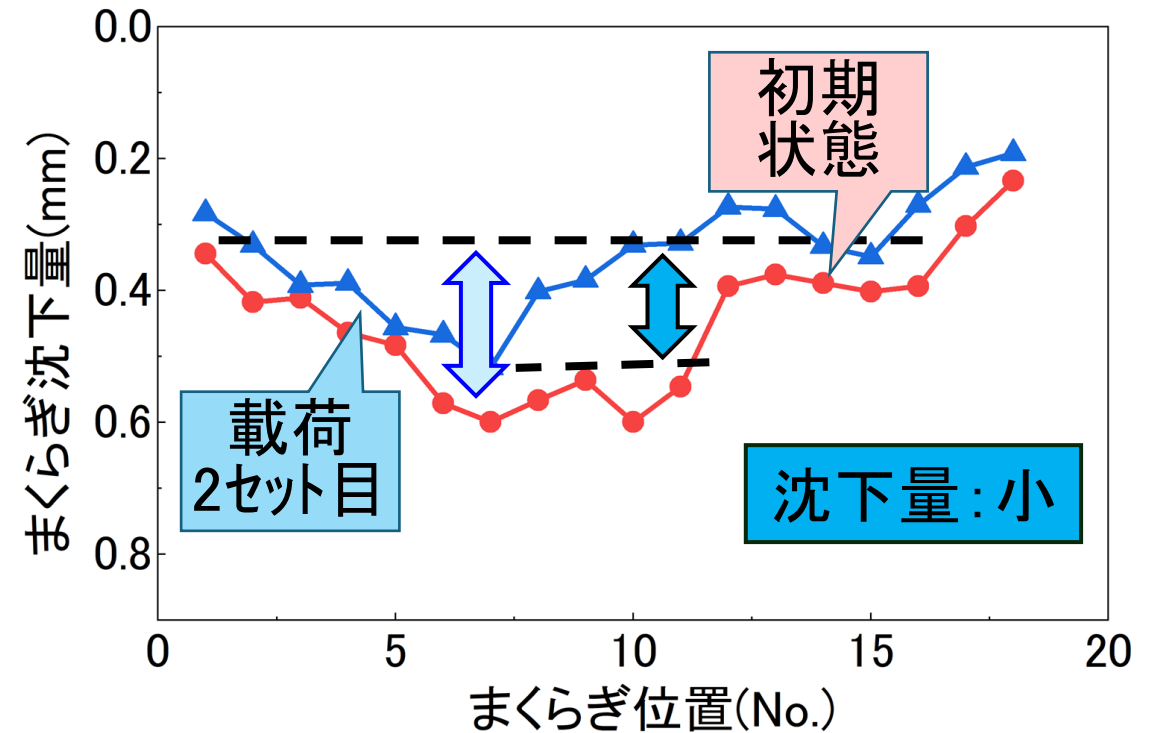
■ 小型模型による再現試験

■ 試験結果

載荷1セット目（初期状態は予備載荷後）



載荷2セット目（初期状態は載荷1セット目後）



⇒つき固め作業時のこう上量が大きいほど、載荷後の沈下量が大きい

DEM解析によるメカニズム分析

【解析モデル】

- ・軌道: まくらぎ1本分(新幹線バラスト軌道)
- ・バラスト: 球体の集合体要素で9種類用意
- ・MTT: 実物をもとに再現
(ツール自体の加振周波数や挙動等)

【解析ケース】

- ・つき固めシミュレーション(こう上量と回数を変化)

こう上量	5mm	10mm	20mm
つき固め回数	1回	1、2回	1、2、4回

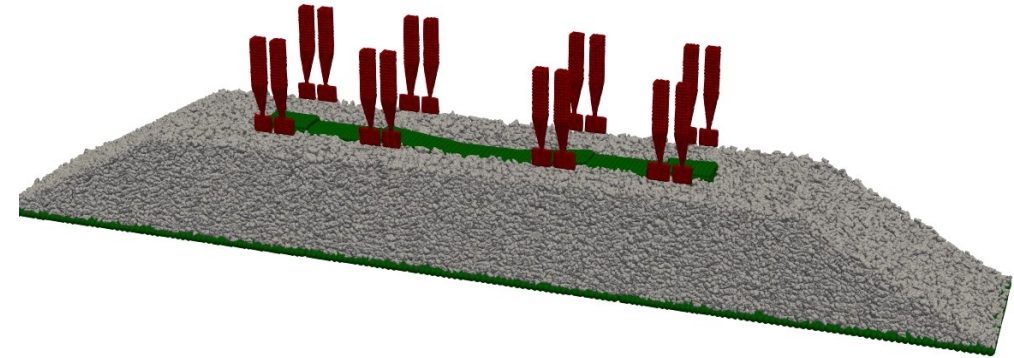
- ・繰り返し载荷を「50回分」(新幹線の設計荷重相当)

【出力値】

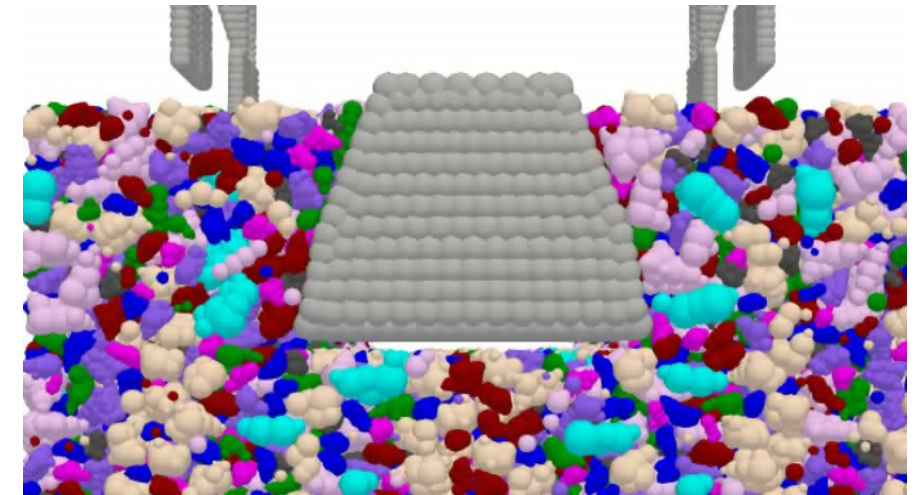
- ・つき固め終了後の**バラスト密度**
- ・载荷終了後の**まくらぎ沈下量**

シミュレーションの様子

俯瞰図

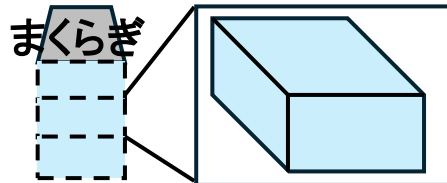


断面図



DEM解析によるメカニズム分析

バラスト密度(5mmこう上)



- ・まくらぎ下の道床に着目
- ・厚さ100mm、長さ200mm

1.45	1.43	1.45	1.47	1.43	1.54	1.52	1.43	1.56	1.42	1.43	1.41
1.61	1.51	1.69	1.67	1.72	1.62	1.75	1.71	1.71	1.63	1.56	1.53
1.52	1.58	1.56	1.64	1.57	1.74	1.65	1.62	1.64	1.53	1.68	1.57

つき固め前



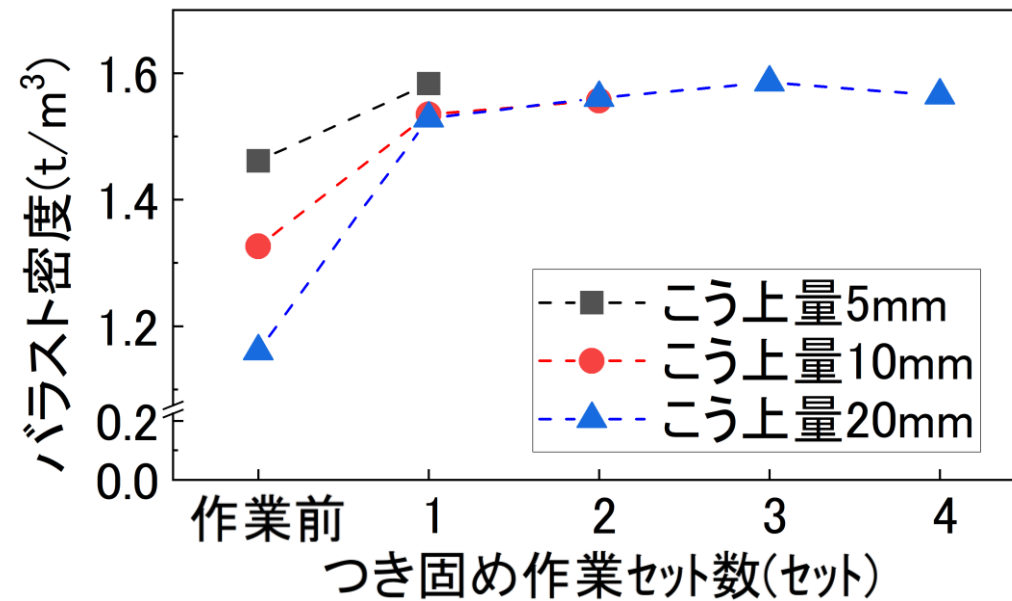
つき固め後

1.58	1.55	1.61	1.61	1.57	1.58	1.58	1.62	1.54	1.61	1.53	1.63
1.71	1.59	1.74	1.65	1.78	1.68	1.78	1.75	1.73	1.72	1.73	1.57
1.60	1.66	1.60	1.60	1.65	1.74	1.68	1.64	1.68	1.63	1.64	1.56

<バラスト密度(t/m³)>

- ...1.50未満
- ...1.50以上1.60以下
- ...1.60より大きい

まくらぎ下全体のバラスト密度の変化

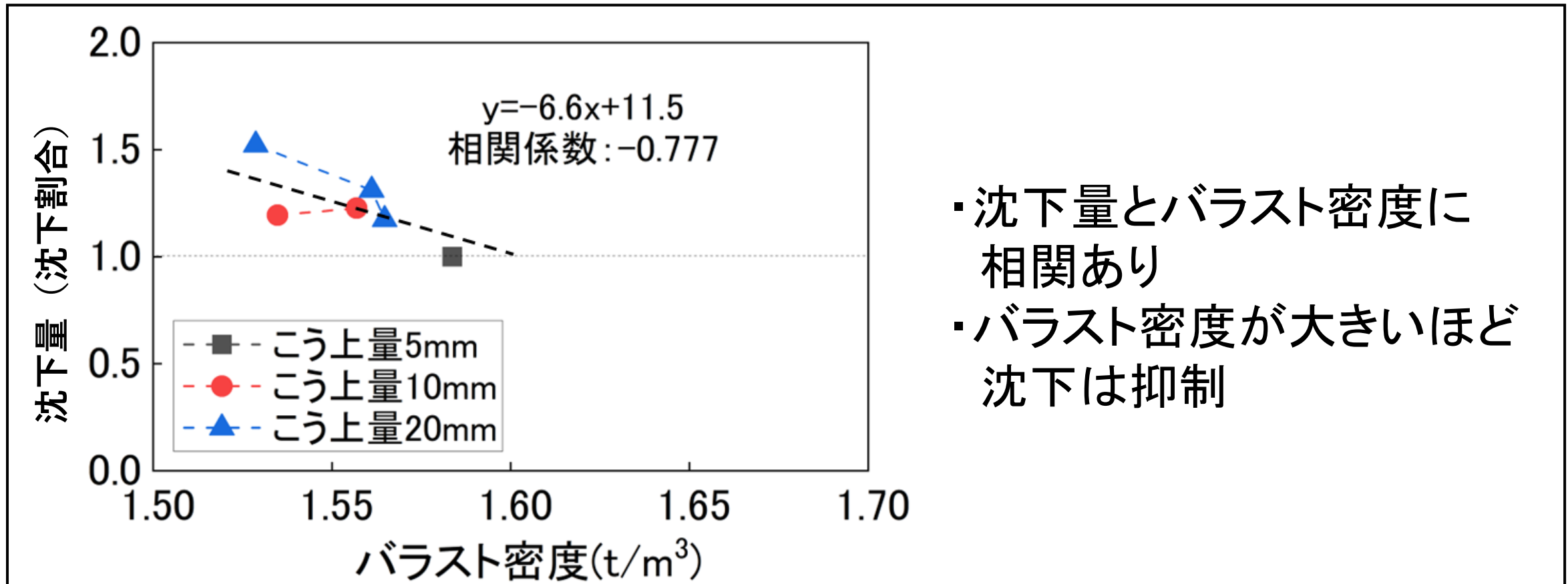


- ・つき固め作業により、特にまくらぎ下100mmまでのバラスト密度が上昇
- ・バラスト密度を同程度まで上昇させるには、こう上量が多いほど、多くのつき固め作業が必要

DEM解析によるメカニズム分析

■ 載荷前のバラスト密度と載荷解析後のまくらぎ沈下量との関係

- ・「こう上量5mm時」のまくらぎ沈下量にて、他のケースの沈下量を正規化（沈下割合）
- ・バラスト密度は、「まくらぎ下のバラスト密度」を使用（まくらぎ下 **厚さ100mm** に着目）



- ・沈下量とバラスト密度に
相関あり
- ・バラスト密度が大きいほど
沈下は抑制

■ 実物大模型試験

■ 沈下を抑制するつき固め手法の提案と検証

- ・今回は作業回数が多く、沈下の再発割合の大きい「**HTTでのつき固め**」を対象とした

【従来工法】

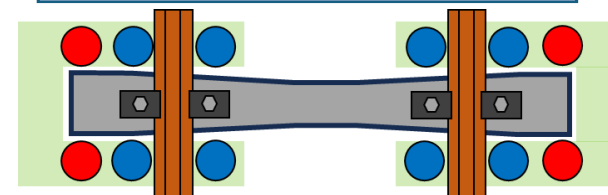
- ・まくらぎ1本につき「8箇所」をつき固める

【沈下対策工法】

- ・追加で「4箇所」つき固め
- ・まくらぎ周囲を「縦ランマー」で締固め

まくらぎ下以深の
バラスト密度を増加

作業箇所と作業内容



- …従来のつき固め位置
- …追加つき固め位置
- …縦ランマー範囲



従来工法



追加つき固め

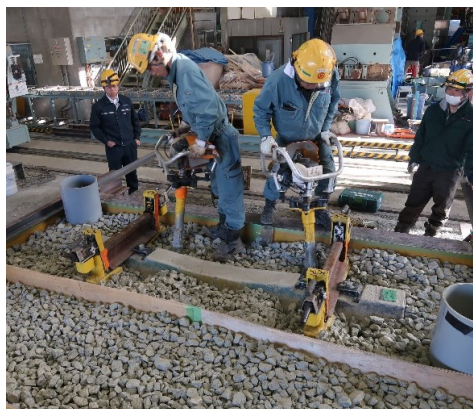


縦ランマー

■ 実物大模型試験

■ 評価項目①: バラスト密度 (実験の流れ) ※測定はグラウト充填式密度試験で実施

①つき固め作業



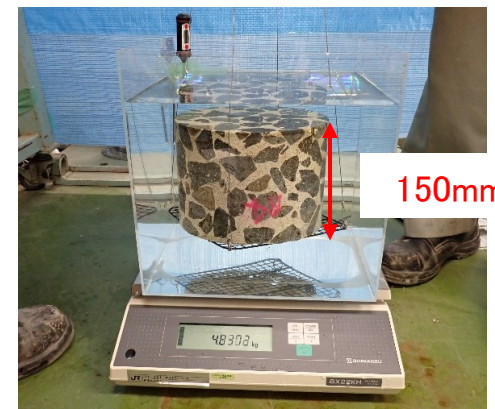
②グラウト打込み



③コア抜き



④水浸体積法



■ 評価項目②: まくらぎ沈下量

■ 載荷試験条件

新幹線の設計荷重と衝撃荷重を参考に設定

- ・荷重振幅 : 110kN
- ・荷重範囲 : 5kN ~ 115kN
- ・載荷回数 : 30万回
- ・載荷周波数 : 5Hz



■ 実物大模型試験

■ 評価項目①: バラスト密度(結果)

＜従来工法＞				
	密度(g/cm ³)			
	平均	ブロックごと		
		①	②	③
まくらぎ直下	1.67	1.64	1.69	1.68
まくらぎ外部	1.69	1.68	1.69	1.71

＜沈下対策工法＞				
	密度(g/cm ³)			
	平均	ブロックごと		
		①	②	③
まくらぎ直下	1.70	1.71	1.71	1.69
まくらぎ外部	1.71	1.70	1.73	1.69

密度測定箇所

まくらぎ直下

まくらぎ外部

ブロック

①②③

まくらぎ直下

まくらぎ外部

中央

まくらぎ

■ 評価項目②: 沈下量(結果)

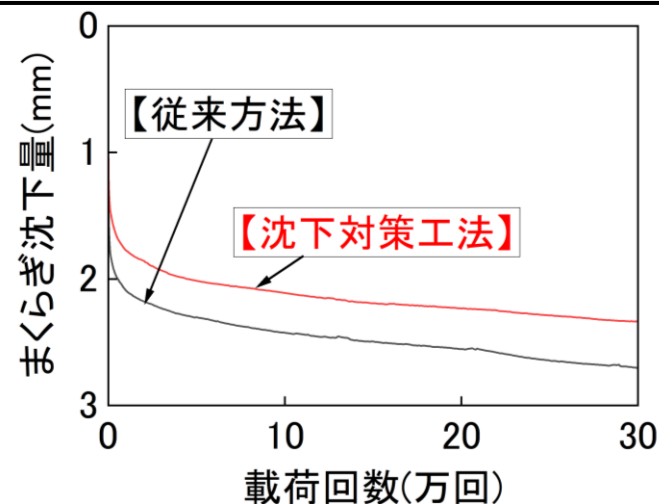
載荷試験終了時における沈下量

- ・従来工法 : 2.7mm
- ・沈下対策工法 : 2.3mm



沈下量が15%低減した

沈下対策工法の有用性を確認した



■まとめと成果の活用

■まとめ

- バラスト軌道の再沈下の要因について、軌道検測データを活用して実態調査したところ、つき固め作業における「軌道のこう上量」が影響している可能性が示唆された
- 1/5縮尺の小型模型を用いてMTTによるつき固め作業と列車通過による荷重載荷を再現したところ、つき固め作業時のこう上量が大きいほど、載荷後の沈下量が大きかった
- DEM解析によりメカニズム分析を行ったところ
 - ・同程度のバラスト密度になるようにつき固め作業を行う場合、こう上量が大きいほどつき固め作業を多く行う必要がある
 - ・特にまくらぎ下厚さ100mmのバラスト密度と載荷によるまくらぎ沈下量に相関がある
- 沈下対策工法を提案し、実物大模型試験で効果を検証した

■成果の活用

明確な理由なく、保守作業後も沈下が再発する箇所について
今回提案した沈下対策工法を実施すれば、沈下の再発を抑制できる可能性がある

参考文献

- 中村貴久, 廣尾智彰: 同一構造区間で生じる保守多投入箇所軌道の沈下の再現試験, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, VI-1310, 2024
- 景山隆弘, 廣尾智彰, 中村貴久: バラストの密度測定に関する基礎的検討, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, VI-1316, 2024
- 廣尾智彰, 景山隆弘, 中村貴久: バラスト軌道における沈下抑制に効果的なつき固め作業方法の検討, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, VI-1317, 2024
- 廣尾智彰, 中村貴久, 河野昭子: 同一構造区間におけるバラスト軌道の沈下再発メカニズム, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.4, No.1, pp.79-84, 2025