論文　道床細粒化箇所に対する軌陸バックホウ加振機を活用した継目部沈下対策の検証

早川　容平[1]・楠田　将之[2]・田中　俊史[3]

[1]正会員　西日本旅客鉄道株式会社　鉄道本部施設部施設技術室

（〒530－8341　大阪府大阪市北区芝田二丁目 4 番 24 号）
E-mail: youhei-hayakawa@westjr.co.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　西日本旅客鉄道株式会社　鉄道本部施設部施設技術室

（〒530－8341　大阪府大阪市北区芝田二丁目 4 番 24 号）
E-mail: masanobu-kusuda@westjr.co.jp

[3]正会員　西日本旅客鉄道株式会社　鉄道本部施設部施設技術室

（〒530－8341　大阪府大阪市北区芝田二丁目 4 番 24 号）
E-mail: toshifumi-tanaka@westjr.co.jp

下級線のレール継目部においては木まくらぎが多く残存しており，沈下に対する繰り返し保守を余儀なくされている．一部の箇所では，一般部との部材共通化および保守省力化を目的とした継目部用の PC まくらぎの敷設や，まくらぎ全周に対するつき固め保守などによりその対策を試験的に行っている．これらは一定の保守省力化効果が確認されているが，道床細粒化の著しい箇所においては，つき固め保守後の初期沈下量が大きく，十分な効果が得られない現状がある．そこで本研究では，施工当夜に安定したまくらぎ支持状態を構築することを目的とし，十分なこう上量を与えてつき固め保守を行い，軌陸バックホウに取り付けた加振アタッチメントを用いてまくらぎに強制加振を与えて初期沈下を促進する施工を行い，その沈下抑制効果を検証した．

Key Words: *initial settlement, rairoad backhoe vibration exciter, fouling index, low-strength stable treatment method, fined ballast*

1. はじめに

下級線においては，多くの労力を要している木まくらぎ交換への対応として，PC まくらぎ化による構造の強靭化が図られている．一方，レール継目部においては木まくらぎが残存しており，特に道床細粒化の進行した箇所においては，沈下に対する繰り返し保守を余儀なくされている．一部の箇所では，一般部との部材共通化および保守省力化を考慮した継目部用の PC まくらぎの敷設や，まくらぎ全周に対するつき固め保守などによりその対策を試験的に行っている [1]．これらの対策は一定の保守省力化効果が確認されているが，場所によってはつき固め保守後の初期沈下量が大きく，十分な効果が得られていない現状がある．

バラスト軌道においては，つき固め保守後にまくらぎ下の道床密度が低下し，バラストの細粒化が進行することによりその程度が大きくなることがわかっている．たとえば，新品バラストの場合ではほぼ密度変化が生じないのに対し，粒径0.075 mm未満の細粒分含有率であるFcが 10 %程度まで細粒化が進行した条件では，つき固め前後でおよそ 30 %程度密度低下することが実験的に明らかになっている [2]．そのため，道床細粒化の著しい箇所においては，つき固め保守後の初期沈下量が大きく，これに対し施工当夜に十分な上げ越し量（静的な正側の10m 弦高低狂いの仕上がり値）を確保することは施工後の高低狂いの仕上がり値の制限の都合上困難であり，十分な保守効果が得られない主要因となっている．

そこで本研究では，道床細粒化が著しい箇所において，

施工当夜に安定したまくらぎ支持状態を構築することを目的とし，十分な上げ越し量を与えてつき固め保守を行い，直後に軌陸バックホウに取り付けた加振アタッチメント（以下，「軌陸 BH 加振機」という）を用いてまくらぎに強制加振を与えて道床を締固めることで初期沈下を促進する試験施工を行い，その保守省力化効果の検証を行った．併せて，細粒化した道床バラストを安定処理する沈下対策である低強度安定処理工法 [3]，まくらぎ全周の範囲のつき固めを行う対策も行った．

2. 試験施工箇所の概要

試験施工箇所の概要について，線形は直線の単線区間，軌道構造は道床厚 200mm の土路盤区間，レール種別 50 kgN レール，継目の支持方法は支え継ぎ，まくらぎは継目部用の PC まくらぎ [1]，締結装置は線ばね形，輸送条件は年間通過トン数が約 210 万トンの専ら近郊形電車が走行（列車速度 70 km/h 程度）する線区である．当該箇所はつき固め保守後の初期沈下量が大きく繰り返しの保守を余儀なくされており，2022 年 1 月につき固めを伴う PC まくらぎ化をしたものの，上げ越し量は多くて 5 mm 程度であり，高低狂い進みが抑制されず，保守管理に苦慮している箇所であった．

表-1 に試験施工箇所の軌道状態を示す．なお，本稿では以降，手検測による静的な 10m 弦高低狂いを「静的狂い」，軌道検測車による動的な 10m 弦高低狂いを「動的狂い」と記載する．同表より，施工前の静的狂いは，施工箇所①は-15 mm，施工箇所②は-13 mm であった．また，道床状態は，まくらぎ下のバラストを採取し，ふるい分けによる粒度試験を行った結果，バラストの劣化指標である FI 値（ふるい分けによる粒度試験を行った場合の粒径 0.075 mm 通過質量百分率と 4.75 mm 通過質量百分率の和を表す [4]）は，施工箇所①は 30.5 %，施工箇所②は 31.7 %であり，いずれも不健全（道床交換の目安）と評価される 20 %を大きく超える著しい細粒化が生じている状態であった．**図-1** に施工箇所の粒度分布を示す．いずれも同様の粒度分布となっており，新品バラストの基準粒度 [5]から外れ，細粒化が進行していることがわかる．なお，いずれの箇所も道床噴泥が生じており，慢性的にまくらぎ下に滞水が生じている状態であった．

図-2 に施工箇所①の，**図-3** に施工箇所②の PC まくらぎ化施工直前とそれ以降の静的狂いおよび動的狂いの推移を示す．PC まくらぎ化施工後約 2 週間後（施工後通トン 10 万トン程度）の引継検査において，静的狂いが施工箇所①は 14 mm，施工箇所②は 7 mm 進行しており，大きく沈下が生じていた．一方，それ以降は動的狂いで沈下進みが緩やかに推移していることがわかる．そこで，つき固め施工当夜に十分な上げ越し量を与え，まくらぎ強制加振により道床を締固め初期沈下を促進させることで，早期に安定した支持状態を構築し，施工後の初期沈下を抑制できると考えた．

表-1 試験施工箇所の軌道状態（施工前）

施工箇所	10m 弦高低狂い（静的）(mm)	道床劣化度 FI (%)	備考
①	-15	30.5	噴泥あり
②	-13	31.7	噴泥あり

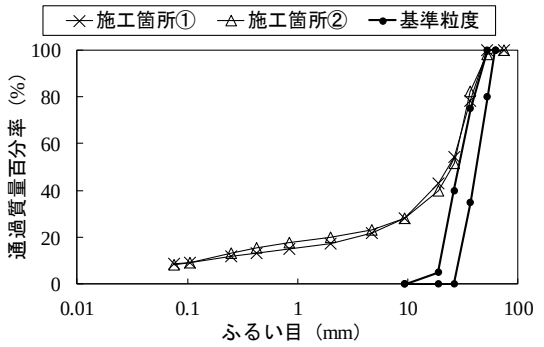


図-1 施工箇所のバラストの粒度分布

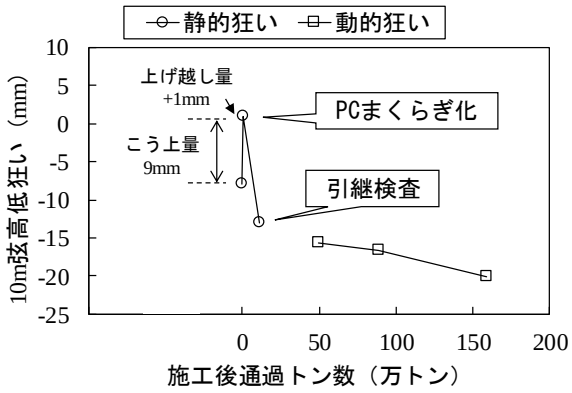


図-2 PC まくらぎ化後の高低狂い進み（施工箇所①）

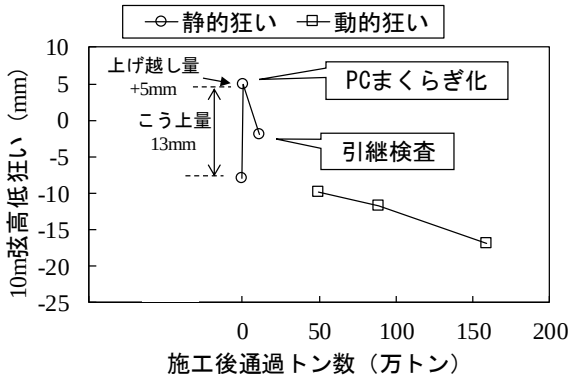


図-3 PC まくらぎ化後の高低狂い進み（施工箇所②）

3. 試験施工における沈下対策工

本研究で行った沈下対策工を以下に示す.

(1) 軌陸 BH 加振機によるまくらぎ加振

施工当夜につき固め保守後の初期沈下を促進することを目的とし，軌陸 BH 加振機 [6]によるまくらぎ加振施工を行った．軌陸 BH 加振機の外観を**図-4** に，仕様を**表-2** に示す．加振機は，コマツ製鉄道用油圧ショベル PC78UUT に装着可能なアタッチメントとなっており，加振面にプレートを押し当て加振を行うものである．押し当てるプレートの寸法は，レール長手方向に対して 300 mm，レール直角方向に対して 800 mm となっており，まくらぎ中央に押し当てて加振が可能な寸法となっている．加振時の振動方向は鉛直方向，振動周波数は 35 Hz，起振力（エンジン回転数を最大とした際の起振モーターの遠心力）は最大で 53.5 kN，まくらぎに作用させる鉛直荷重（ブームの押しつけ力）は約 43 kN となっている．

加振方法は，基地線で事前に検証試験を行い条件を設定した．ここでは，3箇所のPCまくらぎ箇所に対して，ジャッキアップによるレールこう上を行い，軌陸 BH の 8頭 TT によるつき固めを行い，その後軌陸 BH 加振機による加振試験を行った．加振は 1 回あたり 5 秒間として複数回行い，その都度加振範囲の中央まくらぎの高さを測定した．まくらぎ高さは，レーザー墨出し器（ライン精度±1 mm/10 m）を用いて，レーザーによるラインとまくらぎ中央部の上面との離れを定規により測定する方法で行い，つき固め後と加振後のまくらぎ高さとの差分により沈下量を算出した．**図-5** に各施工箇所の加振時間と沈下量の関係を示す．この結果から，いずれの箇所においても 10 秒程度の加振時間で沈下が収束していることがわかった．そのため，営業線における試験施工においては，加振時間をまくらぎ1本あたり 15秒に設定した．加振範囲は，継目まくらぎおよびその近傍が浮きまくらぎとならないよう，継目まくらぎを中心にまくらぎ 7 本分の範囲とした．また，沈下量は3～9mm程度であったことから，5 mm 程度の沈下量が得られることを想定し，施工当夜はつき固め施工後の静的狂いが 10mm となるよう十分な上げ越し量を与えることとした．さらに，まくらぎ下のバラストの側方流動を抑制する目的で，まくらぎ間の道床上面に対しても加振を与えた．なお，営業線における試験施工では，軌陸 BH の 4 頭 TT により，加振範囲と同じ継目まくらぎを中心に 7 本分の範囲に対してつき固めを行った．

表-2 軌陸 BH 加振機の仕様

振動方向	振動周波数	起振力（最大）	鉛直荷重※
鉛直	35 Hz	53.5 kN	43 kN

※ブームの押しつけ力

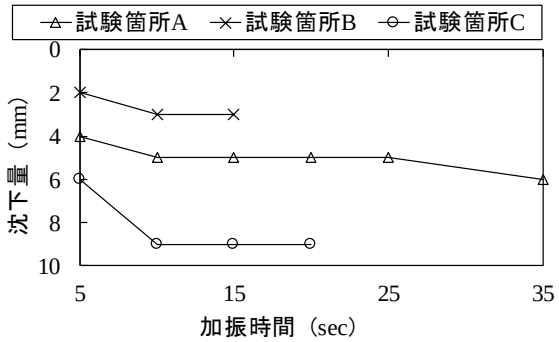


図-5 加振時間とまくらぎ沈下量の関係

(2) 低強度安定処理工法

軌陸 BH 加振機による加振に加えて，道床細粒化箇所に対応した沈下対策工である低強度安定処理工法を行った．低強度安定処理工法は，タイタンパーを用いて細粒化が進行したバラストに高分子系固化材および超速硬セメント（以下，「補修材」という）を 1：1 の割合で混合し，施工後もつき固め補修ができるようにバラストを低強度で安定処理し沈下を抑制する補修方法である．

高分子系固化材は，バラストと混合後に即座にバラスト中に含まれる水分を吸収してみかけの含水比を低下さ

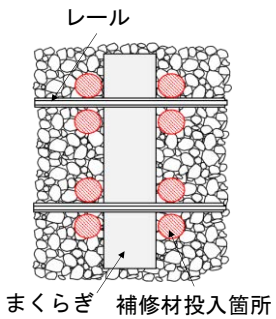


(a)全景



(b)加振アタッチメント

図-4 軌陸 BH 加振機の外観



(a)投入箇所



(b)投入状況

図-6 補修材の投入方法

せるとともに，架橋作用により細粒分を安定化させる効果がある．超速硬セメントは，バラスト中の水分と反応し，養生2時間程度で強度を発現する．

本試験施工においては，**図-6** に示す通り，まくらぎ1本に対して8箇所に補修材を投入（1箇所あたり500 g）し，継目まくらぎを中心にまくらぎ5本分の範囲に対して施工を行った．なお，いずれの施工箇所も，まくらぎ下に滞水が確認されたことから，補修材の硬化不良を防止するため，予めまくらぎ端部のバラストを掘削し水抜き処置した上で施工した．

(3) まくらぎ全周つき固め

つき固め方法による違いを確認するため，施工箇所②に対してまくらぎ全周のつき固めを行った．従来のつき固めでは，施工範囲がレール直下のみのため，つき固め後のまくらぎ支持状態は，まくらぎ底面に対して不均一支持の状態となり，初期沈下により均一支持の状態に変化すると考えられる．そこで，レール直下のみだけでなく，まくらぎ全周に対してつき固めを行うことにより，施工直後にまくらぎの支持状態が均一支持となり，初期沈下の影響を抑制できると考えた（**図-7**）．

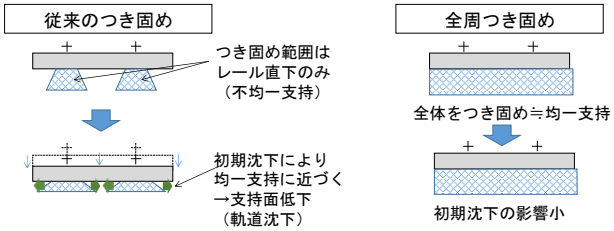


図-7 全周つき固めによる沈下抑制効果のイメージ

4. 試験施工に伴う各種測定

営業線における試験施工に併せて，軌陸 BH 加振機による強制加振の効果を評価するため，各種測定を行った．

(1) 施工当夜の各種測定

a) まくらぎ高さ

まくらぎ加振による沈下促進効果を評価するため，前章(1)と同様の方法で加振前後のまくらぎ高さの測定を行った．測定は，はじめにジャッキアップ前を基準として初期値を測定し，ジャッキアップによるこう上後，つき固め後，軌陸 BH 加振機による加振後に行い，初期値との差分から各時点での変化量を把握し，つき固め後と加振後のまくらぎ高さの差分から沈下量を算出した．

b) 小型 FWD によるまくらぎ支持剛性

まくらぎ加振による支持状態の変化を評価するため，つき固め前後および加振後に小型 FWD[7]によるまくらぎ支持剛性の測定を行った．小型 FWD によるまくらぎ支持剛性の測定は，重錘を落下させた際に得られる最大荷重 P_{max} と応答変位の最大値 D_{max} の関係から支持ばね係数（P_{max}/D_{max}）を求めた．測定は作業間合いの都合から片側レール上で行い，軌陸 BH 加振機による加振範囲である継目まくらぎを中心にまくらぎ7本分に対して行い，各2回ずつ測定した．

(2) 施工前後のまくらぎ上下変位

施工前後の沈下対策工の効果を評価するため，列車通過時のまくらぎ上下変位の測定を行った．測定内容を**表-3**に，測定箇所の概略を**図-8**に示す．まくらぎ上下変位は，軌間外側のまくらぎ端部付近に不動点となる杭を設置し，杭に設置した変位計（㈱東京測器研究所製，CE-10）により，まくらぎ端部の上面位置で測定した．本測定では建築限界を考慮し，カンチレバ型の変位計を使用した（**図-9**）．測定時期は，施工前，施工翌日，施工約1か月後の3回とし，測定列車は当該箇所の走行列車である近郊形車両，測定本数は，1回あたり上下各3本の計6本とした．

表-3 まくらぎ上下変位測定内容（1施工箇所あたり）

測定項目	測点数	測定時期 （測定本数）
まくらぎ上下変位	2	・施工前 ・施工翌日 ・施工1か月後 （近郊形車両上下各3本）

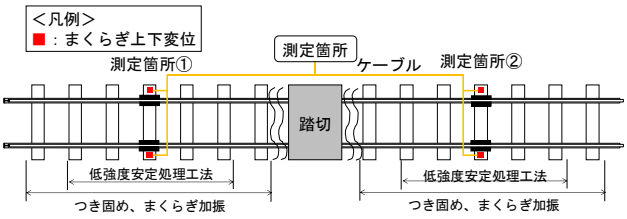


図-8 測定箇所の概略

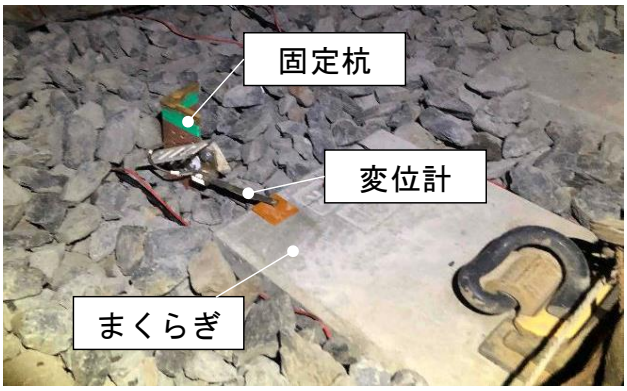


図-9 変位計の設置状況（まくらぎ上下変位）

5. 試験施工および測定結果

(1) まくらぎ沈下量と静的狂い

図-10 に施工箇所①における継目まくらぎの施工前後の静的狂いおよび沈下量の測定結果を示す．同図より，施工前に静的狂いが-15 mm であったため，+10 mm となるまでジャッキアップにより 25mm レールこう上しつき固めを行い，軌陸 BH 加振機により加振を行った．加振前後における沈下量は 4 mm であり，事前に想定した沈下量の 5 mm と概ね同程度であったがわずかに小さくなった．これは，低強度安定処理工法による補修材の初期強度が発揮された可能性が考えられる．

その結果，仕上がりの静的狂いは+6 mm となったが，10 日後の引継検査における静的狂いは+3 mm であり，施工後の初期沈下量は 3 mm であった．これは，PC まくらぎ化の際の施工後（引継検査時点）の初期沈下量の 14 mm と比較し大きく抑制されたといえる．また，**図-11** に施工前後および引継検査時の継目中心に 5m 間隔で測定した手検測による 20 m 間の静的狂い波形を示す．同図より，施工により継目前後の静的狂いが改善され，引継検査時点でもほぼ波形が変化していないことがわかる．

さらに，当該箇所は軌道検測車の走行頻度が少なく，施工後の動的狂いを高頻度に把握することが困難であるため，営業列車に搭載した動揺計 [8]によって測定した列車動揺（上下動揺加速度の全振幅）の推移を確認した．その結果を**図-12** に示す．施工前は 0.36 G であったが，施工後に 0.19 G まで低減しており，施工後通過トン数が約 65 万トン経過時点（施工約 4 か月経過時点）においても 0.22 G と，施工前に対して良好な状態を維持していることがわかる．

つづいて，**図-13** に施工箇所②における継目まくらぎの施工前後の静的狂いおよび沈下量の測定結果を示す．同図より，施工前に静的狂いが-13 mm であったため，+10 mm を目標にジャッキアップによりレールこう上しつき固めを行い，軌陸 BH 加振機により加振を行った（実際は 22 mm のレールこう上で高低狂い+9 mm であった）．加振前後の沈下量は 1 mm であり，施工箇所①と比較し沈下量が小さい結果となった．これは，全周つき固めにより入念なつき固めを行ったことにより，まくらぎ支持状態が均一化されたことに加え，補修材投入からまくらぎ加振までに要した時間が施工箇所①より長く，低強度安定処理工法による補修材の初期強度がさらに発揮された可能性が考えられる．

その結果，仕上がりの静的狂いは+6 mm となったが，10 日後の引継検査時は+3 mm であり，施工後に生じた初期沈下量は施工箇所①と同様に 3 mm であった．これは，PC まくらぎ化の際の施工後（引継検査時点）の沈下量の 7 mm と比較しても抑制されたといえる．また，**図-14**

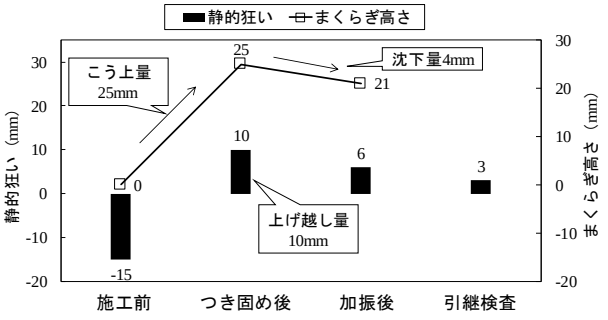


図-10 施工前後の静的狂いおよび沈下量
（継目まくらぎ，施工箇所①）

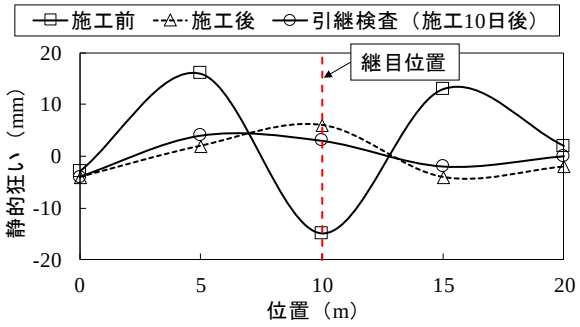


図-11 施工前後の静的狂い（施工箇所①）

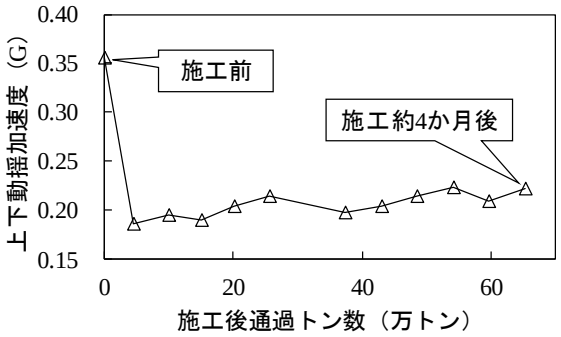


図-12 上下動揺加速度の推移（施工箇所①）

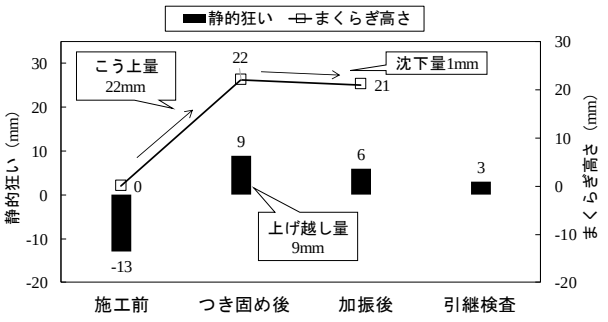


図-13 施工前後の静的狂いおよび沈下量
（継目まくらぎ，施工箇所②）

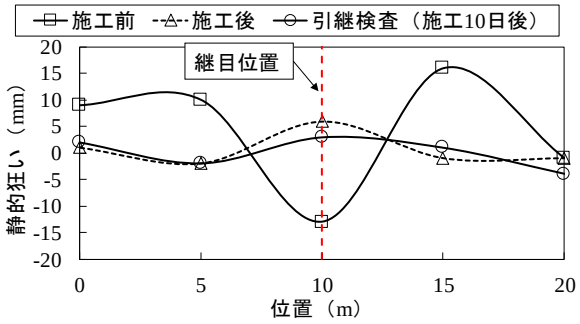


図-14　施工前後の静的狂い（施工箇所②）

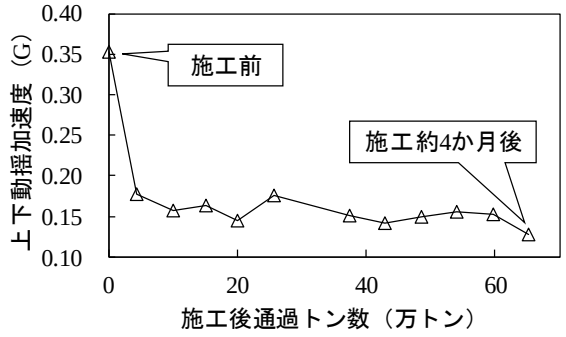


図-15　上下動揺加速度の推移（施工箇所②）

に施工前後および引継検査時の，継目中心に 5m 間隔で手検測による 20 m 間の静的狂い波形を示す．同図より，施工箇所①と同様に，施工により継目前後の静的狂いが改善され，引継検査時点でもほぼ波形が変化していないことがわかる．

さらに，**図-15** に営業列車に搭載した動揺計によって測定した列車動揺の推移を示す．施工前は 0.35 G であったが，施工後に 0.18 G まで低減しており，施工後通過トン数約 65 万トン経過時点においても 0.13 G と，施工前に対して良好な状態を維持していることがわかる．

⑵　まくらぎ支持剛性

図-16 に施工箇所①の小型 FWD によるまくらぎ支持ばね係数の測定結果を，**図-17** に同じく施工箇所②のまくらぎ支持ばね係数の測定結果を示す．施工前は施工箇所①，②いずれも支持ばね係数が 20 kN/mm 程度と小さい結果となった．これは，列車通過時にまくらぎが上下にバタついている挙動が目視で確認できたことから，浮きまくらぎが生じていたためと考えられる．

つき固め後は継目まくらぎを中心に支持ばね係数が増加しており，つき固めにより浮きまくらぎが解消され，支持状態が改善されたと考えられる．特に施工箇所②はまくらぎ全周つき固めにより入念なつき固めを行っていることから，支持状態が均一化されたものと考えられる．

加振後については，施工箇所①はわずかにつき固め後よりも支持ばね係数が増加している．一方で，施工箇所②は加振後につき固め後と比較して低下しているものの，局所的に変化している箇所はなく，かつ施工箇所①の加振後と同程度の 60 kN/mm 程度の支持ばね係数であることから，均一な支持状態は維持されていると考えられる．

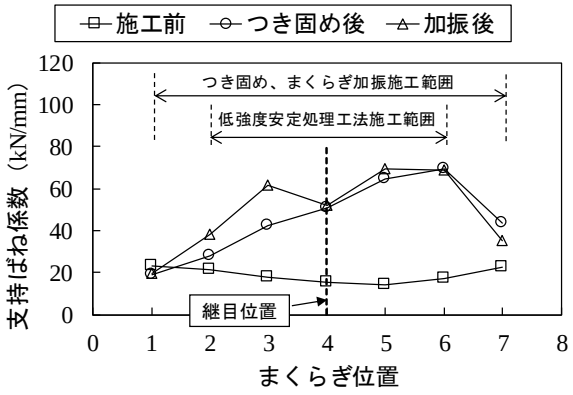


図-16　まくらぎ支持ばね係数（施工箇所①）

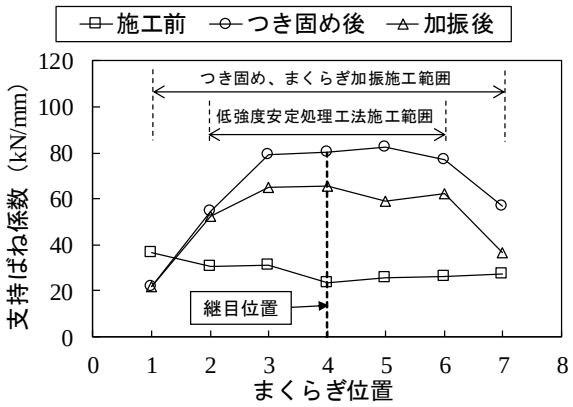


図-17　まくらぎ支持ばね係数（施工箇所②）

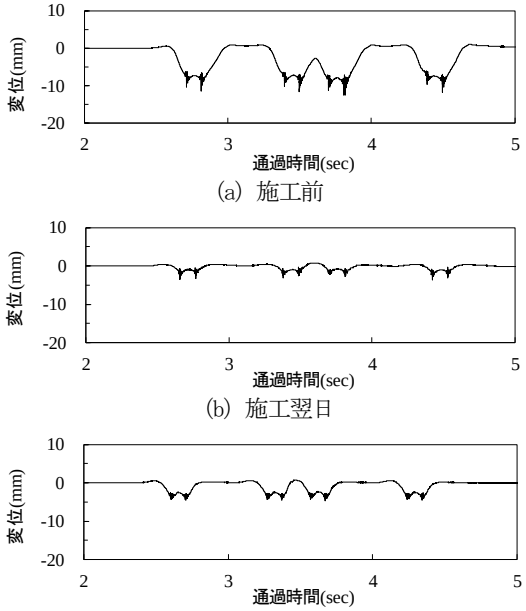
⑶　まくらぎ上下変位測定結果

まくらぎ上下変位の測定結果を**表-4** および**図-18**，**図-19** に示す．同表には，各測定時期に得られた結果について，絶対値で最大となる値を示している．測定値について，本試験で使用した変位計の仕様上の計測容量が 10 mm のため，10 mm を超える測定値は必ずしも最大値を検出できているとは限らないが，施工箇所①は施工前で

表-4　まくらぎ上下変位の測定結果

施工箇所	測定値（mm）※		
	施工前	施工翌日	施工 1か月後
①	-12.5	-3.6	-4.6
②	-12.8	-3.5	-5.8

※　負の値は鉛直下方向の挙動を示す

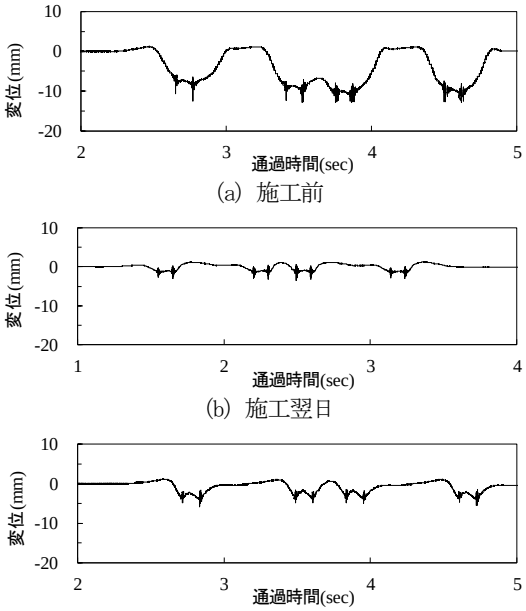


(a) 施工前

(b) 施工翌日

(c) 施工1か月後

図-18 まくらぎ上下変位の測定結果（施工箇所①）



(a) 施工前

(b) 施工翌日

(c) 施工1か月後

図-19 まくらぎ上下変位の測定結果（施工箇所②）

鉛直下方向に少なくとも 12.5mm，施工箇所②は 12.8mm であり，施工翌日では施工箇所①で鉛直下方向に 3.6mm，施工箇所②で 3.5 mm となっており，施工前より少なくとも 9 mm 程度低減した．また，施工翌日から施工 1 か月後の間では，1～2 mm 程度の増加で概ね同程度であり，施工後のまくらぎ支持状態が維持され，顕著な浮きまくらぎも生じていないと考えられる．

6. まとめ

本研究では，道床細粒化の著しい継目箇所において，施工当夜に安定したまくらぎ支持状態を構築することを目的とし，十分なこう上量を与えてつき固め保守を行い，軌陸 BH 加振機を用いてまくらぎに強制加振を与えて初期沈下を促進する施工を行い，その保守省力化効果の検証を行った．以下に本研究で得られた知見を示す．

(1) 基地線における事前検証試験を行った結果，軌陸 BH 加振機により平均的に 5 mm 程度のまくらぎ沈下量が得られるとともに，10 秒程度の加振時間で沈下が収束する傾向であることを確認した．

(2) 営業線において，道床が著しく細粒化し噴泥が生じたレール継目部に対して，十分なこう上量を与えてつき固めを行い，まくらぎ加振および低強度安定処理工法を施工することにより，つき固め後に 1～4 mm のまくらぎ沈下量を与えることができ，その結果施工直後の初期沈下量を 3 mm 程度に抑制できることを確認した．

(3) 施工前後および施工後通過トン数約 20 万トン経過時点（施工 1 か月後）における列車通過時のまくらぎ上下変位の動的測定を行った結果，加振施工によって大きく改善され，施工翌日と概ね同程度の状態が維持されていることを確認した．

(4) 営業列車に搭載した動揺計により測定した上下動揺加速度の推移から，施工によって 5 割程度良化し，施工後通過トン数約 65 万トン経過時点（施工約 4 か月経過時点）においても維持していることを確認した．

(5) 以上の結果から，まくらぎ加振および低強度安定処理工法によるバラスト安定処理の組み合わせ施工により，細粒化が進行したバラスト軌道に対する沈下抑制効果が見込めることを確認した．

今後は，貨物列車等の重軸重車両走行線区や構造物境における沈下抑制効果について検証を行い，軌陸 BH 加振機の適用範囲の拡大に向けた検討を行いたいと考えている．

謝辞：試験施工の実施にあたっては，大鉄工業株式会社の関係各位に多大なるご協力を頂いた．この場を借りて謝意を表する次第である．

REFERENCES

1) 吉川秀平，木村拓真，前田卓巳：下級線の継目部用 PC まくらぎの試験敷設，新線路，Vol.76，No.6，pp.25-28，2022. [Kikkawa, S., Kimura, T. and Maeda, T.: Test laying of PC sleepers for rail joints of low grade track, *Shin senro*, Vol.76, No.6, pp.25-28, 2022.]
2) 伊藤壱記，村本勝己，中村貴久：タイタンパー補修に伴う道床バラストの密度変化，第 46 回地盤工学研究発表会，pp.943-944，2011. [Ito, K., Katsumi, M., and Nakamura, T.: Change in the density of trackbed ballast due to Tie Tamper repair, No.46, *Geotechnical Research Conference*, pp.943-944, 2011.]
3) 景山隆弘,中村貴久：劣化したバラストの沈下を抑制

する低強度安定処理工法，日本鉄道施設協会，日本鉄道施設協会誌，Vol.60，No.8，pp27-30，2022. [Kageyama, T. and Nakamura, T. : Low-strength stable treatment method to suppress settlement of deteriorated ballast, *Journal of Japan Railway Civil Engineering Association*, Vol.60, No.8, pp27-30, 2022.]

4) 福中力也，中村貴久，桃谷尚嗣，木次谷一平，北川敏樹，宇田東樹：音の透過特性を用いた道床バラストの健全度評価方法の開発，鉄道工学シンポジウム論文集，No.24，pp.227-234，2020. [Fukunaka, R., Nakamura, T., Momoya, Y., Kijiya, I., Toshiki, K. and Uda, T.: Development of a Soundness Evaluation Method for Trackbed Ballast Using Sound Transmission Characteristics, *Journal of railway engineering, JSCE*, No.24, pp. 227-234, 2020.]

5) 新版軌道材料編集委員会：新版軌道材料，第 7 編道床バラスト pp.382-383，2011. [Editorial Board of New Edition Track Materials.: New Edition Track Materials, Vol.7, pp.382-383, 2011.]

6) 坂本士，白崎研人，石川銀次郎：「道床転圧アタッチメント」の開発について，土木学会第 71 回全国大会年次学術講演会，pp.661-662，2016. [Sakamoto, T., Shirasaki, K. and Ishikawa, G.: Development of Roadbed Compaction Attachment, No.71, *JSCE Annual Conference*, pp661-662, 2016.]

7) 伊藤壱記，中村貴久，村本勝己，佐野禎：FWD を用いた軌道支持剛性の評価方法に関する基礎的検討，第 48 回地盤工学研究発表会，pp.13-14，2013. [Ito, K., Nakamura, T., Muramoto, K. and Sano, S.: A Basic Study on Evaluation Method of Track Support Stiffness Using FWD, No.48, *Geotechnical Research Conference*, pp.13-14, 2013.]

8) 永尾健祐，桶谷栄一：列車巡視における画像処理技術を活用した環境変化抽出手法の基礎的検討，鉄道工学シンポジウム論文集，No.23，pp.79-85，2019. [Nagao, K. and Oketani, E.: Basic Study of Enviromental Change Extraction Method Using Image Processing Technology in Onboard Track Patrol, *Journal of railway engineering, JSCE*, No.23, pp. 79-85, 2019.]

(Received March 31, 2023)

(Accepted June 9, 2023)

VERIFICATION OF THE EFFECT OF USING A VIBRATION EXCITER TO SUPPRESS SETTLEMENT AT RAILWAY TRACK WHERE BALLAST HAS BECOME FINE-GRAINED

Yohei HAYAKAWA, Masanobu KUSUDA and Toshifumi TANAKA

Many wooden sleepers remain at rail joints of the lower grade line, which require repeated tie tamper repairs against their settlement. In some locations, PC sleepers for rail joints are being laid and tie-tamper repairs are being made around the entire circumference of the sleepers on a trial basis in order to reduce settlement at rail joints. Although these have been shown to reduce maintenance to some extent, they are not effective enough in areas where ballast particles are significantly finer, due to the large initial settlement of rail joints after tie tamper repair. Therefore, in this study, with the aim of establishing a strong sleeper support condition immediately after maintenance work, we performed tie tamper repairs by lifting the rails sufficiently and applying forced vibration to sleepers using a vibration exciter attached to a railroad backhoe to accelerate initial settlement of rail joint, and verified its effectiveness in reducing their settlement.