

## 軌道の効率的な維持管理を目指した最近の研究開発

軌道技術研究部

部長 古川 敦

### 1. はじめに

日本には、在来線，新幹線合わせて約 41,000km の本線軌道がある<sup>1)</sup>。整備新幹線を除くと建設中の新線は都市圏の旅客線が数区間のみであり，この軌道延長が今後大きく増えるとは考えにくい。また，既設軌道の抜本的な構造改良には多大なるコストを要することから，その延長は連続立体交差化事業を含めても全体の数パーセントと想定される。したがって軌道の技術開発における既設線メンテナンスの重要性は今後ますます大きくなる。

軌道のメンテナンスに限らず，品質管理や生産管理は一般に図 1 に示す PDCA サイクルと呼ばれるステップに則って行われる。技術開発にあたっては，対象としている技術がこのサイクルのどの（または複数の）ステップに対応しているかを考慮し，その効果を評価する必要がある。

本稿では，本日の 7 件の講演について PDCA サイクルにおける位置づけを解説し，理解を深める一助とする。合わせて，最近開発されたメンテナンスに関わるいくつかの新技术について，概要と PDCA サイクルにおける位置づけを紹介する。

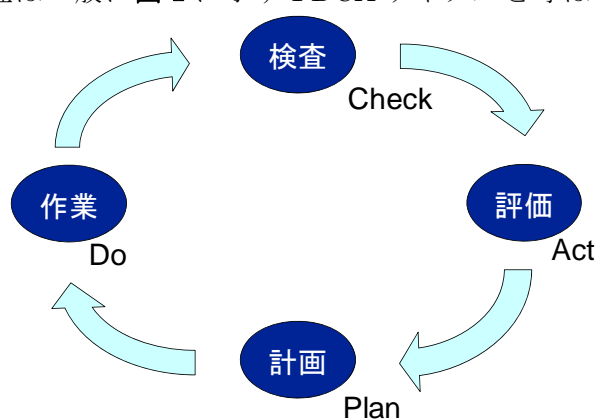


図 1 PDCA サイクル

### 2. 本日の講演内容の位置づけ

#### (1) 検査に関わる技術

「貫入試験による CA モルタル劣化範囲の評価方法」はスラブ軌道を構成する重要な部位であるコンクリート層 (CA モルタル) の検査に関わる技術である。スラブ軌道は敷設から 40 年が経過して，経年に伴う劣化が一部に見られる。一方，スラブ軌道はメンテナンスレスを指向した技術であるため，メンテナンスに関する技術そのものがまだ開発途上である。これに対し本方法は，スラブ軌道の特徴づける CA モルタルの検査・評価方法に関わるものであり，別途開発中の CA モルタル層の補修方法と合わせて，スラブ軌道メンテナンスの標準的方法となることを目指している。

#### (2) 評価に関わる技術

「60kg レール頭頂面の形状変更が走行特性に及ぼす影響」は，60kg レール頭部形状の変更による乗り心地向上を目指す技術である。日本の JIS60kg レールの頭部形状（断面半径 600mm）は，新幹線円錐踏面に対し設計されたものであり，欧州 (EN13674-1) の 60E1 レール (同 300mm) などと比較すると頭部形状が扁平で等価踏面勾配が大きく，レール交換直後に著大な左右動が生じることがある。本テーマは，レール頭部形状と車両走行特性との関係を等価踏面勾配によって評価するものであり，軌道変位とは異なる観点から乗り心地の向上を目指している。

#### (3) 計画に関わる技術

「脱線リスクを考慮した軌道変位保守計画モデル」は，軌道変位保守投入箇所の選定に脱線リスクという新たな指標を導入するものである。一般に，保守投入箇所は軌道変位の最大値やロッ

トP値、標準偏差などを指標として選定されている。これに脱線リスク最小化という概念を導入すると、軌道変位が同程度の場合には小半径・高カントの曲線が優先して保守されることになり、線区全体として走行安全性が高まることが期待される。

#### (4) 作業に関わる技術

「本設利用工事用レール締結装置の開発」は、レール締結装置の設計に関わる内容であり、メンテナンスとは直接関係していない。しかしながら、直結系軌道用レール締結装置の設計において供用後のレール位置調整の作業性は重要な検討項目であり、ここでは作業の一つとして分類する。

「テルミット溶接を用いたレール頭部補修方法」は、レール頭部に発生したシェリング傷を、安価にかつ容易に補修する技術である。ロングレール区間で傷が発生したレールを部分交換する場合、少なくとも2口の溶接が必要であり、またレールを一旦切断するため作業上の制約が大きい。これに対し本技術ではレール切断の必要がなく、またテルミット溶接の有資格者であれば容易に施工が可能であることから、適用性が広い技術であると考えている。

#### (5) PDCA サイクル全般に関わる技術

「分岐器の弾性支持化に対する評価手法」、「個別要素法による普通継目部の道床沈下シミュレーション」は、いずれもバラスト道床を対象とした、沈下の予測および抑制のための技術である。狭い意味では、「計画」における劣化予測の一部であるが、メンテナンス全般に関わる事項であるため、このような分類とした。特に分岐器の軌道沈下についてはこれまで検討が十分に行われていなかったことから、弾性支持化の効果が定量的に明らかになると、保守量の削減に大きく寄与するものと考えている。

### 3. 「評価」に関わる最近の研究開発例 ～盛土内部状態の評価～

盛土と構造物の境界部では、雨水の浸透等により盛土内部に緩み域が生じることがある。これらは路盤陥没等の原因となるため、緩みが想定される箇所に対し橋台前面から盛土内部への穿孔調査を行い、変状が見られた場合には注入等の補修が行われる。一方、この穿孔調査に多くのコストを要するため、調査箇所数は少ないのが望ましい。そこで、軌道検測データを用いて、穿孔調査箇所をスクリーニングする方法を考案した<sup>2)</sup>。

軌道検測データから得られる、10m 弦正矢高低、5m 弦正矢高低、軸箱加速度を比較したところ、盛土内部に変状がある箇所では5m 弦高低変位およびその変化率と盛土内部変状箇所との間に相関が確認された。図2に、

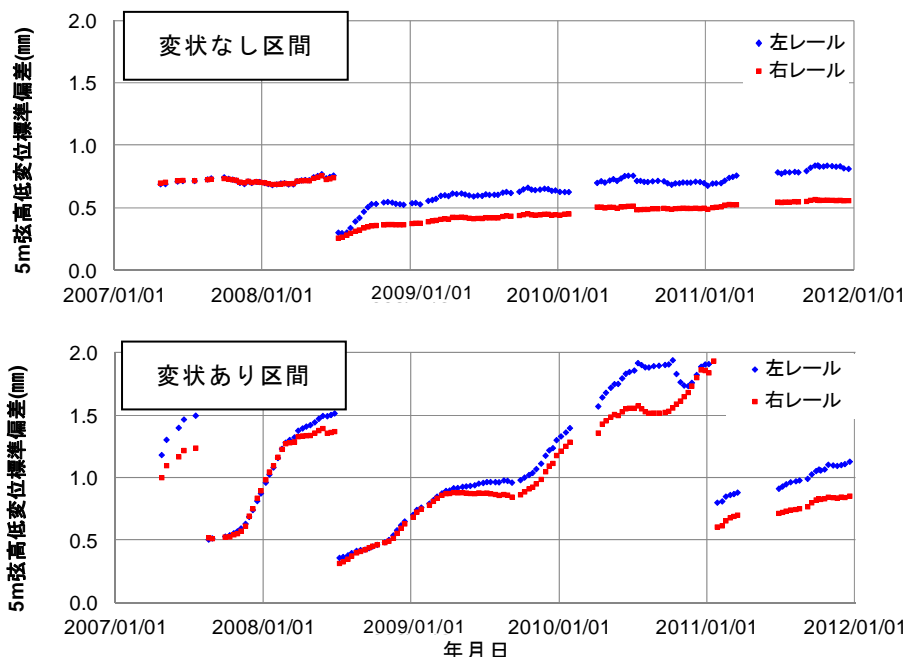


図2 5m 弦高低変位標準偏差の推移

5m 弦高低変位の 25m ロット標準偏差の推移を示す。変状あり区間では、ある時期から標準偏差が急激に増加しているのがわかる。

さらに 5m 弦高低変位の進み量に着目すると、各箇所における盛土内部の変状の有無を精度よく抽出可能であることがわかった(図3)。

本手法により、穿孔調査候補箇所を事前に絞り込むことが可能となり、検査コストを大幅に削減することが可能である。

#### 4. 「作業」に関わる最近の研究開発

##### (1) FWD によるまくらぎ支持剛性の評価<sup>3)</sup>

まくらぎ下のバラスト状態は、直接目視することができない。浮まくらぎのように、車両の応答に現れる程度の欠陥については軸箱加速度を使った検出方法が提案されているが、つき固め直後のまくらぎ支持状態のように、作業の仕上がりを確認する方法としては適当ではない。これに対し、FWD (Falling Weight Deflectometer : 重錘落下たわみ試験装置) を用いて、まくらぎの支持状態を評価する方法を開発した。

図4に示すように、重錘をまくらぎ上に落下させた際の荷重変位曲線は、まくらぎの支持状態によって大きく異なる。そこで、最大荷重を最大変位で割った値を支持剛性と定義し、まくらぎ毎につき固め前後の値を求めたところ、図5のように、つき固め前に浮まくらぎ状態であった区間ではまくらぎ支持剛性が増加し、浮まくらぎが解消した。

この方法によって、バラスト軌道のつき固め作業後の仕上げ状態が確認可能となり、より長持ちするバラスト軌道の実現に寄与すると考えている。

##### (2) スラブ軌道の突起代替構造<sup>4)</sup>

冒頭に述べたように、スラブ軌道は、初期のものは経年が 40 年を超えており一部に経年に伴う劣化が見られている。劣化の形態は様々であるが、ここでは、新しく開発した突起代替構造を紹介する。

スラブ軌道の突起は、軌道スラブの水平変位を拘束する鉄筋コンクリート製の部材である。近

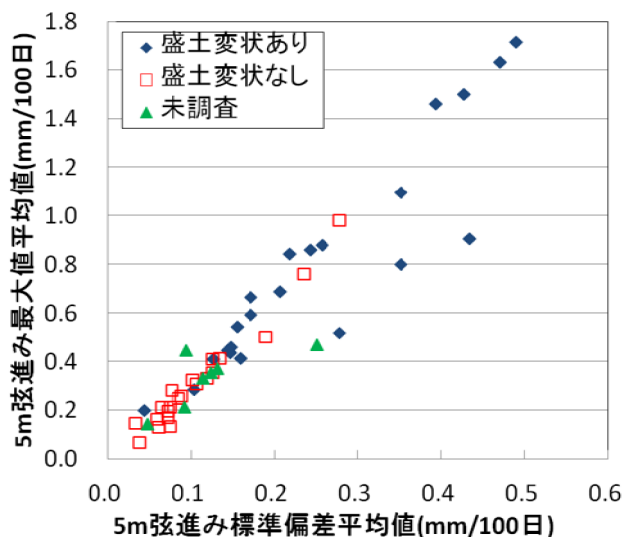


図3 盛土変状の有無と 5m 弦高低変位の進み

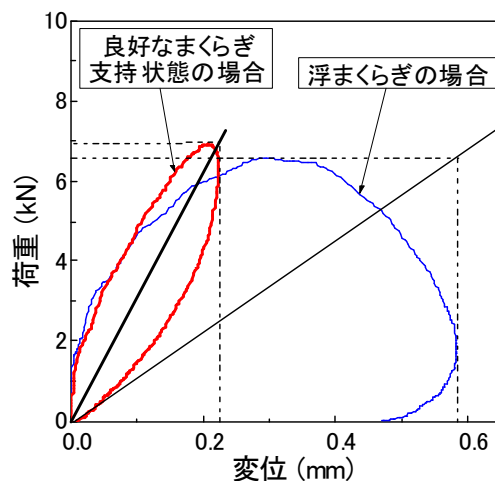


図4 重錘落下時の荷重変位曲線の例

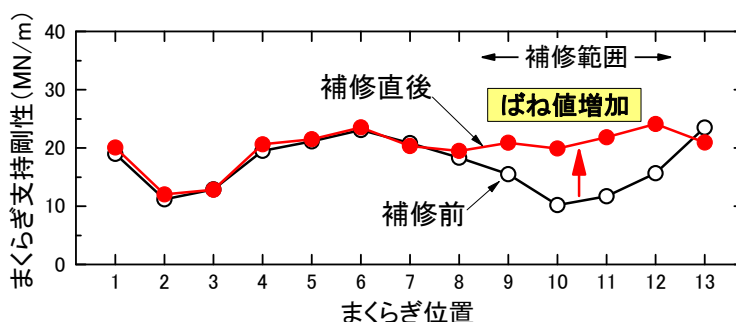


図5 つき固めによるまくらぎ支持剛性の変化

年,一部の区間において内部鉄筋の腐食が要因と考えられる突起の損傷等が報告され,何らかの補修が必要とされている。しかし営業線において,既設突起の大規模な補修や再施工を行うことは困難であることから,同等の機能を有する,後施工タイプの代替装置を開発した。

図6に軌道スラブ水平変位拘束装置の概要を示す。本装置は溶接加工した鋼材を軌道スラブ隅角部に設置し,軌道スラブの水平変位を拘束するものである。敷設に際し本装置と軌道スラブとの間には軌道パッドを挿入し,さらに様々な軌道スラブの敷設状況(路盤・構造物形態,てん充層厚さ等)に対応できるように,短繊維補強モルタルの台座を設置し高さを調整する。さらにこの台座を介して,本装置をセメント系てん充材を用いて固着したアンカーボルトによりコンクリート道床等の下部構造物に固定する。装置本体と下部構造物との間には,接着強度を有する不陸整正材を塗布する。

本装置について実物大模型を用いて載荷試験を行った。図7に水平変位拘束装置に対する45°方向載荷試験の結果のうち載荷荷重と水平変位の関係を示す。試験の結果,設計荷重54.1kNまでの範囲で装置は弾性的な挙動を示した。また設計荷重作用時の変位は最大0.17mmであり,限界値2.0mmに対し十分小さかった。

以上のことから,本装置が拘束装置として十分な性能強度を有していることを確認した。今後実用化にあたって,付着面等の耐久性を確保する予定である。

## 5. おわりに

以上,本稿では本日の講演件名のメンテナンス業務における位置づけ,および評価・保守作業に関する最近の技術開発の例を紹介した。

冒頭に述べたように,軌道に関する技術の多くはなんらかの形でメンテナンスに関係するものであり,開発にあたってはその位置づけを明確にしておくことが,開発成果の評価と円滑な導入のために重要である。鉄道総研では,今後とも軌道保守業務の改善に向けた研究開発を進めていく所存であり,関係各位のご鞭撻をお願いしたい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局:数字でみる鉄道2012年度版
- 2) 矢坂健太,坪川洋友:新幹線の構造物境界部における盛土状態評価手法,日本鉄道施設協会誌,2014.1.
- 3) 伊藤壱記,中村貴久,村本勝己,佐野禎:列車荷重による軌道支持剛性の経時変化に関する基礎的検討,土木学会第68回年次学術講演会,2013.9.
- 4) 藪中嘉彦,高橋貴蔵,長沼光:軌道スラブ水平変位拘束装置の取付構造に関する検討,土木学会第68回年次学術講演会,2013.9.

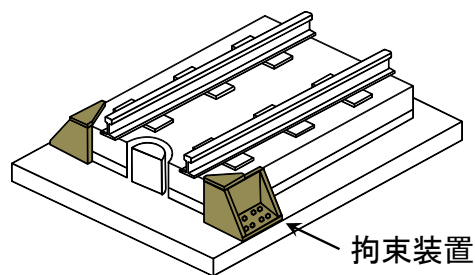


図6 軌道スラブ水平変位拘束装置

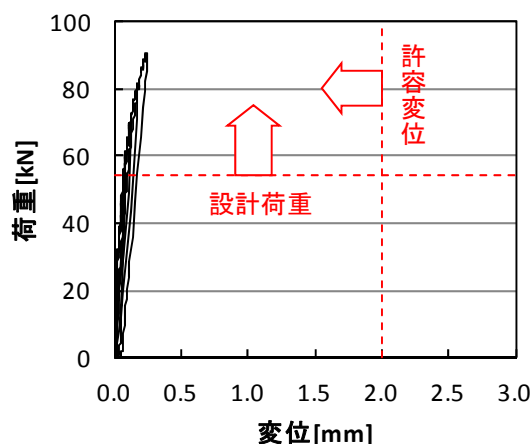


図7 拘束装置への載荷試験結果