

# 長大橋りょうの地震後 即時被害推定手法の開発

鉄道地震工学研究センター 地震応答制御研究室長

坂井 公俊

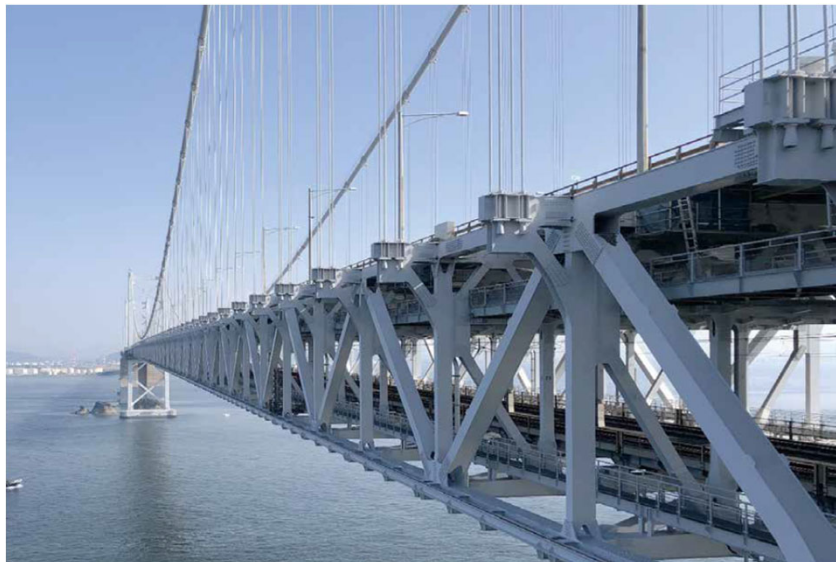
# 本日の発表

1. はじめに(検討の背景、目的)
2. 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法の開発
3. 長大橋りょうの地震後即時被害推定手法の開発
4. 提案手法の有効性
5. まとめと成果の活用

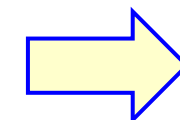
# 本日の発表

1. はじめに(検討の背景、目的)
2. 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法の開発
3. 長大橋りょうの地震後即時被害推定手法の開発
4. 提案手法の有効性
5. まとめと成果の活用

# 検討の背景(長大橋りょうの地震時挙動)



- 地震時挙動が非常に複雑である一方で、地震発生後のアクセスや点検箇所数の観点でボトルネックになる可能性が高い。
- 例えば瀬戸大橋では「計測震度4.5以上」で全橋りょうの支承を点検するため、点検終了までに膨大な時間を要する。

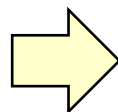
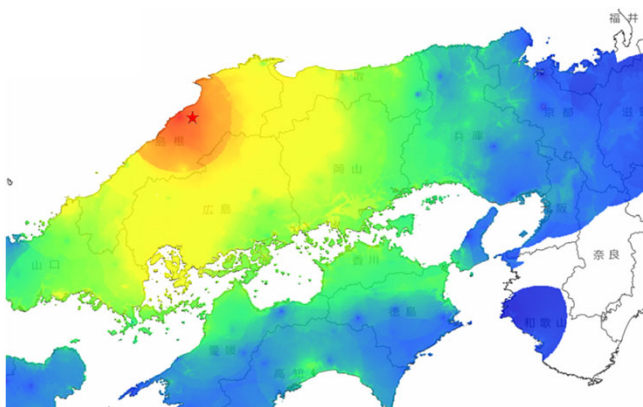


地震発生後の  
迅速な状況把握  
技術が必要

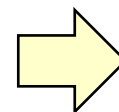
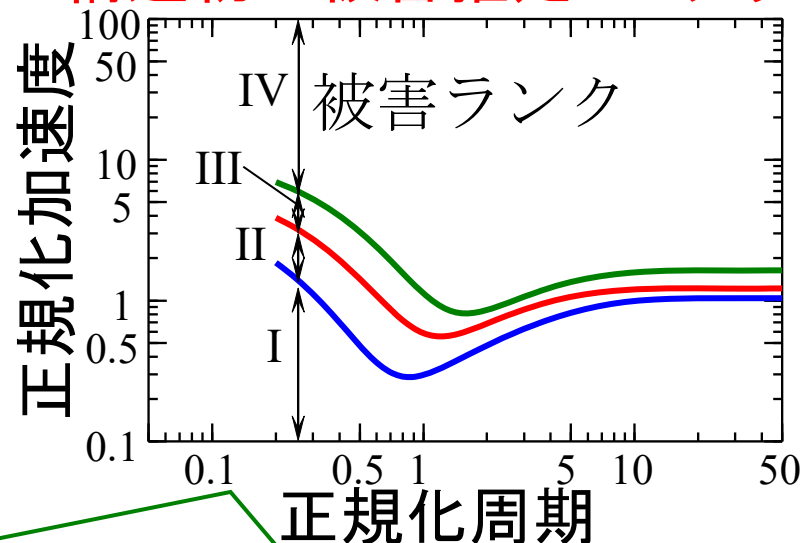
# 検討の背景(地震発生後の運転再開支援技術)

## 鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)

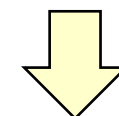
面的地震動情報の推定



構造物の被害推定ノモグラム



構造物の被害推定分布



点検要否や優先箇所の判断

- 一般的な橋りょう・高架橋・盛土を対象(等価1自由度系)
- 地震時の挙動が複雑な構造物(長大橋りょう等)は適用範囲外

長大橋りょうを含む鉄道路線の早期運転再開を支援するため、  
地震発生後の長大橋りょうの被害を短時間かつ高精度で推定する手法を開発

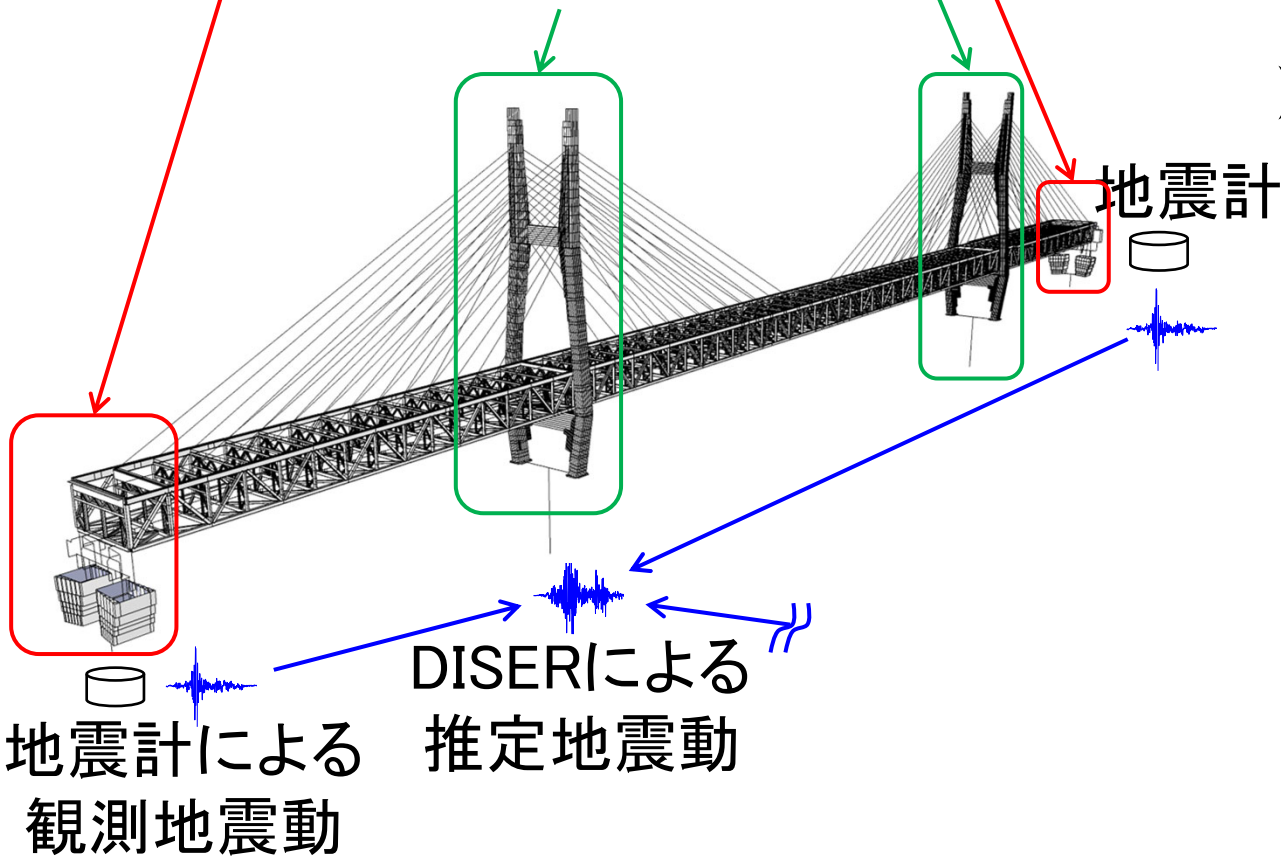
# 本日の発表

1. はじめに(検討の背景、目的)
2. 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法の開発
3. 長大橋りょうの地震後即時被害推定手法の開発
4. 提案手法の有効性
5. まとめと成果の活用

# 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法

観測地震動を用いる

推定地震動を用いる



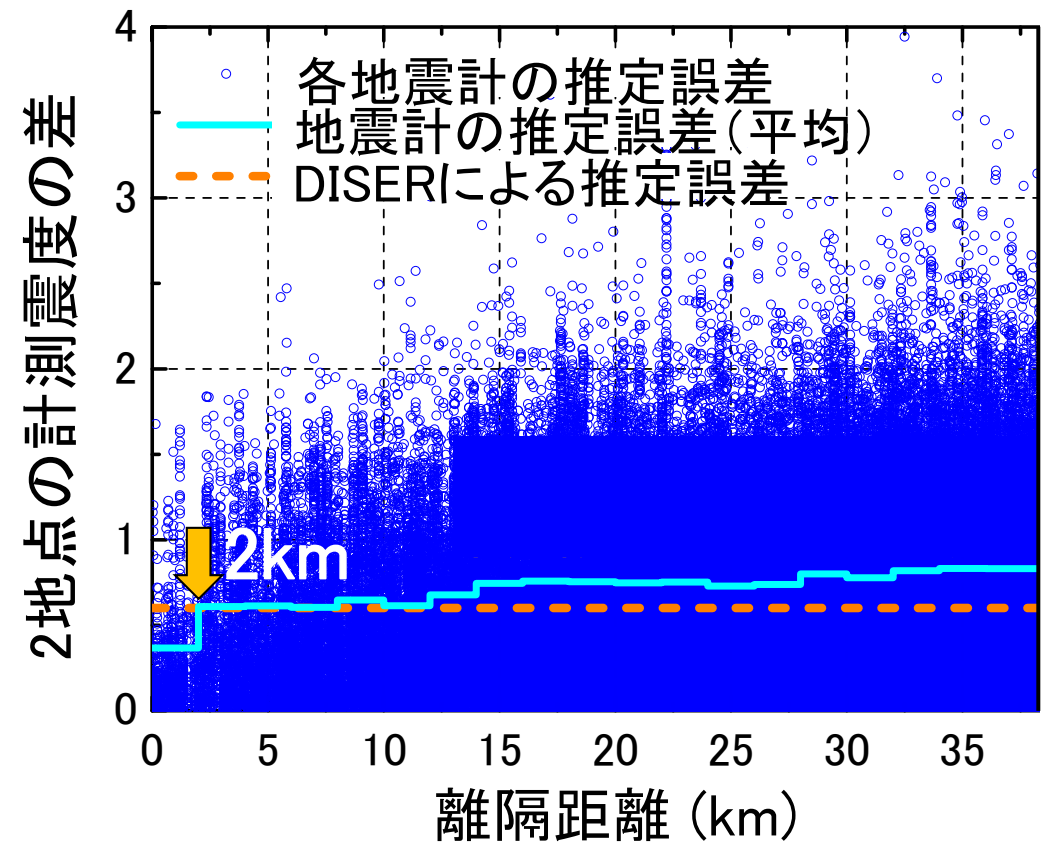
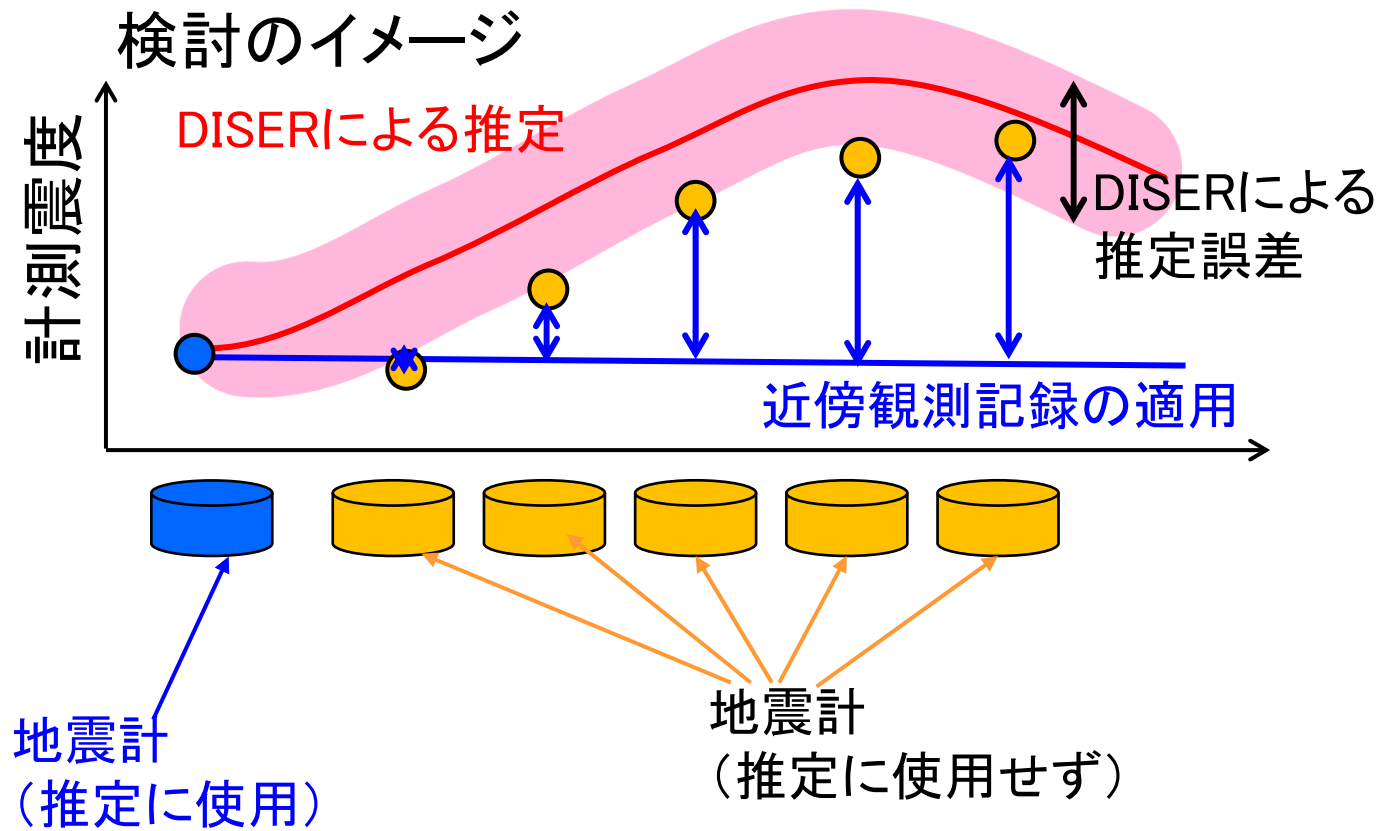
- 長大橋りょうでは、モニタリングを目的として、地震計が設置されることもある。
- 地震計の近傍では、観測記録を用いることでDISERよりも予測精度の向上が期待。

既往の観測記録に基づいて、

- 地震計による観測情報
  - DISERによる推定地震動
- の使用範囲の定量的な評価を実施。



# 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法



- 地震計までの距離: 2km以内 ⇒ 観測情報をそのまま用いる
- 地震計までの距離: 2km以上 ⇒ 推定情報を用いる

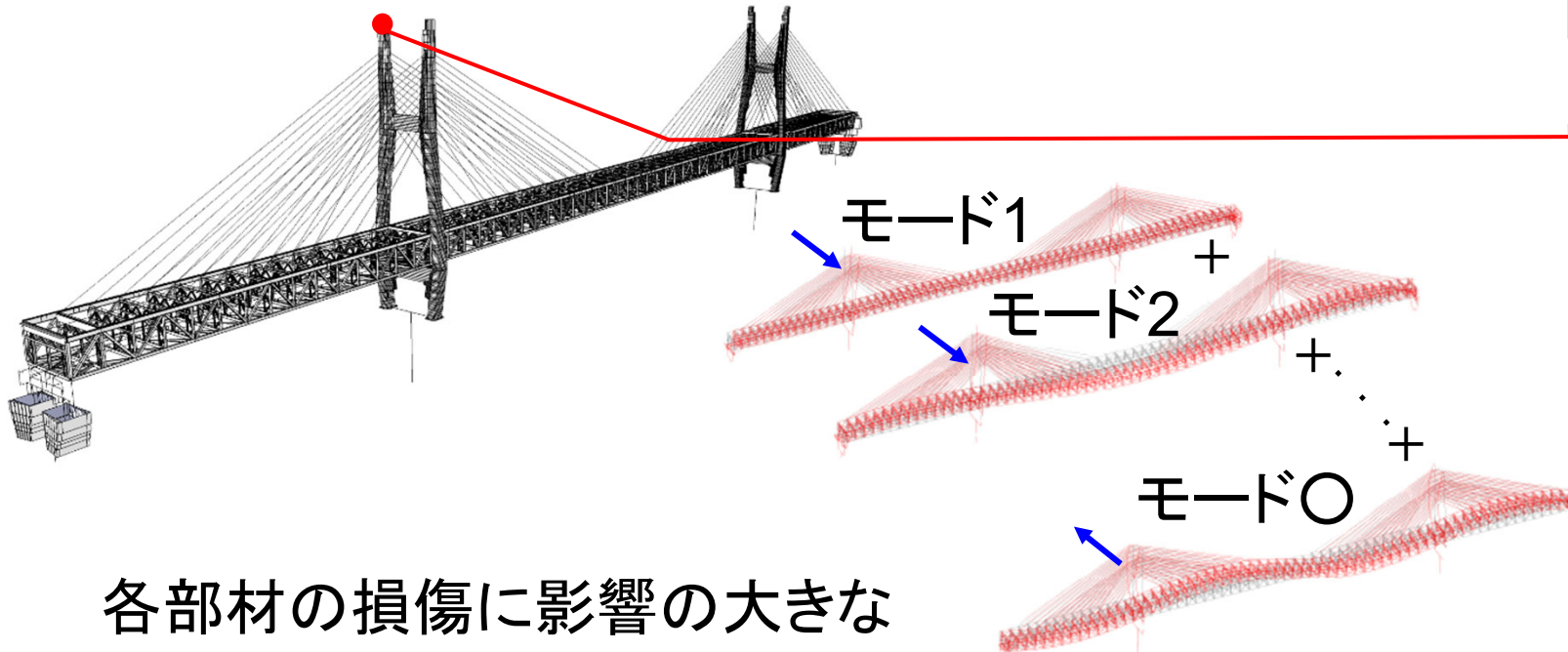


# 本日の発表

1. はじめに(検討の背景、目的)
2. 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法の開発
3. 長大橋りょうの地震後即時被害推定手法の開発
4. 提案手法の有効性
5. まとめと成果の活用

# 開発手法のイメージ

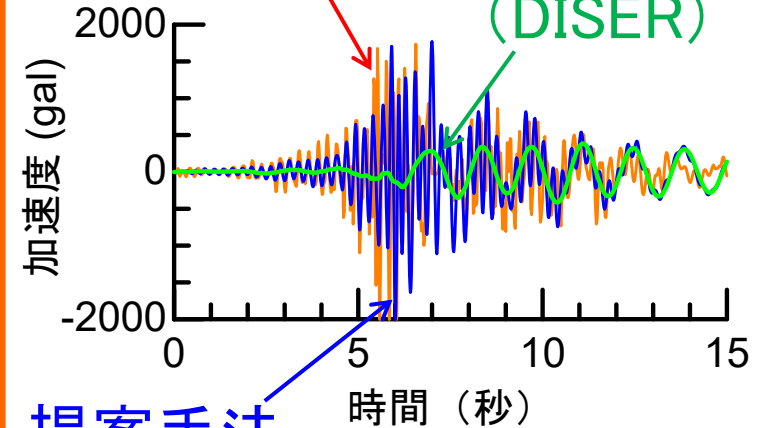
## 被害推定手法の概念(モード解析法)



各部材の損傷に影響の大きな  
振動モードを複数選択・重ね合わせ

主塔天端の応答  
(橋軸直角方向)

詳細解析(正解) 1次モードのみ  
(DISER)

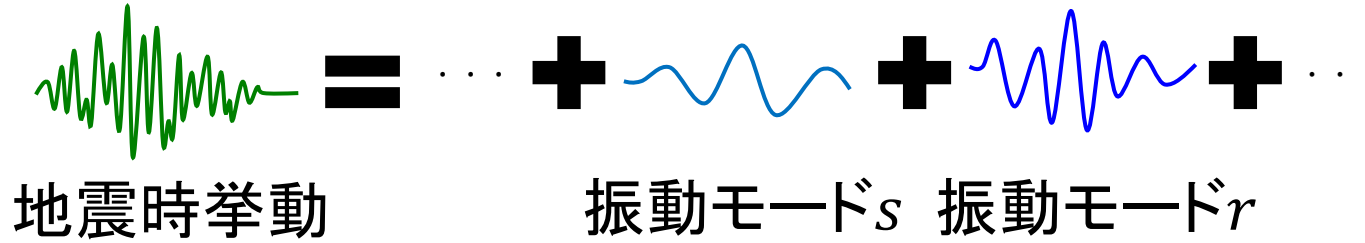


提案手法  
(モード30個を考慮)

- 振動モードの重ね合わせにより、長大橋りょうの地震時挙動の推定精度の向上
- 部材、箇所毎に使用するモードを限定することで、情報低減、計算効率化を実現

# 開発手法の即時性向上

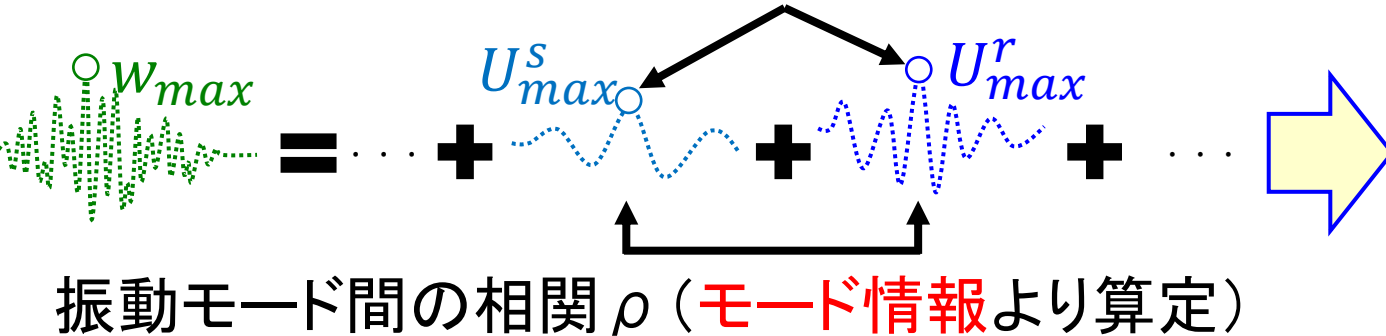
## ■ 通常の方法解析法



- ✓ 各振動モードの応答波形の重ね合わせにより、複雑な挙動を評価
- ✓ 時刻歴応答解析が必要であり、使用する情報多、計算時間大

## ■ 提案手法 (最大値情報の重ね合わせ)

各モードの最大応答値  
(被害推定ノモグラムから算定)



最大応答値のみを用いた効率的な振動モードの重ね合わせ  
⇒ 地震後被害推定手法の即時性をさらに向上 (数分程度)

### モード最大値の重ね合わせ

最大応答値

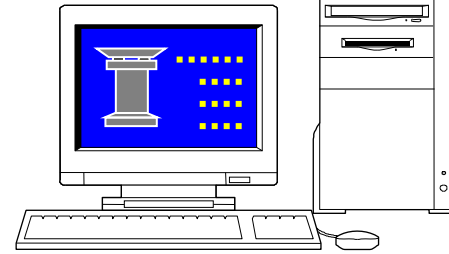
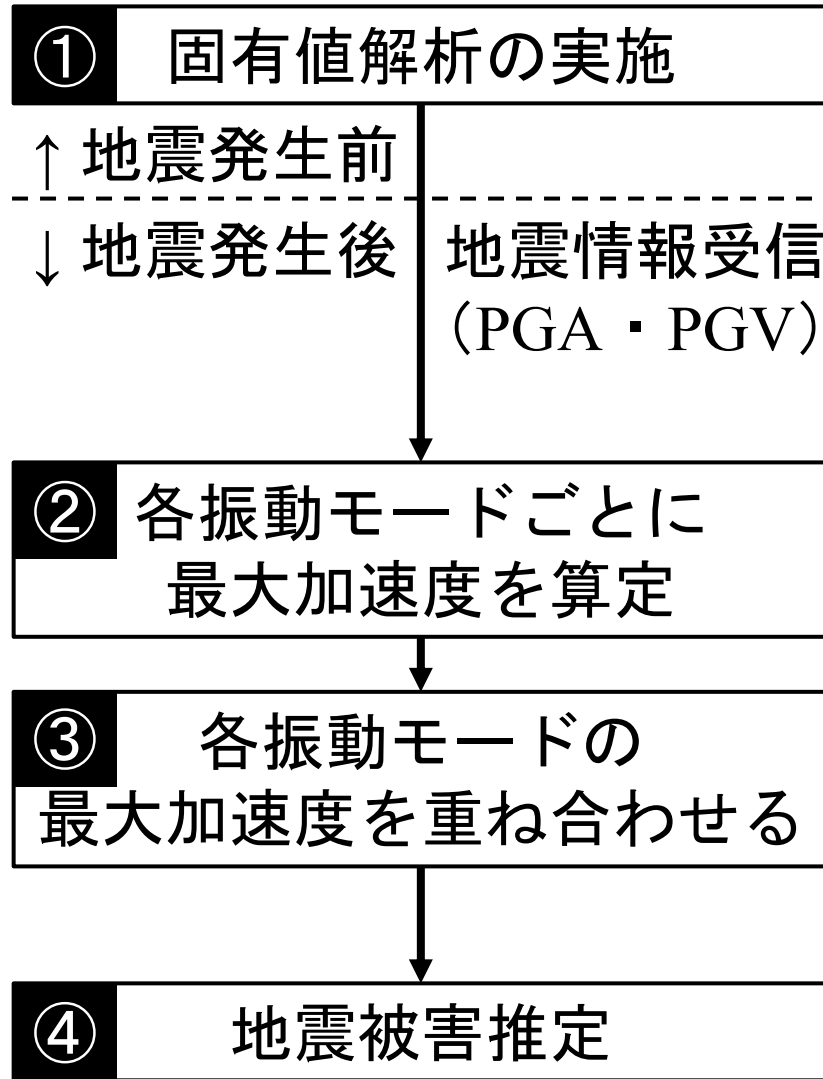
各モードの最大応答

$$W_{max} = \sqrt{\sum_{s=1}^N \sum_{r=1}^N \rho^{sr} (U_{max}^s U_{max}^r)}$$

モード間の相関

ランダム振動論に基づく定式化

# 具体的な計算手順(1/3)

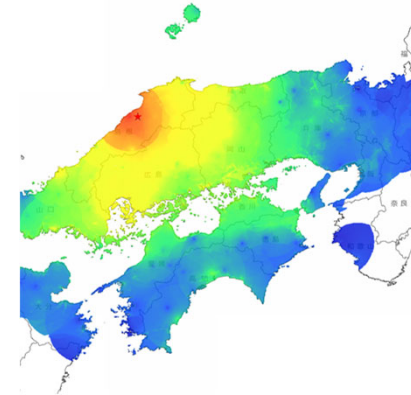


## 構造物情報

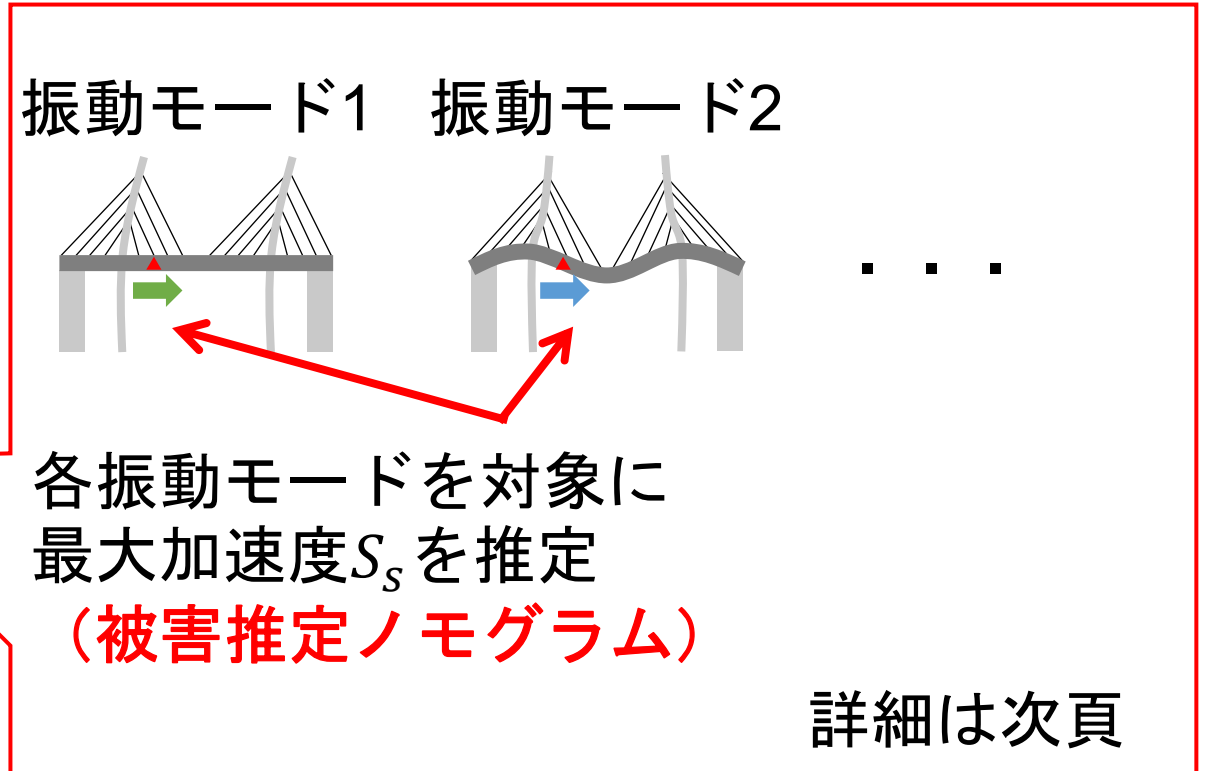
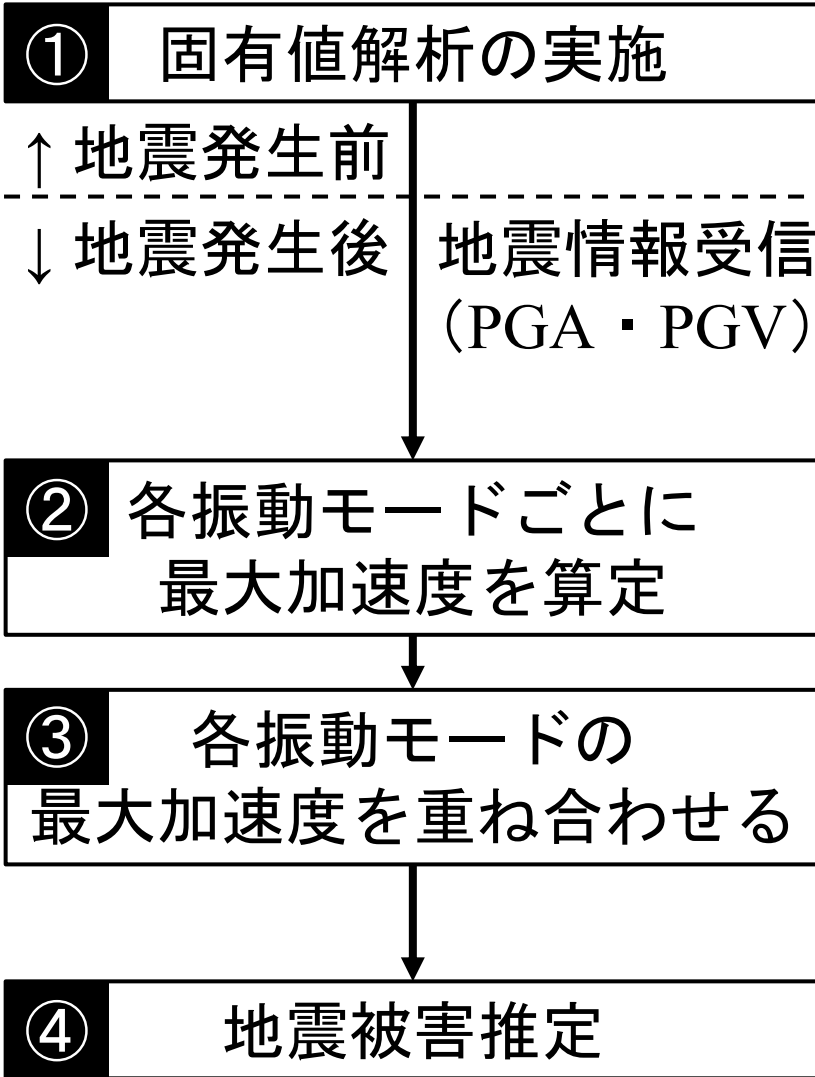
- 刺激関数  $\beta_s W_s$
- 固有周期  $T_s$
- モード減衰比  $h_s$

## 地震情報

- 地表面最大加速度 PGA
- 地表面最大速度 PGV
- 卓越周期  $T$  ( $T = 2\pi PGV / PGA$ )



# 具体的な計算手順(2/3)



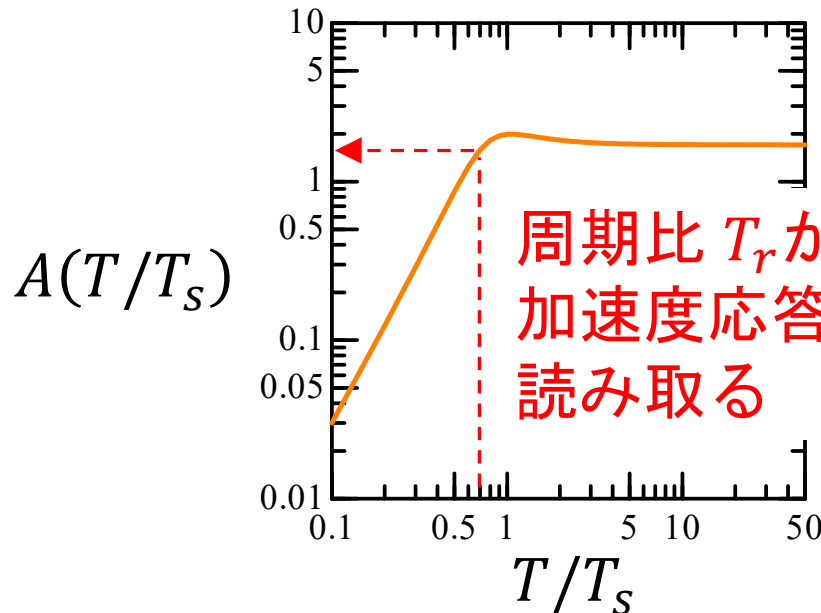
# s次モードの最大加速度 $S_s$ の算定

$$S_s = PGA \times A(T/T_s) \times R(h_s) \quad (s = 1, \dots, N)$$

$N$  : 使用モード数

$A(T/T_s)$ は減衰比5%を仮定  
⇒  $A(T/T_s)$ を減衰比 $h_s$ に補正する係数

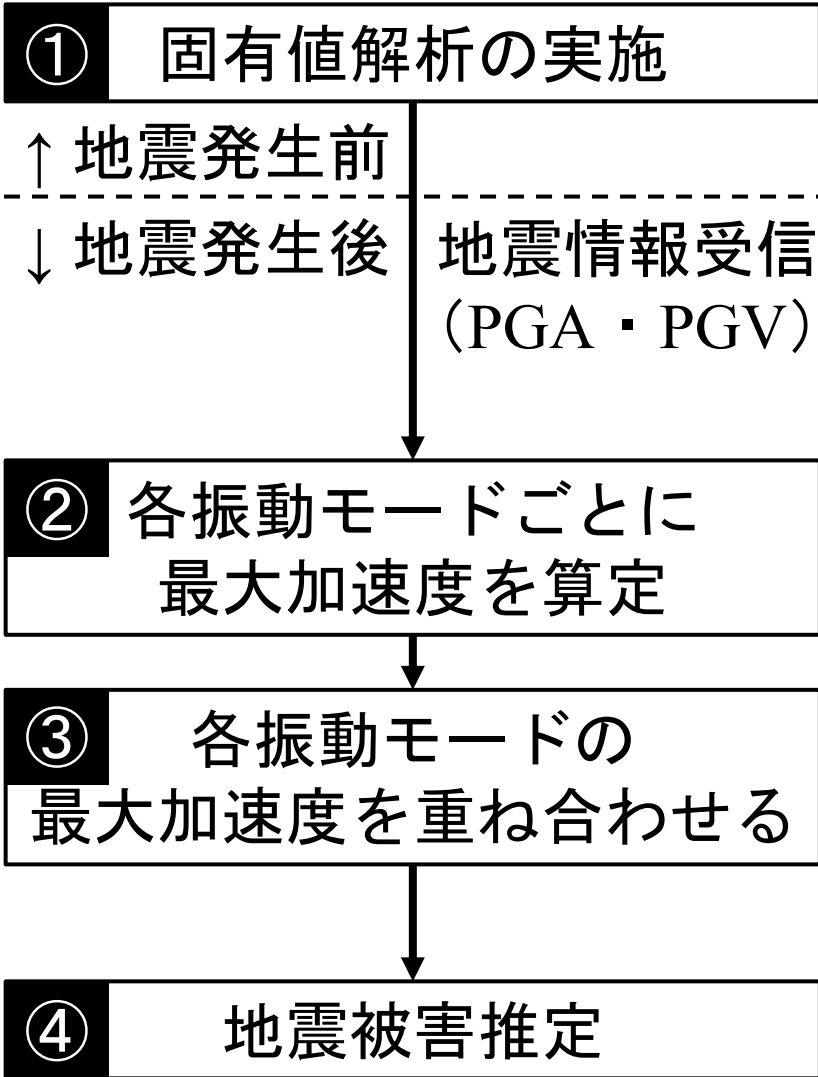
加速度応答倍率（被害推定ノモグラムの変形式）



$T$  : 地震動の卓越周期

$T_s$  :  $s$ 次モードの固有周期

# 具体的な計算手順(3/3)



振動モード1 振動モード2

各モードの応答の重ね合わせ  
(= 緑 → + 青 → + . . .)

最大応答値

各モードの最大応答

$$W_{max} = \sqrt{\sum_{s=1}^N \sum_{r=1}^N \rho_{sr} (\beta_s W_s \cdot S_s) (\beta_r W_r \cdot S_r)}$$

刺激関数

モード間の相関

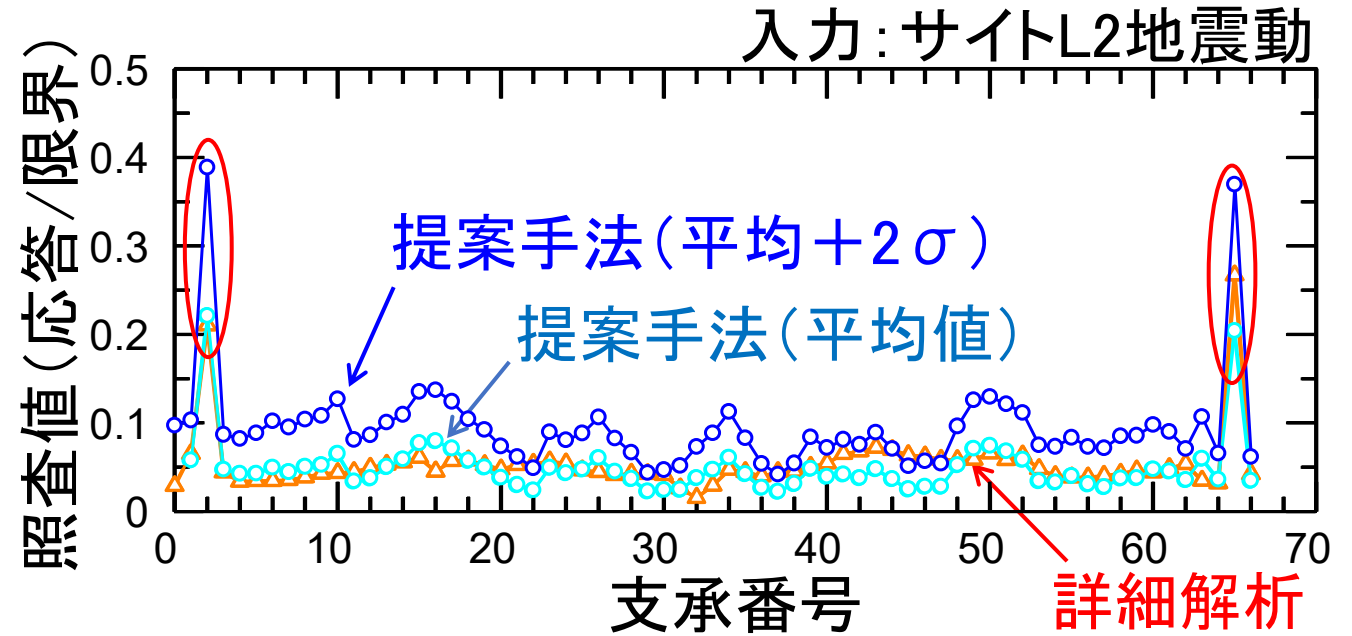
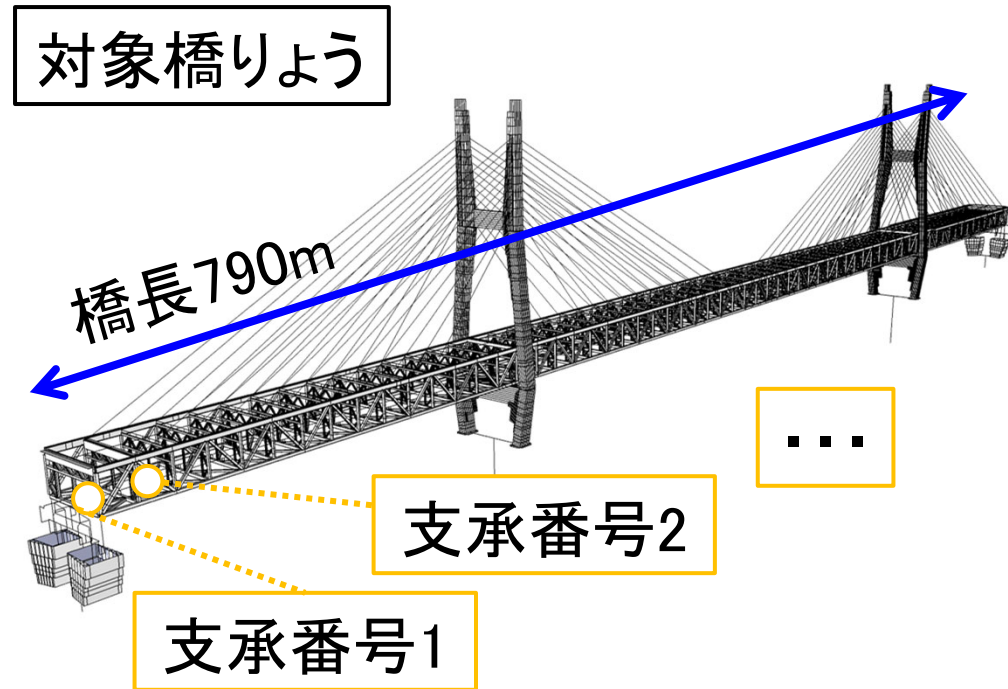


# 本日の発表

1. はじめに(検討の背景、目的)
2. 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法の開発
3. 長大橋りょうの地震後即時被害推定手法の開発
4. **提案手法の有効性**
5. まとめと成果の活用

# 検証① 斜張橋を対象とした評価

各支承位置の照査値を算出



計算時間

詳細解析: 1日/1構造

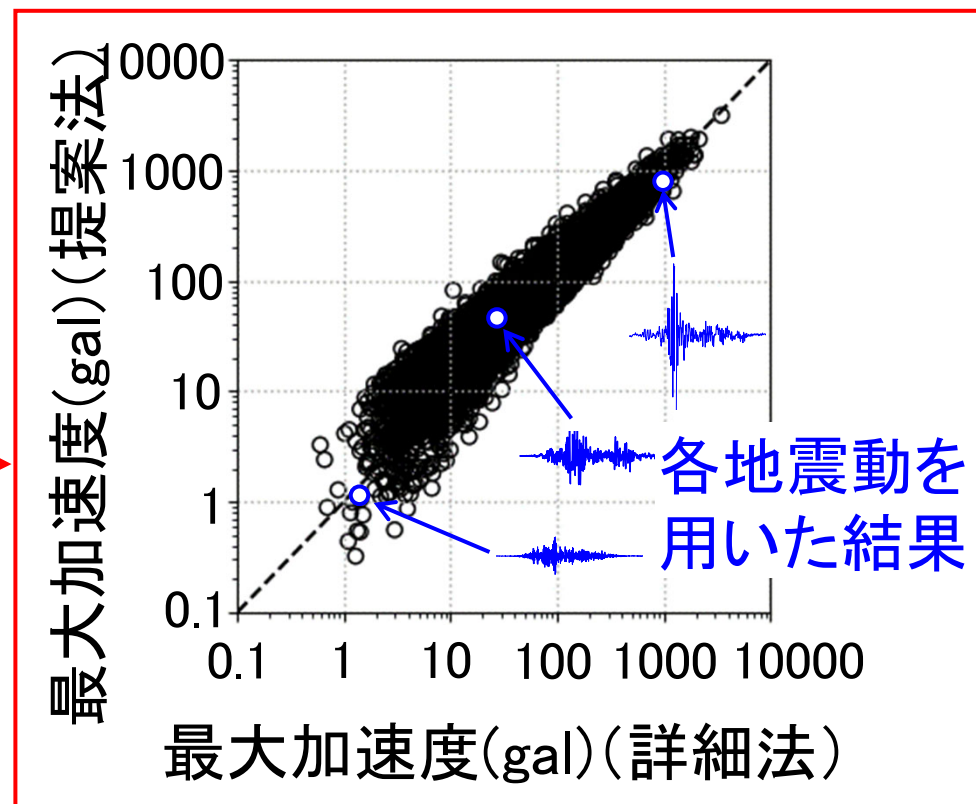
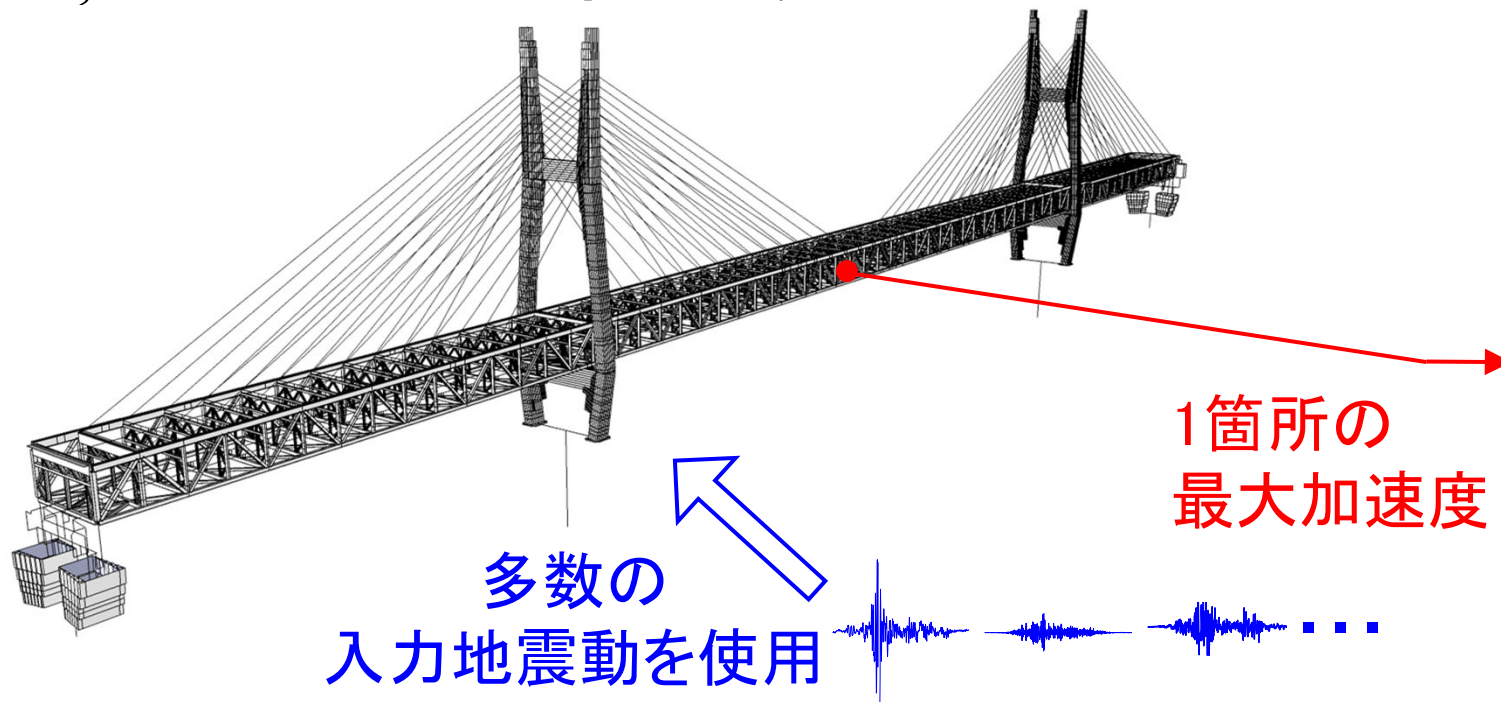
提案手法: 数分/1構造

約1/300

提案手法により、地震発生後の長大橋りょうの応答値を短時間かつ適切に推定可能であることを確認

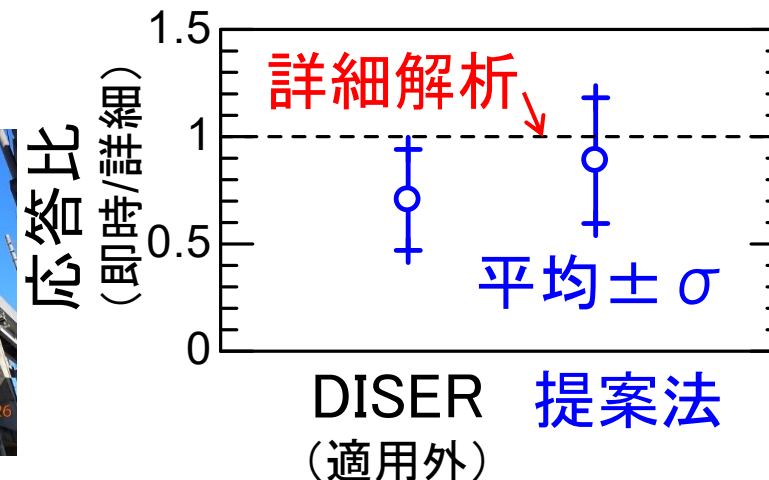
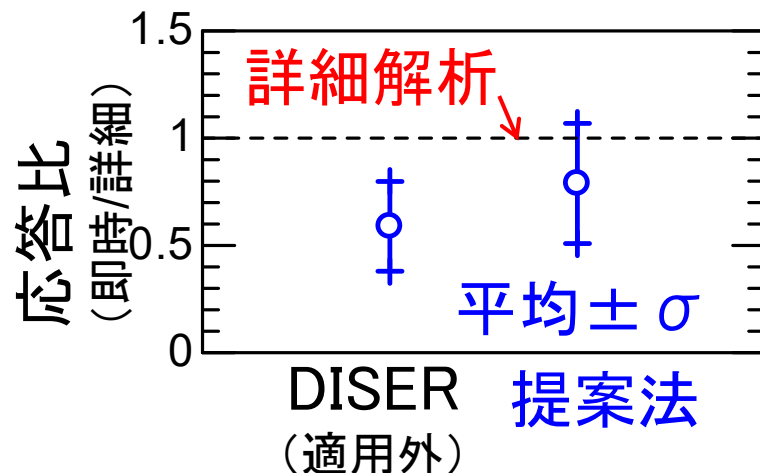
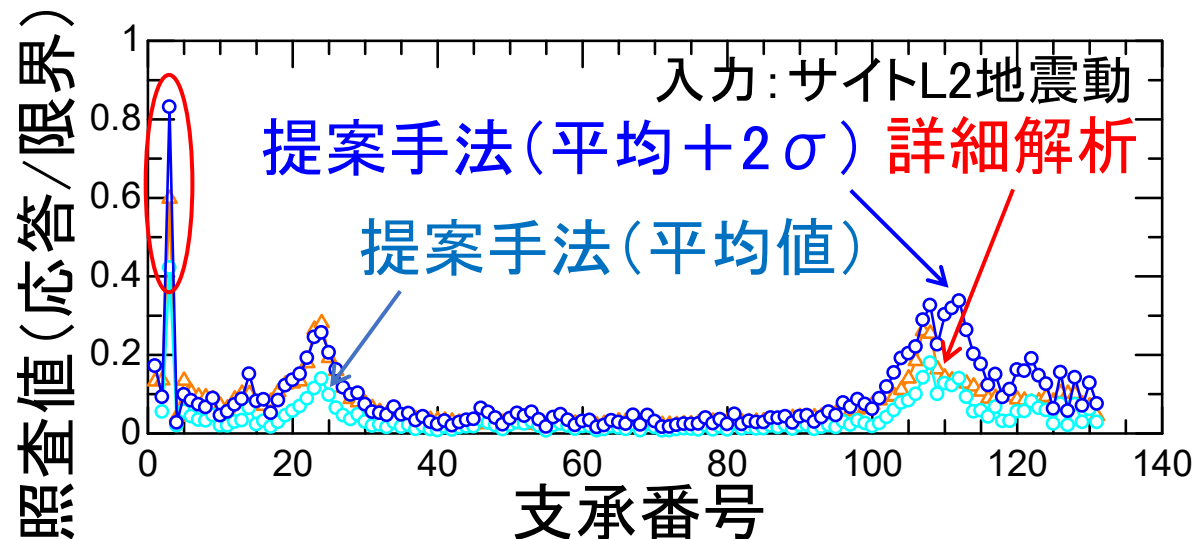
## 検証② 多様な地震動特性に対する適用性

多様な振幅特性、周波数特性を有する  
16,984波を用いた解析を実施



多様な特性を有する地震動(周期特性、継続時間、振幅等)に対して  
安定した結果が得られることを確認

# 検証③ 様々な構造形式を対象とした検証



長大橋りょうのみならず、他の複雑な構造物に対しても有効(適用範囲のさらなる拡大)

# 本日の発表

1. はじめに(検討の背景、目的)
2. 長大橋りょうに作用する地震動の推定手法の開発
3. 長大橋りょうの地震後即時被害推定手法の開発
4. 提案手法の有効性
5. まとめと成果の活用

# まとめ

長大橋りょうを含む鉄道路線の早期運転再開を支援するため、地震発生後の長大橋りょうの被害を短時間かつ高精度で推定する手法を開発

- ①長大橋りょうに作用する地震動推定手法を開発した
- ②地震発生後の長大橋りょうの被害状況を数分で推定する手法を開発した
- ③実在する様々な構造形式の橋りょう（吊橋など）を対象に開発手法の有効性を確認した



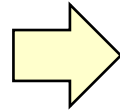
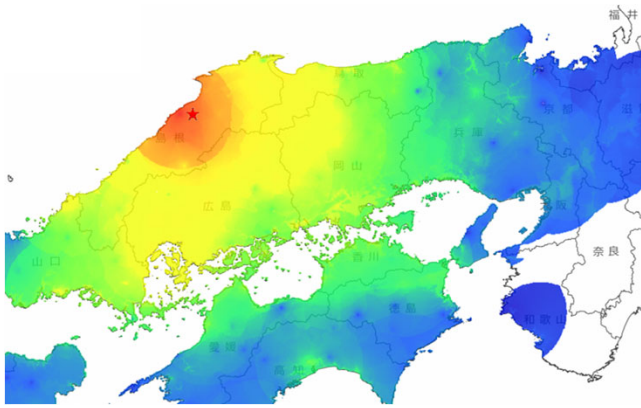
# 成果の活用

長大橋りょうが含まれる鉄道路線における

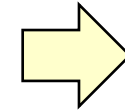
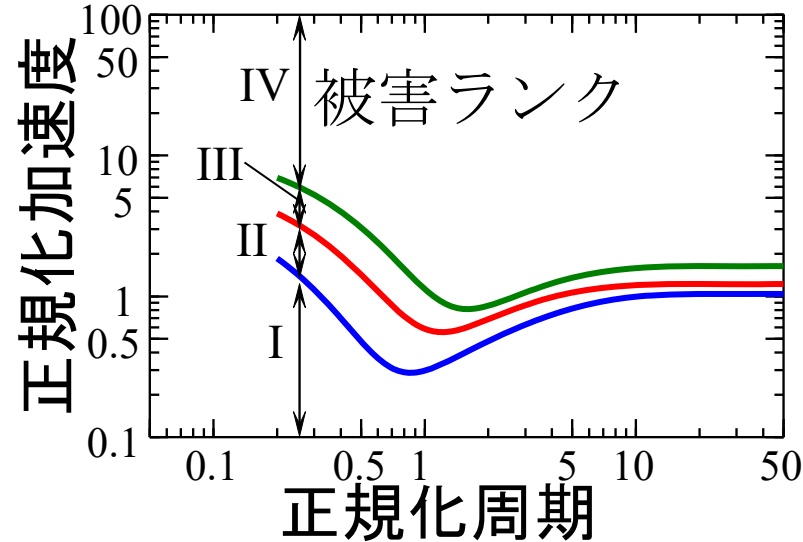
- 地震後の点検要否の判断
- 点検箇所の優先順位の設定

⇒地震発生後の早期かつ安全な運転再開の判断の支援に活用。

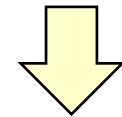
面的地震動情報の推定



構造物の被害推定ノモグラム



構造物の被害推定分布



点検要否や優先箇所の判断

本検討の一部は、本州四国連絡高速道路株式会社との共同研究により実施しました。