

ベイズ理論を用いて、 構造物の健全度が変化したことを 知らせる新しい提案

京都大学 大学院地球環境学堂
研究員 河邊 大剛



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

2022年5月20日

研究活動理念

だれが、どこに住んでいても不自由なく
社会インフラを利用できる世界の実現

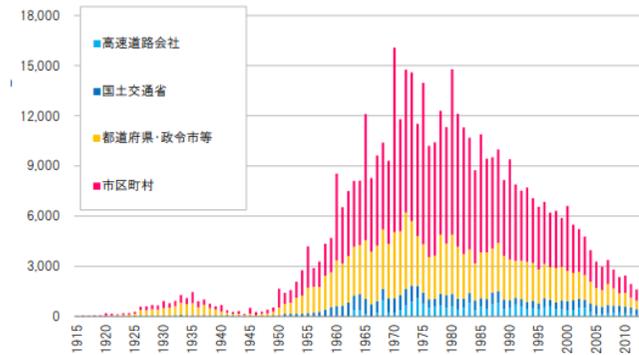


研究背景

社会インフラの老朽化は世界的課題

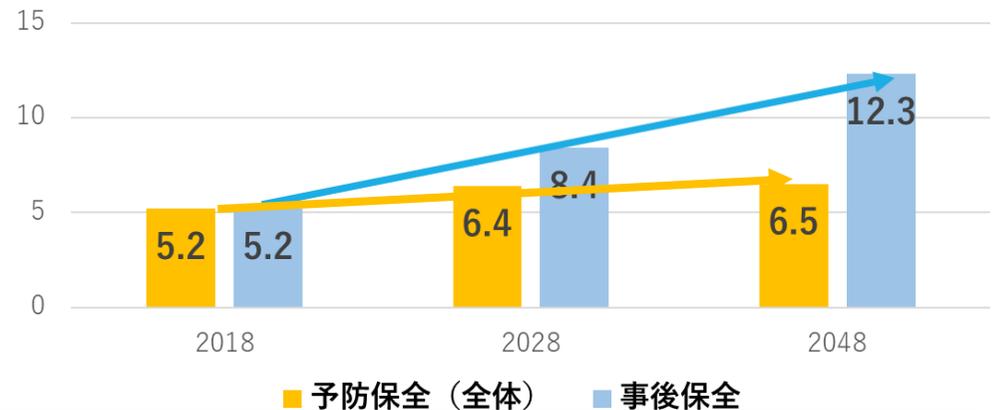


○建設年度別橋梁数



(2022年3月18日時点)道路局資料より抜粋

国内維持管理更新費 (全体：兆円)

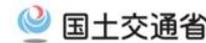


早く手を打つことで予算の急速な増加は抑えられるが、
それでも予算増の試算

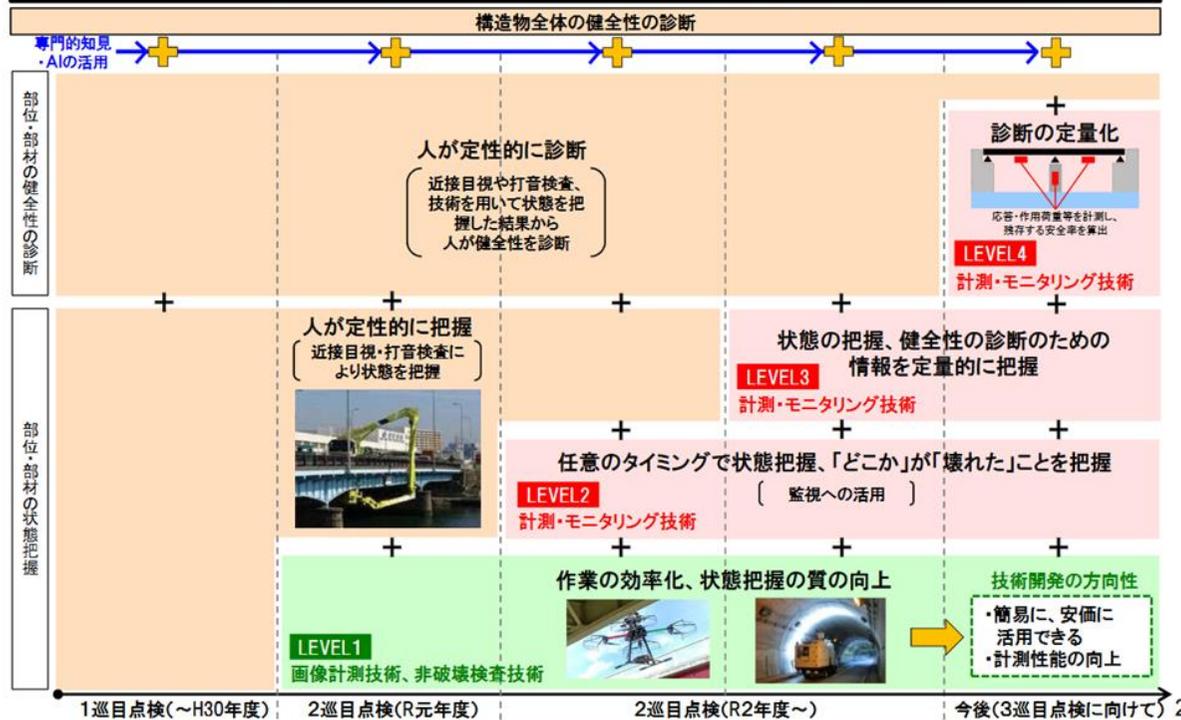
研究背景

「橋梁、トンネルの点検支援技術」を公募します
～定期点検の効率化に向けて、点検支援技術性能カタログの充実を図ります～

定期点検における新技術活用の方角性(案)



- 部位、部材の状態把握は、目的に応じて最適な技術を組み合わせて効率的に実施。
- 健全性の診断は、AI等の技術も活用しつつ、人(知識と技能を有する者)が実施。



ヒトから機械へ
新技術の導入を促進



点検コストの
縮減を期待

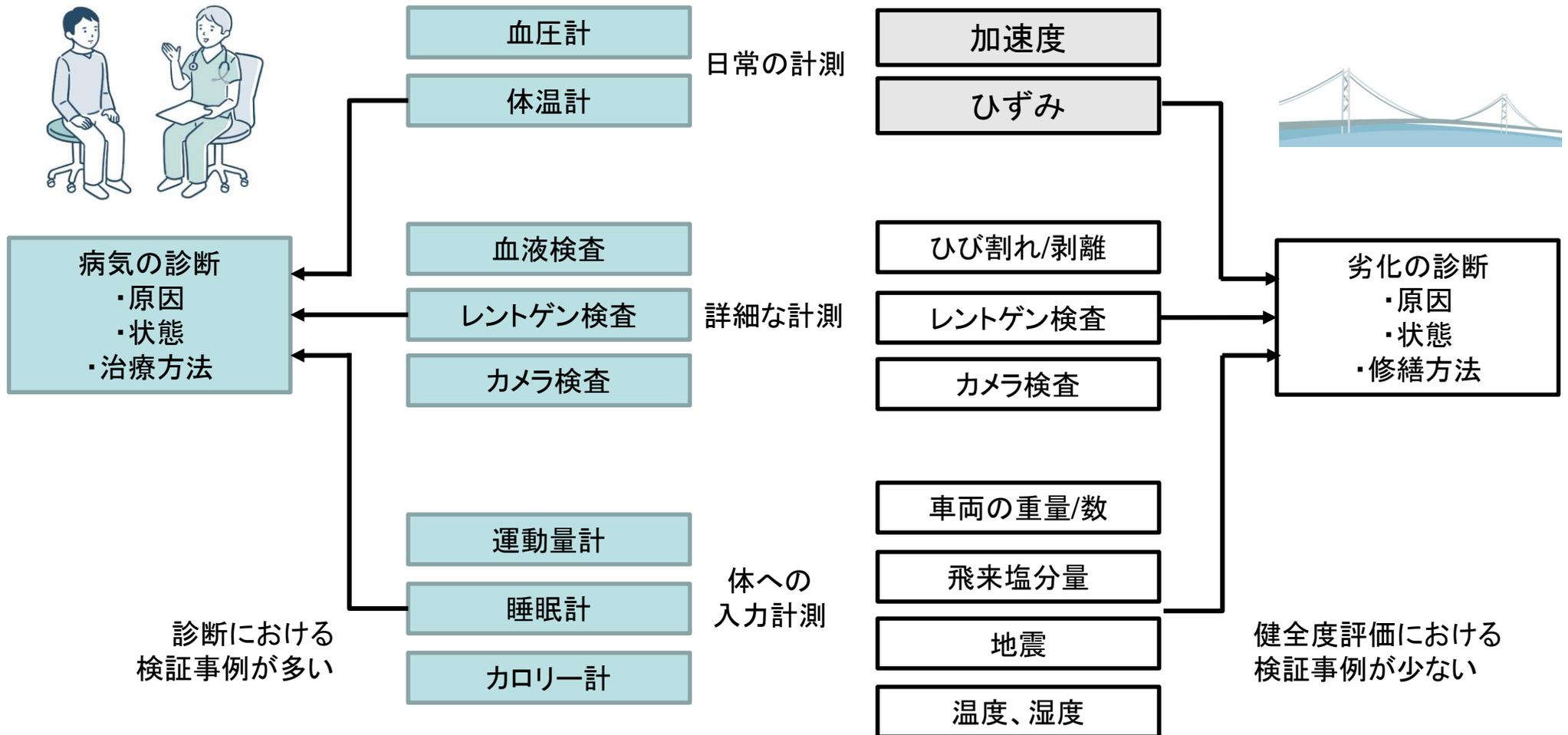
実現したい将来

- ✓ 今ある建造物の寿命を全うさせる
- ✓ そのために、建造物の発するわずかな症状をとらえ診断を下す
- ✓ さらに、災害にも柔軟に対処する

持続可能でインテリジェンスかつ

レジリエンスに富む社会インフラが整った世界

実現したい将来へのアプローチ



人の医療の診断ロジックを

そのまま構造物の健全度診断に利用

新技術開発の背景

なぜ加速度やひずみを計測する...？



ボルト抜け

腐食



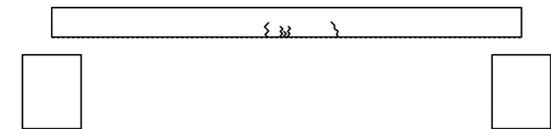
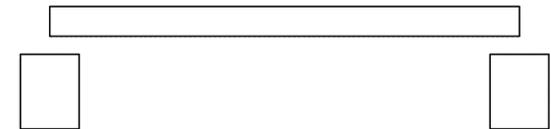
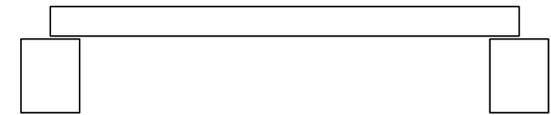
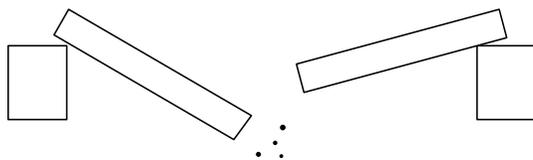
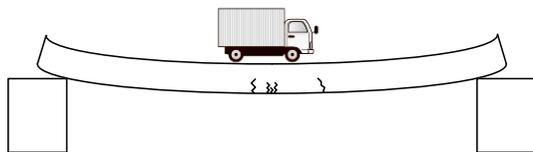
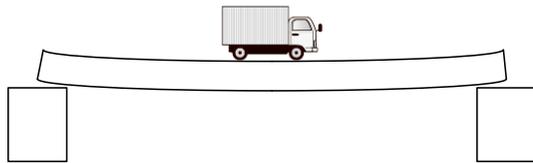
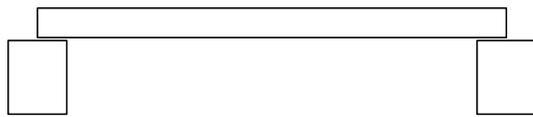
変色・ひび割れ



橋が倒壊するかどうかで何で判断するの？

新技術開発の背景

ひずみ量で評価
→計測手法要検討

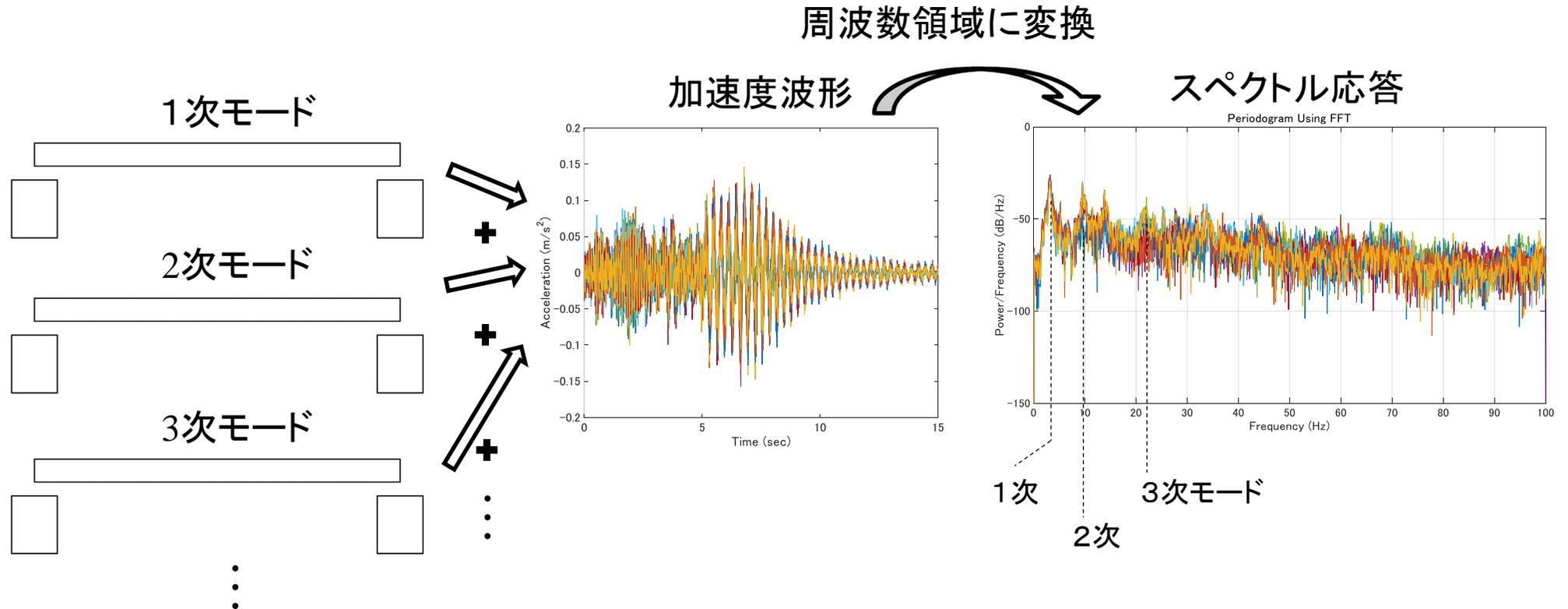


振動や減衰で評価
→比較的容易

新技術開発の背景



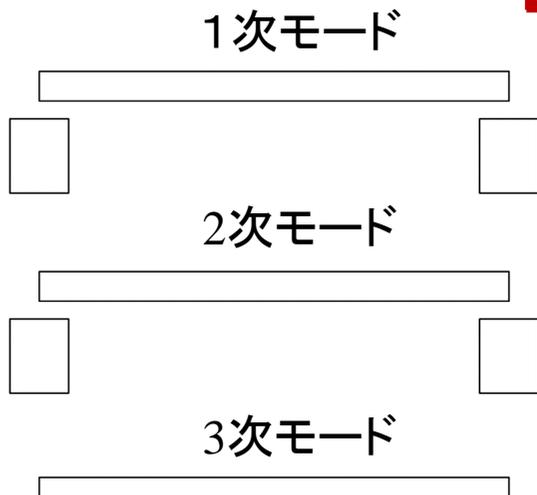
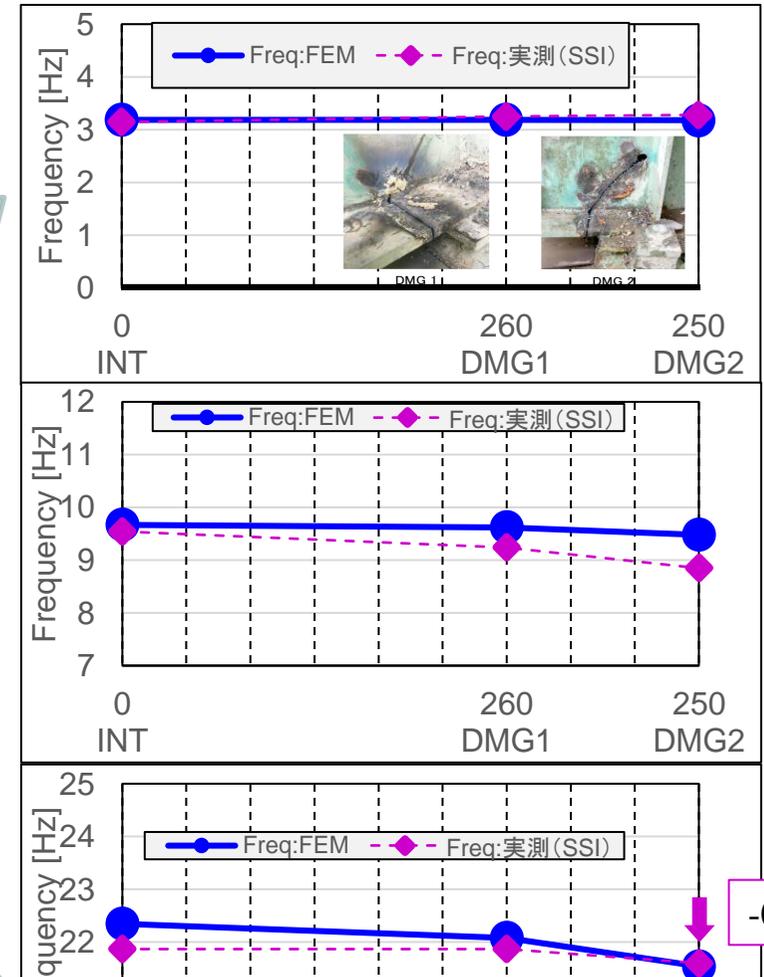
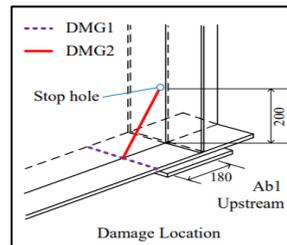
加速度を計測し、各々の振動モードの
変化から異常を検知する。



新技術開発の背景



人工損傷を導入



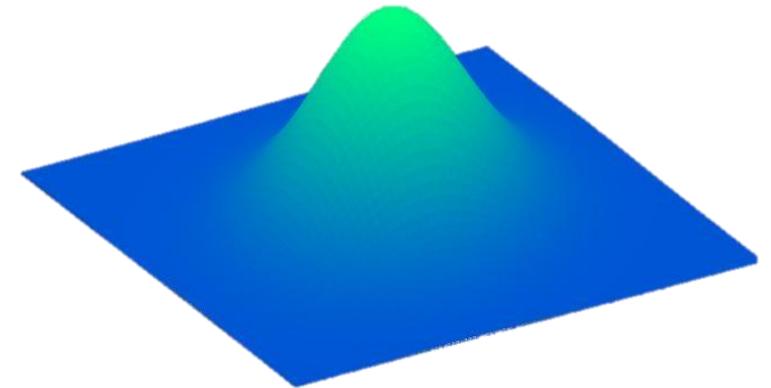
大きな損傷でも変化量が微小
外的影響による推定値のばらつきが大きい

新技術開発のアイデア

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = \gamma f(t)$$

2階線形微分方程式

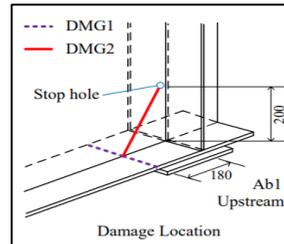
- これらパラメータをすべて包有する一つの特徴量 (SAFE)
- ばらつきも考慮した統計的な意思決定にベイズ理論の枠組みを適用
- 健全時との特徴量の差の程度を判定する



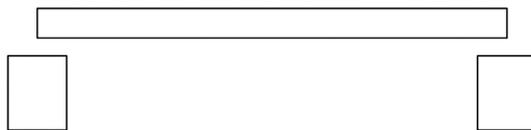
新技術の効果～適用例(鋼橋)



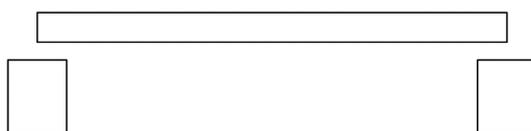
人口損傷を導入



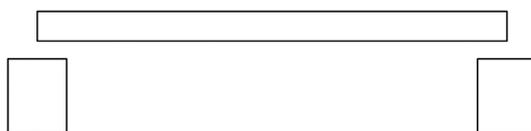
1次モード



2次モード

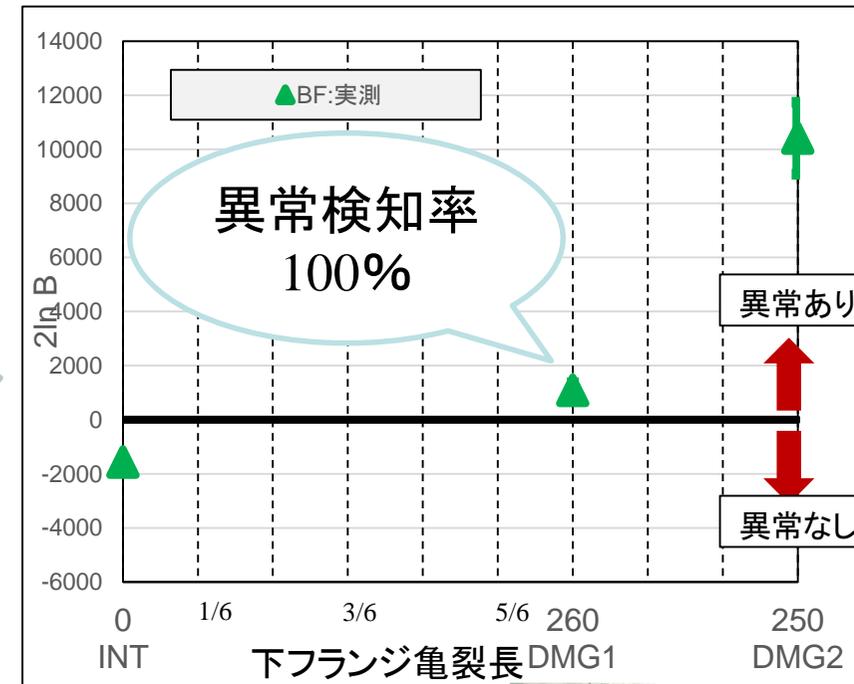


3次モード



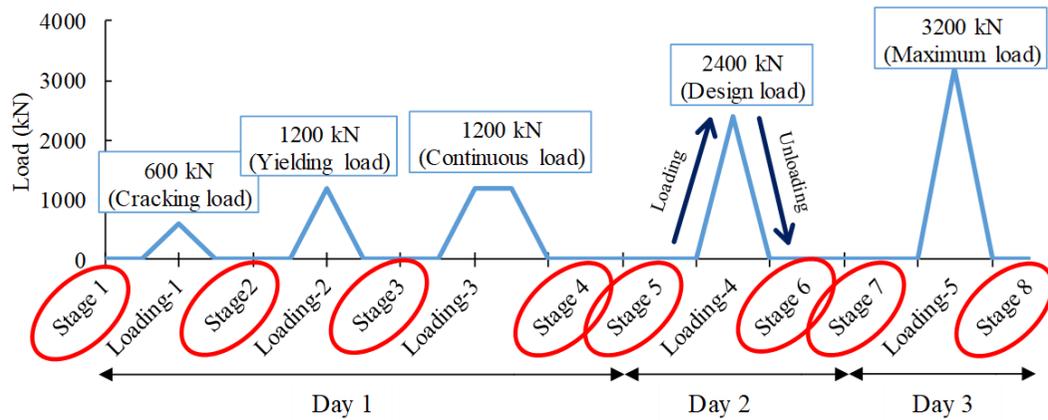
1つの特徴量に集約

新技術SAFE適用結果

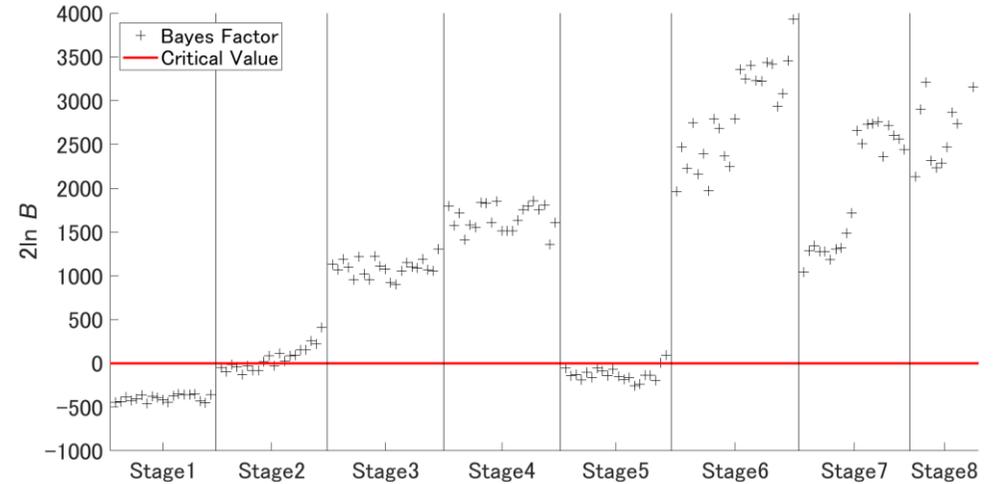


新技術の効果～適用例(コンクリート橋)

供用終了PC橋載荷実験



新技術SAFE適用結果

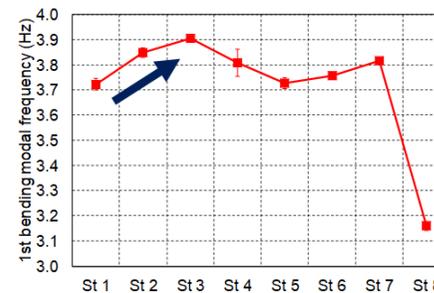


Loading 5

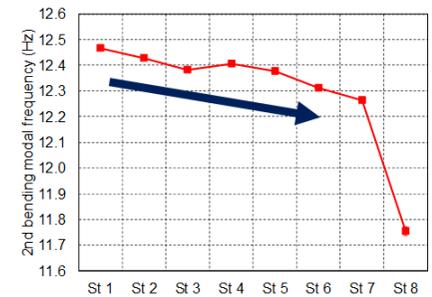


加振時の写真

参考(固有振動数)



1次の振動数推移

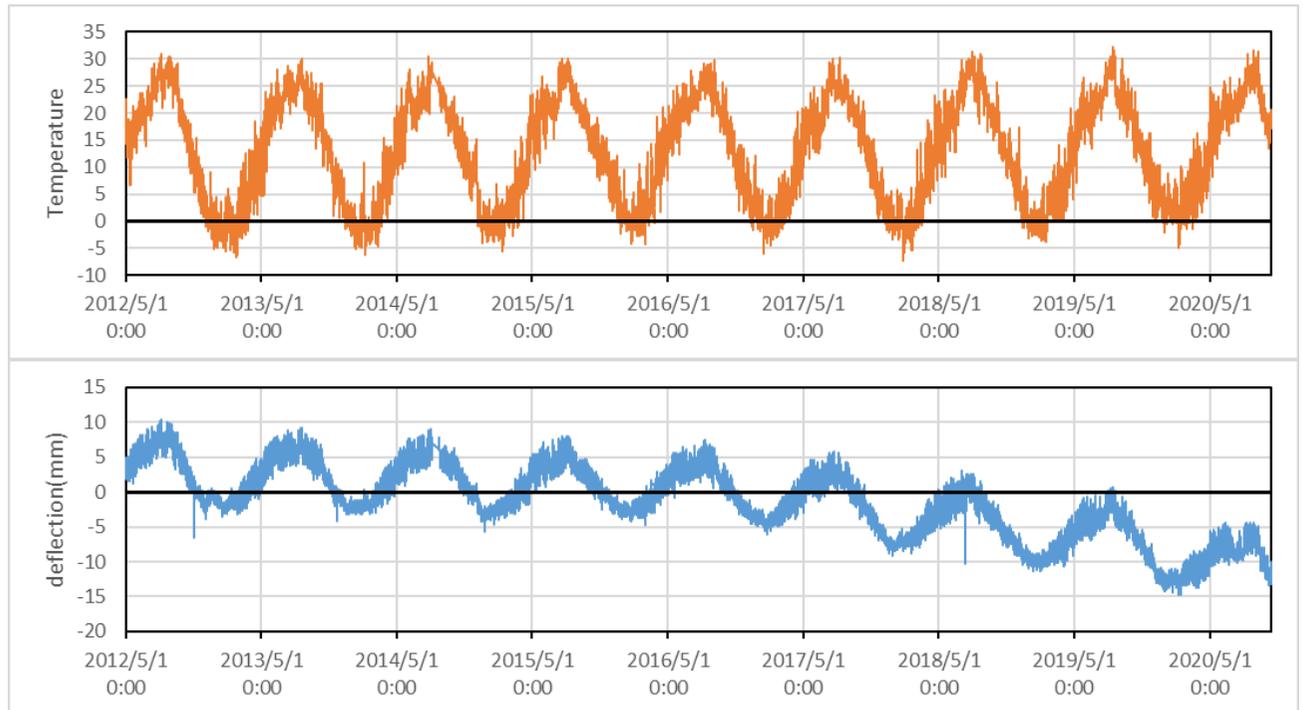


2次の振動数推移

新技術の効果～適用例（供用下の橋梁）



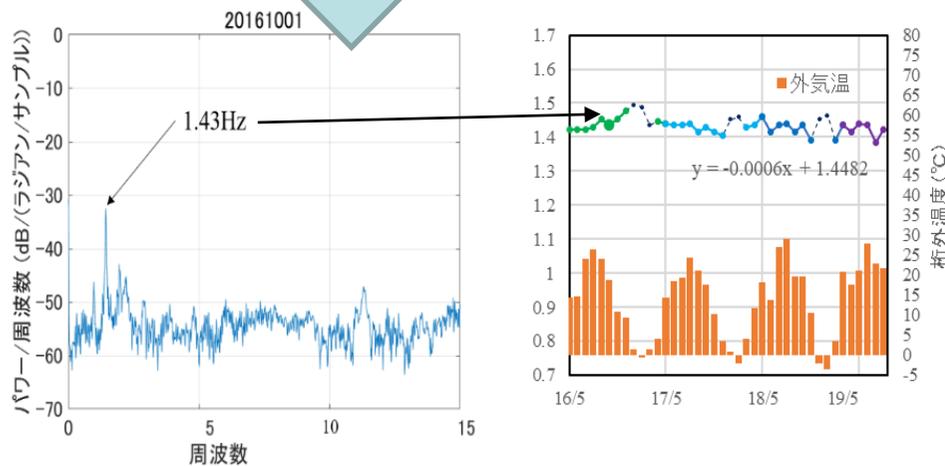
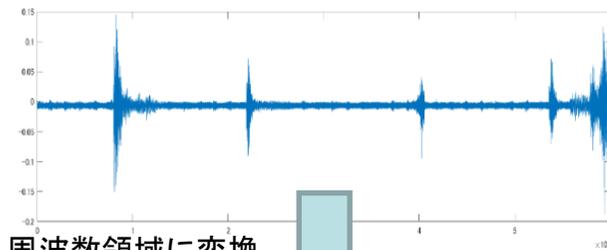
補強対策後、水管を通して中央のたわみ量を計測（下図、上図は外気温）。



新技術の効果～適用例（供用下の橋梁）

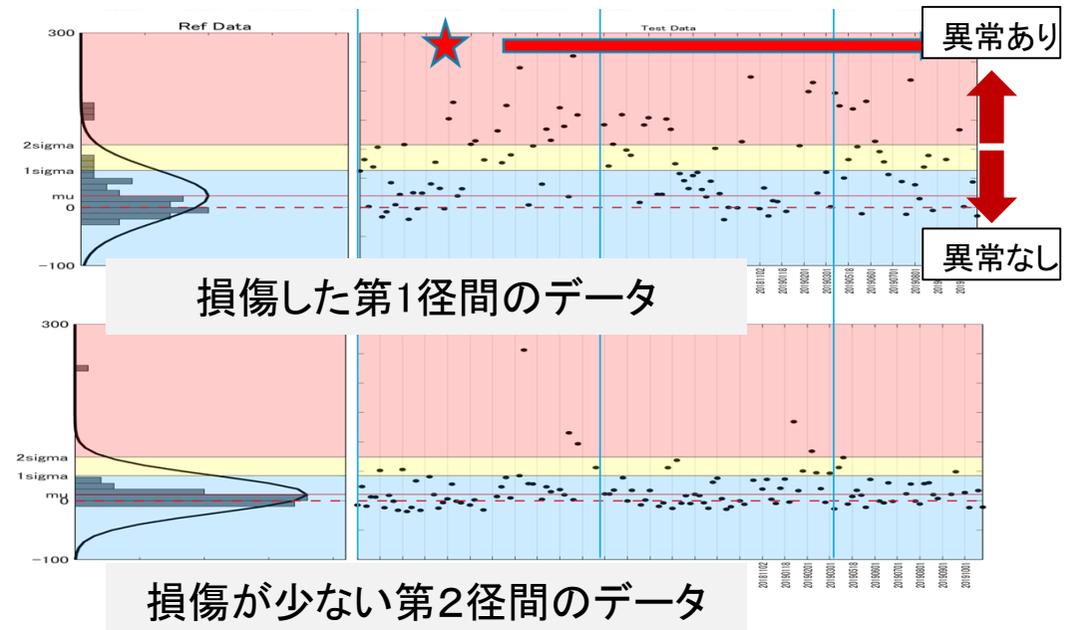
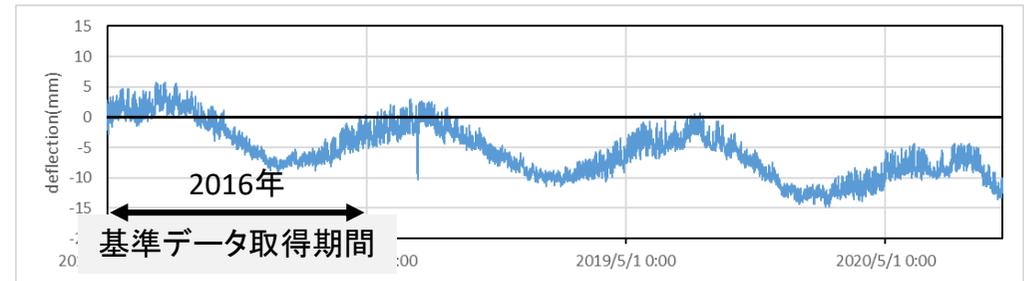
参考（固有振動数）

第1径間5分間計測波形一例



3年で約0.05Hzしか振動数は変化していない

新技術SAFE適用結果



従来技術とその問題点

固有振動数等の変化に着目した構造物の異常検知技術があるが、

- 変化量が小さく計測誤差との判別が困難
- 損傷位置・規模によって変化する振動モードは様々等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない(専門的すぎる)。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 複数のパラメータを1つの特徴量に集約することで微小な変化を大きく見せることに成功した。
- 基準となる状態との変化有無のみ情報を提供するので、複雑な振動解析が不要となった。

想定される用途

橋梁維持管理分野

市場規模

- 主要高速道路会社維持管理費
年間約2000億円
- 国・自治体の維持管理費
年間7000億円(2018年度)
- 鉄道橋についても市場規模は大きい

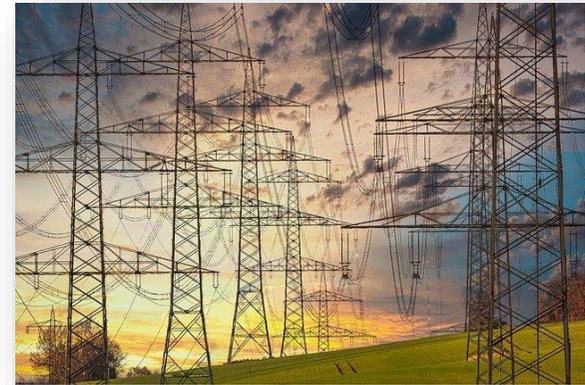


想定される用途

柱状構造物やプラント配管設備などの 異常検知

市場規模

- 送電鉄塔: 全国計23万基(10年に1回の近接目視点検)
- 風力発電塔: 内部モーターの振動を常時モニタリング(躯体の計測は未実施)
- 工場・プラント: 振動ベースの異常検知手法の活用



実用化に向けた課題

- 橋梁などの大規模な社会インフラは、いわゆる臨床データが不足。目視情報と十分な比較ができていない。
 - テストフィールド・新たな計測手法の開発
- 現在大型標識柱について損傷実験データを取得し、条件設定を進めている。
- 実用化に向けて、観測データをクラウド上で解析し、施設管理者に情報提供するIoTシステムの構築も必要である。
- センサ等を設置することによる費用増加への懸念が根強い

企業への期待

社会インフラ評価システムの構築

JST未来社会創造事業

技術的支援

施設管理者としての意見提供やテストフィールドの提供。
他有効な計測技術と新技術との融合検討。
システムのクラウド構築およびその運用。

ベネフィット探索支援

社会インフラ施設に計測＋評価システムを導入する際の費用対効果の検証。

プロモーション支援

「評価」技術の社会的浸透の促進。
協力企業としての参画。

社会実装

VB

社会実装支援

計測評価技術の社会実装への連携・協力体制構築。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 構造物診断システム、構造物診断方法、および構造物診断プログラム
- 出願番号 : 特願2020-154971
- 出願人 : 京都大学
- 発明者 : 金哲佑、五井良直、河邊大剛

産学連携の経歴

- 2020年-2022年4月

京都大学インキュベーションプログラム第7回採択「京都大学のインフラ健全度評価技術を用いた新しいメンテナンスマネジメント」([HP link](#))

- 2021年10月～

JST未来社会創造事業採択 ([HP link](#))

- 2022年4月～

大学発ベンチャー:株式会社日本構造分析舎設立

お問い合わせ先

国立大学法人京都大学内

株式会社TLO京都

京大事業部門 技術移転チーム

TEL 075-753-9150

FAX 075-753-9169

e-mail event@tlo-kyoto.co.jp