

S2-1-2. 閑散線区における軌道管理手法に関する一考察

〔土〕 ○村松 浩成、竹内 克志、馬場田和明 (JR 東海)

A study on Track Maintenance Method for Light Traffic Line

Hironari Muramatsu, Katsushi Takeuchi, Kazuaki Babata (Central Japan Railway Company)

In light traffic line, the track irregularity growth is accelerated by track material deteriorations and rail joint depressions. In this paper, we describe the results of study on application of the track maintenance method by using a resilient rubber pad and rubber chips.

キーワード：継目部落ち、低弾性パッド、ゴムチップ、閑散線区

Keywords: rail joint depression, resilient rubber pad, rubber chips, light traffic line

1. はじめに

軌道を良好な状態に保つため、保守の現場ではマルチプルタイタンパーを用いた軌道整備（以下、「マルタイ作業」という。）や軌道材料の交換を計画的に行っている。しかし、軌道材料の劣化が進行した閑散線区では、対象箇所全ての材料を交換するのは収支的に困難な状況にある。また、道床バラストの固結等により、マルタイ作業の効果が持続しない箇所も閑散線区には多い。そこで、本研究では、材料劣化が進行した軌道（以下、「弱小軌道」という。）の継目落ち対策として低弾性化に着目し、その効果を確認した。さらに、材料交換、マルタイ作業、低弾性化の適用方法に関する検討も行った。

2. マルタイ作業の効果の持続性

マルタイ作業の効果の持続性を把握するため、過去のマルタイ作業の実績に基づき、施工後の高低狂いの推移を調査した。結果を図 1 に示す。

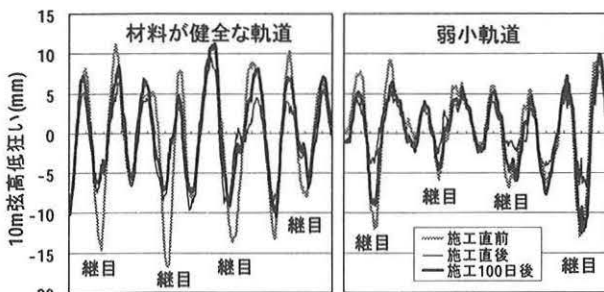


図 1 マルタイ作業後の高低狂いの推移

図 1 より、施工 100 日後を表す高低狂いの波形は、材料が健全な軌道では施工直後を表す波形と、弱小軌道では施工直前を表す波形と一致しているのがわかる。つまり、弱小軌道では、マルタイ作業の効果がほとんど持続していない。

弱小軌道の固結した道床にマルタイ作業を投入すると、

固まって安定していた道床を緩めることになり、結果として支持力が低下し、軌道狂いの進行が助長される。さらに、断面積の小さい弱小レールや劣化した木マクラギによる支持力の低下が、この現象に拍車をかける。ここで、図 1 より、効果の持続性の差は継目部で顕著に現れている。従って、弱小軌道の継目部を低弾性化し、列車荷重の衝撃を緩和すれば、マルタイ作業より効果が持続すると考えられる。さらに、マルタイ作業を適切な箇所に集中させることも可能となる。

3. 継目部の低弾性化の施工概要

本研究では、弱小軌道の継目部を対象に、低弾性パッドとゴムチップを組み合わせた図 2 に示す 4 種類の対策を 12 継目づつ、合計 48 継目に施工した。なお、使用した低弾性パッドのばね係数は 58.8MN/m、厚さは 10mm、ゴムチップは約 20mm の大きさに裁断された天然ゴムである。

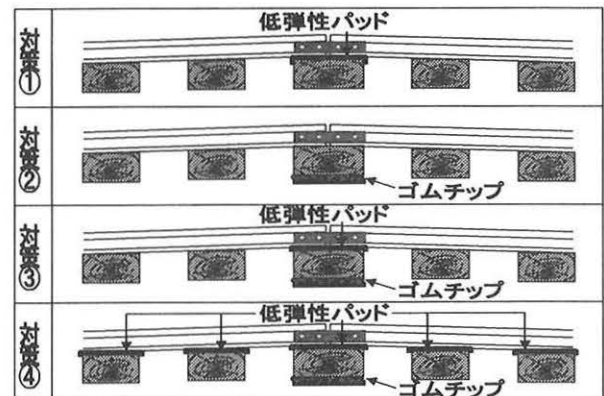


図 2 低弾性化の施工概要

4. 低弾性化の施工効果の検討結果

4.1 継目部の沈下量の理論計算

図 3 に示すモデルを用いて、文献 3) の手法に基づき、対策①～④を施工した際の継目部の沈下量を計算した。計算

に用いた諸元を表 1 に、結果を図 4 に示す。

図 4 は、対策しない場合の沈下量を 1 とした時の、各対策の比を表している。これより、対策①で 10%、②で 6%、③で 13%、④で 25% の沈下抑制効果が見込めることがわかる。

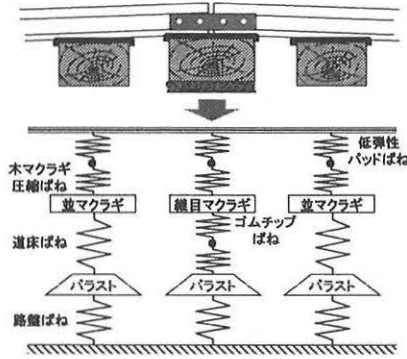


図 3 軌道構造のモデル化(例: 対策④)

表 1 計算に用いた諸元

項 目	単 位	数 値
低弾性パッドばね係数	MN/m	58.8
ゴムチップばね係数	MN/m	95.4
木マクラギ圧縮ばね係数	MN/m	100
道床ばね係数	MN/m	200
K_{30} 値	MN/m ³	70
道床厚(4級線)	m	0.2
マクラギ本数/25m(4級線)	本	37
静止輪重(115系)	kN	38
走行速度(線区最高速度)	km/h	85

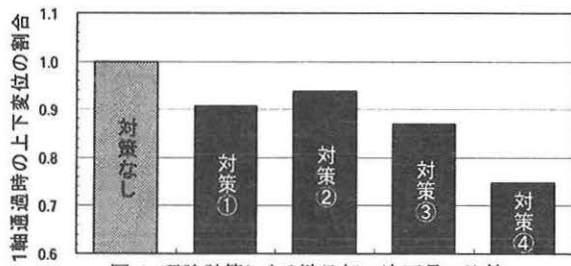


図 4 理論計算による継目部の沈下量の比較

＜4.2＞ 施工後の高低狂いの推移の比較

図 5 は、同一の弱小軌道に低弾性化及びマルタイ作業を施工した際の、継目部落ち量の推移を表している。これより、マルタイ施工後は急速に継目が沈下し、概ね 120 日で元の状態に戻るのに対し、低弾性化の場合、各対策とも施工後 180 日現在、継目部はほとんど沈下していないのがわかる。

図 6 は、同一の弱小軌道に低弾性化及びマルタイ作業を施工した際の、高低狂い 100m 標準偏差の推移を表している。これより、マルタイ作業の場合、施工後の継目落ちの進行に伴い標準偏差も悪化し、100～120 日で元の状態に戻っているのがわかる。また、マルタイ作業後は作業前より急速に狂いが進行しているのに対し、低弾性化の場合は各対策とも比較的ゆるやかである。

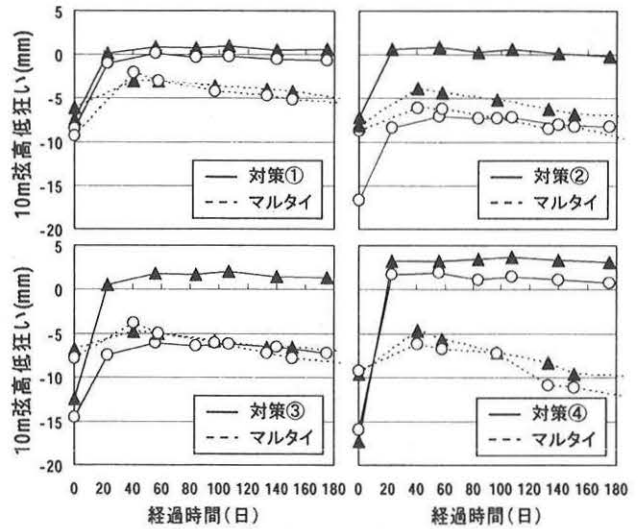


図 5 施工後の継目落ち量の推移

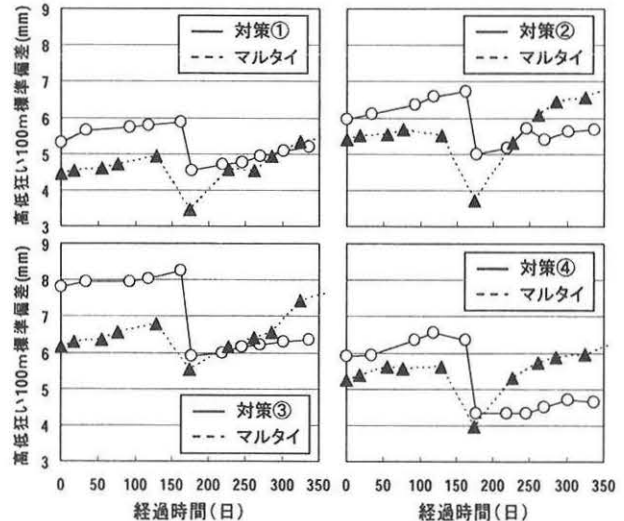


図 6 施工後の高低狂い標準偏差の推移

＜4.3＞ 施工効果の定量化

図 5、6 から、弱小軌道にはマルタイ作業の投資効果はほとんどなく、低弾性化の方が効果的であることが定性的にわかる。そこで、より詳細な比較を行うため、図 7 に示す評価指標 α 、 β 、 Δt を用いて、施工効果の定量化を試みた。

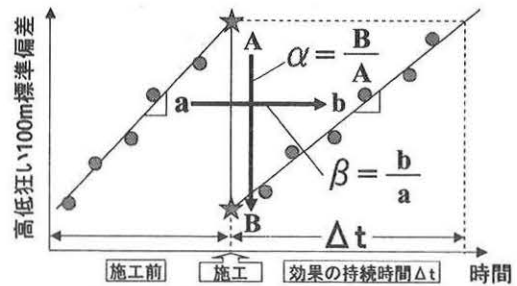


図 7 施工効果の評価指標 α 、 β 、 Δt

＜4.3.1＞ 軌道状態の改善率 α の比較

施工前後の高低狂い標準偏差の比 α は、施工により標準

偏差が何割まで減少したかという軌道状態の改善率を表し、値が小さいほど効果は大きくなる。

図 8、9 は、各対策の施工前後の標準偏差の関係を表している。ここで、斜め 45 度の線は $\alpha=1$ を表し、これより下なら軌道を改善し、上ならば改悪したことになる。

図 8 の低弾性化の場合、対策①～④の α に大差はなく、平均的な値は 0.71 となる。一方、図 9 のマルチ作業の場合、軌道材料の種別によるバラツキが見られるものの、平均的な α は 0.70 となる。従って、マルチ作業と低弾性化の α に大差はないと言える。

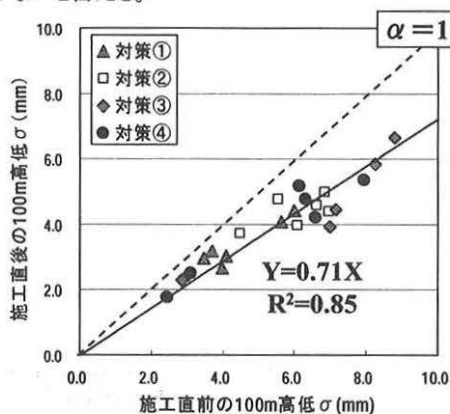


図 8 低弾性化の α

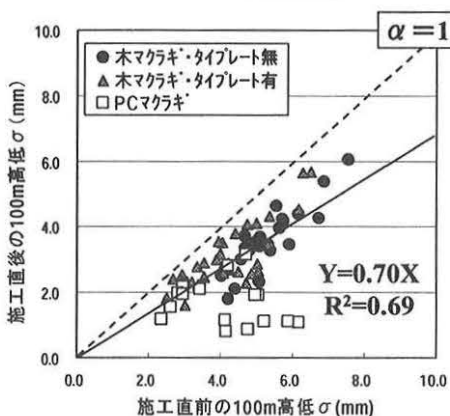


図 9 マルタイ作業の α

＜4.3.2＞ 狂い進みの抑制率 β の比較

高低狂いの時間変化が直線近似できると仮定した際の、施工前後の直線の傾きの比 β は、施工により狂い進みが何割まで抑制されたかという狂い進みの抑制率を表し、値が小さいほど効果は大きくなる。

図 10、11 は、各対策の施工前後の直線の傾きの関係を表している。ここで、斜め 45 度の線は $\beta=1$ を表し、これより下なら狂い進みを抑制し、上なら助長することになる。

図 10 の低弾性化の場合、対策④の β は他よりも優れ、平均的な値は 0.58 となる。一方、図 11 のマルチ作業の場合、 β は軌道材料の種別により概ね 3 つに区分できる。なお、弱小軌道に相当するタイププレート無しの区間の β は 2.24 で、低弾性化の方がマルチ作業よりも β が小さく、狂い進みの抑制効果が大きいことがわかる。

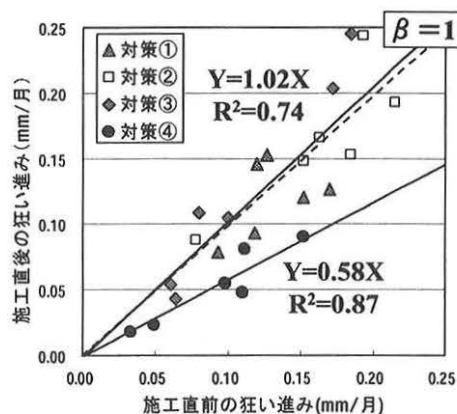


図 10 低弾性化の β

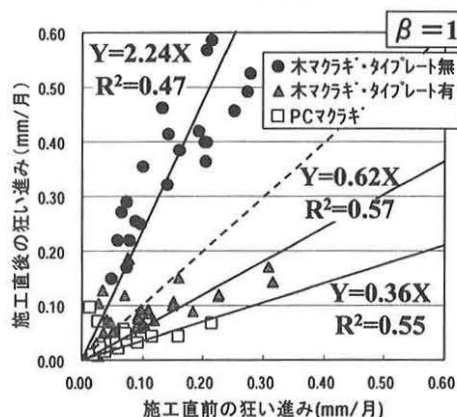


図 11 マルタイ作業の β

＜4.3.3＞ 効果の持続時間 Δt の比較

図 7 に示す効果の持続時間 Δt は、 α 、 β 及び施工前の実測データを用いて、式(1)から計算できる。

$$\Delta t = \frac{(1-\alpha)A}{\beta a} \quad \dots (1)$$

表 2 は、弱小軌道(木マクラギ・タイププレート無)にマルチ作業を投入した際の Δt を 1 とした時の、各対策の比を表している。これより、弱小軌道に低弾性化を施工すれば、対策④でマルチ作業の約 4 倍、その他で約 2 倍の Δt の延伸が見込めることがわかる。そこで、本研究では、弱小軌道の継目落ち対策として、対策④を採用することとした。

表 2 各対策の α 、 β 、 Δt の比較 β

対策種別		α	β	Δt の比
低弾性化	対策①～③	0.71	1.02	2.13
	対策④	0.71	0.58	3.75
マルチ作業	木マクラギ タイププレート無	0.70	2.24	1.00
	木マクラギ タイププレート有	0.70	0.62	3.63
	PCマクラギ	0.70	0.36	6.25

5. 低弾性化の標準化に向けての取り組み

以上の検討により、継目部の低弾性化が弱小軌道の継目

落ち対策として有効であることが確認されたが、これを標準化するには、2つの問題点を解決する必要がある。

1つ目は、継目部のこう上量の調整方法である。これについては、実測データに基づき、ゴムチップの挿入量からこう上量の目安を定める推定式を設定した。

2つ目は、材料交換、マルタイ作業、低弾性化を適切に使い分ける手法である。これについては、効果の持続時間 Δt に着目した軌道管理手法を検討した。

〈5.1〉 継目部のこう上量の調整方法

初期沈下を除く継目部のこう上量を 10m 弦高低狂いの動的值から算出し、その際のゴムチップの量との関係を表すと、図 12 のようになる。

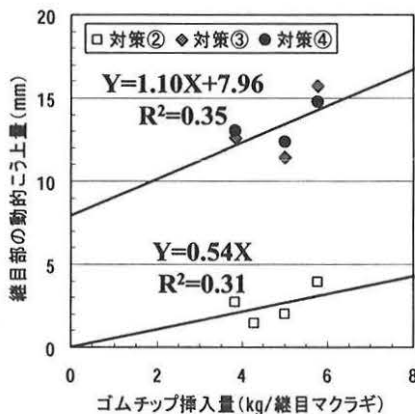


図 12 こう上量とゴムチップ挿入量の関係

本研究では、図 12 の結果に基づき、対策②と対策③、④のこう上量の目安を定める推定式を設定した。ただし、こう上量は軌道材料の状態(特に道床バラストの状態)によって異なり、また、今回の結果はサンプル数が少ないため、1つの目安と考える必要がある。なお、軌道パッドのみを用いる対策①は、こう上量の調整はできない。

〈5.2〉 Δt に着目した軌道管理手法

冒頭にも述べたように、軌道を良好な状態に維持するには、軌道材料の交換とマルタイ作業が 2本の柱となる。しかし、軌道材料の劣化が進行した閑散線区では、マルタイ作業の投資効果がほとんどない箇所も多い。このような弱小軌道には材料交換を行うべきだが、換算線区では予算上の制約がある。従って、本研究で検討した継目部の低弾性化は、弱小軌道の材料交換が行われるまでのマルタイ作業に代わる対策として、効果を発揮すると思われる。

ここで、限られた予算、労力を有効に活用するには、材料交換、マルタイ作業、低弾性化の中から、対象箇所に適した対策を選択する手法を定める必要がある。そこで、本研究では、式(1)で計算される効果の持続時間 Δt に基づき、対策を選択する手法を検討した。手法の流れを図 13 に示す。

まず、全区間を対象にマルタイ作業を仮定する。各区間を PC マクラギ、タイプレート有り、タイプレート無し の 3 つに

区分し、表 2 に示す α と β を適用して Δt を計算する。この段階で Δt が 24 ヶ月以上持続すれば、マルタイ作業の検討対象とする。ここで、閾値を 24 ヶ月としたのは、当社管内のマルタイ作業の稼働率(施工延長/軌道延長)は年間約 50% (24 ヶ月に 1 回)で、 Δt が 24 ヶ月以上なら、現状の施工ペースで軌道状態を維持、改善できると考えられるからである。

次に、残った区間を対象に、低弾性化の施工を仮定する。本研究では、PC マクラギへの低弾性化は検討していないため、それ以外の区間に表 2 に示す対策④の α と β を適用し、 Δt を再計算する。その結果、 Δt が 12 ヶ月以上持続すれば低弾性化、持続しなければ材料交換の検討対象とする。ここで、閾値を 12 ヶ月としたのは、 Δt がこれ未満だと、現状維持のために年に複数回の対策を要するからである。なお、除外した PC マクラギ区間については、道床取替の検討対象とすることとした。

図 13 に示す手法の適用により、式(1)と表 2 を用いて、施工前の実測データから Δt を計算し、その値に応じて、材料交換、マルタイ作業、低弾性化の中から、対象箇所に適した対策を選択することができる。さらに、マルタイ作業を効果が持続する区間に集中させることも可能となる。

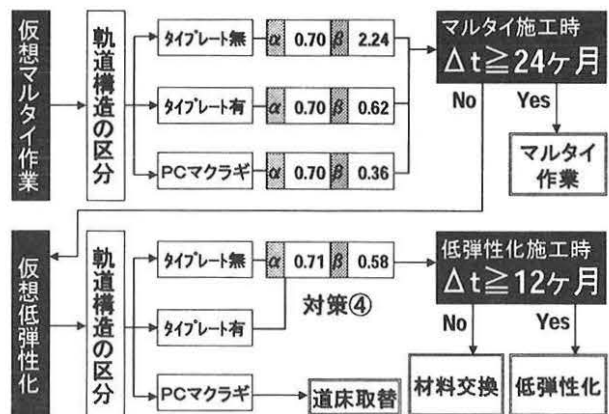


図 13 Δt に着目した軌道管理手法の流れ

6. まとめ

- ・4種類の低弾性化について検討した結果、対策④が最も効果的と考えられる。
- ・弱小軌道では、対策④はマルタイ作業より狂い進みを抑制でき、効果の持続時間 Δt が約4倍延伸できる。
- ・低弾性化の標準化を目的に、継目部のこう上量の推定式と、 Δt に着目した軌道管理手法を提案した。

【参考文献】

- 1) 小山内 政廣:新しい継ぎ目構造の研究,土木学会論文集, No.675/ I -55, P87-P97, 2001.4
- 2) 向井 明他:宗谷線における乗り心地向上対策,新線路,第 57 巻, P8-P10, 2003.8
- 3) 運輸省鉄道局監修:鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造[有道床軌道](案), 1997.3