

工事作業直後の 軌道状態での軌道変状 防止対策の効果測定



櫻井 一樹*



山田 啓介**



柳沼 謙一*

軌道に影響を与えるおそれのある線路近接工事や軌道工事は、レール張出しなどの軌道変状防止のため、夏期における施工に制限がある。レール張出しを発生させる重要な条件であるレール温度は、夜間においてはレール張出しが発生することはないほど十分に低い。このことは、夏期の線路近接工事では、夜間作業後の昼間の高温時に軌道変状を防止することが重要であることを意味している。そこで、工事の作業直後における軌道状態を再現し、軌道変状防止の各種対策の道床横抵抗力を同一条件で測定し、それぞれの対策の効果を比較検証した。その結果、工事作業直後の軌道状態に対しては、道床安定剤散布が道床横抵抗力を確実に確保できた。

●キーワード：レール張出し防止、道床横抵抗力、線路近接工事、作業直後、軌道変状

1. はじめに

春から夏の期間、線路近接工事のうち特に軌道に影響を与えるおそれのある作業や軌道工事での作業に対しては、レール張出し（「2 線路の構造と夏期工事の制限」参照）などの軌道変状防止のため、軌道変状の防止対策を施工したり、作業そのものの制限がある。

軌道変状の防止対策の効果については、個別に評価されているものが多く、同一条件での測定・比較評価した技術資料はあまりない。そこで、工事での作業の直後における軌道状態を再現し、軌道変状防止の各種対策の効果を比較検証したので、報告する。

2. 線路の構造と夏期工事の制限

線路の構造のうちで、最も一般的な有道床軌道の構造を図1に示す。レールは鉄を主成分とするため、レール自体は温度により伸縮する。一方、線路に敷設されているレールはマクラギに締結され、マクラギは道床（一般的に碎石）により拘束されている（図2）。この道床による線路延長方向の拘束力を、「道床縦抵抗力」と称している。この道床縦抵抗力により、線路に敷設されているレールは、温度変化による伸縮が拘束され、レール軸力（内部応力）が生じる。夏期にレール温度が上昇すると、大きな圧縮のレール軸力が生じる。

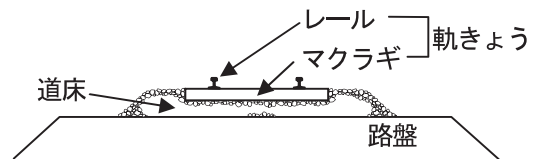


図1 線路の構造

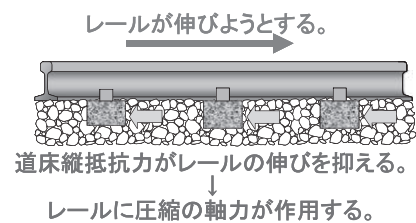


図2 道床縦抵抗力

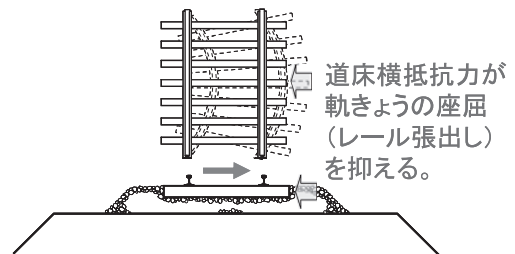


図3 道床横抵抗力

圧縮軸力に伴う軌きょう（レールとマクラギによる梯子状構造体）の座屈は、線路直角方向の道床の拘束力が防止している（図3）。この線路直角方向の道床の拘束力を、「道床横抵抗力」と称している。道床横抵抗力が小さいと、軌きょうの座屈が生じることもある。この軌きょうの座屈を「レール張出し」と称している。

レール張出しは、列車の走行上、防止する必要がある。

そのため、各種規程やマニュアルなどにに基づき、レール張出しが生じないように、線路は管理されている。特に、道床を緩める作業を施工すると、道床横抵抗力は低下する。よって、圧縮のレール軸力が増加する春から夏の期間、工事での作業に対しては、軌道変状の防止対策を施工したり、作業そのものの制限がある。軌道変状の防止対策には、道床安定剤を道床に散布して道床を固める方法、座屈防止板をマクラギに設置して道床横抵抗力を増加させる方法、座屈防止杭を設置してマクラギの移動を抑制する方法などがある。これらにはそれぞれに異なる長所があり、このうち、作業が容易で、安価である道床安定剤散布が最も一般的である。

3. レール温度の推移と軌道変状の防止対策の要求性能

レール張出しを発生させる重要な条件であるレール温度について調べたところ、夜間のレール温度の最高値は概ね25℃～30℃であった¹⁾。この夜間のレール温度は、レール張出しが発生するおそれはないほどに低い値である。一方、夏期の昼間のレール温度は高い。

このことから、軌道変状の防止対策に求められる性能は、夜間作業後の昼間の高温時に軌道変状を防止することとなる。

しかし、軌道変状の防止対策の効果に対しては、作業直後の軌道状態を想定した技術的検討や資料は少ない。また、個別に評価されているものが多く、同一条件での測定・比較評価した技術資料はあまりない（座屈防止板の複数形態による比較の例としては、参考文献2）や3）がある）。

このため、線路近接工事において、多重な対策の実施や工事の中止をせざるを得ない状況もある。工事を中止した場合、夏期終了後に工期を守るために行う急速な施工や特殊な工法の採用は、工事費の増加原因となる。

4. 作業直後の軌道状態を再現した軌道での比較試験

4.1 比較試験の目的と実施場所

以上のような背景をふまえて、線路近接工事における最適な軌道変状の防止対策を選定するための知見を得ることを目的として、多数の形態を対象として比較試験を行った。比較試験では、作業直後の道床が緩んだ軌道状

態を再現し、軌道変状防止の各種対策の効果を同一条件で測定し、比較検証した。

比較試験は、軌道の材料・状態がほぼ同一条件の区間を相当延長確保できることから、大宮総合車両センター構内の試運転線（点検・整備した車両が試運転走行するための線路）で、2007年に実施した。表1に、試験区間の線路の諸元を示す。

表1 比較試験区間の軌道条件

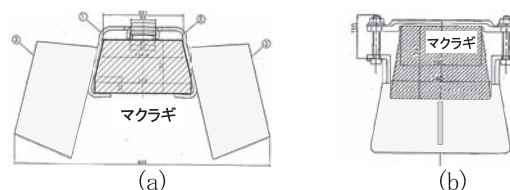
・ 直線
・ 50N レール
・ 定尺
・ PCパンドロールマクラギ (39本/25m)
・ 碎石
・ 2005年8月 新設線 (移設)

4.2 比較試験の実施形態

軌道変状の防止対策およびその比較形態などで、道床横抵抗力を測定した。実施した形態は31形態で、そのうち主な形態を表2に示す。各形態とも、3本のマクラギで道床横抵抗力を測定した。

基本データとして、道床を緩めたままの状態のもの（「無対策」）のほか、道床安定剤散布や、標準的な形状よりも道床肩部を大盛りにした道床形状などで実施した。座屈防止板（図4）は、(a) マクラギ中央部に取付ける形状のもの、(b) マクラギ中央部にもマクラギ端近傍にも取付けられ、ふく進（軌きょうの縦方向移動）の防止機能もある形状のもの、などを使用した。大判マクラギ化は、マクラギ重量を増やすこととともに、マクラギと道床碎石との接触面を広くすることの評価のために実施したものであり、マクラギはTC型省力化軌道用PCマクラギ（高20cm×幅40cm×長200cm）⁴⁾を使用した。座屈防止杭の一形態として、マクラギ端部の碎石に等辺山形鋼（75mm）のアンクル材を路盤まで打ち込んだ条件でも実施した。

線路近接工事においては、道床肩部での施工を繰返し実施する場合がある。この場合、道床肩部に道床安定剤

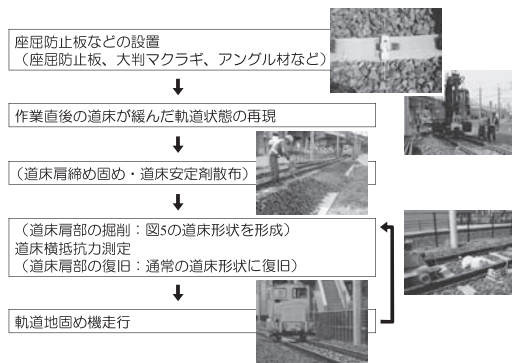
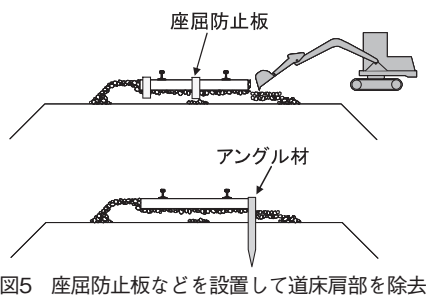


(a) : マクラギ中央部に取付け。
(b) : マクラギ中央部にもマクラギ端近傍にも取付け可能。ふく進防止機能有り。

図4 比較試験で使用した座屈防止板

表2 道床横抵抗力の比較測定をした主な形態

試験分類	番号	図	記事	試験分類	番号	図	記事	試験分類	番号	図	記事	試験分類	番号	図	記事	
①基本データの収集	1		無対策	②座屈防止板の効果確認	1		図4(a)の座屈防止板をマクラギ中央に取付け	③座屈防止板と道床安定剤との組合せ効果の確認	1		図4(a)の座屈防止板をマクラギ中央に取付け 道床安定剤散布	⑥道床肩部を掘削	1		道床の肩部を掘削(マクラギ下面まで)	
	2		道床肩部に道床安定剤散布		2		図4(b)の座屈防止板をマクラギ中央に取付け		2		図4(b)の座屈防止板をマクラギ端部(抵抗側)に取付け 道床安定剤散布		2		図4(b)の座屈防止板をマクラギ端部(非抵抗側)に取付け 道床の肩部を掘削	
	3		道床肩部(バラスト形状大盛り(道床締め固め)無し)		3		図4(b)の座屈防止板をマクラギ端部(非抵抗側)に取付け	1		大判マクラギ化	3		図4(a)の座屈防止板をマクラギ中央に取付け 図4(b)の座屈防止板をマクラギ端部(非抵抗側)に取付け 道床の肩部を掘削			
【道床横抵抗力の測定方向】																
道床横抵抗力の測定は、複式図の下方にマクラギを押し出す方向で行った。																
④大判マクラギの評価																
2																
⑤アングル材の評価																
1																
2																



散布をすると、道床肩部の碎石除去が必要な場合、固結碎石の破碎作業に労力を要する。そこで、図5のように、座屈防止板やアングル材を設置すれば、道床肩部がない道床形状でも道床横抵抗力を確保できるかについて、あわせて試験を実施した。

4.3 比較試験の手順

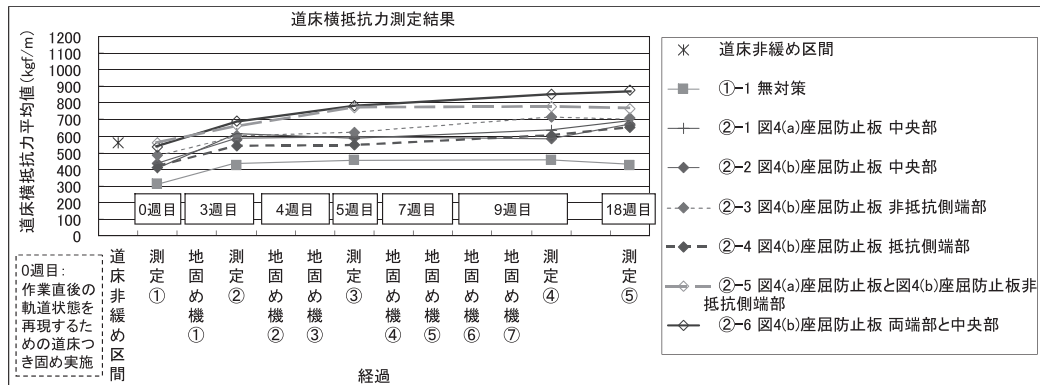
比較試験の流れを図6に示す。作業直後の道床が緩んだ軌道状態の再現は、軌きょうをジャッキアップし、4頭式タイタンパーで道床つき固めをして道床を均一に緩め、

マクラギと道床との接触抵抗を減少させることにより行った。また、道床は緩めたままとし、道床締め固めは施工しなかった(ただし、道床安定剤は、道床締め固めをした後に散布した)。この作業直後の軌道状態において、軌道変状防止の各種対策などの道床横抵抗力を測定した。さらに、車両の繰返し通過に伴う道床横抵抗力の経時推移をあわせて測定した。この際、試験場所が試運転線であり、通過トン数が少ないことから、列車荷重を補うために軌道地固め機を繰返し走行させた。

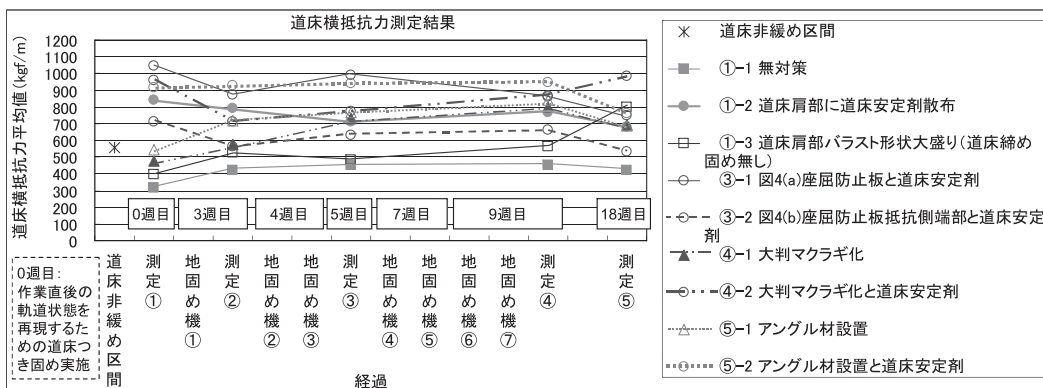
4.4 道床横抵抗力の測定結果

図7は、軌道変状の防止対策ごとの道床横抵抗力(マクラギ移動量2mm時)の平均値の時間経過を示したものである。ここで、道床横抵抗力は、試験場所のマクラギ間隔を用いて、1mあたりの値に換算して示している。

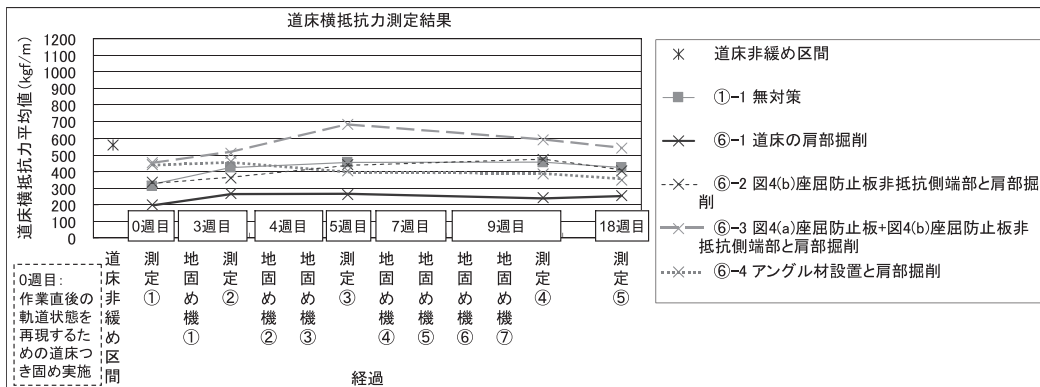
図7の「道床非緩め区間」の値は、4頭式タイタンパーでの道床つき固め作業を実施していない区間での道床横抵抗力の測定結果であり、試験場所における道床つき固め前の道床が緩んでいない状態での道床横抵抗力に相当する。「測定①」は、4頭式タイタンパーでの道床つき固め作業直後の道床横抵抗力の測定結果(道床安定剤散布箇所は、道床つき固め・道床安定剤散布後の結果；道床肩部掘削箇所は、道床つき固め・道床肩部掘削後の結果)である。「地固め機①～⑦」は、軌道地固め機の走行日を示し、各走行日とも同一回数の往復(30往復)をした。



(a) 座屈防止板の測定結果



(b) 座屈防止板以外の測定結果



(c) 道床肩部を掘削した場合の測定結果

注) ここでの道床横抵抗力は、試験場所のマクラギ配列 (39本/25m) を用いて、測定値を1mあたりの道床横抵抗力に換算して示している。

図7 道床横抵抗力の測定結果

4.5 道床横抵抗力の測定結果の考察

道床横抵抗力の測定結果に対して、次のように考察した。なお、確保すべき所定の道床横抵抗力は、軌道諸元などにより異なる⁵⁾。

(1) 作業直後の軌道状態 (道床を緩めた直後) において、道床安定剤散布は、非常に高い道床横抵抗力を確保できた。この値は、試験場所の条件よりも高い道床横抵抗力が要求される条件に対しても、所定の道床横抵抗力を上回る値であり、多くの条件に対して十

分な値である。図7 (b) の丸印 (●と○の印) が道床安定剤散布に関するものである。

- (2) 車両の通過トン数を補うため、軌道地固め機を振動走行させた。しかし、軌道地固め機の振動の影響が大きく、道床碎石の粒子間の道床安定剤による接着が解消 (もしくは弱体化) された。この結果、道床安定剤散布箇所において、軌道地固め機走行後の道床横抵抗力が減少した。
- (3) 道床横抵抗力は、一般にマクラギ移動量2mm時の値

を採用しており、今回もこの値を採用した。アンゲル材は、マクラギ端部との確実な接触が難しく、隙間が生じやすい。この場合、アンゲル材の効果が発揮されるまでの余裕が生じる。このため、今回の結果でも、作業直後の軌道状態において、アンゲル材設置（図7（b）の△印）は、道床安定剤散布ほどの高い道床横抵抗力を確保できなかった。

- (4) アンゲル材と道床安定剤散布との組合せ（図7（b）の点線○印）は、高い道床横抵抗力を確保できた。これは、道床安定剤の効果によるところと、道床安定剤を介したマクラギ端部とアンゲル材との確実な接触の効果によるものと考えられる。
- (5) 作業直後の軌道状態において、座屈防止板設置（図7(a)）は、道床横抵抗力を回復できなかった形態も多かった。これは、座屈防止板設置の際に碎石が乱されたことにより、道床横抵抗力が減少したためである。時間の経過とともに、座屈防止板の効果は増加した。なお、試験条件として、道床締め固めをしていないことを重ねて記す。
- (6) 大判マクラギ化（図7（b）の▲印）は、時間が経過した後では効果が発揮されたが、作業直後の軌道状態（マクラギ交換直後）では、比較的低い値であった。実務ではばらつきなどを考慮した安全率を用いていることを加味すると、作業直後の軌道状態において、所定の道床横抵抗力を確保できなかった。
- (7) 作業直後の軌道状態において、図5のような座屈防止板やアンゲル材設置しての道床肩部掘削の状態（図7（c））では、道床横抵抗力を確保できなかった。

5. 軌道変状の防止対策の要点

表3は、この試験結果をふまえて、作業直後の軌道状態でのレール張出し防止の要点をまとめたものである。

なお、今回の比較試験の評価は、道床が緩んだ軌道状態に対してのものである。つまり、例えば線路近接工事に伴う線路の隆起や陥没に対しても対応できる、というものではない。線路の隆起や陥没への対策は、各工法の所定の対策を実施する必要がある。

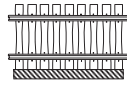
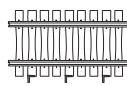
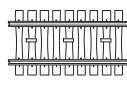
また、道床安定剤散布には、雨天時には散布できない（製品によっては可能）、排水に悪影響を及ぼすおそれがある、

大型保線機械（MTT・BR）による碎石作業に支障する、発生碎石は産業廃棄物処理となる、次工程で碎石除去作業などがある場合に労力を要する、という側面もある。そのため、道床安定剤の使用にあたっては、工事箇所、工事時期、次工程を含めた工事内容、散布後の影響などへの考慮が必要とされている。

6. おわりに

今回、作業直後の軌道状態を再現し、軌道変状の防止対策など多数の形態に対して、道床横抵抗力を同一条件で測定し、比較検証した。その結果、作業直後の軌道状態において、道床安定剤散布の効果は非常に高いことが確認できた。本稿が、工事作業にあたりレール張出し防止対策などの参考となれば幸いである。

表3 作業直後のレール張出し防止の要点

軌道変状の防止対策の種類	図	作業直後のレール張出し防止の要点
道床安定剤散布		<ul style="list-style-type: none"> • 作業直後の軌道状態において、<u>道床横抵抗力を確保できる。</u> • <u>道床安定剤散布とアンゲル材設置、あるいは道床安定剤散布と座屈防止板設置という組合せをする必要はなく、道床安定剤散布のみで道床横抵抗力は十分に確保できる。</u>
アンゲル材設置（座屈防止杭の形態）		<ul style="list-style-type: none"> • <u>マクラギ端部とアンゲル材とを確実に接触させる何らかの工夫が必要である。</u>
座屈防止板設置		<ul style="list-style-type: none"> • <u>道床を緩める作業にあわせて設置するのではなく、道床横抵抗力を発揮できる期間が得られるように、あらかじめ設置する必要がある。設置時の道床締め固めは重要である。</u>

参考文献

- 1) 櫻井一樹, 山田啓介, 柳沼謙一: 工事作業直後の軌道状態を再現した軌道変状防止対策の効果確認試験, 第15回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2008) 講演論文集, pp.567-570, 2008.12
- 2) 軌道構造と材料 - 軌道・材料の設計と維持管理 -, pp.483-484, 交通新聞社, 2001
- 3) 坂東茂巳: 在来線におけるロングレールの拡大, 日本鉄道施設協会誌, 第31巻, 第4号, pp.16-18, 1993.4
- 4) 村尾和彦, 相原宏任: 省力化軌道の開発, JR EAST Technical Review, No.10-Winter, pp.14-19, 2005.3
- 5) 奥村悠樹: JR東日本の張り出し事故防止に向けた取組み, 新線路, 第62巻, 第2号, pp.11-13, 2008.2