

## C1

# コンクリート表層品質の可視化技術「WIST®」

鉄筋コンクリート構造物では、内部の鉄筋を劣化させないために“表層がち密であること”が求められます。このような、コンクリートの表層部の品質、“表層品質”を「WIST」で可視化できます。

## 研究の背景と目的

- ひび割れなどの目に見える不具合がなく、出来栄の良いコンクリートでも、劣化に影響する物質(水や二酸化炭素)の侵入に対する抵抗性には、大きな差があります。
- 固まった後のコンクリートでは、表層部の品質(ち密であるかどうか、劣化に影響する物質の侵入に対する抵抗性)の違いを、簡単には調べることができませんでした。
- 「品質の良いコンクリート構造物の建設」や「コンクリートの保守」に役立てるため、「コンクリートの表層品質を誰でも手軽に調べられる方法」が望まれていました。

## 研究成果

- 「WIST」の研究開発では、乾燥したコンクリート表面に散水して、目視で得られる情報により、コンクリートの透気性状や水分浸透性状などを評価できることを実験で明らかにしました。
- 国内外の大学等で「WIST」が検証、実証されているほか、建設工事での品質評価の活用事例など、多数報告されています。
- 「WIST」に適した散水量などの試験条件を実験で明らかにして、専用の試験キットを開発し、商品化しました。

### 「WIST」による品質評価方法



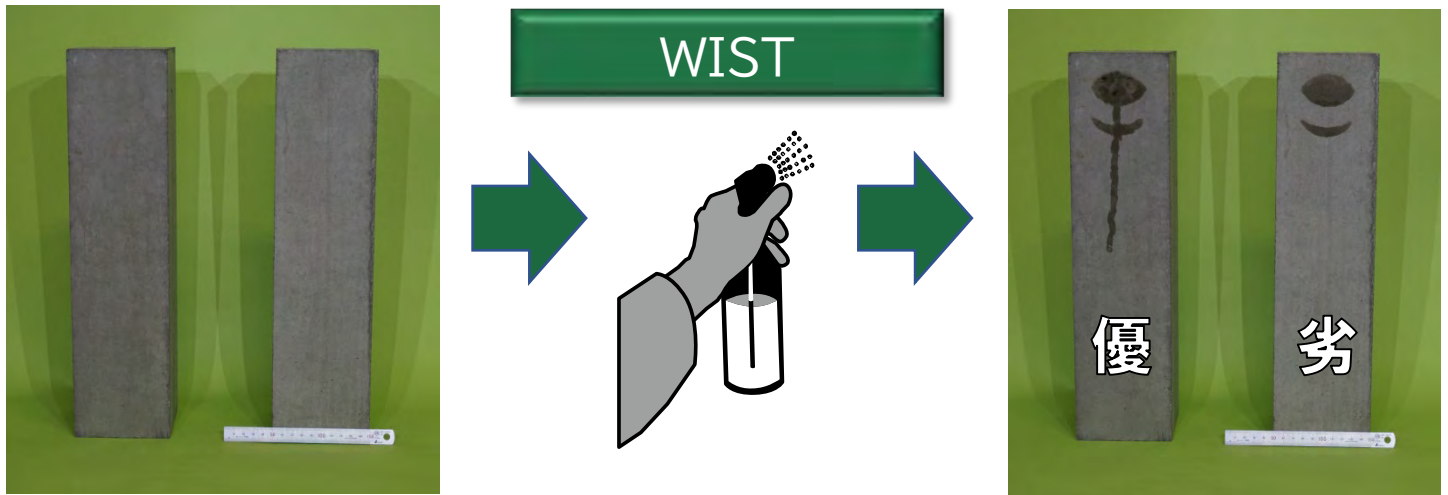
この形での散水を  
同じ場所で  
繰り返すだけ  
(1分間隔)

「高品質」＝「水を吸わない」  
⇒ 目視で調べることが可能

## 今後の展開

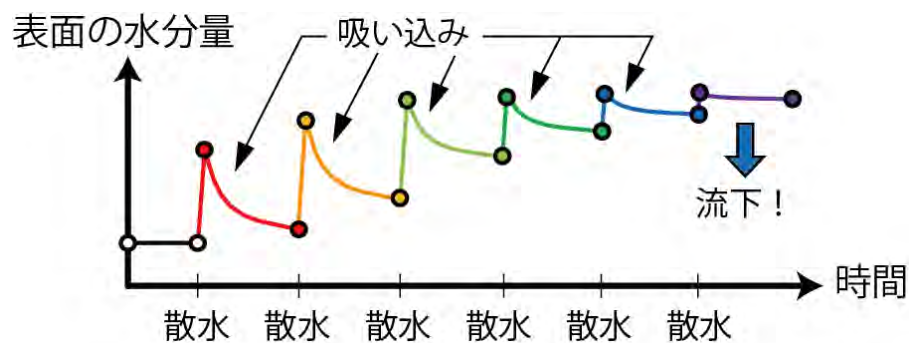
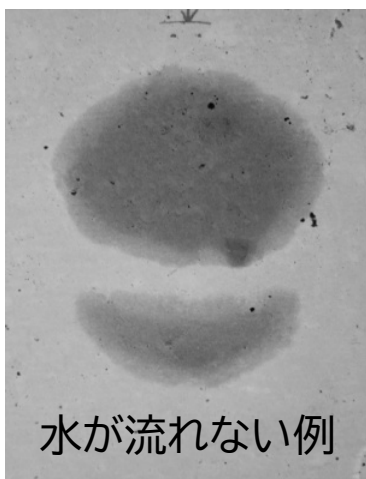
- 「WIST」は、非破壊検査協会規格 NDIS 3440-4「コンクリートの非破壊試験－水分浸透抵抗性－第4部：散水試験方法」に適合しています。
- 鉄道事業者のほか、建設会社、調査会社、大学など多数の導入実績があります。

見た目ではわからないコンクリートの表層品質を「WIST」で可視化！



- ◆「WIST」は、乾燥したコンクリート表面に専用のスプレーで“散水”して、水の状態(流れるか、溜まっているか)を“見る”だけの簡単な方法です。
- ◆一度に8～12箇所ほどを同時に測定でき、測定時間は最短で1分です。

良いコンクリートは水を吸わない＝水が流れる・水が溜まる



表層品質が良いほど、早い段階で水が流れる・溜まる

専用の試験キット

使用する器具は“散水スプレー”と測定位置を決める“ガイド”です。

柱や壁などでは、同じ位置で1分に1回の散水を繰り返すので、“タイマー”を使うと正確な作業ができます。

特許第6106055号、特許第6253605号、意匠登録1539683号、意匠登録1786217号、商標登録第6400715号ほか 計13件



【試験キットの問合せ先】

(株)ジェイアール総研エンジニアリング 調査技術部(担当:水野・上間)TEL 042-580-4121

## C2

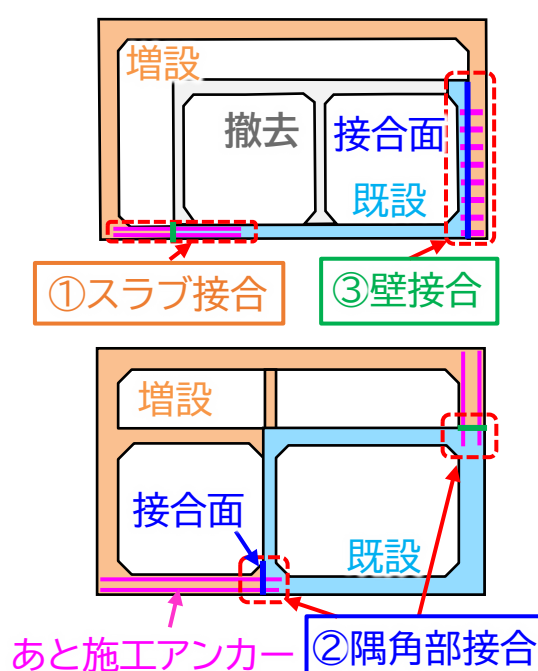
# コンクリート構造物の改築における あと施工アンカーによる接合部材の設計法

あと施工アンカーの量と削孔位置に応じた接合面の剛性や耐力、処理方法に応じた接合面のせん断伝達耐力を明らかにし、接合部材の設計法を開発しました。

## 研究の背景と目的

- 駅部での利便性向上などのために、既設の開削トンネルやラーメン高架橋に対し、あと施工アンカー工法を用いて部材を増設する事例が増加しています。
- 部材の接合に関する合理的な設計法は提案されておらず、安全側の配慮として、多量のアンカーを配置する事例が散見されます。過密な配筋を有する既設構造物に対しては、アンカーの施工性や品質の確保が困難となる場合があります。
- 従来の骨組解析でも算定可能な接合部材の設計法の開発を目的としました。

## 開削トンネルでの改築事例



## 研究成果

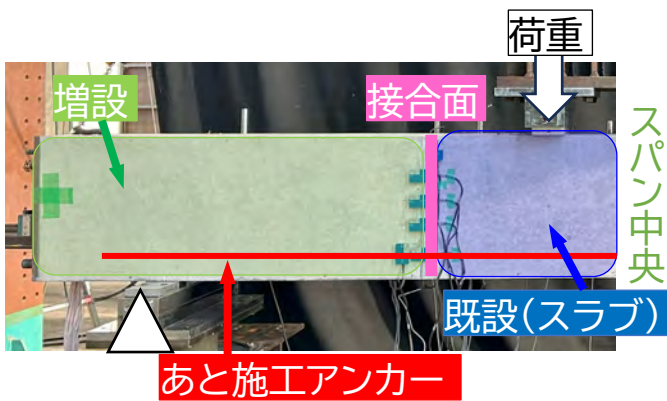
- 接合部材の種類やアンカーの量、削孔位置、接合面の目粗しなどの接合状況に応じた設計法を開発しました。
- 隅角部接合では、アンカーの隅角部からの伸出しによる接合面の開口を回転ばねでモデル化し、アンカー量と削孔位置に応じて接合部材の剛性を算定する方法を提案しました。
- 壁接合では、接合面における摩擦や骨材同士の噛み合いを考慮してせん断伝達耐力を算定できることを確認しました。
- 提案した設計法を用いた試設計から、アンカー量を削減できることを確認しました。接合面に関する設計の自由度が広がることが期待されます。

## 今後の展開

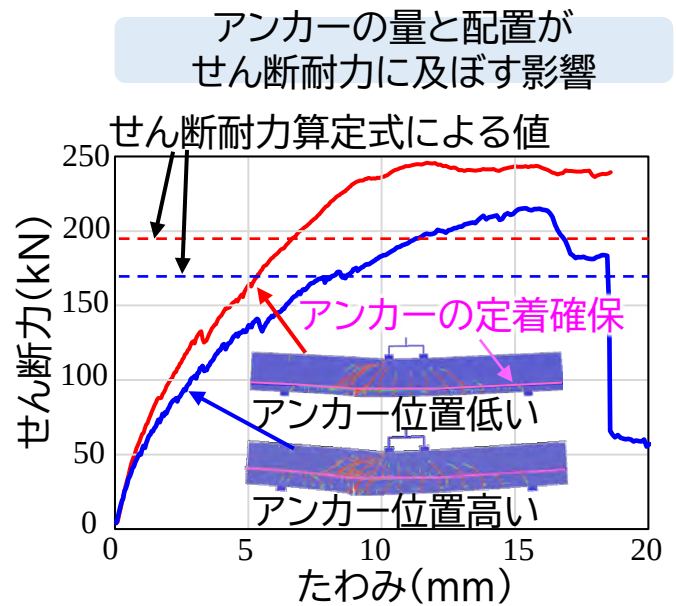
- 開発した設計法は、今後手引き等に反映します。



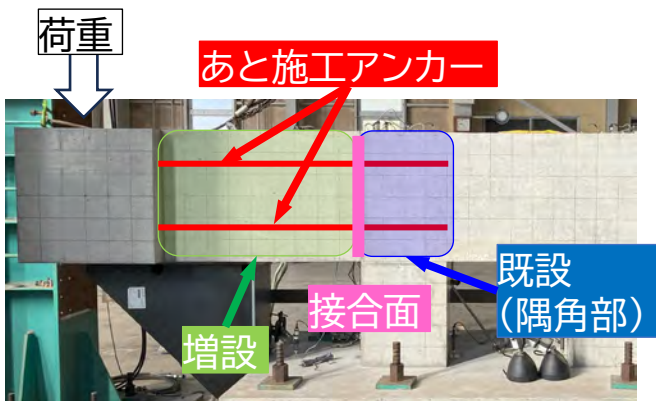
## スラブ接合に関するせん断耐力の算定法の検証



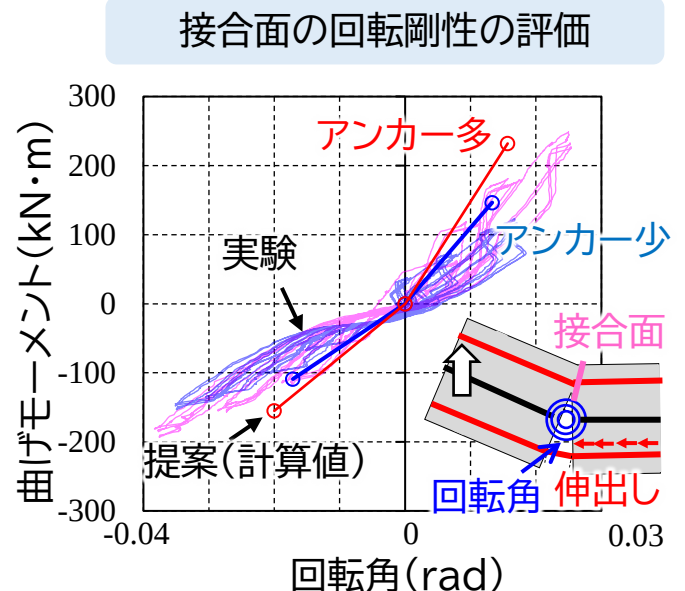
接合部材のせん断耐力は、アンカーに関する断面積や有効高さをを用いた算定式により算定可能



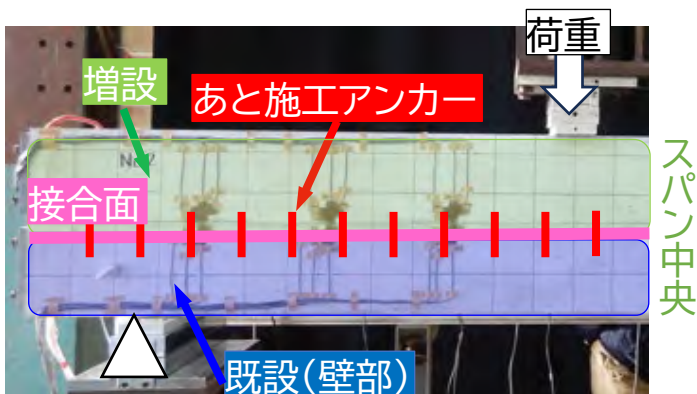
## 隅角部接合に関する剛性・曲げ耐力の算定法の検証



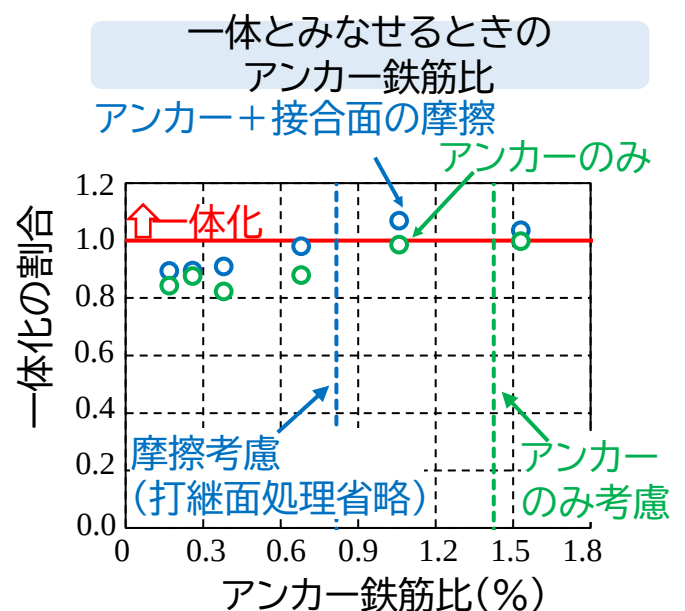
接合面での回転剛性は、アンカーの伸出し量に基づいて算定可能  
試設計ではアンカー量を25%程度削減



## 壁接合に関するせん断耐力の算定法の検証



接合面に作用するせん断力が、設計せん断伝達耐力を超えないことを確認することで一体とした部材として算定可能  
試設計ではアンカー量を40%程度削減





# 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。

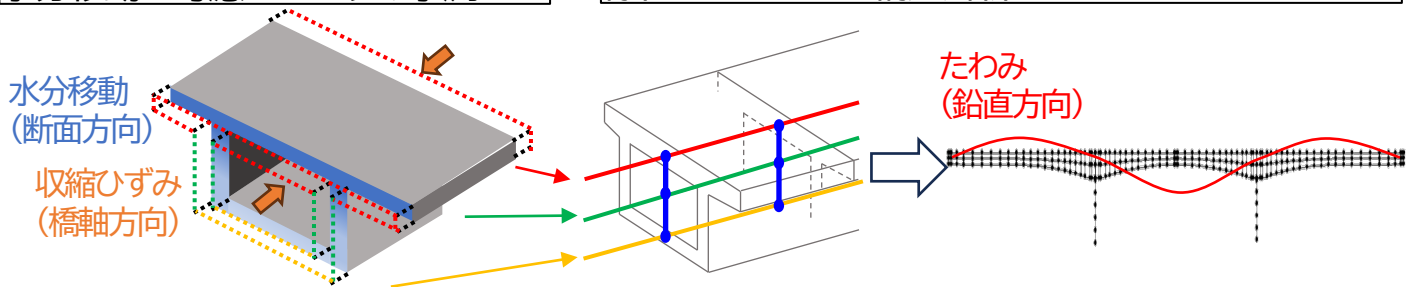
## 長期変形予測手法

## Step1

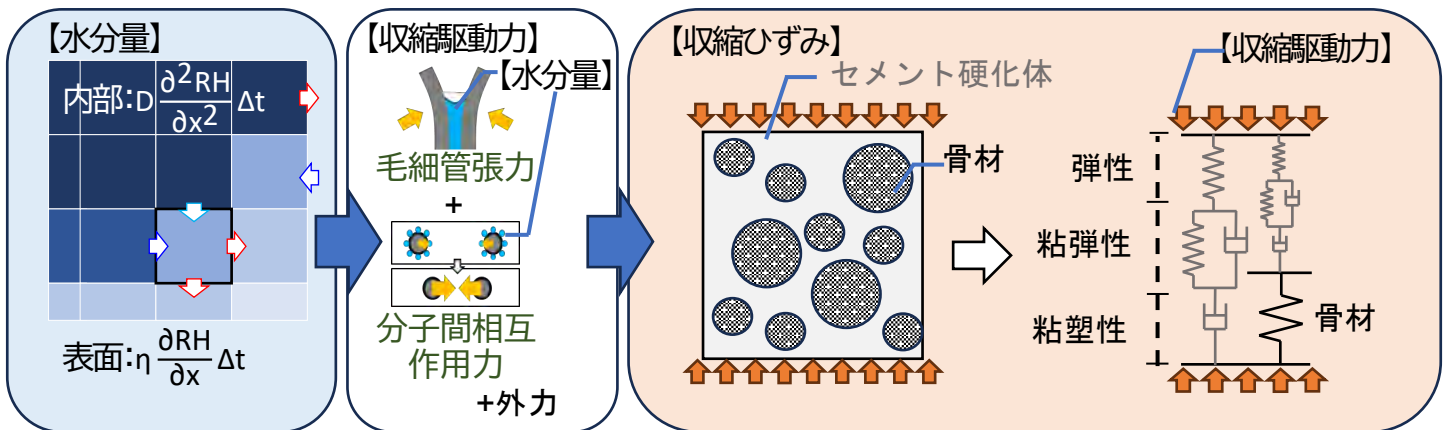
水分移動を考慮したひずみ予測

## Step2

線材モデルによる構造解析



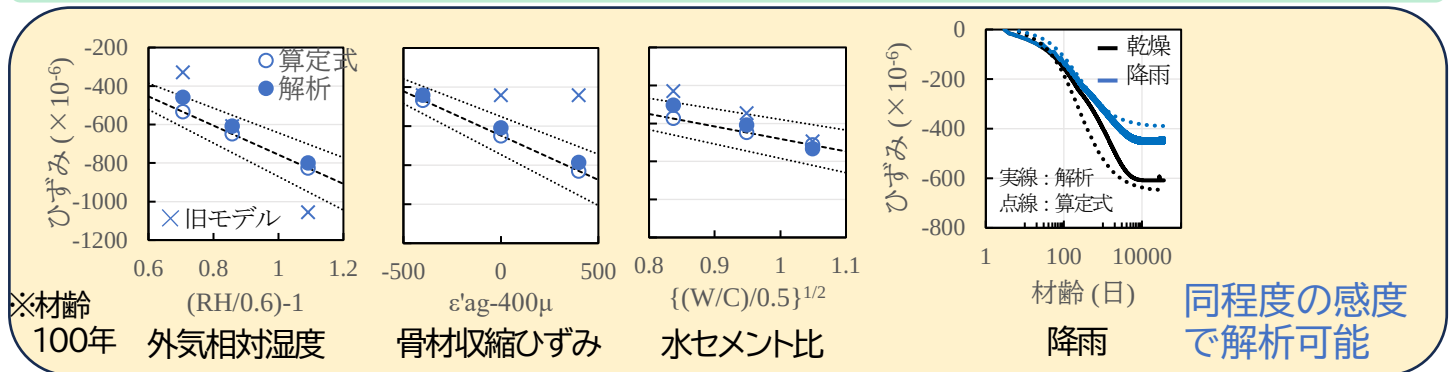
## 開発したひずみ解析プログラム



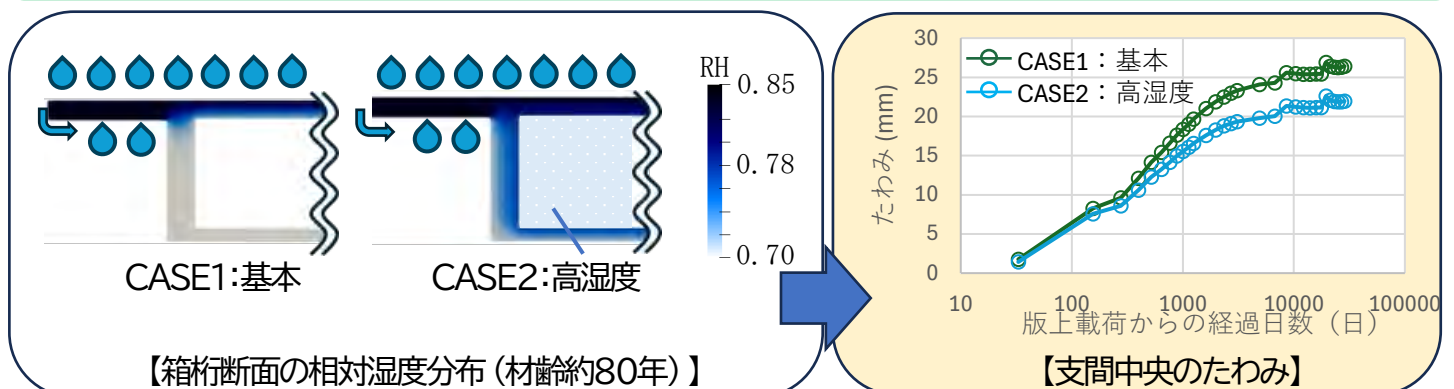
コンクリートの水和～骨材を含む  
収縮挙動を巨視的にモデル化  
解析に必要な8項目を選定(右記)

- 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



## C4

# 橋梁下部工・土留め健全度診断システム 「IMPACTUS」

鉄道では、橋梁下部工の健全度診断法として「衝撃振動試験」が用いられています。そのサポートシステムとして「IMPACT」シリーズをご活用頂いておりましたが、この度、後継機「IMPACTUS」をリリース致しました。

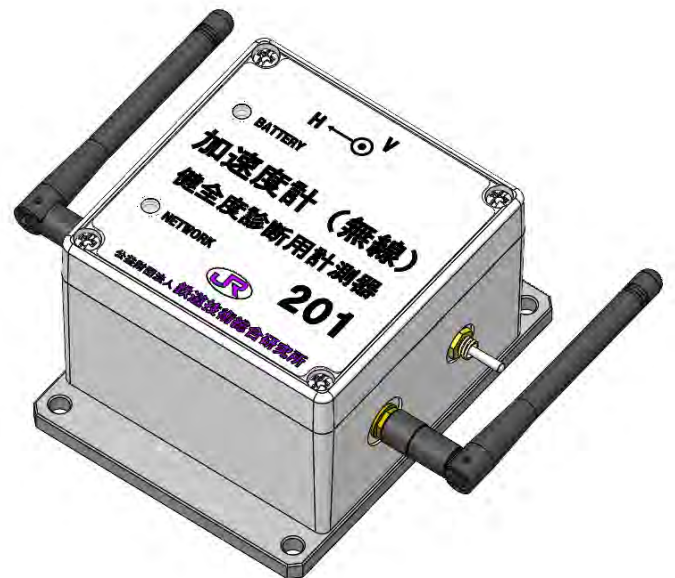
## 研究の背景と目的

- 橋梁下部工・土留め健全度システム「IMPACT IV」について、半導体不足による販売中止等により部品が調達できない現状に対応する必要がありました。
- そこで、使用する部品の変更および製品仕様の一部改良を目的とし、「IMPACT IV」の改良版を開発しました。

## 研究成果

- 水晶を用いた双音叉構造の加速度検出素子により構成されたセンサを用いることで、低ノイズ性能を実現しました。
- デジタルデータとして出力することにより、低ノイズ・高分解能となりました。
- センサが小型化し、作業性が向上しました。
- 高振動数域まで対象とし、土留めへの適用拡大ができます。
- 従来の衝撃振動試験のほか、常時微動計測にも対応可能予定です。

### IMPACTUSセンサ



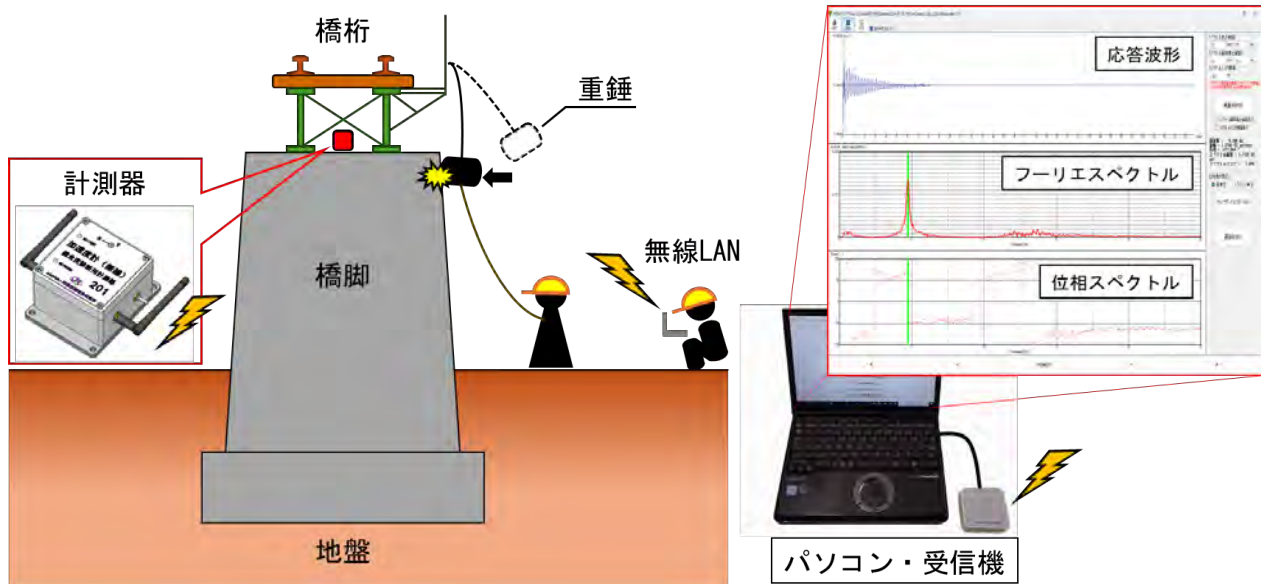
## 今後の展開

- 常時微動計測に固有振動数の推定手法を搭載する予定です。



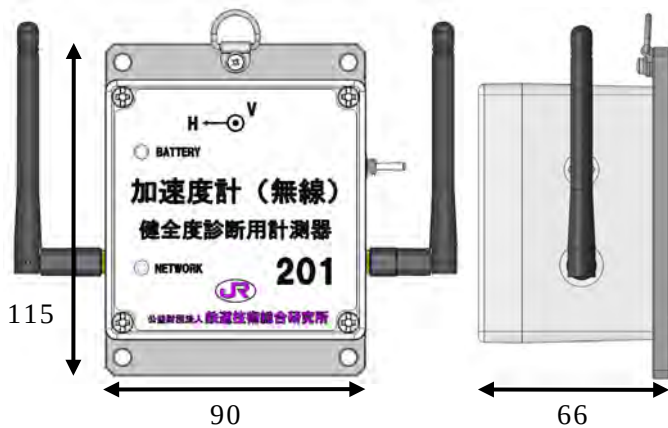
## 衝撃振動試験

IMPACTUSは、重錘などにより橋脚や柱等に打撃を与えて、構造物の固有振動数を測定し、構造物の健全性を判定する「衝撃振動試験」に用いる計測システムです。



## センサの形状寸法

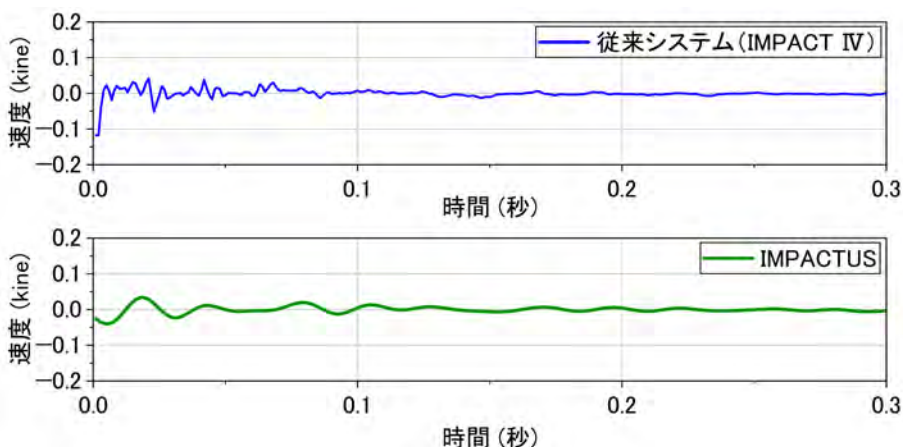
単位：mm（突起部除く）



## センサの仕様

|        | 低感度モード     | 高感度モード    |
|--------|------------|-----------|
| 加速度レンジ | ±3,920 gal | ±200gal   |
| 加速度分解能 | 0.1 gal以下  | 0.01gal以下 |
| 周波数レンジ | 0.3～200 Hz |           |
| 質量     | 約0.9 kg    |           |
| 保護等級   | IP65       |           |

## 低ノイズ性能の実現



デジタルデータ（従来システムはアナログデータ）として出力することにより、電気ノイズが入らなくなり、低ノイズ性能が実現され、高精度な計測結果が得られます。

C5

# 大型土のうを本設利用する 盛土復旧法

被災盛土の応急復旧に使用する大型土のうを最上段のみ撤去し、土のうの前面に盛土する本復旧法を開発しました。提案復旧法は、被災前と同等以上の性能を有します。

## 研究の背景と目的

- 盛土の復旧時には列車の運行再開を早期に行うために、大型土のうにより応急復旧する場合があります。この場合、本復旧時に大型土のうの撤去が必要となります。
- 大型土のうの撤去に要する工事費の増大や施工期間の長期化が課題であるため、大型土のうの撤去を最小限に抑えた盛土復旧法を開発しました。

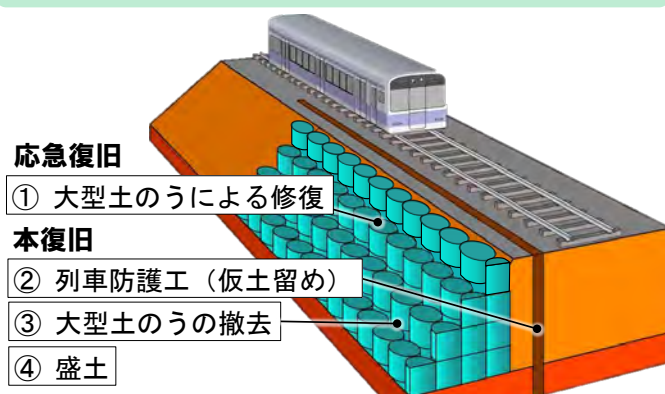
## 研究成果

- 盛土体からの排水を大型土のうが阻害しない構造とすることで、降雨時の安定性を確保します。
- 地震時に弱点箇所となる最上段の大型土のうのみ撤去し、残存する大型土のうの前面に盛土を設けることで、震度6強相当の地震に対しても脆性的な崩壊に至らない耐震性を有します。
- 提案復旧法では、従来復旧法と比較して工事費を約80%、工期を約60%低減できることに期待されます。

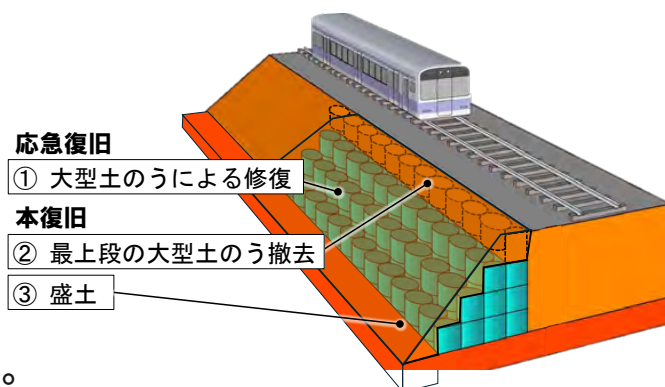
## 今後の展開

- 提案復旧法の設計・施工法を整理した被災盛土の復旧マニュアルを公開予定です。
- 提案復旧法の概要を盛土・切土の維持管理の手引きに記載予定です。

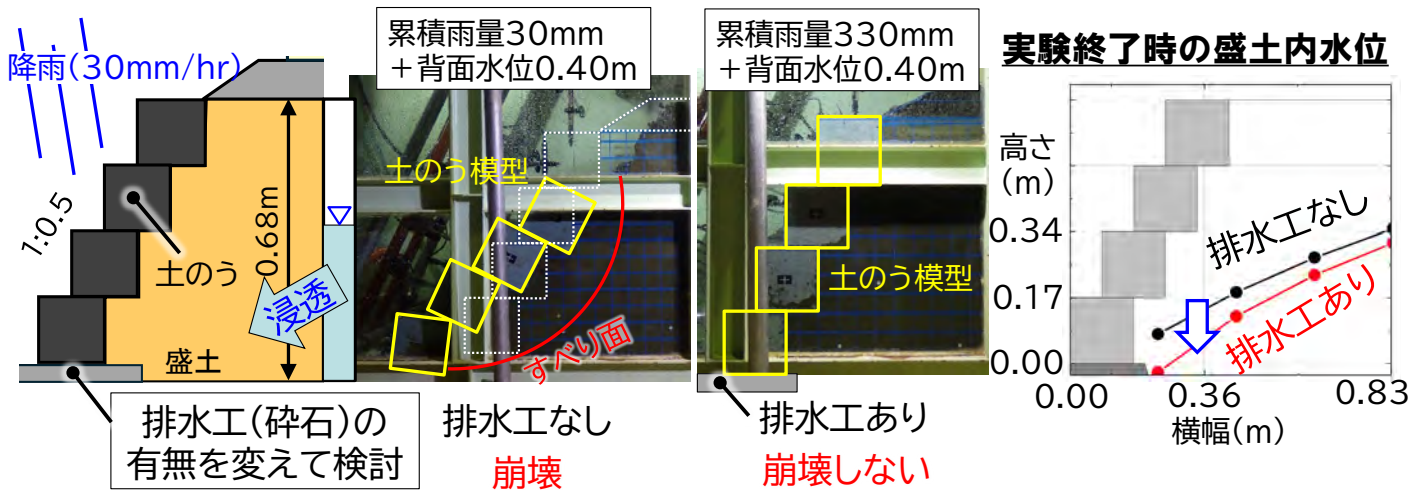
### 従来の盛土復旧法



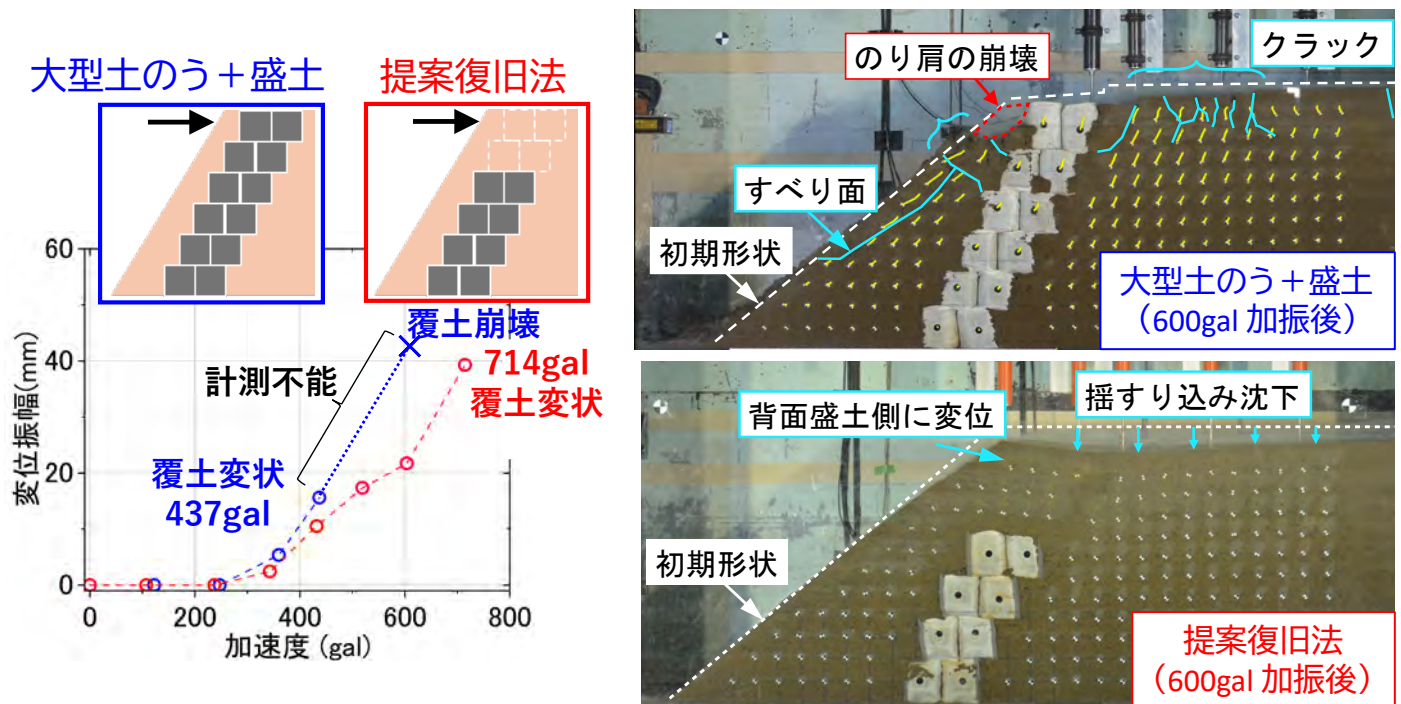
### 提案する盛土復旧法



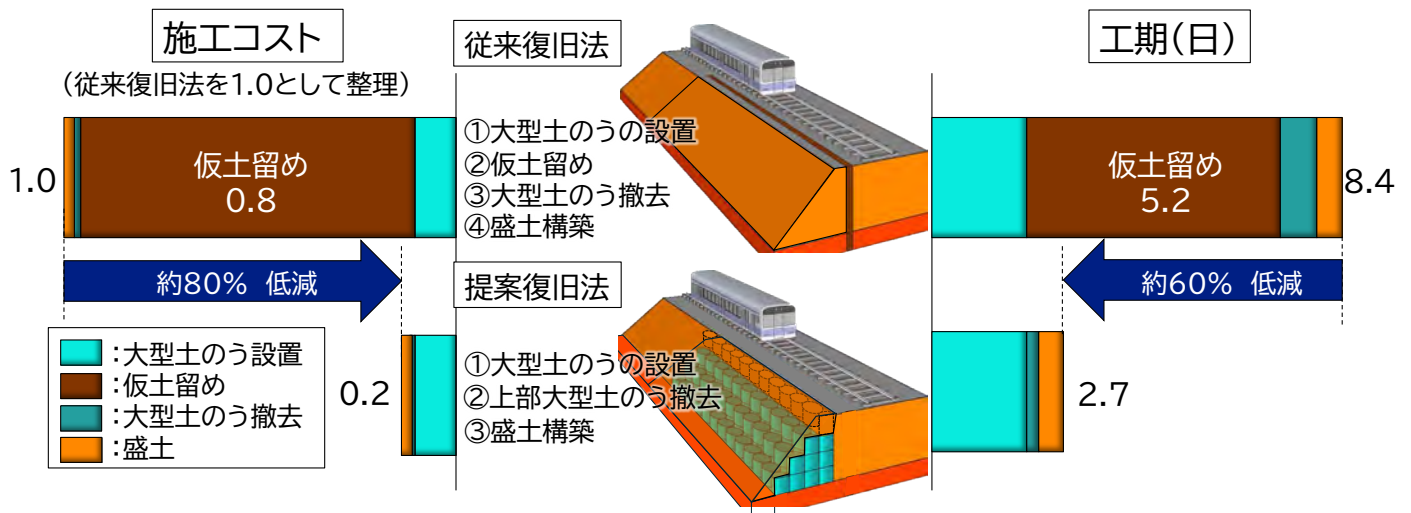
## 降雨実験による耐降雨性の検証



## 振動台実験による耐震性の検証



## 従来復旧法との工事費・工期の比較





## C6

# 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

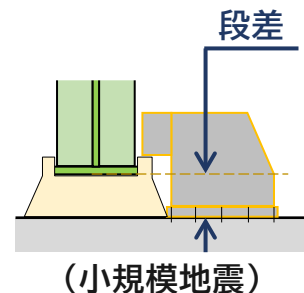
- 大規模地震時、装置が桁に押され、装置の継手部に生じたすべりにより、桁移動のエネルギーを吸収します。
- 摩擦面には、溶融亜鉛めっきを用いることにより、製作コストを抑制しました。
- 狭隘なスペースにも設置可能となるよう従来装置と同程度のコンパクトな構造としました。
- 大規模地震時を想定した時刻歴応答解析により、従来装置と比べ、桁移動量を1/3程度に抑制できることを確認しました。

## 今後の展開

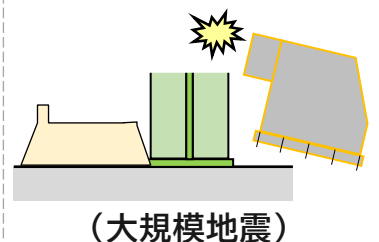
- 装置の設計にかかる費用・手間を軽減するため、マニュアルや標準図の作成を進めています。

## 装置の概念

### ◆従来

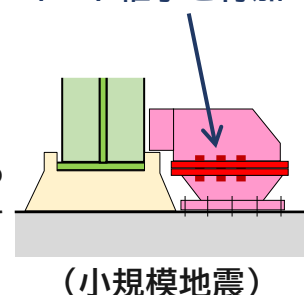


桁移動・  
支承からの逸脱



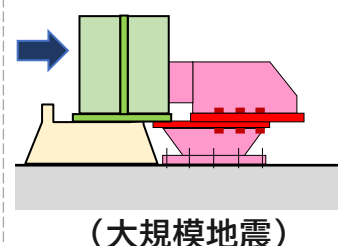
### ◆本装置

ボルト継手を付加

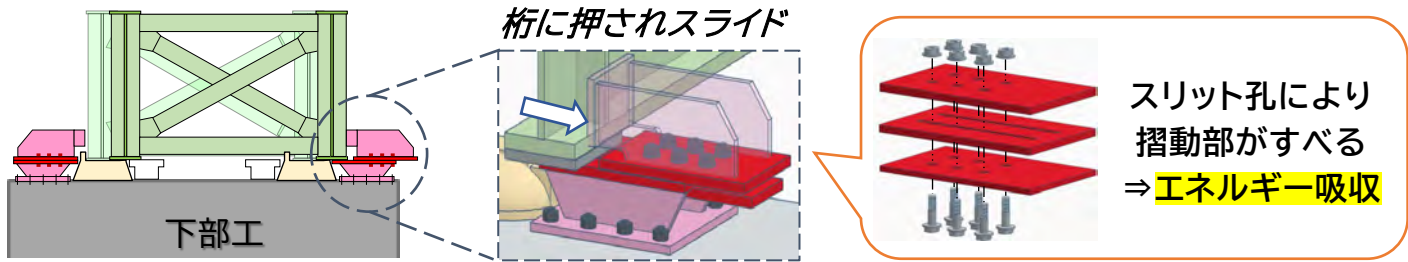


継手のすべりを活用

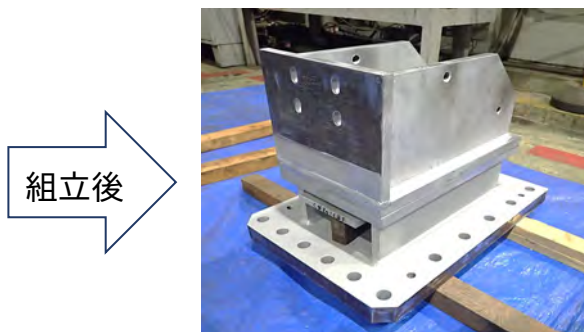
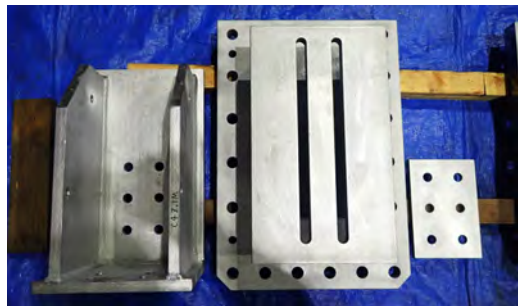
→ 桁移動の抑制・  
段差防止



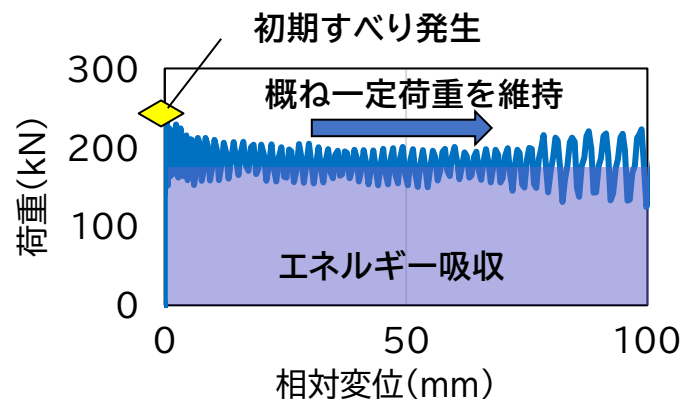
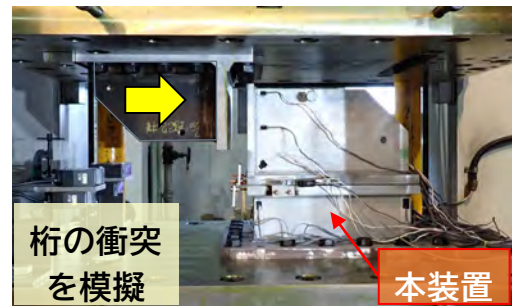
## 桁ずれ抑制の仕組み



## 実物大装置

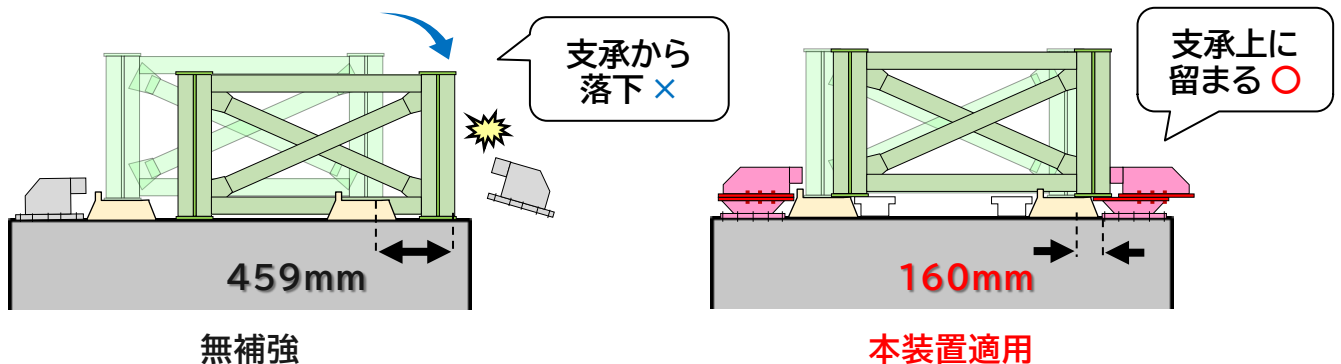


## 載荷試験による性能確認



## 動的解析による効果検証

大規模地震[L2地震]時の最大応答変位（支間30mの上路PGの解析例）



【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】 特開2023-087467、特開2024-179731

## C7

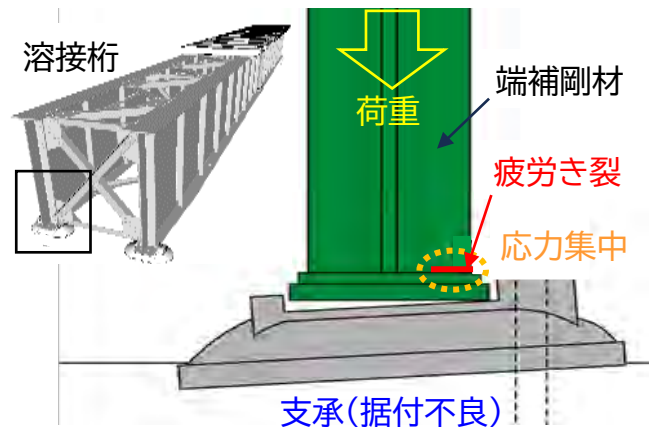
# 溶接桁の端補剛材下端における疲労き裂発生防止のための補強工法

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。

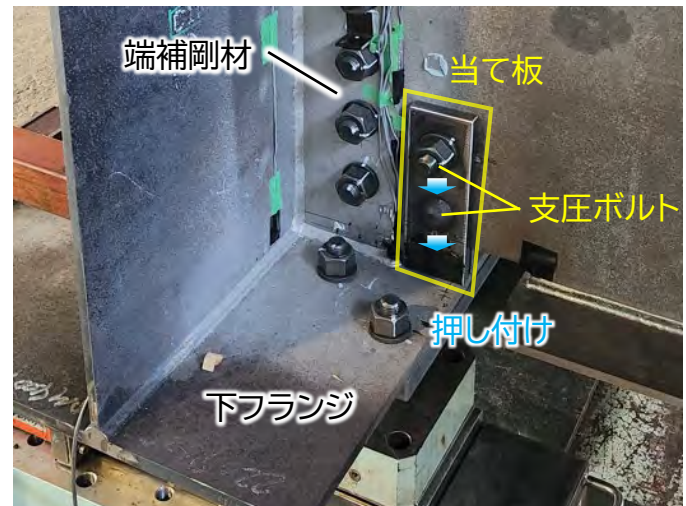
## 端補剛材下端の疲労き裂概要



## 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

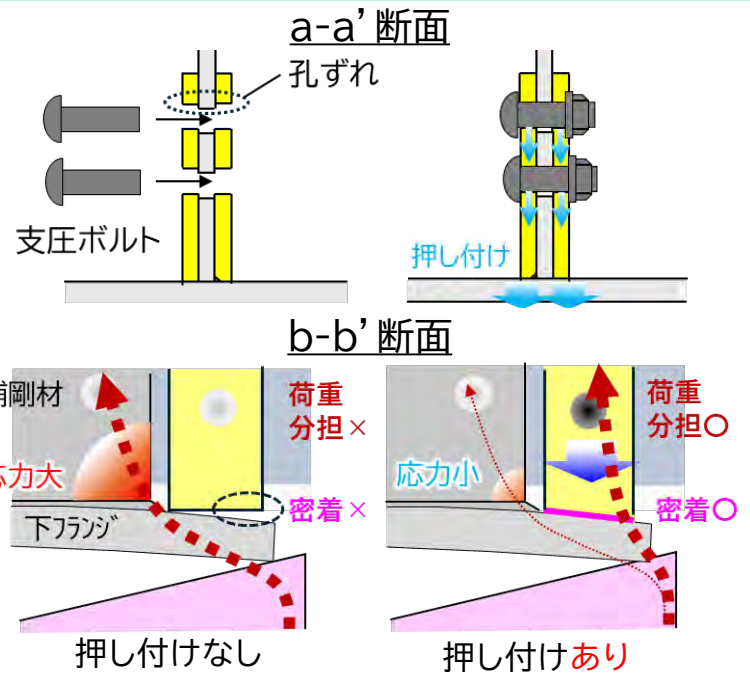
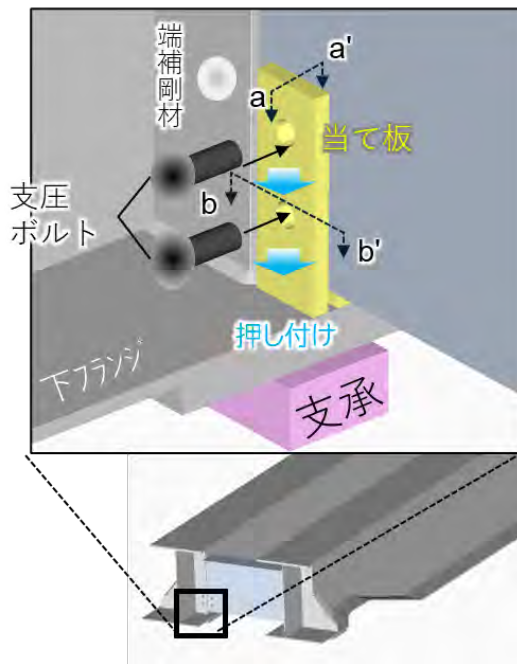


## 今後の展開

- 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

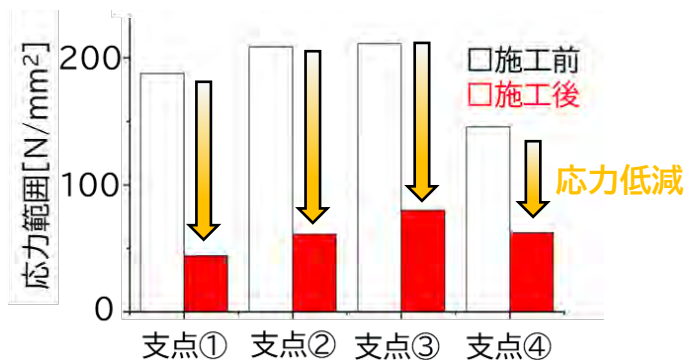
## 実橋での施工状況



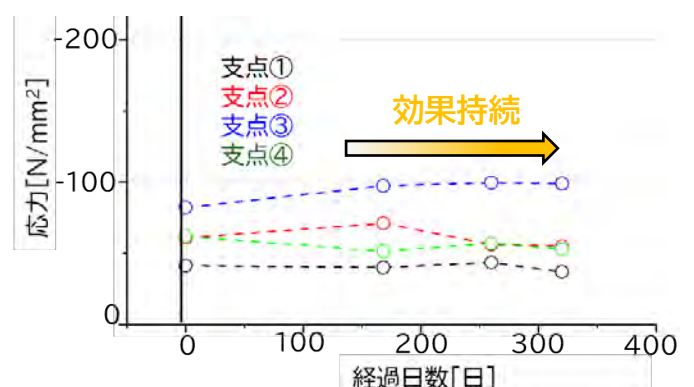
- 支圧ボルトは人力で簡易に打ち込みが可能
- 桁端部の狭隘箇所において2-3時間で施工完了

## 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。

# トンネル健全度自動判定・要注意箇所投影システムと電子野帳

トンネルの全般検査の省力化のツールとして、検査時の要注意箇所を抽出する「トンネル健全度自動判定システム」、要注意箇所を壁面に表示する「要注意箇所投影システム」他を開発しました。

## 研究の背景と目的

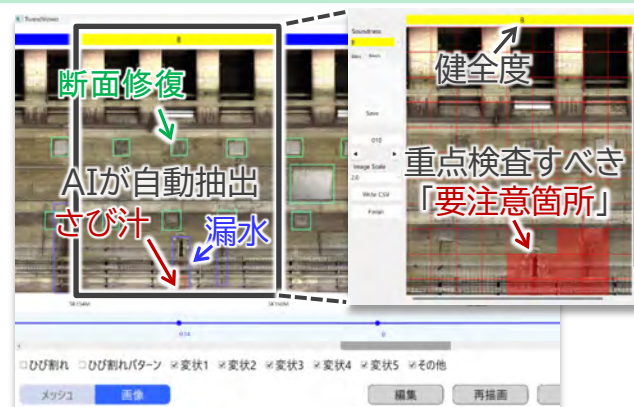
- 鉄道トンネルには、戦前や高度経済成長期に建設されたものが数多く存在します。現在は、経験豊富な技術者による定期的な検査により適切に維持管理されていますが、今後、技術者の減少が見込まれており、省人化や脱技能化が求められています。そこで、デジタル技術の活用により、定期検査の時間短縮と省人化を図ることができる技術を開発しました。

(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つのツールを開発しました
- 「トンネル健全度自動判定システム」
  - ・壁面画像から、漏水、漏水跡、補修跡等をAIで抽出します。
  - ・健全度(A～S)を自動判定し、重点検査すべき要注意箇所を自動抽出します。
- 「要注意箇所投影システム」
  - ・プロジェクションマッピング装置です。
  - ・1m角のメッシュで覆工に赤色表示し。
  - ・走行量測定装置により覆工上の正しい位置に表示します。
- 「電子野帳」
  - ・タブレットPCで動作します。
  - ・撮影した写真を、壁面画像・変状展開図上にメモと共に記録します。

## トンネル健全度自動判定システム



## 変状のAI抽出の精度検証結果



## 今後の展開

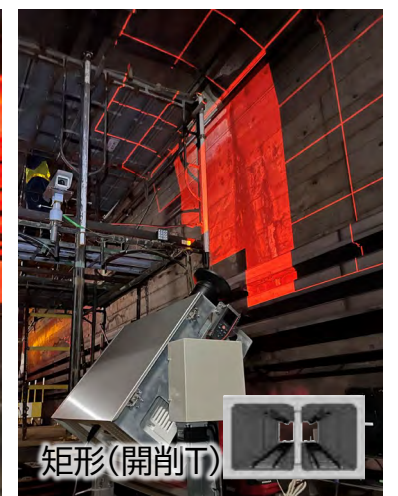
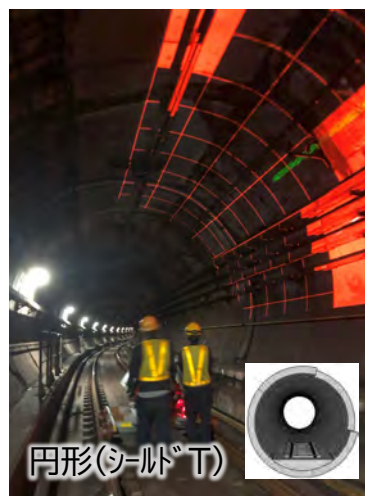
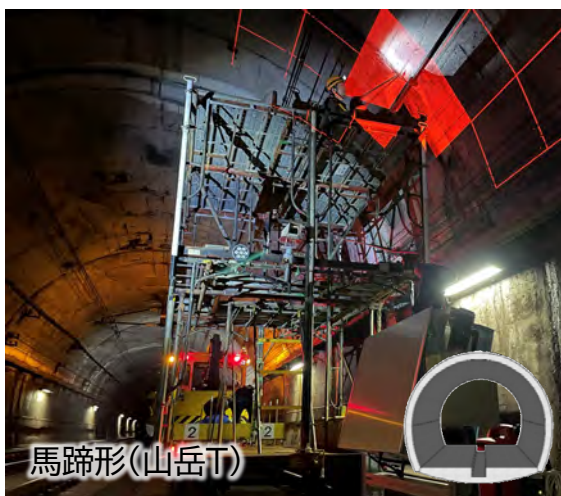
- 鉄道トンネルの全般検査(事務所作業・現地検査)用ツールとしてご提供いたします



## 要注意箇所投影システム

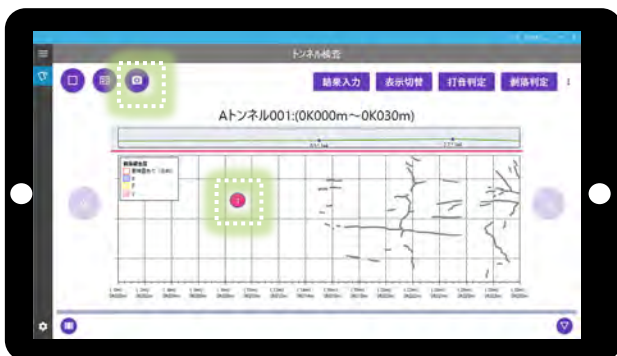


移動式のプロジェクションマッピング装置 要注意箇所が鮮明に表示されます



様々な形状のトンネルに対しても対応可能

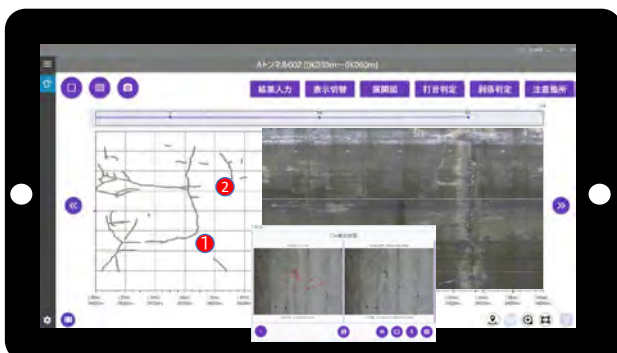
## 電子野帳(トンネル向けオプション)



展開図上から

ポイントを指定してカメラを起動！

- ▶ 展開図・壁面画像の表示が可能
- ▶ 写真を撮影するポイントやキ口程が一目瞭然



壁面画像/ひび割れ画像上への撮影写真の紐づけが可能

- ▶ ひび割れ壁面画像と
- ▶ 打音検査の記録管理も可能

壁面画像・CAD等のひび割れ情報・別途ご用意ください



# 線路下横断工事中の緩み検知による軌道変状推定システム

線路下横断工事において、地盤の緩みを検知し、事前に沈下量を推定できる小型の軌道変状推定システムです。沈下の兆候の早期検知による安全性の向上、軌道整備コスト削減が期待できます。

## 研究の背景と目的

- 角型鋼管の挿入時に生じた地盤の緩みが列車荷重の繰り返しにより軌道沈下となって現れることがあります。このような沈下は列車の走行安全性に影響しますので、予兆の事前検知が課題となっていました。

## 研究成果

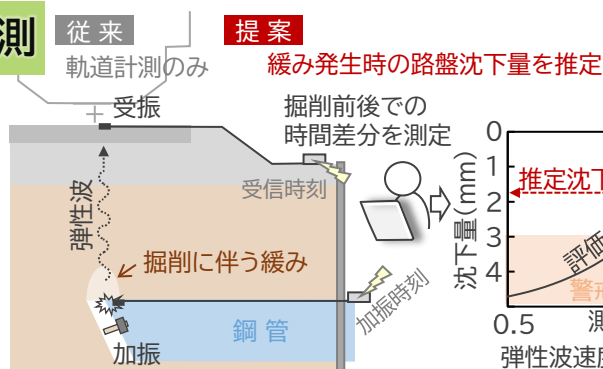
- ハンディタイプの地盤探査装置と計算ソフトで構成されています。
- 地盤探査装置は、角形鋼管の掘進に伴い、地盤内に緩みが拡大したときの弾性波の速度低下を捉えることができます。
- 計算ソフトでは、波形分析を行うとともに、評価曲線を用いて地盤の緩み程度に応じた沈下量を算定することができます。
- 実現場等で発生した沈下量を事前に推定できることを確認しています。
- 路盤面の沈下の予兆を早期に検知し掘進長を見直すことで、安全性を向上できます。

## 本システムの構成

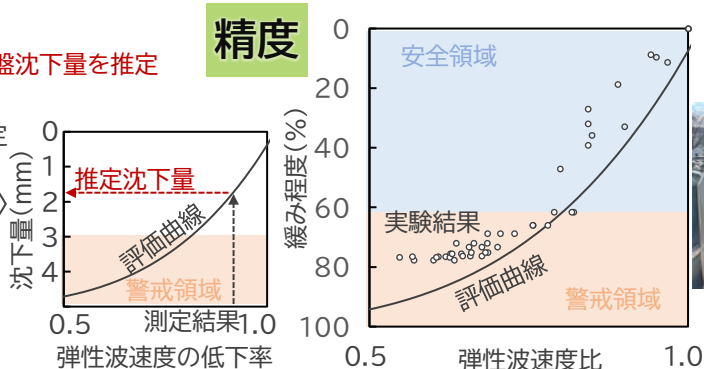


## 計測概要と精度

### 計測



### 精度



実物大実験での検証

## 今後の展開

- 線路下横断工事の施工管理用ツールとしてご提供いたします

## C10

# 車上計測された軌道変位に基づく 支承あおりの抽出法

軌道検測車で得られる軌道変位と簡易軌道検測装置で得られる静的軌道変位の差を利用した、直結軌道を有する鋼橋が連続する区間における支承あおり箇所抽出法を開発しました。

## 研究の背景と目的

- 鋼鉄道橋では、列車通過時に支点部がばたつく支承あおりが発生することがあります。支承あおりは疲労き裂などにつながるため、これまで検査員が定期的に現地に赴き、目視で支承あおりの有無を判定しており、膨大な人工を要していました。
- 車上計測された軌道変位を用いて、支承あおり箇所を抽出し、検査箇所の絞込みをする手法が期待されていました。しかしながら、軌道変位はレールのゆがみや凹凸といった静的軌道変位と呼ばれる成分が支配的であるため、支承あおりによる微小な変位のみを抽出することは難しく、実現されていませんでした。

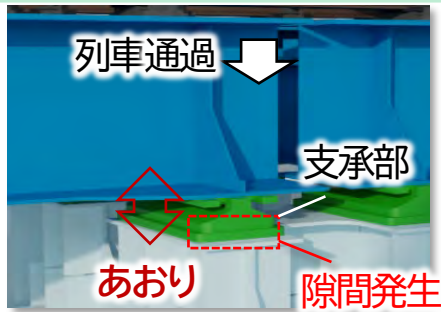
## 研究成果

- 有限要素法と信号処理を用いた数値解析手法を構築し、列車走行時に支承あおり箇所において静的軌道変位がない場合の軌道変位(静動差)の振幅が増大する性質を解明しました。
- この性質に基づき、軌道検測車で得られる軌道変位から、簡易軌道検測装置で計測される静的軌道変位を差し引くことにより得られる軌道変位(静動差)の振幅を検知指標として、支承あおり箇所を抽出する手法を開発しました。
- 開発した手法を、鋼直結軌道の単純支持鋼橋が多数連続する実路線区間の137箇所の支承部に適用した結果、過去の目視検査で0.5mm以上の浮きやあおりが確認されている支承部の14箇所をすべて抽出できました。

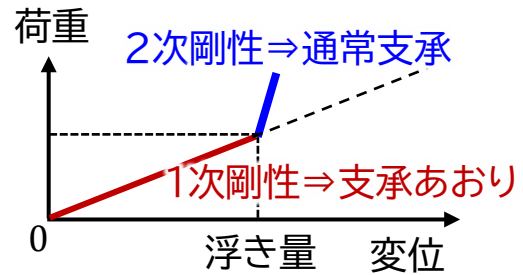
## 今後の展開

- 本手法は、長大橋など鋼直結軌道を有する鋼橋が連続する区間に適用可能であり、目視検査が必要となる支承あおり箇所をスクリーニングできるため、目視検査の省力化につながります。
- 鉄道向け統合分析プラットフォーム(A13)のサブシステムとしても活用予定です。

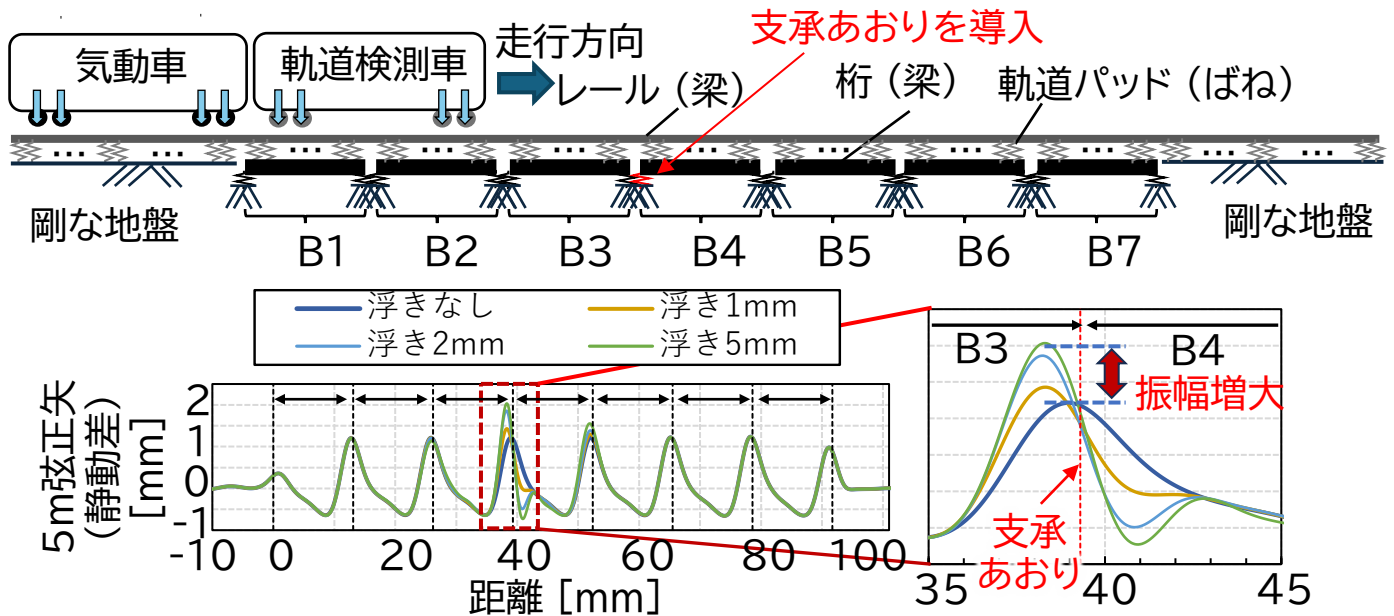
## 橋りょう支承あり



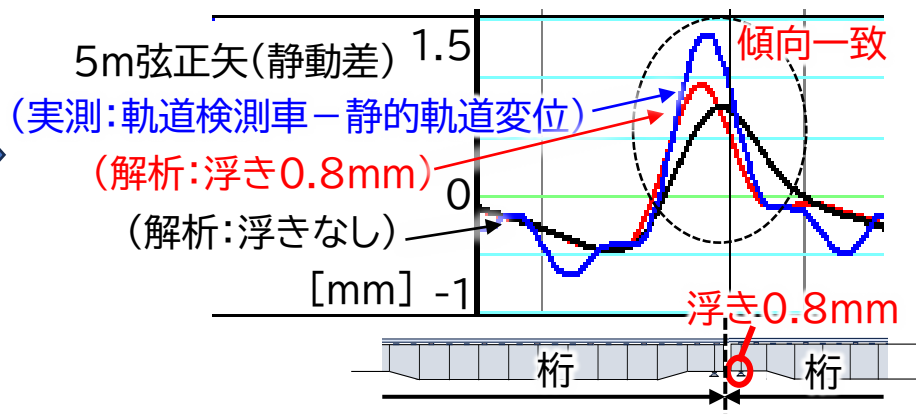
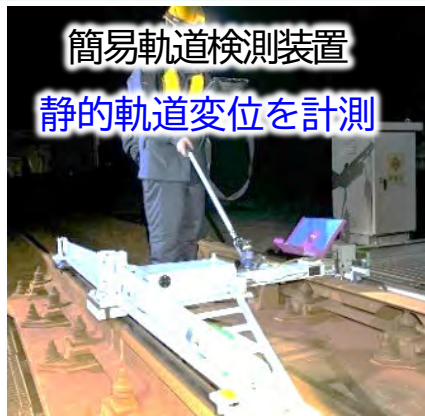
## 支承ありのモデル化



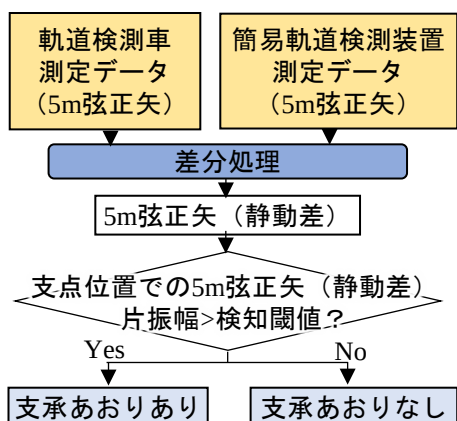
## 数値解析による現象説明



## 数値解析手法の実路線検証



## 支承あり抽出法



## 支承あり抽出結果 (137支承対象)

抽出条件: 5m弦正矢(静動差)0.9mm以上  
事業者目視点検結果と比較

| 対象支点数                 | 検知陽性                 | 検知陰性             |
|-----------------------|----------------------|------------------|
| 浮き0.5mm以上<br>or あおりあり | 検知正解率100%<br>(14/14) | 見逃し率0%<br>(0/14) |
| それ以外<br>(変状なし)        | 誤検知率54%<br>(66/123)  | 46%<br>(57/123)  |



## C11

# 耐風性に優れた コンパクト型旅客上家

地平駅のコンパクトな旅客上家の設計では、多くの場合、風荷重が支配的となります。そこで、上家の形態と風荷重の関係を明らかにし、耐風性に優れたコンパクト型旅客上家を提案しました。

## 研究の背景と目的

- 地平駅では、建替えなどの際に規模を縮小したコンパクト型旅客上家が採用されることがあります。コンパクト型旅客上家は部材が軽量でかつ壁が設置されるため、設計では、多くの場合、風荷重が支配的となります。
- しかし、コンパクト型旅客上家の形態は一般建築と異なるため、対応する風荷重が明らかになっていません。

## コンパクト型旅客上家の例

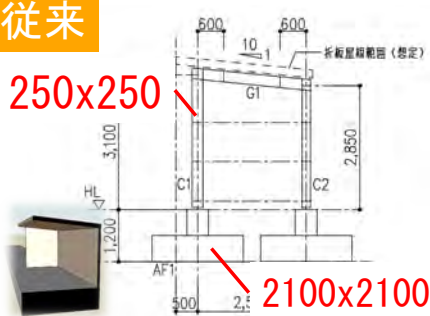


## 研究成果

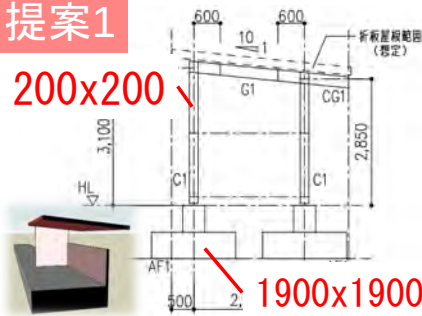
- 風洞実験により、上家の形態と風荷重の関係を明らかにしました。
- 特に屋根勾配と背面壁の開口が、風荷重に大きく影響することが分かりました。そこで、従来の上家形態と比べ、風荷重を低減でき、かつ防雨性能は従来と同等な2タイプの形態を提案しました。
- 提案した2タイプの上家の試設計を行い、従来の形態と比較して、柱や基礎の断面寸法を最大で40%低減できることを確認しました。

## 提案する上家形態の試設計結果

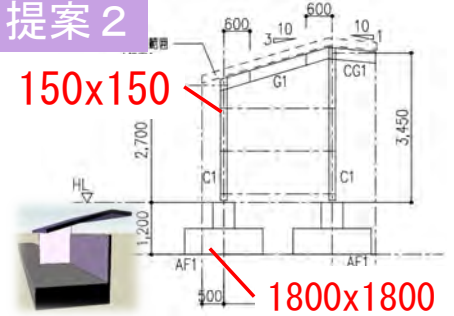
### 従来



### 提案1



### 提案2

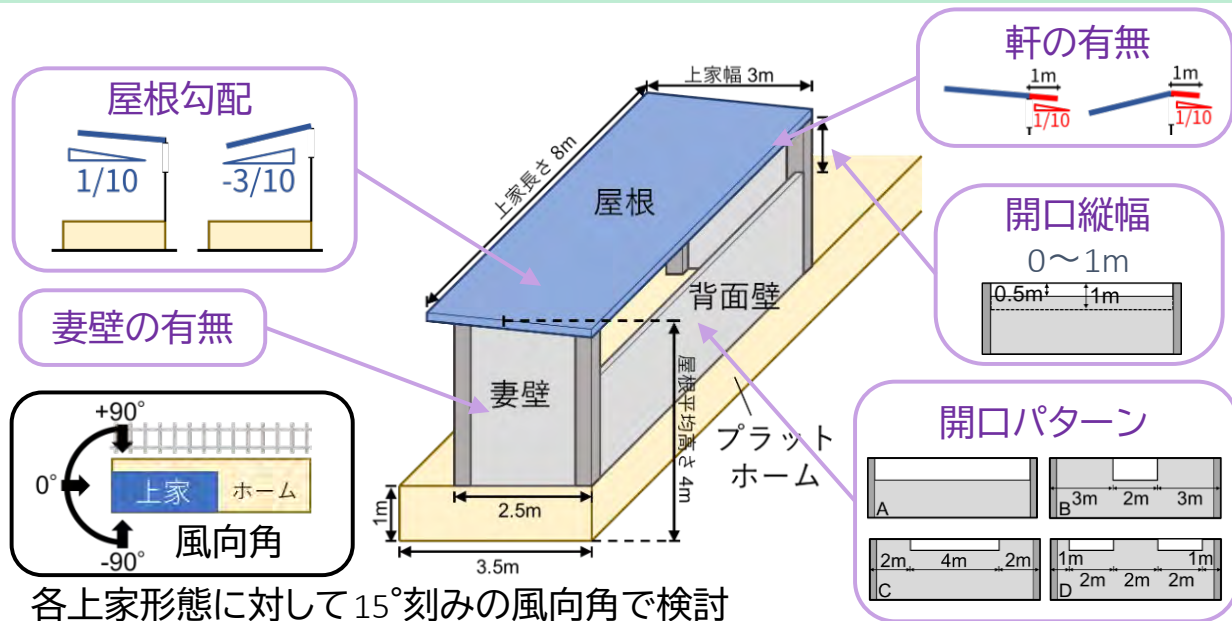


## 今後の展開

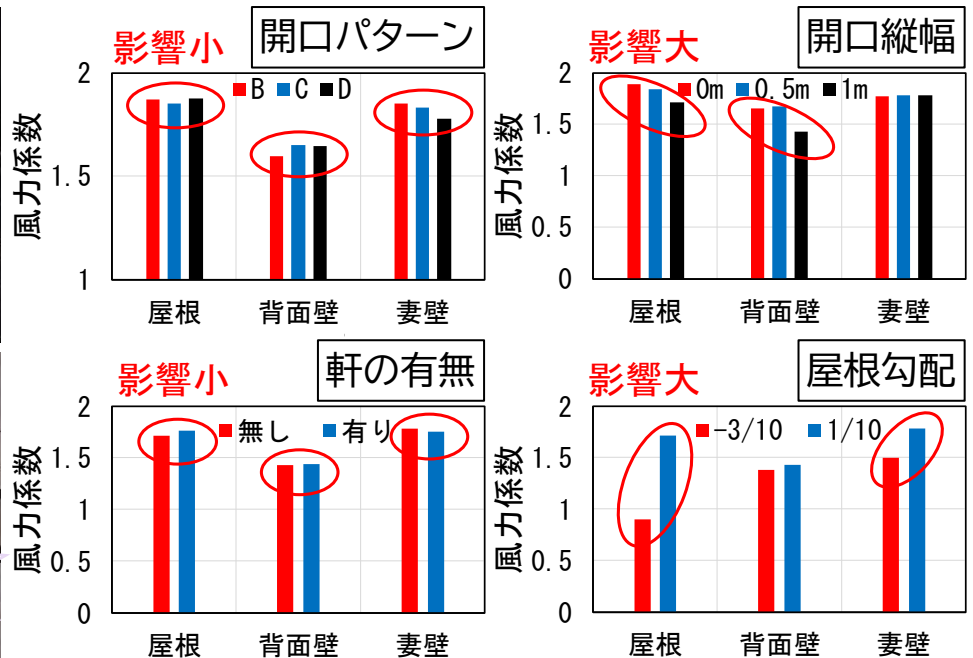
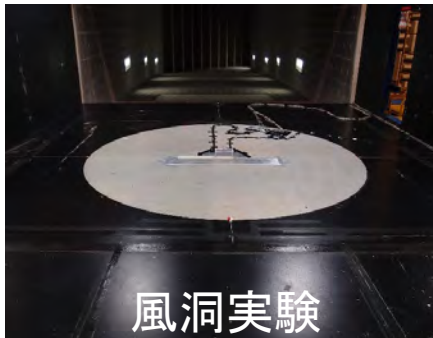
- コンパクト型旅客上家の設計を行う際の技術資料として活用を進めます。

構造物技術研究部(建築)、環境工学研究部(車両空力特性)

## 対象とした様々な上家の条件

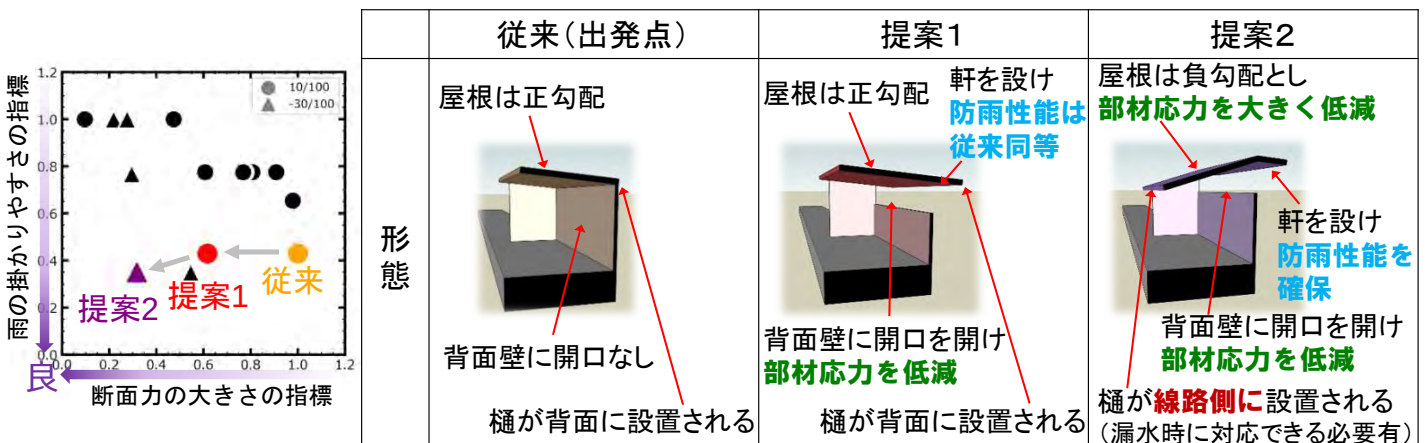


## 風洞実験による風圧力の傾向の把握



## 上家形態の抽出

耐風性能と防雨性能の観点で、検討した中から性能の良い形態を抽出。



# 機械学習法を用いた 早期地震検知手法

早期地震警報の精度および即時性向上による地震時の走行列車安全性向上のため、機械学習法を用いた早期地震検知手法の開発を行った。試験用地震計を試作し、連続正常動作を確認した。

## 研究の背景と目的

- 早期警報用地震計は、地震動と列車振動などのノイズを識別しつつ、被害が想定される場合には可能な限り早く、かつ高い精度で警報を出力する必要がある。そこで、機械学習法を活用した新たな早期地震検知手法の開発を行った。
- 一方、機械学習モデルによる処理は従来に比べて演算負荷が大きくなる場合があり、地震計への実装に向けた課題の一つとなる。そこで、機械学習の特長に基づいて簡略化したフローで実装可能な新しい地震警報手法を提案した。

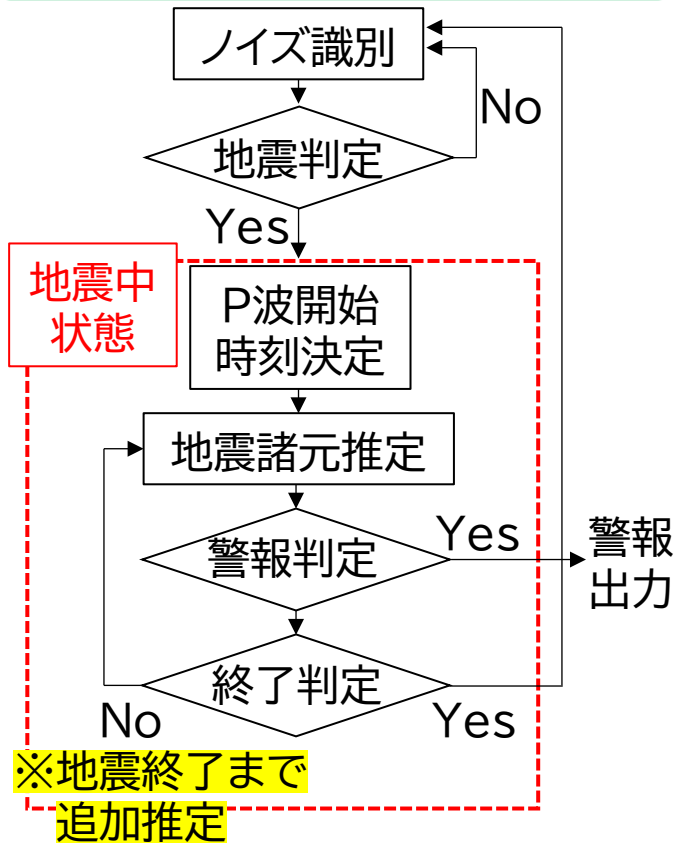
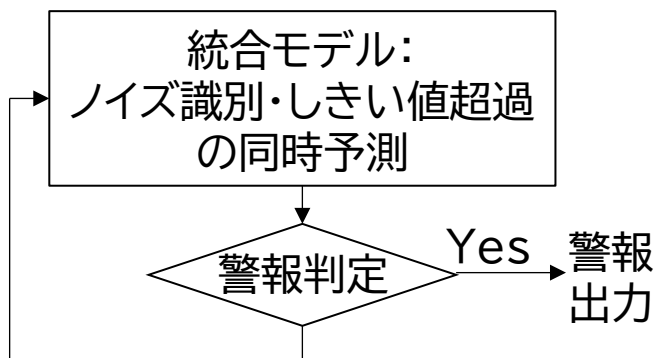
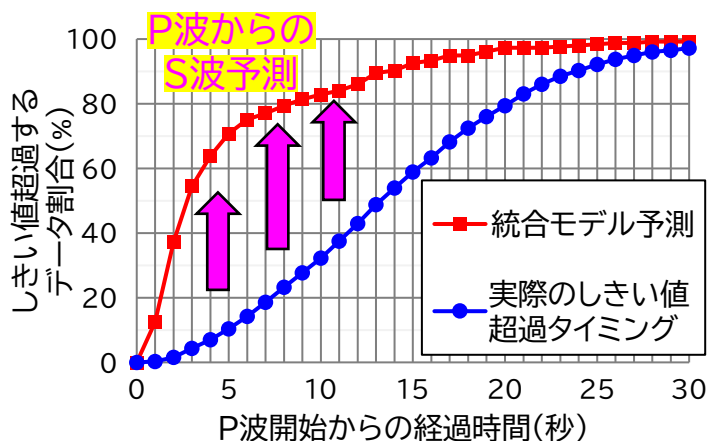
## 研究成果

- 【成果①】 従来の早期地震検知手法では、ノイズ識別や地震諸元推定などを組み合わせた処理フロー（従来フロー）を用いる。成果①では、従来フローの各処理手法を個別の機械学習モデルに置き換えることで推定精度向上を行った。
- 【成果②】 成果①のアプローチでは、地震時に急激に処理負荷が上昇する課題があった。そこで【成果②】では、従来フローの各処理を統合し、単一の機械学習モデルで警報判定を行う方法を提案した。沿線S波警報のしきい値超過を予測する機械学習モデルを構築し、しきい値超過の予測精度、ならびに警報の即時性が高いことを確認した。さらに、単一モデルによって警報判定までを完結する処理が可能であり、地震計への実装も容易である。
- 【成果③】 構築した機械学習モデルを実装した試験用地震計を開発した。動作確認試験を実施し、半年間以上の連続正常動作を確認した。

## 今後の展開

- 2025～2027年度実施の研究テーマにより、新幹線システムに導入可能な早期警報用地震計の開発を目指す。



早期地震検知手法の  
従来处理フロー【成果①】処理を統合させた機械学習  
モデルによる処理フロー【成果②】統合機械学習モデルによる  
警報出力タイミング【成果②】

## ノイズ識別精度【成果①】

|      | 旧手法<br>(B-Δ<br>地震計) | 現行手法<br>(C-Δ<br>地震計) | 機械<br>学習法<br>(LSTM) |
|------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 非地震動 | 90.0%               | 90.0%                | 98.2%               |
| 地震動  | 82.4%               | 89.8%                | 98.2%               |

精度は、再現率(Recall)。  
「非地震動」には、常時微動および  
列車振動を含む。

統合機械学習モデル  
による識別精度【成果②】

| データ種別                     | 統合モデル予測                            |
|---------------------------|------------------------------------|
| しきい値超過<br>ありの地震動          | 99.6%のデータで<br>超過あり判定<br>(警報出力)     |
| しきい値超過<br>なしの地震動          | 88.6%のデータで<br>超過なし判定               |
| 非地震動(常時<br>微動および列車<br>振動) | 99.9996%のデータ<br>で超過なし判定<br>(ノイズ判定) |

精度は、再現率(Recall)。

日野土木実験所での試験用地震計の  
動作確認試験の様子【成果③】

# 早期地震警報システムの性能評価法

早期地震警報手法の導入効果と輸送影響を定量的に把握することができる、早期地震警報システムの性能評価法と評価ツール「地震時運転規制シミュレータ」を開発しました。

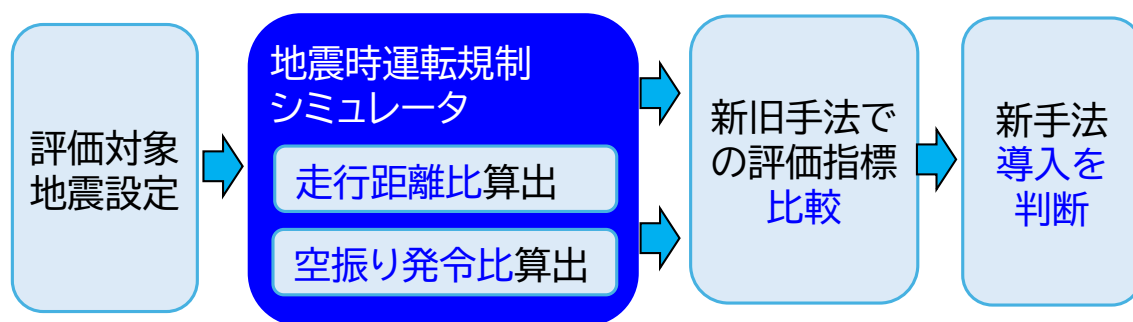
## 研究の背景と目的

- 早期地震警報システムへ新たな警報手法を導入する際、迅速な警報発令による安全性向上が期待される一方、警報発令頻度の増加など安定輸送への影響が生じる場合があります、これらを定量的に評価する手法・ツールの開発が望まれていました。

## 研究成果

- 以下の2項目を指標とする、早期地震警報システムの性能評価法を開発しました。
  - ① **走行距離比**（導入効果の評価指標）  
警報発令後、列車が強い揺れを受けてから停止するまでの走行距離の相対変化量
  - ② **空振り発令比**（輸送影響の評価指標）  
過大に警報発令（空振り）した範囲の相対変化量
- 対象路線や地震検知点の情報、早期地震警報システムの警報条件等を設定して、過去に記録された地震波形データを入力することで上記指標を演算できる「**地震時運転規制シミュレータ**」を開発しました。

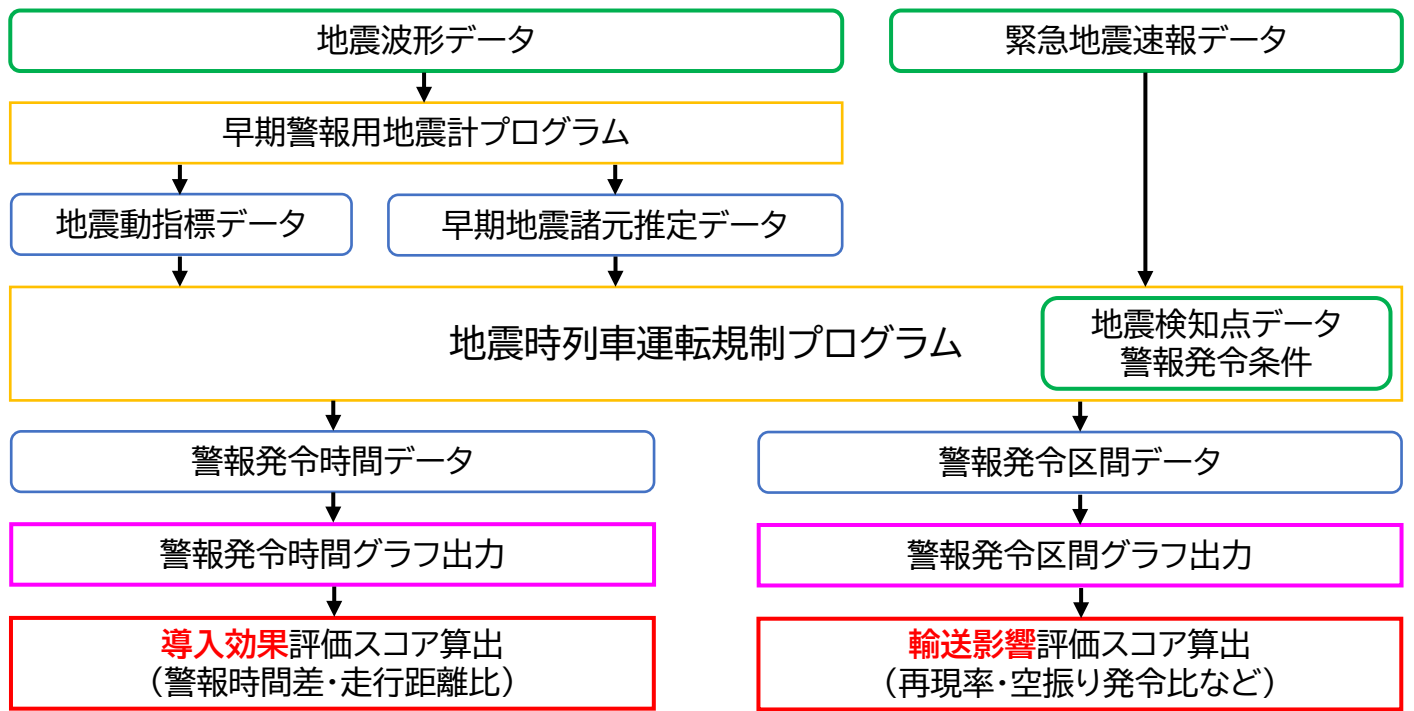
### 早期地震警報システムの性能評価の流れ



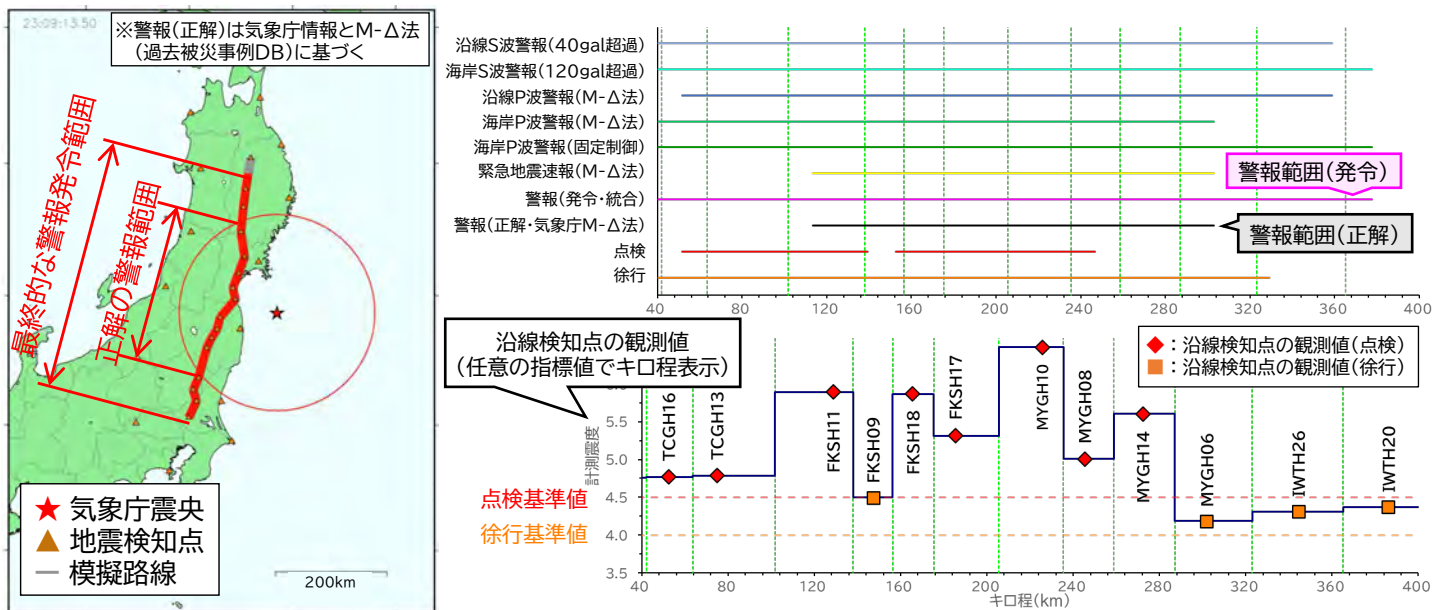
## 今後の展開

- 「地震時運転規制シミュレータ」による評価結果は、早期地震警報システムに新たな警報手法を導入する際の意思決定に活用できます。

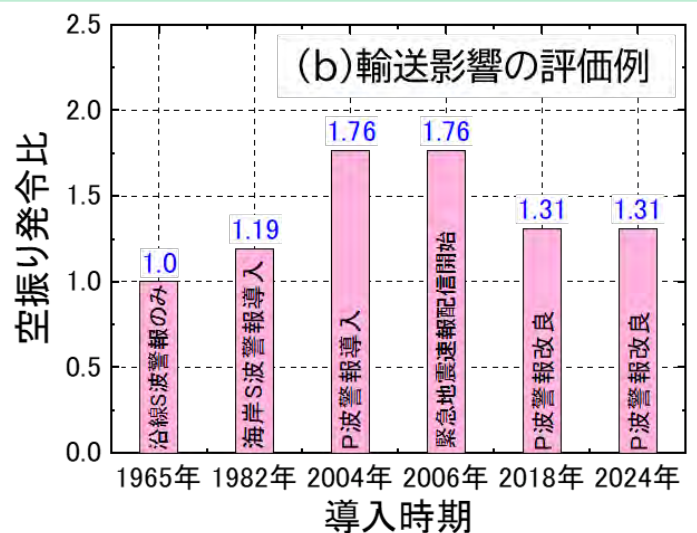
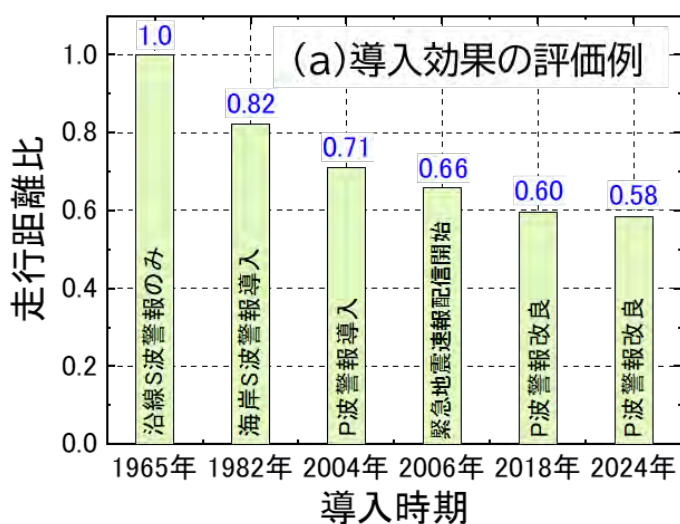
## 地震時運転規制シミュレータの処理フロー



## 仮想路線に対する警報発令区間グラフ出力の例(2021年福島県沖の地震)



## 早期地震警報システムの性能評価例(1965年の指標を1.0とした相対比較)





## C14

# 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。

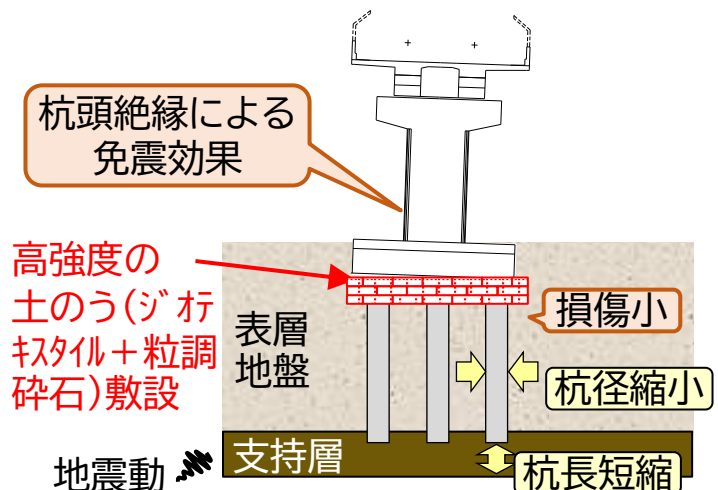
## 研究の背景と目的

- 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

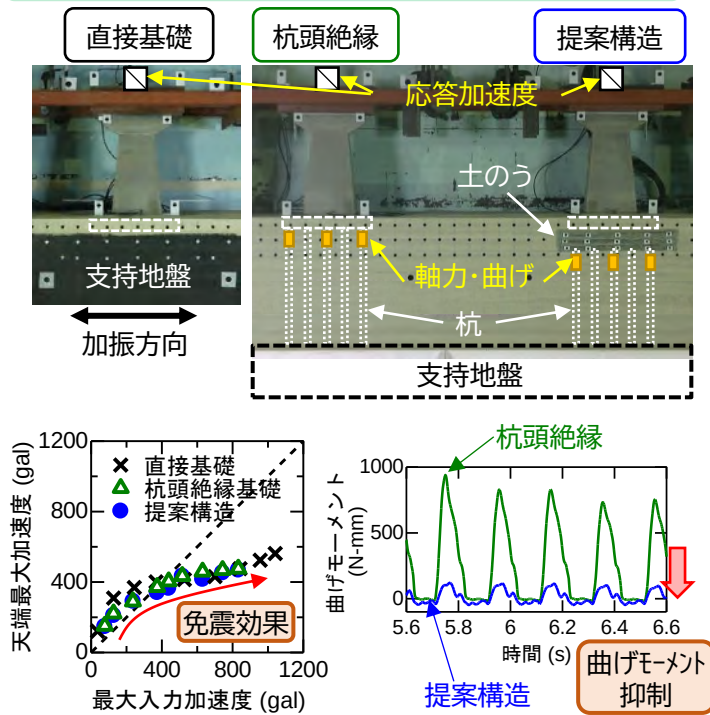


## 今後の展開

- 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。

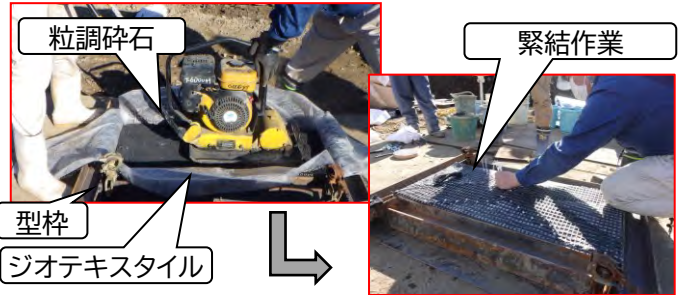
本研究の一部は(株)テクノックス、(株)ジェイアール総研エンジニアリングとの共同研究により実施いたしました。特許第7100434号

## 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

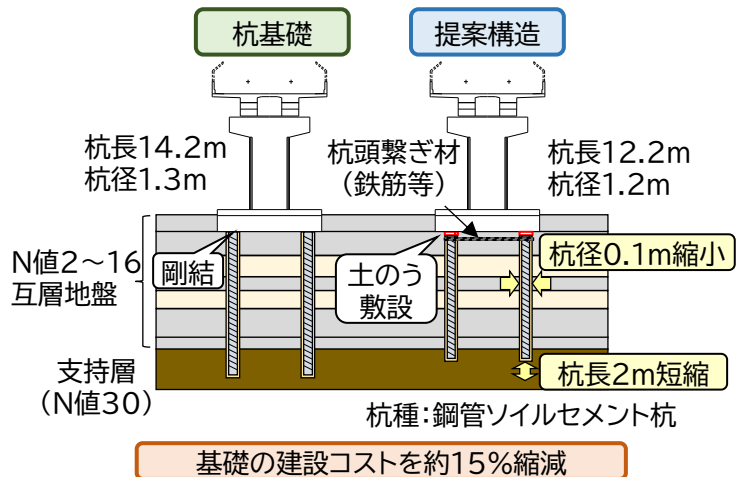
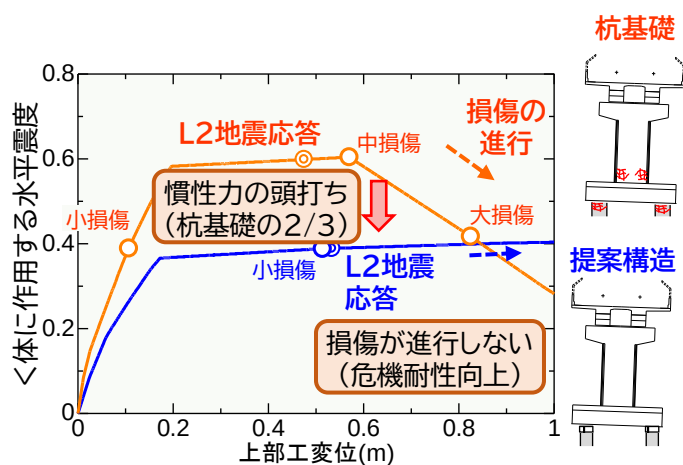


### ◆完成時



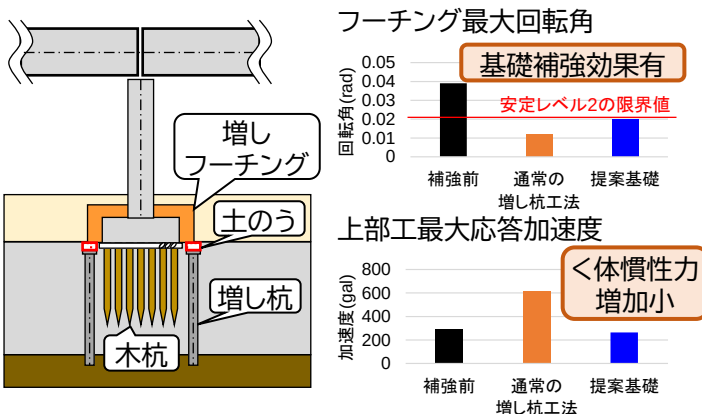
実際の現場で施工可能であることを確認

## 杭頭を剛結した従来の杭基礎と提案構造の試設計



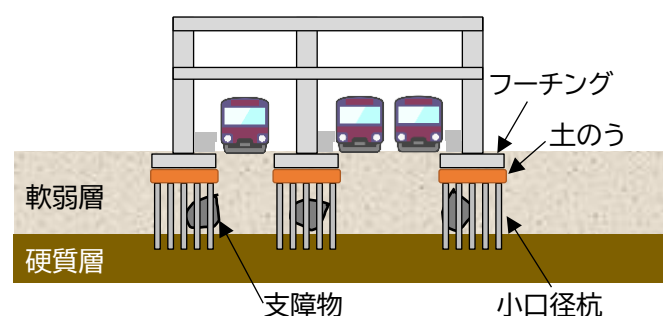
## 既設橋脚への適用例

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。



# 脈状地盤改良工法による 液状化対策効果の経年変化評価

地盤中に改良体を割裂注入させ、周辺地盤を密実化することで液状化抵抗を増大させる液状化対策工法です。施工から約10年間に、液状化対策効果が維持されていることを確認しました。

## 研究の背景と目的

- 地震時に液状化に至る可能性のある地盤は、鉄道構造物の直下も含め広範囲に存在しており、効率的に液状化対策を実施することが求められています。
- 従来の液状化対策工法は液状化発生を完全に抑止するためコストが高く、低コスト・低改良率で効率的に施工可能な液状化対策工法が必要とされていました。

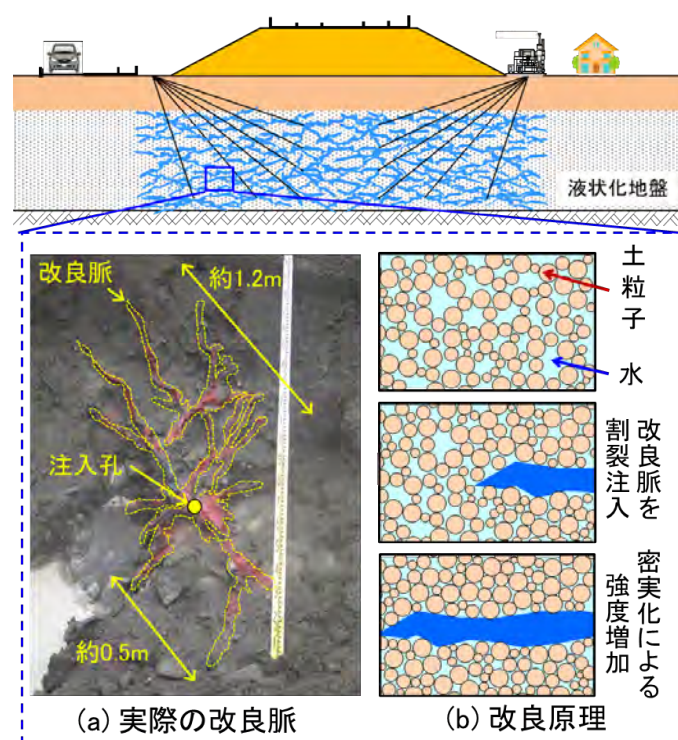
## 研究成果

- 動的割裂注入を採用することで、地盤内に脈状の改良体を多方向に注入させ、低改良率で効率的に対策を可能としました。
- 低改良率(注入率10%程度)のため、コスト縮減、施工期間短縮、施工時の隆起等抑制が可能です。
- 小型施工機械の採用、斜め施工が可能なことにより、狭隘地や既設構造物直下への適用が可能です。
- 改良体を脈状に配置するため地下水の阻害が限定的です。
- 試験・実施工を通して、N値の上昇および効果の持続性を確認しています。

## 今後の展開

- 鉄道構造物等の液状化対策(盛土の沈下抑制、ボックスカルバートの浮き上がり防止等)への適用を今後も拡大させていく見込みです。
- より一層の効率化・低コスト化を図るため、注入方式や改良効果評価手法等に関する検討を深度化させていく予定です。

## 概念図と改良原理





※本工法開発の一部は国土交通省の交通運輸技術開発推進制度により実施しました。

※ 有効注入率:N値から換算した  
密実化に寄与した注入率

## C16

# ストレステストとDISERによる 地震後の早期運転再開支援

事前に「ストレステスト」で全線の構造物の弱点箇所を把握し、地震直後に沿線の揺れや構造物被害ランクを推定する「DISER」を活用することで、地震後の早期運転再開を支援します。

## 研究の背景と目的

- 限られた予算や期間で効果的に地震対策を行うためには、路線全線の構造物の耐震性能を事前に把握して耐震補強箇所の優先順位を決定する必要があります。
- 地震後の運転再開までの時間を短縮するためには、沿線の揺れの分布をより詳細に把握して効率的に運転規制や安全点検を行う必要があります。

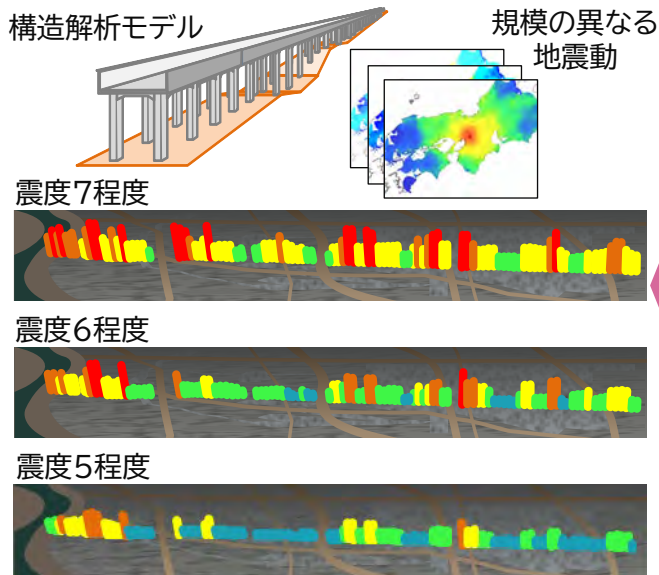
## 研究成果

- 事前に構造物被害が揺れの大きさに応じてどのように変化するかを段階的に評価する「**ストレステスト**」と、地震発生直後に地震計間の揺れの分布や構造物被害ランクを推定する「**鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)**」を開発しました。
- 「ストレステスト」では、路線全線の構造物について地盤情報(鉄道総研作成)を用いた鉄道地震災害シミュレータで様々な規模の地震動に対する損傷状態を評価します。その結果は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に活用できます。
- 「DISER」では、K-NET(防災科研)の観測データと地盤情報(鉄道総研作成)を用いた空間補間により揺れの分布を500mメッシュで推定した後、路線や構造物の登録情報に基づいて沿線の揺れの分布や構造物被害ランクの推定結果をキロ程で表示します。その情報を駅間停止列車の移動や点検優先順位の判断に活用することにより地震後の早期運転再開を図ることができます。
- 「ストレステスト」と「DISER」を活用することで、事前・初動対応・運転再開までをシームレスに対策でき、より効果的に地震に備えることができます。

## 今後の展開

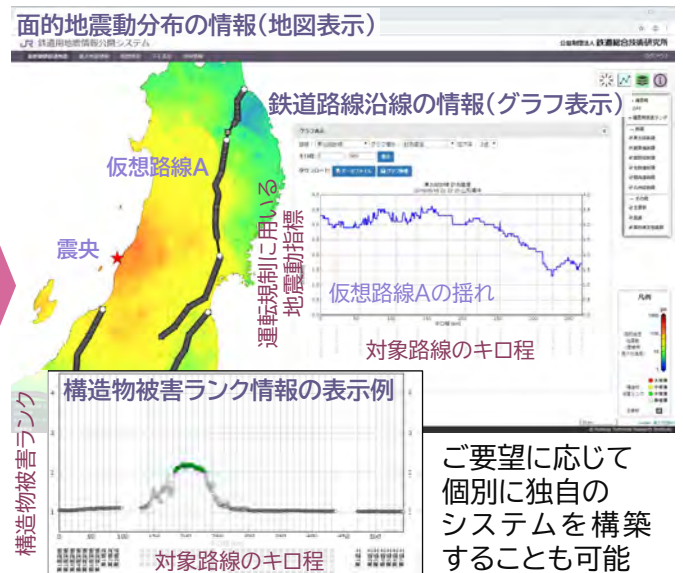
- 「ストレステスト」や「DISER」の適用対象となる構造物種別の拡大を図ります。
- 「ストレステスト」の実施や「DISER」の導入・活用に向けた技術的支援を行います。

## ストレステストの概要



地盤・構造物データベース(共通)

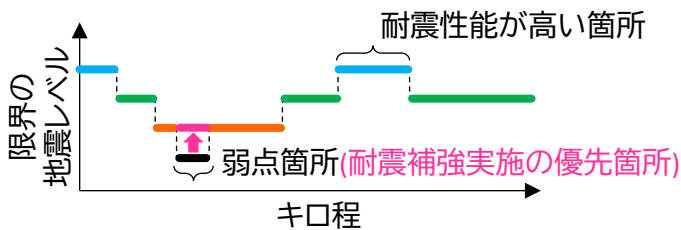
## DISERの概要



## ストレステスト実施結果の活用例

### ●耐震補強箇所の決定を支援

損傷に至る限界の地震レベルを評価



## 効率的な構造解析モデルの構築

### ●モデル構築に必要な情報

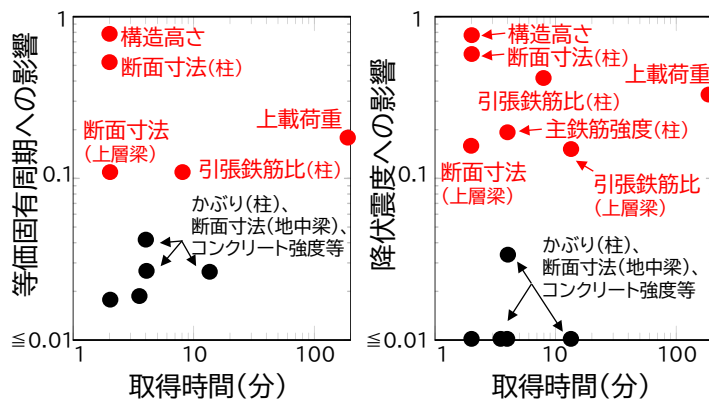
現状: 図面から目視で読み取り



全情報の取得は困難

### ●情報の取得優先度を評価

情報の取得時間 + 振動特性への影響の大きさ

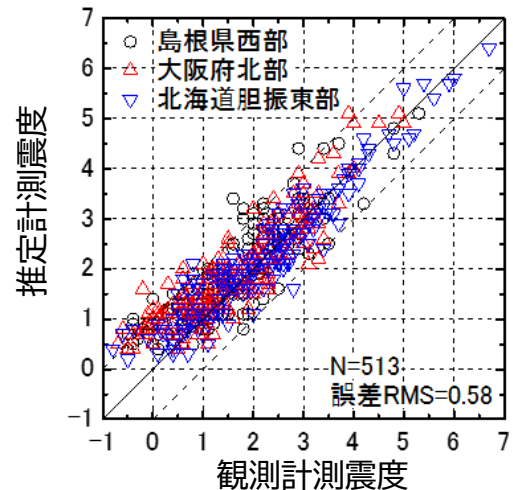


優先度の高い情報から取得  
(その他は一般的な値を入力等)

被害推定精度を維持して効率的にモデル構築

## DISERの地震動推定精度

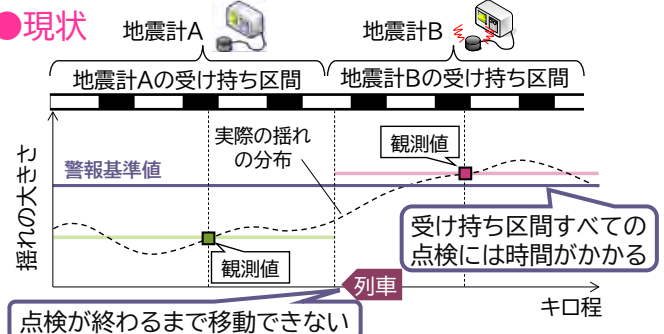
地震動の推定精度は計測震度で $\pm 0.6$ 程度



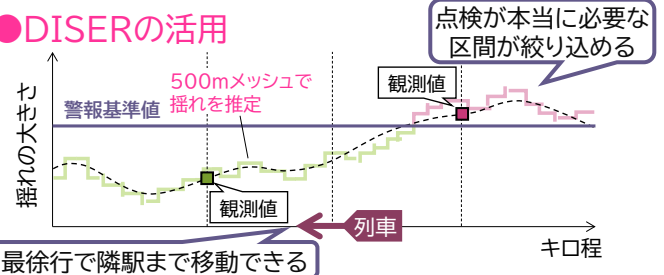
島根県西部の地震 2018/04/09 01:32 (M6.1)  
大阪府北部の地震 2018/06/18 07:58 (M6.1)  
北海道胆振東部地震 2018/09/06 07:59 (M6.7)

## DISERを活用した地震直後の初動対応

### ●現状



### ●DISERの活用





## C17

# 施工条件の厳しい構造物に対する 耐震対策技術

狭い場所に架けられた鋼橋りょうなどを対象に制震機能を有する小型の落橋防止装置を開発しました。本装置は、地震時の応答変位の低減と、過大な変位に対する落橋防止を実現します。

## 研究の背景と目的

- 都市部の幹線道路や鉄道をまたぐ鋼橋りょうは、地震時に損傷した場合の周辺への影響が大きいため、桁変位の抑制や落橋防止が求められます。
- 一方で、このような橋りょうは桁下を支障できない、支承部が狭い、など厳しい施工条件となる場合があります。
- そこで、桁変位抑制と落橋防止が実現でき、施工性に配慮した工法を開発しました。

## 研究成果

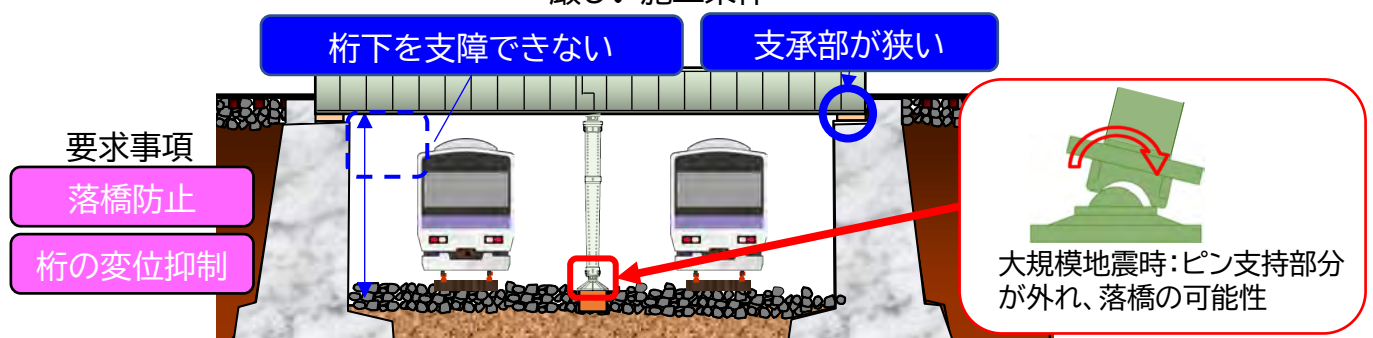
- 径50～100mmの複数の鋼棒を一体化させ、桁に取付ける装置を開発しました。
- 狭い支承部への施工を踏まえた小型なサイズ(幅1.0m、奥行・高さ0.4m程度)を実現しました。
- 地震時の応答変位を20～50%程度低減できる制震機能と、桁自重を支持可能な落橋防止機能を、ひとつの装置に兼備させました。
- 概略設計を容易に実施するため、地震動と鋼棒諸元から応答変位を推定可能な設計線図を開発しました。

## 今後の展開

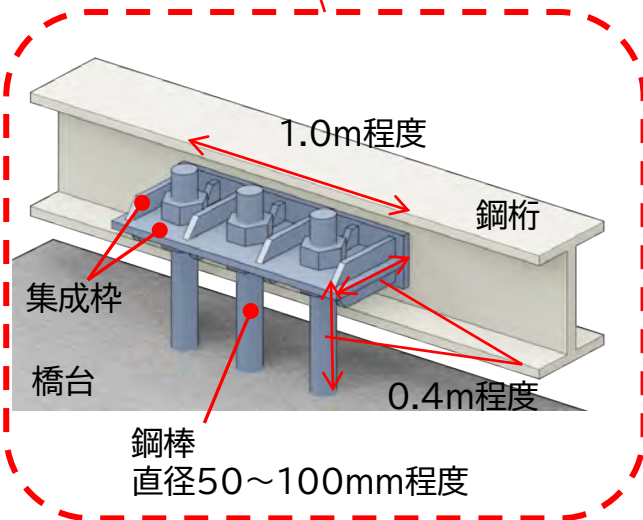
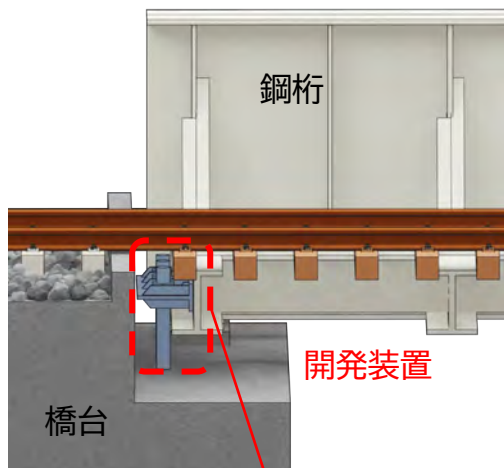
在来線の橋りょうで実用化されており、今後も幅広く実用展開を図る予定です。

### 対象となる鋼橋りょうの例

厳しい施工条件

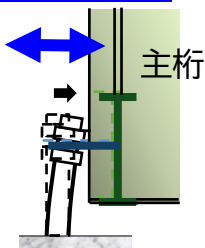


## 開発装置の設置イメージ



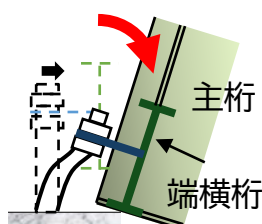
## 開発装置が有する2つの機能

## 制震機能



鋼棒の塑性曲げ変形  
によるエネルギー吸収

## 落橋防止機能



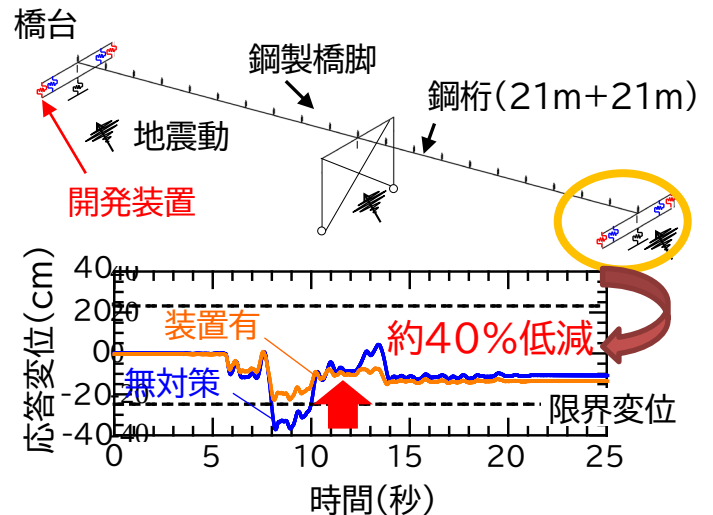
本装置による  
桁の自重支持

## 既存工法との性能比較

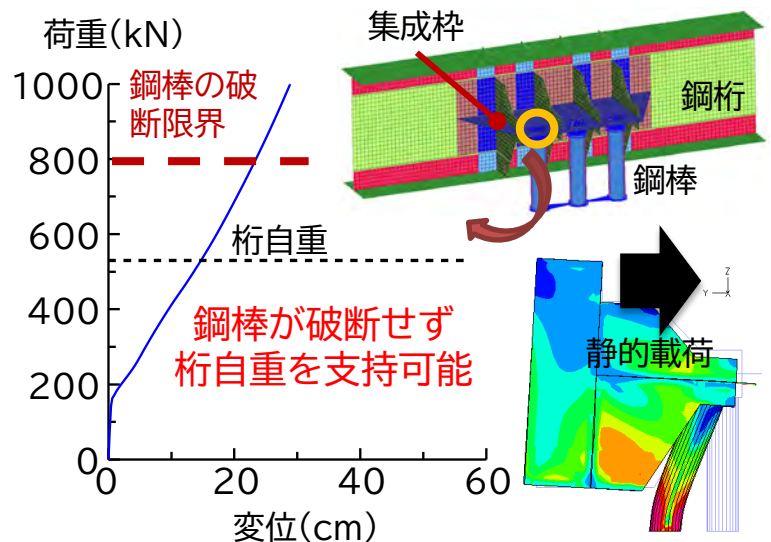
| 要求性能 |      | 落橋<br>防止 | 桁変位<br>抑制 | 桁下<br>支障無 | 狭あい<br>施工可能 |
|------|------|----------|-----------|-----------|-------------|
| 既存工法 | 桁座拡幅 | ○        | ×         | ×         | ○           |
|      | ダンパー | ×        | ○         | ×         | △           |
|      | 支承補強 | ×        | ○         | ○         | ○           |
|      | 開発装置 | ○        | ○         | ○         | ○           |

要求性能を全て満足できる工法は  
開発装置のみ

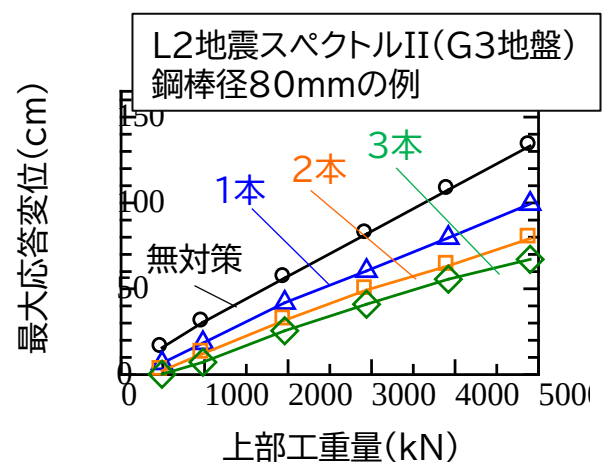
## 制震機能の検証



## 落橋防止機能の検証



## 設計線図



目標変位を実現する鋼棒諸元  
を簡易に設定可能

# 二重偏波レーダーを利用した 新雪密度の推定手法

二重偏波レーダーを用いて、雪片、霰などの降雪種に応じて異なる新雪密度を推定する手法を開発しました。本手法の活用で、線路上の降雪深や車両の着雪量等の推定精度向上が期待できます。

## 研究の背景と目的

- 降雪時の運行、除雪計画の適切な実施には降雪量を適切に把握することが必要です。降水量から降雪量を精度よく求めるためには降り積もった直後の雪の密度(新雪密度)が重要となります(降雪量＝降水量×水の密度/**新雪密度**)。
- 新雪密度は従来は地上気温で簡易的に推定していましたが、雪の乾/湿しか考慮できず、気温0℃未満の乾いた雪の密度にとって重要な降雪種の違いは表現できませんでした。
- 新幹線の車両床下着雪は積雪表層の密度が軽いほど着雪伸長速度が大きくなるので、車両床下着雪量の推定にとっても新雪密度は重要な初期パラメータです。
- 水平・垂直方向に振動する電波を送受信する気象レーダー(二重偏波レーダー)で、**降雪種(雪片、霰など)に応じた新雪密度の違い**を推定する手法を開発しました。

## 研究成果

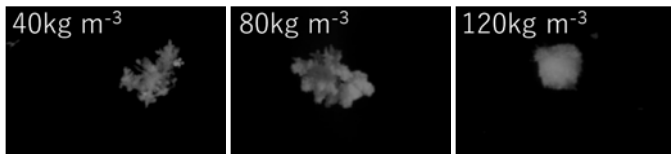
- 地上での**降雪種がどれだけ霰に近い(形状が丸く、密度が大きい)**が乾いた雪の新雪密度の違いによって支配的であることを明らかにしました。
- Xバンド帯の二重偏波レーダーで観測できる雪粒子の**形状や粒径分布**によって変わるパラメータを使って、地上で降雪種がどれだけ霰に近いかを表現できる指標を提案し、新雪密度との関係を明らかにしました。
- 国土交通省のXバンド帯の二重偏波レーダーに適用し、面的に新雪密度の時間変化を求めました。従来の気温による推定手法では表現できていなかった新雪密度の時間変化を本手法では表現できることが確認できました。

## 今後の展開

- 後継テーマにて本成果を活用した降積雪量の推定手法を開発中です。
- 後継テーマでは気象モデルを活用した降積雪量の予測についても実施します。
- 本研究は山口大学、日本気象協会との共同研究により実施されたものです。



## 降雪種と新雪密度

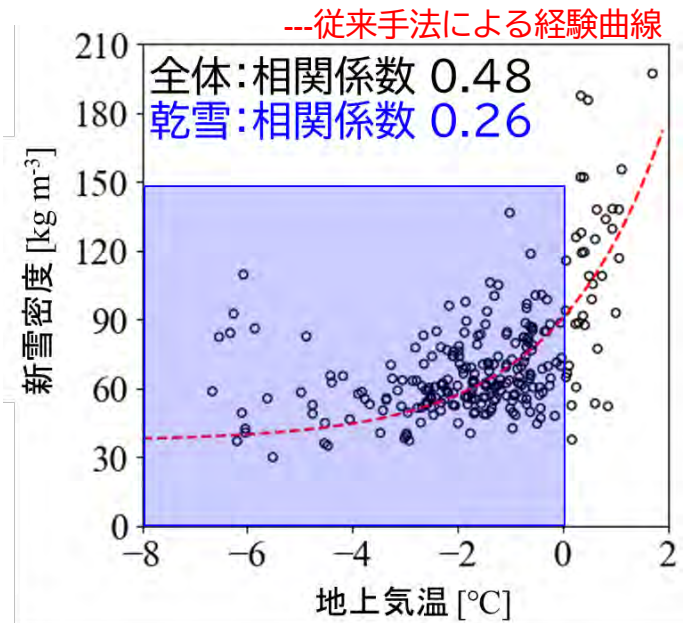


雪片 ←————→ 霰

雪片: 軽く、車両床下に着雪しやすい  
霰: 重く、車両床下に着雪しにくい

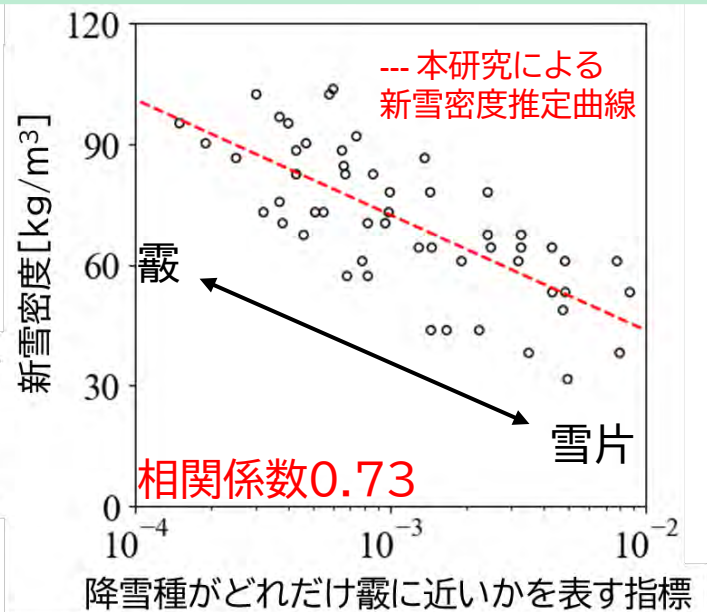
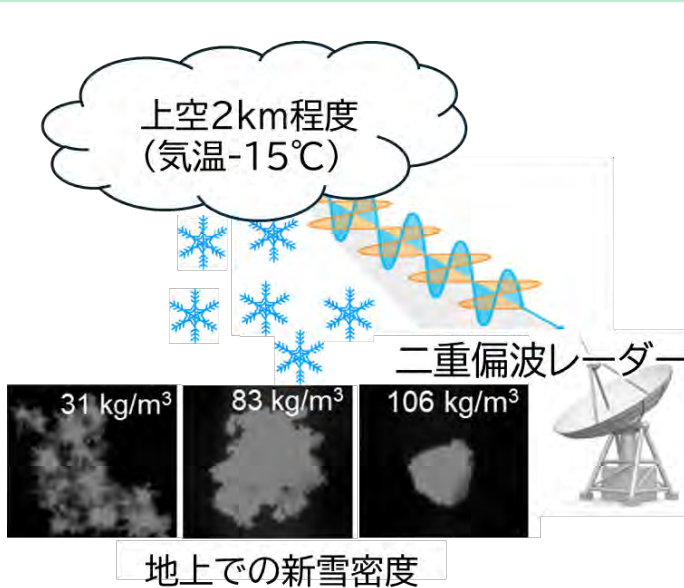
新雪密度による積もりやすさ  
同じ降水量に対する降雪深は  
新雪密度 $120\text{kg m}^{-3}$ の事例に対して、  
2倍 ( $80\text{kg m}^{-3}$ )、3倍 ( $120\text{kg m}^{-3}$ )

## 地上気温と新雪密度の関係



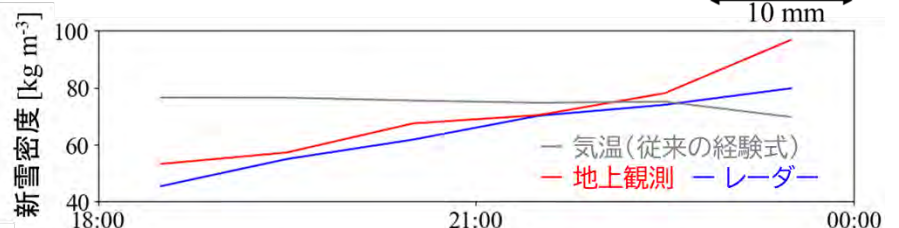
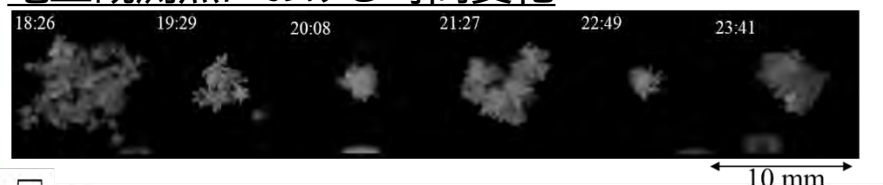
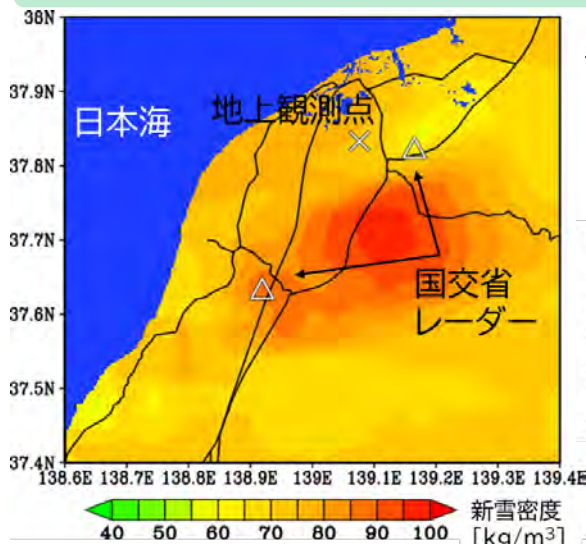
地上気温 $<0^{\circ}\text{C}$ では相関なし

## 二重偏波レーダー観測による新雪密度推定手法の提案



## 新雪密度の面的な推定(国土交通省のxバンド帯レーダーを使用)

## 地上観測点における時間変化



※国土交通省レーダーの観測データは国土交通省により提供され、国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」:データ統合・解析システム(DIAS)の枠組みの下で収集・提供されたものです

# 動的な風速予測マップ

時間的に変化する動的な風速マップの作成手法を応用して、将来の風速をマッピングする手法を開発しました。瞬間風速と等価な風速を7時間先まで $\pm 5\text{m/s}$ 未満の誤差で予測可能です。

## 研究の背景と目的

- 近年、台風の強大化等に伴い、より強い風がより広範囲に吹く事象が増えており、強風時の運行管理をより効果的に行うためには、風速の将来予測情報の利活用が必要と考えています。
- そこで、既開発の動的な風速マップの作成手法を応用して、瞬間風速と等価な将来の風速を予測し、マッピングする手法を開発しました。

## 研究成果

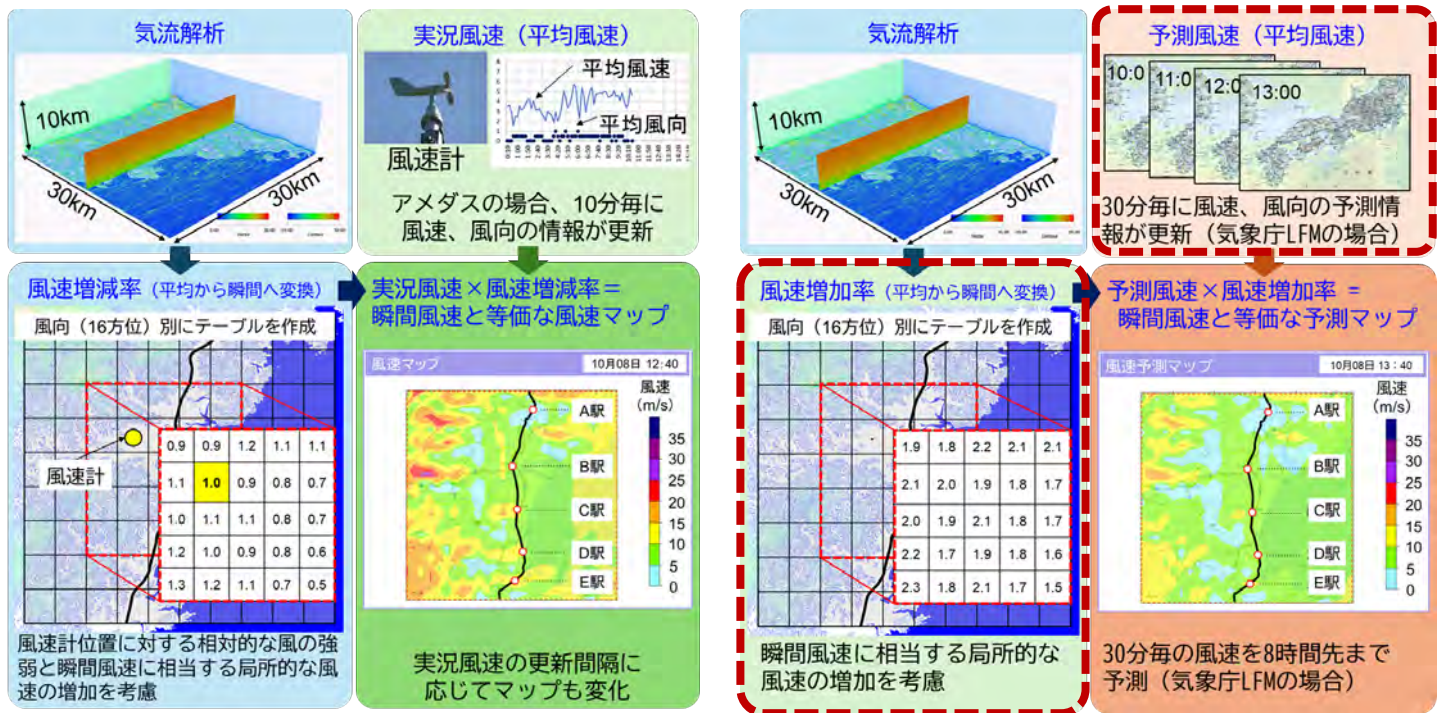
- 気流解析は、最大で30km四方の領域を最密で50m四方の解像度で実施可能で、解析から得た最大風速と平均風速との比(風速増加率)を解析領域内の全ての更新点であらかじめ求めておきます。この風速増加率は、局所的な風速増加の効果を表すものです。
- 気象機関から提供される平均風速の予測値に気流解析から求めた置いた風速風速増加率を乗じることで、瞬間風速と等価な予測風速の面分布(風速予測マップ)が得られ、気象機関から提供される予測風速が更新される度に予測マップも更新します。
- 風速予測マップの作成には、気象庁や民間の気象会社による面(メッシュ状)の予測情報が必要となります。
- 風速計4基で得た強風データ(の10分間最大瞬間風速 $10\text{m/s}$ 以上)で検証した結果、7時間先までの風速を $\pm 5\text{m/s}$ 以下の誤差(RMSE:二乗平均平方根誤差)で予測できることを確認しました。

## 今後の展開

- 風速予測マップの自動作成、更新機能を備えたアプリケーションを開発中です。
- アプリケーションを通じて、強風監視や強風時の運行管理にご活用頂く計画です。
- 機械学習による風速予測を加味するなど、本手法の精度向上を継続します。
- 本研究は、東芝エネルギーシステムズ(株)との共同研究により実施しました。

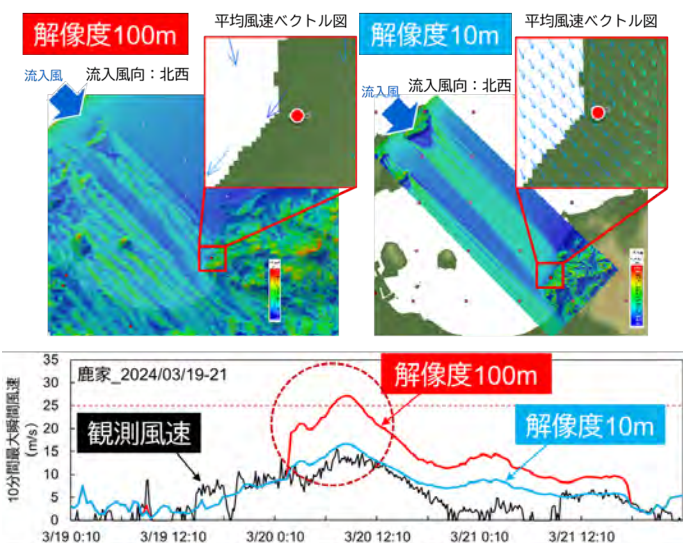


## 動的な実況風速マップ(左)と予測風速マップ(右)の作成フローの比較



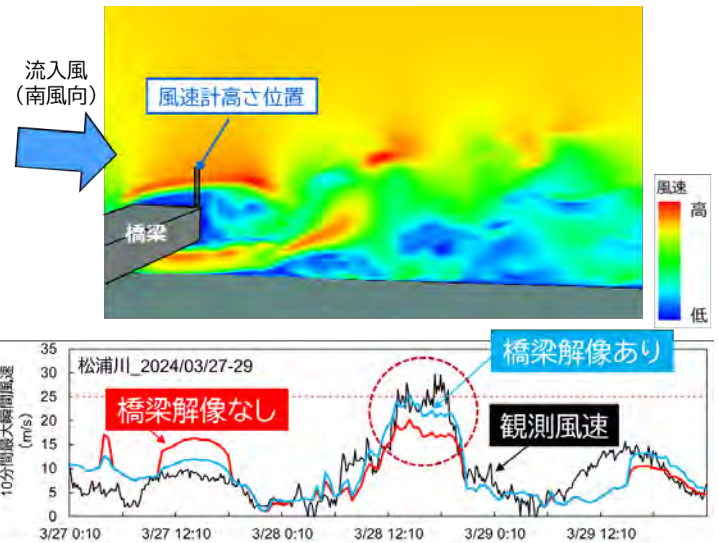
## 予測精度を高めるための工夫(予測精度の向上策)

## 気流解析の高解像度化(水平解像度)



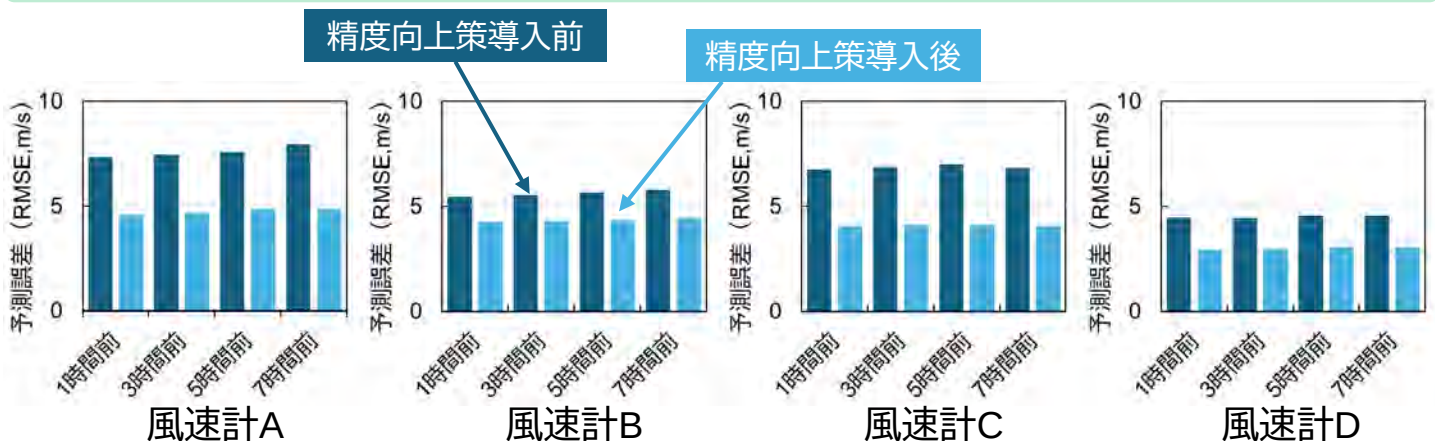
風向の適正評価により予測値の過大評価を改善

## 鉄道構造物を解像した気流解析



橋梁周りの風速解析により予測値の過小評価を改善

## 予測精度の評価(予測精度の向上策の導入前後での比較)



全ての検証用風速計、1～7時間前の全ての予測で誤差±5m/s未満を達成



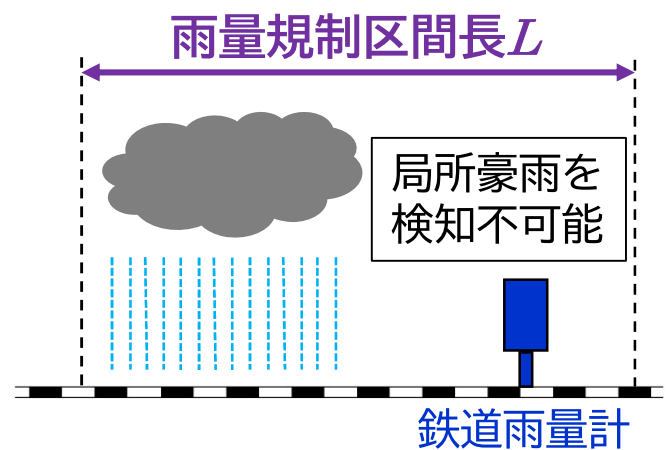
# レーダー雨量計を用いた 降雨時運転規制の設定手法

降雨時の運転規制にレーダー雨量計を適用する場合の規制値を、既往の鉄道雨量計の規制値を換算して設定する手法を提案しました。同手法により規制発令時間は微増しますが、災害の捕捉件数が増加し、安全性が向上しました。

## 研究の背景と目的

- 従来の鉄道雨量計による定点雨量観測では、局所的な豪雨を検知できない場合があります。局所的に豪雨を検知できるレーダー雨量計の導入が進んでいます。
- レーダー雨量計を用いた際の規制値の設定方法は明確には定まっておらず、規制発令時間を大幅に増加させることなく容易に設定する手法が求められています。

## 鉄道雨量計による現状と課題



## 研究成果

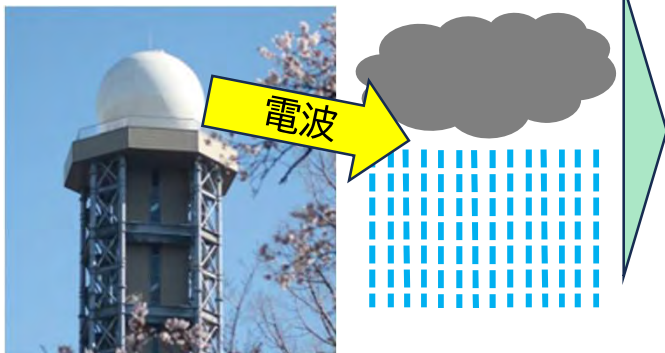
- レーダー雨量計と鉄道雨量計が観測した過去の降雨情報から、雨量換算倍率を算出する手法を考案しました。これにより、雨量規制区間長に応じた、雨量換算倍率の算出が可能となります。
- 雨量換算倍率を用いて設定したレーダー雨量計の規制値を用いて、**災害捕捉性**および**規制発令時間**の検討を行い、現行ケースよりも規制発令時間は微増するものの、災害の捕捉件数が増加し、安全性が向上する結果が得られました。

## 今後の展開

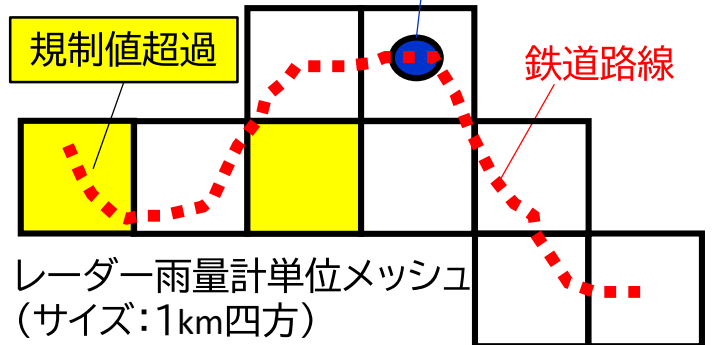
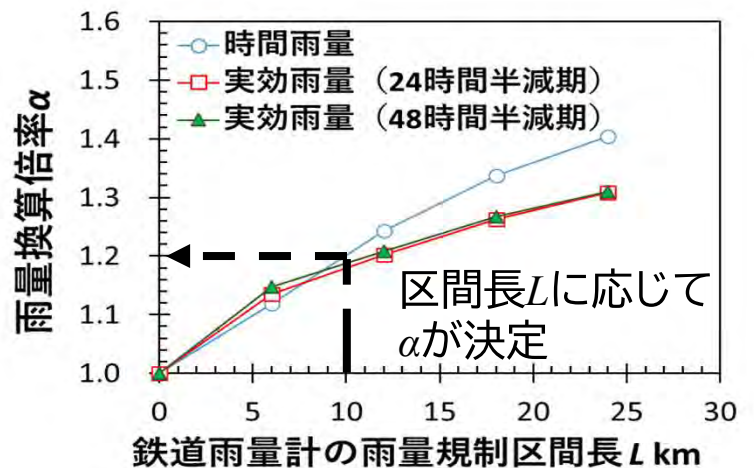
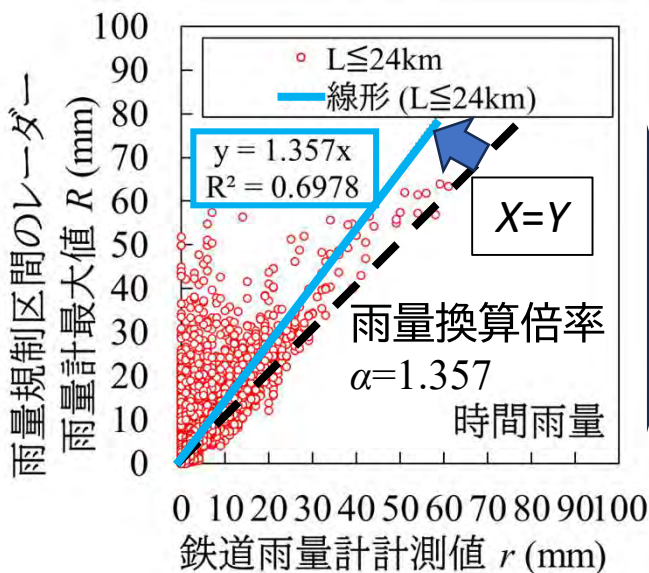
- 日本全国を対象として同手法における妥当性の検証作業を進めます。
- 同手法による運転規制発令時間と災害捕捉性の関係を詳しく把握するために、より詳細な分析を進めます。

## レーダー雨量計を用いた運転規制発令メカニズム

## 局所豪雨を検知

レーダー雨量計  
(気象庁より)雨量規制区間長 $L$ 

鉄道雨量計（定点観測で規制区間を代表）

レーダー雨量計単位メッシュ  
(サイズ: 1km四方)1メッシュでも規制値を超えると  
安全性の観点より運転規制発令雨量換算倍率 $\alpha$ の算出方法

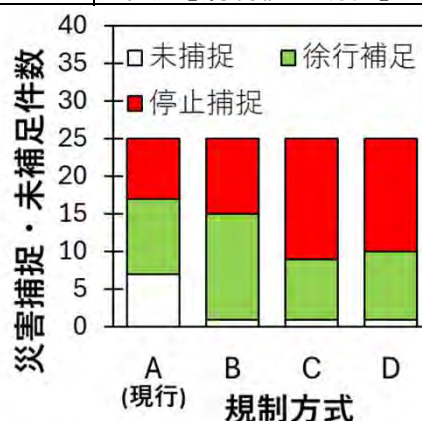
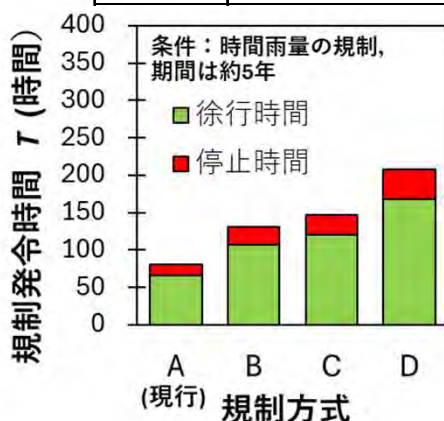
## 方式別の規制時間と災害捕捉性の試算

| 規制方式  | 鉄道雨量計       | レーダー雨量計              |
|-------|-------------|----------------------|
| A: 現行 | あり【規制値: 既往】 | なし                   |
| B     | なし          | あり【規制値: <b>本手法</b> 】 |
| C     | あり【規制値: 既往】 | あり【規制値: <b>本手法</b> 】 |
| D     | なし          | あり【規制値: 既往】          |

A方式とB方式を比較

規制時間は微増するが  
災害捕捉性が向上

B方式とC方式を比較

規制時間は微増するが  
より安全な状態での  
捕捉が可能に

# 貫入試験を用いた簡易なのり面工背面劣化度の調査手法

小型軽量な本試験機を適用することにより、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もあります。
- 鉄道では既設の 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。

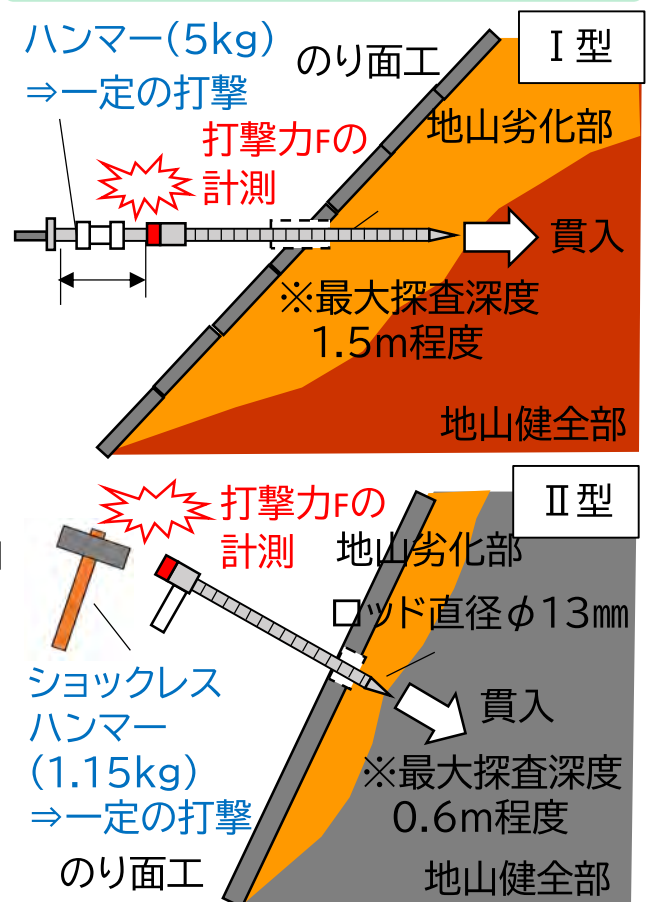
## 研究成果

- 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)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。
- 試験中の打撃力を計測でき、試験者に起因する打撃のばらつきによる試験誤差を補正できます。
- 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



### 簡易計測手法





## 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

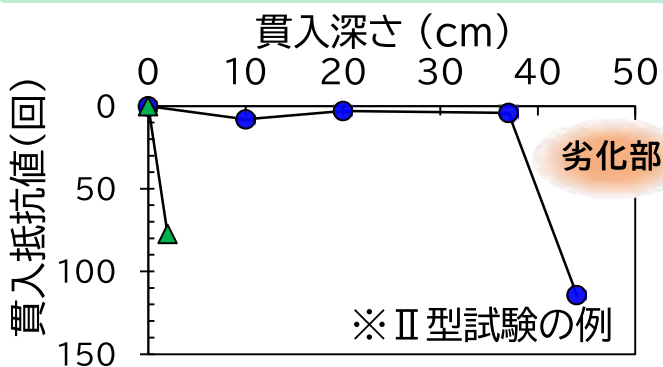
打撃力計測による  
試験値の事後補正

## 簡易試験

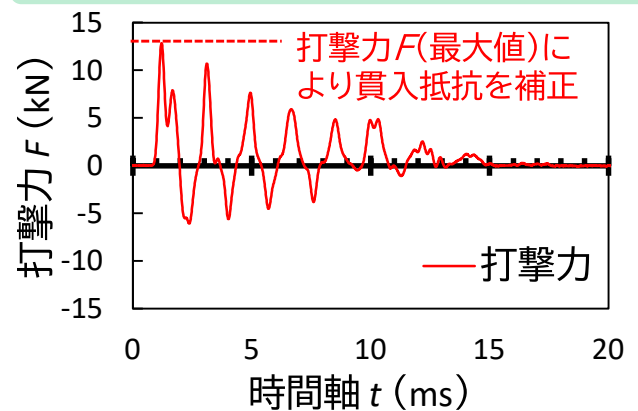
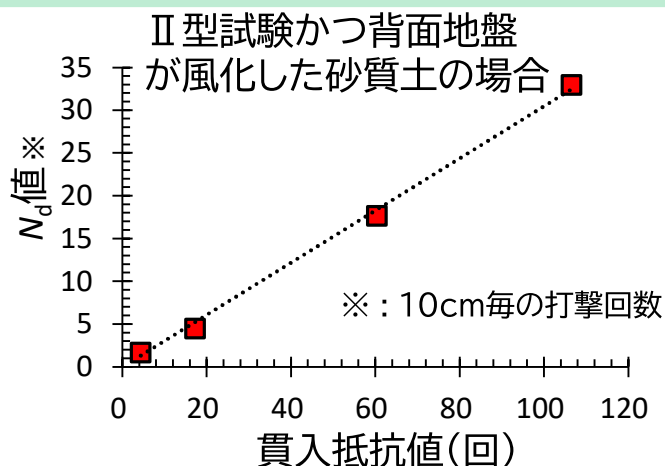
打撃力計測  
による監視



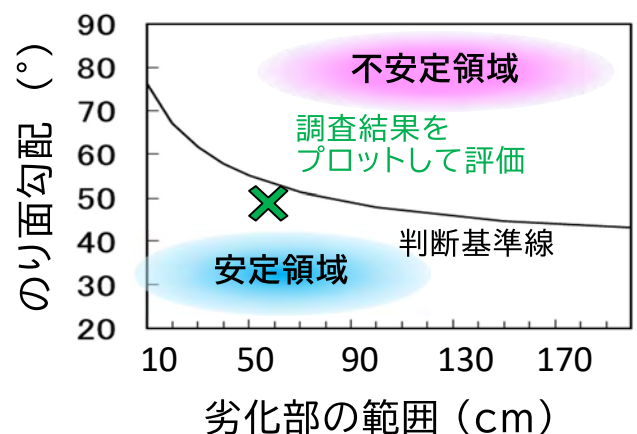
## 自由打撃簡易貫入試験の実施例



## ハンマー打撃の計測例

簡易動的貫入試験(既往)  $N_d$  値への換算

## 安定性評価ノモグラム(の例)



# 土石流災害のハザード評価手法

机上検討により土石流の発生危険度と影響度を評価し、土石流災害のハザード評価を行う手法を開発しました。本手法はハザードの概略把握や対策優先順位付けに活用できます。

## 研究の背景と目的

- 気象災害をもたらす大雨等が頻発化しており、鉄道に交差する溪流で生じうる土石流への備えが必要です。
- 現地調査対象の絞り込みや対策計画策定には、危険度の高い溪流の抽出が望まれます。そこで、机上検討によるハザード評価手法の開発を目的としました。

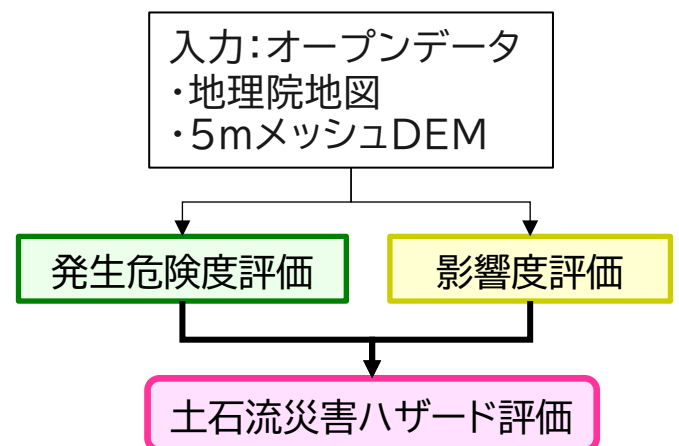
## 研究成果

- オープンデータを用いた机上検討により、土石流の発生危険度と影響度を評価し、ハザードを評価する手法を開発しました。
- 発生危険度は、沖積錐の有無と地形量により、4段階で評価します。沖積錐の抽出を支援する判読補助図の作成手法をまとめました。地形量として平均溪床勾配等を指標とし、閾値は過去の土石流事例に基づき設定しました。
- 影響度は、発生土量とポケット容量により、4段階で評価します。発生土量の推定には、流路形状の細長さを示す「流域形状比」を指標としました。
- モデル地区での検証により、本手法の妥当性を確認しました。

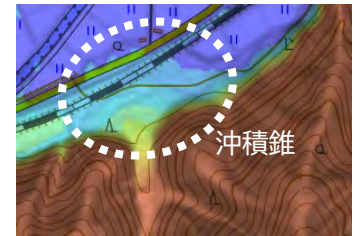
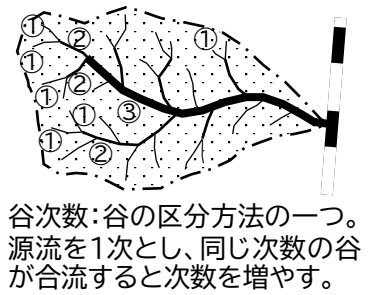
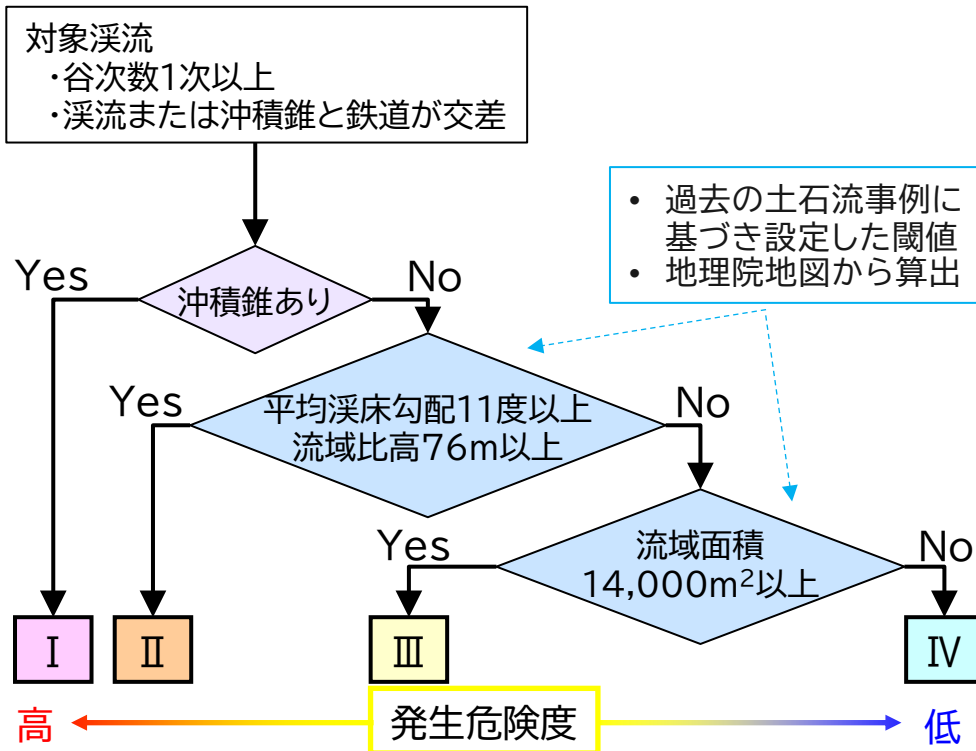
## 今後の展開

- 引き続き検証を進め、評価の妥当性を確認します。

### 土石流災害ハザード評価の流れ

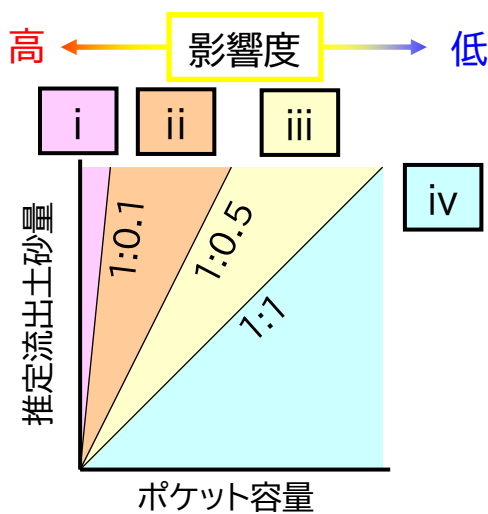


## 発生危険度評価手法

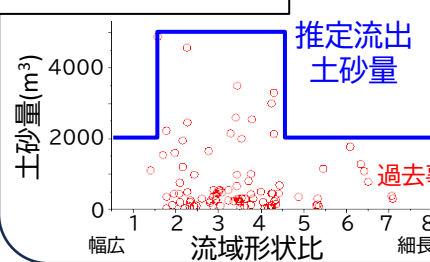


沖積錐: 土石流堆積物で形成された地形  
DEMを用いて沖積錐の抽出を支援する判読補助図の作成手法を提案

## 影響度評価手法



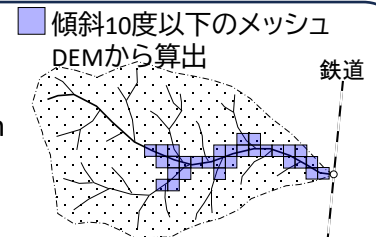
## 推定流出土砂量



流域形状比 ※ = 流域最大径<sup>2</sup> / 流域面積  
※ DEMから算出  
流域形状の細長さを示す

## ポケット容量

ポケット容量 = 傾斜10度以下の面積 × 0.1m

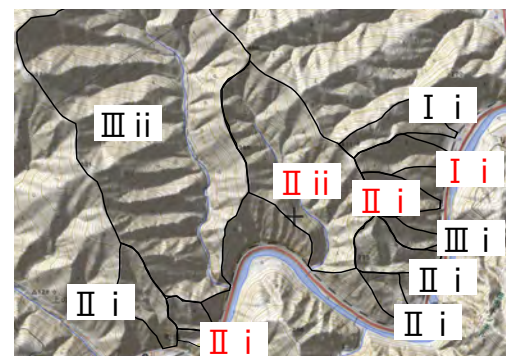


## 土石流災害ハザード評価手法の検証 -モデル線区での適用例-

ハザードランク I i ~ II iii で該当率が高く、  
本手法で土石流災害のハザードを評価可能

| 該当率 |     | 発生危険度 |      |     |    |
|-----|-----|-------|------|-----|----|
|     |     | I     | II   | III | IV |
| 影響度 | i   | 25%   | 43%  | 0%  | 0% |
|     | ii  | 50%   | 60%  | 0%  | 0% |
|     | iii | 50%   | 100% | 0%  | 0% |
|     | iv  | 0%    | 0%   | 0%  | 0% |

※該当率=土石流発生溪流数/ランク別溪流数



赤字: 土石流が発生した溪流  
黒字: 土石流が発生していない溪流

土石流災害ハザード評価の適用例



# 列車速度の違いによる 強風時の安全性評価

強風時の運転規制では、徐行や運転中止などが実施されています。ここでは、列車速度によって安全性がどのように変わるか定量的に評価した結果を紹介します。

本研究には統計数理研究所との共同研究による成果が含まれています

## 研究の背景と目的

- 現在の風規制ルールでは、風速計が規制風速を超える風を観測した場合、列車は事業者ごとに経験的に定められた列車速度以下での徐行や運転中止を行います。列車速度を落とすと強風にさらされる時間が長くなるため、必ずしも安全性が高いとはいえない可能性があります。
- 本研究の目的は、安全性・速達性を両立する列車運転規制方法の開発です。

## 研究成果

### 問題設定



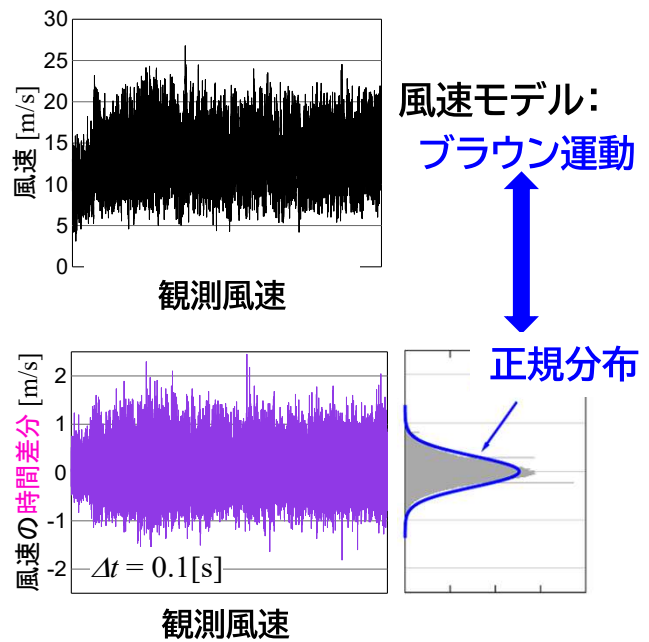
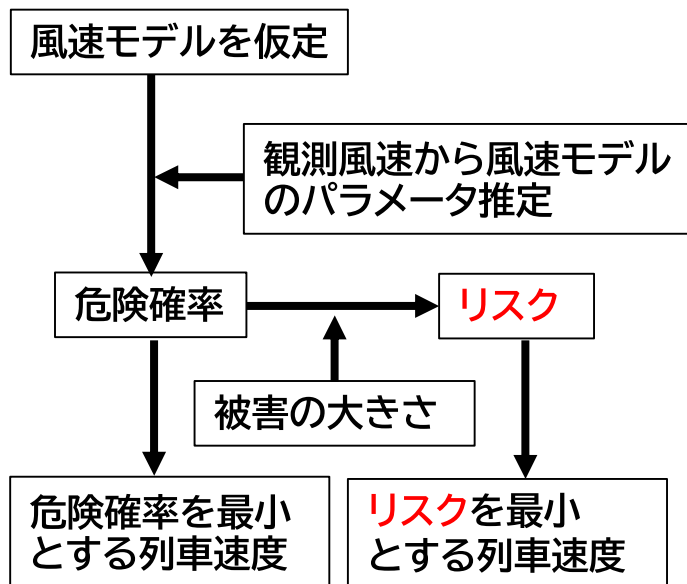
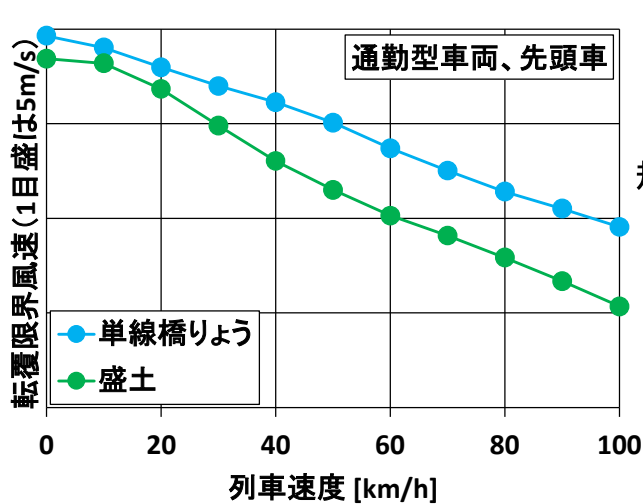
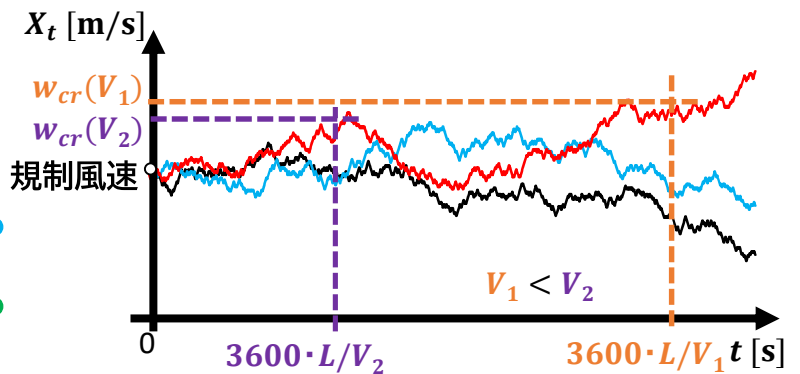
- 強風下で列車が安全な箇所まで走行する状況を考えます。直前の風速計データを用いて、列車が安全な箇所に到着するまでに風速が転覆限界風速を超える確率(危険確率)を計算できます。
- 試算した危険確率と転覆時の被害の大きさ(ここでは列車速度の1.5乗と仮定)を用いて、リスクを計算します。計算結果から、低リスクで走行できる列車速度を求めることができます。

## 今後の展開

- より現実に近い状況での安全性評価が可能となる手法の構築を目指します。

## 風速モデル

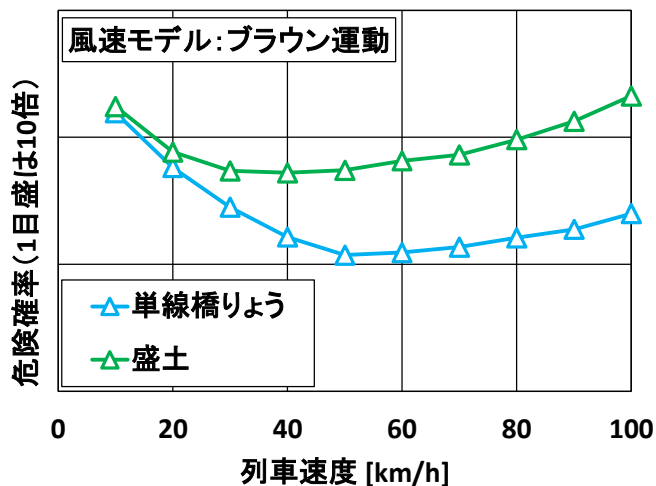
## 安全性評価方法

転覆限界風速 $w_{cr}$ の計算例転覆限界風速 $w_{cr}$ を超える確率(危険確率)

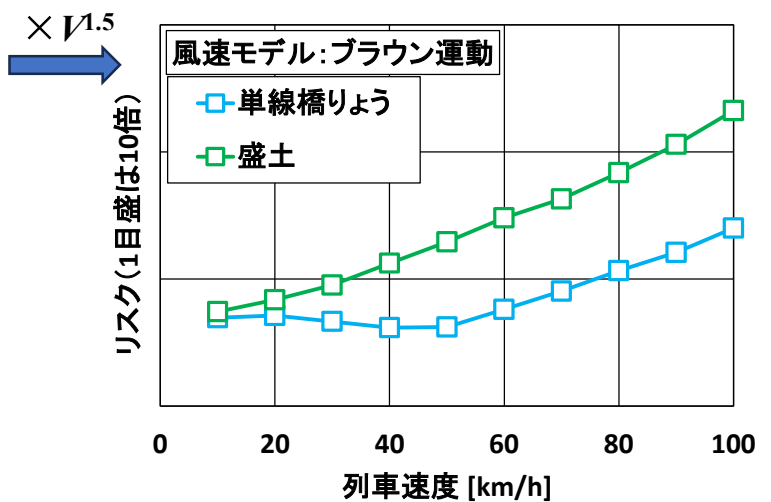
列車速度: 低 → 転覆限界風速: 高  
強風に曝される時間: 長

列車速度: 高 → 転覆限界風速: 低  
強風に曝される時間: 短

## 危険確率の計算例



## リスクの計算例



許容できる確率やリスクが設定できれば、速達性の高い列車速度を求められます。