

最適軌道保守計画作成モデルを用いた数値実験

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

効率的な軌道保守を実施するためには、鉄道事業者が保有する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を作成する必要がある。このことから、MTT (Multiple Tie Tamper [軌道狂い保守用機械]) の効率的な運用により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、本モデルを実在する種々の軌道ネットワークに適用して計画作成を試み、問題の特徴と解の品質、計算時間との関係について分析した結果を示す。

2 最適軌道保守計画作成モデル

最適軌道保守計画作成モデルでは、図-1に示すように、まず、状態が不良なロット(100m)が連続する区間をユニット選択モデルによりユニット(連続したN個のロットの集合 [N × 100m])として選択し、選ばれたユニットを対象に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。

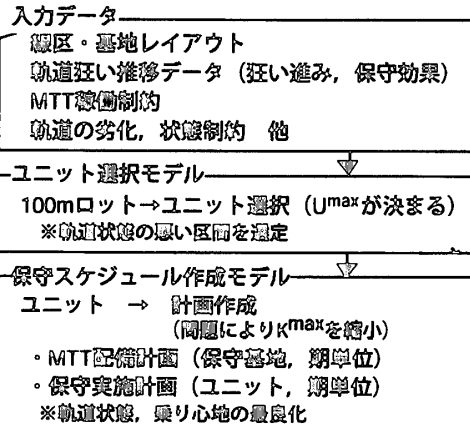


図-1 最適軌道保守計画作成モデルの構成

2.1 ユニット選択モデル

- (1) 集合
ロット $L = \{1, 2, 3, \dots, L^{\max}\}$
- (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して選定する
= 0 " しない

(3) 制約条件

- ① 作成ユニット数上限制約
作成するユニット数の上限を設定する。
 $\sum_i v_i \leq G^{\max}$ G^{\max} : 作成ユニット上限数

② ユニット作成方法制約

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。

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

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

ロットの軌道状態を表す劣化量 r_x の総和の最大化とする。

$$\max. \sum_i \sum_{x=i}^{i+(N-1)} v_i \cdot r_x$$

2.2 保守スケジュール作成モデル

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

(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。

$$z_{mkd} = 1 \quad m, k, d \in \{\text{指定のある保守基地と配備時期}\}$$

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

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。

表-1 適用対象問題

ネットワーク	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
ロット数	966	1663	1866	1622	1270	943	1175	2239	1950	
保守可能日数	47	71	146	129	87	119	40	125	148	
ユニット数	188	71	146	129	87	119	40	125	148	
基地数	6	6	20	11	7	8	10	11	15	
ネットワーク形状 ■：保守基地										
スケジュール作成モデル	変数の数	6,984	2,772	5,976	4,968	3,384	4,572	1,800	4,896	5,868
	制約式数	7,208	3,057	4,622	3,822	2,862	4,756	540	4,657	5,647

$$\sum_{u_1 \in U_1} \sum_{m, k \in R_u} w_{mku_1} = 0$$

$U_1 = \{ \text{保守が不可能な時期のあるユニット} \}$

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

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。

$$w_{mku} - \sum_{d_1 \in D_1^u} z_{mkd_1} \leq 0$$

$$m \in M, k \in K, u \in U, d_1 \in D_1^u$$

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

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。

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

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

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

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。

$$\sum_{x=1}^{m_c^{u_2}-1} \sum_k w_{xku_2} + \sum_{y=1}^{k_c^{u_2}-1} w_{m_c^{u_2} y u_2} = 1 \quad u_2 \in U_2, k \in K$$

$m_c^{u_2}, k_c^{u_2} \in \{ \text{ユニット } u_2 \text{ の最遅保守可能時刻} \}$

$U_2 = \{ \text{高低狂いが上限値に達するユニット} \}$

(4) 目的関数

計画期間中の平均劣化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。

$$f = K \max \sum_u \sum_{m=1}^{M^{\max}} \sum_{x=1}^{K^{\max}} \sum_{v=1}^{K^{\max}} \Delta S_r^u w_{xvu} + \sum_u \sum_m \sum_k \sum_{y=1}^k \Delta S_r^u w_{myu} \rightarrow \max.$$

ΔS_r^u : ユニット u の保守による劣化量の改善量

3 数値実験

本モデルを実在する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。問題の特徴を表-1に示す。保守基地数 D^{\max} は 6~20, ユニット数 U^{\max} は 40~188 であり、保守スケジュール作成モデルにおける整数変数の数は z_{mkd} が 216~720, w_{mku} が 1440~6768 である。本モデルについて、2時間の計算で最適解を得られない場合には、期の集合サイズを縮小して ($K^{\max}=3 \rightarrow 1$) 月単位計画を作成し、その結果を利用して期単位計画を作成する。そして、これでも2時間で解を得られない場合には、本計算を打ち切る。

4 数値実験結果

本モデルを計画作成問題に適用して得られる計算時間と計画の品質との関係を考察する。

ユニット選択モデルは数秒で計算可能であるが、保守スケジュール作成モデルについては、短時間で解を得られない場合がある。ここで得られた解の値は、モデルを線形計画問題として解いた際に得られる解と近く、十分な品質の計画を作成可能である。

5 まとめ

最適軌道保守計画モデルを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、問題の特徴と計画の品質、計算時間の特徴を把握した。

[参考文献]

三和雅史、河西智司、大山達雄 [2003] 「最適軌道保守計画作成モデルにおける最適化計算の効率化」 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集 pp. 232-233
 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