

最適軌道保守計画作成のための0-1型全整数計画モデルの構築と解法

1606440 (財)鉄道総合技術研究所 * 三和雅史 MIWA Masashi
 石川達也 ISHIKAWA Tatsuya
 東日本旅客鉄道株式会社 奥村陽一 OKUMURA Youichi
 1002750 政策研究大学院大学 大山達雄 OYAMA Tatsuo

1 はじめに

効率的な軌道保守活動を実現するためには、鉄道事業者が保有する作業機械、作業員等の保守能力を効率的に運用することによって、安全や乗り心地の観点から適正とされる軌道状態を維持できる計画作成、実行する必要がある。このことから、MTT (Multiple Tie Tamper [軌道狂い保守用大型機械])の効率的な運用により線区全体の高低狂い状態を良好に維持できるような最適保守計画を出力する全整数型数理計画モデルを構築した。本研究では、本モデルの実際の線区への適用方法の検討結果と適用例を示し、モデルの有効性を実証する。

2 最適軌道保守計画モデル

一般に、1台のMTTは保守担当範囲内に存在する複数の保守基地を移動しながら、配備基地周辺の保守必要箇所に対して保守を実施する。このことから、本モデルは、1台のMTTの各保守基地への配備時期と配備時の保守箇所を期単位(上、中、下旬)で指定する保守計画を作成する。本モデルでは、連続したN個のロットの集合(N×100m)をユニットと呼び、保守箇所をユニット単位で出力する。

2.1 最適軌道保守計画モデルの構造

(1) 集合

- ① 月 $M = \{1, 2, 3, \dots, 11, M^{max}\}$
- ② 期 $K = \{1, 2, K^{max}\}$
- ③ 保守基地 $D = \{1, 2, \dots, D^{max}\}$
- ④ ユニット $U = \{1, 2, 3, \dots, U^{max}\}$
- ⑤ ロット $L = \{1, 2, 3, \dots, L^{max}\}$

(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 に 配備する
 = 0 〃 〃 〃 〃 〃 〃 しない
- ② w_{mkj} 0-1型 $m \in M, k \in K, j \in U$
 = 1 月 m , 期 k に ユニット j の 保守 を 実施する
 = 0 〃 〃 〃 〃 〃 〃 しない

(3) 制約条件

- ① 期別選定可能保守基地制約
 MTTは期単位で保守基地に配備可能とする。

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

$$\sum_j w_{mkj} \leq A_{mk} \quad m \in M, k \in K$$

A_{mk} : 月 m , 期 k の保守可能ユニット上限数

- 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。

$$\sum_{j_1 \in J_1} \sum_{k \in R_1} w_{mkj} = 0$$

$J_1 = \{\text{保守が不可能な時期のあるユニット}\}$
 $R_1 = \{\text{ユニット } j \text{ の保守実施不可能時期 } (m, k)\}$

- 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。

$$\sum_m \sum_k w_{mkj} \leq 1 \quad j \in U$$

- 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。

$$w_{mkj} - z_{mkd} \leq 0 \quad m \in M, k \in K, d \in D, j \in U$$

- ⑦ 期別 MTT 移動可能範囲制約
 各期の MTT 移動可能範囲を設定する。

$$B \cdot w_{mkj_1} + \sum_{j_2 \in J_2} w_{mkj_2} \leq B$$

$$B: \sum_{j_2 \in J_2} w_{mkj_2} \text{ の最大値, } m \in M, k \in K$$

$J_2 = \{\text{ユニット } j \text{ と同じ期に保守実施不可能なユニット}\}$

- ⑧ 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。

$$C \cdot w_{mkj_1} + \sum_{j_3 \in J_3} w_{mkj_3} \leq C$$

$$C: \sum_{j_3 \in J_3} w_{mkj_3} \text{ の最大値, } m \in M, k \in K$$

$J_3 = \{\text{ある期にユニット } j \text{ の保守を実施した場合、次の期に保守実施不可能なユニット}\}$

- ⑨ 劣化状態上限制約
 どのロ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。

$$\sum_{x=1}^{m_c^{j_4}-1} \sum_k w_{xkj_4} + \sum_{y=1}^{k_c^{j_4}-1} w_{m_c^{j_4} y j_4} = 1 \quad j_4 \in J_4, k \in K$$

$m_c^{j_4}, k_c^{j_4} \in \{\text{ユニット } j_4 \text{ の最遅保守可能時刻}\}$
 $J_4 = \{\text{計画期間中に高低狂いが上限値に達するユニット}\}$

- ⑩ 保守優先実施ユニット制約
 計画期間中に必ず MTT 保守を実施する必要があるユニットを指定する。

$$\sum_m \sum_k w_{mkj_5} = 1 \quad j_5 \in J_5$$

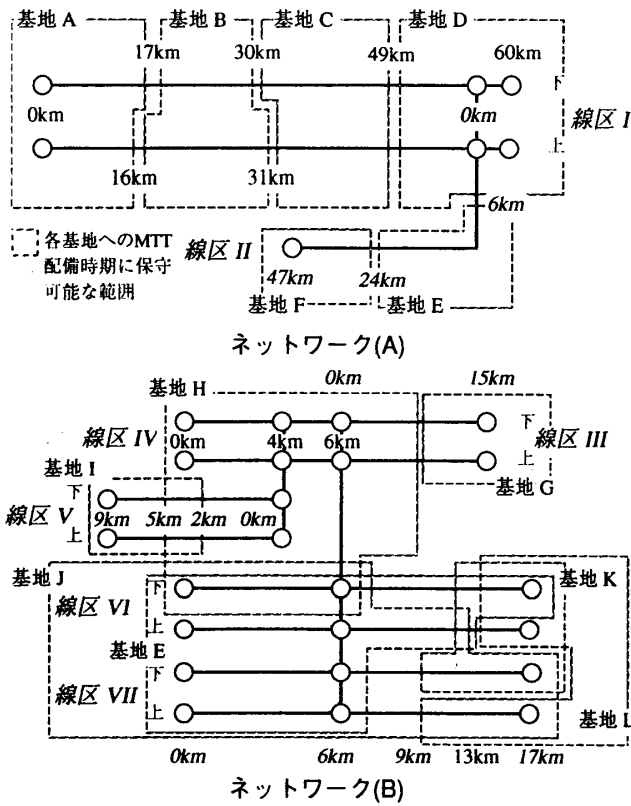


図-1 適用対象ネットワークの構造

$J_5 = \{ \text{必ず保守を実施すべきユニット} \}$

(4) 目的関数

計画期間中の平均重み付き高低狂い量の全ユニット平均値の最小化とするが、本目的関数は以下の式と同値である。

$$v = 3 \sum_j \sum_{m=1}^{m-1} \sum_{x=1}^3 \Delta S_j^x w_{xvj} + \sum_j \sum_m \sum_{k=1}^k \Delta S_j^k w_{mj} \rightarrow \max.$$

ΔS_j^x : ユニット j の重み付き高低狂い保守改善量

3 最適軌道保守計画モデルの適用

3.1 適用対象線区

図-1に示すように構造が異なる2つのネットワーク(A),(B)を保守対象範囲とする各1台のMTT保守計画を作成する。

3.2 モデルの解法

ネットワーク(A)を対象に7ヵ月間の最適計画(サイズ: 集合 $M^{\max}=7, K^{\max}=3, D^{\max}=6, U^{\max}=130, L^{\max}=1,394$ 変数3,108 制約条件8,466本)の作成をPC(OS:Linux,最適化ソフト:NUOPT[株式会社数理システム製],CPU:1.5GHz,メモリ:1GB)により試みたところ、最適解を得るのに14時間超を要した。実際には年間計画のような更に大規模な問題を解く必要があることから、実用的な時間で計画を得る手法の検討が必要である。よって、図-2に示すような解法を提案する。先の問題を本解法で解いた場合、STEP1における整数条件を緩和した問題 $P_1(U^{\max})$ の評価関数値 $\{v^1\}=206.7$ の約97%の評価関数値を持つ解がSTEP3において得られ、本手法の有効性が示された。

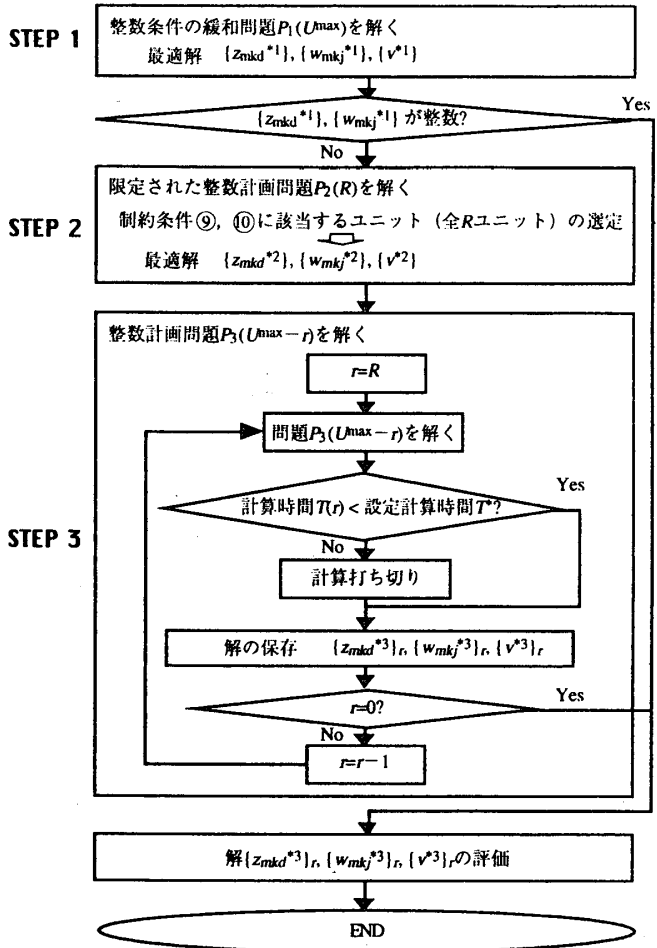


図-2 モデルの解法

3.3 適用結果

ある過去の年度のデータを用いて、年間最適保守計画を作成した。両ネットワークとも、計画通りに保守を実施した場合の軌道状態は、実績データに比べて良好であることが予測された。そこで、本手法により作成した計画に従って保守活動を試験的に約1年間実施した結果、実施前に比べて軌道状態が良好化した。本試行は現在も継続中である。

4 まとめ

最適軌道保守計画モデルの実際の線区への適用方法の検討結果と適用結果を示した。本モデルを用いて作成した計画によれば、良好な軌道状態を維持できることが分かった。しかしながら、提案した解法の適用限界の見極めや、より優れた解法の検討については、今後の課題である。

[参考文献]

三和雅史、石川達也、大山達雄 [2001] 「最適軌道保守計画作成のための全整数型数理計画モデル分析」 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.86-87
 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