

C-1

常時微動による鉄道河川橋りょうの固有振動数推定手法

河川橋脚の天端両端部に常時微動センサを設置して計測を行うことで、橋脚の固有振動数が推定可能です。重錘等による強制加振が不要で、橋脚の固有振動数の変化を連続的に監視可能です。

研究の背景と目的

- 気象変動に伴う降雨の激甚化により河川増水が生じ、橋脚周辺の根入れ低下(洗掘)や基礎不安定化に起因する河川橋脚の傾斜・流出が増加しています。
- 橋脚の健全度指標である固有振動数の計測方法は衝撃振動試験が一般的ですが、作業性の観点から、より簡便に固有振動数を推定する手法が求められていました。

研究成果

- 2つのセンサで常時微動を一定時間計測し、収録波形から橋脚の固有振動数を推定する手法を開発しました。強制加振を要さず、固有振動数の推定も自動的に行うため、従来の衝撃振動試験と比較して、**作業の大幅な省力化**を実現しています。
- 従来の常時微動センサは速度計を利用していましたが、本研究ではより安価な加速度計を採用することで、システム全体の**低コスト化**を図りました。
- **可搬型**(展示品)と**常設型**の2つのシステムを開発し、さまざまなニーズに対応した橋脚の健全度指標のモニタリング手法をご提案いたします。

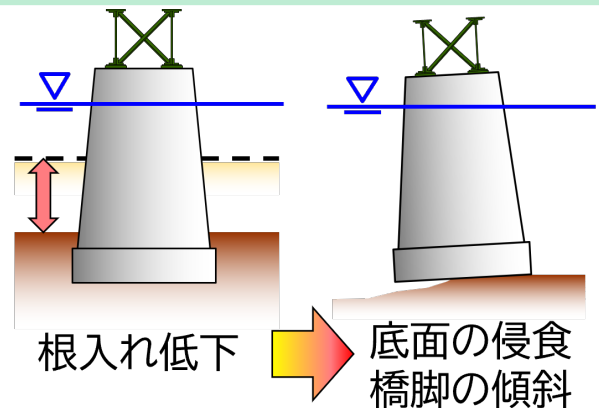
今後の展開

- 河川増水時や悪天候時における固有振動数の推定精度向上や、本手法が適用可能な橋脚の範囲の拡大に向けた技術的改良を進める予定です。

洗掘により被災した橋脚



増水時の橋脚の不安定化のイメージ



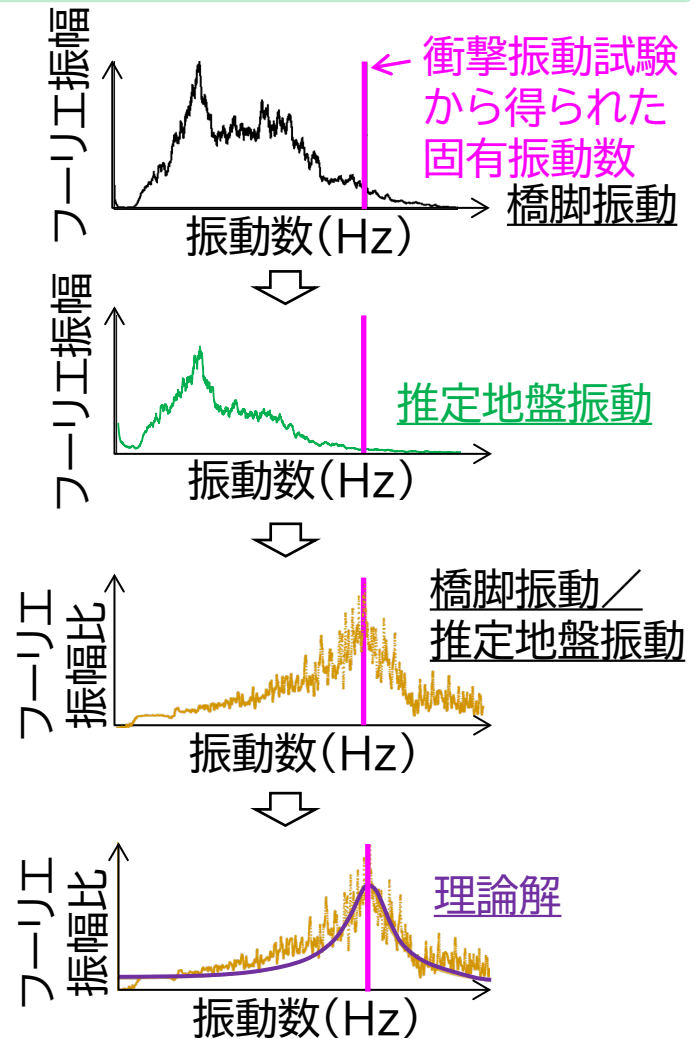
洗掘の進行に伴い固有振動数が低下

常設型の常時微動計測システム

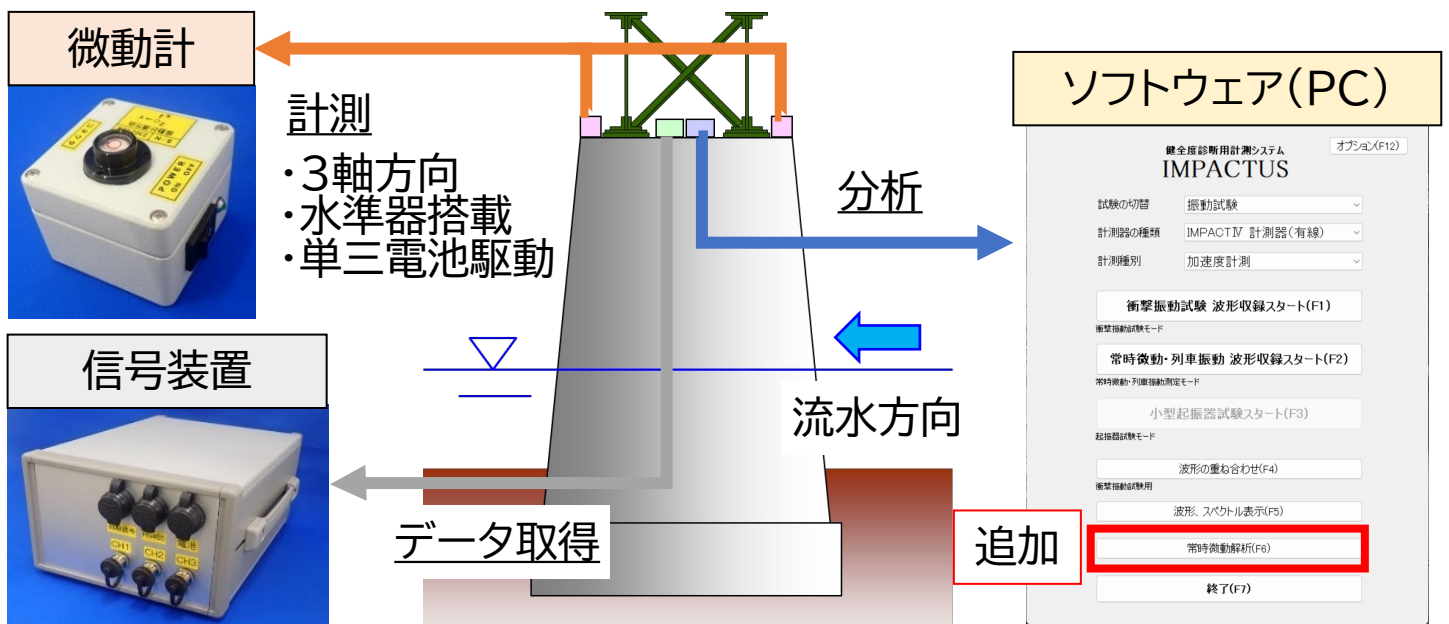


開発した固有振動数の推定手法のフロー

- ① 橋脚天端の上下流方両端部における常時微動計測
- ② 常時微動波形の差分およびセンサ位置の幾何学的関係から地盤振動を推定
- ③ 橋脚振動を推定した地盤振動で除しフーリエ振幅比を算出
- ④ 算出したフーリエ振幅比を理論解で曲線回帰させることで固有振動数を推定



可搬型の常時微動計測システムの構成・設置イメージ



橋脚の固有振動数の変化を長期間かつ遠隔地からモニタリング可能な通信機能を搭載した「常設型常時微動計測システム」も作成しています

本研究は、国土交通省の鉄道技術開発・普及促進制度の委託を受けたものです。

C-2

斜面の自由打撃簡易貫入試験機 専用デバイス

小型軽量な本試験機およびその専用デバイスを使用することで、目視で把握することが困難なのり面工等の既設構造物の背面地盤の劣化を低コストに把握することができます

研究の背景と目的

- 老朽化したのり面工（吹付工・張コンクリート工など）では、背面地盤の劣化が進行した場合には崩壊に至る可能性があります。
- 鉄道では既設のり面工が多数存在するため、のり面工背面地盤の劣化を安価に把握する手法が求められています。

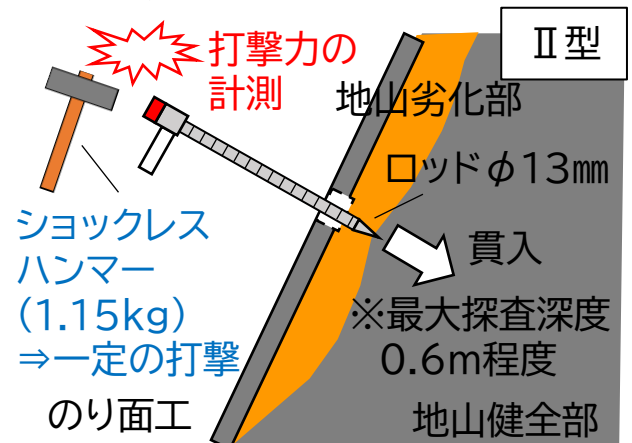
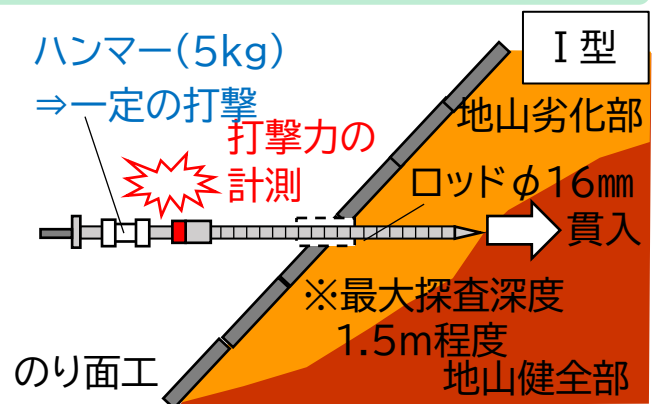
研究成果

- 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「自由打撃簡易貫入試験」（Ⅰ型・Ⅱ型）と同試験を支援する専用デバイス「Penelog（ペネログ）デバイス」を開発しました。
- 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。
- ハンマーの打撃力をウェアラブルデバイスにより計測される加速度から算出でき、簡易に計測が可能です。

今後の展開

- 本試験機の販売等を通じて、検査業務への適用実績の拡大を図る予定です。

自由打撃簡易貫入試験



Penelog（ペネログ）デバイス



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(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

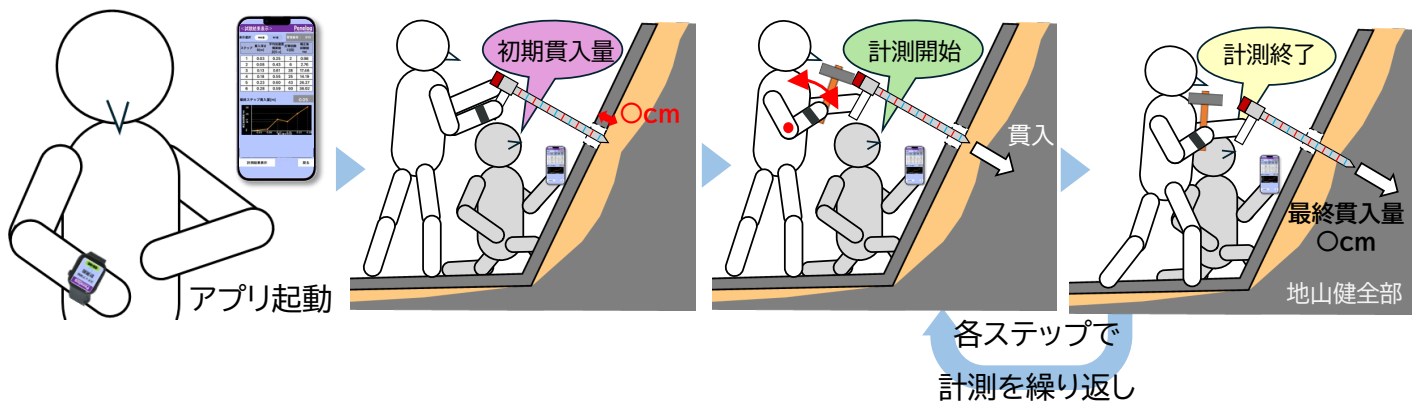
打撃力計測による
試験値の事後補正

簡易試験

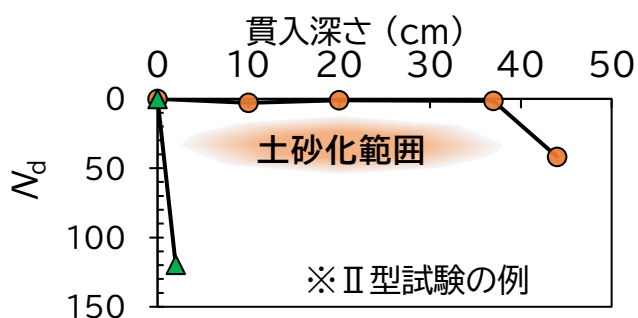
打撃力計測
による監視



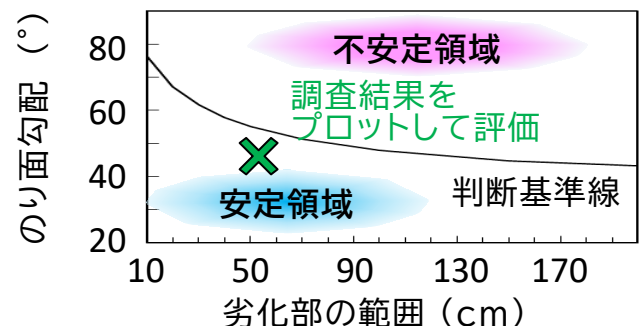
Penelog(ペネログ)デバイスを用いた試験イメージ



自由打撃簡易貫入試験の実施例



安定性評価ノモグラムの例



※ 自由打撃簡易貫入試験 : 特許第7190396号
 Penelog : 商願2025-127561
 Penelogデバイス : 特願2026-027487

C-3

地覆一体型プレキャスト遮音壁

新設鉄道高架橋を対象に、耐久性および施工性の向上を目的とした地覆一体型プレキャスト遮音壁を開発しました。

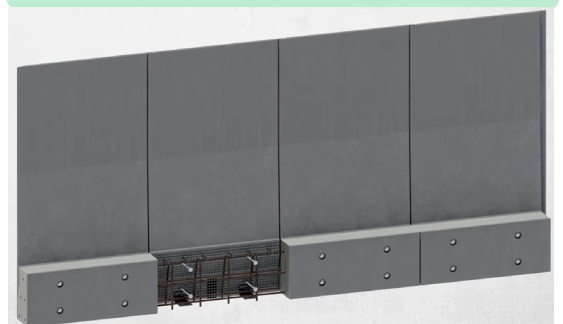
研究の背景と目的

- 鉄道構造物の遮音壁は高所や用地境界付近に設置され、維持管理が困難であるとともに、風雨や直射日光に曝され劣化しやすく、第三者被害の防止の観点からも高い耐久性が求められています。
- さらに、近年、建設労務者の不足を背景に、施工の効率化による生産性向上が求められています。
- そこで、耐久性および施工性に優れた、遮音壁の開発を行いました。

研究成果

- 地覆一体型プレキャスト遮音壁は、スラブから突出させた地覆埋込鉄筋の両側にプレキャストパネルを設置し、外側プレキャストパネルと軌道側プレキャストパネルをセパレータで連結したのち、地覆部にコンクリートを打設することで構築します。
- 本工法は地覆と遮音壁を一体として構築することで、従来のプレキャスト遮音壁と比較して、ボルト締め付けやグラウト注入を不要とし、施工の省力化と工程の短縮が期待できます。
- プレキャストパネルには、塩害や凍結融解等の厳しい環境下においても高い耐久性を有することが実証されている超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を用いています。

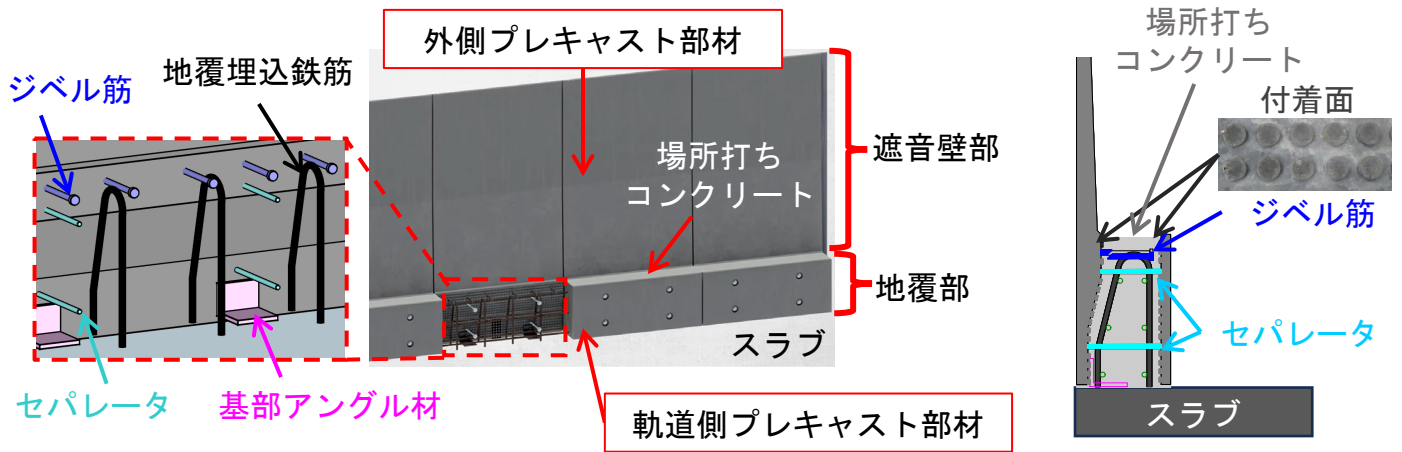
地覆一体型プレキャスト遮音壁



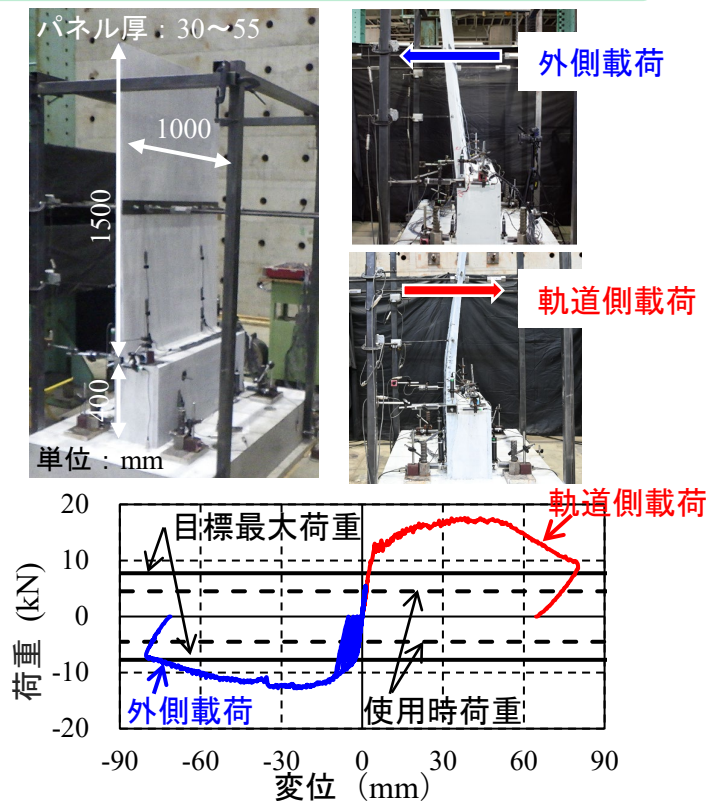
今後の展開

「地覆一体型プレキャスト遮音壁の設計・施工指針(案)」を取りまとめました。この指針(案)は鉄道総研の鉄道技術推進センターの会員用ウェブサイトで公開し、会員の皆様に対して意見照会(2026年8月31日まで)を行っています。

地覆一体型プレキャスト遮音壁の概要

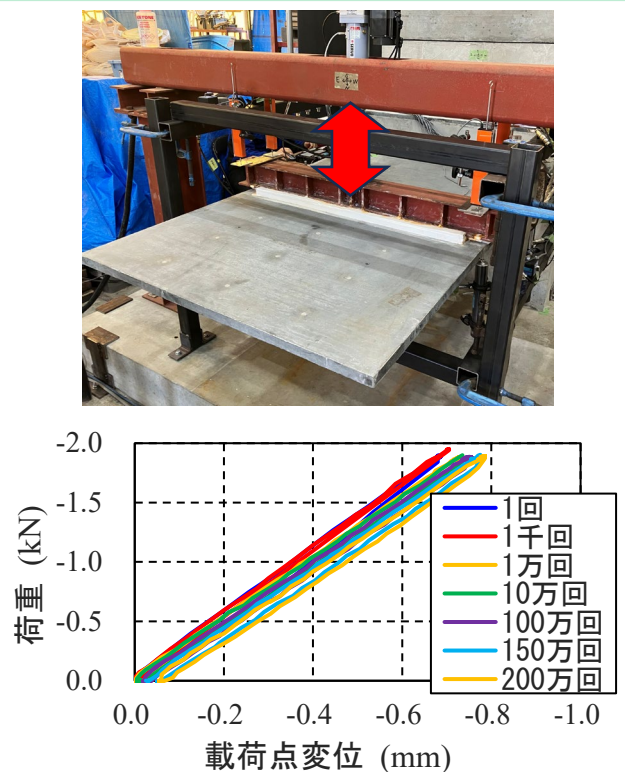


静的载荷実験



- ・ 目標最大荷重に対して十分な耐力を確認
- ・ 使用時の荷重ではひび割れなし

疲労载荷実験

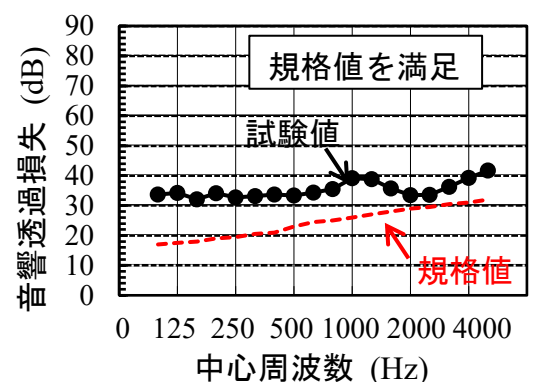
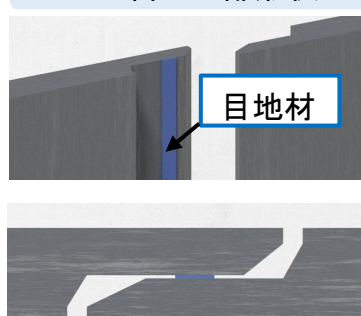


- ・ 在来線での適用を想定した200万回の繰返し载荷後もひび割れなし
- ・ 剛性低下は1回目载荷に対して小さい

遮音性確認試験



重ね合わせ部形状



【共同研究】 本研究は、東急建設(株)およびベルテクス(株)との共同研究の成果を反映しています。

【特許】 特開2025-166372 遮音壁ユニット、遮音壁構造及び遮音壁ユニットの施工方法

降雨の影響を考慮可能な コンクリート橋の変形予測手法

実務で入手可能な情報で、収縮ひずみを水分条件や配合に応じて解析可能なプログラムを開発し、コンクリート橋りょうの長期変形挙動の予測手法を提案しました。

研究の背景と目的

- 鉄道コンクリート橋りょうの長期変形は、車両の走行性や軌道の保守に影響を及ぼします。構造形式の多様化や支間の長大化等の技術革新が進む中で、その変形を、供用期間全体にわたり推定する手法の重要性が高まっています。
- また、気候変動や良質な建設材料不足等、建設・維持管理を取り巻く環境の変化をどのように設計実務に反映していくかについても対応が求められています。
- 上記を踏まえつつ、実務運用が容易な長期変形予測手法の提案を目的としました。

研究成果

- コンクリート内部に分布する水分量の経時変化を、拡散理論による水分移動解析に基づき算出し、その水分量に応じて変形量を予測するプログラムを作成しました。
- 水和等のコンクリートの物理・化学現象を巨視的に捉えることで、計算に必要な情報数が大幅に軽減でき、実務で計測可能な情報のみを用いて、水分条件や配合に応じて収縮ひずみを算出します。
- プログラムで算出した収縮ひずみを、はり要素を用いた構造解析ツールに入力することで、コンクリート橋りょうの長期変形量を算出します。
- 精緻な方法で算出した収縮ひずみや、橋りょうのたわみの実測データと比較することで、本手法の妥当性を確認しています。
- PC箱桁内部の湿度や使用した建設材料等、建設・維持管理を取り巻く環境の変化を反映したコンクリート橋のたわみが算出できます。

長期変形による走行性への影響



今後の展開

- 収縮やクリープの影響を制御した合理的な新構造形式の提案や保守軽減への活用が期待できます。

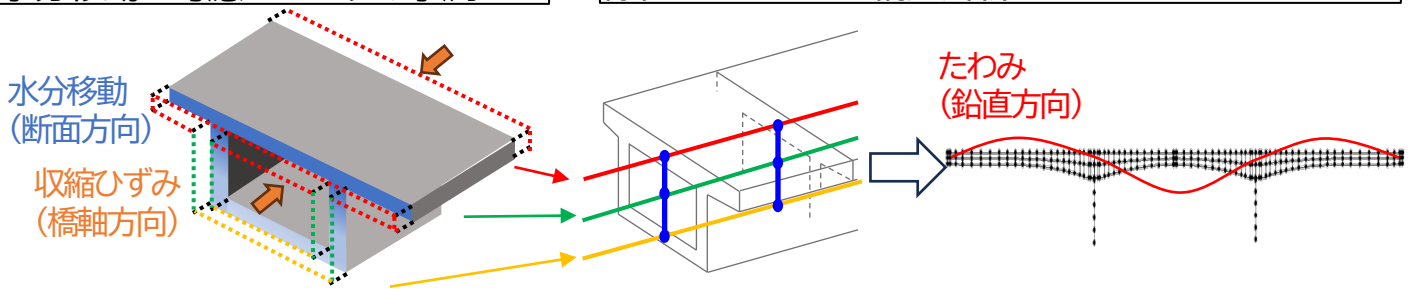
長期変形予測手法

Step1

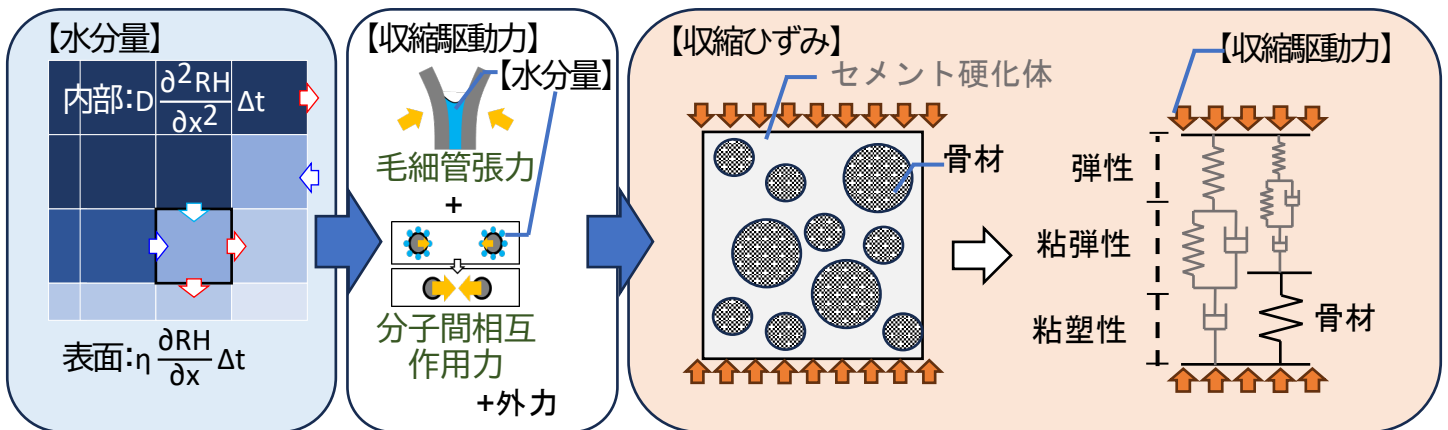
水分移動を考慮したひずみ予測

Step2

線材モデルによる構造解析



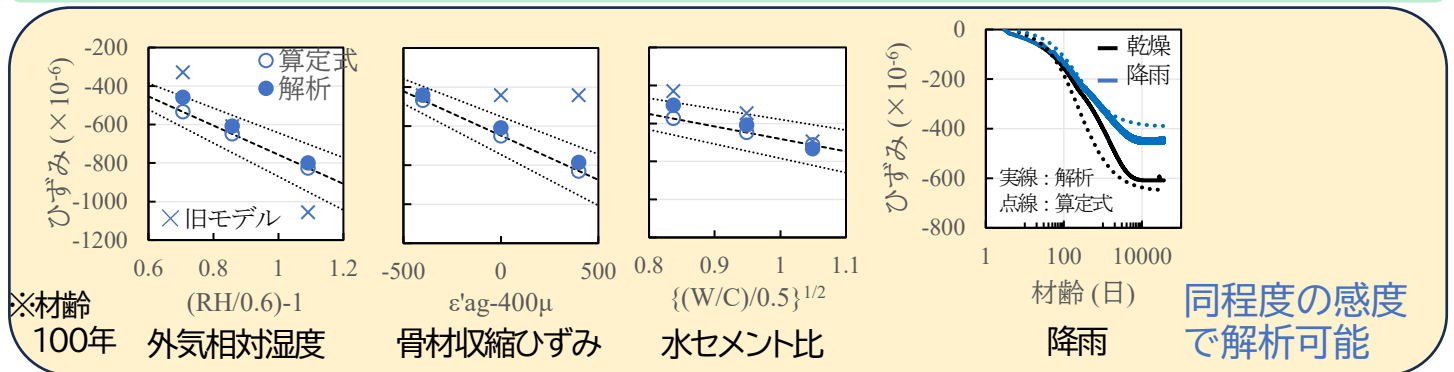
開発したひずみ解析プログラム



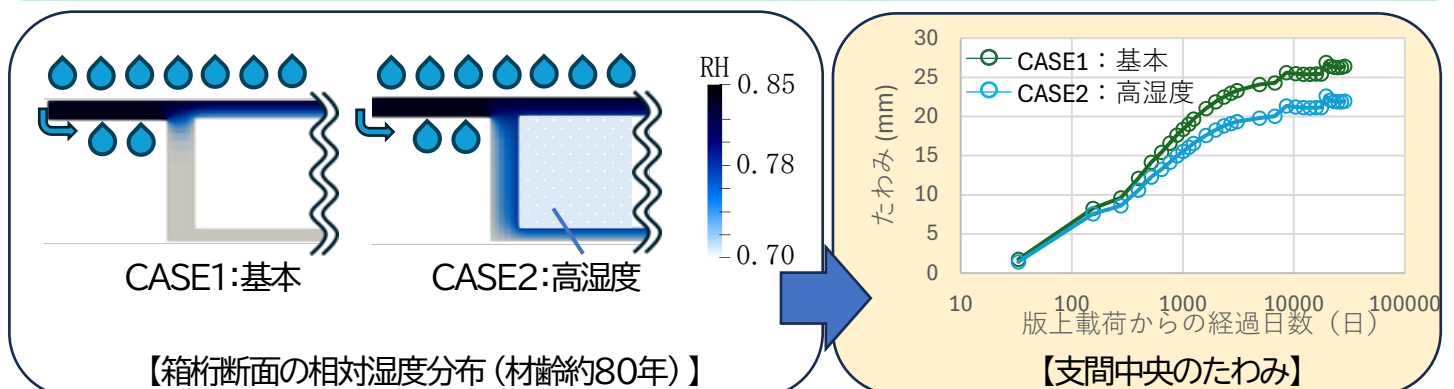
コンクリートの水和～骨材を含む
収縮挙動を巨視的にモデル化
解析に必要な8項目を選定(右記)

- 水セメント比
- セメント密度
- 単位骨材重量
- 骨材密度
- 骨材最終収縮ひずみ
- 骨材吸水率
- 外気相対湿度
- 降水頻度

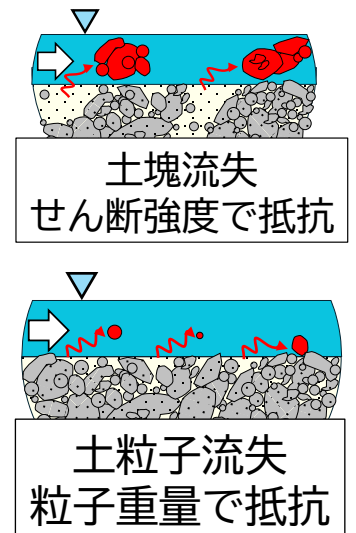
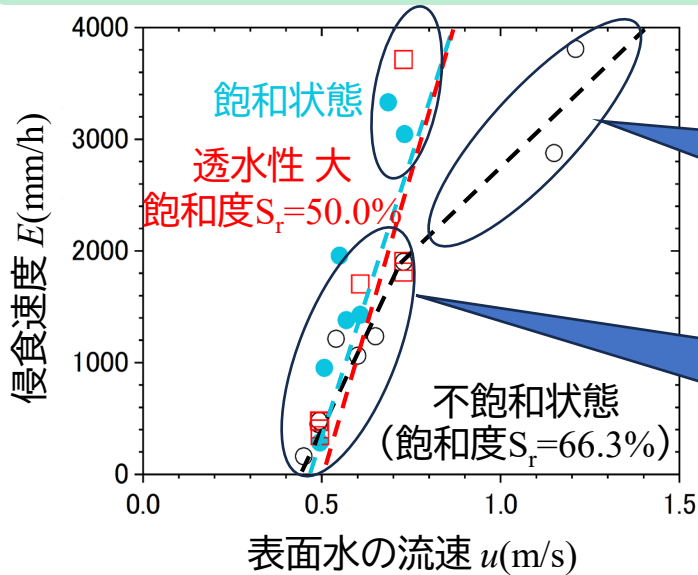
ひずみ解析プログラムの検証



本手法の活用例: 気象条件に応じたPC箱桁のたわみ

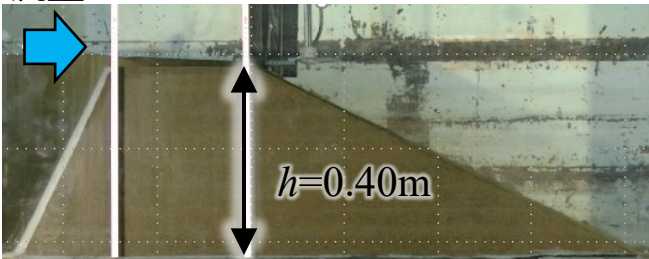


砂質盛土材料の侵食メカニズムと侵食抵抗特性

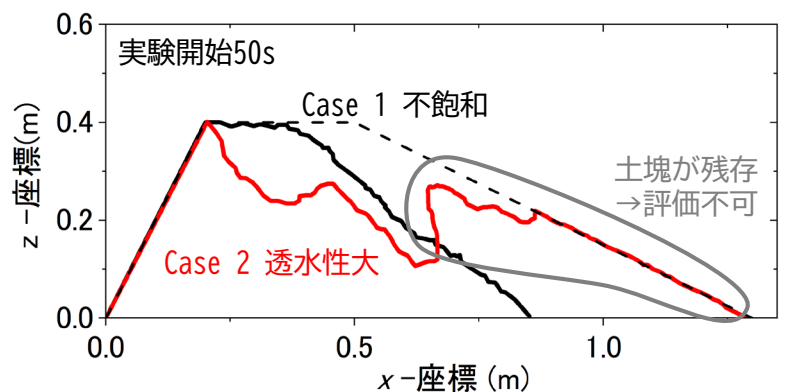


- 表面水の流速(作用力)に応じて流失形態や抵抗機構が変化
- 飽和状態や透水性 大では、土のせん断強度低下に伴い土塊流失が促進
→ 同一の表面水の流速に対して、侵食速度が増加(侵食抵抗力の低下)

模型越流実験による侵食量の評価

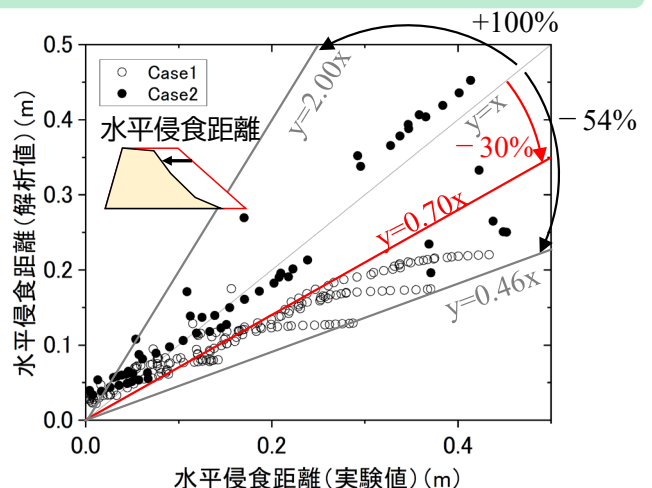
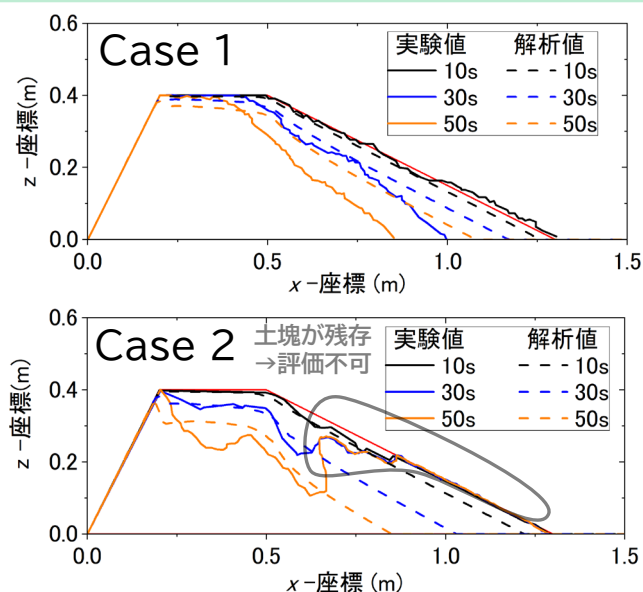
流量 $0.60 \text{ m}^3/\text{min}$ 

盛土の飽和度に応じた侵食量を評価



- 同一盛土材料、密度であっても、盛土の飽和度に応じて侵食量が変化

提案手法による侵食量の評価



盛土上部侵食量は良好に再現

局所洗掘等によりCase1の再現性が低下

C-6

施工時の沈下量情報を活用した盛土の品質管理法

施工時の沈下量情報を活用した盛土の品質管理法を提案しました。提案法により、従来必要であった密度試験と載荷試験を省略可能であり、盛土施工の省力化が期待できます。

研究の背景と目的

- 鉄道盛土の施工では、密度・剛性の品質確認のため、重機で転圧した後に多数箇所でも人力による密度試験や載荷試験が行われています。
- 近年は建設現場の人手不足が深刻化していることから、現場の負担軽減を図るため、品質管理作業を省人化するための技術開発が望まれていました。
- そこで、盛土施工の省力化を図ることを目的として、施工時の沈下量情報を活用した盛土の品質管理法を提案しました。

現状の品質管理



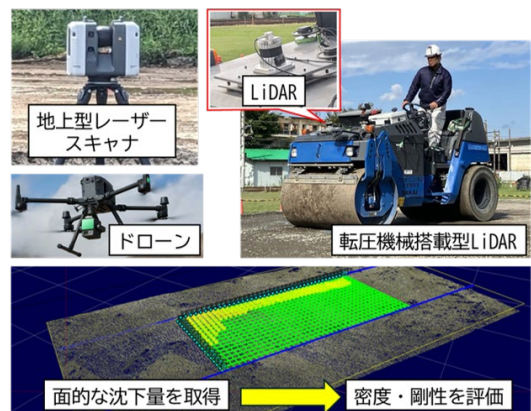
密度試験

載荷試験

研究成果

- 重機による転圧を荷重一定条件の載荷・除荷過程と捉えて、事前に実施した平板載荷試験から推定した除荷時地盤反力係数と、転圧後に計測した沈下量情報から剛性を評価する手法を構築しました。
- さらに、盛土の締固め状態の収束程度と到達程度を評価する沈下量指標を考案し、これを用いて密度を評価する手法を構築しました。
- これらの評価法を元に、施工時の沈下量情報を用いた盛土の品質管理法を提案しました。

提案する品質管理



面的な沈下量を取得

密度・剛性を評価

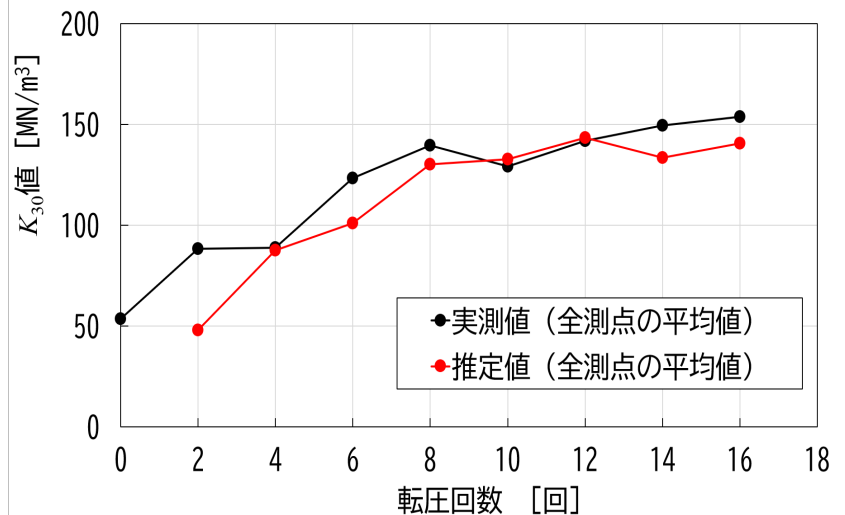
盛土施工時の情報を
活用して品質管理を実施

今後の展開

- 本手法は、鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物に反映される見込みです。

剛性評価法の検証結果

盛土に対する転圧を
 載荷・除荷とみなして剛性を評価



盛土の施工試験による検証では、提案法により高い精度で剛性を評価可能であることを確認しました。

密度評価法の検証結果

全8事例(計測点の合計数:666点)	
試験データセット	59個
空振り率※1	18.6%(11個/59個)
見逃し率※2	3.4%(2個/59個)

※1: 沈下量指標はNG判定だが密度が基準値以上
 ※2: 沈下量指標はOK判定だが密度が基準値未満

提案法で密度を管理した盛土は、約18.6%の空振り(密度を安全側に評価)が生じるものの、見逃しは3.4%と低く抑えられており、従来と同等の品質を確保できることを確認しました。

品質管理に要する人工の比較(従来を100%とした場合の比率)

※試算条件: 盛土高さ6m、天端幅11m、盛土延長300m

	試験施工	本施工	
従来管理 密度試験と載荷試験で品質管理	34%	66%	
提案法(レベル測量) レベル測量の沈下量で品質管理 (計測が簡易化)	46%	24%	約25% 低減可能
提案法(ICT機器) ICT機器の面的沈下量で品質管理 (計測が機械化)	41%	22%	約40% 低減可能

品質管理作業に要する人工を約25~40%低減可能

トンネル火災時熱気流の 多機能実験装置と予測手法

実トンネル火災を再現できる装置を開発し、熱気流の伝播特性に対する車両、枝坑、勾配、風などの影響を明らかにしました。また、熱気流の温度、伝播速度、層厚さを見積もるための予測手法を提案しました。

研究の背景と目的

- トンネル火災時に発生する煙を含む高温の熱気流の挙動は、避難環境や換気計画、火災検知設備の配置などに大きな影響を及ぼします。
- このため、火災時の熱気流の温度、速度、広がりといった流動性状を把握することが重要です。
- 熱気流の挙動を正確に見積もるためには、車両や枝坑の存在、勾配、風などの多くの要因の影響を把握する必要があります。

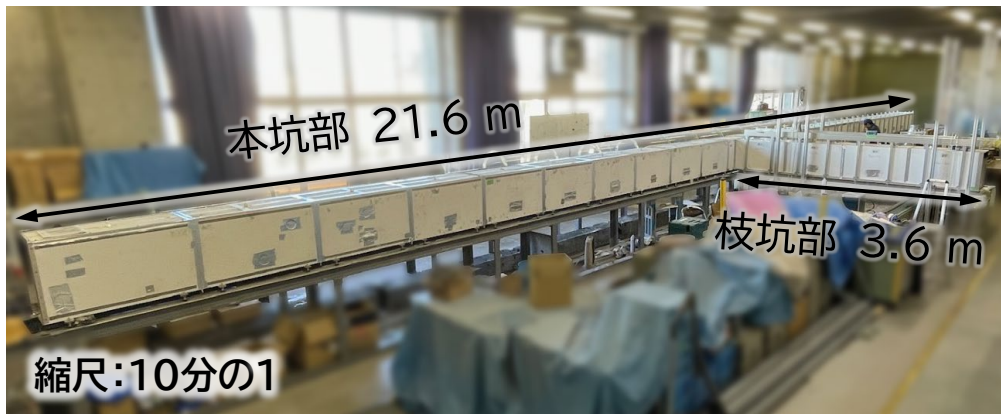
研究成果

- 実トンネル覆工とほぼ同等の吸熱特性を再現できる壁構造を備え、車両、枝坑、勾配、風などの各条件を切り替えられる機能を有する、実大の約10分の1スケールの多機能トンネル火災模型実験装置を開発しました。
- 天井下の温度上昇量、速度、および層厚さが火源からの距離に対して指数関数的に減衰すること、また、車両の存在により層厚さが抑制されることを明らかにしました。
- 模型実験や数値シミュレーションによる詳細解析を踏まえて、熱気流の温度、伝播速度、層厚さを予測するための実用的な手法を提案しました。

今後の展開

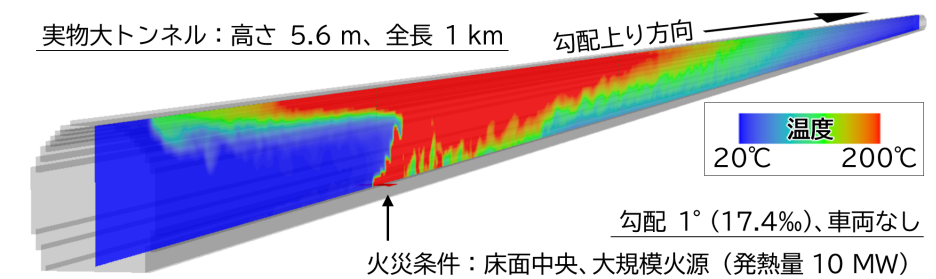
- 本手法により、鉄道事業者等がトンネル火災時の避難安全、換気運用、枝坑等の付帯空間への影響評価、対策設備配置などを検討する際に、熱気流の温度、伝播速度、層厚さを迅速に見積もることができます。
- 特定のトンネルや想定シナリオについて高精度な評価が必要な場合には、数値シミュレーションによる詳細な予測も可能です。

多機能トンネル火災模型実験装置



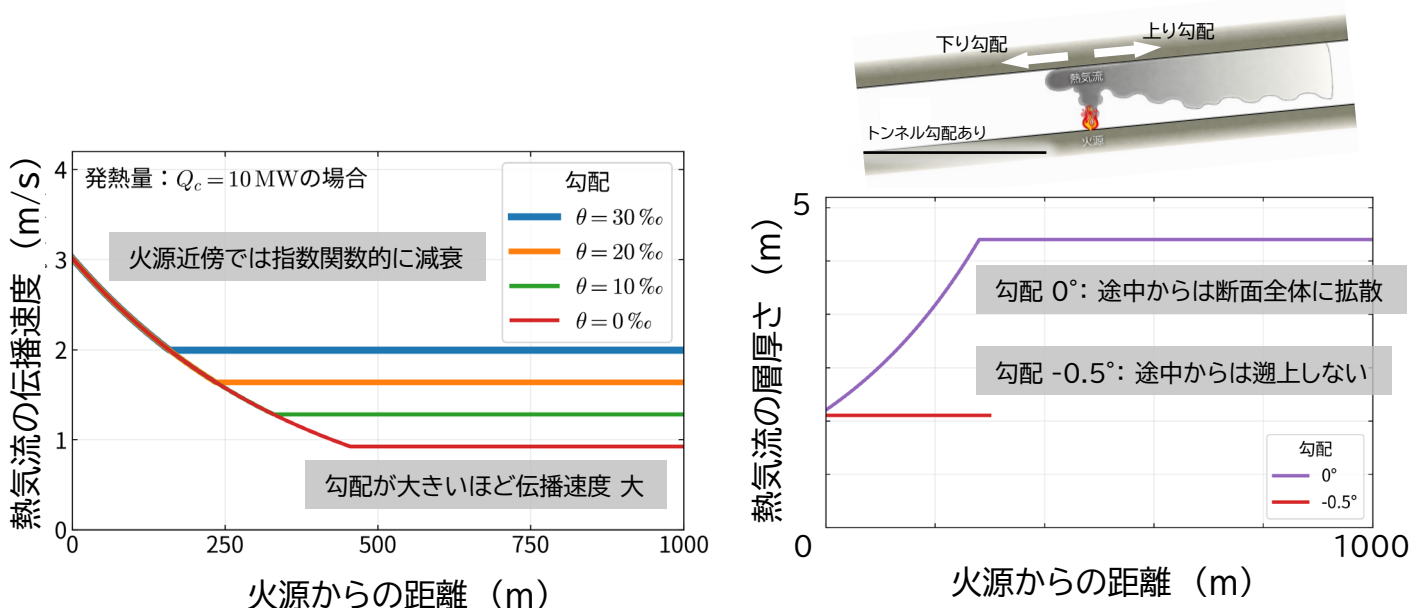
本坑部は全長21.6 mと長大で、世界的にも類例が限られる規模です。

数値シミュレーション



模型スケールで再現性を確認した数値シミュレーション手法を用いて、実大トンネルを対象とした解析を実施することが可能です。

熱気流の伝播速度と層厚さの予測手法



本手法により、熱気流の伝播速度や層厚さを迅速に見積もることができます。

※本成果には、横浜国立大学との共同研究の内容が含まれています。

列車前方画像による ホーム位置計測

専用の地上マーカを設置することで、駅ホームのレールからの高さや離れを、列車前方画像から誤差10mm程度で計測する手法を開発しました。

研究の背景と目的

- 列車と近接する駅ホームは厳密な位置管理が求められるため、定期的に現地での計測が実施されています。
- そこで、近年多くの鉄道事業者で取得が進む列車前方動画(前方画像)を活用し、車上から効率的に駅ホーム位置の計測を行う手法を開発しました。

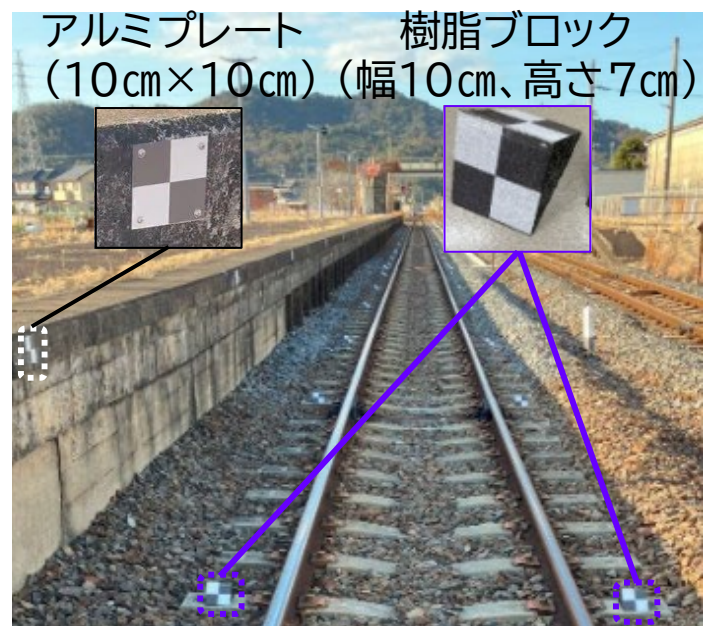
研究成果

- 携帯端末など単眼カメラで撮影された前方画像では特に奥行き方向の計測精度が確保できないことが、駅ホーム位置の計測における課題でした。
- 専用マーカを駅ホームの計測位置に計3点設置し、前方画像内に写ったマーカを基準として奥行き方向の位置や寸法を計測する手法を開発しました。
- 一般的なビデオカメラや携帯情報端末で撮影された画像にも、適用可能です。
- 実路線での検証結果、高さが平均誤差15mm、離れが平均誤差10mmの精度でホーム位置を計測できます(通過速度80km/h)。

今後の展開

- 離れの小さい箇所の監視や経年変化の検出に活用できます。

地上マーカの設置状況



特許出願中(特願2024-202426)

本成果にはJR四国との共同研究の内容が含まれます。

地上マーカの施工

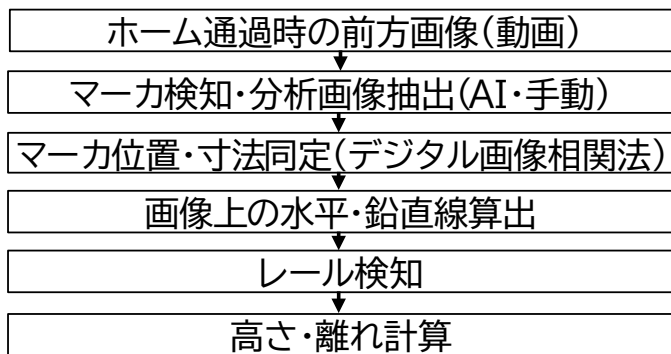
専用治具・手順書を整備済み・1箇所15分程度(接着剤硬化時間)で設置可能



列車前方画像の撮影

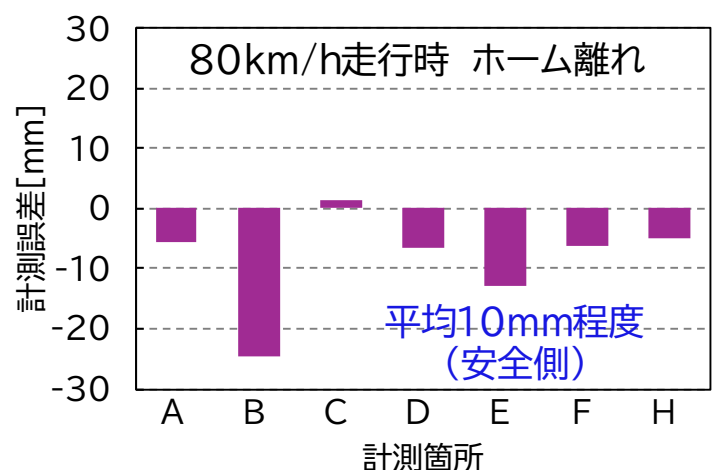


マーカを援用した位置計測手法



計測精度

当該ホームを80km/hで通過した列車で撮影した前方画像から計測したホーム離れの誤差



信号設備の落雪被害推定表示ツール

気象情報等から、落雪被害が推定される区間を表示し、区間内の信号設備等をリストアップするツールを開発し、タブレット端末に実装しました。

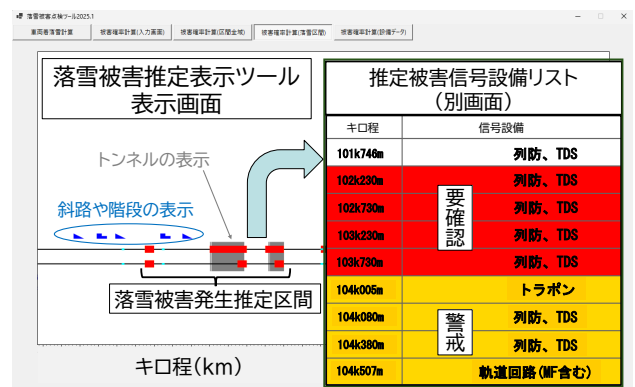
研究の背景と目的

- 積雪地域では、車両に付着・成長した着雪がトンネル内等で温まり、高速走行中に落下して信号設備を破損させることがあります。
- 冬季の信号設備点検の効率化を目的に、落雪による設備被害推定手法を構築し、落雪による被害確率を表示できるツールを開発しました。

研究成果

- 7冬期分の信号設備被害について分析した結果、軌道回路や列防スイッチが全体の約8割を占め、最高速で走行する区間に広く分布し、トンネルでの発生が約7割であることを明らかにしました。
- 落雪による信号設備の被害が顕著なトンネルにおいて、落雪による積算衝撃荷重と被害実績を比較することで被害1件あたりの積算衝撃荷重を求め、これをもとに被害確率を予測する被害推定手法を構築しました。
- 沿線の気象情報、トンネル・明かり等の施設情報、走行条件とから、着雪の成長や落雪位置、信号設備の被害確率を表示するツールを開発し、タブレット端末に実装しました。

落雪被害推定表示ツール

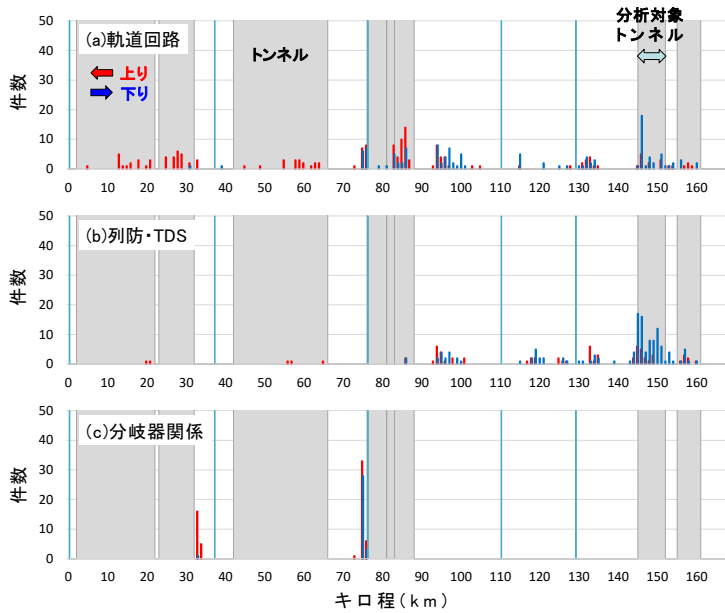


特願2024-156795
特願2024-156805

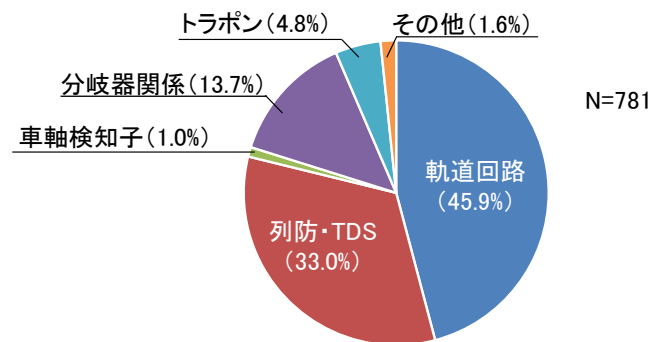
今後の展開

- 本ツールを現場に導入することで、重点的に点検すべき区間や区間内の信号設備を事前に確認できるようになり、点検業務の効率化が期待できます。
- 落雪被害推定表示ツールは委託業務としてプログラム販売します。

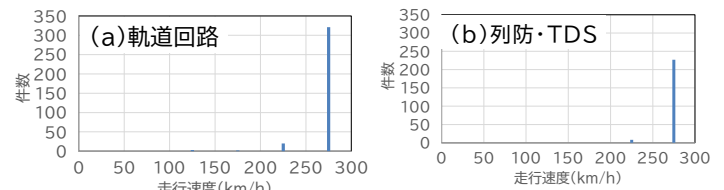
落雪による信号設備被害の分析



設備ごとの被害発生キロ程と件数

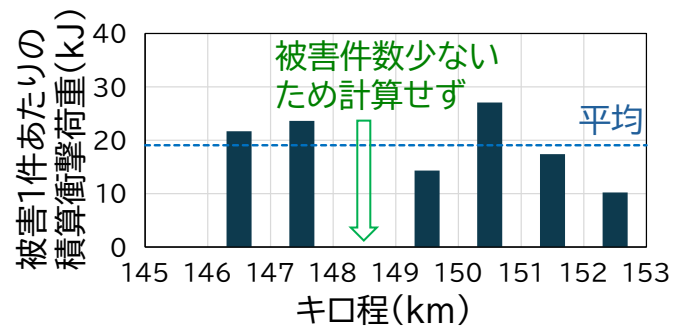
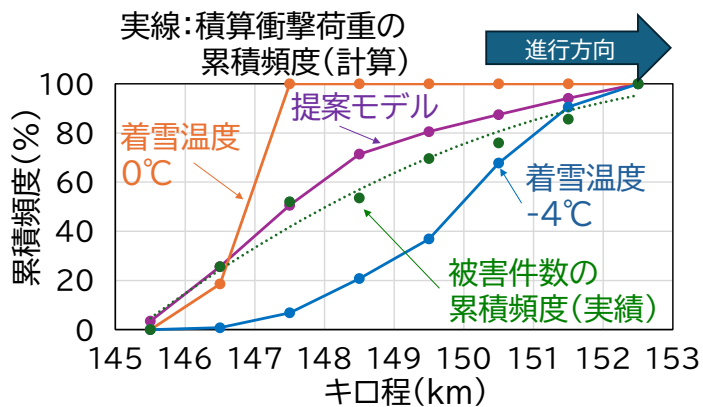


被害設備の割合

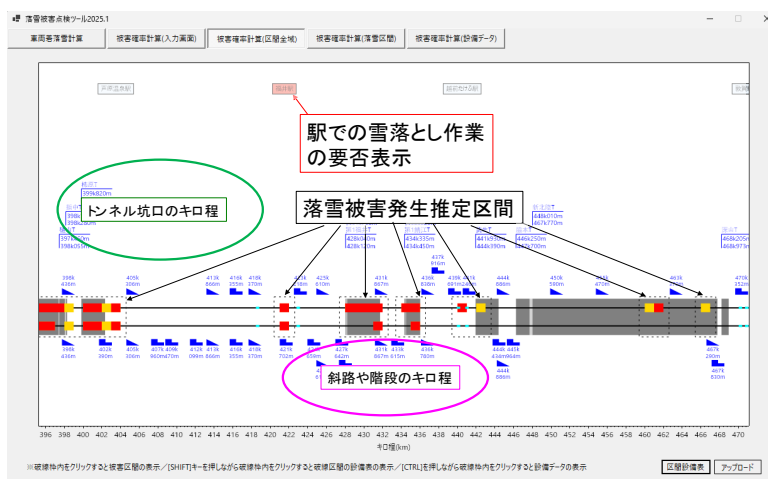


被害設備設置位置の走行速度

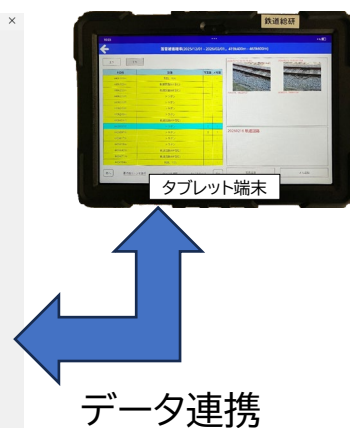
被害件数(実績)と衝撃荷重(計算)の累積頻度の比較



落雪被害推定表示ツールの出力画面例



落雪被害推定表示ツールの画面例

現場での使用イメージ
(Copilotを使用して作成)

C-10

計算時間を1/80に縮減した列車走行による地盤振動の解析方法

列車走行時の地盤振動について、計算時間を縮減した新たな方法を開発しました。従来よりも多くのケースの解析が可能となり、対象箇所の条件に、より適した対策工を提案することができます。

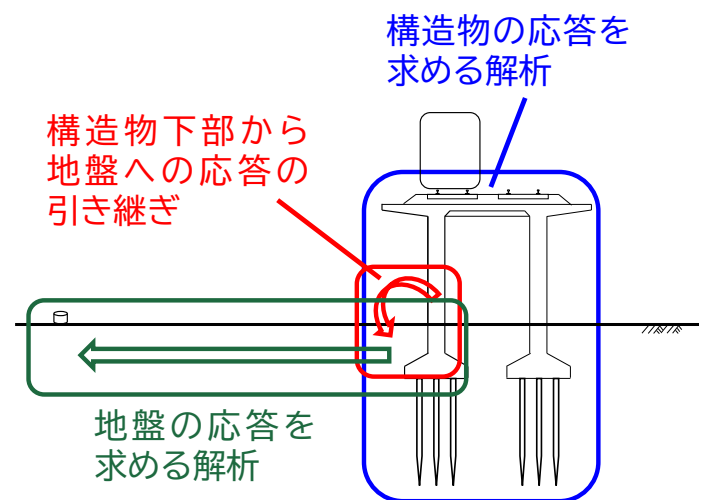
研究の背景と目的

- 列車走行時の沿線地盤振動の対策工を数値解析により検討する場合、従来の方法では、計算に時間がかかるため、解析ケースが限られ、対策工の種類等を変えた検討が難しいという課題がありました。
- そこで、計算時間を縮減することを目的に、新たな解析方法を開発しました。(特許申請中)

研究成果

- 構造物と地盤を強連成して実施していた従来の解析から、構造物の応答を求める解析と地盤の応答を求める解析の2つに分けて実施する方法を提案し、計算時間を1/80に縮減しました。
- 本方法により、従来よりも短時間で数値解析が可能となったことで、対策工の種類や大きさ、材料などを変えた際の振動低減量をより多くのケースについて計算できるようになり、対象箇所の条件にあった対策工を提案することができます。

開発方法の概要



従来方法の1ケースの解析時間(一例):1,560分

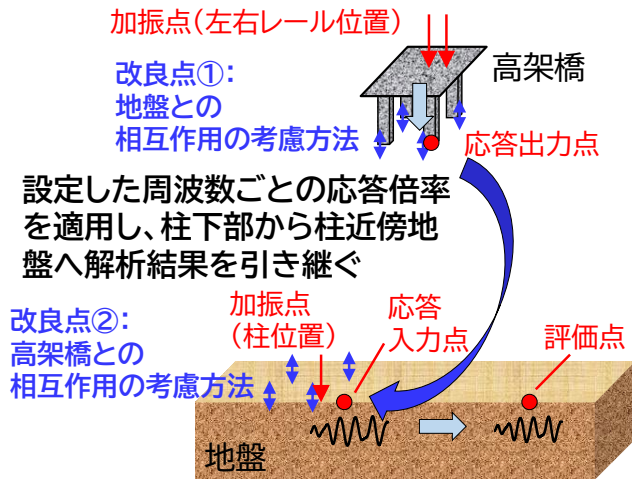
開発方法の1ケースの解析時間(一例):18分

⇒ 同箇所の従来方法と比較して、
計算時間が1/80以下 (同一のコンピュータ使用時)

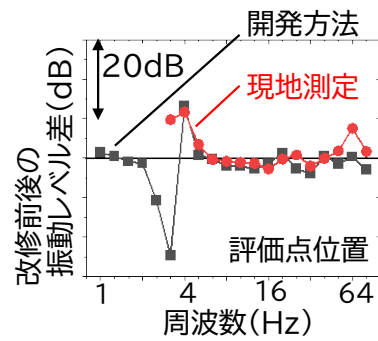
今後の展開

- 今年度開始の新規テーマにて、新たな地盤振動対策工法の検討を実施します。
- 個別箇所の対策工の検討については、受託業務で支援します。

開発方法の詳細



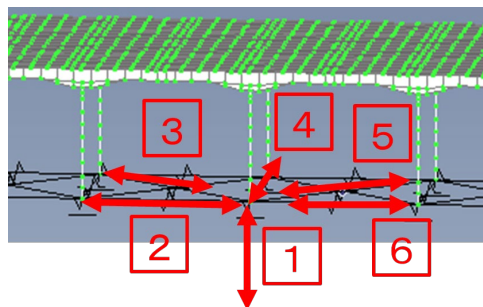
開発方法の検証結果



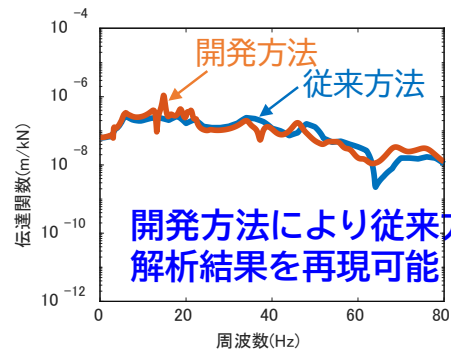
本方法により、高架橋改修前後での
5点の振動の変化を再現可能

改良点①: 構造物の応答を求める解析

柱1本当たりのインピーダンス数(一例)
従来方法: 約73万個(全ての地中節点間)
↓ 統合
開発方法: 6個 **99%以上削減**



開発方法で設定するインピーダンス

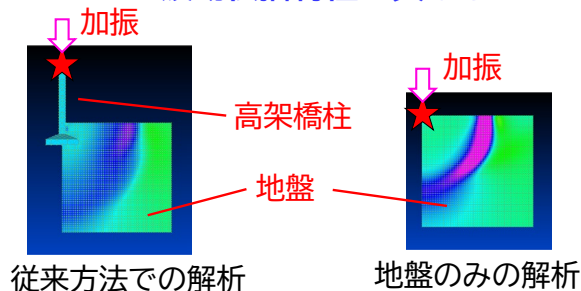


高架スラブ上から柱下部までの伝達関数

開発方法により従来方法の
解析結果を再現可能

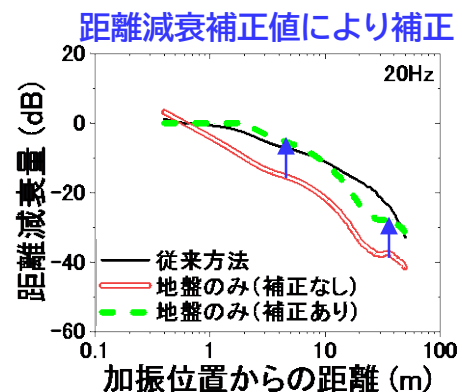
改良点②: 地盤の応答を求める解析

高架橋の有無で地盤内の
波動伝播特性が異なる



高架橋の有無による地盤内の波動伝播特性の
相違を補償するため距離減衰補正值※を提案

※基礎形状、地盤特性から算出可能



開発方法により従来方法
の解析結果を再現可能

地震時の高架橋の変位発生を抑制する低コストダンパー

新幹線高架橋の地震時走行安全性を向上するため、低コストな変位抑制ダンパーを開発しました。汎用鋼材と簡易加工により、従来比20%以上の低コスト化と施工の迅速化を実現しました。

研究の背景と目的

- 新幹線のラーメン高架橋では、地震時に構造物が大きく揺れ、軌道に変位が生じます。その結果、地震時走行安全性が低下し、脱線リスクが高くなる場合があります。
- 従来の変位抑制対策は、特殊な材料・設備・工程を要する特注ダンパーを用いるため、地震後の迅速な部材交換が容易ではなく、工事費が高いという課題がありました。
- そこで、高架橋に適用できる**低コストな変位抑制ダンパーブレース構造**を開発しました。

研究成果

- 筋交ブレースと、汎用H形鋼の簡易な切削加工で製作できるダンパーを組み合わせることで、高架橋全体の剛性を効率的に高めることができます。
- 特殊加工や専用製作設備が不要な形鋼のボルト接合を基本とすることで、現場組立の施工性を確保しました。これにより、従来品と同等性能で、**製造や施工コストを20%以上低減**できます。
- 模型載荷実験と静的非線形有限要素解析により、拘束材による座屈抑制効果、安定した荷重－変位関係、および**高いエネルギー吸収性能**を確認しました。
- 標準的なラーメン高架橋に適用することにより、L2地震時の応答変位が低減し、さらに車両に**脱線が生じる地震動の大きさを50%以上向上**できることを確認しました。

鉄道高架橋への適用イメージ

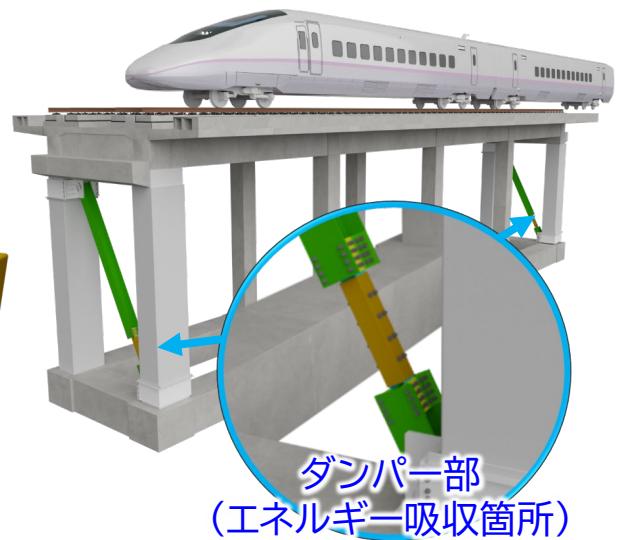
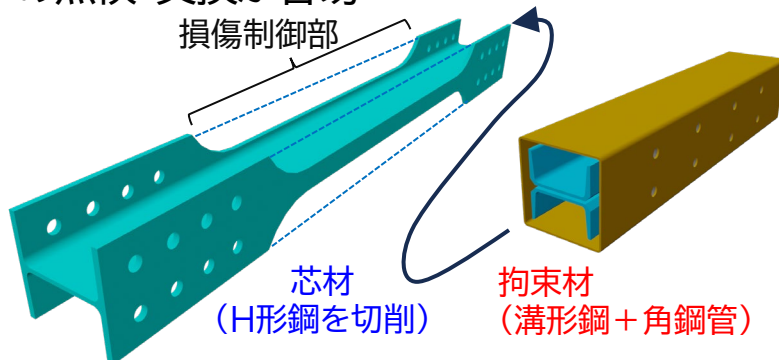


今後の展開

- 今後、大型振動台を用いた動的な性能検証試験を実施する予定です。
- 本成果は、新幹線線区で実用化が予定されています。道路、建築等の他分野への展開も可能です。

提案ダンパーの基本構成

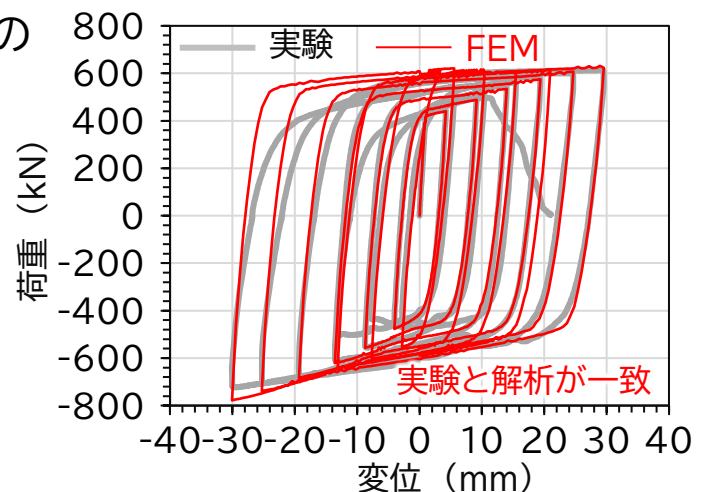
- H形鋼のフランジを切削して損傷制御部を設け、拘束材で座屈を抑制する構成
- ボルト接合を基本とし、現場組立や地震後の点検・交換が容易



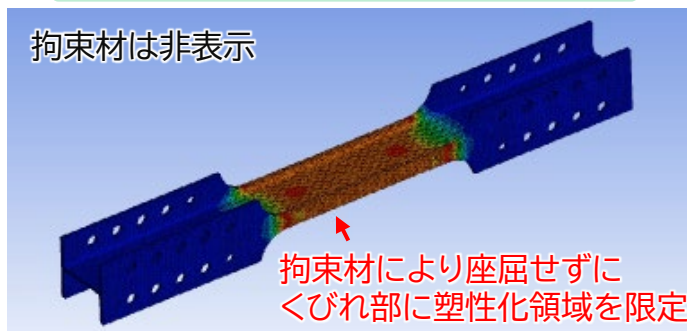
模型載荷実験と非線形有限要素解析によるダンパー性能の検証

- 拘束材による座屈抑制により、広い変位領域で高いエネルギー吸収性能を確認
- 非線形有限要素解析により模型実験の荷重-変位関係、損傷を良好に再現

荷重-変位関係(履歴ループ)



拘束材による座屈抑制効果

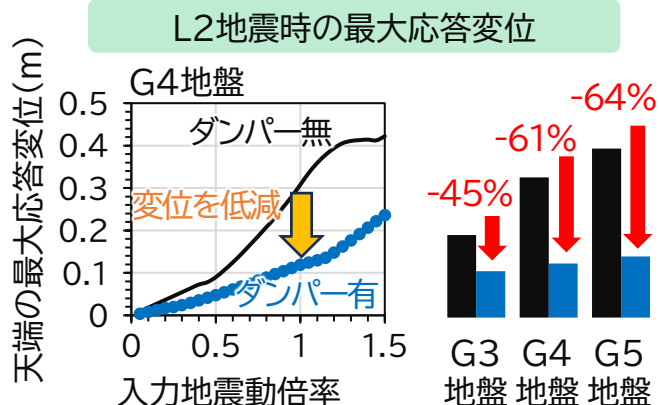


標準ラーメン高架橋への適用効果:変位低減と地震時走行安全性向上

- ダンパブレースにより、高架橋の変位を最大64%低減
- 車両に脱線が生じる地震動の大きさを最大113%向上

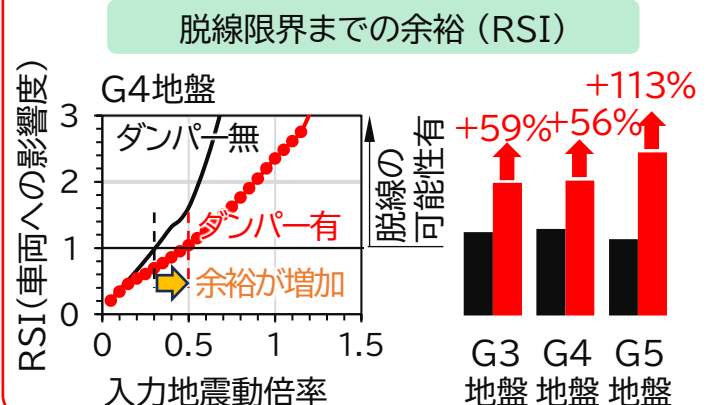
効果① 高架橋の応答変位を低減

最大64%低減



効果② 地震時走行安全性の向上

最大113%向上



C-12

杭と土のうを併用した基礎による免震工法

橋りょう基礎を対象に、杭と土のうを併用した免震工法を開発しました。本工法により、基礎の建設コストの縮減や、杭頭接合構造の簡略化による施工性の向上が実現できます。

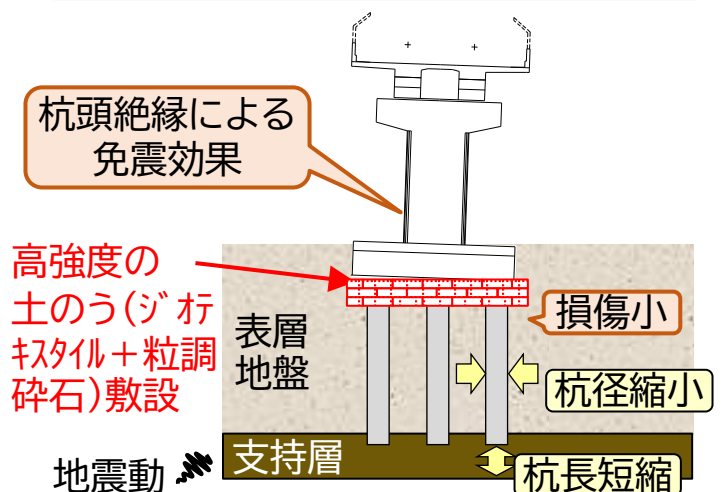
研究の背景と目的

- 杭頭を剛結した従来の杭基礎では、地震時に橋脚などのく体や杭に大きな慣性力が作用し、杭長や杭径が増大し、建設コストが増加する傾向があります。
- そこで、橋りょう基礎を対象に、地震時慣性力を抑制し、杭長や杭径を合理化できる「杭と土のうを併用した基礎」を開発しました。

研究成果

- 模型振動台実験により、杭頭とフーチングの絶縁による免震効果、土のうの敷設による杭曲げモーメントの低減効果を確認しました。
- 原位置での試験施工により、実際の現場において施工可能であることを確認しました。
- 実規模橋脚の試設計により、く体に作用する慣性力を、杭頭を剛結した従来の杭基礎の約2/3に抑制でき、基礎の建設コストを約15%縮減できることを確認しました。
- 既設橋脚や、線路上空こ線橋に対しても適用できることを確認しました。

杭と土のうを併用した基礎 (提案構造)の概要

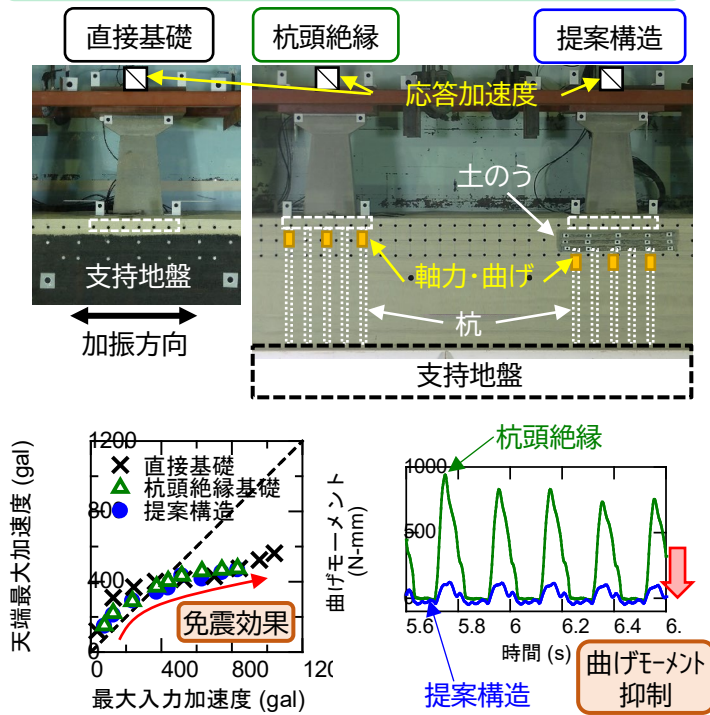


今後の展開

- 設計・施工マニュアルを整備済みで、今後工法の普及を図ります。
- 工法の適用実績を積み、幅広く実用展開を図る予定です。

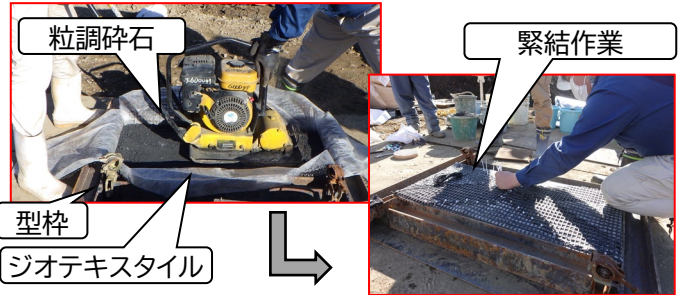
本研究の一部は㈱テクノックス、㈱ジェイアール総研エンジニアリングとの共同研究により実施いたしました。特許第7100434号

模型振動台実験による免震効果の確認

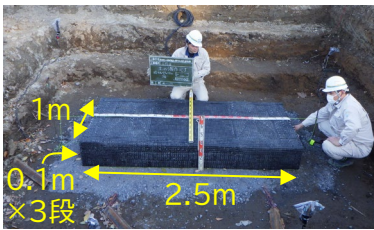


原位置での試験施工

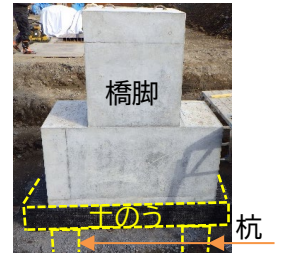
◆土のう製作



◆土のう敷設

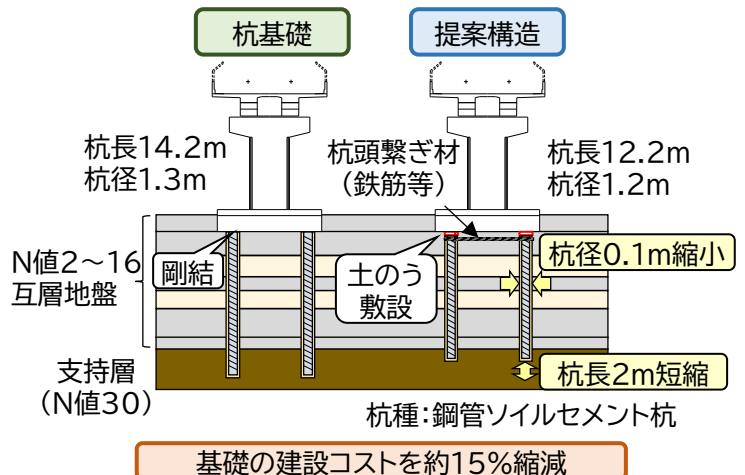
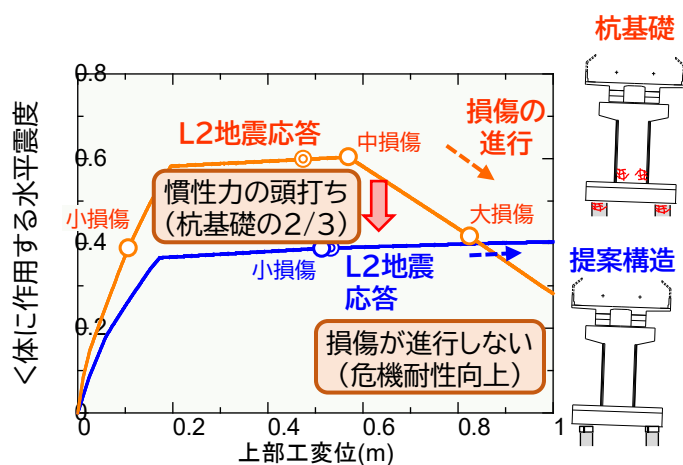


◆完成時



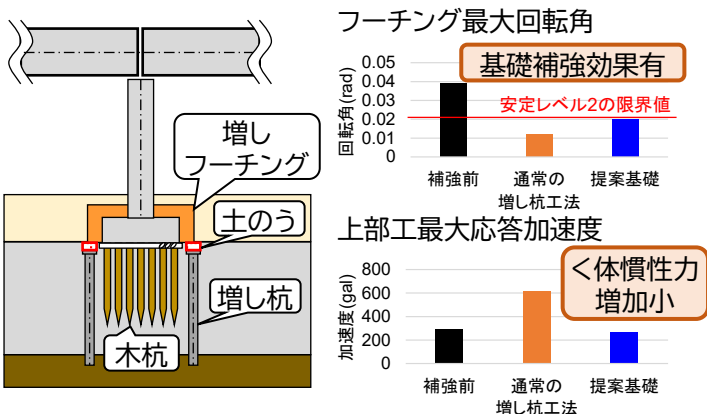
実際の現場で施工可能であることを確認

杭頭を剛結した従来の杭基礎と提案構造の試設計



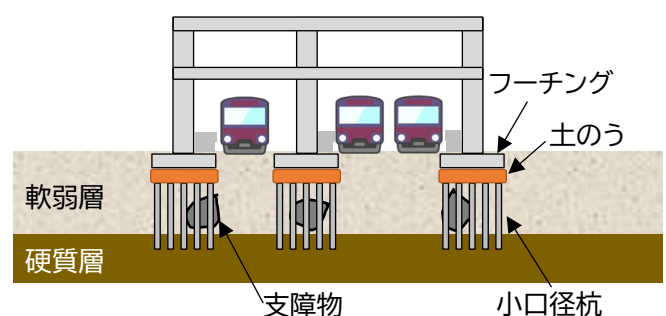
既設橋脚への適用例

補強前から杭頭が絶縁している基礎(木杭基礎等)で、＜体の慣性力の増加の小さい基礎補強を実現できます。



線路上空のこ線橋への適用例

支障物を打ち抜き可能な小口径杭との併用により、杭頭接合構造を簡略化でき、支障物の撤去も不要となるため、施工性が向上します。



C-13

既設構造物の耐震診断合理化に 資する調査、解析の選択手法

構造物が持つ様々な物性値のばらつきに対する照査値の感度を定量化することで、耐震診断の合理化効果が大きい調査・解析法を選択的に実施できる手法を開発しました。

研究の背景と目的

- 既設構造物の耐震診断では、材料・地盤・解析等が有する各種の**不確実性・不確定性(変動)**の効果を**安全係数**として**照査値**に暗に含めています。
- **実物の調査、詳細な解析**などを行うことで各種の**変動**は**低減**可能ですが、現行の診断法は、**個々の安全係数が照査値に与える影響が不明瞭**です。
- そのため、耐震診断を合理化(照査値を適正化)する上で有効な調査・解析法を選択しづらい課題があります。
- そこで、**調査・解析法ごとの照査値の低減効果を定量化**することで、耐震診断の**合理化効果の大きい調査・解析法**を選択できる手法を構築しました。

研究成果

- 個々の安全係数の効果を1つの係数(耐震安全率 γ_{er})に集約し、照査項目ごとに**調査・解析の信頼性に応じた耐震安全率を設定**する手法を構築しました。
- 耐震診断の**合理化効果が大きい調査・解析法**を**耐震安全率の値を基に選択可能**となります。
- 提案法は、耐震診断の合理化および補強も含めたトータルコストの経済化に寄与できる可能性があります。

今後の展開

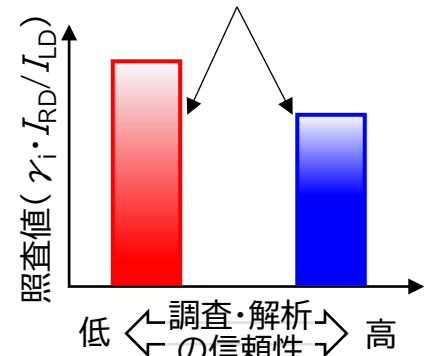
- 多様な条件(構造種別、照査項目等)に対して耐震安全率を整理し、既設構造物の耐震診断に活用できる仕組みを整理します。

耐震診断のイメージ

現行法(部分安全係数法)

$$\underbrace{\gamma_i}_{\text{構造物係数}} \cdot \underbrace{I_{RD}}_{\text{設計応答値}} / \underbrace{I_{LD}}_{\text{設計限界値}} \leq 1.0$$

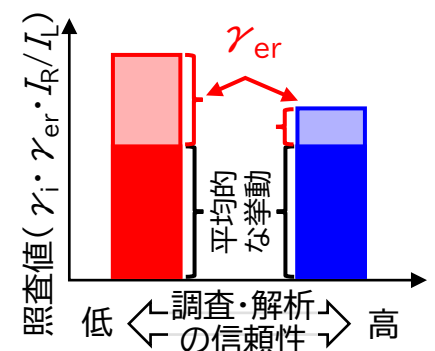
個々の安全係数を暗に考慮
調査・解析法ごとの効果不明瞭



提案法(耐震安全率法)

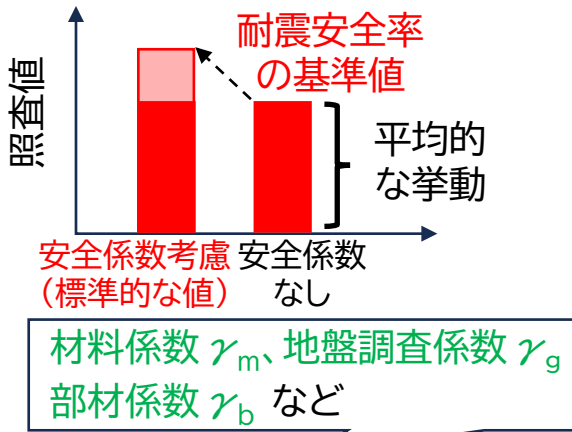
$$\underbrace{\gamma_i}_{\text{耐震安全率}} \cdot \underbrace{\gamma_{er}}_{\text{応答値(平均)}} / \underbrace{I_L}_{\text{限界値(平均)}} \leq 1.0$$

耐震安全率として陽に考慮
調査・解析法ごとの効果明瞭



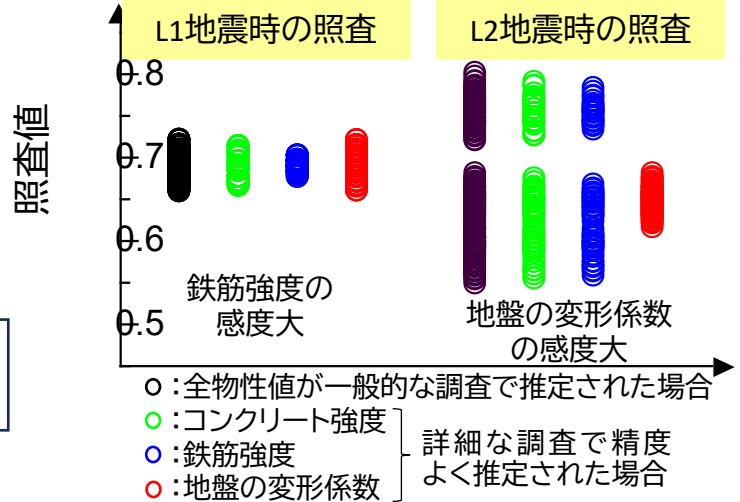
耐震安全率の算定(ラーメン高架橋の例)

●耐震安全率の基準値の算定



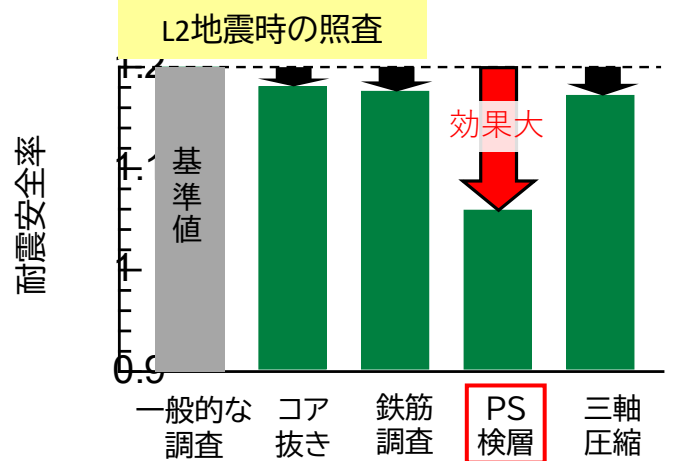
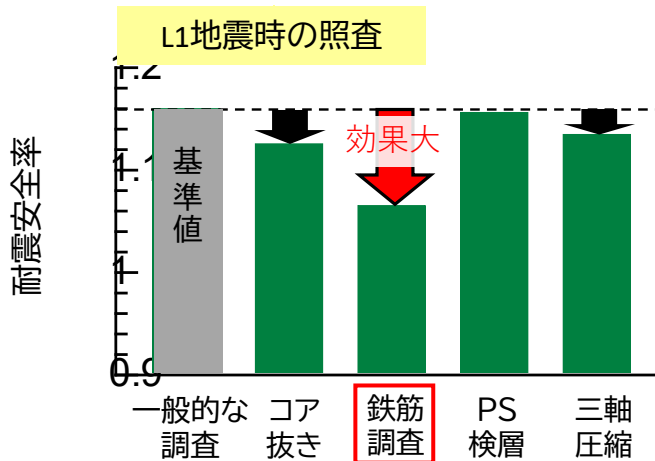
種々の部分安全係数の効果を1つの安全係数に集約

●物性値ごとの照査値へ与える影響把握



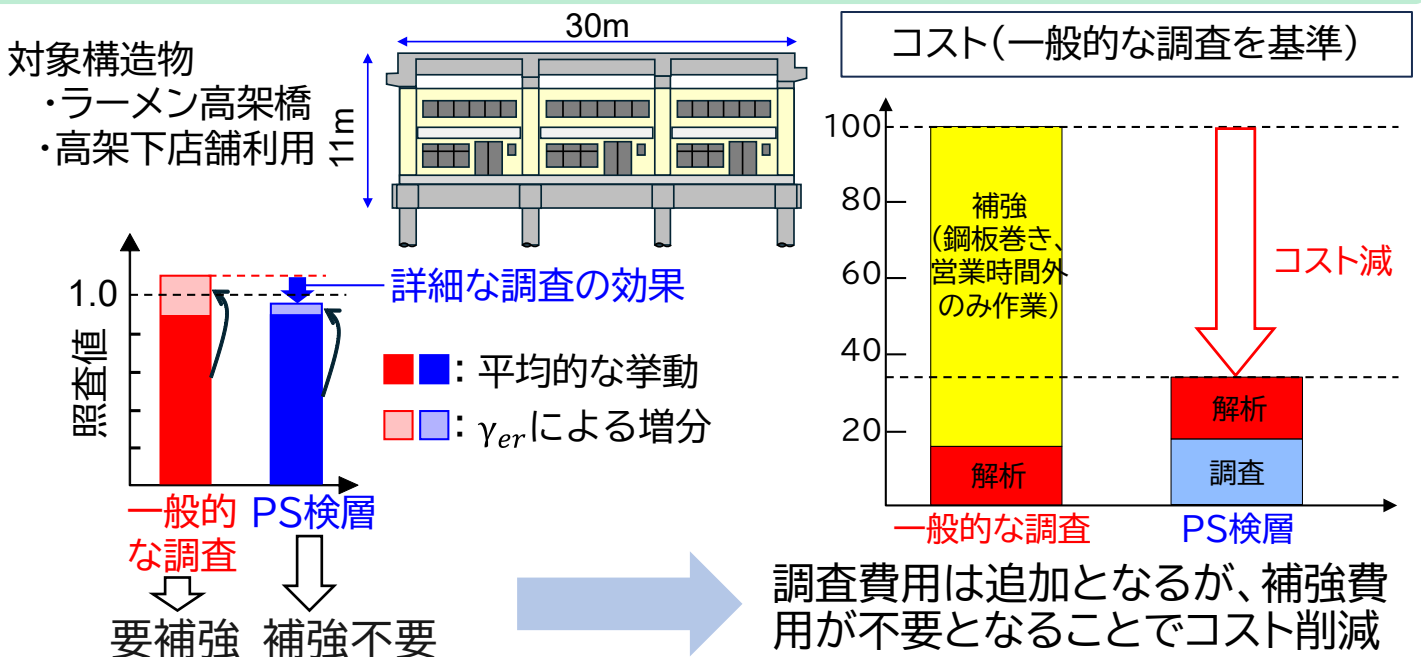
物性値に対する照査値の感度に
応じて、基準値から安全率を低減

●提案手法: 調査法ごとの耐震安全率



照査項目ごとに、効果的な調査法を選択可能！

提案法を用いた耐震診断(ラーメン高架橋、L2地震時の照査の例)



本研究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

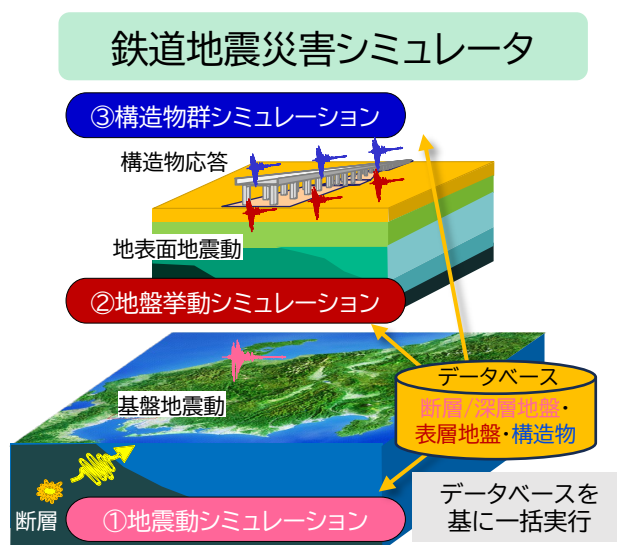
C-14

鉄道構造物群の地震応答解析モデル構築のさらなる効率化

路線全体の鉄道構造物群の地震応答解析モデル構築をさらに効率化することで、地震シミュレーションによる耐震補強の優先順位付けや地震後即時対応の方針策定を支援します。

研究の背景と目的

- 耐震補強等の地震対策を効果的に進めるには、路線全体の構造物群の地震シミュレーションによって、被害想定箇所や相対的な弱点箇所を把握することが重要です。
- 「**鉄道地震災害シミュレータ**」では、構造物情報(寸法、鉄筋、荷重・地盤条件等)から地震応答解析モデルの自動構築が可能です。
- 一方で、構造物情報の効率的な取得が課題となっています。



研究成果

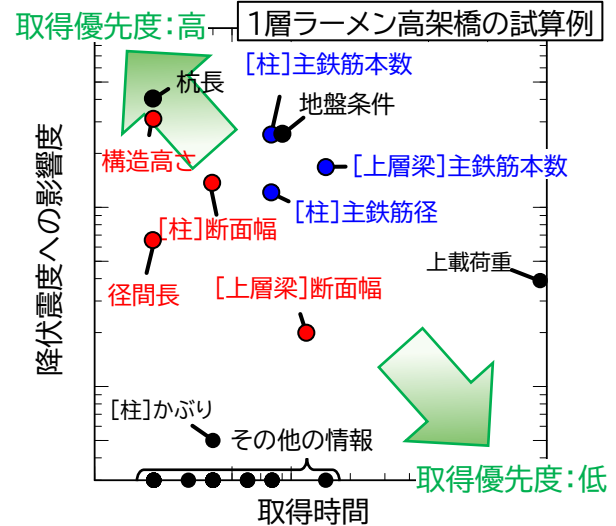
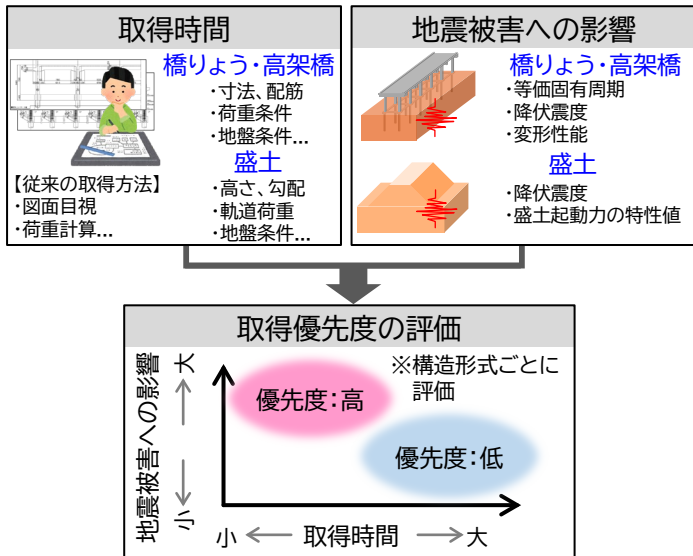
- 構造物情報の取得に要する時間と、地震被害への影響の観点から、優先的に取得すべき情報を定量的に評価する手法を提案しました。
- 優先的に取得すべき情報に対して、3次元点群から部材の幅や高さ等の寸法情報を自動取得する手法と、点群では直接取得できない内部の鉄筋情報を寸法情報や設計年代から推定する手法を提案しました。
- 鉄道地震災害シミュレータと連携することで、構造物群のモデル構築・地震シミュレーションのさらなる効率化を可能としました。

今後の展開

- 構築したモデルを用いて、路線全体の耐震性能評価(ストレステスト)、地震直後の構造物被害の推定情報配信(DISER)に活用できます。これによって、耐震補強戦略や地震シナリオに応じた即時対応方針の策定を支援します。

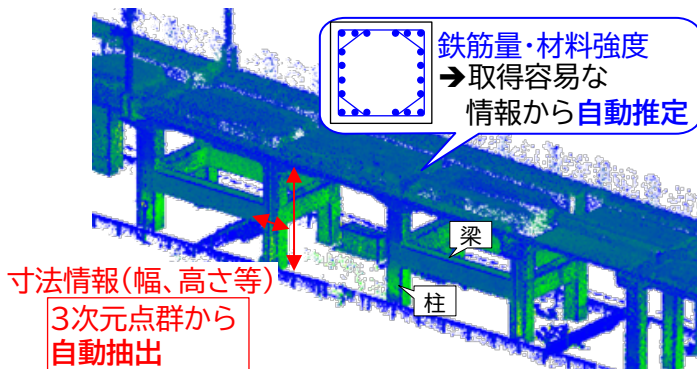
本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187(研究推進法人:土木研究所)によって実施されました。

モデル構築に必要な構造物情報の厳選

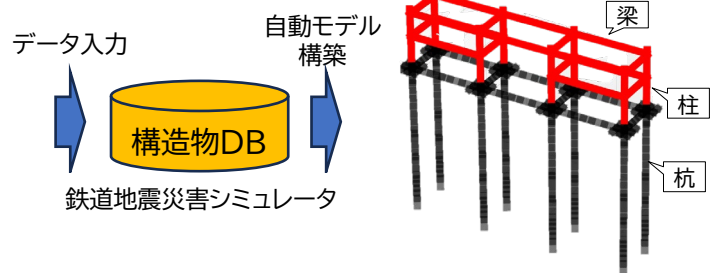


※優先度の低い情報は一般的な値を入力する等で取得リソース削減

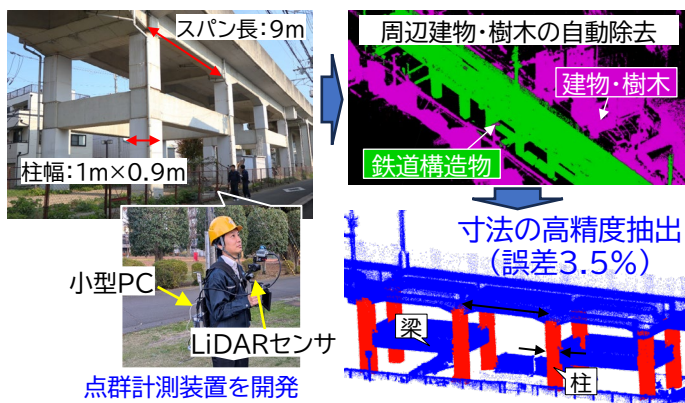
厳選した情報の効率的な取得・地震シミュレーションとの連携



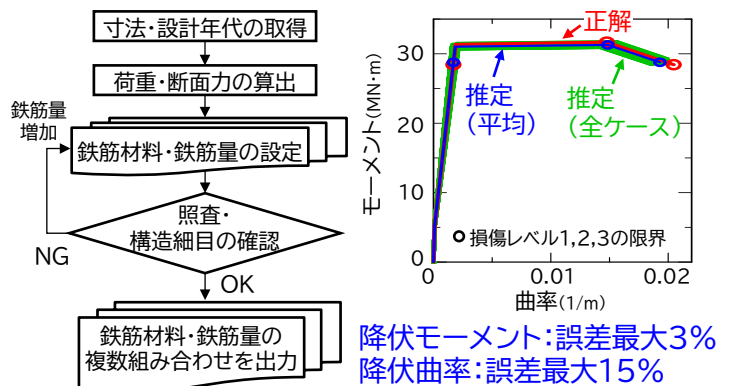
効率的な全線モデル構築・応答解析



点群計測による寸法情報の自動取得



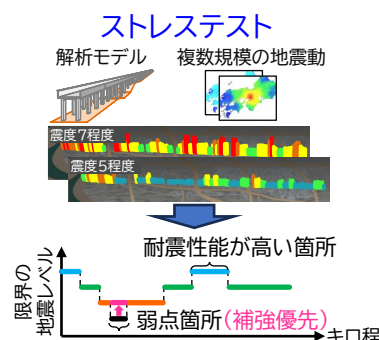
内部鉄筋情報の推定



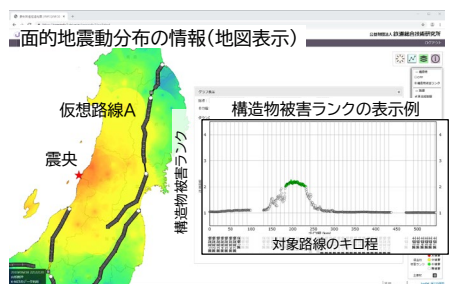
効率的な地震シミュレーションによる地震対策支援

- 路線全体の耐震性能評価(想定地震、設計地震動、ストレステスト)
- 地震直後の構造物被害の推定情報配信(DISER)

路線全体の耐震補強・地震後点検の優先順位付けに活用



DISER(鉄道地震被害推定情報配信システム)



機械学習を用いた 面的な地震動の即時推定手法

鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)における面的な地震動の即時推定を対象として、機械学習を取り入れた手法を開発し、推定精度や即時性を最大で30%程度向上させました。

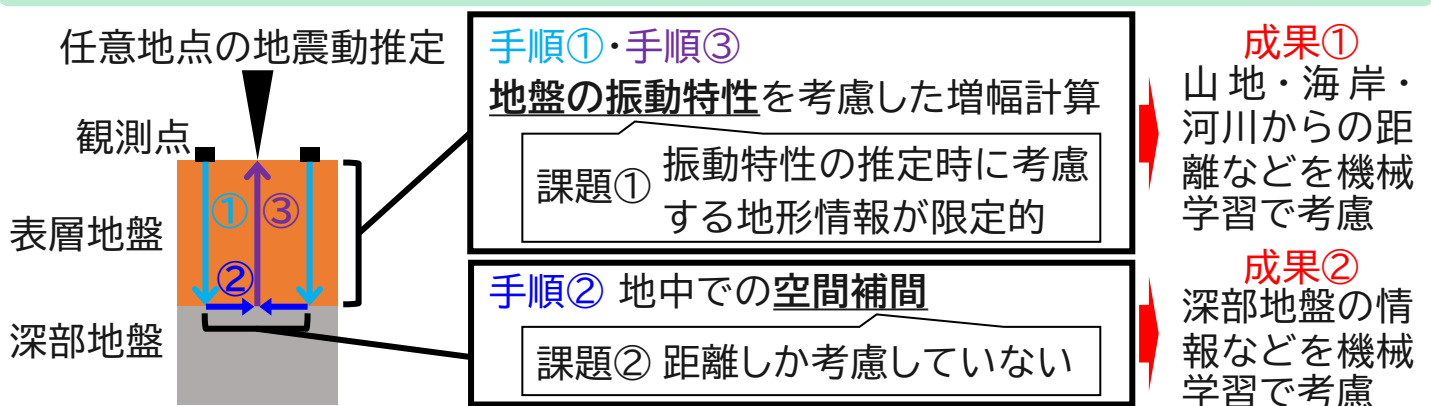
研究の背景と目的

- 現行のDISERで用いている面的な地震動の即時推定では、基盤面の空間補間において距離しか考慮していない点、地盤の振動特性の推定に限られた地形情報しか使用していないなどの課題がありました。
- これらの課題解決のために機械学習を取り入れた手法を開発しました。

研究成果

- 基盤面における地震動の空間補間に、震源位置、観測点配置、深部地盤の情報など、多様な情報を考慮した機械学習を取り入れました。
- 表層地盤の増幅計算に必要な地盤の振動特性の推定に山地・海岸・河川からの距離、傾斜など、多様な地形情報を考慮した機械学習を取り入れました。
- 一連の手法を取り入れた開発手法により、計測震度などの地震動指標値の推定精度や即時性が最大で30%程度改善することを確認しました。

DISERによる地震動の推定手順と機械学習の適用箇所

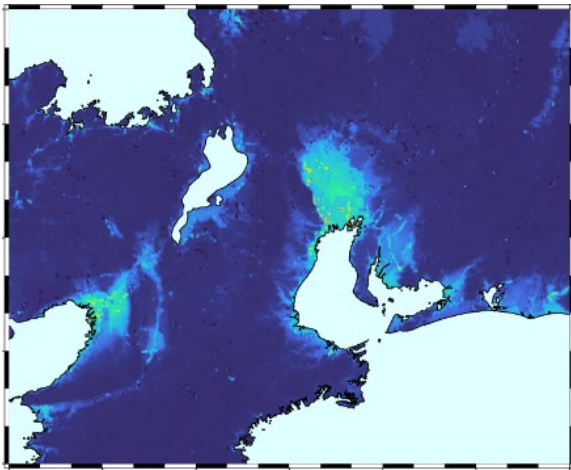


今後の展開

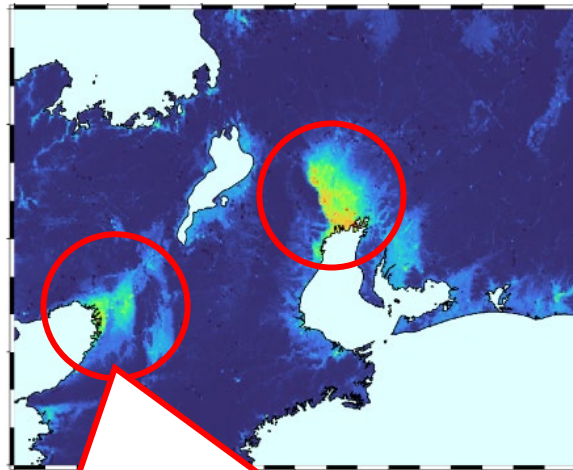
- DISERに実装し、現在よりも高精度かつ高速に面的な地震動の分布を配信可能とすることで、地震発生直後の運転再開判断や運転再開時間の短縮を支援します。

表層地盤の増幅計算に必要な地盤の振動特性(固有周期)の分布

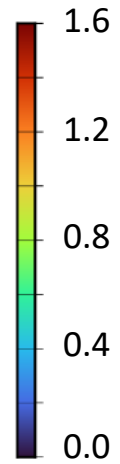
現行手法(重回帰式)の推定結果



開発手法(機械学習)の推定結果

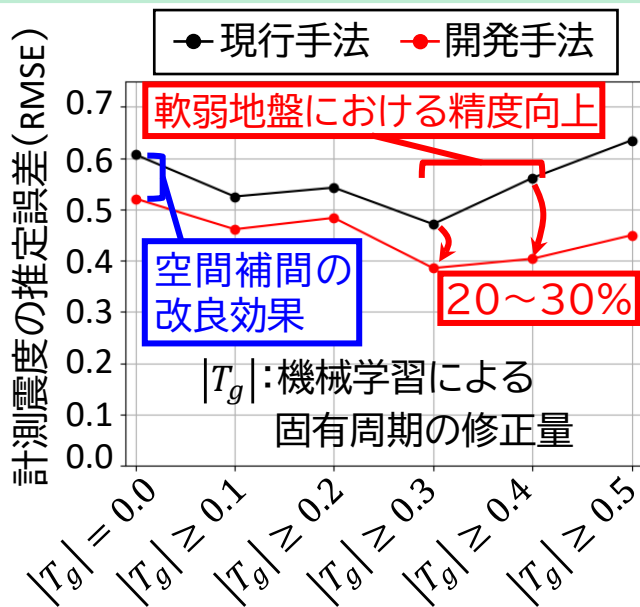


固有周期(秒)

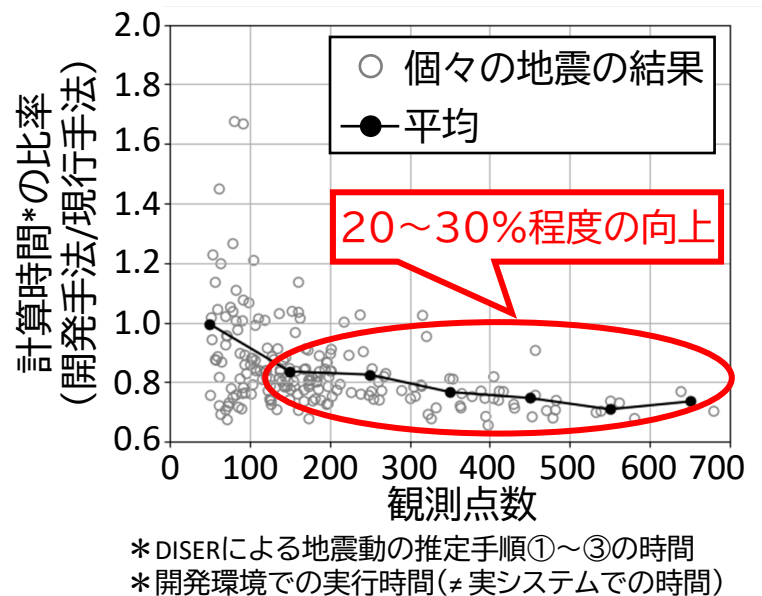


軟弱地盤が多い都市部での推定精度が改善

推定精度の向上

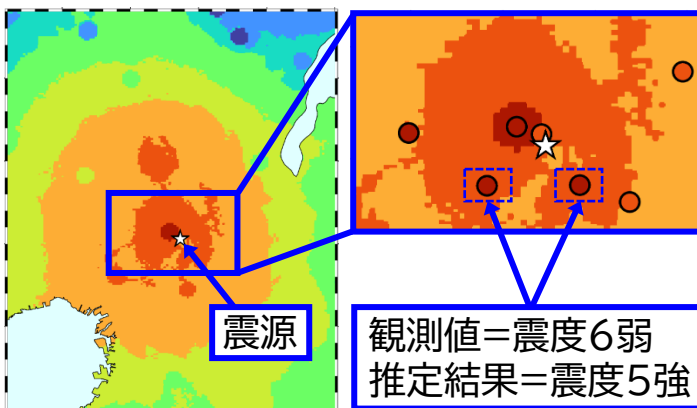


即時性の向上

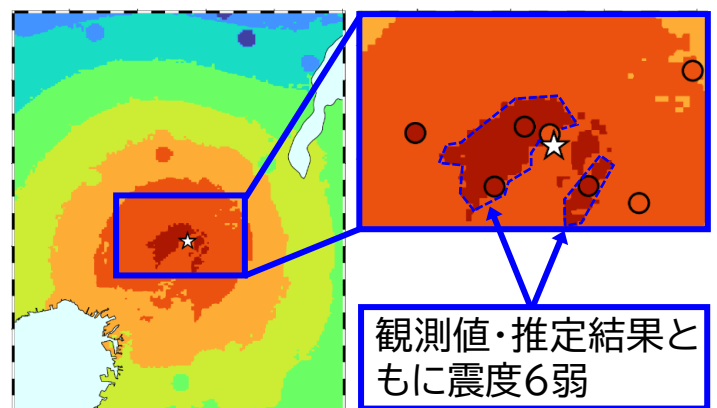


過去の地震の再現解析結果(2018年大阪府北部地震)

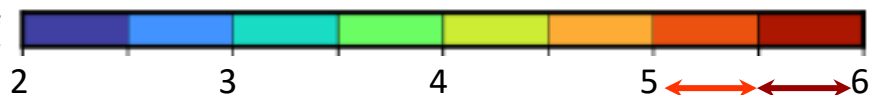
現行手法の推定結果



開発手法の推定結果



計測震度



震度5強 震度6弱

光ファイバーセンシング技術 (DAS)の鉄道地震防災への活用

鉄道沿線の既設光ケーブルによるDASで、地震発生直後に即時かつ高精度に震源及びマグニチュードを推定するとともに、沿線の地震動加速度を高密度に把握できる手法を開発しました。

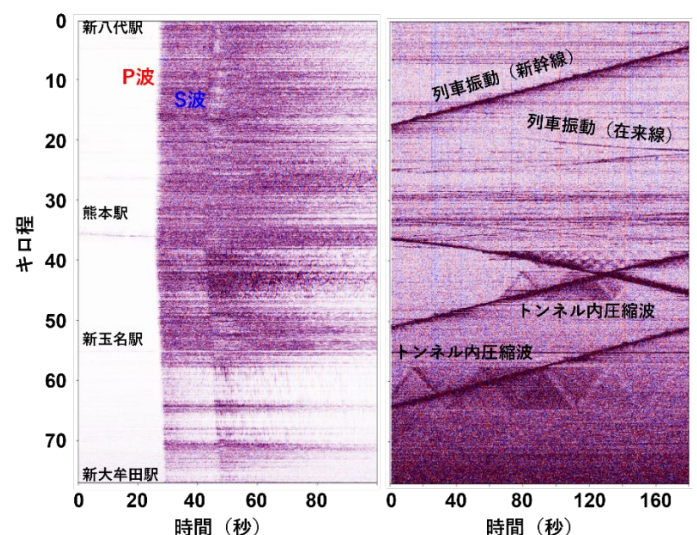
研究の背景と目的

- 従来の鉄道における地震観測システムは、沿線に数十kmごとに地震計を配置し、地震波の到来や沿線の揺れの分布を把握しています。
- 本手法により、鉄道沿線等の既設通信用光ファイバーケーブルを地震動を捉えるひずみセンサーとして活用することで、即時性と精度を両立した地震警報の発令や、鉄道沿線の揺れの高密度な把握による早期の運転再開判断支援が可能となります。

研究成果

- DASを用いた早期地震警報手法を開発**しました。多数のデータを用いた震源推定結果を逐次更新することにより即時性確保および精度向上に成功し、最初のP波検知から2秒以内に震源を推定できます。推定した震源は、気象庁の詳しい震源と比べても、**誤差10～30km程度の精度を保持**しています。また、DASの振幅情報を補正しマグニチュードの**誤差 ± 0.5 程度**を達成しました。
- 構造物応答やケーブルカップリング(密着度合い)を補正する手法を開発し、**DASで取得したひずみ速度から地表面加速度を高密度に、倍半分程度の精度で推定することに成功**しました。

DASで取得した地震波(左)と列車振動(右)

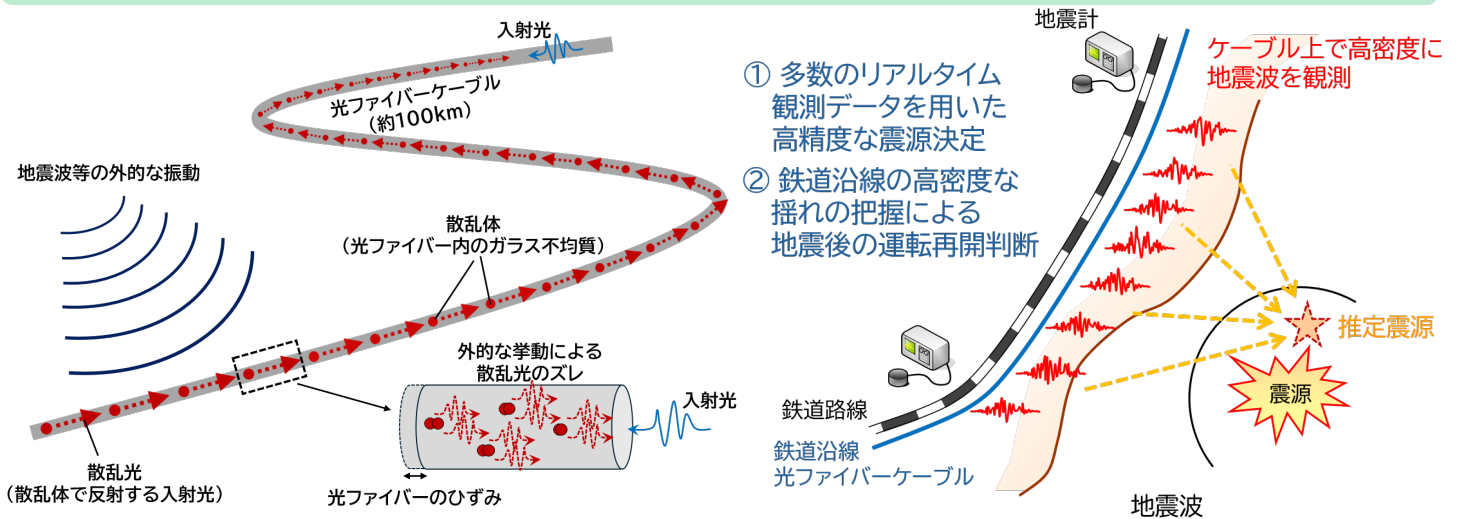


今後の展開

- 2026～2028年度実施の研究テーマにおいて、早期地震警報と運転再開判断支援を一体化したDASによる鉄道用地震防災システムの開発・導入に向け、現場での検証試験を行うとともに、**リアルタイム稼働システムのプロトタイプを構築**します。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。特許第7764345号、特開2024-172157,特開2025-151343,特開2025-158726,特願2025-085106

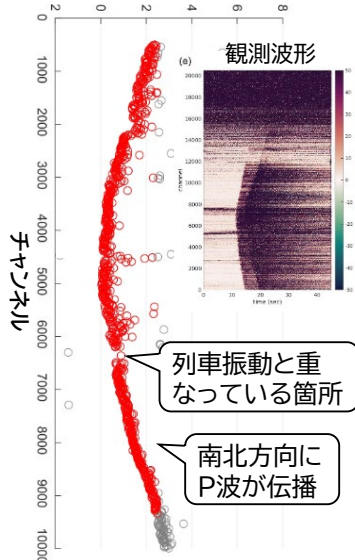
光ケーブルを活用したセンシング技術(DAS)と鉄道地震防災への活用



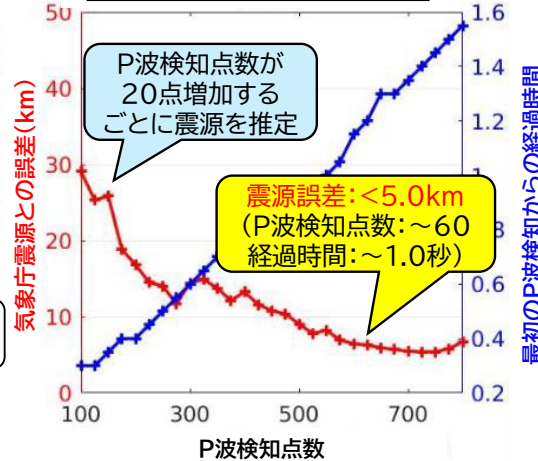
DASによる即時的かつ高精度な早期地震警報手法

DASによるP波検知

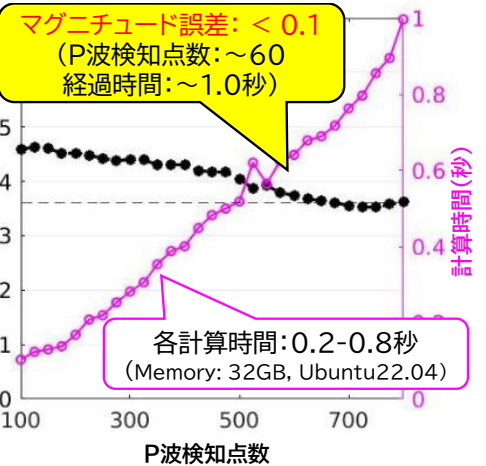
最初P波検知からの時間経過(秒)



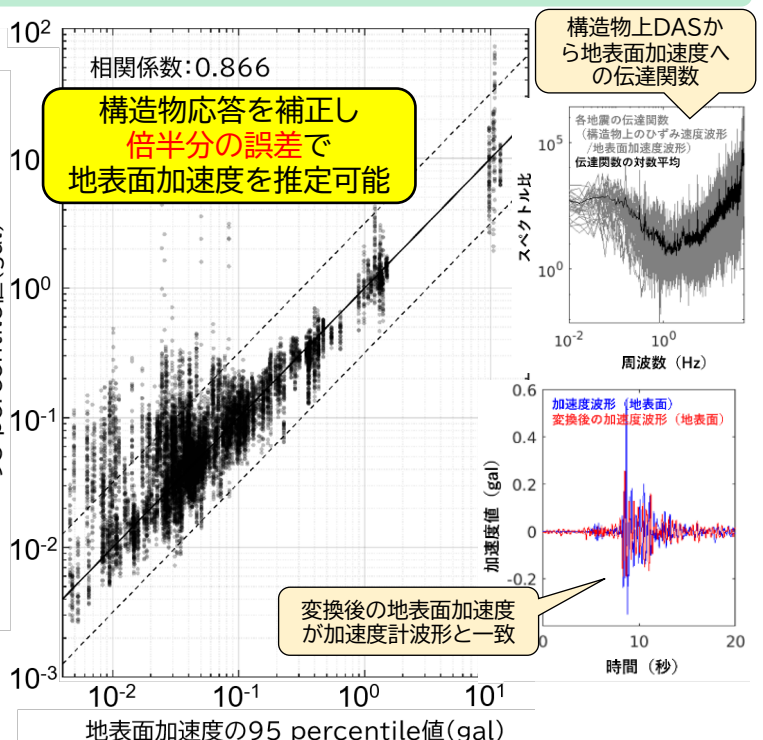
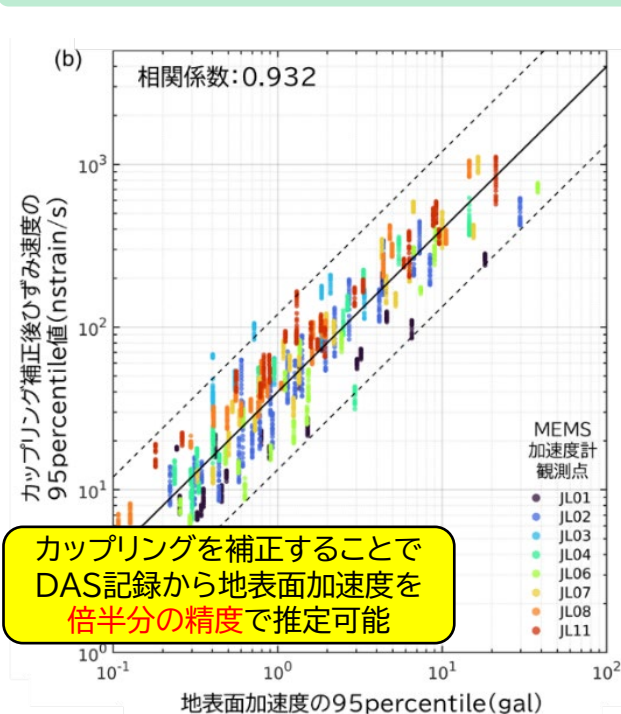
震源誤差推移と時間経過



推定マグニチュードの時間変化と計算時間推移



高密度な地表面加速度把握: カップリング(左)と構造物応答(右)の補正



C-17

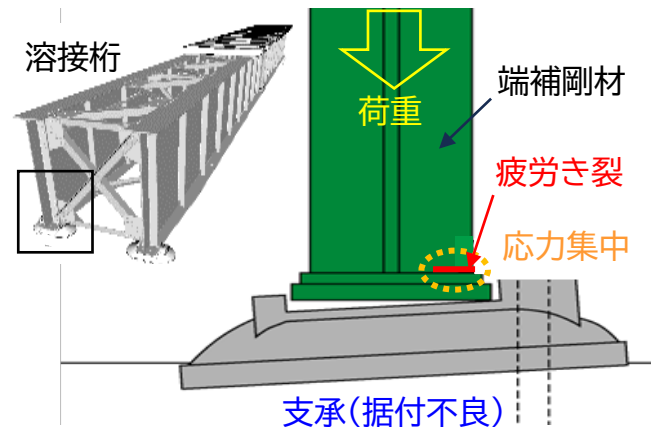
溶接桁の端補剛材下端における疲労き裂発生防止のための補強工法

支圧ボルトにより当て板を下フランジに押し付けて密着し、端補剛材下端の疲労き裂を防止する低コストな補強工法を開発しました。

研究の背景と目的

- 支承の据付不良等により、端補剛材下端に応力が集中し、疲労き裂が発生します。
- 端補剛材は列車荷重を支える重要部材であり、疲労き裂発生防止が求められますが、従来の対策(支承据え直し)は桁を仮受けするため相応のコストを要します。
- 本研究では、端補剛材下端の疲労き裂発生を低コストで防止することを目的とします。

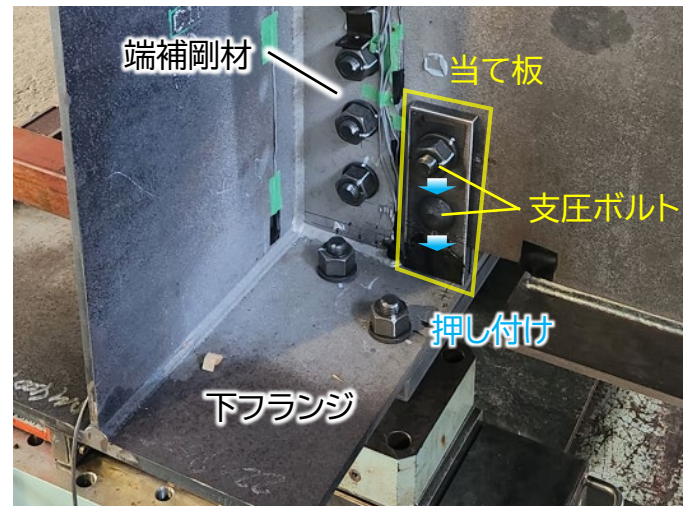
端補剛材下端の疲労き裂概要



研究成果

- 桁仮受けが不要な当て板による補強工法を開発しました。
- 当て板が荷重を分担することにより、端補剛材下端の応力を低減します。
- 当て板は、単に下フランジと接触させるだけでは荷重が伝わりませんが、支圧ボルトを利用して下フランジに押し付けることで確実に荷重を分担することができます。
- 実際の供用下で応力が低減されること及び効果が持続することを実証しました。
- 1箇所あたり数十万円のコストで橋りょうの延命化が可能になります。

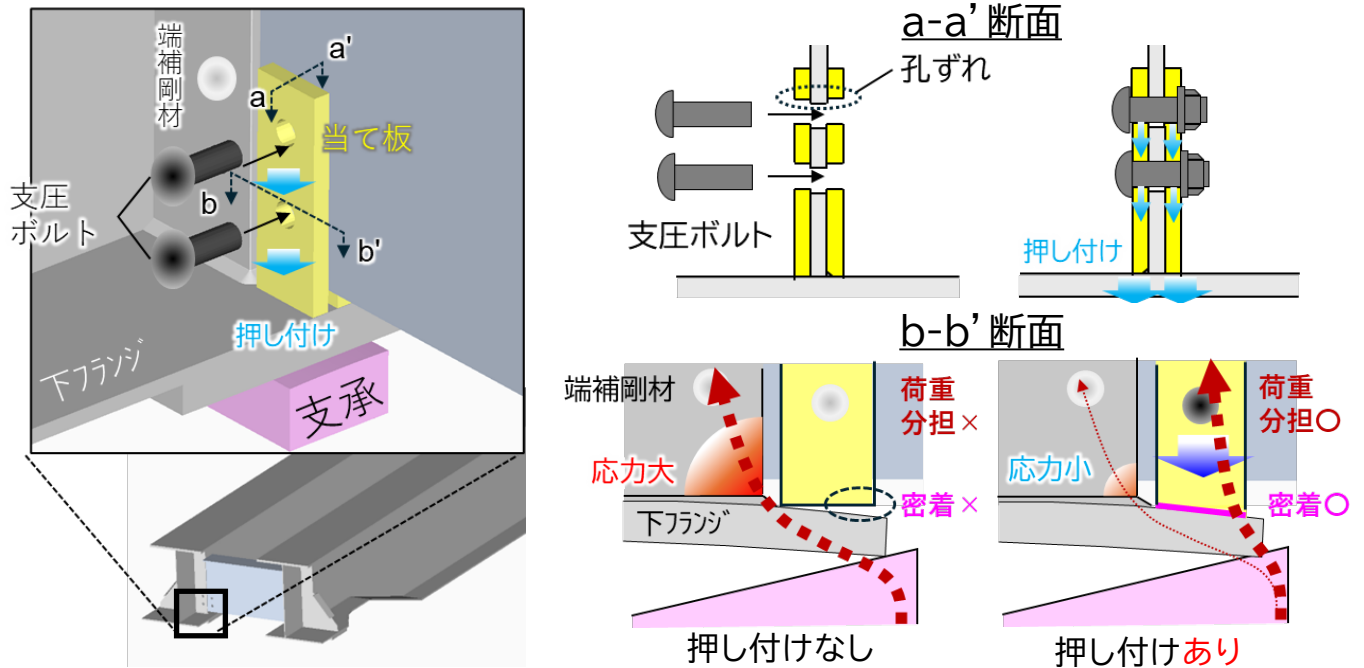
提案した工法



今後の展開

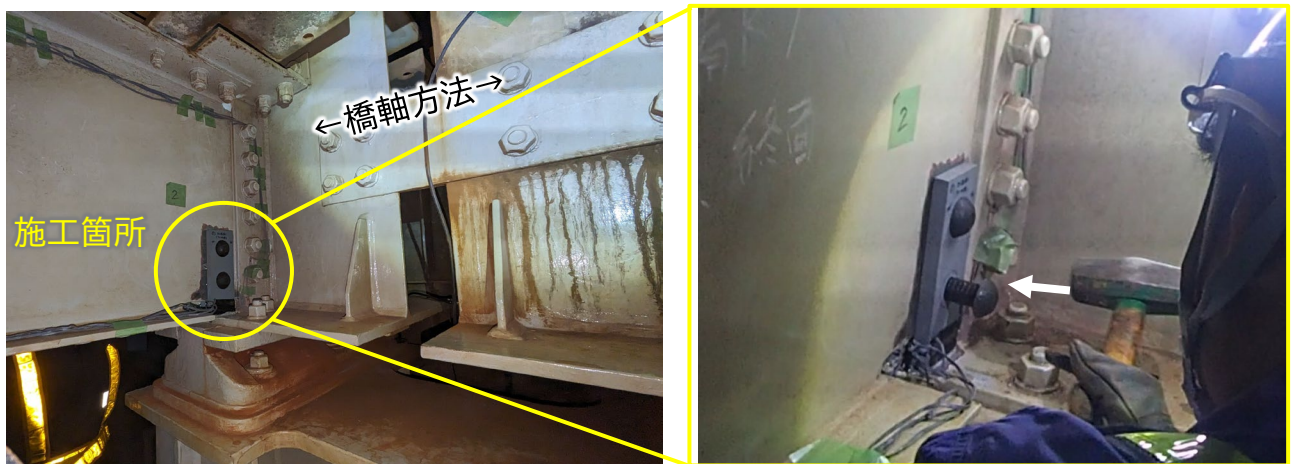
- 構造上の理由で支承の据え直しが困難となっている橋りょうや、対策の期間や予算に制約がある場合の予防保全対策として適用を予定しています。

支圧ボルトを用いた当て板による補強工法の概要



- 当て板を押し付けて密着させることで支承からの荷重を分担

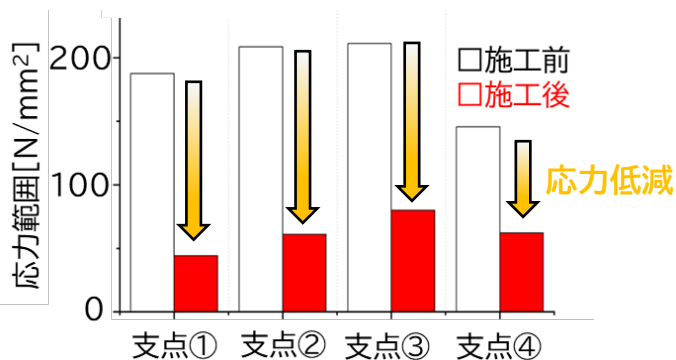
実橋での施工状況



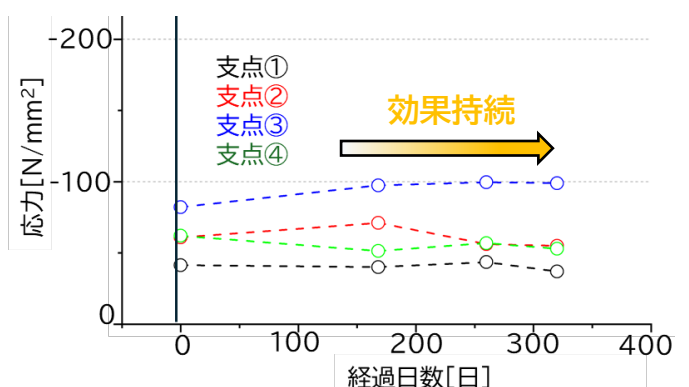
- 支圧ボルトは人力で簡易に打ち込みが可能
- 桁端部の狭隘箇所において2-3時間で施工完了

応力低減効果と効果の持続性

当て板施工箇所の端補剛材下端応力



施工後の応力経時変化



【共同研究】 本研究は、学校法人芝浦工業大学および川田工業株式会社との共同研究の成果を反映しています。

C-18

既設鋼橋支承部の復旧性を高めた移動制限装置

移動制限装置に高力ボルト摩擦接合継手を付加した構造により、地震時の桁移動を抑制し、復旧性を高める装置を開発しました。

研究の背景と目的

- 既設鋼橋の支承部に用いられる従来の移動制限装置は、小規模地震に対し、列車の走行安全性の観点から桁移動を防止する役割を担っています。ただし、大規模地震では、耐力の低い既設下部工が先に破壊しないよう、装置が破壊して桁移動を生じさせるため、場合によっては復旧に時間と費用を要します。
- 本研究は、既設支承部にも設置可能で、大規模地震時にも桁移動を抑制する機能を有した、復旧性向上を図れる移動制限装置を開発することを目的としました。

研究成果

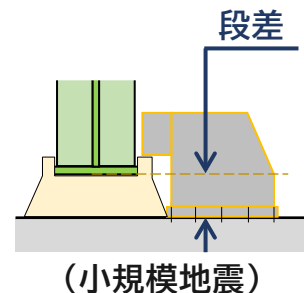
- 大規模地震時、装置が桁に押され、装置の継手部に生じたすべりにより、桁移動のエネルギーを吸収します。
- 摩擦面には、溶融亜鉛めっきを用いることにより、製作コストを抑制しました。
- 狭隘なスペースにも設置可能となるよう従来装置と同程度のコンパクトな構造としました。
- 大規模地震時を想定した時刻歴応答解析により、従来装置と比べ、桁移動量を1/3程度に抑制できることを確認しました。

今後の展開

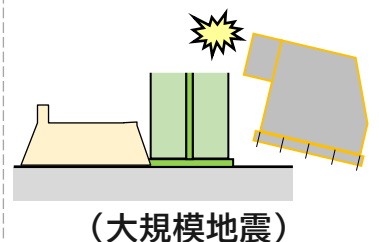
- 装置の設計にかかる費用・手間を軽減するため、マニュアルや標準図の作成を進めています。

装置の概念

◆従来

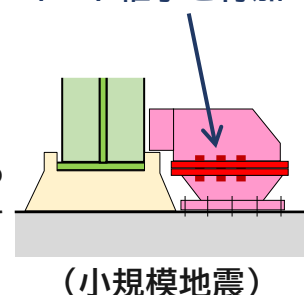


桁移動・
支承からの逸脱



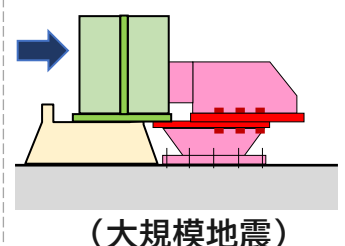
◆本装置

ボルト継手を付加

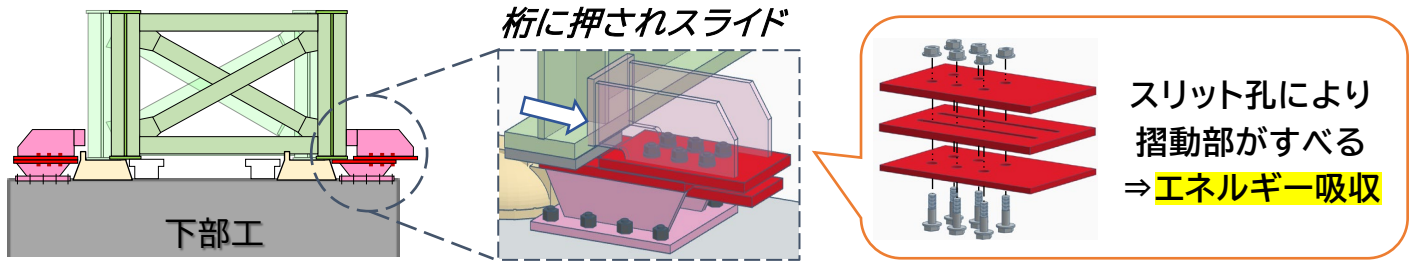


継手のすべりを活用

→ 桁移動の抑制・
段差防止



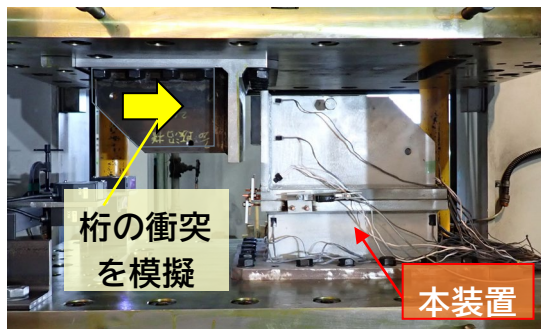
桁ずれ抑制の仕組み



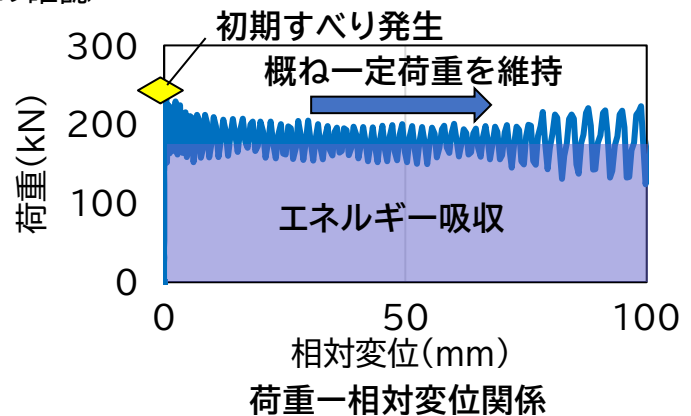
載荷試験および動的解析による性能検証

【載荷試験】

桁の衝突(模擬)に対するエネルギー吸収の確認

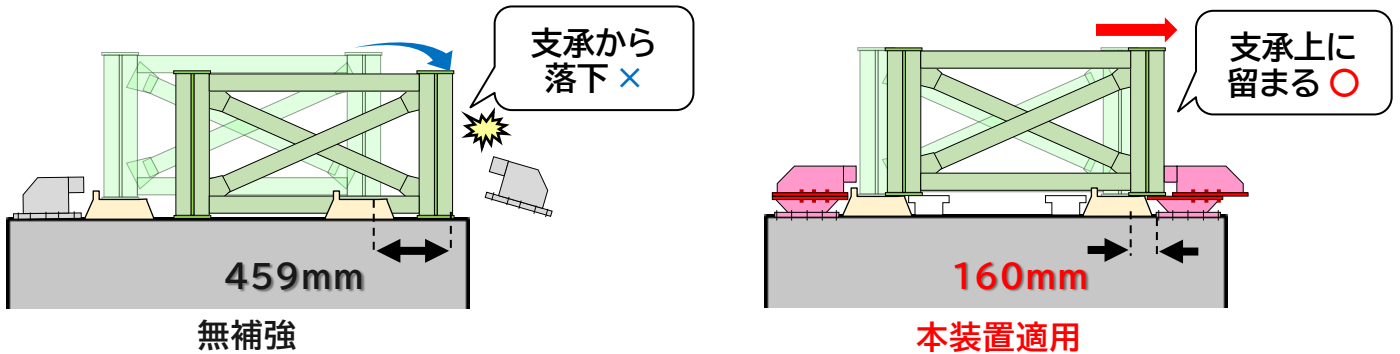


試験体の外観(載荷前)

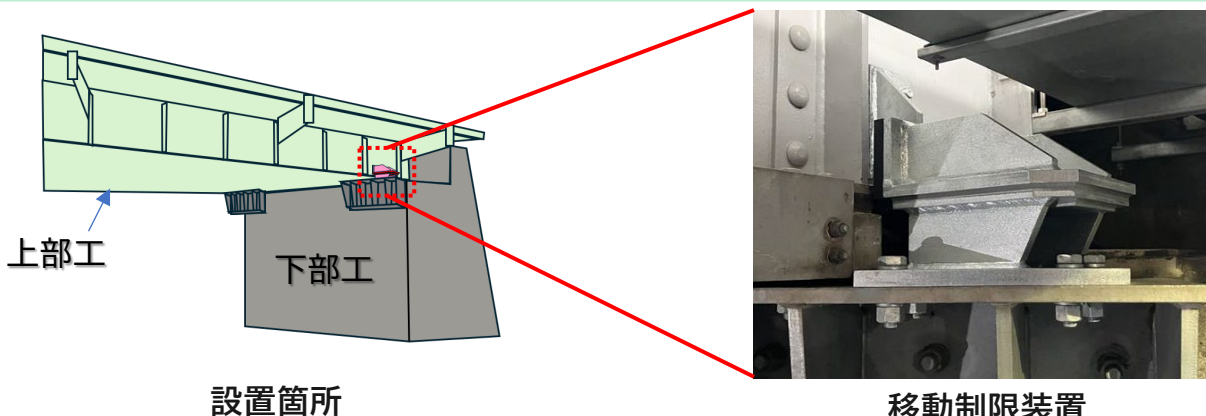


【動的解析】

大規模地震時の最大応答変位の比較



実橋での設置状況



【共同研究】 本研究は、日本鑄造株式会社およびジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社、国立大学法人神戸大学との共同研究の成果を反映しています。

【特許】 特許第7654534号、特開2024-179731

C-19

トンネル壁面画像を用いた 変状抽出AI

トンネル全般検査時の省力化ツールとして、AIによるトンネル健全度の自動判定システム、抽出された変状に基づいた要打音度ヒートマップ作成システムを開発しました。

研究の背景と目的

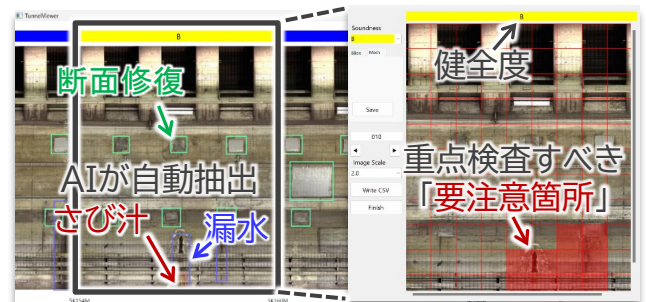
- 鉄道トンネルは戦前や高度経済成長期に建設されたものが多く、熟練技術者による定期的な点検を行うことで維持管理がなされています。しかし、今後の少子化に伴う省力化や脱技能化が求められており、デジタル技術を活用することで定期検査における時間短縮と省力化を図る技術開発をしました。

(本研究は、国土交通省交通運輸技術開発推進制度(JPJ002223)により実施しました)

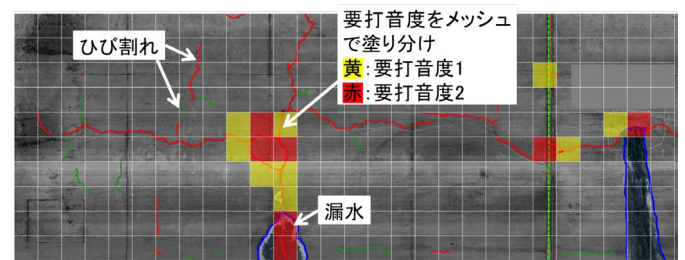
研究成果

- 以下の3つの技術を開発しました。
- AIによるトンネル壁面変状抽出
 - ・ トンネル壁面画像から、ひび割れ、漏水、さび汁といった個々の変状を、AIを用いて抽出します。
- トンネル健全度自動判定
 - ・ 抽出された変状から、トンネルの健全度(A～S)を自動判定します。そして、健全度判定結果から重点的に調査すべき箇所(要注意箇所)を自動抽出します。
- 要打音度ヒートマップの作成
 - ・ 抽出された変状をもとに、1m角ごとに要打音度(打音調査の必要性を示す維持管理標準に基づいた独自指標)を算出し、メッシュを塗り分けて表示する変状展開図を自動作成します。

トンネル健全度自動判定システム



要打音度ヒートマップ



今後の展開

- 鉄道トンネルの全般検査用ツールとして適用事例を増やしていくとともに、変状抽出精度の向上やシステムの利便性向上に取り組めます。

C-20

打音判定AIとハンマー自動追跡による剥落健全度判定技術

トンネル全般検査時の補助ツールとして、トンネル壁面に要打音箇所を投影するシステム、AIによる打音の自動判定システム、打音位置の自動記録・判定結果投影技術を開発しました。

研究の背景と目的

- トンネルの検査は短い夜間間合いで人手に頼って実施されていますが、近年熟練技術者の確保が難しくなっており、デジタル技術により省力化することが期待されています。特に打音調査では、判定が検査員の経験に基づく部分が大きく、判定にばらつきが生じる場合があるほか、打音箇所の記録や判定結果の整理にも手間を要しています。そこで、デジタル技術を活用し、打音調査における判定や記録作業を支援する技術を開発しました。

(本研究は、国土交通省交通運輸技術開発推進制度(JPJ002223)により実施しました)

研究成果

- 以下の3つの技術を開発しました。
- トンネル壁面への要打音箇所の投影
 - ・ ドップラー計により投影装置の自己位置を把握し、その位置の要打音度等の壁面情報をトンネル形状に合わせて補正し投影します。
- AIによる打音の自動判定
 - ・ ハンマー打音時の音を画像化し、AIを用いて清音(健全部の音)、濁音(変状部の音)に分類します。
- ハンマー自動追跡による打音位置自動記録・判定結果投影
 - ・ ハンマーの位置はBluetoothを用いて常時算出されており、ハンマー打音時に打音箇所を自動記録するほか、プロジェクターを用いて即座に打音判定結果を打音位置に投影します。

開発の概要

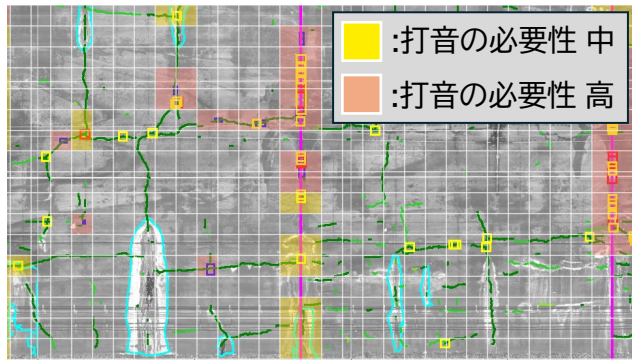


今後の展開

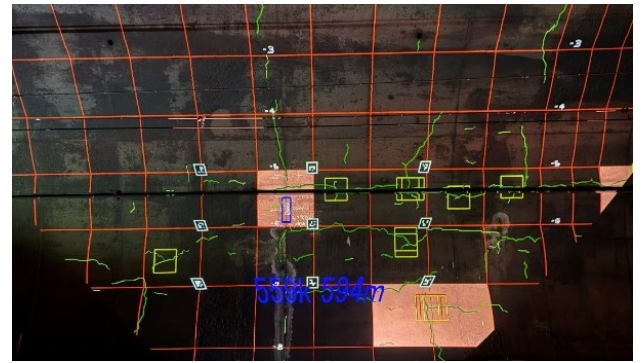
- 既に実トンネルに適用できる状態となっており、実用展開を進めていきます。

要打音箇所の投影

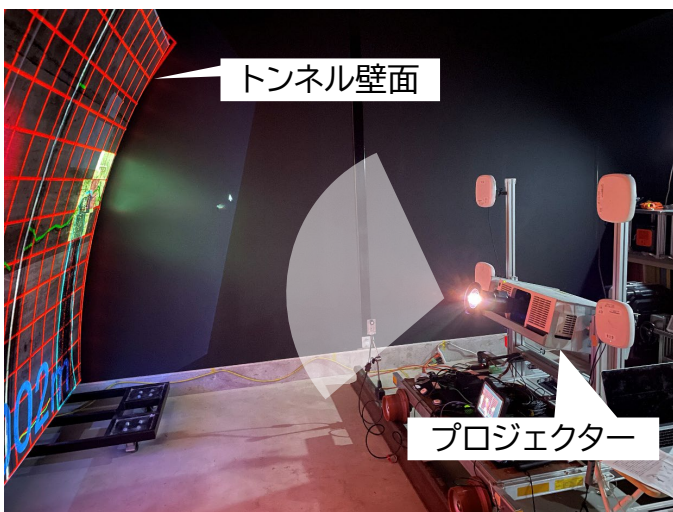
トンネル壁面画像から展開図作成



現地でそのまま投影

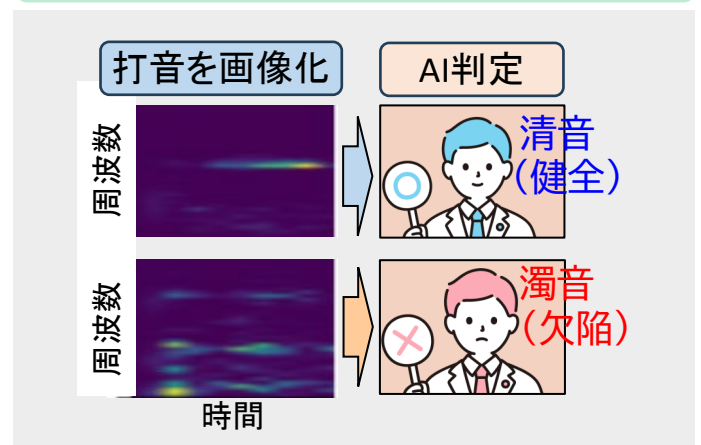


キロ程や投影距離等の補正を用い、打音調査が必要な箇所を要打音箇所としてトンネル壁面に投影します。



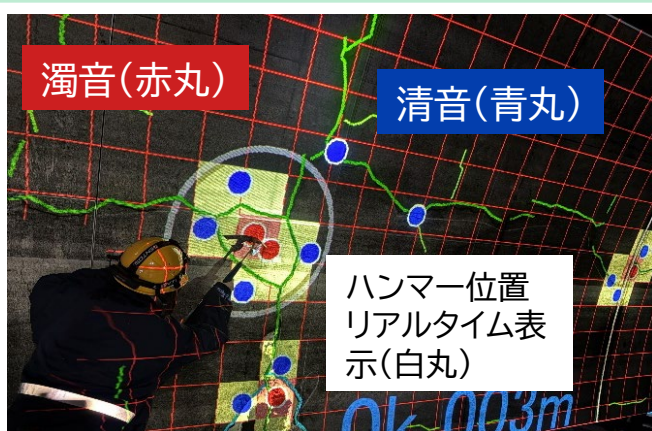
トンネル壁面にはプロジェクターを用いて投影します。

打音判定AI

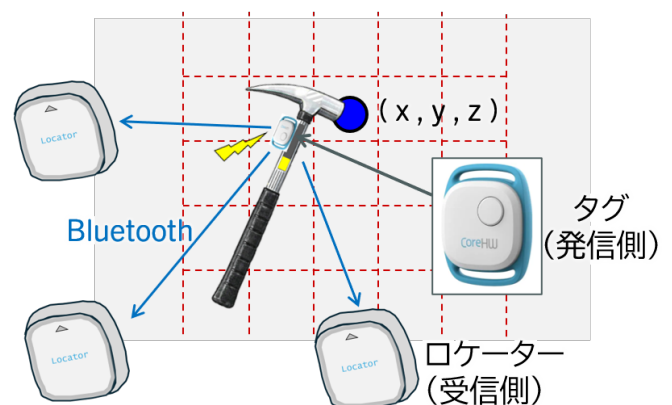


ハンマーの打音時の音を画像化し、画像をAIにかけることで、濁音が清音を判断します。

打音自動記録・投影



ハンマー位置測位機能により打音位置を自動記録し、AIによる打音判定結果を即座に投影します。



ハンマーにBluetoothタグ(発信側)を装着、プロジェクター付近にロケータ(受信側)を設置し、Bluetoothの測位機能により、ハンマーを自動追跡します。