

道路橋の被災および現地 調査から見えてきた課題

橋梁構造研究グループ

上席研究員

大住 道生

大規模地震発生時のミッション

- 施設（橋梁構造研究グループの場合は主に道路橋）
管理者への技術支援
- 地震の教訓の技術基準への反映
- 地震の教訓を踏まえた研究／技術開発

← 現地調査、被害の分析

令和6年能登半島地震発生を受けた、橋梁構造研究グループの動き

□初動対応

- 2024.1.1 地震発生
メディアやSNS等で情報収集を開始
- 1.2 現地派遣の準備
- 1.4 管理者から派遣要請、現地へ3名の研究員を派遣
- 1.5 現地調査を実施
金沢河川国道事務所にて調査結果を報告・帰還
→国総研とも調査内容を共有

□CAESARで実施した取組等

- これまで10回にわたって現地調査を実施
のべ109橋を調査
- 被災橋梁や調査橋梁の位置を地図に反映し、
情報共有・現地調査にて活用

道路管理者



調査結果報告時の様子



Googleマイマップで共有

全国道路施設点検データベースの活用

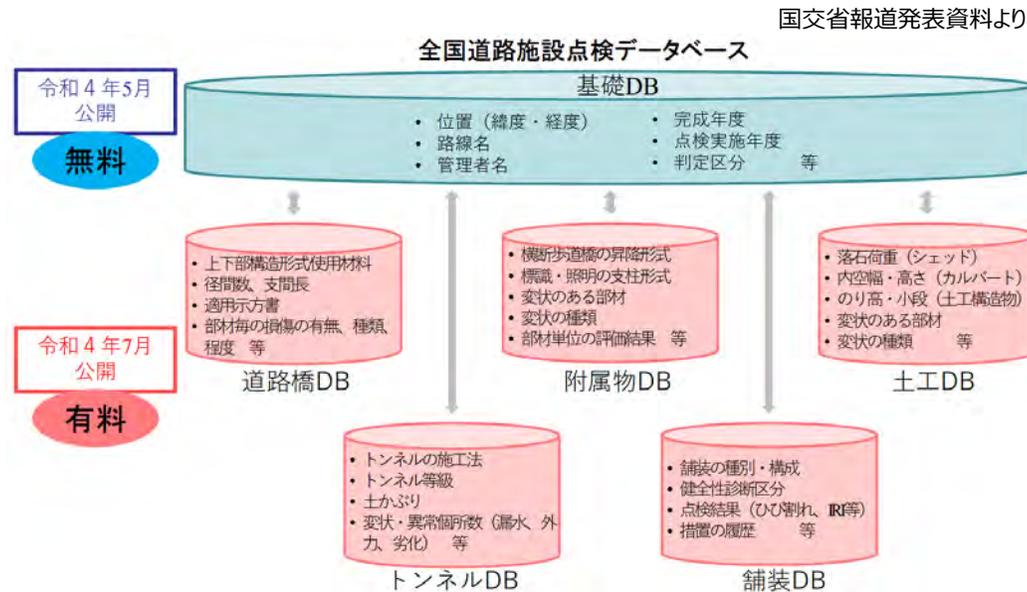
□ 全国道路施設点検データベースの概要

- 道路橋の場合、全道路管理者の73万橋のデータが格納
 - 基礎DB：損傷マップ（地図・施設一覧）からアクセス。無料
 - 詳細DB：詳細な橋梁諸元や点検結果が閲覧可能。有料

□ 現地調査での活用

- 調査予定地域にある橋梁を確認し、調査対象の橋梁の選定に活用
- 対象橋梁の構造形式や架設年度、過去の点検結果を現地調査前に把握

➡ **効率的な調査の実現**



全国道路施設点検データベースの概要



損傷マップ（無料版）

<https://road-structures-db.mlit.go.jp/>

FHWAとの合同調査

□現地合同調査

- 能登半島地震の道路構造物被害を、土研・国総研とFHWA（米国連邦道路庁）の合同で調査
- 橋梁を中心に土工やトンネル、液状化についても調査を実施



調査団の集合写真



現地調査の様子

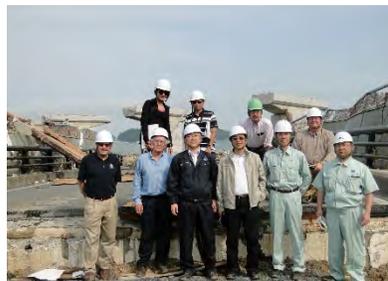
【参考】過去の合同調査の一部



ノースリッジ地震
(1994年)



兵庫県南部地震
(1995年)



東北地方太平洋沖地震
(2011年)



熊本地震
(2016年)

FHWAとの合同調査

□表敬訪問



□意見交換



NHKによる取材



道路橋の地震応答シミュレーション

能登半島地震における道路橋の被害状況を説明



災害派遣、現地調査から見えてきた課題

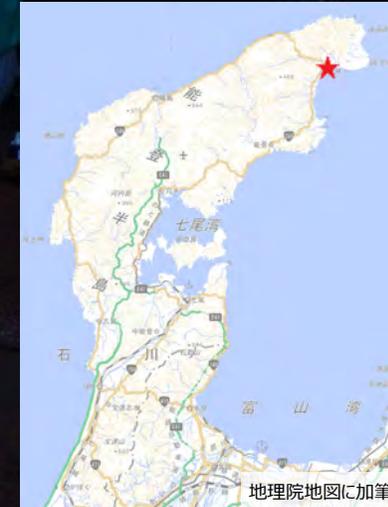
1月23日(火)朝9:30頃
珠洲市朝日橋付近の交差点
停電で信号機が点灯していない



断水地域での調査

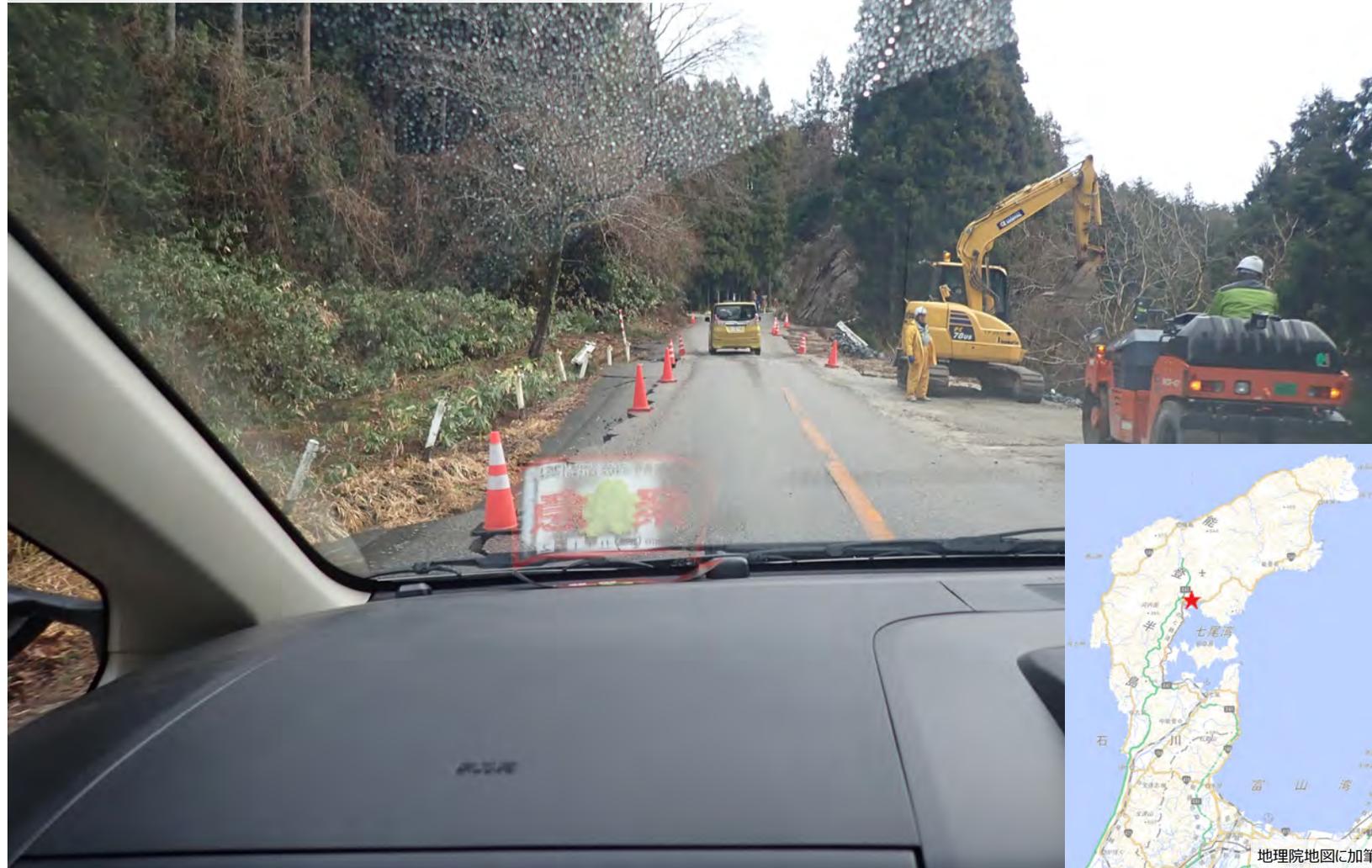


2月26日(月)朝6:00頃
珠州市道の駅すずなり
仮設トイレ（断水により、道の駅常設のトイレは使用不可）



調査対象までの経路

1月21日(日)15:15頃
穴水町国道249号
路面がひび割れ車線も制限され、交通容量が減少



調査対象までの経路

1月22日(月)朝9:30
七尾市中島町国道249号
朝明るくなってから出発すると大渋滞に



調査前ミーティング



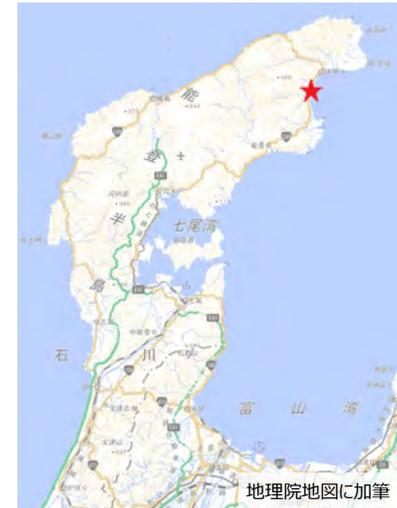
2月26日(月)朝3:30頃
高岡市道の駅万葉の里高岡
調査前ミーティング

調査対象近傍の道路状況

1月23日(火)朝6:20頃
珠洲市鵜飼大橋
に向けて、通行可能な道を試行錯誤
(結果的に吾妻橋を先行することに)

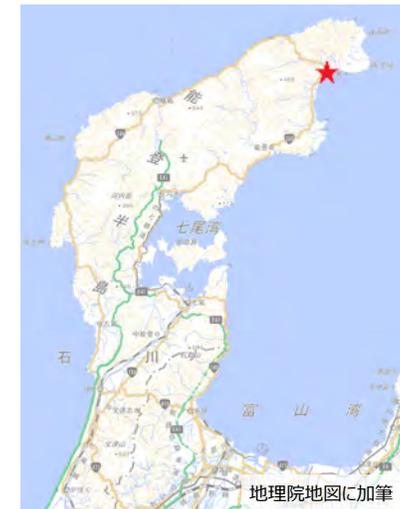


1月23日(火)12:40頃
珠洲市鵜飼地区
の道路状況



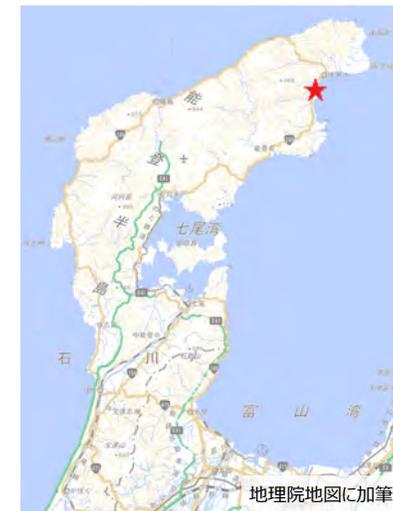
津波被害を免れた橋

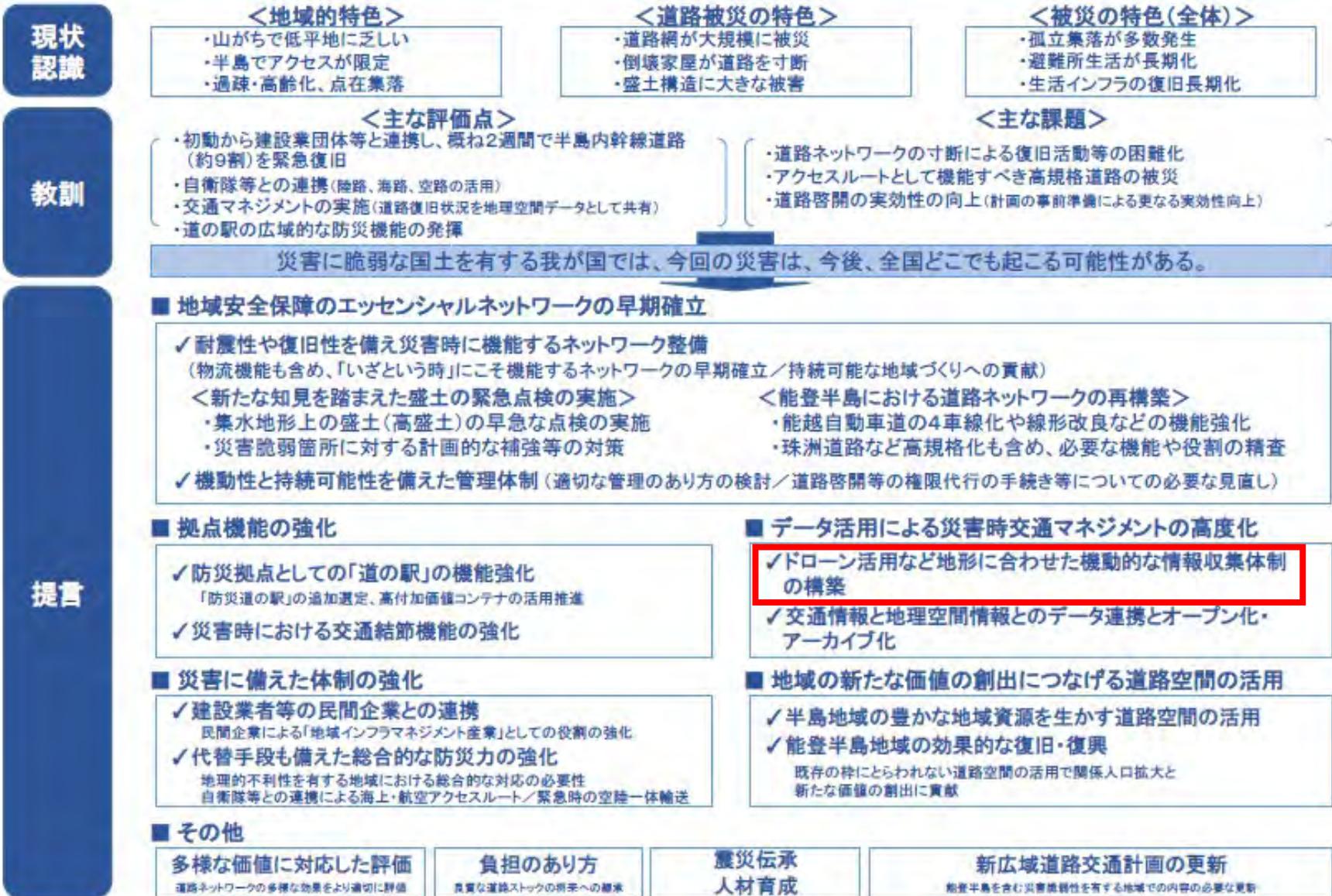
1月23日(火)朝6:50頃
珠洲市吾妻橋
橋の直近まで津波被害、
橋には津波遡上の痕跡無し



津波が到達したと考えられる橋

1月23日(火)朝10:30頃
珠洲市磐若橋
津波が到達したと考えられる橋





【橋梁】

社会資本整備審議会 道路分科会 第22回道路技術小委員会(令和6年3月26日)資料より抜粋

(被害状況)

- ◎ 石川県内(※震度6弱以上)の3018橋中、落橋した橋梁は、現時点で報告されていない。
(ただし、上部構造の一部である拡幅部が脱落した橋や歩道部が脱落した橋はある)
- 耐震設計基準が大きく変わった兵庫県南部地震以後に設計された橋の本体は概ね軽微な被害であり、基準の改定で対応がとられてきた橋脚のせん断破壊などは見られなかった。一方で、周辺盛土や堤防の変状に伴って橋台に異常変位が残留する例が散見され、本復旧の対応の遅れにつながる可能性がある。

[国総研・土研で調査した道路橋(全135橋)のうち]

- ・ 架設年度がH9より前の道路橋(不明含む) 91橋中 大被害 6橋※
 - ・ 架設年度がH9以降の道路橋 45橋中 大被害 0橋※
- ※道路震災対策便覧の被災度の区分による整理
(ただし、周辺地盤・橋台の移動に伴う被災を除く)

- 橋台背面について、小規模な段差は多数発生しているが、速やかに機能回復できているものが大半である。
 - ・ 平成8年道路橋示方書で踏掛版の設置が望ましいとし、平成24年道路橋示方書で橋台背面アプローチ部の構造を規定し、その効果が現れている。
- 古い基準で設計された道路橋の中には落橋には至ってはいないものの深刻な被害も見られる。

《技術基準の方向性》

- 技術基準の妥当性を覆す事象や知見は現時点で確認されていないが、迅速な復旧の実現性を高める観点から、次について技術基準の充実・整備を検討すること。
 - ・落橋防止構造のように、具体の外力が想定できない事象に対しても迅速な復旧の実現性が期待できる設計項目・内容の充実化
 - ・所要の安全余裕を確保するだけでなく、迅速な応急復旧を可能とする損傷形態を実現させるための設計項目・内容の充実化
 - ・橋の構造特性も踏まえ、地震後の点検や診断の容易さ、復旧のしやすさに配慮した構造、アクセス手段の確保
- 性能規定化されている道路橋示方書に準じて、個々の構造の条件を適切に反映し、復旧や修繕の目的に応じた柔軟かつ合理的な対策が行えるよう、要求性能の設定やダメージコントロールの考え方の導入なども含めた修繕の技術基準類の整備を検討すること。

管理者の要請による点検調査

1月5日(金)朝10:30頃
七尾市花園橋
既に段差補修は行われていた



概観



橋台背面部（七尾市側）（段差補修済）



橋台背面部（高岡市側）（段差補修済）

路面からの調査



支点側、終点側の背面土が沈下
(写真は歩道部の段差)



車の通行に支障のある道路線形の異常はなし



歩車道境界に損傷（橋台の位置、橋長が異なる）

路面からの調査



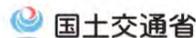
車道部と歩道部の上部構造間に5～10cmの隙間



支承部または下部構造に損傷が疑われる

ドローンによる調査

令和5年度緊急用務空域 公示第5号



令和6年1月1日に石川県能登地方で発生した令和6年能登半島地震について、以下のとおり国土交通大臣による航空法第132条の85による無人航空機の飛行禁止空域の指定を行いました。

なお、航空法第134条の3による航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのある行為（凧、気球等）の許可及び通報についても適用になります。

- 公示日時：令和6年1月2日12時00分
- 公示管理者：国土交通省航空局
- 公示管理番号：令和5年度緊急用務空域 公示第5号
- 公示本文：次のとおり航空法第132条の85第1項第1号の規定により令和5年度緊急用務空域第5号を指定する。
- A) 関係都道府県：石川県（E項に詳述）
- B) 開始：令和6年1月2日12時00分
- C) 終了：別途通知するまで
- D) 時間帯：日出 / 日没
- E) 区域：以下の示す範囲
・北緯37度以北の能登半島全域の陸地
(石川県輪島市、珠洲市、穴水町、能登町、七尾市、志賀町、中能登町)
- F) 下限高度：地上
- G) 上限高度：地上から600m

公示空域（石川県輪島市、珠洲市、穴水町、能登町、七尾市、志賀町、中能登町）

・北緯37度以北の能登半島全域の陸地



航空法第132条の92の適用を受けて飛行させる場合を除き、当該空域での無人航空機の飛行を原則禁止とします。
なお、今後の状況に応じ、緊急用務空域を指定する期間・範囲・高度を変更する可能性があります。
航空局ホームページ等において、最新の情報を確認してください。

DID地区（人口集中地区）



当該地域はDID地区外

北緯37度以北の能登半島全域の陸地は緊急用務区域のため UAVの使用が原則禁止 ([001716290.pdf \(mlit.go.jp\)](#))



- ・花園橋は、北緯37度以南で緊急用務空域外、かつ、DID地域外
→管理者に許可をいただき、目視内飛行による、近接困難箇所（特に支承部）の変状の有無を確認



ドローンによる調査

至 高岡市



UAV撮影画像からは車道の支承部(BP支承)の変状は確認されなかった

至 七尾市



歩道部の支承（線支承）は狭隘につき、確認できなかった

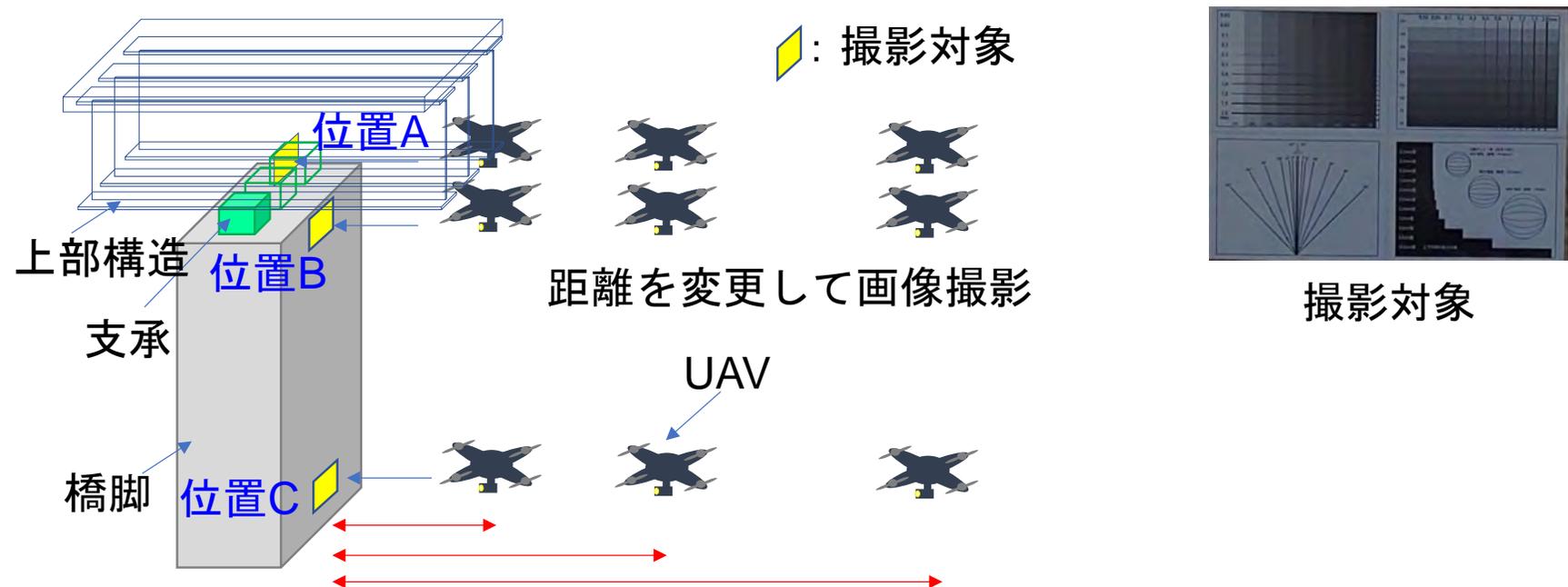


石積み擁壁にずれ



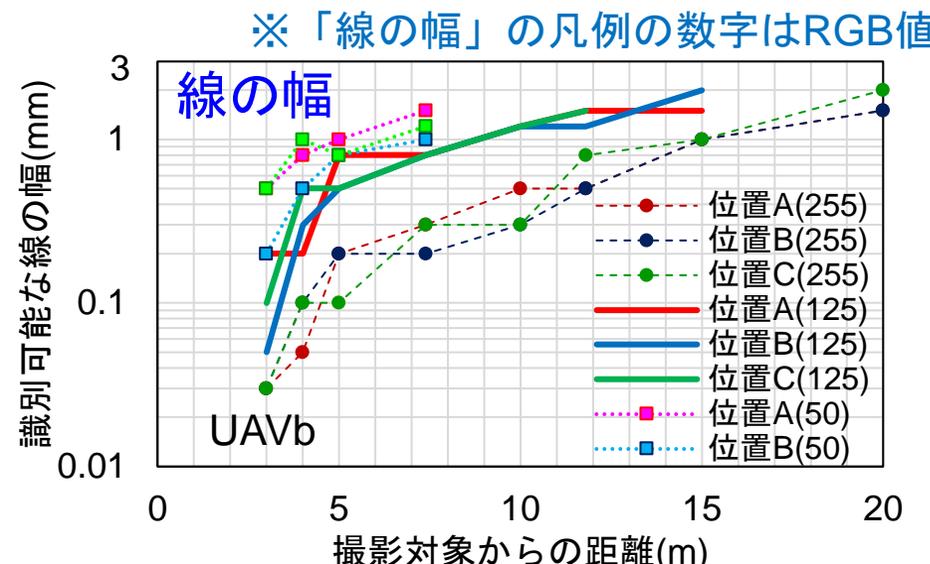
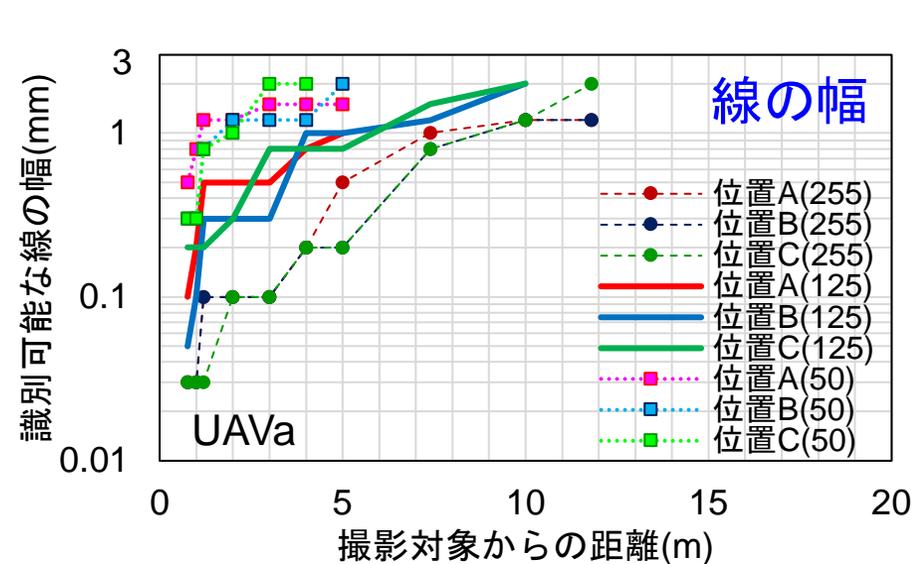
画像撮影技術の能力評価

事前に画像撮影距離や照度を変更しつつ画像を撮影し幾何学的特徴の視認性を確認

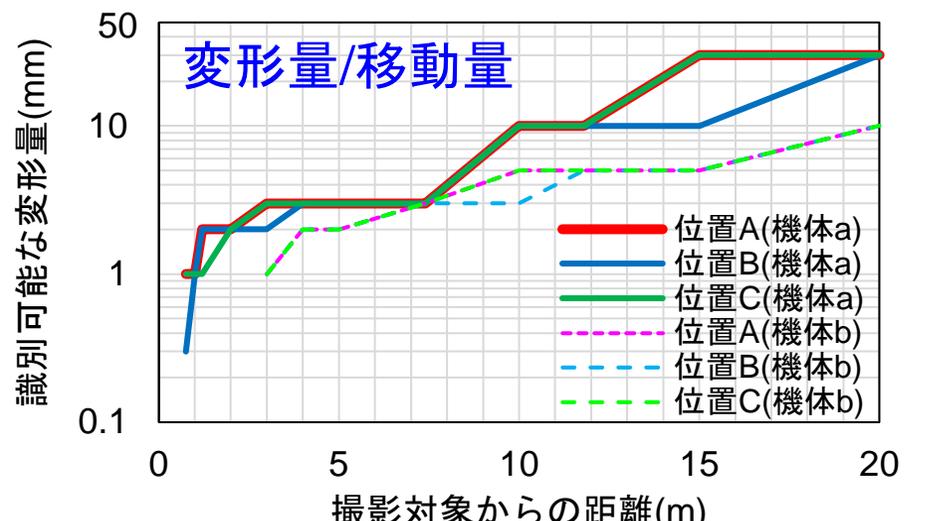
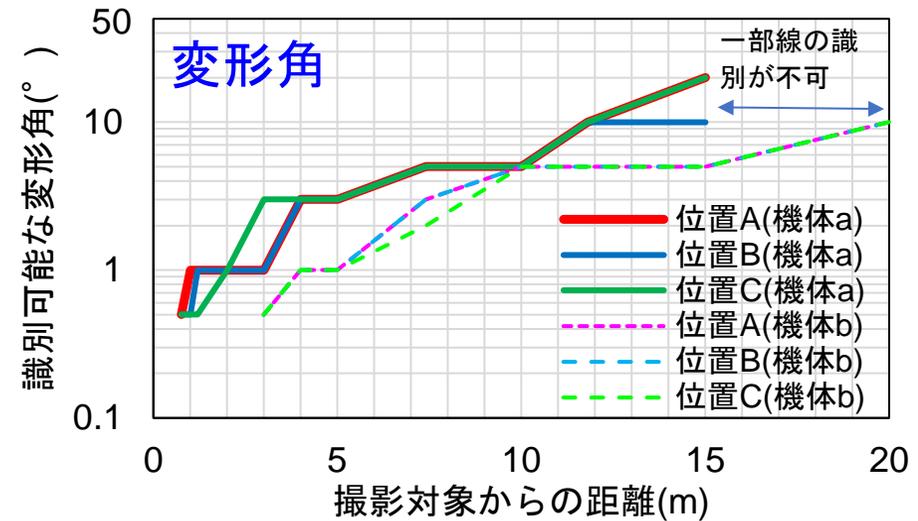


	UAVa	UAVb	カメラA	カメラB	カメラC
センサーサイズ	1/2.3 型	1 型	フルサイズ	1 型	非公開
35 mm換算の焦点距離	20mm	24mm	24mm	24mm	28 mm
画素数	4,056 × 3,040	5,472 × 3,648	9,504 × 6,336	5,472 × 3,648	4,032 × 3,024

撮影距離と識別可能な幾何学的特徴の関係

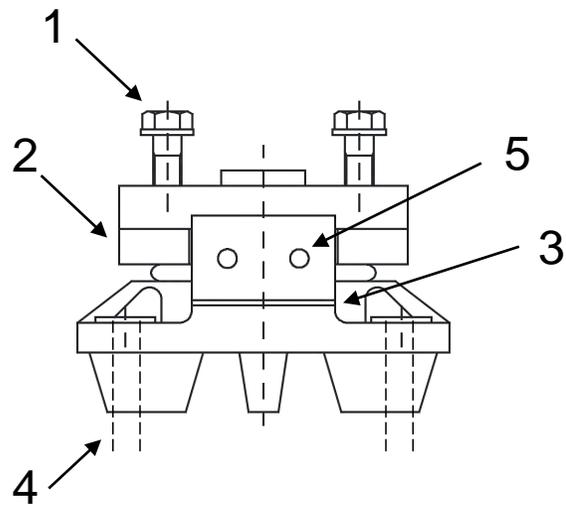


※「線の幅」の凡例の数字はRGB値



例えば10m離れた位置からは、2mm以上の線の幅、5° 以上の変形角、10mm以上の変形量を識別できる見込みがある

BP-A支承の地震による損傷モード



BP-A支承の構造

出典：支承部の地震時損傷が橋に及ぼす影響の観点での被災度判定～桁橋の支承版支承を例に～，土木技術資料，2023.9

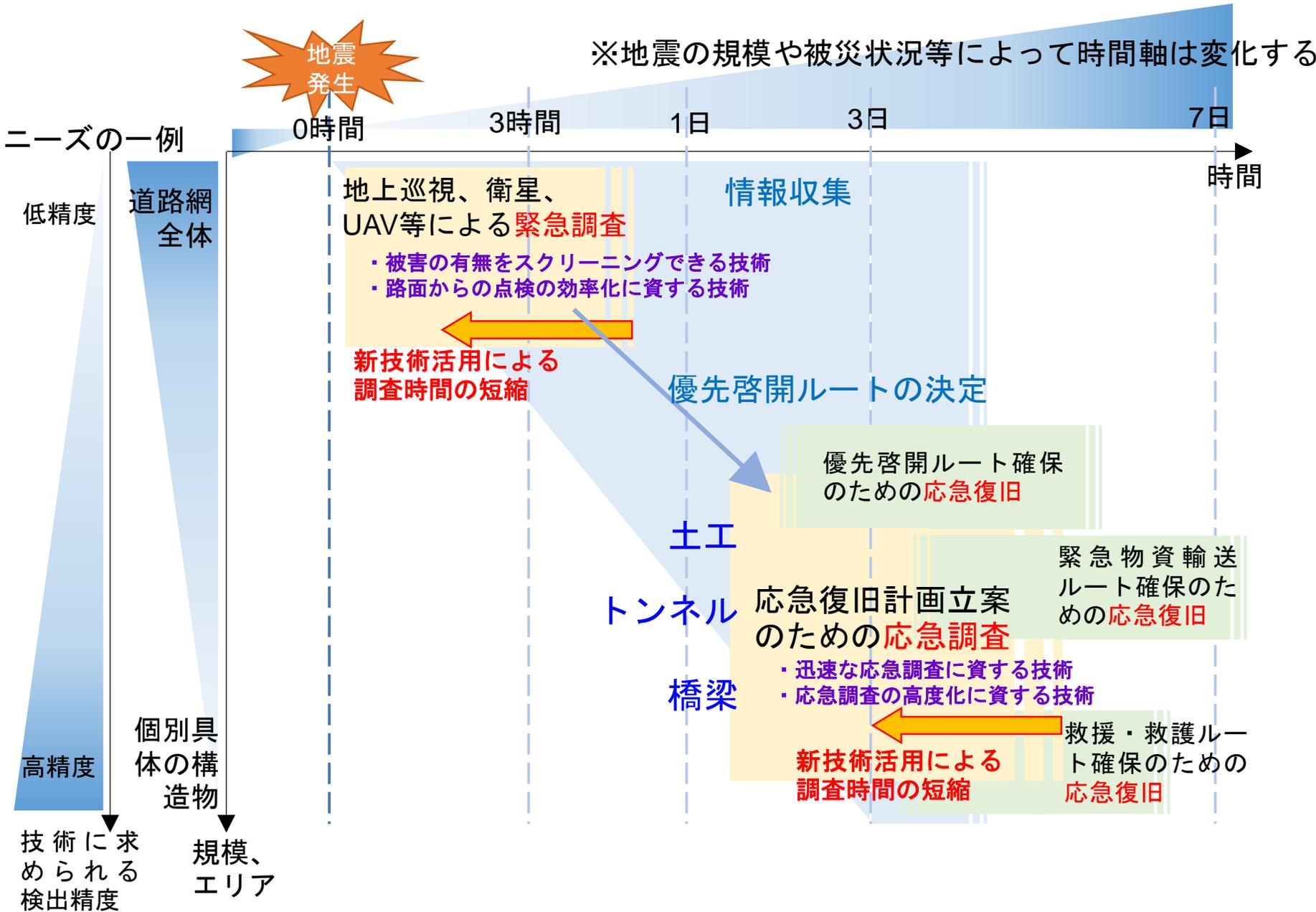
上部構造、橋台の調査



上部構造、コンクリート橋台に地震の影響と考えられる変状は見られなかった

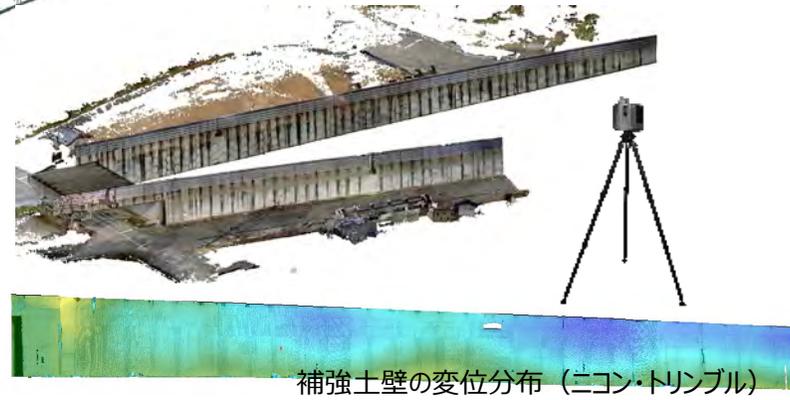


震後点検のフェーズ毎のニーズの変化のイメージ



令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例

「道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けた新技術の利活用に関する共同研究（令和5～6年度）」（土木研究所、橋梁調査会、川金コアテック、ニコン・トリンブル、日本電気、パナソニックコネク）の一環で、能登半島地震において、点検支援技術を積極的に活用した地震後の点検を実施。



令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例

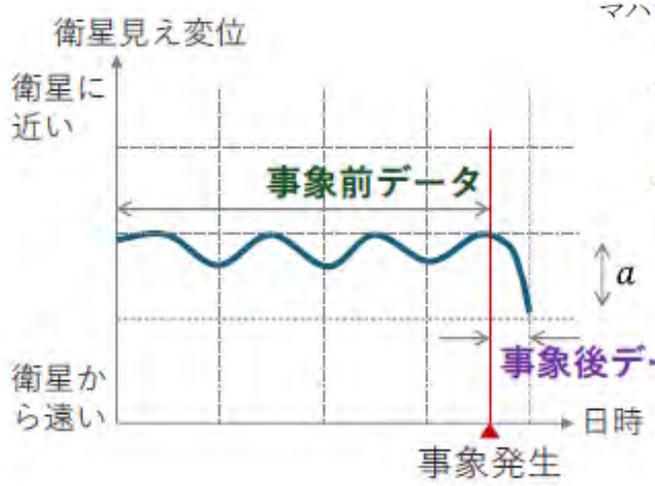
地震発生直後には広大な道路網
の損傷状態の把握が必要
そのための手段が限られる



国土交通省：復旧見える化マップより

令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例

実施主体：日本電気



マハラノビス距離 $a = \sum_{t=T1, T2, T3} \left(\frac{d_{Los,t} - \mu_0}{\sigma_0} \right)^2$

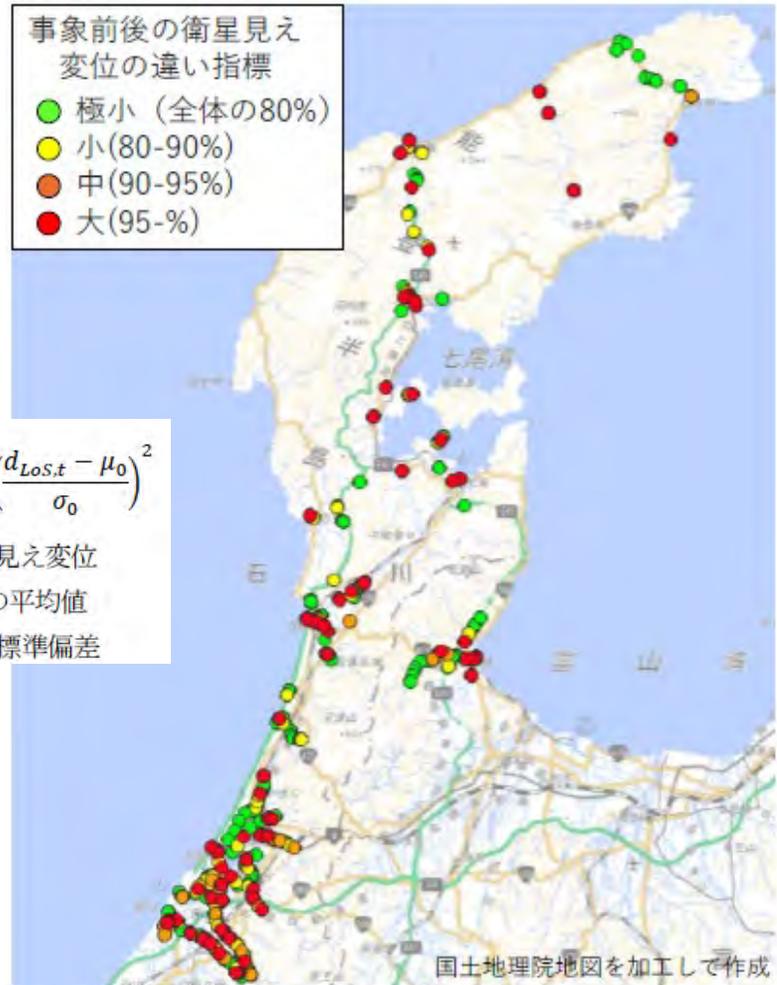
$d_{Los,t}$ 事後観測日tの衛星見え変位

μ_0 事前の衛星見え変位の平均値

σ_0 事前の衛星見え変位の標準偏差

事前事後の違いを数値化

- ✓ 地震発生前後の道路橋の橋面の変位の変化の傾向を分析
- ✓ 実際の変状と比較して「見え変位」が何を意味しており、どのような精度で変状を検知可能であるかは今後の課題



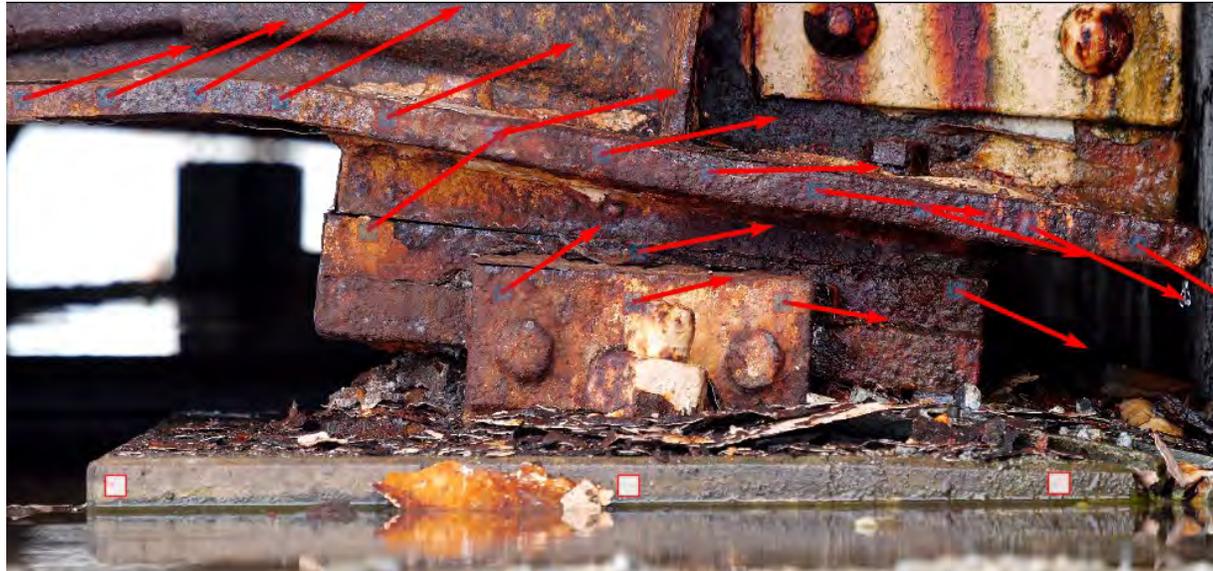
令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例



令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例

実施主体：パナソニックコネクト

- ✓ 目視点検ではわからない損傷の進展性を確認するために、主桁の変形が生じ支承部にアンカーバーの抜け出しや沓座モルタルの割れ等の変状が生じた道路橋の点検に画像撮影による微小変位計測を実施
- ✓ 桁が変形した後も車両の通行に応じて0.2mm程度動いている様子を確認



- : 変位ベクトル（支承上の各点の移動方向とその程度、変位は400倍）
- : 不動点



令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例



補強土壁のはらみ出し

目視点検のみでは面的なはらみ出し方が
わからず、損傷モードの判定が困難

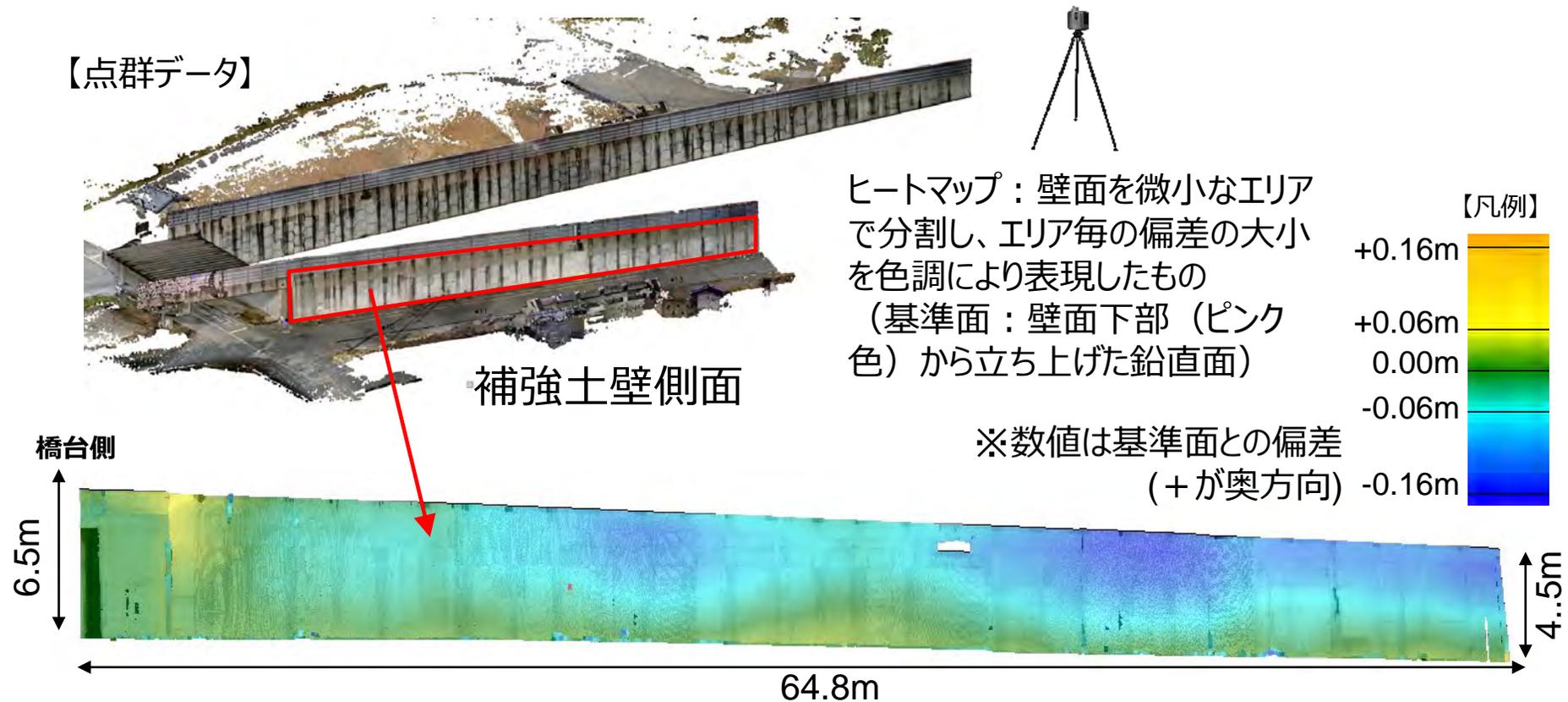
2024/02/27

令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例

実施主体：ニコン・トリンブル

- ✓ 近接目視点検で数cm程度のはらみ出しが確認された補強土壁に対し3次元点群計測を実施
- ✓ 人による近接目視点検では部分的な変位しかわからなかったが、3次元点群計測を行ったことで面的な変位の分布が計測できた。
- ✓ 補強土壁の倒れこみが生じている可能性があるが、計測結果の確からしさ、および、点群取得精度の確認は今後行う。

【点群データ】



令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例



目視点検のみでは、外観からは変状が無いゴム支承の内部の状態が不明。



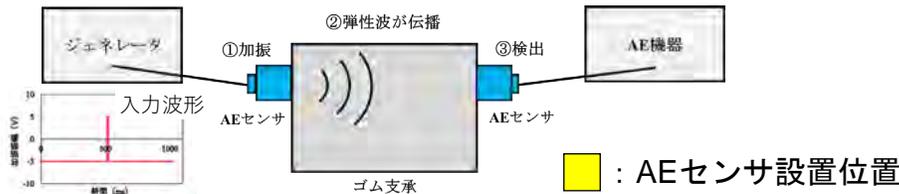
令和6年能登半島地震での様々な新技術の試行事例

実施主体：立命館大学、川金コアテック

- ✓ 外観目視で破断が疑われたゴム支承では卓越周波数が小さい傾向があることが確認
- ✓ 外観からは確認できない変状を検知するためには、この傾向が実際にどのような変状を意味している計測結果であるか判別する技術が必要となり、今後の検討課題

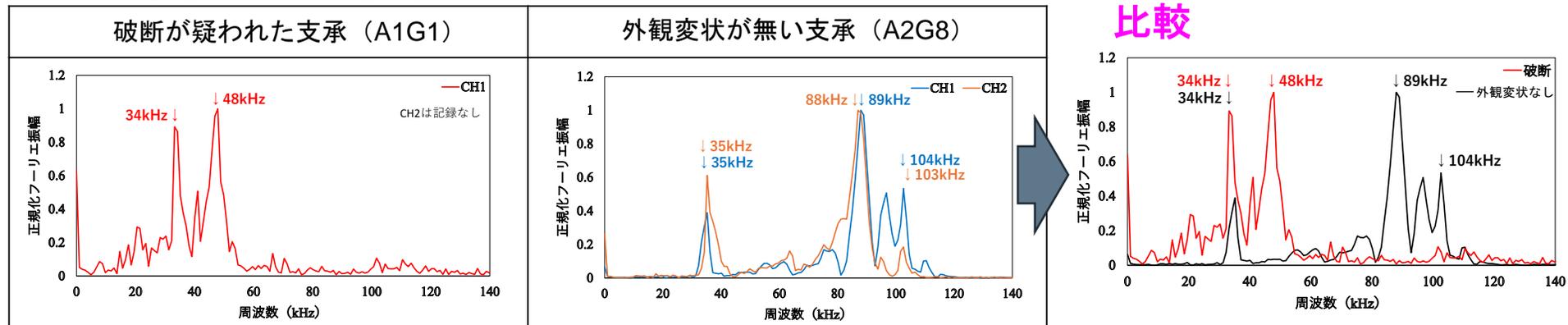
【弾性波計測の概要】

- ファンクションジェネレータによりパルス波を加振し、対面のAEセンサで受信する。支承内部および表面を伝搬した弾性波の特徴をFFTで確認する。



調査対象支承

FFT（高速フーリエ変換）結果



大規模地震発生後の道路橋の震災復旧では以下の制約条件を踏まえ、迅速な交通開放と確実な措置の両立が要請

- 1) 時間的制約（例えば、人命救助の壁：72時間）
- 2) 機材や資材の制約（例えば、橋梁点検車や足場が無い条件での点検、復旧のための資材の不足）
- 3) 人材の制約（例えば、行政職員や点検技能者が十分に参集できない状況、技術者数の不足）
- 4) ライフラインやインフラの途絶（例えば、電気・通信・水等の供給の途絶、道路交通網の途絶）等

実際に石川県内には震度6弱以上を観測した地域に**3,018橋**の道路橋が存在

膨大な数の道路橋に対して、復旧を迅速に確実に行うことができる方策が必要。点検技術含め、そのための手段の拡充が課題。

大規模地震発生時のミッション **に対応した課題**

□施設（橋梁構造研究グループの場合は主に道路橋） 管理者への技術支援

技術力を蓄える：豊富な知見に裏打ちされた適切な見立て

□地震の教訓の技術基準類への反映

教訓の読み取り：事象の本質、ニーズの本質を踏まえた改善提案

□地震の教訓を踏まえた研究／技術開発

技術基準類にすぐには反映できない教訓のソリューション

← 現地調査、被害の分析

技術の適切な使い方を用意する
地域の方との相互理解
使える技術を増やしていく