

# 長期的な経済性を考慮した 軌道保守計画を支援する

三和 雅史  
軌道技術研究部  
(軌道管理研究室 室長)

木村 寛淳  
同  
(同 研究員)



みわ まさし きむら ひろあつ

## はじめに

バラスト軌道上を列車が繰り返し通過すると、列車荷重により道床バラストや路盤が変形するために、軌道面の不整(軌道変位[軌道狂い])が徐々に大きくなります。この軌道変位が大きくなると、列車の走行安全性や乗り心地が悪化するため、必要に応じて保守がなされます。ところが、軌道は何10km、何100kmにも及ぶ細長い線状構造物であるため、1箇所にかかる保守費用が僅かなものであっても、全体では膨大な費用になってしまいます。このため、安全で快適な軌道状態を継続的に維持していくためには、限られた軌道保守費や保守用機械などの資源を有効に活用していくことが重要です。

そこで、このような効率的な保守の実現を支援するために、長期的な経済性を考慮した軌道保守計画の支援システムを開発しましたので紹介します。

## 軌道変位保守計画の支援

成長した軌道変位に対しては、マルチプル・タイ・タンパー(MTT, 図1写真)という大型機械により保守することが一般的です。MTTは高価な機械であり、少ない台数で広いエリアを効率よく保守するには、適切な運用が必要です。そこで、これまでに軌道検測の履歴データに基づいて軌道変位推移を予測し、次年度の軌道変位保守計画を作成するための軌道変位保守計画システムを開発しました<sup>1)</sup>。

本システムでは、各箇所の軌道変位の予測値や基準値、MTTの運用上の制約を考慮しながら、「総保守量を与え

て線区全体の軌道状態をできるだけ良好に維持する基準」、または「目標軌道状態を与え、できるだけ少ない保守量でこれを維持する基準」による軌道変位保守計画を作成します。本システムの画面例を図1に示します。

現在、本システムは一部のJRで実用化されています。

## 軌道変位保守の多頻度化と材料保守

さて、列車の繰り返し通過により、軌道変位だけでなく、レールの凹凸量が増加したり、道床の細粒化や土砂混入が進むなどして材料劣化も進行します。但し、これらの劣化速度は軌道変位進みに比べると遅いため、材料保守計画の検討においては、長期的な観点での保守効果を考慮する必要があります。

材料劣化が軌道変位保守に与える影響を図2に示します。レール凹凸量が増加すると列車走行時の輪重変動が増えて軌道(高低)変位進みが大きくなります。また、道床が劣化すると単位荷重当たりの沈下量が増えて軌道変位進みが大きくなる他、軌道変位保守による改善量が減少します。このような状態になると、軌道変位保守が多頻度化し、

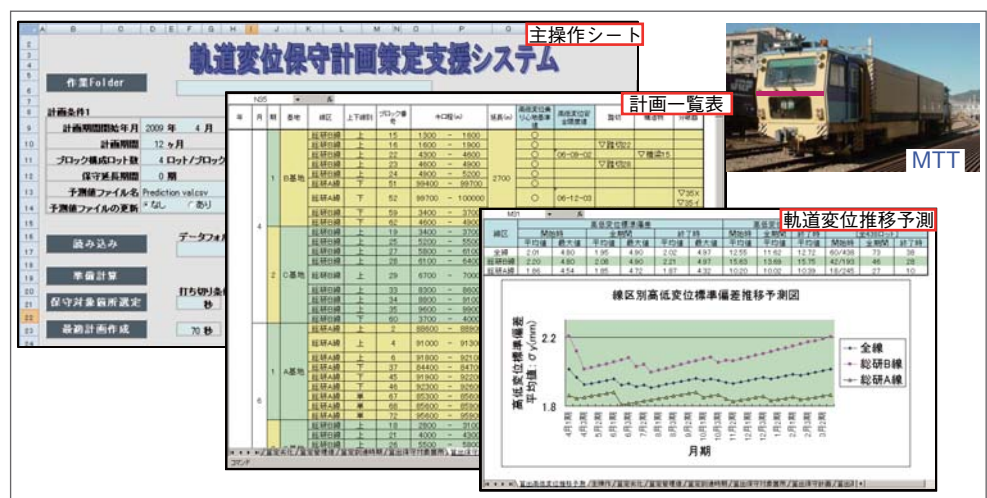


図1 軌道変位保守計画システム

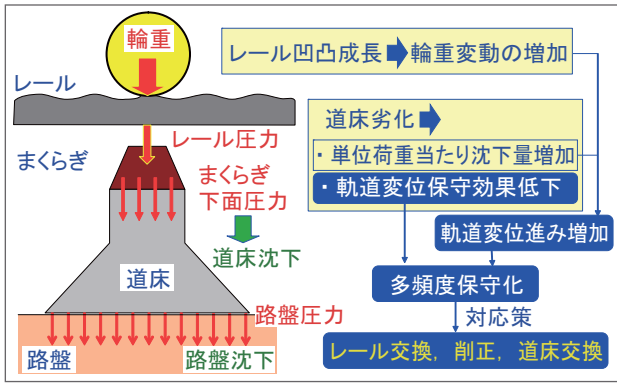


図2 材料劣化が軌道変位保守に与える影響



図4 長期的な経済性を考慮した保守

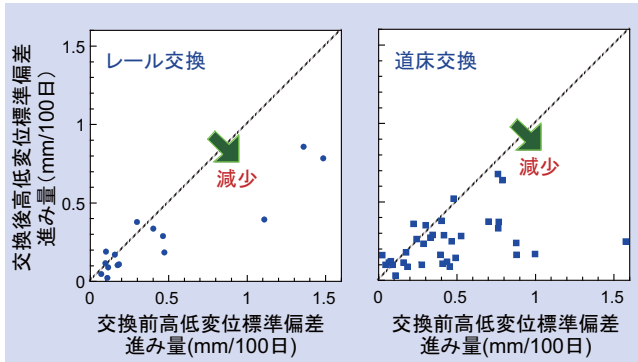


図3 材料保守による軌道変位進みの減少効果

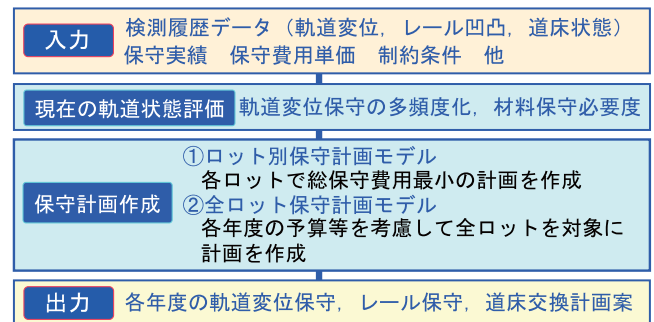


図5 軌道保守長期計画支援システム

多くの軌道変位保守費用を要することになります。ここで、図3にレール、道床交換前後の軌道変位進みの変化の例を示します。軌道変位管理では、一定の区間(ロット[100m])毎に状態を評価することが多く、この図の各プロットは各ロットでの値です。評価指標には、ロット内における軌道変位量のばらつき(標準偏差)を用います。図から、材料保守によって軌道変位進みが減少することから、材料保守には軌道変位保守間隔の延伸効果を期待できることが分かります。ところが、一般に、材料保守は軌道変位保守よりも多くの費用を要します。そのため、図4に示すように材料状態や保守効果を良く検討した上で、適切なタイミングで材料を保守し、軌道変位保守費用を含む総保守費用を長期的に減らすという考え方が重要です。

このような材料保守を含む保守計画を適切に決定するために開発したのが軌道保守長期計画支援システムです。

### 長期的な経済性を考慮した軌道保守計画の支援

本システムは、図5に示す処理により計画を作成します。最初に、現在の軌道状態を評価します。ここでは、軌道状態に関する履歴データを用いて軌道変位保守の頻度の状況やこれに影響すると考えられる材料の状態を評価します。そして、各ロットに対して、早期に実施することが望ましい材料保守があれば提案します

次に、各ロットの状態推移を予測し、今後何十年かの期

間における総保守費用が最小となる保守計画をロット別に出力します。ここでは、先述の現状評価結果を考慮します。

最後に、特定の年度に保守量等が偏らないように調整し、全ロットを対象とした軌道保守の長期計画を作成します。

以下では軌道の現状評価法と保守計画法について、もう少し詳しく説明します。

#### (1) 軌道の現状評価法

ここでは、軌道変位や保守実績などの履歴データを用いて各箇所を現状を評価し、適切な保守方法を以下に示す手順により選択します。

##### (a) 多頻度軌道変位保守箇所の抽出

図6に過去約6年間という比較的長い期間における軌道変位と進みの各平均値の関係を示します。ここで、図中で

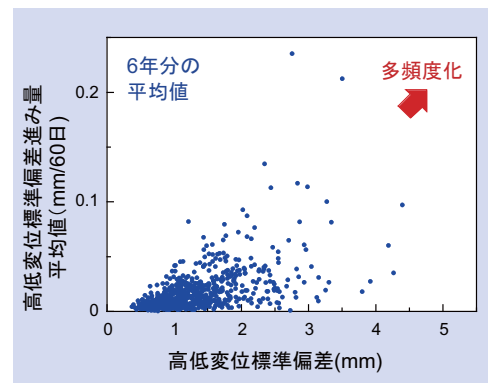


図6 高低変位と進みの平均値

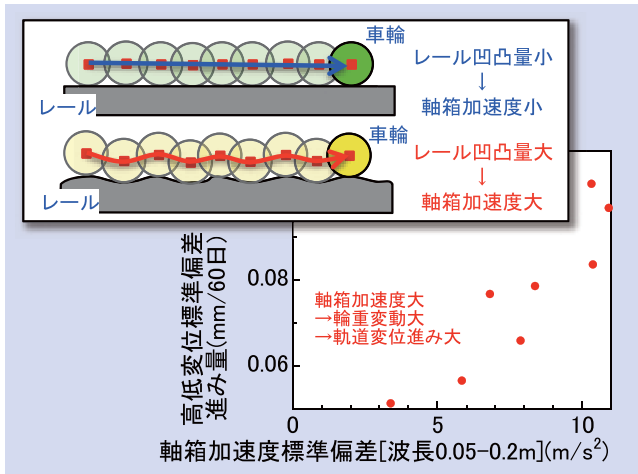


図7 軸箱加速度と軌道変位進み

右上にあるロット(25m)は、期間を通して平均的に軌道変位が大きく、また進みが大きい箇所であり、軌道変位保守を繰り返し行う必要がある箇所です。このような箇所には、材料保守を検討すべきと考えられます。

(b) レール状態の影響評価

ここでは、(a)で抽出した箇所から、レール状態が軌道変位保守の多頻度化に大きく影響していると考えられる箇所を抽出します。

車両の台車の軸箱に設置したセンサーにより測定した軸箱加速度はレール凹凸量との相関が高く、また軸箱加速度と軌道変位進みの間には図7に示す関係があります。よって、軸箱加速度が大きい箇所については、レール状態の劣化により軌道変位進みが大きい可能性が高いと考え、レールの削正や交換を提案します。

(c) 道床状態の影響評価

ここでは、(a)で抽出した箇所から、道床状態が軌道変位保守の多頻度化に大きく影響していると考えられる箇所を抽出します。

まず、道床が劣化すると軌道変位保守による改善を得難くなります。MTT保守前の軌道変位と改善量の関係を図8に示します。保守前の軌道変位が大きいと改善量も大きい傾向にありますが、保守前の軌道変位が大きいにも関わらず改善量が小さな箇所については、道床状態が悪い可能性が高いと考えられます。

次に、軌道変位保守によって軌道変位が小さくなることにより車両の揺れが抑制されると、輪重変動は減少し、また道床状態が良好で十分に突き固められて安定すれば、保守後の軌道変位進みは保守前に比べて減少すると考えられます。MTT保守前後の軌道変位進みを図9に示します。特に保守前の進みが大きな箇所では、保守後の進みは保守

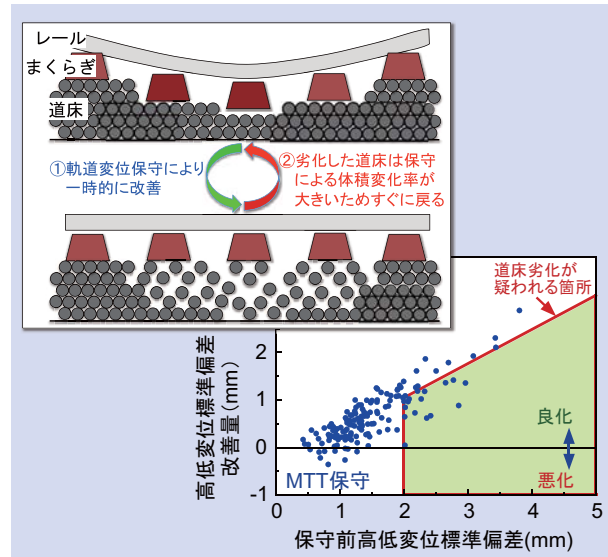


図8 MTT保守による軌道変位改善量

前より減少する傾向にあります。よって、保守を行ったにも関わらず保守後の進みが減少しない箇所についても、道床状態が悪い可能性が高いと考えられます。

更に、道床状態の不良箇所では、まくらぎの支持状態(上下)が弱いことから、道床状態の良好な箇所との境界部付近では、先述の軸箱加速度に大きな変動が現れると考えられます。また図10に示すように、2台車方式による軌道検測車を用いた検測では、同一箇所について2つの測定値を得ることができます。この場合、検測に用いる各車

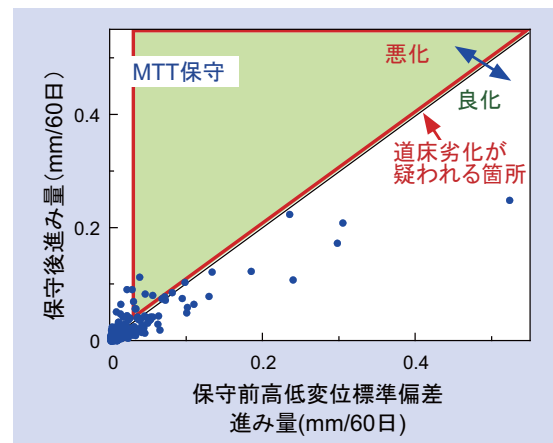


図9 MTT保守前後の軌道変位進み量

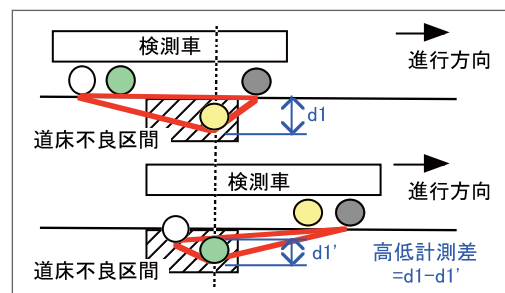


図10 高低検測差の概念

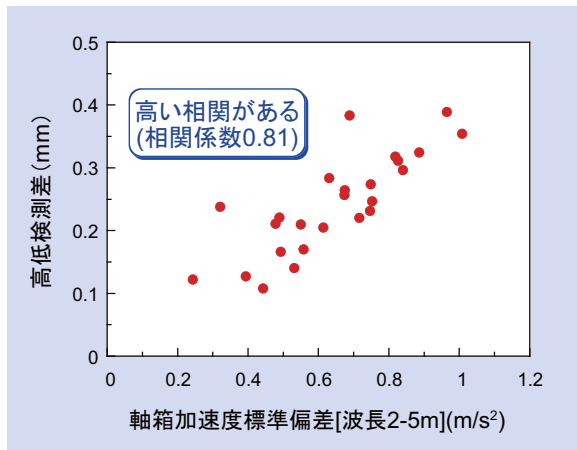


図 11 軸箱加速度と高低検測差

軸と道床不良区間の位置関係が異なると、2つの測定値の間に差（高低検測差）が生じます。つまり、軸箱加速度と高低検測差も道床状態の評価指標になると考えられます。図11に軸箱加速度と高低検測差との関係を示します。両者の間に高い相関があることから、道床状態の変化箇所については、これらの指標により抽出できると考えられます。本システムでは、以上の各指標を用いて、道床状態が不良である可能性が高い箇所には道床交換を提案します。

## (2) 長期保守計画の作成

本システムは、MTT 保守，レール交換と削正，道床交換を対象とした保守計画を図12に示す各モデルにより作成します。ここでは、何十年かの長期間を計画対象とします。

### (a) ロット別保守計画の作成

まず、各ロットの軌道変位，レールおよび道床状態の将来の推移を予測し、ロット別に保守計画を作成します。計画の作成基準は、計画期間中において各ロットに要する軌道変位と材料保守を含む総保守費用の最小化です。軌道変位の推移予測では、レール，道床状態が悪化すると進みが増加するモデルを用いるため、適切な時期に材料保守を行うことによって保守後の軌道変位保守量が減少する効果を考慮できます。また、計画作成の際には、(1)で提案された各ロットへの材料保守を計画開始から一定の期間内に行うこととします。

以上のように作成した計画は、各ロットの総保守費用のみに着目して作成した計画であるため、各保守の延長や費用が特定の年度に偏ることがあります。そこで、各年度の保守延長などを各年度の上限内に収める調整が必要です。

### (b) 全ロット保守計画の作成

ここでは、全ロットを対象として、年度保守量，予算の上制限約などを考慮しながら、ロット別保守計画にできるだけ近い保守計画を作成します。図13に示すように、ロッ

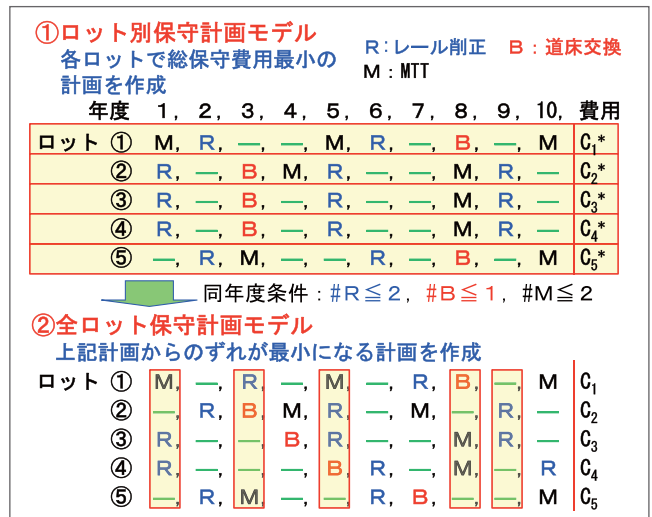


図 12 長期保守計画における計画モデル

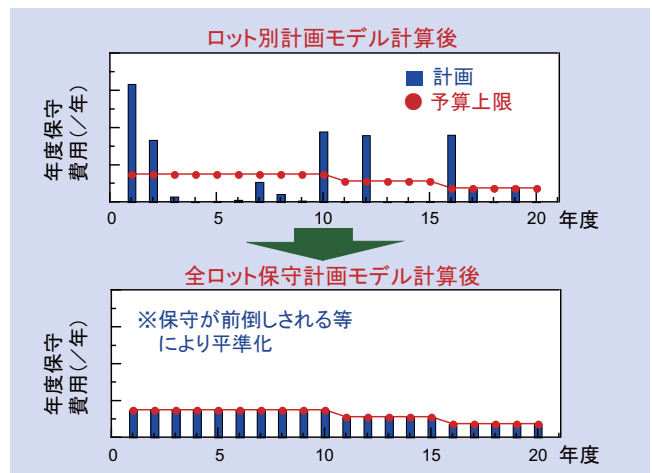


図 13 長期保守計画における年度別保守費用

ット別保守計画を作成した時点では、保守費用が各年度で大きく変動しますが、その後に全ロット保守計画モデルを解くことで、一部の保守が前倒しされる等して平準化され、実用的な計画を作成できることが分かります。

## おわりに

安全で快適にお客様を運ぶことができる軌道状態を少ない経費で維持することは、全ての鉄道事業者が抱える大きな課題の1つです。蓄積したデータを適切に処理して軌道変位や材料の状態を把握することにより、保守計画の品質を更に向上できるよう、引き続き検討していく予定です。

## RRR

### 文献

- 1) 三和，河西：経済的な軌道保守計画，RRR，第60巻，第9号，2003.9