

目標軌道状態の実現を考慮した MTT 保守と道床交換の中期保守計画システム

鉄道総合技術研究所 正会員 ○須藤 雅人
鉄道総合技術研究所 正会員 三和 雅史
東日本旅客鉄道 正会員 山本 修平

1. はじめに

最近では、小型の軌道検測装置を搭載した営業車による軌道検測が実用化され¹⁾、軌道検測データを高頻度に得られるようになった。鉄道総研では、この膨大な軌道検測データの効率的な処理・分析および軌道管理業務の更なる効率化を目的とし、これまでに様々なツールを開発してきた。

その1つである中期保守計画システム²⁾は、MTT 保守と道床交換を対象として、5 年程度の期間の経済性を考慮し、計画期間終了時の軌道状態を最良にする保守計画を作成できる。しかしながら、本システムでは、保守延長の上限内で軌道状態を最もよくする保守計画は作成できるものの、計画期間終了時まで維持したい軌道状態の目標レベル（以下、「目標軌道状態」という）を実現するための保守延長の算出およびその延長を上限とした保守計画の作成はできなかった。

そこで、計画期間終了時まで維持したい目標軌道状態を与えたときに、より少ない保守費で目標軌道状態を実現する MTT 保守と道床交換の保守延長を算出できる適正保守延長算出機能を開発し、本システムに実装した。本稿では、開発した機能の内容と本機能を用いた試算例を示す。

2. 中期保守計画システムの概要

図 1 に、本システムの構造を示す。本システムは、今回開発した適正保守延長算出機能を含めて 4 つの機能から構成され、5 年程度の期間の経済性を考慮し、計画期間終了時まで目標軌道状態を実現できる MTT 保守と道床交換の保守計画を作成できる。なお、このような中期的な経済性を考慮した保守計画では、単年度ごとの詳細な計画を作成する必要性は低く、目標軌道状態を実現するために必要な MTT 保守と道床交換の総保守延長、ひいては総保守費の概算を算出することが主な目的である。

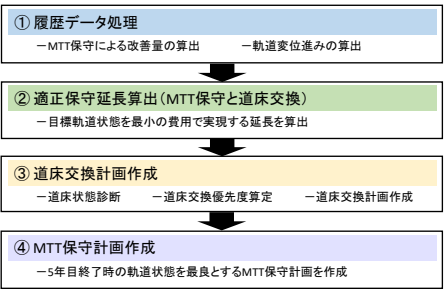


図 1 中期保守計画システムの構造

2.1 履歴データ処理

本処理では、対象線区のデータを 25m ごとの管理単位（以下、「ロット」という）に定義し、軌道変位の履歴データと保

守実績データを用いて、各ロットの軌道変位進みと MTT 保守による軌道変位の改善量（以下、「保守改善量」という。）を算出する。なお、算出の方法は、年度単位の保守計画の作成等に活用されている軌道変位保守計画システム（MTS）³⁾と同様のモデルによる。

2.2 適正保守延長算出

本機能は、目標軌道状態を実現する MTT 保守と道床交換の保守延長の組み合わせから、総保守費が最も経済的になる MTT 保守と道床交換の適正保守延長を算出する。

まず、式(1)により、MTT 保守ロット数 N_m / MTT 保守対象ロット数 N で定められる MTT 保守率 N_m / N （以下、「保守率」という。）ごとに 1 年目終了時の軌道変位の全ロット平均値を算出する。なお、保守率は、0 から 0.1 刻みで 1.0 までとする。また、このときの MTT 保守ロットの選択順は、保守改善量の大きいロット順である。

$$\sigma_{a1} = \sigma_{a0} + \Delta a - (N_m / N) \times \sigma_{mai}$$
 式(1)
 σ_{a1} : 1 年目終了時の軌道変位平均値
 σ_{a0} : 計画開始時の軌道変位平均値
 Δa : 軌道変位進み平均値
 σ_{mai} : MTT 保守改善量平均値

次に、各ロットの 1 年目終了時の軌道変位を 2 年目開始時の値として、1 年目と同じ保守率を 2～5 年目まで用いた場合の 5 年目終了時の軌道変位平均値 σ_{a5} を保守率別に算出する。この結果、保守率と σ_{a5} の組み合わせが 11 通りできる。

さらに、上記で算出した保守率と σ_{a5} の組み合わせに対して、保守率 0～0.3, 0.3～0.6, 0.6～1.0 に対応するロット数と σ_{a5} の関係を折れ線近似し、保守ロットを 1 増やしたときの σ_{a5} の減少割合 E_m を上記の 3 区間について求める（図 2）。一方、道床交換についても同様に、道床交換ロットを 1 増やしたときの σ_{a5} の減少割合 E_b を算出する。なお、道床交換の効果として、保守改善量の増加と軌道変位進みの減少を考慮する。

以上により求められた E_m 、 E_b を制約条件に用いて、目標軌道状態を最も経済的に実現するために必要な MTT 保守と道床

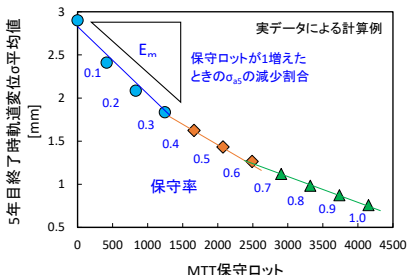


図 2 E_m の算出例

交換の最小回数を算出する。なお、MTT 保守と道床交換の回数が算出されれば、それぞれの保守延長も一意に決まる。

本最小化処理の目的関数は、式(2)に示すように、5 年間の総保守費である。決定変数は、5 年間の MTT 保守と道床交換の回数 n_m 、 n_b であり、5 年間の総保守費を最小化できるこれらの組み合わせを求める。また、 C_m 、 C_b はそれぞれ MTT 保守と道床交換の 1 回あたりの保守費である。なお、道床交換ロットには必ず MTT 保守が計画されるものとする。

$$\min. \quad C_{ALL} = (C_m \times n_m) + \{(C_m + C_b) \times n_b\}$$

C_{ALL} : 5 年間の総保守費

式 (2)

本処理の制約条件は、 σ_{a5} を目標軌道状態以下とすること、5 年間の MTT 保守および道床交換の延長を上限以下とすることの 2 点である。以上より、総保守費を最小とする条件下で、目標軌道状態の実現に必要な 5 年間の MTT 保守と道床交換の回数、ひいては適正保守延長が算出される。

2.3 道床交換計画作成

前節までの処理で、MTT 保守および道床交換の適正保守延長が算出できた。次に、いずれのロットを保守するかというロットの選択と選択したロットをいずれの年度に保守するかというスケジューリングを行う。

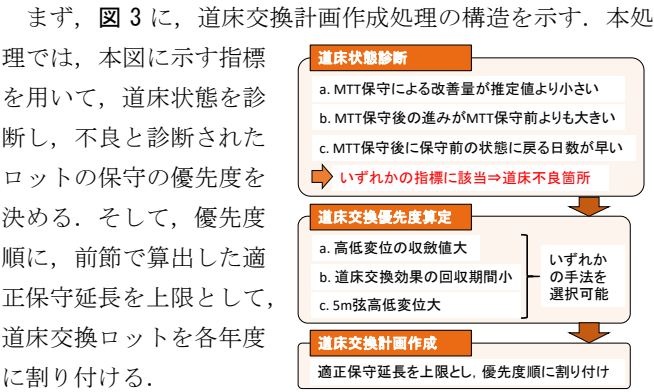


図 3 道床交換計画作成処理

2.4 MTT 保守計画作成

本処理では、まず、各ロットについて、1 年目から 5 年目までの各年度で MTT 保守を行う／行わないの選択を可能とし、その選択に対応した分の保守計画案と各ロットの 5 年目終了時の軌道変位の算出を行う。

次に、各ロットの保守計画案から、5 年目終了時の軌道変位の全ロット平均値が最小となるように、1 案ずつ選択する最適化処理を行う。制約条件は、各年度の MTT 保守の延長を、適正保守延長以下とすることである。また、ロットの選択時には、前節で述べた道床交換計画も考慮する。

そして、1 年目の保守ロットとして選択されたロットを、1 日の施工延長単位に拡張して 1 年目の MTT 保守の計画を確定させる。上記の処理を、2 年目以降も同様に行うことで、5 年目までの MTT 保守の計画を作成する。

3. 試算例

本システムに延長 75km 程度の単線区データを適用し、1 年間の MTT 保守日数と総保守費を試算した。

図 4 に、計画期間中の MTT 保守延長の上限値を変化させることで 1 年間の MTT 保守日数を変化させた場合の、道床交換延長と総保守費の試算例を示す。なお、本データの計画期間開始時の高低変位

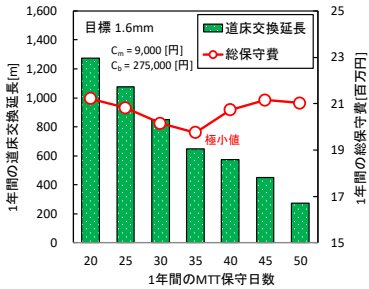


図 4 MTT 保守日数と総保守費の例

標準偏差の全ロット平均値は 1.69mm であり、目標高低変位標準偏差を 1.6mm、1 日の MTT 保守延長を 1,000m とした。

図 4 より、MTT 保守日数が増えると、道床交換延長は短くなる。ただし、総保守費は MTT 保守日数に対して一定の傾向で変化するのではなく、MTT 保守日数が 35 日で極小となった。これは、先掲の図 2 に示したように、保守率が大きくなると、保守ロットを 1 増やしたときの平均的な軌道状態の改善量が小さくなるためと考えられる。

表 1 に、MTT 保守の保守率と E_m の関係を示す。総保守費が最小となった MTT 保守日数 35 日の保守延長は 35,000m であり、 σ_{a5} 算出時には保守率 0~0.3 の E_m が採用される。一方、MTT 保守日数 40 日の保守延長は 40,000m であり、保守率 0.3~0.6 の E_m が採用される。本表より、保守日数 40 日の方が、35 日と比較して E_m の絶対値が小さく、MTT 保守による平均的な軌道状態の改善量が小さい。MTT 保守による平均的な軌道状態の改善

表 1 保守率と E_m の関係

保守率	保守ロット数	保守延長[m]	E_m
0.0	0	0	
0.1	529	13,228	-0.00060
0.2	1,058	26,455	
0.3	1,587	39,683	
0.4	2,116	52,910	-0.00053
0.5	2,646	66,138	
0.6	3,175	79,365	
0.7	3,704	92,593	-0.00022
0.8	4,233	105,820	
0.9	4,762	119,048	
1.0	5,291	132,275	

量が小さくなると、MTT 保守延長の増加量に対して、軌道状態の改善効果と保守費がより高い道床交換の延長が相対的に増加するため、総保守費が高くなったと考えられる。つまり、MTT 保守日数を一定以上増やすと、MTT 保守による改善効果が低いロットが選択されるようになるため、道床交換の延長が増加し、経済性が低下する場合がある。

4. おわりに

計画期間終了時まで維持したい目標軌道状態を考慮しつつ、最も経済的な MTT 保守と道床交換の保守計画を作成できる中期保守計画システムを開発した。本システムは、様々な条件での試算が可能であり、現状の保守計画の評価等にも活用できる。今後は、実データでの検証を重ね、本システムの精度向上に取り組む。

参考文献

1) 坪川洋友他：車体装荷型慣性正矢軌道検測装置の開発、鉄道総研報告，Vol.26，No.2，pp.7-12，2012
2) 三和雅史他：中期軌道保守の効率化のための軌道状態予測・保守計画，鉄道総研報告，Vol.33，No.2，2019
3) 三和雅史他：マルチ作業計画作成システム，JREA，2003