

B1

透過音によるバラストの劣化状態評価方法

バラスト内を透過する音の大きさから、バラストの劣化状態を定量的に評価する透過音試験法を開発しました。

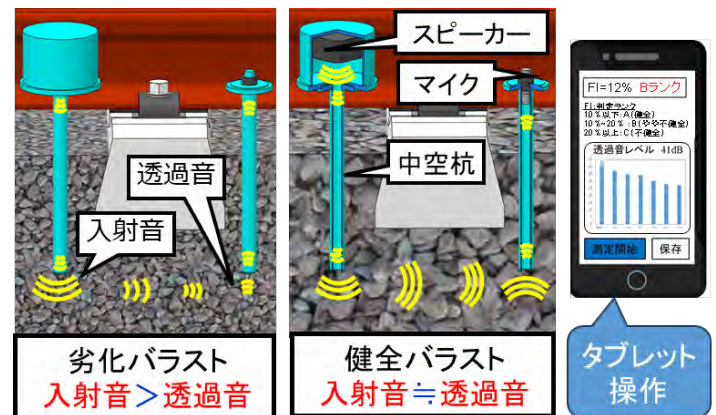
研究の背景と目的

- バラストの劣化状態に応じて道床交換の優先度を判定するために、従来の目視検査によらない、定量的な検査方法が求められていました。
- バラストを掘削せずに、5～10分/箇所でバラストの劣化状態を判定できるため、検査の省人化を図り、判定結果のばらつきを抑えることができます。

研究成果

- まくらぎの両脇に2本の中空杭を打ち込み、片側よりホワイトノイズを入射し、もう片側で透過した音を測定します。タブレットの操作で測定・収録・分析を行うことができます。
- バラストの劣化状態と透過音特性の関係を明らかにしたことで、バラストの透過音測定から劣化状態を定量的に評価できることを確認しました。
- バラストの劣化の判定値を定め、本試験結果に基づく、道床交換の必要性の判定フローを提案しました。

透過音レベルとバラスト状態の関係



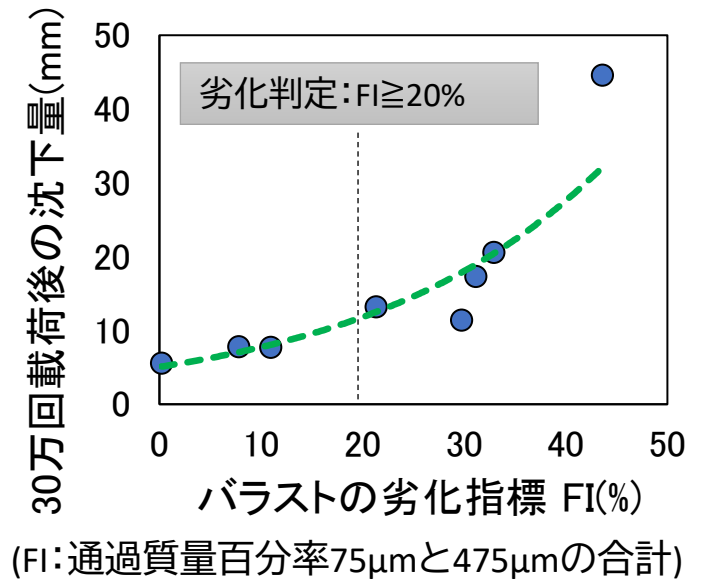
今後の展開

- 透過音試験装置を製品化しており、劣化したバラスト区間の保守量低減に活用していただけるように、技術支援を実施しています。

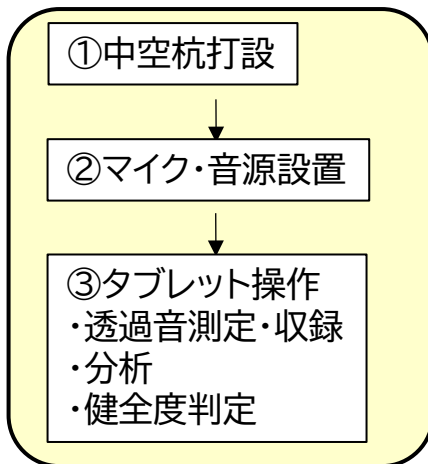
保守頻度の高い区間の バラスト劣化状態の例



バラストの劣化指数FIと沈下量の関係



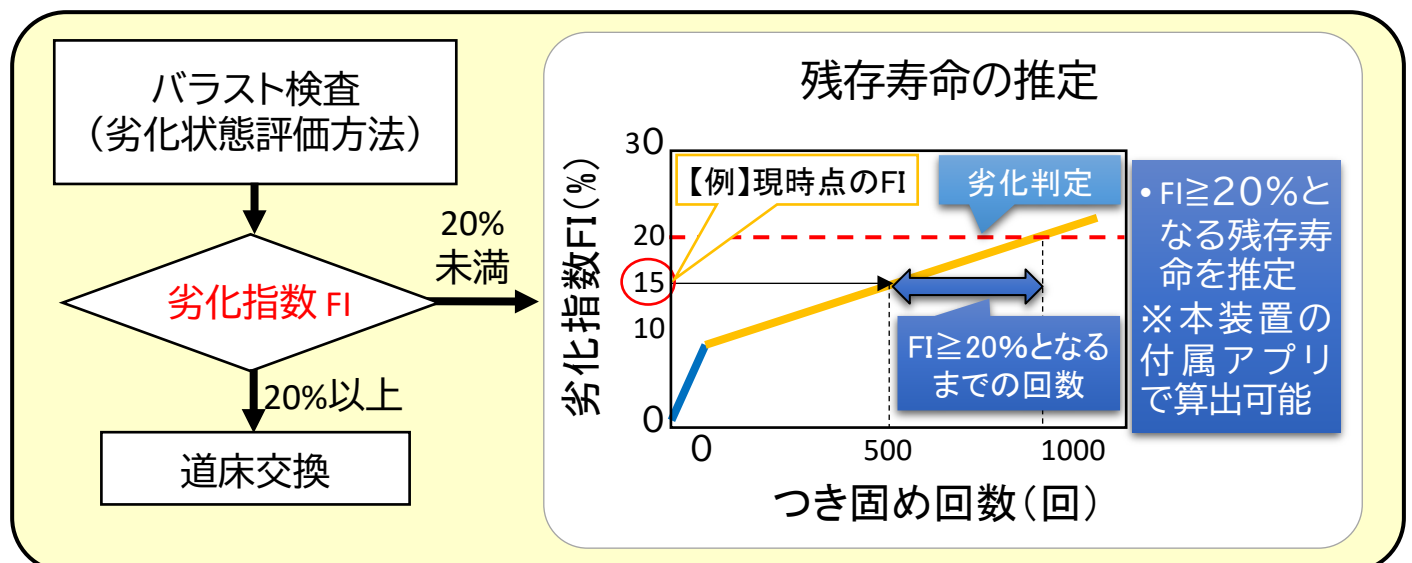
透過音試験装置を用いた バラスト状態の検査手順



透過音試験装置を用いたバラスト状態の検査状況



道床交換判定フロー



B2

劣化したバラスト軌道に適用可能な SFCてん充道床軌道

SFCてん充道床軌道は、グラウト材に超微粒子セメント(SFC)ミルクを用いた既設線省力化軌道です。

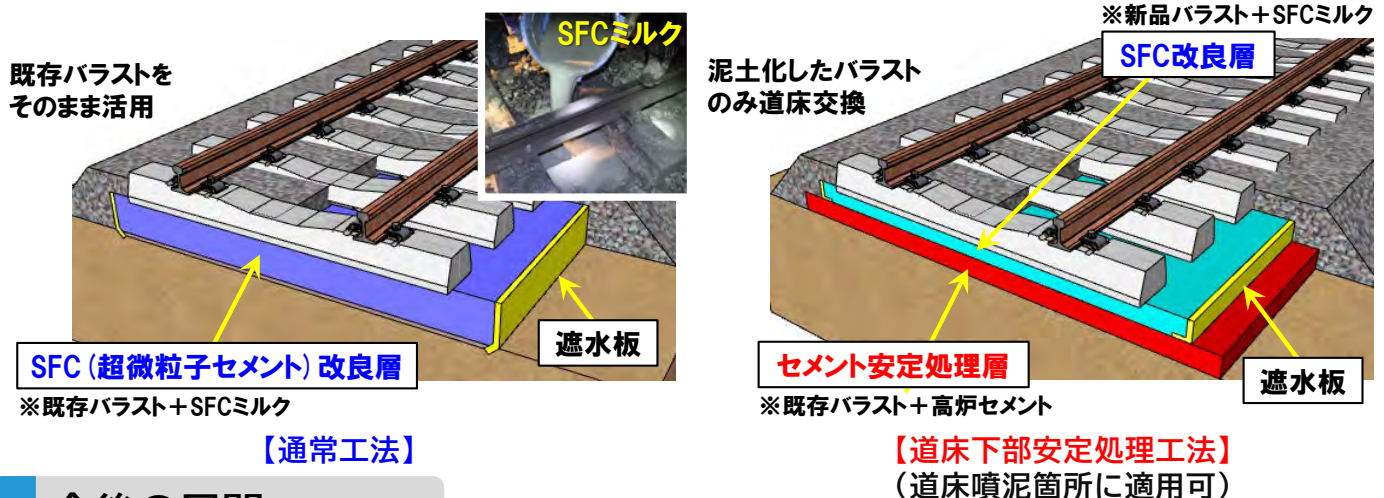
研究の背景と目的

- 主に地域鉄道を対象として、既存の軌道部材を活用することにより、低コストでバラスト軌道を省力化軌道に改良することを目的としています。

研究成果

- 既存のまくらぎ(レール締結装置含む)およびバラストを活用するため、事前の道床交換が不要です。道床肩部と施工境界面に遮水板を設置し、道床内にSFCミルクを注入します。
- 施工後にまくらぎ交換や通り変位の整正を比較的容易に行うことができます。
- バラストの劣化指数FIが20%未満の場合は「通常工法」、FIが20%以上の場合は「道床下部安定処理工法」(一部、細粒化・泥土化したバラストを交換)を適用します。
- 道床交換工事と概ね同等の施工費で省力化軌道に改良することができます。

SFCてん充道床軌道の概要(工法別)



今後の展開

- 鉄道技術推進センターHP に「SFCてん充道床軌道の施工マニュアル」を公開しています。

使用材料



(a) SFフィラー



(b) 硬化材

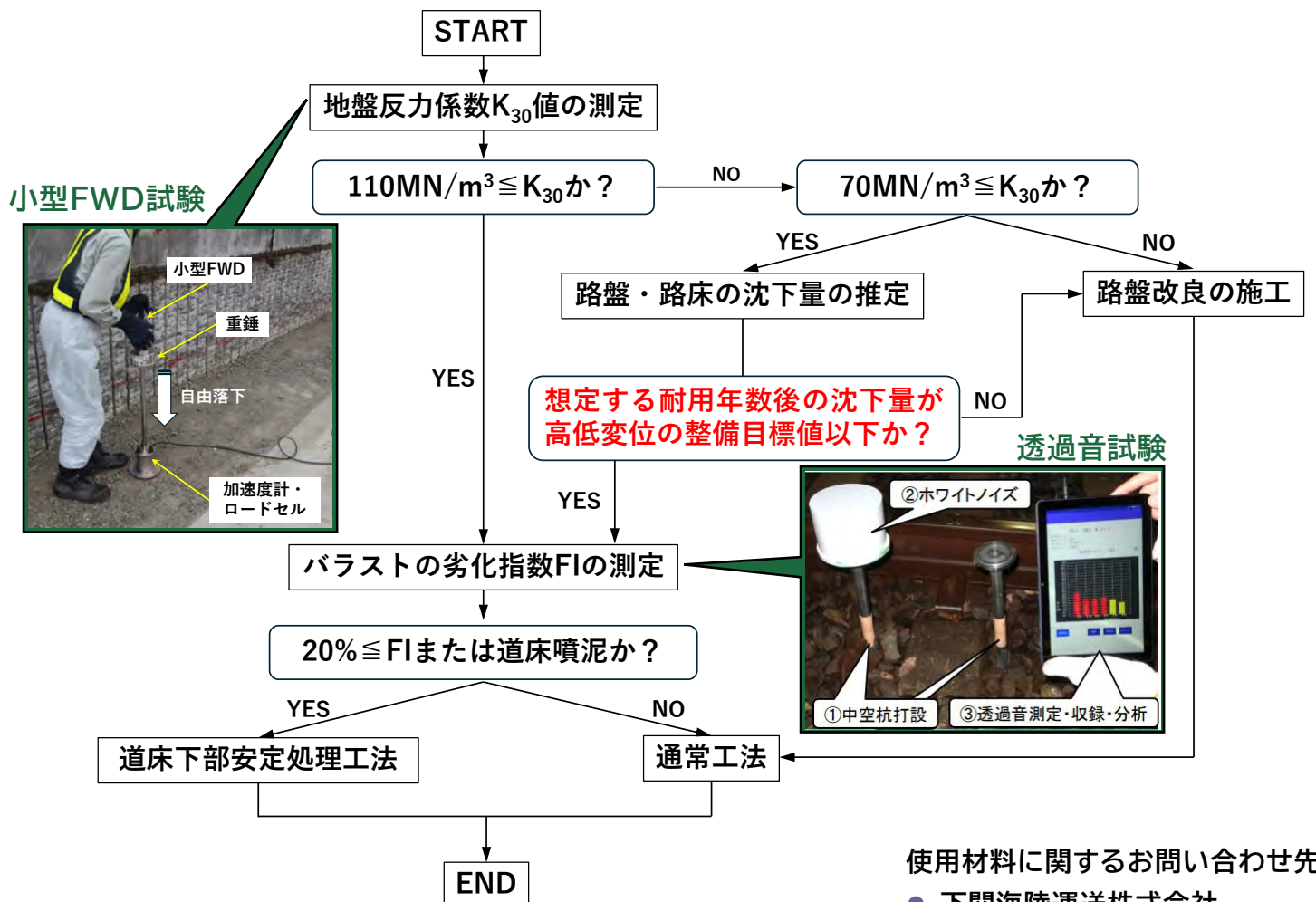


(c) 分散剤



(d) 遅延剤

SFCてん充道床軌道の適用フロー



使用材料に関するお問い合わせ先

- 下関海陸運送株式会社
東京営業所
(03-5763-5040)

※ 特開2017-133252 てん充道床軌道の施工方法
 ※ 特開2022-169909 てん充道床軌道の施工方法及びてん充道床軌道

軌道管理を支援する LABOCS・LABOCS-MATE

軌道分野に特化したデジタル信号処理ソフトウェアです。線路に沿って測定された、軌道変位、列車動揺などの波形データの処理・分析・可視化を行い、軌道管理業務を支援します。

研究の背景と目的

- 膨大な軌道変位、列車動揺などのデータをメンテナンスに活用するためには、データとキロ程の正確な位置合わせが重要です。
- スマートフォンを含め、多様化したセンシング技術のデータを同じキロ程軸に統合し、横断的に活用することで、軌道メンテナンスの高度化が期待されています。

研究成果

- データとキロ程の位置合わせは「重キロ」「断キロ」に対応しています。
- 従来と比較して高精度な位置合わせを行うために、波形同士のパターンマッチングによる「相互相関法」が利用できます。
- 正矢法の測定波形から、元のレール面形状に近い「復元波形」が計算できます。
- 2025年7月に、最新版のVer.4.3をリリースしました。
- Ver.4.3ではデータ活用の幅を広げるため、異なる測定系のデータを横断的に分析するための分析・集計機能を強化しました。

LABOCSの概要

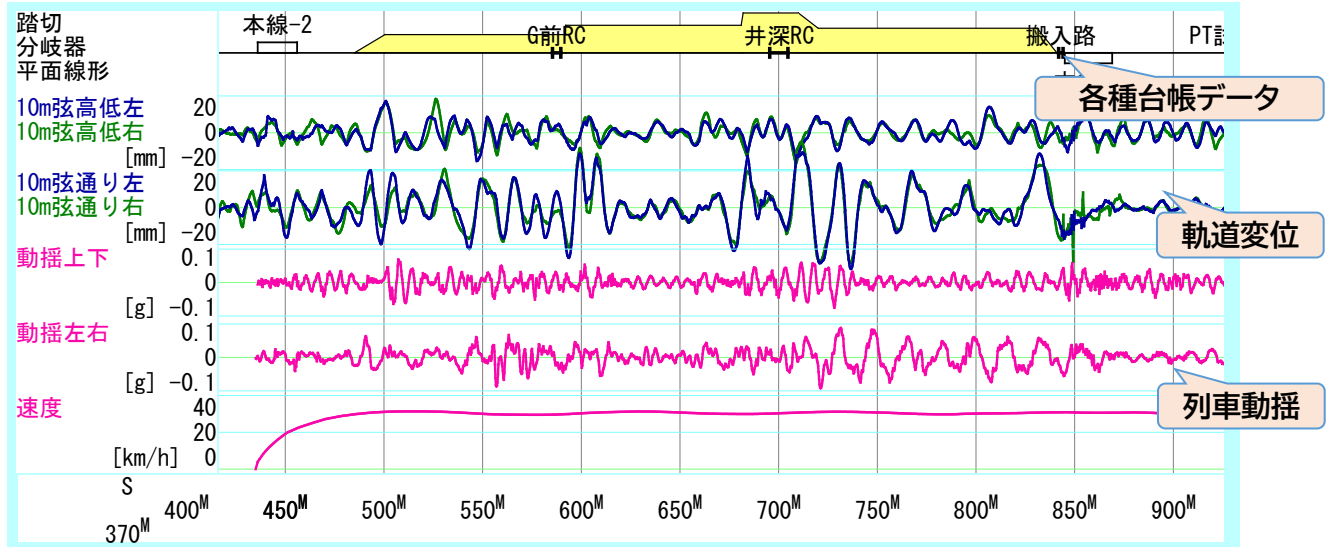


今後の展開

- 鉄道総研における研究開発の成果を反映した新機能を、今後も追加していきます。
- 鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)に定める軌道変位検査・列車動揺検査に必要な機能をシンプルにまとめた保線管理システム「LABOCS-MATE」も展開しています。

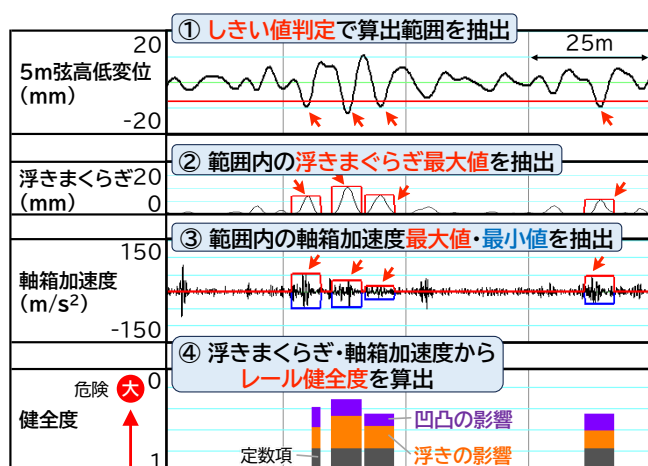
LABOCSチャートの描画例

軌道変位や列車動揺等の測定データと共に線路諸元等の台帳データを表示可能です。

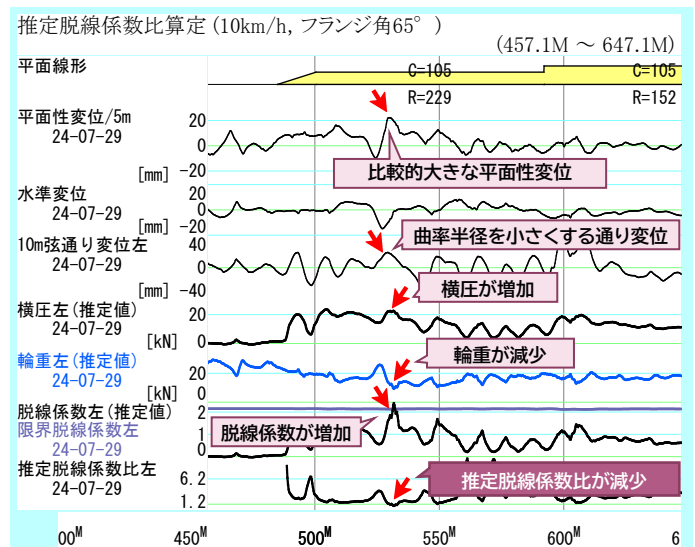


LABOCS Ver.4.3で追加した新機能の例

「軌道変位」と「軸箱加速度」の横断分析によるレール健全度の算出例

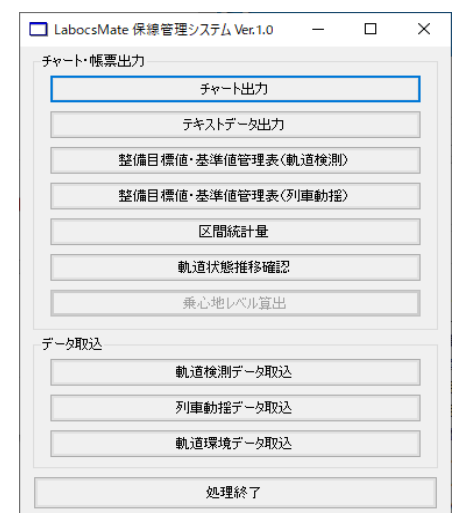


軌道検測データを入力とした推定脱線係数比の算出例



保線管理システム「LABOCS-MATE」

- 各種軌道検測車／軌道検測装置・列車動揺測定装置のデータをLABOCSで処理して、検査帳票を作成します。
- データ処理に必要な最小限のLABOCS処理機能に、LABOCS-MATE専用の帳票作成機能と、操作画面を追加したパッケージソフトです。
- 帳票出力は各社様式にカスタマイズ対応可能です。
- オプション機能として、20m弦正矢や乗り心地レベルの算出機能なども追加可能です。



携帯情報端末を活用した 列車巡視支援アプリ(Train Patroller)

スマートフォン等の携帯情報端末を用いた、低コストに導入可能な列車巡視支援方法です。携帯情報端末を用いて列車前頭で列車動揺と前方画像を取得し、列車巡視をデジタル化します。

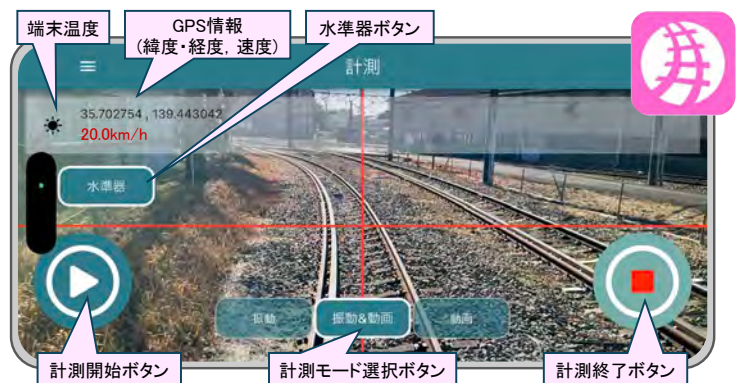
研究の背景と目的

- 係員が定期的に営業車等に添乗し、列車巡視として線路の保守状態や沿線環境の変化など線路全般の状態を確認していますが、人的負担が大きく、また熟練者の減少によって線路状態の判断に個人差が生じています。
- 列車巡視をデジタル化することで、係員の熟練度によらない線路状態の判断を実現するとともに、過去の線路状態との比較を可能とするなど、列車巡視を高度化することで、徒歩巡視の省人化を目指します。

研究成果

- スマートフォンの各種センサを活用することで、列車速度・列車動揺・前方画像などの同期計測を可能としました。
- 軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」の新機能を用いて、前方動画に対し誤差数m程度の精度でキ口程を付与するとともに、字幕情報として列車動揺の値等を表示し、机上での線路状態の確認を可能としました。

Train Patroller(アプリ)の計測画面・項目



センサ	計測項目	計測モード			サンプリング など
		振動	振動&動画	動画	
GPS レシーバ	移動速度	○	○	○	1Hz
	緯度・経度	○	○	○	
3軸モーション センサ	3軸加速度	○	○	—	100Hz
	3軸角速度	○	○	—	
カメラ	動画	—	○	○	最高4K, 60fps
マイク	音声	○	○	○	44.1kHz

今後の展開

- 地域鉄道への導入を促進するために、LABOCSを直接使用しないデータ分析用のWebサーバシステムの開発も進めています。

※ 本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しています。

※ 本研究の一部は、東京大学との共同研究の成果を反映しています。

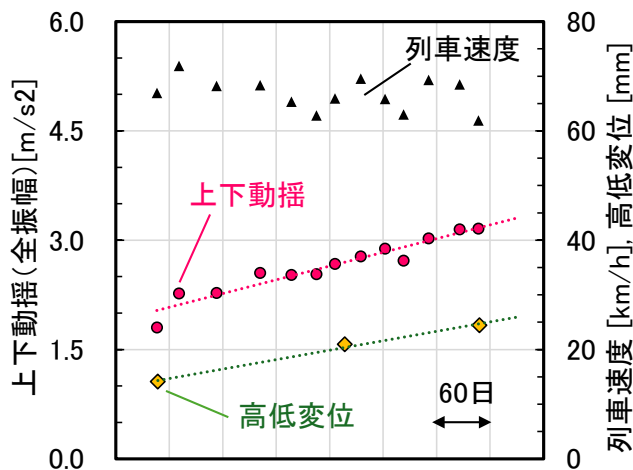
スマートフォンの営業車両への設置方法・加速度の補正

- 吸盤治具を使用することで、運転台前頭のフロントガラス面に、3分程度で設置・計測開始が可能です。また、任意の画角の前方画像を取得可能です。
- スマートフォンを傾斜設置することで、加速度の観測軸が鉛直方向からずれますが、3軸加速度センサを搭載しているので、鉛直加速度への補正が可能です。
- 台車直上に設置した場合との加速度の差については、別途同時計測を行うことで、キャリブレーションできます。



上下動揺の推移の例

- 列車巡視時に、高頻度に列車動揺を計測することで、軌道状態の推移を把握することが可能です。



着目箇所の前方画像の例

- 着目箇所の前方画像を確認することで、列車動揺の発生原因の確認や軌道整備方法の検討などが可能です。



Train Patroller のデータ分析・閲覧用のWebサーバシステム

- Webサーバシステムでは、計測経路の地図情報、着目箇所のキロ程・列車動揺値・列車速度などの数値情報、さらにはその箇所の前方画像を一元的に確認することが可能です。
- これによって、机上での線路状態の確認を目指します。



軌道保守計画策定支援システム「ROOPSYS-TM」とその活用

軌道状態の診断結果をもとに、効率的な軌道の保守計画策定を支援する各種システムを開発しています。線区特性の定量評価や中長期的な施策検討により、保守業務の最適化にも貢献します。

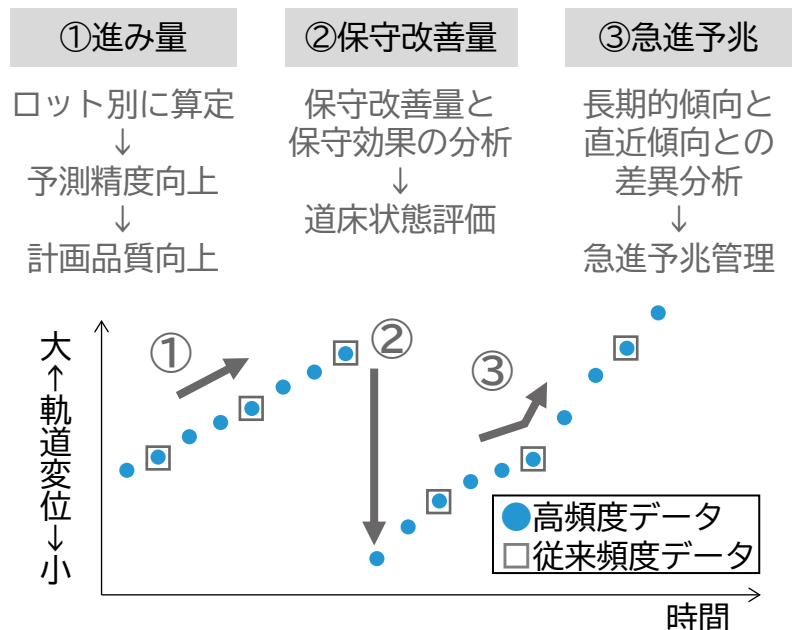
研究の背景と目的

- 持続可能な鉄道事業のためにはより少ない保守量によって品質の高い軌道を維持する、効率的な保守計画が必要とされています。
- 軌道変位の履歴データ等に基づいて、軌道や材料状態を診断し、保守計画策定を支援する、軌道保守計画策定支援システム「ROOPSYS-TM」を開発している。

研究成果

- データ等に基づいて、MTTやレール削正車などの保守用車の運用計画やPCまくらぎ化などの工事計画の策定を支援します。
- 軌道状態の診断は、近年導入が進む営業車による高頻度な軌道検測データを用いることで、より精度が向上します。
- 本システムの活用により、履歴データ等に基づいて、線区の特長や保守効率性を定量的に評価する手法を構築しました。
- さらに、これらシステムの機能を活用して、中長期的な保守計画の施策を評価するシステムを構築しました。

検測頻度による軌道状態の診断例

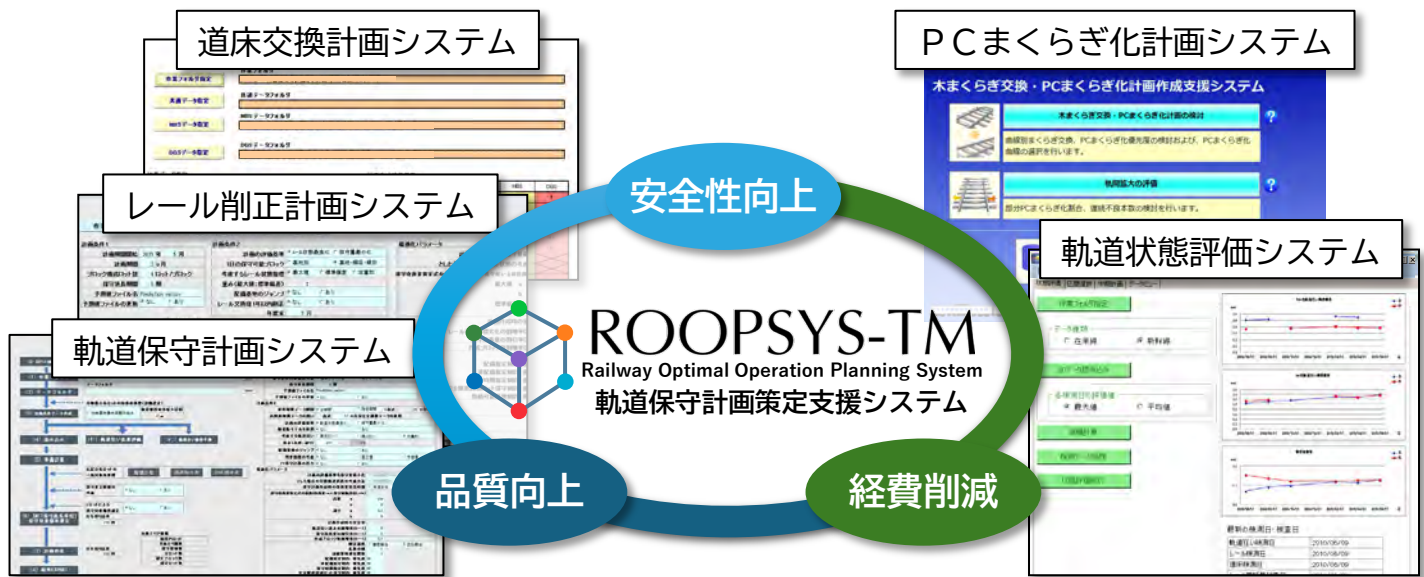


今後の展開

- 保守量の最適配分手法の開発などを検討を進めていく予定です。
- ※ 本研究の一部は、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。

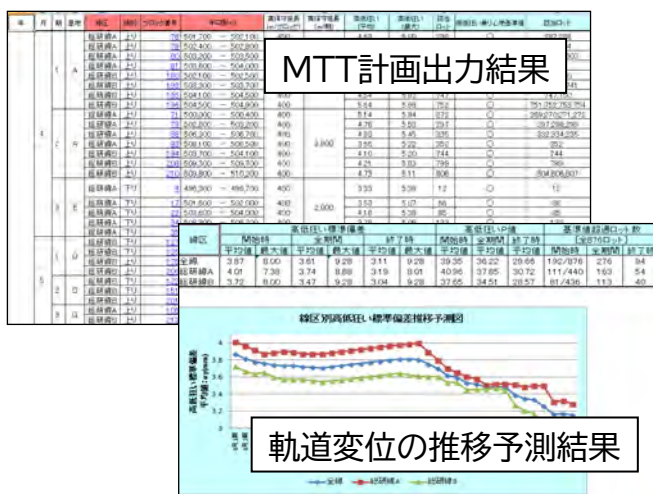
軌道保守計画策定支援システム「ROOPSYS-TM」

軌道保守計画策定支援システム「ROOPSYS-TM」は、軌道状態の診断と、その診断に基づいた保守計画策定を支援するシステムの総称です。



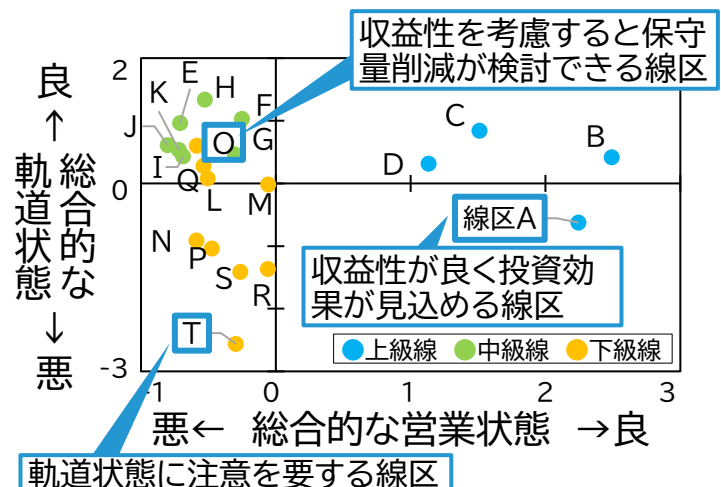
軌道保守計画システム出力結果

MTT計画の策定と、軌道変位推移や保守改善効果の評価ができます



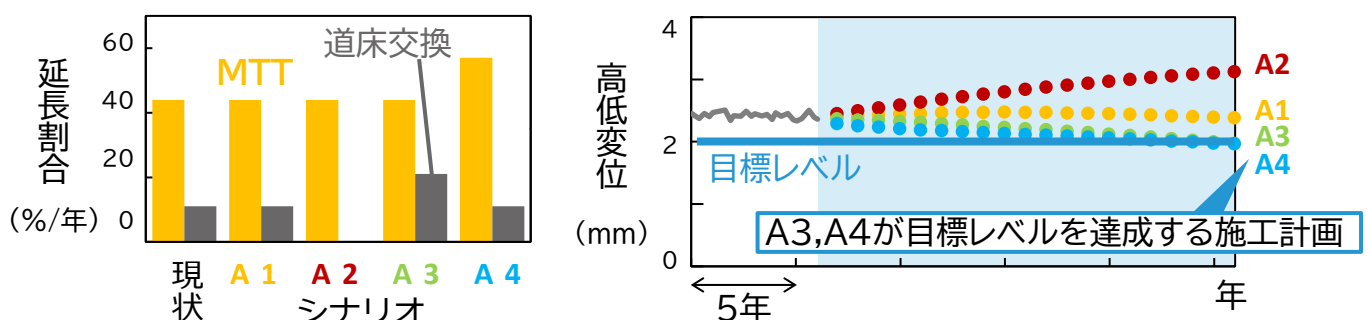
主成分分析による線区特性の定量評価

データに基づいて、線区の特徴や施策を定量的に評価することができます。



中長期的な保守計画の施策評価システム

道床修繕などによる軌道改良効果(軌道変位進みの抑制効果)を考慮して、中長期の軌道変位を予測します。これにより、中長期的な軌道保守・改良計画および目標管理レベルを分析することが可能です。



軌道部材状態評価システム

営業列車等の前頭より撮影した画像から、木まくらぎの劣化度判定、レール締結装置の脱落の検知、噴泥発生箇所の検出などの、軌道部材の状態評価を自動で行います。

研究の背景と目的

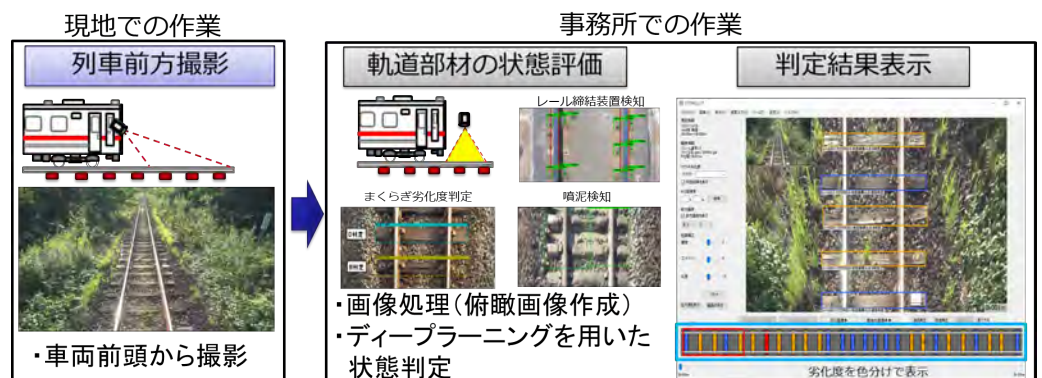
- 軌道部材検査については、目視や計測器を用いる方法を基本とするため、多くの労力と時間を要しており、効率化や省力化が求められています。
- 市販のビデオカメラなど(4K解像度以上)を用いて営業列車等の前頭より撮影した画像(列車前方画像)から、軌道部材の状態を自動で評価する低コストなシステムの開発を進めています。

研究成果

- 列車前方画像に射影変換処理を適用して真上からの視点の画像(俯瞰画像)に変換し、画像処理とディープラーニングを用いる独自のアルゴリズムを適用して、木まくらぎの劣化度判定、レール締結装置の脱落の検知、噴泥発生箇所の検出と位置(キロ程)の付与を自動で行います。
- 木まくらぎの劣化度については、4段階の判定標準に従って分類されます。

軌道部材状態評価システムの概要

- システムによる劣化度判定などの結果は、専用のビューアにより画像とともに確認することができ、表形式の検査台帳として出力できます。

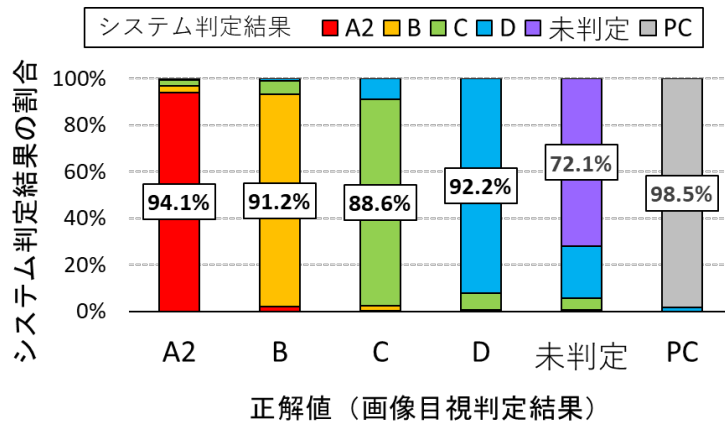


今後の展開

- 複数の鉄道事業者で試用されており、今年度内に販売を開始する予定です。
- 他の軌道部材についても、状態評価手法の開発を進めていきます。

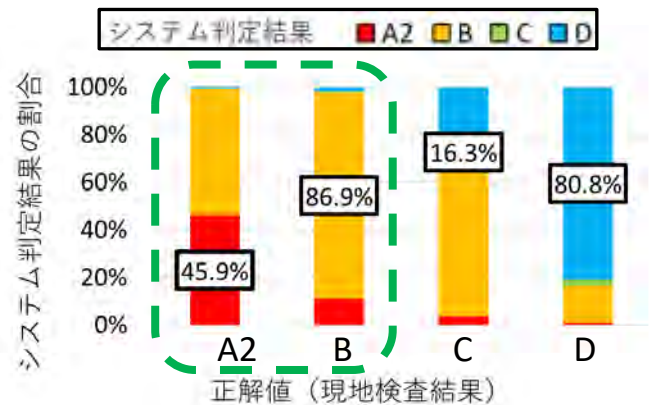
木まくらぎ劣化度の判定精度

① 画像判定結果との比較



保線技術者が画像を見て判定した結果と90%以上一致

② 現地検査結果との比較



不良なまくらぎ(A2・Bランク)の判定率は98.8%

木まくらぎ劣化度判定の結果表示・出力

ビューアによる判定結果の確認



まくらぎ1本毎に劣化度に応じた色分けをして表示されるため、劣化の程度や劣化したまくらぎが連続している箇所を容易に把握できる

まくらぎ管理台帳

No.	レール番号	キロ程	延長(m)	まくらぎ番号				
				1	2	3	4	5
1	1	0k001m ~ 0k017m	16.6	D	B	B	D	B
2	2	0k017m ~ 0k040m	23.1	D	D	B	D	A2
3	3	0k040m ~ 0k064m	24.0	B	B	C	B	B
4	4	0k064m ~ 0k089m	25.0	A2	D	D	B	B
5	5	0k089m ~ 0k098m	9.1	D	D	D	A2	B

レール締結装置および噴泥発生箇所の検知例

レール締結装置の検知例



噴泥の検知例



レール溶接の信頼性向上 および脱技能化

レール溶接の信頼性向上および脱技能化を目的として、テルミット溶接部の信頼性向上および仕上り検査の脱技能化、さらには仕上げ研削作業の自動化に向けた取組みを実施しています。

研究の背景と目的

- レール同士を溶接する「レール溶接技術」は、列車の高速・安定輸送に不可欠なロングレール軌道を構成する基幹技術であり、より高い信頼性が求められています。
- レール溶接の施工の多くは人力に頼っており、生産性向上の観点から施工の自動化や脱技能化も求められています。
- このような背景の下、テルミット溶接部の信頼性向上および脱技能化を目的として、種々の研究開発を実施しています。

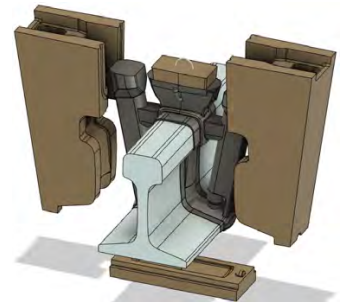
研究成果

- 従来と比較し疲労強度を30%向上可能な新たなテルミット溶接工法を開発しました。
- テルミット溶接部に生じる凝固割れを確実かつ簡易に検出可能な超音波探傷検査用補助装置を開発しました。
- 溶接部の仕上げ作業を自動化するため、ロボットを活用した仕上げ研削装置の開発を進めています。

テルミット溶接に関する近年の研究開発

信頼性向上

- ・溶接部の疲労強度向上
- ・仕上り検査の精度向上
- ・溶接部の補強による損傷防止



脱技能化

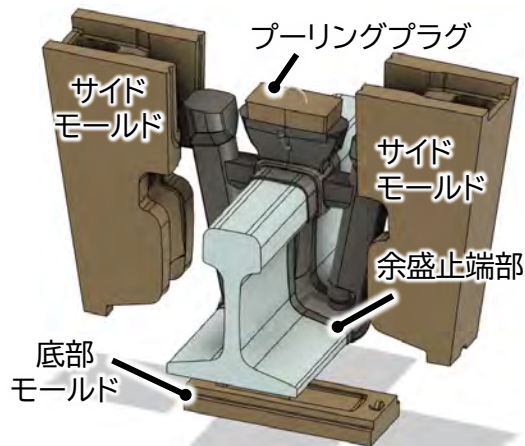
- ・仕上り検査の補助治具
- ・仕上げ作業用自動研削装置

今後の展開

- さらなる信頼性向上のため、テルミット溶接部の曲げ疲労損傷を防止する補強手法の開発に取り組んでいます。
- ガス圧接などの他のレール溶接施工の脱技能化・自動化にも取り組みます。

疲労強度を向上させた テルミット溶接法(改良法)

改良法のモールド(3分割)外観



曲げ疲労強度の比較

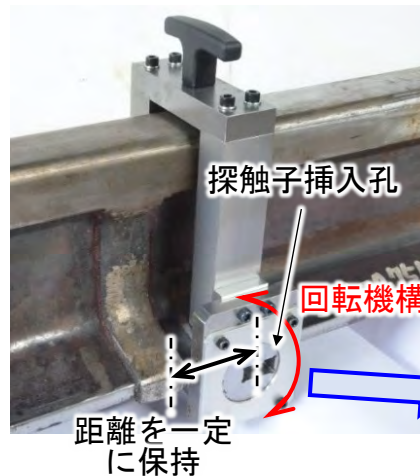
現行法 200MPa

改良法
(溶接まま) 240MPa

改良法
(止端部の研磨) 260MPa

テルミット溶接部の凝固割れ探傷用補助装置

探傷補助装置の外観



従来方法(手探傷)



前後・首振り走査が必須

提案方法



手探傷と補助装置による検出率

	検出(%)	未検出(%)	誤検出(%)
手探傷	92	4	4
補助装置	100	0	0

※未検出: 凝固割れを検出できなかった

※誤検出: 疑似エコーを凝固割れとして検出

レール溶接部の仕上げ研削作業の自動化

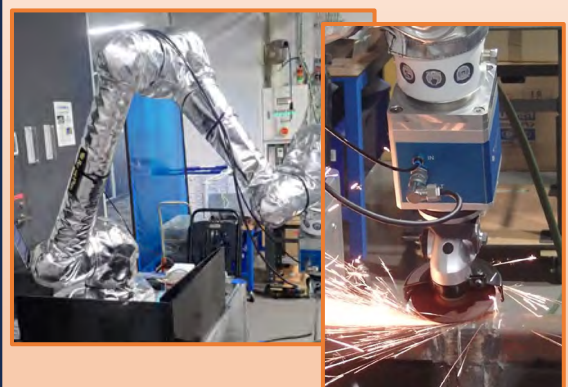
熟練技術者による仕上げ研削作業



- ・ 熟練技術者による高精度な研削作業 (頭頂面凹凸0.1mm単位の精度を要求)
- ・ 肉体的疲労度が高く、作業者の体力に依存
- ・ 技術者の養成に多くの時間が必要

作業従事者のなり手不足が深刻

ロボットによる自動仕上げ



- ・ ロボットによる研削作業の自動化
- ・ トロなどの軌道用諸車に搭載し、容易に現地へ運搬可能
- ・ ロボットへの簡単な指示のみで施工可能

レール溶接作業の生産性が向上

疲労健全度を考慮した レール交換周期の延伸

レールの疲労健全度評価手法を開発しました。これを用いてレールを健全に管理することによりレールの折損リスクを低減しつつ、レール交換周期を延伸することが可能になりました。

研究の背景と目的

- レールの交換周期はレール底部曲げ疲労に着目した疲労試験結果に基づき定められており、レールのS-N曲線に対して低い応力状態、すなわち耐疲労性の面で健全な状態で使用されたレールはさらに長期間使用できると考えられます。
- 一方、浮きまくらぎやレール頭頂面に局所的な凹凸が確認される箇所では、交換周期に至る前にレール底部の疲労損傷が発生する場合があります。

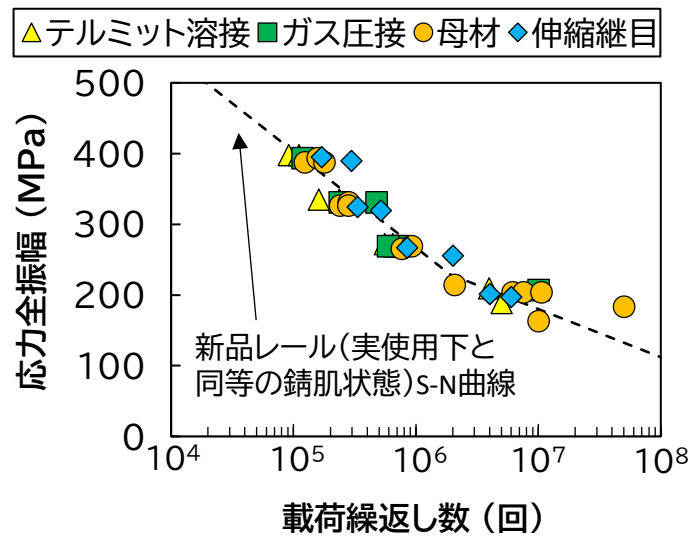
研究成果

- 現行のレール交換周期の上限である累積通過トン数10億トン程度に達した溶接部、母材、伸縮継目部の健全な状態の経年レールを対象に、実レールの疲労試験と載荷回数が5億回(通過トン数:50億トン相当)の回転曲げの疲労試験を実施しました。
- 新品レールと比較して疲労強度の減少はほとんど見られず、健全な状態で使用される場合、10億トンを超える長期の使用、さらには交換周期の撤廃も可能であることが明らかとなりました。
- 実軌道における応力測定や、軌道条件を模擬した数値解析の結果により、浮きまくらぎおよびレール頭頂面の局所的な凹凸が確認される箇所においては、列車通過時にレールに生じる応力が健全な状態と比較して数倍に達し、疲労限度を超過して損傷を引き起こすことが明らかとなりました。
- 軌道検測データに基づき算定したまくらぎの浮き量と頭頂面凹凸量を用いて、数値解析によりレール曲げ応力を推定し、その結果に基づきレール健全度を定量評価する方法を提案し、軌道保守管理データベースシステムLABOCSへ実装しました。

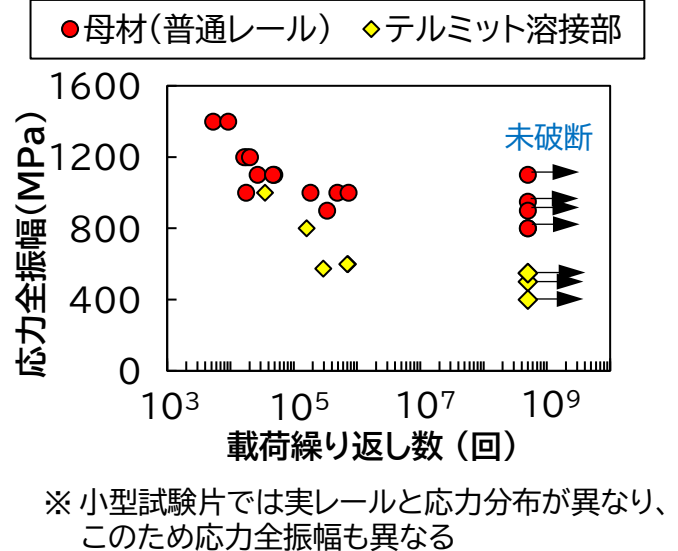
今後の展開

- 各鉄道事業社のLABOCSベースの軌道管理システムで健全度を評価することが可能となり、レール交換時期の適正化・優先度の策定に活用され始めています。
- ※ 本研究の一部は国立大学法人 富山大学との共同研究により実施しました

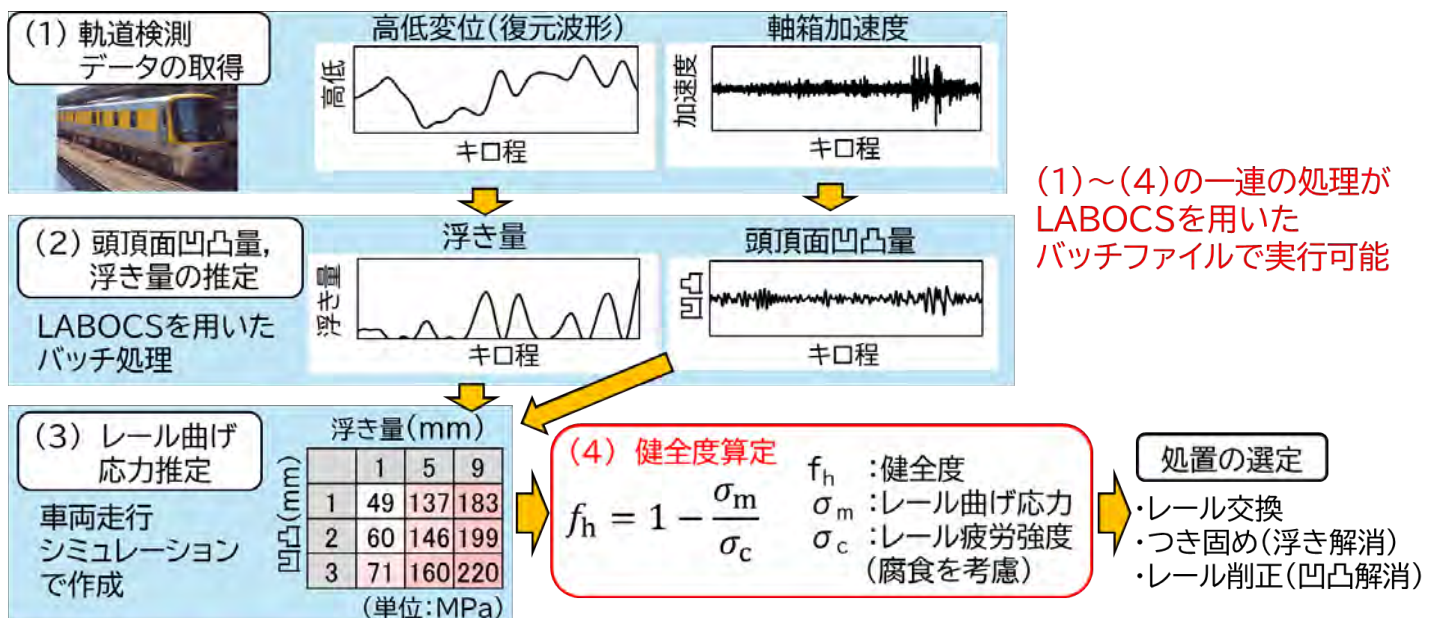
経年レール(実レール)の疲労試験結果



試験片による回転曲げ疲労試験結果



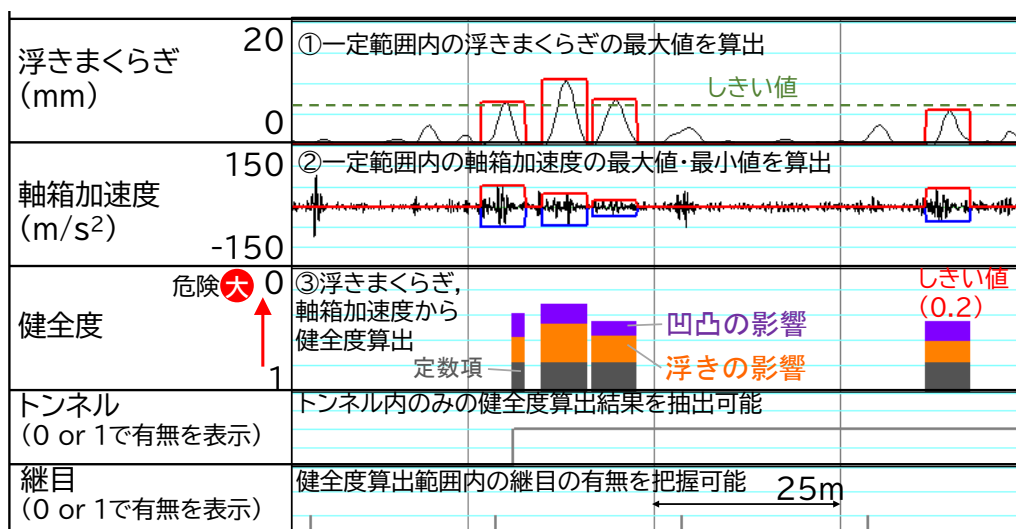
レール健全度推定フロー



・0.3以上の健全度で管理することで破断を回避可能(0.2ではき裂が発生する恐れ)

LABOCSで表示されるレール健全度評価のチャート例

健全度に対する浮きまくらぎ、頭頂面凹凸(軸箱加速度から換算)の寄与度も表示可能



速度発電機を用いた レール状態監視システム

車両に既設の速度発電機を応用したレール状態監視手法を考案しました。新規センサを用いず最低限のコストで既存車両にレール状態監視機能を後付けでき、走行安全性向上が期待できます。

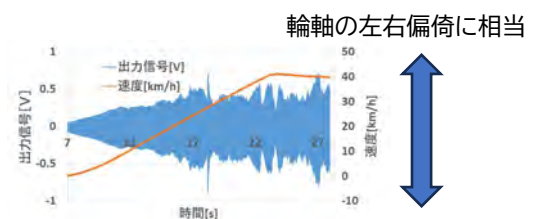
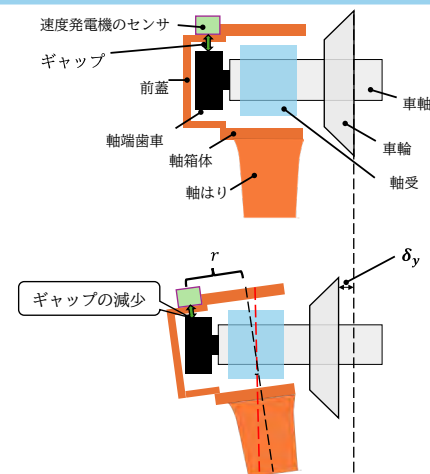
研究の背景と目的

- 車両からの低コストなレール状態監視システムの開発を目的としています。新規センサを後付けすると車両改造等が必要になるため、実用化にハードルがあります。そこで本研究では車両に既設の速度発電機を応用し、新規センサを用いず最低限のコストで既存車両にレール状態監視機能を付与する原理を提案しました。

研究成果

- 速度発電機出力信号の振幅変動が、台車枠に対する輪軸の左右偏倚より起こることを明らかとしました。すなわち、輪軸が普段と異なる左右偏倚量となるような異常を速度発電機より検出できることを意味します。
- 振幅変動量の比較から軌間拡大を検出できることを確認しました。
- 振幅波形の20-90Hz成分が軸箱左右振動加速度と相関の高いことを確認しました。すなわち、輪軸に左右方向の衝撃を与えるような異常を速度発電機より検出できることを意味します。
- 振幅波形の20-90Hz成分より、レール破断を検出できることを確認しました。

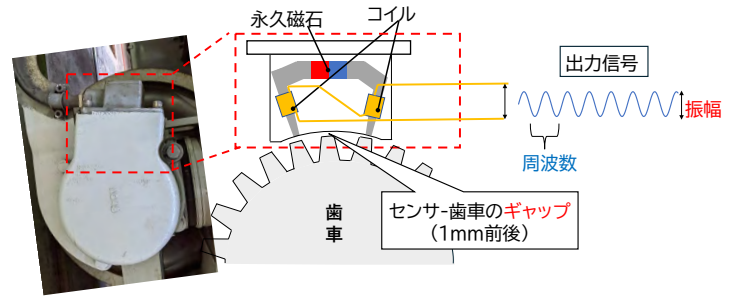
速度発電機出力信号の振幅変動原理



今後の展開

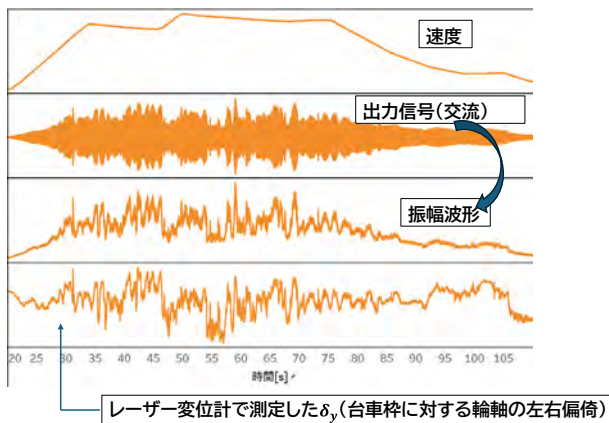
- 車内配電盤に設置可能な記録装置の開発を検討しています。
- 実用化に向けた課題の抽出と解決を目的に、営業線でのデータ蓄積を行う予定です。

速度発電機の原理

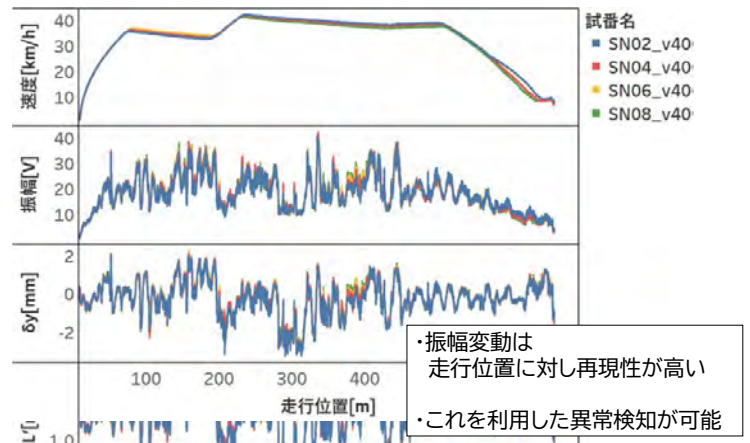


・出力信号の周波数は速度、振幅はギャップの情報を含む

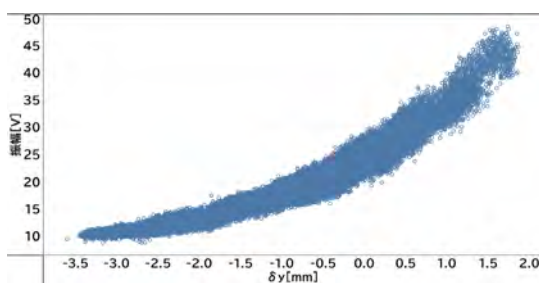
振幅波形の走行位置に対する再現性



振幅波形の走行位置に対する再現性

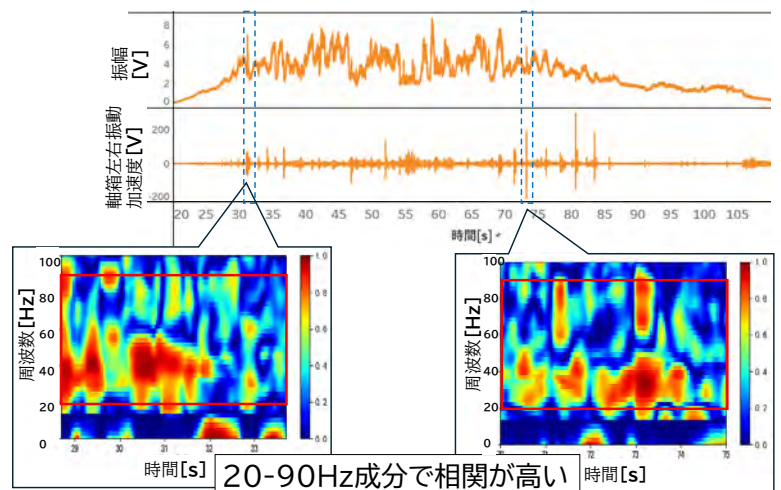


軸箱左右振動加速度との相関

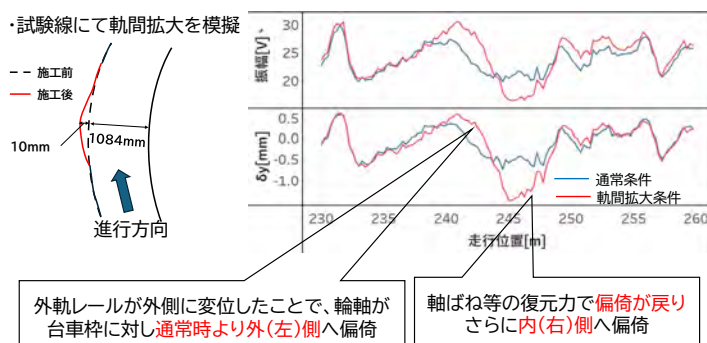


振幅に注目することで台車枠に対する輪軸の左右偏倚 δ_y を把握可能

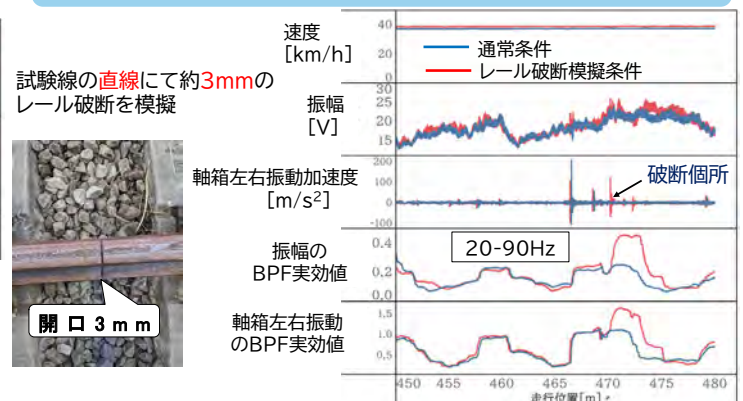
左右偏倚の加速度情報も含んでいる



軌間拡大の検出



レール破断の検出



軌道パッドの抜け出しを防止する しゅう動シート

軌道パッドがレールふく進の影響で抜け出すことがあるため、レールと軌道パッドの間に挿入することで過度な摩擦を低減して、軌道パッドの抜け出しを防止するしゅう動シートを開発しました。

研究の背景と目的

- 直結系軌道のレール締結装置には、レールからの振動や衝撃を緩和するためにレール下にゴム製の軌道パッド(エボナイト製滑材付き)と樹脂製の可変パッド(レール高さ調整パッキン)が設置されています。
- レールがふく進(気温の変化や列車の振動でレールが長手方向に移動すること)する際に、軌道パッドがレールと一緒に動くことで、位置ずれや抜け出し事象が発生する場合があります。
- 軌道パッドの位置ずれや抜け出しの原因の一つに、レールに発生した錆によりレール下面と軌道パッド表面の摩擦抵抗が増大することが考えられます。
- 軌道パッドの位置ずれや抜け出しを防止する目的で、レール下面と軌道パッドの間に挿入して、程度の摩擦抵抗を維持するしゅう動シートを開発しました。

研究成果

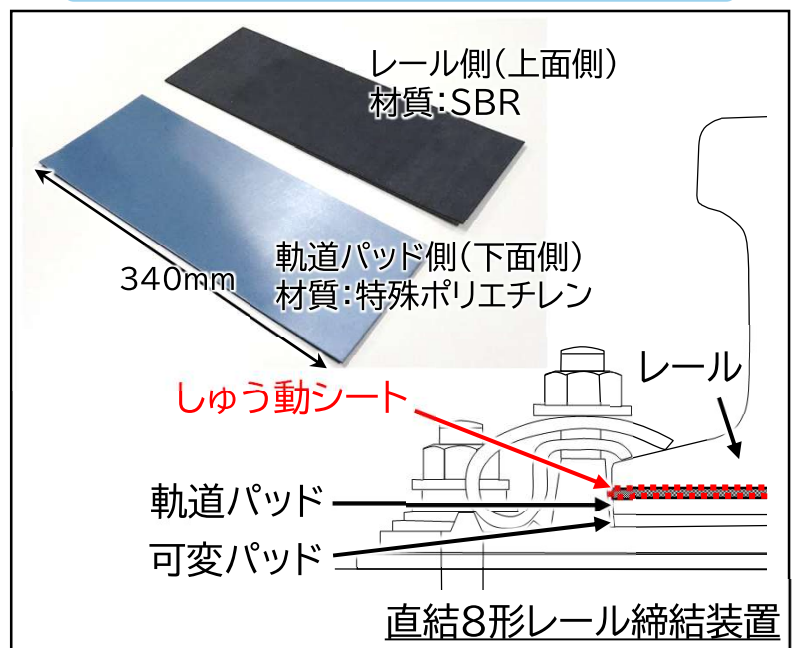
- 営業線での追跡調査の結果、しゅう動シートを挿入した箇所では、レールが移動した場合においても軌道パッドの位置ずれがほとんど生じていないことを確認しました。

今後の展開

- 鉄道事業者での活用を支援していきます。

本技術開発は新日本エスライト工業(株)と共同で実施しました(特許第6271913号)。

しゅう動シートの外観と設置位置



レールふく進による軌道パッドの表面状態の変化



長期間
敷設



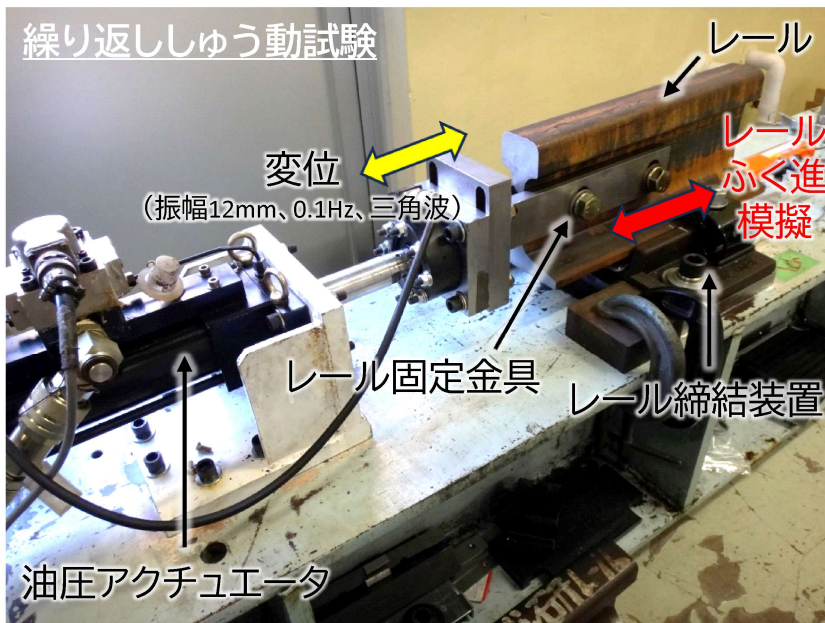
軌道パッドの位置ずれ・
抜け出しの一因

経年によるレール下面の
腐食生成物(錆など)で
凹凸が発生

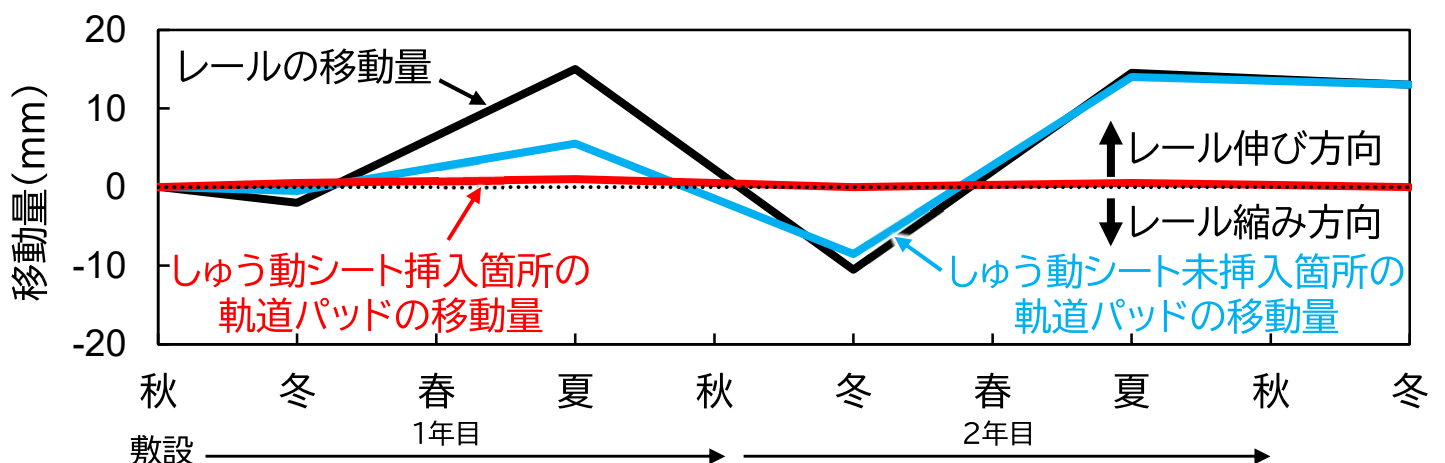


レール下面と軌道パッド
の間の摩擦が増加

レールふく進による軌道パッドの移動の確認



営業線の伸縮継目付近の隣接するスラブ区間でのしゅう動シートの導入効果検証



B10

軌道パッドの抜け出しを防止する しゅう動シート

軌道パッドがレールふく進の影響で抜け出すことがあるため、レールと軌道パッドの間に挿入することで過度な摩擦を低減して、軌道パッドの抜け出しを防止するしゅう動シートを開発しました。

研究の背景と目的

- 直結系軌道のレール締結装置には、レールからの振動や衝撃を緩和するためにレール下にゴム製の軌道パッド(エボナイト製滑材付き)と樹脂製の可変パッド(レール高さ調整パッキン)が設置されています。
- レールがふく進(気温の変化や列車の振動でレールが長手方向に移動すること)する際に、軌道パッドがレールと一緒に動くことで、位置ずれや抜け出し事象が発生する場合があります。
- 軌道パッドの位置ずれや抜け出しの原因の一つに、レールに発生した錆によりレール下面と軌道パッド表面の摩擦抵抗が増大することが考えられます。
- 軌道パッドの位置ずれや抜け出しを防止する目的で、レール下面と軌道パッドの間に挿入して、程度の摩擦抵抗を維持するしゅう動シートを開発しました。

研究成果

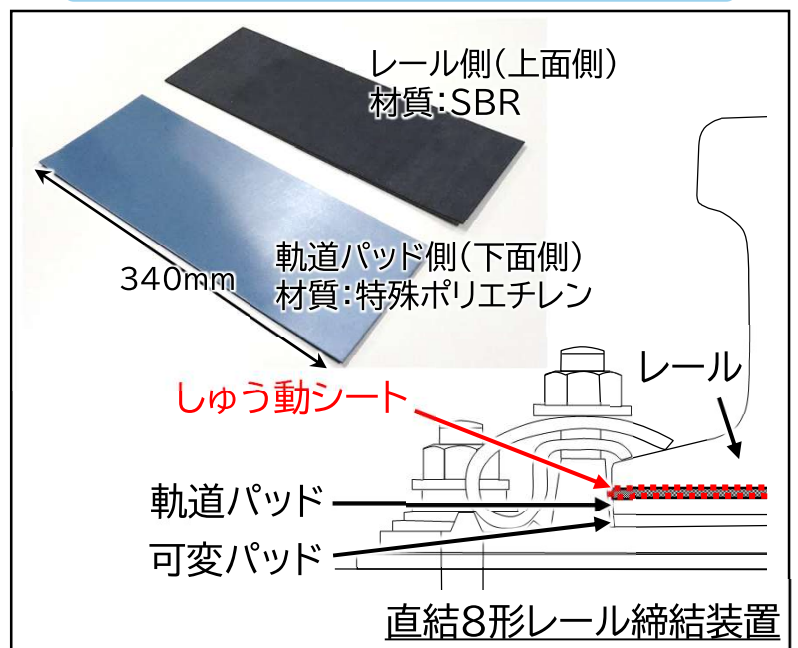
- 営業線での追跡調査の結果、しゅう動シートを挿入した箇所では、レールが移動した場合においても軌道パッドの位置ずれがほとんど生じていないことを確認しました。

今後の展開

- 鉄道事業者での活用を支援していきます。

本技術開発は新日本エスライト工業(株)と共同で実施しました(特許第6271913号)。

しゅう動シートの外観と設置位置



レールふく進による軌道パッドの表面状態の変化



長期間
敷設



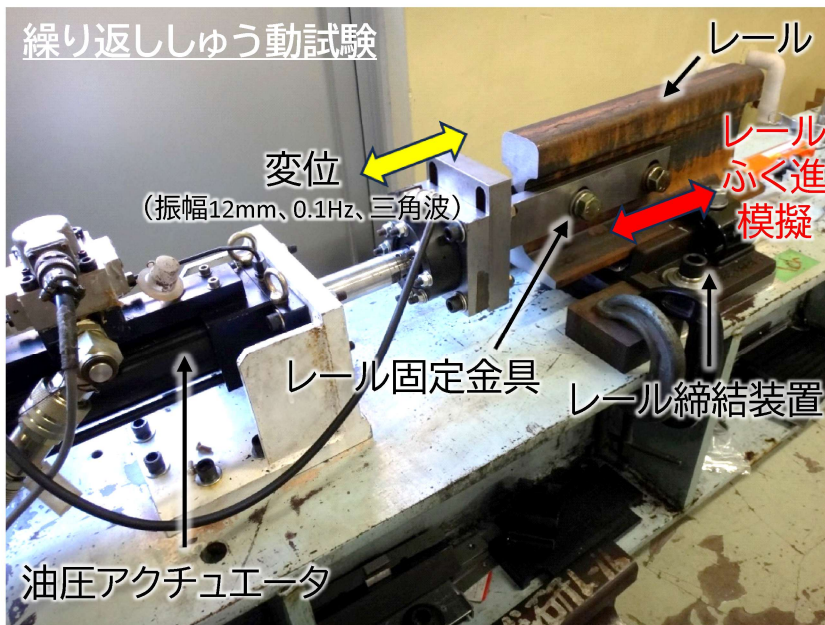
軌道パッドの位置ずれ・
抜け出しの一因

経年によるレール下面の
腐食生成物(錆など)で
凹凸が発生

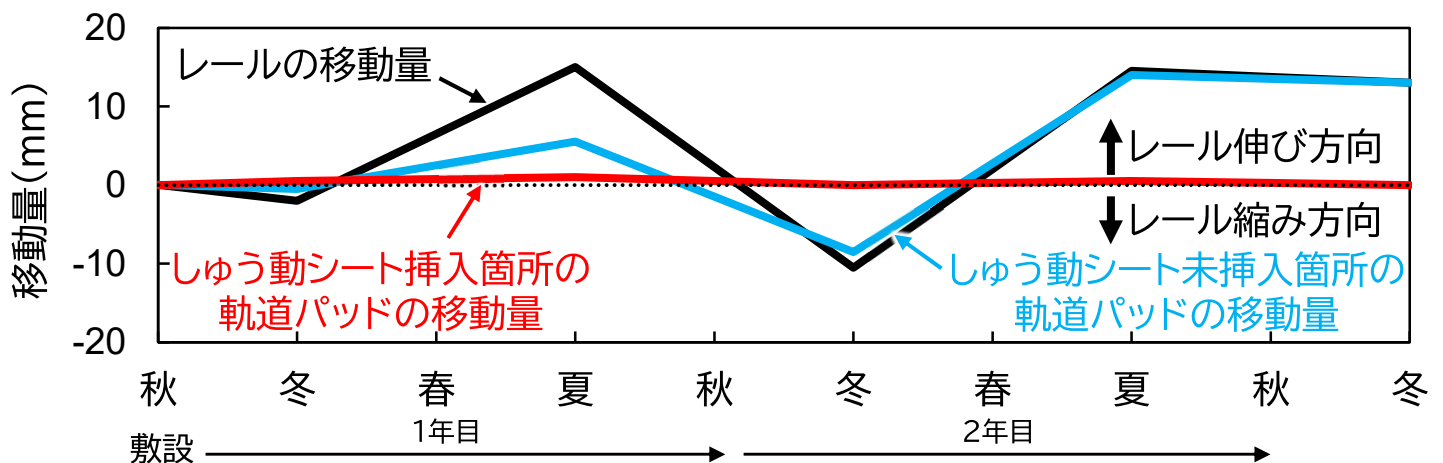


レール下面と軌道パッド
の間の摩擦が増加

レールふく進による軌道パッドの移動の確認



営業線の伸縮継目付近の隣接するスラブ区間でのしゅう動シートの導入効果検証



縦ひび割れに着目したPCまくらぎの健全度評価システム

PCまくらぎの縦ひび割れ長さと耐荷力の相関性を明らかにするとともに、撮影した画像から深層学習により縦ひび割れを自動抽出し、健全度を評価するシステムを構築しました。

研究の背景と目的

- 近年、経年PCまくらぎの一部に長手方向のひび割れ(縦ひび割れ)が確認されています。これらに対する検査は主に目視により行われており、ひび割れが耐力に与える影響も不明確であることから、維持管理の効率化に課題が残っていました。
- 本研究では、維持管理効率化のために、耐力に基づいた定量的な維持管理指標を提案するとともに、画像処理手法による効率的なひび割れ検知手法を開発しました。

研究成果

- 営業線の経年PCまくらぎを対象とした耐荷力の実態調査の結果、縦ひび割れ長さの増加とともに埋込栓の引抜耐荷力が低下する相関性があることを明らかにし、この相関性に基づく評価指標を提案しました。
- ひび割れ長さに基づく健全度評価を効率的に実施するために、PCまくらぎ上面を撮影した画像から、深層学習を活用して、バラスト等による誤検知を抑制しながらひび割れの自動抽出と長さ推定が可能な手法を開発しました。
- 実務への展開を想定して、PCまくらぎの上面画像を入力することで縦ひび割れの抽出とPCまくらぎの健全度評価を自動で行うシステムを構築しました。これを用いることで、例えば、従来では目視により実施していた膨大な数のPCまくらぎに対する縦ひび割れの発生状況のスクリーニングや健全度評価を自動で行うことができるなど、維持管理業務の大幅な効率化が期待できます。

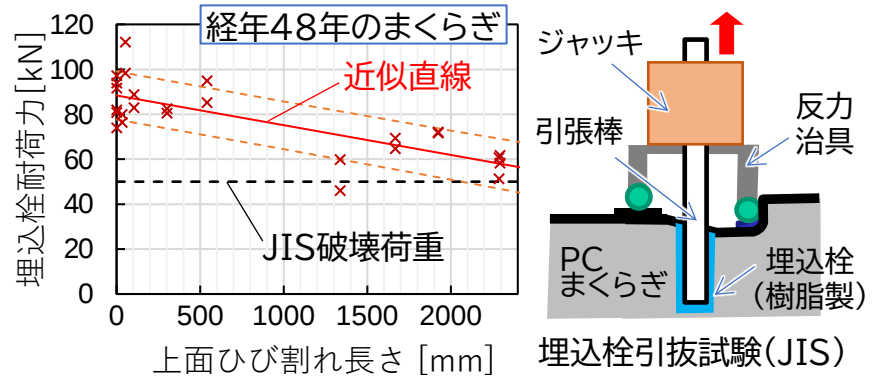
今後の展開

- 各鉄道事業者の検査周期等を考慮した健全度評価指標の提案や、現場での運用を想定したインターフェース及び機能を備えたシステムの開発を進める予定です。
- 開発した画像処理手法を応用し、凍害が生じたPCまくらぎに対する健全度評価ツールの開発を予定しています。

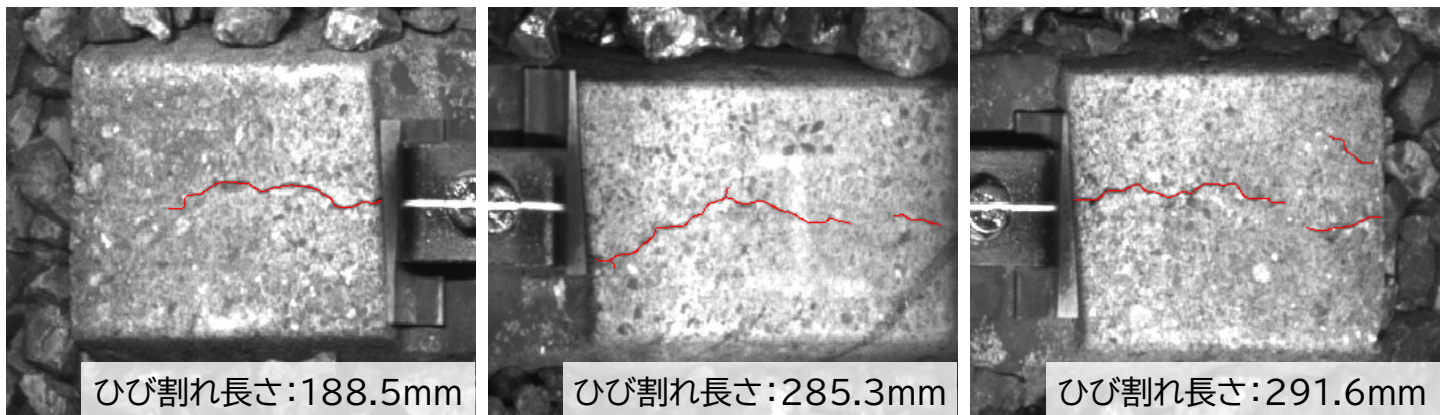
縦ひび割れの例



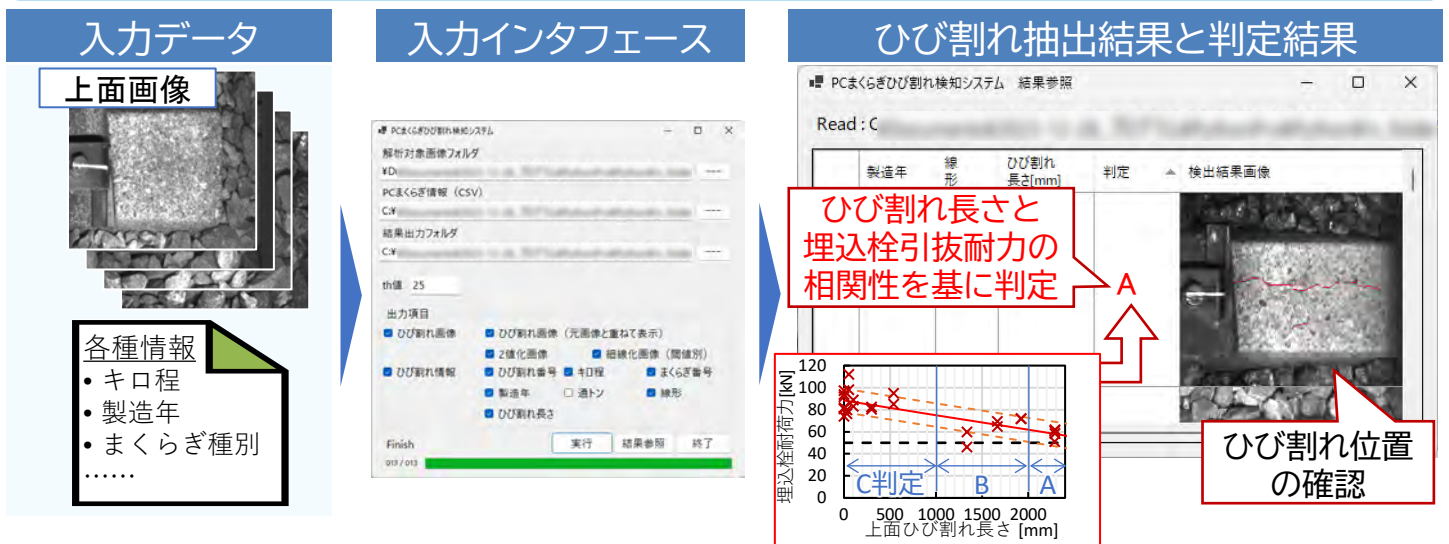
ひび割れ長さと埋込栓引抜耐力の関係



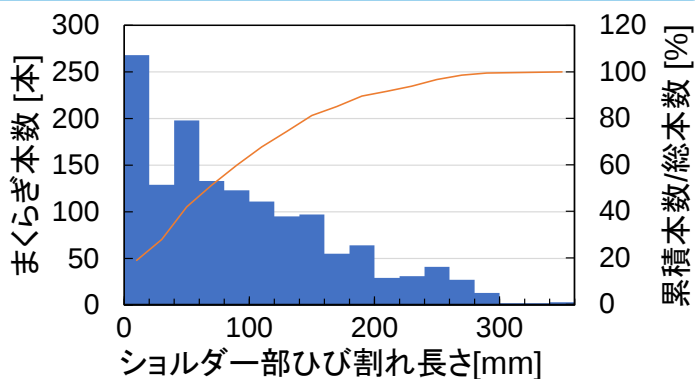
深層学習を活用したひび割れの抽出と長さ測定の例



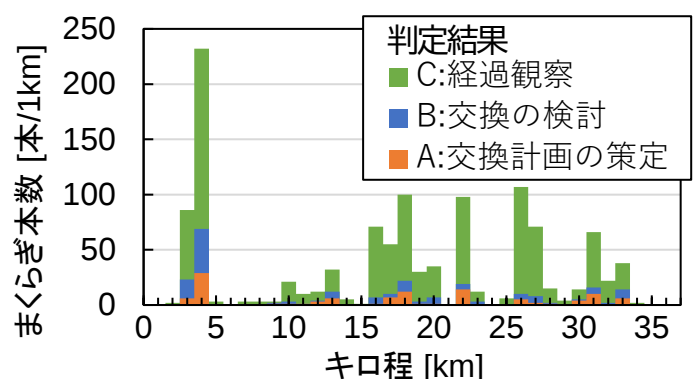
開発した健全度評価システム



活用例①: ひび割れ長さとまくらぎ本数



活用例②: 1kmごとの判定結果



地理・気象データを用いたレール等 軌道部材の温度解析プログラム

軌道部材が日射等から受ける熱エネルギーを詳細かつ短時間で計算するプログラムを開発しました。これにより、広範囲(100km前後)・長期間(数年間)のレール温度の推定を可能にしました。

研究の背景と目的

- 軌道部材の温度は、昼間は日射等により上昇し、夜間は放射冷却で低下します。これは、レールなら軌道座屈、コンクリート部材なら凍害の原因となる場合があります。
- 地理データ(日陰の発生、周囲の地物からの長波放射に関係)と気象データから、上記部材の熱収支を計算し、過去/現在/未来の部材温度を解析的に求めます。

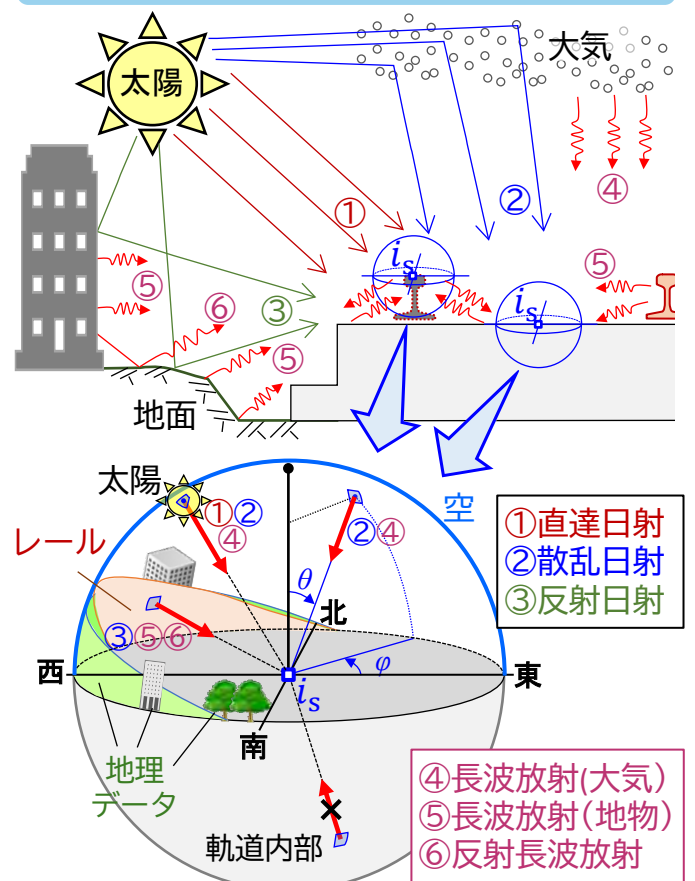
研究成果

- 営業線(延長58km)の2023年のレール温度を1m、10分間隔で推定しました。
- スラブ軌道の冬季3ヶ月間の温度解析から、凍結融解の発生頻度を推定しました。
- 朝8時時点の気象予報値を用い、当日のレール温度を予測しました。
- 過去の著大通り変位の発生原因の調査のための、当該日時・箇所でのレール温度推定に使用されました。
- レール、軌道スラブ、てん充層の温度測定結果と比較し、RMSE(2乗平均平方根誤差)で約2℃の精度を確認しました。

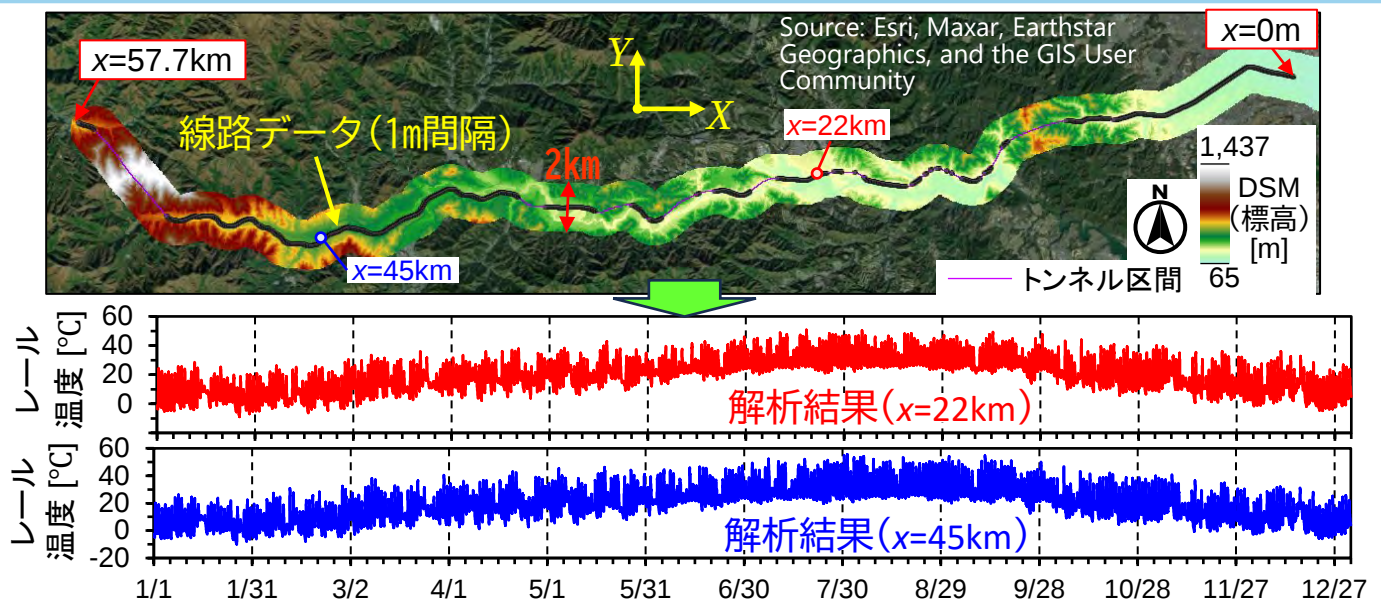
今後の展開

- PCまくらぎの凍害予測、凍害危険箇所の抽出に適用します。さらに、車上から検知した、PCまくらぎの凍害発生状況との比較より、手法の妥当性を検証します。
- 気候変動、再エネ電力のレール送電等による、レール温度変化の予測に活用します。

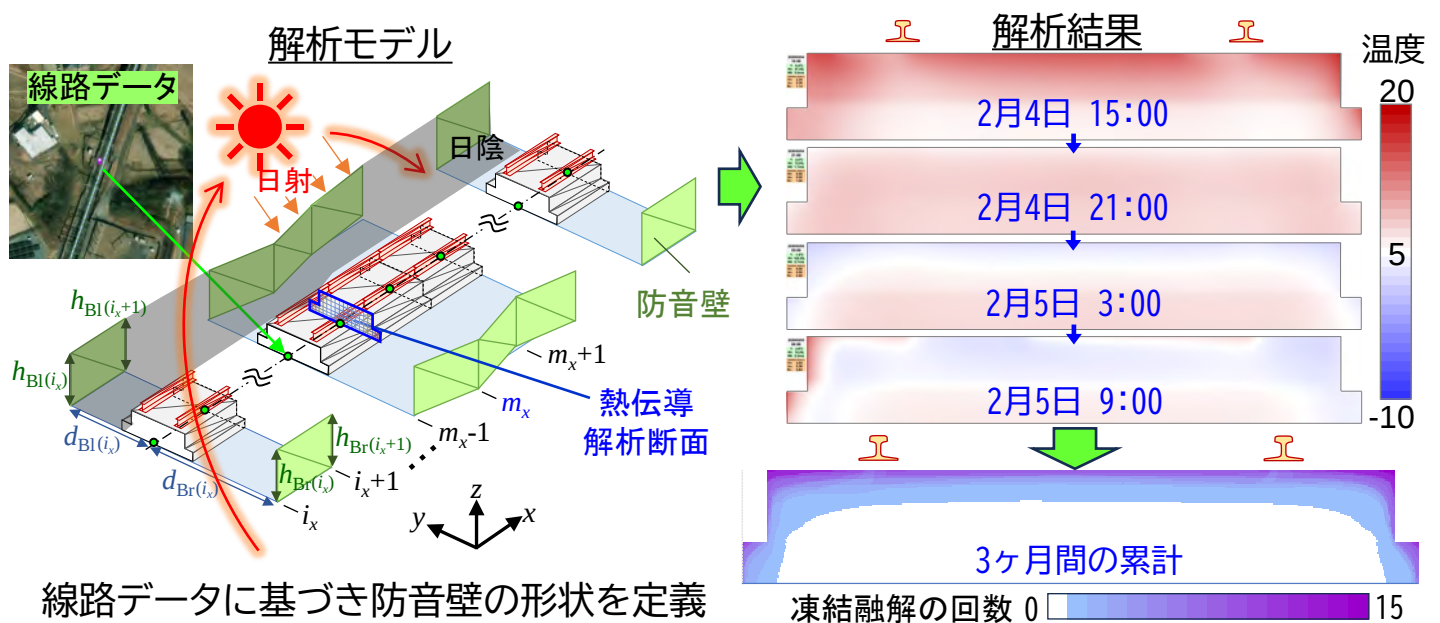
日射等の熱エネルギーのモデル化手法



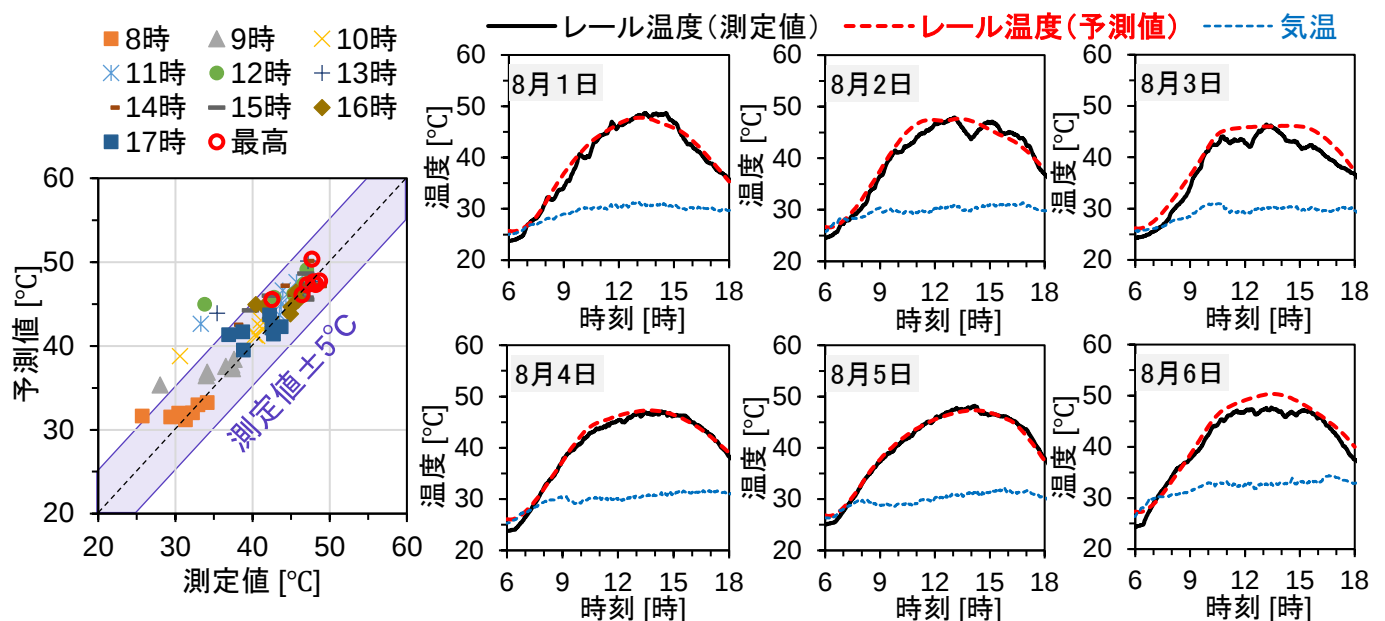
営業線(延長58km)のレール温度の解析例(2023年1月1日~12月31日)



スラブ軌道の凍結融解シミュレーション(2019年12月1日~2020年2月28日)



気象予報(朝8時頃配信)を用いた当日のレール温度予測例



まくらぎ直結分岐器用 固定クロッシングの弾性支持構造

分岐器における固定クロッシングの落ち込みを低減する弾性支持構造を開発しました。開発品はまくらぎを交換することなくタイプレートの交換のみで置き換えが可能です。

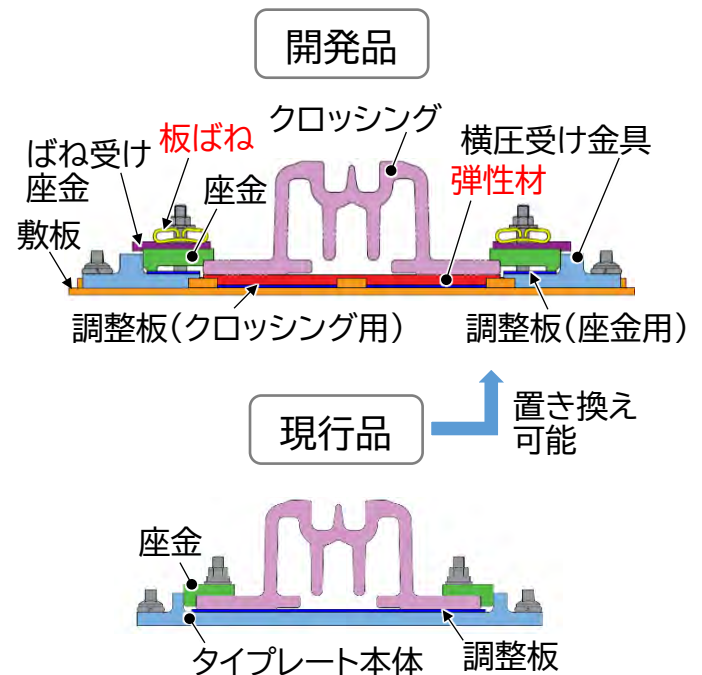
研究の背景と目的

- 固定クロッシングでは、ウィングレールからノーズレールへの車輪の乗り移りによって、衝撃的な荷重が発生し、乗り移り箇所には落ち込みや挫壊が生じています。
- 特に、まくらぎ直結分岐器の固定クロッシングでは、バラスト分岐器と比較して落ち込みが大きく、その交換周期が短いものが散見されています。
- そこで、落ち込みの低減を目的として、まくらぎ直結分岐器に適用できる固定クロッシングの弾性支持構造を開発しました。

研究成果

- 本開発品は、弾性材をクロッシングの下に配置し、板ばねと座金でクロッシングを締結した2重弾性締結構造です。
- 落ち込みが大きくなる要因は、①輪重変動によりレール表面に大きな凹凸が生じる②それにより衝撃荷重が大きくなる③荷重により落ち込みがさらに進展するためと考えられます。このことから、弾性材は輪重変動をバラスト分岐器と同程度に抑制するように設計しました。
- まくらぎ交換をすることなくタイプレートの交換のみで置き換えることが可能です。

開発品と現行品の構造の比較



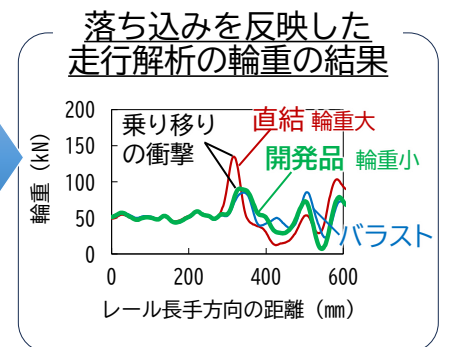
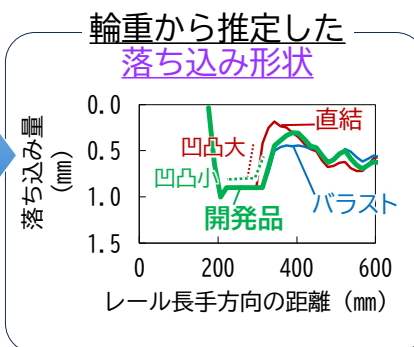
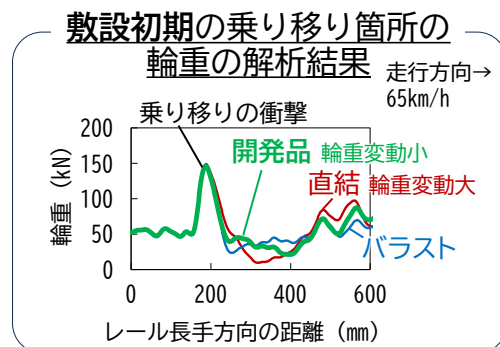
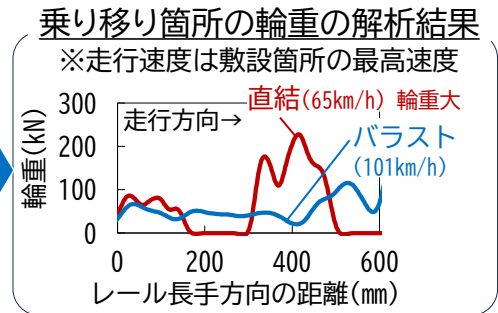
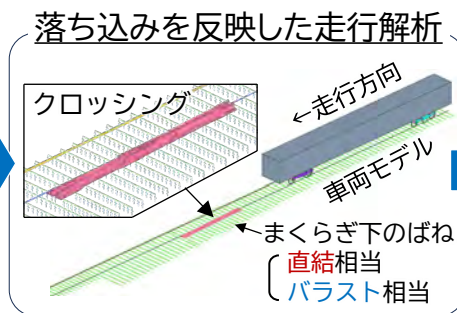
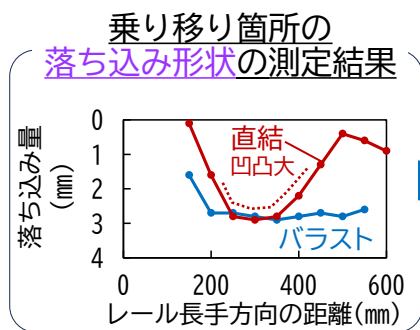
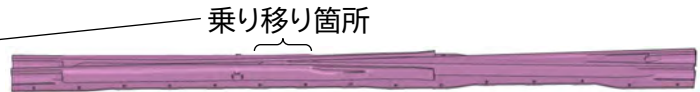
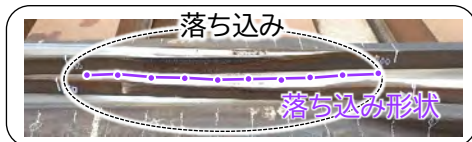
今後の展開

- 試験敷設している開発品の追跡調査を引き続き実施し、その効果を確認するとともに、敷設拡大を図っていきます。

まくらぎ直結分岐器のクロッシングの落ち込みの要因と開発品による対策

バラスト分岐器と比較して、まくらぎ直結分岐器の固定クロッシングの落ち込みが大きくなる要因は、落ち込み形状の凹凸が大きいことで、作用する衝撃荷重が大きくなるためと考えられます。また、バラスト分岐器とまくらぎ直結分岐器において、落ち込み形状の凹凸に差が生じる要因は、支持状態が異なることで、敷設初期の輪重変動に差が生じるためと考えられます。

そこで、開発品は、凹凸の大きい落ち込みの形成を抑制するため、輪重変動をバラスト分岐器と同程度に抑制するように設計しました。



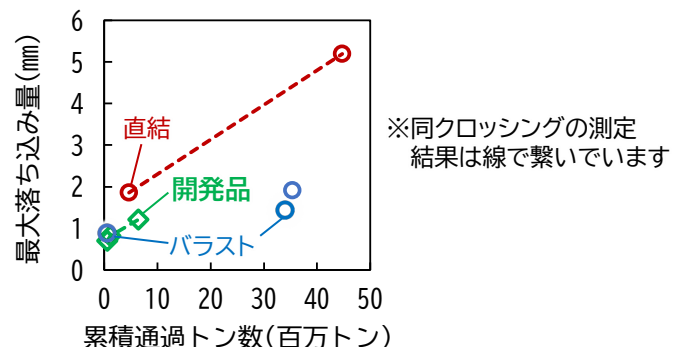
開発品の試験敷設

開発品を新幹線の分岐器に試験敷設し、一晩の作業時間帯で既設の現行品から開発品への交換を問題なく施工できることを確認しました。敷設後の落ち込みは、過去に同箇所に敷設したものより40%程度低減されており、バラスト分岐器のものと同程度であることを確認しました。

開発品の敷設状況



開発品敷設後の落ち込みの測定結果



車上測定に基づく 軌道座屈危険度推定手法

車載LiDARで取得した道床形状と軌道検測結果から道床横抵抗力を推定し、軌道の平面曲率と合わせて軌道座屈の発生が懸念される箇所を抽出するシステムです。

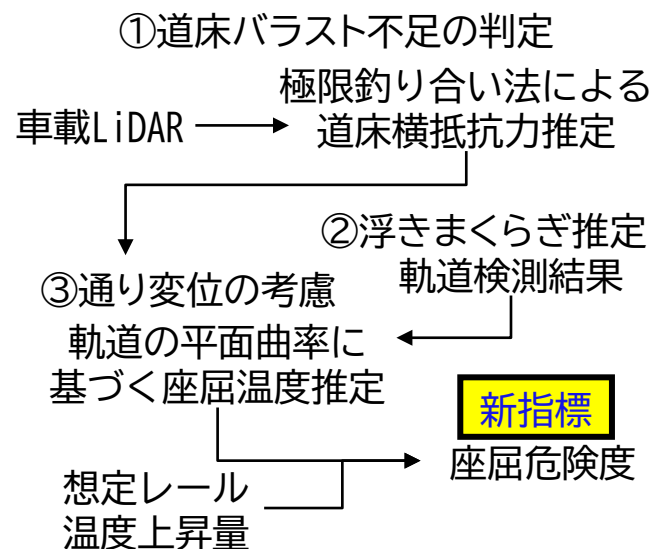
研究の背景と目的

- 夏季の酷暑時に発生する軌道座屈を限られた保守作業員で防止していくためには、座屈が懸念される箇所の効率的な抽出手法を開発していく必要があります。
- そこで、車載LiDARから得られる三次元点群と、軌道検測結果を基に、軌道座屈危険度を推定する手法を開発しました。

研究成果

- 車上測定に基づき道床バラスト不足を判定し、浮きまくらぎによる道床横抵抗力の低下の推定値に軌道変位の影響を加味して軌道座屈に対する危険度を算定します。
- 判定された道床形状で期待できる道床横抵抗力は、極限釣り合い法に基づく手法により推定し、約20%の誤差で予測できることを模型試験で確認しています。
- 浮きまくらぎが発生している箇所は、まくらぎの底面が負担する道床横抵抗力が得られないため、軌道検測結果の高低変位から推定した浮きまくらぎ量に基づいて道床横抵抗力を補正します。
- 軌道座屈が相対的に懸念される箇所を示す指標として「座屈危険度」を提案しました。これは、推定した道床横抵抗力と軌道の平面曲率から算出します。
- 本指標は軌道保守管理データベースシステム(LABOCS)を用いて算出します。

軌道座屈危険度推定手法の概要



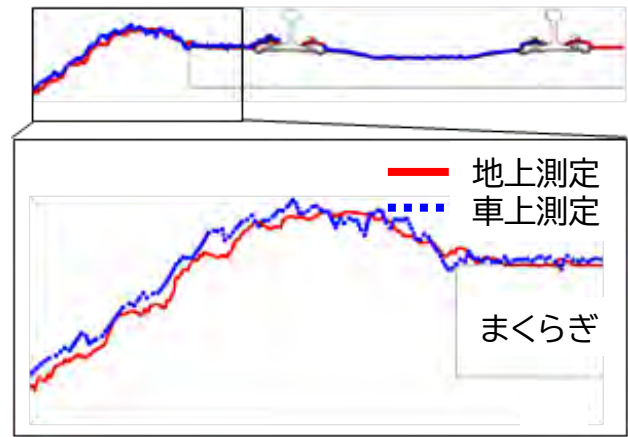
新指標

座屈危険度

今後の展開

- 複数の鉄道事業者で試運用を計画しており普及に向けた課題を抽出する予定です。

車載LiDARにより取得した三次元点群の測定精度確認

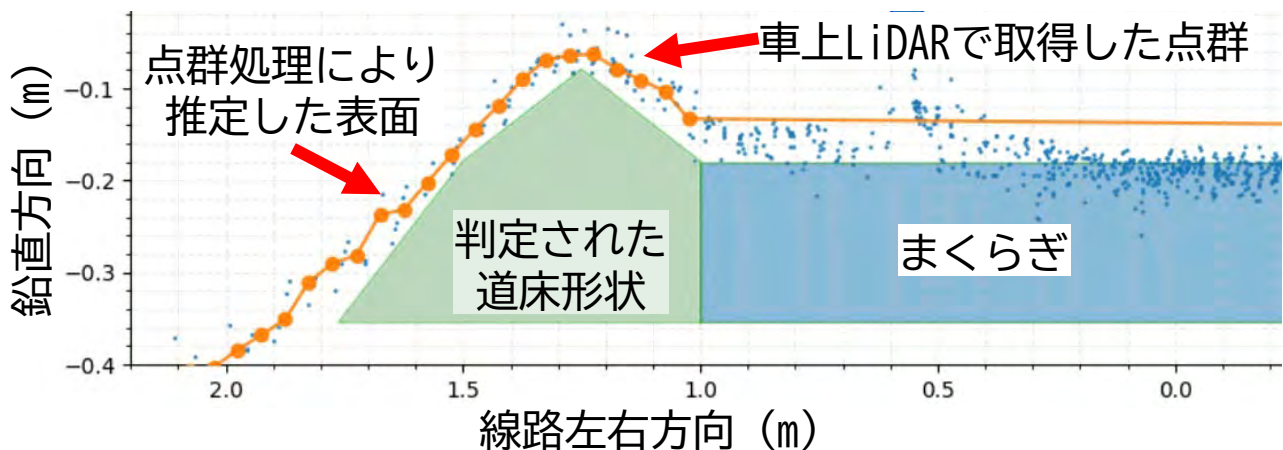


極限釣り合い法による道床形状から道床横抵抗力の推定精度確認



道床形状	実験(N)	推定(N)	差(%)
標準	36.1	39.4	+9
端部露出	34.7	30.1	-13
肩幅小	26.9	30.4	+13

三次元点群からの道床形状の判定手法

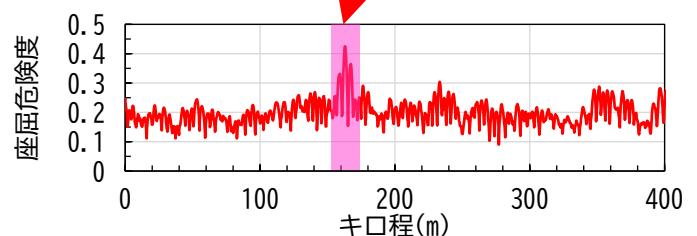


車載LiDARを導入していない線区では、既存の検査台帳の道床区分から、道床形状を簡易的に設定する代替手法で対応します。

座屈危険度の算出例

開発手法により、座屈危険度が大きい箇所を抽出し、座屈が発生しやすい酷暑期の前までに保守を投入する計画を立てることが可能となり、これにより座屈に対する安全性を高めることができます。

座屈に対して最も留意すべき箇所



トングレールの転換・隙間調整装置

トングレールを転換させる「転換装置」と、トングレールと基本レールの隙間を調整する「隙間調整装置」を開発し、保守省力化を目的とした分岐器ポイントのコンセプトモデルを提案しました。

研究の背景と目的

- 電気転てつ機を用いた従来の分岐器のポイントは、まくらぎ間に設置した転てつ棒等の箇所ではバラストのつき固めができず、軌道の弱点箇所の一つとなっています。また、トングレールと基本レールの隙間の検査や調整作業、トングレールの転換不能に伴う修復作業には多大な労力を要しています。そこで、トングレールの転換・隙間調整装置を開発し、保守省力化を目的とした分岐器のポイントを提案しました。

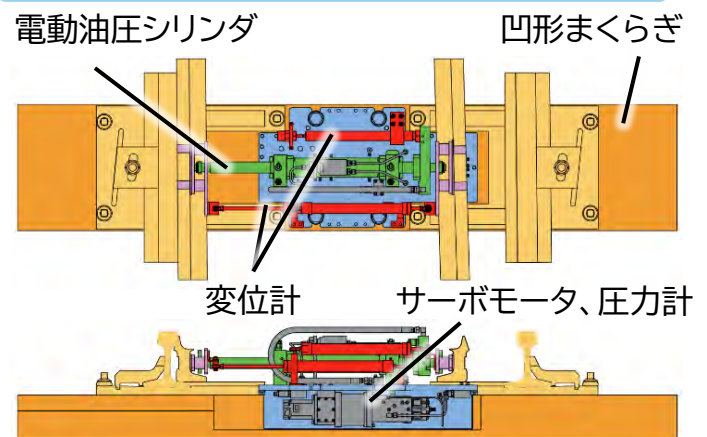
研究成果

- 電動油圧シリンダでトングレールを転換し、鎖錠する転換装置を開発しました。
- 転換装置は、凹形のまくらぎに内蔵し、まくらぎ前後のつき固めを可能にします。
- 転換装置は、トングレールの位置と転換圧力を常時監視し、異物介在の検知や転換不能の前兆を検知します。
- 電動アクチュエータで伸縮する隙間調整装置を開発しました。
- 自動伸縮することで、基本レールとの隙間の検査と調整作業を自動化します。
- 転換装置と隙間調整装置により保守を省力化したポイントを提案しました。

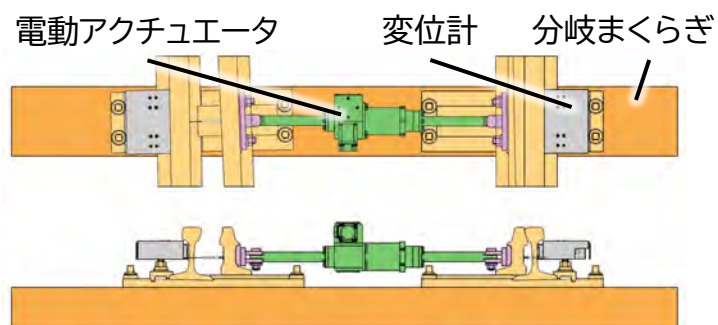
今後の展開

- 新形式の分岐器に適用可能な性能照査法の構築を進め、分岐器の保守省力化を実現していく予定です。

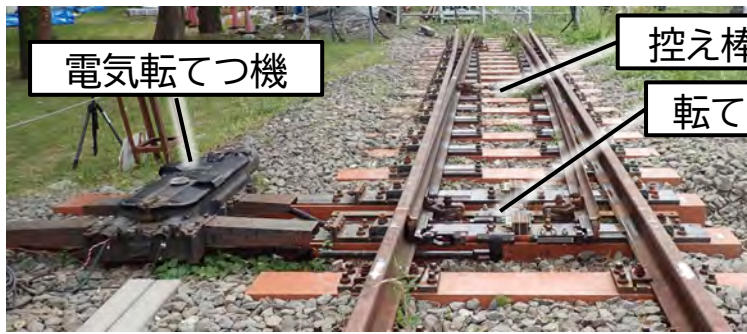
転換装置



隙間調整装置



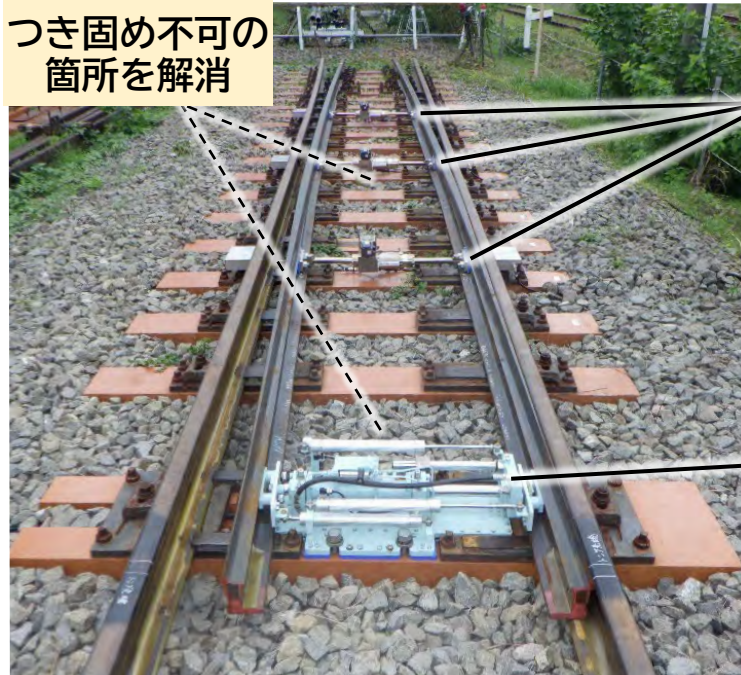
従来の分岐器のポイント



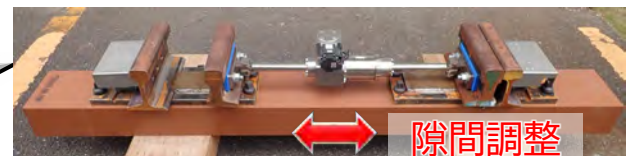
- 隙間の検査・調整作業が必要
- 転てつ棒・控え棒の箇所につき固め不可
- 転換不能の発生



提案する分岐器のポイント



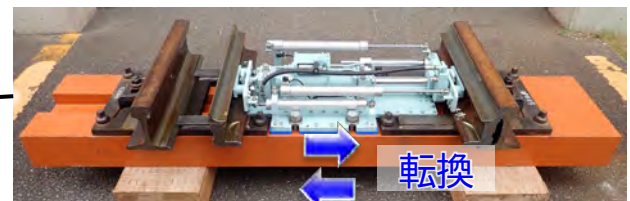
隙間調整装置



・隙間の監視、隙間の自動調整

⇒隙間の検査・調整作業を自動化

転換装置



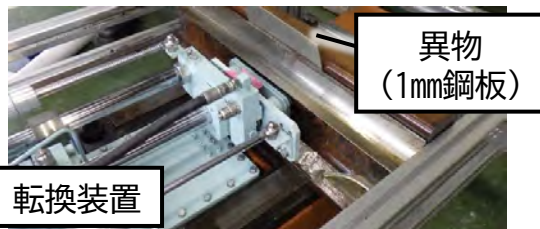
・レールの転換・鎖錠、レール位置・転換力の監視

⇒転換不能の前兆を検知

性能確認試験の例

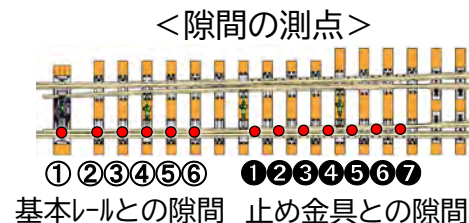
【レール間の異物検知の確認】

隙間の検査基準値以下の異物の検知が可能なることを確認



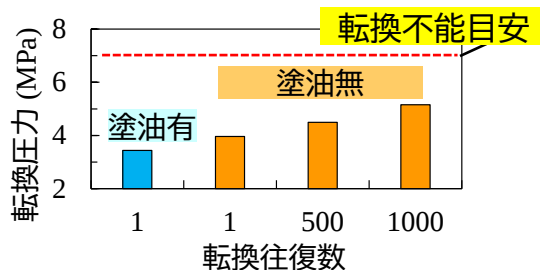
【隙間の自動調整機能の確認】

検査基準値内へ隙間を自動調整可能なことを確認



【転換不能の事前検知】

転換圧力の増加を検知し、転換不能の前兆を検知可能なことを確認



<自動調整前後の隙間の測定結果>

