

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

異なる保守方法を組み合わせて 軌道保守を効率化する

レール凹凸が大きな箇所には削正車によるレール削正が行われ、また軌道変位(軌道狂い)が大きな箇所にはマルチプルタイタンパーなどによるバラストのつき固めが行われます。これらの保守は軌道状態を良化させますが、両保守を同時期に実施すると、軌道変位進みが抑制される効果が得られます。そこで、この効果が得られる条件およびこの効果を推定する方法を明確にし、マルチプルタイタンパーと削正車の運用計画を連携させた組合せ保守計画を容易に作成するシステムを開発しました。ここでは、これらの内容をご紹介します。



松本 麻美
Mami Matsumoto
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
【専門分野】 軌道保守計画、軌道状態評価



三和 雅史
Masashi Miwa
軌道技術研究部
軌道管理研究室
室長
【専門分野】 軌道保守計画、最適化モデル分析

はじめに

列車の走行を支えている軌道は、列車の繰り返し通過によって、レール凹凸(☞参照)が成長し、また軌道変位(軌道狂い)(☞参照)が進むことで、徐々に劣化していきます。そのような軌道を保守するために、さまざまな保守用車が活躍しています。そのうち、レール頭頂面の微細な凹凸を削って滑らかにするのが削正車(図1(a))、バラストをつき固めて軌道変位を小さ

くするのがマルチプルタイタンパー(図1(b))、以後「MTT」と表記)です。これらの役割が異なる保守用車を、同時期に組み合わせて施工する(以後「組合せ保守」と表記)と、図1(c)のように輪重変動(車体や輪軸の振動による軸重の変動)が減少する効果により、組合せ保守後の高低変位進みが減少します。図2に、組合せ保守箇所の高低変位推移例を示します。これより、組合せ保守後の高低変位の傾き(高低

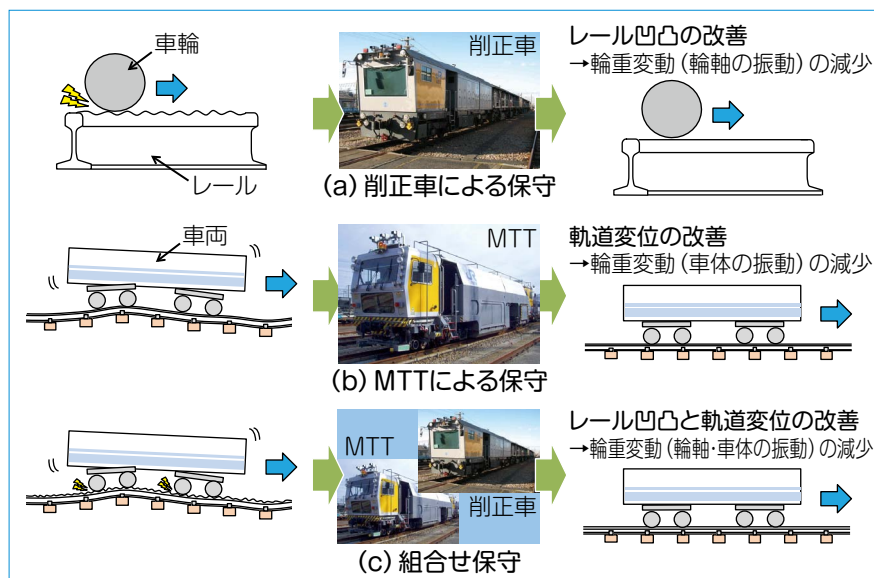


図1 保守用車とその役割

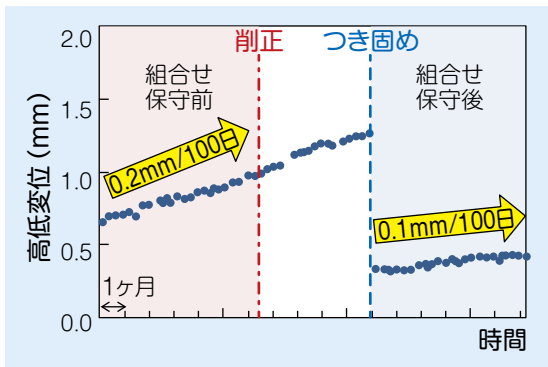


図2 組合せ保守箇所の高低変位推移例

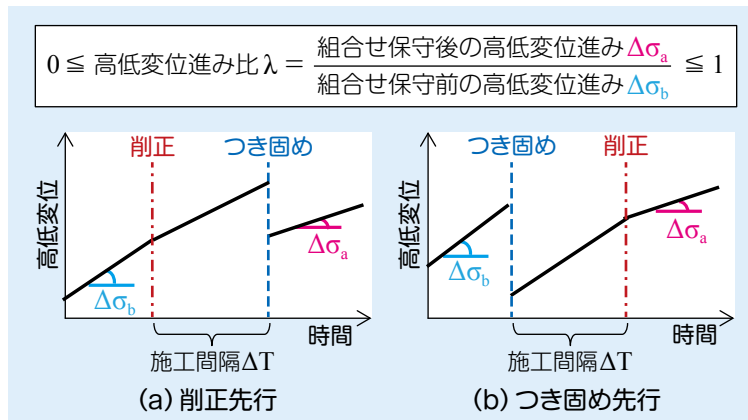


図4 組合せ保守施工順序

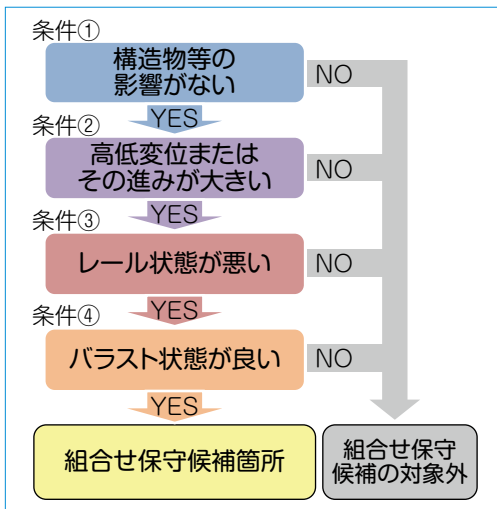


図3 組合せ保守候補箇所の選択フロー

変位進み)は、組合せ保守前に比べて緩やかになっていることから、軌道変位の保守周期を延伸できると考えられます。しかしながら、この組合せ保守の効果を得られる軌道条件は明確でなく、その効果を推定する手法もなかったため、組合せ保守は、これまでとくに意識して行われてきませんでした。

また、削正車やMTTは高価であり、限られた台数で広いエリアを保守する必要があるので、効率的に運用することが重要です。しかしながら、作業上、あるいは運用上の制約がある中で、削

正車とMTTが連携した運用計画は作成されてきませんでした。

以上のことから、軌道検測データと保守履歴を分析し、組合せ保守効果が得られる箇所の条件を明確にするとともに、その効果を推定する手法を開発しました。また、削正車とMTTの運用計画を連携させて、組合せ保守計画を作成するシステムを開発しました。

が大きく、つき固めにより高低変位の大きな改善が得られる箇所

条件③: レール凹凸が大きく、レール削正によりレール状態の大きな改善が得られる箇所

条件④: バラストが細粒化しているなど状態が悪いと、つき固めの効果が得られないため、バラスト状態が良好な箇所

組合せ保守効果が得られる条件

削正とつき固めを同時期に施工することで、保守後の高低変位進みが減少しますが、どこでもこの効果が得られるとは限りません。そこで、過去の軌道検測データなどを分析した結果、**図3**に示す条件を満たす箇所を組合せ保守効果が得られる箇所(組合せ保守候補箇所)としました。

各条件の考え方は以下のとおりです。

条件①: バラスト軌道であり、分岐器などの構造物が介在しない箇所

条件②: 高低変位または高低変位進み

組合せ保守効果の求め方

ここでは、組合せ保守後の高低変位進みを推定する方法を示します。

一般に、組合せ保守後の高低変位進みは、組合せ保守前の高低変位進みに比べて小さくなることから、組合せ保守効果を表す指標として、**図4**に示すような組合せ保守前後の「高低変位進み比λ」を定義します。高低変位進み比λは、0に近いほど組合せ保守効果が大きく、1の場合は組合せ保守効果がないことを表します。

図4にあわせて示すとおり、 $\Delta\sigma_b$ は組合せ保守前、 $\Delta\sigma_a$ は組合せ保守後の高低変位進み(mm/日)を表し、レール削正を先に行う場合を「削正先行」、つき固めを先に行う場合を「つき固め先行」の組合せ保守と呼びます。また、レール削正した日とつき固めた日の間の日数を「施工間隔ΔT」とします。以下に高低変位進み比に影響を与える要

レール凹凸

波長は数cmから数十cm、振幅は最大でも1mm程度以下のレールの頭頂面にできる小さな凹凸で、列車が走行する際の振動や騒音に影響を与えます。

軌道変位(軌道狂い)

軌道の正規の位置からのズレを軌道変位といいます。軌道変位が大きくなると、車両の円滑な走行が障害され、乗り心地の悪化や安全性の低下につながります。ここでは軌道変位のうち、上下方向のズレを表す高低変位を主に扱います。

因を分析した結果を示します。

施工間隔 (ΔT)

図5 (a) のとおり、施工間隔が短いほど、高低変位進み比 λ は小さく(効果が大きく)なります。これは、レール削正またはつき固めを行った後、日数の経過とともに軌道状態が徐々に変化してしまう前に、組合せ保守を行ったほうがより良い状態を維持できるためと考えられます。

軸箱加速度の改善量 (Δa)

図5 (b) のとおり、レール削正による軸箱加速度(☞参照)の改善量が大きいほど、高低変位進み比 λ は小さく(効果が大きく)なります。これは、レール凹凸が小さくなるほど、車両走行時の輪重変動が低減され、高低変位進みが抑制されるためと考えられます。

施工順序

図5 (a) (b) より、つき固め先行より削正先行のほうが組合せ保守効果は大きいことがわかります。これは、新幹線のように軌道変位が小さい線区では、レール削正によりレール凹凸を十分に減少させてからつき固めたほうが、輪重変動がより小さくなり、整正された高低変位が小さいまま推移し、高低変位進みが抑制されるためと考えられます。

高低変位進み比の推定式

以上の影響要因を考慮し、組合せ保守を行った際の高低変位進み比を推定

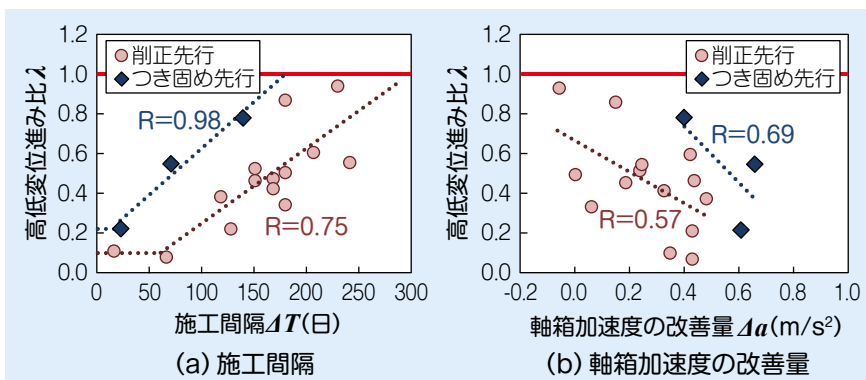


図5 高低変位進み比 λ に影響を与える要因

する式を、施工間隔 (ΔT) と軸箱加速度 (Δa) の改善量を変数として式 (1) のとおり構築しました。

$$\lambda = -\alpha \times \Delta a + \beta \times \Delta T + \gamma$$

(α, β, γ : 係数) …… (1)

組合せ保守システムの開発

すでに開発した3つの軌道状態評価・保守計画システム(☞参照)を連携させて、組合せ保守計画を容易に策定できる、「組合せ保守計画システム」を開発しました。図6に本システムの構成を示します。

まず、RCA(軌道状態評価システム)¹⁾により、図3で示した条件を満たす、組合せ保守候補箇所を選定します。

次にMTS(軌道変位保守計画システム)²⁾に、選定された組合せ保守候補箇所を入力して、MTTによるつき固め計画を作成します。ここでは、組合せ保守候補箇所につき固めが計画され

るだけでなく、軌道変位が大きな箇所にもつき固めが計画されるように、実際の軌道状態を考慮しながら計画を作成します。

最後にRGS(レール削正計画システム)³⁾により、削正車によるレール削正計画を作成します。ここでは、レール状態や通過トン数により定められている削正基準と、MTSにより決められた組合せ保守候補箇所におけるつき固め時期を考慮して計画を作成します。このとき、施工間隔が短いほど組合せ保守効果は大きくなりますので、つき固め前後のなるべく近い時期に削正されるように、組合せ保守計画を作成します。

組合せ保守候補箇所において組合せ保守を行った場合は、式(1)により組合せ保守効果を算出して、組合せ保守後の高低変位進みを予測します。一方、この候補から外れた箇所は、たとえ削

☞ 軸箱加速度

車軸を支える台車の軸箱に取り付けた加速度センサーで測定した振動加速度のことで、軌道検測車では把握しにくい短い波長の高低変位やレール凹凸をとらえることができます。ここでは、レール凹凸に起因する0.075m～0.25mのバンドパスフィルター処理を行った軸箱加速度を用いています。

☞ 軌道状態評価・保守計画システム

3つの軌道状態評価・保守計画システムの概要は以下のとおりです。どのシステムも、軌道検測車などで測定したデータを活用して、軌道の状態評価や保守計画の作成を行います。

- ①軌道状態評価システム (RCA: Railway Condition Analyzer)
一定の区間(たとえば100mロットなど)における軌道劣化状態などを評価、診断するシステムです。
- ②軌道変位保守計画システム (MTS: MTT Scheduler)
軌道状態やMTTの運用などを考慮して、MTTによるつき固め計画を作成するシステムです。
- ③レール削正計画システム (RGS: Rail Grinding Scheduler)
レール状態や削正車の運用を考慮して、削正車によるレール削正計画を作成するシステムです。

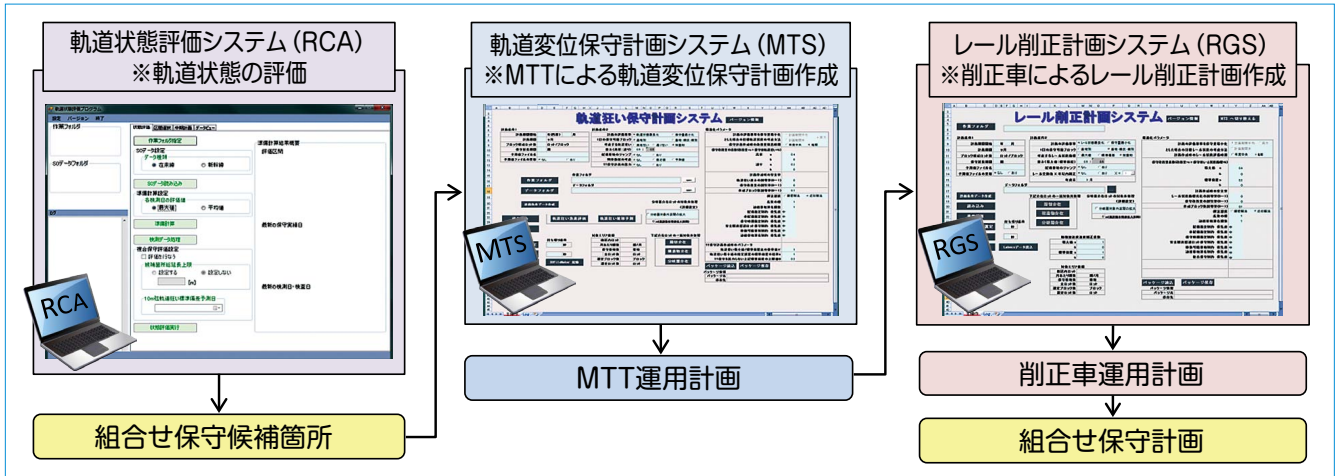


図6 組合せ保守計画システムの構成

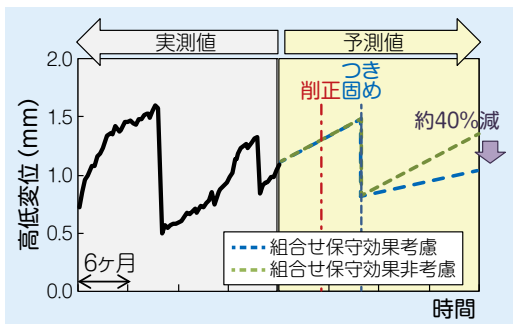


図7 組合せ保守箇所の高低変位の推移予測例

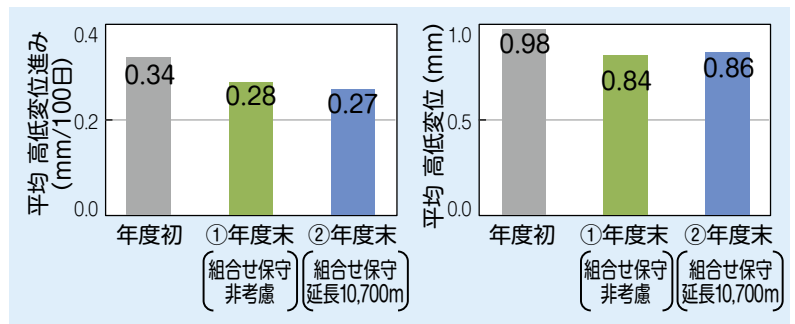


図8 線区全体の高低変位進みと高低変位の予測結果

正とつき固めを同時期に行ったとしても組合せ保守効果は得られないため、高低変位進みは変わりません。こうして、線区全体の計画終了時の軌道状態を得ることができます。

システムを用いた保守計画作成

開発した組合せ保守計画システムを用いて、全延長80,000mの線区で1年間の組合せ保守計画を作成した結果は、次のとおりとなりました。

まず、組合せ保守候補箇所としては計10,700m分の箇所が選ばれ、次に、組合せ保守を考慮したMTTと削正車の運用計画を作成しました。図7は、組合せ保守が計画された箇所において、システムで予測した高低変位の推移例です。ここでは、組合せ保守を行うことで、高低変位進みが約40%緩やかになると予測されました。

また、作成した計画どおりの保守を

行ったとして、線区全体の1年後の高低変位進みと高低変位を予測した結果を図8に示します。組合せ保守候補箇所選ばれた箇所を全て組合せ保守とした場合は、組合せ保守を考慮しなかった場合に比べると、高低変位進みは小さくなった一方、高低変位は大きくなりました。このように、組合せ保守に偏重して計画を作成すると、本来保守すべき高低変位の大きな箇所へのつき固めが計画されない場合が生じる可能性があるため注意が必要ですが、組合せ保守を行うことで、従来と同じ保守延長であっても、高低変位、あるいは高低変位進みが小さく良好な軌道状態を将来的に維持できる可能性は高いと考えられます。

おわりに

組合せ保守効果を推定する方法と、その推定法に基づいて組合せ保守計画

を簡単に作成する組合せ保守計画システムを開発しました。本システムの活用により、軌道状態の良化と保守周期の延伸を効率的に実現できると考えられます。今後は実証実験などにより、本システムの妥当性を検証する予定です。

本開発は西日本旅客鉄道株式会社にご協力いただきました。[RRR]

文献

- 1) 三和雅史, 木村寛淳, 山中雅司: レールおよび道床状態を考慮した軌道保守方法の最適選択モデルの構築, 鉄道総研報告, Vol.26, No.2, pp.13-18, 2012
- 2) 三和雅史, 大山達雄: 最適軌道保守計画作成モデルの実施検証に基づく性能評価と運用実施の汎用化, 土木学会論文集D3, Vol.69, No.2, pp.160-175, 2013
- 3) 佐野弘典, 田中博文: 車上モニタリングデータを活用したレール削正計画法の開発, JREA, Vol.58, No.3, pp.7-10, 2015