

下級線における軌道改良を考慮したライフサイクルコストを最小化する軌道メンテナンス手法の開発

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○松本 麻美
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 三和 雅史

1. はじめに

軌道変位が大きくなると、バラストつき固め等の保守により軌道変位を良好化するが、下級線区では噴泥や継目落ち等の影響により、保守による軌道変位の良好効果が小さい箇所がある。こうした箇所では軌道改良により保守周期を延伸するが、改良工事は費用が莫大である為、長期的な経済性を考慮して計画する必要がある。また軌道の劣化が進むと、輸送障害や脱線事故が生じるリスクも高まる。以上のことから、軌道の維持管理に要する改良・保守費とリスクを考慮したライフサイクルコスト (LCC) を最小化する軌道保守が求められる。本研究では、LCC 推計モデルの開発と、LCC を最小化する軌道改良手法を提案する試算例を示した。

2. 軌道の維持管理における LCC の全体像

本研究における LCC は改良・保守費およびリスクの合計から構成されるとし、その構成概要を図 1 に示す。

①改良費（軌道の改良・更新に要する費用）

道床の改良工事やロングレール化等、軌道の構造改良や更新に要する費用を「改良費」とする。

②保守費（軌道の維持管理のための保守に要する費用）

軌道変位を良好化するつき固め、軌間維持のための軌間調整、道床交換に要する費用を「保守費」とする。下級線区を対象とするためレール削正は考慮しない。

③リスク（輸送障害や脱線事故発生時に要する費用）

軌道変位が増加し管理値を超過すると、列車徐行や運転中止等の輸送障害の他、稀に脱線事故に至ることがある。しかし軌道改良により軌道変位進みが小さくなると、事故等の発生確率も低下する。このような軌道変位に対応した事故等の発生確率に、想定被害を乗じて得られる値を「リスク」とする。

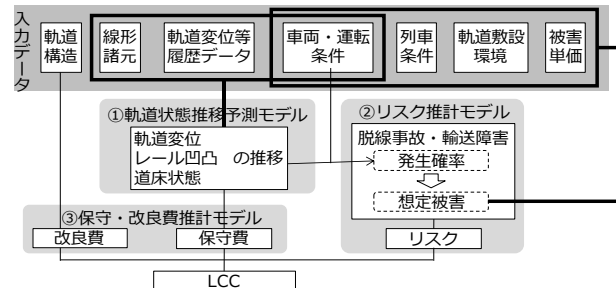


図 1 LCC の構成概要

3. 改良費の推計

表 1 に、軌道改良の工種と単価等を示す。ここに示す単価は過去の実績から概算金額を算出しており、これに延長を乗じて改良費を推定することが可能である。

4. 保守費の推計

前掲の表 1 に、軌道保守の工種と単価等も示す。保守費の推計には、想定期間内における軌道状態を予測して各工種の保守回数を算定する必要がある。その予測には長期的な軌道状態推移予測モデル⁹⁾を用いる。本モデルは、軌道変位、レール凹凸、道床状態の 3 指標を各々予測し、それらに対する保守時期を検討するものである。具体的には、表 1 に示す設計標準や施工実績等から概算した各工種における高低変位進み比（従来軌道に対する高低変位進みの比率）を用いて、各工種を実施した場合の軌道状態推移を予測する。次にその予測した軌道状態に応じた保守回数を求め、それに単価を乗じて保守費を算出する。

表 1 軌道改良および軌道保守の工種と単価等

	工種	単価 百万円/100m	高低変位 進み比	内容および仮定等
改良	大判まくらぎ化	23.3	0.90	一般的な PC まくらぎに比べて底面幅が広く軌道沈下量が低減される。費用には道床交換も含む。
	弾性まくらぎ化	21.6	0.40	弾性化によりまくらぎ下面圧力が下がり、道床沈下量が低減される。費用には道床交換も含む。
	バラスト造粒化 ¹⁾	9.7	0.33	経年バラストにグラウトを浸透させ、固化後に粉砕して細粒度を造粒化し、排水性を向上する。継目部（100m 中 4 箇所）のみに施工。費用には 10 年周期、0.3 百万円/100m の定期補修を含む。
	ポリマー安定処理 ²⁾	9.6	0.25	細粒化したバラストに生分解性ポリマーと反応促進剤を混入し、バラスト強度を高める。継目部（100m 中 4 箇所）のみに施工。費用には 3 年周期、0.4 百万円/100m の定期補修を含む。
	ロングレール化	12.9	0.52	継目をなくし高低変位進みを抑制する。費用には PC まくらぎ化と EJ 敷設を含む。
	低コストロングレール化 ³⁾	6.5	0.70	中下級線区でも低コストで実現できるロングレール化工法。費用には部分 PC まくらぎ化を含む。
	重軌条化	6.6	0.82	レール剛性を高めることで軌道沈下量を低減する。費用には PC まくらぎ化を含む。
	PC まくらぎ化	3.8	0.92	軌間内脱線防止および、道床横抵抗力とまくらぎ底面積増加により軌道沈下量も低減される。
保守	道床厚増	7.0	0.69	路盤圧力を減少させると共に道床振動が減少して道床が安定し、軌道沈下量が低減される。
	てん充道床化 ⁴⁾	24.3	0.00	既存のバラストを活用したてん充道床軌道。セメントで固めるため保守が不要となる。
	つき固め	0.1	-	軌道変位を良好化する。MTT による機械施工とする。軌道変位の管理値を超えないように実施する。
	軌間調整	0.3	-	軌間を維持する。木まくらぎの場合のみを対象とし、5 年周期で継目付近の延長 5m で実施する。
	道床交換	10.0	-	つき固め効果が改善する。道床状態を表す指標が管理値を超えた時に実施する。

キーワード：軌道変位予測、軌道保守、軌道改良、リスク予測、ライフサイクルコスト

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-573-7277

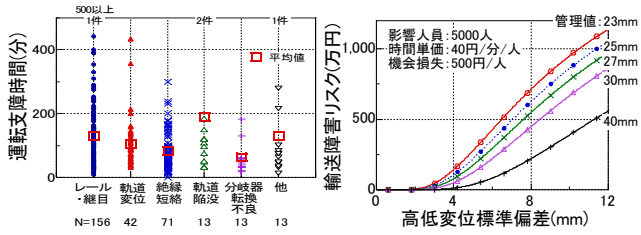


図2 運転支障時間

図3 輸送支障リスク推計例

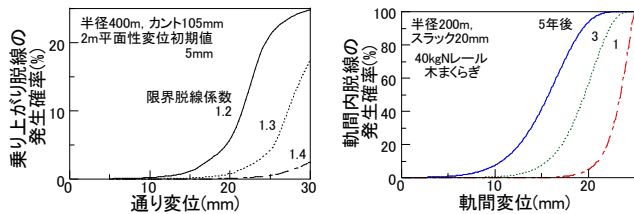


図4 脱線事故発生確率

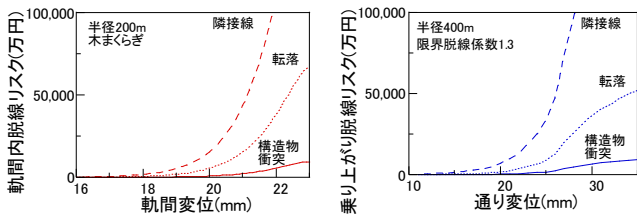


図5 脱線事故リスク推計例

5. リスクの推計

輸送障害と脱線事故の2種類のリスクを想定する。

①輸送障害

列車を運転できない運転支障時間を推計した上で、影響人員を想定し、これに伴って発生する費用を輸送障害によるリスクとする。検討対象は、係員等により著大な軌道変位が発見され、列車を運行停止する場合とする。過去に発生した軌道起因の輸送障害における運転支障時間を分析した結果を図2に示す。これを基に輸送障害リスクを推計するモデルを構築し、そのモデルから高低変位の管理値超過に伴う輸送障害リスクを推計した例を図3に示す。

②脱線事故(乗り上がり脱線, 軌間内脱線)

各種脱線の発生確率を推計した上で、人的損失およびその他損失を想定して算出した費用を脱線事故によるリスクとする。発生確率は、乗り上がり脱線については推定脱線係数が限界脱線係数を上回る確率、軌間内脱線については輪重と横圧により生じる動的軌間が限界値を超える確率(図4)から算出する。人的損失については、乗車人員に被害者率(車両転覆・重量物との衝突有無, シートタイプ, 速度を考慮)と死亡率を求め、これに内閣府による報告書⁹⁾に示された被害者1人あたりの交通事故による損失額を一部適用して算出する。その他損失としては、車両や地上設備の復旧費, および運転支障時間(推計方法は①と同様)の発生に伴う損失を加算する。本モデルにより、通り変位および軌間変位をパラメータとして脱線事故リスクを推計した例を図5に示す。

表3 基本線区の条件

車両条件	40tf	速度	60km/h	年間通トン	200万t
時間評価値	¥40/分/人	影響人員	200人	列車乗車数	30人
軌道構造	50kgN一定尺レール-木まくらぎ-道床厚200mm				

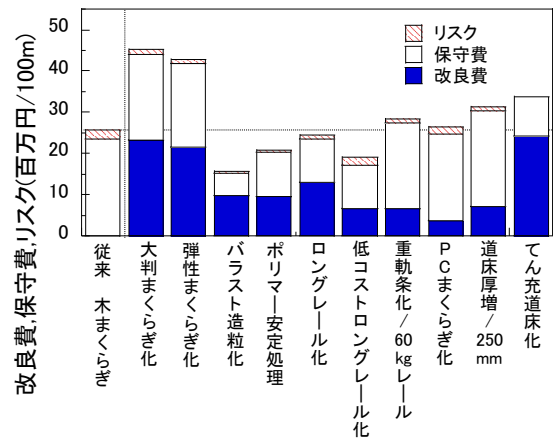


図6 LCC推計結果

6. LCCの推計と改良計画の検討

以上のモデルから、表3に示す条件を基本とした線区を従来軌道とし、表1に示す全工種を想定したLCCを推計した。推計結果を図6に示す。ここで、推計したリスクは改良費や保守費に比べて小さく、殆どが輸送障害に関するリスクであった。LCCはバラスト造粒化、低コストロングレール化の順に小さく、ポリマー安定処理、ロングレール化も従来軌道よりLCCは小さくなった。以上のような、従来軌道よりLCCが小さくなる工種を、投資効果のある軌道改良手法として提案することができる。

7. まとめ

本研究で、得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 軌道の維持管理に関するLCCは改良・保守費およびリスクの合計から構成されるとし、それぞれを推計するモデルを開発した。
- (2) リスクについては輸送障害と脱線事故の2種類を想定し、各々について、その事象が生じた場合に発生する費用を算定するモデルを開発した。
- (3) 従来軌道よりもLCCが小さくなる工種を、投資効果のある軌道改良手法として提案できた。

参考文献

- 1) 中村貴久: 細粒土混入バラストの造粒化による軌道補修工法の開発, 鉄道総研月例発表会, 第325回, 2018
- 2) 中村貴久, 他: 細粒土混入率の高いバラスト軌道に対する生分解性ポリマーを用いた沈下抑制対策, 日本鉄道施設協会誌, 第55巻, 6号, 2017
- 3) 西宮裕騎: 地域鉄道に適したロングレール軌道構造の開発, 鉄道総研月例発表会, 第329回, 2019
- 4) 洲上翔太, 他: 超微粒子セメントを用いたてん充道床軌道の開発, 鉄道総研報告, 第30巻, 10号, 2016
- 5) 松本麻美, 他: 施策の評価・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, 第22巻, p.47-54, 2018
- 6) 内閣府政策統括官: 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する研究. 2007