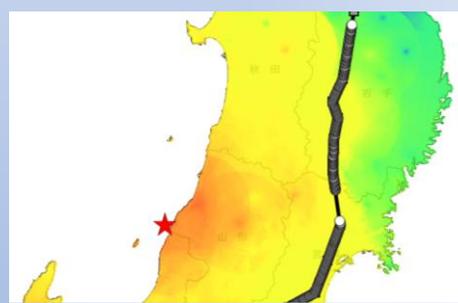
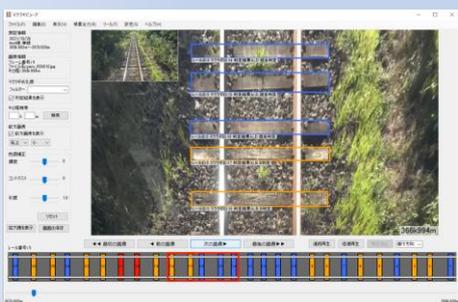
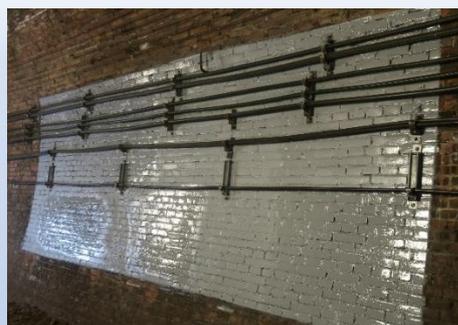
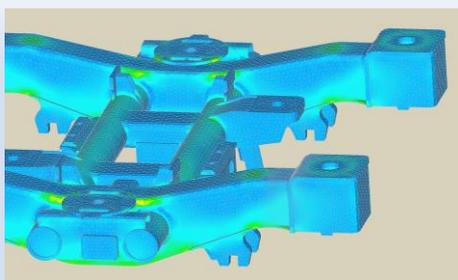


RESEARCH 2025
鉄道事業者などに活用された
鉄道総研の成果
(2020年度～2024年度)



2025年3月

公益財団法人鉄道総合技術研究所では、研究開発成果のうち鉄道事業者や関係する企業の皆様などにご活用いただいている成果をとりまとめた冊子を定期的に発行してまいりました。

本冊子は、これまで鉄道事業者などに活用された実績のある鉄道 総研の研究開発成果のうち、2020年度～2024年度の5年間の活動の基本計画「RESEARCH 2025」の実施期間内に新たに活用された成果を中心にご紹介するものです。

2025年3月

目次

車 両

■次世代振子システム	2
■台車枠溶接部のフェーズドアレイ超音波探傷法	4
■台車枠のき裂進展シミュレーション	6
■新幹線用車軸軸受油	8
■温度変動に対応した車載リチウムイオン電池の劣化予測手法	10
■車体の3次元的な弾性振動特性を把握する実験・解析手法	12
■確率論に基づいた地震波に対する走行安全性評価法	14
■空気ばねからの空気抜けに対応した車両運動解析法	16
■編成車両の地震時挙動シミュレーション	18
■気動車の排気流れの解明(汚損軽減のための改良型排気管)	20
■空気流シミュレータ(窓開け走行時の車内換気)	22
■騒音低減対策のための高解像度音源探査手法	24

防 災

■自由打撃簡易貫入試験機	28
■車両着落雪推定手法	30
■早期地震警報アルゴリズムのマグニチュード推定パラメータ改良	32
■鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)	34
■鉄道の電力設備や信号設備に影響を及ぼす火山灰の厚さ	36

構 造 物

■トンネル盤ぶくれのメカニズム推定および危険度評価法	40
■ポリウレア樹脂による剥落対策工法	42
■断面積2段型緩衝工	44
■地山補強材を用いた橋台の耐震補強工法	46
■粘着力を考慮した地震時土圧の評価法	48
■かご枠を用いた盛土の急速強化復旧法	50
■モルタルスリーブ継手を用いたプレキャストラーメン高架橋	52
■車上計測による共振橋りょうの抽出法	54
■加速度モニタリングによる既設橋りょうの構造性能評価	56
■軌道等の剛性寄与を考慮した桁の振動特性の評価法	58
■地中部への逸散減衰を考慮した構造物の応答値算定法	60
■空気流シミュレータ(防音壁の空気力)	62
■旧塗膜への負荷の小さい環境配慮型の省工程塗替え塗装仕様	64
■高架上家の耐震性能評価手法	66
■可動式ホーム柵支持部の設計法	68

軌道

■高繰返し数領域を考慮したレール疲労寿命評価	74
■レール底部の損傷に対するレール健全度評価	76
■耐久性を考慮したレール防食工法	78
■レール開口部の走行安全性評価	80
■レール削正計画策定支援システム	82
■低温時のロングレール保守作業制限	84
■気象データを用いたレール温度予測プログラム	86
■摺動シートを用いた軌道パッドの抜け出し防止対策工	88
■絶縁継目部に対応した脱線防止ガード	90
■PCまくらぎ化計画システム	92
■敷設環境に応じたPCまくらぎの維持管理法	94
■縦まくらぎによる構造物境界部の軌道変位抑制対策	96
■まくらぎ直結軌道用伸縮継目の弾性支持構造	98
■バラストの劣化状態検査装置～透過音試験～	100
■劣化したバラストの沈下対策～低強度安定処理工法～	102
■バラスト軌道離散体モデル「DEMCS-track II」	104
■グラウト充填路盤改良工法(あと充填方式)	106
■スラブ軌道てん充層の劣化進展予測	108
■防除効果および施工性に優れた蒸気除草手法	110
■列車巡視支援アプリ(Train Patroller)	112
■動的軌間・平面性測定装置(TRACK ² er)	114
■高低変位に基づく浮きまくらぎ検出法	116
■軌道部材状態評価システム	118
■線路周辺画像解析エンジン	120
■小型機械等に対応した軌道保守計画策定支援システム	122
■軌道版電子野帳	124

電力

■電車線非接触測定装置	128
■光切断式剛体電車線摩耗計測装置	130
■電力設備等の耐雷性向上のための二層構造メッシュ接地	132
■き電回路の高調波計算手法	134

信号

■車上データベース搭載型パターン式ATSによる自動運転システム	138
■車載カメラによる沿線設備の状態診断システム	140
■信号用電子機器の寿命予測手法	142

■アセットマネジメントによる転てつ機メンテナンス手法	144
■開口量表示器	146
■ミリ波による対列車通信システムの無線回線設計手法	148

運 輸

■運転曲線作成システムSPEEDYによる閉そく割り検討支援	152
■列車遅延の影響度評価システム	154
■整備作業計画自動作成手法	156
■鹿忌避音自動吹鳴装置	158

ヒューマンファクター

■先取喚呼とその教育手法	162
■危険感受性の向上訓練手法	164
■弱視者・色弱者を想定したトイレ空間の視認性評価手法	166
■明度差によるバリアフリー視認性評価手法の提案	168

車 両

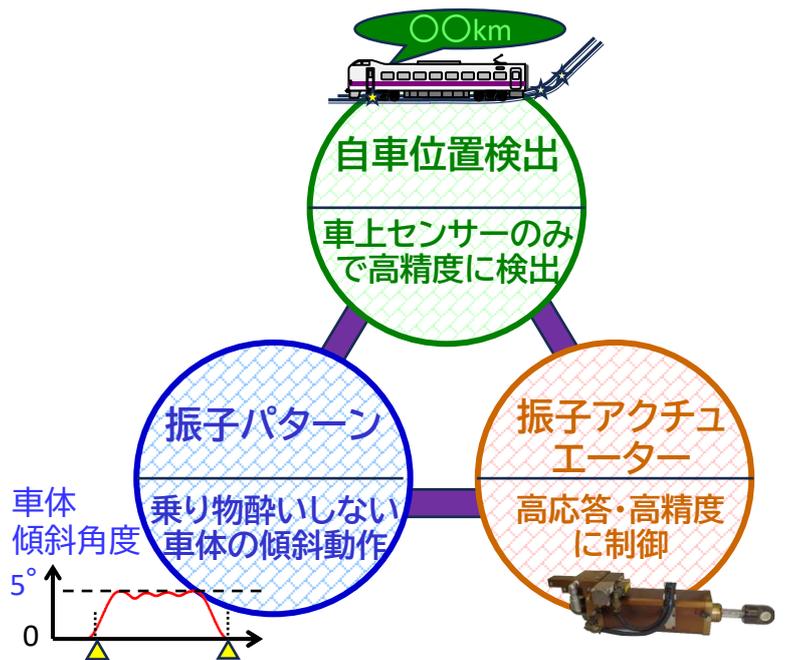
次世代振子システム

1990年代に全国で導入された制御付き振子車両により、乗り心地は大きく改善されましたが、振子車両に特有の乗り物酔いは完全には解消されていません。そこで、乗り物酔い解消を目指した「次世代振子システム」を開発、実用化しました。3つの要素技術の革新により、良好な乗り心地を実現します。

特 徴

- 酔いの原因となる低周波の左右動揺発生を防ぐには、曲線の形状に合わせた正確な車体傾斜が必要になります。これを実現するための3つの要素技術を有しています。
 - ① 車上のセンサーのみで取得可能な線路の曲率(曲がり具合)情報を用いた、高精度な自車位置検出を行うことができます。
 - ② 低周波の左右動揺発生を抑制し、傾斜速度なども考慮した振子角度の目標値(振子パターン)を生成できます。
 - ③ 上記の振子パターンに追従可能な高応答、高精度に車体を傾斜させる振子アクチュエーターを搭載しています。
- 乗り物酔い指標(MSDVy)を大きく低減します。

次世代振子システムの要素技術



用 途

1990年代に全国で導入された制御付き振子車両の更新需要に対応します。

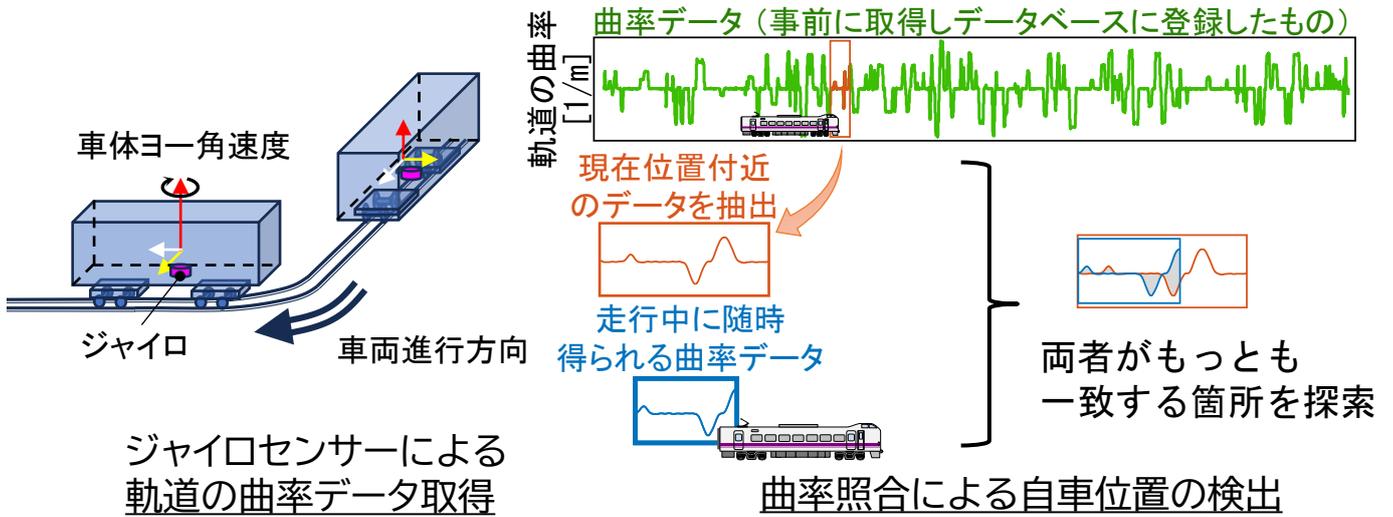
活用例

鉄道事業者において、新型振子車両の制御システムとして活用されています。

特許第6983126号、特許第7420669号、特許7295825号

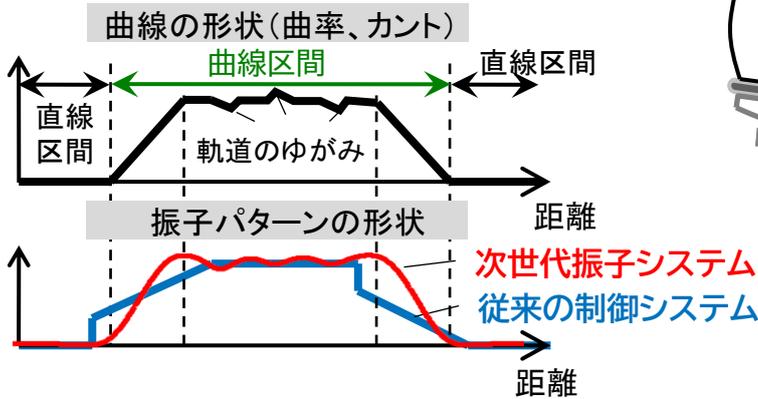
①自車位置検出

車上のジャイロセンサーで得られる軌道の曲率データをデータベースと照合することで自車位置を高精度に把握。ATS地上子など地上設備に頼らず省保守も実現。

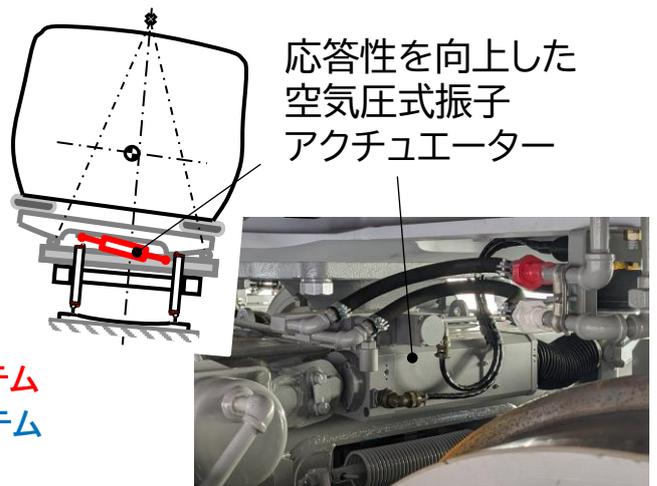


②振子パターン

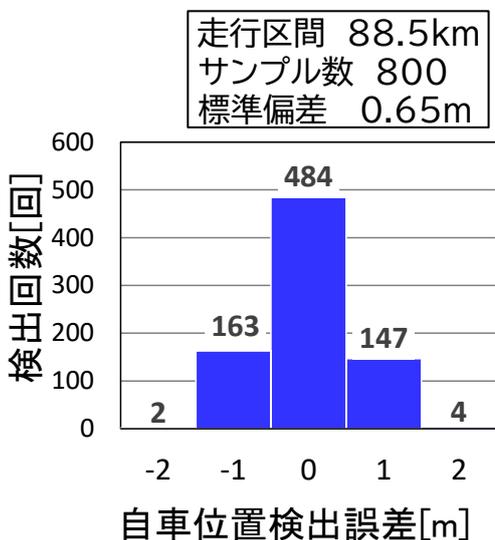
低周波の動揺発生を防ぐため、実軌道の形状に合わせて振子パターンを生成



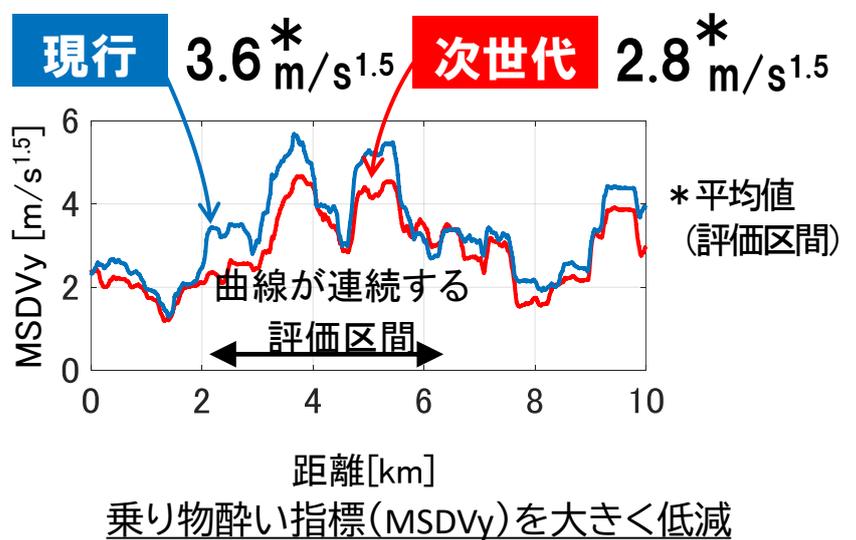
③振子アクチュエーター



自車位置検出精度の評価例



乗り心地の改善例



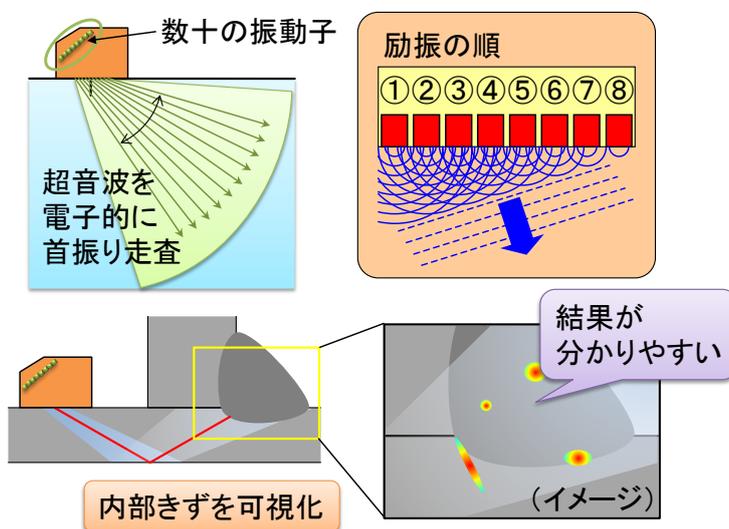
台車枠溶接部の フェーズドアレイ超音波探傷法

鉄道車両の台車枠は、多数の溶接により組み立てられており、溶接内部のきずを起点として損傷が発生する可能性があります。従来の検査法では、きずの発見に高度な技能を要していました。そこで、溶接内部のきずを容易に検出できる、フェーズドアレイ超音波探傷法(PAUT法)による台車枠の探傷法とその探傷手順を策定しました。

特徴

- 超音波を様々な角度に首振りさせて送受信することにより、探傷結果が可視化された断面画像として得られます。
- きず信号とノイズの弁別が容易で、傾いたきずの検出や塗膜上からの探傷にも有効です。
- 従来の超音波探傷法に適用される日本産業規格(JIS)に準じ、同じ基準きずを用いたPAUT法の探傷手順を策定しました。
- 従来の超音波探傷法に対して、本PAUT法は同等以上のきず検出感度を有しています。

フェーズドアレイ超音波探傷法(PAUT法)



用途

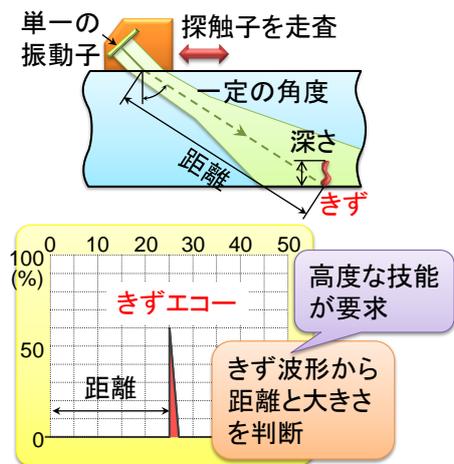
車両の製造時検査、あるいは定期検査において、台車枠溶接内部の健全性を確認するために用いることができます。

活用例

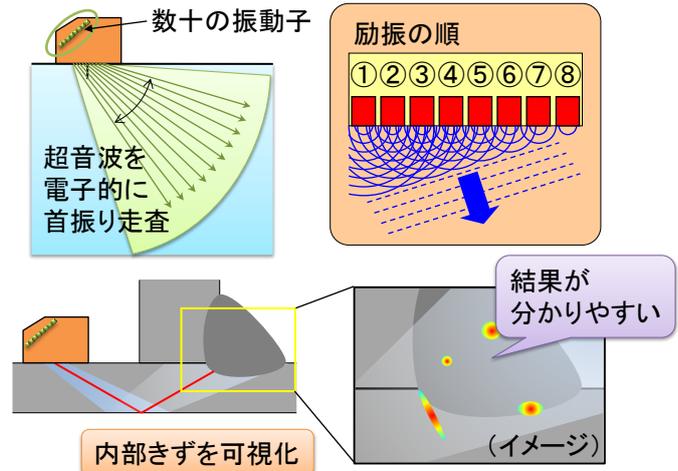
鉄道事業者における車両の定期検査で、台車枠溶接部の検査手法として活用されています。

従来UT法とフェーズドアレイ超音波探傷法の比較

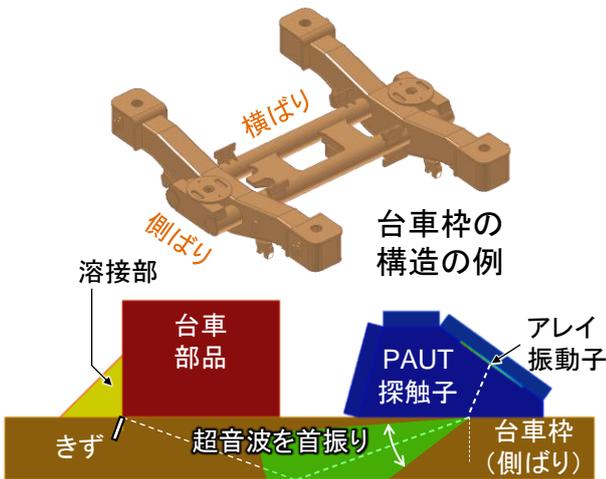
従来の斜角探傷法(従来UT法)



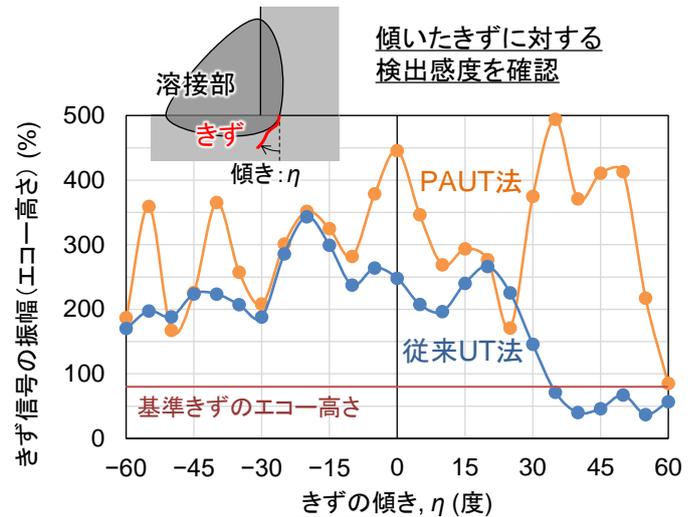
新しい方法(フェーズドアレイ:PAUT法)



傾いたきずに対する検出性能の確認

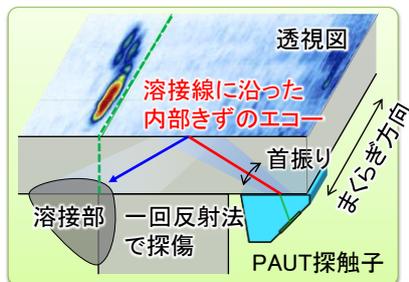


側ばりのおもて面から、板厚での一回反射法で溶接部を探傷



PAUT法は $\pm 60^\circ$ までの傾いたきずの検出に有効

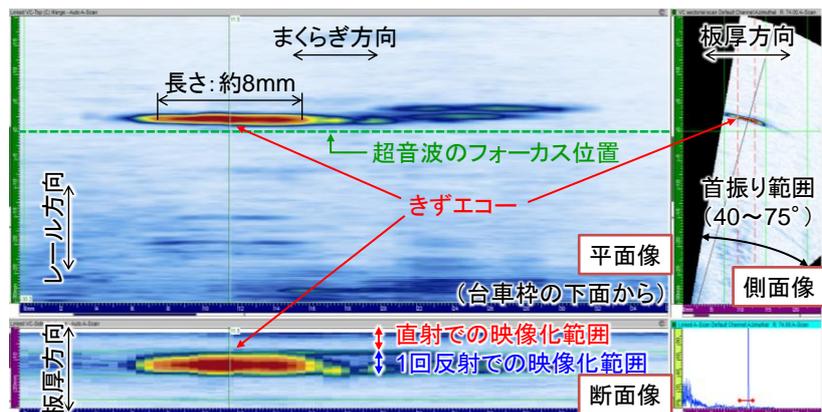
実台車枠での探傷試験



溶接線に沿った長さ約8mmのきずを検出

dB
100
80
60
40
20
0

まくらぎ方向の溶接線に沿って一回反射法で探傷



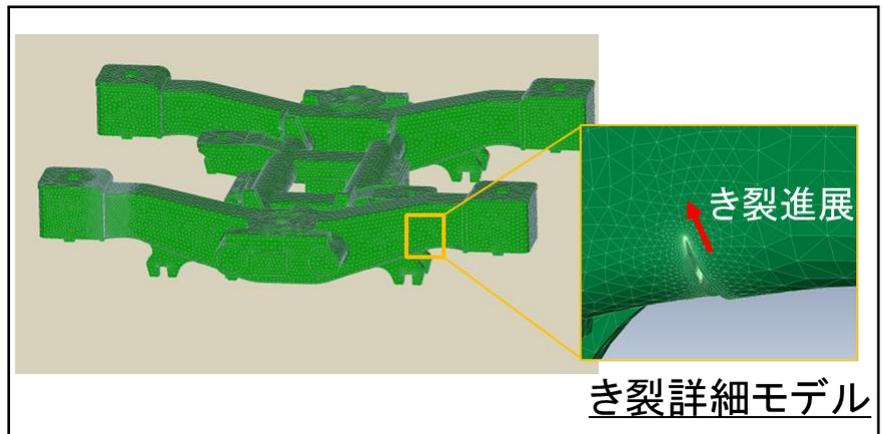
台車枠のき裂進展シミュレーション

き裂進展量を解析的に評価するため、FEM解析によりき裂開口変位量を求め、き裂先端部の応力拡大係数を算出します。得られた応力拡大係数をもとにき裂進展則から疲労負荷一サイクル当たりのき裂進展量を求めます。き裂進展量に応じてFEM解析モデルを更新することにより連続的なき裂進展を評価することができます。

特徴

- き裂進展に応じてFEM解析モデルを自動更新することにより、き裂進展量および進展経路を評価できます。
- 3次元解析のため、台車枠のような複雑な構造のき裂進展が評価できます。
- 動的解析を行っているため、走行時の著大な変動負荷を考慮した実走行条件を再現しています。
- き裂進展則の特性係数は、台車枠に用いられている材料によるき裂進展試験により得られています。

台車枠のき裂進展解析



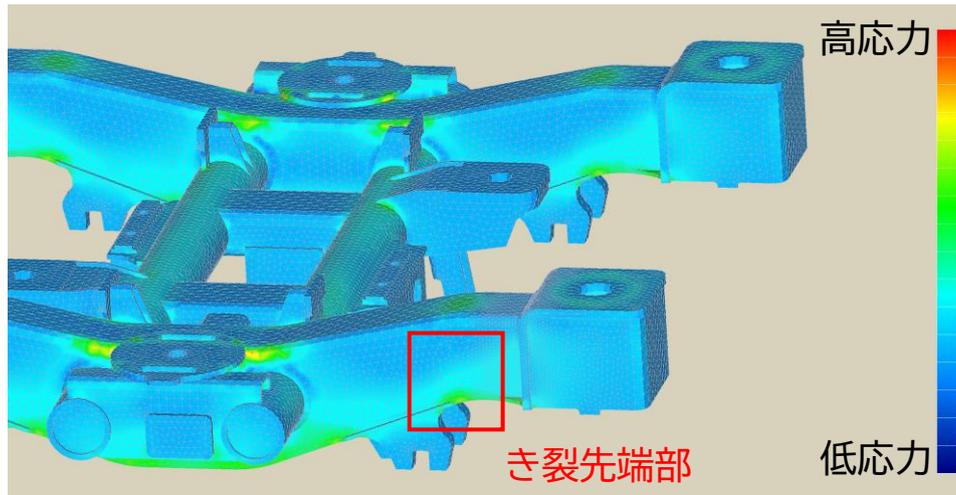
用途

- 台車枠にき裂が発生した際の余寿命評価が行えます。
- き裂が生じる可能性の高い部位におけるき裂進展挙動を把握できます。
- 台車枠の保守計画策定に活用できます。

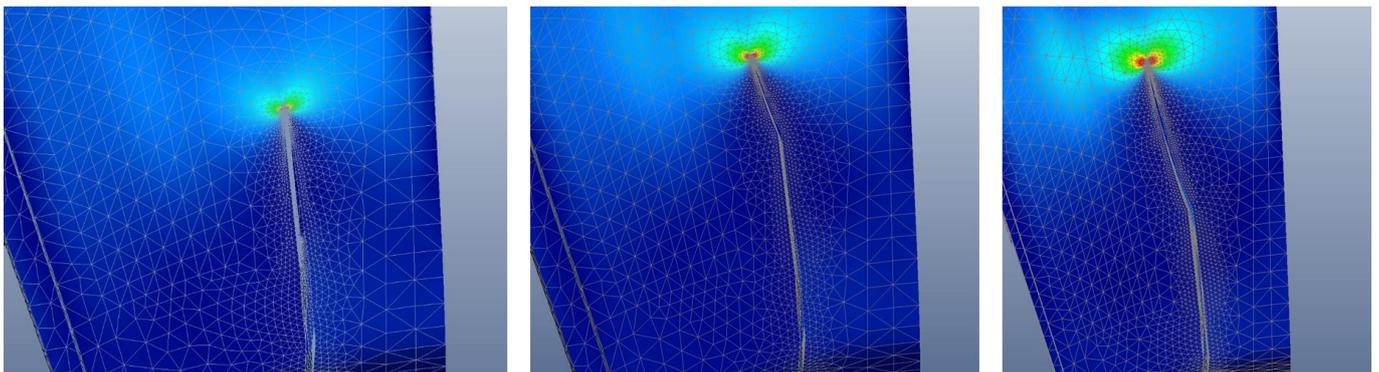
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、台車枠のき裂進展シミュレーションを実施しています。

台車枠の応力解析



き裂進展により更新されたFEMモデル

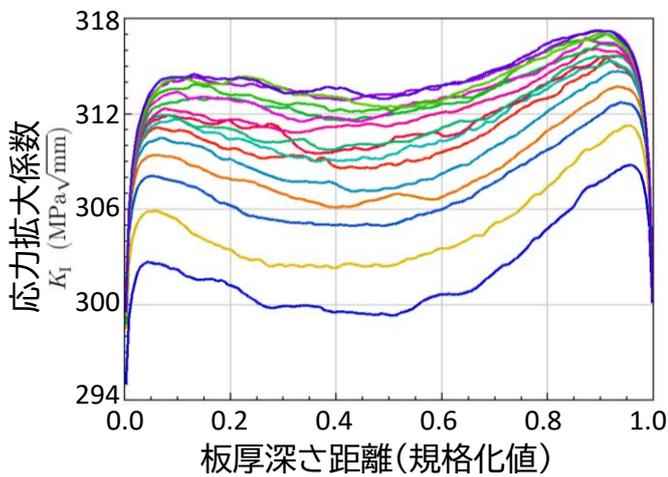


(a)き裂長さ150mm

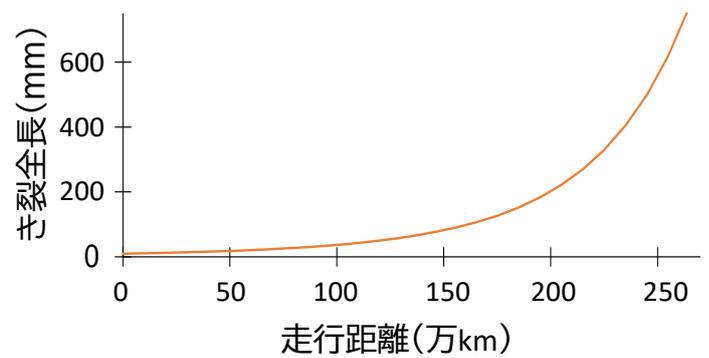
(b)き裂長さ200mm

(c)き裂長さ250mm

き裂先端部の応力拡大係数



き裂進展量評価



新幹線用車軸軸受油

新幹線網が寒冷地に拡大するにあたり、従来の新幹線用車軸軸受油では低温流動性の不足が懸念されました。これを解決するため、鉱油系基油でありながら十分な低温流動性を有し、メンテナンス性および供給安定性にも優れた新幹線用車軸軸受油を新規開発しました。

特 徴

- 従来品の基油にはグループⅡ鉱油が使用されていましたが、開発品ではより低温流動性に優れるグループⅢ鉱油(高度精製鉱油)に変更しました。また、低温での粘度増加を抑制するため、流動点降下剤を増量しました。これらにより、流動点は従来品の -27.5°C から -42.5°C に改善し、高温で必要な粘度を確保しながら、低温流動性を大幅に向上させています。
- 従来品と同種の酸化防止剤を採用することで、紫外線による赤色化を防止しました。これにより、フレッチング摩耗粉の混入による変色を判断しやすくして、従来品と同等のメンテナンス性を確保しています。
- 基油と添加剤には、他用途で広く使われている汎用品を採用し、コスト上昇を抑制しながら、供給安定性を確保しています。
- 開発品の酸化安定性や耐荷重性、耐摩耗性が従来品と比較して同等以上であることを、実験室試験によって確認しています。
- 実物の車軸軸受を用いた台上試験、および新幹線車両を使用した現車試験により、開発品が80万kmの使用に対して十分な耐久性を有することを確認しています。

用 途

寒冷地をはじめ様々な環境で走行する新幹線車両において、低温性能とメンテナンス性、供給安定性に優れた車軸軸受油として使用可能です。

活用例

鉄道事業者において、車軸軸受の潤滑油として活用されています。

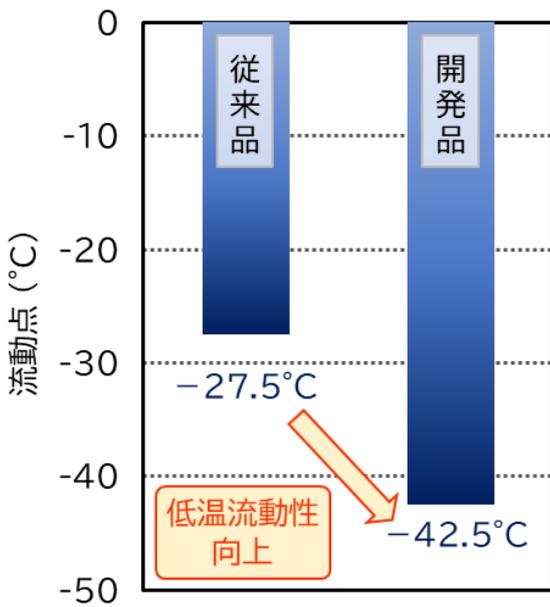
本技術開発はENEOS株式会社と共同で実施しました。

材料技術研究部(潤滑材料)

開発品の組成

			開発品	従来品
基油	鉱油	Group II	—	○
		Group III	○	—
添加剤	酸化防止剤		○(増量)	○
	流動点降下剤		○(増量)	○

開発品の流動点と動粘度



	開発品	従来品
流動点 (°C)	-42.5	-27.5
動粘度 40°C (mm ² /s)	67.20	65.13
動粘度 100°C (mm ² /s)	10.67	8.770
粘度指数(-)	148	108

*流動点: 油が流動する最低温度
 *粘度指数: 温度による粘度変化の指標
 値が大きいほど温度による粘度変化小

高温で必要な粘度を確保しながら
 低温流動性を大幅に向上

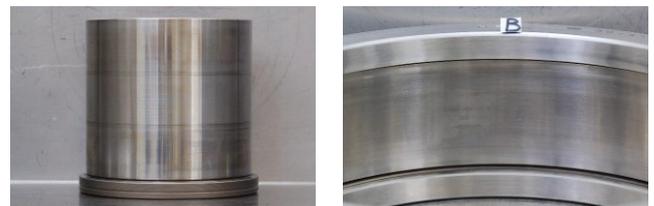
屋外暴露試験による変色

	試験前	試験後
開発品		
従来品		

(UV-A積算量 815.7kJ/m²)

紫外線による赤色化なし
 変色は従来品と同程度

台上試験後の軸受の状態



内輪

外輪



ころ

試験後の軸受に異常なし

温度変動に対応した車載リチウムイオン電池の劣化予測手法

車両搭載用のリチウムイオン電池の劣化を、車載環境における蓄電池温度の変動を考慮した上で予測する手法を開発しました。新たに提案した予測式によって劣化予測の精度が向上するため、より適切な時期に蓄電池を交換することが可能となります。

特徴

- 劣化による電池容量の減少を高精度に予測可能な式を提案し、従来予測式を用いた場合と比較して予測誤差を大幅に低減可能です。
- 基礎実験における電池容量の予測誤差は最大1.3%と小さく、良好な予測精度でした。内部抵抗は従来式に基づいて予測し、同様に基礎実験で評価した結果予測誤差は最大3.1%でした。

開発手法の活用フロー



用途

- 車両搭載用のリチウムイオン電池のうち、通電による劣化が小さい制御回路用蓄電池、非常走行用蓄電池の高精度な劣化予測に活用できます。
- 蓄電池電車やディーゼルハイブリッド車両等に搭載される、高頻度に大電流で通電される蓄電池の場合は、通電による劣化を別途予測する必要があります。

活用例

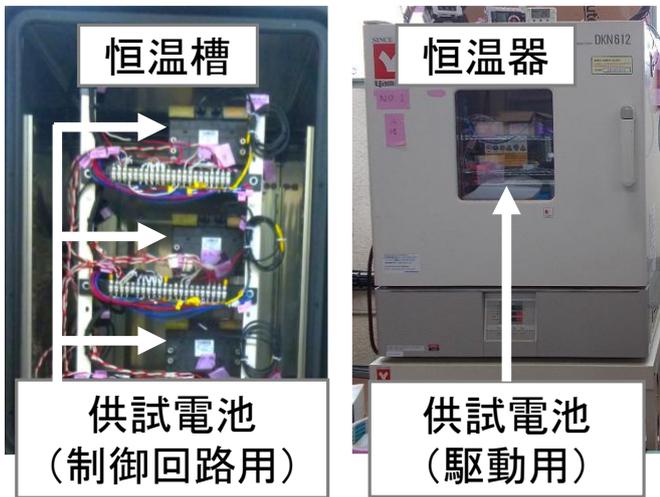
鉄道事業者において、車載蓄電池の交換計画作成時に活用されています。

提案した容量予測式の特長

車載用蓄電池の使用環境は気温変動が大きいいため、実使用時の電池温度の変化を考慮して劣化を予測することが実用上重要です。これが可能であり、かつ長期予測時の精度が高いのが提案式の特長です。

電池容量の予測式		温度変化への対応	長期予測時の精度
従来式	(ルート則)	○	△
	(ワイブル則)	×	○
提案式	(ワイブル則の拡張)	○	○

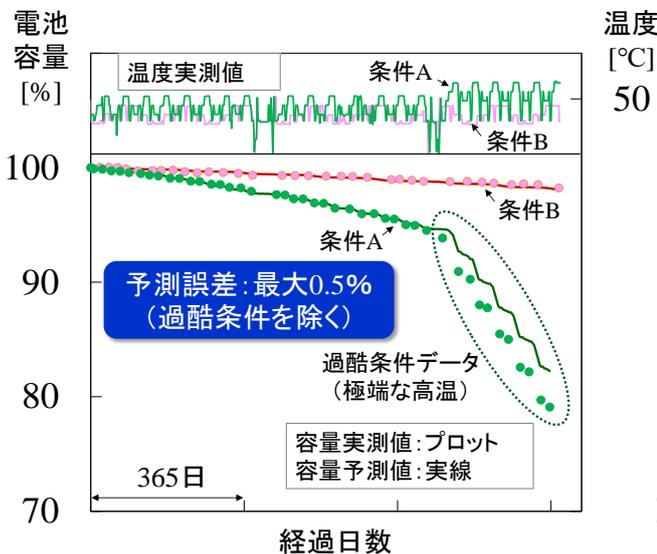
基礎実験の実施状況



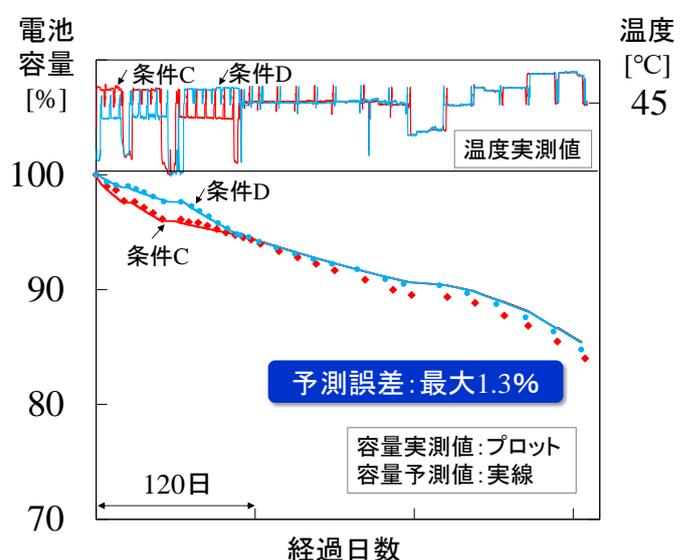
鉄道車両で使用実績のある2種類の供試電池を、環境温度が定期的に変化する条件で加速的に劣化させました。実測値の一部を用いて劣化傾向を把握し、これを反映した提案式によって電池容量を長期間予測した結果、予測誤差は最大1.3%でした。

なお、通電による劣化の影響は無視できる条件で実施しました。

基礎実験による容量予測値評価 (制御回路用蓄電池)



基礎実験による容量予測値評価 (駆動用蓄電池)



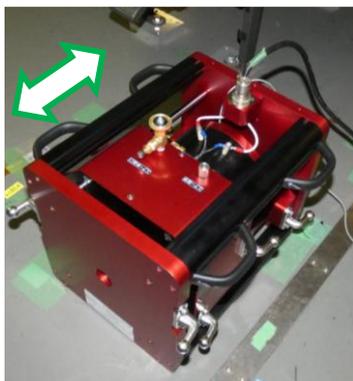
車体の3次元的な弾性振動特性を把握する実験・解析手法

水平・垂直対応の起振器と無線式の測定システムを用いて、高周波数域における3次元的な変形を伴う車体の弾性振動の特性を把握する実験・解析手法を開発しました。

特徴

- 車体床面の任意位置から水平・垂直方向に加振できる起振器を用いて、車体の3次元的な弾性変形を伴う振動(弾性振動)を励起できます。
- 無線式の3軸加速度センサーノードとアナログ電圧ノードで構成した測定システムにより、車体各面(床・天井・側など)の加速度と起振器の加振力等を効率的に測定できます。
- 多数の加振点および測定点を設定した加振試験結果から実験モード解析を行うことで車体の振動特性(固有振動数と変形形状)を把握できます。

水平・垂直対応起振器



水平加振



垂直加振

無線式測定システム



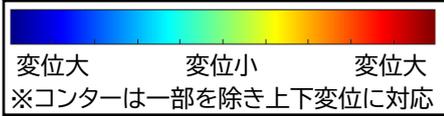
用途

- 車体の弾性振動特性を把握することで効率よく振動を低減するための対策箇所の検討が可能です。
- 測定システムを単体で使用することで、短時間の仮設で車両走行中の乗り心地測定が可能です。

活用例

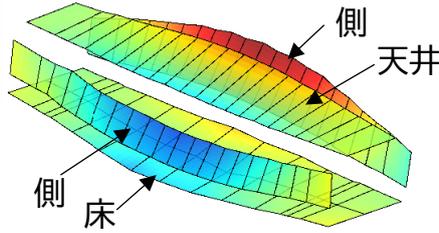
鉄道事業者において、乗り心地の測定などに活用されています。

新幹線型試験車体の弾性振動特性(一例)

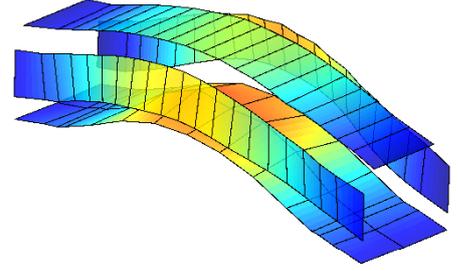


※コンターは左右変位に対応

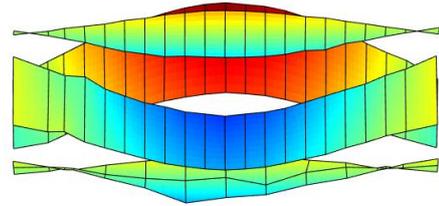
上面図



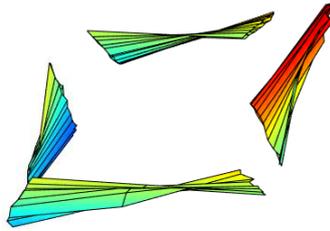
俯瞰図



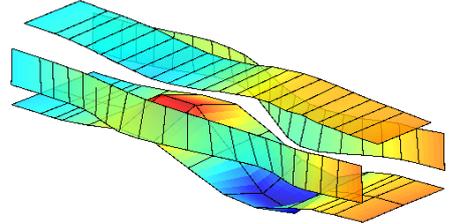
10.6Hz



側面図

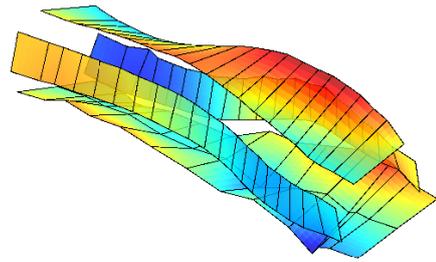


断面図

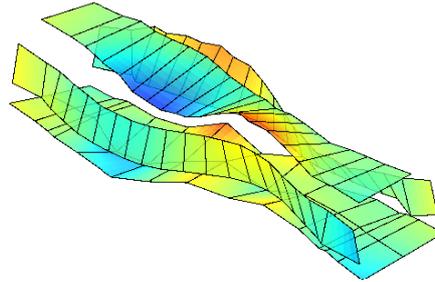


12.0Hz

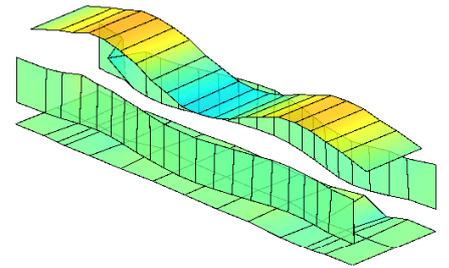
9.1Hz



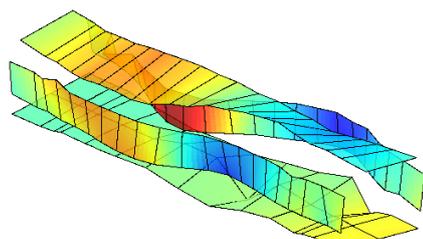
15.7Hz



19.4Hz

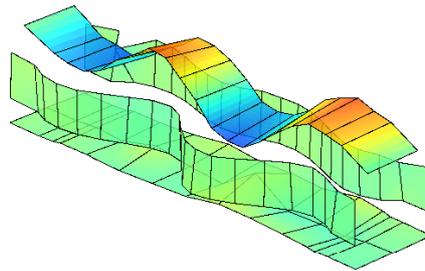


21.0Hz

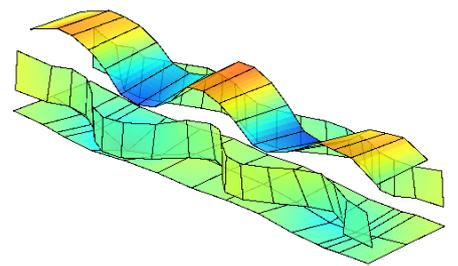


※コンターは左右変位に対応

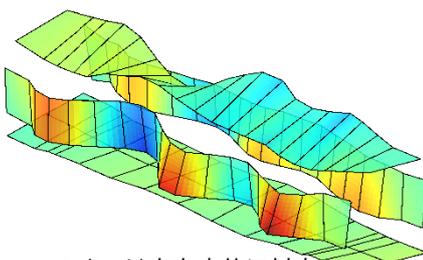
23.1Hz



24.1Hz

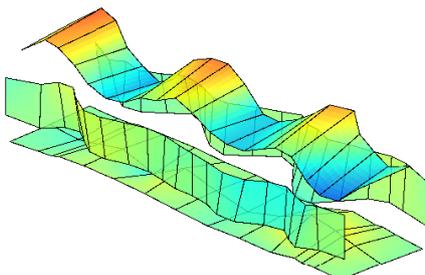


27.6Hz

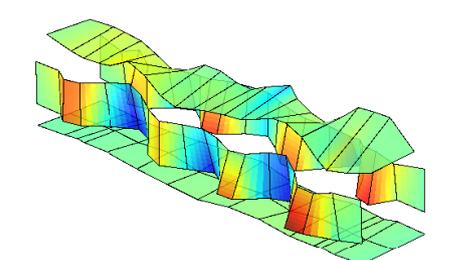


※コンターは左右変位に対応

30.4Hz



31.9Hz



※コンターは左右変位に対応

34.2Hz

確率論に基づいた地震波に対する 走行安全性評価法

一般性を有する多数の地震時軌道面振動に対する車両運動シミュレーション結果に基づいて、以下の前提条件のもと、地震時の軌道面振動波形から脱線発生確率を推定することで地震時の走行安全性を評価します。

- 車両は地震に遭遇したものとし、地震の発生確率等は考慮しません。
- 軌道面振動波形の形状に発現可能性は均一であるとしています。
- 線路形状は軌道不整のない直線区間とします。
- 隣接構造物間の不同変位は考慮しません。

特徴

- 脱線発生確率を推定するためのバックデータを用意すれば、短時間で地震時の軌道面振動に対する脱線発生確率を推定することができます。
- 「脱線／非脱線」の2値評価ではなく、「確率」の連続値によるきめ細かい評価が可能です。
- 多数の地震時軌道面振動に対して脱線発生確率を推定することで、地震波に対する走行安全性を評価できます。

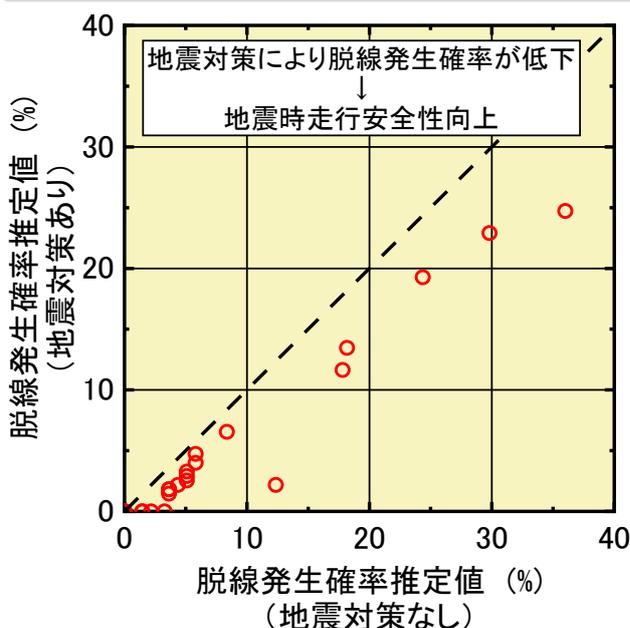
用途

地震時脱線対策の施工前後の評価結果を比較することで地震対策の効果を把握することができます。

活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、地震時の走行安全性評価を行っています。

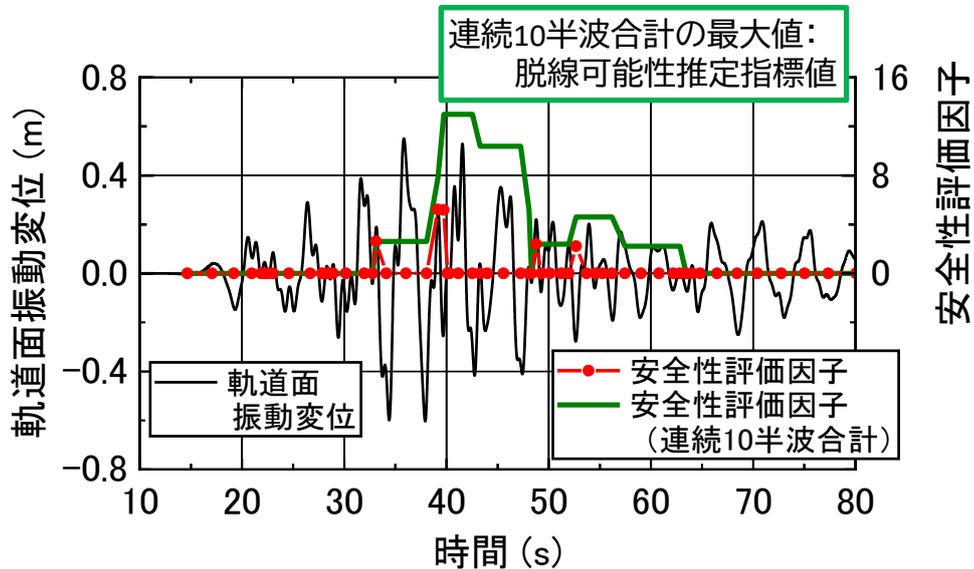
地震時脱線対策効果比較例



鉄道力学研究部(車両力学)
鉄道地震工学研究センター(地震応答制御)

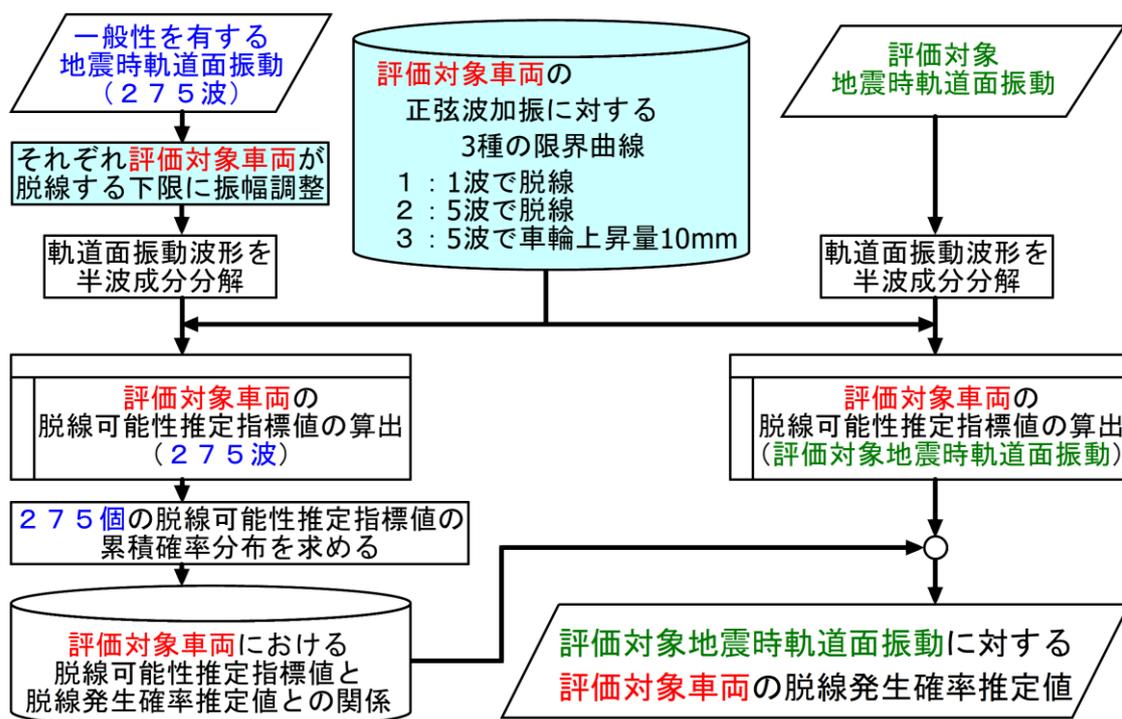
脱線可能性推定指標値

- 地震時の軌道面振動波形を半波成分分解し、半波毎に正弦波加振に対する安全限界線図と比較することで安全性評価因子を求めます。
- 連続する10半波の安全性評価因子合計の最大値は脱線のしやすさとの相関が高く、それを脱線可能性推定指標値と定義します。



脱線発生確率の推定フロー

- 一般性を有する多数の軌道面振動に対し、それぞれ評価対象車両が脱線する下限に振幅調整して脱線可能性推定指標値を算出し、バックデータを作成します。
- 評価対象の地震時軌道面振動について脱線可能性推定指標値を算出し、バックデータと比較することで、評価対象車両の脱線発生確率を推定します。



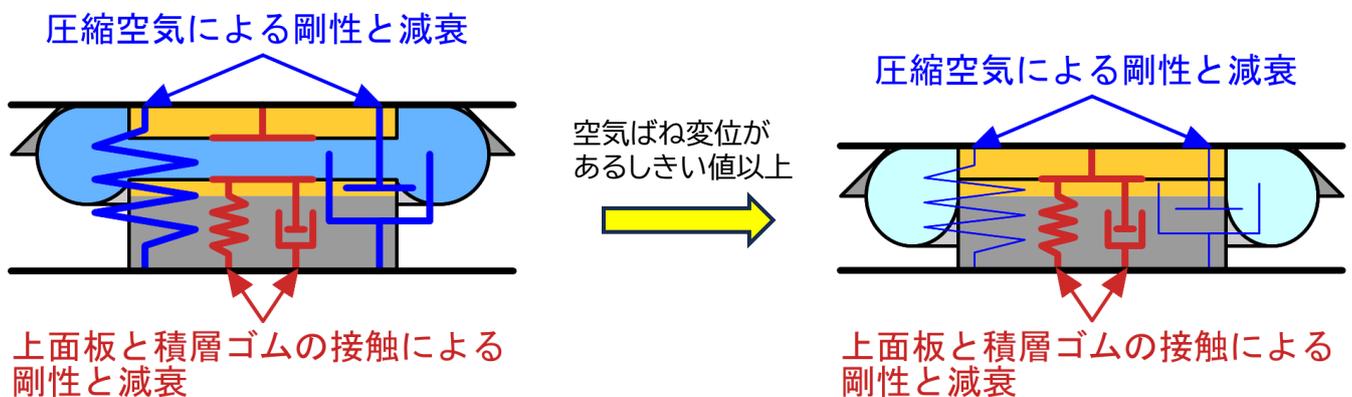
空気ばねからの空気抜けに対応した 車両運動解析法

鉄道車両の空気ばねは内部の圧縮空気により、適度な剛性・減衰をもって車体荷重を支持しています。車体が大きく揺れることにより、空気ばねが想定以上に変形すると、空気ばねから圧縮空気が抜ける可能性があります。解析の途中で圧縮空気が抜けることによる特性変化を表現できるモデル・解析法を構築しました。

特徴

- 車両運動の解析中にばねの変位があるしきい値に達すると、ばねの特性（剛性・減衰・支持荷重）が変化し、それ以後は変化後の特性を維持します。
- 変化後の特性も任意に設定できるため、空気が完全に抜けた状態や、中途半端に抜けた状態も表現できます。

空気ばねから空気が抜けた場合のモデル化



用途

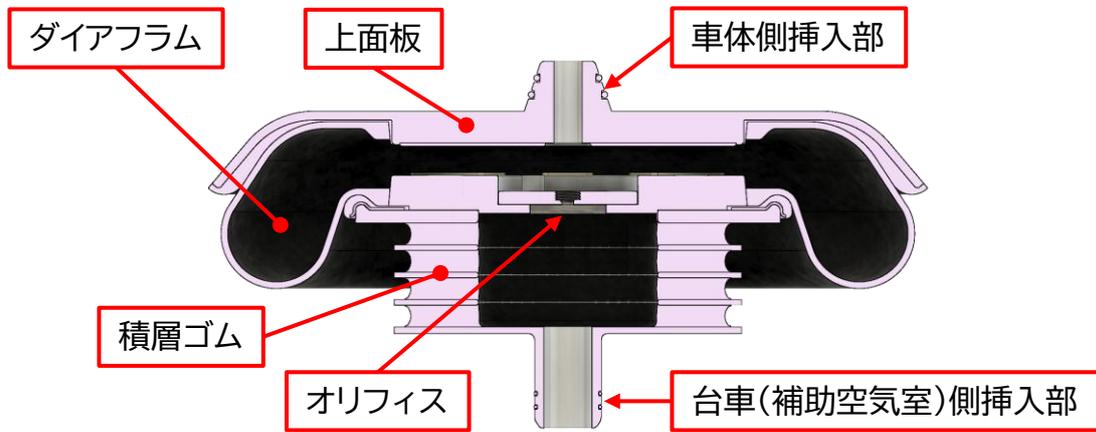
空気ばねが想定以上に変位することによる空気抜けを考慮した走行安全性解析を実施できます。

活用例

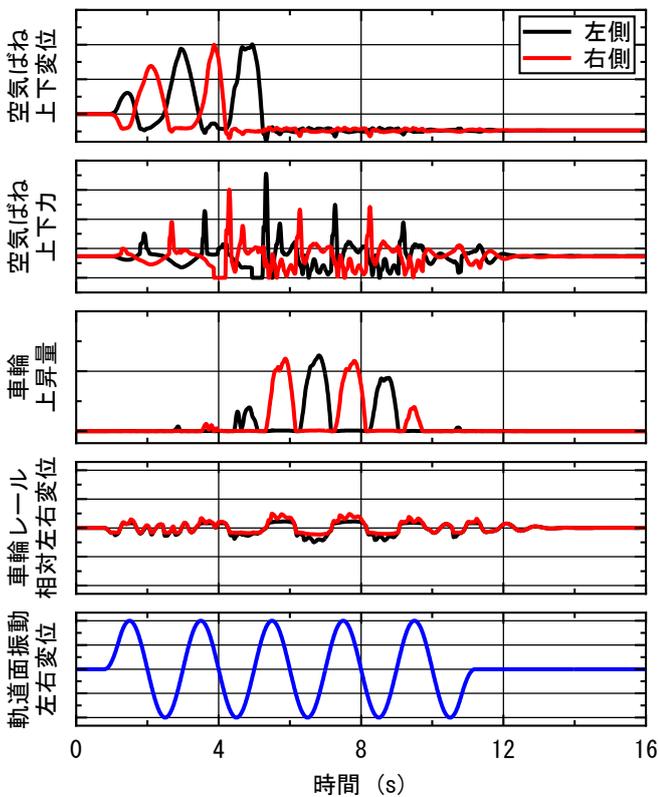
鉄道事業者からの依頼に応じて、地震時の車両挙動解析を実施しています。

空気ばねの構造例

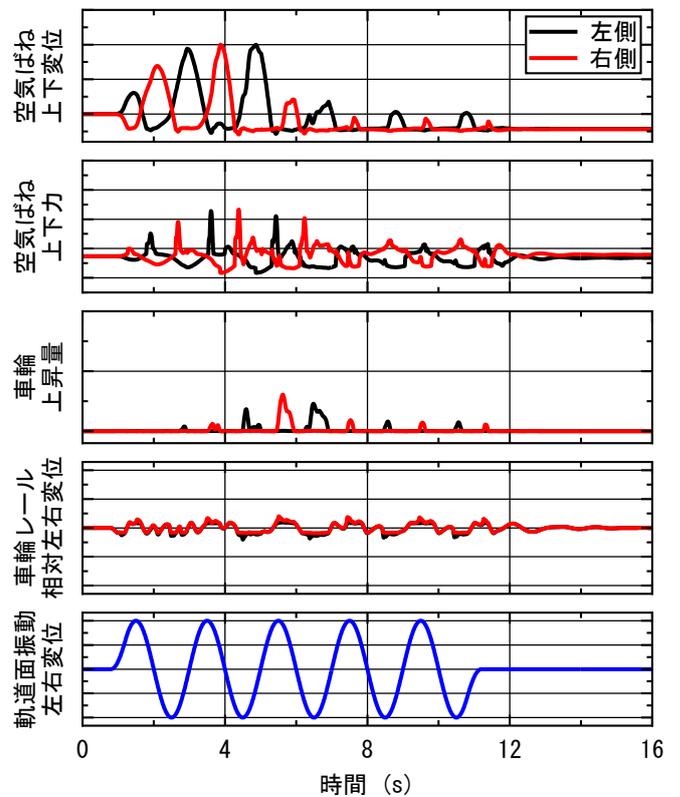
- ダイアフラム内の圧縮空気ではね上荷重を支持しています。
- 圧縮空気がダイアフラムと補助空気室間に設けられたオリフィスを通することで減衰力が発生します。



空気が完全に抜けた場合の解析例



空気がある程度抜けた場合の解析例



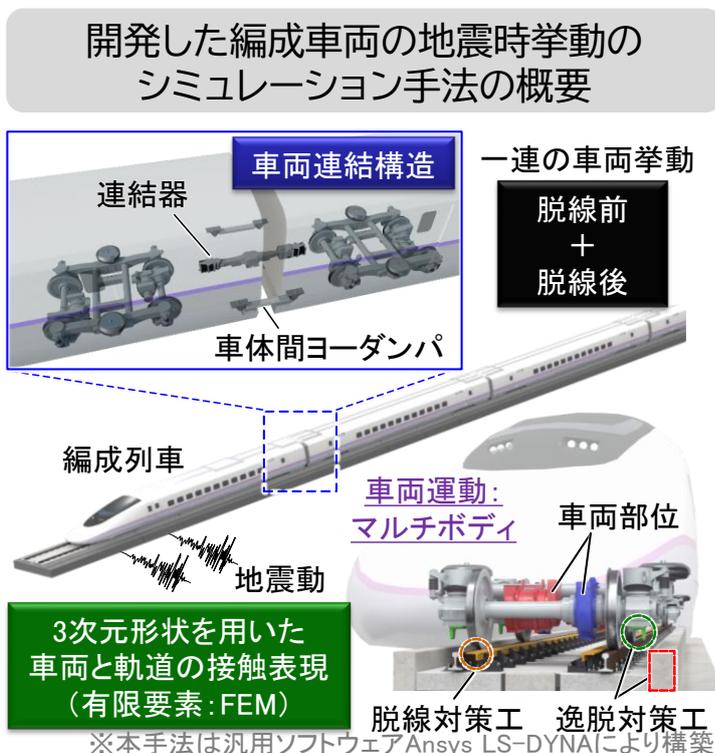
空気が完全に抜けた場合は上面板が積層ゴム上面に接触した状態で空気ばね上下変位が変動せず、空気がある程度抜けた場合は、上面板が断続的に積層ゴム上面から離れ、空気ばね上下変位が変動している結果が見取れます。

編成車両の 地震時挙動シミュレーション

連結器等の車両連結構造の影響を考慮した、編成車両としての地震時挙動をシミュレーション可能な解析手法を開発しました。本手法では、脱線前後の一連の車両挙動を表現することが可能です。

特 徴

- 1両での脱線前から脱線後までの地震時車両挙動を効率的に計算可能な解析手法として、車両運動表現用のマルチボディと接触表現用の剛体の有限要素を組み合わせた解析手法を開発しました。
- 車両／軌道間(例えば車輪／レール間)の接触計算に剛体の有限要素を用いることで、3次元形状同士の緻密な接触計算を行いつつも計算時間を大幅に短縮しています。
- 車両連結構造である連結器および車体間ヨーダンパの力学モデルを提案し、上記の1両モデルに組み込み、複数車両を連結することにより、編成状態での地震時車両挙動を表現可能にしています。
- 輪軸ごとに入力地震動を設定できるため、位相差加振をはじめとした様々な条件での検討が可能です。



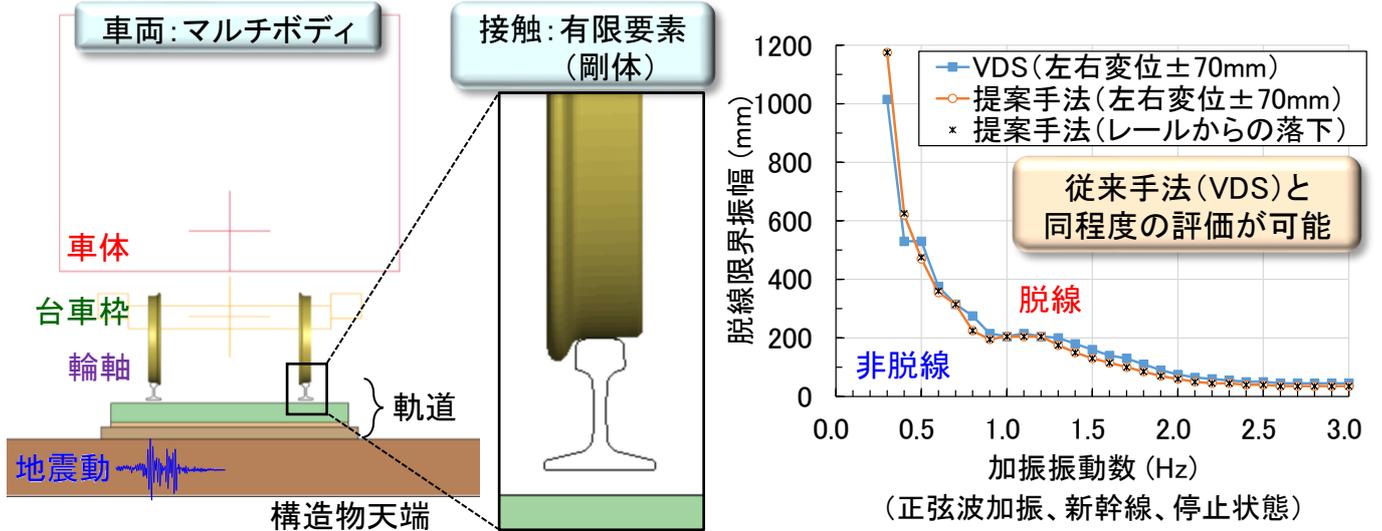
用 途

- 大規模地震発生時の脱線・逸脱事故の原因究明ツールとして使用します。
- 脱線および逸脱の防止対策を検討するためのツールとして使用します。

活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、シミュレーションを実施しています。

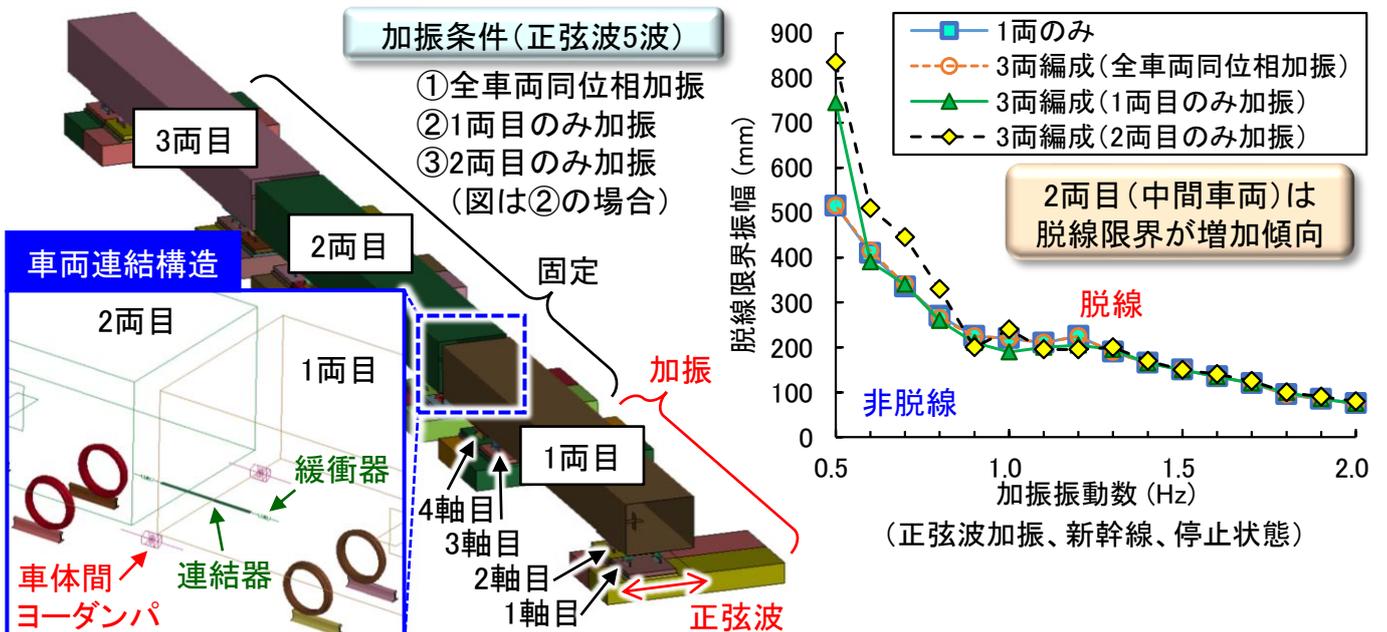
脱線前後の一連の地震時車両挙動の解析手法(1両モデル)とその妥当性



車両連結構造(連結器・車体間ヨーダンパ)の力学モデルの提案



車両連結が脱線に及ぼす影響に関する試算(3両編成モデル)



気動車の排気流れの解明 (汚損軽減のための改良型排気管)

すすによる車外汚損や車内粉じん量増加が問題となる気動車において、汚損を軽減する改良型排気管を提案しました。

気動車の排気流れを評価する実験・数値計算手法、すすによる車外汚損進展評価手法を開発しました。

特徴

- 排気を模擬した高温流体を可視化して気動車の屋根上排気の流れを評価する風洞実験方法および数値計算手法を開発しました。また、気動車の車体表面の定期観察結果を用いた車外汚損評価手法を開発しました。
- 上記手法を用い、すすによる車外汚損・車内粉じん量増加の問題が生じる気動車において、排気流れを改善する改良排気管を提案し、車内粉じん量の増加を軽減することに成功しました。

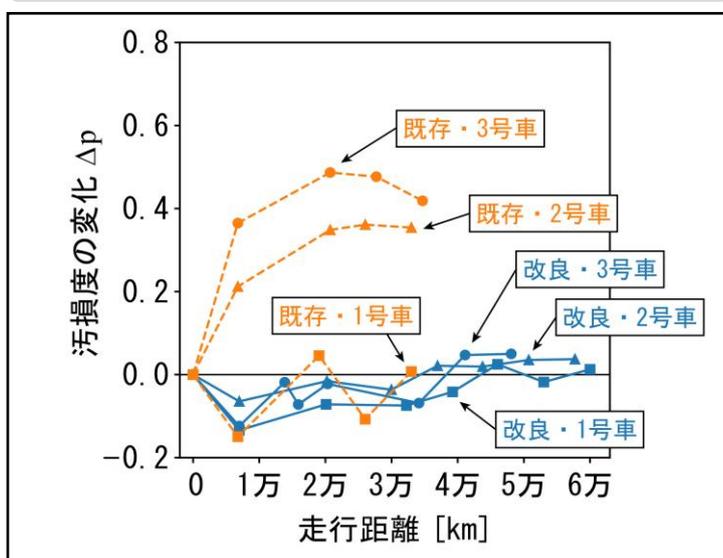
用途

屋根上排気流れの可視化、排気管形状の検討などにご利用いただけます。

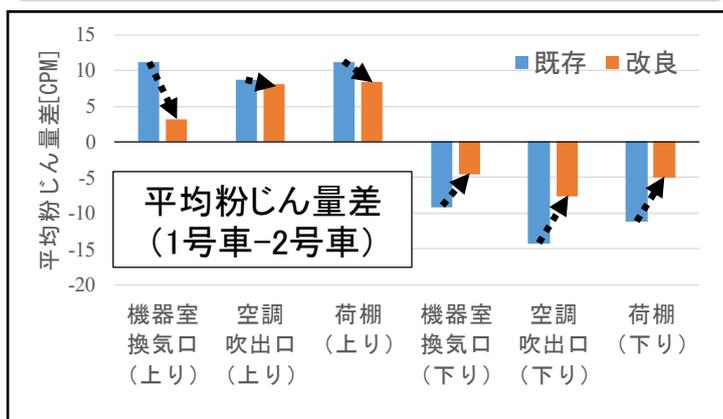
活用例

鉄道事業者において、排気管改良効果の検証に活用されています。

車体表面汚損度の変化



改良排気管による
車内粉じん量の軽減効果

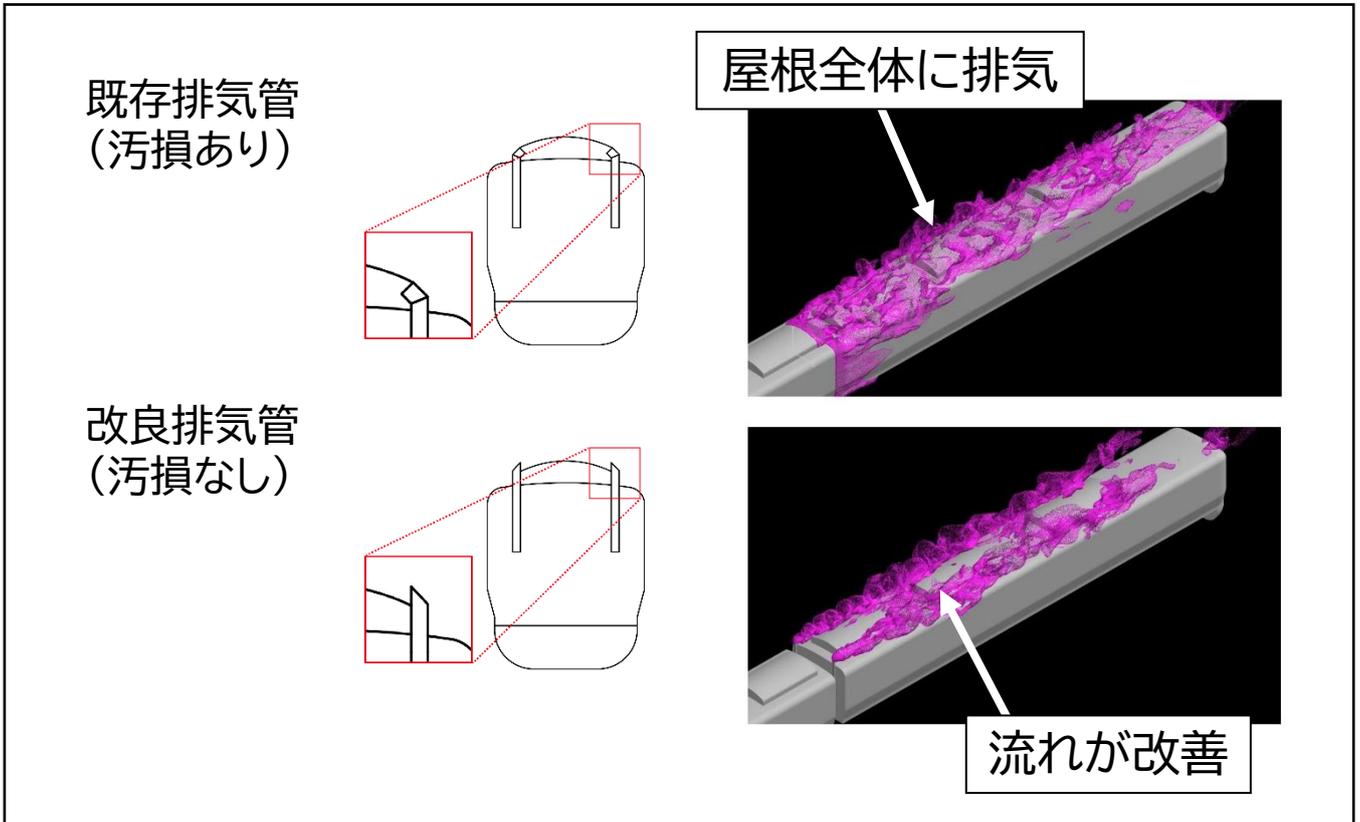


特許出願中

環境工学研究部(熱・空気流動、車両空力特性)
車両技術研究部(駆動システム)

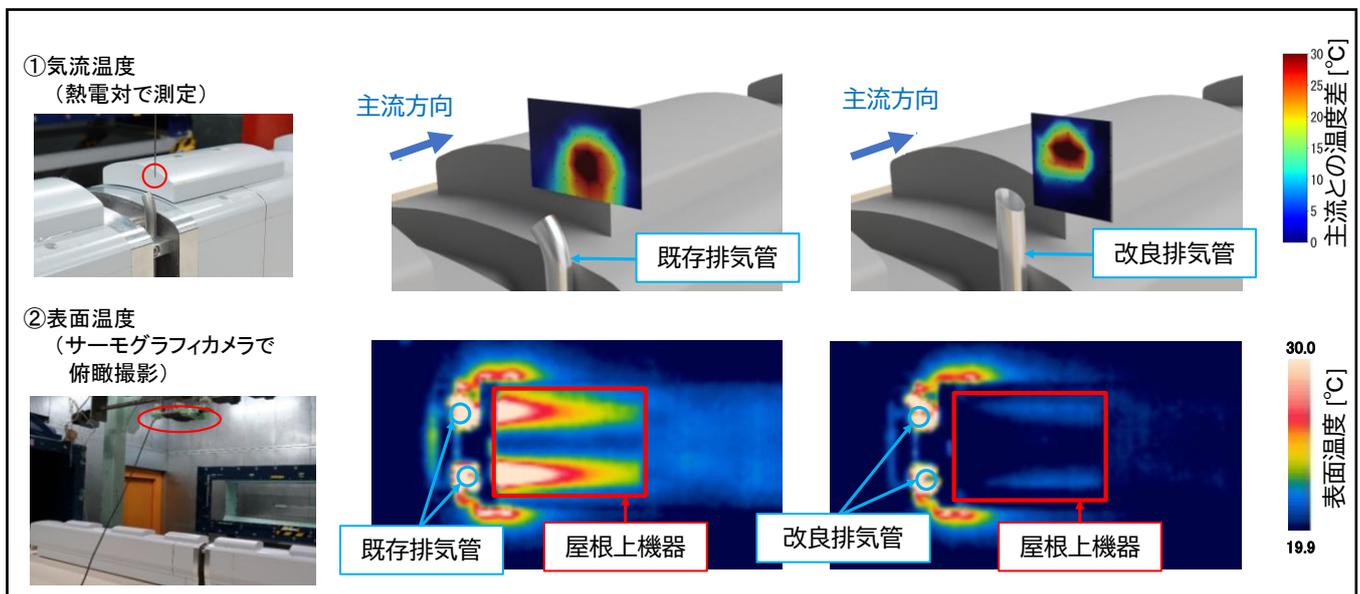
排気流れシミュレーション

模擬排気(高温流体)の境界面をピンク色に着色して表示しています。既存排気管では排気が屋根上全体に広がりますが、改良排気管では流れが改善され、後方へ真っすぐ流れています。



風洞実験による排気流れの可視化

模擬排気(高温流体)の流れを熱電対及びサーモグラフィカメラで可視化しました。既存排気管では排気管下流で排気が広がり車体表面の温度が上昇していますが、改良排気管では排気の広がりや車体表面温度上昇が軽減されています。



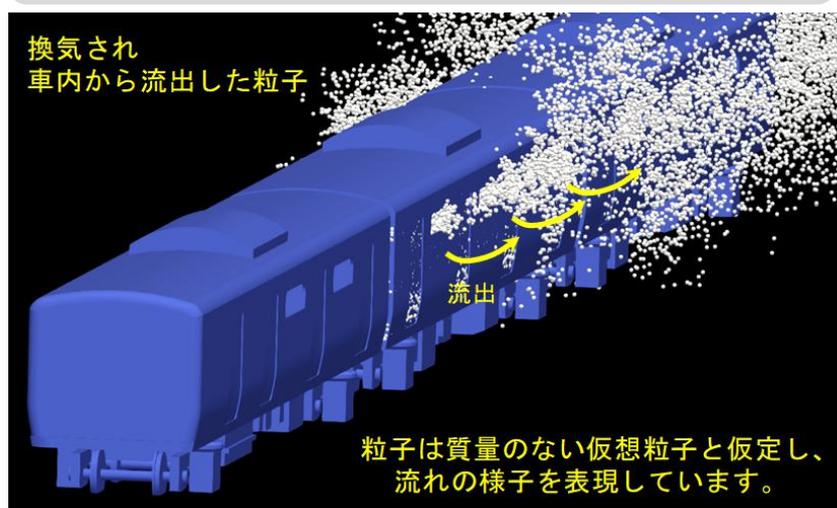
空気流シミュレータ (窓開け走行時の車内換気)

複雑形状に対する流れの数値シミュレーションを容易に実現できる、直交格子法に基づく数値流体解析ツール「空気流シミュレータ」を活用した成果です。通勤電車の走行時の窓開けによる換気量を空気流シミュレータにより予測できました。

特徴

- 計算格子作成作業コストがかからない直交格子法を採用しているため、対象物の三次元CADデータがあれば、すぐに数値シミュレーションを開始できます。
- 大規模並列解析に対応しています。理化学研究所のスーパーコンピューター「京」、「富岳」を用いた大規模並列解析の実績があります。
- 仮想粒子を用いて車内換気量を評価するための機能を空気流シミュレータに実装しました。

窓開けによる車内換気の様子
(2両目車内で発生する仮想粒子が窓から流出)



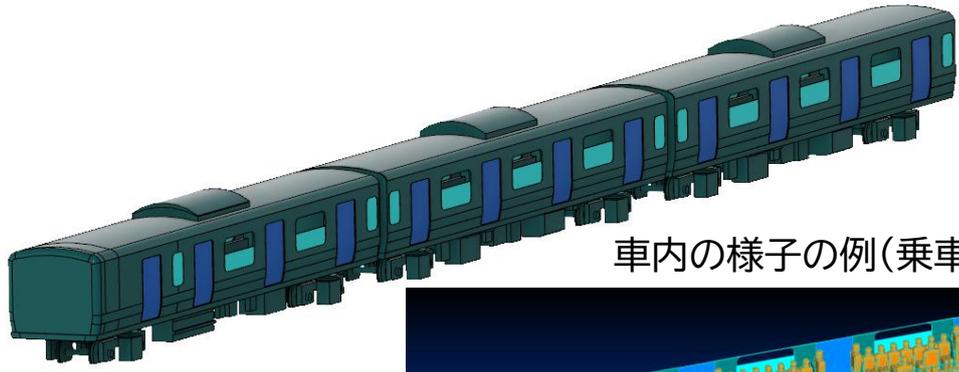
用途

- 任意の車両に対する窓開け走行時の車内換気量を評価できます。
- 各種条件変更(窓開口量、列車速度、混雑度など)に対する換気量を評価できます。
- 空気の流れの詳細情報および可視化により、現象に対する理解を深めることができます。

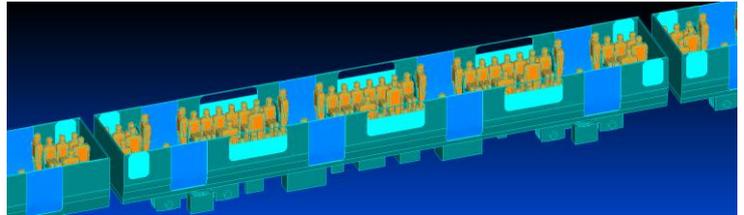
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、シミュレーションを実施しています。

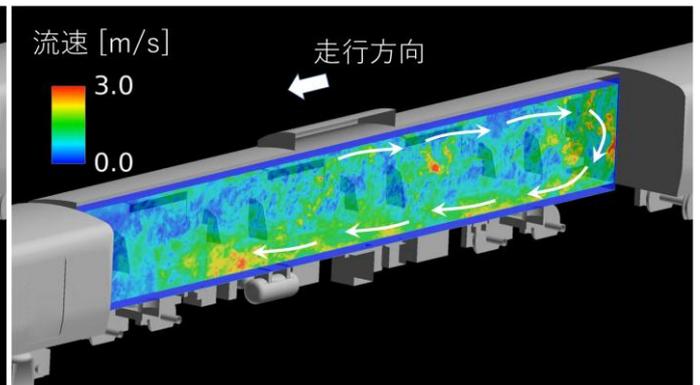
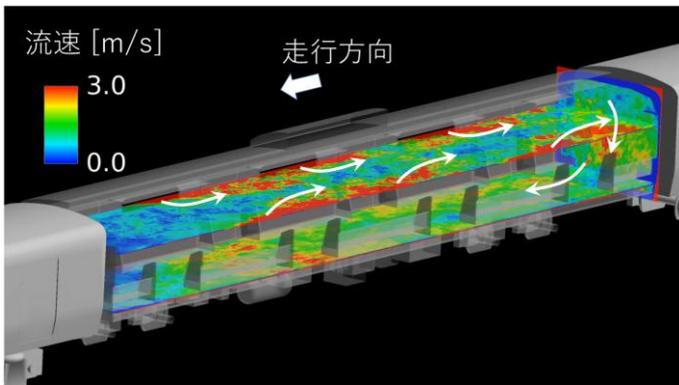
車両モデル(通勤型車両3両編成)



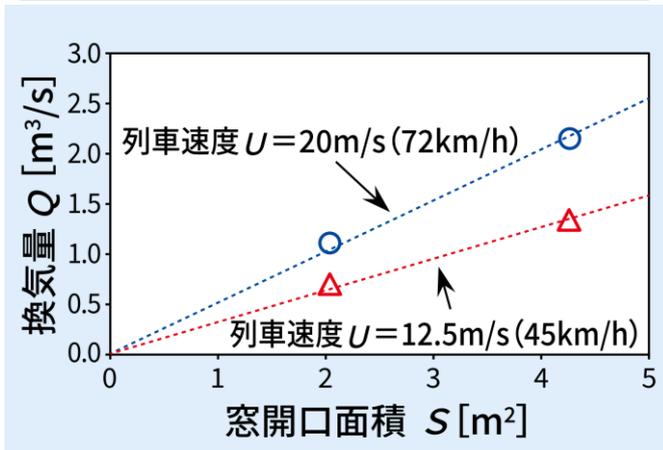
車内の様子の例(乗車率50%)



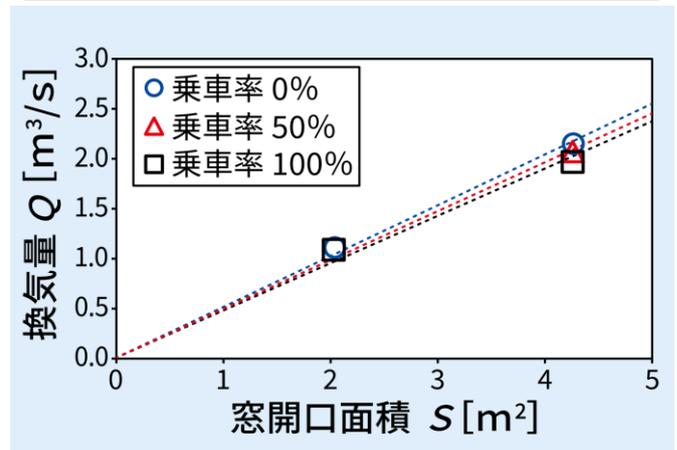
車内の流れの様子(列車速度72km/h、空車)



換気量の評価結果
(窓開口量の影響)



換気量の評価結果
(混雑度の影響)



騒音低減対策のための 高解像度音源探査手法

多数のマイクロホンと高度な信号処理の組み合わせにより、車両まわりの音源分布を高い空間解像度で測定可能です。騒音低減対策の定量的評価や音源別寄与度の算定などに活用できます。

特徴

- 音源分布を可視化するための装置として、複数のマイクロホンで構成されるマイクロホンアレイを使用します。
- マイクロホンの配列や展開領域を変更することで、音源に対する空間解像度や周波数範囲を調整できます(右図は、実際に高速走行する列車から発生する音に対応するように製作した大型マイクロホンアレイの例です)。
- 移動音源対応の音響計算アルゴリズム(デコンボリューション法; DC法)の適用により、音源分布の高解像度化が可能です。

用途

騒音対策を検討すべき対象の決定や対策効果の定量的評価に使用できます。

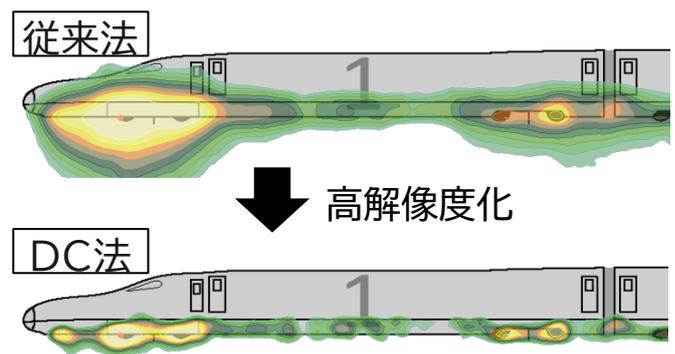
活用例

- 鉄道事業者からの依頼に応じて車両まわりの音源分布測定を行い、騒音低減対策のための寄与度の算定などを実施しています。
- 鉄道総研の大型低騒音風洞(滋賀県米原市)においては、より大型の直径4mのマイクロホンアレイが活用されています。

マイクロホンアレイによる測定概況



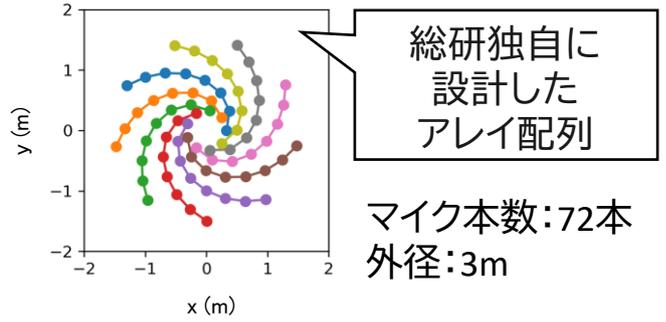
信号処理方法による高解像度化



マイクロホンアレイの構造・主な特徴

配列	マルチアームスパイラル
マイク本数	72本
周波数範囲	250Hz～6.3kHz
空間分解幅	約1m(1000Hz)
その他特徴	可搬式(6分割構造)

マルチアームスパイラル

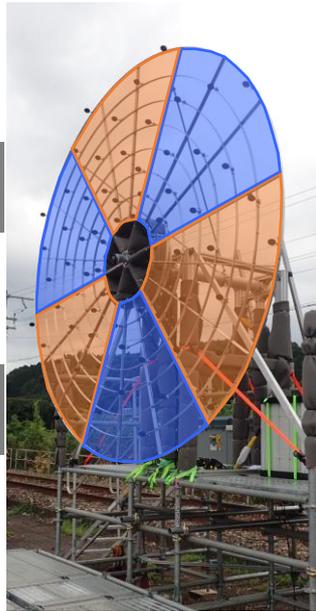


可搬式フレーム

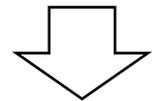
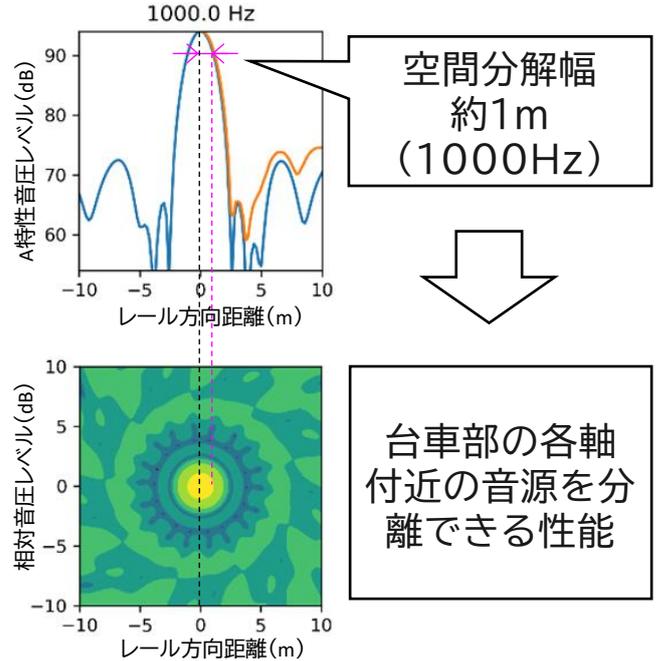
6分割構造の
可搬式フレーム



狭小で作業性の悪い
場所にも設置可能



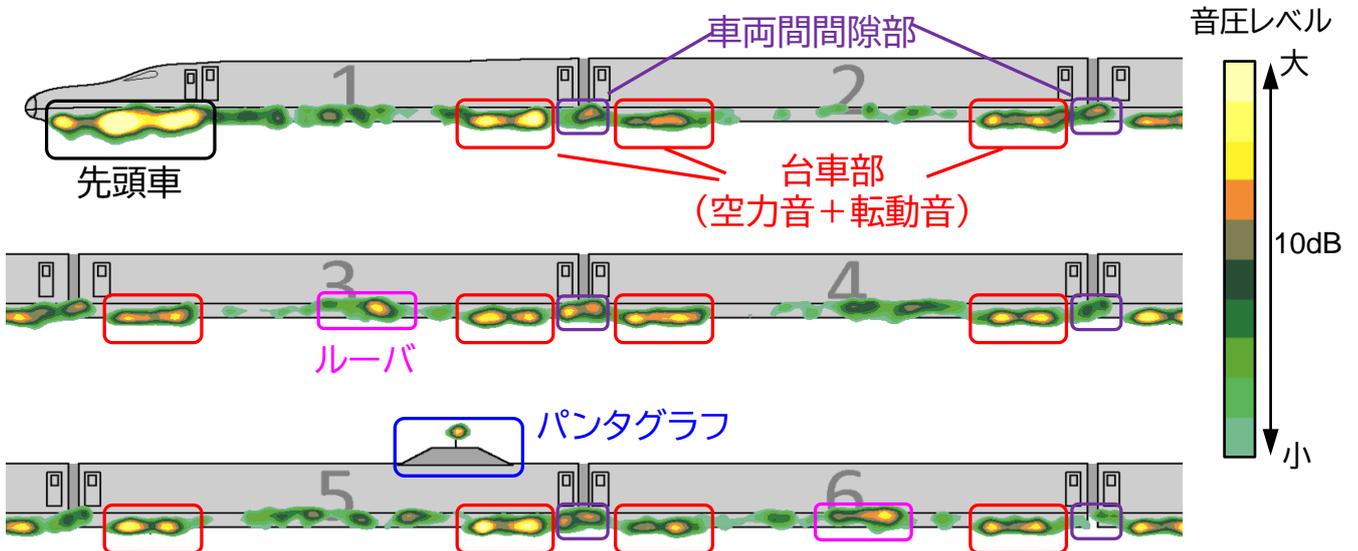
空間分解幅(例:1000Hz)



台車部の各軸
付近の音源を分離
できる性能

車両まわりの音源分布の測定結果

デコンボリューション法による信号処理により、詳細な音源位置が明確化



防 災



自由打撃簡易貫入試験機

のり面工背面地盤の劣化程度と範囲を低コストに把握する簡易試験機です。ハンマーを用いてロッドを地山に打撃貫入し、打撃回数とロッド貫入量の関係から貫入抵抗値を評価します。打撃力の計測により打撃のばらつきによる試験誤差を補正できます。

特徴

- 自由方向に貫入試験を実施することができ、のり面工の排水孔などを通じて横方向に試験することで、のり面工を撤去することなく調査できます。
- 中型サイズのⅠ型試験と小型サイズのⅡ型試験を、現地斜面状況に応じて使い分けることができます。
- 従来の水平ボーリング調査と比べて約1/20程度のコストで調査できます。
- 既往の簡易動的コーン貫入試験の N_d 値に換算することができます。
- 調査結果を「安定性評価ノモグラム」などに当てはめることで、簡便にのり面の安定性を評価できます。

用途

のり面工の変状原因調査および対策工の要否の検討などに利用できます。

活用例

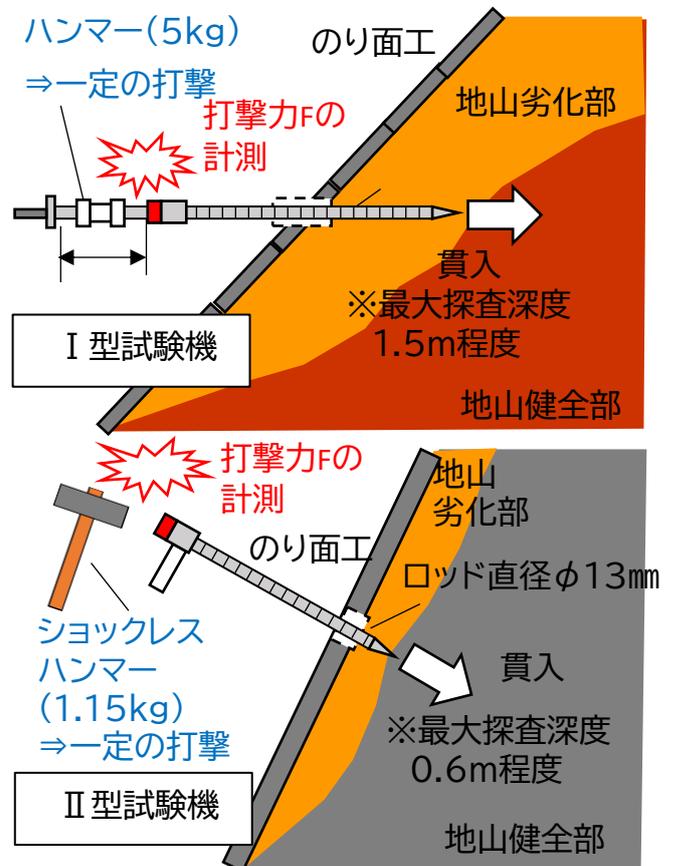
鉄道事業者において、既設のり面工の大規模改修計画における対策優先順位の高い箇所抽出などに活用されています。

特許第7190396号 簡易動的コーン貫入試験装置

地盤の劣化による崩壊の事例



自由打撃簡易貫入試験の概要



自由打撃簡易貫入試験の使い分けの考え方

自由打撃簡易貫入試験 (I型)

特徴: 中型・最大探査深度1.5m程度
 主な適用対象: 切土のり面(地盤)
 主な試験条件: 施工基面の周辺、犬走

詳細試験

打撃力計測による
試験値の事後補正

簡易試験

打撃ルールの順守
(振り子運動)



自由打撃簡易貫入試験 (I型)

自由打撃簡易貫入試験 (II型)

特徴: 小型・最大探査深度0.6m
 主な適用対象: 切土のり面(風化岩)
 主な試験条件: 急こう配なのり面中腹

詳細試験

打撃力計測による
試験値の事後補正

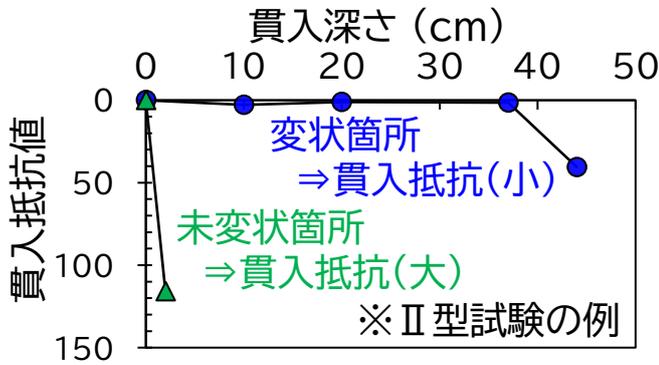
簡易試験

打撃力計測
による監視

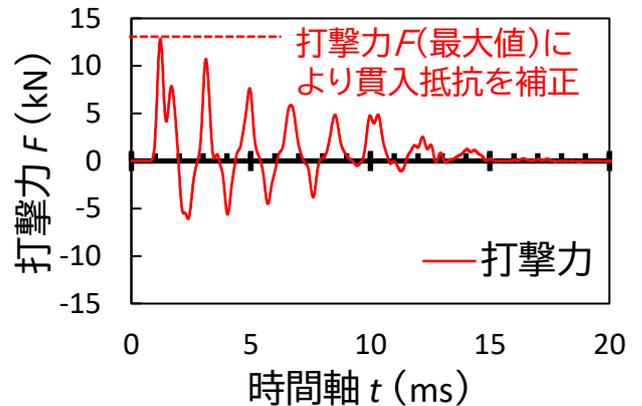


自由打撃簡易貫入試験 (II型)

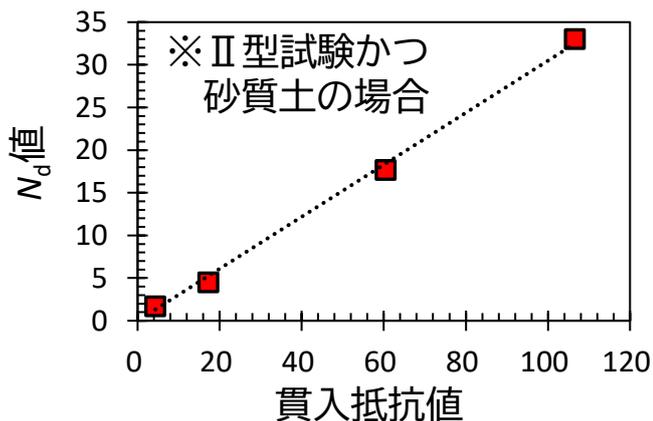
自由打撃簡易貫入試験の実施例



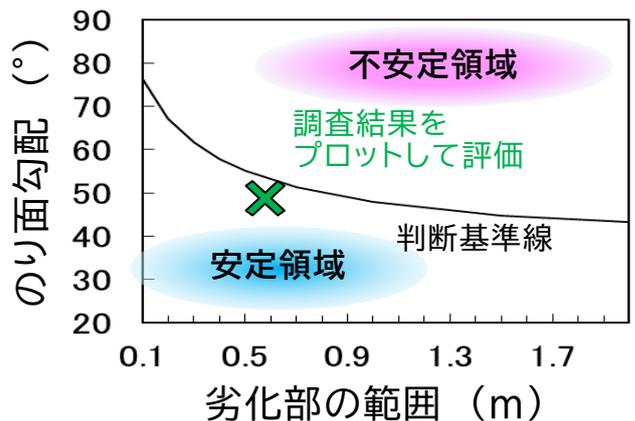
ハンマー打撃の計測例



N_d 値への換算



安定性評価ノモグラムの例



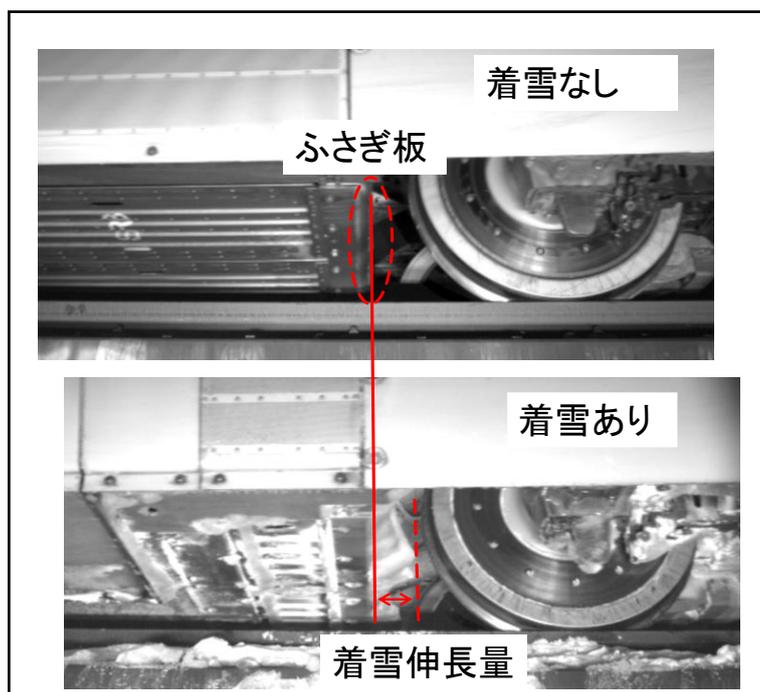
車両着落雪推定手法

沿線の気象情報、施設情報、運行情報を用いて、寒冷な明かり区間での着雪成長と温暖なトンネルでの落雪を判定し、車両台車部の着雪伸長量を推定することが可能な手法です。

特徴

- 沿線の気象情報、明かりやトンネルといった施設情報、列車速度といった運行情報から台車部の着雪量と落雪位置をリアルタイムに推定可能です。
- 駅到着時の台車部フサギ板からの着雪伸長量を約3cmの誤差で推定することができます。
- トンネル内で落雪が多発する区間を誤差約2kmで推定することができます。

車両台車部に成長した着雪



用途

- 駅等での雪落とし作業の要否判断に使用できます。
- 着雪の発生頻度の分析に使用できます。
- 落雪対策が必要な区間の優先度検討に使用できます。

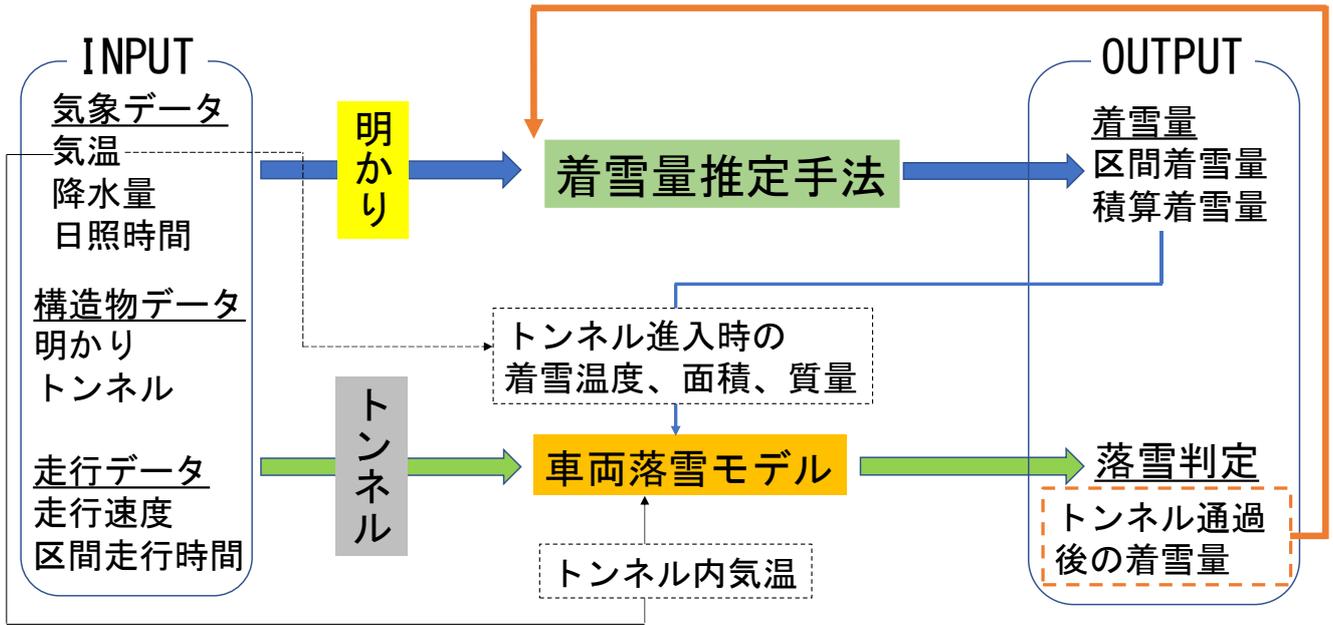
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、着雪の発生頻度等のシミュレーションを実施しています。

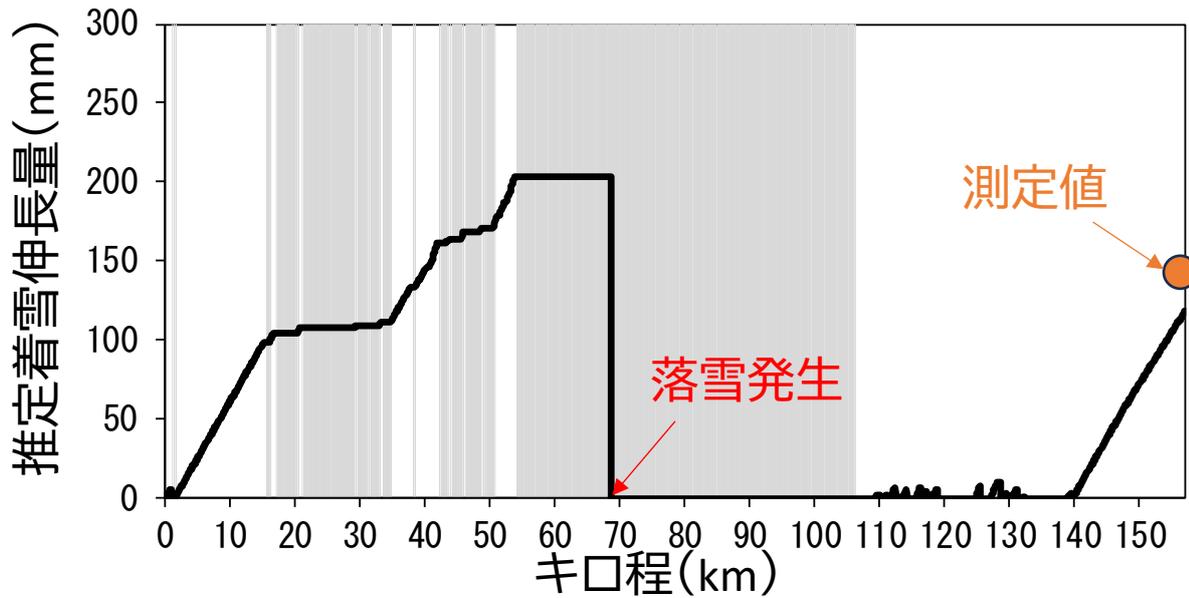
特許出願中

防災技術研究部(気象防災)

車両着落雪推定手法のフロー



車両着落雪推定手法の計算例(灰色の網掛けはトンネル区間)

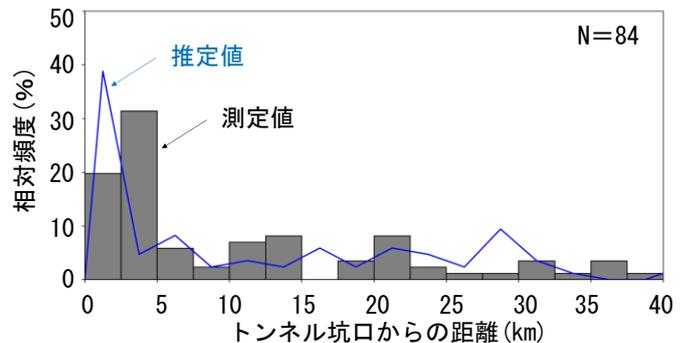


着雪伸長量の推定値と測定値の比較



着雪が多くなるタイミング、量ともにおおむね再現。一冬期を通じた比較によるRMSEは約3cm。

トンネル内での落雪位置の推定値と測定値の分布



トンネル入り口付近に多く、トンネル奥に行くほど少ない傾向を再現。誤差は約2km。

早期地震警報アルゴリズムの マグニチュード推定パラメータ改良

早期地震警報アルゴリズムにおけるマグニチュード(M)推定式のパラメータを改良しました。本アルゴリズムでは、推定されるMの値に応じて列車を停止させるかを判断します。このM推定式のパラメータ改良によりM推定の即時性を向上させることで、警報出力までの時間が短縮され、地震時の走行列車の安全性向上が期待されます。

特徴

- 従来は一定値としていたM推定式のパラメータ(係数)を、P波開始からの時間によって変化するように改良を行いました。
- これにより、P波振幅が大きくなる前に大きなMの値が推定されるようになり、より早く警報を出力することが可能になります。
- 地震警報出力までの時間が平均約2.6秒早くなります。その一方で、警報出力の数が増加しますが、増加の割合は約1.22倍程度に抑えられます。
- アルゴリズムのソースコードを変更せずに、現行の早期警報用地震計のパラメータを更新することで容易に導入することができます。

用途

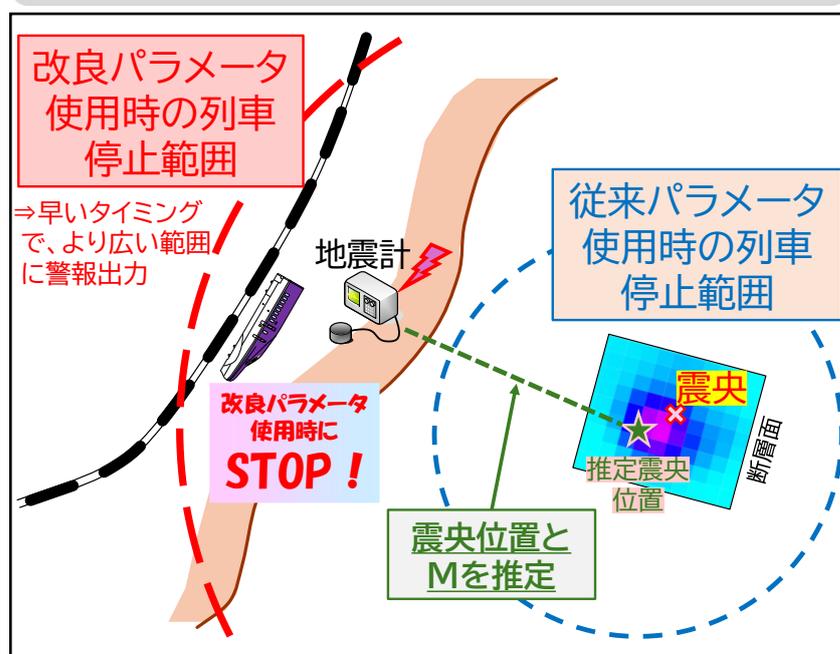
早期警報用地震計の警報アルゴリズムに導入し、地震時の走行列車の安全性向上を図ります。

活用例

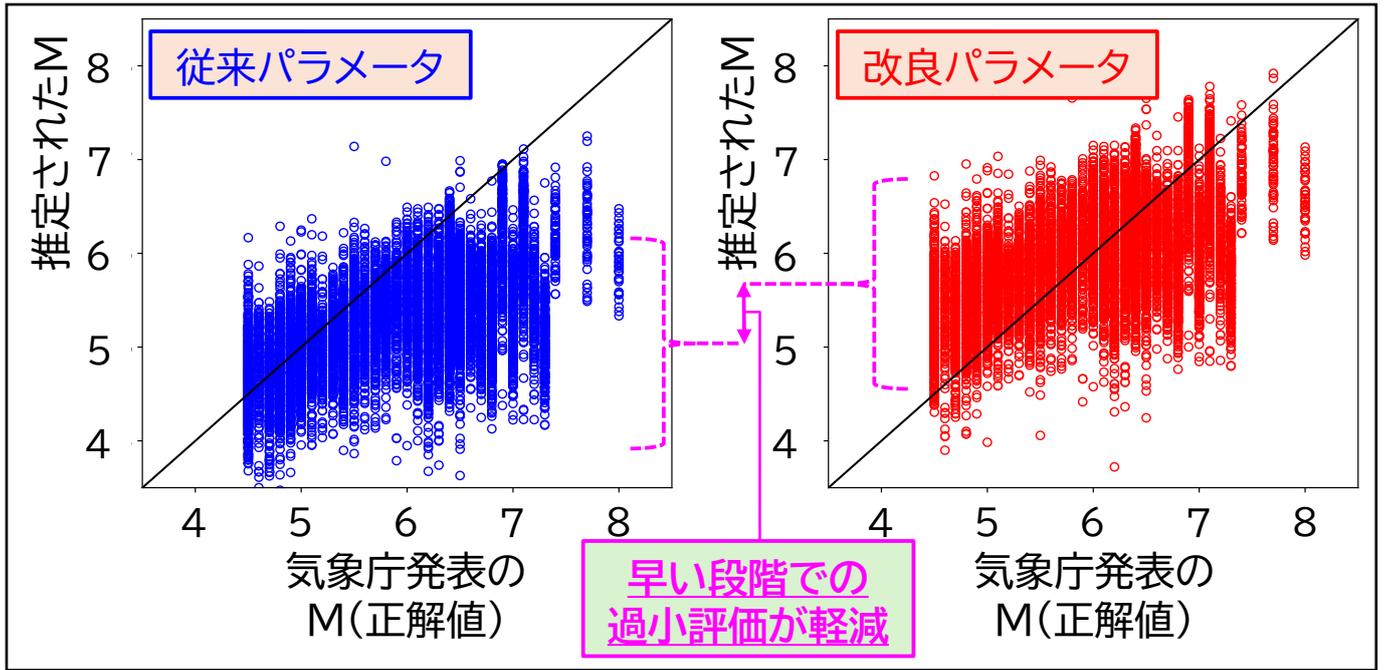
新幹線の早期警報用地震計に導入され、稼働しています。

特許第6796038号

地震発生中における
改良パラメータによる効果の模式図



P波開始から1秒時点における従来および改良パラメータ使用時のM推定の比較



本図において、黒の斜め実線は気象庁発表Mと推定Mが等しくなる関係を示します。従来パラメータによる推定Mは、P波開始から1秒という早い時点では、全体として気象庁発表Mより小さな値となる傾向があります。一方、改良パラメータを用いると、その傾向が改善され、早い段階で大きなMが推定されるケースが増えます。これにより、早期地震警報の即時性を向上させることができます。

警報時間の短縮と警報数の増加

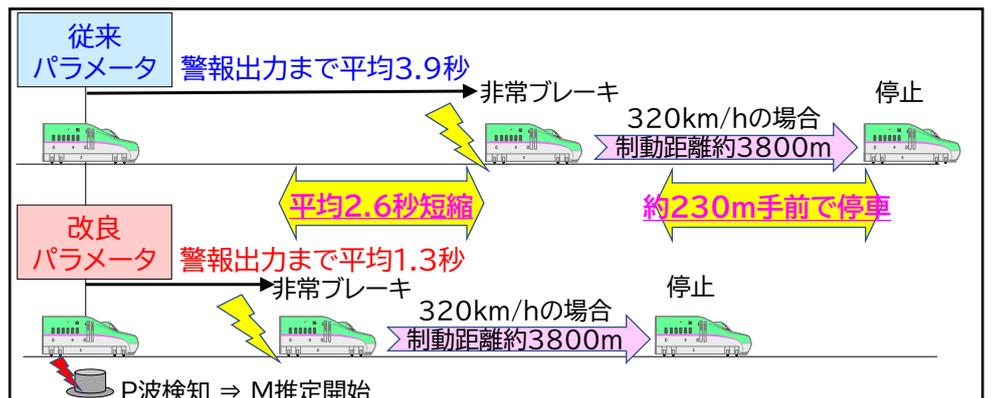
使用するパラメータ	警報出力までの平均時間	使用するパラメータ	警報出力の数
従来	約3.9秒	従来	2,286回
改良	約1.3秒	改良	2,797回

※2020～2022年に発生した60地震のログデータの分析による
⇒ 平均約2.6秒の短縮

※1996～2018年に発生した866地震の波形記録データの分析による
⇒ 約1.22倍の増加

警報時間の短縮による停車までの距離の変化の例

(例)
320km/hで走行する新幹線に対し、警報出力までの時間を2.6秒短縮すると、およそ230m手前で停止させることができます。



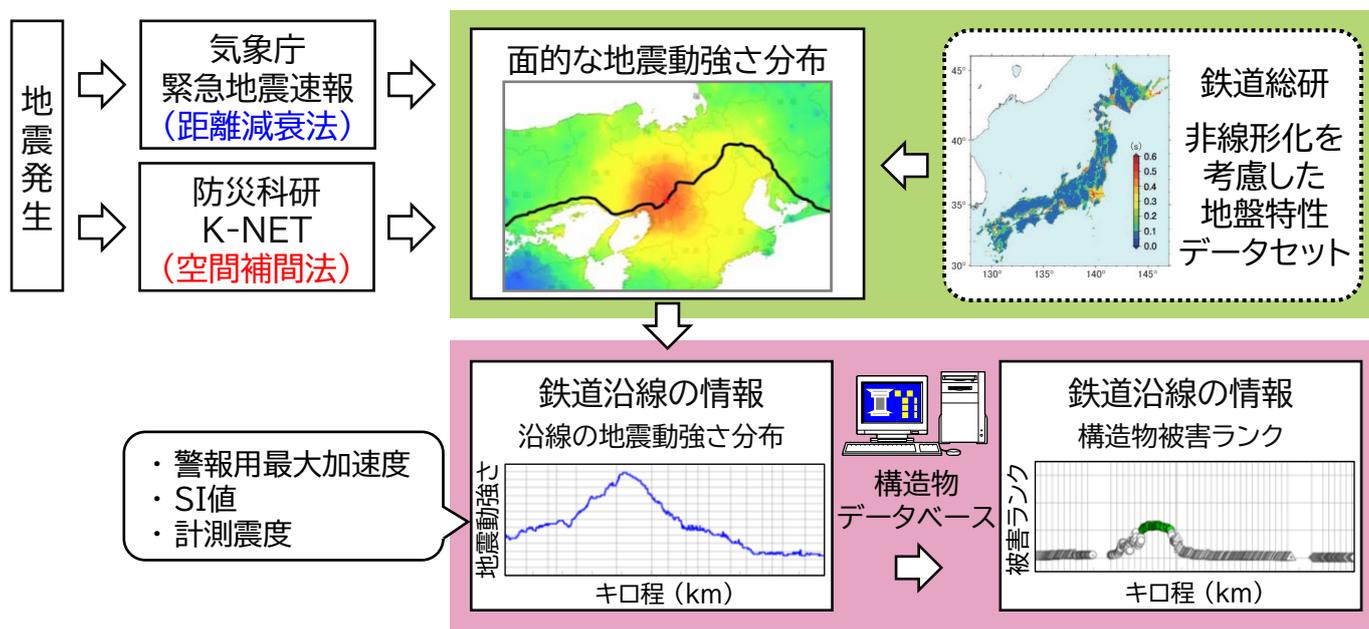
鉄道地震被害推定情報配信システム (DISER)

鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER: Damage Information System for Earthquake on Railway)は、地震発生直後に沿線の地震動強さ分布や構造物の被害程度の推定情報など、迅速な運転再開を支援する情報を提供します。

特徴

- 地震発生直後に公的機関が公開する地震情報と鉄道総研が開発した表層地盤の地震動増幅特性の評価手法を用いて、地震動強さ分布(警報用最大加速度・計測震度・SI値の3指標)を推定します。
- 事前に登録された路線や構造物の情報に基づいて、沿線の地震動強さ分布や構造物の被害程度を推定し、キロ程で表示します。

鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)の概要



用途

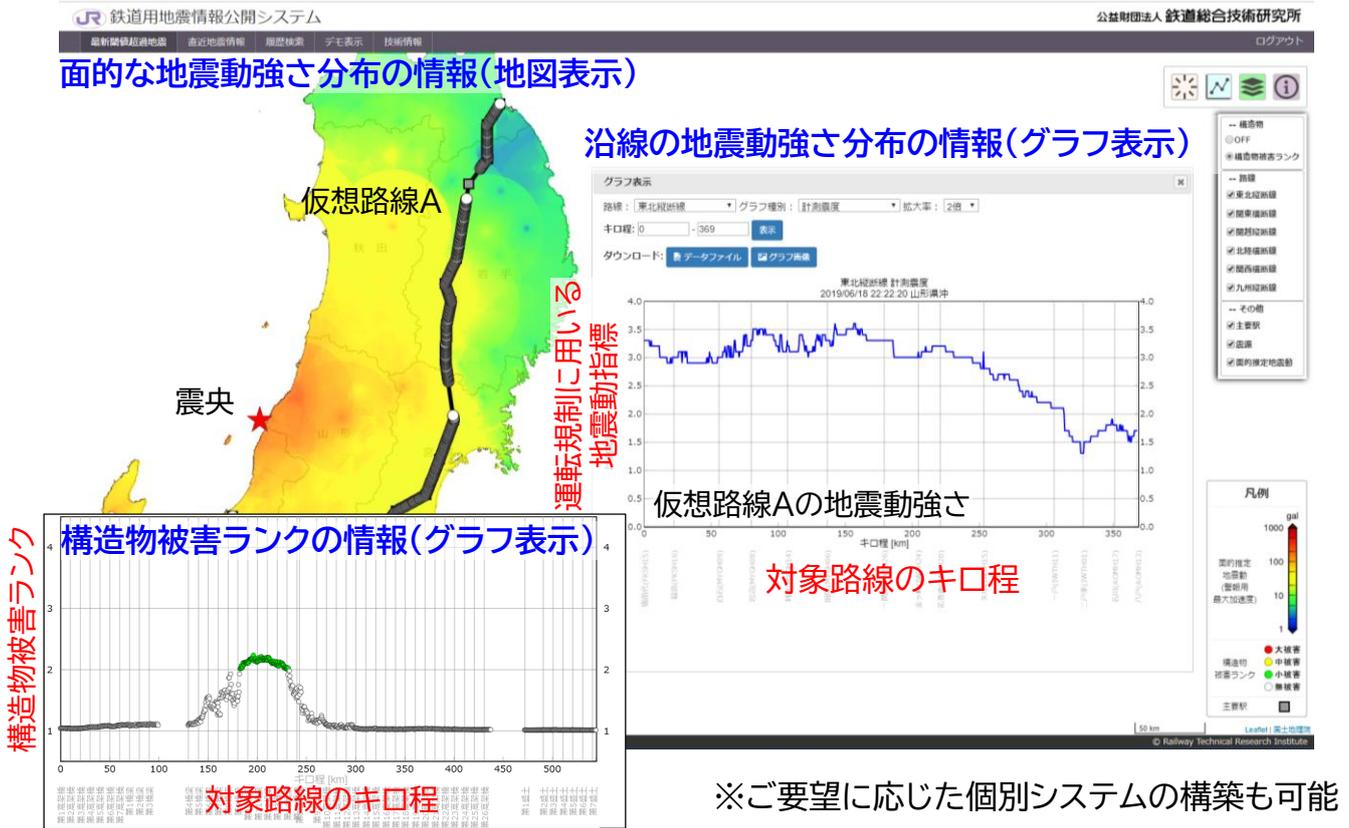
- 構造物の点検範囲の絞り込みや優先順位の判断を支援します。
- 駅間停止列車の移動やお客様救済の実施判断を支援します。

活用例

鉄道事業者に導入され、地震後の初動対応支援に活用されています。

鉄道地震工学研究センター(地震解析、地震動力学、地震応答制御)

実際のDISER表示画面の例



※ご要望に応じた個別システムの構築も可能

DISERの構造物被害推定手法:ノモグラム

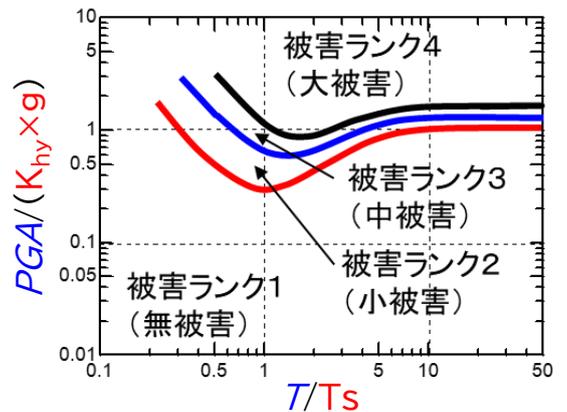
- 対象構造物：橋りょう・高架橋・盛土
- 構造物被害ランク
 - 1：無被害
 - 2：小被害
 - 3：中被害
 - 4：大被害

※被害ランク1～4はそれぞれ耐震設計標準の損傷レベル1～4に概ね相当している

構造物データ
 T_s ：構造物の降伏周期
 K_{hy} ：構造物の降伏震度

地震動データ
 T ：地震動卓越周期
 ※PGA: 地表面最大加速度

橋りょう・高架橋のノモグラムの例

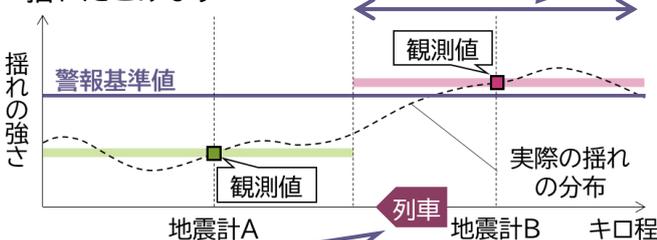


DISERを活用した地震直後の初動対応例

●現状の初動対応

地震計観測値と同じ強さで受け持ち区間全体が揺れたとみなす

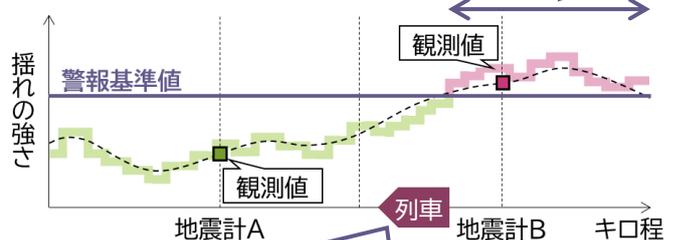
受け持ち区間すべての点検には時間がかかる



●DISERを活用した初動対応

500mメッシュで沿線の地震動強さ分布を推定する

点検が本当に必要な区間が絞り込める



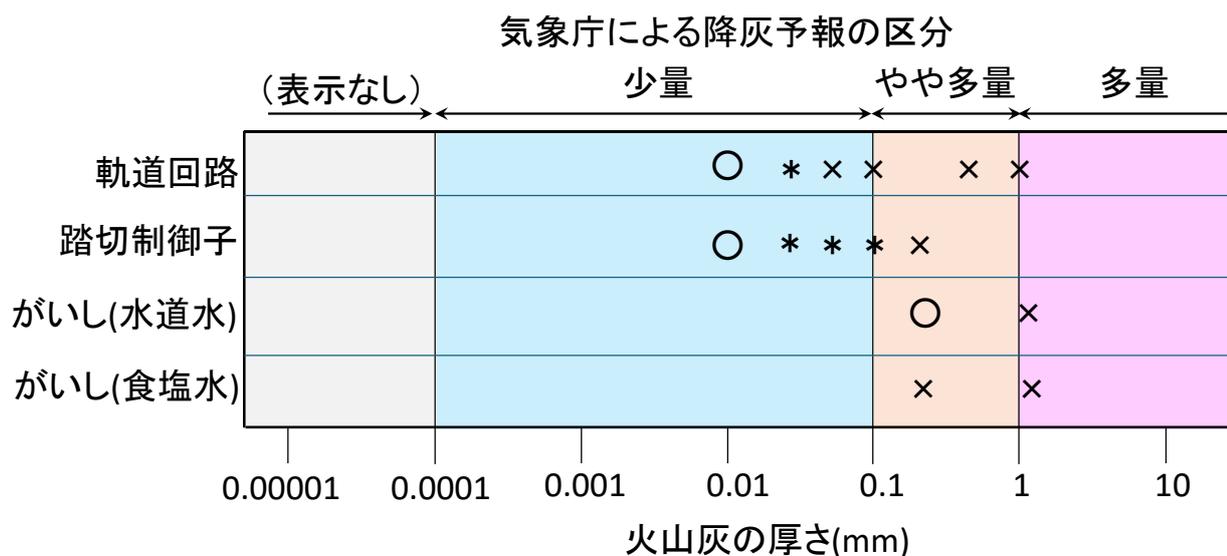
鉄道の電力設備や信号設備に影響を及ぼす火山灰の厚さ

わが国には111の活火山が存在します。火山噴火に伴う現象のうち、火山灰の降灰は広範囲に影響が及びます。鉄道総研は、鉄道の電力設備や信号設備に影響が生じる火山灰の厚さを実験的に明らかにしました。この知見は、降灰時の運行判断等に活用できます。

特徴

火山噴火時に広域に影響を及ぼすことが懸念される火山灰について、堆積した火山灰の厚さに基づき、がいしの絶縁性能の低下や軌道回路等の短絡不良の発生有無の参考とできます。

がいしおよび軌道回路等に影響が生じる火山灰の厚さの実験結果



軌道回路・踏切制御子(火山灰が乾燥状態のケース) ○:短絡, *:不安定な状態, ×:不短絡
 がいし(火山灰を水道水または食塩水で濡らしたケース) ○:せん絡せず, ×:せん絡

用途

- 降灰時の対応計画を策定する際に参考とすることができます。
- 気象庁が発表する降灰予報と比較し、運行判断の参考とすることができます。

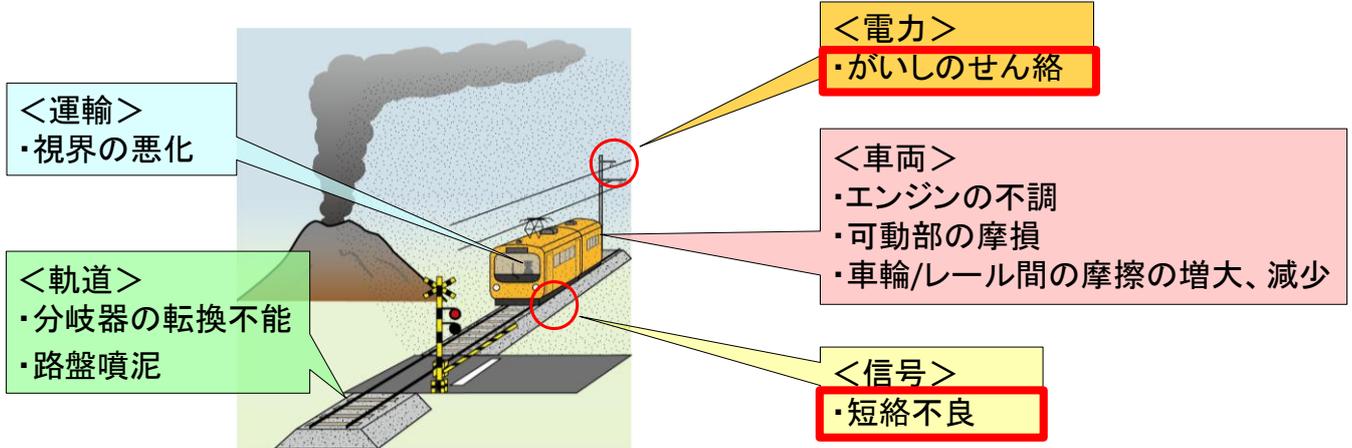
活用例

鉄道事業者において、防災計画の策定に活用されています。

防災技術研究部(地質)
 電力技術研究部(き電)
 信号技術研究部(信号システム)

火山灰による鉄道への影響

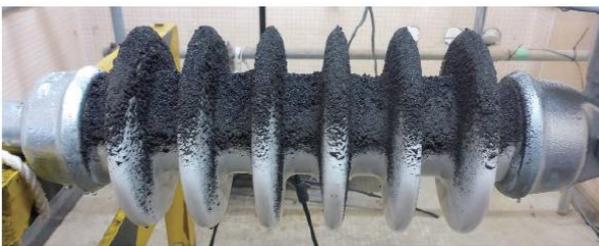
火山灰による鉄道への影響は、鉄道のさまざまな系統に及びます。これらのうち、がいし表面への火山灰の付着による絶縁性能の低下と、レール上に堆積することによる短絡不良を対象に、検討を行いました。



がいし

がいしに多量の火山灰が付着し、水分を含む場合に、せん絡が生じるケースが確認されました。

また、食塩水を含む場合には、せん絡が生じやすくなることが確認されました。



長管がいしに火山灰を散布した例



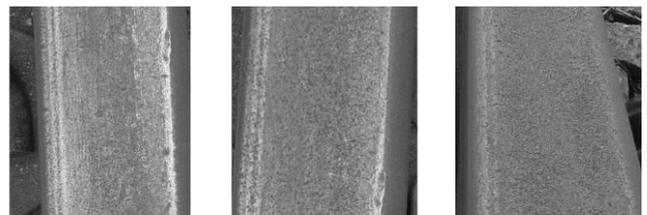
長管がいしでの実験結果の例
(火山灰+食塩水)

短絡不良

レール上に少量の火山灰が付着した場合に、軌道回路が短絡と不短絡を繰り返す不安定な状態や、不短絡が生じるケースが確認されました。



レール上に火山灰を散布した例



0.025mm

0.05mm

0.1mm

短絡または不安定な状態

不安定な状態または不短絡

火山灰の厚さと実験結果の例
(1台車での短絡実験結果)

構造物



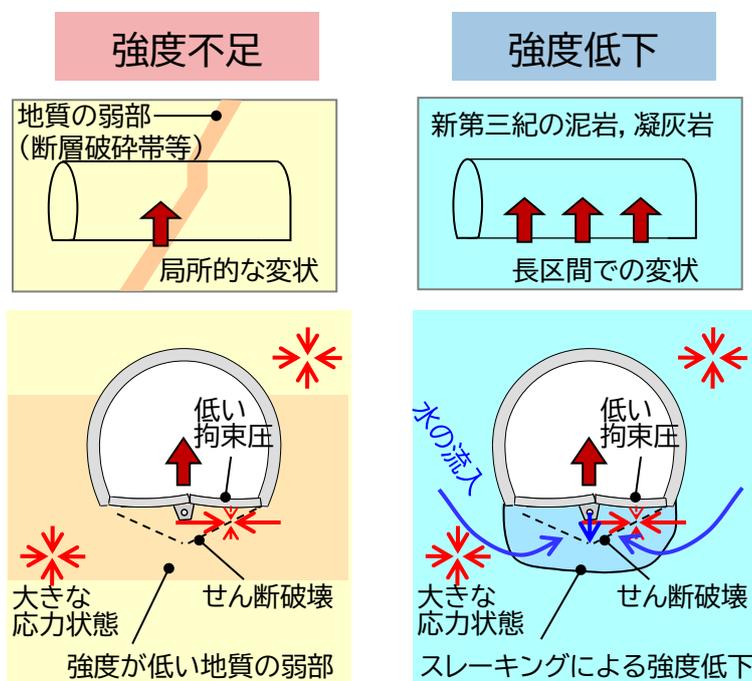
トンネル盤ぶくれのメカニズム推定 および危険度評価法

トンネルの盤ぶくれは列車の安全な運行を脅かす重大な変状であり、盤ぶくれが確認された場合は速やかに維持管理上の対応を検討することが重要です。今回、盤ぶくれの発生危険度の評価やメカニズムの推定を簡易に行える方法を開発しました。本手法は、盤ぶくれ箇所における速やかな対応策定に活用できるほか、トンネル建設時のインバート構造の検討にも活用できます。

特徴

- 維持管理に活用しやすい形で盤ぶくれのメカニズムを区分します。
- 施工記録の岩石試験結果をもとに、盤ぶくれの危険度評価およびメカニズム推定を定量的に行えます。
- 本手法では専門的な知識を必要としません。

盤ぶくれメカニズム区分



用途

- 供用中のトンネルで盤ぶくれが確認された場合、適切な調査・対策範囲の検討に活用できます。
- トンネル建設時に、盤ぶくれが発生しやすい箇所の推定に使用でき、トンネル構造の設計に活用できます。

活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、評価を実施しています。

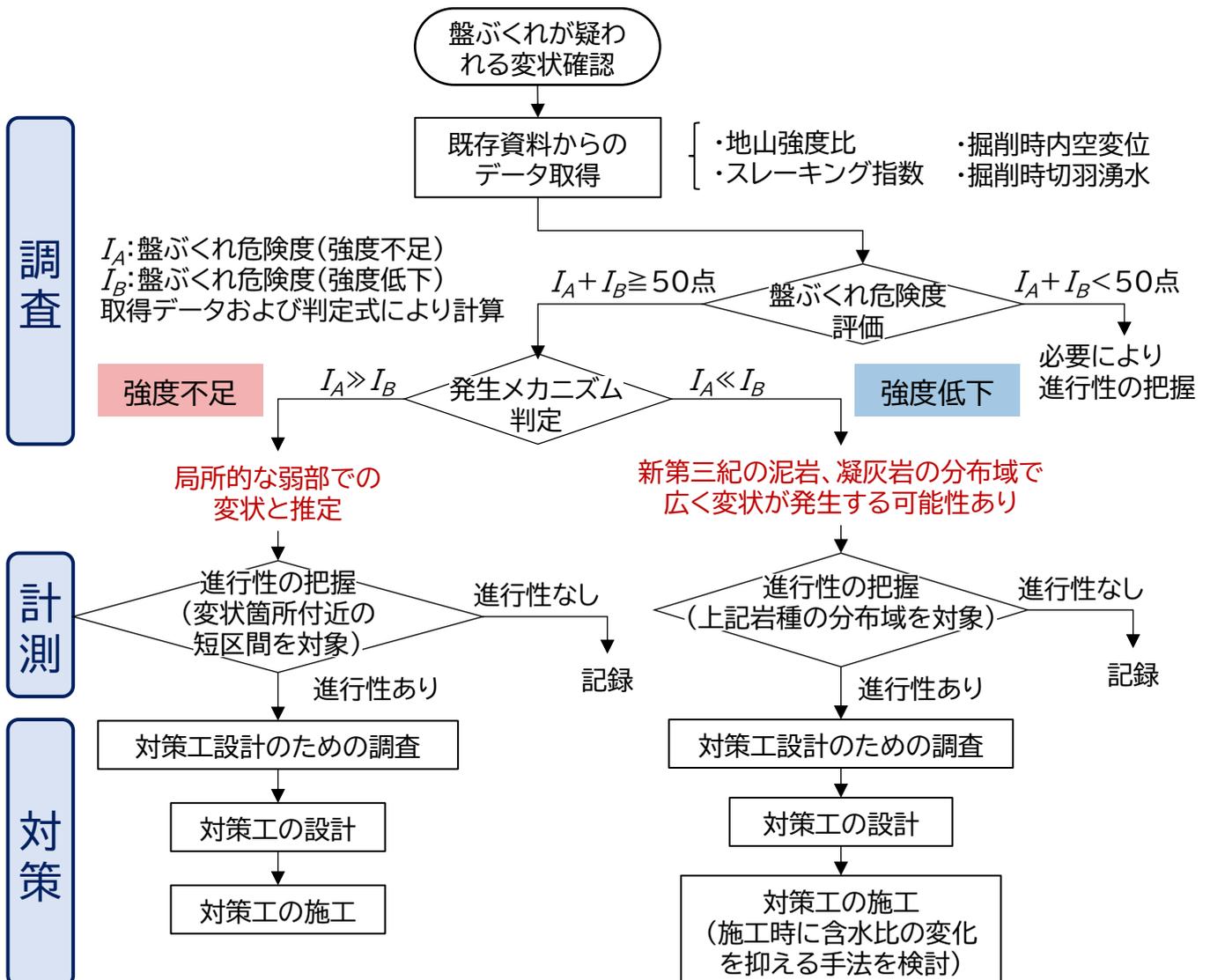
防災技術技術研究部(地質)
構造物技術研究部(トンネル)

メカニズムごとの盤ぶくれの特徴

	強度不足	強度低下
メカニズムの概要	強度が低い地山を掘削したことによるスクィージング*	スレーキングに伴う地山の強度低下によるスクィージング*(スクィージング後にスウェリングが生じる場合もある)
地質	断層破碎帯, 変質帯, 強風化帯などの地質の弱部が分布	新第三紀の泥岩または凝灰岩
地山強度比	小さい(概ね2以下)	概ね2~8程度
スレーキング指数	一般に高いが, 低い場合もある	高い(3~4)
掘削時の内空変位	大きい(概ね70mm以上)	小さい(概ね70mm未満)
掘削時の湧水	多い	少ない
盤ぶくれ延長	短い(地質の弱部に対応)	長い(同じ地層の分布域で発生)
完成後に確認される変状	インバート中央部の曲げひび割れのほか, インバートの複雑なひび割れや, 側壁のひび割れも確認される	インバートに曲げひび割れが確認されるが, 側壁にはひび割れが見られない

*スクィージング:地山の塑性化による押し出し; スウェリング:粘土鉱物の吸水膨張による内空断面の縮小

維持管理時の調査・計測・対策の策定フロー案



ポリアウレア樹脂による剥落対策工法

トンネルは、経年劣化等により覆工片の剥落を生じることがあります。これまでの剥落対策工は、施工に時間がかかる、凹凸がある箇所には適用できないなどの課題がありました。そこで、「ポリアウレア樹脂」を吹き付けることにより、凹凸のある広い範囲を容易に施工することができる剥落対策工を開発しました。

特徴

- ポリアウレア樹脂は、破断時伸び200%という優れた伸び性能を有します。
- 吹付けによる施工を採用しました。吹き付けられた樹脂はひび割れの開口に強く、また、剥落箇所を包み込んでよく伸びることにより、優れた剥落防止性能を発揮します。

ポリアウレア樹脂



吹付けの状況



吹付けの仕上がり



用途

トンネル覆工コンクリートの剥落対策としてお使いいただけます。

活用例

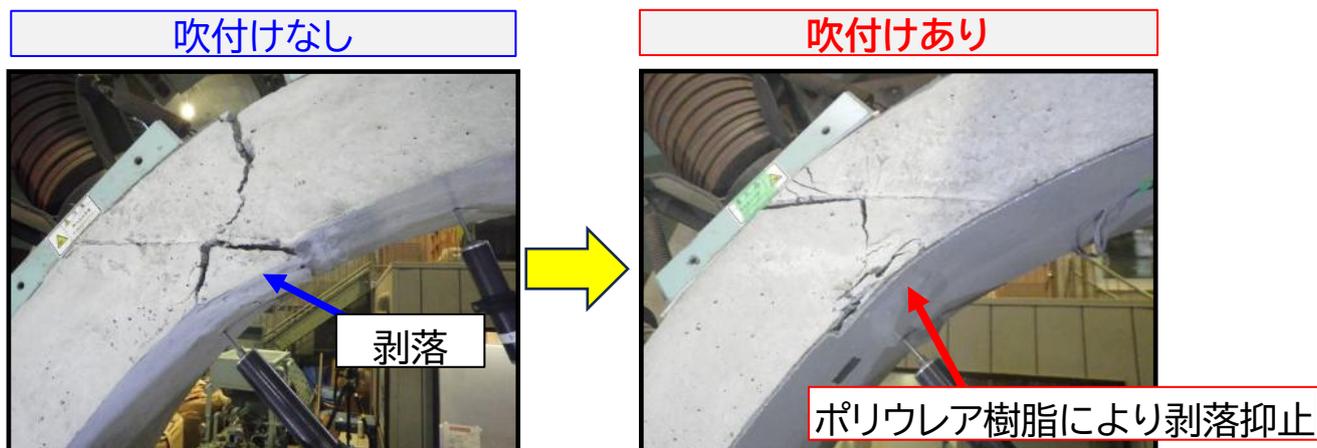
鉄道事業者において、剥落対策工法として活用されています。

本工法の開発は、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。

構造物技術技術研究部(トンネル)

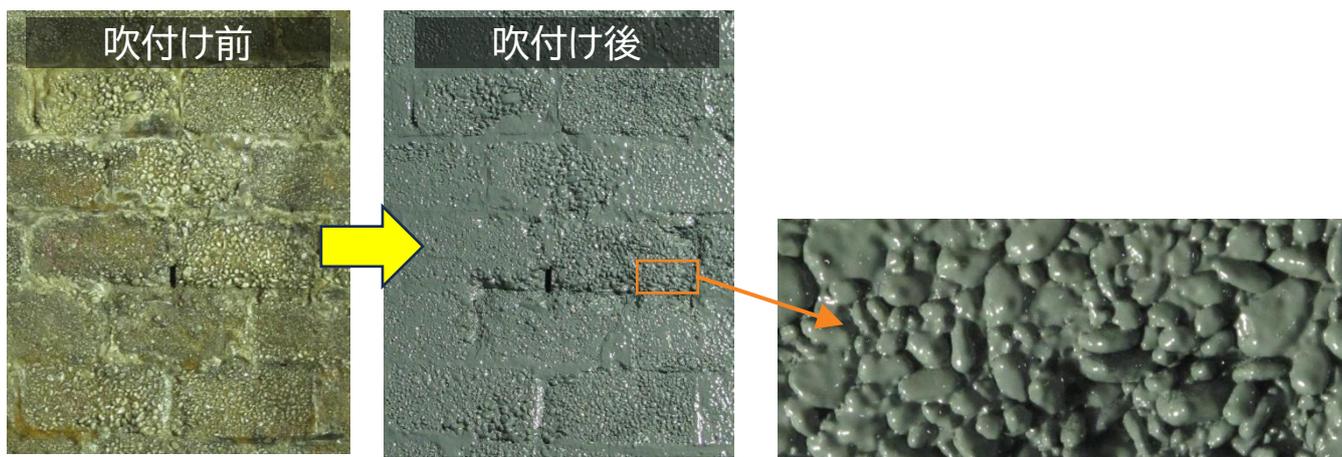
ポリウレア樹脂による剥落防止効果

剥落箇所を包み込んで伸びることにより覆工片の剥落を防止します。



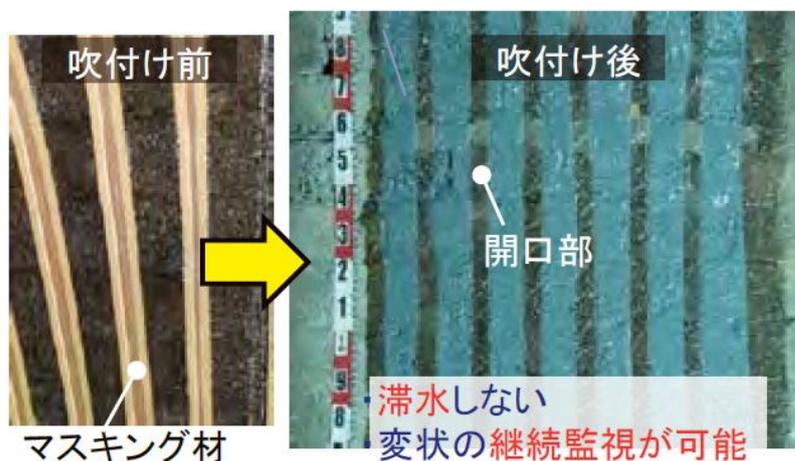
凹凸への施工

樹脂は吹付けにより施工します。
凹凸に強く、また、広い範囲を容易に施工することが可能です。



マスキング材による開口部の設置

マスキング材を用いることにより、任意に開口部を設けることができます。
万一の地山からの漏水にも安心です。また、変状の目視を継続して行うことができます。

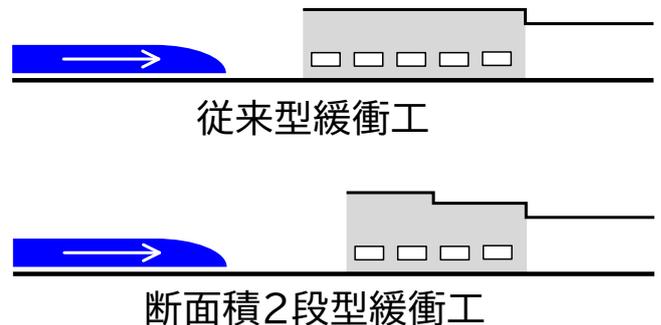


断面積2段型緩衝工

新幹線の高速化に伴う沿線環境に関する課題にトンネル坑口から放射される微気圧波の低減があり、その方法の一つにトンネルの列車突入側坑口に設置する緩衝工があります。しかし列車速度が300km/hを超えると必要な緩衝工が長大なものになることが問題となっていました。そこで、従来のものよりも必要な長さを短縮できる断面積2段型緩衝工を開発しました。また、緩衝工側面開口部の調整を簡略化可能な開度調整方法を開発しました。

特徴

- 従来型の緩衝工が断面積一定(本坑の1.5倍程度)であるのに対し、断面積を2段階に拡大することで、列車のトンネル突入時に形成される圧縮波の波面圧力勾配を効果的に低減し、従来型よりも微気圧波低減に必要な緩衝工の長さを短縮することができます。
- 緩衝工側面の開口部は、車両の先頭部形状や列車速度に応じて調整する必要があるが、開度を調整することで、開口部の開閉位置を調整する従来の方法に比べて、迅速かつ効率的に調整を行うことができます。



用途

- 新幹線速度向上時における微気圧波対策のための緩衝工の延伸の設計に適用できます。
- 緩衝工延伸時や車両の速度、先頭部形状に対応するための、緩衝工側面開口部の調整に適用できます。

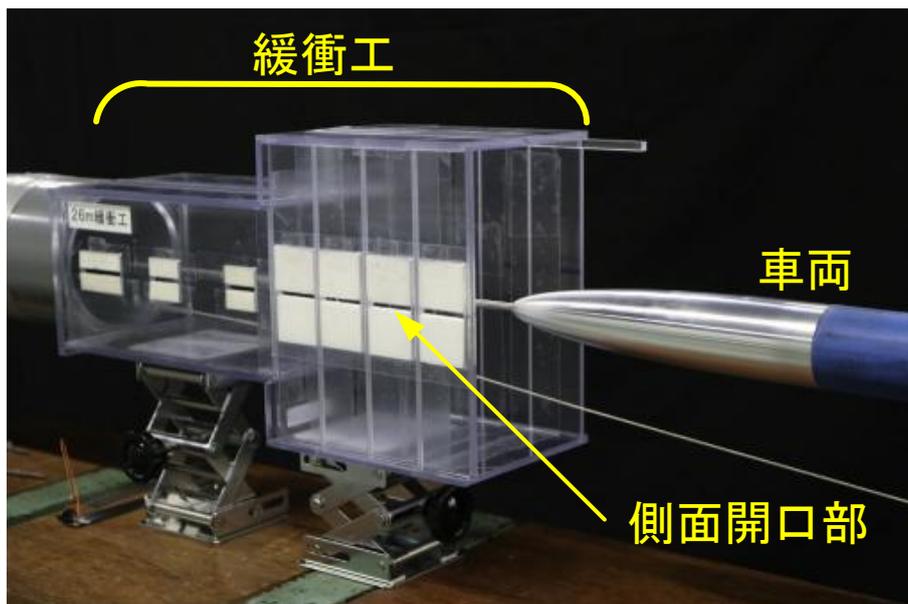
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、微気圧波対策の仕様検討を実施しています。

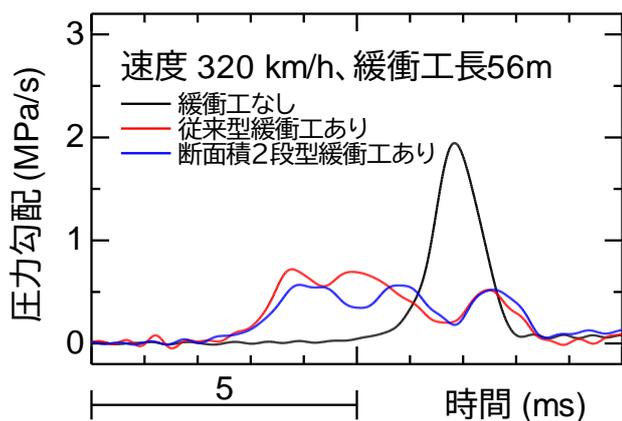
特許第6975099号、特許第7004639号、特許第7026030号、特許第7308804号

環境工学研究部(熱・空気流動)

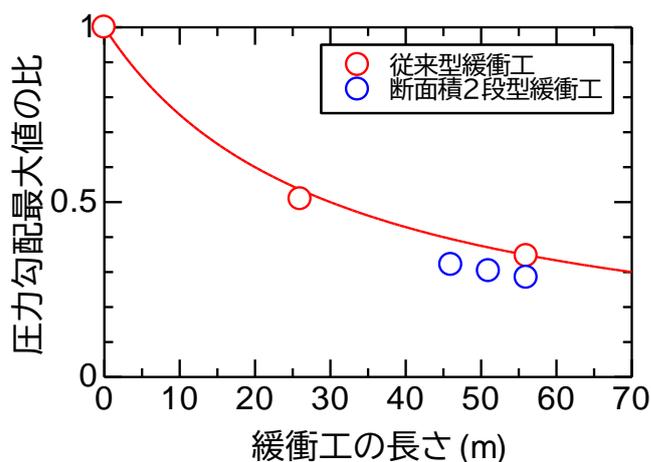
緩衝工の仕様を検討する模型実験(縮尺1/127)の実施状況



圧縮波の圧力勾配波形
(模型実験結果)



圧縮波の圧力勾配最大値と緩衝工の長さの関係(模型実験結果)



断面積2段型緩衝工の施工例



地山補強材を用いた橋台の耐震補強工法

従来の橋台の耐震補強工法は、橋台の前面側に広い施工用地が必要となるため、特に都市部におけるこ線橋、公道橋など、用地が確保できない狭あいな場所では施工が難しいという課題がありました。

そこで、狭あいな場所に架けられた橋りょうの橋台に対して、橋台前面の施工用地を最小限に抑えながら施工可能な「地山補強材を用いた橋台の耐震補強工法」を開発しました。本工法は、橋台前面からの大掛かりな作業が不要になるとともに、要求される耐震性能に応じた経済的な設計が可能です。

特徴

- 本工法は、橋台前面を支障せずに、背面盛土の側面から地山補強材と鉄筋コンクリート壁体により補強する工法です。
- 橋台・壁体・地山補強材を一体化して地震に対する抵抗力を向上させ、橋台の水平変位・傾斜ならびに背面盛土の沈下を抑制します。
- 背面盛土側面から地山補強材を打設することで橋台の耐震補強を行うため、橋台前面では大型重機が必要となる大掛かりな作業は不要です。また、橋台背面の盛土も同時に補強可能です。
- 地山補強材の数量を変化させることで、耐震補強の効果を調整できます。これにより、要求される耐震性能に応じた経済的な設計が可能です。
- 本工法は、既設インテグラル橋梁と併用することが可能です。

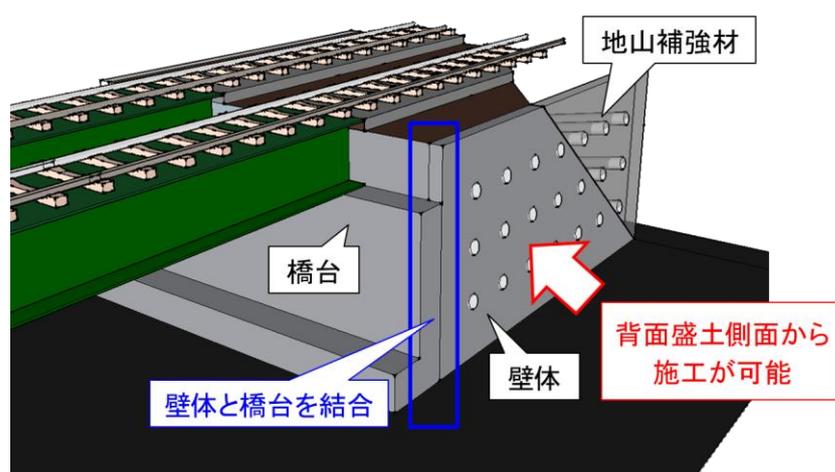
用途

本工法は、狭あいな場所に架けられた橋りょうの橋台に対する耐震補強に有効です。

活用例

鉄道事業者において、橋台前面に施工用地が確保できない場所での耐震補強に活用されています。

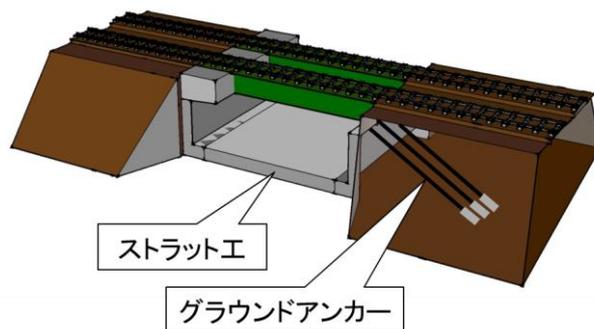
本工法の概要



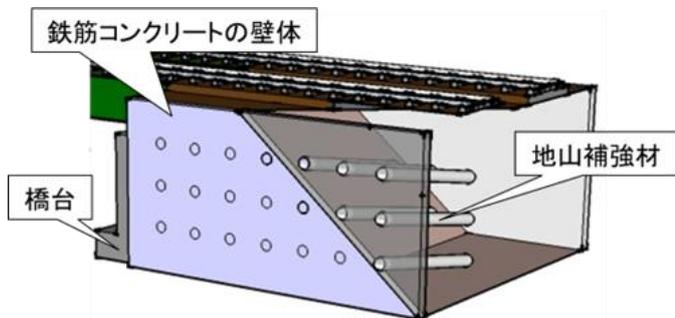
過去の地震における橋台の被害例



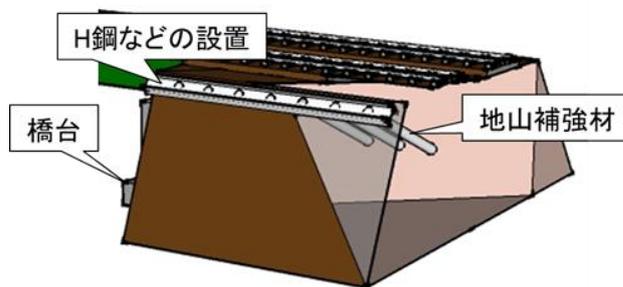
従来の橋台の耐震補強例



要求される耐震性能に応じた経済的な設計の例



(a) 補強効果大(3段補強)

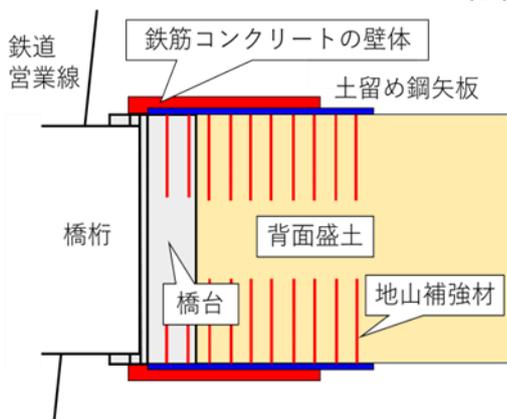


(b) 補強効果小(1段補強)

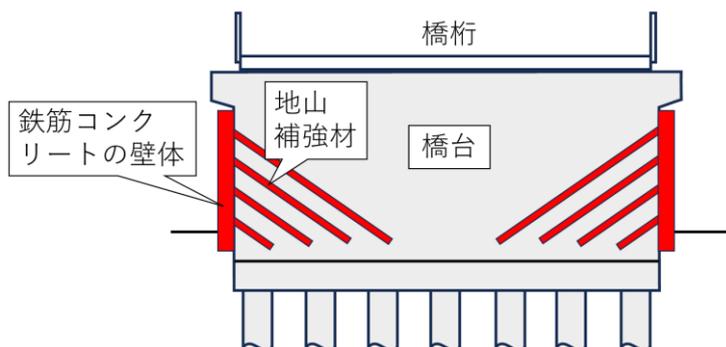
活用事例



(a) 現場の施工状況



(b) 平面図



(c) 横断図

粘着力を考慮した地震時土圧の評価法

既設擁壁の耐震診断・耐震補強設計等において、擁壁背面に作用する地震時土圧の算定に用いる評価法です。現行の鉄道基準で考慮されていなかった、擁壁の背面地盤の粘着力を考慮した地震時土圧の評価法を提案いたしました。本評価法により耐震補強設計において経済的な補強量につながります。

特徴

- 2つの粘着力を考慮した地震時土圧の算定法を提案しました。
- 提案①:粘着力を見かけの内部摩擦角に割り増す方法(ϕ_{ap} 法)です。現行の地震時土圧算定式を使うため、簡易かつ既往の設計プログラムを使用することが可能です。
- 提案②:粘着力を直接すべり面や擁壁背面において考慮する方法です。 ϕ_{ap} 法より粘着力の効果を大きく考慮することが可能です。

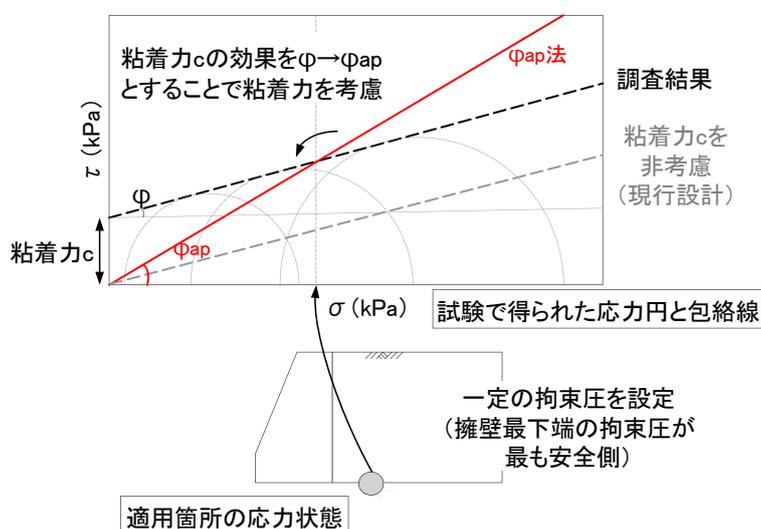
用途

擁壁の背面盛土が粘着力の大きい粘土やシルトの場合で、三軸圧縮試験等から求めた粘着力を使用することが可能です。

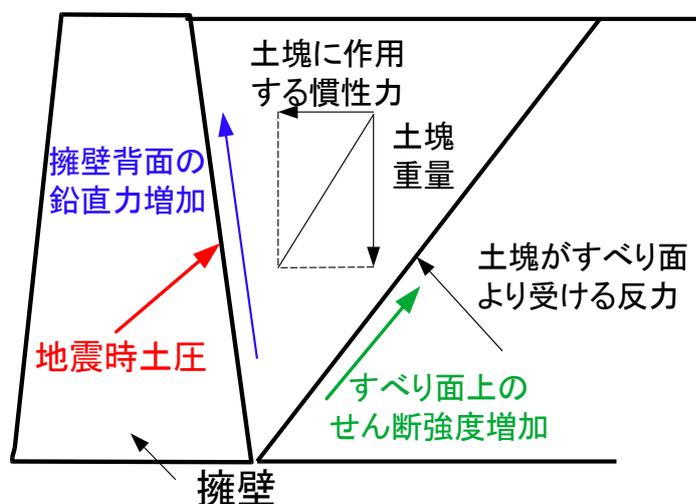
活用例

鉄道事業者において、既設擁壁の耐震診断・耐震補強に活用されています。

ϕ_{ap} 法の概念図

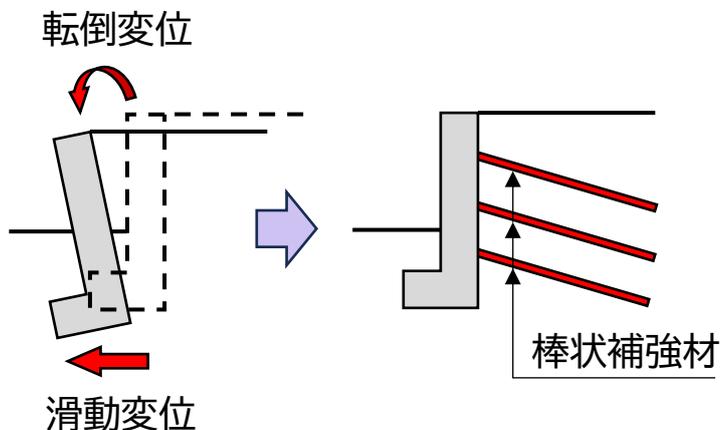


粘着力を考慮した試行楔法の概念図



擁壁の耐震診断・耐震補強

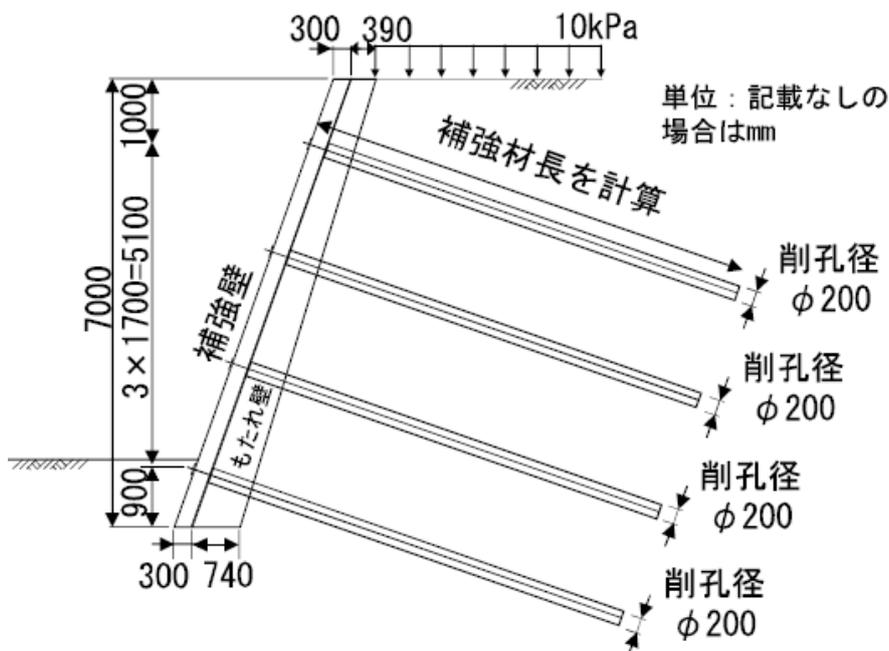
過去の大地震では、擁壁において脆性的な破壊が確認されており、鉄道の擁壁では耐震診断・耐震補強が積極的に実施されています。一般的には、擁壁背面に棒状補強材を打設し、擁壁背面地盤と一体化する補強方法が用いられています。



もたれ壁に対し棒状補強材を用いた試算

現行基準(粘着力を考慮なし)、提案法①(ϕ_{ap} 法)、提案法②(滑り面上の粘着力と壁面付着力を考慮)の3通りの方法で試算を行いました。擁壁背面地盤の沈下量が許容沈下量以内となるように、棒状補強材の補強材長を算定しました。残留沈下量は性能レベル2(変形レベル3)相当として500mmで設定しています。

試算の結果、現行基準と比較して提案法①、提案法②の双方で、補強材長は縮減されています。



	現行基準	提案法① ϕ_{ap} 法	提案法② 粘着力+壁面付着力
補強材長(m)	7.90	6.47	5.55
残留沈下量(mm)	497.3	499.6	498.5

かご枠を用いた盛土の急速強化復旧法

盛土の復旧時には、列車の運行再開を早期に行うために、大型土のう等により応急復旧工を施工する場合があります。本復旧時には応急復旧工を撤去する必要があり、施工期間や工事費が増加する要因となります。そこで、応急復旧工が不要なかご枠を使用した盛土の急速強化復旧法を開発しました。

特徴

- 恒久的に利用可能なかご枠により被災した盛土を修復することで、総工事費を削減することができます。
- 急速復旧法は、早期に本復旧工事を完了することができ、かご枠による耐降雨性の強化が可能です。
- 強化復旧法は、早期復旧法に地山補強材を追加施工することで、耐震性の強化が可能です。

用途

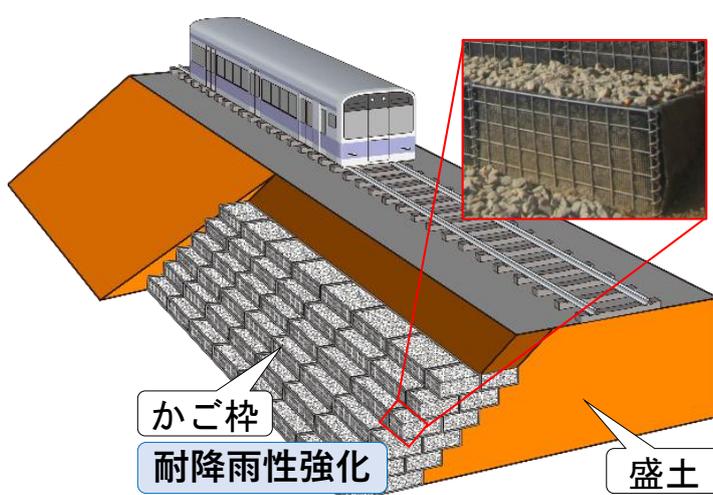
- 被災した盛土を早期に復旧する工法として活用が可能です。
- 復旧箇所の耐降雨性や耐震性の向上を図ることが可能です。

活用例

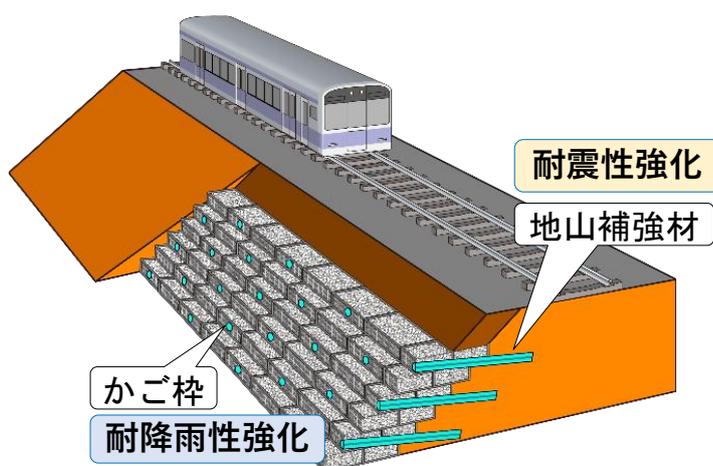
鉄道事業者において、令和元年東日本台風(台風19号)で被災した鉄道盛土の復旧工事に活用されています。

本技術開発の一部は、岡三リビック(株)、小岩金網(株)、ライト工業(株)と共同で実施しました(特許第169451号、特許第169452号)。

急速復旧法



強化復旧法



かご枠を用いた急速強化復旧法の施工手順



①整地・段切り



②かご枠組立て



③中詰め・転圧



④断面確保
(列車運行可能)

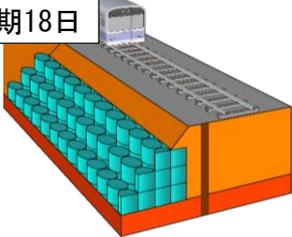
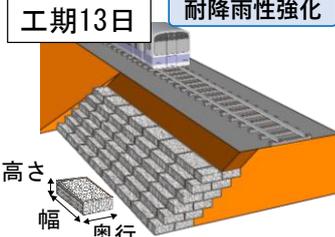
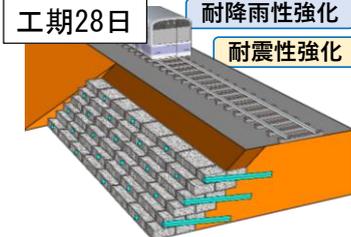


⑤地山補強土工



⑥完成

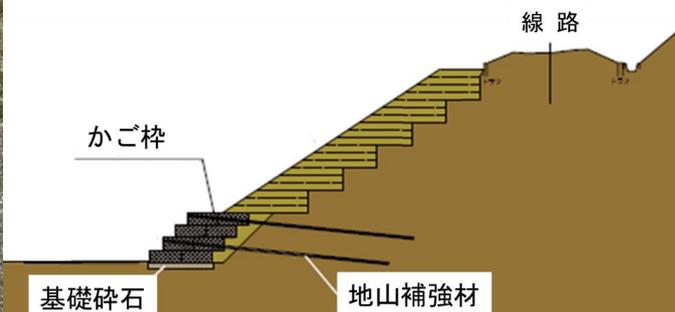
かご枠を用いた急速強化復旧法の工期・工事費率

復旧工法	従来復旧工法 (大型土のう)	かご枠を用いた提案復旧法	
		急速復旧法	強化復旧法
概要	工期18日 	工期13日 耐降雨性強化 	工期28日 耐降雨性強化 耐震性強化 
復旧概要	大型土のう：250袋 仮土留め：Ⅲ型×50枚	かご枠： 幅 奥行 高さ 1.0m×1.0m×0.5m ×320m	かご枠： 1.0m×1.0m×0.5m ×320m 地山補強材： 直径 長さ 133mm×7.0m×15本
工事費率	1.0	0.4	0.7

強化復旧法の活用例



台風により被災した集水地形の盛土



モルタルスリーブ継手を用いた プレキャストラーメン高架橋

技能労働者の減少等に伴う建設現場での作業の省力化や、早期開業等の社会的要請に伴う工期短縮が求められています。モルタルスリーブ継手を用いたプレキャスト部材の接合により、フルプレキャストでラーメン高架橋を構築することが可能となり、現場施工の省力化、工期の短縮等を実現しました。

特 徴

- 鉄道ラーメン高架橋では初めて、地上部のフルプレキャスト化を実現しました。
- モルタルスリーブ継手を使用してプレキャスト部材どうしを接合します。
- フルプレキャスト化により現場でのコンクリートの打込みが不要となり、従来の場所打ちによる構築と比べて、現場施工の省力化や工期の短縮が期待できます。
- コンクリート工が工場製作に集約されるため、従来工法の場所打ちと比べてコンクリートの品質向上と現場労務の削減が期待できます。
- 載荷実験により性能を確認しており、「モルタルスリーブ継手を用いたプレキャストラーメン高架橋の設計・施工指針」によって設計・施工ができます。

実際の構築事例



用 途

鉄道ラーメン高架橋の構築工期の短縮が求められる場合に活用できます。

活用例

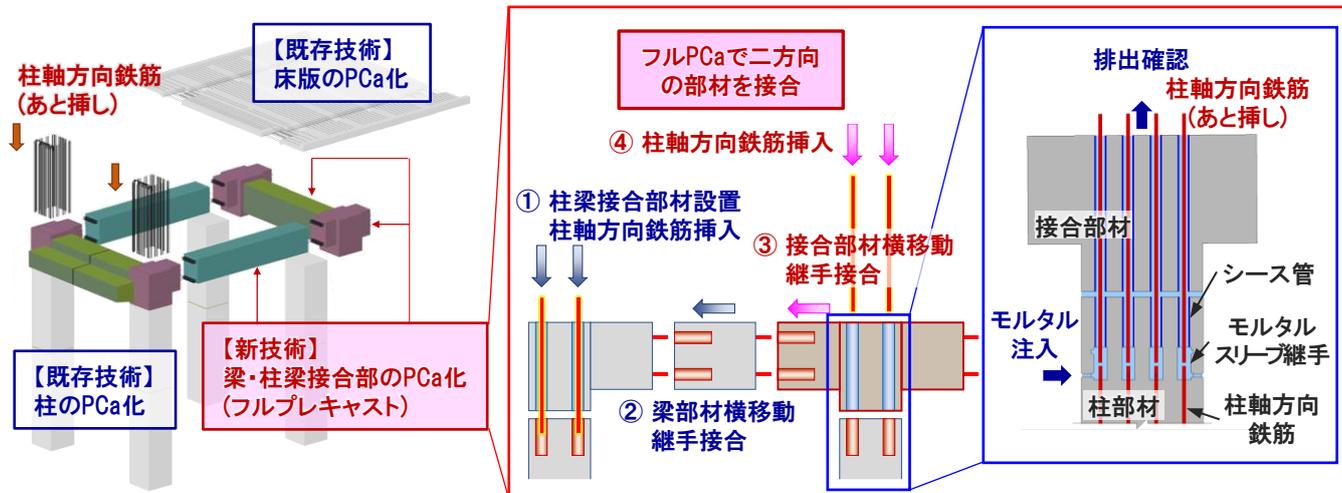
鉄道事業者において、新幹線のラーメン高架橋の新設に活用されています。

本技術開発は(株)大林組と共同で実施しました(特許第6660719号)。

構造物技術研究部(コンクリート構造)

モルタルスリーブ継手を用いたプレキャストラーメン高架橋のイメージ

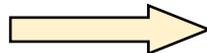
柱梁接合部を含め、ラーメン高架橋の地上部のすべての部材をプレキャスト化しました。プレキャスト部材の接合にはモルタルスリーブ継手を使用します。



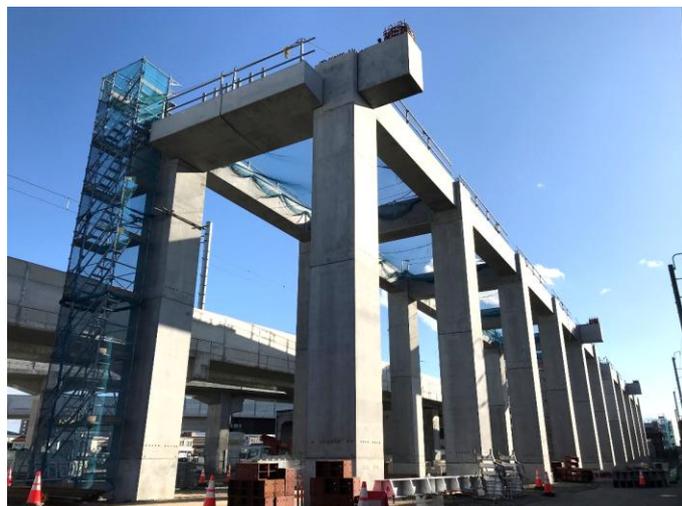
載荷試験による性能の確認と指針



載荷試験に基づいた
設計・施工指針

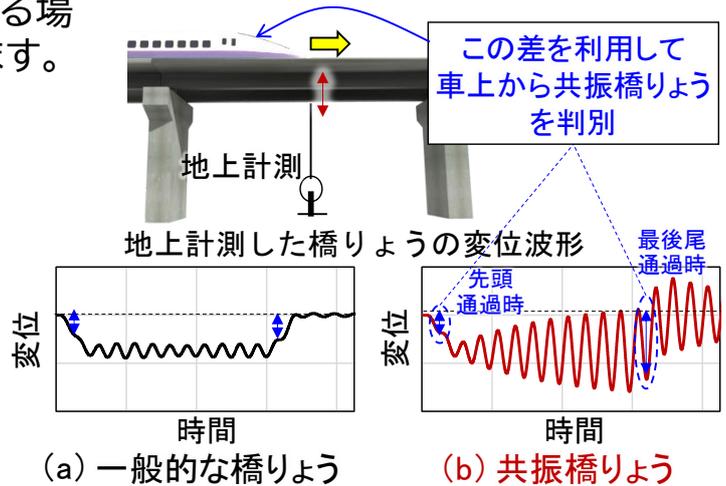


活用事例



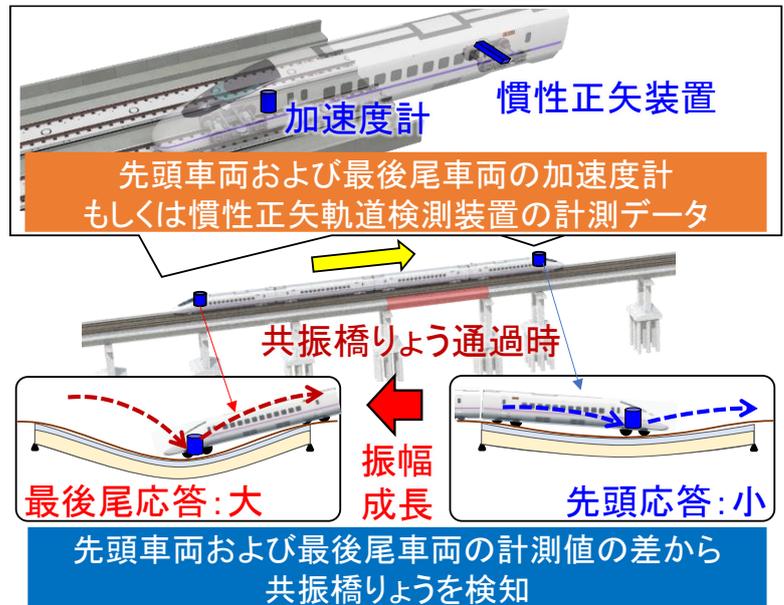
高速鉄道における共振橋りょう

- 高速鉄道車両が橋りょうを通過する場合、橋りょうに下側の変位が生じます。
- 一方、高速化や経年での橋りょうの劣化により、車両の通過とともに振動が徐々に増大する共振が発生することがあります。
- 乗り心地や設備に影響が生じる場合があるため、膨大な数の橋りょうを一つずつ地上から計測しなければならず、非効率でした。



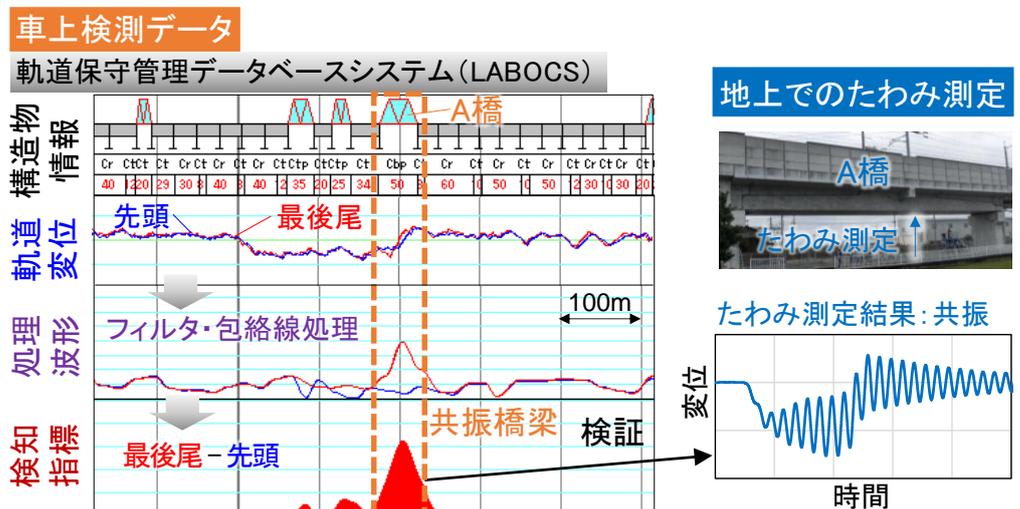
車上計測データによる共振橋りょうの抽出原理

車両の通過時にのみ卓越する共振橋りょう特有の振動成分を強調するフィルタ処理と包絡線処理に加え、先頭と最後尾車両の差分処理を行い、橋りょう振動成分のみを分離する技術を開発しました。



実路線での検証

実路線での適用結果と地上でのたわみ測定と比較から、提案手法により共振橋りょうを抽出できることを検証しています。



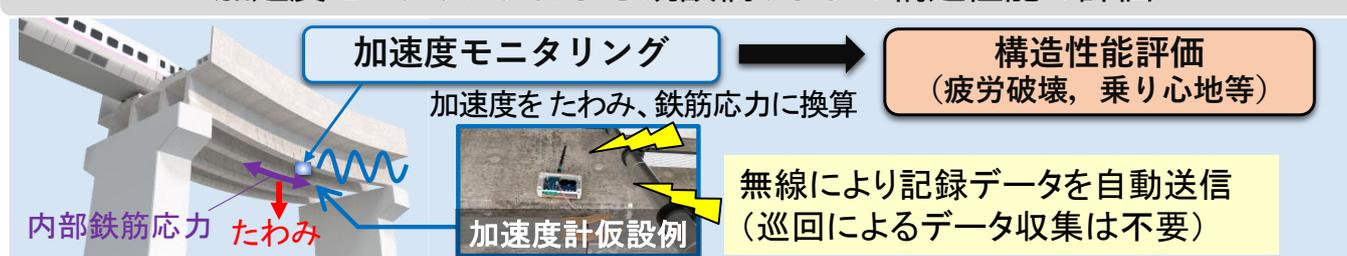
加速度モニタリングによる 既設橋りょうの構造性能評価

コンクリート橋りょうの加速度モニタリング波形から、たわみ、鉄筋応力を1秒以下で高精度に推定できるアルゴリズムを開発しました。列車走行性、疲労等の構造性能の定量評価や補修・補強の要否判断を、労力のかかる現地計測を行わずに実施できます。

特 徴

- 橋りょうに設置した加速度センサの測定波形から、列車通過時のたわみや鉄筋応力を高精度に推定することができます。
- 加速度センサは低周波領域でノイズにより精度が低下します。そこで、加速度波形のうち低周波成分を振動理論による波形に置換してたわみ波形へ積分するアルゴリズム、さらに、コンクリートのひび割れによる鉄筋の応力増加を考慮する等により、たわみ波形から鉄筋の応力波形を詳細な断面計算をせずに推定するアルゴリズムを適用しています。
- 本手法は、標準的な既設コンクリート桁の場合、1秒以下の高速処理により、10%以下の推定誤差でたわみや応力を推定できます。
- 本手法の妥当性は、数値実験や実橋りょうの応力測定等と比較することにより検証しています。

加速度モニタリングによる既設橋りょうの構造性能の評価



用 途

小型で常設可能な加速度モニタリングに本アルゴリズムを適用することにより、例えば列車通過時に共振するような橋りょうに対して、多大な労力をかけずに構造性能の定量的な評価や補修・補強の要否判断を実施できます。

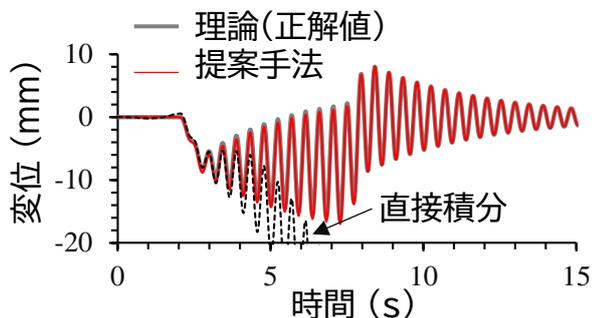
活用例

鉄道事業者において、新設橋りょうの開業時の構造性能の確認や、既設橋りょうの補修・補強による構造性能の変化の把握に活用されています。

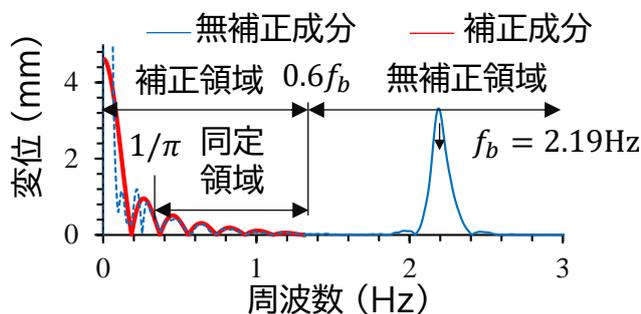
加速度波形からたわみ波形への積分方法

スパン50m、列車速度200km/hの橋梁のたわみの積分結果の一例

加速度波形から変位波形の推定



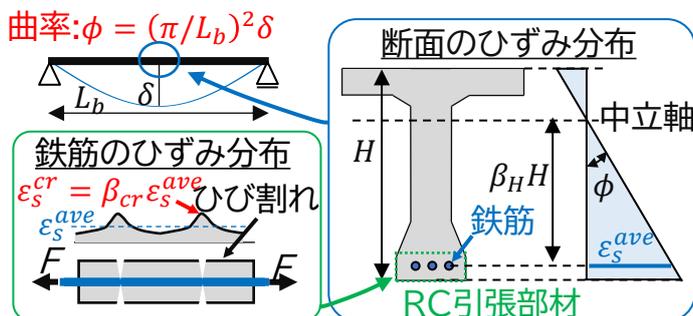
変位の周波数応答



- 直接積分による波形(黒点線)は、長周期のノイズにより波形が大きく異なります。
- 提案手法(赤線)は正解波形(灰色)と一致します。

- 青線は、加速度波形の直接積分により得られる変位(左図の黒点線)の周波数応答 $\rightarrow 0.2\text{Hz}$ 程度以下で理論値より大きい
- 赤線は、理論から求めた変位の周波数応答で、低周波成分を理論(赤線)を用いて補正する手法を提案しました。

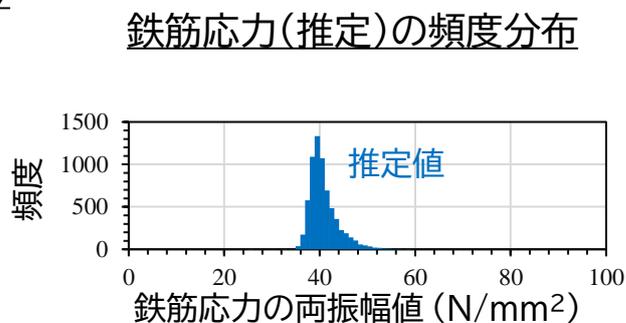
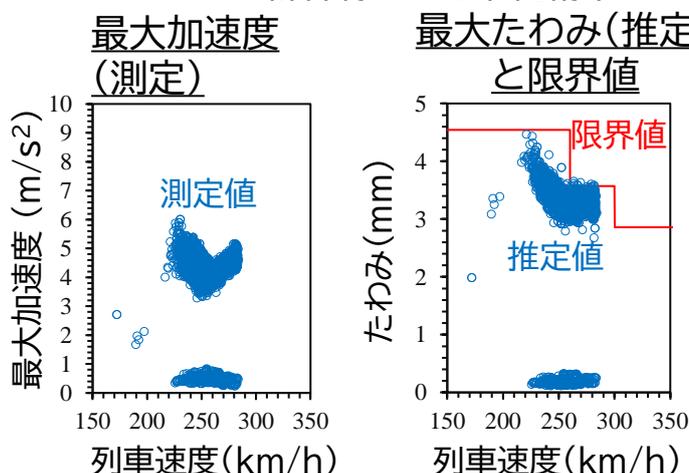
たわみ波形から鉄筋応力波形の推定方法



たわみ δ から曲率 ϕ を求め、断面のひずみ分布から鉄筋のひずみ ϵ_s^{ave} を算出し、さらにコンクリートのひび割れ位置の鉄筋の最大ひずみ ϵ_s^{cr} を算出します。
(図中 β_H 、 β_{cr} は実績に基づく係数)

実橋りょうへの適用結果

新幹線のRC単純桁(スパン8.7m)への適用事例



加速度からたわみの推定
 \rightarrow 乗り心地等の評価が可能

たわみ波形から鉄筋の応力波形を推定し、頻度分布を算出
 \rightarrow 鉄筋の疲労に対する評価が可能

軌道等の剛性寄与を考慮した 桁の振動特性の評価法

従来の設計では考慮できなかった橋りょう上の軌道等の剛性寄与を考慮して、桁の曲げ剛性を高精度かつ簡易に算定する方法を開発しました。提案する曲げ剛性の算定法を用いると、列車走行に伴う桁の振動増幅率が最大50%低減可能となり、必要鉄筋量を削減できます。

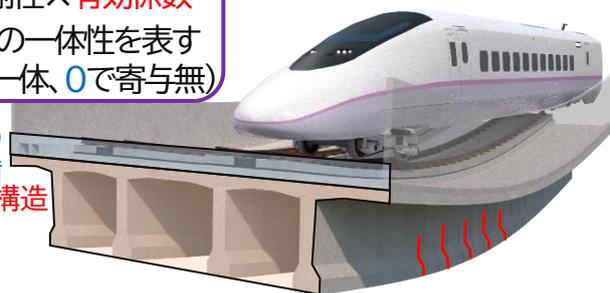
特徴

- 線区によって軌道等の版上設備の種類や形状が異なり、またコンクリート桁や合成桁等の構造種別によってひび割れ発生の有無が異なります。これらの違いを主構造との一体性を表す有効係数という一般化した指標を用いて、各部位の断面剛性に有効係数を乗じて桁の曲げ剛性を簡易かつ高精度に算定します。
- 軌道等の版上設備の剛性寄与は、多様な桁構造を対象とした有限要素解析と実測により定量化した有効係数(版上設備の種類毎に設定)として考慮します。
- ひび割れが生じたコンクリート桁の曲げ剛性の有効係数については、疲労試験に基づき繰り返しの増加によるひび割れの進展と曲げ剛性の低下を考慮した経験式により推定します。
- 提案法の妥当性は実測との比較により確認しました。

桁の曲げ剛性の算定法と適用例

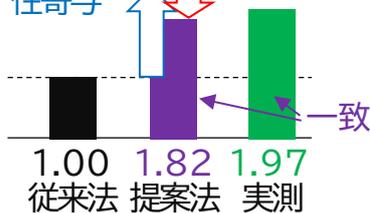
提案法 桁の曲げ剛性
 $= \sum \text{各部位の断面剛性} \times \text{有効係数}$
有効係数: 主構造との一体性を表す
(1.0で完全一体、0で寄与無)

軌道等の
版上設備
桁の主構造



RC桁の曲げ剛性の算定結果

軌道等の版上設備の剛性寄与 ひび割れによる剛性低下



用途

提案法により、従来法では剛性を過小評価していたRC桁、PC桁、合成桁に対して、列車走行に伴う振動増幅率の低減が可能です。(RC桁の例では剛性が80%増となり、振動増幅率を50%低減、必要鉄筋量を約10%削減)

活用例

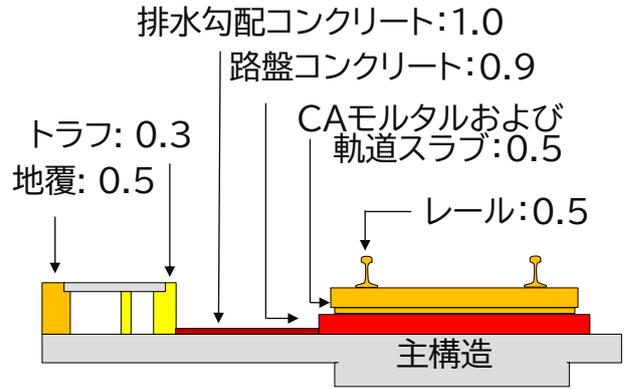
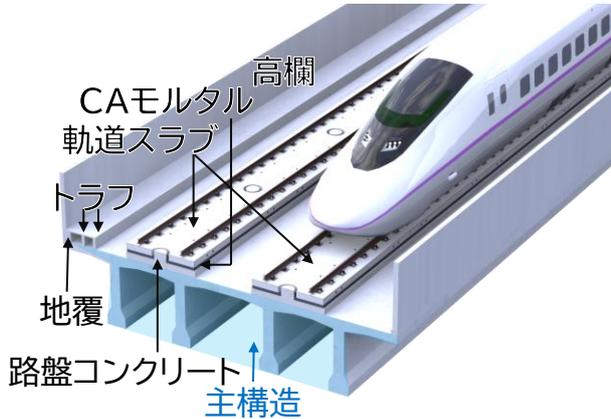
鉄道事業者において、新設橋りょうの開業時の構造性能の確認や、既設橋りょうの補修・補強による構造性能の変化の把握に活用されています。

鉄道力学研究部(構造力学)

版上設備の剛性寄与(有効係数の例)

鉄道構造物には軌道や防音壁、高欄等の非構造部材が主構造上に設置されることから、これら非構造部材が主構造の曲げ剛性に少なからず影響を及ぼします。

多様な桁構造を対象とした有限要素解析等により、非構造部材の種類毎に桁剛性への寄与を、主構造との一体性を表す有効係数という一般化した指標を用いて、定量化しました。 $\lambda = 1$ の場合には非構造部材と主構造が剛結され平面保持が成立、 $\lambda = 0$ の場合には非構造部材の剛性寄与が皆無となります。

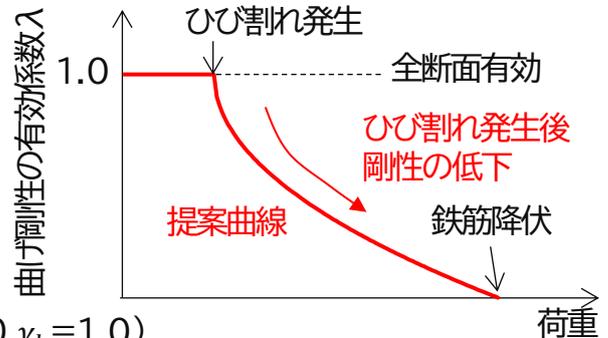


ひび割れによる主構造の剛性低下

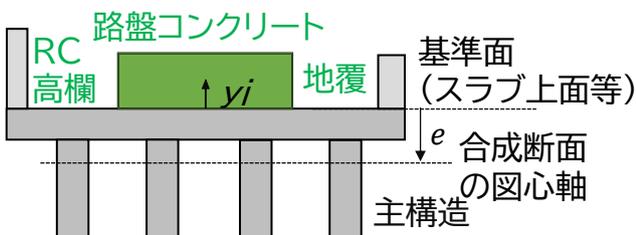
コンクリート部材の繰り返し荷重の増加によるひび割れの進展と曲げ剛性の低下を考慮した主構造の曲げ剛性の有効係数 λ の推定式を提案しました。有効係数 λ は静的荷重試験および疲労試験結果に対して安全側の評価を与えます。

$$\lambda = \frac{I_{eqr}}{I_g} = \frac{I_{cr}}{I_g} + \left(1 - \frac{I_{cr}}{I_g}\right) \left(\frac{M_{cr}}{M_{dmax}}\right)^3$$

- I_{eqr} : 荷重時の有効断面二次モーメント
- I_g : 全断面有効による断面二次モーメント
- I_{cr} : ひび割れ断面理論による断面二次モーメント
- M_{dmax} : 曲げモーメントの応答値
- M_{cr} : 曲げひび割れ発生時の曲げモーメント ($\gamma_c = 1.0, \gamma_b = 1.0$)

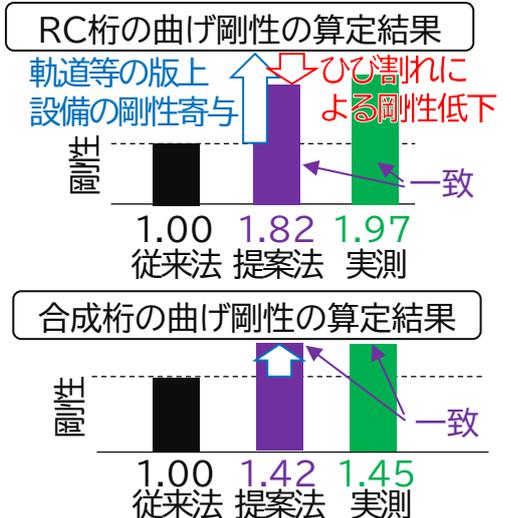


再荷重時有効剛性 EI_{eqr} の推定方法の概要と妥当性



$$EI_{eqr} = \sum_i E_i \lambda_i \{I_i + A_i (y_i - e)^2\} \quad e = \frac{\sum_i \lambda_i E_i y_i A_i}{\sum_i \lambda_i E_i A_i}$$

- E_i : 各断面構成要素の設計ヤング率
- A_i : 各断面構成要素の断面積
- I_i : 各部材図心軸回りの断面二次モーメント
- y_i : スラブ上面からの各部材図心までの距離
- e : 平均的な図心位置



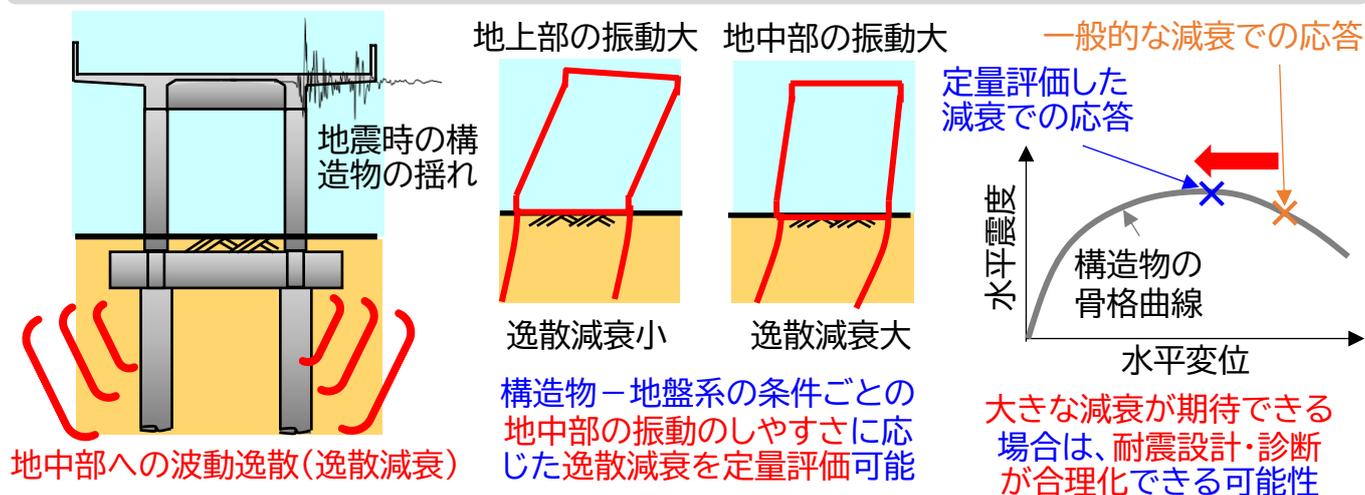
地中部への逸散減衰を考慮した 構造物の応答値算定法

地震時に構造物の揺れが地中部へ伝播する逸散減衰を実務的に定量評価することで、構造物の応答値を算定する方法を開発しました。通常の耐震設計・耐震診断で行われる作業量程度で、構造物—地盤系の条件に応じた減衰定数を設定して応答値が算定でき、設計や診断の合理化が期待できます。

特 徴

- 構造物—地盤系で地震時に発現される地中部への波動逸散(逸散減衰)の効果を定量評価し、構造物の応答値を算定することが可能です。
- 通常の耐震設計で行われるプッシュ・オーバー解析を基にした算定法であり、通常の設計フローの範囲内で実施可能な実務的な方法です。
- 地中部が変形しやすい構造物—地盤系の条件の場合は、より大きな減衰を見込めるため、構造物の地震時応答値が低減し、構造物断面を小さくできる、あるいは補強不要と診断できるなど、設計や診断を合理化できる可能性があります。

地中部への逸散減衰を考慮した構造物の応答値算定法の活用イメージ



本技術開発の一部は鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

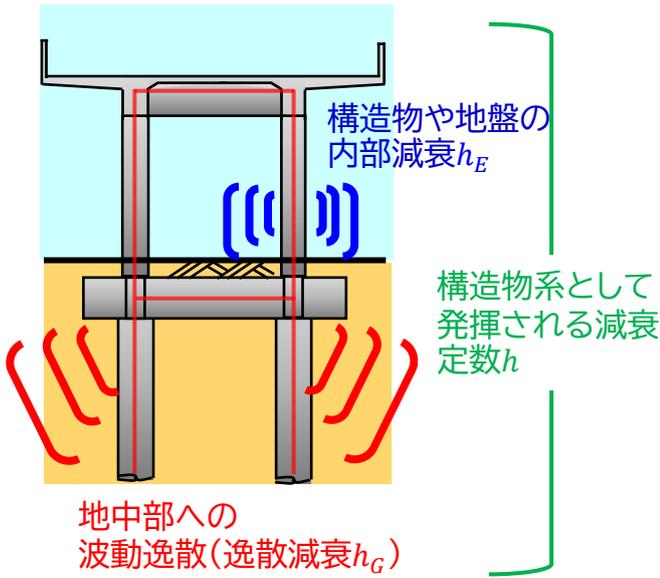
用 途

新設構造物の耐震設計や既設構造物の耐震診断をはじめとして、鉄道構造物の地震時挙動評価全般に広く活用できます。

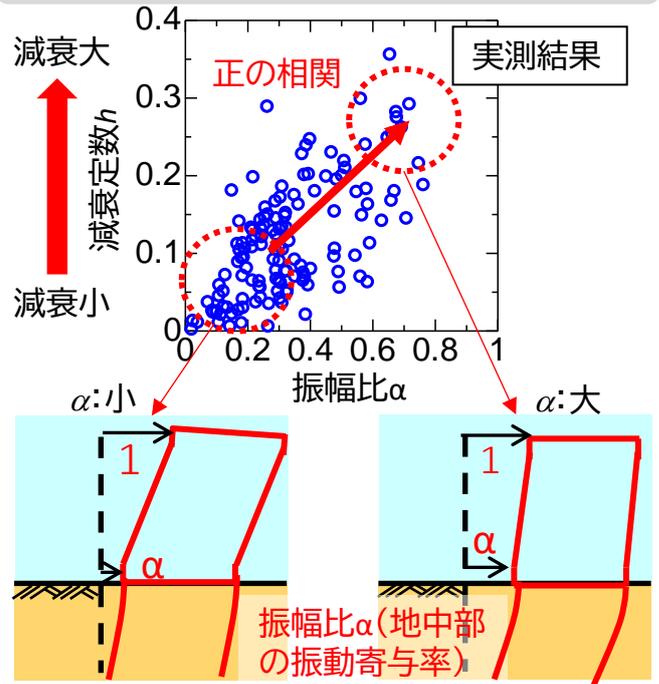
活用例

鉄道事業者などにおいて、構造物の耐震設計の際に活用されています。

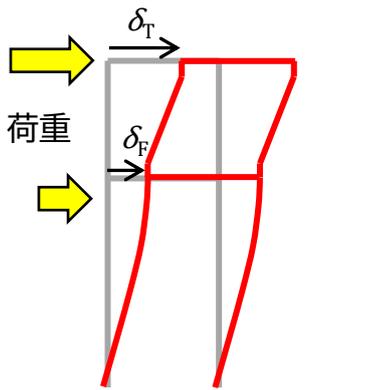
構造物－地盤系の減衰の発生機構



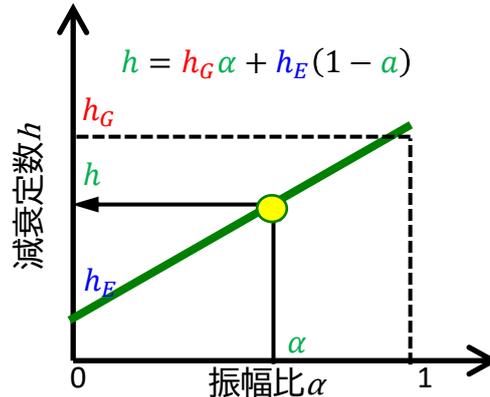
地中部の振動寄与率と減衰の関係



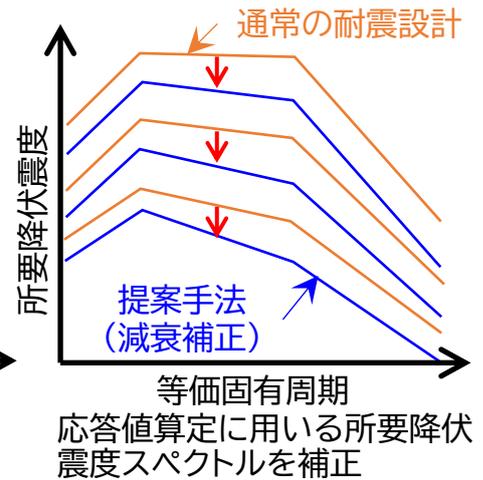
地中部の振動寄与率を考慮した応答値の算定法



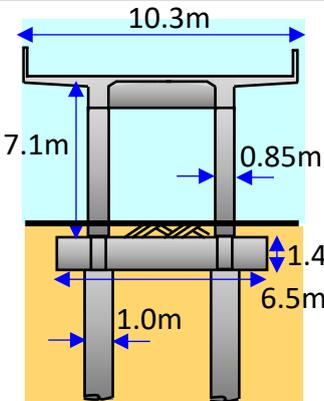
プッシュ・オーバー解析より
振幅比 α 算定 $\alpha = \delta_F / \delta_T$



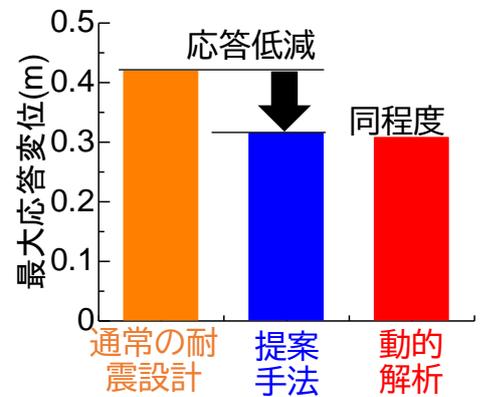
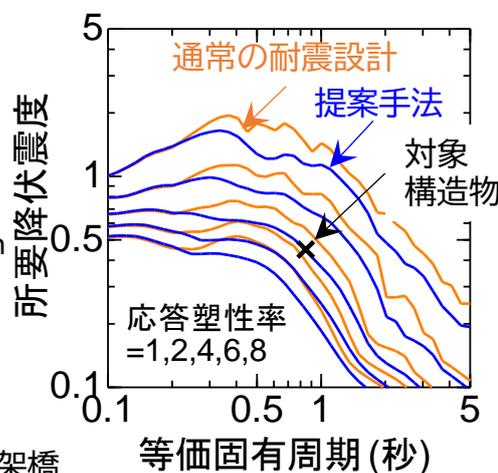
振幅比 α から減衰定数 h を評価



提案手法を用いた構造物の応答値算定の例



1柱1杭の1層ラーメン高架橋



- 提案手法により応答低減
- 提案手法は詳細解析(動的解析)と同程度の応答

対象構造物の概形

所要降伏震度スペクトルの補正

応答算定結果と有効性検証

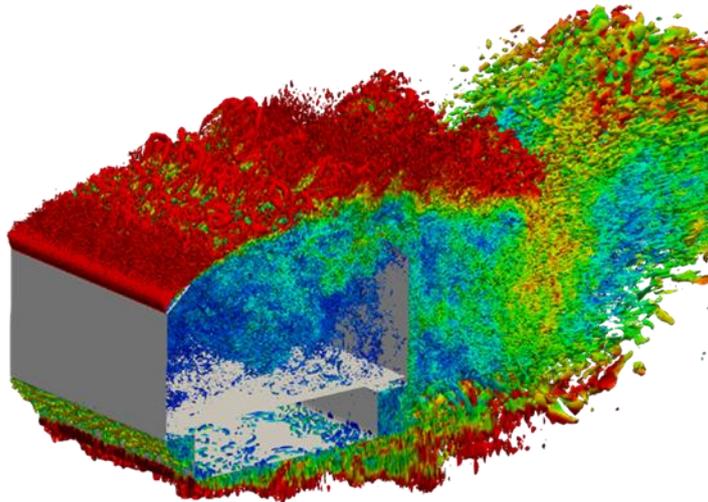
空気流シミュレータ (防音壁の空気力)

複雑形状に対する流れの数値シミュレーションを容易に実現できる、直交格子法に基づく数値流体解析ツール「空気流シミュレータ」を活用した成果です。防音壁の風荷重を空気力シミュレータにより予測できました。

特 徴

- 計算格子作成作業コストがかからない直交格子法を採用しているため、対象物の三次元CADデータがあれば、すぐに数値シミュレーションを開始できます。
- 大規模並列解析に対応しています。理化学研究所のスーパーコンピューター「京」、「富岳」を用いた大規模並列解析の実績があります。
- 防音壁が風を受けるときに生じる空気力を空気流シミュレータで予測できます。

風を受ける防音壁まわりの流れの数値シミュレーション（渦構造）



用 途

- 風洞試験を補完するデータを提供します。
- 流れの現象解明に有用な詳細流れ場を提供します。
- 空力性能に優れた形状検討などに空気流シミュレータを活用できます。

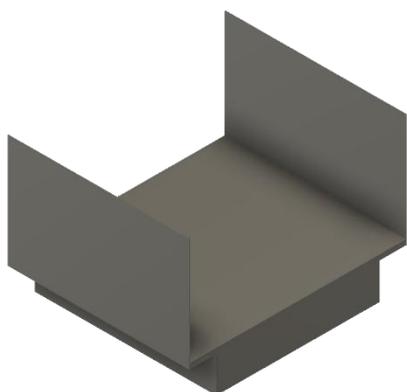
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、シミュレーションを実施しています。

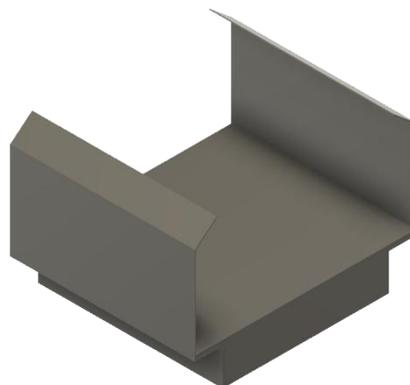
鉄道力学研究部(計算力学)

空気流シミュレータを用いた形状変更に対する風荷重の評価例
防音壁の形状変更として、「直型」と「半雪覆型」を比較した例を示します。

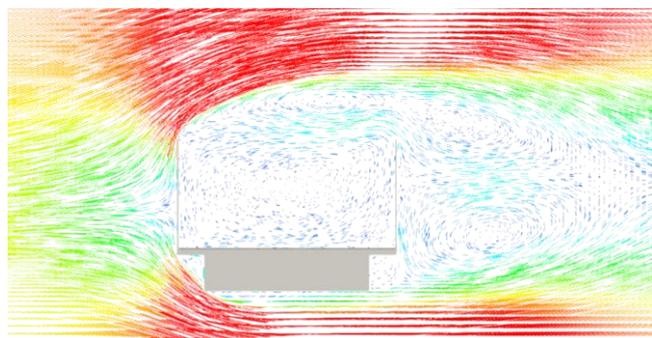
計算対象:「直型」防音壁



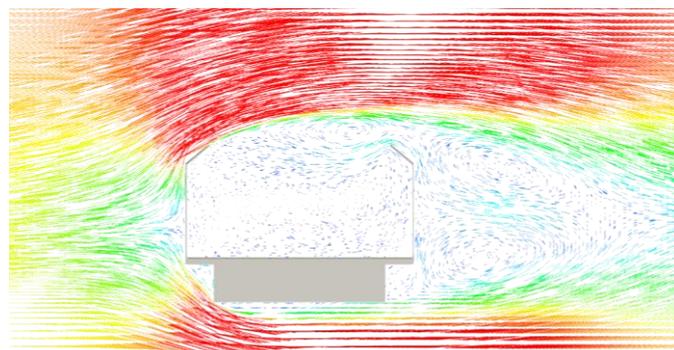
計算対象:「半雪覆型」防音壁



計算結果:「直型」の速度ベクトル

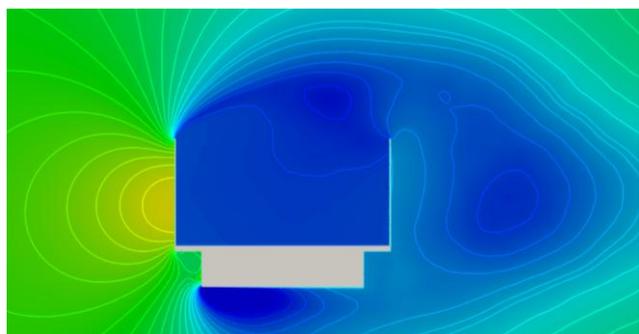


計算結果:「半雪覆型」の速度ベクトル

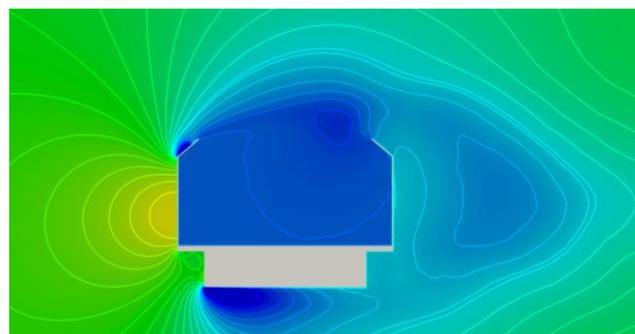


0 無次元速度の大きさ 1.2

計算結果:「直型」の圧力分布



計算結果:「半雪覆型」の圧力分布



-2.0 無次元圧力 2.0

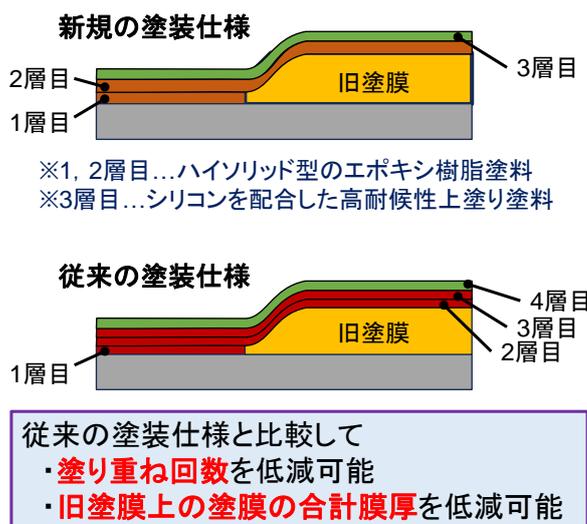
旧塗膜への負荷の小さい 環境配慮型の省工程塗替え塗装仕様

塗装鋼橋の塗替えでは健全な旧塗膜を残して新しく塗装するのが一般ですが、塗替えに用いた塗料が硬化する際の収縮力等によって旧塗膜から割れや剥がれが早期に発生する場合があります。そこで、従来よりも省工程で、旧塗膜への負荷が小さく、さらに環境に配慮した塗替え塗装仕様を提案しました。

特徴

- 塗替えの際の塗装回数を低減するため、通常の塗料と比較して溶剤が少なく厚膜で塗装可能なハイソリッド型のエポキシ樹脂塗料と、シリコンを配合することにより高い耐候性を有する上塗り塗料から成る新規の塗装仕様を提案しました。
- 本塗装仕様は、多くの塗装鋼橋で適用されている従来の長期耐久型の塗装仕様と同程度の耐久性が期待できます。
- 旧塗膜上へ塗装する塗膜の合計膜厚が従来よりも小さく、旧塗膜からの変状が発生しにくくなることが期待できます。
- 本塗装仕様で用いられる各種の塗料は、従来使用されてきた塗料と比較して同等の作業性を有しています。
- 本塗装仕様では、人体に有害であったり環境への悪影響が懸念される化学物質の含有量を従来の塗装仕様よりも低減しています。

新規の塗装仕様の概要



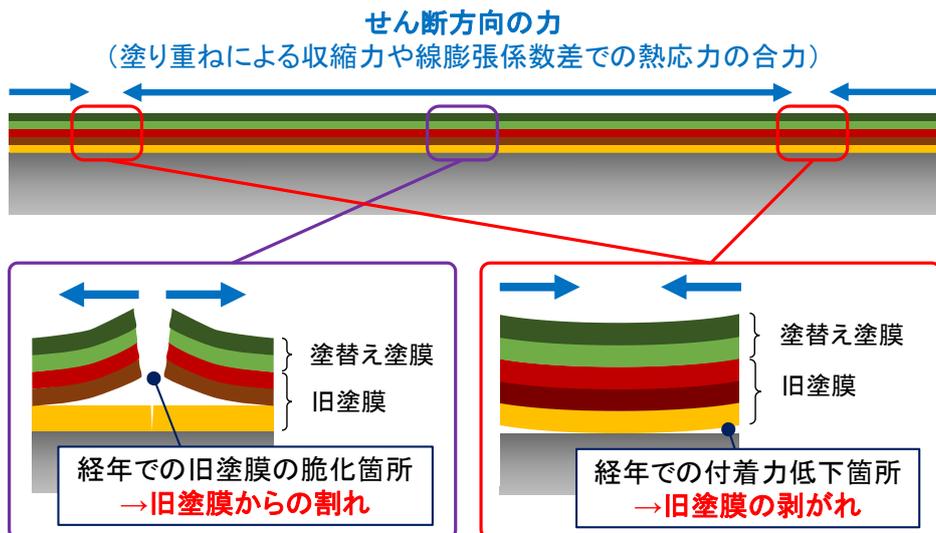
用途

塗装鋼橋などの、旧塗膜を残して塗替えすることが多い鋼構造物に適用することで、従来の塗装仕様と比較して、施工日数の削減や、次回の塗替えまでの期間の延伸が期待できます。

活用例

鉄道事業者において、塗装鋼橋の旧塗膜を残して塗替えする場合に活用されています。

旧塗膜の変状メカニズムのイメージ



旧塗膜の劣化に起因する変状例 (剥がれ、割れ)

新規の塗装仕様と従来の塗装仕様との比較

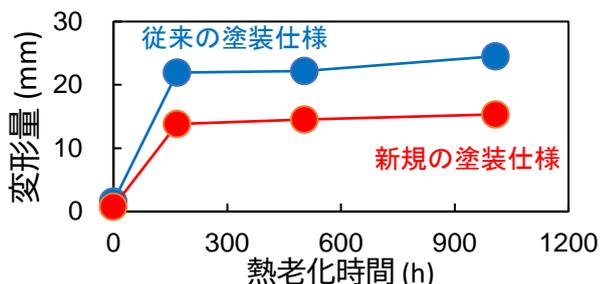
旧塗膜の上に塗装される塗料の合計膜厚は、従来の塗装仕様が170mmであるのに対して新規の塗装仕様が140mmであり、30mmの低減が図られています。

工程	従来の塗装仕様			新規の塗装仕様		
	塗料名	旧塗膜への塗り重ね	目標膜厚	塗料名	旧塗膜への塗り重ね	目標膜厚
第1層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	×	60μm	ハイソリッド厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	×	90μm
第2層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	○	60μm	ハイソリッド厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	○	90μm
第3層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	○	60μm	シリコン変性エポキシ樹脂塗料上塗	○	50μm
第4層	厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗	○	50μm			
	合計膜厚...230μm(旧塗膜上は170μm)			合計膜厚...230μm(旧塗膜上は140μm)		

塗装仕様の乾燥時の収縮力の比較



塗装したリン青銅板の変形量から塗膜の収縮力を評価



塗装仕様の環境影響の比較

塗装系	指定化学物質量 (g/(m ² ・y))	VOC量 (g/(m ² ・y))
従来	5.0	8.3
新規	3.6	4.7
低減率	28%	43%

・指定化学物質量…「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」で指定される第1種指定化学物質、第2種指定化学物質に加えて、IARC (国際がん研究機関)で指摘する発がん性Group1 (人に対して発がん性がある)に分類される有害性を指摘された化学物質の総量
 ・VOC量…揮発性有機化合物の総量
 ・塗替え時の旧塗膜の残存率を75%とし、次回塗替えまでの年数を30年として計算

高架上家の耐震性能評価手法

鉄道総研では、2017年に鉄骨造旅客上家の耐震性能評価手法をまとめた「鉄骨造旅客上家の耐震診断指針」を整備しました。その後も、旧国鉄標準型上家の診断例の充実や高架上家を対象とした地震時の応答増幅の考え方などに関する改訂を行ってきました。しかし、近年、高架上家の応答増幅の設定によっては、耐震補強量が極めて多くなる事例も見られることから、より実態に合った実用的な耐震性能評価手法を提案し、指針に反映しました。

特徴

- 一般建築物とは異なり、高架橋と高架上家とでは、質量や剛性の違いが大きいという特性を踏まえた手法です。
- 大地震時には高架橋が先に降伏する場合も考慮した増幅の設定法となっています。
- 時刻歴応答解析結果の比較を行い、十分安全側の設定となることを確認しています。
- これら成果は2022年に「鉄骨造旅客上家の耐震診断指針」に反映しています。

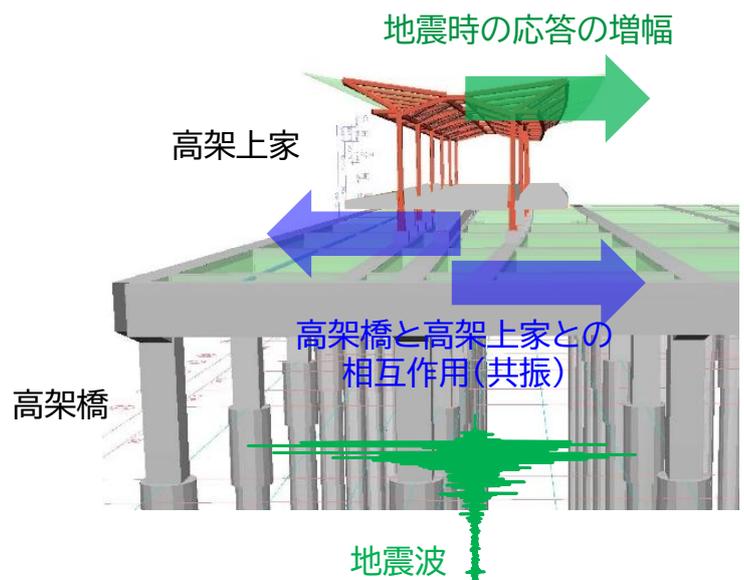
用途

高架上家の耐震診断に使用できます。

活用例

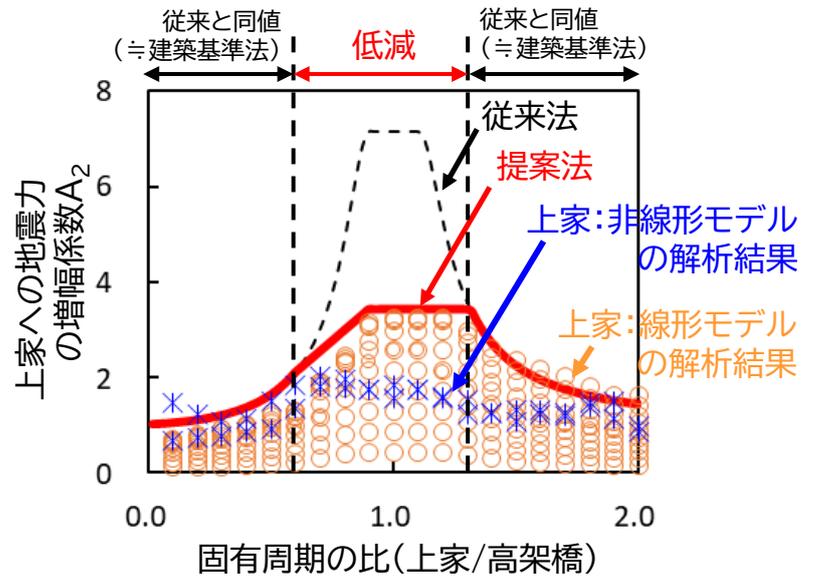
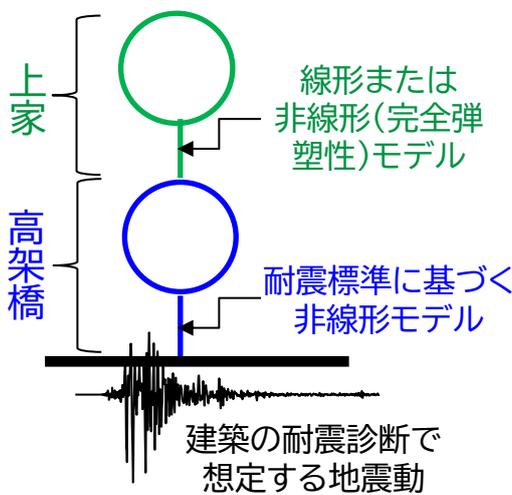
鉄道事業者および関連する設計コンサルタントにおいて、高架上家の耐震診断に活用されています。

高架上家の応答増幅のイメージ



高架橋の降伏を考慮した高架上家の地震応答増幅

2質点の構造モデルを用いて網羅的に行った地震応答解析の結果から、高架上家の増幅係数 A_2 の値を提案しました。



高架橋の降伏を考慮した地震応答増幅設定の流れ

高架橋・高架上家の一体モデルによる動的解析は不要となり、スペクトルから読み取ることによって簡易に地震応答増幅の設定ができます。

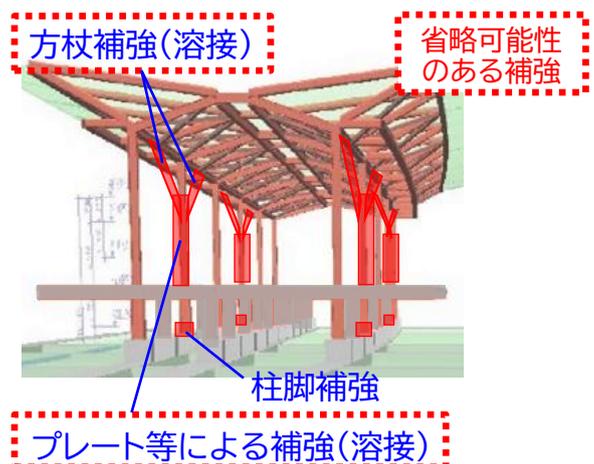
なお、新たに高架橋の降伏震度を算定する必要があります。

	高架橋(土木設計)	上家(建築設計)	
手順	① 条件提示	② パラメータ算出	③ 増幅係数(A_2)算出
従来法	高架橋の以下の諸元を提示 <ul style="list-style-type: none"> 質量 等価固有周期 	以下の比を算出(上家/高架橋) <ul style="list-style-type: none"> 質量の比 固有周期の比 	スペクトルから読取 上家への地震力の増幅係数 A_2 固有周期の比
提案法	上記に加え、以下を提示 <ul style="list-style-type: none"> 降伏震度 	上記と同様	スペクトル※から読取 ※高架橋の降伏震度を考慮

提案法による耐震補強への効果

提案法を使って高架上家の地震応答増幅を設定することで、高架上家で想定する地震力を、従来法に比べ大幅に低減できる場合があります。

これにより、高架上家に施される耐震補強の一部が省略できます。



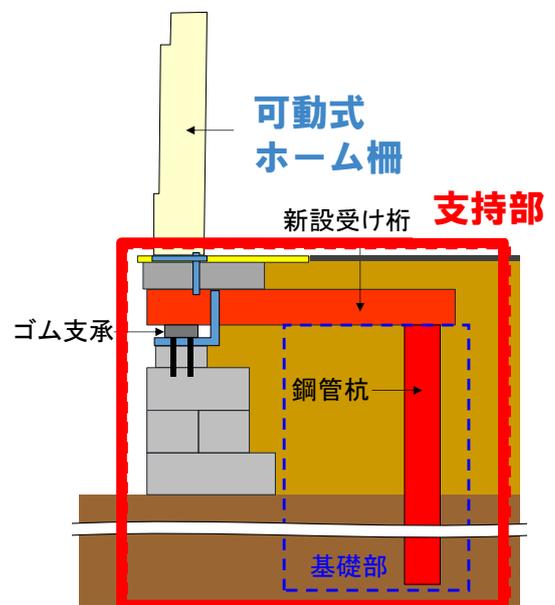
可動式ホーム柵支持部の設計法

可動式ホーム柵支持部の設計方法は、鉄道事業者および関連メーカー等に委ねられてきました。今後の可動式ホーム柵のより多くの鉄道事業者への普及を目的として、効率的な設計に関する知見を共有するため、使用環境を踏まえた合理的な設計法を提案すると共に、手引きにまとめました。

特徴

- 性能照査型設計法を適用(許容応力度法による考え方も併記)しました。
- 日常的にプラットホームで想定される旅客の行為を考慮した設計法としました。
- 群集推力や風荷重など作用の特性値は、個別の設置環境に応じて設定できる設計法としました。
- この設計法は、有識者検討会にて審議されました。
- 「可動式ホーム柵支持部の設計に関する手引き」に設計法を取りまとめると共に、盛土式ホームとRC一体型ホームを対象とした設計計算例を作成しました。

可動式ホーム柵支持部の例



用途

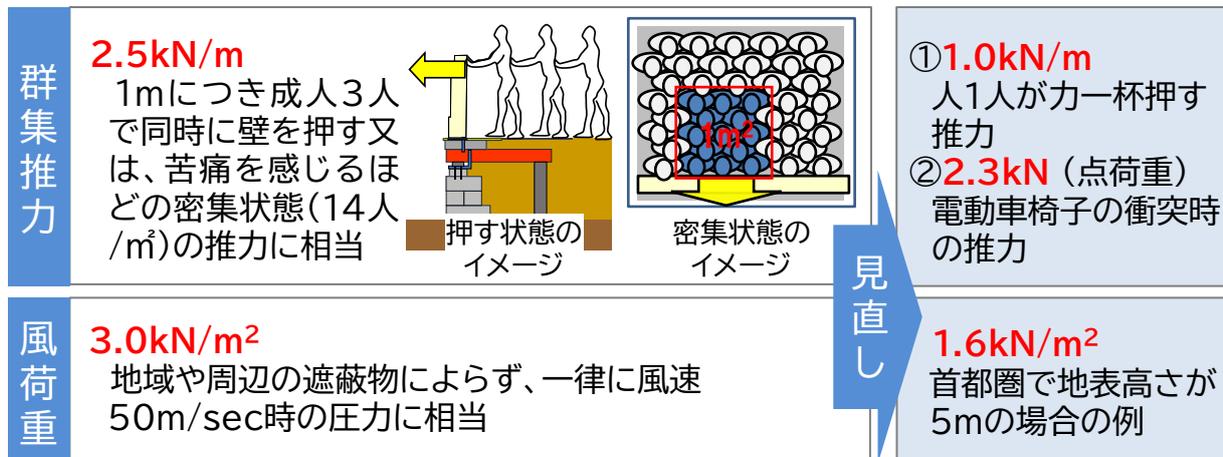
鉄道事業者における可動式ホーム柵の設置時の設計や、関連メーカーにおける可動式ホーム柵本体の開発時の検討に使用できます。

活用例

鉄道事業者および関連する設計コンサルタントにおいて、可動式ホーム柵支持部の設計に活用されています。

可動式ホーム柵に働く作用(群集推力と風荷重)の特性値の見直し

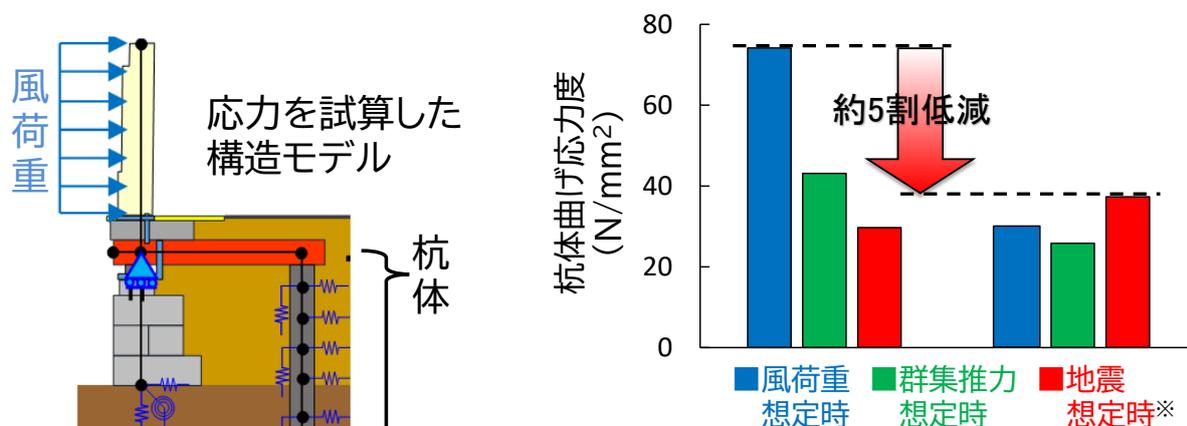
慣例的に使われていた作用の特性値を、日常的にプラットホームで想定される値へと見直し、設置環境に応じて設定できるようにしました。



※従来の作用の特性値は、極稀に発生する作用の特性値として必要に応じ選択できるようにしました。

構造モデルによる応力の試算

盛土ホームを想定した試算では、作用の特性値および作用の組合せを見直すことで、部材に発生する応力が約5割低減することがわかりました。



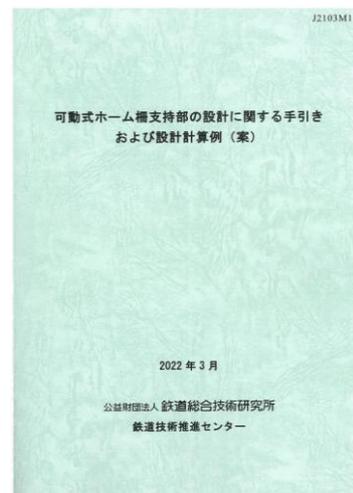
※地震想定時の応力度は作用の組合せ見直しの影響で増加

可動式ホーム柵支持部の設計に関する手引きおよび設計計算例

提案した設計法は、学識経験者、鉄道事業者等からなる有識者検討会(事務局:国交省、鉄道総研)に諮り、手引きにまとめました。

更に、盛土式ホームとRC一体型ホームを対象とした設計計算例を作成しました。

これらを、可動式ホーム柵支持部の設計実務を行う際の参考資料として、鉄道技術推進センターより発出しました。



技術基準と業務支援ツール

「鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)」(以下、コンクリート標準)、「鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)」(以下、鋼・合成標準)を改訂しました。また、基礎・抗土圧構造物の維持管理業務支援ツールとして、手引き(以下、基礎・抗土圧手引き)を作成しました。

特徴

- コンクリート標準、鋼・合成標準では、鉄道システムを構成するすべての構造物の設計の考え方、要求性能の設定、照査等の基本事項に対して統一性を持たせ、基本原則編、構造物・構造要素編、部位・部材編の3階層としました。
- コンクリート標準では、非線形有限要素解析による照査法や水の浸透に伴う鋼材腐食に関する検討の導入、高強度鉄筋の適用範囲の拡大、支承部、部材の耐力、たわみの算定法や接合部の構造細目等を更新しました。
- 鋼・合成標準では、橋梁用高降伏点鋼板や高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の変更、地震時の鋼桁の上揚力の算定法等を導入しました。
- 基礎・抗土圧手引きでは、特に洗掘に起因する構造物の変状に着目し、健全度判定例や洗掘採点表の活用事例について記載を充実化しました。

コンクリート標準



第 I 編基本原則
／第 II 編橋りょう



第 III 編コンクリート構造



第 IV 編支承構造

鋼・合成標準



第 I 編基本原則／第 II 編橋りょう／
第 III 編鋼・合成構造／第 IV 編支承構造

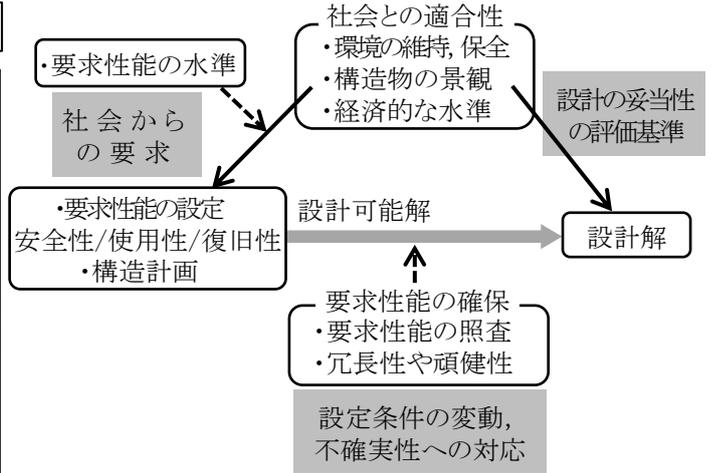
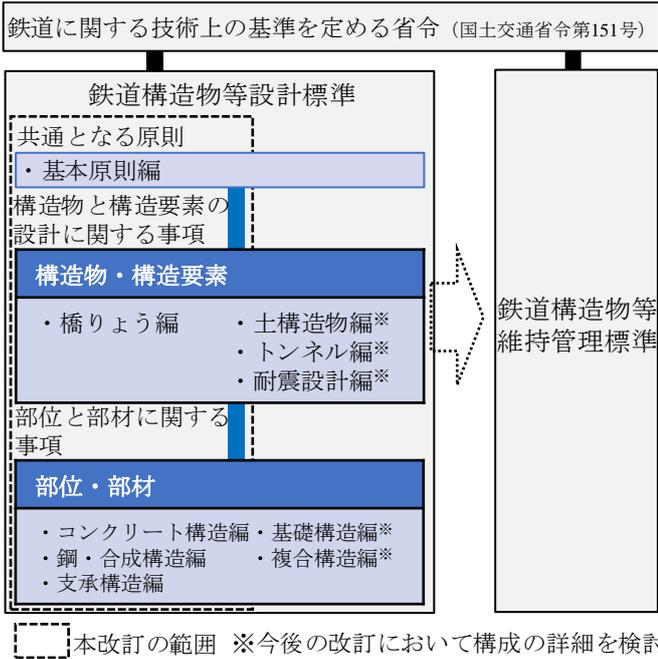
用途

コンクリート標準(2023年1月発刊)、鋼標準(2024年3月発刊)は設計に、基礎抗土圧手引き(2023年7月)は維持管理に活用できます。

活用例

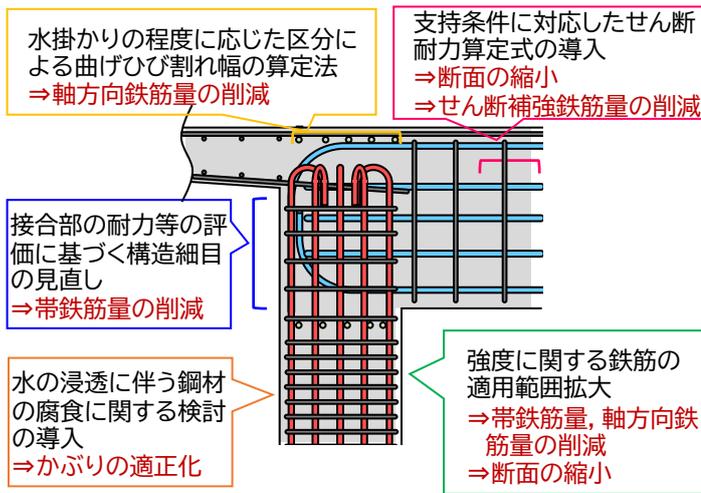
鉄道事業者において、構造物の設計および維持管理の実務で活用されています。

改訂した標準の体系と社会との適合性の位置づけ

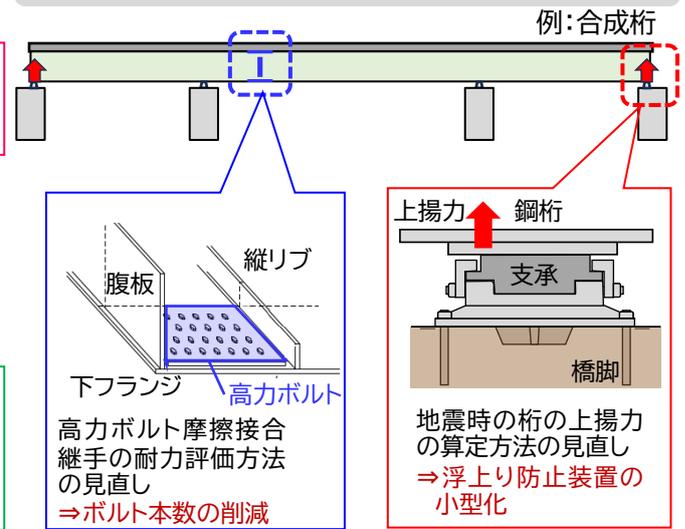


照査を満足する複数の設計解に対して、1つの設計解を選ぶ際の設計の妥当性の評価基準として、「社会との適合性」の概念を位置づけました。

コンクリート標準の改訂効果の例

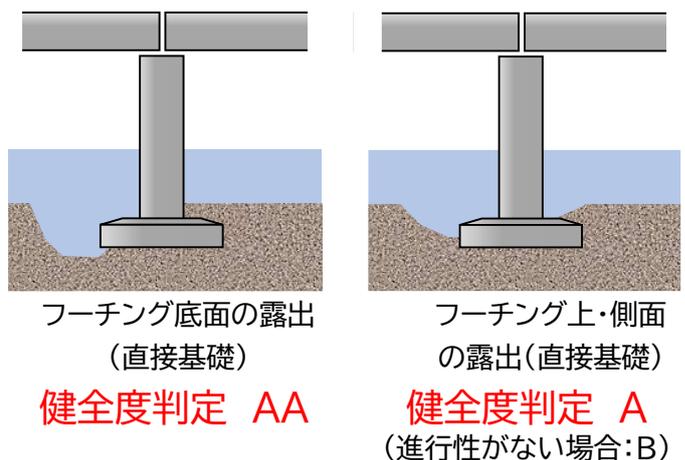


鋼・合成標準の改訂効果の例



洗掘による変状に関する健全度判定の例

降雨の激甚化による洗掘事例の増加懸念に対応するため、洗掘に対する抵抗性が低下している橋りょうを見落とさないことを目的として、注意すべき橋りょうの項目例を例示するとともに、検査すべき変状を整理しました。



軌道

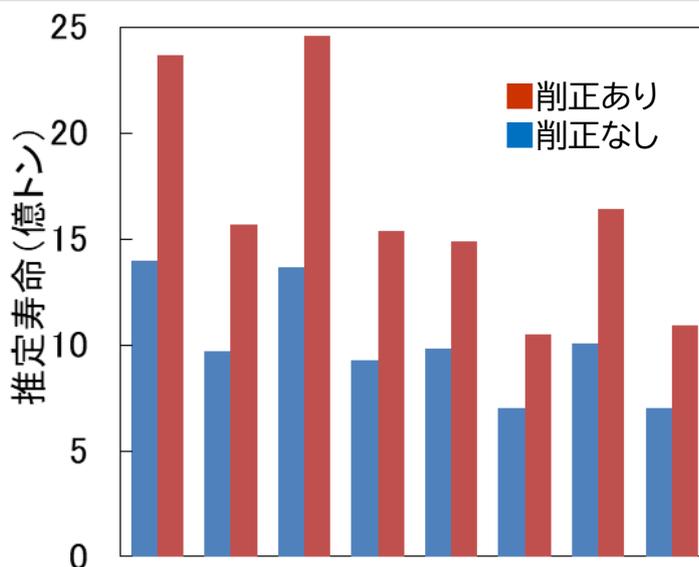
高繰返し数領域を考慮した レール疲労寿命評価

一部の鉄道事業者は、主にロングレール区間において、周期的なレール交換を実施していますが、メンテナンスコストの縮減のためレール交換周期の適正化が望まれています。そこで、実際の営業線の使用履歴と同程度の高繰返し数領域の疲労試験によって、S-N曲線を推定し、精度の高い疲労寿命の評価を可能としました。

特徴

- レールの疲労試験結果に基づき、各鉄道事業者のレールの敷設状態（軌道構造、溶接種別、削正条件等）や車両条件に応じたレールの寿命を推定し、適正なロングレール交換周期を提案することが可能です。
- 従来実施してきた経年レール（実レール）の疲労試験は試験機等の制約上、200万回程度の载荷回数までに限られておりました。今回提案した、要素試験片による平面曲げ疲労試験によって数千万回領域の疲労特性の把握が可能となり、新たなS-N曲線を提案しました。
- 溶接部のレール頭頂面の凹凸削正による寿命延伸効果を算出できます。

レール寿命推定結果の例



凹凸進み (mm /億トン)	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
車両	電気 機関車		特急電車		電気 機関車		特急電車	
レール 種別	60kg				50kgN			

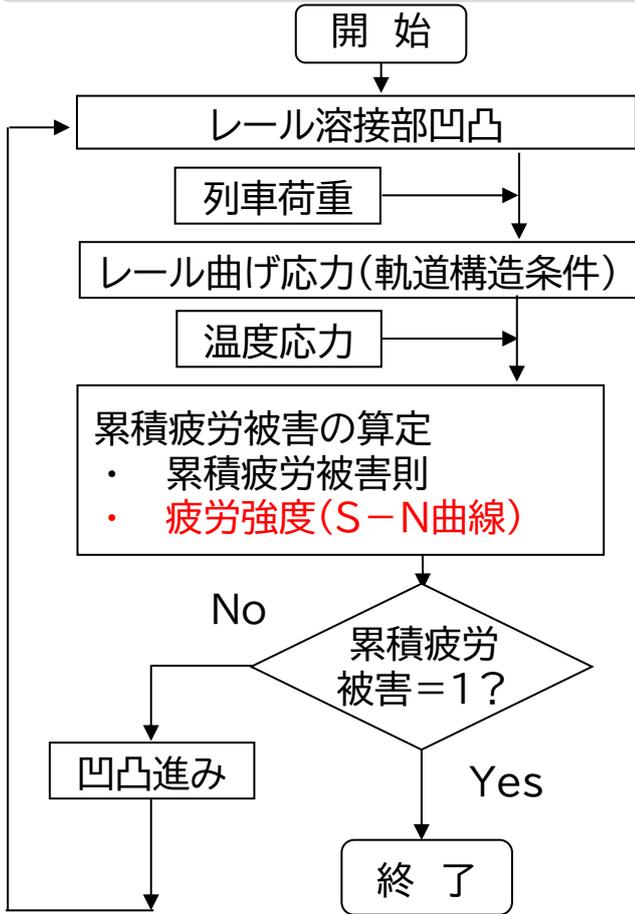
用途

各鉄道事業者のレールの敷設状態に応じたロングレール交換周期の適正化、交換周期延伸のための方策の提案が可能です。

活用例

鉄道事業者からの依頼に応じてレール寿命を推定し、レール寿命交換周期の策定に活用されています。

寿命予測のフローチャート



推定条件の例

項目	条件
対象車両	電気機関車(輪重79kN, 100km/h) 特急電車(輪重59kN, 130km/h)
軌道構造	バラスト軌道、 浮きまくらぎ1mm
レール凹凸進み	0.1mm/億トン 0.05mm/億トン
レール凹凸削正	削正なし、削正あり (0.08mm/億トン)

新たに提案したS-N曲線
(要素試験片の試験結果)

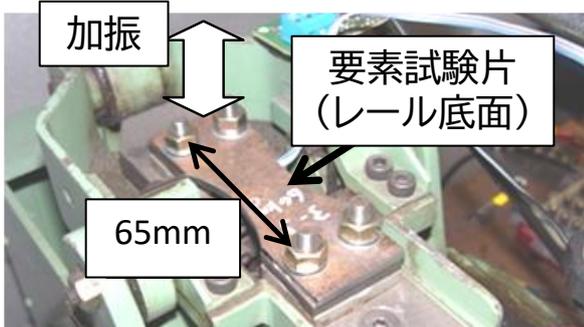
試験結果： 破断● 未破断○
修正70%： 破断◆ 未破断◇

実レールの試験と同等とみなすための
修正値(70%)の設定方法

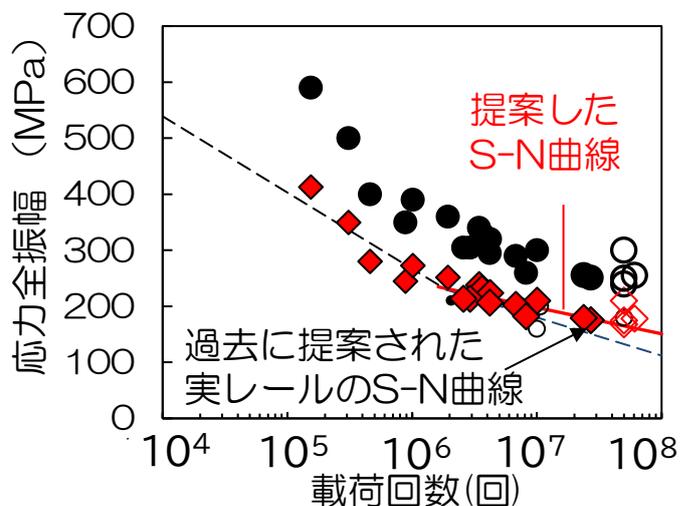
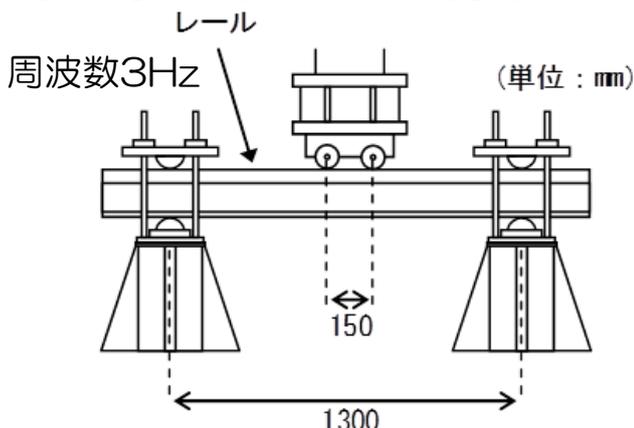
- レール底面の欠陥サイズと発生応力から応力拡大係数に換算
⇒試験载荷方法の違いによる欠陥近傍の応力状態の詳細評価
- 極値統計解析の適用
⇒試験片サイズの違いの評価

要素試験片の平面曲げ疲労試験

载荷周波数20Hzで载荷可能



従来の試験(実レール疲労試験)



過去のS-N曲線(200万回未満の結果から算出)を上回る結果
⇒寿命延伸が可能であることを確認

レール底部の損傷に対する レール健全度評価

トンネル内の漏水箇所等では、腐食が顕著でないにも関わらず、レール折損が発生することがあります。折損事例の分析、車両走行シミュレーション、現地応力測定等により、レール頭頂面凹凸や浮きまくらぎの存在によって、著大なレール曲げ応力が発生し、折損に至ることを定量的に明らかにしました。その結果に基づき、軌道検測データによるレール底部からの疲労損傷に対するレール健全度の評価法を開発しました。

特徴

- 軌道検測データ等から、現場に発生しているレール頭頂面凹凸および浮きまくらぎを推定し、それらをパラメータとしてレール曲げ応力を求め、レールの疲労強度との関係からレールの健全度を評価することが可能です。
- 上記の一連の作業が、LABOCSを用いたバッチファイルによって、実行することが可能です。
- 健全度は、LABOCSによって、チャート表示することが可能です。また、健全度における頭頂面凹凸や浮きまくらぎの寄与分も評価することが可能です。

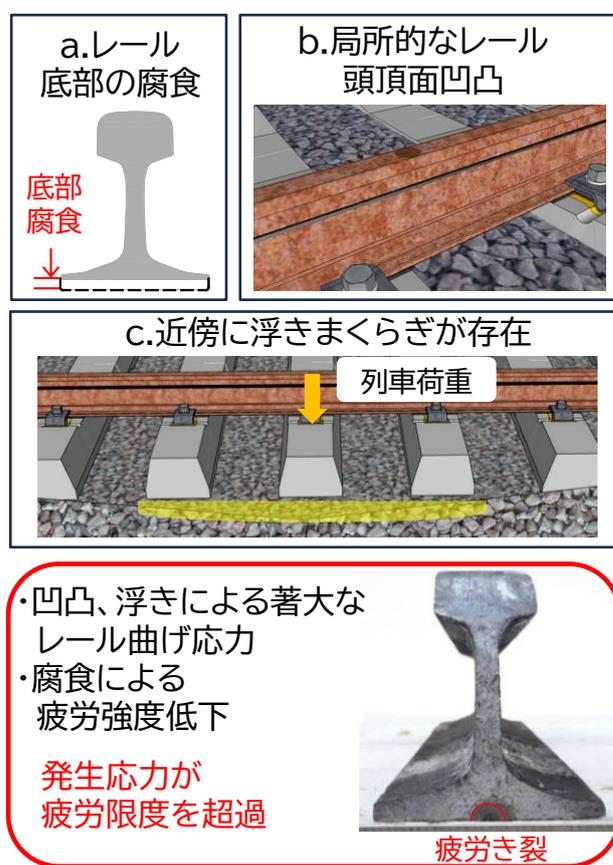
用途

各鉄道事業者において、レールの健全度を評価し、健全度に応じたレール交換時期の適正化や交換の優先度の評価が可能です。

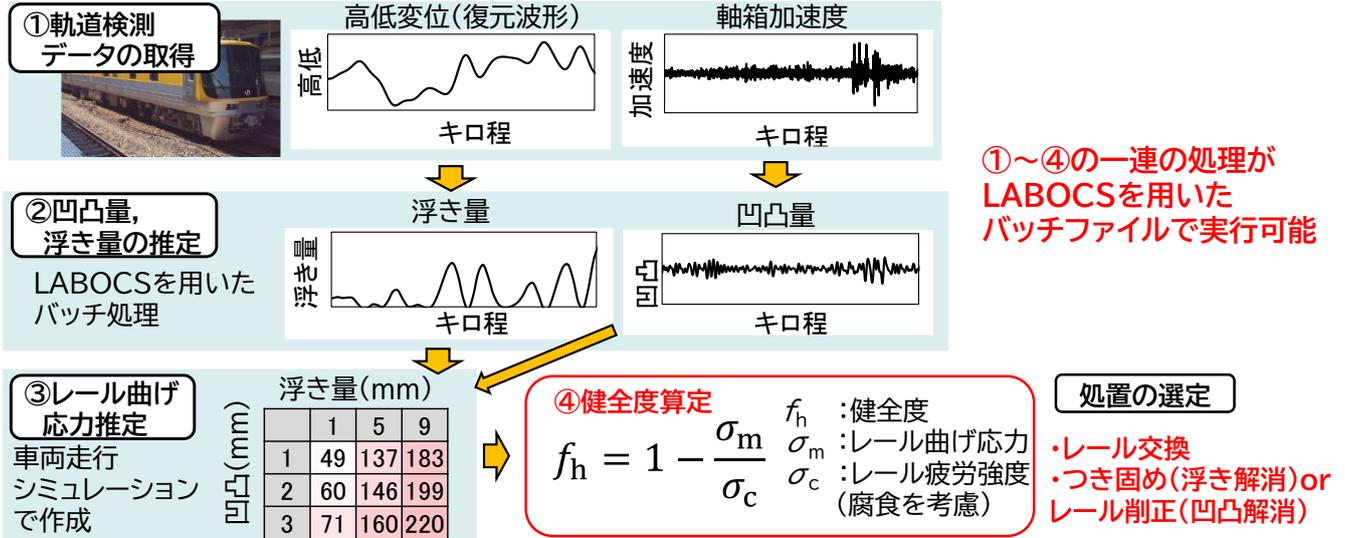
活用例

鉄道事業者において、レール交換時期の適正化・優先度の策定に活用されています。

レール底部からの折損のメカニズム

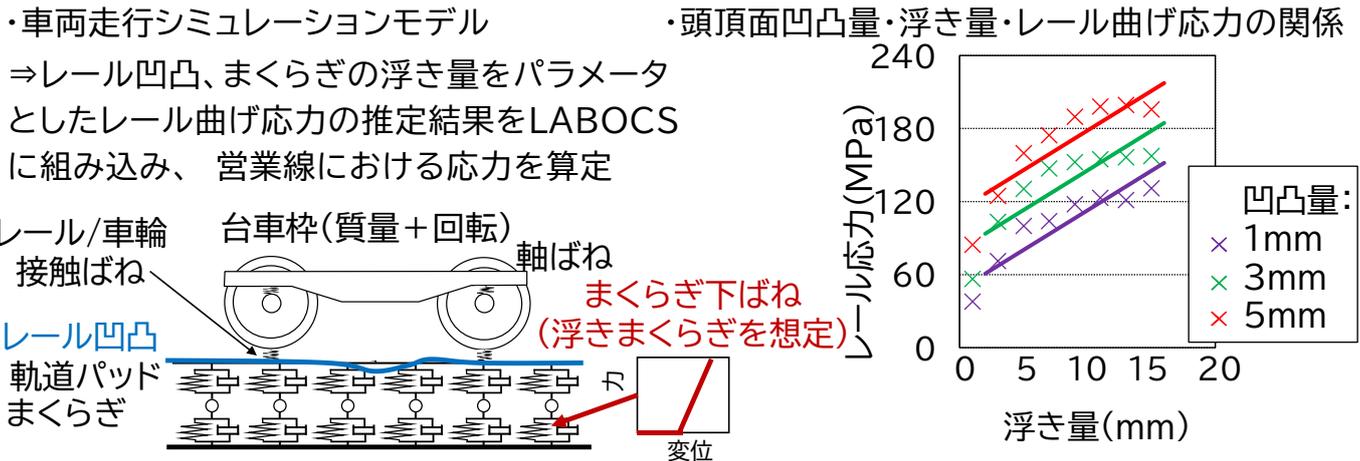


LABOCSを用いたレールの健全度評価



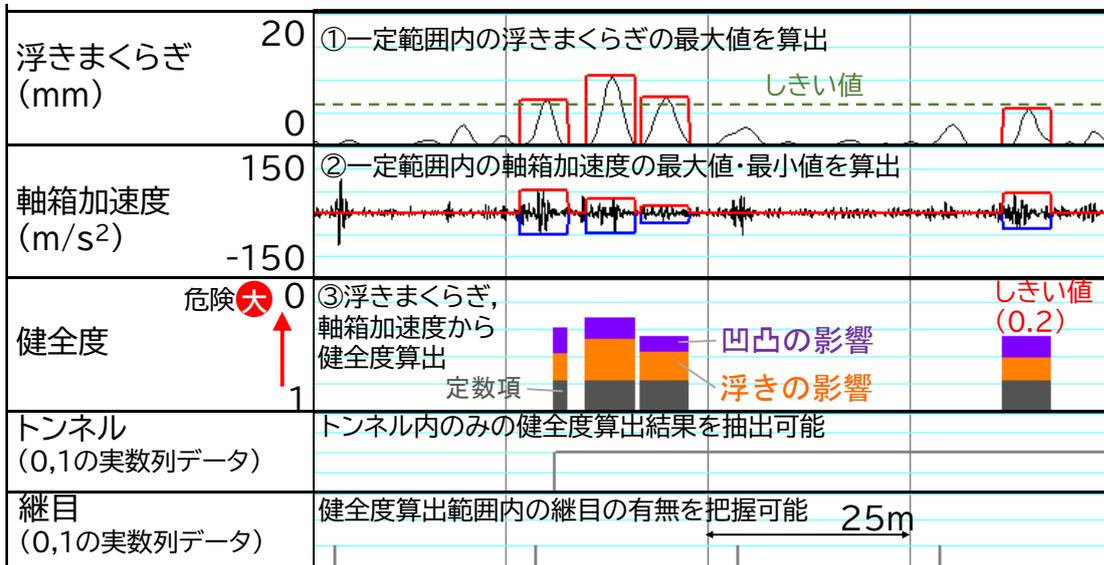
- ・0.3以上の健全度で管理し、破断を回避可能(0.2ではき裂が発生する恐れ)
- ・レール交換のほかに、つき固めや削正等の低コストな処置の選択も可能

レール曲げ応力の推定シミュレーション



健全度評価のチャート表示の例

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

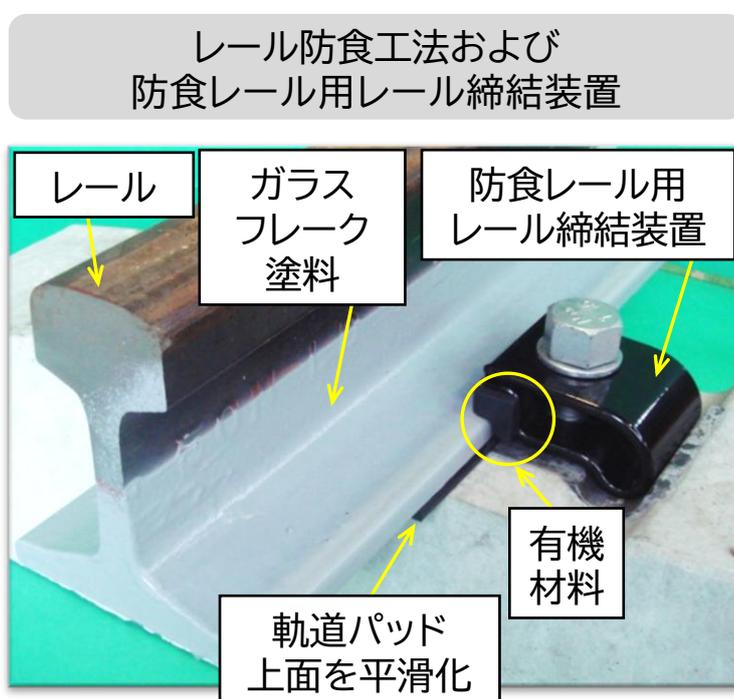


耐久性を考慮したレール防食工法

漏水が生じているトンネルや踏切等に敷設されているレールの腐食対策として種々のレール防食工法が提案されてきましたが、レール締結部の防食被膜の損傷が課題となっていました。そこで、列車荷重に対する耐久性を考慮したレールの防食工法を開発しました。

特 徴

- レールにガラスフレーク塗料を使用することで、耐衝撃性、耐摩耗性を向上させることができます。
- 軌道パッドの溝を無くして、上面を平滑化することによって、レール底部における防食被膜の損傷低減が可能です。
- 有機材料を使用した防食レール用レール締結装置を用いることで、防食塗膜の損傷のさらなる軽減が可能です。
- サンドブラスト等の大型の装置による高額な素地調整機器が不要であり、保守基地内で施工が可能です。



用 途

漏水が生じたトンネルや踏切に敷設するレールに適用し、レール寿命の延命を図ることが可能です。

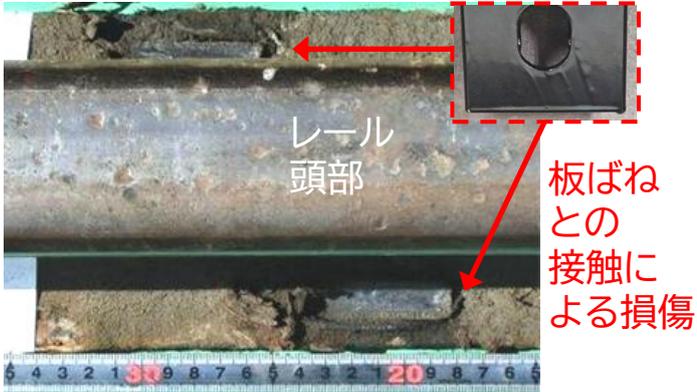
活用例

鉄道事業者において、漏水トンネルや踏切のレール腐食対策に活用されています。

軌道技術研究部(レールメンテナンス)、材料技術研究部(防振材料)

従来のレールの防食工法における課題

レール締結部の防食被膜の損傷例
 ⇒防食被膜の外力に対する耐久性の向上が必要



2方向での繰返し斜角载荷
 (室内評価試験)



防食加工の耐久性を確認

保守基地におけるレール防食加工

表面さびおよび鋼材の黒皮を除去



ケレン作業

下塗りは1回、上塗りは2回実施



塗料の吹き付け

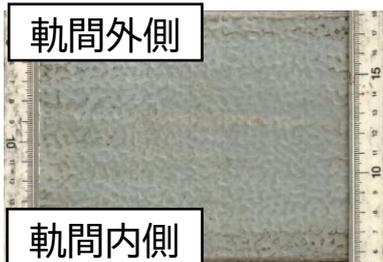
営業線への敷設



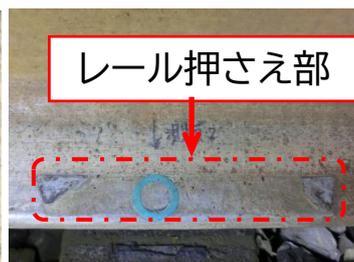
塗装後10日間の養生

敷設後(2年)の塗膜の状況

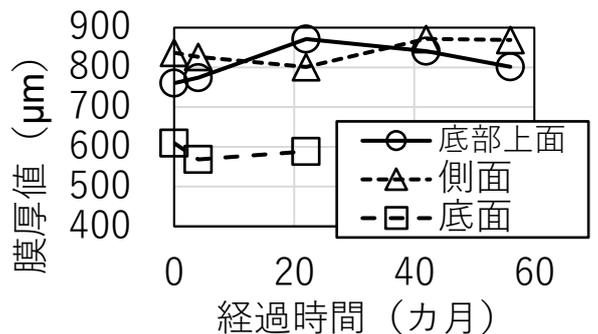
レール底面



レール底部上面



時間経過と膜厚の関係
 (底面は23カ月以降未測定)
 ⇒健全な状態で推移



レール開口部の走行安全性評価

無線式列車制御システムの導入に際して軌道回路も同時に撤去されるとレール破断検知ができなくなり、レール破断箇所(以下、「レール開口部」という)を一定期間、車両が繰り返し走行する可能性があります。そのような状況下を想定し、レール開口部の走行安全性を評価する手法を開発しました。

特徴

- 開発した重錘落下試験装置を用いることで、レール開口部を車両が通過する際の衝撃荷重に相当する荷重を繰り返し载荷することが可能です。
- レール開口部の車両走行シミュレーションモデルに対し、重錘落下試験後の軌道部材の損傷状態を反映させることで、レール開口部の繰り返し通過を想定した場合の車両挙動をシミュレーションすることが可能です。

用途

- 重錘落下試験装置を用いて、様々な軌道構造における部材損傷評価が可能です。
- レール開口部の車両走行シミュレーションモデルを用いて、様々な車両・軌道条件におけるレール開口部の走行安全性評価が可能です。

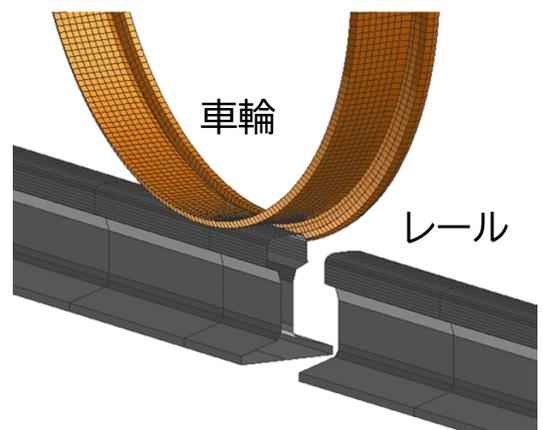
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、様々な条件を想定したレール開口部の車両走行シミュレーションおよび試験を実施し、設備計画策定のための評価に活用されています。

重錘落下試験装置

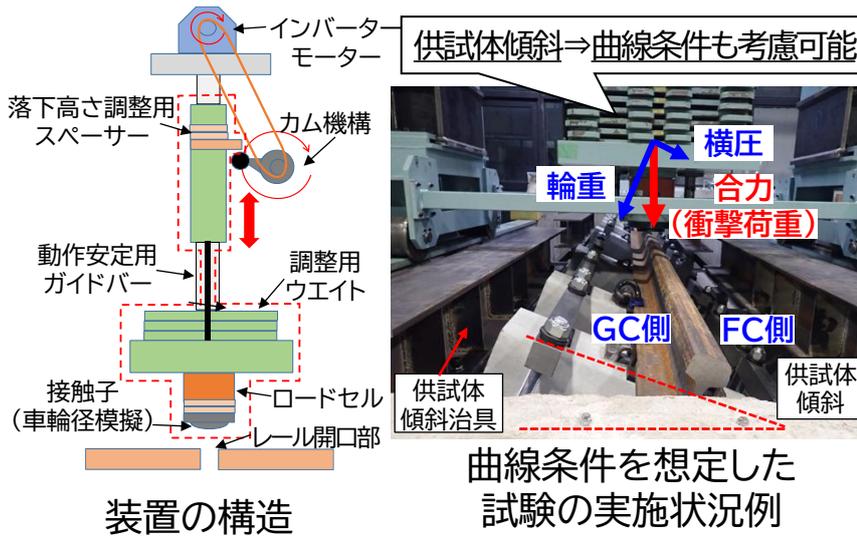


レール開口部の車両走行シミュレーションモデル



重錘落下試験装置

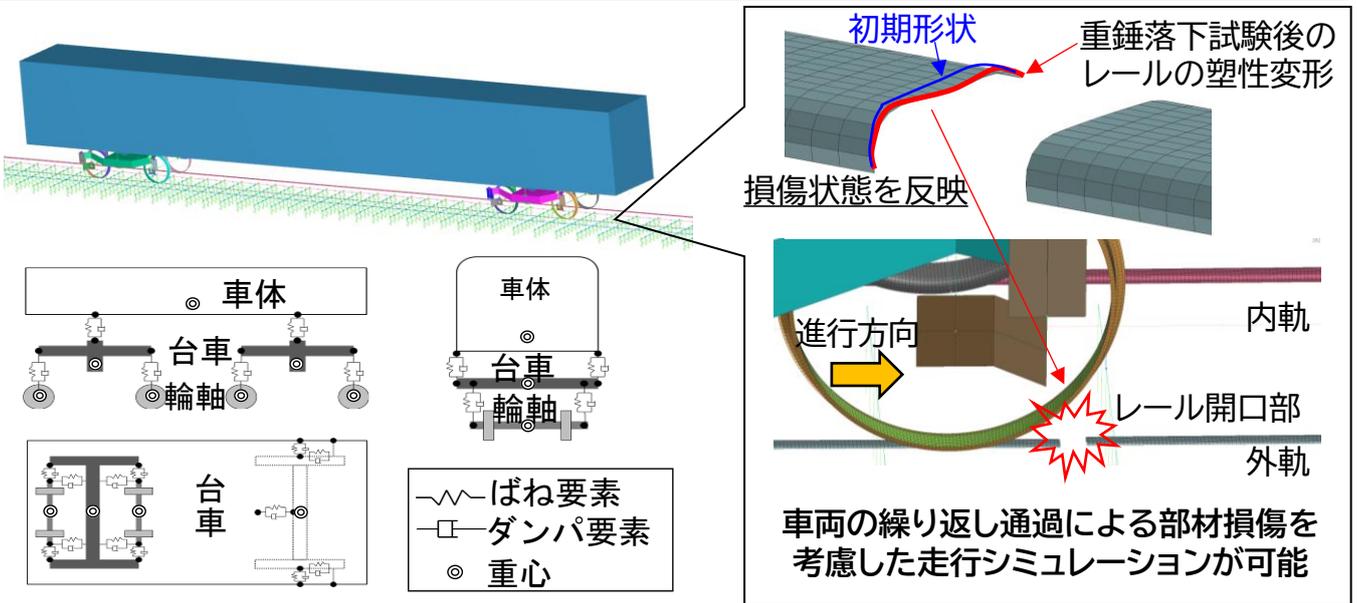
装置諸元



項目	諸元
駆動源	インバーターモーター
駆動システム	カム方式
運転方式	手動/自動
重錘質量	640~1240kg
重錘落下高さ	25~80mm
載荷周期	2.5~12.5秒/回

曲線条件を想定した試験の実施状況例

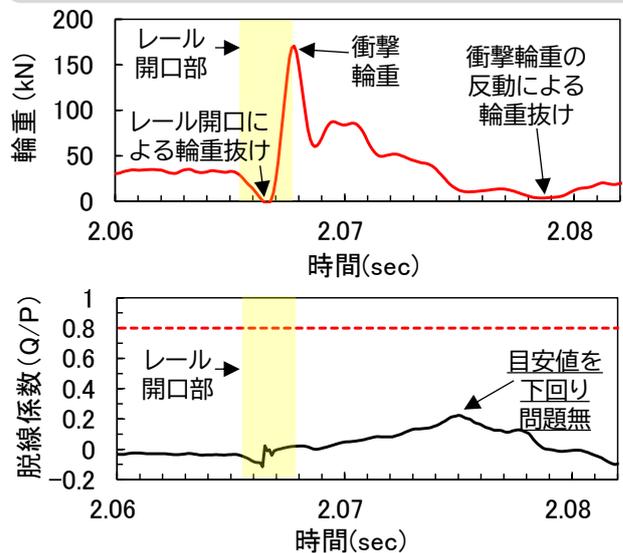
レール開口部の車両走行シミュレーション



重錘落下試験後の軌道部材の損傷状態例



レール開口部の車両走行シミュレーションによる評価例



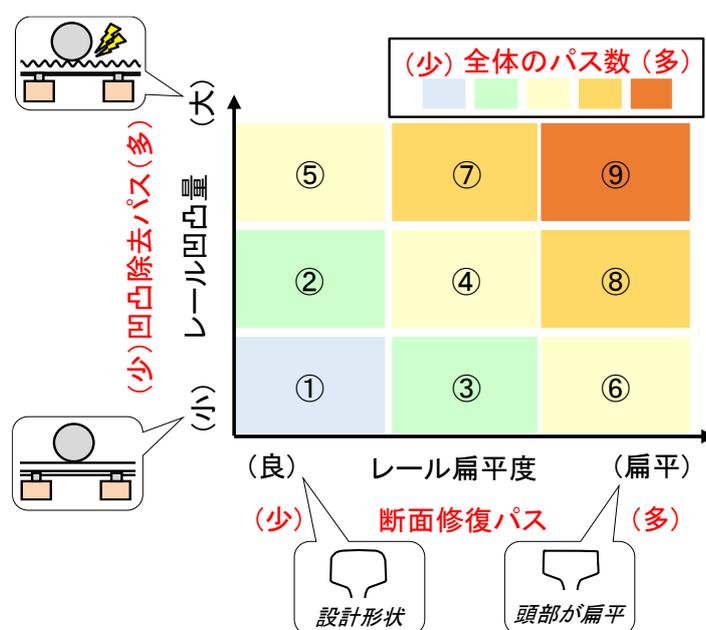
レール削正計画策定支援システム

本システムは、線区条件や保守基地のレイアウト、レール凹凸の状態を反映した軸箱加速度等のデータを基に、効率的なレール削正車の運用計画を作成します。計画作成時に、経年によってレール頭部が摩耗して扁平な断面形状となったレールを削正する場合、金属除去効率が低下するため、削正パス数を多くする必要があります。そこで、レール断面形状とレール波状摩耗の発生状況に応じた削正パスパターンを選定できるよう本システムを改良しました。

特徴

- 各現場のレール削正車の運用上の制約や削正可能日数等を考慮した削正計画を作成できます。
- レール断面の扁平度(以下「レール扁平度」という。)が大きい程、また、レール凹凸量が大きい程、右図のマトリックスのように削正パス数が多い計画が作成されます。
- レール扁平度に関する指標には、軌道検測車等で測定される連続的なレール断面形状データを用います。他にも、累積通トンやレールの敷設年数、曲線半径等から、レール扁平度を推定して用いる方法もあります。

削正パスパターンを決定するマトリックス例



用途

- レール断面形状とレール波状摩耗の発生状況に応じた削正パスパターンを用いた、効率的なレール削正計画を作成できます。
- 計画対象線区で運用されているレール削正車の性能や波状摩耗の発生状況に応じて、マトリックスの要素を自由に設定して削正計画を作成できます。

活用例

鉄道事業者において、レール削正計画策定に活用されています。

レール削正計画策定支援システムの画面例

主操作画面

レール削正計画プログラム

作業Folder

計画条件1

計画期間開始 年月月
計画期間 年月月
削正パスの考慮 なし あり
1日の最大施工数量 一律 ロット別
最大施工数量(一律) なし バネネット/ブロック
ブロック構成ロット数 なし ロット/ブロック
ブロックのロット別設定 なし あり
保守延長期間 3期
予測値ファイル名 なし あり
予測値ファイルの更新 なし あり
デフォルト

計画条件2

計画の評価基準 レール状態最良化 保守量最小化
1日の保守可能ブロック 基地別 基地・線区・線別
考慮するレール状態指標 最大値 標準偏差 加重和
重み(最大値:標準偏差) 0: 1
配線基地のジャンプ なし あり
レール交換後 X年以内削正 なし あり X=1

最適化パラメータ

計画の評価基準を保守量最小化とした場合の目標レール状態の考慮方法 計画期間平均 両方
計画期間末

保守改善算定式の係数(改善率=a×保守制-b×改善指標+b)

最大値 a 0.4
b 0
標準偏差 a 0.3
b 0

計画作成時の安全率
状態変化の割合率(0~1) 0

削正候補箇所の出力結果例

ブロック番号	ロット番号	線区名	線別	キロ程(m)	実保守延長(m)	軸箱加速度標準偏差(無保守終了時)	計画に含まれるロット	ロットの必要バス数	ブロックの必要バス数
15	300	〇〇線	単線	97,000 - 97,100	100	28.71		26	
	301	〇〇線	単線	97,100 - 97,200	100	12.12		18	26
	302	〇〇線	単線	97,200 - 97,300	100	14.98		18	
16	303	〇〇線	単線	97,300 - 97,400	100	11.22	○	18	
	304	〇〇線	単線	97,400 - 97,500	100	21.52	○	26	26
	305	〇〇線	単線	97,500 - 97,600	100	25.32	○	26	
		〇〇線	単線	97,600 - 97,700	100	32.05	○	26	
		〇〇線	単線	97,700 - 97,800	100	36.09	○	26	26
		〇〇線	単線	97,800 - 97,900	100	31.74	○	26	

削正計画の出力結果例

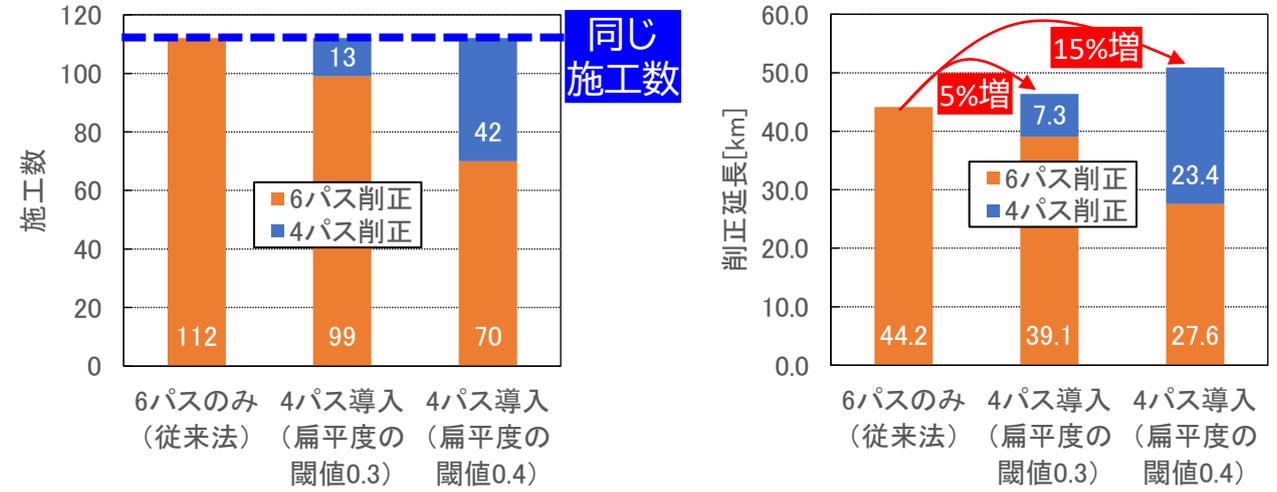
月	期	基地	線区	線別	ブロック番号	キロ程(m)	実保守延長(m/ブロック)	実保守延長(m/期)	ブロック必要バス数	実保守数量(バス・m/ブロック)	実保守数量(バス・m/期)	軸箱加速度標準偏差(無保守終了時)	計画に含まれるロット	ロットの必要バス数	ブロックの必要バス数
10	1	基地G	〇〇線	単線	17	97,600 - 97,900	300	300	26	7,800	7,800	8.48		18	
	2	基地G	〇〇線	単線	16	97,300 - 97,600	300	300	26	7,800	7,800	7.31		18	
12	1	基地A	〇〇線	単線	69	162,500 - 162,800	300	600	26	7,800	15,600	12.32		18	18
			〇〇線	単線	70	162,800 - 163,100	300	26	26	7,800	100	8.27		18	
	2	基地B	〇〇線	単線	61	157,700 - 158,000	300	600	26	7,800	15,600			18	
			〇〇線	単線	63	158,400 - 158,700	300	26	26	7,800	100			18	
	3	基地C	〇〇線	単線	95	175,200 - 175,700	500	800	18	9,000	16,800			18	
			〇〇線	単線	97	176,200 - 176,500	300	26	26	7,800	100			18	
1	1	基地A	〇〇線	単線	79	167,300 - 167,600	300	700	26	7,800	15,000			18	
			〇〇線	単線	82	168,400 - 168,800	400	18	18	7,200	100			18	
	2	基地D	〇〇線	単線	35	131,500 - 132,000	500	1,000	18	9,000	18,000			18	
〇〇線	単線		37	132,400 - 132,900	500	18	18	9,000	100			18			
2	3	基地E	〇〇線	単線	50	150,600 - 151,100	500	500	18	9,000	9,000			18	
2	1	基地C	〇〇線	単線	96	175,700 - 176,200	500	500	18	9,000	9,000			18	
	〇〇線		単線	114	192,800 - 193,300	500	500	18	9,000	9,000			18		
	2	基地F	〇〇線	単線	115	193,500 - 194,000	500	500	18	9,000	9,000			18	

レール断面形状に応じて出力

レール断面形状に応じた削正バス数を選定できます。

レール断面形状の考慮の有無による年間の削正計画延長の試算例

扁平でないレールにおいては4パス施工で十分な削正量を得られることを確認



4パス導入により一か所あたりの削正延長が長くなり、同じ施工数で削正延長を増加させることができます。

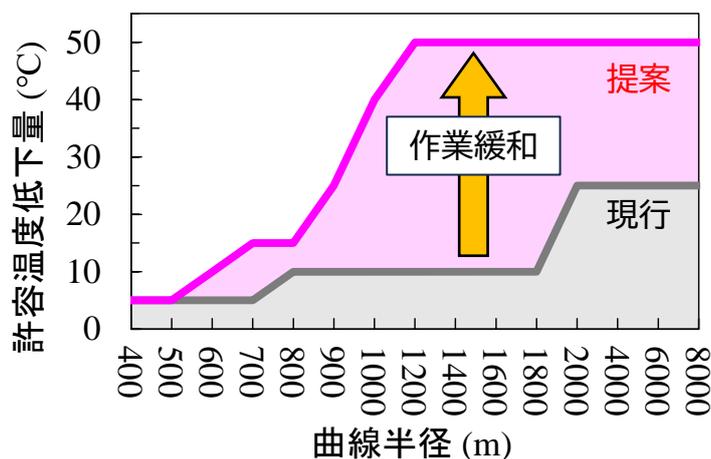
低温時のロングレール保守作業制限

従来より、多くの鉄道事業者では、在来線のロングレール区間において冬季低温時の保守作業を制限しています。ただし、現行の作業制限は、過去の経験から決められたものも多く、必ずしも力学的な裏付けがありません。また、作業の機械化や保守計画の効率化が進む近年の状況を十分に想定しておらず、作業の効率化の妨げとなっています。そこで、冬季の保守作業が軌道に及ぼす影響を把握した上で、力学的な根拠に基づく新しい保守作業制限を提案しました。

特徴

- 低温時の保守作業に伴い発生するレール軸力の変化や曲線内方へのレール変位を評価できます。
- 保守作業の施工延長と曲線半径ごとに整理した作業制限図を用いて、作業を許容できる設定温度からの温度低下量(許容温度低下量)を把握できます。
- 作業制限図を適用する際の評価フローに従い、低温時の保守作業の実施可否を判断できます。
- 現行の作業制限と比較して、施工延長や温度条件を一部緩和した作業が可能となります。
- 本作業制限は、道床交換など、道床による軌きょうの支持がなくなる作業を対象としています。
- 施工計画を入力することで、作業の実施可否を自動判定するExcelツールを作成しました。

作業制限の緩和の一例
(施工延長 5m~10mの例)



用途

冬季のロングレールの保守作業を一部緩和し、作業の平準化に寄与します。

活用例

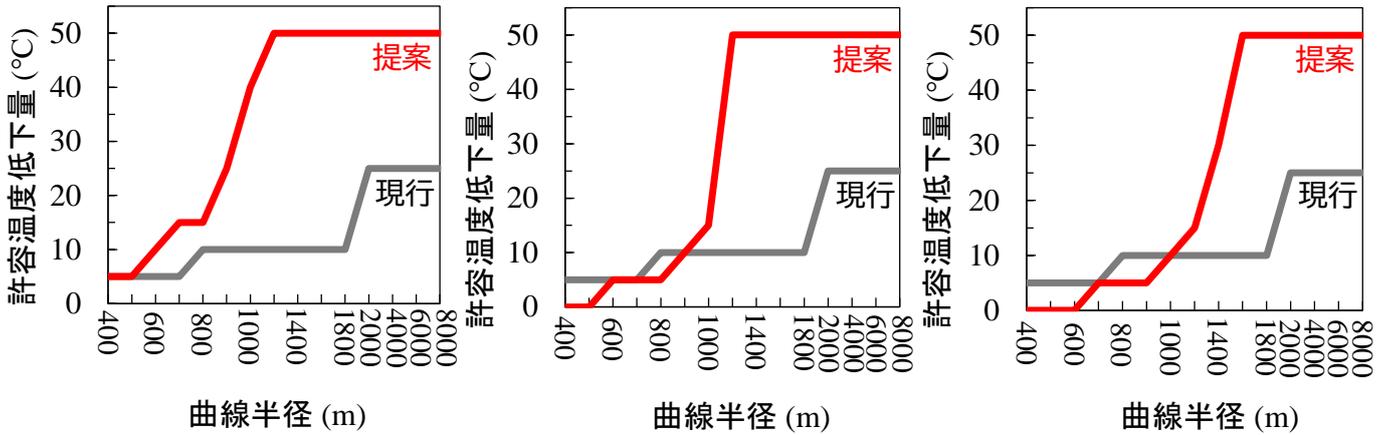
鉄道事業者において、冬季のロングレールの保守作業計画の策定に活用されています。

作業制限図(一部抜粋)

施工延長5m~10m

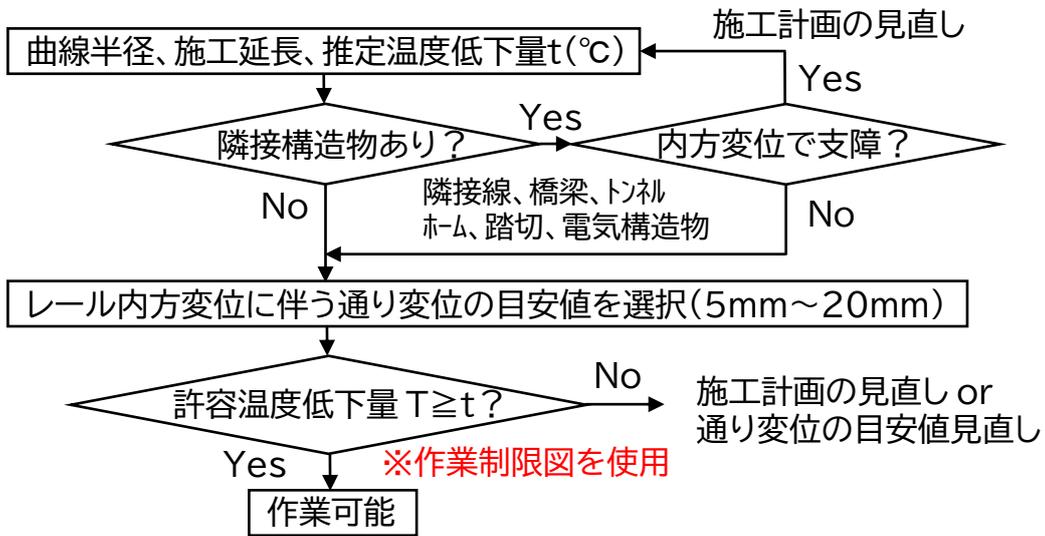
施工延長10m~15m

施工延長15m~20m



作業制限図は、低温時作業に伴うレール軸力の変化とレール変位に制限値を設定して作成します。上図は、制限値の目安として、レール軸力の変化量の温度換算値が3.5℃以下、レール内方変位が50mm以下、10m弦通り変位が10mm以下で作成した場合の例となります。

作業可否の評価フロー



自動判定Excelツール

① 施工現場の曲線半径 (m)	② 施工延長 (m/日)	③ 温度低下量 (°C)	④ 隣接構造物の有無 (プルダウンで選択)	⑤ 隣接構造物との許容距離 (mm)	⑥ 許容する換算付加温度 (°C)	⑦ 許容する最大レール内方変位 (mm)	⑧ 許容するレール内方変位に伴う10m弦通り変位 (mm)	⑨ 施工作業の可否判定結果
800	13.5	15	有	30	3.5	50	10	×

施工計画の入力

制限値の入力

判定結果

判定/図表作成

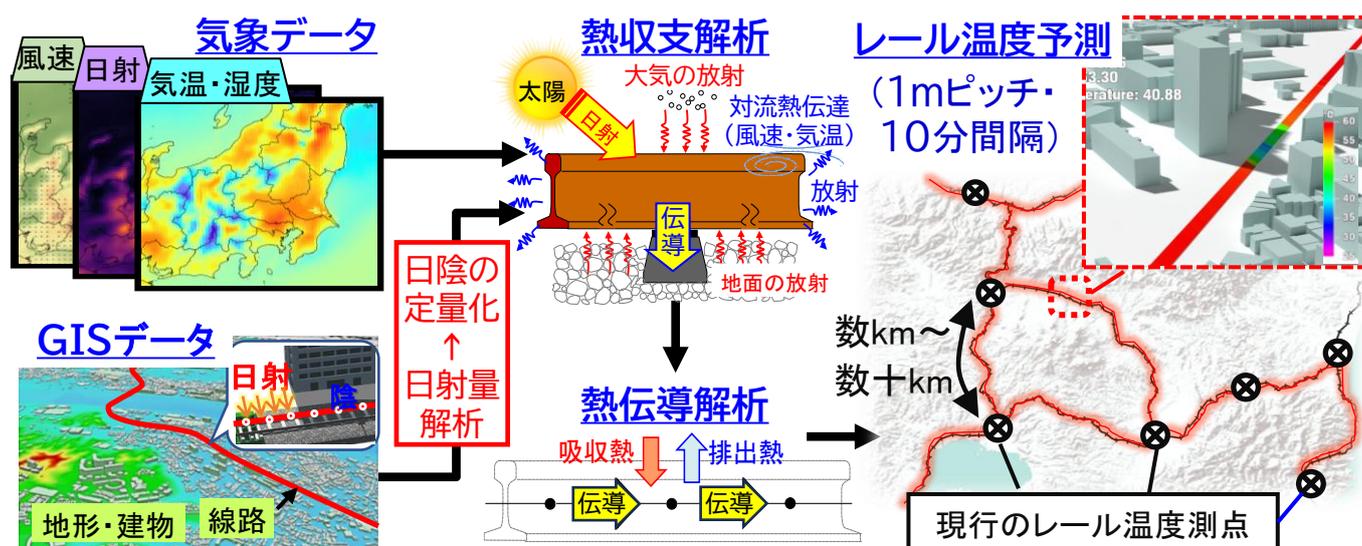
気象データを用いた レール温度予測プログラム

気象データ(日射量、気温・湿度、風速)とGISデータを用いたレールの熱解析から、気象条件に対応するレール温度分布を1mピッチ、10分間隔で求めます。

特 徴

- 地形、建物、樹木等の日陰、日射を受ける角度を考慮し、日射を詳細かつ定量的にモデル化します。
- 操作はExcelシートで行えます。
- 気象庁や国土地理院の配信データ、その他外部の汎用データから解析します。

気象データを用いたレール温度予測プログラム



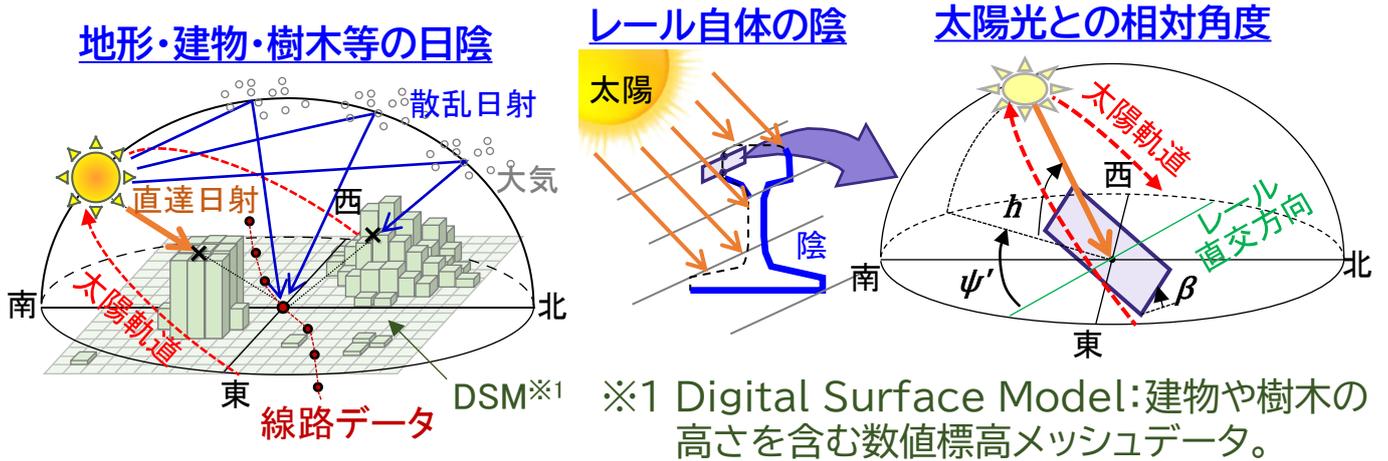
用 途

- 気象予報値を用いて当日のレール温度を朝の段階で予測し、夏季特別巡回の支援等に利用します。
- 過去の気象データから、著大通り変位等の事象発生箇所の当日のレール温度を推定します。

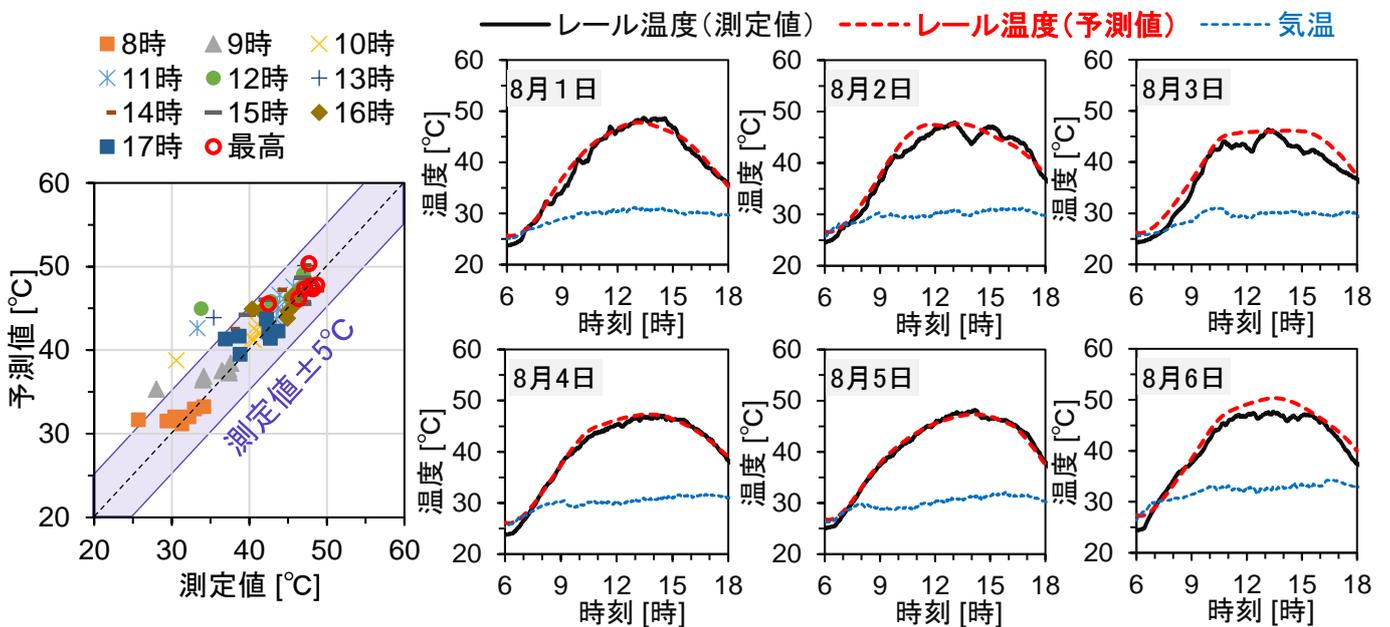
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、著大通り変位の原因調査等を実施しています。

GISデータを用いた日射量のモデル化手法

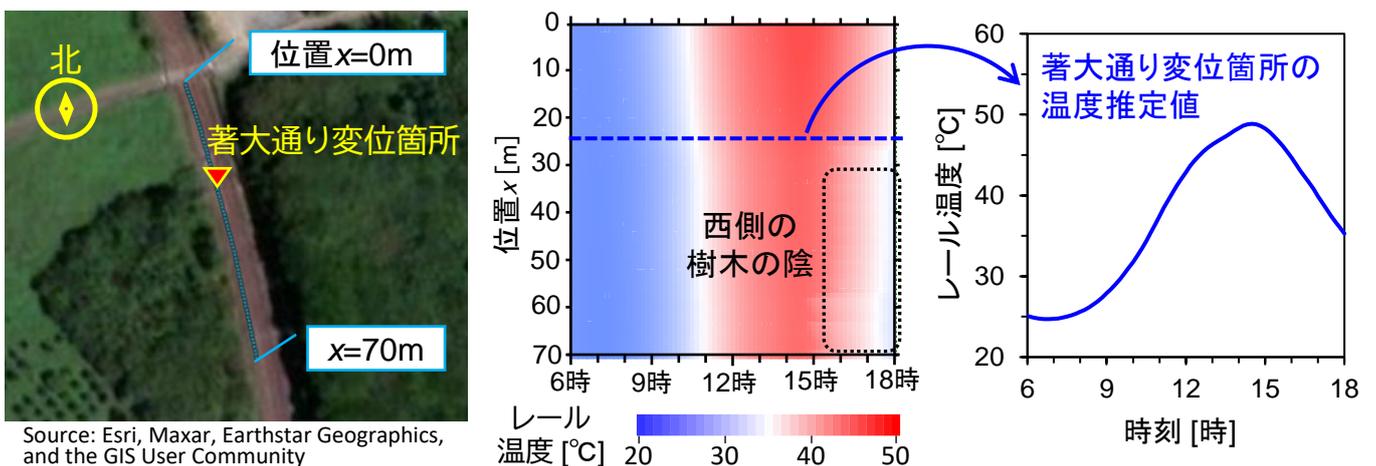


気象庁メソ数値予報モデルGPV※2(8時頃配信)を用いた当日のレール温度予測



※2 メソ数値予報モデルGPV (MSM; Meso-Scale Model)とは、日本全国を5kmメッシュでカバーする、39時間後までの気象予報です。

著大通り変位箇所の当日のレール温度推定例



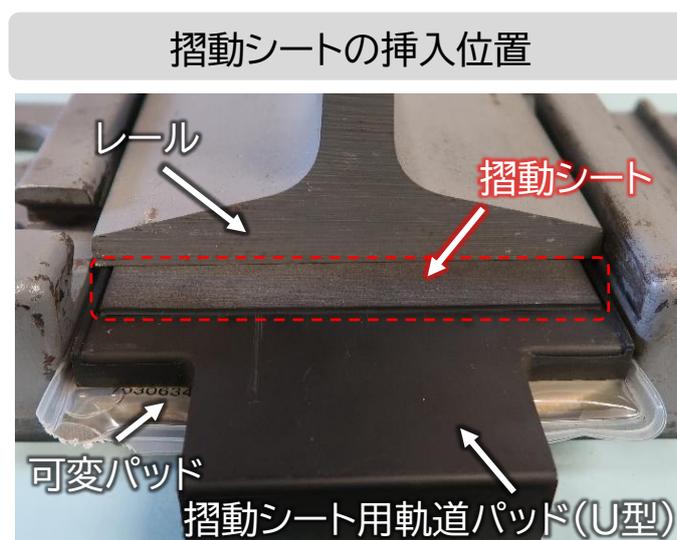
Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

摺動シートを用いた 軌道パッドの抜け出し防止対策工

ロングレールを使用した直結系軌道のレール締結装置では、振動や衝撃の緩和のため、レール下に緩衝用軌道パッドと高さ調整パッキン(可変パッド)が設置されていますが、レールのふく進量が大きい箇所では軌道パッドの位置ずれや抜け出しが発生する場合があります。開発した摺動シートをレールと軌道パッドの間に挿入することで、レールがふく進する際に摺動シートと軌道パッドの間の過度な摩擦力を抑制し、軌道パッドの抜け出し等を抑制できます。

特 徴

- 摺動シートの上面はレールと密着しやすいスチレンブタジエンゴム(SBR)層、下面は滑動しやすい特殊ポリエチレン(UHMWPE)層から成る2層構造です。
- レールがふく進する際に、レールと一体となって摺動シートが移動することで、摺動シートと軌道パッドの間で滑動し、軌道パッドの移動を抑制します。
- 摺動シートは単独でも使用可能ですが、専用の軌道パッドを併用することで、通常の軌道パッドと同じ挿入厚になるため、レール高さ調整量が減少しません。



用 途

- 伸縮継目近傍、トンネルの坑口付近や橋梁の端部付近など、レールのふく進量が大きい箇所での軌道パッドの位置ずれや抜け出しを防止します。
- 軌道パッドの位置ずれや抜け出しに伴う可変パッドの打ち替えなどの作業が不要となり、維持管理コストの低減が期待できます。

活用例

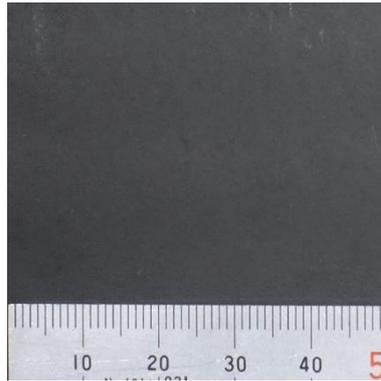
鉄道事業者において、軌道パッドの抜け出し防止対策として活用されています。

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)。

材料技術研究部(防振材料)
軌道技術研究部(軌道構造)

レールふく進による軌道パッドの表面状態の変化

摺動シート未使用で長期敷設された軌道パッドの表面では、レールのふく進による滑材表面の摩耗に伴って摩擦が増加し、レールと軌道パッドが一体で移動するようになります。

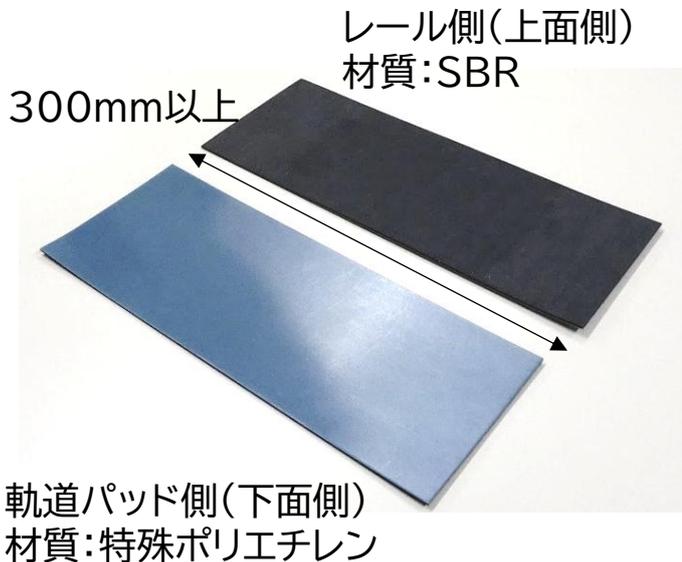


未使用品

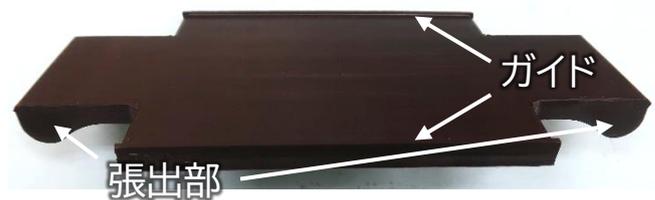


長期敷設品

摺動シートの外観



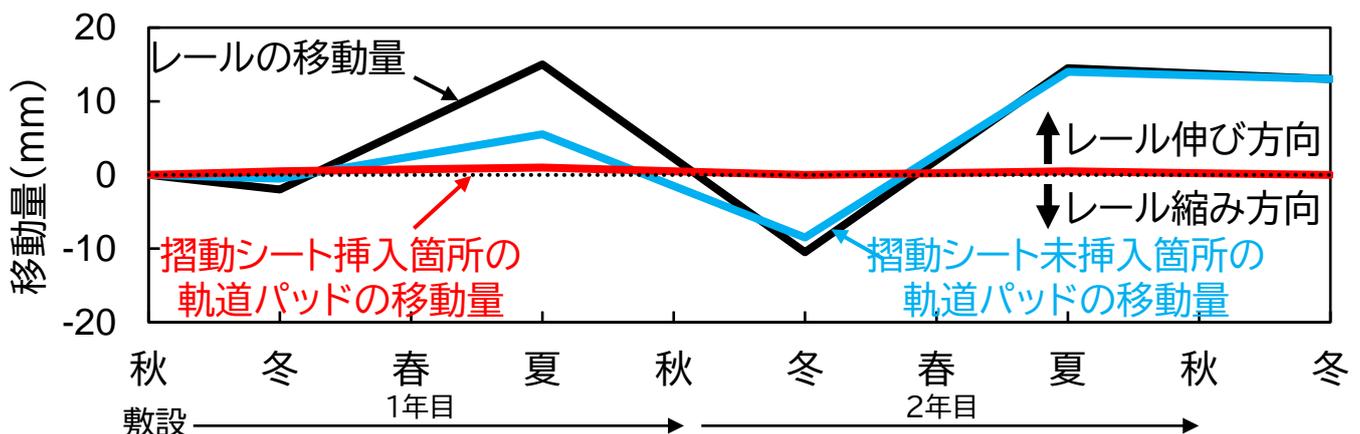
摺動シート用軌道パッド(P型)



レール方向両端の張出部の高さがU型より7mm低く、敷設作業時のレールこう上量を低減できます。また、両側にガイドを設けることで、敷設時の摺動シート的位置合わせを容易にし、施工性が向上します。

摺動シートの効果

近接する区間で摺動シートを挿入箇所と未挿入箇所の軌道パッドの位置ずれ(移動量)を追跡調査した結果、摺動シートを挿入した箇所の軌道パッドはレールの移動に係わらずほとんど移動していないことが確認できました。



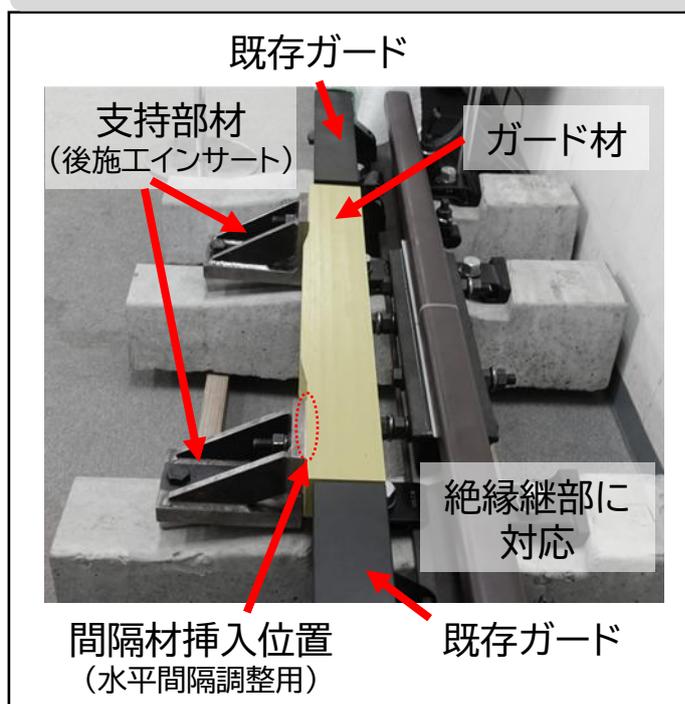
絶縁継目部に対応した脱線防止ガード

レール絶縁継目部付近で脱線防止ガードが不連続になっている箇所においては、脱線防止効果が低下する可能性があります。その対策として、バラスト軌道のレール絶縁継目部付近に後施工可能な脱線防止ガードを開発しました。

特徴

- 既存のPCまくらぎに埋め込みインサートを後施工して取り付けるため、国内で流通している大部分のPCまくらぎに対応できます。
- ガード材は合成まくらぎ等に用いられるガラス長繊維補強発泡ウレタン樹脂製であり電気絶縁性に優れています。
- 優れた電気絶縁性により、鋼製の脱線防止ガードの設置が困難であった箇所に適用可能です。
- 車輪接触面には、ガラス長繊維補強発泡ウレタン樹脂の切削粉を固結させた圧縮強度が高い板材を貼り付け、静的載荷試験により局所的な食い込みが発生せず、強度に問題がないことを確認しています。
- レールとの水平間隔は間隔材により調整することが可能です。

開発構造の外観



用途

急曲線や橋りょうのレール絶縁継目部付近における脱線防止対策の強化に活用できます。

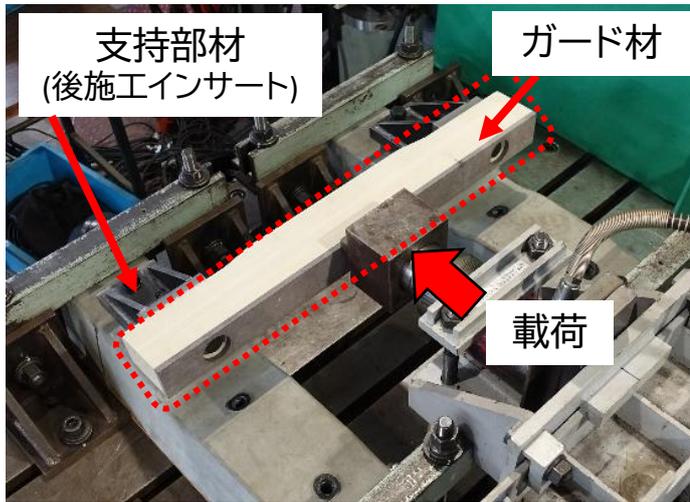
活用例

鉄道事業者において、急曲線区間のレール絶縁継目部の脱線防止対策として活用されています。

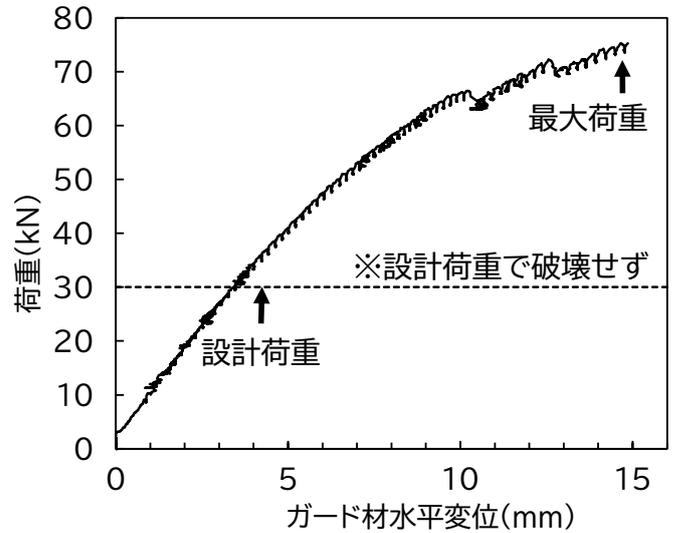
特許第6976231号

載荷試験による強度評価

載荷試験により、必要強度を満たしている他、車輪接触面の食い込みが発生しないことを確認しています。



静的載荷試験状況

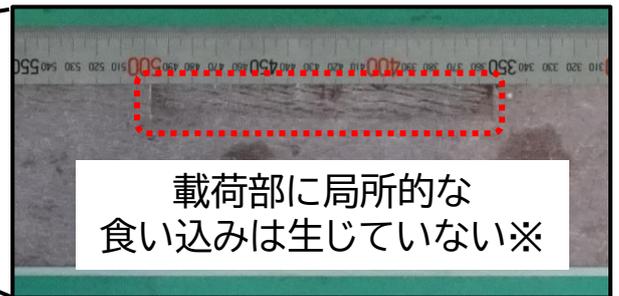


静的載荷試験の荷重・変位関係



表面はガラス長繊維補強発泡
ウレタン樹脂の切削粉を固結させた
圧縮強度が高い板材(灰色部分)

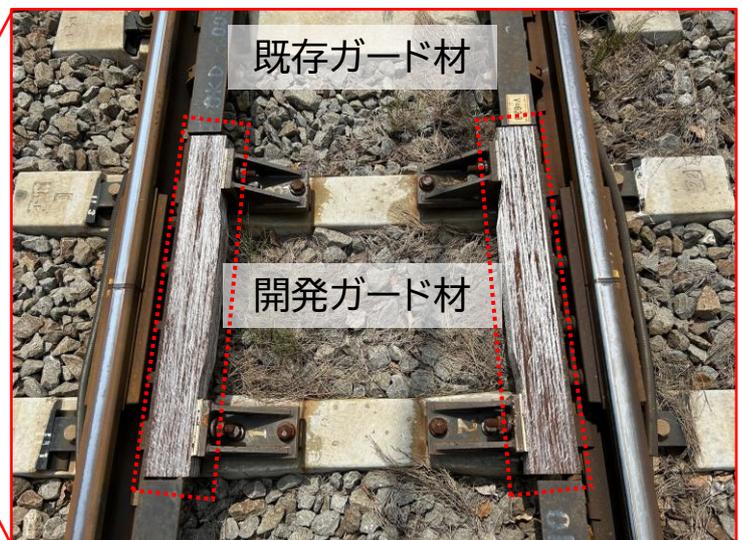
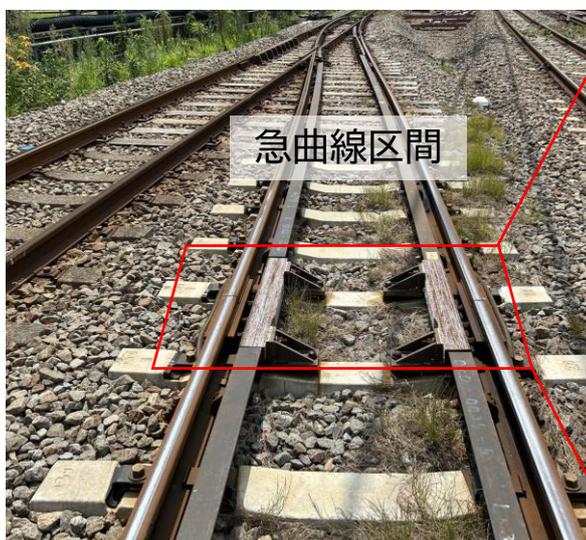
載荷後のガード材(載荷面側)



※車輪接触領域を
10mm×100mmと想定

鉄道事業者における敷設事例

急曲線区間の脱線防止対策を強化するため、レール絶縁継目部付近に鋼製ガードの代わりに敷設されています。



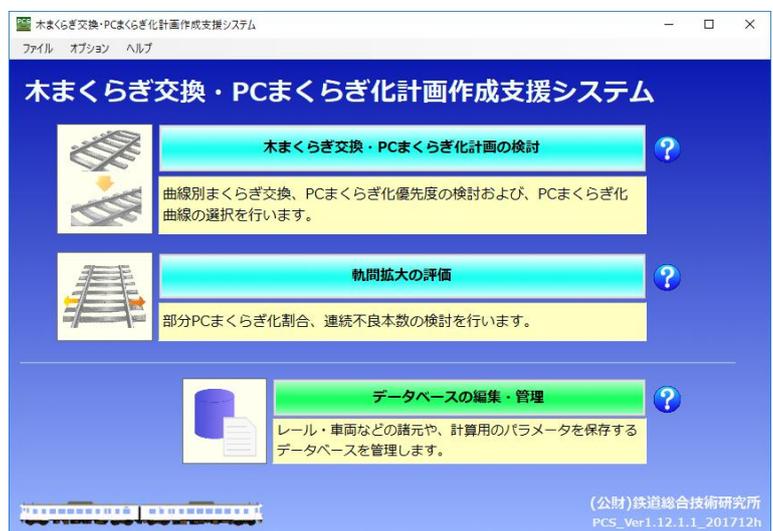
PCまくらぎ化計画システム

木まくらぎ構造の軌道では、まくらぎの腐朽等によりレール締結状態が悪化すると、軌間内脱線に対する安全性が低下すると考えられます。この対策として、PCまくらぎへの交換が推奨されています。そこで、各曲線の軌道条件、車両・運転条件を考慮して、PCまくらぎ化の優先度を評価し、施工計画の策定を支援するPCまくらぎ化計画システムを開発しました。

特徴

- 本システムは、主に下級線区や地域鉄道、側線におけるまくらぎの保守・管理の効率化を実現するために開発しました。
- 曲線別にPCまくらぎ化の優先度を算出できるため、限られた予算を有効に活用して、効率的かつ安全性向上効果の高いPCまくらぎ化計画やまくらぎ交換計画が作成できます。
- まくらぎ連続不良本数ごとの軌間拡大量が算定できるため、部分PCまくらぎ化時のPCまくらぎ敷設割合や、許容されるまくらぎ連続不良本数の検討にも活用できます。

PCまくらぎ化計画システム



用途

- 効率的なPCまくらぎ化計画やまくらぎ交換計画が作成できます。
- 部分PCまくらぎ化時の敷設割合や、まくらぎ連続不良本数の許容値の検討に活用することができます。

活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、本ツールを用いた技術支援を実施しています。

本技術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。

軌道技術研究部(軌道管理)

PCまくらぎ化計画システム 評価・選定、算定結果画面

優先度評価・曲線選定画面 優先度の検討

優先度検討結果 (概要)

※ランク判定 A: 評価値90以上 B: 25-90%以内 C: 25-50% D: 50-75% E: 75%-100%
 ※右下で示された値や記号は、「対象車種」として示された車種以外の車種による計算結果です。

曲線条件数: 17 5/5 検討対象: 17

曲線番号	線区-線別 キロ程(延長)	曲線 諸元	軌道構造	ランク 判定	総合点	対象車種	種別結果					種別PC化 割合(%)			
							軌間拡大 に関する検討	軌間拡大 に関する検討	大径の押上げ に関する検討	大径の押上げ に関する検討	応答係/保 平均値				
1	総延長: 300 3.59-3.45(18)	300 C40-S5	40kg-R300-37-4-4200-土 通軌軌0-平	A	16.50	EF210	○	○	○	18	○	15	○	15	0.218
2	総延長: 500 1.32-1.41(9)	500 C40-S5	40kg-R300-37-3-3200-土 通軌軌0-平	B	10.50	EF210	○	○	○	10	○	13	○	9	0.451
3	総延長: 400 2.49-2.55(6)	400 C40-S5	40kg-R300-37-4-4200-土 通軌軌0-平	B	11.25	EF210	○	○	○	14	○	11	○	9	0.418
4	総延長: 300 3.5-3.45(15)	300 C30-S0	40kg-R300-37-3-3200-土 通軌軌0-平	B	4.00	EF210	○	○	○	4	○	○	○	○	○
5	総延長: 400 4.42-4.51(10)	400 C40-S5	40kg-R300-37-4-4200-土 通軌軌0-平	B	11.25	EF210	○	○	○	11	○	○	○	○	○
6	総延長: 300 5.23-5.47(24)	300 C40-S5	40kg-R300-37-4-4200-土 通軌軌0-平	A	16.50	EF210	○	○	○	16	○	○	○	○	○
7	総延長: 300 5.59-5.54(5)	300 C40-S5	40kg-R300-37-3-3200-土 通軌軌0-平	B	8.25	EF210	○	○	○	8	○	○	○	○	○
8	総延長: 300 6.69-6.68(2)	300 C40-S5	40kg-R300-37-3-3200-土 通軌軌0-平	B	10.50	EF210	○	○	○	9	○	○	○	○	○
9	総延長: 400 7.25-7.45(20)	400 C40-S5	40kg-R300-37-4-4200-土 通軌軌0-平	B	12.25	EF210	○	○	○	12	○	○	○	○	○
10	総延長: 1000 8.23-8.56(11)	1000 C40-S5	40kg-R300-37-3-3200-土 通軌軌0-平	B	1.75	EF210	○	○	○	2	○	○	○	○	○

PCまくらぎ化曲線の選択画面

PCまくらぎ化曲線の選択

検討対象 曲線数 17 延長(km) 5.570

選択条件
 交換数の上限(両方選択可)
 総交換延長 PC 2 km
 総交換費用 1000000 百万円

費用・工事費・材料費

曲線	延長(km)	総費用	工事費	材料費
PC	12	1,950	¥81,110,000	¥38,960,000
鉄	0	0.000	¥0	¥0
計	12	1,950	¥81,110,000	¥38,960,000

改善費用(円)

曲線	延長(km)	改善費用	工事費	材料費
PC	12	1,950	¥81,110,000	¥42,130,000
鉄	0	0.000	¥0	¥0
計	12	1,950	¥81,110,000	¥42,130,000

ランク別選択結果

ランク	全対	選択	選択延長
A	4	4	0.82
B	13	9	1.13
C	0	0	0
D	0	0	0
E	0	0	0
全	17	12	1.95

曲線延長・
 応答係/層厚値のプロット

連続不良本数ごとの軌間拡大量計算画面

軌間 1067 mm 落下記項目を入力する際にはチェックしてください 軌間単位

車輦-運転条件

車輦型式	速度(km/h)
キハ920	70

軌間拡大量(mm)

連続不良本数	左右位置 内軌	左右位置 外軌	計	軌間公差値 (mm)	軌間限度値 (mm)	判定
0	0.51	6.18	6.68	1077.9	1110	○
1	0.78	14.88	15.66	1086.9	1110	○
2	1.63	22.81	24.24	1095.4	1110	○
3	3.21	33.52	36.73	1107.9	1110	△
4	6.45	53.67	60.32	1131.5	1110	X
5	8.42	60.01	68.42	1139.6	1110	X

【計算例】
 連続3本不良で軌間拡大量の
 目安値を超過
 →連続2本不良まで許容
 →1/3本以上の部分PC化が可能

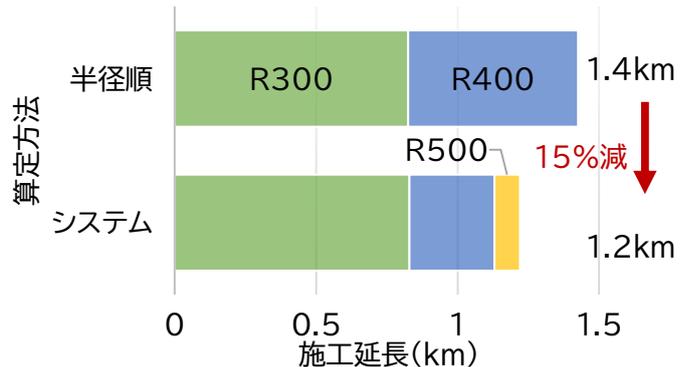
WEB版システムの開発

様々なコンピュータの使用環境でも使用できるよう、デスクトップ型システムを基盤として、WEB型のシステムも開発しました。



PCまくらぎ化計画システム 導入効果

半径の小さな曲線順にPCまくらぎ化する場合と比較すると、システムを用いたほうが、15%短い延長で同等の安全性向上効果を得られる計画が作成できました。



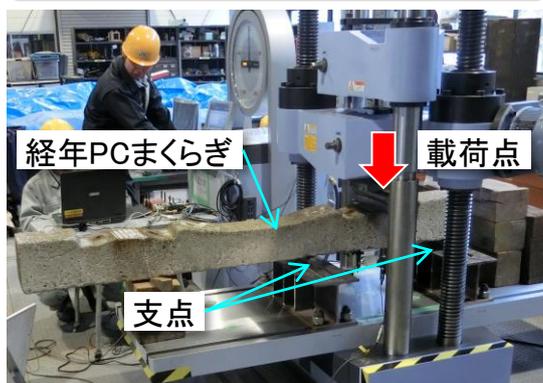
敷設環境に応じた PCまくらぎの維持管理法

PCまくらぎの維持管理は、外観目視検査により表面状態を確認し、交換の要否を判定しています。近年、設計上の耐用年数である50年を超えるPCまくらぎが増えており、これまで以上に工学的な根拠に基づく計画的な維持管理が求められています。そこで、PCまくらぎの健全性を定量的に評価する手法を提案するとともに、敷設環境に応じた維持管理法を提案しました。

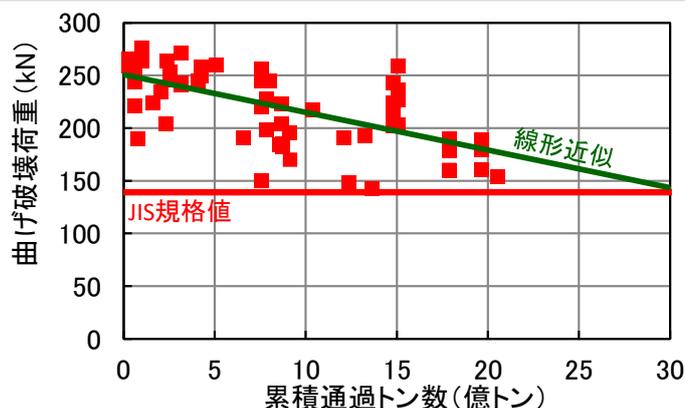
特 徴

- 経年PCまくらぎの累積通過トン数を指標とした、PCまくらぎの交換基準の目安により、PCまくらぎの交換計画策定等に活用可能です。
- 敷設環境(一般環境、凍害環境、塩害環境等)に応じた維持管理フローにより、PCまくらぎの敷設環境に応じた維持管理計画策定等に活用可能です。
- 凍害環境下においては、PCまくらぎの凍害によるスケーリング(剥離、剥落を伴うコンクリート部分の劣化)発生面積やPCまくらぎの固有振動数を指標として、PCまくらぎの健全度判定を行うことが可能です。

曲げ試験(JIS E1201)



一般環境のPCまくらぎの曲げ破壊荷重の例



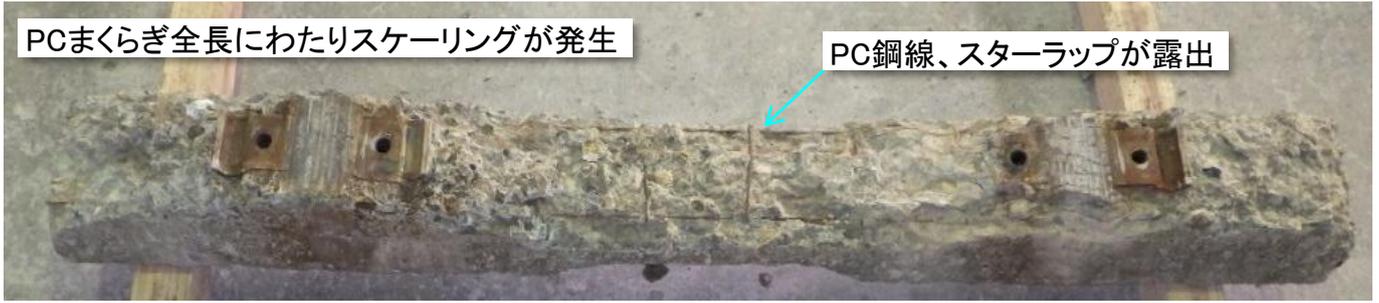
用 途

- PCまくらぎの交換や維持管理の計画の策定等に活用できます。
- PCまくらぎの健全度や交換要否の判定等に活用できます。

活用例

鉄道事業者において、PCまくらぎの交換計画策定等に活用されています。

凍害によるスケーリングの発生状況の例



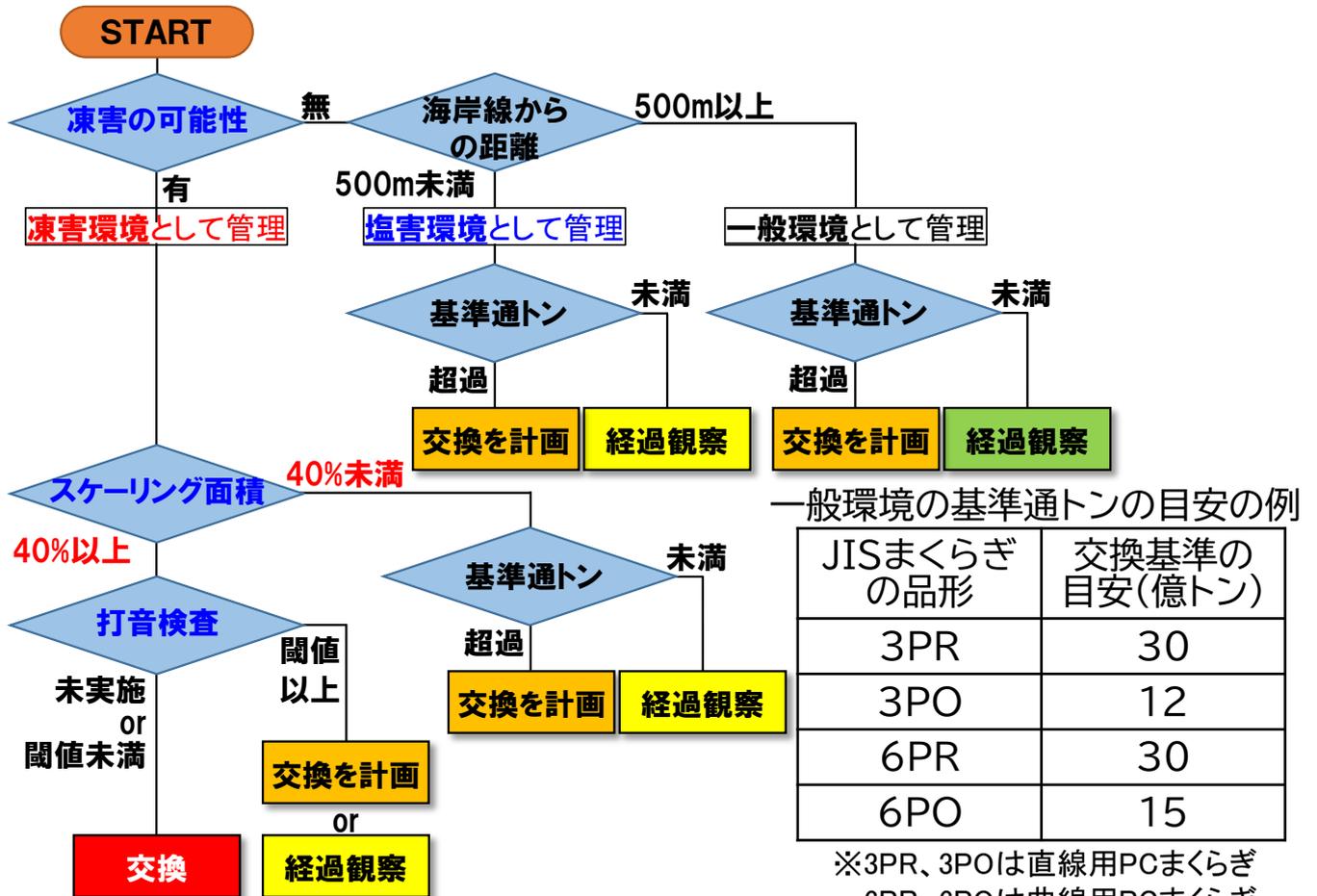
PCまくらぎ端部の錆汁の例



打音によるPCまくらぎ健全度判定手法



PCまくらぎの維持管理フローと交換基準(累積通過トン数)の目安の例



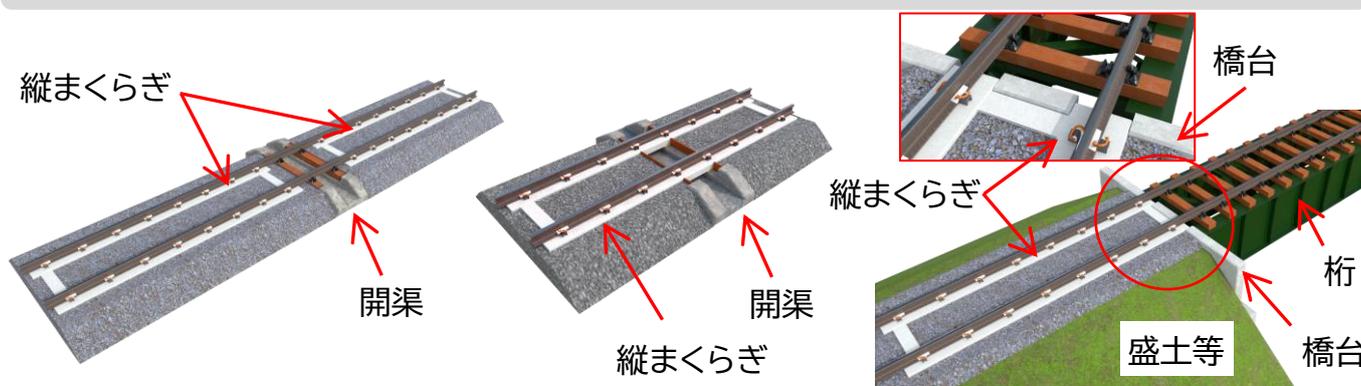
縦まくらぎによる 構造物境界部の軌道変位抑制対策

線路を横断する開渠部や土構造から桁への乗移り部などの構造物境界部は、軌道の支持状態が急激に変わるので、一般部に比べて保守頻度が多くなる傾向にあります。縦まくらぎは、バラスト軌道の保守省力化に有効な手段ですが、構造物境界部への適用事例がほとんどなく、その効果は未検証でした。そこで本研究では、構造物境界部における縦まくらぎの敷設方法を提案するとともに、縦まくらぎの高低変位抑制効果を営業線において実証しました。

特徴

- 縦まくらぎの敷設方法を3種類提案しました。これにより、新設線のみならず、既設線においても現場の実態に合わせた敷設を行うことができます。
- 具体的には、開渠や桁の手前の土構造に縦まくらぎを敷設する方法(方法①)、開渠を跨いで縦まくらぎを敷設する方法(方法②)、縦まくらぎの端部を橋台に載せて敷設する方法(方法③)があります。

構造物境界部における縦まくらぎの敷設方法の例



方法①:開渠の手前に敷設 方法②:開渠を跨いで敷設 方法③:縦まくらぎ端部を橋台に載せて敷設

用途

線路を横断する開渠部や土構造から桁への乗移り部などの構造物境界部における、軌道変位抑制対策として活用します。

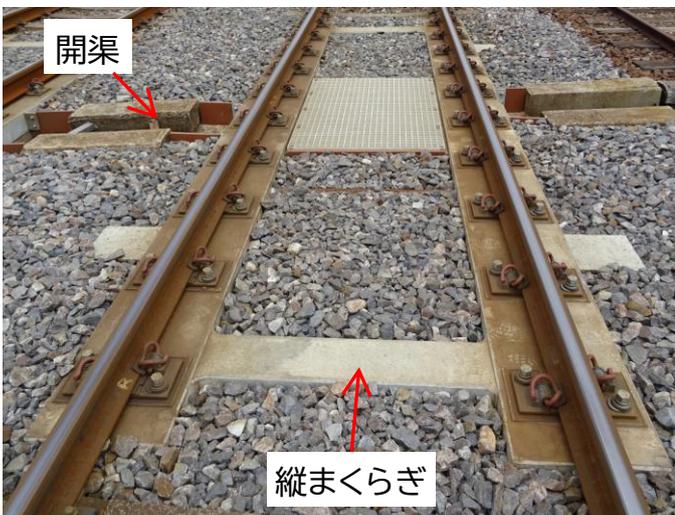
活用例

鉄道事業者において、構造物境界部の軌道変位の抑制対策として活用されています。

橋台手前の盛土上に縦まくらぎを敷設した事例(方法①)



開渠を跨いで縦まくらぎの敷設した事例(方法②)



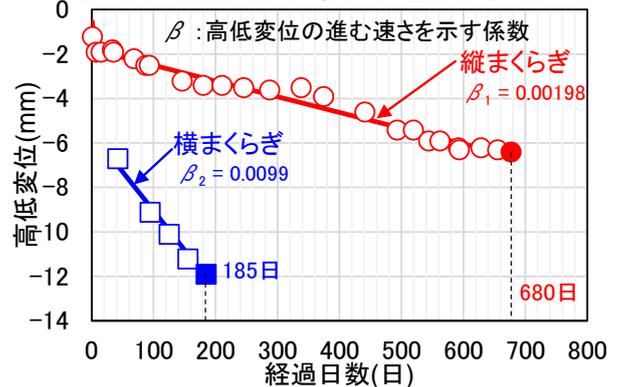
縦まくらぎによる高低変位抑制効果の実証例(方法①)



方法①により縦まくらぎを営業線に敷設し、高低変位を測定しました。

その結果、縦まくらぎは横まくらぎに比べて高低変位の進む速さが1/5程度に減少し、これまで横まくらぎで年3~4回軌道整備が必要であったところ、22か月間軌道整備が不要な状態(軌道整備を2年で6回省略)を保ちました。

※縦まくらぎ: バラスト交換後軌道整備を4回実施
横まくらぎ: バラスト交換後軌道整備を6回実施



まくらぎ直結軌道用 伸縮継目の弾性支持構造

まくらぎ直結伸縮継目は、新幹線のスラブ軌道区間におけるロングレール端で使用されており、まくらぎをコンクリート道床で直接支持する構造となっています。伸縮継目は温度変化に伴うレールの伸縮を吸収するもので、基本的な構造はまくらぎ直結軌道用とバラスト軌道用のもので同様です。

まくらぎ直結軌道は剛に支持されているため、車輪の乗り移り等による衝撃が低減されにくいものと考えられます。また、前後のスラブ軌道では低弾性のレール締結装置が採用されていることから、軌道支持ばねの急変により衝撃荷重が生じることがあります。これらの衝撃荷重を低減するため、まくらぎ直結伸縮継目に適用できる弾性支持構造を開発しました。

特 徴

- 弾性材を床板下に配置し、板ばねで締結した2重弾性締結方式です。
- 前後のスラブ軌道(30MN/mの軌道パッドを使用した直結8形レール締結装置)と同等の軌道支持ばねを実現しました。
- 現行品と同等の上下・左右方向の調整機能を有しています。
- 床板から上部は現行品と同じです。

用 途

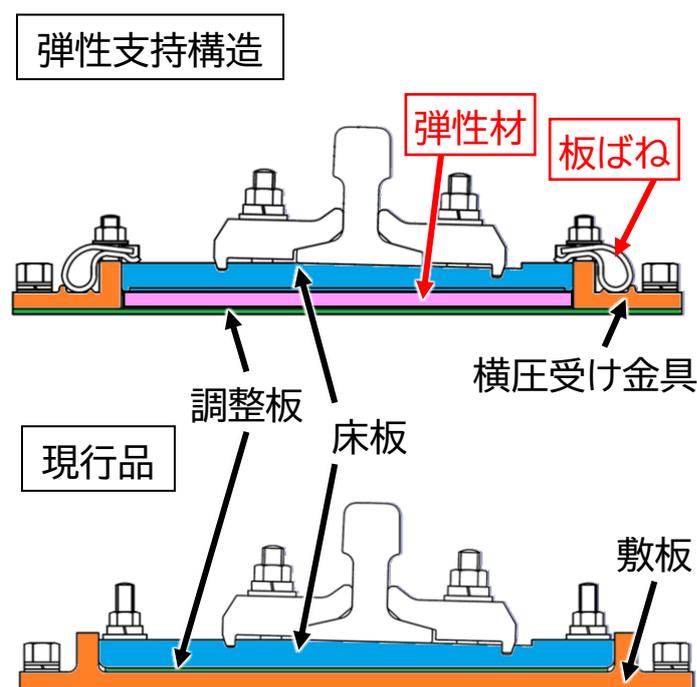
- 軌道支持ばねの急変および車輪の乗り移り等による衝撃荷重を低減できます。
- 現行品からの置き換えが可能です。

活用例

整備新幹線の一部区間で活用されています。

特許第6908562号

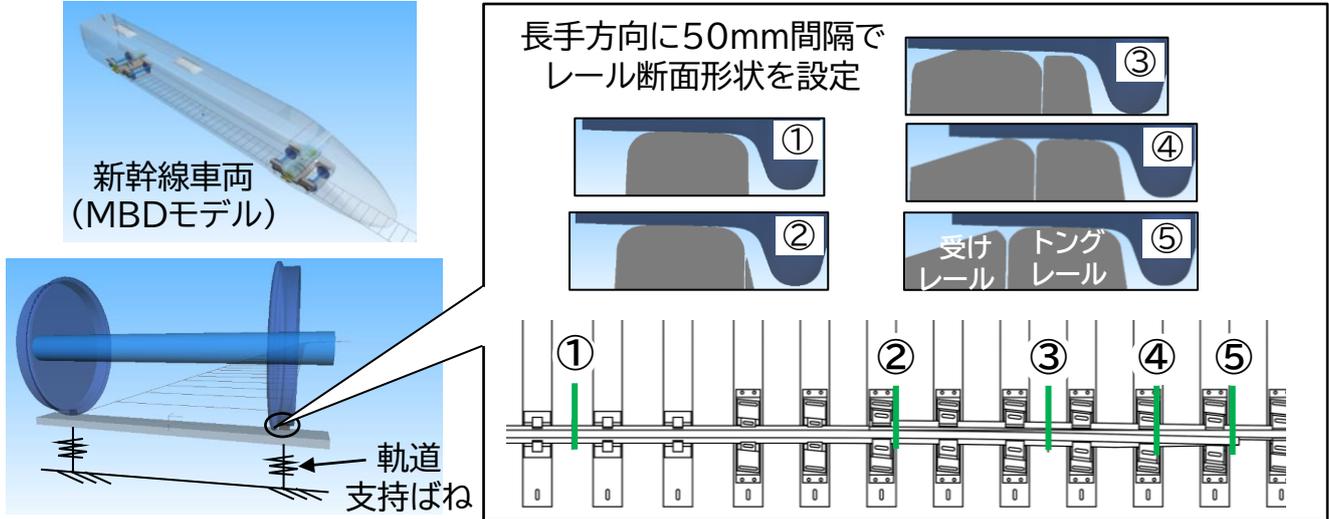
弾性支持構造と現行品の比較



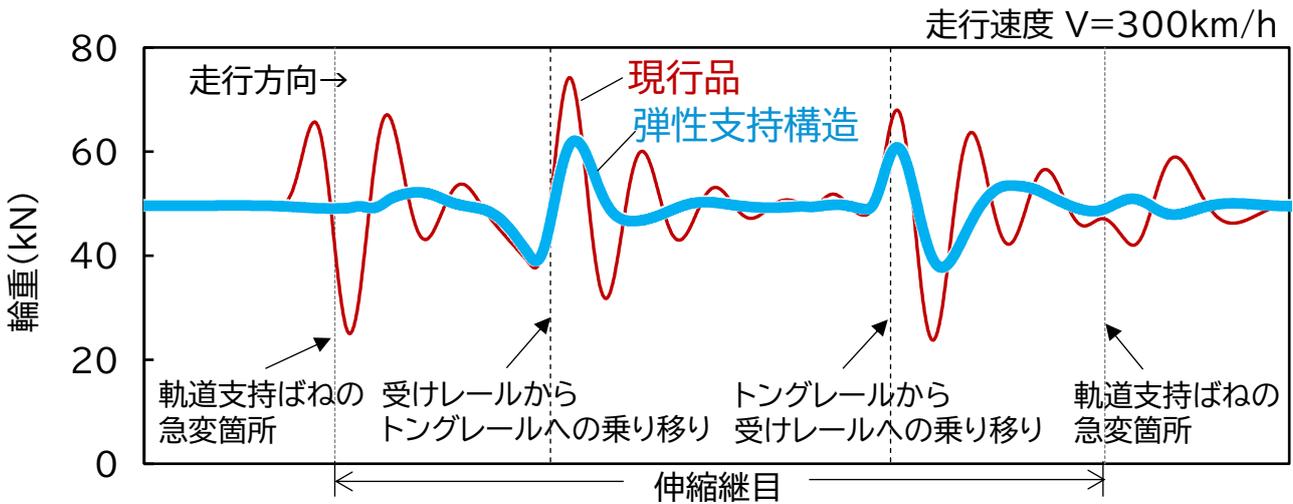
走行シミュレーションによる効果の検証

車両走行シミュレーションにて、弾性支持構造により軌道支持ばねの急変および車輪の乗り移りによる衝撃荷重を低減できることを確認しました。

モデルの概要

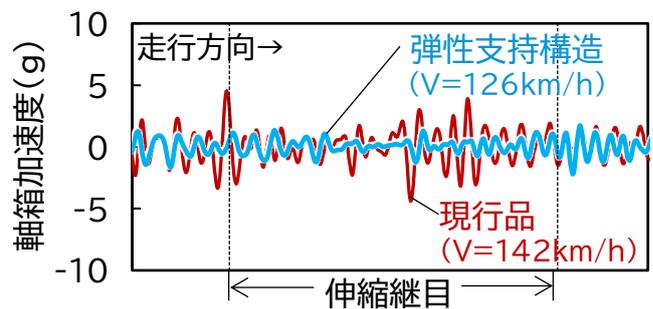


シミュレーション結果



敷設の状況

整備新幹線の本線に敷設されています。車両で測定した軸箱加速度が減少していることから、軌道に作用する衝撃荷重が低減していると考えられます。

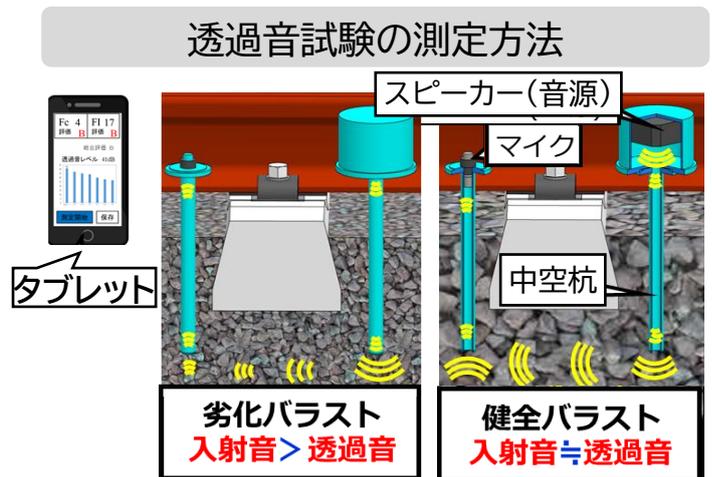


バラストの劣化状態検査装置 ～透過音試験～

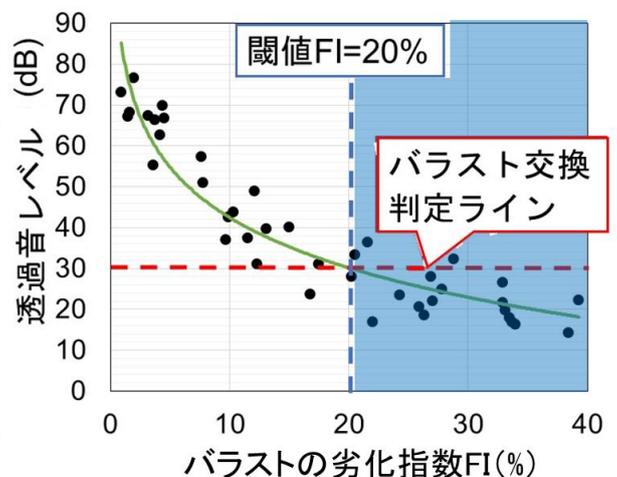
バラストが破碎・細粒化すると保守頻度が増大するため、まくらぎ下まで掘削して目視によりバラストの状態を検査しています。しかし、掘削には労力をともなう上、検査者の判定にはばらつきが生じやすいという課題がありました。そこで、バラストを透過する音で劣化状態を定量的に評価する方法を開発しました。

特 徴

- まくらぎの両脇から2本の中空杭を打ち込みます。タブレットの操作により、片側に設置したスピーカーからホワイトノイズを入射して、もう片側に設置したマイクで透過した音の大きさからバラストの劣化状態を評価できます。
- バラストの掘削を不要とし、測定・収録・分析までをタブレット操作で自動化することで、5～10分/箇所時間で一人で行えます。
- バラストの劣化指標FI (Fouling Index: バラストの全体重量に対する粒径0.075mm未満と4.75mm未満の質量百分率の和)とバラストの透過音レベルには強い相関関係があり、透過音レベルから、現地バラストのFIを推定できます。



透過音とバラスト状態



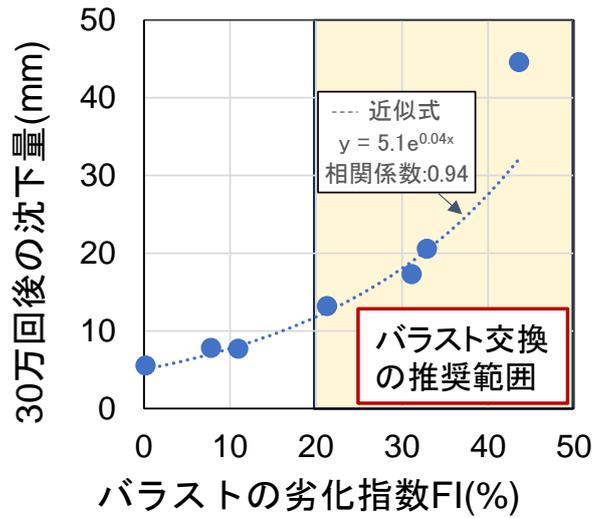
特許第7208185号 道床状態評価装置及び道床状態評価方法

軌道技術研究部(軌道・路盤)

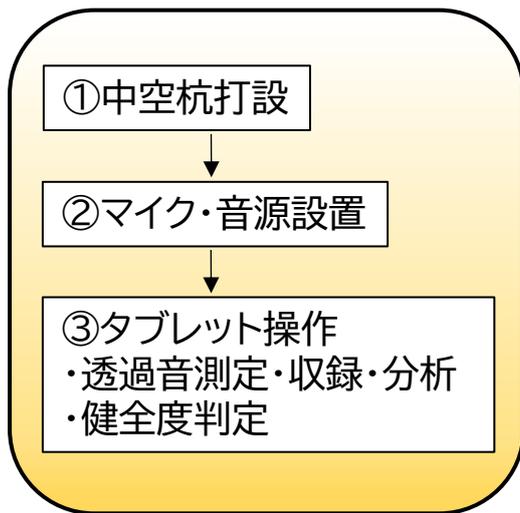
保守頻度の多い区間の
バラスト劣化状態の例



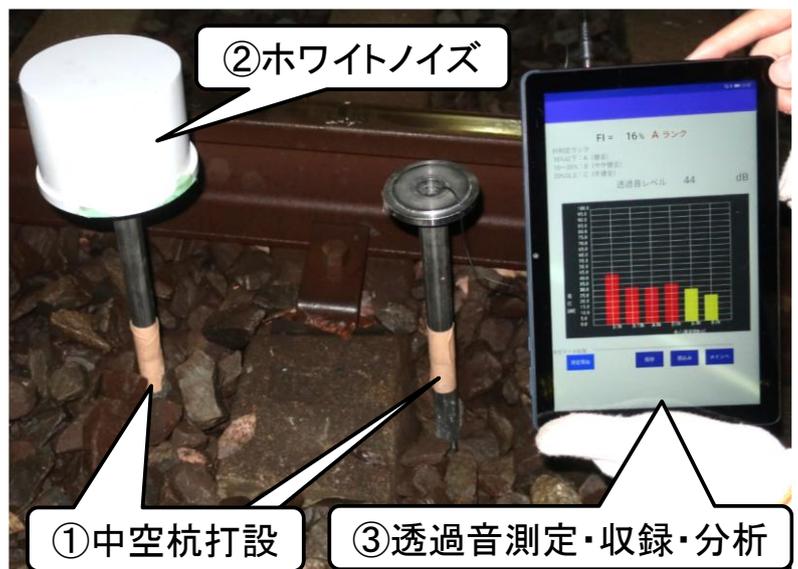
バラストの劣化指数FIと
沈下量の関係



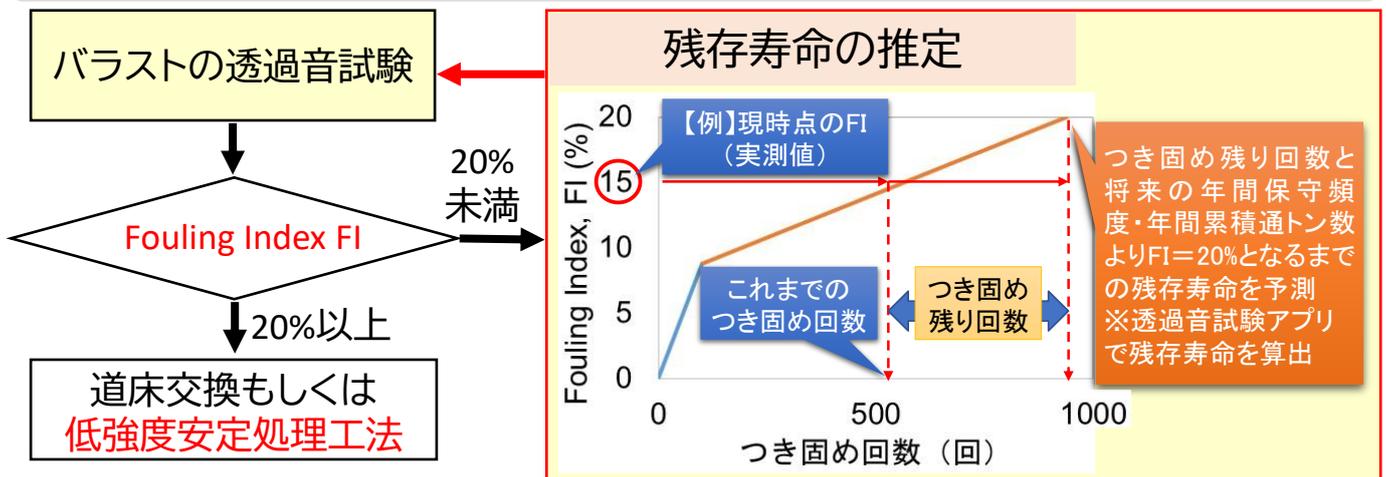
透過音試験の試験手順



透過音試験の測定状況



バラスト交換の判定フロー



劣化したバラストの沈下対策 ～低強度安定処理工法～

経年により劣化したバラストは、排水性の低下とともに強度が低下することで、沈下が進みやすく、つき固めを行っても軌道の状態が改善されません。そのため、劣化したバラストを新品に交換して、保守量の低減を図りますが、施工費が高いといった課題がありました。そこで、補修材を用いたつき固め作業により、劣化したバラストの沈下を抑制する低強度安定処理工法を開発しました。

特 徴

- 補修材(超速硬セメント+高分子材料)を劣化したバラストに混合しながらつき固め作業を行うことで、安定処理して沈下を抑制します。
- 低強度に安定処理することから、本工法の施工後であっても、通常につき固め作業による軌道整正は可能で、本工法を繰り返し施工することも可能です。
- ハンドタイタンパ、マルチプルタイタンパ、バックホウタイタンパで施工可能です。

補修材で安定処理したバラスト

高分子材料により小粒径の土砂を凝集
(混合後すぐ発現)

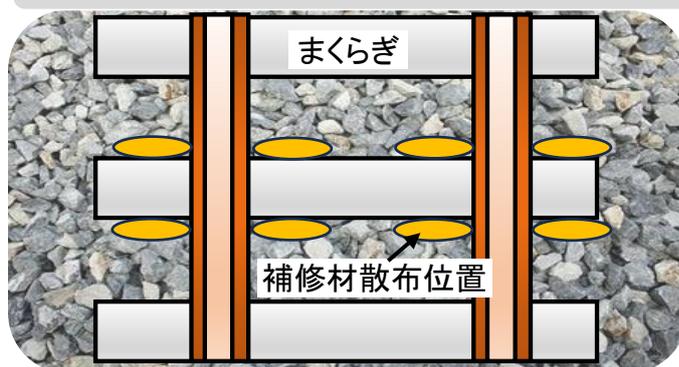


超速硬セメントにより安定処理
(養生2時間程度で発現)

用 途

- 劣化したバラスト区間(噴泥箇所含む)の沈下対策に適用できます。
- 施工コストの高いバラスト交換をすぐに実施できない箇所に適用することで、保守量の低減が期待できます(費用:バラスト交換の1割程度)。

低強度安定処理工法の補修箇所



活用例

鉄道事業者において、劣化したバラスト区間およびバラストの交換をすぐに実施できない箇所の沈下対策として活用されています。

本開発の一部は、学校法人 早稲田大学との共同研究により実施しました。

特許出願中(特願2022-072204) バラスト軌道の補修方法とその補修材及びバラスト軌道

軌道技術研究部(軌道・路盤)

低強度安定処理工法の施工手順(ハンドタイタンパ使用)



①つき固め補修箇所を掘削
(マルチプルタイタンパおよびバックホウタイタンパの場合、掘削作業を省略可)



②補修材を投入
1か所当たり500g

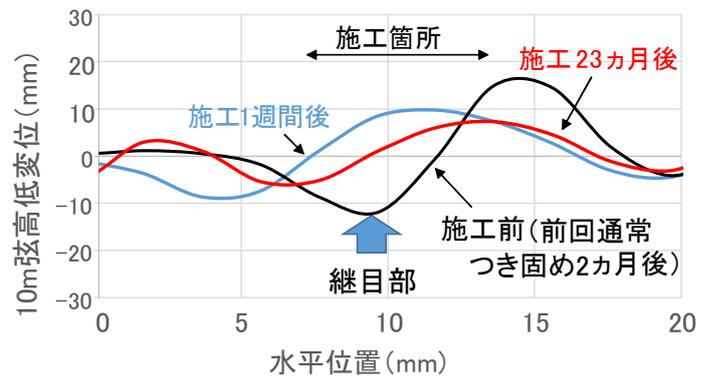


③通常と同様のつき固め補修で、バラストと補修材を混合

低強度安定処理工法の試験施工による補修効果 (ハンドタイタンパ使用)



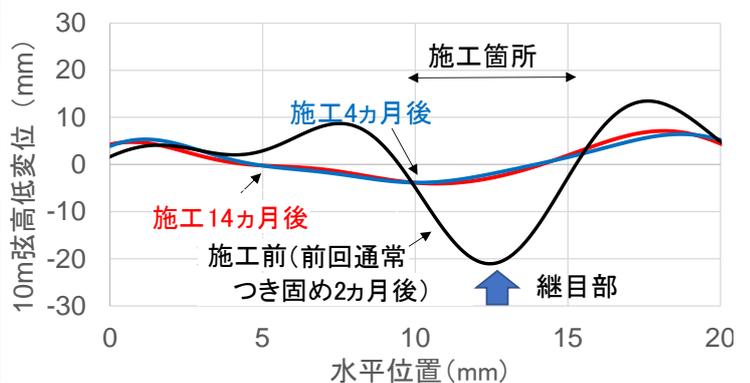
劣化バラスト(噴泥箇所)



低強度安定処理工法の試験施工による補修効果 (マルチプルタイタンパ使用)



劣化バラスト(噴泥箇所)



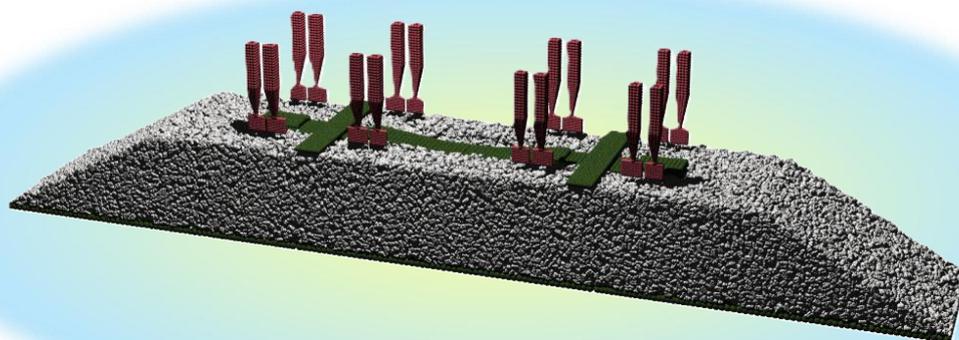
バラスト軌道離散体モデル 「DEMCS-trackⅡ」

バラスト軌道離散体モデルでは、バラスト碎石一つ一つを個別の要素でモデル化するため、道床沈下・流動といった劣化現象やタンピング作業の再現シミュレーションが可能です。

特 徴

- 既開発のプログラムをOpenMPで並列化し、計算速度を向上
>>> 計算速度が約10倍になりました。
- 既開発のプログラムの荷重制御・変位制御の機能を向上
>>> タンピング過程の複雑なツールの動きを再現可能になりました。
- 解析モデルのバラスト要素の形状を精緻化し、定量的精度を向上
>>> 道床沈下量が実測値の平均値 $\pm\sigma$ (標準偏差)の範囲内になりました。

バラスト軌道離散体モデル (タンピングシミュレーション用)



用 途

- 道床沈下を与える列車走行速度や衝撃成分、初期の締固め度の影響を評価します。
- 道床流動に与える地震波条件(加振方向、加速度)や安定剤散布の影響を評価します。
- タンピング作業によるバラスト細粒化と締固め効果を評価します。

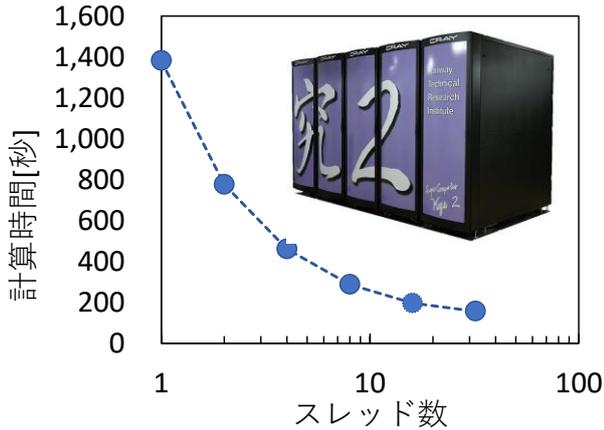
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じてシミュレーションを実施し、軌道の保守や速度向上の計画策定に活用されています。

本解析モデルは筑波大学との共同研究で開発しました。

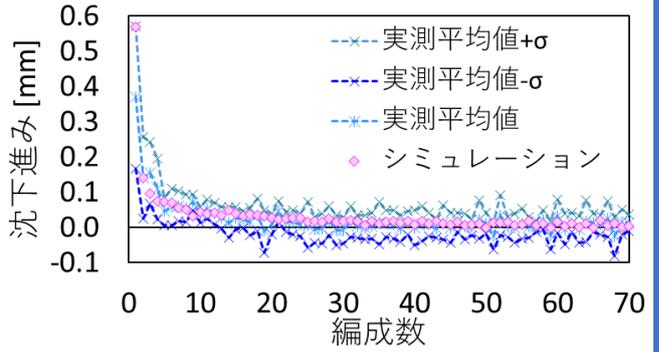
鉄道力学研究部(軌道力学)

シミュレーション技術の性能向上



OpenMPで並列化したプログラムをスーパーコンピューター「究2」上で、スレッド数32で計算したところ、従来の約10倍の速さになりました。

定量的精度の向上

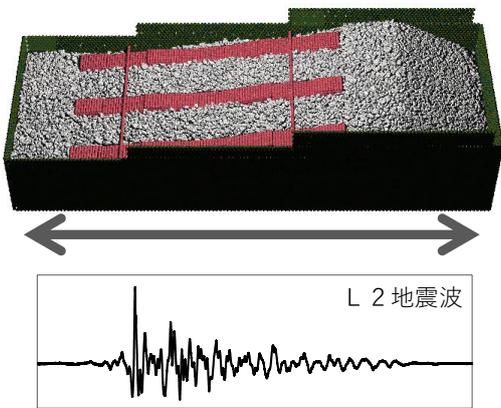


改良したバラスト軌道離散体モデルを用いて道床沈下を再現し、沈下進みを比較したところ、解析結果が実測値の平均値±σ(標準偏差)の範囲内に入り、定量的精度が向上しました。

実現象の再現から予測へ

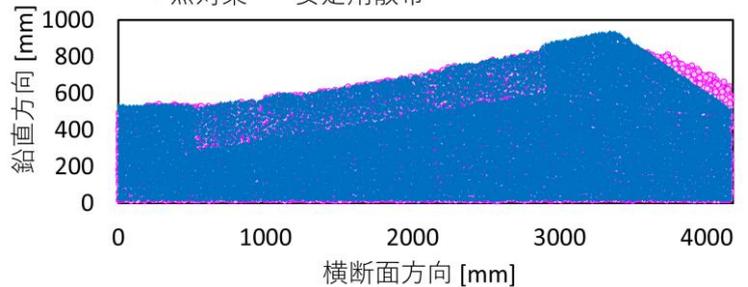
想定条件の再現シミュレーション例

1. カント付モデルに水平方向の地震波を入力し、道床肩の流動を再現



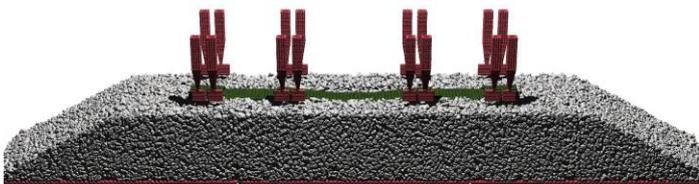
安定剤を散布した条件では、道床肩の流出が発生しませんでした。

● 無対策 ● 安定剤散布



バラスト要素の中心位置分布(軌道断面)

2. 軌道こう上後のタンピング作業を再現



軌道こう上と1秒間のタンピング過程をシミュレーションで再現し、解析モデルのまくらぎ下の道床層の密度分布を算出し、締固め効果を定量的に評価しました。

まくらぎ前											
1.45	1.43	1.45	1.47	1.43	1.54	1.52	1.43	1.56	1.42	1.43	1.41
1.61	1.51	1.69	1.67	1.72	1.62	1.75	1.71	1.71	1.63	1.56	1.53
1.52	1.58	1.56	1.64	1.57	1.74	1.65	1.62	1.64	1.53	1.68	1.57
まくらぎ後											
1.58	1.55	1.61	1.61	1.57	1.58	1.58	1.62	1.54	1.61	1.53	1.63
1.71	1.59	1.74	1.65	1.78	1.68	1.78	1.75	1.73	1.72	1.73	1.57
1.60	1.66	1.60	1.60	1.65	1.74	1.68	1.64	1.68	1.63	1.64	1.56

単位 = g/cm³

定性的傾向から定量的評価へ

グラウト充填路盤改良工法 (あと充填方式)

軟弱路盤上におけるバラスト軌道の保守量低減には、路盤改良が有効です。しかしながら、夜間に貨物列車の通過等によって短い施工時間しか確保できない箇所においては、路盤改良を効率的に施工することが困難な場合があります。そこで、短時間で構築可能な路盤改良工法を開発しました。

特徴

- 新品バラストを骨材とし、バラストの間にグラウト材を充填して路盤改良層を構築します。
- 「路盤材置換え作業」と「グラウト充填作業」を別日に行うことで、各作業の効率化が図れます。
- グラウト材を充填した直後では、骨材(新品バラスト)で列車荷重を支持します。その後、グラウト材が硬化し、路盤改良層で列車荷重を支持します。
- 路盤改良層は高い剛性を有しており、路盤改良層を介して路床に列車荷重を広範囲に分散させることができます。

用途

下記の線区への適用を想定しています。

- 貨物列車が通過することで、路盤改良を効率的に施工が困難な線区
- 路盤改良の施工時間が十分に確保できない線区

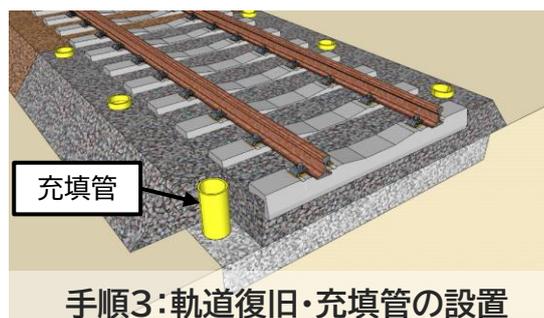
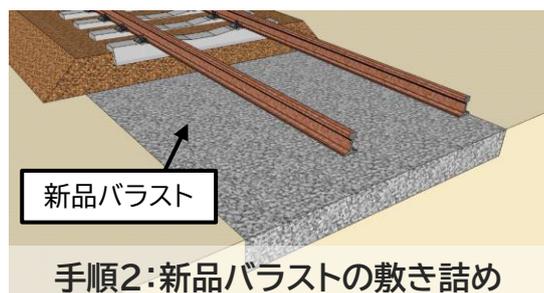
活用例

鉄道事業者において、貨物列車が通過する線区、および既設線省力化軌道の構築で路盤改良の施工時間が確保できない線区で活用されています。

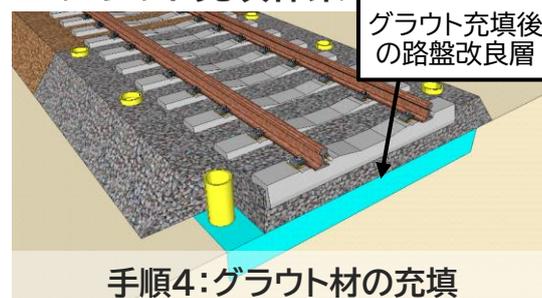
特許第7107665号

施工手順

■ 路盤材置換え作業



■ グラウト充填作業

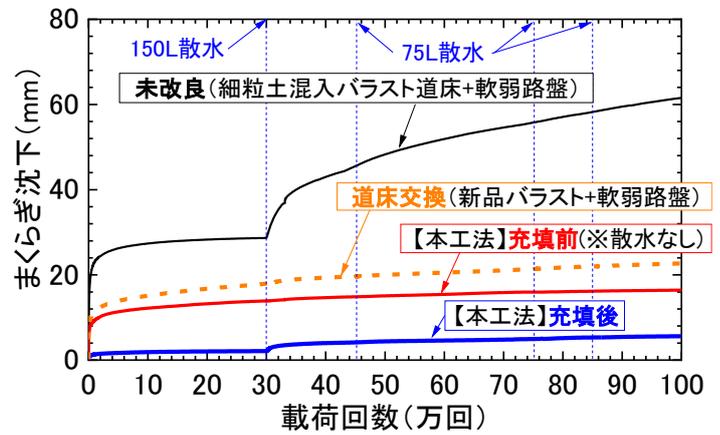


実物大軌道模型による路盤改良効果の確認

繰返し载荷試験より、本工法の沈下抑制効果を確認しました。グラウト材の**充填前**の沈下量は**道床交換**と同程度以下となり、バラスト層が厚くなるものの、沈下が抑制できることを確認しました。さらに、グラウト材の**充填後**のまくらぎの沈下量はさらに抑制され、軌道状態の健全化に貢献することができます。



繰返し载荷試験の状況



载荷試験の結果

施工の状況



路盤部に新品バラストを敷詰めた状況



充填管の設置状況



グラウト充填作業の状況



グラウト充填時の充填管内の状況

スラブ軌道てん充層の劣化進展予測

寒冷地に敷設されている一部のスラブ軌道では、てん充層に劣化が発生しており、補修が行われています。今後、スラブ軌道の長期的な補修計画を策定するためには、将来の劣化範囲を予測する必要があります。そこで、てん充層の圧縮強度の低下および軌道スラブーてん充層間の隙間を予測することが可能な劣化予測方法を開発しました。

特徴

- 凍結融解作用の影響でてん充層の圧縮強度が低下する範囲を予測することができます。
- 上下面の温度差による軌道スラブのそり変形と列車荷重の影響で軌道スラブーてん充層間の隙間が拡大する範囲を予測することができます。

用途

- てん充層の補修計画、特に広域にまたがる補修計画を策定する際、補修の優先順位の決定、補修コストの試算等に活用できます。
- てん充層の新しい補修材を開発する際、要求する性能を決定する際に活用できます。

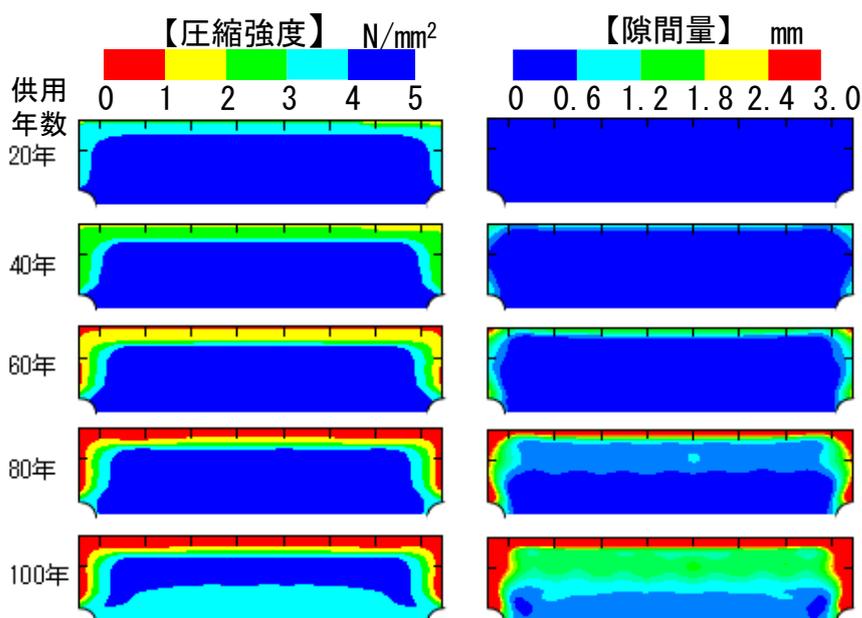
活用例

鉄道事業者などからの依頼に応じて、劣化進展予測を実施しています。

てん充層の劣化状況

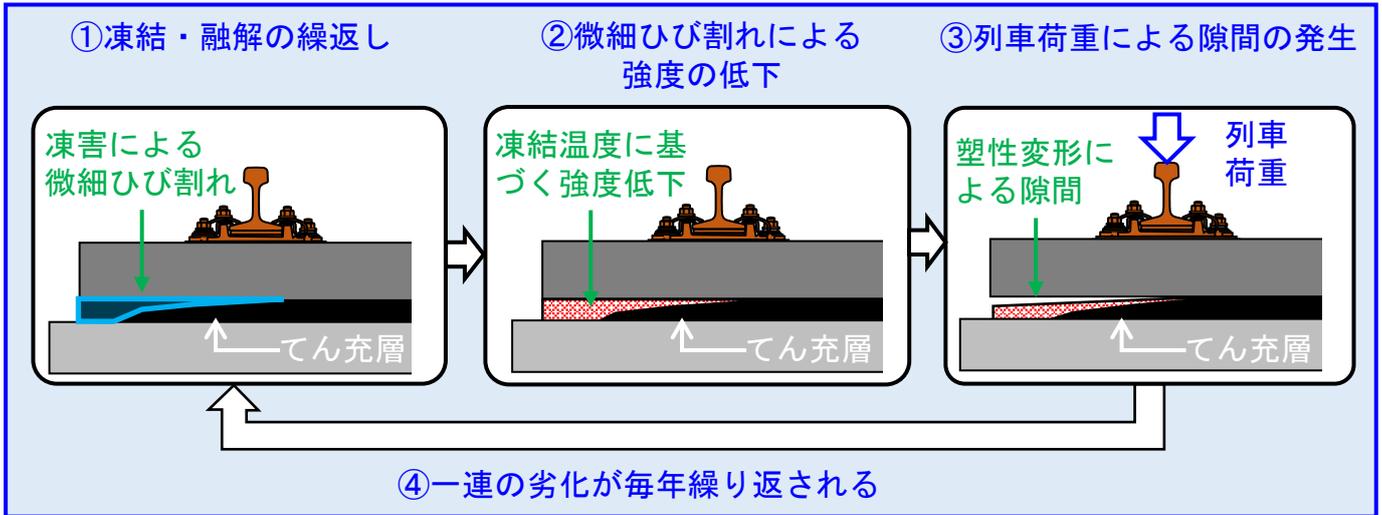


劣化進展予測の例

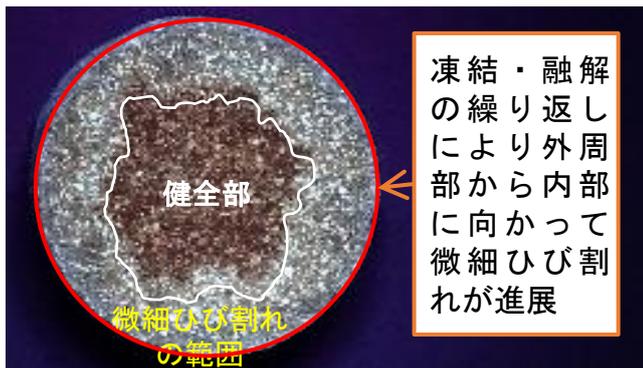


てん充層の劣化メカニズム

凍結・融解の繰り返しで生じる微細なひび割れによって強度が低下し、列車荷重の繰り返しによって塑性変形が生じることで隙間が生じます。

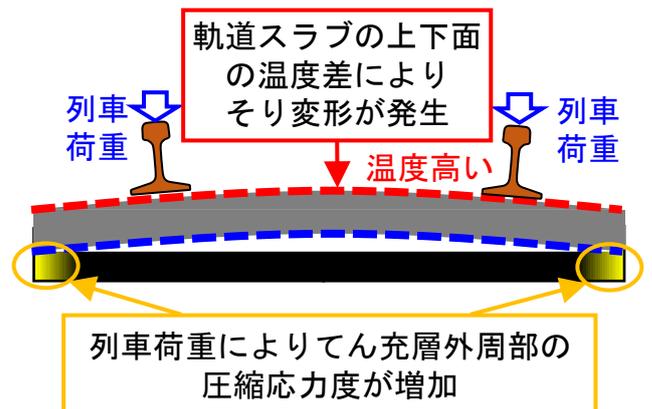


凍結融解試験による円柱供試体断面の劣化状況



- ◆ 凍結温度が低いほど
 - ◆ 凍結・融解の回数が多いほど
- 強度が低下

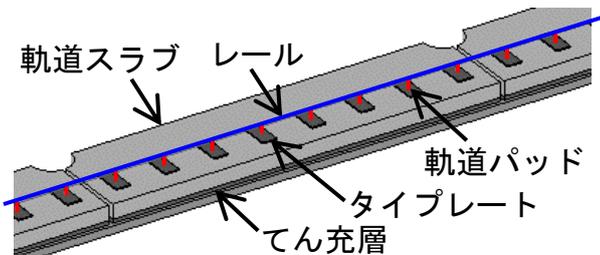
列車荷重によるてん充層の圧縮応力度



- ◆ 圧縮強度が低いほど
 - ◆ 圧縮応力度が大きいほど
- 隙間が拡大

劣化進展予測の解析モデルと入力項目

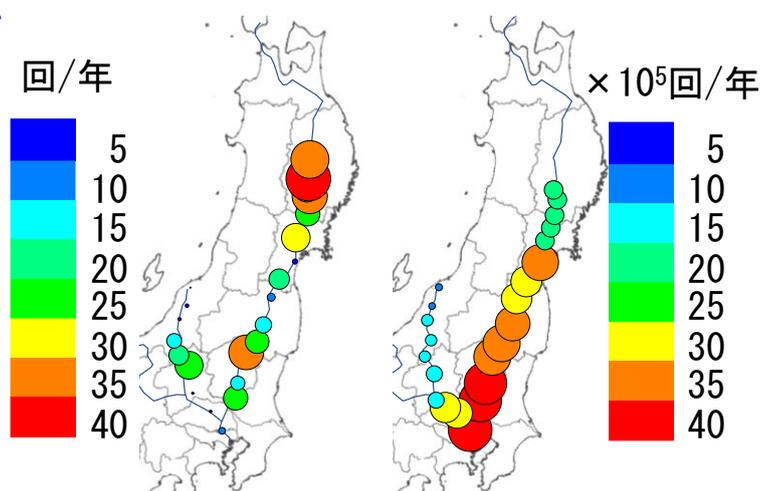
解析モデル



入力項目

- ◆ CAモルタルの初期圧縮強度
- ◆ 気温データ(最高・最低気温)
- ◆ 通過軸数

凍結・融解回数のイメージ 通過軸数のイメージ



防除効果および施工性に優れた 蒸気除草手法

軌道外から用地境界までの鉄道用地の雑草防除では、刈払いが広く行われています。刈払いは雑草を一時的に除去できますが、比較的短期間で雑草が再生することに加え、振動障害防止のために1日の作業時間も制限されていました。そこで、蒸気の熱で雑草を枯死させる方法に着目し、汎用スチーム洗浄機に、新たに開発した手持ちノズルを組み合わせた蒸気除草手法を開発しました。

特 徴

- 新たに開発したノズルにより、蒸気を地表付近で側方に噴射することで、効果的に雑草を枯死させることができます。
- 1時間あたり72リットルの少ない水消費量で、1回あたり5秒間の蒸気噴射により、ノズルのカバー面積約0.5m²の範囲にある雑草を処理できます。
- 処理した雑草はその場で枯死するため回収が不要となり、廃棄物は発生しません。
- 現地試験の結果、蒸気除草では施工約3ヶ月後の大型雑草の再生が施工範囲の10%程度に留まり、さらに1年後の再生株数が刈払いと比較して70%減少しました。
- 施工面積300m²を想定した施工時間の試算では、従来の刈払いと比較して、施工速度が44%向上し、必要作業員数も5人から3人に削減できました。

用 途

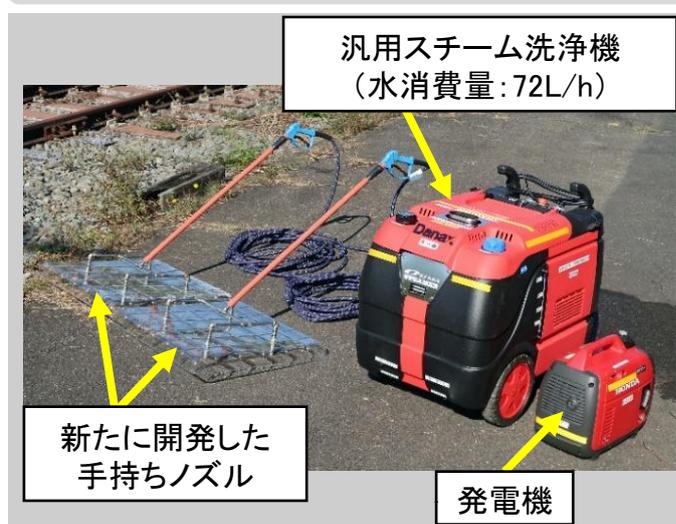
鉄道用地などの雑草防除に活用できます。

活用例

鉄道事業者において、農地や民家に隣接する用地境界などの除草作業に活用されています。

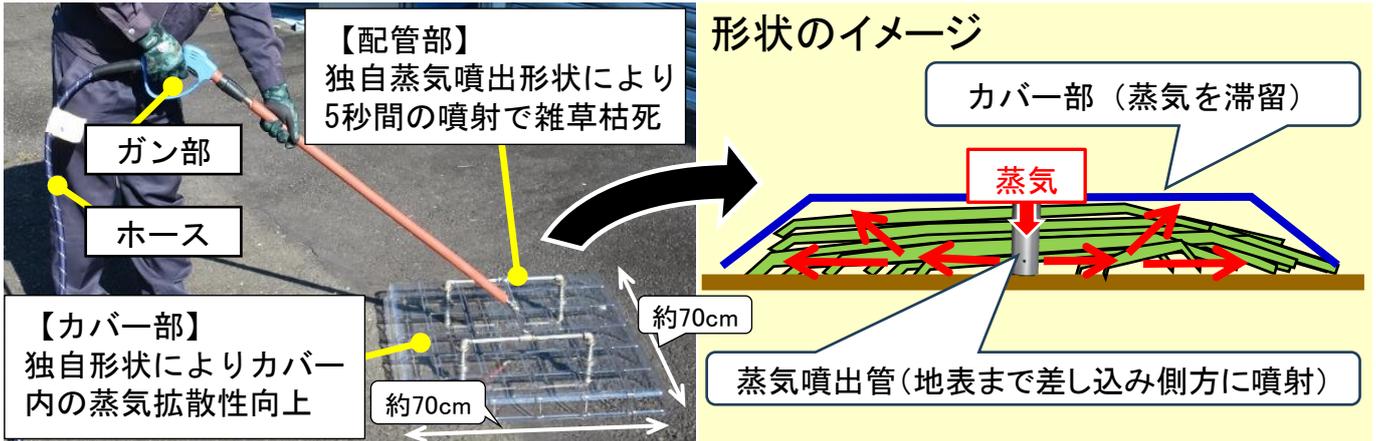
特許出願中(特願第2022-205246号)

蒸気除草機材の構成

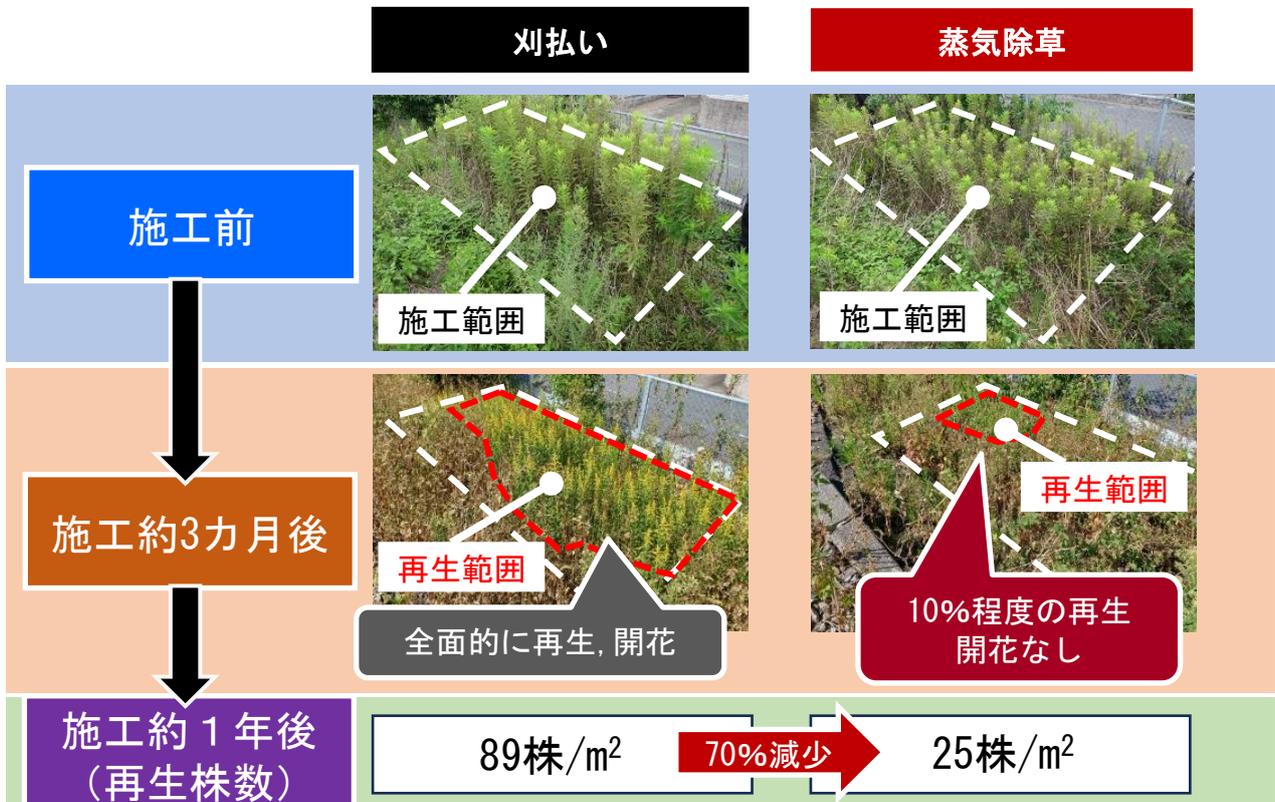


人間科学研究部(快適性工学)
軌道技術研究部(軌道・路盤、軌道管理)

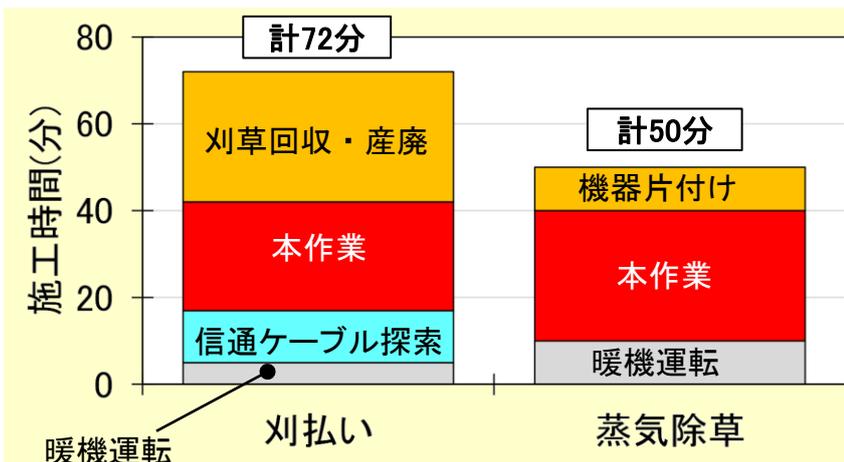
手持ちノズルの特徴



現地試験における刈払いと蒸気除草の比較



施工効率の試算



- 【試算条件】
- ・ 施工面積：300m²
 - ・ 刈 払 い：刈払い機3台
作業員数5人
 - ・ 蒸気除草：ノズル2組
(ボイラー1基)
作業員数3人

列車巡視支援アプリ (Train Patroller)

携帯情報端末を用いた操作性が高く、低コストで導入可能な列車巡視支援アプリを開発しました。本アプリを用いて列車巡視をデジタル化することで、机上での軌道状態の確認を可能とするとともに、係員の熟練度によらない線路状態の把握を実現しました。

特徴

- 携帯情報端末の各種センサを活用することで、列車速度・列車動揺・前方動画などの同期計測を可能とした、操作性の高いアプリです。
- 軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」の新機能を用いることで、前方動画に対し誤差数m程度の精度でキロ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、机上での線路巡視を可能としました。
- 本アプリで取得した前方動画は、「木まくらぎ劣化度判定システム」の入力データとしても活用でき、4Kビデオカメラと同等の精度で木まくらぎの劣化状態等を判定可能です。

用途

- 列車巡視を支援します。
- 列車動揺検査に活用可能です。

活用例

鉄道事業者において、保線部門の維持管理業務に活用されています。

本技術開発は東京大学と共同で実施しました。

列車巡視支援アプリの計測画面・項目



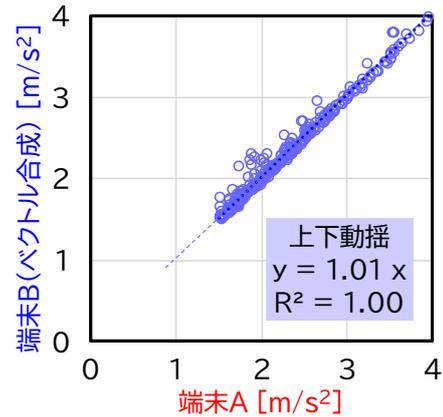
センサ	計測項目	計測モード			サンプリング など
		振動	振動&動画	動画	
GPS レシーバ	移動速度	○	○	○	1Hz テキストファイル
	緯度・経度	○	○	○	
3軸モーション センサ	3軸加速度	○	○	—	100Hz テキストファイル
	3軸角速度	○	○	—	
カメラ	動画	—	○	○	最高4K, 60fps
マイクロフォン	音声	○	○	○	44.1kHz

携帯情報端末の営業車両への設置状況



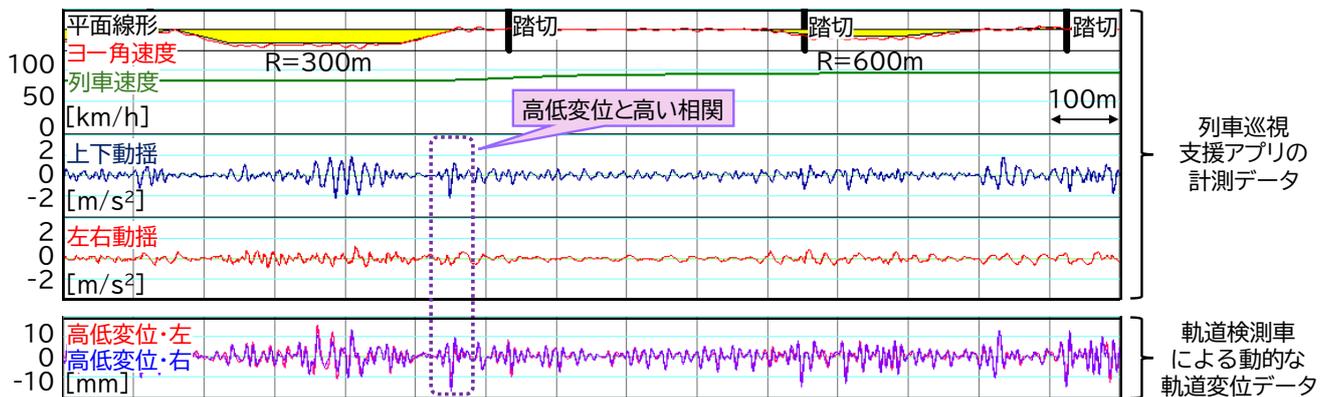
吸盤治具を使用することで、3分程度で設置・計測開始が可能です。また、任意の画角の動画を撮影可能です。

端末の傾斜設置が加速度に与える影響



端末を傾斜敷設することで、加速度の観測軸がずれますが、3軸加速度を用いて、鉛直方向に補正が可能です。

列車動揺(営業車両)と動的な軌道変位(軌道検測車)の比較の例



営業車両で計測した列車動揺は、軌道検測車による動的な軌道変位との相関が高く、軌道検測車の運用頻度の低いローカル線や、静的な軌道変位検査しか実施していない地域鉄道において、動的な軌道状態の把握に活用可能です。

前方画像の射影変換による俯瞰画像の例



キ口程を付与した前方画像の例



俯瞰画像化した前方画像の例

キ口程を付与した前方動画は、線路状態の全般的な把握に適しています。さらに、射影変換処理を適用し、俯瞰画像化することで、軌道部材状態の評価にも活用可能です。

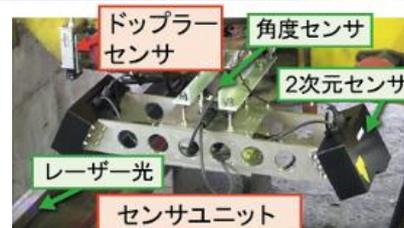
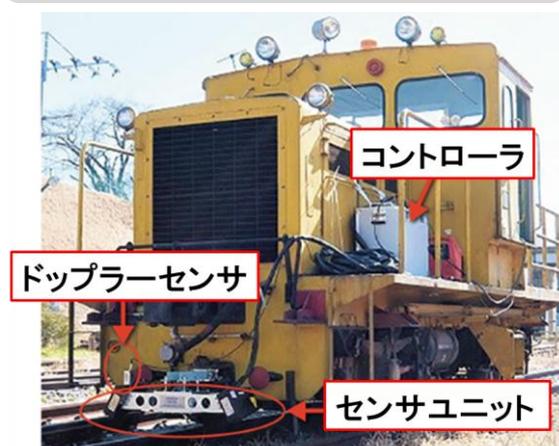
動的軌間・平面性測定装置 (TRACK²er)

動的な軌道変位の測定に用いられる軌道検測車は高価なため、多くの鉄道路線では、静的値での軌道変位管理が行われています。このような鉄道路線の安全性を向上するために、保守用車などに搭載して低コストで動的な軌間と平面性を測定できる測定装置を開発しました。

特 徴

- 本装置は、軌道変位を測定するセンサユニット、一定距離間隔のパルス信号を作成するドップラーセンサおよび軌道変位の収録や走行距離を求めるコントローラで構成されます。
- センサユニットでは、2次元センサで測定したレールとの相対変位と角度センサの出力を組合わせて軌間、水準、平面性を測定します。
- 出力画面では、軌道変位の算出に使用したレール上の測定点が表示され、異常値が測定された際には、測定誤差によるものか、軌道状態によるものかをすみやかに判断することが可能です。
- 走行試験により、測定結果のばらつきは検測車と同程度(再現性:軌間変位 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内、平面性変位 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内)であり、かつ検測車の測定結果と概ね一致することを確認しています。
- GNSS測位を活用して、25cm以下の誤差で、測定位置を特定できます。

動的軌間・平面性測定装置
(TRACK²er = トラック・トラッカー)



用 途

保守用車などに搭載して、動的な軌間・平面性の測定が行えます。

活用例

専用鉄道において、軌道検測装置として活用されています。

軌道技術研究部(軌道管理)

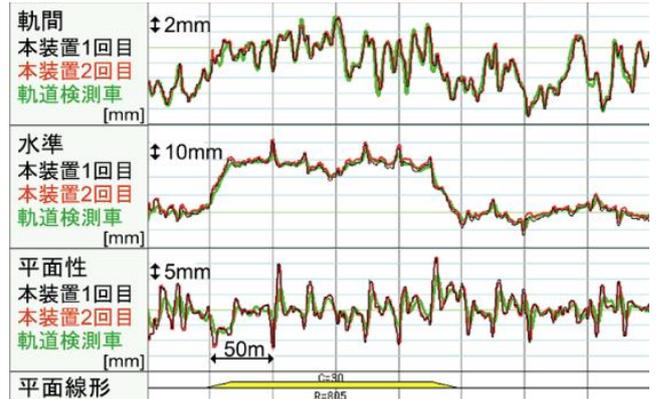
出力画面



設定した閾値を超過した箇所

軌道変位の算出に使用したレール上の測定点を画像で確認可能です。

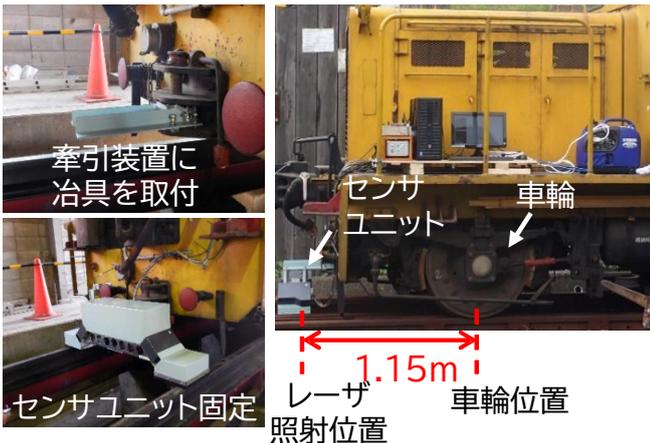
軌道検測車との比較



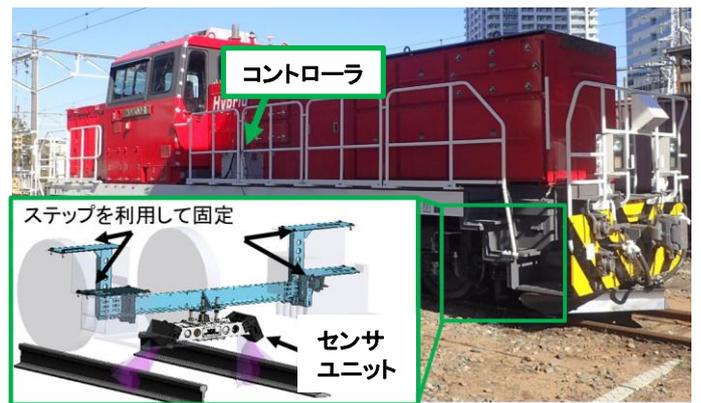
軌道検測車と同等の検測精度であることを確認しています。

保守用車などへの搭載イメージ

軌道用モーターカー



入換機関車



本装置の車両への着脱は、専用の取付治具を設計することで1時間程度で行えます。

GNSSを活用した測定位置の検知方法



ドップラーセンサによる走行距離とレール断面形状の画像を併用して位置を特定します。

地図上にGNSSの軌跡をプロットすることで、測定した区間を可視化できます。

高低変位に基づく浮きまくらぎ検出法

バラスト軌道に発生する浮きまくらぎは、高低変位量の増加や道床横抵抗力の減少など、さまざまな問題を引き起こす可能性があります。これまでは実態の把握が困難でした。そこで、軌道検測データを用いて容易に浮きまくらぎを検出する手法を開発しました。

特徴

- 荷重作用時と無載荷時のレール面の形状の差で浮きまくらぎを検出します。
- 道床面の形状は荷重作用時のレール面とほぼ一致することから、軌道検測車で測定される動的な高低変位から、復元波形を求めることにより推定します。
- 静的なレール面は軌きょうの自重によるたわみ計算により求めます。
- 営業線で浮きまくらぎ量の計算値と実測値を比較し、精度良く検出できることを確認しています。
- 軌道保守管理データベースシステム「LABOCS(ラボックス)」のコマンドとして実装されています (Ver.4.2以降)。

用途

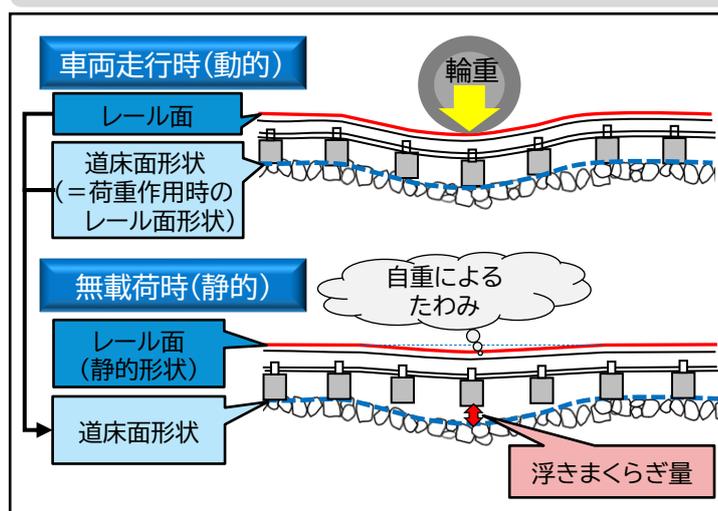
- LABOCSのコマンドを用いて、浮きまくらぎの分布状態とその大きさの把握が可能となります。
- 浮きまくらぎの分布状態がわかることにより、バラスト軌道の沈下予測の精度向上や、高温時の座屈危険箇所の抽出に活用できます。

活用例

- 鉄道事業者において、軌道状態の把握と保守計画策定に活用されています。
- 鉄道事業者において、浮きまくらぎによる道床横抵抗力の低下による、張り出しの懸念箇所の抽出に活用されています。

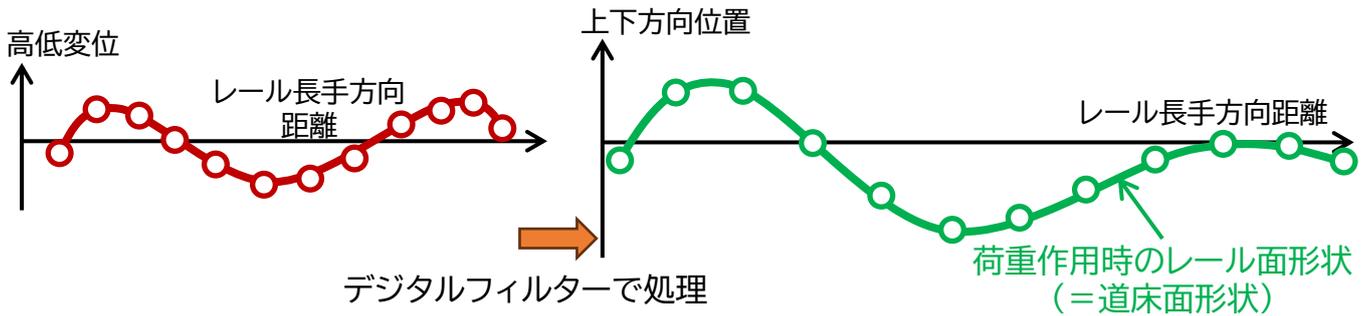
特許第7000362号、特許第7039380号、特許第7039415号

浮きまくらぎの状態と検出概念



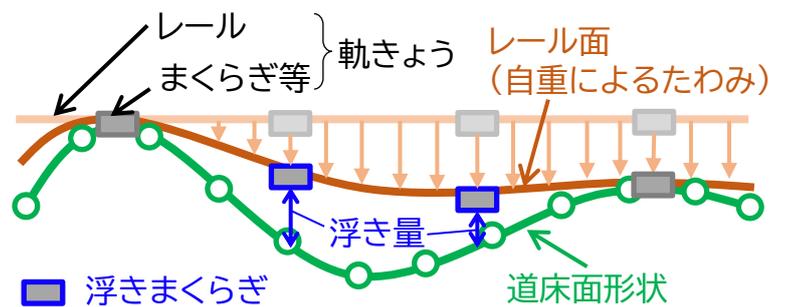
浮きまくらぎ検出アルゴリズム

①軌道検測車で測定された動的高低変位 ②動的高低変位から推定した復元波形



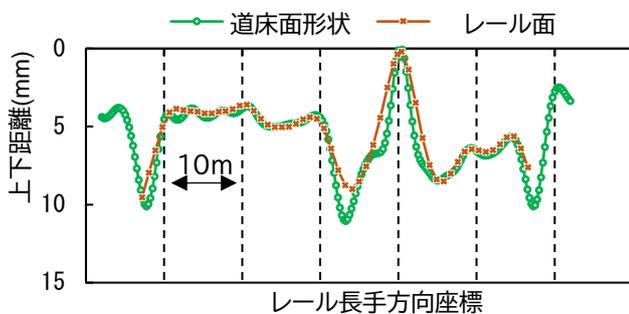
③レール面の決定および浮き量の推定

動的高低変位をデジタルフィルターで処理して求めた復元波形を、荷重作用時のレール面とし、軌きょうの自重によるレール面のたわみ形状を算出し、両者の差分で浮きまくらぎを検出します。

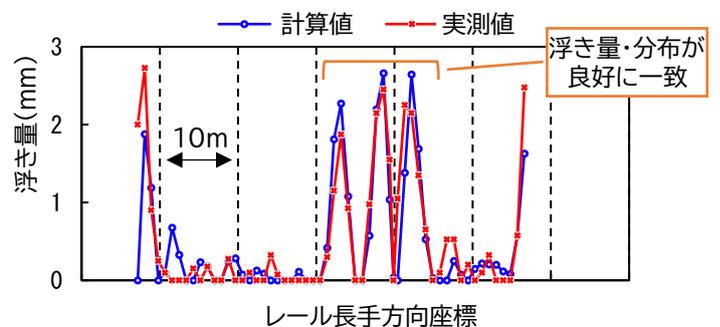


営業線の軌道検測データと浮き量の現地実測結果を用いた検証

算出した道床面とレール面



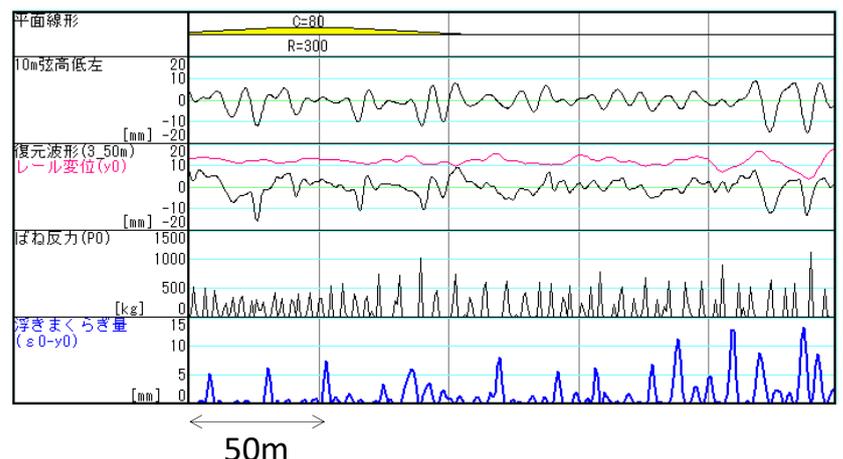
浮き量の計算値と実測値の比較



活用事例(LABOCSでの処理例)

LABOCSのVer.4.2以降にコマンドが実装されており、検出された浮きまくらぎ量を、キロ程毎に他の軌道管理指標とともに表示することで、軌道状態の確認や保守計画策定に活用できます。

LABOCSでの出力画面の例

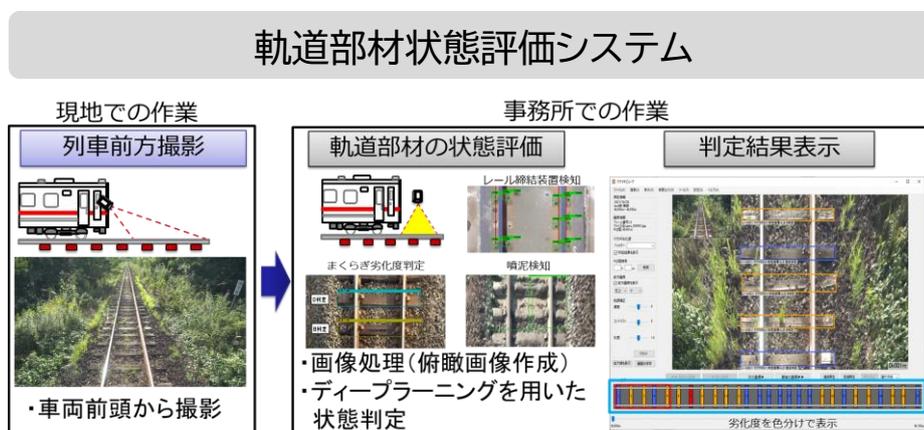


軌道部材状態評価システム

軌道部材の検査は、保線技術者が目視、計測および打音により行うため、多くの労力と時間を必要とします。そこで、効率的かつ低コストに検査を行う方法として、市販のビデオカメラを用いて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、レール締結装置の検知、噴泥発生箇所を検出などの、軌道部材の状態評価を自動で行うシステムを開発しました。

特徴

- 市販のビデオカメラにより営業列車等の前頭から撮影した画像を使用するため、低コストなシステムを実現できます。
- 撮影画像を射影変換処理により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、レール締結装置の検知、噴泥発生箇所の検出および画像への位置(キロ程)の付与を自動で行います。
- 木まくらぎの劣化度は4段階の断定標準に従って分類されます。
- 判定結果は、専用のビューアにより確認できるほか、表形式の検査台帳として出力可能です。
- 俯瞰画像では、まくらぎ以外の軌道部材の状態も確認できます。



用途

- 木まくらぎ検査の支援システムとして利用できます。
- 劣化度判定結果を画像に表示し、木まくらぎ検査を可視化できます。

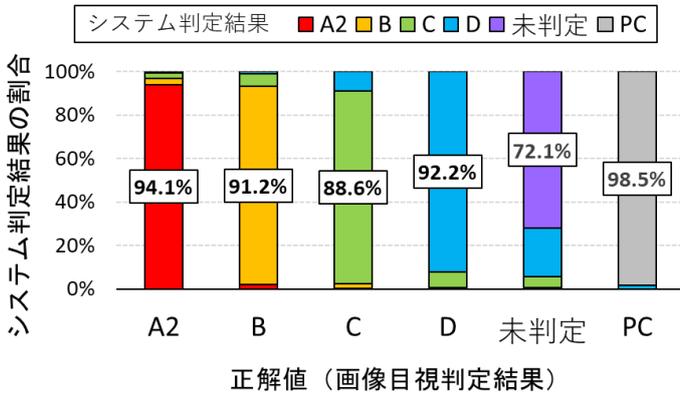
活用例

鉄道事業者において、軌道部材検査(特に木まくらぎ検査)や徒歩巡視における目視による軌道状態確認等の支援システムとして活用されています。

軌道技術研究部(軌道管理)
情報通信技術研究部(画像解析)

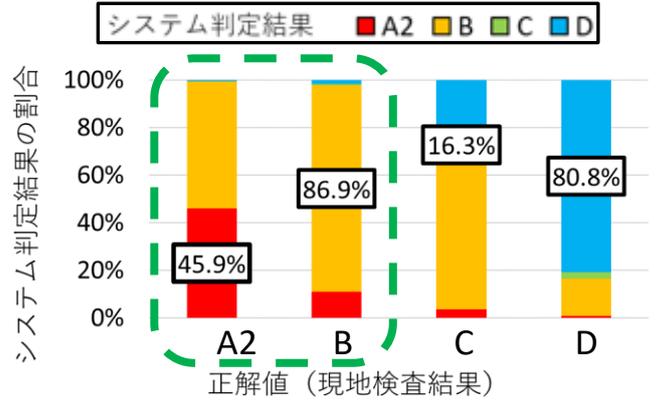
木まくらぎ劣化度判定の判定精度

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%以上一致しています。

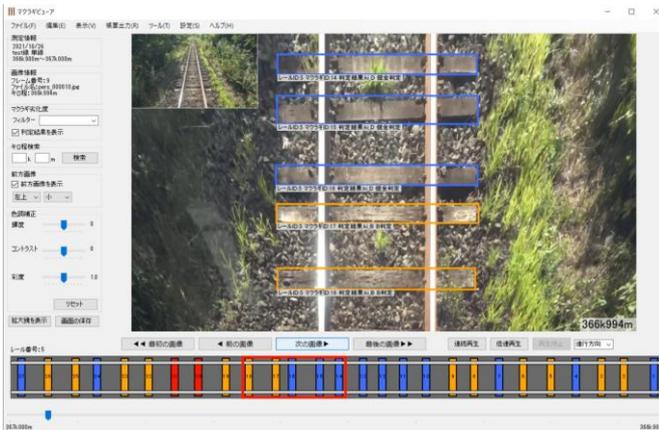
② 現地検査結果との比較



不良なまくらぎ(A2・Bランク)の判定率は98.8%です。

木まくらぎの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



まくらぎ管理台帳

No.	レール番号	キ口程	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

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ます。

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



線路周辺画像解析エンジン

列車の前頭に設置したステレオカメラ等の撮影画像を入力して、建築限界内の支障物や線路周辺環境の変化を検知します。また、軌道中心間隔や道床形状を連続的に測定します。

特 徴

- 【自己位置推定】ステレオカメラの撮影画像から、カメラの姿勢・位置の変化や走行経路を推定します。
- 【3次元計測】自己位置推定の結果を利用した多視点ステレオ計測により、線路周辺の3次元空間を復元するとともに、建築限界等の任意の範囲内に存在する物体の有無を検知します。
- 【差分検知】異なる時期に撮影した2つの画像から、両者の相違箇所を検知します。
- 【検査数値の算出】検査対象物（レールやバラスト）を自動判別して、高精度な3次元点群を取得し、軌道の断面形状を求めることで、軌道中心間隔や道床形状を連続的に測定します。

線路周辺画像解析エンジン



建築限界内の支障物検知

線路周辺環境変化の検知

用 途

- 建築限界内の支障物を検知します。
- 線路周辺環境の変化を検知します。
- 軌道中心間隔や道床形状を連続的に測定します。

活用例

鉄道事業者において、列車巡視支援システムに実装され、支障物の検知に活用されています。

本研究の一部は国土交通省の鉄道技術開発補助金を受けて実施しました。

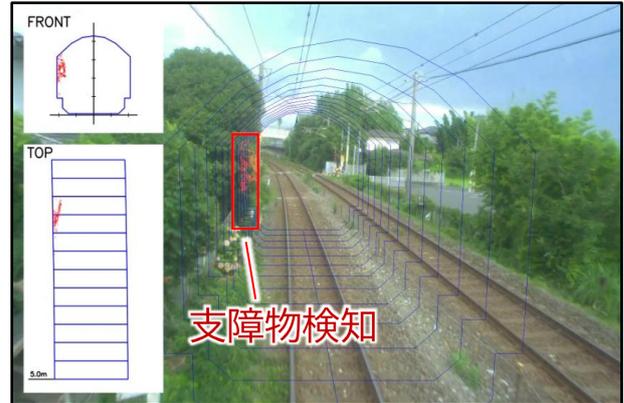
軌道技術研究部(軌道管理)

建築限界内の支障物検知

線形に沿った検知枠の設置



システム出力画面例



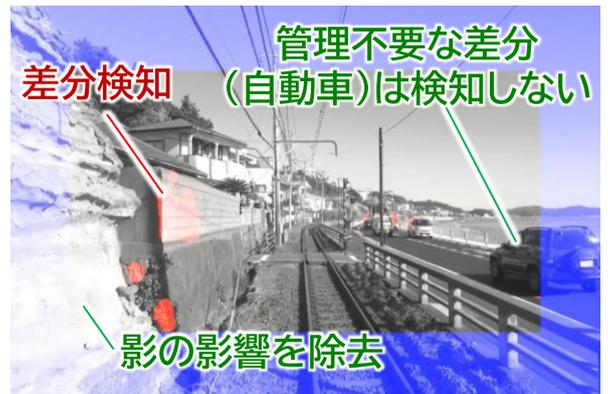
※検知枠は建築限界より拡大

線路周辺環境変化の検知

前回撮影



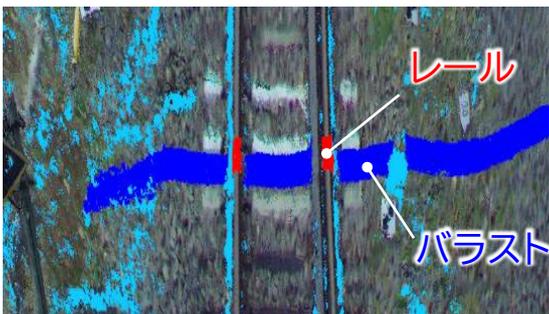
今回撮影+差分検知結果



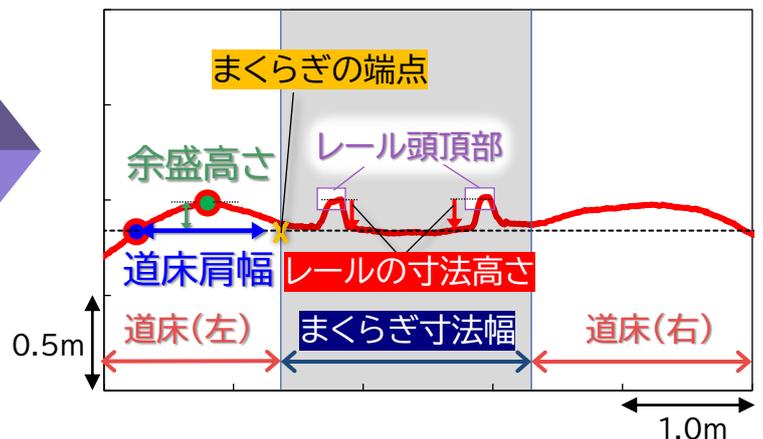
軌道中心間隔や道床形状の測定

検査対象物となるレールやバラストの点群を自動抽出して軌道の断面形状を求めすることで、軌道中心間隔や道床余盛高さ・肩幅を自動算出できます。

レール・バラスト点群の自動抽出



軌道の断面形状の推定



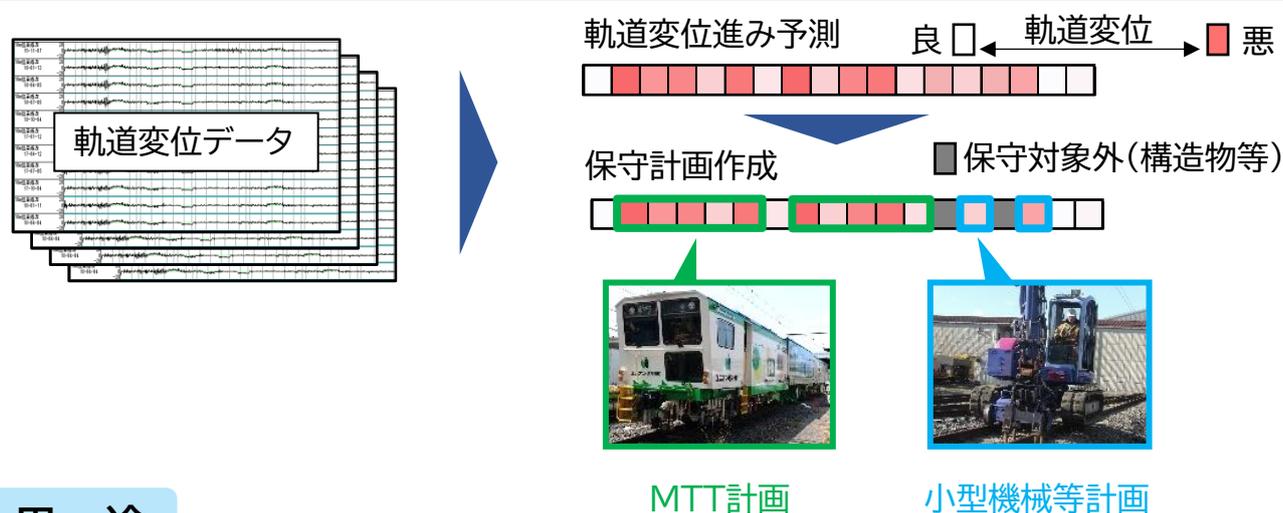
小型機械等に対応した 軌道保守計画策定支援システム

軌道変位保守においては、MTT(マルチプルタイタンパー)による連続的な保守が主流であり、スポット的な箇所に対してはハンドタイタンパーによる人力で保守をしています。近年は、作業労力の軽減や保守効率の向上を目的として、人力による保守箇所へのバックホータンパー等の小型機械等の適用が行われています。そこで、MTTと小型機械等を組み合わせた効率的な保守計画を策定するためのシステムを開発しました。

特徴

- 軌道変位検測の履歴データから軌道変位の今後の推移を予測し、MTTと小型機械等を組み合わせた効率的な保守計画を作成できます。
- MTT保守計画を作成した後に、MTT保守が割り当てられなかった箇所を対象に、小型機械等の保守計画を割り当てる仕様になっています。
- 各現場の運用上の制約や保守日数等を考慮した保守計画を作成できます。

保守計画作成イメージ



用途

- MTTと小型機械等を組み合わせた保守計画を作成できます。
- 小型機械等のみの場合でも保守計画を作成できます。

活用例

鉄道事業者において、軌道保守計画策定に活用されています。

軌道技術研究部(軌道管理)

計画入力条件一例

運用上の制約や保守時期等の条件設定できます。

計画対象ロット

- 延長
- 高低変位 σ (将来予測値)

保守対象外ロット

保守時期指定

期間の区分は、月や週(期)を指定可能



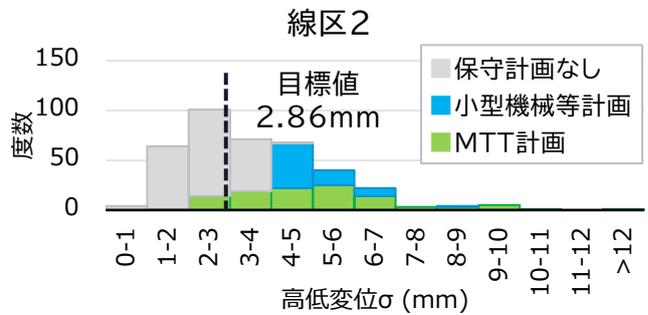
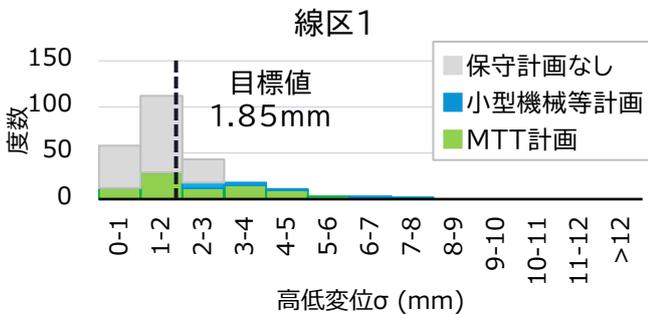
エリア

- ロット集合(1日で回送可能な範囲)

- 各期の保守可能延長【各期に何m保守できるか】
- 各期のエリア指定【各期にどのエリアを保守可能か】

保守計画の算出例

線区ごとに目標値を設定して、適した保守計画を作成することができます。



- 線区1は、線区2より目標値が小さいため、高低変位が小さい箇所にも保守が計画されます。
- 線区2は、線区1に比べて高低変位が大きい箇所が点在しているため、MTTに加えて小型機械等による保守が多く計画されます。

システムの出力結果例

ロット番号	キロ程		高低変位 σ			超過フラグ			計画フラグ		
	から	まで	計画期間開始時	計画期間末	進み量 [mm/年]	目標値	基準値	安全限度値	MTT計画	4頭TT計画	対象外
15	3,400.0	3,511.9	3.11	5.71	2.40	1	1	0	1	0	0
16	3,511.9	3,594.0	3.70	4.70	2.40	1	1	1	0	0	1
17	3,594.0	3,700.0	3.70	4.70	2.40	1	1	0	0	2	0
18	3,700.0	3,800.0	3.29	4.70	2.40	0	1	0	0	1	0
19	3,800.0	3,900.0	3.29	3.84	0.50	0	0	0	0	0	0
20	3,900.0	4,000.0	1.57								
21	4,000.0	4,135.7	2.71								
22	4,135.7	4,142.7	6.63								

保守計画一覧表(Excel)

- MTTと小型機械の計画の関係性を把握可能
- 目標値、基準値超過箇所などを把握可能

月	期	エリア	ロット番号	キロ程		高低変位 σ			超過フラグ		
				から	まで	計画期間開始時	計画期間末	進み量 [mm/年]	目標値	基準値	安全限度値
5	1	エリア4	375	36,046.4	36,100.0	4.70	6.60	52.76	1	1	1
5	1	エリア4	394						1	1	0
5	1	エリア4	379						1	1	0
5	2	エリア4	414	39,047.8	39,100.0	3.82	4.82	33.60	1	1	0
5	2	エリア4	400	37,882.0	37,977.2	3.81	4.81	33.64	1	1	0
5	2	エリア4	476	44,700.0	44,800.0	3.76	4.76	33.48	1	1	0

小型機械等計画表(Excel)

- MTT計画 (緑)
- 小型機械等計画 (青)
- 小型機械等計画(MTT計画近傍) (紫)
- 保守対象外 (灰)
- 目標値超過箇所 (黄緑)
- 基準値超過箇所 (黄)
- 安全限度値超過箇所 (橙)

軌道版電子野帳

軌道版電子野帳は、現場における軌道の検査結果をその場でタブレットPC上のシステムに入力・記録することで、検査結果の紙での保管や事務所におけるデータ入力作業の省力化を支援し、さらにデータをデジタル管理することで検査の品質向上を目指すアプリケーションです。徒歩巡視支援アプリおよび分岐器軌道変位検査アプリがあります。

特徴

- 徒歩巡視支援アプリは、巡視中に発見した事象を項目ごとに分類・記録するとともに、写真と紐付けたデータ管理が可能です。
- 分岐器軌道変位検査アプリは、分岐器の種別毎に測定箇所・測定項目の多様な分岐器の軌道変位検査を、画面を見ながら視覚的に実施が可能です。
- 自社のデータ管理システムや保線管理システムとの連携は、カスタマイズ対応が可能です。

用途

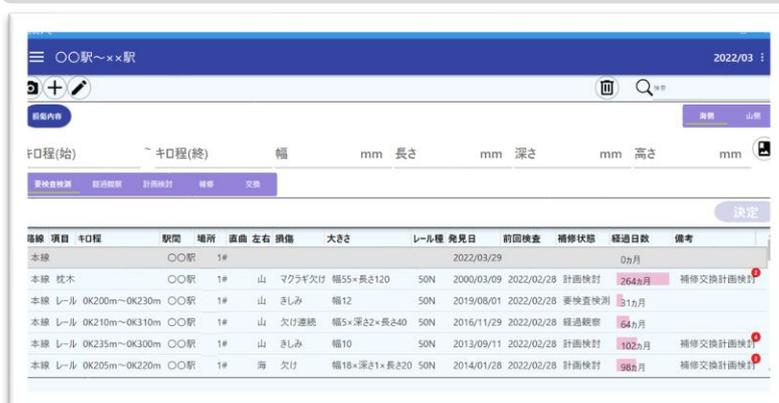
徒歩巡視や、分岐器軌道変位検査の省力化・脱技能化を支援します。

活用例

鉄道事業者において、保線部門の維持管理業務に活用されています。

本技術開発はJRSIと共同で実施しました。

徒歩巡視支援アプリ

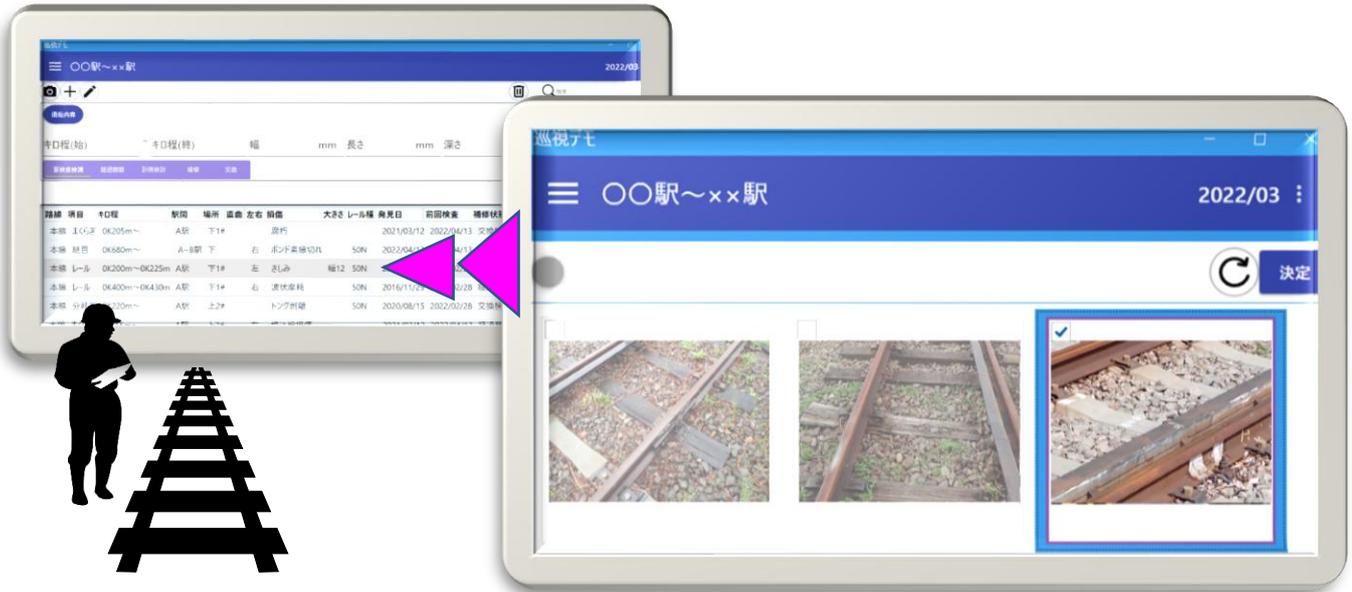


分岐器軌道変位検査アプリ



写真データと紐づけた徒歩巡視結果の登録例

確認記録と写真を紐づけて関係者に共有できます。



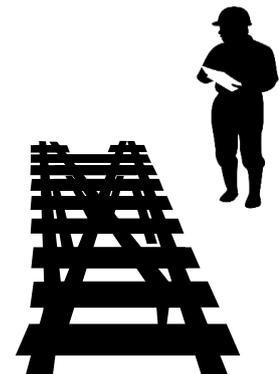
徒歩巡視結果の履歴管理の例

過去の検査記録からの経過時間や補修計画の有無を確認可能です。

路線	項目	キロ程	発見日	前回検査	補修状態	経過日数	備考
本線	まくらぎ	0K205m～	2021/03/12	2022/04/13	交換検討	13ヵ月	補修交換計画検討 ²
本線	継目	0K680m～	2022/04/13	2022/04/13	補修検討	0ヵ月	
本線	レール	0K200m～	2019/08/01	2022/02/28	要検査検測	32ヵ月	
本線	レール	0K400m～	2016/11/29	2022/02/28	経過観察	65ヵ月	
本線	分岐器	0K220m～	2020/08/15	2022/02/28	交換検討	20ヵ月	補修交換計画検討 ²

分岐器軌道変位の基準値との比較と推移確認の例

各測点の測定項目、基本寸法からの離れ、過去の履歴データの推移等を確認可能です。これによって、計画的な保守を検討したり、予め交換部材を手配したりすることが可能となります。



電力

電車線非接触測定装置

トロリ線、補助ちょう架線、ちょう架線の静的な3次元位置を連続的に測定するとともに、画像解析により電車線金具の外観検査が可能な電車線非接触測定装置を開発しました。

特徴

- 光学系を最適化しカメラ台数を最小限としたことで、小型・軽量の装置となり検測車・営業車のどちらにも搭載可能です。
- トロリ線やちょう架線の3次元構造データを活用し、電車線構成の検査を支援します。将来的には金具の劣化予測にも活用予定です。
- 装置で取得した画像から電車線金具を抽出し、異常スクリーニングとAIによる異常箇所可視化を行うことで外観検査を支援します。

用途

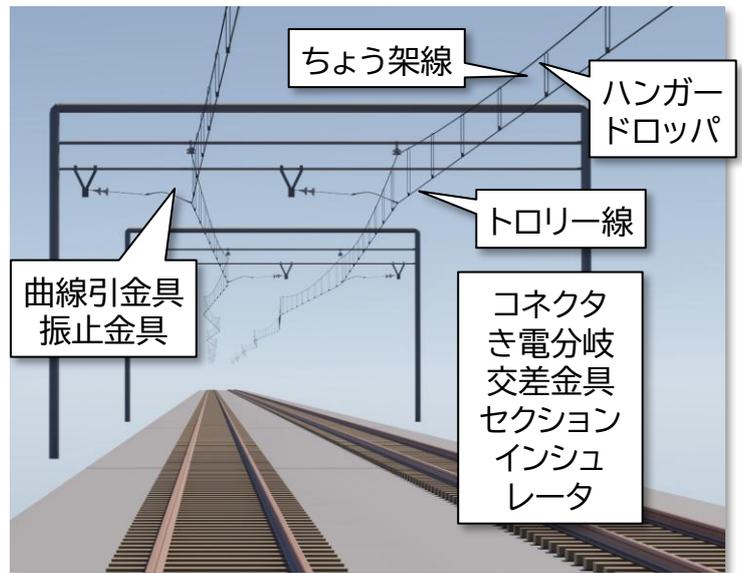
列車巡視や徒歩巡回、線条位置測定の代替として、現地へ行くことなく電車線金具や電車線構成の検査が可能です。

活用例

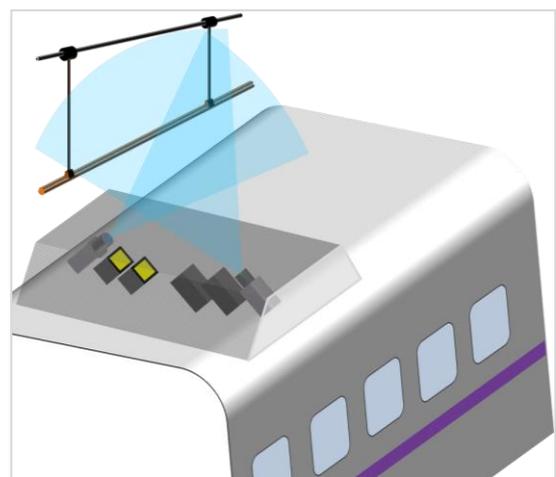
鉄道事業者において、検測車や営業車の車載装置として活用されています。

本技術開発の一部は株式会社 明電舎と共同で実施しました(特許第5698285号)。

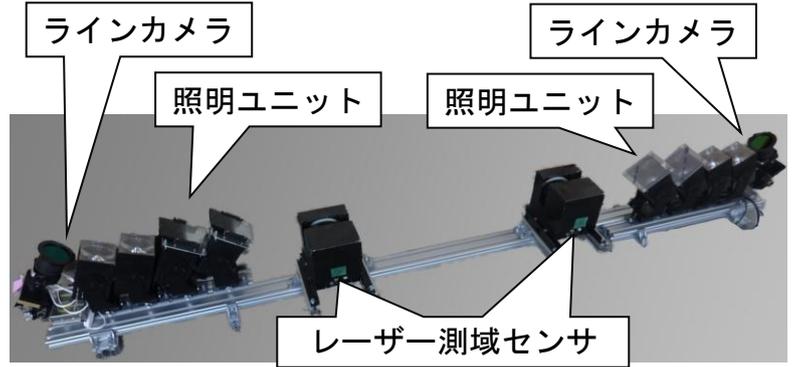
電車線の基本構成



電車線非接触測定装置の営業車搭載イメージ



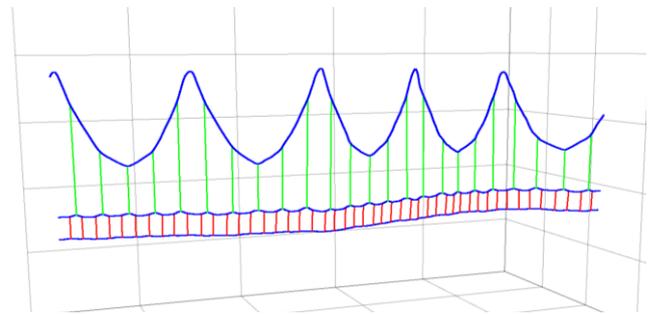
電車線非接触測定装置検証用試作機の外観と仕様



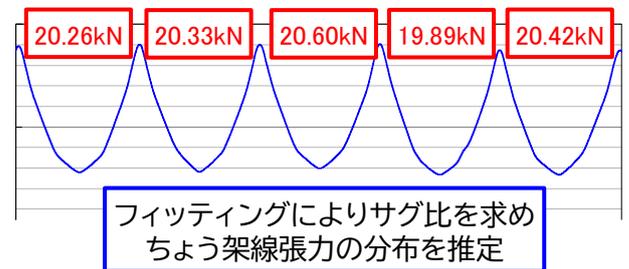
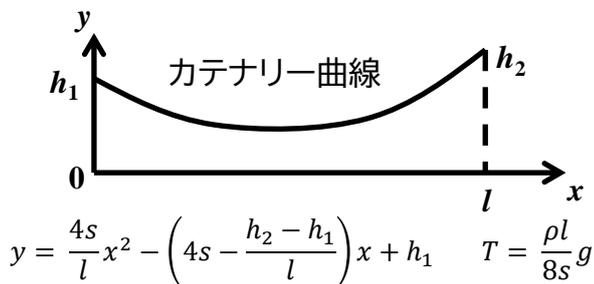
	在来線用(左)	新幹線用(右)
取得画像	モノクロ / カラー	モノクロ
対応速度	130km/h / 45km/h	300km/h
撮像ピッチ	2mm	2.1mm
撮像範囲	パン廻り+引留・き電線	パン廻りのみ
その他	防水仕様(雨天時撮影不可)、営業車屋根上搭載可能	

電車線3次元静構造測定例

- 線種を自動で識別
- 静的な位置を測定可能
- 測定精度±50mm以内
- 繰返し測定精度±10mm以内
- AIによる電車線金具の位置検出

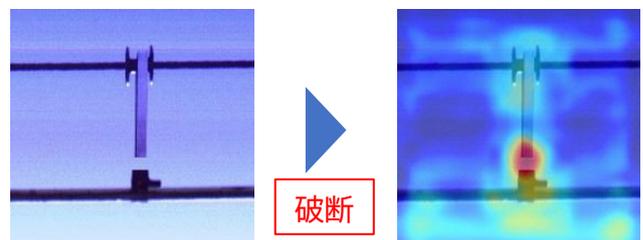


静構造測定活用例：ちょう架線静高さによる張力推定



AIによる金具異常箇所の可視化例

<p style="text-align: center;">形状異常</p> <p>変形 外れ 破断</p> <p>ボルト取付不良</p>	<p style="text-align: center;">色異常</p> <p>腐食</p> <p>示温材管理</p>
--	---



光切断式剛体電車線摩耗計測装置

地下鉄をはじめとしたトンネル区間で採用されている剛体電車線の保守管理を効率的に行うため、高精度かつ連続的に摩耗計測が可能な手法が求められています。そこで、光切断法を応用して剛体電車線の摩耗形状を測定し、高精度かつ連続的な摩耗計測が可能な装置を開発しました。

特徴

- 剛体電車線の方式として、狭小トンネル用アルミ架台トロリ線複合方式、T形アルミ架台トロリ線複合方式、導電鋼レールの摩耗計測が可能です。
- 摩耗計測精度は $\pm 0.5\text{mm}$ 程度です。
- 剛体電車線の高さ、偏位等も同時に測定可能です。
- 小型のため、保守用車の作業台等に容易に設置できます。
- 保守用車搭載の場合、 30km/h 走行時、最小 20mm 間隔での計測が可能です。

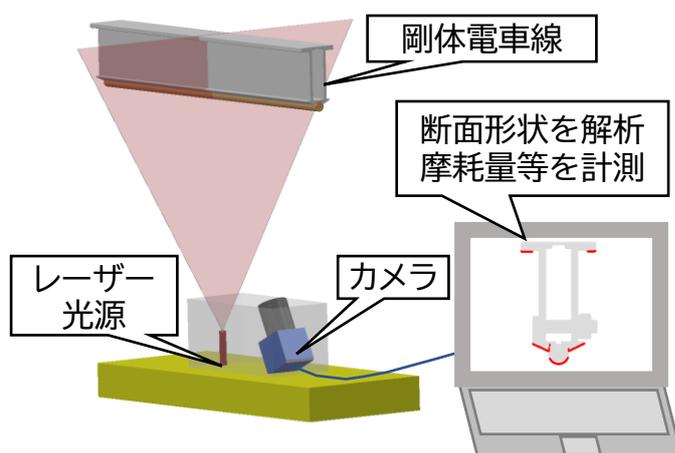
用途

- 剛体電車線の摩耗を連続的に把握できます。
- 摩耗管理のDX化に活用できます。

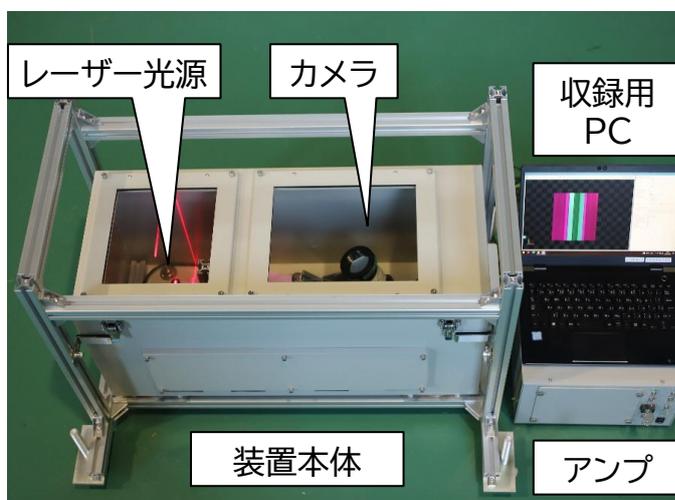
活用例

鉄道事業者からの依頼に応じて、測定を実施しています。

計測装置の概要



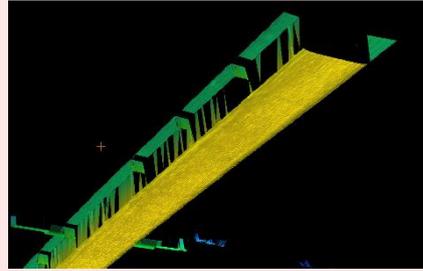
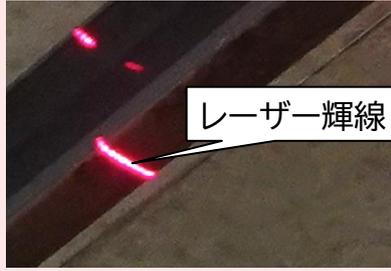
計測装置の概観



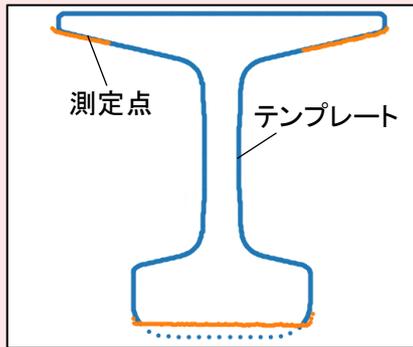
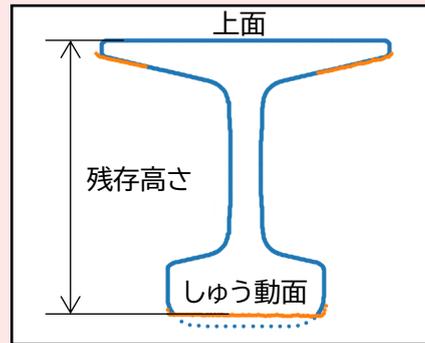
本装置は、日本電設工業株式会社との共同研究で開発しました。

電力技術研究部(集電管理)

剛体電車線の摩耗計測手法

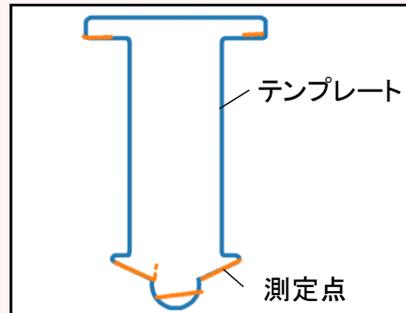
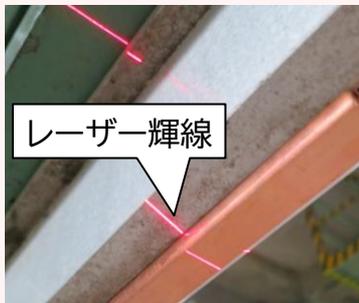


① 断面形状を測定

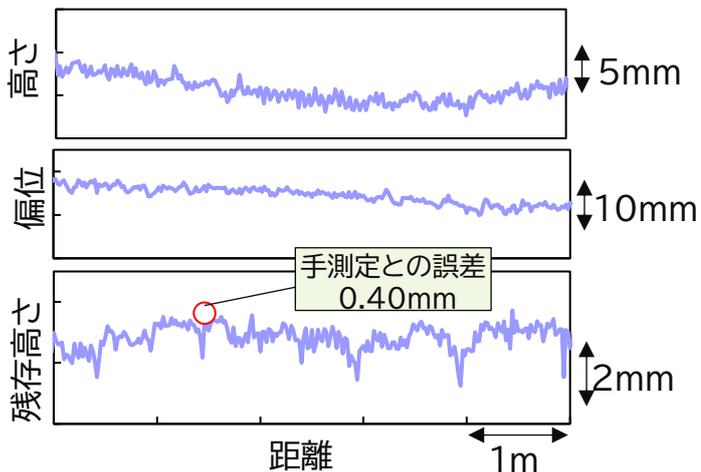
② マッチングアルゴリズムにより
角度、位置を補正

③ 残存高さを計測

狭小トンネル用アルミ架台トロリ線複合方式、
T形アルミ架台トロリ線複合方式、導電鋼レールに対応



導電鋼レールの計測状況



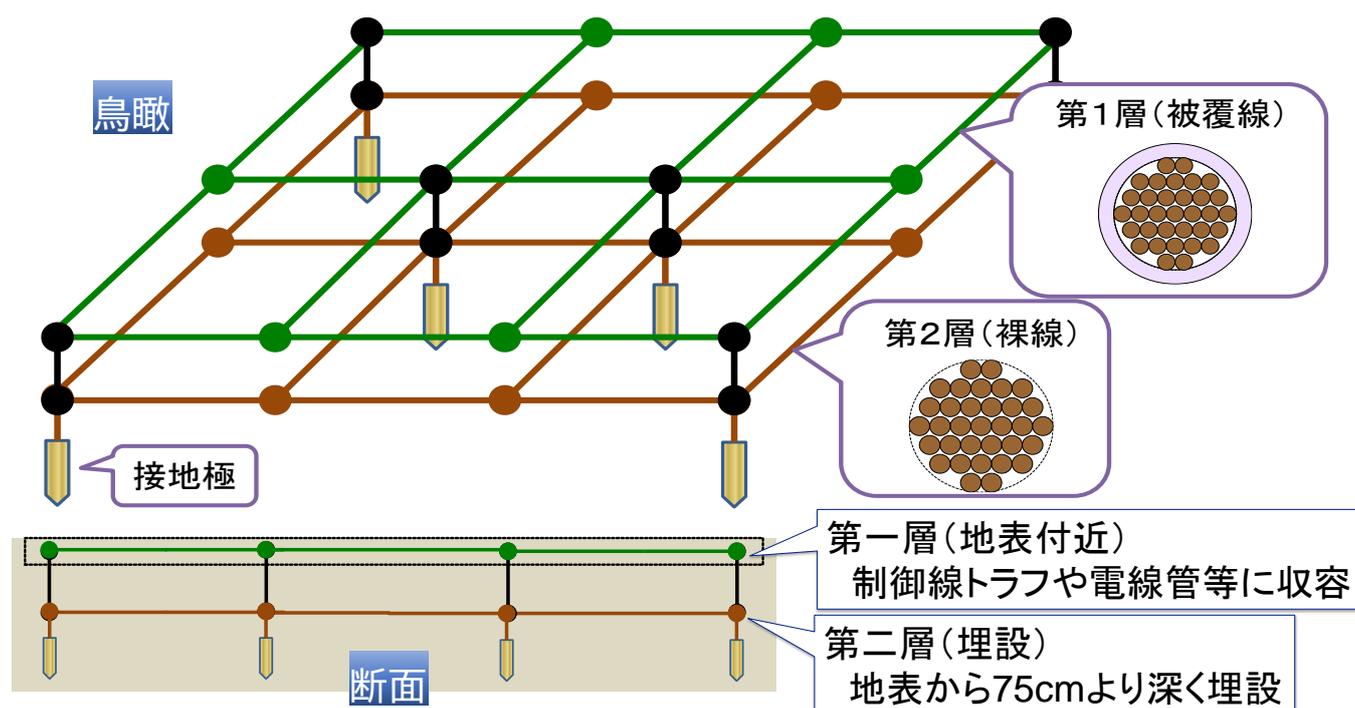
電力設備等の耐雷性向上のための 二層構造メッシュ接地

落雷(雷害)は、鉄道の安定安全輸送における大きな気象リスクの一つです。電力設備の制御装置に対する電子機器やネットワーク装置の適用が進み、電力設備の耐雷性向上が重要となっています。耐雷性向上における効果的な方策の一つに、接地システムの強化があります。

特徴

- 地中に埋設された裸線によるメッシュと、地上付近に敷設された被覆線によるメッシュとの、二層構造で構成される耐雷性向上可能なメッシュ接地です。
- 避雷器や架空地線など他の雷保護設備の効果も高めることができます。

二層構造メッシュ接地の基本構成



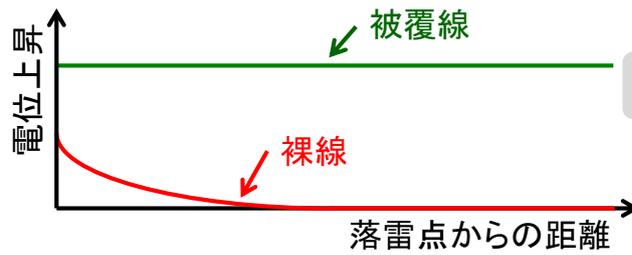
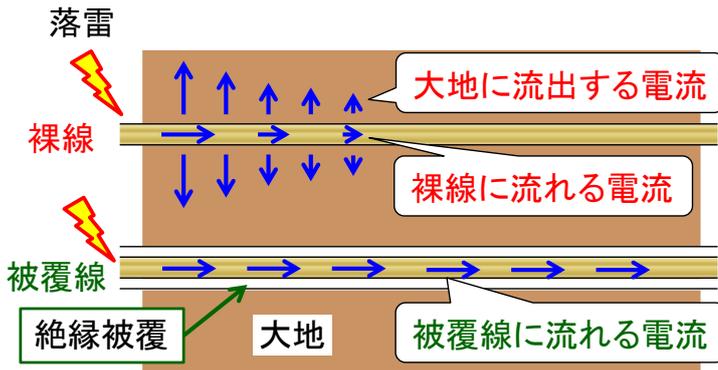
用途

- 変電所等の電力設備に対する機器接地(メッシュ接地)として適用可能です。
- 既設のメッシュ接地に対しても簡易な改良工事で適用可能です。

活用例

鉄道事業者において、変電所メッシュ接地の改良工事に活用されています。

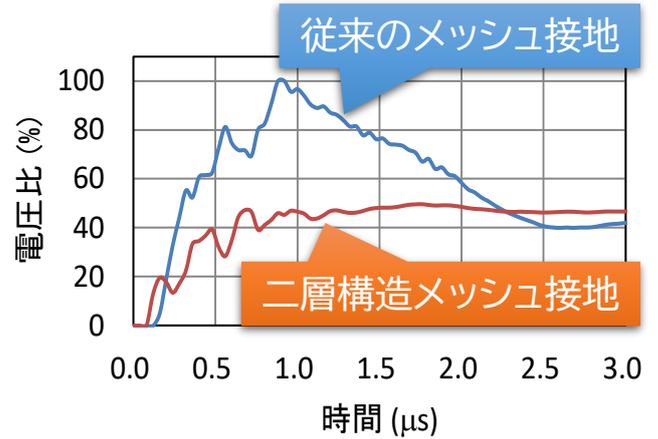
裸線と被覆線の伝搬特性の違い



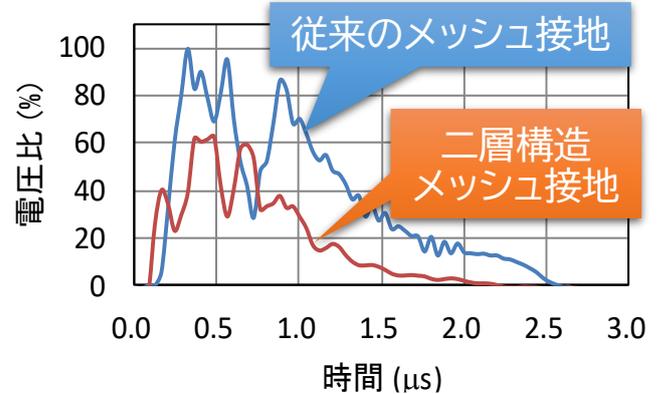
裸線は雷撃時の電位上昇が小さいですが、伝搬距離が短いためメッシュ接地内の電位差が大となる課題があります(上図)。一方、被覆線には逆の特性があります。

そこでこれら両者を並列の二層構造とすることで、右上図の試験結果では従来のメッシュ接地に対して、雷撃時の電位上昇と電位差(ピーク値)を 50% 程度に低減できました。他の接地改良手法と組み合わせれば、さらに効果が期待できます(下図に一例)。

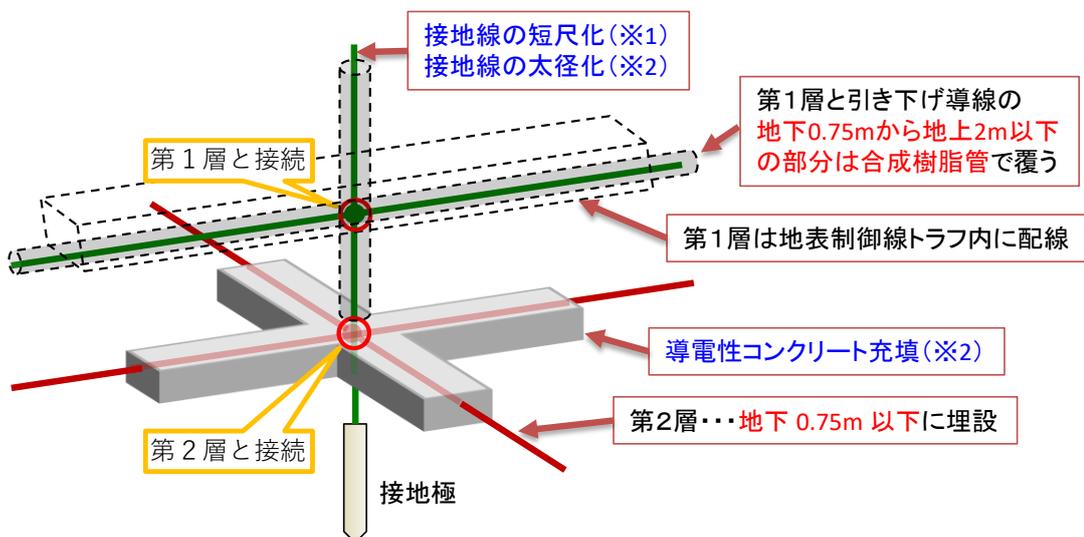
雷撃時のメッシュ接地電位上昇(実測)



雷撃時のメッシュ接地内の電位差(実測)



他の接地改良工事を併用した接地極付近での施工法例



【文献】

※1 林屋均, 小口紀男, 山本浩志, 松浦和史: 電気学会論文誌B, Vol. 134, No. 2, pp. 121-126, 2014

※2 馬庭和之, 信田慶二, 小原敏明, 田原岳, 若槻豊, 伊東和彦, 田中弘毅, 山野井隆, 川原敬治: 電気学会研究会, TER-14-036, 2014

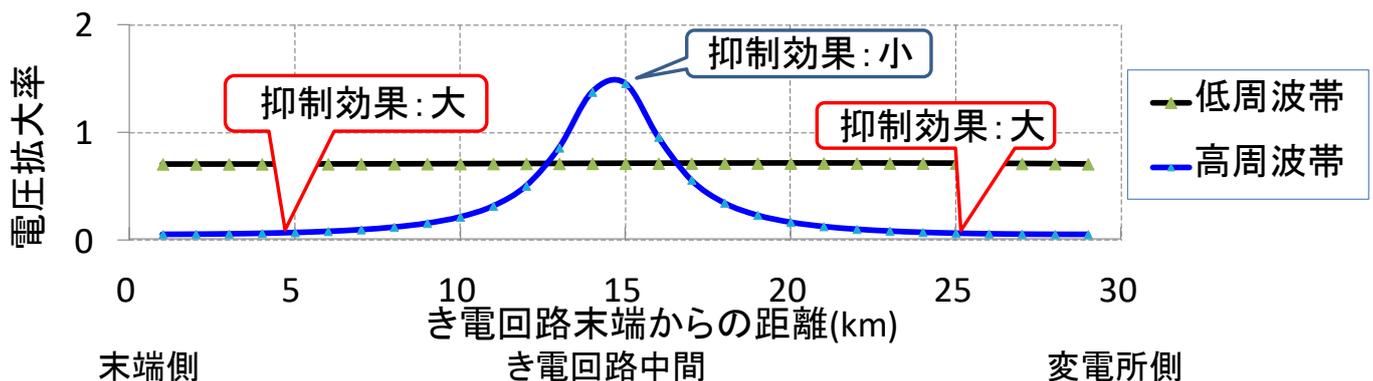
き電回路の高調波計算手法

PWM制御車の普及に伴い、交流き電回路において高調波電圧共振とそれに伴う過電圧現象などが顕在化しつつあります。本手法では、PWM制御車とき電回路との間で生じる共振現象を正しく考慮した解析を行うことで、共振抑制装置の設置位置による導入効果の違いなどを計算することができます。

特徴

- 自励式PWM制御車による電圧共振も考慮した高調波共振解析を行えます。
- 共振抑制装置の導入効果が計算可能で、例えばき電回路末端側または変電所側いずれに装置設置しても抑制効果があります。

共振抑制装置の設置位置と電圧共振の抑制効果



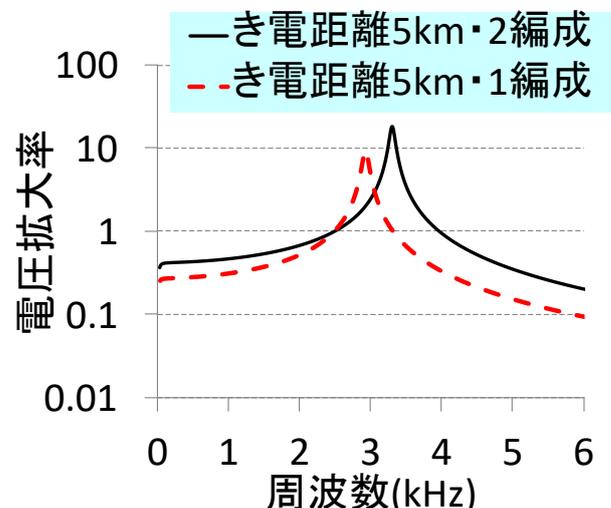
用途

交流電化新線建設・新型車両導入・き電設備改良時において、高調波電圧共振に関して、共振抑制対策による抑制効果の確認が可能です。

活用例

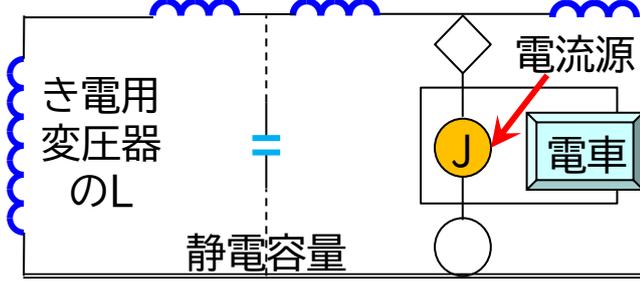
鉄道事業者などからの依頼に応じて、シミュレーションを実施しています。

列車編成数と共振周波数や電圧拡大率との関係



高調波共振の解析モデル

き電回路のL(※ L:インダクタンス成分)

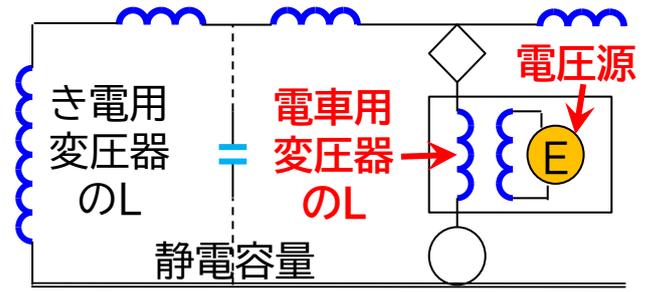


変電所側

き電区間末端側

従来理論

き電回路のL

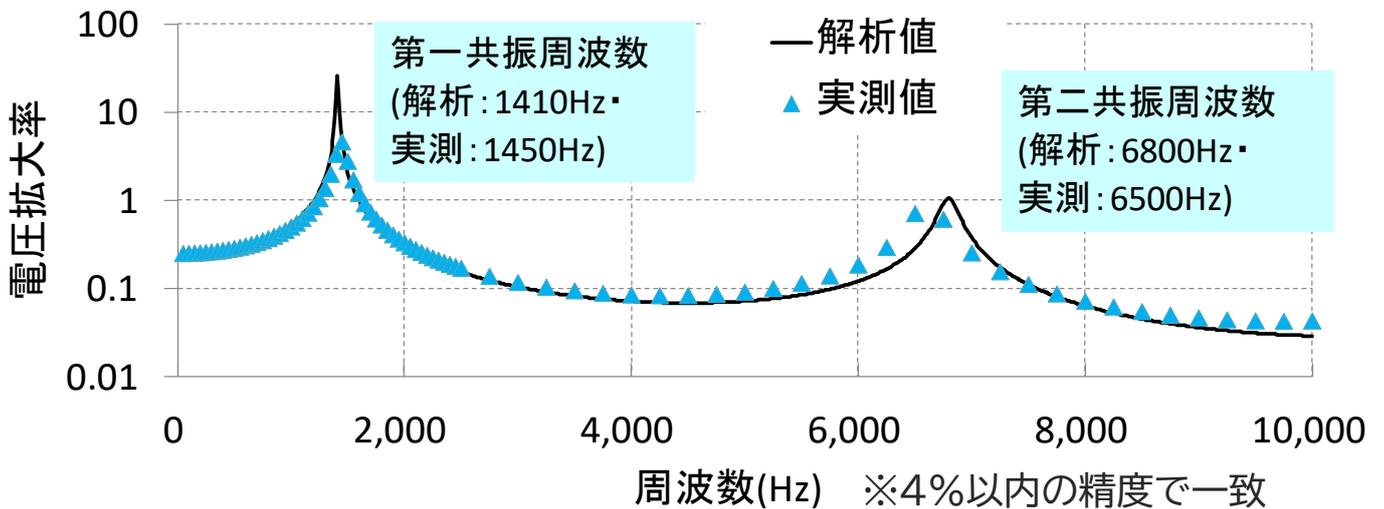


変電所側

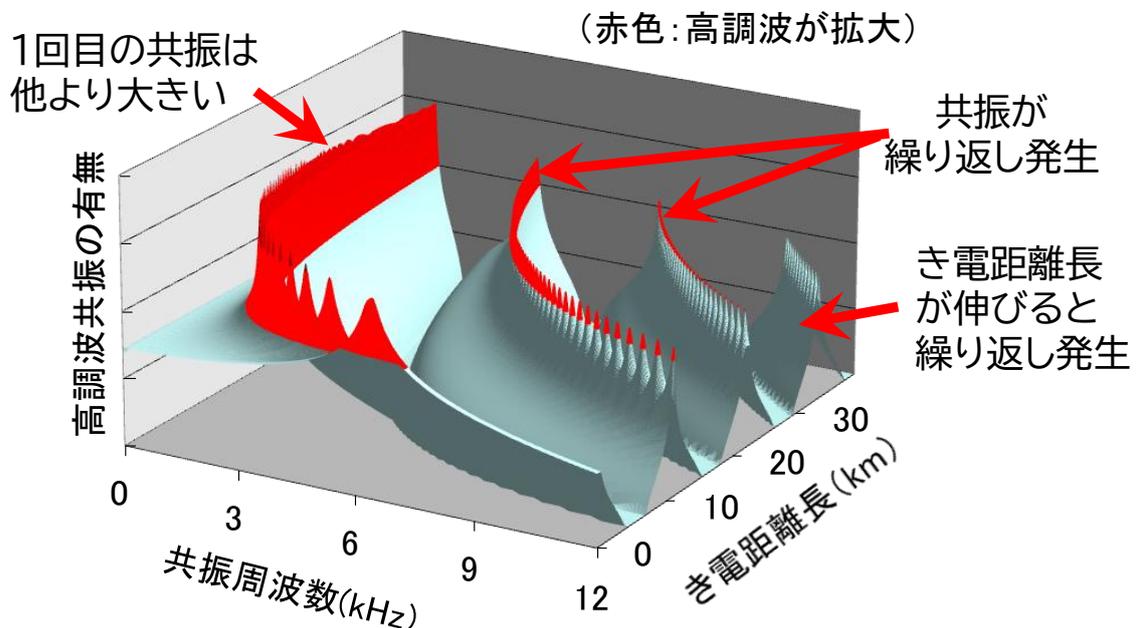
き電区間末端側

自励式PWM制御車を考慮した
高調波計算手法

実測による解析モデルの妥当性検証



き電距離長と高調波電圧共振現象との関係



信号

車上データベース搭載型パターン式ATSによる自動運転システム

少子高齢化や生産年齢人口減少などの状況の中、地域鉄道を含めた鉄道ネットワークを低コストで維持するための解決策の一つとして、自動運転が挙げられます。従来、自動運転システムはATC(Automatic Train Control)をベースに構築されていましたが、本システムは車上データベース搭載型パターン式ATS(Automatic Train Stop)をベースとし、高機能ATO(Automatic Train Operation)との組合せにより低コストでの自動運転を実現しました。

特徴

- ATCと異なり、車上データベース搭載型パターン式ATSでは不足する機能を補うために、ATOを高機能化するとともに、フェイルセーフ性を持たせました。
- 車上データベース搭載型パターン式ATS(ATs-Dx)と高機能ATOの組合せにより、ATCベースの自動運転システムと同等の安全性を確保しています。
- ATs-Dxをベースとすることで、地域鉄道で導入障壁となるATCへの置換えが不要となるため、大きなインフラ投資を伴わずに自動運転を実現できます。

保安と自動運転の機能分担

	ATCベースの自動運転システム	ATSベースの自動運転システム
自動運転機能	ATO ● 安全関連機能なし	高機能ATO ● 安全関連機能あり ● 保安装置機能の一部を担う
保安装置機能	ATC ● 安全関連機能あり	ATS-Dx ● 保安機能あり

用途

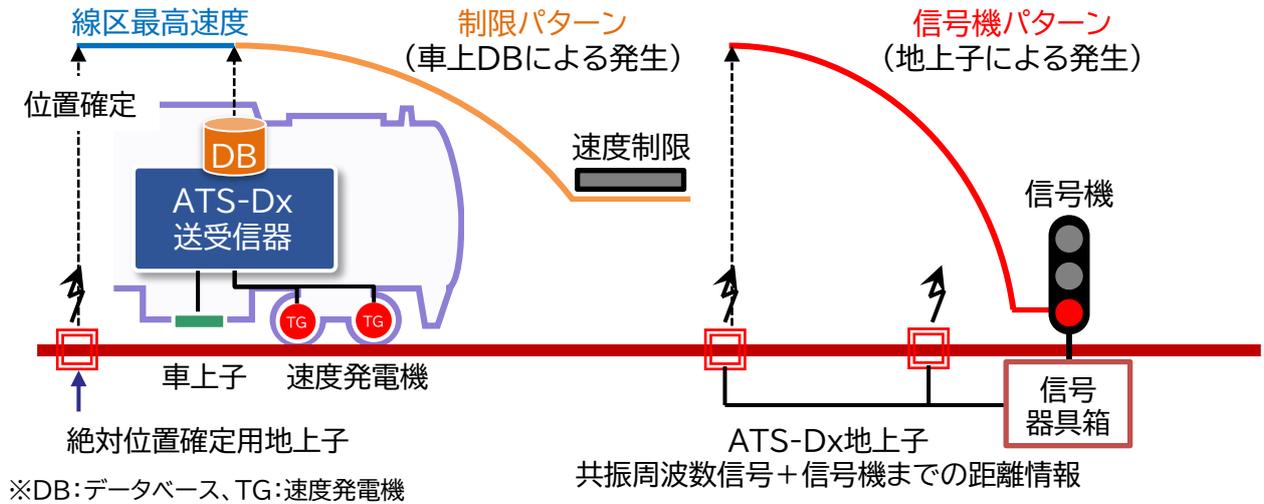
車上データベース搭載型パターン式ATSベースの自動運転システムとして、導入できます。

活用例

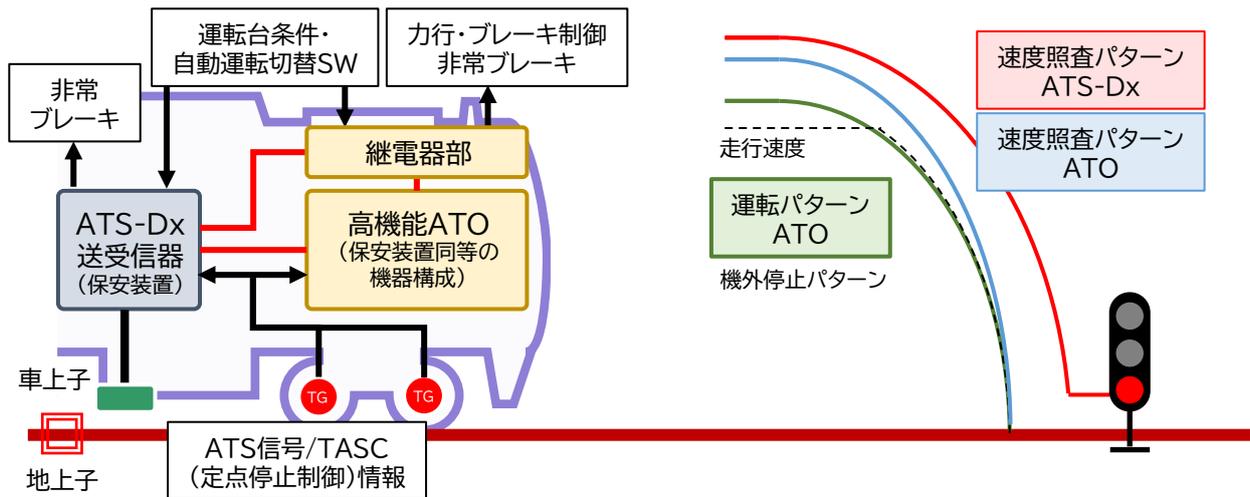
鉄道事業者において、車上データベース搭載型パターン式ATSベースの自動運転システムとして、活用されています。

車上データベース搭載型パターン式ATSのシステム構成と制御概要

車上データベース搭載型パターン式ATSとして、ATS-Dxを活用。



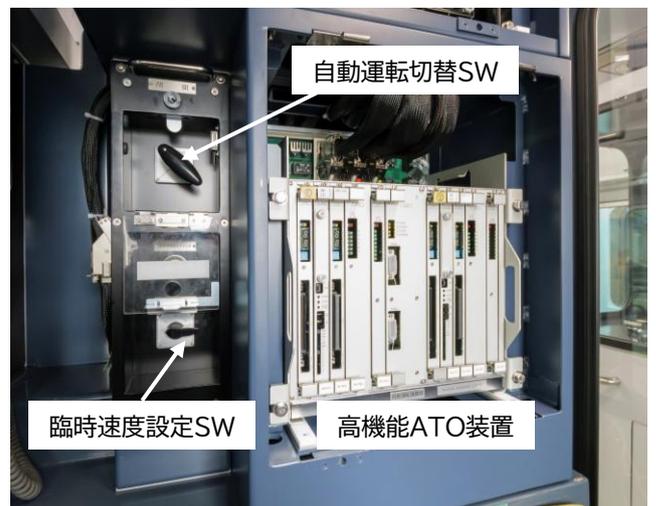
車上データベース搭載型パターン式ATS(ATS-Dx)による自動運転システムの構成と制御概要



運転台周辺機器・スイッチ類



高機能ATO装置



車載カメラによる沿線設備の 状態診断システム

線路沿線の信号通信関係の設備は駅および駅間に点在して設置されているため、線区全体の設備の位置、種別の把握、設備の個別検査といった設備管理に大きな労力がかかっています。このような現場の作業負担を省力化するため、ハンディカメラのみを用いて設備管理業務を支援するシステムを開発しています。

特徴

- 一般的なハンディカメラだけでデータ取得できます。
- 列車前方の映像から、設備を認識しそのキロ程を推定します。
- 映像に対してキロ程でのフレーム検索が可能です。
- 床下装置で撮影したような俯瞰画像を生成できます。
- 俯瞰画像上では距離を計測することができます。

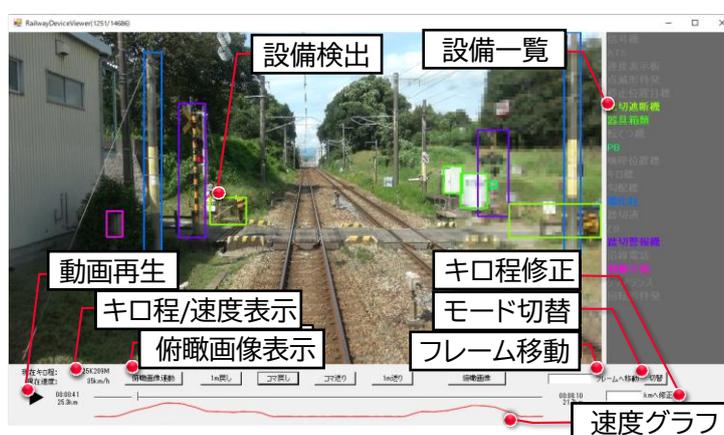
用途

- 目視で確認している作業の一部を代替することができます。
- 工事設計や設備管理の支援ツールとして活用できます。

活用例

鉄道事業者において、設備管理の支援に活用されています。

システムの表示例



データ取得方法

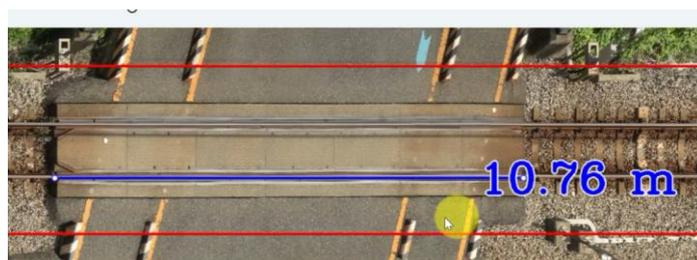


ビデオカメラを用意

カメラはしっかり固定

シャッターは短く設定

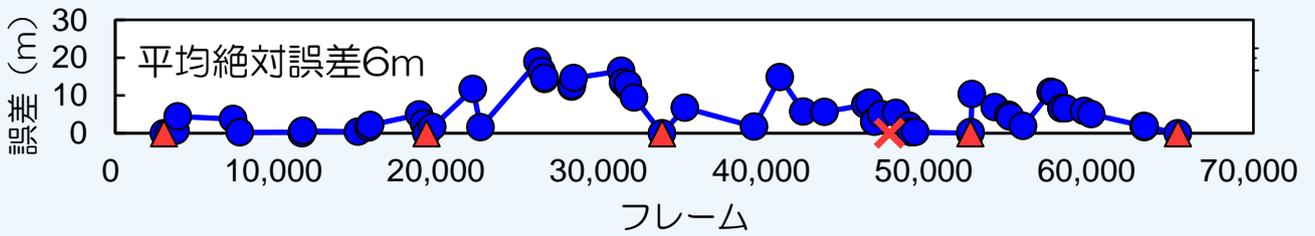
システム上での俯瞰画像の計測例



俯瞰画像

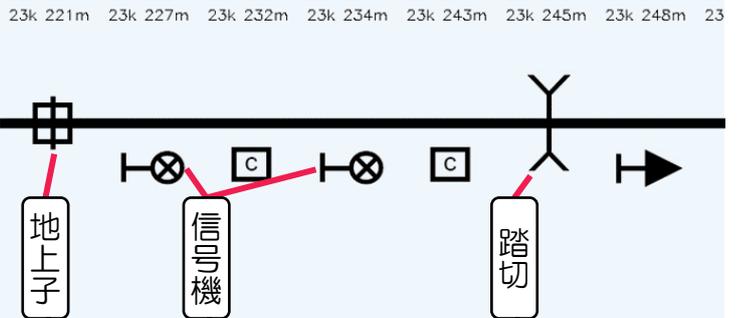
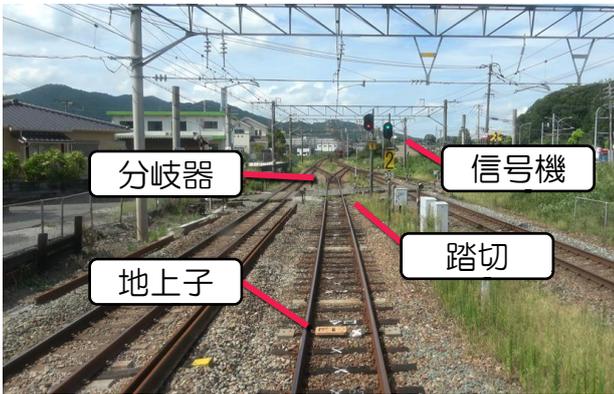


キロ程の推定精度



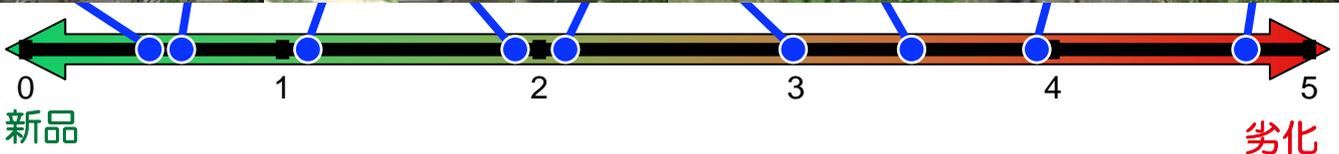
前方映像のみからキロ程が推定できます

簡易図面の生成



設備を認識し、簡易的な図面を生成

劣化度推定

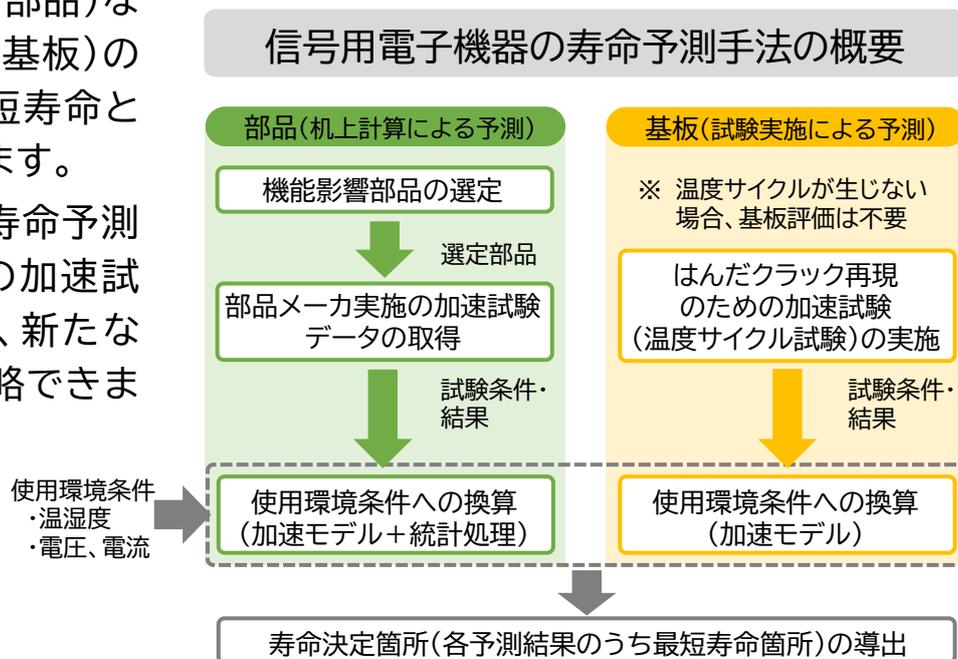


信号用電子機器の寿命予測手法

1980年代後半以降、信号用電子機器の採用が進み、高機能化や省スペース化などの効果を発揮してきました。一方、信号用電子機器は故障の予兆を捉えることが難しく、適切な取替時期の設定が課題でした。本手法は、使用環境と故障メカニズムの関係を明確化することにより、寿命予測を行うため、適切な取替時期の設定を可能としました。これにより、保守の省力化に寄与します。

特徴

- 信号用電子機器の使用環境のうち、温湿度などの環境ストレスと電圧、電流などの動作ストレスに対応した故障メカニズムに基づく寿命予測が可能です。
- 構成される電子部品(部品)ならびにはんだ接合部(基板)の寿命予測を行い、最短寿命となる箇所を特定できます。
- 開発した電子部品の寿命予測手法は、部品メーカーの加速試験データを活用でき、新たな加速試験の実施を省略できます。



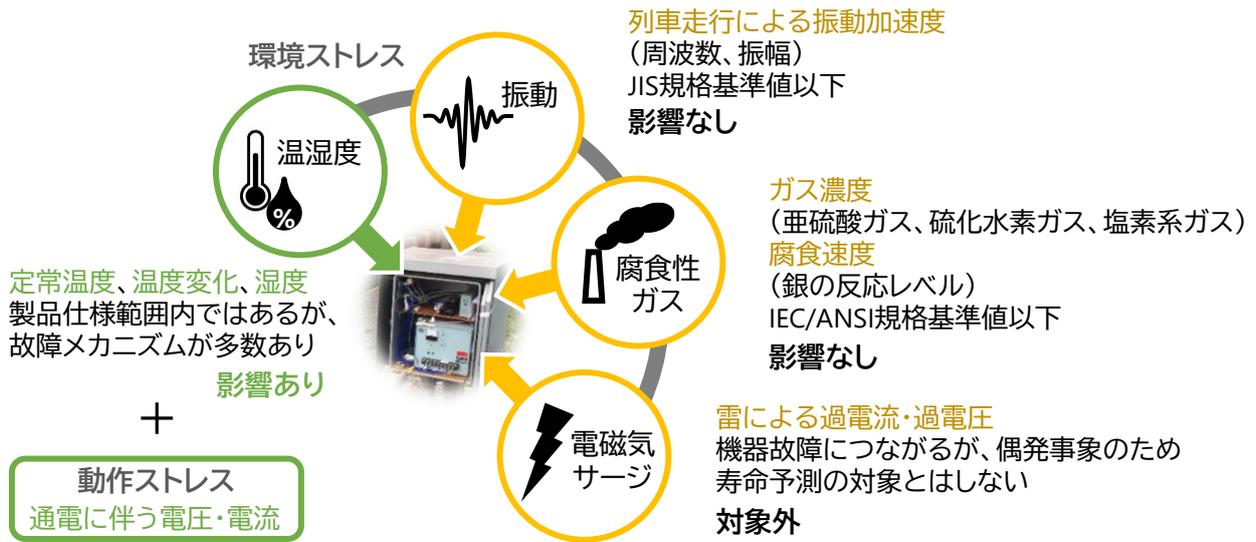
用途

- 電子連動装置や踏切用列車検知装置などの信号用電子機器に対する、取替計画の策定に役立てられます。
- 長寿命化ニーズに対応するための対策提案や対策効果の評価に活用できます。

活用例

- 鉄道事業者において、信号用電子機器の取替計画策定に活用されています。
- 信号工業協会発行の「鉄道信号用装置・機器の耐用寿命に関する検討書(第5版)」に本手法が反映されています。

信号用電子機器の寿命に影響する使用環境



部品メーカーの加速試験データを活用した寿命予測

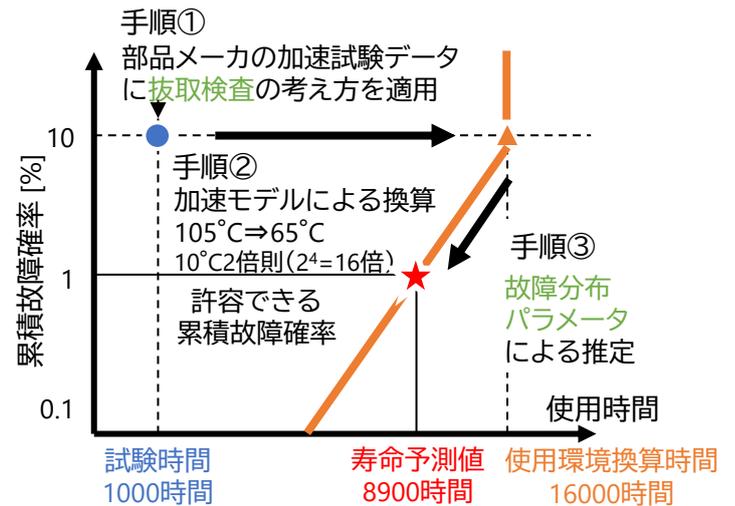
【例：アルミ電解コンデンサ】

10°C2倍則

(温度が10°C上昇すると寿命が半減)
※電解液蒸散による静電容量抜け

$$\text{加速係数} = 2^{\left[\frac{\text{試験温度} - \text{使用温度}}{10} \right]}$$

- 定常温度、電流
 - 電解液の蒸散
 - 容量低下、tan δ上昇
- 電気特性の変化メカニズム



ケーススタディ結果(踏切用列車検知装置の事例)

評価対象機器

評価対象選定
機器構成部品9点を抽出
(+はんだ接合部)

使用環境条件
鉄道総研(国立)設置の
収容箱環境

遮蔽板有 遮蔽板無

寿命予測結果

累積故障確率1%に至るまでの時間を予測

項目	箇所	要因	予測結果[年]	
			遮蔽板有	遮蔽板無
部品	半導体	高温	29.5	27.5
基板	はんだ	温度差	41	17
総合	—	—	29.5	17

アセットマネジメントによる 転てつ機メンテナンス手法

維持管理に多くの人工を要する設備の1つである電気転てつ機を対象として、過去の保全検査記録を分析し、検査周期を適切に見直す方法を開発しました。検査記録が残っていれば、他の設備に応用することもできます。このような方法は、アセットマネジメントと呼ばれ、道路分野でも用いられています。

特徴

- 各検査の結果として記録された「○」「△」などをもとに、故障や調整が生じる期間(劣化曲線)を求めます。
- この期間は、個々の設備ごとにばらつきが生じるので、現行の検査周期に対して、余裕がある設備の検査周期を見直すことで、検査周期を延伸します。
- 分析にあたっては、検査記録のデータだけでなく、設備種別や列車の走行条件のほか、個々の設備に特有のばらつきも加味できるようになっています。

用途

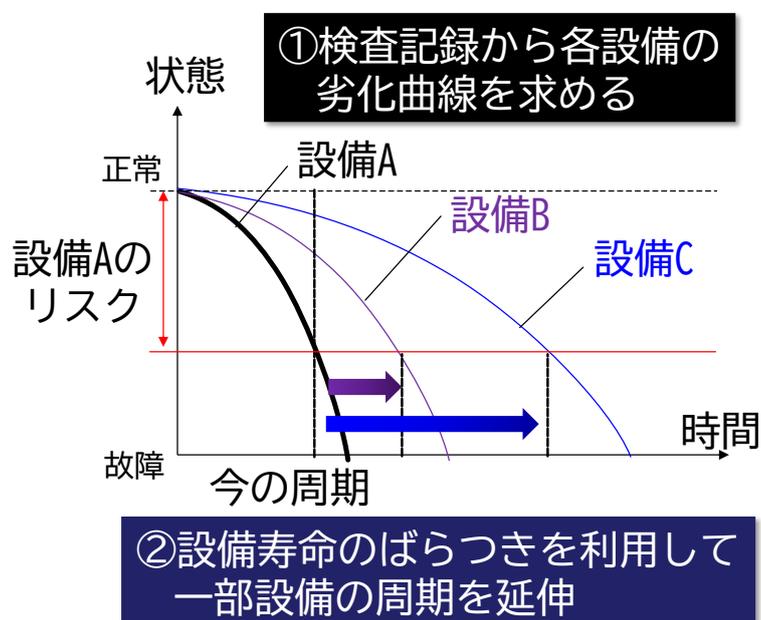
- 保全検査周期を見直す際の延伸期間や範囲の決定に活用できます。
- 走行条件や設備種別などに応じた検査周期や体制の構築に活用できます。

活用例

鉄道事業者において、電気転てつ機の保守計画策定に活用されています。

本技術開発は四国旅客鉄道株式会社と共同で実施しました。

検査周期の見直しの考え方



必要な検査記録

開発手法では、蓄積してきた「○」や「△」などの検査記録データの背後に存在する統計的性質を利用するため、検査結果データと設備台帳データがあれば、劣化曲線を算出することができます。

設備台帳データ

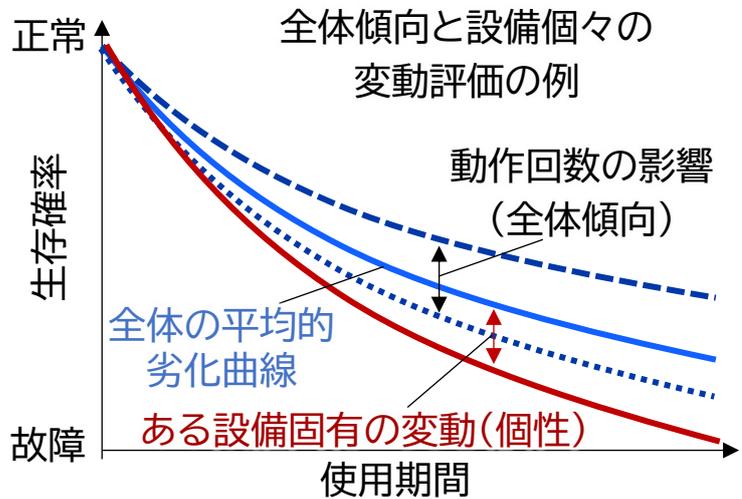
設備ID	線区	設備名称	用途	取付日	動作回数	...
1000001	●●線	001□	弾性	●●/△/1	××	...
1000002	●●線	010□	普通	○/△/0	◆◆	...
...

検査結果データ

検査日	検査種別	設備名称	ロックの良否		密着状態の良否	
			N	R	N	R
20●●/4/○	保全	001□	○	○	○	○
20●●/7/◎	保全	001□	○	△→○	○	△→○
...

設備個々の個性を統計的に評価

開発手法では、近年マーケティング分野などで発達した統計技術を用いることで、全体の統計的傾向（例えば転てつ機の動作回数など）だけでは説明できない設備個々の変動をデータから定量的に評価できます。

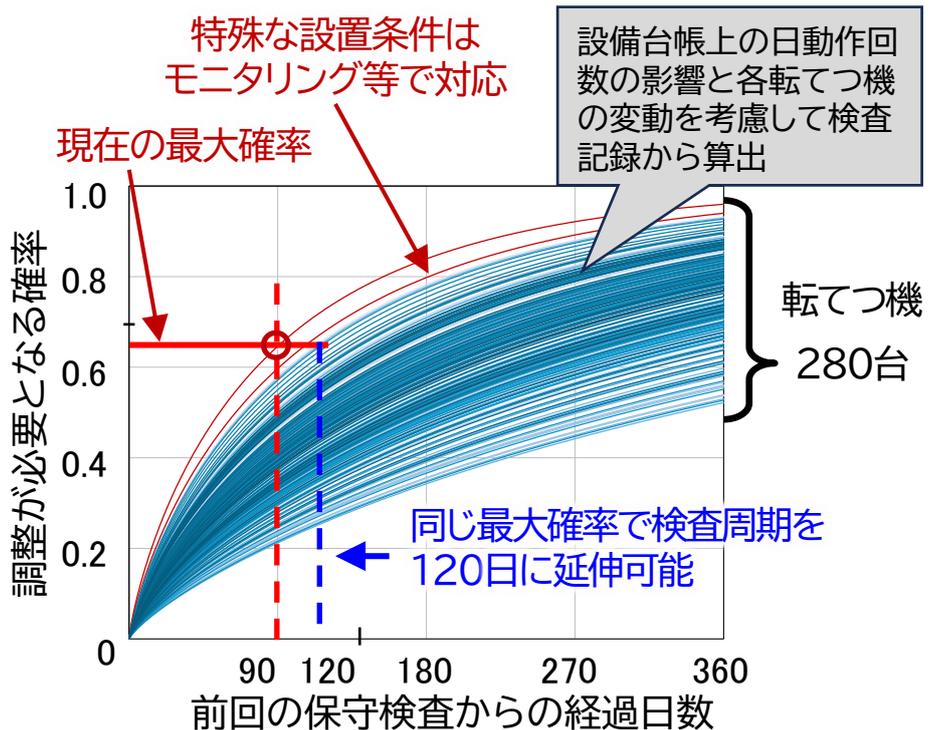


適用事例

保全検査周期の見直しの適用例を示します。

ある路線の280台分の劣化曲線を算出しています。

現在の検査周期90日を120日に延伸しても、調整が必要となる確率は現在の最大値を超えないため、ほとんどの転てつ機は、周期延伸が可能と判断できます。



開口量表示器

転てつ装置の検査の一つに、トングレールの先端を開口させて反力(密着度)を確認する密着度検査があります。この検査は、鉄片により開口量を確認し、密着度測定器で反力を計測する2名が必要です。加えて、検査者によって検査結果がばらつく課題がありました。開口量表示器は、センサで計測した開口量を密着度の検査者に通知することで、上記の解決と検査の省人化が可能です。

特徴

- 鉄片を用いた開口量の確認作業を本装置に置き換えることができます。
- 開口量確認のための鉄片操作が不要になるため、従来2名必要だった密着度測定を1名で実施できます。かつ、安定した測定結果が得られます。
- 所定の開口量に達したことを音によって通知するため、密着度測定器を用いた測定作業は従来同様に行えます。
- 相対変位を測定するため、トングレール先端が開口している箇所でも密着度を測定できます。
- 既存の密着度測定器と組み合わせてご使用いただけます。
- 磁石でレールに吸着するため、設置は短時間かつ容易です。
- 防水構造のため、雨天時の検査でもご使用いただけます。

開口量表示器を用いた密着度測定



用途

- 転てつ装置の密着度の検査と管理にご使用いただけます。
- 先端開口量0.5mm(弾性分岐器)、1.0mm(関節分岐器)の両方に対応します。
- 密着度測定の1人作業化により、転てつ装置の検査工数全体の削減が可能です。

活用例

鉄道事業者およびメンテナンス会社において、密着度検査の検査用機器として活用されています。

登録新案第3232951号 測定装置

信号技術研究部(信号システム)

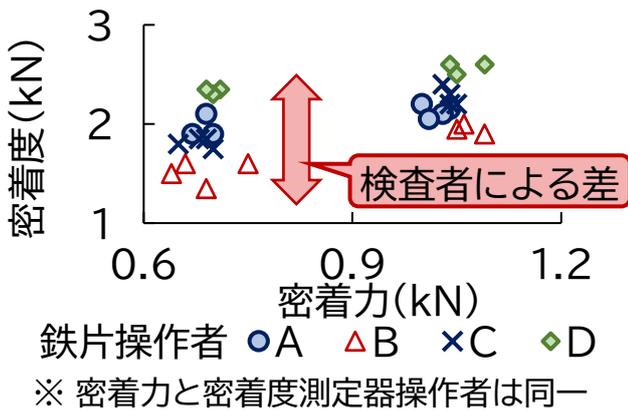
密着度の測定とその目的

直接測定が困難な密着力(トンダレールの保持力)を密着度(トンダレール先端の開口力)の大きさにて間接的に管理しています。



従来の密着度検査における課題

測定者や鉄片の挿入位置、方法等の違いによって、密着度の測定結果が検査者で異なる場合があります。



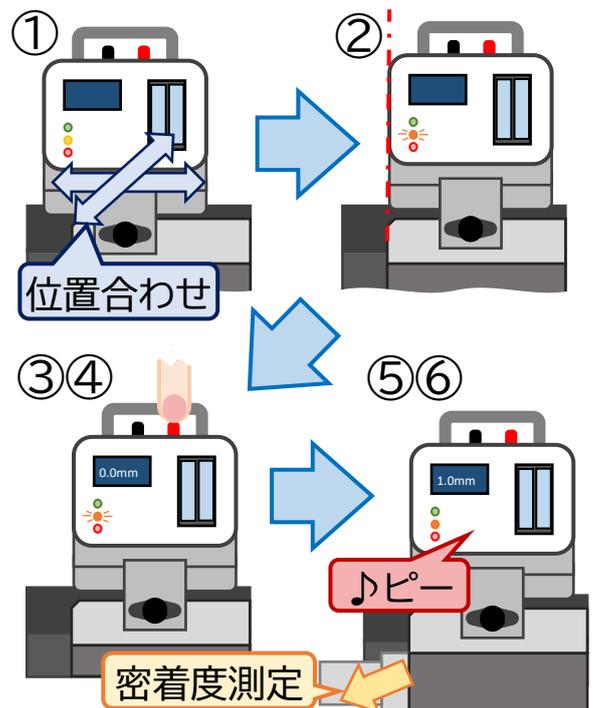
開口量表示器を用いた測定法の効果

密着度測定結果の検査者による差を小さくすることが可能です。

密着度 (kN)	最小値	最大値	差
従来手法 (鉄片使用)	1.35	2.35	1.0
提案手法 (開口量表示器使用)	2.1	2.5	0.4

開口量表示器を用いた密着度測定とその流れ

- ① 開口量表示器を基本レール上に設置し、磁石で吸着させます。
- ② 筐体端部をトンダレール先端に、レール直交方向の位置を本体の表示灯を目安にあわせます。
- ③ 通知する開口量をセットします。(0.5mmまたは1.0mm)
- ④ 変位センサのゼロ点をセットします。
- ⑤ 密着度測定器でトンダレール先端を開口させます(従来通り)。
- ⑥ 開口量表示器からアラーム音が出る際の密着度を読み取ります。



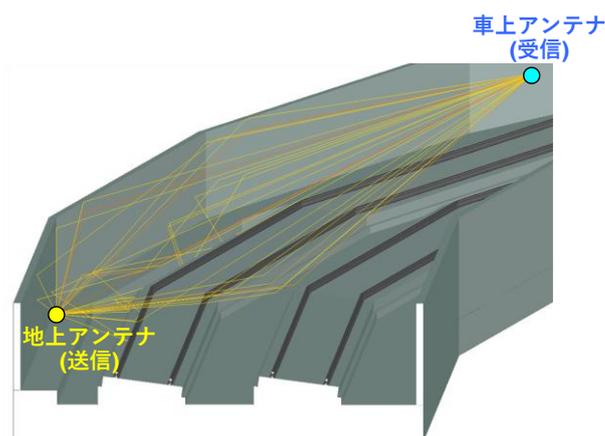
ミリ波による対列車通信システムの無線回線設計手法

走行する列車と地上との連絡には、無線による通信が欠かせません。近年、より多くの情報を伝送できるミリ波という新たな周波数帯が注目されています。鉄道環境におけるミリ波の伝搬特性を明らかにし、ミリ波を用いた列車無線システムの無線回線設計手法を開発しました。

特徴

- ミリ波帯では、現在の列車運行に使われている周波数帯に比べて、1チャンネルあたり100倍以上の広い周波数帯域が確保できます。
- 波長が短いために直進性が強く、遮蔽物の陰に回り込みにくい、防音壁やトンネル壁面での反射による減衰が少ないというミリ波帯の電波伝搬特性をシミュレーションで把握できます。
- バラストとスラブの違い、雪の影響に対するマージン確保の考え方など、実測から得られた伝搬特性を考慮した無線回線設計ができます。

曲線におけるミリ波の伝搬経路シミュレーション例



用途

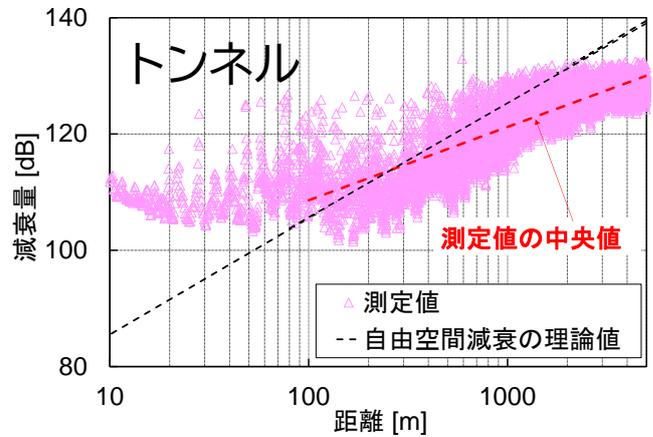
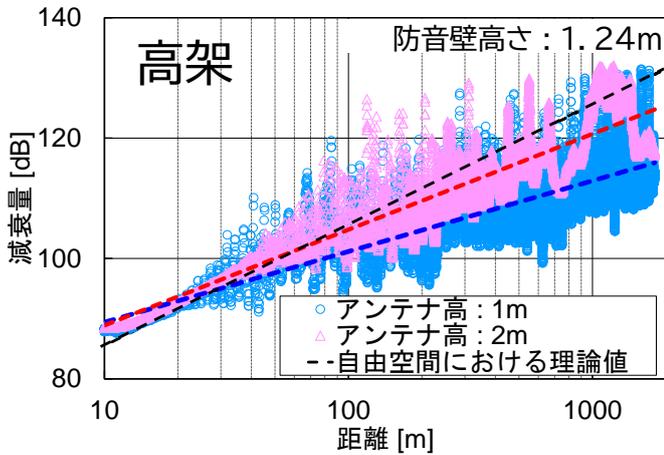
- ミリ波を用いて大容量のデータ伝送が可能な列車と地上間の無線通信システムを構築できます。
- 従来の音声に加えて、車両状態モニタリングのデータや車上に設置したカメラの映像データを伝送することができます。
- 無線式列車制御システムなどの制御用途の無線通信システムにも適用可能です。

活用例

鉄道事業者において、ミリ波を用いた無線通信システムを構築する際の設計に活用されています。

40GHz帯ミリ波の電波伝搬特性

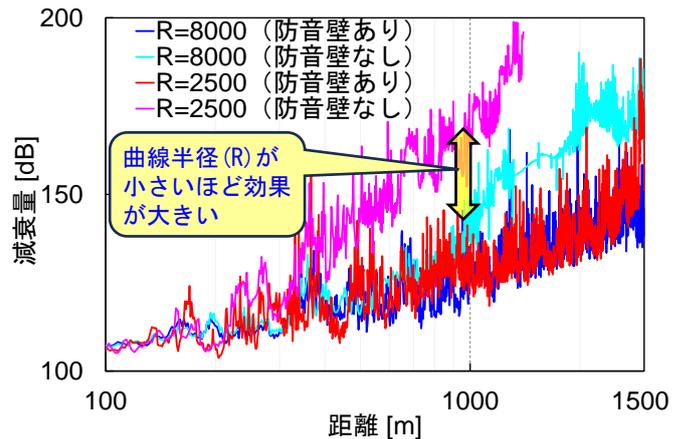
直線の高架・トンネルともに、遠方における減衰量が自由空間の理論値よりも小さいこと、高架ではアンテナが防音壁より低い方がより減衰量が小さいことなどを、実測により明らかにしました。



Copyright(C)2022 IEICE^[2]

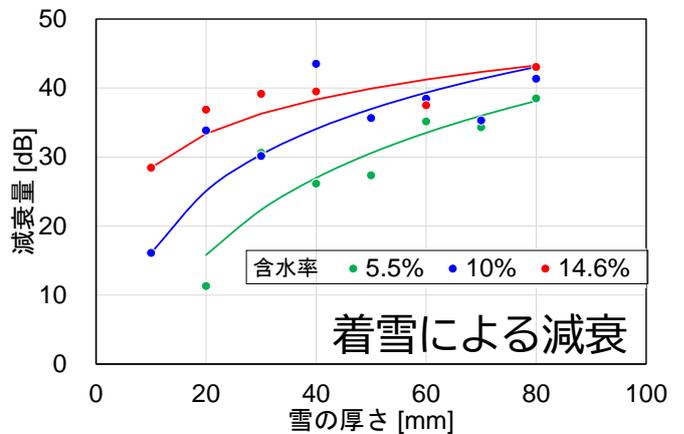
曲線における電波伝搬特性(40GHz帯)

曲線区間では、反射波により遠方(見通し外)まで電波が到達すること、曲線半径が小さいほど、その効果が大いことをシミュレーションにより明らかにしました。



雪による影響(40GHz帯)

降雪時の減衰は降雨時より小さく、降雨減衰に包含できること、アンテナ表面へ着雪があると、減衰が大きくなるため、着雪しないような対策が必要であることを実測で明らかにしました。



Copyright(C)2020 IEICE^[3]

[1]K.Nakamura et al., "Radio Propagation Characteristics of 40 GHz band Millimeter-wave on Curved Sections of Railway Environment," IEICE ComEx, Vol.12, Issue 9, pp.475-479, 2023

[2]中村他, "鉄道環境におけるミリ波の電波伝搬特性", 信学技報, vol. 121, no. 370, AP2021-161, pp. 16-19, 2022.

[3] K.Nakamura et al., "The attenuation characteristics of millimeter-wave by snow accretion," IEICE ComEx, Vol.9, No.12, pp.674-678, 2020.

運輸

運転曲線作成システムSPEEDY による閉そく割り検討支援

既存の運転曲線作成システム「SPEEDY」における運転時隔計算機能を拡張し、新線建設や線路配線改良時に必要となる閉そく割り(信号機配置)の検討作業を支援する機能を開発しました。

閉そく割りの評価機能、提案機能、編集機能の3つの機能により、閉そく割り検討作業の省力化と脱技能化が図れます。

特徴

- 【評価機能】信号現示の遷移(以下、信号現示系統)に対する減速距離や運転時隔(各信号機での列車の運転間隔)が条件を満たすかを、線路線形と併せて確認できます。減速距離計算は、複数車種を用いた信号設備検討用運転曲線から算出可能です。
- 【提案機能】ユーザーが指定する目標運転時隔を満たすよう、駅間の信号機配置を提案します。
- 【編集機能】閉そく長と減速距離の関係や時隔曲線を確認しながら、信号機位置や信号現示系統を編集できます。

用途

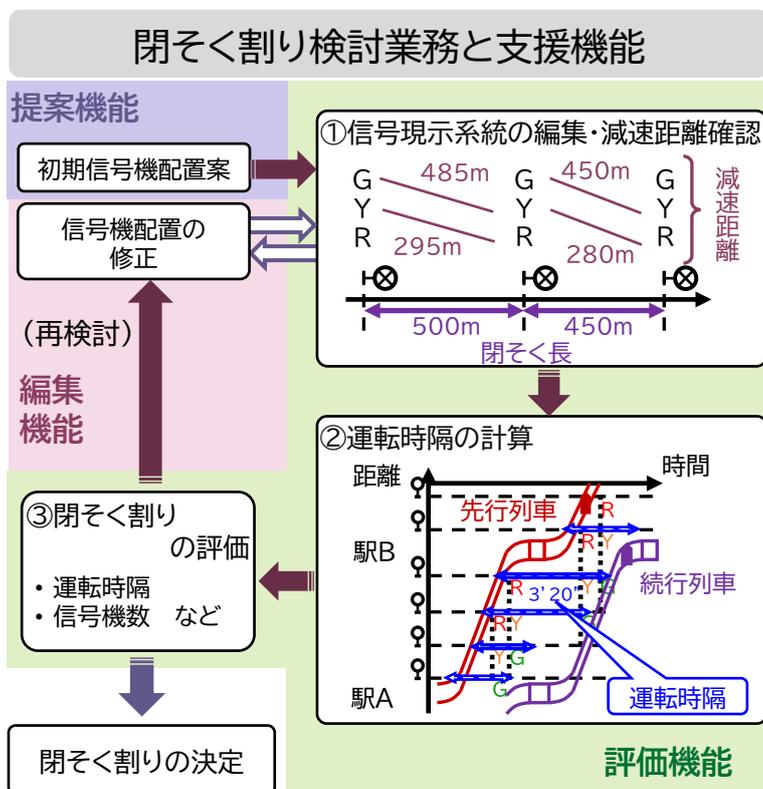
- 新線建設や線路配線改良時における閉そく割り検討作業の支援ツールとして、信号現示系統の編集や運転時隔の確認に活用できます。
- 閉そく割り検討作業にかかる時間を大幅に短縮できます。

活用例

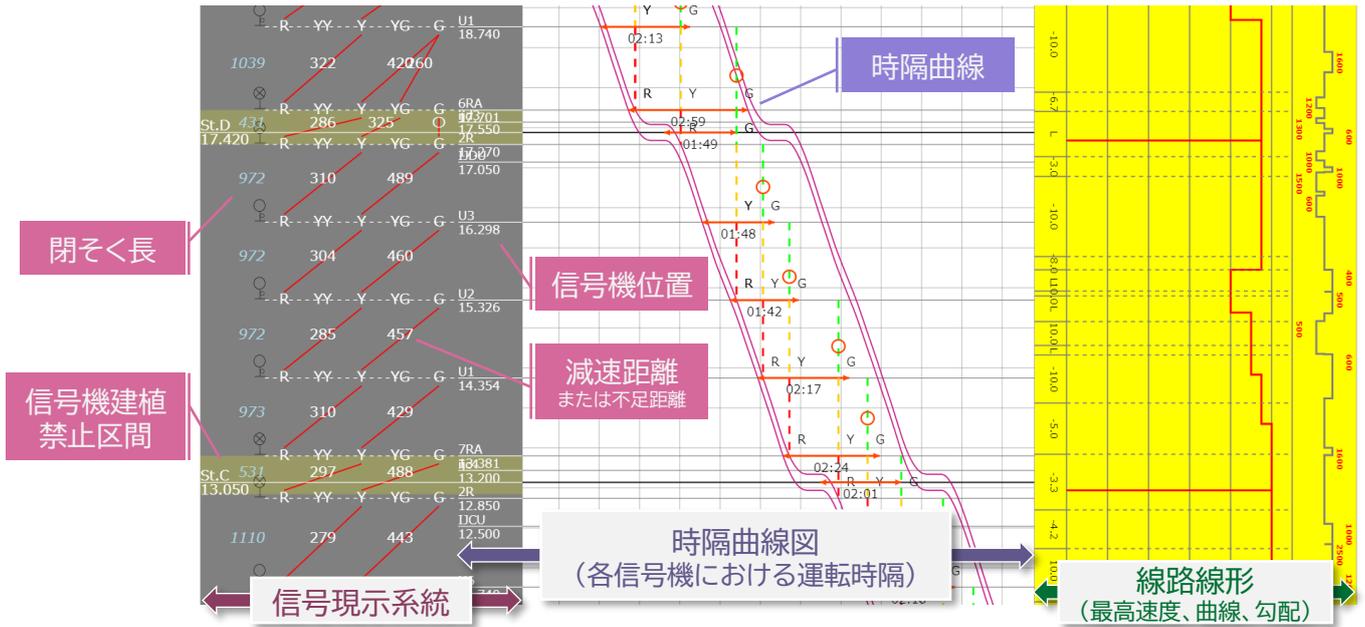
鉄道事業者において、信号機配置の検討に活用されています。

特許第7329465号

登録意匠第1680415号、登録意匠第1680416号、登録意匠第1680454号

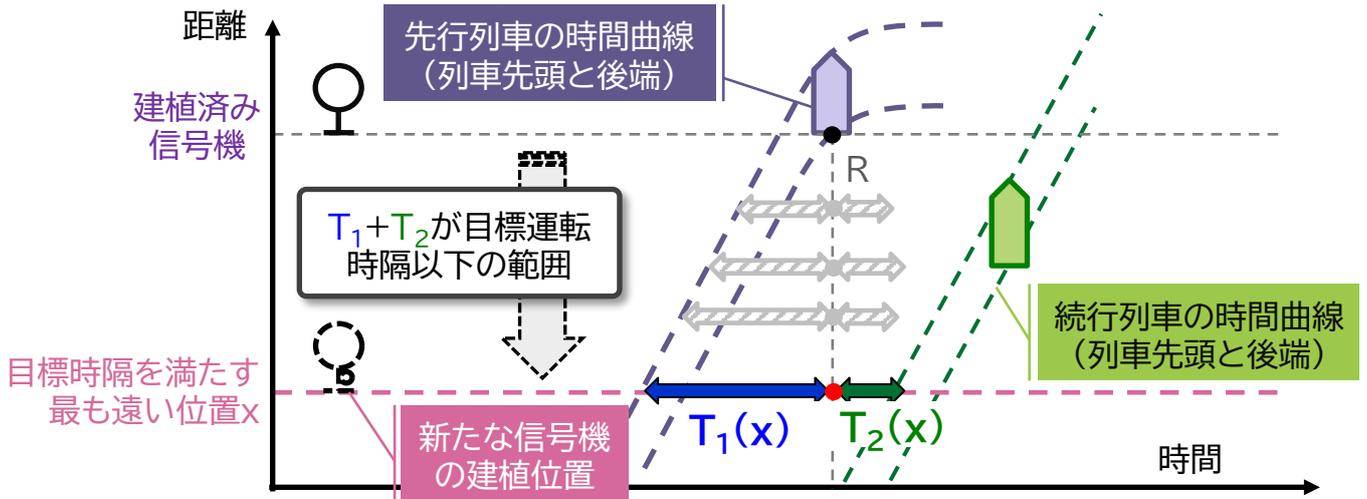


閉そく割り評価結果の例



時間を基準とした閉そく割り提案手法

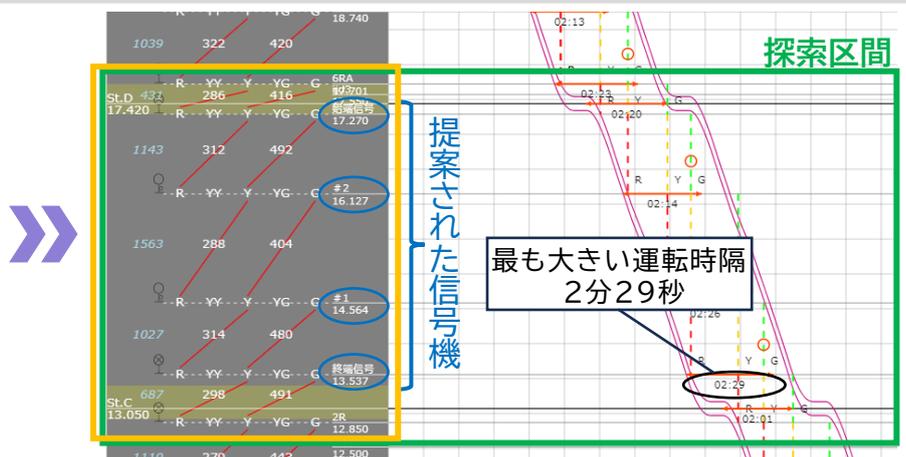
$$T(\text{目標運転時隔}) \geq T_1(\text{先行列車の通過時間}) + T_2(\text{続行列車の接近時間})$$



提案機能により作成された閉そく割りの例

探索条件

【閉そく割り】提案機能
<input checked="" type="checkbox"/> 閉そく割り提案を行う
始発側 場内信号* 6RA [17.701km]
終着側 出発信号* 2R [12.850km]
目標運転時隔[s]* 150



目標運転時隔を満たす閉そく割りを提案

列車遅延の影響度評価システム

日々の実績遅延データをもとに、遅延が他の列車や駅に波及する程度を影響度として定量化し、遅延対策が効果的な列車や駅を抽出するシステムを開発しました。

特徴

- 数分程度の慢性的な列車遅延に対し、ダイヤ改正での余裕時間の付与等、遅延対策が効果的な箇所(列車や駅)を抽出するシステムです。
- その箇所の遅延が、他の列車や駅に波及する程度を影響度として定量化します。
- 影響度が大きい遅延の発生頻度が高い箇所を、色付きダイヤ図で可視化し、遅延対策が効果的な箇所を抽出します。

用途

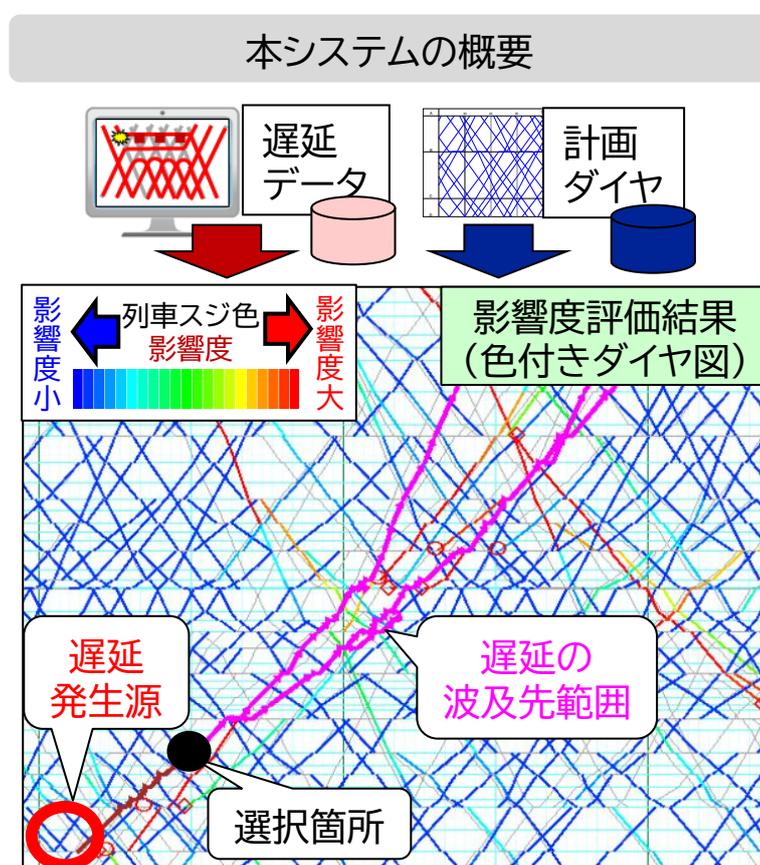
- 次期のダイヤ改正案の作成時に、余裕時間を付加する、先行列車の遅延が波及しないよう番線を変更する等、遅延対策の観点でダイヤを変更すべき列車や駅を選定する際に使用できます。
- 遅延が広範囲に波及しやすい駅や番線を抽出することで、軌道回路割の変更等、最小の列車発着間隔を短縮する設備改良案の検討にも使用できます。

活用例

鉄道事業者の輸送計画部門において、ダイヤ改正案の検討に活用されています。

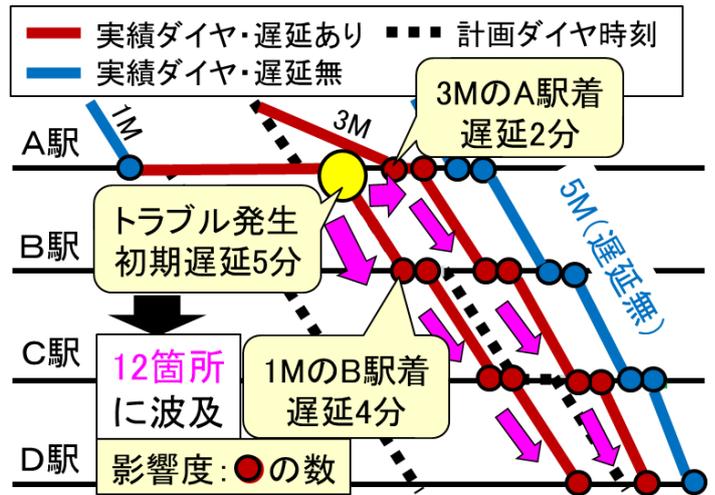
特許第7281389号

信号技術研究部(運転システム)



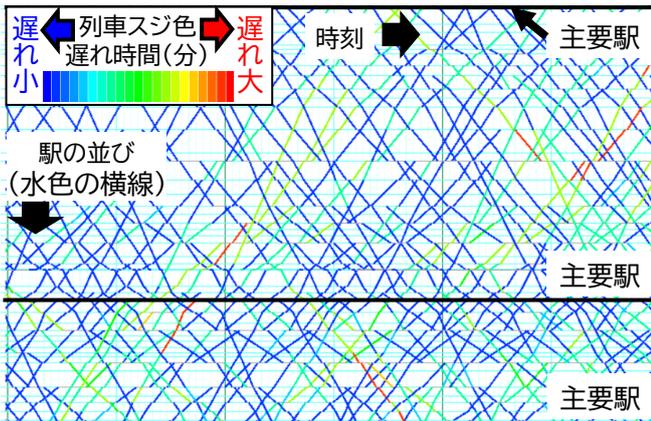
考案した遅延の評価手法: **影響度**

- 遅延量(〇分遅れ)ではなく、**遅延の波及箇所の数**を定量化します。
 - 遅延波及箇所: その遅延箇所と同じ**列車の次駅、同じ駅の後続列車で、遅延が継続する箇所**を特定します。
 - 各箇所で、対象日の影響度の平均値(または中央値)を算出します。
- 影響度が大きい箇所を対策すれば、一度に多くの遅延が解消されると考えられます。



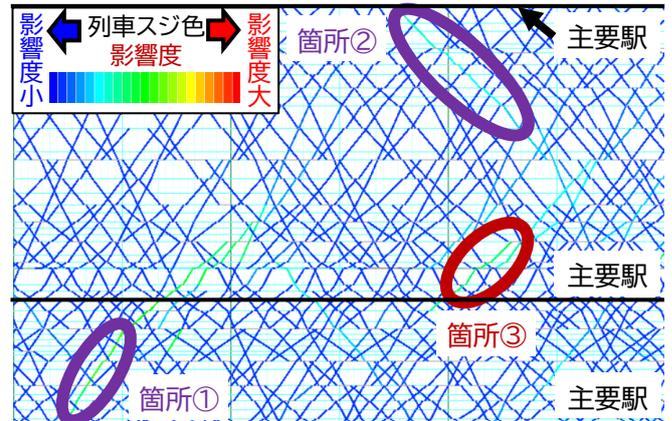
従来手法: **遅延量**(ダイヤ改正前)

遅延量が多い列車が多く、**どの列車や駅を対策すべきか不明**です。



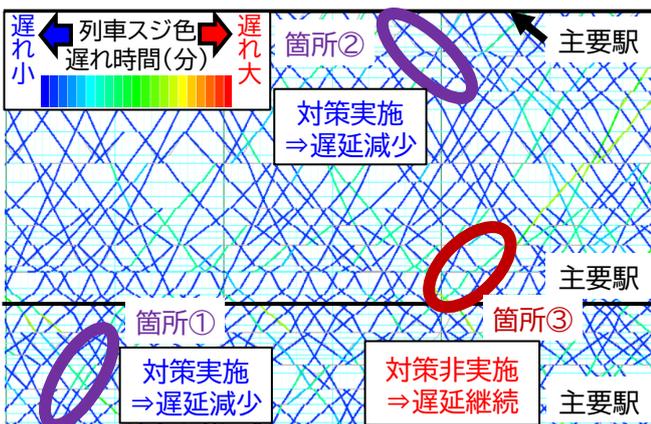
本手法: **影響度**(ダイヤ改正前)

影響度が大きく**遅延が波及しやすい箇所**は**限定的**(箇所①~③)となります。



ダイヤ改正で**箇所①、②**に遅延対策(余裕付加等)を実施

ダイヤ改正後の遅延量



- 遅延対策を実施した**箇所①、②**は、その周辺の列車や駅も含めて、遅延が**減少**する結果となりました。
- 遅延対策を実施していない**箇所③**は、その周辺の列車や駅も含めて、**多少の遅延が継続**する結果となりました。

整備作業計画自動作成手法

折返し駅や車両基地で、新幹線などの優等列車に対し、車内清掃などの整備作業を行う整備作業員の1日分の計画(整備作業計画)を、3分以内で自動作成する手法を開発しました。整備作業計画の作成業務の省力化・脱技能化、整備作業員の労働負荷の低減・均等化が図れます。

特徴

- 開発した自動作成手法は、折返し列車本数が最大150本程度(折返し駅)・最大50本程度(車両基地)の折返し計画に対し、3分以内の計算時間で整備作業計画を自動作成可能です。
- 自動作成手法により作成した整備作業計画は、担当者が作成した整備作業計画と比較して、整備作業員の労働負荷を低減可能であることを確認しました。具体的には、整備作業員の番線移動時間を、折り返し駅では平均25%、車両基地では平均56%削減可能であることを確認しました。
- 自動作成手法により作成した整備作業計画は、各整備作業班の整備作業本数差の上限など、多数ある優先度が高い制約条件を充足可能であることを確認しました。

用途

整備作業計画作成システムの自動作成ツールとして導入可能です。

活用例

鉄道事業者において、整備作業計画自動作成ツールとして、活用されています。

特許出願中

本技術開発の一部は明治大学と共同で実施しました。

整備作業計画自動作成手法
導入後のイメージ

現状



熟練の担当者による
手作業での作成

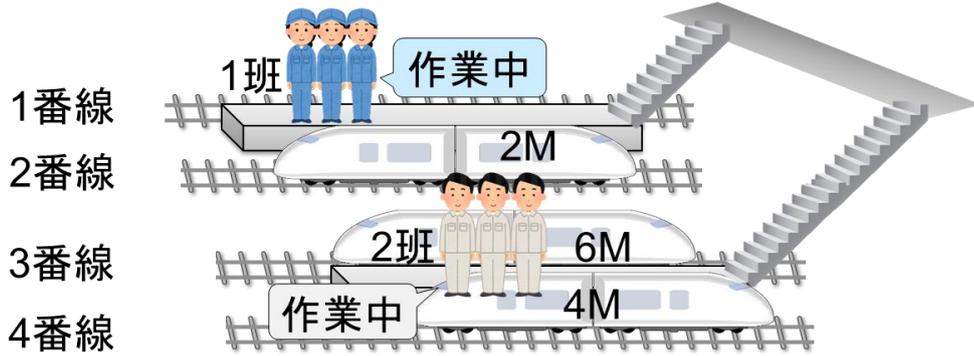


自動作成手法導入後



簡単な操作かつ**3分以内**で
自動作成可能

整備作業計画の概要



列車ダイヤ・車両運用

番線	10:00	10:30
1		
2	2M	
3		6M
4		4M

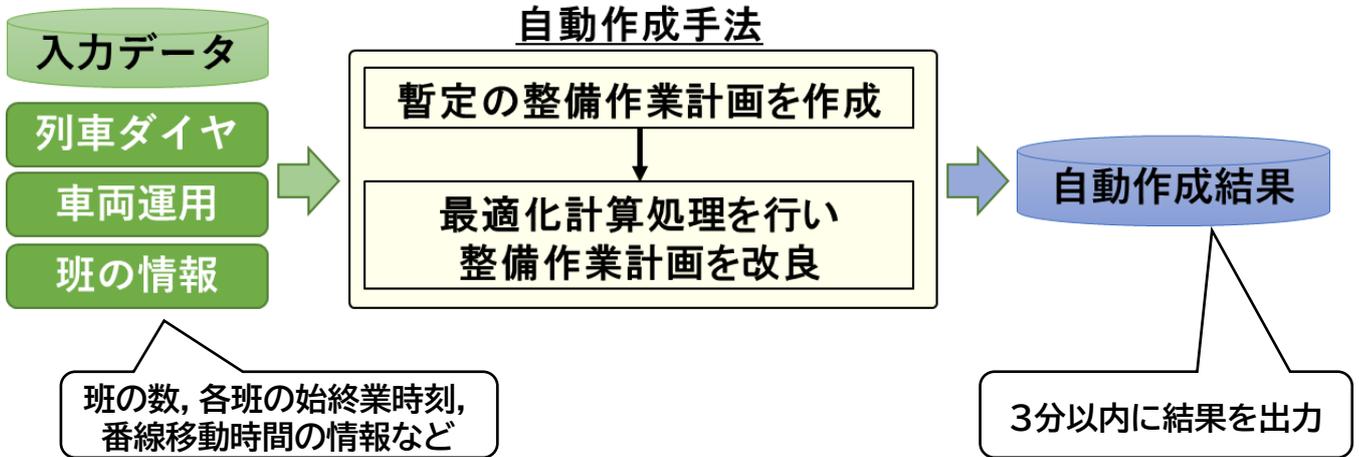
列車ダイヤや車両運用は毎日異なる

整備作業計画 1班

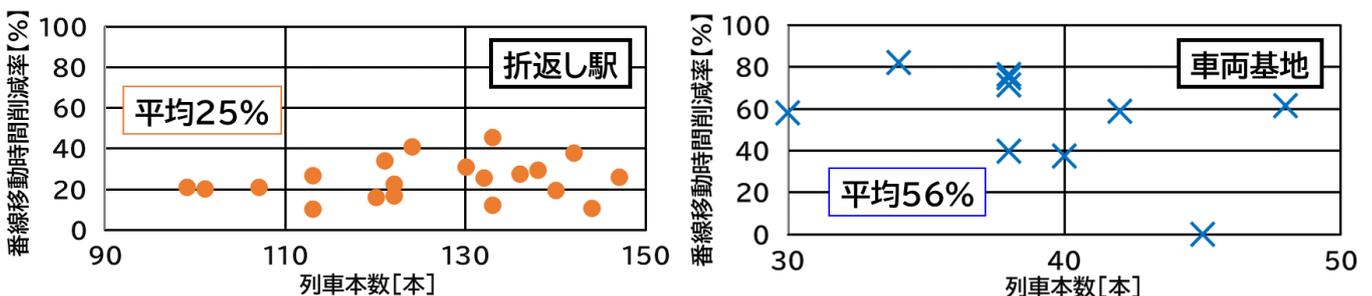
班	10:00	10:30
1	2M	6M
2		4M

日々異なる整備作業計画を作成

自動作成手法の概要



自動作成による整備作業計画の評価



鹿忌避音自動吹鳴装置

鉄道車両搭載型の鹿忌避音自動吹鳴装置を開発しました。この装置は、鹿の警戒声と犬の咆哮音を組み合わせた「鹿忌避音」を列車先頭から自動的に吹鳴し、前方の鹿を早期に逃走させることにより列車と鹿との接触事故を防止します。また、列車の位置情報を利用したきめ細かな吹鳴の自動制御により、接触事故防止効果と沿線環境への配慮を両立させます。

特徴

- 鹿忌避音の吹鳴により、列車と鹿との接触事故件数が36%減少しました。
- 同一線区、同一時間帯の列車で実施した3年間のくりかえし試験により、鹿の忌避効果の持続を確認しました。
- 鹿忌避音の吹鳴のON/OFFや音量を100m単位で任意に設定できるほか、時間帯、列車の速度や進行方向による吹鳴制御が可能な自動吹鳴装置を開発しました。

用途

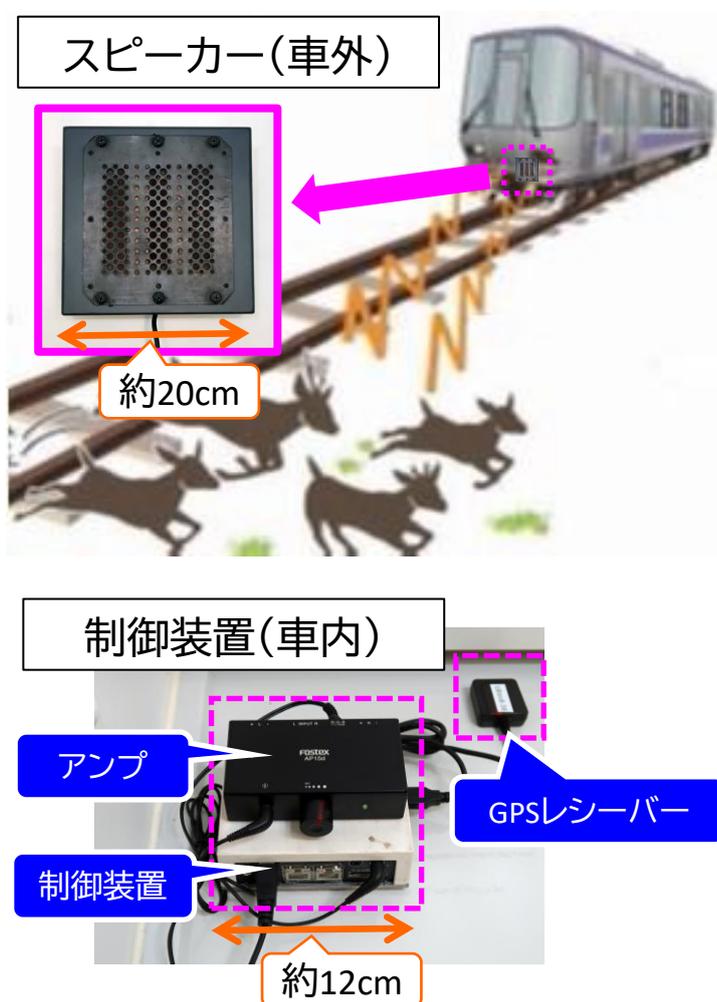
鹿が出没する山間部区間等において、鉄道車両の先頭部から自動的に鹿忌避音を吹鳴します。

活用例

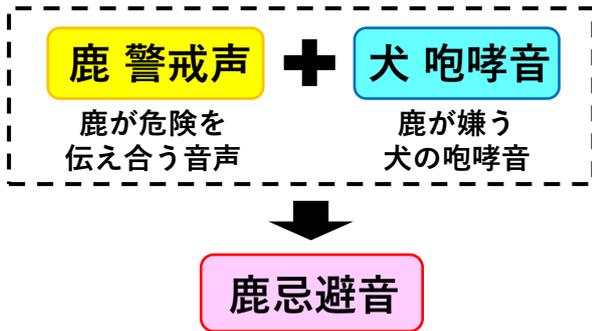
鉄道事業者において、列車と鹿との接触事故防止対策に活用されています。

本技術開発は一般社団法人北海道開発技術センターと共同で実施しました(特許第6858076号)。

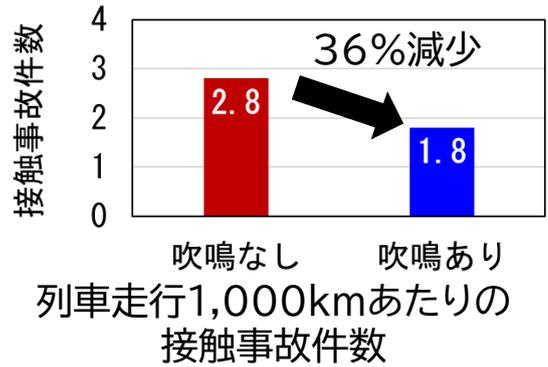
装置の設置例



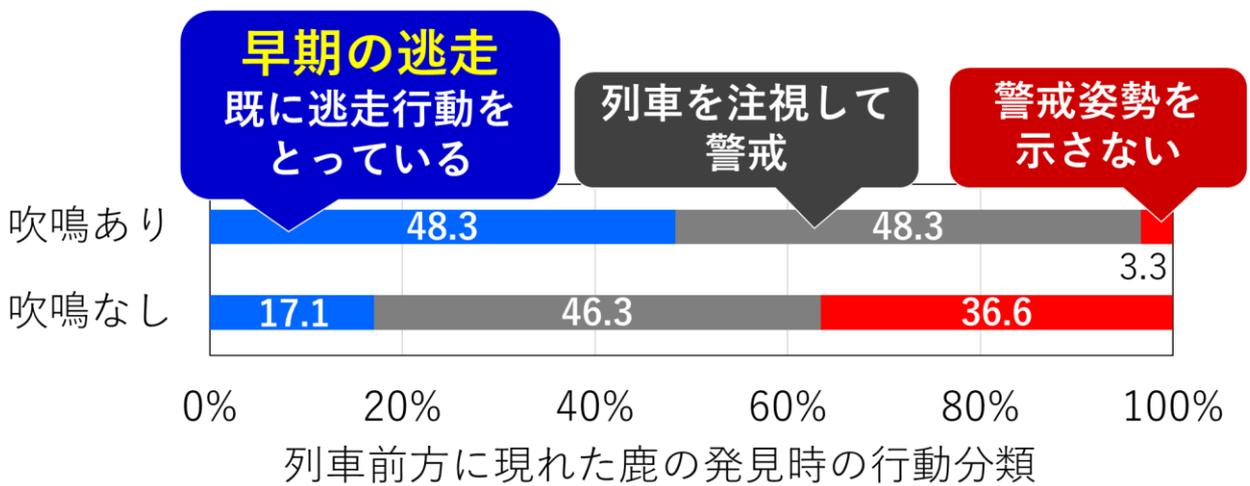
鹿忌避音とは



列車と鹿との接触事故を減らす

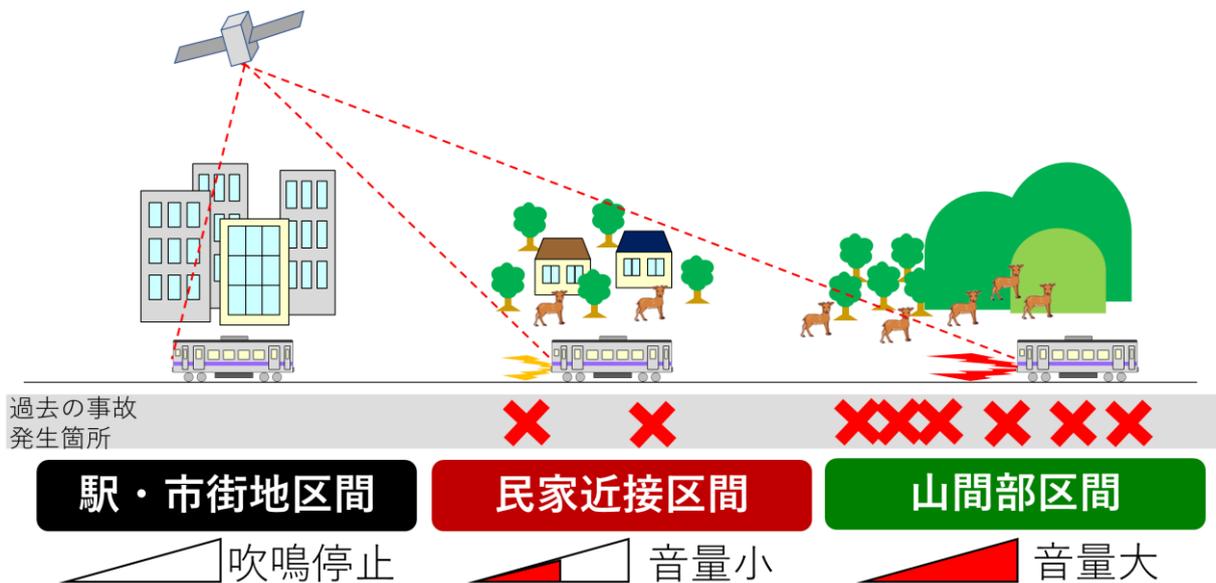


列車前方の鹿の逃走を促す



3年間のくりかえし試験や複数線区で同様の傾向

鹿忌避音自動吹鳴装置の動作



列車の位置情報を利用したきめ細かな吹鳴の自動制御

ヒューマンファクター

先取喚呼とその教育手法

失念(し忘れ)は、時には重大事故につながる可能性があり、その防止は安全確保のために重要です。失念を防止する手法として、鉄道総研では先取喚呼を提案しています。また、その先取喚呼の実施に対する動機づけを向上させることのできる教育手法を開発し、その手法を実施できる教育ソフトを作成しました。

特徴

- 先取喚呼は、し忘れてはいけないことを、あらかじめ(先取って)、実施しているところをイメージして喚呼したり、反復して喚呼したりすることで、失念を防ぐというものです。
- 先取喚呼には、イメージ型と反復型の2種類があり、本教育手法では、2つの先取喚呼の失念防止効果の体感学習と、メカニズム学習により動機づけを向上させます。

用途

- 先取喚呼は職種を問わず、失念防止のために使用できます。
- 教育ソフトは安全研修での教育プログラムにご利用いただけます。

活用例

- 鉄道事業者において、失念による事故の防止手法として、先取喚呼が活用されています。
- 鉄道総研が請け負う安全研修などで、本教育ソフトが活用されています。

特許第7062574号、喚呼のつり込まれエラー学習装置及び方法

特許第7330647号、先取喚呼による記憶エラー防止効果学習装置及び方法

先取喚呼(イメージ型)

区所などで、
イメージ型喚呼

A駅の先に臨時の
徐行区間あり。
出発時は、フル
ノッチを入れない。



先取喚呼(反復型)

運転中に、
反復型喚呼

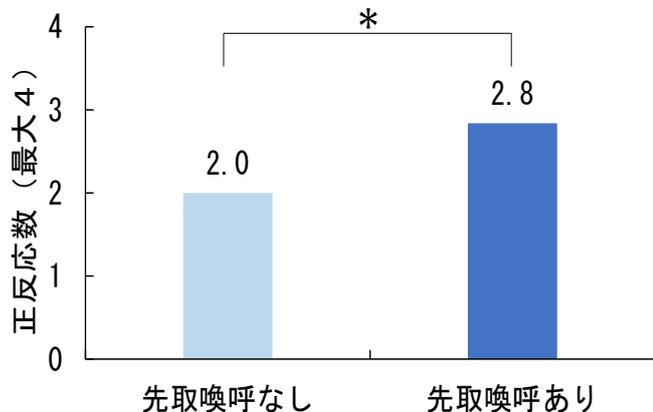
ボソッ

徐行、45



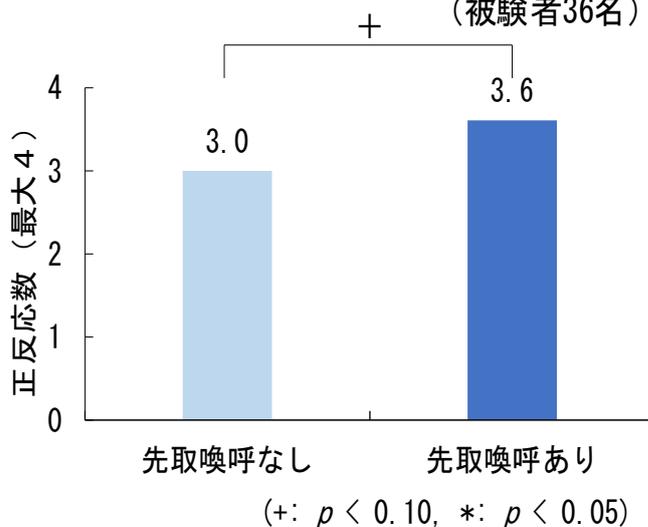
イメージ型喚呼の失念防止効果

(被験者33名)

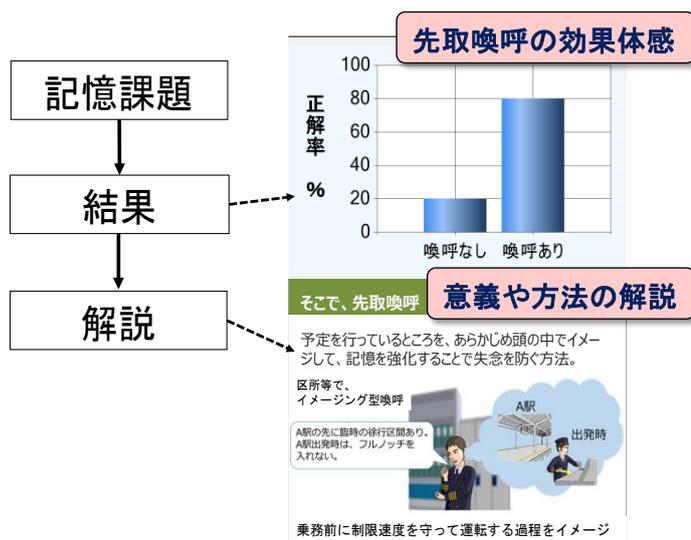


反復型喚呼の失念防止効果

(被験者36名)



教育ソフトの概要



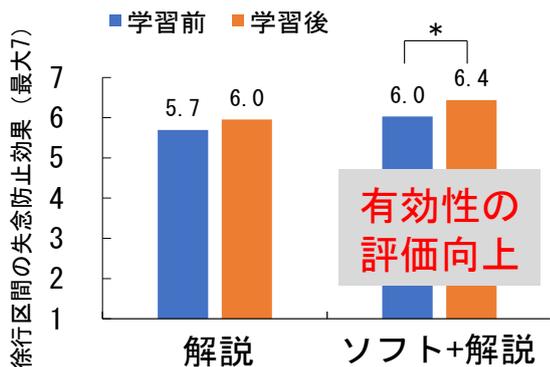
教育ソフトの活用イメージ



教育ソフトの効果

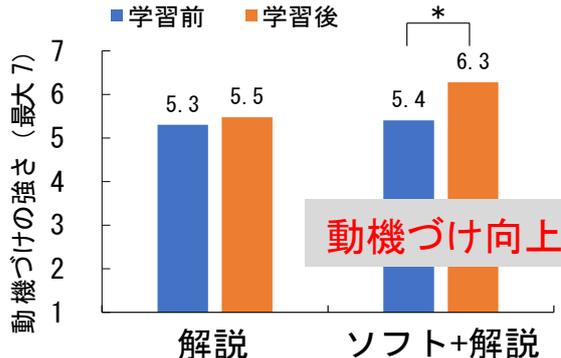
徐行区間失念防止に有効？

(1:有効でない ~ 7:有効)



先取喚呼を実施したい？

(1:使いたくない ~ 7:使いたい)



※反復型喚呼 被験者94名 (* : $p < .05$)

危険感受性の向上訓練手法

人が危険を発見するのに必要な能力である“危険感受性”を高めるには、「何が危険かに関する知識」と「危険源を探そうとする態度」を持っていることが重要です。何が危険につながるか(危険源)に関する知識を増やす「シナリオ描画課題」、危険源を探そうとする態度を形成する「見逃し体験課題」を開発し、それらの活用方法を提案しました。

特徴

シナリオ描画課題

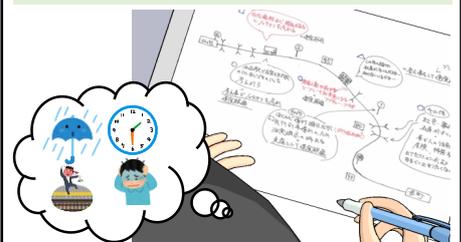
- 紙に作業現場の絵を描きながら、様々なポイントから危険源について考えることで、危険が起きうる状況をより多く、より詳細に想定できます。
- 個人で課題を実施後に、相互に描画内容を説明することで、危険源に関する知識を獲得できます。

見逃し体験課題

- パソコン上の写真を見て危険源の見逃しを疑似体験することで、「自分は危険源を見逃すことはない」という思い込みや過度の自信を抑制し、積極的に危険源を探そうとする態度を形成します。
- 注意配分の適切さや危険を見逃さないための工夫の必要性の認識も向上させます。

訓練課題のイメージ

シナリオ描画課題



見逃し体験課題



用途

- 作業現場の危険源に関する知識を増やしたり、積極的に危険源を探そうとする態度を形成したりすることで、危険への気づきを高めます。
- 運転士、車掌、施設社員など、様々な職種でお使いいただけます。

活用例

- シナリオ描画課題は、運転士や新人車掌の研修で活用されています。
- シナリオ描画課題と見逃し体験課題は、鉄道事業者の社内の安全教育教材データベースを通じて展開されています。

特許第7328169号

人間科学研究部(安全心理)

訓練課題の概要

シナリオ描画課題

実施内容と実施結果の例

実施方法の説明
説明や描画例を見てやり方を理解

描画の実施
・危険源を数多く、詳細に見出す
・危険源を見出す知識を獲得
異なる状況を想定して危険源を追記
視点を広げてさらなる危険源を見出す

共有
危険源を共有、相互に気づきを補完

ヒューマンファクターの観点から場面を描画 (速度超過を題材とした場合の描画例)

危険を考えるポイントとその具体的内容

ポイント	ポイントの具体的内容：運転士の例
1 環境、設備、機器	天候、気温、湿度、時間帯、車両、連絡手段など
2 旅客、公衆、ダイヤの乱れ	混雑、酔客、ダイヤ乱れなど
3 自身の心身状態	ボンヤリ、眠気、イライラ、緊張、心配事、急ぎ、焦り、体調不良
4 経験	経験なし：不慣れ 経験あり：思い込み、過信
5 仕事の相手	車掌との連携、指令の焦り、保線係員、経験の浅い車掌、指令ではなく駅係員からの通告

見逃し体験課題

実施内容

見逃し体験フェーズ

事前説明

危険源の見逃し体験

見逃しに関する解説と工夫の教示

成功体験フェーズ

工夫の教示

工夫による危険の発見体験

運転業務における見逃しに関する解説

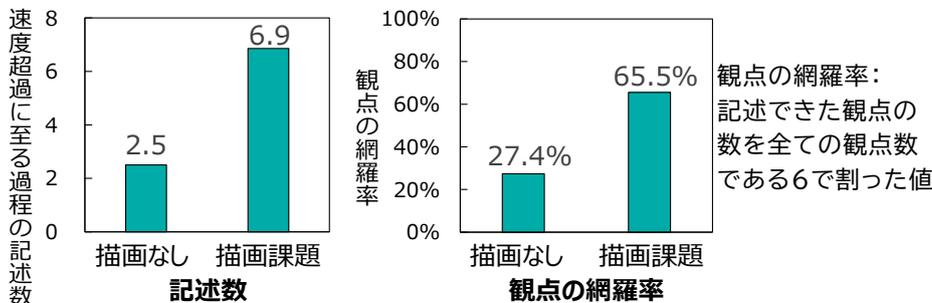
見逃し体験フェーズでは、危険源を見逃す可能性を認識させ、危険を探そうとする態度を向上させる。
成功体験フェーズでは工夫の必要性の認識を向上させる。

見逃し体験フェーズと類似の作業で危険源を発見する体験

訓練課題の効果

シナリオ描画課題

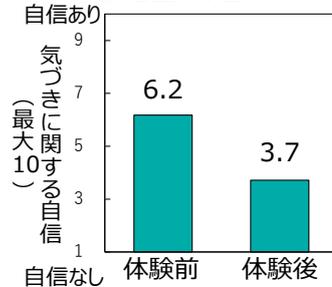
速度超過に至る過程(危険源)の記述数および観点の網羅率(運転士14名)



より多く、より様々な観点から危険源を見出す効果

見逃し体験課題

気づきに関する自信の抑制効果(運転士14名)



自分は危険を見逃さないという自信を抑制する効果

訓練課題の活用方法

シナリオ描画課題

約25分

シナリオ描画課題

約15分

相互に描画内容を説明し、気づきを補完

共有

描画を用いて弱点を個別指導

指導

実場面で留意すべき危険源の知識の向上
事前に危険源を想定する能力の向上

見逃し体験課題

課題を体験する

解説を聞く

体験+議論：約15分(1種類)

危険源を探そうとする態度の形成
危険源を見逃さないための工夫の必要性を意識づけ

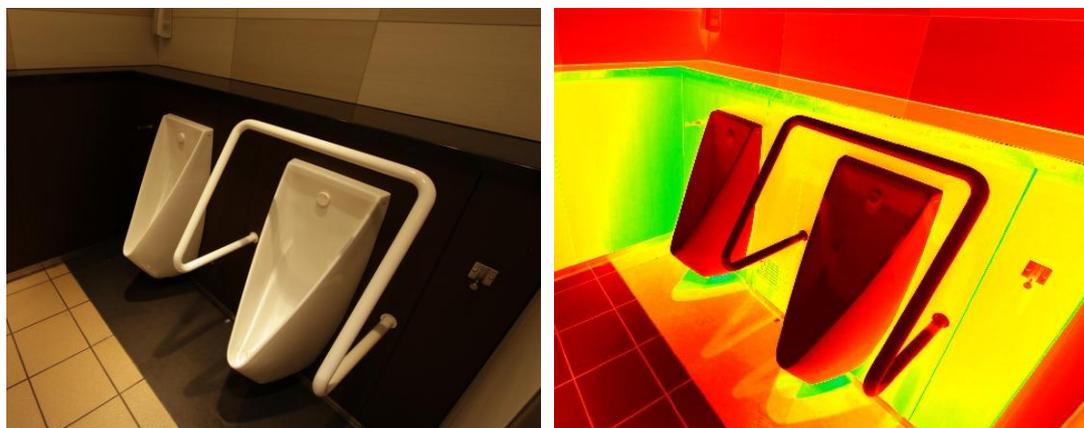
弱視者・色弱者を想定した トイレ空間の視認性評価手法

視覚障害をもつ旅客のための環境整備として、駅トイレ内設備の視認性を評価する手法を提案しました。対象物が立体の場合(衛生器具など)と平面の場合(個室扉など)に分けて、管理のための目安値を示しました。この評価手法は対象が木目柄の場合にも適用可能です。

特 徴

- 平面だけでなく、立体物を含む環境内の輝度分布に対応できます。
- 実空間で利用者が見る輝度比(実現輝度比)が弱視者の視認性を満たすように、設計に用いる素材レベルの輝度比(素材輝度比)を知ることができます。
- これに基づき、設計に必要な素材輝度比の目安値を、衛生器具まわりについては「2」、個室扉については「3」と提案しました。
- 対象が木目柄の場合にも適用可能です。

可視化した輝度分布



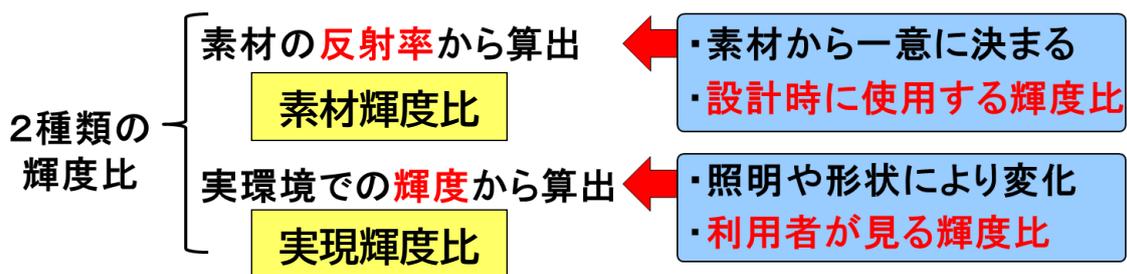
用 途

トイレ内設備(衛生器具や個室扉など)の色彩計画に用いることができます。

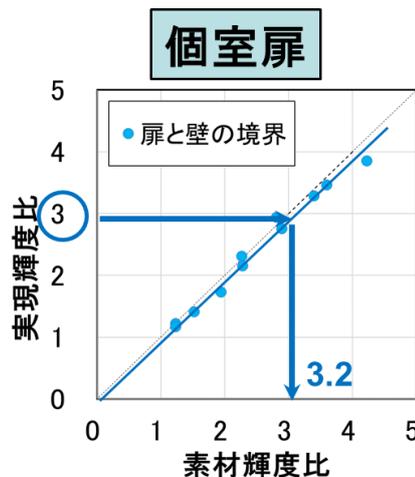
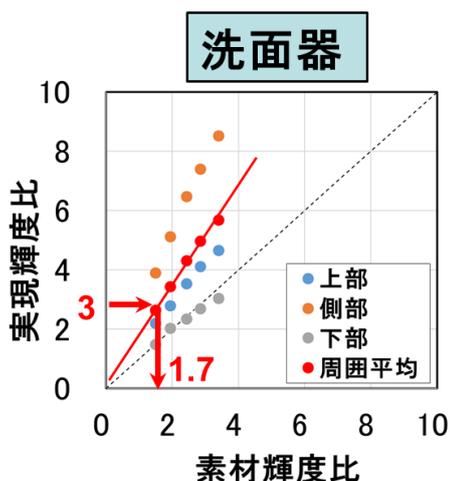
活用例

鉄道事業者において、駅トイレ内設備の視認性評価に活用されています。

素材輝度比と実現輝度比



洗面器(立体物)と個室扉(平面)に必要な輝度比



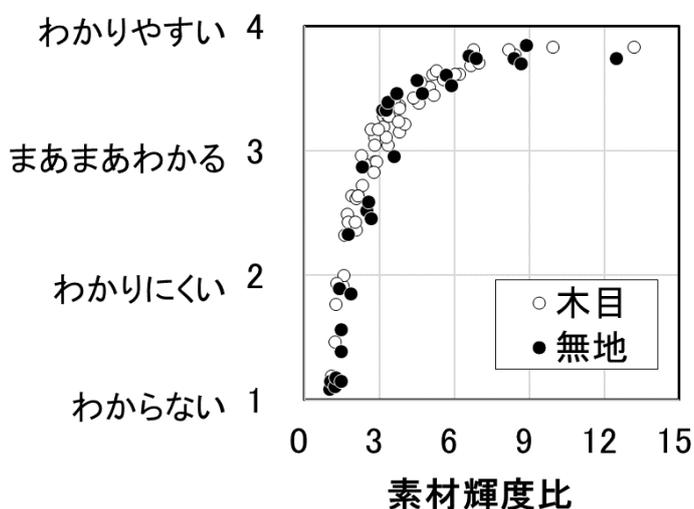
実現輝度比 > 素材輝度比

実現輝度比 = 素材輝度比

実現輝度比が「3」となるように、素材輝度比の目安値を提案

- ・衛生器具まわり ⇒ 素材輝度比2程度
- ・個室扉 ⇒ 素材輝度比3程度

木目試料と無地試料における、素材輝度比と視認性の対応関係 (実験結果)



5点の測定平均値を用いることにより、木目試料は無地試料と同様に扱える

明度差による バリアフリー視認性評価手法の提案

弱視者を想定したバリアフリー対策のため、設備の視認性を目視で簡便に評価できるように「明度差を用いたバリアフリー視認性評価手法」を提案しました。これを用いることにより、誰でも簡単に視認性評価を行うことが可能です。

特 徴

- 市販の色見本帳を参照しながら、目視で個々の対象物の明度を測定します。
- 視対象と背景の明度をそれぞれ測定すれば、その差により明度差が得られます。
- 弱視者の視認性に必要な明度差を読み取るための図を示しています。
- 一連の作業を「明度差によるバリアフリー視認性評価手法」としてマニュアルにまとめました。このマニュアルを参照すれば、誰でも簡便に視認性評価が可能です。

視認性評価の適用箇所の例



用 途

高価な測定機器を使わずに、安価かつ簡便に視認性を評価できます。

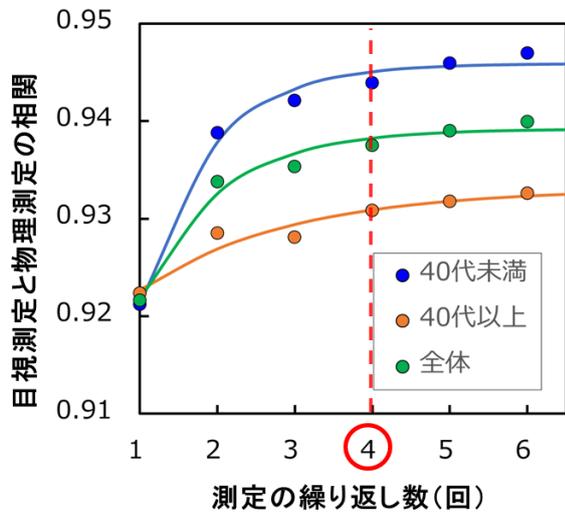
活用例

鉄道事業者において、駅設備のバリアフリー視認性評価に活用されています。

特許出願中(特願2023-041631号)

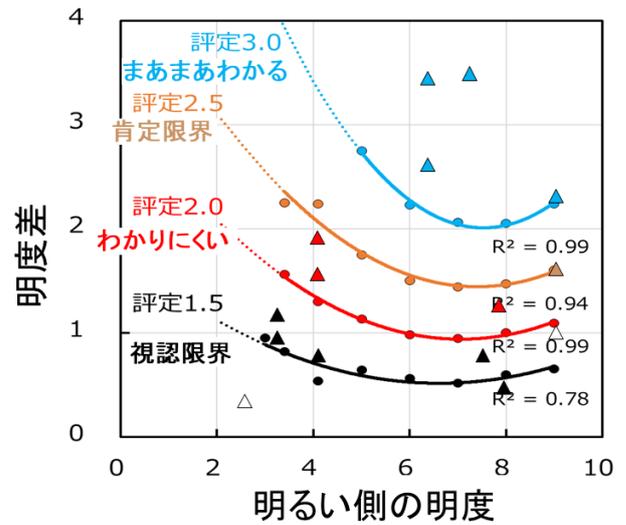
人間科学研究部(快適性工学)

目視測定 of 繰り返し数 と精度 (実験結果)



目視測定を4回以上繰り返せば
測定精度が概ね収束

弱視者の視認性に必要な明度差 (実験結果)



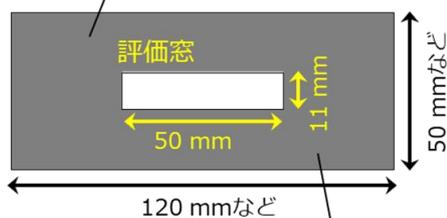
必要な明度差を図から
読み取る

明度差を用いたバリアフリー視認性評価手法(抜粋)

①比色マスクと色見本の仕様 ②目視測定の手順

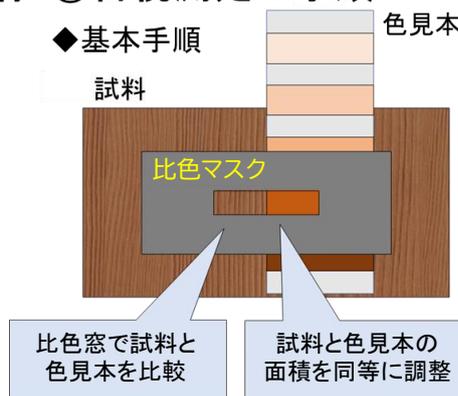
◆比色マスク

色は明度5程度の無彩色 (灰色)



柔軟な素材 (シリコンシートなど)

◆基本手順



◆明度の読み取り



③環境照度の要件

- ・200～1000ルクスの範囲で広く使用可
- ・最適照度は500ルクス
- ・1000ルクス以上の場合は、拡散板を使用

④誤差の補正

- ・200～1000ルクスの範囲で広く使用可
- ・最適照度は500ルクス
- ・1000ルクス以上の場合は、拡散板を使用

RESEARCH 2025
鉄道事業者などに活用された鉄道総研の成果
(2020年度～2024年度)

2025年3月発行

公益財団法人鉄道総合技術研究所
〒185-8540 東京都国分寺市光町二丁目8番地38

【問い合わせ先】
総務部(広報) TEL (042)573-7219