2001年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

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

1606440 (財)鉄道総合技術研究所 ＊三和雅史 MIWA Masashi
東日本旅客鉄道株式会社 石川達也 ISHIKAWA Tatsuya
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を作成，実行する必要がある。本研究では、軌道狂いの最適な保守時期を出力するシステム（軌道保守計画支援システム）を開発するために実施する図-1に示す数理モデル分析の１つである最適保守計画作成のためのモデル分析として、限られたMTT（Multiple Tie Tamper［軌道狂い保守用大型機械］）保守能力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計画を出力するモデルを構築する。そして、実際の線区のデータに適用し実績データと比較することで作成した計画の有効性を評価する。

2 高低狂いの状態推移

高低狂いの時間推移のイメージは図-2に示すように、時間の経過に伴って高低狂い量が増加し、保守により減少するという過程の繰返しで表される。ここでは、このような推移を予測、評価するためのモデルを示す。

2.1 高低狂いデータの解析

任意の線区Ｉ（在来線，高速・高頻度運転）において軌道検測車で測定された10m弦正矢高低狂いデータ（サンプリング間隔：約0.3m）から得られる線区全体の高低狂い分布を図-3に示す。この分布はロジスティック分布への適合度が高く、このことは100m区間ロットデータでも同様である。よって、高低狂い状態モデルをロジスティック分布で表現する。ロジスティック分布の確率密度関数（p.d.f）は、パラメータα、βを用いて次のように表される。

$$\text{p.d.f.}\quad f(x)=\frac{\exp\{(x-\alpha)/\beta\}}{\beta[1+\exp\{(x-\alpha)/\beta\}]^2}$$

$$\text{平均：}\alpha \quad \text{標準偏差} \quad \frac{\pi\beta}{\sqrt{3}}$$

パラメータβについては一般に軌道状態を評価する区間評価指標として用いられている軌道狂いＰ値や軌道狂い標準偏差に相当することから、βを劣化指標として用いる。

2.2 劣化過程の解析

劣化過程解析モデルについては、各ロットのβの推移履歴データに指数平滑法を適用して予測する。

2.3 保守効果の解析

保守効果解析モデルについては、保守前高低狂いと保守改善量との関係を表す線形回帰式と信頼区間とで構成し、同一線区で継目種類と保守方法が同じロットには、一律にこのモデルを適用する。

3 最適軌道保守計画モデル分析

複数の保線区で共有する１台のMTTの各保線区への配備時期（月）と配備時の保守箇所を期単位（上、中、下旬）で指定する年間保守計画を策定するための最適軌道保守計画モデルを構築する。本モデルでは、連続したN個のロットの集合（$N\times$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。

3.1 最適軌道保守計画モデルの定式化

(1) 集合の定義

① 月集合 $M = \{1, 2, 3, \ldots, 11, 12\}$
② 期集合 $K = \{1, 2, 3\}$
③ 保線区 $D = \{1, 2, \ldots, D^{max}\}$
④ ユニット $U_i = \{1, 2, 3, \ldots, U_i^{max}\}$ ［保線区 i］
⑤ ロット $L_i = \{1, 2, 3, \ldots, L_i^{max}\}$ ［保線区 i］

(2) 変数

① z_{md} 0－1型 $m \in M, d \in D$
$=1$ 月 m にMTTを保線区 d へ配備する
$=0$ 〃 しない

② w_{mkj} 0－1型 $m \in M, k \in K, j \in U_i$
$=1$ 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 月別選定可能保線区制約
MTTは月単位で保線区に配備可能とする。

$$\sum_d z_{md} \leq 1 \qquad m \in M$$

② 月別MTT配備時期指定制約
特定の月にはMTTを配備する保線区を指定する。

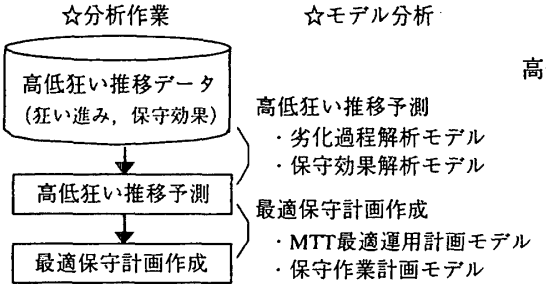

図-1 最適計画モデル構築のためのモデル分析

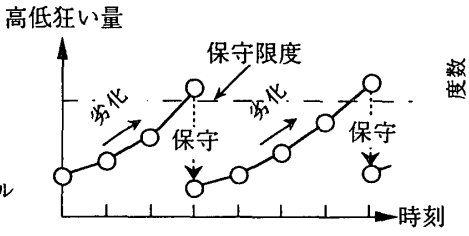

図-2 軌道狂い推移のイメージ

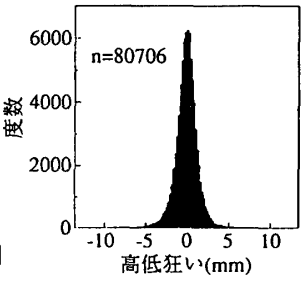

図-3 高低狂い分布状況

© 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．

$z_{md}=1$

$m, d \in$ {指定のある保線区と配備時期}

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。

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

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。

$$\sum_{j \in \mathrm{J}_1} \sum_{(m,k) \in \mathrm{R}_j} w_{mkj}=0$$

J_1 ={保守可能時期制約のあるユニット}

R_j ={集合 J_1 の要素であるユニット j 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最大で年間1回とする。

$$\sum_m \sum_k w_{mkj} \leqq 1 \qquad j \in \mathrm{U}_i$$

⑥期別MTT稼働論理制約

各保線区ではMTT配備月に保守が計画される。

$$\sum_k w_{mkj} - z_{md} \leqq 0 \quad m \in \mathrm{M}, d \in \mathrm{D}, j \in \mathrm{U}_i$$

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。

$$B \cdot w_{mkj} + \sum_{j \in \mathrm{J}_2^j} w_{mkj} \leqq B$$

$$B: \sum_{j \in \mathrm{J}_2^j} w_{mkj} \text{ の最大値}, m \in \mathrm{M}, k \in \mathrm{K}$$

J_2^j ={ユニット j と同じ期の保守実施不可能ユニット}

⑧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。

$$\sum_{x=1}^{m_c^j-1} \sum_k w_{xkj} + \sum_{x=1}^{k_c^j-1} w_{m_c^j yj}=1$$

$j \in \mathrm{J}_3$, $k \in \mathrm{K}$

$m_c^j, k_c^j \in$ {ユニット j の最遅保守可能時刻}

J_3 ={次年度中に高低狂いが上限値に達するユニット}

⑨保守優先実施ユニット制約

計画年度中に必ずMTT保守を実施する必要のあるユニットを指定する。

$$\sum_m \sum_k w_{mkj}=1 \qquad j \in \mathrm{J}_4$$

J_4 ={必ず保守を実施すべきユニット}

⑩脱線防止ガードレール区間制約

ガードレール敷設区間については、保守作業準備手続きに必要な時間を考慮する。

$$\sum_{m=1}^{q_j-1} \sum_k w_{mkj}=0 \qquad j \in \mathrm{J}_5$$

表-1 MTT配備計画と実績

MTT最適配備計画（例）

保線区	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
X	○		○			○		○		○		○
Y		○		○			○		○		○	

MTT配備実績

保線区	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
X	○		○			○		○	○	○		○
Y		○					○				○	

J_5 ={脱線防止ガードレール敷設区間を含むユニット}

q_j: ユニット j の最早保守可能月

(4) 目的関数

重み付き年間平均高低狂い量の全ユニット平均値の最小化とするが、この目的関数は以下の式と同値である。

$$\max.\ 3\sum_j \sum_m \sum_{x=1}^{m-1} \sum_{v=1}^{3} \Delta S_r^j w_{xvj} + \sum_j \sum_m \sum_k \sum_{y=1}^{k} \Delta S_r^j w_{myj}$$

ΔS_r^j: ユニット j の重み付き高低狂い保守改善量

3.2 最適軌道保守計画モデルの計算手順

本モデルの最適化計算では、変数のすべてを0-1型整数変数としているために、ユニット数が多い場合には最適解を得ることが難しくなる。その場合には、保守箇所を決定する変数を連続変数としてモデルを解き、得られた最適解が全て0-1型整数であれば計算を終了するが、そうでない場合には0-1型整数に読み替えて最終計画を作成する。

4 最適軌道保守計画モデルの適用結果

4.1 適用対象線区

保線区X, Yの2保線区で共有するMTTの年間保守計画を本モデルにより作成する。MTTの年間保守延長は71km、ユニット長は1kmとする。

4.2 数値結果

MTT配備計画と実績データとの比較を表-1に示す。配備計画と実績データとは極めて近い。計画通りに保守を実施した場合の高低狂い標準偏差の年間平均値は、実績データに比べて約5％良好である。また、高低狂い量が乗り心地目標値を超過するロット数も減少する。

5 まとめ

年間平均高低狂い量を最小にすることを目的とする最適軌道保守計画モデルを構築して実際のデータに適用した結果、高低狂いを現状より良好な状態に1年を通して維持できる可能性が高いことが分かった。

[参考文献]

M.Miwa, T.Ishikawa, T.Oyama [2000] [Modeling the transition process of railway track irregularity and its application to the optimal decision-making for multiple tie tamper operations], *Railway Engineering-2000*

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」2001年4月号（掲載予定）

© 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.