

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

持続可能な線路をめざして

高齢化社会の訪れが実感されてきた昨今は、鉄道運輸収入の減少や熟練技術者の不足に備えて、軌道の維持・管理コストの削減と作業の省力化を、安全性を犠牲にすることなく達成することが求められています。また、将来の石油やそのほかの原材料の価格上昇にともなって軌道部材の安定的な入手が困難となる可能性があり、延命化や再利用の技術、および代替材料の開発も進める必要があります。ここでは、これから数十年先も線路が持続可能であるために、鉄道総研が行っている最近の取り組みについて紹介します。



村本 勝己
 Katsumi Muramoto
 軌道技術研究部
 部長
 【専門分野】 地盤工学、
 パラスト軌道、省力化
 軌道

はじめに

すでに高齢化社会に突入しているといっただい日本において、さまざまな分野で持続可能性というキーワードが目立つようになってきました。そもそも、鉄道に関していえば、高度成長期のモータリゼーションの影で持続可能性が危ぶまれ、新幹線を筆頭とする技術革新を取り入れながら乗り越えてき

たという歴史があります。線路を構成する軌道に関しても、たとえば、まくらぎが木製(木まくらぎ)からコンクリート製(PCまくらぎ)になり、レールの固定方法が犬くぎ(図1)から弾性締結装置(図2)になった結果、保守コストの削減と安全性の向上が達成されました。また、軌道検測車(図3)を開発し、軌道の状態に応じてメンテナンスを計画するCBM(状態基準保全、参照)の考え方をいち早く導入するなど、さまざまな技術革新を軌道技術に取り入れることによって、列車密度の増大や高速化に対応してきました。

しかしながら、列車密度の低い地域鉄道や重要度の低い側線、基地線などにおいては、未だに木まくらぎに犬く

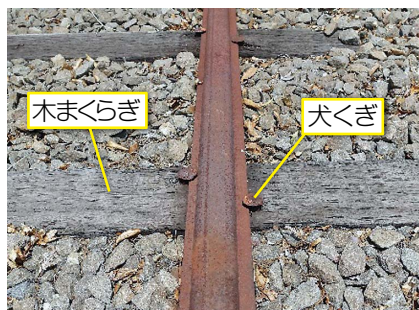


図1 木まくらぎと犬くぎ



図2 弾性締結装置(5N型)

CBM (状態基準保全, Condition Based Maintenance)

機器などの状態(損耗度など)に応じて、必要なときにメンテナンスを行う保全方法。定期的にメンテナンスを行うTBM(時間基準保全, Time Based Maintenance)に比べて、一般に経済的なメンテナンスが可能となりますが、機器などの状態を簡易かつ正確に把握する必要があります。



図3 4000形軌道検測車(鴨宮モデル線)



図4 慣性正矢軌道検測装置

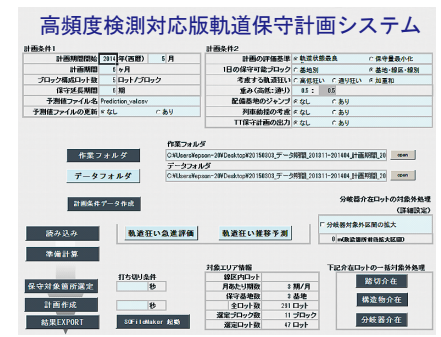


図5 軌道保守計画システム



図6 高頻度軌道検測データを用いた軌道変位の進展予測の例

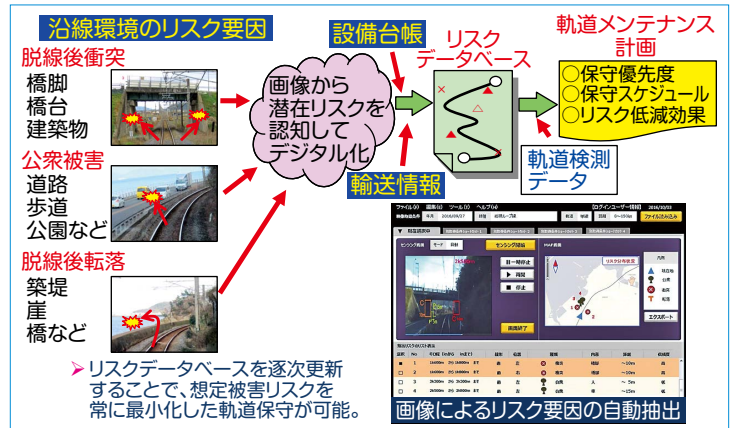


図7 リスクベースメンテナンスの概要

ぎのままという軌道も少なくありません。このような線区では劣化した部材の更新費用が十分でなく、メンテナンス要員も不足しがちで、持続可能性が著しく低下しつつあります。そこで、ここでは、今後の軌道の持続可能性について考察するとともに、最近の取り組みについて紹介します。

軌道の持続可能性について

近年の軌道の持続可能性といえは地域鉄道などの問題ととらえられがちですが、これは地域鉄道などで問題が早期に顕在化しているだけで、どのような線区であっても問題の本質は変わらないと考えられます。近年の軌道の持続可能性の問題はすべてコストの問題に帰着し、要因は、

- 人口減少と少子高齢化
- 将来の原油価格の上昇

の2点に集約されます。そして、これらから以下のリスクが想定されます。

- ① 運賃収入減少にともなって、軌道の維持・管理費が減少する
- ② 熟練保線技術者が不足し、人件費単価が上昇する

③ 合成樹脂部品、コンクリート製品、金属製品、バラスト砕石など、軌道を構成する部材の価格が上昇する
以下、これらのリスクを低減するために、現在進めている取り組みの基本戦略について、事例を交えて解説します。

検査の省力化と高度化

線状構造物である軌道の検査を人の手によって行うのは多くの労力を必要とすることから、維持・管理コスト削減と労働力減少の対策としては、検査の省力化が最優先課題であるといえます。一方で、安全性に対する社会の要求レベルが下がることはありません。そこで、ICTやAIなどの技術の活用や新たな検査技術によって、検査を省力化すると同時に高度化による安全性の向上を目指す研究開発を進めています。ここでは、例として、軌道検測(軌道線形の検査)の高度化に向けた技術開発を紹介します。

すでに鉄道事業者で使用されている慣性正矢軌道検測装置(図4)は、コン

パクトでありながら専用の軌道検測車と同等の軌道検測能力を有しています。これを営業列車に搭載することで、従来は3ヶ月~1年に1回程度であった在来線の軌道検測が、高頻度(数日ごとから毎日、究極的には毎列車ごと)に可能となります。さらに、この高頻度検測によって得られる大量の検測データを高速で処理し、最適な軌道保守計画を自動的に策定するシステム(図5)を開発しました。本システムによって、軌道検測と保守計画策定が省力化されるだけでなく、軌道変位の進展予測(図6)に基づいて、安全性と経済性のバランスが取れた軌道保守が可能となります。

安全性と経済性のさらなる向上への取り組みとして、軌道のリスクベースメンテナンス手法(図7)の開発を進めています。これは、軌道保守作業の優先度を軌道の状態だけでなく、事故が起こった際の被害拡大要因を加味した事故リスクによって決定するという考え方です。すなわち、同一の軌道状態



図8 低コスト動的軌間・平面性測定装置

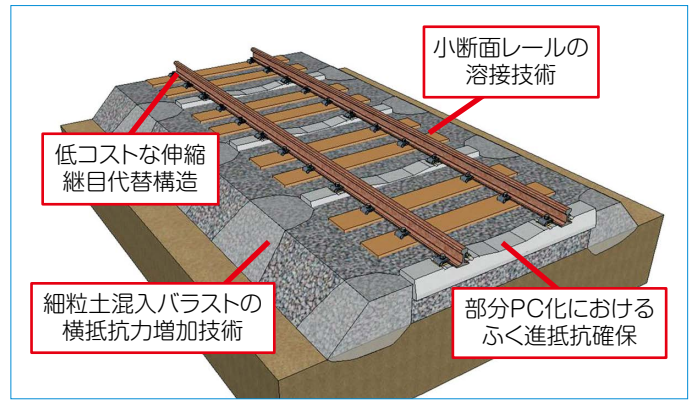


図9 低コストロングレール軌道の開発コンセプト

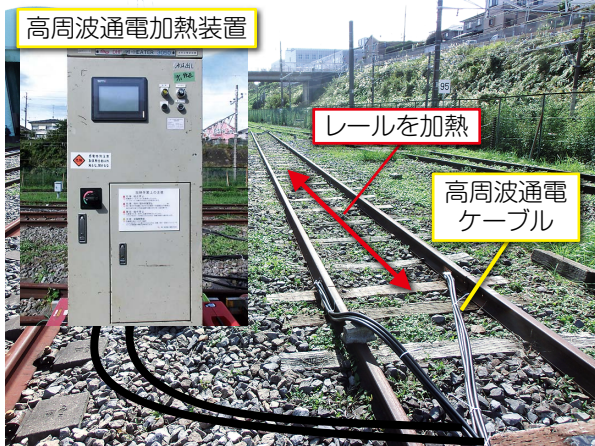


図10 試験軌道におけるレールの加熱実験

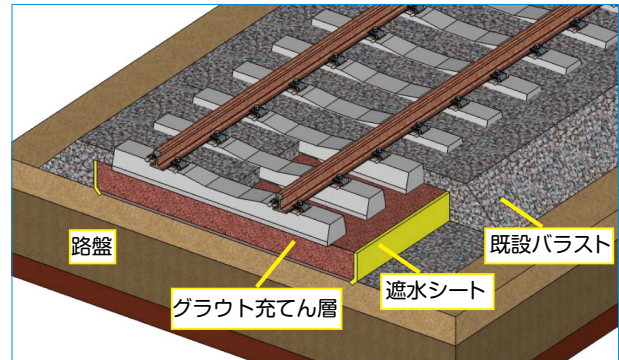


図11 SFCてん充道床軌道の概念図

であっても、脱線事故が発生した場合に、より大きな被害が発生する箇所の方が保守の優先度が高くなります。本手法を実用化するに当たって重要なのが線区のリスクデータベースの構築で、設備や輸送情報は既存のデータを活用できますが、沿線の被害拡大要因を何らかの方法で定量化する必要があります。現在、列車の先頭で取得した画像情報から沿線の被害拡大要因について、AIを活用した画像認識技術によって自動で抽出するシステムの構築を進めています。リスクベースメンテナンスが実現すると、安全性をコストとして定量化した高度なメンテナンス計画を立てることが可能となります。

また、現在、軌道検測車を保有していない地域鉄道事業者や、軌道検測車を回送するのが困難な側線や基地線の安全性向上に向けて、保守用車などに取り付けて低コストで軌道検測車と等価な検測が可能な測定装置(図8)の開発も進めています。

作業の省力化と脱技能化

検査が省力化されても、保守作業に多くの人手を割いているようでは、労働力減少に対応できません。これに対しては、軌道の部材や構造をライフサイクルコストに優れたものに転換し、作業の省力化を図っていく必要があります。また、高度な作業は機械化・自動化して、脱技能化を図り、熟練技術者の不足に備える必要もあります。ここでは、一例として、軌道保守作業の低減に向けた、低コストなロングレール軌道の開発を紹介します。

一般に、バラスト軌道の保守コストの約半分は軌道整正とバラストのむら直し作業になります。とくに、地域鉄道や閑散線区においては、そのほとんどがレール継目部の保守に集中しています。したがって、ロングレール化してレール継目をなくしてしまえば、地域鉄道や閑散線区の軌道保守作業を大きく低減できると考えられます。しかし、一般に、ロングレール軌道を成立

させるためには、

- PCまくらぎ化
- 50kgNレール以上のレール
- バラスト交換
- 端部への伸縮継目の導入

といった、高規格の軌道構造の導入が前提とされており、地域鉄道や閑散線区への適用は困難でした。そこで、鉄道総研では、ロングレール軌道の成立条件を抜本から見直して、低コストなロングレール軌道を実現するための研究開発を進めています。現在、個々の要素技術(図9)についてはおおむね目処が立ちつつあり、試験軌道の加熱実験(図10)などにより実証を進めています。

このほか、作業の省力化と脱技能化に向けては、経年したバラストをそのまま使用可能な低コストな既設線用省力化軌道(SFCてん充道床軌道、図11)やレールガス圧接技術の脱技能化技術など、さまざまな技術開発を進めています。

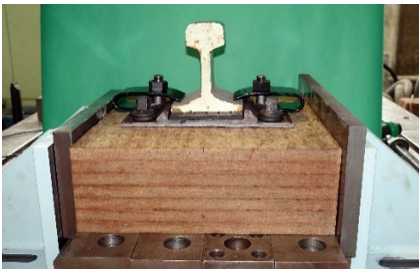


図12 バイオマスまくらぎ試験体

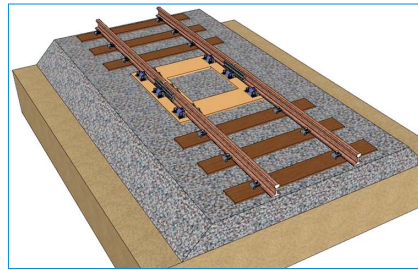


図13 低コストレール継目用枠型まくらぎの概念図



図14 防雪を目的とした鉄道林

材料のコスト低減と安定供給

検査や作業のコスト低減が実現しても、軌道の補修用の資材が高騰したり、入手不能になってしまうと軌道のメンテナンスそのものが困難となってしまいます。たとえば、石油の価格変動は石油化学製品のみならず、鉄やコンクリートなど、あらゆる資材の価格に影響しますが、石油は有限な資源である以上、長期的には価格上昇は避けられないと考えられます。また、バラスト軌道に使用される鉄道用バラスト碎石についても、国内の碎石事業者の減少ともなっており、長期的には安定供給が難しくなる可能性があります。鉄道総研では、材料の延命化技術や再生可能材料の導入によって、軌道材料のライフサイクルコスト低減と安定供給を目指した研究開発を行っています。ここでは、例として、木材チップなどのバイオマスから高品質なまくらぎを作製する技術開発について紹介します。

現在、日本で入手できる木まくらぎはほとんどが輸入材です。実は、近年の木まくらぎの価格はPCまくらぎより高価で、木まくらぎの代替品として開発された合成まくらぎ(ガラス繊維で強化されたプラスチック製まくらぎ)はさらに高価です。木まくらぎは劣化しやすいため、多くの線区でPCまくらぎへの交換が進められていますが、PCまくらぎは重いため、施工性に問題があります。また、分岐器区間や鋼橋上など、これまで木まくらぎが前提とされていた箇所は合成まくらぎへと交換されていますが、価格が高いため、一般区間へはほとんど適用されていませ

ん。PCまくらぎと合成まくらぎの価格は現時点でほぼ底値といってよいため、原油やそのほかの材料費の高騰にもなっており、価格が上昇する可能性があります。一方で、仮に価格が下がったとしても、耐久性に難がある木まくらぎを積極的に推奨することはできません。そこで、まくらぎの長期的な安定供給に向けて、低コストで耐久性の高い、新しいまくらぎの開発に着手しました。

日本国内で長期的に安定して入手できる材料としては、やはり森林資源が最も有力です。まくらぎに使用できる高品質な木材を国内で安く調達することは困難ですが、一方で木材としての価値が低い間伐材の多くが有効活用されことなく廃棄されています。そこで、低品質の木材から高品質なまくらぎを生成するための基礎的検討を行いました。具体的には、木材をチップ状にして樹脂を含浸させ、圧縮整形することでソリッドな部材に再構成します(図12)。特徴としては、

- 強度を必要とする方向にチップの方向をそろえること(配向配置)によって、高い曲げ強度を発現
- 含浸させる樹脂もバイオマス(サトウキビの搾りかす)由来の材料として石油化学製品の使用を極力削減
- 防腐剤不使用でも、通常の木まくらぎより圧倒的に腐朽しにくいといった点にあります。技術的にはおむね目処が立っていますが、量産化に向けては、原料となる木材を安定的かつ安価に入手する手段が課題となり

ます。当面は、低コストな継目用枠型まくらぎ(図13)などの高付加価値製品を実用化して実績を重ねることを目標としています。将来的には、防雪などを目的とした鉄道林(図14)の間伐材を活用することで、鉄道林の保全と安価で高性能なまくらぎの安定供給サイクルが実現できればと考えています。

そのほか、材料の延命化やリサイクルについては、経年した細粒土混入バラストの機能を改善する技術開発、レールや締結装置の防食技術などの研究開発などを進めています。

おわりに

持続可能な線路の実現には、

- 線路を維持・管理する費用がある
- 線路を維持・管理できる人がいる
- 線路の維持・管理に必要な資材と手段がある

ことが必要で、これらは、すべてコストの問題に帰着します。ただし、これは線路を維持・管理する鉄道事業者側の都合であり、線路が持続可能である大前提は、

- 線路を利用するお客様がいる

ことであることはいうまでもありません。鉄道総研では、安全性と低コスト化の両立を進めると同時に、お客様の利便性や環境との調和も忘れることなく、線路の持続可能性に資する技術開発を進めてまいります。

なお、「低コストロングレール軌道に関する研究開発」は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。[RRR]