

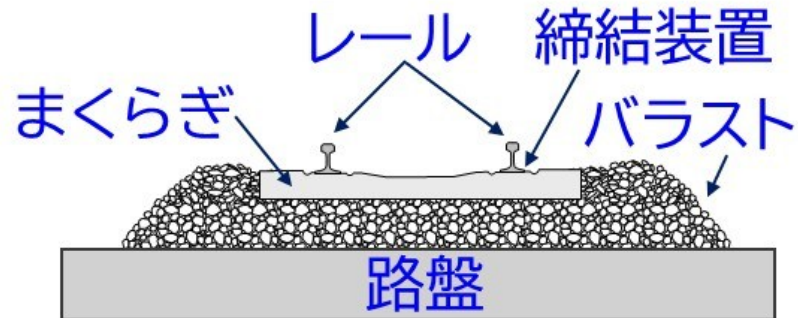
バラストの劣化を抑制する ハンドタイタンパの開発

軌道技術研究部 軌道・路盤研究室
エキスパートマネージャー 中村 貴久

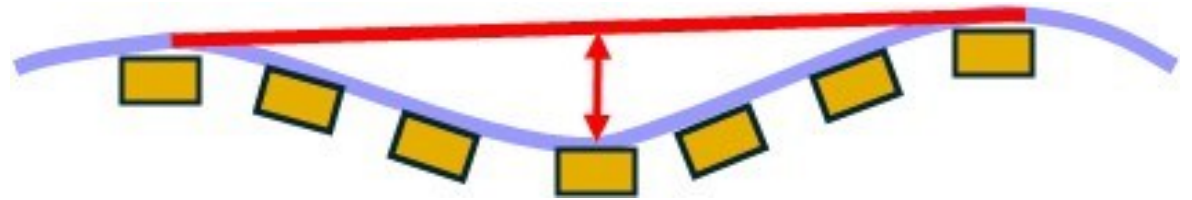
背景

- 我が国の在来線の約90%はバラスト軌道であり、バラストが列車荷重により沈下することから、つき固め作業を定期的の実施して、レールレベルを整正する。

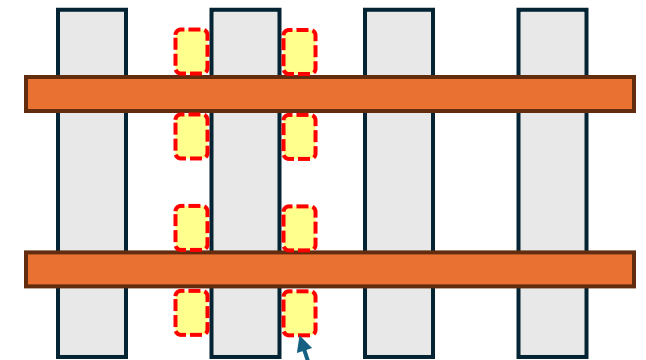
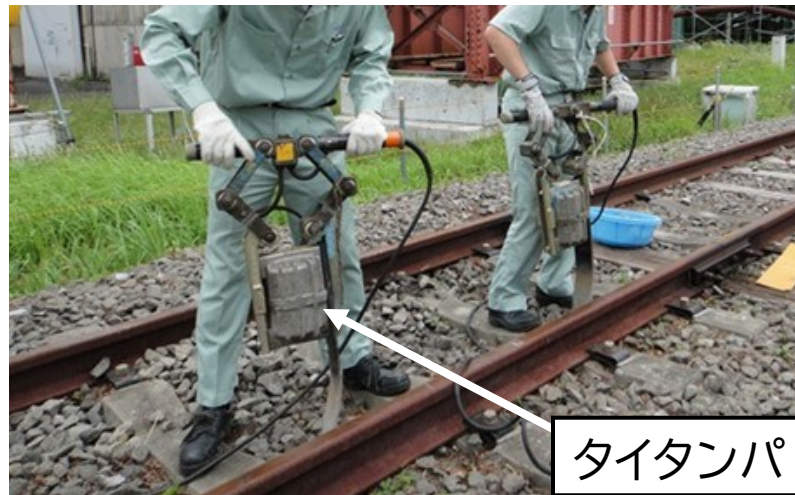
バラスト軌道の例



鉛直方向の軌道の沈下



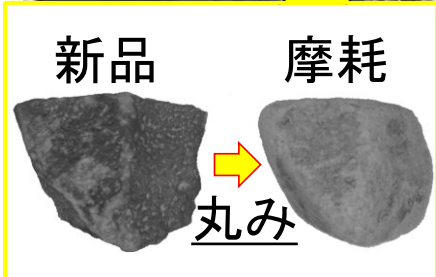
バラスト軌道におけるつき固め作業



まくらぎ1本あたりのつき固め作業位置(1分/箇所×8箇所) 1

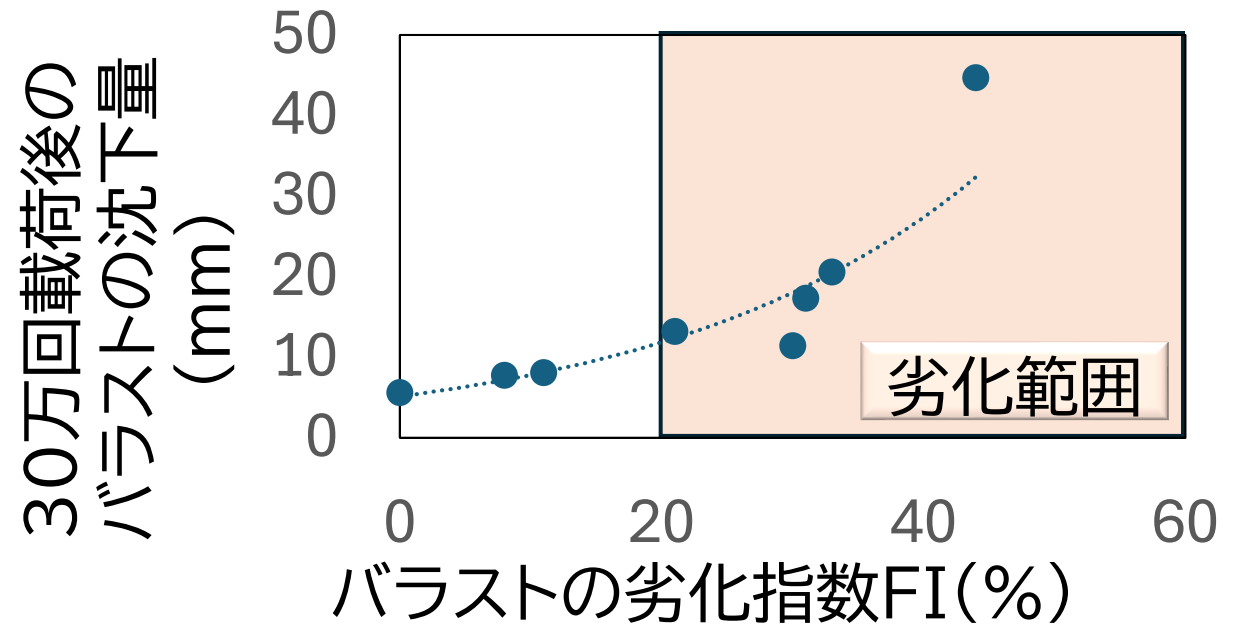
- 列車荷重やつき固め作業の繰り返りで、バラストが破碎・細粒化(以下、劣化)して粒度が変化し、沈下が急進しやすくなる。しかし、つき固め保守頻度が高くなると、高コストなバラスト交換を行う必要が生じるため、バラストの劣化抑制方法が求められている。

従来のつき固め作業



摩耗した細粒分が
バラストの内部に
落下・堆積

バラストの沈下量と劣化指数FIの関係



FI: バラストの粒度の変化から劣化を評価する指数。粒径 $75\mu\text{m}$ と 4.75mm の割合の和

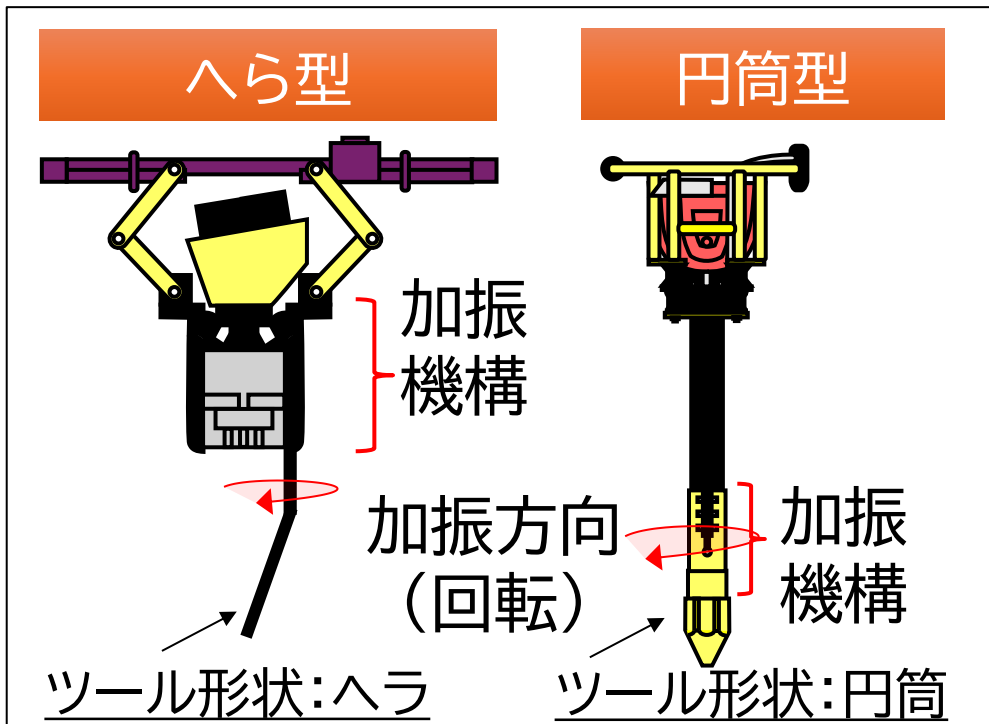
- ハンドタイタンパ(HTT)の近年の仕様変化の整理
- つき固め作業による劣化度の評価(実験・解析)
- 試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(実験・解析・現地試験)
- まとめと成果の活用

- ハンドタイタンパ(HTT)の近年の仕様変化の整理
- つき固め作業による劣化度の評価(実験・解析)
- 試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(実験・解析・現地試験)
- まとめと成果の活用

ハンドタイタンパ(HTT)の近年の仕様変化の整理

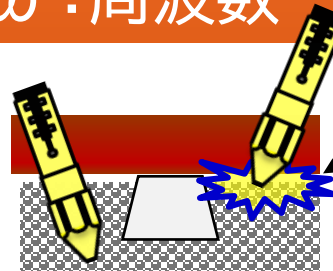
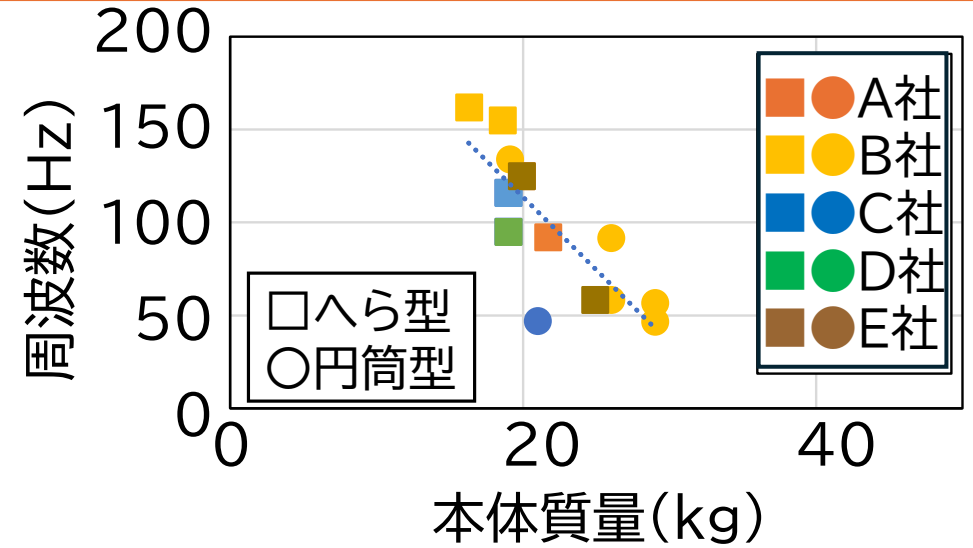
目的:国内外のメーカー5社(仕様公表)を対象に**ツール形状・質量・周波数**を調査した。

ツール形状(HTTの種類)



HTTの本体質量と周波数の関係

加振機構
の加振力
 $F = m \times r \times \omega^2$
 m : 重錘質量
 r : 偏心半径
 ω : 周波数



加振力: バラスト内への挿入しやすさ
(加振力が弱いと作業性低下)

- ツール形状、本体質量および周波数(加振力)がバラストの劣化に及ぼす影響は明らかではない。本研究では、従来HTTを改良する観点から、近年導入が進む**円筒型の加振条件(周波数・加振力)**に着目して、バラストの劣化との関係を検討した。

- ハンドタイタンパ(HTT)の近年の仕様変化の整理
- つき固め作業による劣化度の評価(実験・解析)
- 試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(実験・解析・現地試験)
- まとめと成果の活用

つき固め作業による劣化度の評価(つき固め試験)

目的: 周波数・加振力が破碎・細粒化に及ぼす影響をつき固め試験で検討した。

バラスト供試体



バラスト密度: 1.6g/cm^3
 つき固め時間: 15秒/回
 つき固め回数
 : 100, 200, 400セット

つき固め試験状況

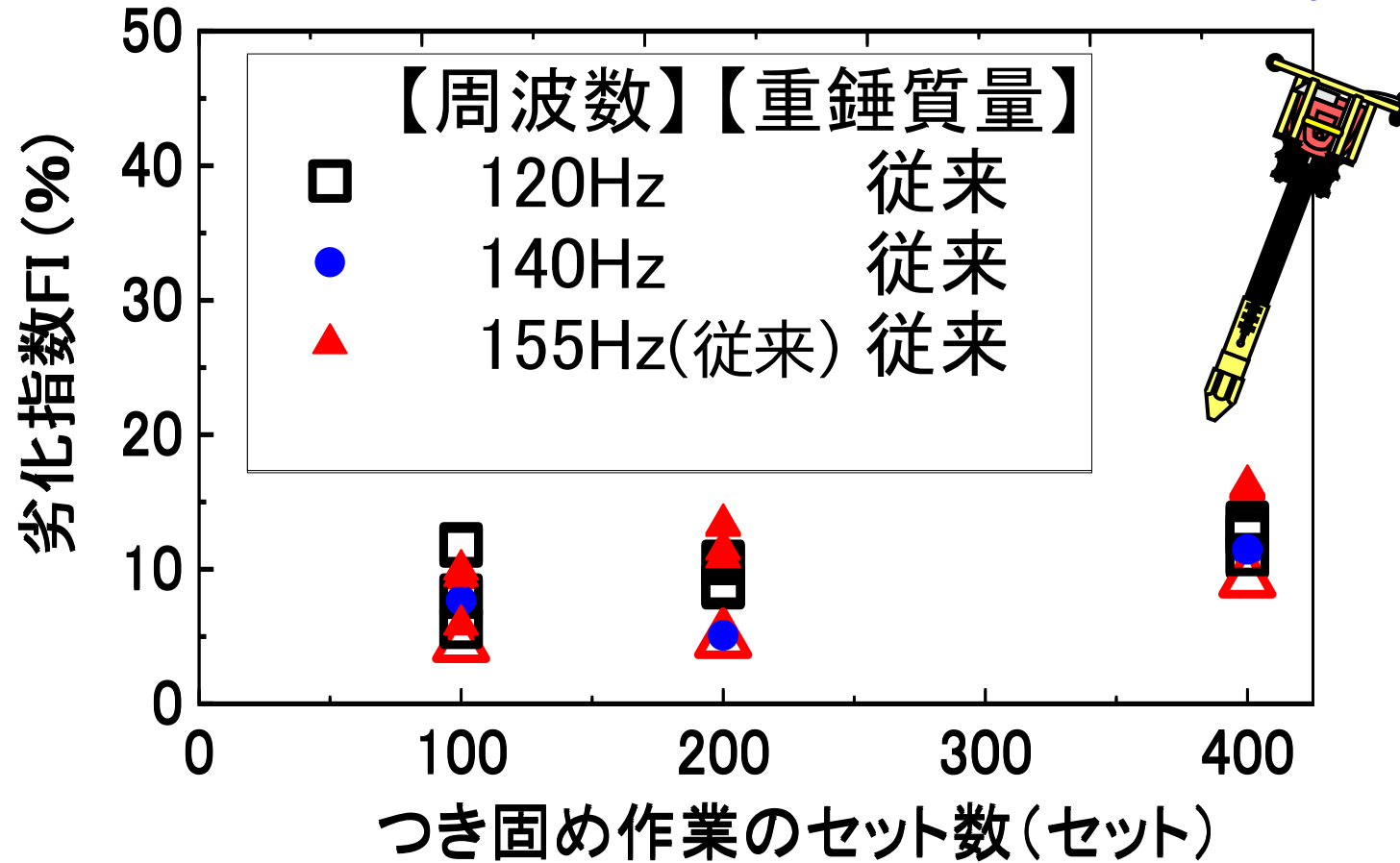


ハンドタイタンパ
 (円筒型)

試験ケース

| ケース | 周波数 (Hz) | 重錘質量 | つき固め回数 (セット) |
|-----|----------|--------|---------------------|
| 1 | 120 | 従来 | 100、 200、 400 |
| 2 | 140 | | |
| 3 | 155(従来) | | |
| 4 | 155(従来) | 従来×1/2 | |

つき固め作業による劣化度の評価(つき固め試験結果)



- 周波数がFIに与える影響は小さい
- 周波数を従来の155Hzのまま、重錘質量を従来の1/2にした場合に、劣化指数FIが1/2程度に減少

つき固め作業による劣化度の評価(数値解析)

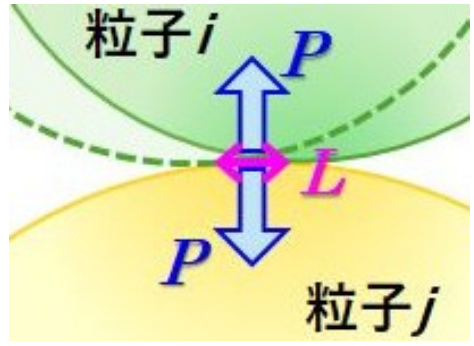
目的: ハンドタイタンパを用いたつき固め試験とその再現シミュレーションを不連続体解析により実施し, バラストの劣化に与える影響を検討した。

解析モデル



劣化の影響度の評価方法

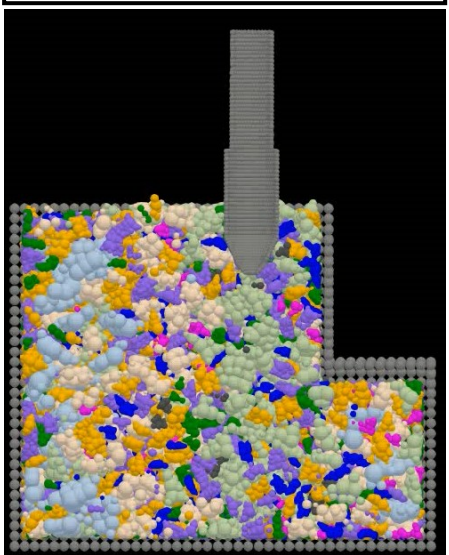
バラスト粒子
間の条件



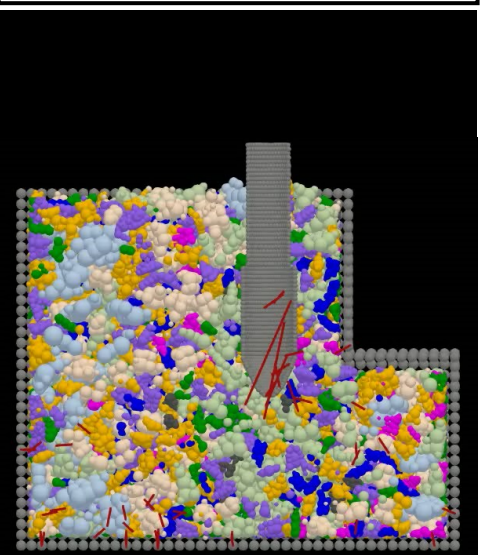
○摩擦エネルギー $EneFr$
 $EneFr = P \times L$
 P : 接触力
 L : 接触点の滑り距離

つき固め時のバラスト挙動の解析の例

挿入過程



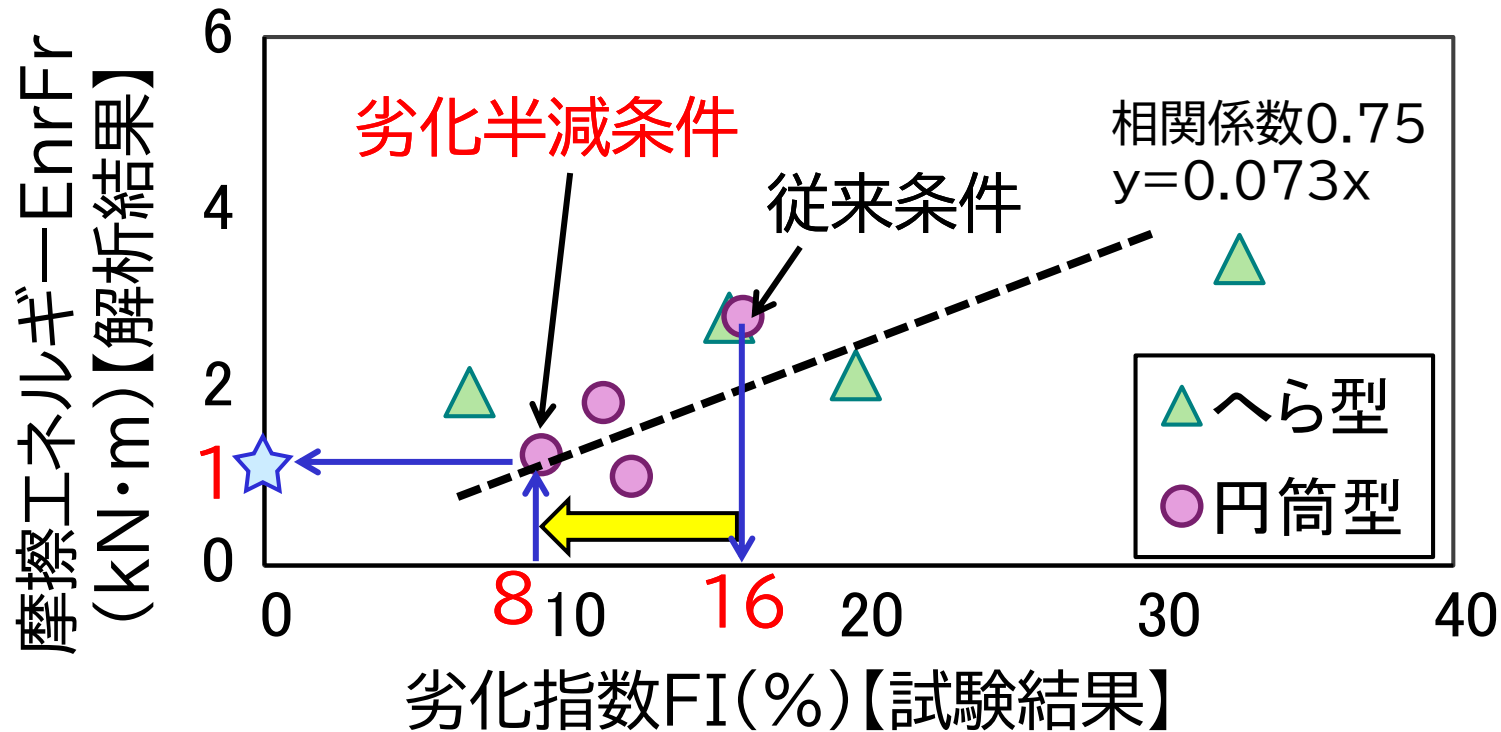
接触力ベクトル



※従来は接触力のみに着目
「アーチャード摩耗則」から、新たに滑り距離にも着目

つき固め作業による劣化度の評価(解析結果)

つき固め試験結果と再現解析結果の関係



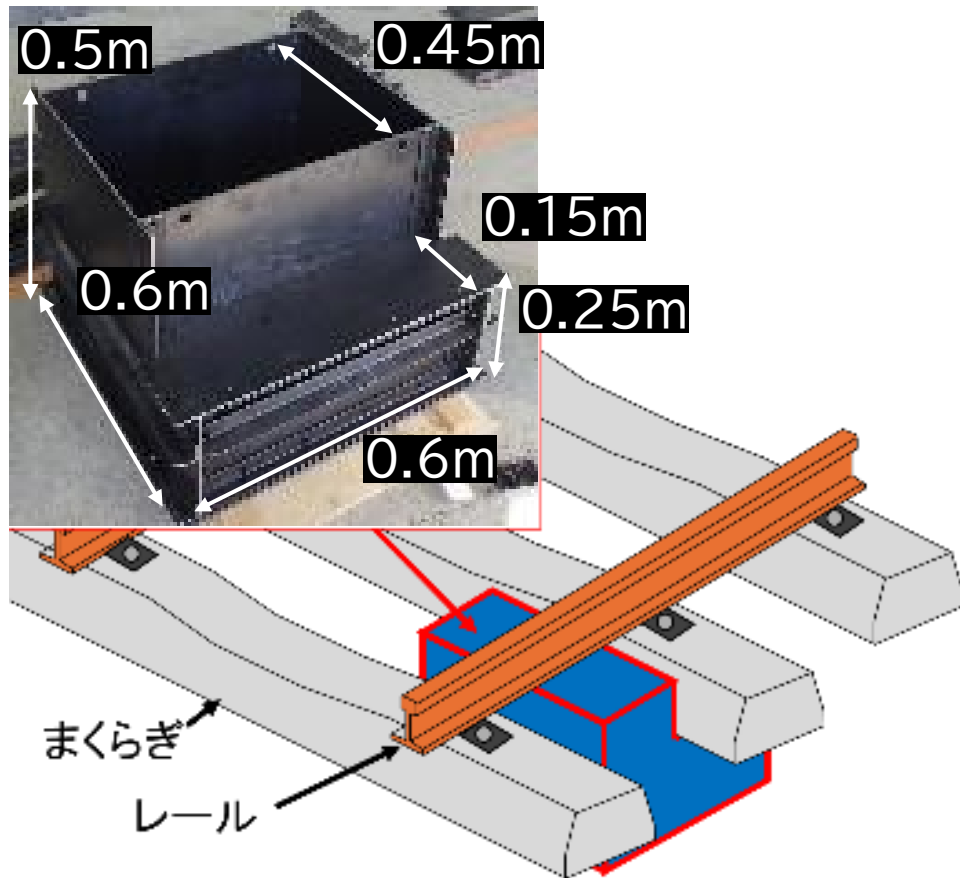
- 試験結果FIと解析結果EneFrには強い相関性があることを確認
- FIを16%⇒8%に半減、EneFrを1.0kN・mとする加振条件を試算
- 試験および解析の結果より、劣化が半減するHTTの条件を提案
周波数:155Hz(従来通り)、加振力:従来の1/2

- ハンドタイタンパ(HTT)の近年の仕様変化の整理
- つき固め作業による劣化度の評価(実験・解析)
- 試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(実験・解析・現地試験)
- まとめと成果の活用

試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(バラスト密度試験)

目的:劣化半減HTTでは加振力を従来の1/2に抑えていることから、つき固め効果の低下が懸念されるため、つき固め作業後のバラストに対して密度試験を行った。

密度試験の箱型モールド



【試験条件】

バラスト密度(供試体): $1.6\text{g}/\text{cm}^3$

つき固め時間・回数:15秒/回・1回

試験ケース:従来のHTT、劣化半減HTT

水浸体積法による密度測定試験の方法

つき固め作業

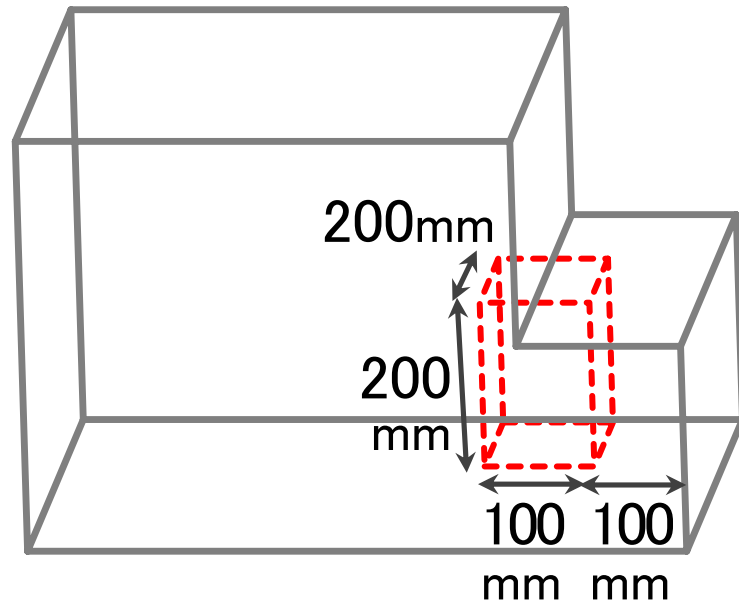
グラウト充填・切出し

密度測定

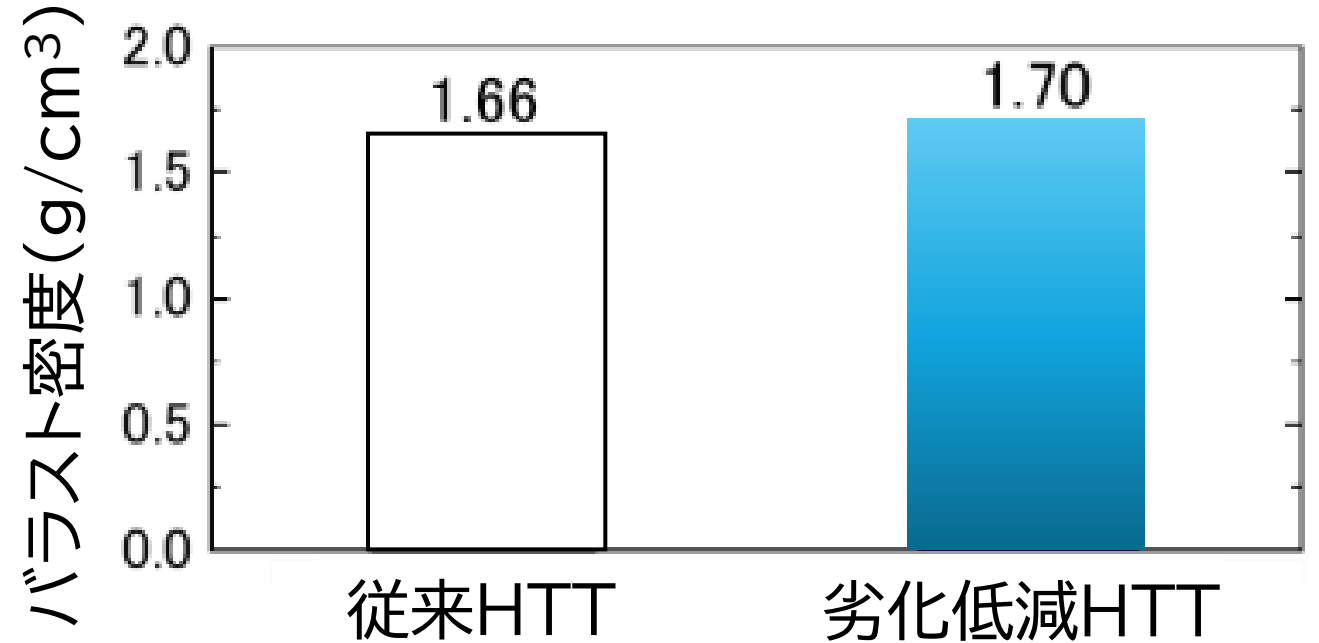


試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(密度試験結果)

バラスト密度の測定位置



つき固め作業後のバラスト密度

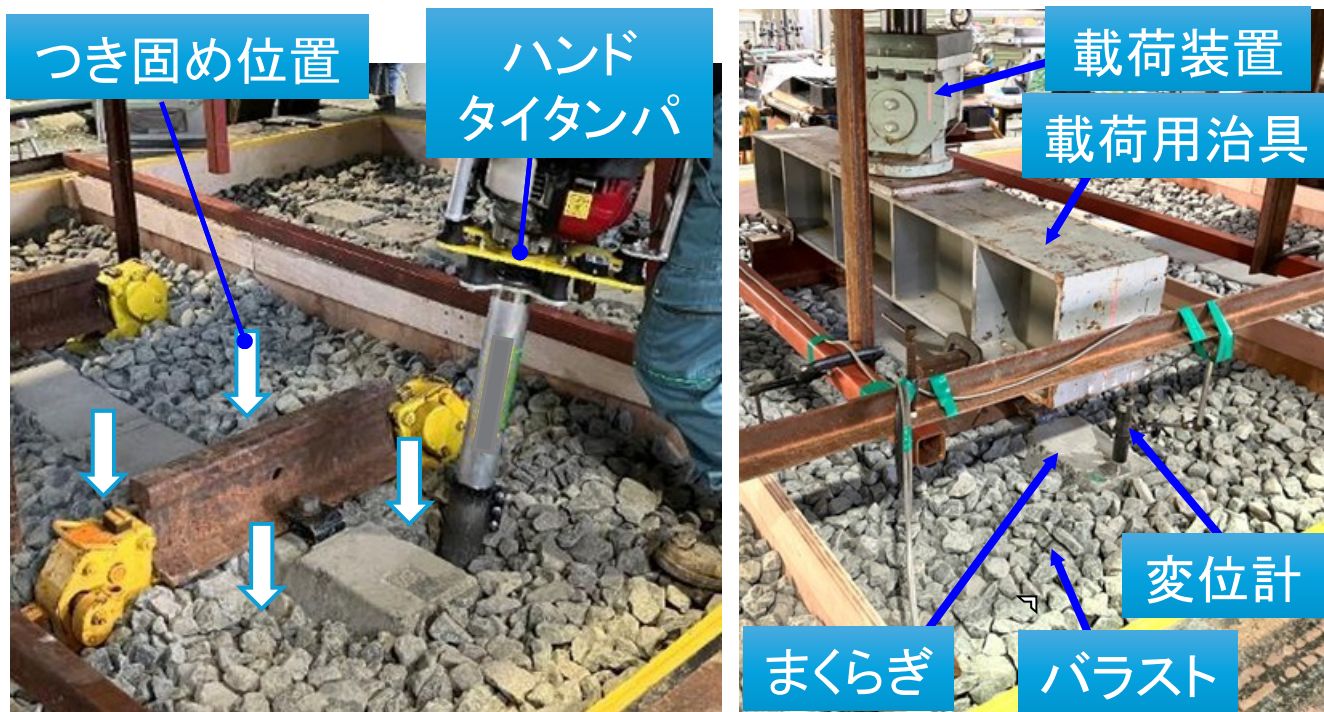


- 劣化半減HTTを用いることで、従来のHTTよりも、バラスト密度が0.04g/cm³増加 (既往研究: バラスト密度が0.02g/cm³増加するとバラストの沈下量が15%低減)

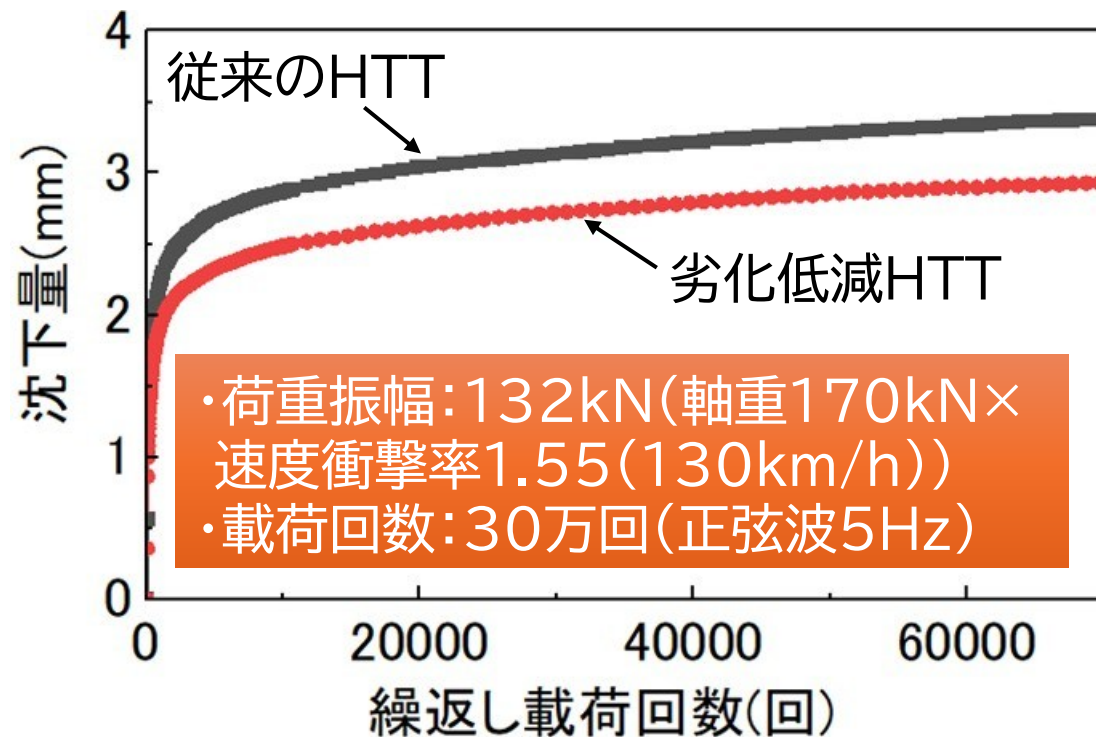
試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(実物大試験)

目的:劣化半減HTTでは加振力を従来の1/2に抑えていることから、**沈下量の増大**が懸念される。そこで、つき固め作業後の実物大軌道模型に対して繰返し载荷試験を行った。

実物大試験



载荷試験結果

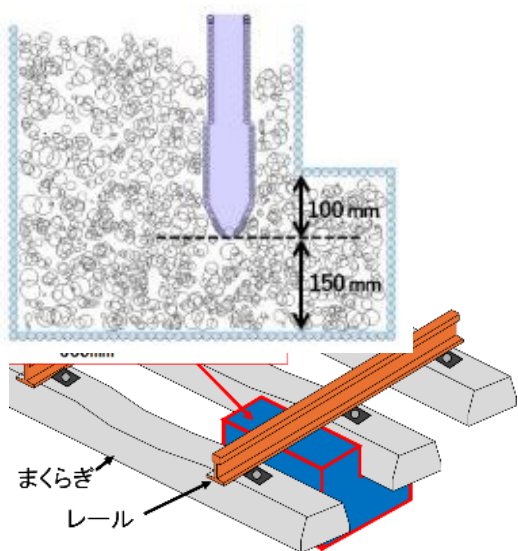


・劣化低減HTTを用いることで、従来HTTに対して、沈下が15%減少した。

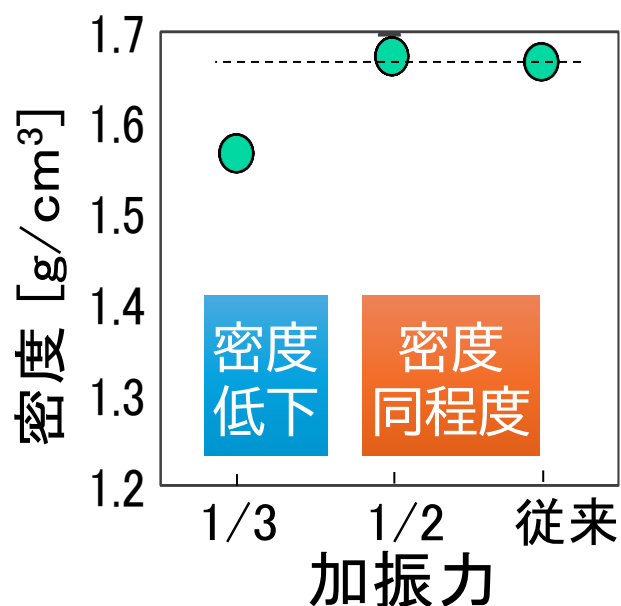
試作した劣化半減HTTのつき固め効果の評価(数値解析)

目的:劣化半減HTTのつき固め効果のメカニズムを検討するため、バラスト密度試験の再現解析を行い、バラスト粒子間の接触状態を評価した。

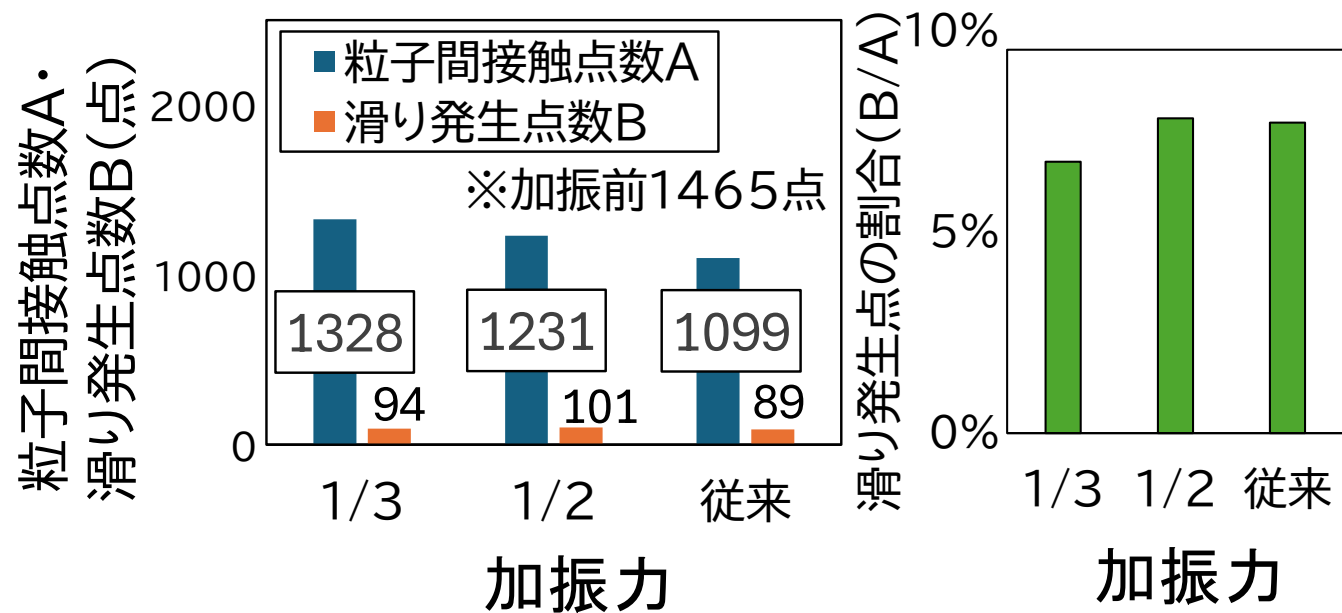
解析モデル



バラスト密度



粒子間接触点数と滑り発生点数とその割合



- 従来の加振力でつき固めた後の密度と比べて、1/2では同程度、1/3だと低下した。
- 従来の1/2条件は、つき固め時の振動で粒子が滑りつつ、粒子配置が整うことで粒子間のすき間が減少した結果、密度が増加したと考えられる。

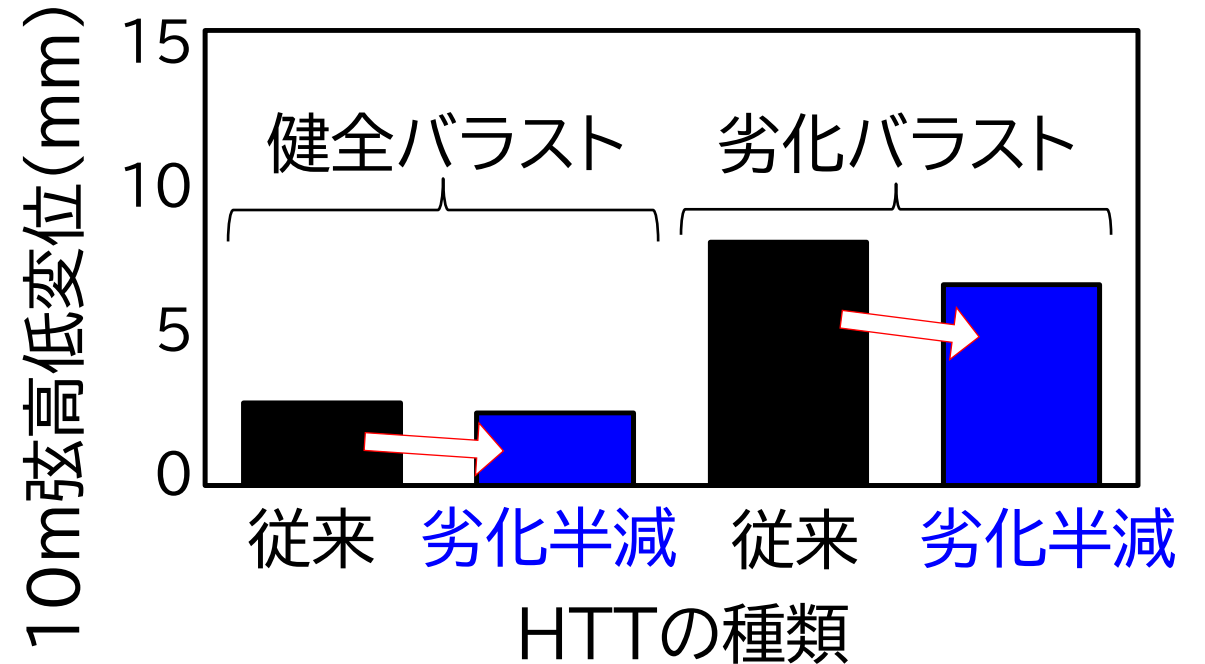
劣化半減HTTのつき固め効果の現地試験

目的:劣化半減HTTを用いて、つき固め作業の効果を実験により検証した。

試作した劣化半減HTTを用いたつき固めの現地試験



施工3カ月後の10m弦高低変位



- ・試作した劣化半減HTTを用いることで、従来HTTよりも沈下が減少した。
- ・バラストの劣化状態に関わらず、従来HTTよりも沈下が低減した。
- ・つき固め作業の時間は従来HTTと概ね同程度であった。

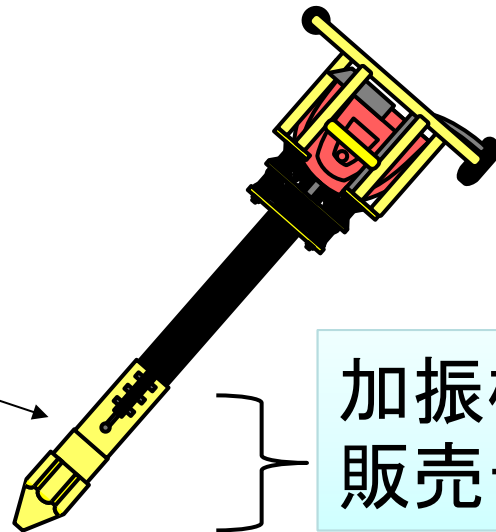
- ハンドタイタンパ(HTT)の近年の仕様変化の整理
- つき固め作業による劣化度の評価(実験・解析)
- 劣化半減HTTのつき固め効果の評価(実験・解析・現地試験)
- **まとめと成果の活用**

- ① バラストのつき固め作業を再現可能な数値解析方法を開発し、バラストの劣化を評価可能な**新しい指標**を提案した。
- ② つき固め作業後のつき固め効果が従来のハンドタイタンパと同等以上であり、かつ**バラストの劣化が半減するハンドタイタンパの加振条件**を提案した。
- ③ 劣化半減ハンドタイタンパを試作し、実物大試験および現地試験施工により、従来のハンドタイタンパと**同等のつき固め効果**であることを確認した。

- 劣化半減ハンドタイタンパをつき固め作業に適用することで、つき固め保守頻度の低減や道床交換時期の延伸が期待され、**保守コストの削減**に貢献できる。
- 今後は、様々な条件のバラスト軌道における現地試験を実施することで**つき固め効果の持続性と作業性**を検証する。また、販売体制を整備し、**2027年度中に実用展開**する予定である。

開発した劣化半減
ハンドタイタンパ

従来の1/2の加振力
(重錘質量半分)



加振機構の取替キットを
販売予定

- ① 中村貴久、河野昭子: バラストの劣化を抑制するハンドタイタンパに関する検討、土木学会論文集、vol.81、No.21、2025
- ② 中村貴久、廣尾智彰: バラストを長寿命化する軌道つき固め保守方法、JREA、vol.68、No.10、2025
- ③ 中村貴久、廣尾智彰、河野昭子: ライフサイクルコスト低減に向けたバラストのメンテナンス技術、RRR、vol.82、No.2、pp.16-21、2025