

保守費用を最小化する軌道保守計画法の構築

1606440 (財)鉄道総合技術研究所 * 三和雅史 MIWA Masashi
1002750 政策研究大学院大学 大山達雄 OYAMA Tatsuo

1 はじめに

鉄道線路(軌道)は長大な線状構造物であるため、その保守には多くの費用が必要である。そのため、鉄道事業者においては、保守経費の削減が大きな課題となっている。このことから、軌道狂い保守が必要な箇所を適切に選択し、軌道狂い状態を適切に維持できるような最適保守計画を作成する計画法を構築した。そして、本計画法を実際の線区データに適用し、その有効性を実証した。

2 最適軌道保守計画法

提案する最適軌道保守計画法を図-1に示す。まず、軌道狂いの目標値を設定する。そして、100mロットの軌道狂い推移データを用いて、計画期間中に軌道狂いが目標値を超過する保守必要ロットを選択する。次に、選択された保守必要ロットを全て含む最小のユニット(連続したN個のロットの集合 [N × 100m])の集合をユニット選択モデルにより選択する。この「ユニット」とは、1回の保守の作業単位である。最後に、選択されたユニットに対して保守スケジュール作成モデルを適用して計画を作成する。

以上のように、本計画法では、保守必要ロットを基準に選択された最小数のユニットを対象に保守計画を作成することから、最小限の保守量が計画される。つまり、最小の保守費用で保守を実施できる。

2.1 保守必要ロットの選択

保守必要ロットの選択においては、計画期間中に保守を実施しないと仮定した場合の各ロットの計画期間末軌道狂い標準偏差を以下の式により予測し、その値が軌道狂い目標値を超過するロットを保守必要ロットとする。

$$\sigma_{\text{end}} = \sigma_0 + \Delta\sigma$$

σ_{end} : 計画期間末軌道狂い標準偏差 (mm)
 σ_0 : 計画期間開始時軌道狂い標準偏差 (mm)
 $\Delta\sigma$: 軌道狂い進み量 (mm/計画期間)

2.2 ユニット選択モデル

本モデルは、保守必要ロットからユニットを選択する。

- (1) 集合
 ロット $L = \{1, 2, 3, \dots, L^{\text{max}}\}$
- (2) 変数
 v_i 0-1型 $i \in L$
 $= 1$ ロット*i*から連続Nロットをユニットとする
 $= 0$ " しない
- (3) 制約条件
 ① ユニット作成方法制約(i)
 ロット*i*から1つのユニットとして選定する場合、ロット*i+1*から*i+(N-1)*を始点とするユニットを作成できない。

$$\sum_{x=i}^{i+(N-1)} v_x \leq 1 \quad i \in L$$

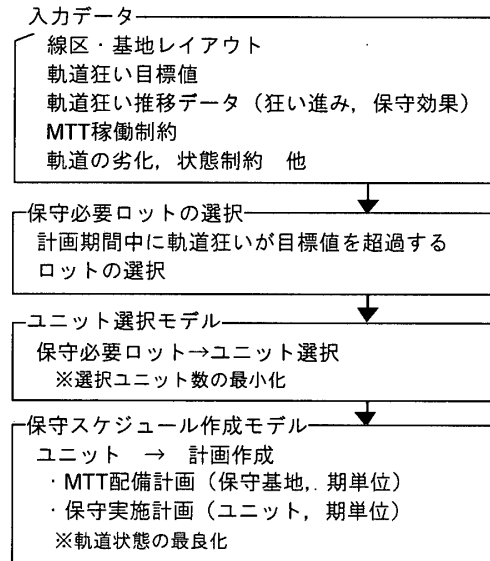


図-1 最適軌道保守計画法

② ユニット作成方法制約(ii)

保守必要ロットは必ずユニットに含まれることとする。

$$\sum_{x=i_1}^{i_1+(N-1)} v_x = 1 \quad i_1 \in \{\text{保守必要ロット}\}$$

③ ユニット作成可能範囲制約

連続するNロットを1つのユニットとして作成できない箇所についてはユニット作成を認めない。

$$v_{x_1} = 0 \quad x_1 \in \{\text{始点とできないロット}\}$$

(4) 目的関数

選択ユニット数の最小化とする。なお、(同じユニット数の)最適解が複数存在する場合、ユニットに含まれるロットの劣化量の総和が最大のものを最適解とする。

$$\min. \sum_i v_i$$

2.3 保守スケジュール作成モデル

本モデルは、1台のMTT (Multiple Tie Tamper [保守機械])の各保守基地への配備時期と配備時の保守箇所(ユニット)を期単位(10日)で指定する保守計画を作成する。

(1) 集合

- ① 月 $M = \{1, 2, 3, \dots, M^{\text{max}}\}$
 ② 期 $K = \{1, 2, 3 (=K^{\text{max}})\}$
 ③ 保守基地 $D = \{1, 2, \dots, D^{\text{max}}\}$
 ④ ユニット $U = \{1, 2, 3, \dots, U^{\text{max}}\}$

(2) 変数

- ① z_{mkd} 0-1型 $m \in M, k \in K, d \in D$
 $= 1$ 月*m*, 期*k*にMTTを保守基地*d*へ配備する
 $= 0$ " しない

- ② w_{mku} 0-1型 $m \in M, k \in K, u \in U$
 $= 1$ 月 m , 期 k にユニット u の保守を実施する
 $= 0$ // しない

(3) 主な制約条件

① 期別選定可能保守基地制約

MTTは1台とし、期単位で保守基地へ配備可能とする。

$$\sum_d z_{mkd} \leq 1 \quad m \in M, k \in K$$

② 期別 MTT 配備時期指定制約

特定の期には MTT を配備する保守基地を指定する。

$$z_{mkd} = 1$$

$m, k, d \in \{\text{指定のある保守基地と配備時期}\}$

③ 期別保守可能ユニット数上限制約

各期の保守可能ユニット上限数を設定する。

$$\sum_u w_{mku} \leq A_{mk} \quad m \in M, k \in K$$

A_{mk} : 月 m , 期 k の保守可能ユニット上限数

但し、 $\sum_m \sum_k A_{mk} = \text{選択ユニット数}$ とする。

④ 期別ユニット別保守可能時期制約

各ユニットについて保守可能時期を設定する。

$$\sum_{j \in J_1(m,k)} \sum_{R_j} w_{mkj} = 0 \quad j \in J_1$$

$J = \{\text{保守が不可能な時期のあるユニット}\}$

$R_j = \{\text{ユニット } j \text{ の保守実施不可能時期 } (m, k)\}$

⑤ ユニット別保守回数上限制約

各ユニットへの保守は計画期間中に最大1回とする。

$$\sum_m \sum_k w_{mku} \leq 1 \quad u \in U$$

⑥ 期別 MTT 稼働論理制約

各ユニットは、そのユニットを担当可能な保守基地に MTT が配備された期にのみ保守が可能である。

$$\sum_{j \in J_d} w_{mkj} - A_{mk} \sum_{d_1 \in D_1^j} z_{mkd_1} \leq 0$$

$m \in M, k \in K, d_1 \in D_1^j$

$J_d = \{\text{基地 } d \text{ が保守可能なユニット}\}$

$D_1^j = \{\text{ユニット } u \text{ を保守可能な保守基地}\}$

⑦ 期間 MTT 移動可能範囲制約

連続する期における MTT 移動可能範囲を設定する。

$$B \cdot z_{mkd} + \sum_{d_2 \in D_2^d} z_{m(k+1)d_2} \leq B$$

B : $\sum_{d_2 \in D_2^d} z_{m(k+1)d_2}$ の最大値, $m \in M, k \in K$

$D_2^d = \{\text{ある期に保守基地 } d \text{ に MTT を配備した場合、次の期に配備不可能なユニット}\}$

⑧ 劣化状態上限制約

どのユニットの高低狂い量も計画期間中に上限値を超過してはならない。

$$\sum_{(m,k) \in Q_j} w_{mku} = 1 \quad j \in J_2 \subseteq U$$

$Q_j = \{\text{ユニット } j \text{ に保守すべき時期}\}$

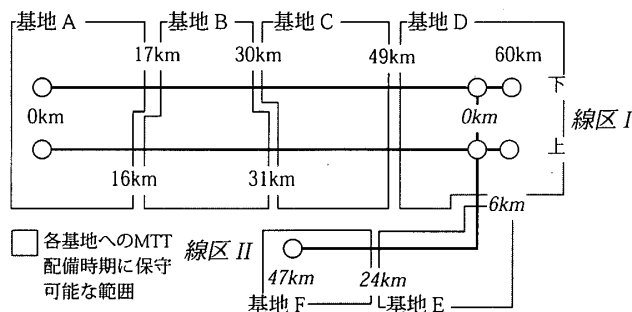


図-2 適用対象ネットワークの構造

表-1 適用結果

目標値 (mm)	保守必要 ロット数	選択ユニ ット数	保守量 (km)	平均軌道狂い 標準偏差(mm)
6	16	665	116	1.92
10	19	198	76	1.99
13	19	67	44	2.04

$J_2 = \{\text{高低狂いが上限値に達するユニット}\}$

(4) 目的関数

計画期間中の全ユニットの平均劣化量の最小化とするが、本目的関数は以下の式と同値である。

$$\max. \sum_m \sum_k \sum_u S_{mku} w_{mku}$$

S_{mku} : 月 m , 期 k にユニット u を保守した際の改善量

3 計画法の適用

本計画法を図-2に示す軌道ネットワークの年度計画作成問題 ($M^{\max}=12$) に適用する。ネットワークは高速走行線区 I と低速走行線区 II から成り、保守基地数 D^{\max} は 6、ロット数 L^{\max} は 1663、10 ロット/ユニットである。なお、検討のため、目標値を 3 通り設定する。

4 適用結果

本計画法を適用した結果を表-1に示す。目標値を小さくすると保守必要ロットが増加するため、保守量が増えるが、維持される軌道状態は良好となる。このことから、保守量と軌道状態との間のトレードオフを確認することができる。

5 まとめ

保守費用を最小とする最適軌道保守計画法を構築し、実在する軌道ネットワークの年度計画作成問題に適用した。そして、適用結果から計画法の有効性を確認した。

[参考文献]

三和雅史、河西智司、大山達雄 [2004] 「最適軌道保守計画作成モデルを用いた数値実験」 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集 pp.140-141
 三和雅史、石川達也、大山達雄 [2001] 「軌道状態推移予測モデルの構築と最適保守計画作成のための全整数型数理計画モデル分析」 土木学会論文集 No.681/IV-52 pp.51-65
 Miwa, M., Ishikawa, T. and Oyama, T. [2001] 「Modeling the Optimal Decision-Making Multiple Tie Tamper Operations」 Proceedings of WCRR2001 Germany