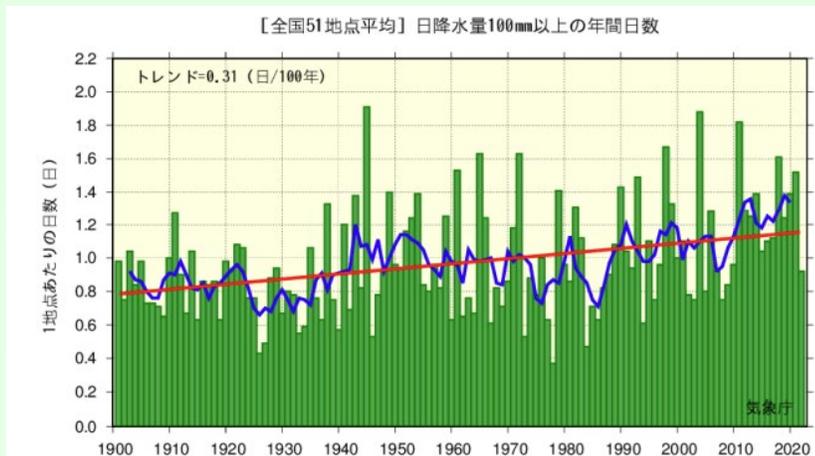


河川橋脚の効率的な健全度判定システムの開発

公益財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部 地盤防災研究室
上席研究員GL 渡邊 諭

研究背景

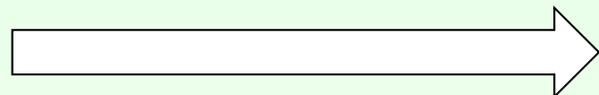
- ・降雨量の増加による降雨災害が激甚化
- ・鉄道では、河川増水による橋脚周辺地盤の洗掘が頻発
- ・橋脚基礎の不安定化、傾斜や沈下、転倒等の被害



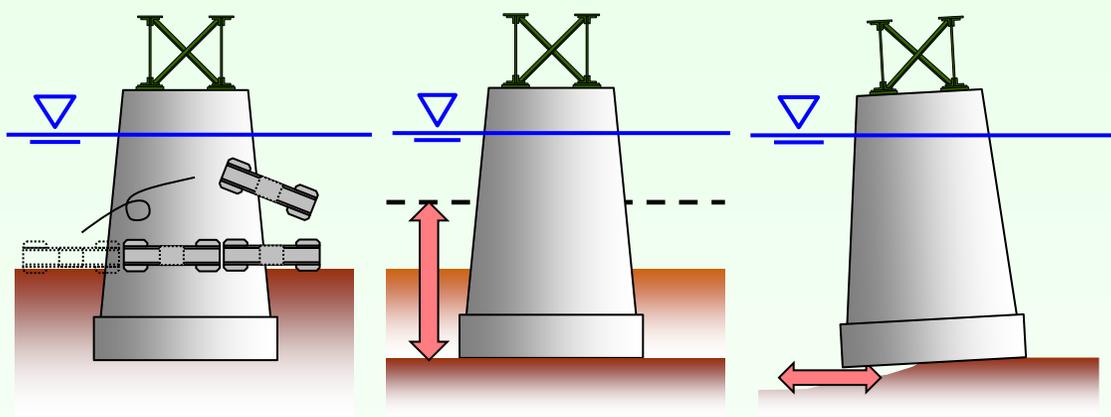
日降水量100mm以上の年間日数の経時変化(1901-2022)
出典:気象庁 気候変動監視レポート2022より抜粋

予兆を検知するために、、、

洗掘・変状の進行



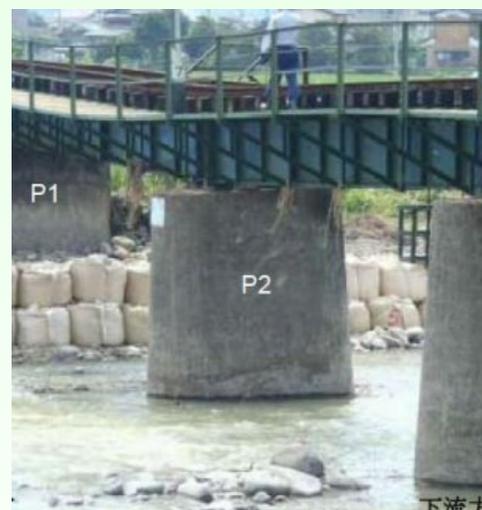
洗掘の進行過程を評価するシステムが必要



防護工の流出

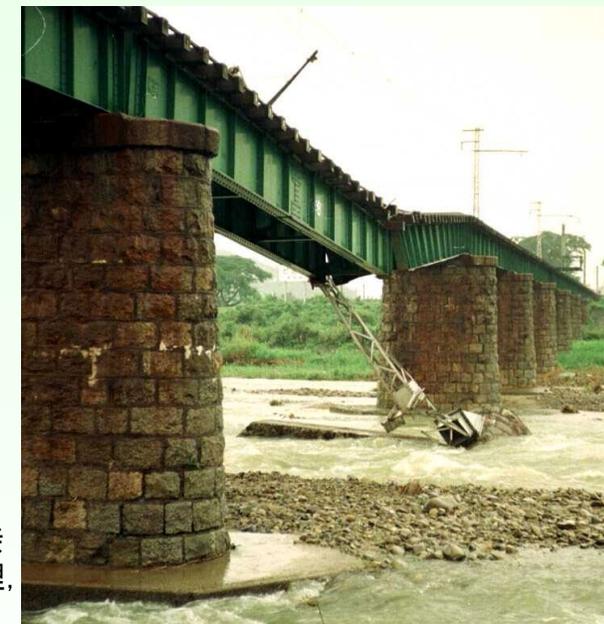
根入れの低下
固有振動数の低下

底面の侵食
固有振動数の低下
橋脚の傾斜・変状



出典:角雄一郎他:洗掘を受けた直接基礎橋脚の応急対策および計測管理, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.

橋脚の傾斜

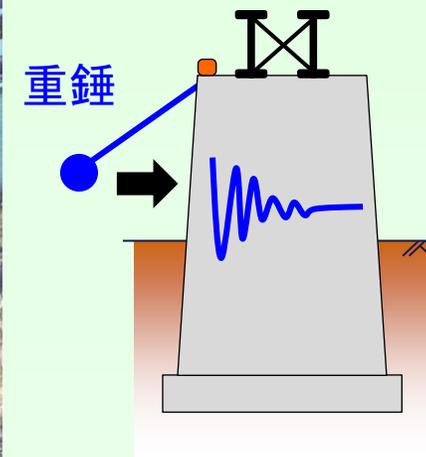


橋脚の流出

研究背景

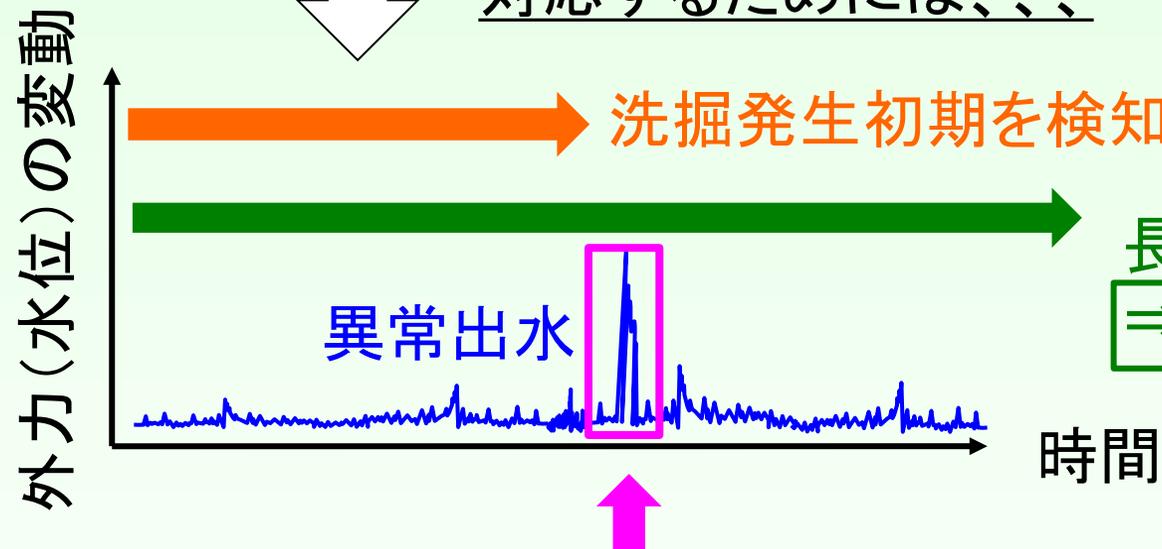
橋脚の健全度を評価する手法 衝撃振動試験

- ・重錘を使用 → 運搬や設置など**労力・作業性**△
- ・打撃が必要 → **常時**モニタリング△
- ・必要性判断 → 増水時は**安全性**から実施しない



衝撃振動試験イメージ

洗掘のしやすさに応じて
対応するためには、...



洗掘発生初期を検知 ⇒ **防護工を監視するシステム(流出検知)**

長期間監視したい橋脚の健全度判定
⇒ **連続計測可能なシステム(常設型)**

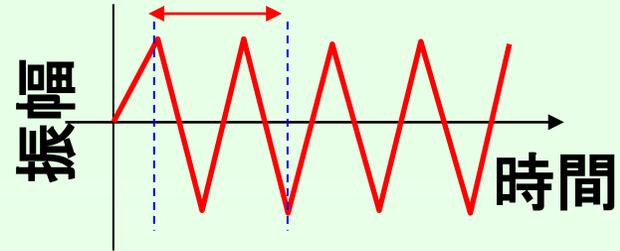
異常出水後に一時的に監視したい橋脚の健全度判定
⇒ **運搬しやすいシステム(可搬型)**

3種類のシステムを開発

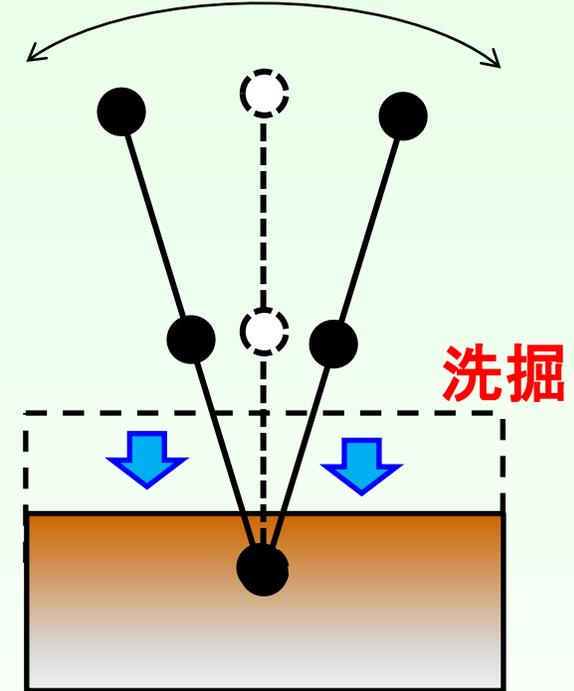
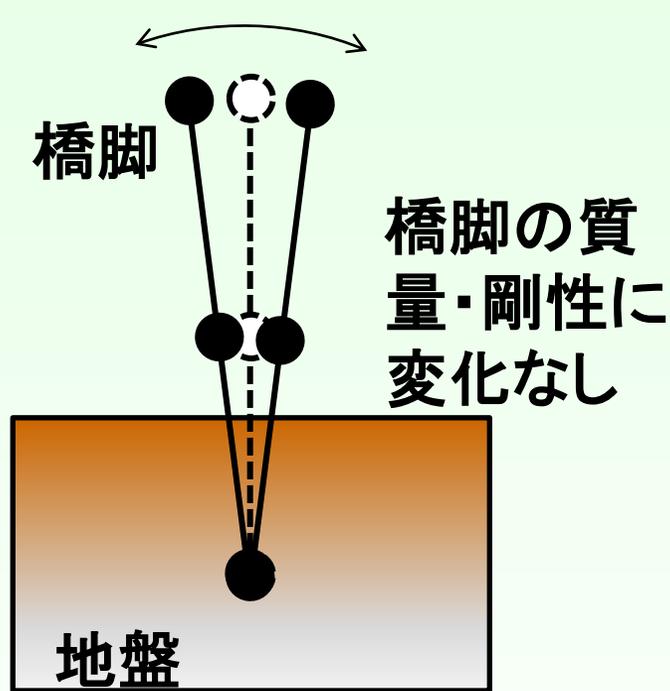
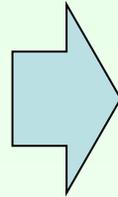
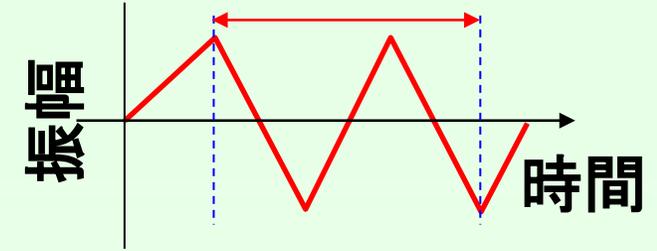
固有振動数による基礎の評価イメージ



早い揺れ＝固有振動数：高



遅い揺れ＝固有振動数：低



安定 ← → 不安定

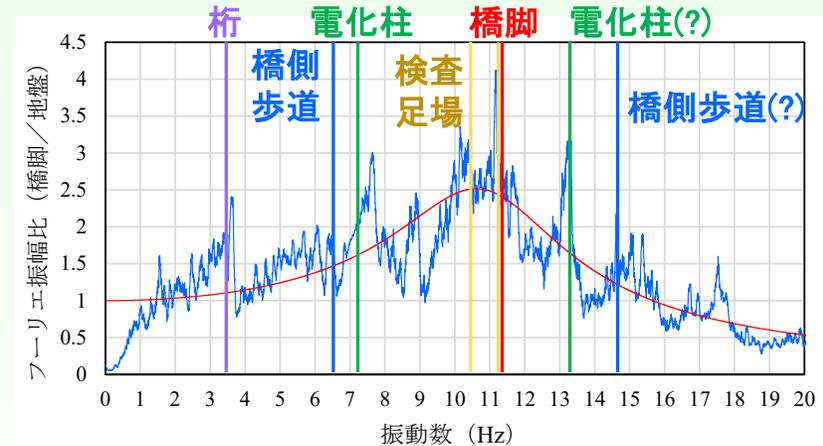
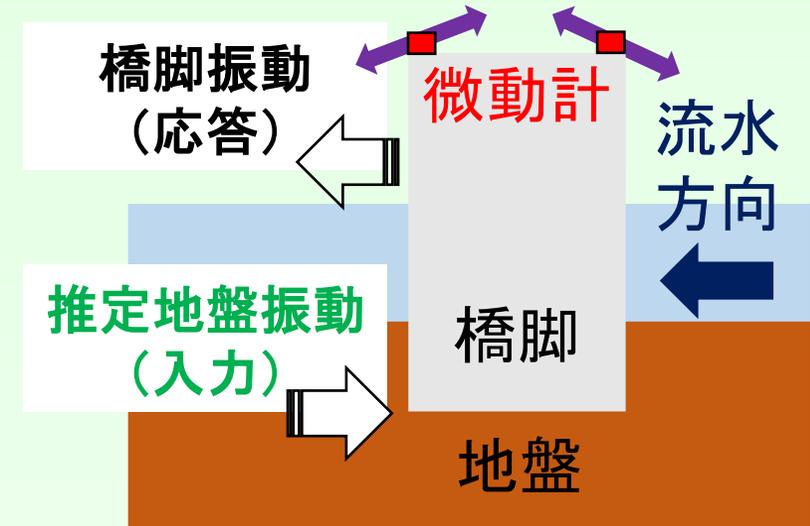
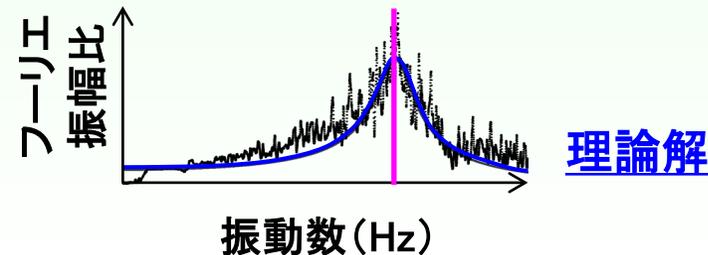
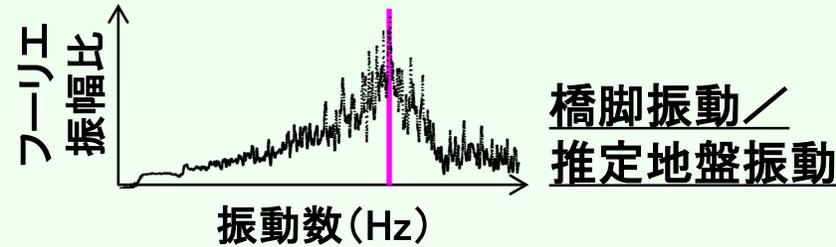
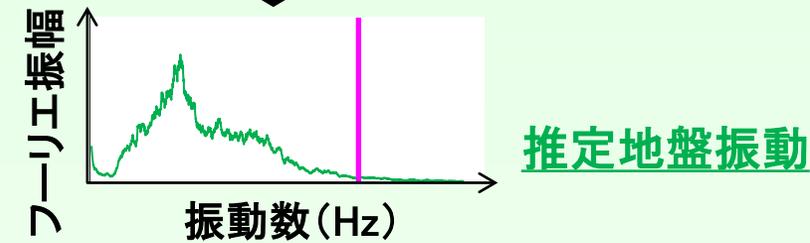
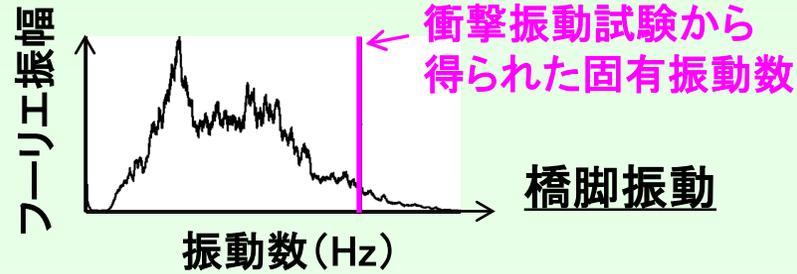
常時微動計測から固有振動数を同定する原理

① 橋脚天端の上下流方両端部における常時微動計測

② 常時微動波形の差分およびセンサ位置の幾何学的関係から地盤振動を推定

③ 橋脚振動を推定した地盤振動で除しフーリエ振幅比を算出

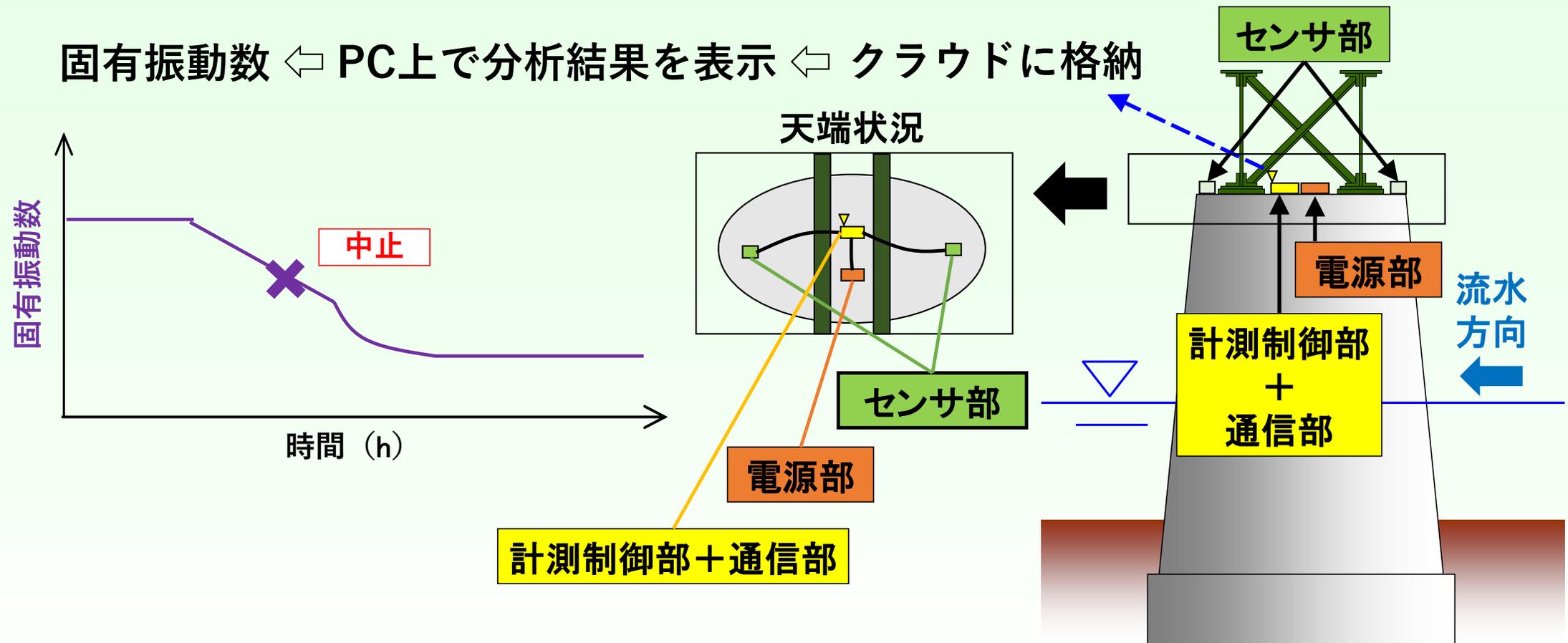
④ 算出したフーリエ振幅比を理論解で曲線回帰させることで固有振動数を推定



フィッティングの例

常設型微動計測システム 運用イメージ

- 増水前後・通常時の橋脚基礎の健全度を連続モニタリングする常設型
- 橋脚天端両端部に設置した微動計から固有振動数を推定する手法を実装
- 通信機能を有し、遠隔地から計測・分析データの確認が可能



常設型微動計測システム システム概要



アンテナは躯体の上部に設置



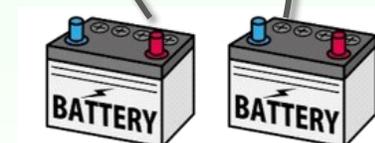
常時微動センサ



計測制御部(内部)



計測制御部(前面)

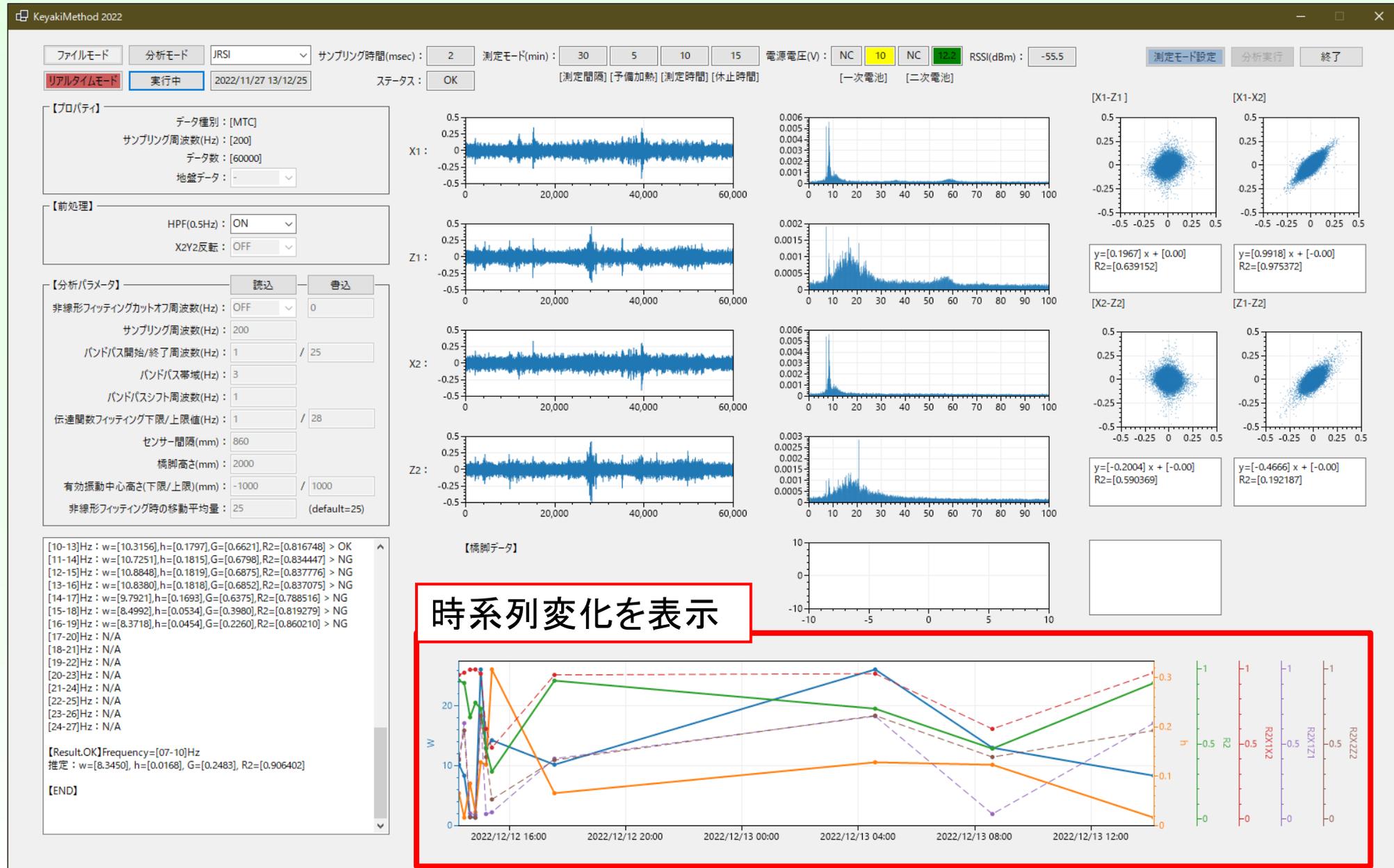


電源部

アルカリ電池

リチウムイオン電池

常設型微動計測システム 計測制御画面の例



時系列変化を表示

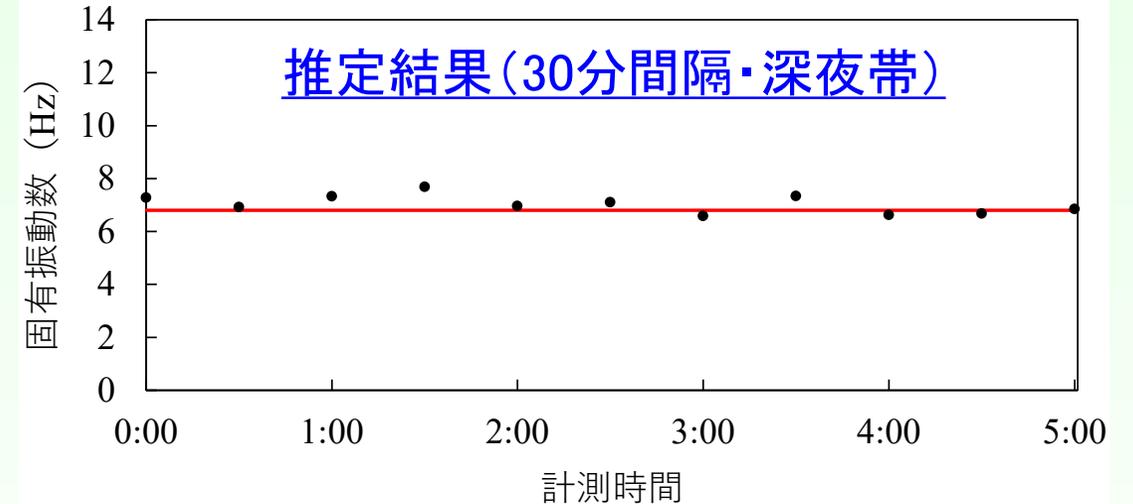
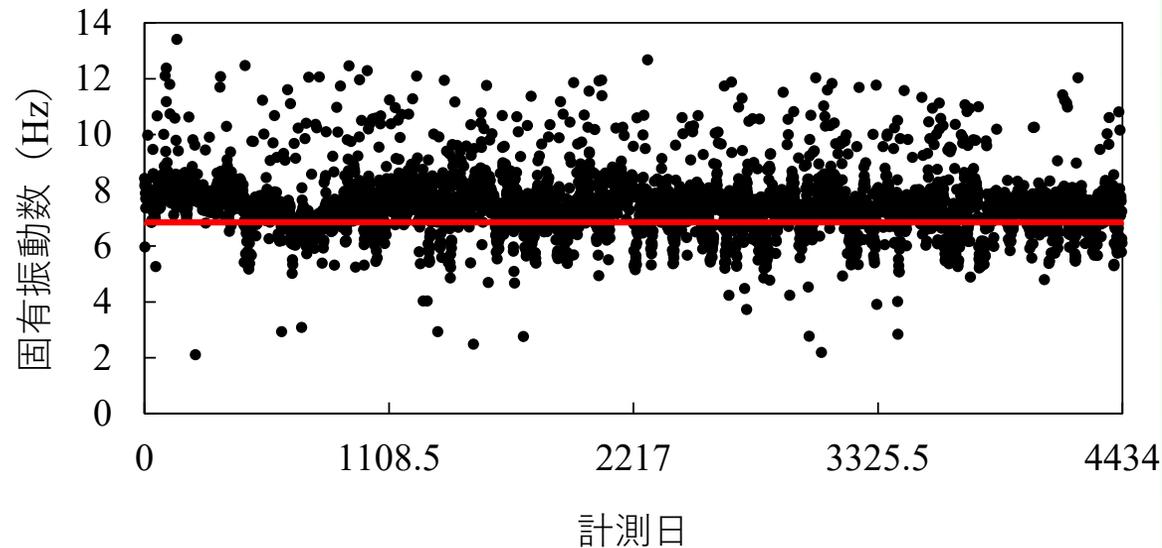
■ 常設型微動計測システム 計測結果の例

- ・当該システム試作版(通信機能なし)による長期計測結果の事例を参考として紹介

基礎形式	直接基礎
形状	円形
高さ	約21m
衝撃振動試験	6.8Hz

計測条件

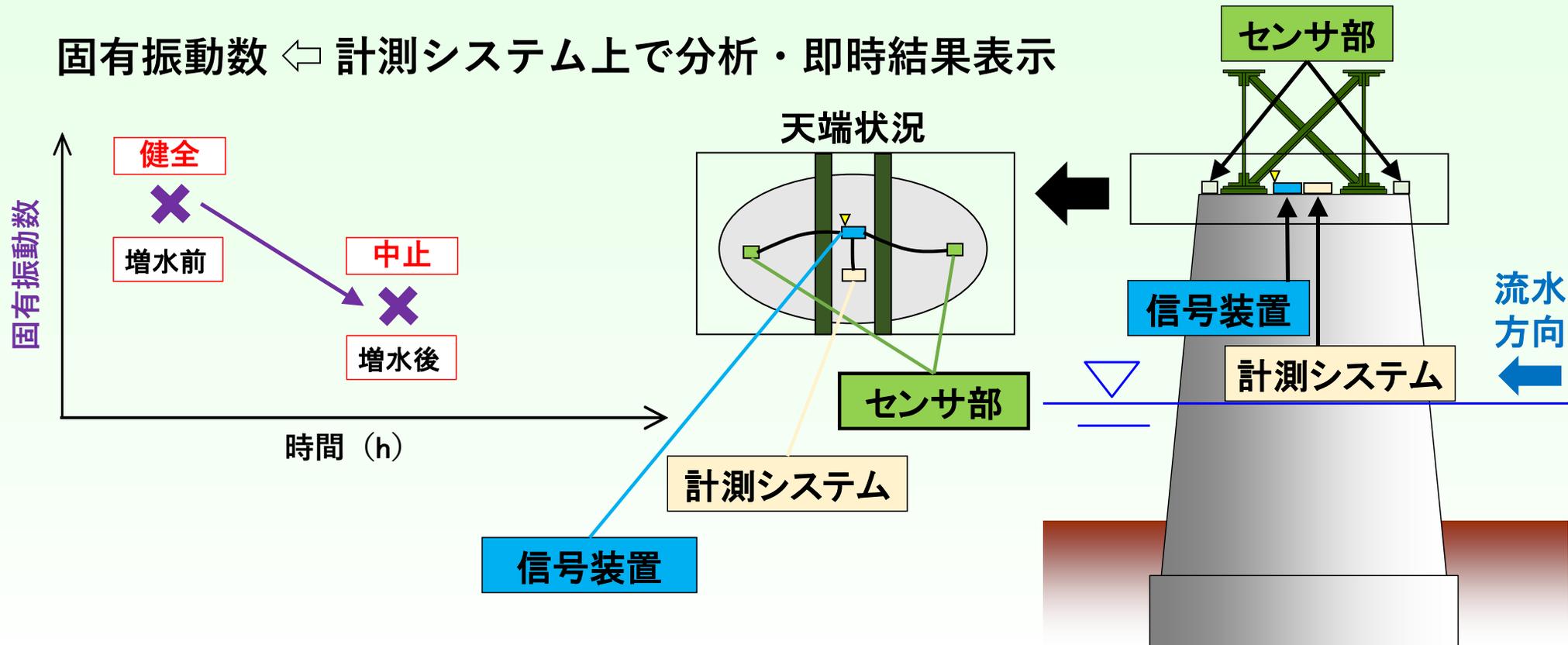
- ・分析対象: 2021年10月7日～2022年1月7日の3ヶ月
- ・計測頻度: 30分に1回(エラーデータは除く)
- ・計測時間: 5分
- ・サンプリング周波数: 200Hz



- ・固有振動数: 6.8Hzに集中した同定結果を取得
- ・列車の影響がない深夜帯ではさらに高精度の結果

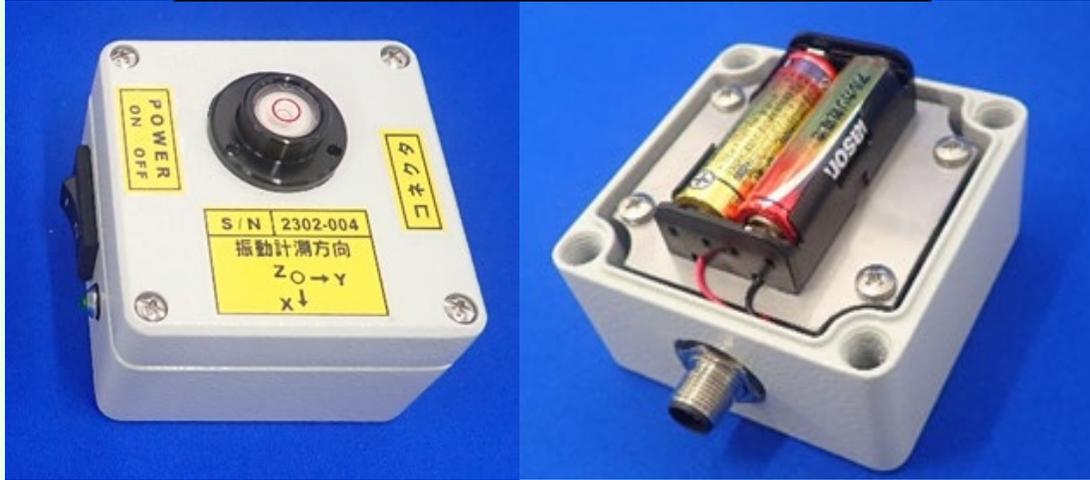
可搬型微動計測システム 運用イメージ

- 増水中に橋脚基礎の健全度を一時的にモニタリングする可搬型
- 橋脚天端両端部に設置した微動計から固有振動数を推定する手法を実装
- 広く普及している衝撃振動試験装置 (IMPACT) の追加機能として、鉄道事業者の初期導入コストを圧縮



可搬型微動計測システム システム概要

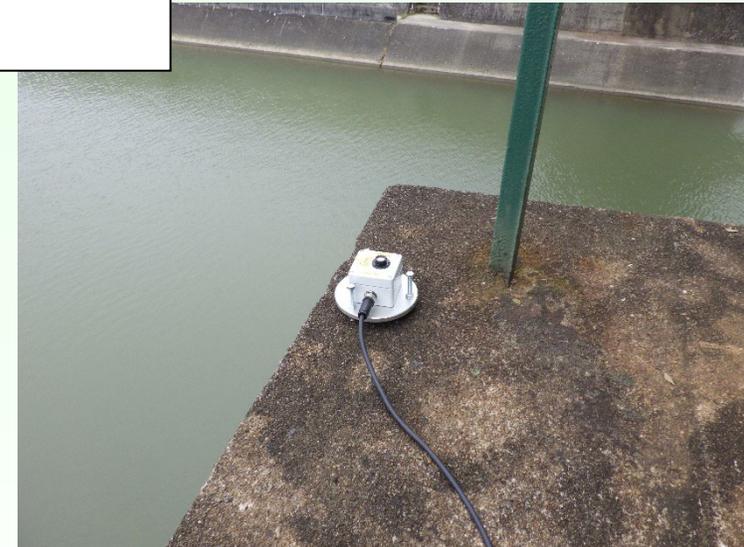
センサ部(単三電池内蔵)



信号装置



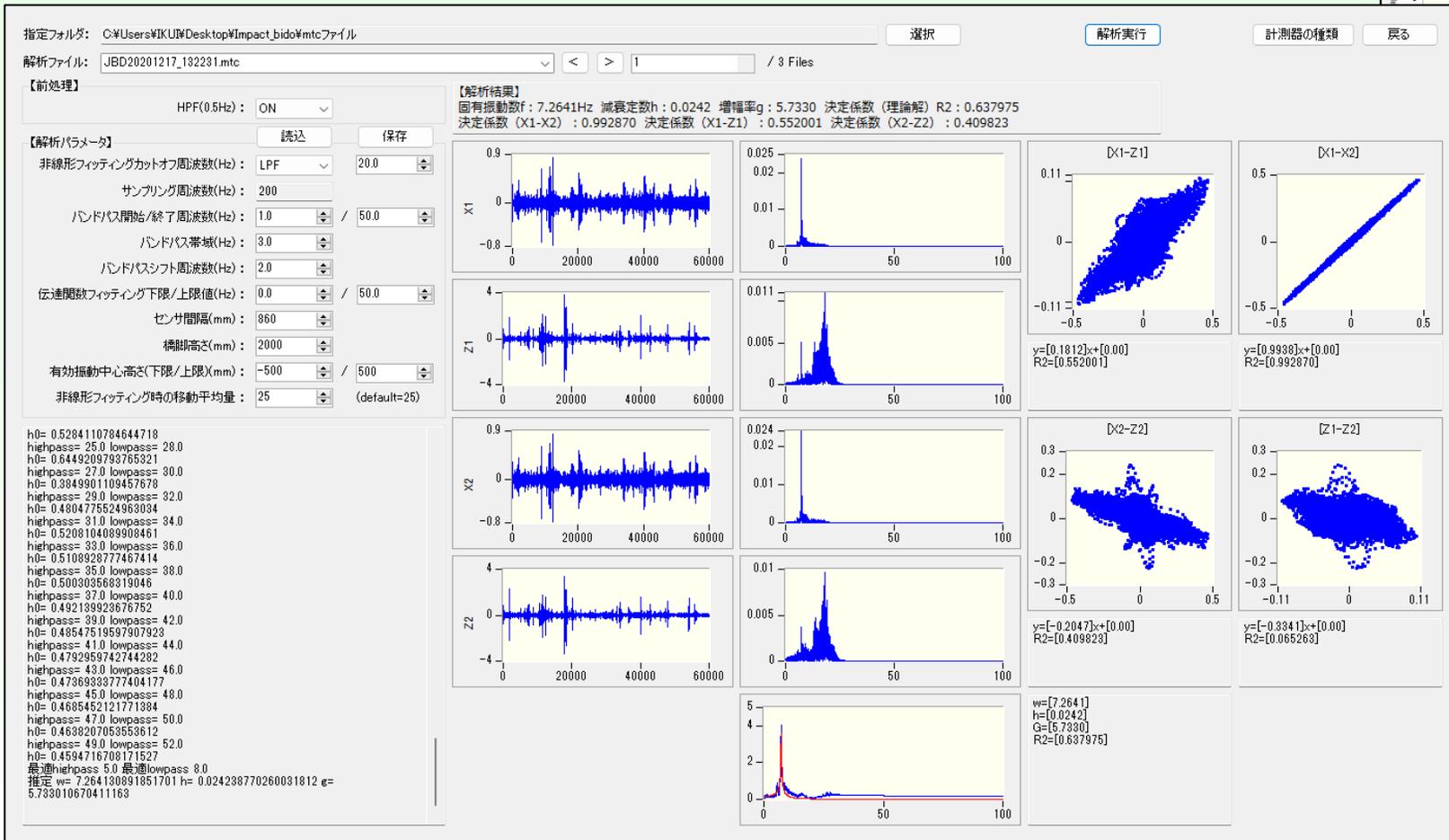
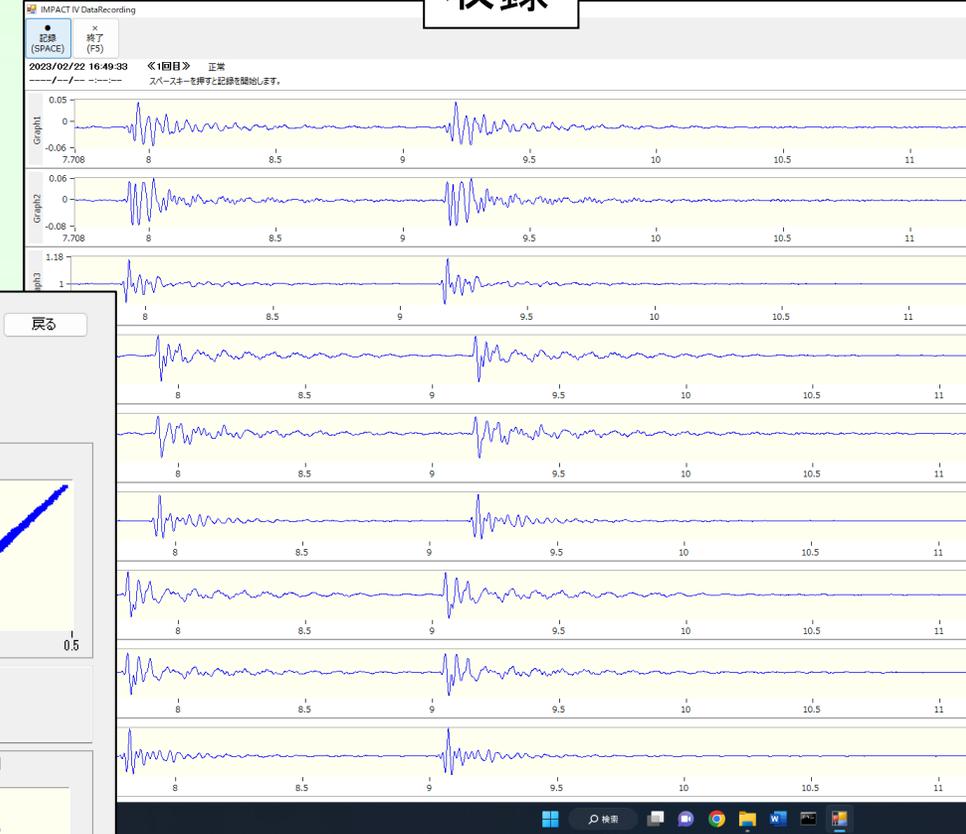
センサ設置, 計測イメージ



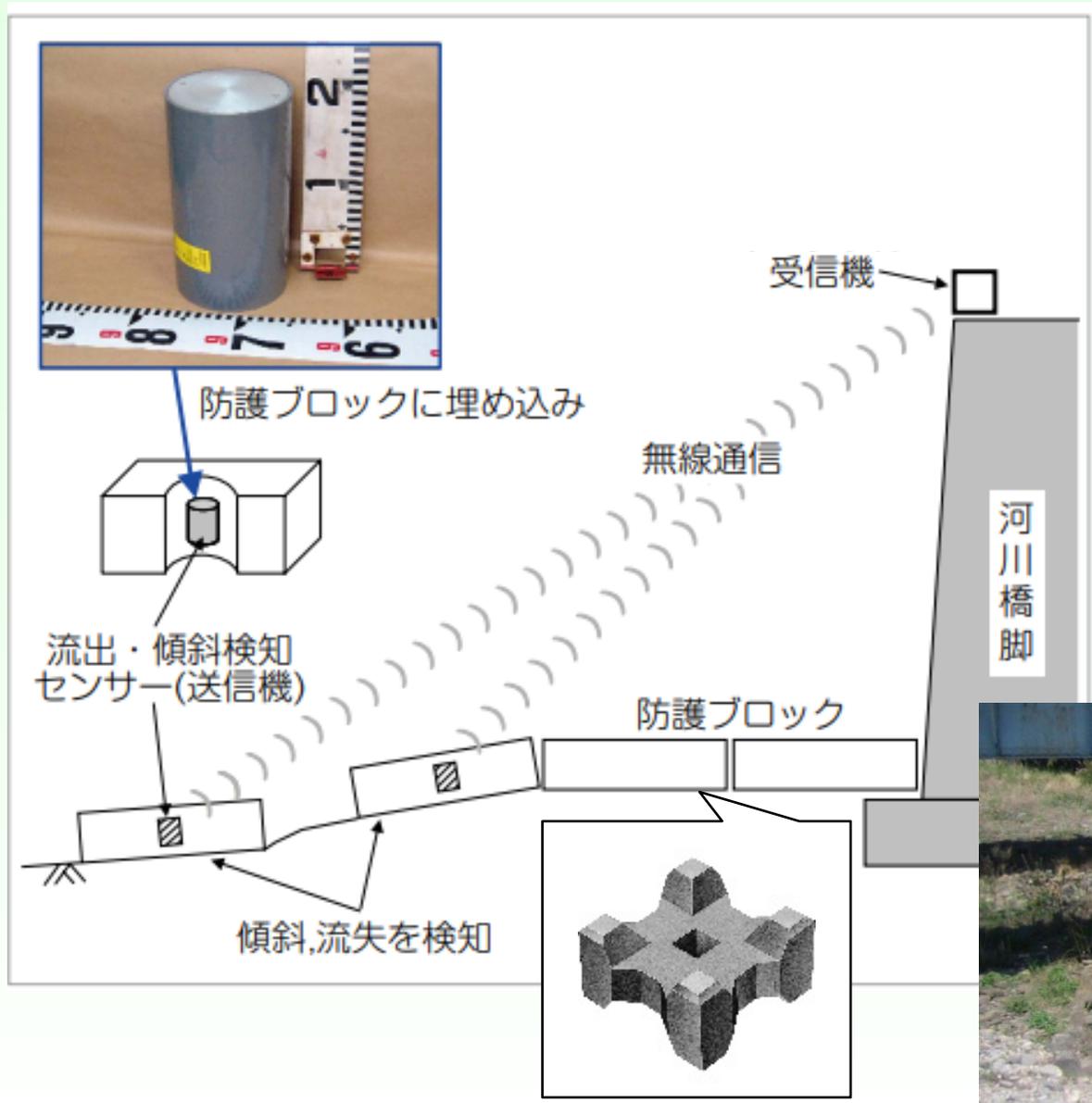
可搬型微動計測システム 計測制御画面の例

収録

➤ 収録波形，分析結果ともに現地で確認可能



■ 流失検知システムの計測原理

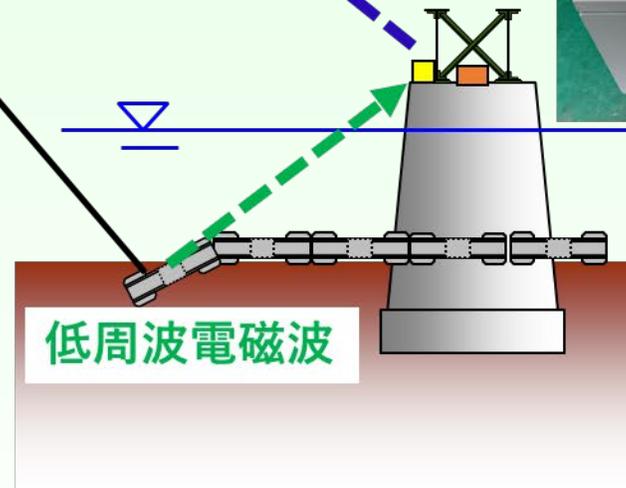
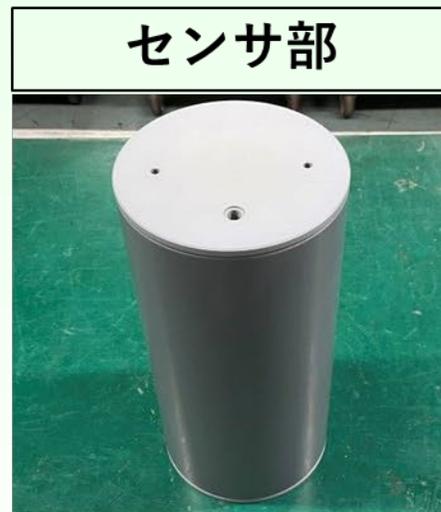
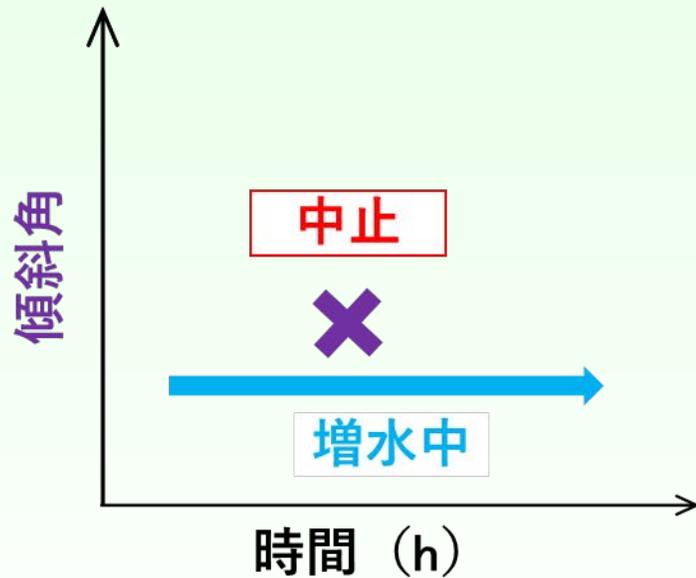


- 送信機から傾斜の情報を一定間隔で受信機に送信
- 閾値の超過を判定することで変状・流失を検知
- 低周波無線通信により土中・水中でも送受信が可能

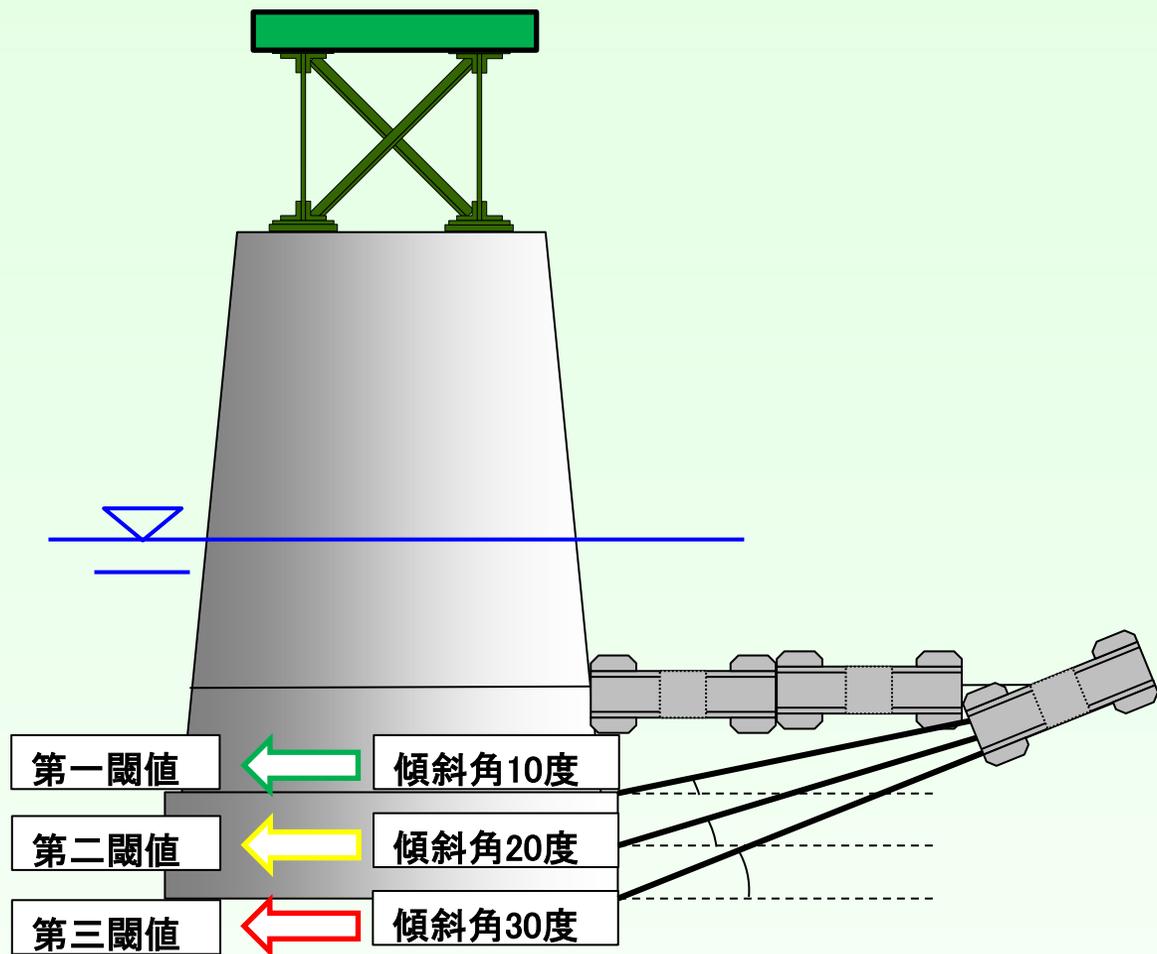
流出検知システム 運用イメージ

- 橋脚基礎周辺の洗掘の前駆現象を検知可能
- 目視確認が困難な増水中の防護工の傾斜や変状を把握
- 防護ブロック以外にも低水護岸ブロックや蛇籠などに埋設することも可能

傾斜角 ← クラウドで確認 ←--- データ格納部



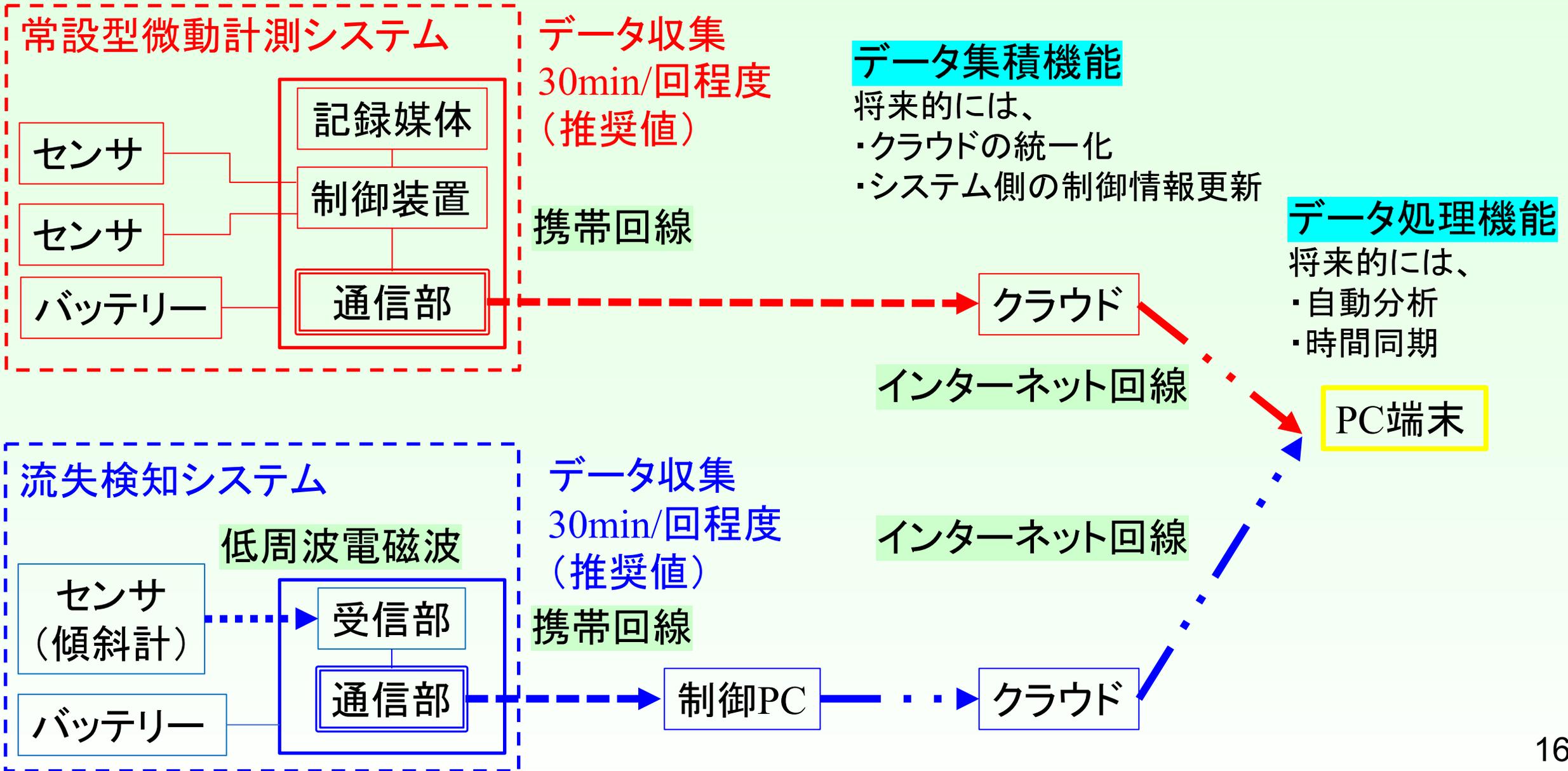
流出検知システム 対象イメージ



複数の閾値を設定することも可能
※数値は暫定

出典：国土交通省「鉄道基礎・抗土圧構造物の
維持管理の手引」2023

健全度評価システムのデータ連携イメージ



■ まとめ

1) 常設型微動計測システムを開発

⇒ 増水前後・通常期の連続的な固有振動数の変化を把握可能

2) 可搬型微動計測システムを開発

⇒ インパクトシステムの追加機能で増水中に一時的なモニタリングが可能

3) 洗掘防護工の流出検知システムを開発

⇒ 洗掘発生の前駆現象から橋脚基礎の根入れ低下初期をモニタリング可能

4) 上記システムを用いた河川橋脚の健全度評価方法を提案

⇒ 運転規制の適正化(規制解除の判断支援)、検査の効率化・省力化

📄 今後の展開

➤ 計測実績の蓄積

⇒本テーマで開発したシステム(常設型、可搬型、流出検知システム)を用いた現地試験により、システムの稼働状況を検証

➤ 常設型・可搬型微動計測システムの製品化

⇒インパクトシステムの追加機能として、鉄道事業者への試験的導入を検討

⇒微動計測システムを用いた鉄道事業者への技術指導に成果を利用

➤ 新たな橋脚基礎の状態監視手法を提案予定

⇒上記システムの低コスト化により、橋脚の健全度評価システムを用いた効率的な状態監視手法の提案を検討