

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

軌道メンテナンスのライフサイクルコストを見える化する

軌道変位が大きくなると、列車の運休や遅れのほか、脱線事故が生じる可能性が高まるため、まくらぎ下にバラストを押し込んで軌道変位を小さくする軌道変位保守を行います。しかし、バラストやレールなどの軌道材料が劣化すると、軌道変位保守だけでは軌道変位を改善できなくなります。そこで、軌道材料保守や、軌道そのものを強化する軌道改良を行います。これらは軌道変位保守に比べて高額なため、中長期的な経済性を考慮する必要があります。ここでは、中長期的な軌道のメンテナンスに関する費用などをライフサイクルコストとして推計し、これを最小化する軌道保守・改良の計画法を開発したので紹介します。

はじめに

列車の走行を支えている軌道は、列車通過時の荷重を繰り返し受けることで、軌道変位(☞参照)が徐々に増加し、軌道材料も劣化していきます。この結果、脱線事故や輸送障害が生じる可能性が高まるなど、安全性や定時性が低下します。そこで、軌道状態を良好に保つために軌道保守や軌道改良を行います。

軌道保守には、おもに軌道変位保守

と軌道材料保守があります。前者は、まくらぎ下にバラストを押し込んで軌道変位を小さくするもので、図2に示すMTTという大型の機械が多く用いられます(MTT保守)。後者は、摩耗や泥の混入によって泥状になったバラストを交換する道床交換や、傷んだレールを取り換えるレール交換などです。一方軌道改良は、まくらぎの大型化や、剛性の高いレールへの交換など、軌道の構造を強化するものです(図1)。

しかし、軌道材料保守や軌道改良はMTT保守と比べると高額なため、中長期的な経済性を考慮して、計画・施工する必要があります。そこで、これらを総合的に評価する指標としてライフサイクルコスト(LCC)を推計し、中長期的な軌道のメンテナンスに關す



須藤 雅人

Masato Suto

軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員

【専門分野】 軌道保守計画、軌道状態評価



松本 麻美

Mami Matsumoto

軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
副主任研究員

【専門分野】 軌道保守計画、軌道状態評価



三和 雅史

Masashi Miwa

軌道技術研究部
軌道管理研究室長

【専門分野】 軌道保守計画、最適化モデル分析

☞ 軌道変位

軌道の正規の位置からのズレを軌道変位といいます。軌道変位が大きくなると、乗り心地の悪化や安全性の低下につながります。ここでは軌道変位のうち、上下方向のズレを表す高低変位をおもに取り扱います。

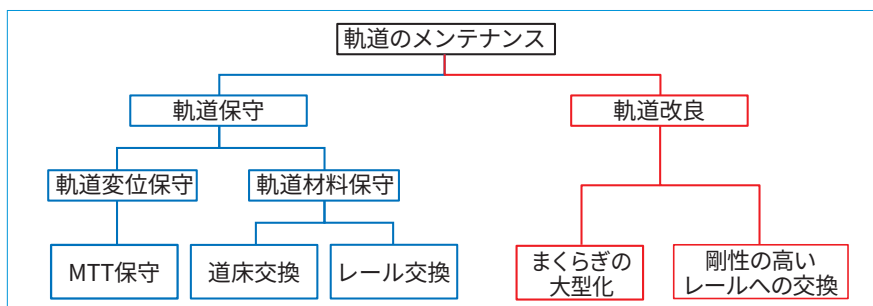


図1 軌道メンテナンスの種類の例



図2 マルチプラタイタンパー (MTT)

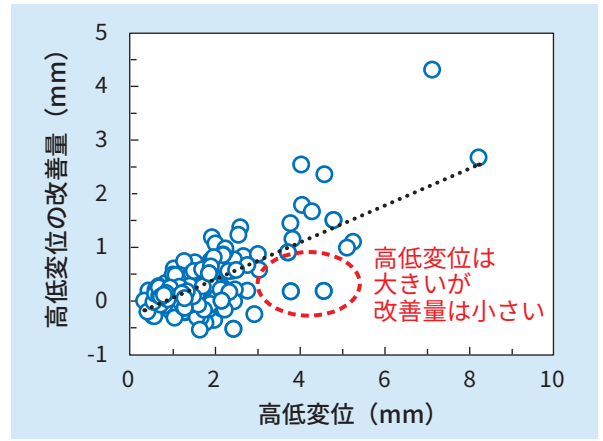


図4 MTT保守による改善量

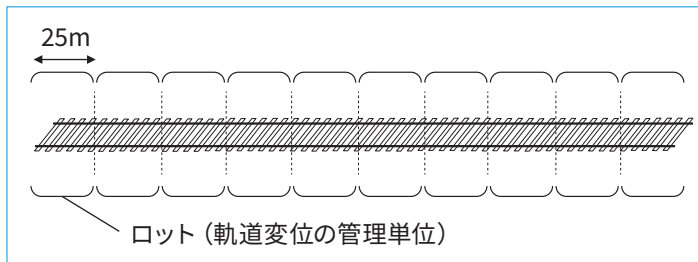


図3 ロットの考え方

るLCCを最小化する軌道の保守・改良計画法を開発しました。

軌道の保守・改良計画について

軌道の保守・改良計画には、大きく分けて年度計画、中期計画、長期計画があります。年度計画は、定期的に測定する軌道変位が定められた基準値に到達しないことをおこな目的とし、単年度の軌道変位保守などの計画を立てるものです。

中期計画は、数年程度の軌道状態を効率よく維持することを目的に、軌道変位保守に加えて、より高額で効果の大きい軌道材料保守を考慮します。たとえば道床交換は、高低変位の改善や高低変位の増加を抑制する効果がありますが、MTT保守の百倍程度の金額がかかるため、数年程度の経済性を考慮する必要があります。

最後の長期計画は、MTT保守の数百倍の金額がかかるさらに高額な軌道改良の投資効果を考慮しつつ、数十年程度の軌道状態を良化、または維持さ

せることを目的に立てます。ここで、軌道変位が大きくなると、脱線事故や輸送障害などが生じる可能性が高まりますが、被害の大きさは沿線の環境に応じて変動します。軌道改良は、長期間の軌道の構造を構築するため、そうした被害を小さくする工種を選択する必要があります。そのため、保守費や改良費などの経済性に加え、環境に応じて変動する被害をリスク(☞参照)として考慮します。

以下では、軌道材料保守や軌道改良のような高額な費用を要し、中長期的な経済性を考慮する必要のある中期計画と長期計画のLCCを最小化する計画法を紹介します。

中期的な保守計画

中期的なLCCを最小化する軌道保守の計画法を紹介します。この計画法では、5年で実現したい高低変位の目標状態を設定し、それを実現するために必要な軌道変位保守と軌道材料保守の保守費の合計(LCC)を推計して、こ

れが最小になる各保守の延長を計算し、保守計画を作成します。この検討では、MTT保守と、とくに高低変位への影響が大きい道床交換を考慮します。

保守延長の考え方

この計画法では、線区をロットという短い管理単位で考えます(図3)。1ロットの延長は25mとし、1回で保守できる延長は、道床交換は1ロット分、MTT保守は任意の数の連続するロット分の長さとしします。

MTT保守の延長は、目標状態を実現するまで、高低変位の大きい順に保守するロットを選択して計算します。高低変位が大きいほど、MTT保守前後の高低変位の差である改善量も大きい傾向があるため(図4)、この順番に選択すると、目標状態を実現するための延長はもっとも短くなります。

道床交換は、バラストが劣化していると判断されるロットに行います。たとえば図5のように、MTT保守後に高低変位がすぐに保守前の値に戻ってしまうロットが該当し、図4に点線所示するような、高低変位は大きいにもか

☞ リスク

ここでは「事象の発生確率×想定される被害の大きさ」から求めます。想定される被害を金額換算することで、改良費や保守費と同列に扱うことができます。

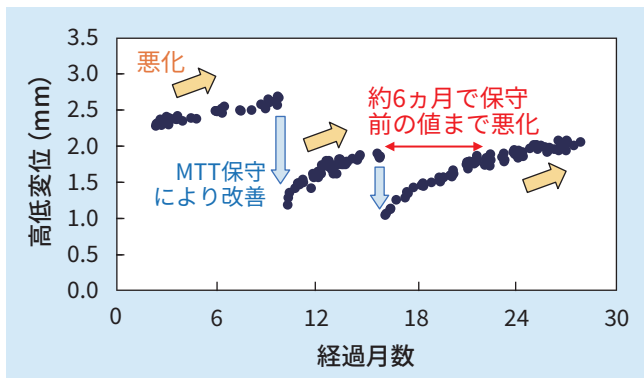


図5 繰り返し保守ロット

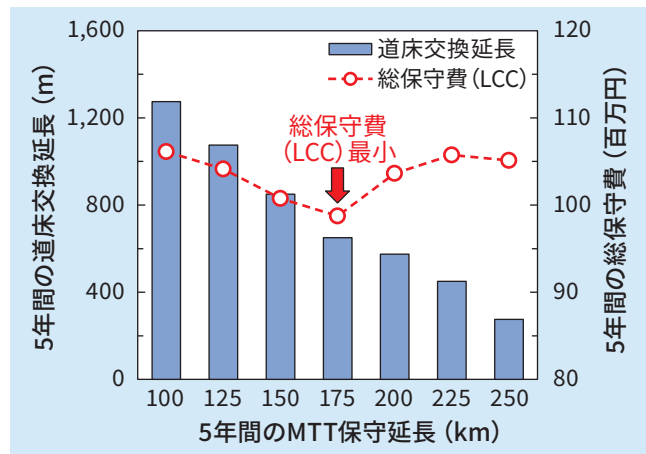


図6 MTT保守と道床交換の延長の組み合わせ

かわらず改善量が小さいロットに多い傾向があります。

道床交換の延長は、上記のようなロットの中から、目標状態を実現するまで、道床交換による改善効果が大きい順に交換するロットを選択して計算します。なお、この効果には、改善量の増加と高低変位の増加を抑制する各効果を考慮します。

LCCの推計

延長75km程度の複線の線区で同じ目標状態の実現に必要な各保守の延長を試算した例を図6に示します。無数に存在する各保守の延長の組み合わせについて、延長に施工単価を乗じて保守費を算出すると、保守費の合計(LCC)が最小となるものがあります。基本的にMTT保守の延長が長くなると、高額な道床交換の延長は短くなり、LCCは減少します。しかし、ある程度MTT保守の延長が長くなると、改善量が小さいロットも選択されるため、MTT保守の平均的な改善効果が小さくなります。すると、MTT保守よりも、道床交換の方が延長は短くても改善効果は高くなるため、LCCは増加します。この結果、図6の例では5年間の延長がMTT保守175km、道床交換650mの場合にLCCが最小になります。

保守計画の作成

最後に、LCCが最小となる5年間の各保守の延長を年数(5)で割って各年

の延長の上限とし、各年で保守するロットを選択して5年間の保守計画を作成します。

道床交換については、延長を計算したときと同じ考え方で、各年で交換するロットを上限まで順に選択します。

MTT保守については、5年後の高低変位が最小になるように、各年で保守するロットを上限まで選択し、1回で保守できる延長に拡張して保守箇所とします。

以上の計画法により、中期的なLCCを最小化する軌道保守の計画を作成できます。

長期的な保守計画

長期的なLCCを最小化する軌道改良の計画法を紹介します。ここでのLCCは改良費と保守費、リスクの合計から求めます。

改良費の推計

改良費は、施工時のみにかかる金額(初期投資)であり、過去の実績などから求めた単価に施工延長を乗じて推計します。表1に想定する軌道改良の工種の例を示します。このうち、大判まくらぎ化、重軌条化、道床増厚は、軌道材料にかかる圧力や振動を低減させて、軌道変位の増加を抑制する工法です。てん充道床化¹⁾は、セメントで道床を固めることで、軌道変位が生じない軌道にする工法です。

保守費の推計

軌道保守は、定められた基準値に軌道状態が到達しないように行います。軌道改良は、軌道状態の劣化速度を緩和できるため、その効果を考慮し、以下の手順で保守費を推計します。

まず、想定期間内の軌道状態の推移を予測²⁾して、期間内の軌道保守回数を求めます。軌道改良を行った場合は、工種に応じた効果を軌道状態の推移に反映させます。次に、求めた保守回数に単価と施工延長を乗じて保守費を推計します。また、別途定期修繕が必要な場合はその費用を加算します。

リスクの推計³⁾

リスクの推計では、脱線事故と大きな軌道変位により列車が運行停止する輸送障害の2種類を想定します。

まず脱線事故については、曲線部で軌道変位が大きくなると発生しやすくなります。そこで、曲線半径や軌道変位などから脱線する確率を算定し、この確率に、脱線時の乗客数や予想される影響人員を考慮してリスクを推計します。

次に輸送障害については、輸送障害の発生確率、列車を運転できない時間、影響人員、時間の価値の積からリスクを推計します。

LCCの推計

以上の手法で求めた改良費、保守費、リスクから、50年間のLCCを推計し

表1 軌道改良の工種例およびその概要

工種	大判まくらぎ化	重軌条化
概要図		
内容	底面幅が広いまくらぎにすることで、道床にかかる圧力を小さくし、軌道変位の増加を抑制します。	剛性の高いレールにすることで、レールからまくらぎに伝わる圧力を小さくし、軌道変位の増加を抑制します。
工種	道床厚増	てん充填道床化
概要図		
内容	道床厚を増やすことで道床が安定し、道床の振動が低減されます。道床が崩れにくくなり、軌道変位の増加が抑制されます。路盤への圧力も減少します。	セメントを既存の道床に注入して固めます。軌道変位が増加しないので軌道変位保守が不要になります。

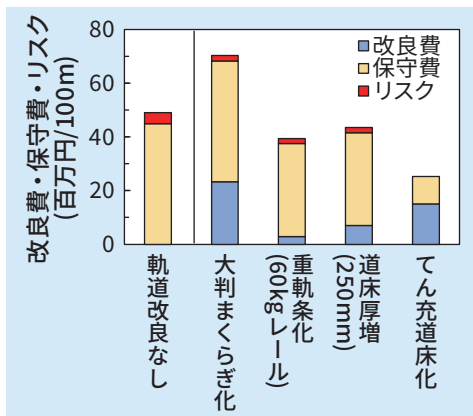


図7 LCCの推計結果

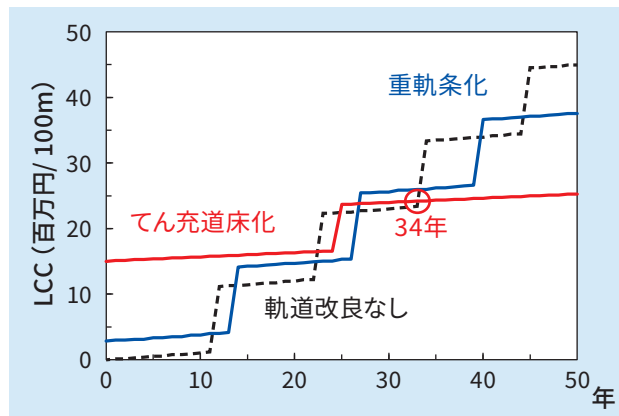


図8 LCCの時間推移

た結果を図7に示します。今回の条件では、てん充填道床化、重軌条化、道床厚増の順にLCCが小さくなりました。このような、軌道改良前よりLCCが小さくなる工種が軌道改良の候補となります。

また、LCCの時間推移を示すことで初期投資に相当する改良費を何年後に回収できるか検討した結果を図8に示します。てん充填道床化が軌道改良前より経済的に優位となる時期は、施工後34年となりました。重軌条化は、推移の中で軌道改良前より一時的に優位となり、その期間は後半で徐々に長

くなるものの、50年後も継続して優位にはなりません。

以上のようにLCCを推計することで、長期的な経済性を考慮した軌道改良を選択できるようになります。

おわりに

中期的および長期的な軌道のメンテナンスに関するLCCを推計し、それを最小化する軌道保守および軌道改良の計画法を紹介しました。試算で用いた単価などは、過去の実績を参考にしているため、実際は施工条件や地域による施工費の違いなども考慮する必要

があります。今後はさまざまな線区に本手法を適用し、推計精度を向上させていくことを目指します。RRR

文献

- 1) 洲上翔太, 高橋貴蔵, 中村貴久, 桃谷尚嗣: 既存のバラストを固めた軌道で保守を省力化する, RRR, Vol.74, No.9, pp.16-19, 2017
- 2) 松本麻美, 三和雅史: 施策の評価・分析に適用可能な軌道状態の長期推移予測モデルの構築, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.22, pp.47-54, 2018
- 3) 三和雅史, 大山達雄: 列車脱線事故に関するリスクを考慮した軌道保守計画最適化モデルの構築と検証, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.75, No.1, pp.11-28, 2019