2003年日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

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

1606440 (財)鉄道総合技術研究所 ＊三和雅史 MIWA Masashi
河西智司 KAWANISHI Satoshi
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。しかしながら、本モデルは大規模モデルであるために、最適解を得るまでに多くの計算時間を要することから、有効な解を短時間で得る手法の確立が課題であった。そこで、本研究では、本モデルの最適化計算を効率的に実施する手法と数値実験結果を示す。

2 最適軌道保守計画モデル

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を期単位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（$N\times 100$m）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 モデルの構造

(1) 集合

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

(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。

$$\sum_{d} z_{mkd} \le 1 \qquad m \in M, k \in K$$

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。

$$z_{mkd} = 1$$

$m, k, d \in$ {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。

$$\sum_{u} w_{mku} \le A_{mk} \qquad m \in M, k \in K$$

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。

$$\sum_{u_1 \in \mathrm{U}_1} \sum_{(m,k) \in \mathrm{R}_u} w_{mku_1} = 0$$

U_1 ={保守が不可能な時期のあるユニット}
R_u ={ユニットu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。

$$\sum_{m}\sum_{k} w_{mku} \le 1 \qquad u \in U$$

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。

$$w_{mku} - \sum_{d_1 \in \mathrm{D}_1^u} z_{mkd_1} \le 0$$

$$m \in M, k \in \mathrm{K}, u \in U, d_1 \in \mathrm{D}_1^u$$

D_1^u ={ユニットuを保守可能な保守基地}

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。

$$B \cdot w_{mku} + \sum_{u_2 \in \mathrm{U}_2^u} w_{mku_2} \le B$$

B : $\sum_{u_2 \in \mathrm{U}_2^u} w_{mku_2}$ の最大値, $m \in M, k \in K$

U_2^u ={ユニットuと同じ期の保守実施不可能ユニット}

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。

$$C \cdot z_{mkd} + \sum_{d_1 \in \mathrm{D}_1^d} z_{m(k+1)d_1} \le C$$

C : $\sum_{d_3 \in \mathrm{D}_1^d} z_{m(k+1)d_1}$ の最大値, $m \in M, k \in K$

D_1^d ={ある期に保守基地dにMTTを配備した場合、次の期に配備不可能なユニット}

⑨ 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。

$$\sum_{x=1}^{m_c^{u_4}-1} \sum_{k} w_{xku_4} + \sum_{y=1}^{k_c^{u_4}-1} w_{m_c^{u_4} y u_4} = 1 \quad u_4 \in \mathrm{U}_3,\ k \in K$$

$m_c^{u_4}, k_c^{u_4} \in$ {ユニットu_4の最遅保守可能時刻}
U_3 ={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（例えば、高低狂い量や高低狂い目標値超過率）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。

$$f = 3\sum_{u}\sum_{m}\sum_{x=1}^{m-1}\sum_{r=1}^{3}\Delta S_r^u w_{xru} + \sum_{u}\sum_{m}\sum_{k}\sum_{r=1}^{k}\Delta S_r^u w_{mru} \rightarrow \max.$$

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.

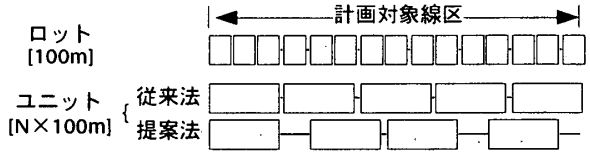

図-1　ユニット作成法の改良

ΔS_r^u：ユニット u の保守による劣化量の改善量

2.2　本モデルの規模と解法の問題

本モデルを年度計画の作成（M^{max}=12）に適用することを想定すると、一般的な軌道ネットワークの場合、保守基地数 D^{max} は1～10、ユニット数 U^{max} は100～200程度であり、1カ月が3期から構成されるとすれば（K^{max}=3）、整数変数の数は z_{mkd} が36～360、w_{mku} が3600～7200程度となる。また、ネットワークによっては、ユニット数 U^{max} が300以上となる例も存在し、10000を超える整数変数が存在し得る。よって、本モデルについては短時間で最適解を得られないことがあり、これまでの適用例では、制約条件⑨に該当するユニットに限定してモデルを解いた後、その結果を用いて残りのユニットを対象として解く2段階の解法により実行可能解を得ていた。しかしながら、制約条件⑨に該当するユニット数が少ない場合等、短時間で解が得られるケースは限定されることから、より一般化された効率的な解法が必要である。

3　最適化計算の効率化

計算の効率化のためには、モデルサイズの縮小が最も有効であると考えられる。ここでは、ユニットの集合サイズ U^{max} を減らすことを検討する。

図-1に示すように、従来のユニット作成法は、軌道を一定間隔で連続的に区切ってユニットを作成するものであった。しかしながら、本作成法では、劣化状態が良好なロットも含めた全てのロットがユニットに含まれ、ユニット数が不必要に多く作成される傾向にあった。そこで、劣化状態が不良なロットが連続する区間だけを抜き出してユニットを作成し、選ばれたユニットを対象に従来の計画モデル（保守スケジュール作成モデル）を適用することとする（図-2）。このユニットを作成するためには、次に示す数理計画モデル（ユニット作成モデル）を用いる。

(1) 集合

ロット　　L　＝　$\{1, 2, 3, \ldots, L^{max}\}$

(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。

$$\sum_i v_i \le G^{max} \qquad G^{max}：作成ユニット上限数$$

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。

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

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。

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

(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。

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

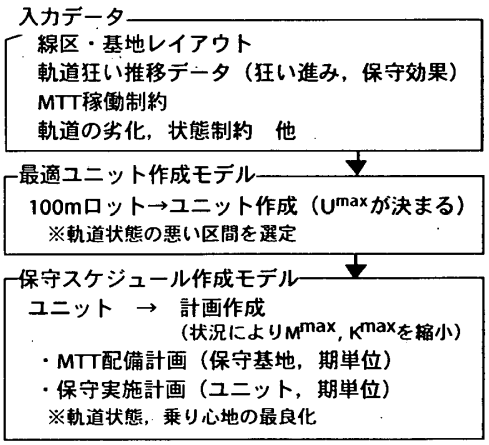

図-2　最適軌道保守計画モデルの構成

4　数値実験結果

以上のモデルを実際の軌道ネットワークに適用した。先掲の手法により、従来のモデルでは U^{max}=165 のユニットが必要であった問題については71に、322ユニットが必要であった問題については146にサイズが縮小された。また、適切な箇所をユニットに選定できたため、保守スケジュール作成モデルにより作成される保守計画は、従来のモデルによるものより良好であることが確認できた。

ところで、ユニット作成モデルによるモデルサイズの縮小効果が少ない場合には、月と期の集合サイズを減らすことも有効と考えられる。これらの縮小効果については検証中である。

5　まとめ

最適軌道保守計画モデルの最適化計算を効率化する手法を提案し、実際の線区データに適用したところ、従来より有効な保守計画を作成できることを確認した。

[参考文献]

三和雅史、石川達也、奥村陽一、大山達雄　[2002]「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」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.114-115

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

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．