

2401 MTT保守計画モデルによる保守計画の作成とその評価

Applying the optimal MTT operation model to tamping scheduling and confirming its effectiveness

[土] 〇河西 智司、[土] 三和 雅史 ((財) 鉄道総合技術研究所)、近藤 篤 (北海道旅客鉄道(株))

Satoshi KAWANISHI, Railway Technical Research Institute, 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-si, Tokyo
Masashi MIWA, Railway Technical Research Institute
Atsushi KONDO, Hokkaido Railway Company

In this paper, we deal with modeling the optimal maintenance schedule for track irregularities. In order to determine effective maintenance strategies, we develop an integer programming model for an optimal schedule of multiple tie tamper (MTT) operation. By using the model, we can obtain the optimal tamping schedule with an MTT. Then, we apply the model to the actual railway network system and confirm that it is effective and useful based on the results of the application.

Key words: Track Irregularity, Multiple Tie Tamper Operation, Optimal Maintenance Schedule

1. はじめに

軌道狂い保守作業計画を適切に決定するためには、軌道状態を適正に維持できるようにマルチプル・タイ・タンパー(以下「MTT」と表す)の保守能力を有効活用することが重要である。現状の計画作成においては、作成担当者の経験に頼る部分が多く、膨大な時間と手間を費やし、作成した計画の妥当性も不明確な状況にある。一方、最適化技術の進歩に合わせて複雑なスケジューリング問題にも有効な技法やソフトウェアが数多く開発され、その応用は容易になりつつあることから、それらを用いて、最適な保守計画を作成するためのMTT保守計画モデルを構築した^{1), 2)}。そして、実際の線区において、本モデルにより平成15年度の保守計画を作成し、現在、保守作業を施工しているところである。

以上のことから、本研究では、施工が終了した上期(4~7月)の保守実績と軌道状態の推移結果について分析し、本モデルの有効性を評価する。また、実際に保守作業を施工する際に発生したいくつかの問題を解決するためにモデルの改良を行う。

2. モデルによる計画作成手順

本モデルによる計画作成手順をFig. 1に示す。

まず、高低狂い推移モデルにより計画期間中の高低狂い標準偏差の推移を予測する。次に、この予測結果と計画対象線区における保守実施上の制約条件を用いて、ブロック作成モデルにより軌道状態の悪い連続ロットを選定し、保守対象区間(ブロック)を作成する。そして、計画作成モデルにより、ブロックに対するスケジューリングを行い、MTT配備計画と施工計画を期(10日)単位で作成する。

3. モデルの適用

3.1 適用対象・条件

本モデルにより、Fig. 2に示す線区の平成15年度の保守計画を作成する。適用対象線区は線区Iで延長は96.6km(966ロット)、4つの保守基地から構成される。保守可能日数は45日/年で別期保守可能日数をTable 1に示す。また、過去の施工実績より1回の施工単位は300m程度であることから、これを1ブロックとし、1日の施工延長は1500mまでとする。

なお、冬期制限期と夏期制限期および他線区へMTTを運用する期は対象線区では施工を実施しない。

3.2 高低狂い推移モデルの適用

高低狂いの推移は指数平滑法を用いたモデル³⁾により予測する。ここでは、対象線区の過去3年間の軌道検測データおよびMTT施工実績データを入力値として平成15年度の軌道狂い推移を予測する。

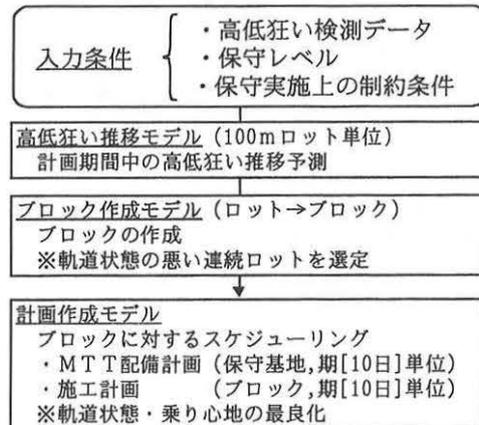


Fig. 1 Procedure for scheduling track maintenance

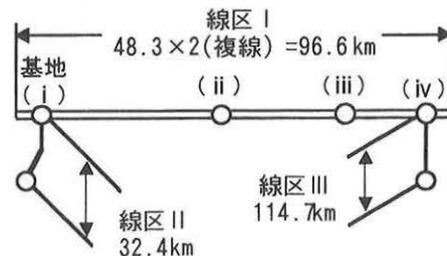


Fig. 2 Actual railway network applied to the scheduling model

Table1 Upper limit for the number of days for tamping in each term

月	旬	期	保守日数	月	旬	期	保守日数
4	上	1	冬期制限期	8	上	13	夏期制限期
	中	2			中	14	
	下	3			下	15	
5	上	4	2	9	上	16	他線区
	中	5			中	17	
	下	6			下	18	
6	上	7	0	10	上	19	9
	中	8			中	20	
	下	9			下	21	
7	上	10	4	11	上	22	他線区
	中	11			中	23	
	下	12			下	24~36	

Table2 MTT allocation schedule

期	基地				期	基地				
	(k)	(i)	(ii)	(iii)		(iv)	(k)	(i)	(ii)	(iii)
1					16					
2	冬期制限期				17	他線区				
3					18					
4					19					
5					20					
6					21					
7					22	他線区				
8					23~36	冬期制限期				
9										
10										
11										
12	夏期制限期									
13										
14										
15										

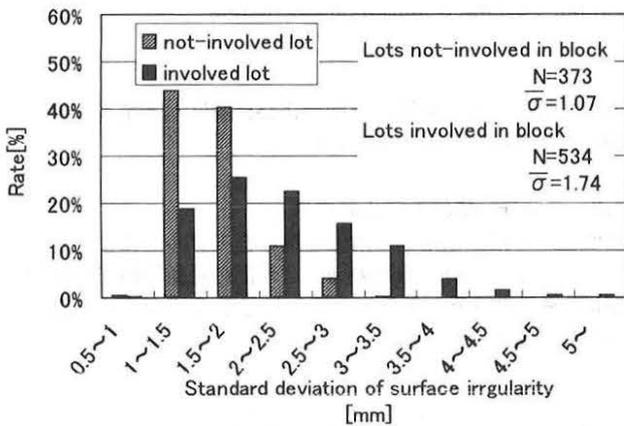


Fig.3 Surface irregularity of lots involved and not-involved in block

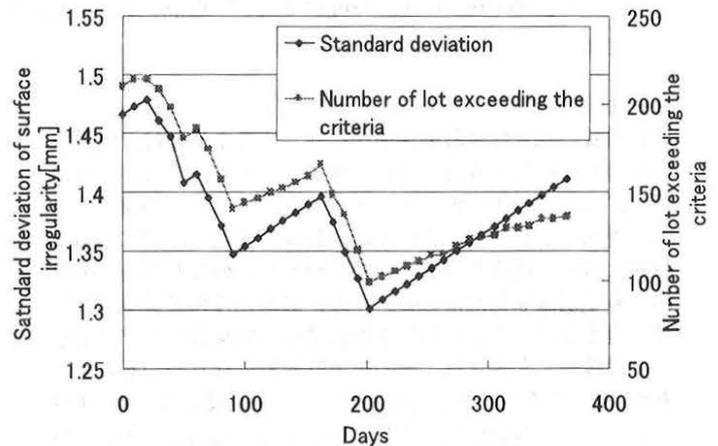


Fig.4 Predicted change of surface irregularity

3.3 ブロック作成モデルの適用

ブロックの選定にあたっては、全振幅列車動揺（上下動）の乗り心地上限値を 2.0m/s^2 および乗り心地目標値を 1.4m/s^2 と設定し、高低狂いと上下動揺の関係⁴⁾ からこれらの上下動揺値に相当する高低狂い標準偏差の上限値、目標値をロットごとに算出する。ブロック作成モデルでは、高低狂いが上限値を超えるロットについては必ずブロックに含むこととし、目標値を超過するロットについては超過しないロットに対して優先的にブロックに含むこととする。

ブロックに含まれるロットと含まれないロットの高低狂い標準偏差について Fig.3 に示す。ブロックに含まれるロットの高低狂い標準偏差の平均値は 1.74mm に対し、含まれないロットでは 1.07mm であり、ブロックに含まれるロットの方が大きい。よって、本モデルにより、保守効果が高いロット、つまり軌道状態の悪いロットを多く含むブロックの作成が可能である。なお、ブロックに軌道状態の良いロットが含まれるのは、連続する3ロット全てが軌道状態の悪いロットとは限らないためである。また、ブロックに含まれないロットで軌道状態の悪いロットは列車速度の遅い区間のものである。

3.4 計画作成モデルの適用

計画作成モデルを用いて、ブロックに対するスケジューリングを行うと Table2 に示す MTT 配備計画が得られる。本計画は、MTT の基地間の移動に無理がなく実行可能である。また、得られた計画通りに保守を施工した場合に予想される高低狂い標準偏差と目標値超過ロット数の推移（MTT 不能箇所は除く）を Fig.4 に示す。高低狂い標準偏差については、計画期間初めに 1.47mm であるものが計画期間末では 1.40mm となる。また、目標値超過ロット数については、計画期間初めに 210 ロットであるものが計画期間末では 135 ロットとなり、計画期間中での軌道状態の改善が期待できる。

4. 施工結果

ここでは、平成 15 年度上期の保守実績や高低狂いデータを用いてモデルや計画の妥当性を評価する。

4.1 高低狂い推移モデルの予測精度

平成 15 年度 1 回目の軌道検測車による実測値と予測値との関係を Fig.5 に示す。誤差（実測値-予測値）の平均値は 0.04mm 、標準偏差は 0.33mm で、一部ロットについては、構造物等が介在したり、予測期間中に MTT が施工され、軌道状

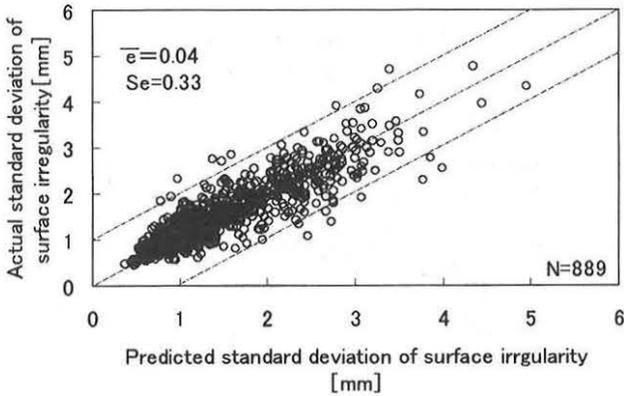


Fig.5 Predicted and actual surface irregularity

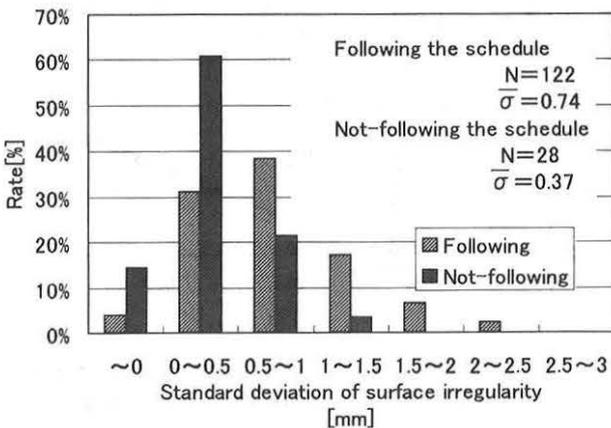


Fig.6 Quantity of improvement of surface irregularity

態が大きく改善された箇所を除けば、ほとんどの予測値は実測値付近に存在する。この結果から、高低狂い推移モデルについては、保守計画を作成するための十分な予測精度を有していると考えられる。

4.2 保守施工箇所

保守の施工は計画通りに5月から実施され、上期の計画延長28.5kmに対し、29.8kmが実施された。しかしながら、施工上の問題で計画通りに施工できなかったブロックが存在した。そこで、本モデルで作成したブロックの有効性を確認するために、ロットを次の2つに分けて分析する。

- 1) 計画した箇所を施工した。
- 2) 計画していない箇所を施工した。

この2種類のロットについて、保守による改善量を算出した結果をFig.6に示す。平均改善量は、1)のロットで0.74mm、2)のロットで0.37mmであり、1)の方が保守効果は高い。つまり、計画したブロックを施工することで高い保守効果を得られることを確認できた。

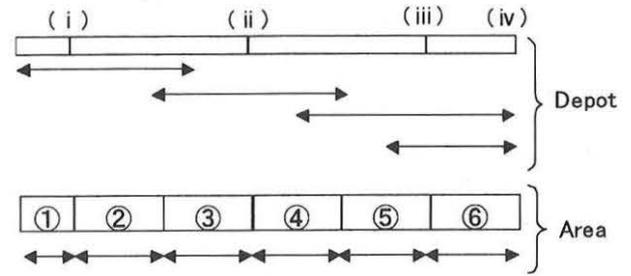


Fig.7 Maintenance depot and maintenance area

4.3 施工上の問題点

計画に基づいて実際に施工を進める中で、1日の施工延長が1500mに満たないという事象が何例か発生した。この理由としては、本モデルによる計画では、各期に保守が計画されたブロックがその期にMTTが配備された基地の施工担当エリア内において大きく離れる場合があり、1日の移動(回送)時間が大きくなること、また、MTTのセット・オフセット回数、駅構内への出入りに必要な打合せ時間等が多く、保守可能時間(列車間合)の中での施工が困難になることが挙げられる。

4.4 モデルの改良

前節に示した問題点を解消するために、以下のようなモデルの改良を行う。(以下、「改良モデル」と表す。)

(1) ブロック長の拡大

1回の施工単位を300mとした場合、1日に最大6回の移動(回送)と5回のセット・オフセットが必要であり、ブロック間の距離が長いと1日に1500mを施工することは困難である。そこで、改良モデルでは、1回の施工単位を400mに設定することで、回送およびセット・オフセットの回数を減らすこととする。ただし、1ブロックの延長を長くすることは、1ブロック中に軌道状態の良いロットが含まれる可能性が高くなることから、計画の質が低下することが見込まれる⁵⁾。

(2) 保守エリアの細分化

従来のモデルでは、各基地からの施工可能範囲を定め、各期に保守を施工するブロックはその範囲に含まれることとしている。しかしながら、その範囲は最大で約20kmであり、特に期の施工可能日数が少ない場合、ブロックの組み合わせによっては大きな回送を伴い、時間のロスが大きい。そこで、改良モデルでは、Fig.7に示すように、各期に施工できる範囲を細分化する。このとき、各エリアに含む駅構内は1~2とし、打合せ時間の増大を避ける。

(3) 各期の施工日数に応じた配備基地数の変更

従来のモデルでは、各期にMTTが配備された1つの保守基地の範囲内におけるブロックのみを施工可能としているため、施工可能日数内にその範囲内の全ブロックの保守が終了し、日数が余ってしまったり、逆にMTTが配備されない保守基地

範囲内のブロックが日数不足で施工されないことがある。よって、改良モデルでは、各期における保守日数が5日以上の場合は、1期に2つの保守エリア内を施工できるようにする。ただし、2つの保守エリアを選択する場合は、隣り合ったエリアのみ選択可能とする。

4.5 改良モデルによる計画作成

改良モデルを用いて、平成15年度計画（下期）を作成した。計画条件を以下に示す。

- ・軌道狂い推移モデルにより、平成15年8月1日の狂い量を予測し、入力値とする。
- ・400mを1ブロックとし、1日の施工量を1600mとする。
- ・施工可能日数は26日とする。(Table1に準じる)
- ・施工計画数量は38kmとする。
- ・現業機関からの指定ロット（踏切作業等が伴う）には必ず施工を実施する。
- ・列車動揺の乗り心地上限値は 2.0m/s^2 、乗り心地目標値は 1.5m/s^2 とする。

(1) ブロック作成モデルの適用結果

作成したブロック数は計画上限数である95ブロック(38km)である。下期に保守を施工しないとして、計画期間末の軌道状態を予測すると、乗り心地上限値を超過するものは77ロットであり、乗り心地目標値を超過するものは219ロットである。前者は必須ロットであるので全てブロックに含まれるが、後者については、176ロットが選定された。

(2) 計画作成モデルの適用結果

保守可能日数はTable1に示す下期(9月～)の部分である。下期のMTT配備計画をTable3に示す。19～21期については、施工可能日数が5日以上であるので、2エリアを施工する。配備順序については、16～17期に⑥エリアに近い他の線区への施工が計画されているため、⑥エリアから①エリアの順に配備される。また、ブロック作成モデルで選定した95ブロック全ての施工を行う計画である。上期の計画で問題となったような同一期に離れたブロックの保守が計画されることもなく、十分に施工可能な計画である。

(3) 期待される軌道状態の推移

Fig.8に上期の検測車による実測値(検測車の運用により下り線は3回、上り線は1回)と8/1以降の予測値を示す。計画期間末の高低狂い標準偏差については、1.38mmで、8/1の状態1.42mmを下回り、改善が期待できる。この結果から、モデルにより作成された計画の有効性は高いと考えられる。

5. まとめ

MTT保守計画モデルを用いて、平成15年度の保守計画を作成した。作成した計画では、保守効果の高いロットにほしゅが計画され、実際の施工においてもその有効性を確認することができた。また、実際の施工において発生した問題に対してモデルを改良し、より現実的で有効な施工計画を作成できることを確認した。

Table3 MTT allocation schedule in the latter term

期(k)	保守エリア					
	①	②	③	④	⑤	⑥
18						■
19				■	■	
20		■	■			
21	■	■				
22	他線区					
23～36	冬期制限時期					

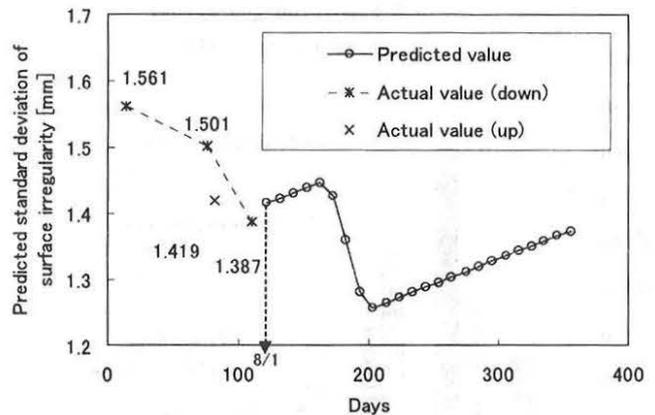


Fig.8 Standard deviation of surface irregularity predicted change in the latter term

参考文献

- 1) 三和雅史, 河西智司, 石川達也, 奥村陽一, 東川恒也: 数理計画モデルによる軌道狂い保守計画の作成, 鉄道総研報告, 第17巻, 第2号, pp.35~40, 2003
- 2) 河西智司, 三和雅史, 東川恒也: 軌道狂い最適保守モデルの適用方法の検討, 鉄道技術連合シンポジウム J-Rail2002 講演論文集, pp.411~414, 2002
- 3) 森本勝, 三和雅史: 指数平滑法を用いた軌道狂い進みの予測法, 土木学会第52回年次学術講演会概要集第4部, pp.692~693, 1997
- 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物設計標準・同解説 軌道構造「有道床軌道」(案), 1997
- 5) 河西智司, 三和雅史: MTT 軌道保守計画モデルの構築と分析, 土木学会第58回年次学術講演会概要集, IV-046, 2003