

長期的な経済性を考慮した軌道保守工種の選択法

軌道技術研究部 軌道管理研究室
室長 三和雅史

1. はじめに

レールの凹凸量の増加，道床バラストの細粒化や土砂混入等といった材料劣化が進行すると，軌道（高低）変位進みの増加や軌道変位保守改善量の減少といった事象が生じるため，軌道変位保守が多頻度化して多くの軌道変位保守費用を要することが想定される．このため，材料状態や保守効果を検討した上で，図1に示すように適切なタイミングで保守を行い，軌道変位保守費用を含む総保守費用を長期的に減らすという考え方が重要である．以上のことから，長期的な経済性を考慮した軌道保守工種の選択モデルを構築したので，以下に内容を紹介する．

2. 長期的な経済性を考慮した保守工種選択モデル

本モデルは，図2に示す軌道変位保守，レール交換と削正，道床交換の保守時期及び内容を長期的に適正化する軌道保守計画モデルの一部として構築したものである．本計画モデルでは，保守工種選択モデルにおいて各箇所（ロット：25m）に提案された工種を今後5年程度の期間内に行うとして中期保守計画を作成した後，数十年先までの長期計画を作成する．このうち，中期保守計画は，各保守内容の作業性を考慮して保守区間を選択し，各年度の保守量の上限の範囲で

優先度の高い区間から保守を行う計画として作成される．一方，長期保守計画は，各ロットの軌道状態を予測して保守時期，内容を検討し，総保守費用が最小となる計画（保守量の推計）として作成される．よって，保守工種選択モデルは，中長期的な保守計画を作成する際に最初に実行するプロセスである．

この保守工種選択モデルでは，軌道状態に関する履歴データを用いて図3に示す4つのSTEPにより軌道変位保守の頻度

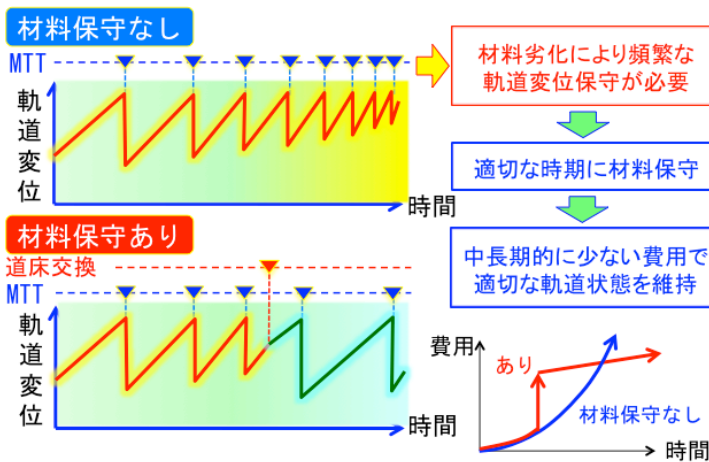


図1 長期的な経済性を考慮した保守

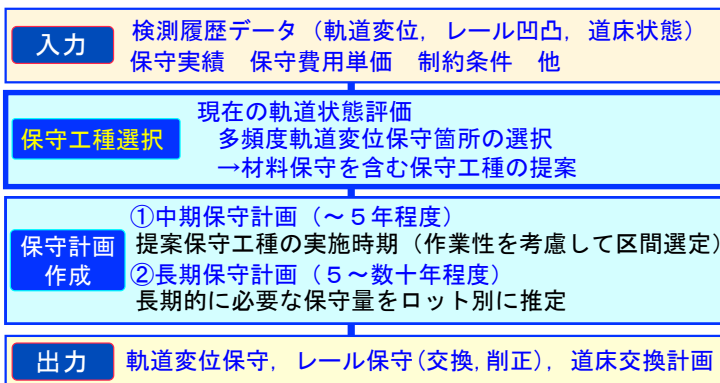


図2 軌道保守計画モデルの構成

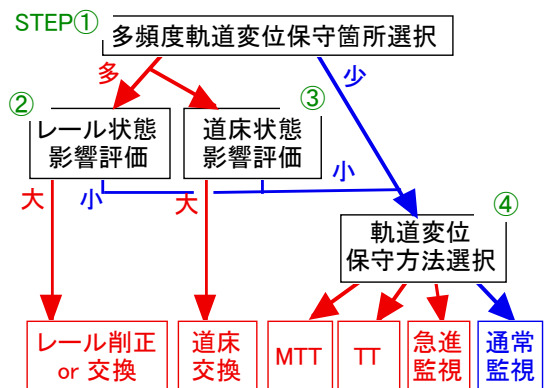


図3 保守工種選択モデル

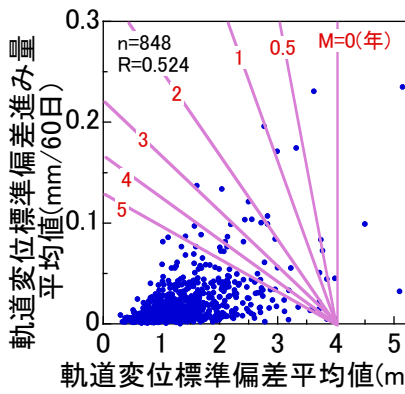


図4 軌道変位とM

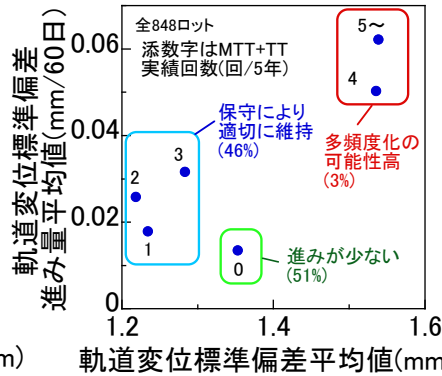


図5 保守頻度と軌道状態

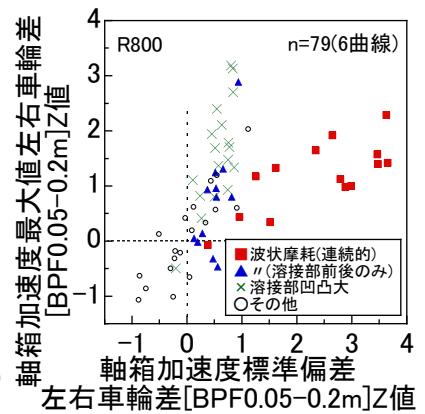


図7 レール凹凸形態の推定

の状況やこれに影響すると考えられる材料の状態を評価する。また、軌道変位保守については、保守方法 (MTT, TT) の選択の他、状態監視の方針を出力する。

以下に各STEPにおける処理内容を示す。

(1) 多頻度軌道変位保守箇所を選択 (STEP ①)

ある在来線 (線区A) のデータを

用いた25m ロットの軌道変位と進みの関係 (約5年間の各検測時平均値) を図4に示す。この関係を保守実績回数別の平均値により図5のように整理すると、全体の3%ではあるが、保守量が多いにも関わらず軌道変位と進みが大きいロット群が存在することが分かる。つまり、軌道変位保守の多頻度箇所には、軌道変位と進みの両方が定常的に大きく、また保守実績が多い箇所が該当すると考えられる。ここで、軌道変位と目安値との差を進み量で除した値 M は、ランダムに選んだ時刻において軌道変位が目安値に到達するまでの平均期間に相当する。図4には M が0~5 (年) となる軌道変位、進みの組み合わせを点線で示した (目安値: 4mm)。また、この軌道状態を実現するのに要した軌道変位保守延長を N (km/評価期間) とすると、 M/N 比は軌道変位保守の効率性を表している。よって、 M や M/N 比が小さな箇所を多頻度軌道変位保守箇所として選択する。この選択基準としては、各指標が負値となる箇所については無条件に選択する。その他の箇所については、材料保守を実施する / しない場合の各総保守費用 (評価期間は材料別に定める) が等しくなる M 等の値を予め求めておき、この値を各指標値が下回る箇所を選択する。

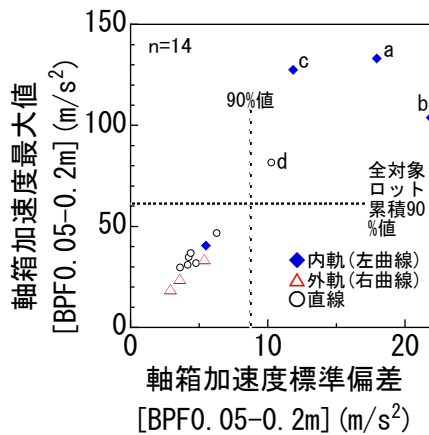
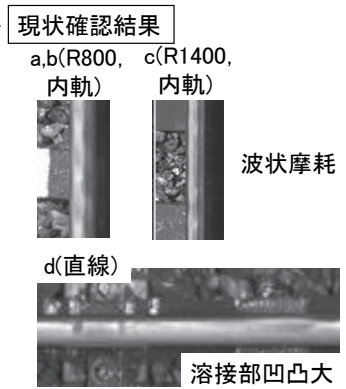


図6 軸箱加速度 (レール) と現状確認結果



(2) レール状態の評価 (STEP ②)

レール状態については、レール凹凸量との相関が高い軸箱加速度 (上下) により評価する。ここでは、想定するレール凹凸の波長を考慮して、波長 0.05 ~ 0.2m でBPF処理した値を用いる。この軸箱加速度と軌道変位進み量との関係を分析すると、特に軌道変位進みの大きな箇所では、軸箱加速度と軌道変位進みとの間に強い相関がある。よって、このような箇所では、レール凹凸量の増加により軌道変位進みが大きい可能性が高いと考えてレール保守を提案する。

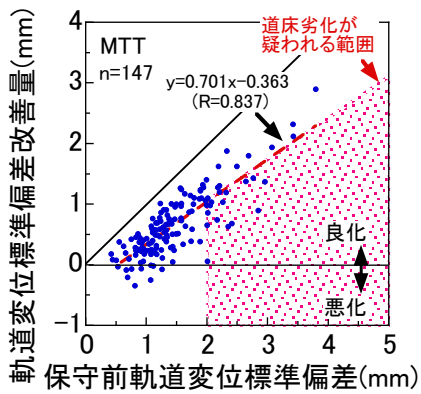


図8 軌道変位保守改善量

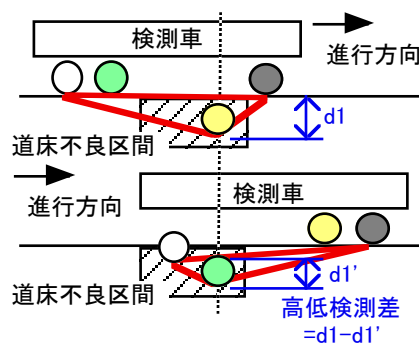


図9 高低検測差の概念

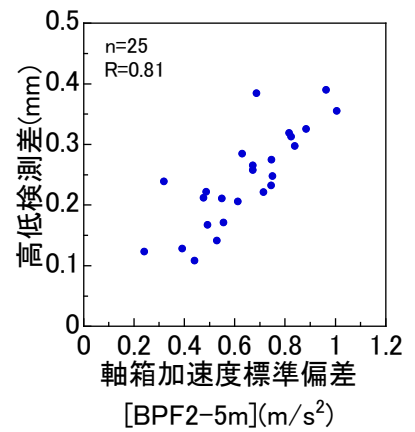


図10 軸箱加速度と高低検測差

線区AにおいてM等に基づいて抽出した多頻度軌道変位保守箇所での軸箱加速度の標準偏差と最大値の関係を図6に示す。ここで、全ロットの軸箱加速度分布の90%値を超える4ロット(a～d)の状態を調査した。a～cは1400mの曲線内軌であり、波長約0.2m、波高0.2～0.4mmのレール凹凸を有する波状摩耗が確認された。dは直線区間であり、溶接部で大きな凹凸が確認された。よって、軸箱加速度を用いたレール保守箇所の選択は精度よく行えると考えられる。

また、左右車輪における軸箱加速度を用いることで、レール凹凸の形態を推定できる。これは、曲線内軌に波状摩耗が存在する箇所を輪軸が通過する際には内軌側車輪の軸箱加速度が連続的に大きくなるのに対し、傷や溶接部で大きなレール凹凸が存在する箇所では、これらの存在する側の車輪の軸箱加速度が局所的に大きくなると考えられるためである。そこで、線区Aの半径800mの左曲線における軸箱加速度の標準偏差と最大値の各Z値(= {測定値-平均値} / 標準偏差)の左右差(左-右)を算出した結果を図7に示す。波状摩耗による連続的な凹凸のある箇所では標準偏差の左右差が大きく、大きな凹凸が局所的に存在した箇所では最大値の左右差が大きい傾向にある。このようにレール凹凸の形態を推定し、またレール傷台帳等と照合することにより、凹凸形態に応じた保守方法を提案する。

(3) 道床状態の評価 (STEP ③)

道床状態評価については、以下に示す複数の指標により合わせて評価する。

まず、MTT保守前の軌道変位と改善量の関係を図8に示す。保守前の軌道変位が大きいと改善量は大きい傾向にあるが、保守前の軌道変位が大きいにも関わらず改善量が少ない箇所については、道床劣化の影響が考えられる。そこで、改善量の実測値が期待値(図中の回帰直線)より小さなロットを道床状態の不良が疑われる箇所として選択する。なお、この際には保守前の軌道変位がある程度大きなデータを対象として評価する(例えば、図8では保守前の軌道変位2mm以上)。

また、軌道変位保守により軌道変位が小さくなると輪重変動が減少すると共に、道床が良好で十分に突き固められて安定すれば、保守後の軌道変位進みは保守前より減少すると考えられる。ここで、MTT保守前後の軌道変位進みを分析すると、特に保守前の進みが大きな箇所では保守後の進みは減少する傾向が強いことを確認できる。そこで、進みが大きな箇所(例えば、進みの平均に標準偏差を加えた値以上の進みの箇所)のうち、保守後の進みが保守前より大きなロットを道床状態の不良が疑われる箇所として選択する。

更に、道床劣化箇所では軌道支持ばね係数はレール方向で大きく変動することから、軸箱加

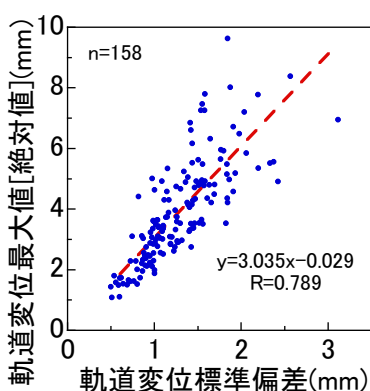


図 11 軌道変位標準偏差と最大値

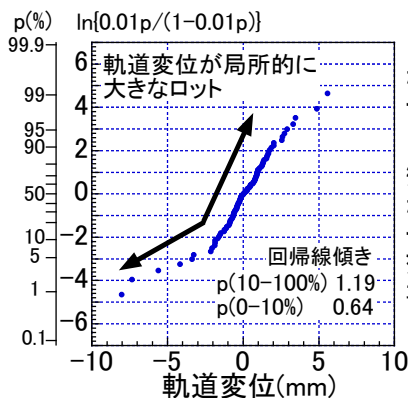


図 12 確率紙への打点

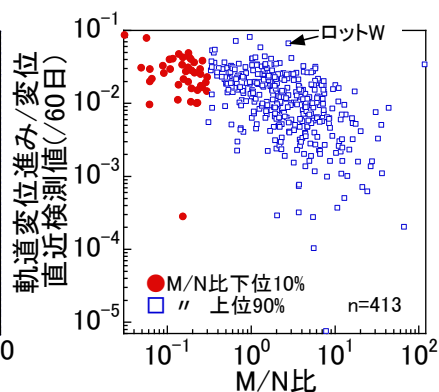


図 13 M/N 比と進み / 変位比

速度（波長 2-5mBPF 処理済）や高低検測差（2 台車検測車の 1-2-4 軸と 1-3-4 軸で測定した高低変位の各検測値間の差 [図 9]）が大きいと考えられる。これらの各指標については、図 10 のような関係が得られており、相関が高い。よって、これらの指標の両方、或いは一方が大きな箇所を選択する。

線区 A において抽出した多頻度軌道検測箇所について、上記の各基準で抽出したロットの道床状態を確認したところ、全ての箇所ではないが、道床への土砂混入や細粒化が確認された。上記の各指標は道床状態を直接的に評価するものではないことから、実際の道床状態を更に精度よく評価できるような指標の総合化が今後の課題である。

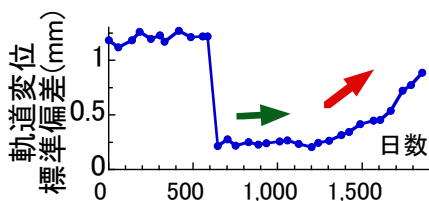


図 14 ロット W の軌道変位推移

(4) 軌道変位の保守方法、状態監視方針の選択 (STEP ④)

軌道変位保守については、軌道変位が局所的に大きな箇所では、TT によっても軌道状態を十分に改善できる可能性がある。ここで、図 11 に示すように、軌道変位の最大値は標準偏差に対して平均的には約 3 倍であるが、上記のようなロットではこれを大きく上回る傾向がある。また、このようなロットの軌道変位データをロジスティック確率紙に打点した結果を図 12 に示す。一般に、軌道変位は左右対称の分布形状を有するロジスティック分布への適合性が高いため、本紙に打点すると直線上に載るが、同図には折れ点が現れる。これは、このロットの一部分だけに局所的に大きな変位が存在するためである。以上のような統計的な傾向を確認することで、TT 保守箇所を適切に選択することができる。

軌道変位の状態監視方針については、軌道変位進みの急激な増加（急進）箇所を選択することにより検討する。具体的には、長期的な軌道変位の状態を表す指標として先に提案した M/N 比と直近の軌道変位進み / 変位比（進み / 変位比）を用いて選択する。線区 A のデータにより得られた各指標の関係を図 13 に示す。M/N 比と進み / 変位比には相関があるが、M/N 比が大きい一方で進み / 変位比が大きなロットが存在する。このようなロット W の軌道変位推移を確認すると、図 14 に示すように軌道変位進みが最近になって増加する傾向にあることがわかる。つまり、M/N 比が大きくても直近の進み / 変位比が大きな箇所については、急進監視箇所として選択する。

3. おわりに

長期的に経済的な軌道保守工種の選択を支援するための選択モデルを構築した。今後は、本モデルの精度や適用可能な範囲について、更に検証を進める予定である。