

資料

令和3年度第1回国土技術政策総合研究所研究評価委員会

分科会（第一部会） 議事次第・会議資料

# 令和3年度第1回国土技術政策総合研究所研究評価委員会分科会（第一部会）

## 議事次第

---

日時：令和3年7月8日（木）

場所：WEB開催

1. 開会
2. 国総研所長挨拶
3. 分科会主査挨拶
4. 評価方法・評価結果の扱いについて
5. 議事
  - ＜令和2年度に終了した研究課題の終了時評価＞
  - ・インフラ等の液状化被害推定手法の高精度化
  - ・重要インフラの即時被害検知・強震モニタリングシステムの開発
6. 国総研所長挨拶
7. 閉会

## 会議資料

---

	頁
資料1 国土技術政策総合研究所研究評価委員会分科会（第一部会）委員一覧	15
資料2 評価方法・評価結果の扱いについて	16
資料3 研究課題資料	
・インフラ等の液状化被害推定手法の高精度化	17
・重要インフラの即時被害検知・強震モニタリングシステムの開発	27
資料4 評価対象課題に対する事前意見	35

注) 資料3及び資料4については、研究評価委員会分科会当日時点のものである。

国土技術政策総合研究所研究評価委員会 分科会  
（第一部会）委員一覧

第一部会

主査

古関 潤一 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授

委員

鼎 信次郎 東京工業大学環境・社会理工学院  
土木・環境工学系 教授

里深 好文 立命館大学理工学部 教授

菅原 正道 (一社)建設コンサルタンツ協会 技術委員会委員長  
パシフィックコンサルタンツ株式会社  
取締役 常務執行役員

関本 義秀 東京大学空間情報科学研究センター 教授

田村 圭子 新潟大学危機管理本部危機管理室 教授

戸田 祐嗣 名古屋大学大学院工学研究科 教授

中島 典之 東京大学環境安全研究センター 教授

濱岡 秀勝 秋田大学大学院理工学研究科システムデザイン工学  
専攻土木環境工学コース 教授

※五十音順、敬称略

## 評価方法・評価結果の扱いについて

（第一部会）

### 1 評価の対象

- ・令和2年度に終了した事項立て研究課題の終了時評価

### 2 評価の目的

「国の研究開発評価に関する大綱的指針」、「国土交通省研究開発評価指針」に基づき、外部の専門家による客観性と正当性を確保した研究評価を行い、評価結果を研究の目的、計画等へ反映することを目的とする。

### 3 評価の視点

[終了時評価]

必要性、効率性、有効性の観点を踏まえ、「研究の実施方法と体制の妥当性」「目標の達成度」について終了時評価を行う。

【必要性】科学的・技術的意義、社会的・経済的意義、目的の妥当性等

【効率性】計画・実施体制の妥当性等

【有効性】目標の達成度、新しい知の創出への貢献、社会・経済への貢献、人材の育成等

評価にあたっては、研究開発課題の目的や内容に応じ、研究課題毎に初期、中期、後期の段階に振り分け、それぞれの段階に応じて、以下の留意すべき点を踏まえた評価を行う。

（ 初期段階：先進的あるいは挑戦的な取組

中期段階：実用化に向けた取組

後期段階：普及あるいは発展に向けた取組

### 4 進行方法

（1）研究課題の説明（10分）

（2）研究課題の評価（15分）

① 主査及び各委員により研究課題について議論を行う。

② 審議内容、評価用紙等をもとに、主査が総括を行う。

### 5 評価結果のとりまとめ及び公表

評価結果は審議内容、評価用紙等をもとに、後日、主査名で評価結果としてとりまとめ、議事録とともに公表する。

なお、議事録における発言者名については個人名を記載せず、「主査」、「委員」、「事務局」、「国総研」等として表記する。

### 6 評価結果の国土技術政策総合研究所研究評価委員会への報告

本日の評価結果について、今年度開催される国土技術政策総合研究所研究評価委員会に分科会から報告を行う。

# インフラ等の液状化被害推定手法の高精度化

研究代表者 : 企画部長 森田 康夫  
 課題発表者 : 企画部 企画課長 尾崎 悠太  
 関係研究部 : 下水道研究部、道路構造物研究部  
 研究期間 : 平成30年度～令和2年度  
 研究費総額 : 999百万円  
 技術研究開発の段階 : 中期段階



National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN



## 1. 研究開発の背景・課題

### 背景

#### 平成30年北海道胆振東部地震(9月6日)により札幌市清田区里塚地区で発生した液状化被害の調査



国総研・土研・建築研専門家派遣(平成30年9月10日)  
 結果報告(平成30年10月26日)  
 土砂の噴出の様相やそれに伴う地盤変状の規模は、過去の地盤の液状化被害には見られないもの

札幌市清田区里塚地区  
 谷部に火山灰質の砂質土で埋められた土地

同種の土地ならば全国どの土地でも発生し得る現象

個々の構造物においては耐震性は考慮されているが、  
道路や下水道などのネットワーク状に面的な広がりを持つインフラの液状化被害に対するリスク  
 が把握されていない。

インフラの液状化被害に対するリスク評価手法を開発し、リスク評価に基づく脆弱度のスクリーニングを行うことで液状化対策の重点化を図り、インフラのネットワークとして機能を維持し、地震被害に対する強靱化を推進する必要がある。



## 1. 研究開発の背景・課題

### 課題

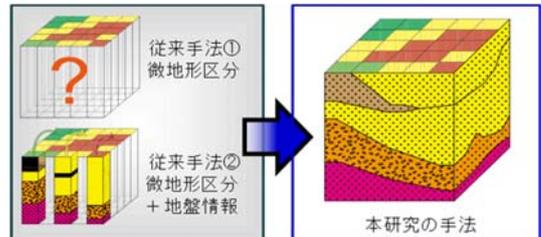
インフラの液状化被害に対するリスク評価手法に求める性能??

- ・地盤の液状化に伴う、**道路や下水道管路等のインフラ施設の被害**を評価できる
- ・**道路網や下水道管路網におけるネットワーク上の弱点**をピンポイントに明示できる

### 課題1

道路や下水道管路等の、地盤の液状化に伴う被害を高密度で的確に評価する手法が確立されていない  
 ・(液状化を再現する)地盤モデルの、メッシュが粗く、また、**地層の連続性などの地盤構造の複雑さを十分に反映していない**  
 ・地盤の液状化被害に影響を与える条件(地下水位や人工改変等)を十分に考慮できていない  
 ・“インフラの被害”としての評価を行っていない

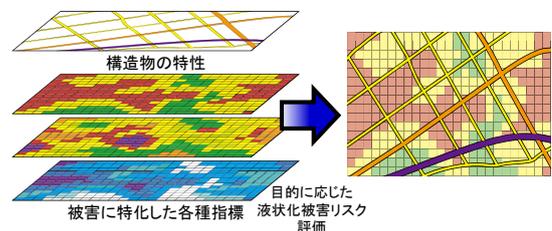
- ① 地盤の液状化に影響を与える地盤特性と条件を整理した上で、地盤の液状化被害を高密度で的確に評価できる**3次元地盤構造モデルの試作**を行う。
- ② **3次元地盤構造モデル作成手法を提案するとともに、それを活用した道路や下水道の被害リスクを評価する手法を提案する**



### 課題2

地盤情報は基本的に調査者が保有しており、流通しない。一部の地盤情報は公開されているものの離散情報且つ情報間のキャリブレーションがされていない。面的なインフラ施設のリスク評価等を促すために、統一的な水準に基づいた地盤情報の共有が必要。

- ③ **地域の地盤情報を3次元地盤構造モデルとして可視化・共有するシステムを構築**



3



## 2. 研究開発の目的・目標

### 目的・目標

●インフラの液状化被害に対するリスク評価手法の開発に向け

#### ①3次元地盤構造モデルの試作

地盤の液状化に影響を与える地盤特性と条件を整理した上で、地盤の液状化被害を高密度で的確に評価できる3次元地盤構造モデルの試作を行う

#### ②モデル作成手法とインフラ被害リスク評価手法の提案

(①を通じ)3次元地盤構造モデル作成手法を提案するとともに、それを活用した道路や下水道の被害リスクを評価する手法を提案する

#### ③3次元地盤構造モデルデータ可視化・共有システムの構築

地域の地盤情報を3次元地盤構造モデルとして共有・可視化するシステムを構築

### 必要性

・橋梁など重要な土木構造物については、建設段階において個別に液状化に関する検討が行われているが、道路ネットワークや堤防周辺の地盤など**社会インフラの液状化に対する脆弱度は面的に把握されていない**。

⇒道路ネットワーク等の重要な社会インフラの液状化に対する脆弱度のスクリーニングを行うことで、液状化対策の重点化を図り、社会インフラ全体の地震被害に対する強靱化を進める必要がある。

・市区町村が現在作成している液状化ハザードマップでは既存の地質情報等のデータを用いているが、**社会インフラの脆弱度のスクリーニングを行うにあたっては、地盤情報の量と質の不足等により十分な精度が確保されていない**。

4



### 3. 研究開発の概要

#### 研究開発の概要

##### ①3次元地盤構造モデルの試作

- ・既往研究から3次元地盤構造モデルの作成フローを整理 P8
- ・地盤の液状化に影響を与える地盤特性と条件を整理 P9
- ・それらの情報を含むモデルを作成するための必要な現地調査手法の整理 P9
- ・特に重要なエリア(10地域)における3次元地盤構造モデルの試作 P10～P12
- ・既往地震での液状化被害評価による、モデル作成の手法の検証 P13～P14

##### ②モデル作成手法とインフラ被害リスク評価手法の提案

- ・①の試作を踏まえ、3次元地盤構造モデルの作成手法をガイドラインとしてとりまとめ P15
- ・既往の研究成果から、  
液状化に伴う道路施設や下水道施設等のインフラ施設の被害実態を整理
- ・上記と、3次元地盤構造モデルから評価した液状化被害評価結果から、  
道路や下水道の被害リスクを評価する手法を提案、ガイドラインに追加する P16

##### ③3次元地盤構造モデルデータ可視化・共有システムの構築

- ・3次元地盤構造モデルデータを任意の角度や断面で可視化するとともに  
任意地点の柱状図や任意範囲の地盤構造データの提供が可能なシステムを構築 P17

5



### 4. 研究のスケジュール

区分(目標、テーマ、分野等)	実施年度		
	H30	R1	R2
①3次元地盤構造モデルの試作	■		
②モデル作成手法とインフラ被害リスク評価手法の提案			■
③3次元地盤構造モデルデータ可視化・共有システムの構築		■	



※新型コロナウイルスの影響により延長

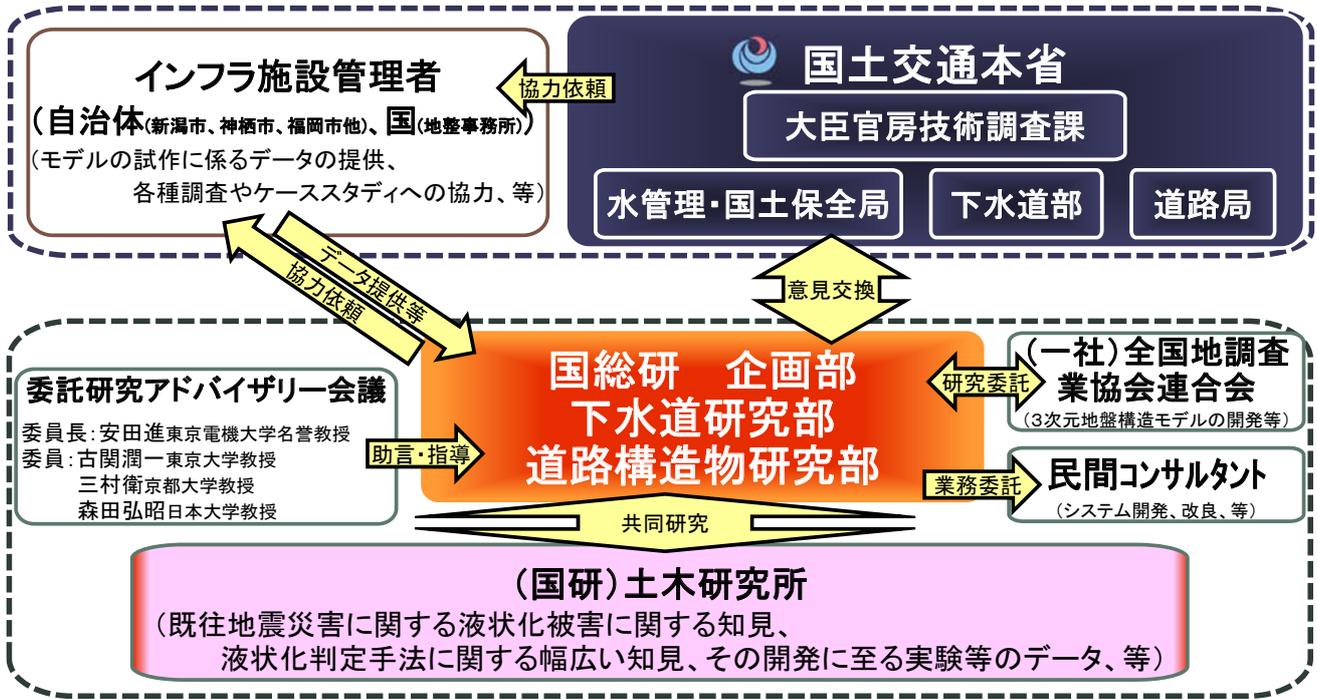
#### 効率性

有識者の意見も聞きながら地方公共団体と協力し、地盤データなどの既存データを効率的に収集した。

6



## 5. 研究の実施体制



### 効率性

液状化評価に精通している(国研)土木研究所 地質チーム及び土質・振動チームと情報共有を図った。  
3次元地盤構造モデル作成ガイドライン(案)のとりまとめ等にあたっては、委託研究アドバイザー会議を通じて有識者の助言・指導を受けるとともに自治体(新潟市、神栖市、福岡市)の意見を取り入れた。

7



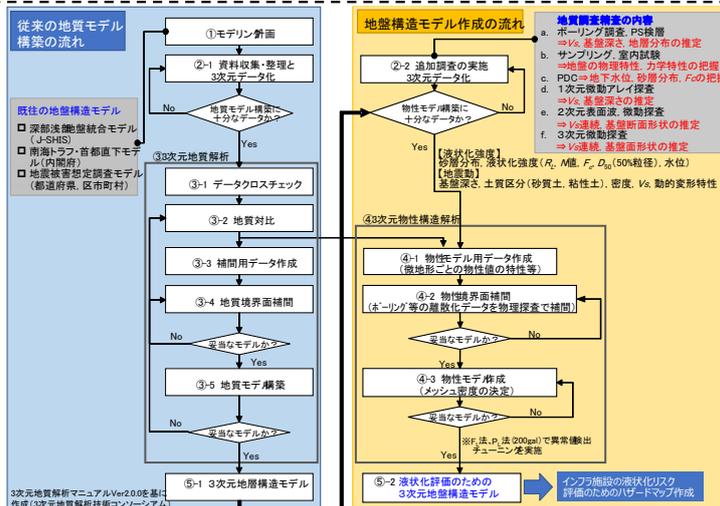
## 6. 研究成果: ①3次元地盤構造モデル作成の試作(フローの整理)

- ・ 既往研究から3次元地盤構造モデル作成フローを整理

既存の3次元地盤構造モデルの作成ワークフローを参考に、液状化対象層や工学的基盤を把握する必要性を鑑み、必要な地盤構造モデルや計算パラメータを考慮した。液状化ハザードマップ作成に資する3次元地盤構造モデル構築のワークフローの素案を整理した。

### 【フロー作成時のポイント】

- ・ 既往研究(3次元地質解析技術コンソーシアム: 3次元地質解析マニュアルVer2.00)で明らかにされている地質解析、地層構造モデルの構築の流れを活用
- ・ アドバイザー会議で委員より、SIPによる地盤調査結果の活用について助言があり、防災科研より情報提供を受けた。



3次元地盤構造モデルの試作の流れ

8



## 6. 研究成果: ①3次元地盤構造モデル作成の試作 (影響要因、現地調査手法の整理)

- ・地盤の液状化に影響を与える地盤特性と条件を整理
- ・それらの情報を含むモデルを作成するための必要な現地調査手法の整理

的確な地震応答解析を実施するために必要な地盤特性等のパラメータ等について、既往の研究から整理。  
そのパラメータを取得するために必要な現地調査手法をとりまとめた。

### 【パラメータの整理におけるポイント】

- ・過去の研究から、地下水位の設定が解析結果に影響を及ぼすことがわかっているため、パラメータとして地下水位(コンター)を採用
- ・各種パラメータについては、連続的に把握する必要がある

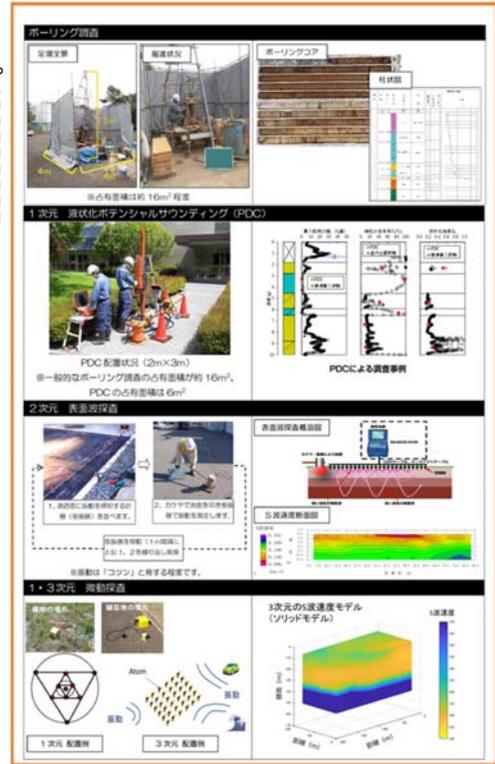
### ・取得すべき地盤特性と条件及びそれらを把握する調査手法

- a. ボーリング調査、PS検層 ⇒ Vs、基盤深さ、地層分布の推定
- b. サンプリング、室内試験 ⇒ 物理特性、動的特性の把握
- c. PDC ⇒ 地下水位、砂層分布、Fcの把握
- d. 1次元微動アレイ探査 ⇒ Vs、基盤深さの推定
- e. 2次元表面波探査、微動探査 ⇒ Vs、基盤断面形状の推定
- f. 3次元微動探査 ⇒ Vs、基盤面形状の推定

### ・調査手法、密度の地域毎に応じた設定の考え方

実施例)

- ✓ 収集した既往調査より調査地点が不足している場所や液状化・非液状化層の空間的連続性の把握(全地区)  
⇒追加ボーリング(PS検層・サンプリング含む)、PDC
- ✓ 工学的基盤の形状が把握(浜松・徳島・新潟の3地区)  
⇒1次元微動アレイ探査
- ✓ 表層のVsの把握(福岡地区以外の9地区)  
⇒2次元表面波探査
- ✓ 基盤層の不陸の把握(徳島・宮崎・福岡の3地区)  
⇒2次元微動探査
- ✓ 人工改変地や基盤形状の把握(苫小牧・福岡以外の8地区)  
⇒3次元微動探査



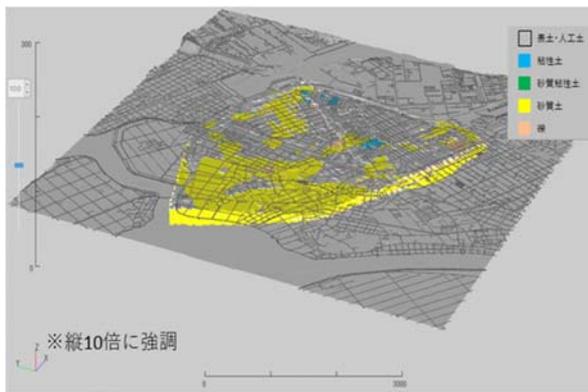
9



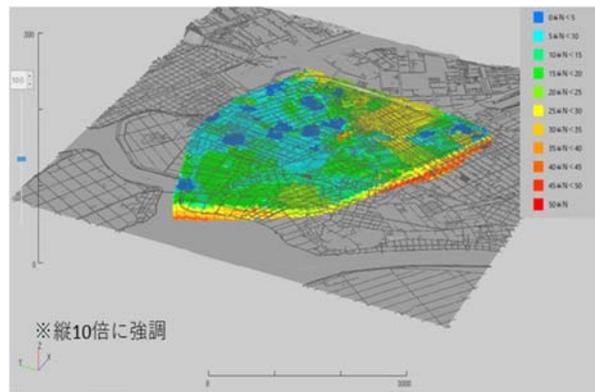
## 6. 研究成果: ①3次元地盤構造モデル作成の試作 (3次元地盤構造モデルの試作)

- ・特に重要なエリア(10地域)における3次元地盤構造モデルの試作

試作地域の自治体等の協力により、既存の土質調査資料を収集。不足する情報を整理し、3次元地盤構造モデルの作成に必要な、追加のボーリング等各種調査を実施し、モデルを作成。



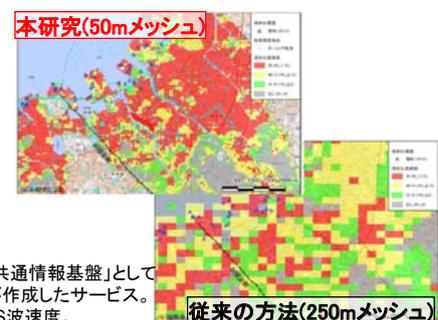
3次元土質区分ボクセルモデル



3次元N値ボクセルモデル

### ■既往(J-SHIS(注1))モデルと試作モデルとの比較

モデル	メッシュ解像度	地盤情報	表層30mの平均S波速度AVS30の評価
既往J-SHIS (2次元)	250m	微地形区分	微地形区分とAVS30(注2)の関係式より算定
本研究 (3次元)	50m	土質区分 N値、S波速度	物理探査結果等で把握したS波速度を基に算定



⇒本モデルでは、原位置での詳細地盤調査結果を用い、さらに

メッシュ解像度を細かくすることで精度が向上。  
より詳細な地盤構造を表現することができた。

注1: 日本全国の「地震ハザードの共通情報基盤」として活用されることを目指し防災科研が作成したサービス。  
注2: 地表から深さ30mまでの平均S波速度。

従来(250mメッシュ) 10

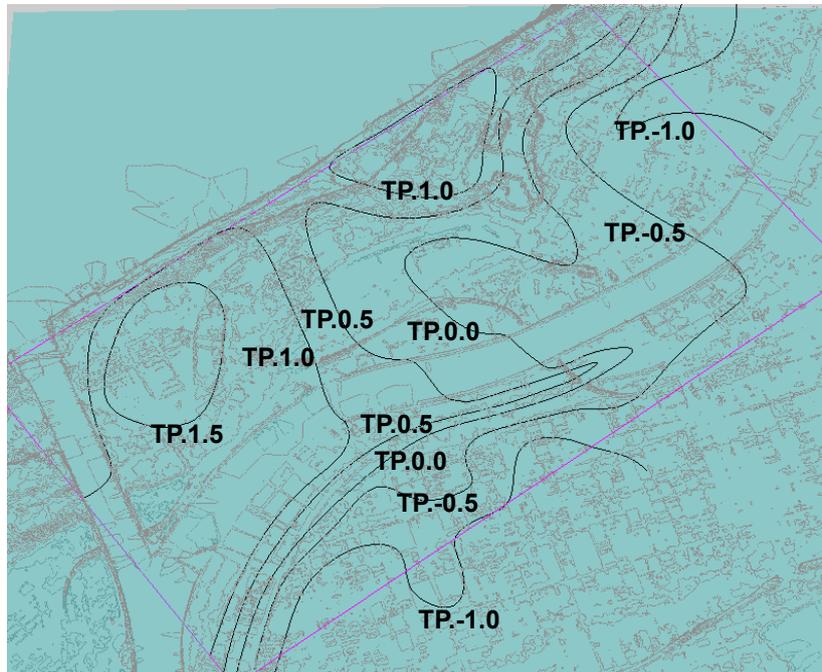


## 6. 研究成果:①3次元地盤構造モデル作成の試作(3次元地盤構造モデルの試作)

液状化の評価にあたって、地下水位を適切に推定することは極めて重要。

一方で、インフラ施設の耐震性(液状化危険性)を評価する場合、多くの場合、実務上安全側となる一定の値に設定される。

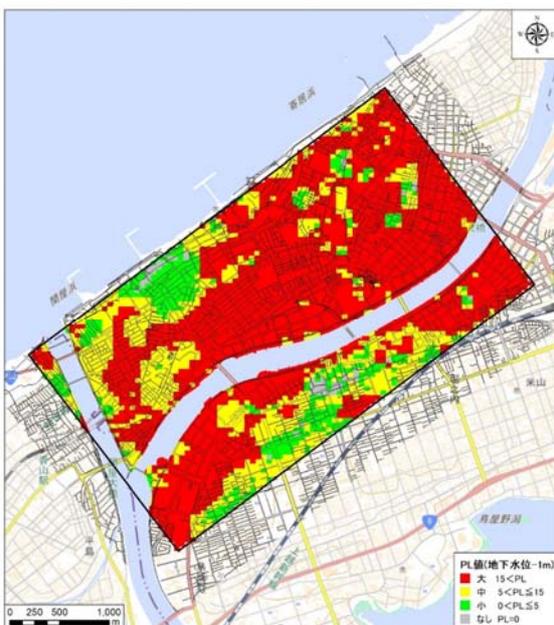
今回試作した、3次元地盤構造モデルでは、収集した資料および現地調査結果より、面的な地下水位コンターを作成し、任意地点における適切な地下水位を設定を可能とした。



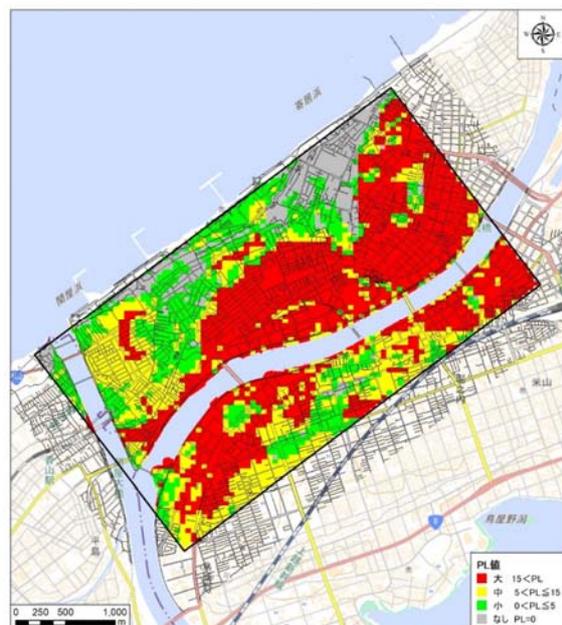
11



## 6. 研究成果:1)3次元地盤構造モデル作成フローの整理と試作 (地下水位の評価の違いによる影響)



従来の地下水位を一律(地表面-1m)としたPL値分布

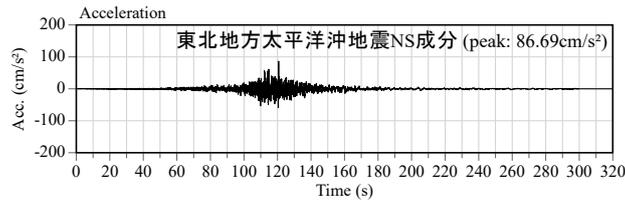


本試作で各地点の調査に基づき  
地下水位をコンターで設定したPL値分布

12

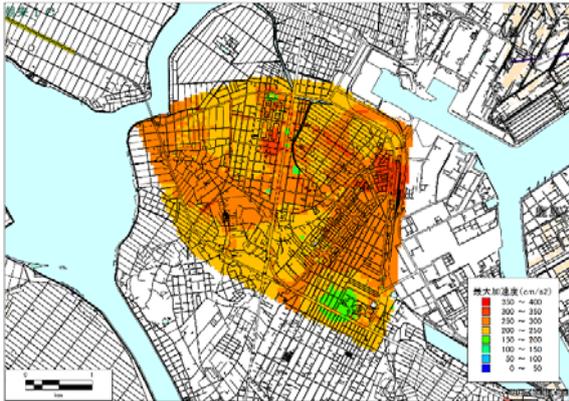
・既往地震での液状化被害評価による、モデル作成の手法の検証

神栖地域で液状化被害を発生させた、2011年東北地方太平洋沖地震を対象とした再現解析を実施。

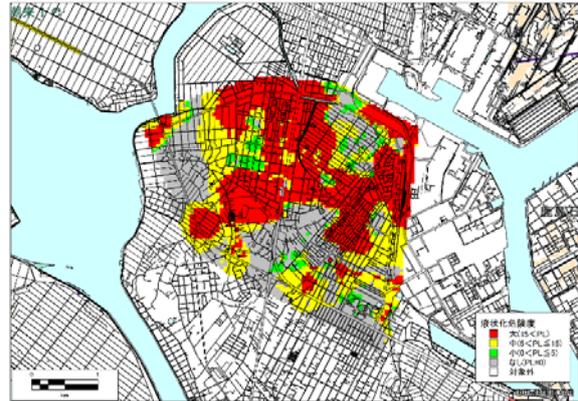


解析に用いた地震記録(KiK-net波崎2(注3))

注3: KiK-netは「Kiban Kyousin Network」の略称で、防災科研が整備した基盤強震観測網のこと。全国約700箇所に配置され、各観測施設には地表と地中に強震計が設置され、鉛直アレーを構成しているのが特徴。KiK-net波崎2は、KiK-netにおいて、観測点が茨城県の波崎(1BRH20)であること。



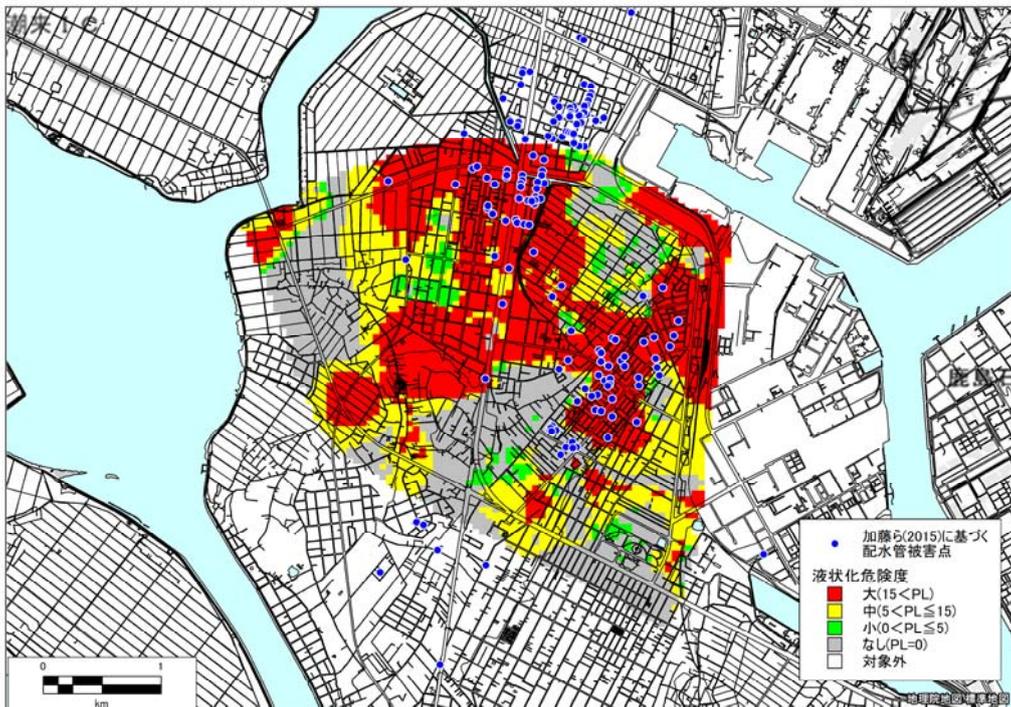
地震応答解析による地表最大加速度分布図



液状化指標値(PL値マップ)

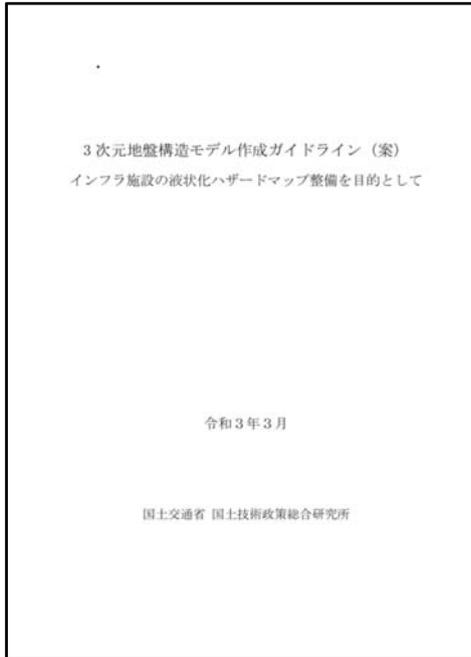
・既往地震での液状化被害評価による、モデル作成の手法の検証

2011年東北地方太平洋沖地震での当該地域の水道管路(配水管)被害地点結果と比較。水道管の被害地点では、液状化危険度は多くで「大」を示しており、概ね整合していることが確認された。



・3次元地盤構造モデルの作成手法をガイドラインとしてとりまとめ

試作を通じて、インフラ施設の液状化評価のための3次元地盤構造モデル作成ガイドライン(案)を取りまとめた。



### 【ガイドライン(案)の構成】

#### 第Ⅰ編 インフラ施設の液状化被害予測における着目点

1. 本ガイドライン(案)の背景及び目的
2. 3次元地盤構造モデルを活用したインフラ施設の液状化ハザードマップ整備の流れ

【参考】インフラ施設の液状化被害

#### 第Ⅱ編 液状化ハザードマップ作成のための3次元地盤構造モデルの作成

1. 3次元地盤構造モデルの作成手法
2. モデル作成に必要な地盤情報と収集方法
3. 地盤情報を得るための追加調査
4. 3次元地盤構造モデルの空間補間方法
5. 3次元地盤構造モデル作成時の留意点
6. 3次元地盤構造モデルの拡張性

#### 【巻末】液状化リスク評価のための3次元地盤構造モデルの作成事例およびその他の留意事項

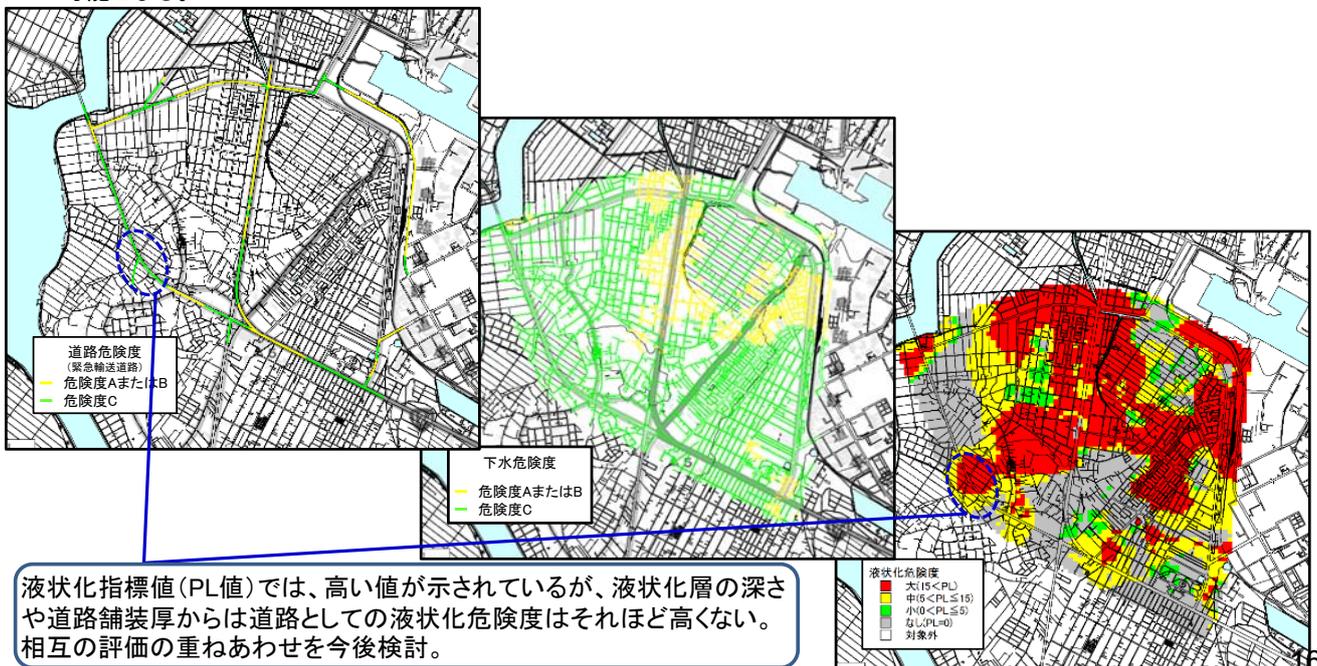
1. 新潟地区における3次元地盤構造モデルの作成事例
2. 神栖地区における3次元地盤構造モデルの作成事例
3. 福岡地区における3次元地盤構造モデルの作成事例
4. 地震動の設定について

【ガイドライン作成時のポイント】・アドバイザー会議で委員からの助言により、ガイドラインの利用者を踏まえた位置づけの整理、3次元地盤モデル作成の手引きとなるように具体事例の追加、ハザードマップ作成などに活用できる地震動の設定について情報の追加を行った。

- ・液状化に伴う道路施設や下水道施設等のインフラ施設の被害実態を整理
- ・道路や下水道の被害リスクを評価する手法を提案

国総研及び土木研究所の知見をもとに、道路施設及び下水道施設の液状化に伴うリスクを液状化層厚、砂層土のN値、それぞれの施設性状(舗装厚や対策工の有無)より評価し、マップに示した。

今後、地盤の液状化危険度の評価(PL値等)との重ねあわせにより、各インフラ施設のハザードマップとしての評価が可能となる。

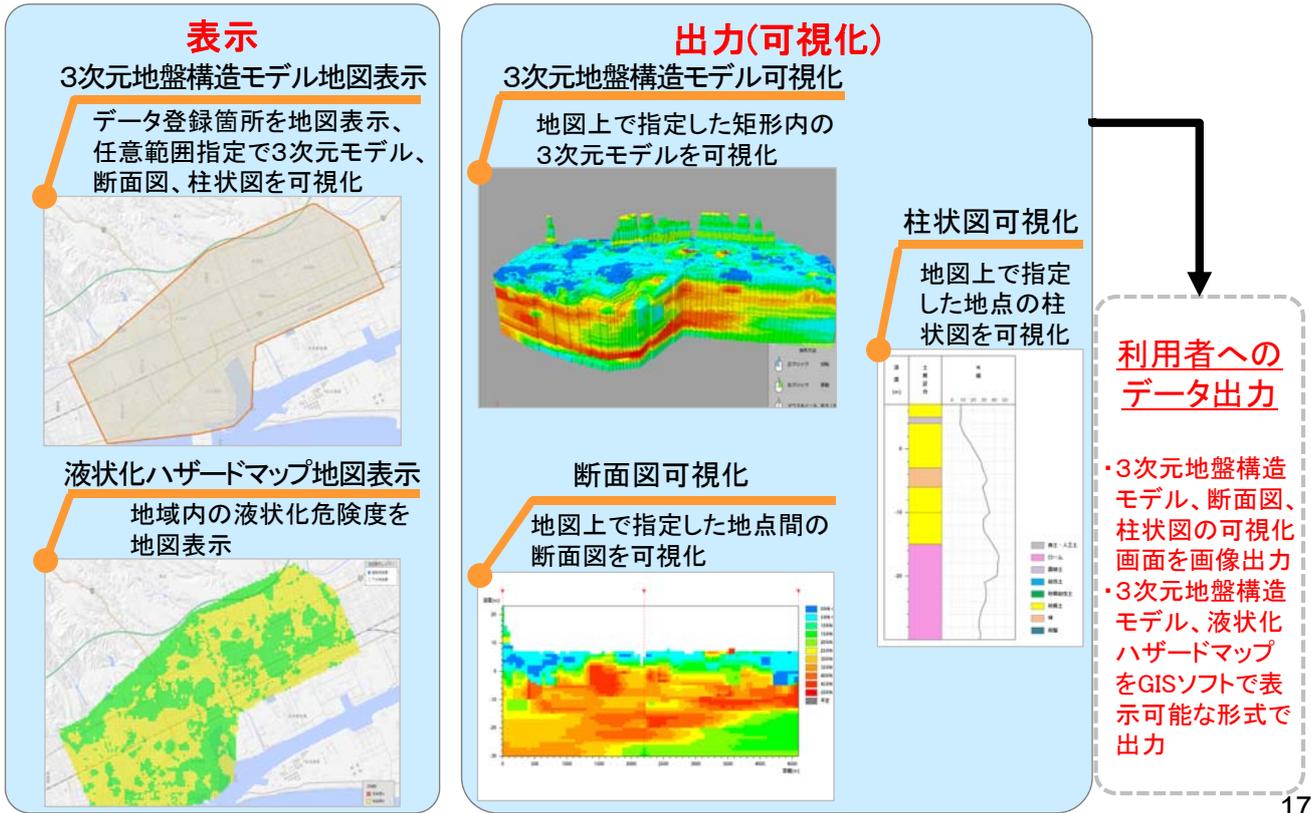


液状化指標値(PL値)では、高い値が示されているが、液状化層の深さや道路舗装厚からは道路としての液状化危険度はそれほど高くない。相互の評価の重ねあわせを今後検討。



## 6. 研究成果:③ 3次元地盤構造モデルデータ可視化・共有システムの構築

・3次元地盤構造モデルデータを、任意の角度、任意の断面から可視化可能なシステムを構築



17



## 7. 成果の普及等

### 【成果の普及】

○試作した3次元地盤構造モデルデータ、可視化システムを試作地域の自治体に提供  
⇒ 液状化対策はもちろん地盤関係の各種検討への活用を期待

○3次元地盤構造モデル作成ガイドライン(案)を国総研資料として発行(令和3年3月)  
⇒ 自治体等による

- ・高精度な3次元地盤構造モデル作成の促進
- ・より高精度且つインフラのネットワークを鑑みた液状化評価の促進に期待  
(作成したガイドラインに基づき、自治体によるモデル作成、インフラの被害リスク評価、弱点箇所の効率的な対策の推進により、国土の強靱化と対策費用の削減が見込まれる。)

○(今後検討)可視化システムを用いた3次元地盤構造モデルデータの提供

※共同研究等を通じて、大学等へのデータ提供を検討中

⇒ ハザードマップの更なる高度化等、研究開発の促進に期待

### 【今後の検討】

○下水道構造物、道路構造物をはじめとするインフラ施設の液状化リスク評価の高精度化

- ← 液状化に対する影響箇所のスクリーニング
- ← 人工改変等が施された地盤の評価を高度化

18



## 8. まとめ

研究開発の目的	研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用方法 (施策への反映・効果等)	目標の達成度	備考
インフラ等の液状化被害推定手法の高精度化	①3次元地盤構造モデルの試作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10箇所モデル地域において高精度な<b>3次元地盤構造モデルを作成</b></li> <li>・既往地震により液状化発生状況との比較により<b>モデルの妥当性を評価</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガイドラインはH.P.により公開、自治体による液状化リスク評価を支援(3次元地盤構造モデルの作成手法が標準化され、既往の地盤データを十分に活用した高精度な3次元地盤構造モデルの作成、より高精度かつインフラのネットワークを鑑みた液状化評価に期待)</li> </ul>	○	
	②モデル作成手法とインフラ被害リスク評価手法の提案	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作を通じて、3次元地盤構造モデル作成フロー等を取りまとめた「<b>3次元地盤構造モデル作成ガイドライン(案)</b>」を発刊</li> <li>・3次元地盤構造モデルを使用した地盤の液状化リスク評価と、道路や下水道の構造評価を考慮して、<b>インフラの液状化被害リスクを評価する手法を提案</b></li> </ul>		○	
	③3次元地盤構造モデルデータ共有システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元地盤構造モデルデータを可視化するとともに<b>任意エリア、断面データ、任意地点の柱状図等を提供するシステムを構築</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今後、液状化をはじめとする地盤関係の<b>研究実施者にデータを提供</b>(検討中) (液状化リスク評価等の研究開発の促進に期待)</li> </ul>	○	

### 有効性

3次元地盤構造モデルの試作(全国10箇所)を通じてインフラ施設の液状化評価のための3次元地盤構造モデル作成ガイドライン(案)を取りまとめた。これにより液状化に対する脆弱箇所をスクリーニングに用いることができる高精度な液状化被害予測を行うことが可能となった。

# 重要インフラの即時被害検知・ 強震モニタリングシステムの開発

研究代表者	: 道路構造物研究部長 福田敬大
課題発表者	: 道路地震防災研究室長 増田仁
関係研究部	: 道路構造物研究部
研究期間	: 令和元年度～令和2年度
研究費総額	: 約300百万円
技術研究開発の段階	: 中期段階



National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, JAPAN

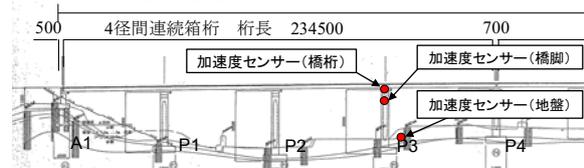


## 1. 研究開発の背景・課題

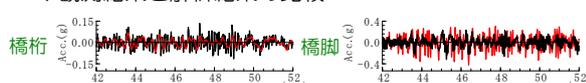
### 今までの地震時挙動観測の取り組みについて

- 土木構造物の耐震設計法の合理化・高度化および地震時挙動の解明を目的として、1958年より地震時挙動観測および観測記録の管理を実施
- 観測された記録を用いて各種研究を実施し、構造物の耐震設計に用いる設計用入力地震動や液化化判定手法等、成果を道路橋や河川構造物の耐震設計基準に反映
- 大規模な被害が発生した地震では、観測記録を用いて課題を把握し、記録を活用した検討、基準類の改定を実施するとともに、地震直後開催の外部委員会へ観測記録を提供
- 観測記録は、ウェブサイトや国総研資料で公表を実施

#### ◆従前の地震計の配置



#### ◆観測結果と解析結果の比較



従前の観測記録と研究イメージ

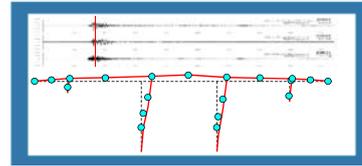
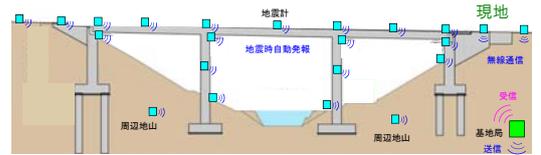


構造物の観測記録を用いた研究体制

## 背景・課題

- 軟弱地盤上に設置される重要インフラや新形式・新技術を用いた大規模な橋等の**構造物全体系**の**複雑な地震時挙動を把握**し、その結果を踏まえた**構造物の設計・対策手法の開発**が必要
- 新技術の開発や補強設計等の検討において、構造部材ごとの応答特性および相互作用を検証するため、**1構造物あたりの観測点数を増加**が必要  
⇒ 構造物の挙動を測定するための従来の計測技術は機器や設置費用が高額であり、全体系の挙動を観測する**大規模な計測が困難**
- 大規模地震※では、橋や土工構造物等に被害が発生し、**道路の通行支障**が発生。これらの影響は、災害後の二次被害や緊急活動の遅延に直結するため、**被害を早期発見するシステム**が必要

(※東北地方太平洋沖地震, 熊本地震, 北海道胆振東部地震 等)



きめ細やかな観測の必要性



熊本地震の被災事例

## 必要性

- 土木構造物(主に橋)について、新たな構造形式の開発や既設橋の補強設計等の検討において、**部材毎の減衰特性等**や**その構造物全体系の挙動との関係**をより高精度で把握することが必要
- 近年、地震等自然災害の発生や、南海トラフ地震や首都直下地震の発生の切迫により、**インフラの被害を早期に発見**し、**二次災害防止等の地震防災対策を充実**することが求められている



## 目的・目標

- ① **構造物全体系の地震時挙動をモニタリングするシステムの開発**
  - 容易に構造物全体系挙動を観測できるシステムを開発(**アウトプット**)
  - 全体系の挙動データを用いることによる構造物の設計法・対策法の高度化により、インフラの強靭化(**アウトカム**)
- ② **構造物の即時被害検知機能の開発**
  - 実データを用いて信頼性の高い即時被害検知機能を開発(**アウトプット**)
  - 被災した構造物を即時に把握することで、二次被害・人命被害の防止(**アウトカム**)

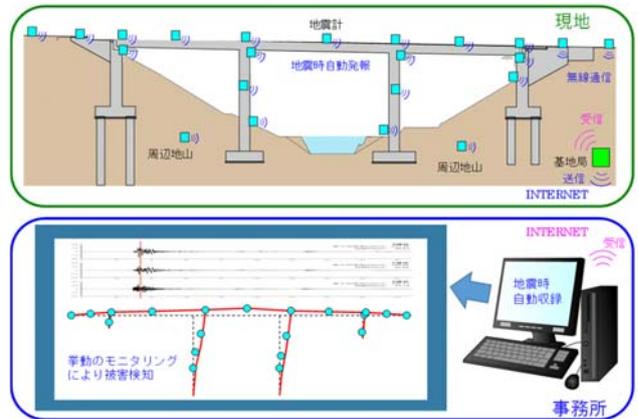
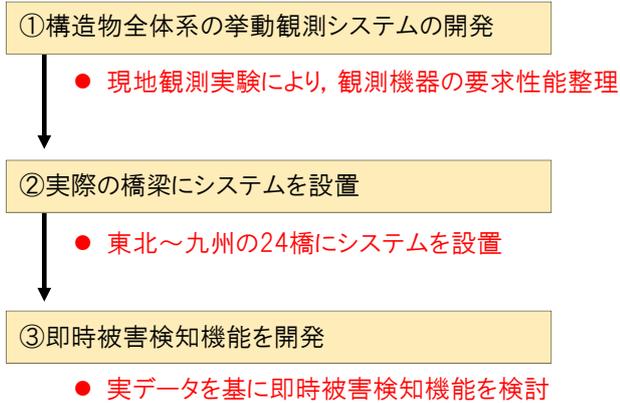


### 3. 研究開発の概要

#### 研究開発の概要

- 下記の観点で即時被害検知・強震モニタリングシステムを開発を実施
- ・ 構造物全体系が観測できるシステム
  - ・ 安価で高感度な観測機器
  - ・ 現地設置作業を容易かつ安価にするため、観測に無線ネットワーク
  - ・ 実データを用いた迅速・信頼性の高い被害検知機能

#### 検討フロー



即時被害検知・強震モニタリングシステムのイメージ

#### 後続研究

- ・ 構造物全体系の挙動データを用いた耐震対策技術の高度化・合理化
- ・ 挙動データをAI等を用いて分析し、インフラの即時被害検知機能の高度化



### 4. 研究のスケジュール

区分 (目標、テーマ、分野等)	実施年度		研究費配分
	R1	R2	
(研究費 [百万円])	300		
① 構造物全体系の挙動観測システム開発	[Bar chart showing duration from R1 to R2]		約30 [百万円]
②-1 システムの設計	[Bar chart showing duration in R1]		約60 [百万円]
②-2 システムを構成する機器の調達	[Bar chart showing duration in R1]		約70 [百万円]
②-3 システムの設置・現地計測 ※現地計測については継続実施	[Bar chart showing duration in R2]		約110 [百万円]
③ 即時被害検知機能の開発	[Bar chart showing duration in R2]		約30 [百万円]

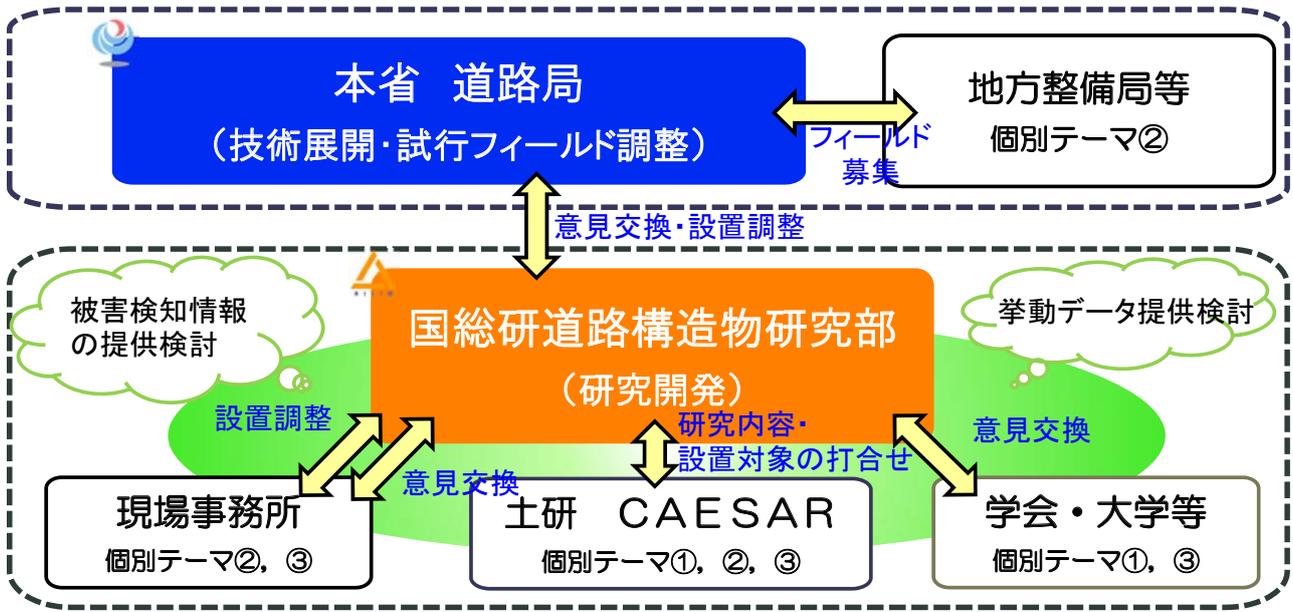
※新型コロナウイルスの影響により延期

#### 効率性

- ・ システム開発と機器調達等を並行して実施
- ・ 新型コロナウイルスの影響により現地作業を実施する業務および海外からの機器調達が一時中断されたため、一部繰越した業務があるものの、効率的に実施



## 5. 研究の実施体制



### 効率性

- 本省よりシステムを設置する試行フィールドの調整を実施するとともに、地方整備局の各事務所、および土研等と適宜意見交換を実施し、効率的に研究を推進
- 新型コロナウイルスの影響で現場の設置調整に一部遅延があったものの、効率的に実施

7



## 6. 研究成果: ① 構造物全体系の挙動観測システムの開発 (現地観測実験)

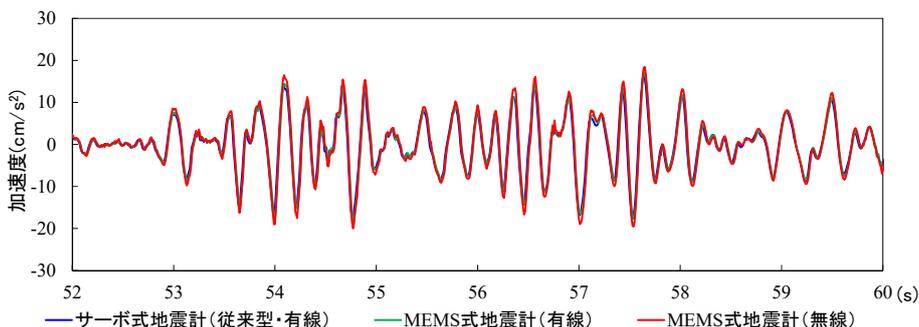
- 今回採用した地震計 (MEMSセンサー) と無線通信技術は、橋梁や土工構造物等観測への適用事例がないため、従来技術と比較するための同時観測実験を実施
- 検証の結果、MEMSセンサー地震計および無線通信で伝送された観測記録は、従来型の地震計で観測された記録と同等の精度を持つことを把握



実験状況



同時観測状況



無線式地震計で得られた波形の従来地震計との比較

8



## 6. 研究成果:① 構造物全体系の挙動観測システムの開発(システム概要)

- 現地実験結果を基に、観測に必要な機器の要求性能を検討し、システムを構築
- それぞれの機器から直接送信するより、リレー形式で記録を伝送することにより、無線通信の距離を短くし、通信安定性が向上

### 観測に必要な機器の要求性能

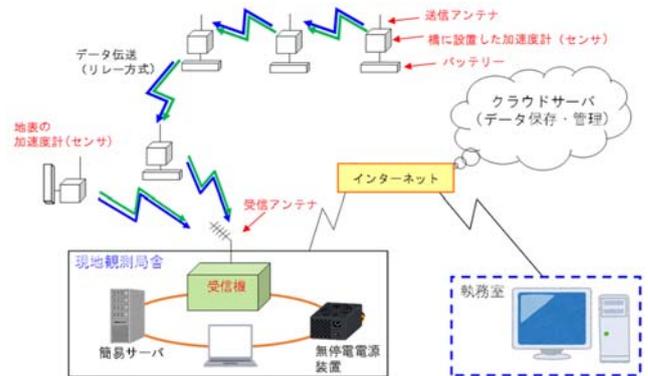
#### システムに用いた観測センサーの性能

センサー種別	加速度計
計測レンジ	±10 m/s <sup>2</sup>
感度	1 mm/s <sup>2</sup> 以下
計測軸	3軸(水平2方向, 上下1方向)
動作温度	-10 ~ 40°Cで動作可能なもの
防水性能	IP65 以上の性能を有するもの
重さ	1kg以下 ※磁石や接着剤での設置を想定

#### システムに用いた無線通信の性能

周波数帯	920MHz
通信速度	50Kbps
無線送信出力	最大20mW
通信可能距離	市街地300m程度(20mW時)
リレー通信	可

### 構築したシステムの簡易構成図



### システムの特徴

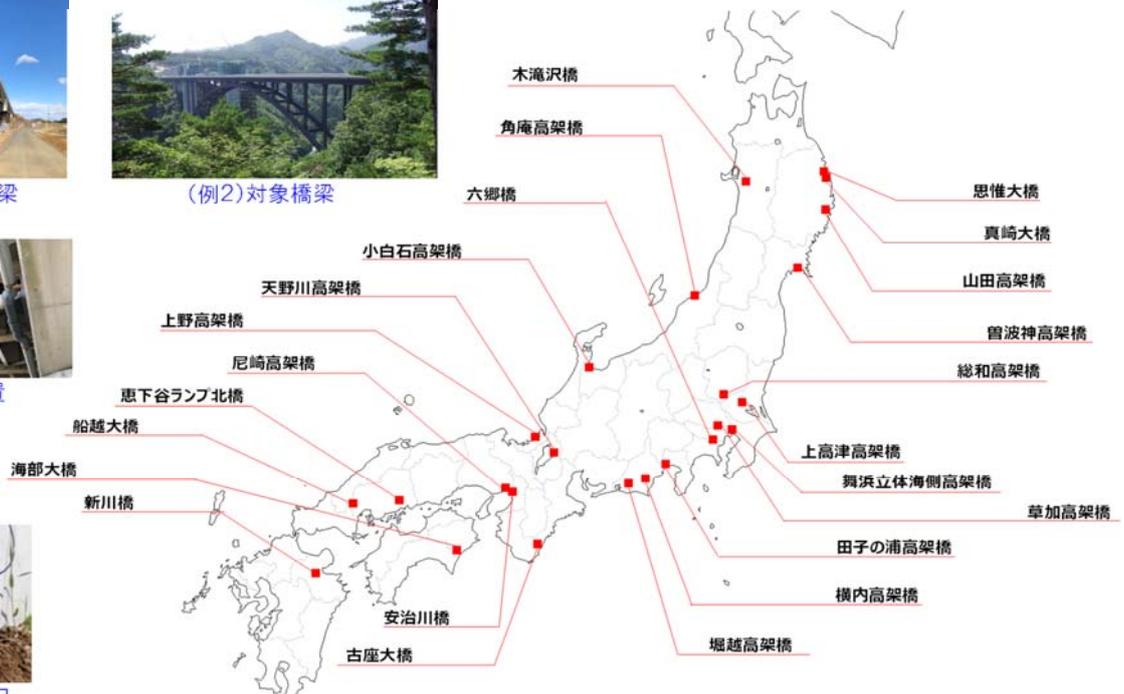
- 地震計1台あたりのコストが従来の1/10以下。さらに、無線通信による現場作業の効率化・簡略化により、従来より低コストで1構造物あたりの観測点を設置 ⇒ 構造物全体系の観測が可能
- 連続観測により、常時の挙動を執務室内から逐次確認することが可能 ⇒ メンテナンス等にも活用の可能性

9



## 6. 研究成果:② システムの設置(現地計測)

- 東北地方～九州地方の計24箇所システムを設置し、観測網を整備
- 設置は、従前観測していた橋に加え、ダンパー等の制震装置を設置している橋に実施し、様々な橋梁形式・地盤特性での橋の挙動データを収集

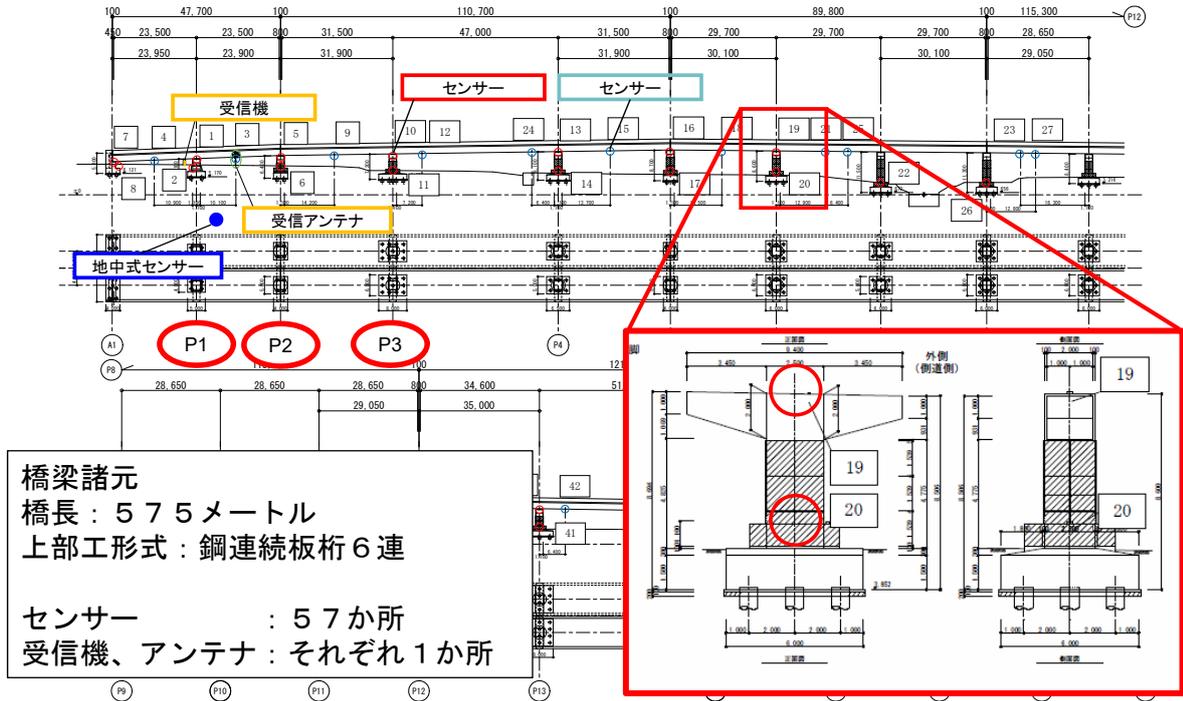


10



## 6. 研究成果:② システムの設置(現地計測)

- 1橋につき、10~50個程度のセンサーを設置(橋の規模や形式により個数は変化)  
→設置は2~5日程度で完了するため、従来より容易に計測が可能



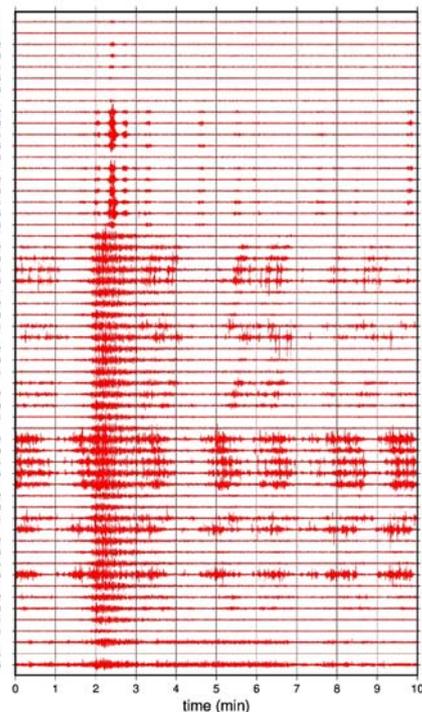
11



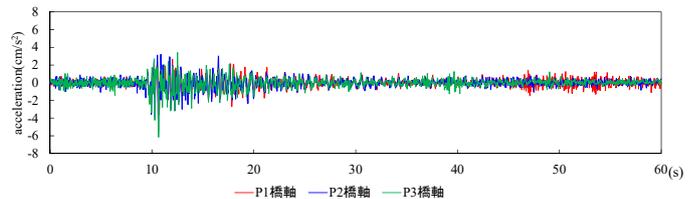
## 6. 研究成果:② システムで観測された記録

- 観測機器より得られた加速度記録の連続データ
- P1, P2, P3橋脚の記録を比較すると、それぞれの橋脚は異なる周期特性であることを確認

観測された連続記録(10分間切り出し)

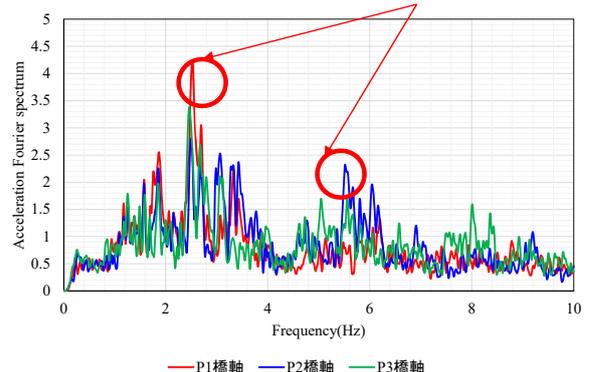


観測波形



フーリエスペクトル

橋脚ごと異なる周期特性を確認



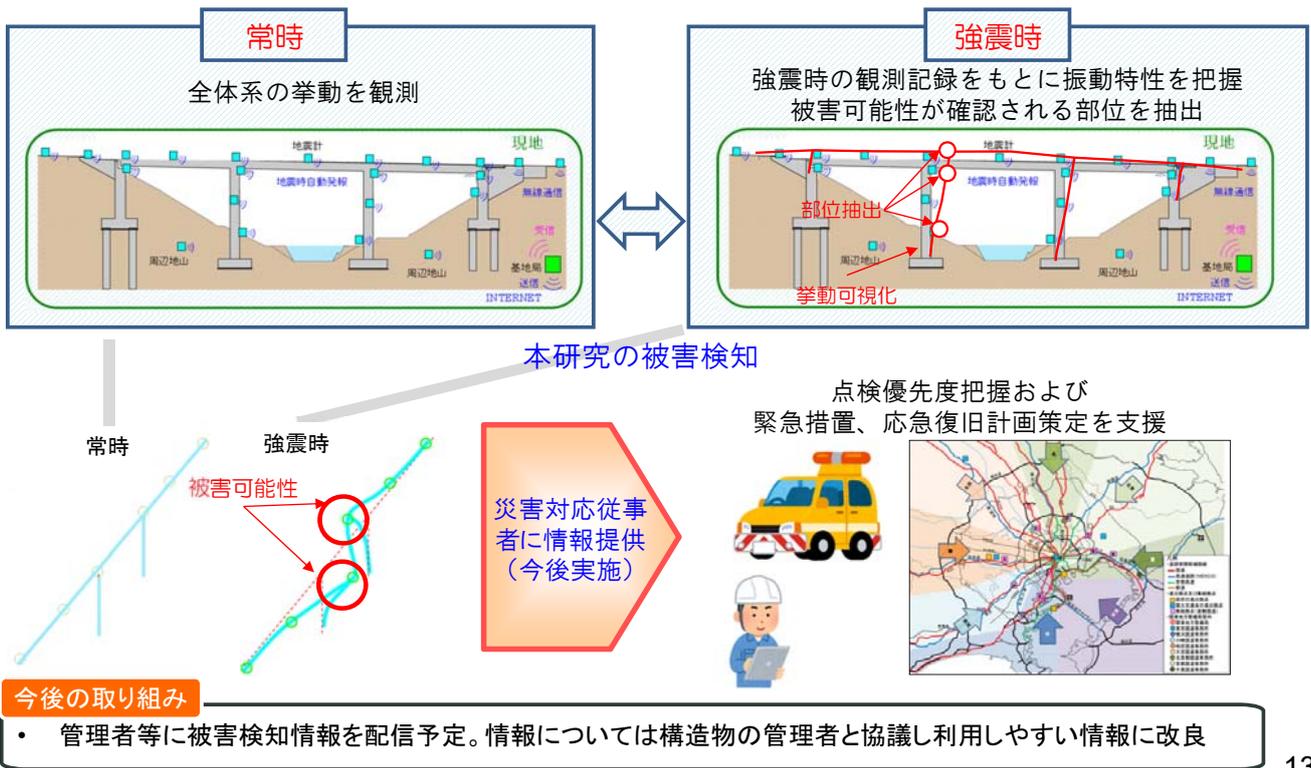
P1, P2, P3橋脚で得られた地震観測記録

12



## 6. 研究成果:③ 即時被害検知機能の開発

- 構造物の機能障害や二次被害につながる振動特性を検知する即時被害検知機能を開発

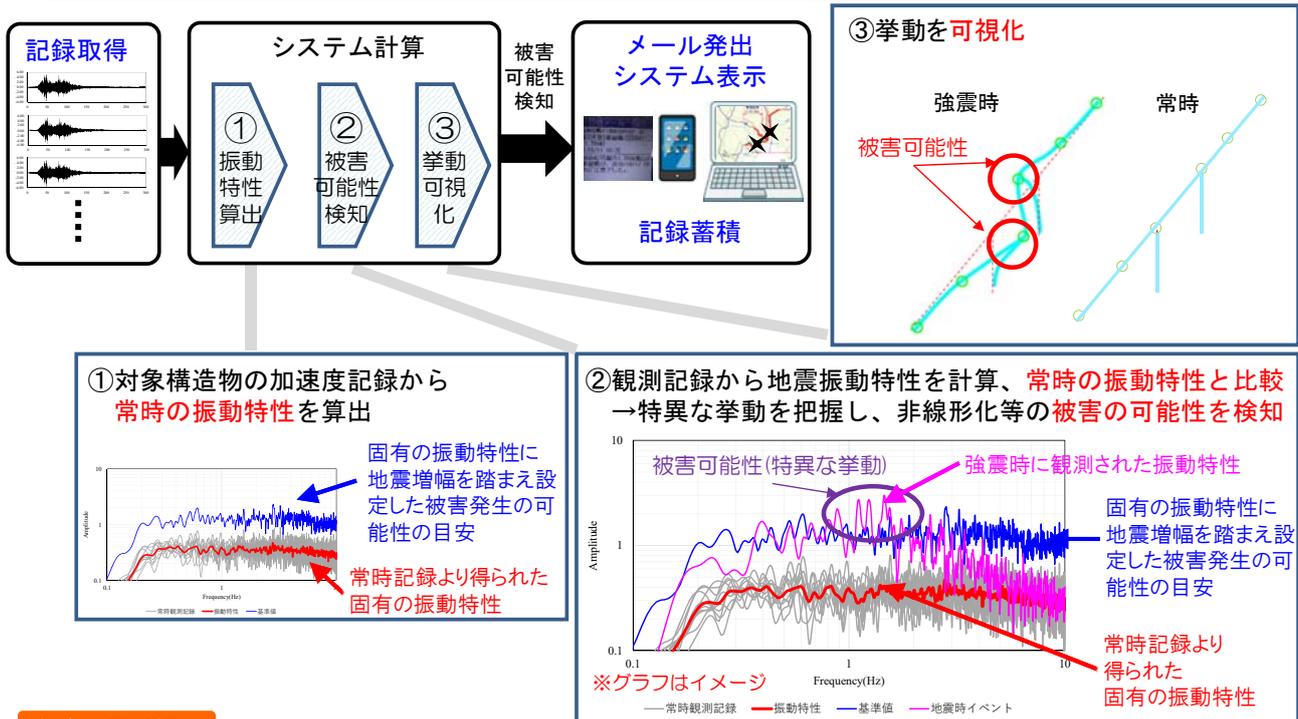


13



## 6. 研究成果:③ 即時被害検知機能の開発

- 常時と強震時の振動特性を逐次計算し比較するシステムを整備



### 今後の取り組み

- 実際の地震応答との比較・検証を実施し、検知内容と挙動の関係を検討することで被害検知を継続的に改良

14



## 7. 成果の普及等

### 【成果の普及】

- ・ 強震モニタリングシステムの論文取りまとめ
- ・ 構造物全体系の観測を行う上で機器が満たすべき仕様や設置方法を取りまとめた国総研資料発行(予定)
- ・ 地整等災害対応従事者へ即時被害検知情報の配信を実施(予定)
- ・ 挙動データは、記録の整理・確認や関係機関との必要な調整等を実施した上で公表

### 【今後の検討】

- 全体系の挙動データを用いた耐震対策技術の高度化・合理化
  - ・ 構造物全体系の固有振動特性や減衰特性の検証
  - ・ 実際の地震応答との比較・検証による動的解析手法の高度化

### ○ 構造物の即時被害検知機能の高度化

- ・ 災害時の道路通行可否情報(通れるマップ等)作成に活用
- ・ 検知内容と実際の被害状況の関係をAI等で分析し、被害検知能力を継続的に改良

### 【発表論文リスト】

- ・ 石井洋輔, 大道 一步, 片岡正次郎:無線通信を用いた構造物全体系の強震モニタリングシステムの構築, 土木学会第75回年次学術講演概要集, 2020.9.
- ・ 石井洋輔, 増田仁, 片岡正次郎 他:地盤一橋全体系の強震モニタリングシステムの構築へ向けた技術検証, 日本地震工学会・大会-2020梗概集, 2020.12.
- ・ 石井洋輔, 大道一步, 増田 仁, 片岡正次郎:土木構造物の地震時挙動観測システムの高度化～強震モニタリングシステムの構築～, 土木技術資料Vol.62, No.12, pp.44-47,2020.12.
- ・ 石井洋輔, 増田仁, 片岡正次郎:橋梁の多点挙動観測記録を用いた減衰特性の算出に関する基礎的研究, 第24回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集, 2021.7.

15



## 8. まとめ

研究開発の目的	研究開発の目標	研究成果	研究成果の活用方法 (施策への反映・効果等)	目標の達成度	備考
重要インフラの即時被害検知・強震モニタリングシステムの開発	①構造物全体系の挙動観測システムの開発	・ 構造物全体系の挙動観測システムに必要な機器の要求性能を把握した。 ・ 従前と比較して安価かつ高感度な構造物全体系の挙動観測システムを構築した。	・ 構造物全体系の挙動観測できるシステムの設置促進を図る。 ・ 観測データを基に、今後耐震対策技術の高度化・合理化に資する検討を実施する。	○	
	②構造物全体系の挙動観測システムの設置・計測	・ 構造物全体系の挙動観測システムを全国24箇所に設置した。		○	
	③即時被害検知機能の開発	・ 実データを基にした構造物の即時被害検知機能を構築した。	・ 災害対応従事者に情報提供することで、点検優先度把握、緊急措置、応急復旧計画策定を支援する。	○	

<目標の達成度> ◎:目標を達成することに加え、目標以外の成果も出すことができた。 ○:目標を達成できた。  
△:あまり目標を達成できなかった。 ×:ほとんど目標を達成できなかった。

### 有効性

- ・ 構造物全体系の挙動をリアルタイムで連続観測することは国内初であり、観測データは、耐震対策技術の高度化・合理化に資する検討に活用
- ・ 災害対応従事者に被害検知に関わる情報を提供することで、点検優先度把握、緊急措置、応急復旧計画策定を支援

16

## 評価対象課題に対する事前意見

研究名	インフラ等の液状化被害推定手法の高精度化に関する研究
<p>欠席の委員からのご意見</p> <p>○地震による液状化の事前予測という意義ある研究を実施されている。従来モデルよりも細かいメッシュによる解析であり、かつ高い精度での判別可能判別可能性を有することは魅力的である。本研究成果を多くの地域へ適用し、地盤防災に取り組んでもらいたい。</p> <p>○3次元の地盤構造の把握にはボーリングが必須と思われる。それをできるだけ少なくしながら、高精度での地盤構造モデルを作成可能な技術開発も期待したい。</p>	

## 評価対象課題に対する事前意見

研究名	重要インフラの即時被害検知・強震モニタリングシステムの開発
<p data-bbox="212 443 523 472">欠席の委員からのご意見</p> <p data-bbox="240 526 1410 640">○頻発する地震時の構造物の被害状況を即時に把握可能なシステム開発をされている。現地確認よりも早く把握できるメリットは大きい。通常時からのデータ取得により、異常検知システムへと発展できる可能性もある。</p> <p data-bbox="240 694 1410 723">○コストが従来の1/10以下と示されている。多くの橋梁に設置できるよう努めてもらいたい。</p>	