

第17回新都市社会技術セミナー  
令和2年9月28日



# 長大橋の観測データの活用による 維持管理支援システムの検討

京都大学大学院工学研究科  
金 哲佑

# 目次

---

- 研究背景
- 実施内容
  - ケーブル構造を有する特殊橋の劣化特性や実態調査
  - ケーブル構造を有する特殊橋モニタリングの実態調査
  - 長期計測データ分析向けのデータ解析手法の整備
  - 長期計測データにおける季節変動の調査
- まとめ

# 研究背景

## ケーブルを有する長大橋の維持管理における課題

- 全てのケーブルを対象とした点検とモニタリングの難しさ
- 体系化された維持管理指針やモニタリング手法の不在
- 自治体の長大橋管理を支援できる点検・モニタリング情報がほぼない。

## 本PJが目指すところ

- 特殊橋の維持管理に有効活用できるようにフィードバック：  
→ 例えば、自治体のニーズを考慮した点検マニュアルの役割を果たす資料

## 本PJの研究内容

- ケーブル構造を有する特殊橋の劣化特性や実態調査：  
橋梁形式と損傷，損傷と構造物挙動，構造物挙動と季節変動について検討  
→ 「何を点検・モニタリングすべきなのか」，「どこを点検・モニタリングすべきなのか」  
→ 「モニタリングを可能にするための，必要なセンサ，特徴量，評価法は？」  
} を明らかに
- ケーブル構造を有する特殊橋モニタリングの実態調査：  
→ 長大橋モニタリングの現場調査：モニタリングの可能性および限界を把握

# ケーブル構造を有する特殊橋の劣化特性や実態調査

自治体へのヒアリング：姫路河川国道，奈良県，和歌山県，京都府など，14自治体等に聞き取り

## 【全般】

- ① 不可視部の調査をいつ，どのような方法で実施することが適切であるのか，その基準や運用の確立が課題.
- ② 単純桁橋であれば同種・同規模の橋梁と比較することで，劣化や損傷の程度を比較・判断することができるが，**比較対象となるような橋梁が少ない特殊橋**においては，その判断が難しく苦慮している.

## 【吊り橋】

- ① どの部材のどのような損傷がどの**判定区分**なのか**判断が難しい**.
- ② **防食テープが巻かれたケーブル**については，近接目視だけではテープ内部の状態を把握することは困難.
- ③ 歩行者用吊橋の技術基準(小規模吊橋指針)が昭和59年から更新されていない. 重要な**メインケーブルの定着部およびケーブル全体の健全性判断**が数値によるものではなく，**経験上のもの**となってしまう.

## 【斜張橋】

- ① ケーブルや支承等の主要部材の詳細調査を実施する必要性の有無について判断が難しい.
- ② ケーブル不可視部の点検及び診断精度が課題.
- ③ PCケーブルのグラウト調査及び修繕.
- ④ PCケーブルの制振装置破損部分の交換にかかる材料の選定.
- ⑤ ケーブルの定着部は，橋梁が建設された年代での技術が用いられており，防食材(塗膜・カバ等)の形状もさまざまな技術. 橋梁別に製作されている構造を理解して，構造に合わせて定期点検や詳細調査においてさまざまな特殊機器から選定する必要がある.

# ケーブル構造を有する特殊橋の劣化特性や実態調査

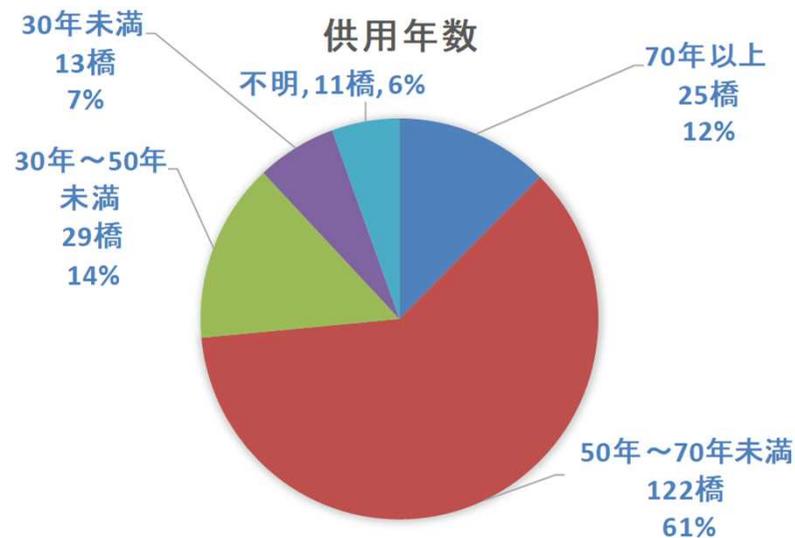
## 供用年数や損傷判定区分について実態調査：吊り橋

### 架橋状況

- 管内の吊り橋：全200橋架橋
- 和歌山県：全体の約70%（132橋）
- 地形状況の厳しい府県に架橋

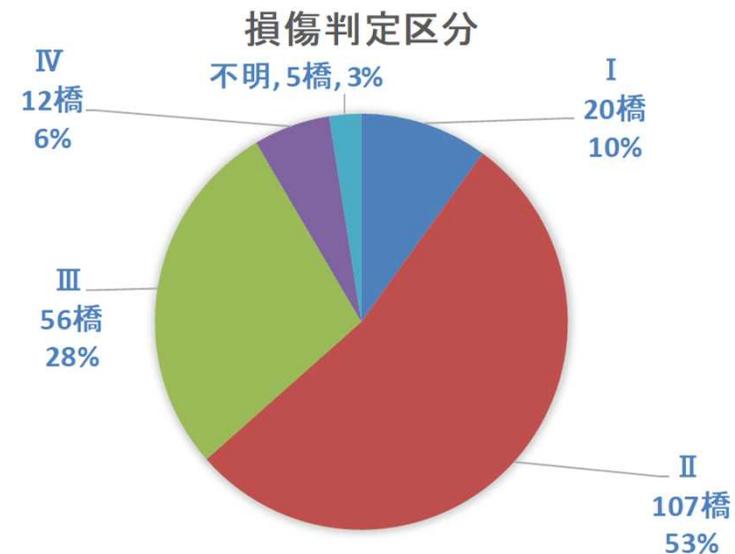
### 供用年数

- 大半は架橋50年以上経過
- 50年以上経過：全体の約75%



### 損傷状況

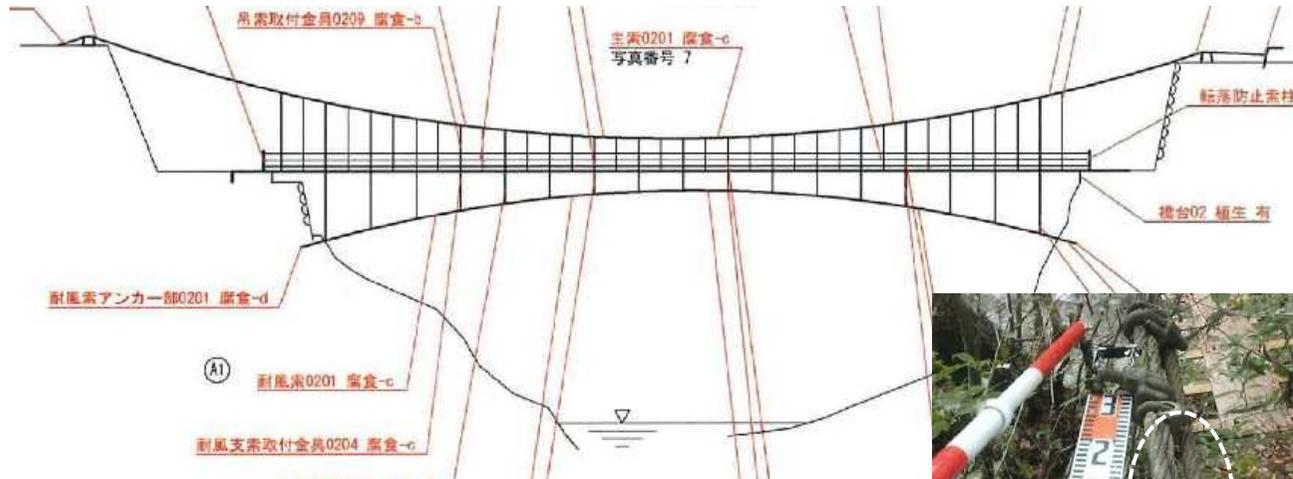
- 主にケーブルに関わる損傷：主索および吊索の破断・腐食
  - ⅢおよびⅣの損傷<sup>†</sup>：全体の約35%
- (<sup>†</sup>Ⅲ・Ⅳの損傷：何らかの対策が必要)



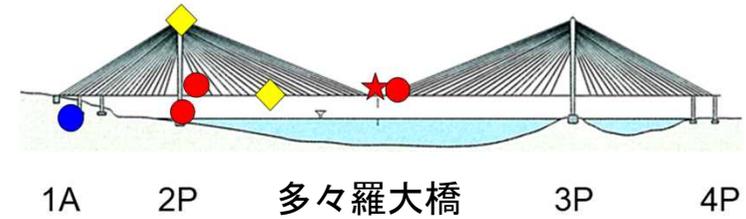
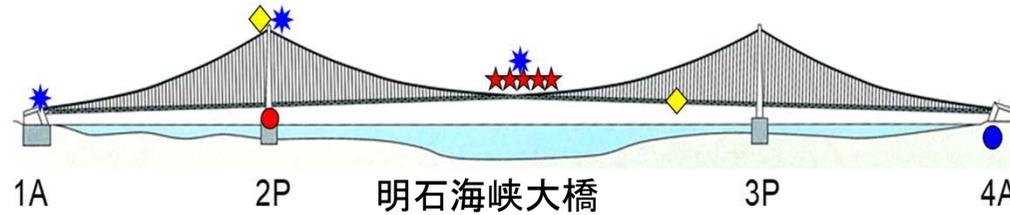
# ケーブル構造を有する特殊橋の劣化特性や実態調査

点検例

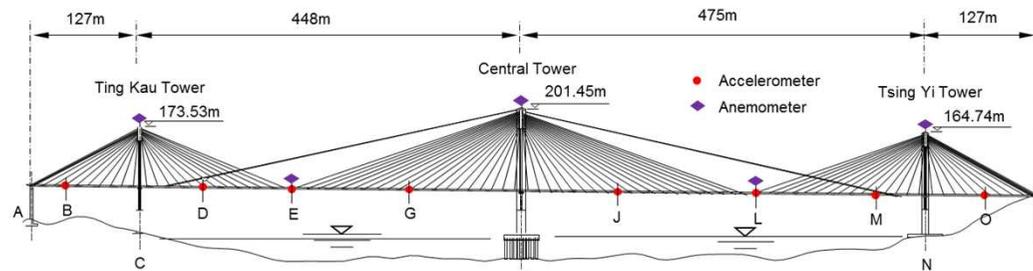
橋梁の諸元に関する調査項目							老朽化対策に関する調査項目		
施設名	路線		架設年度	橋長(m)	幅員(m)	管理者名	点検記録		所見等
橋名	路線名	道路種別					点検実施	判定区分	
W橋	-	市町村道	1942	32.6	0.6	-	H27.12	IV	主索, 耐風索の腐食が進んでおり, 主索には断線が見られる.



# ケーブル構造を有する特殊橋モニタリングの実態調査



★ : 風速計 ● : 地震計 ◆ : 速度計 ● : 加速度計 ★ : GPS



Ting Kau橋(香港)

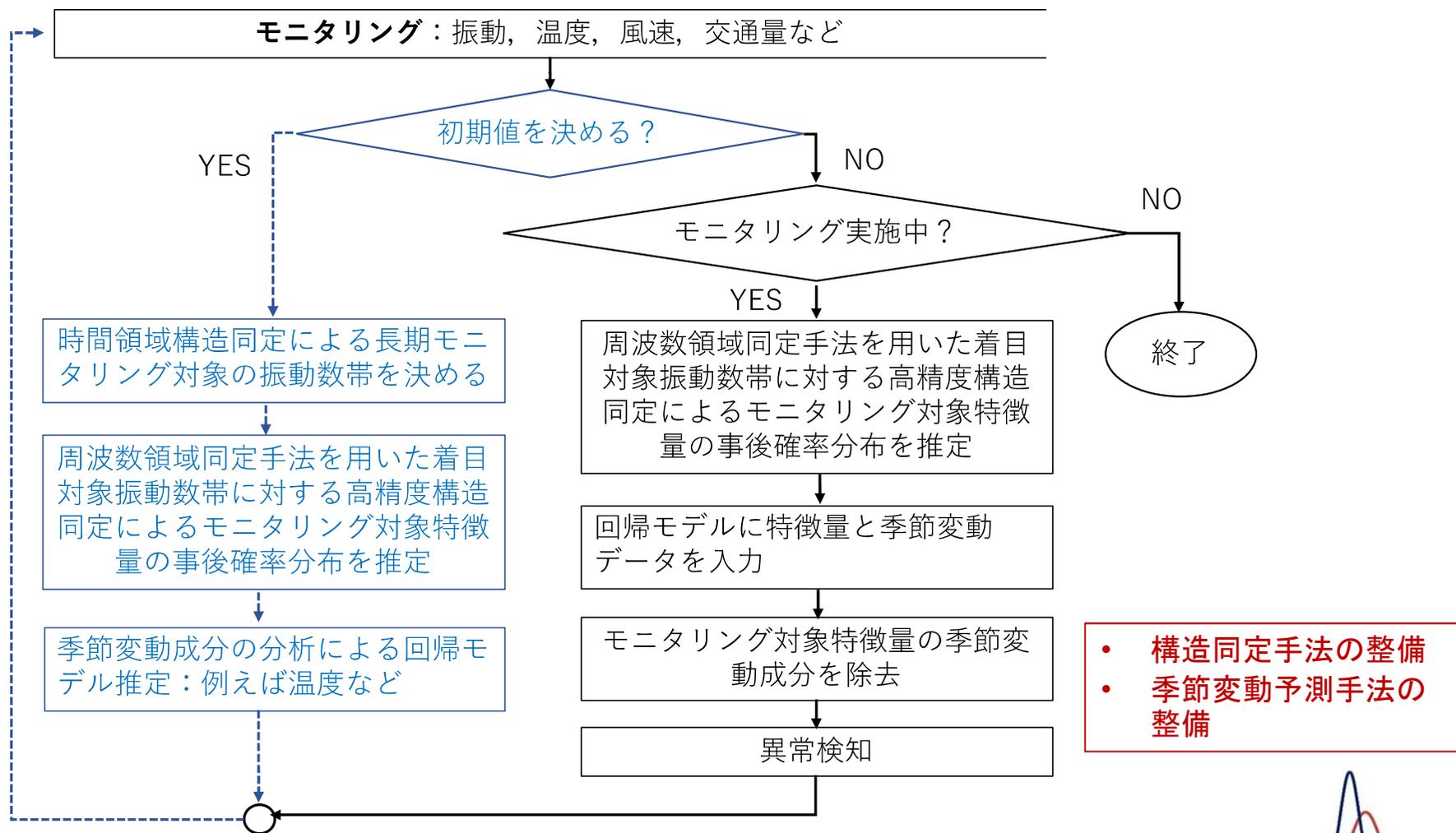
大鳴門橋;  
Tsing Ma橋(香港);  
etc.

- 本四高速: 強風・地震時の橋の挙動把握が主な目的
  - 諸外国(香港): ヘルスモニタリングの目的で多量のセンサシステムを導入(試験的で研究目的)
- いずれも橋体の挙動モニタリングが主なターゲット



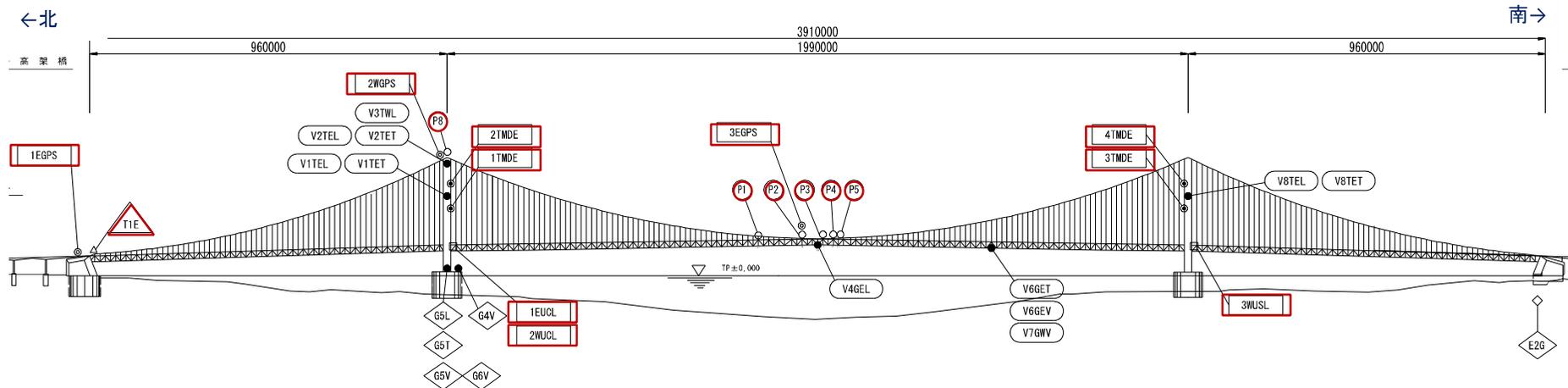
# 長大橋の長期計測データ分析向けのデータ解析手法の整備

## 季節変動を考慮した長期常時モニタリング（振動特性・ケーブル張力）の概念



# 長期計測データにおける季節変動の調査

## 例1: 明石海峡大橋



風向風速計

中央径間中央付近										2P塔頂	
風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速
deg.	m/s	deg.	m/s	deg.	m/s	deg.	m/s	deg.	m/s	deg.	m/s
P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P8	P8
(WD)	(WV)	(WD)	(WV)	(WD)	(WV)	(WD)	(WV)	(WD)	(WV)	(WD)	(WV)

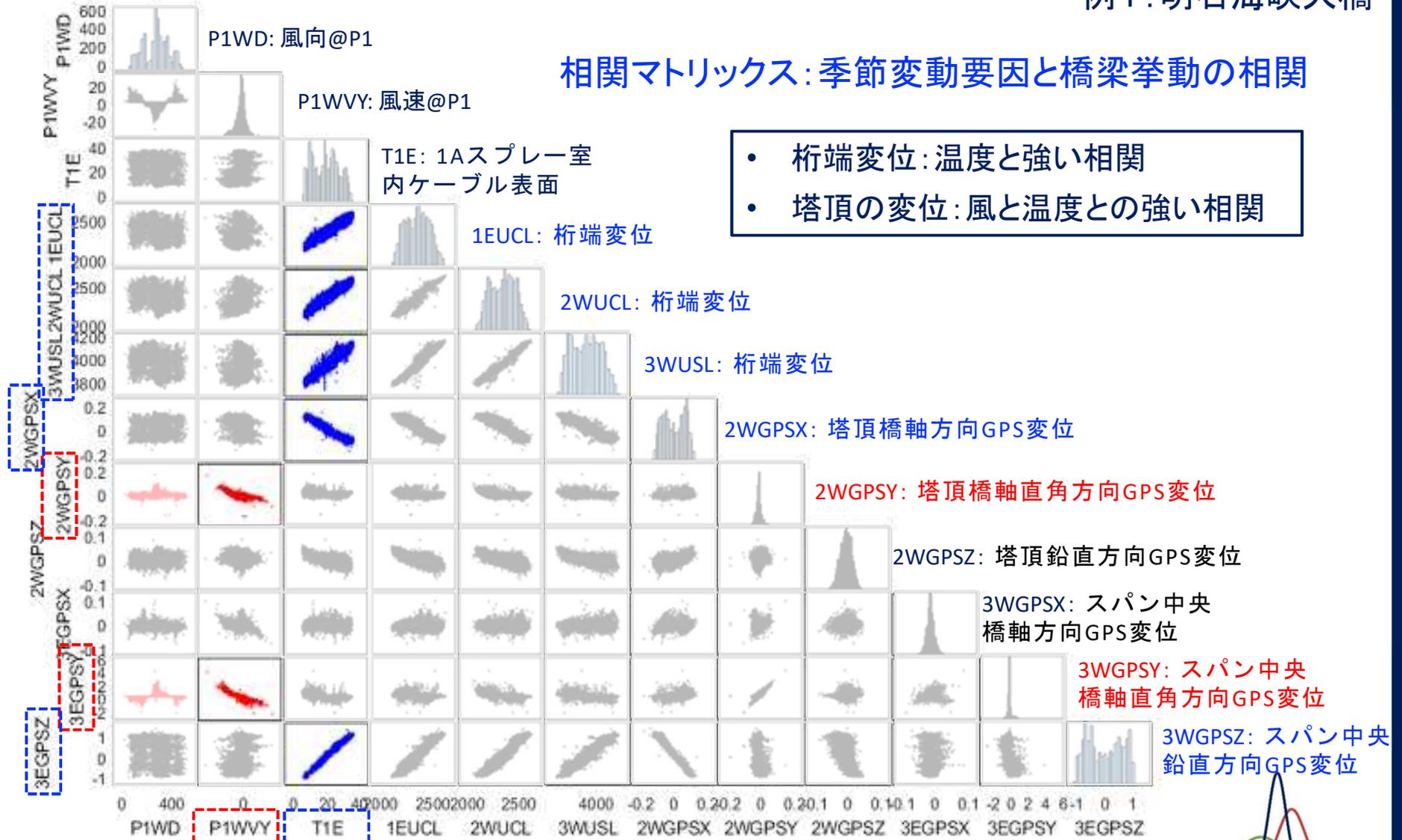
桁端変位			温度	GPS					
橋軸	橋軸	橋軸	1Aスプレー室内ケーブル表面	2P塔頂			中央径間中央		
μm	μm	μm	°C	橋軸	橋直	鉛直	橋軸	橋直	鉛直
1EUCL	2WUCL	3WUSL	T1E	2WGPS (X)	2WGPS (Y)	2WGPS (Z)	3EGPS (X)	3EGPS (Y)	3EGPS (Z)

# 長期計測データにおける季節変動の調査

例1: 明石海峡大橋

## 相関マトリックス: 季節変動要因と橋梁挙動の相関

- 桁端変位: 温度と強い相関
- 塔頂の変位: 風と温度との強い相関

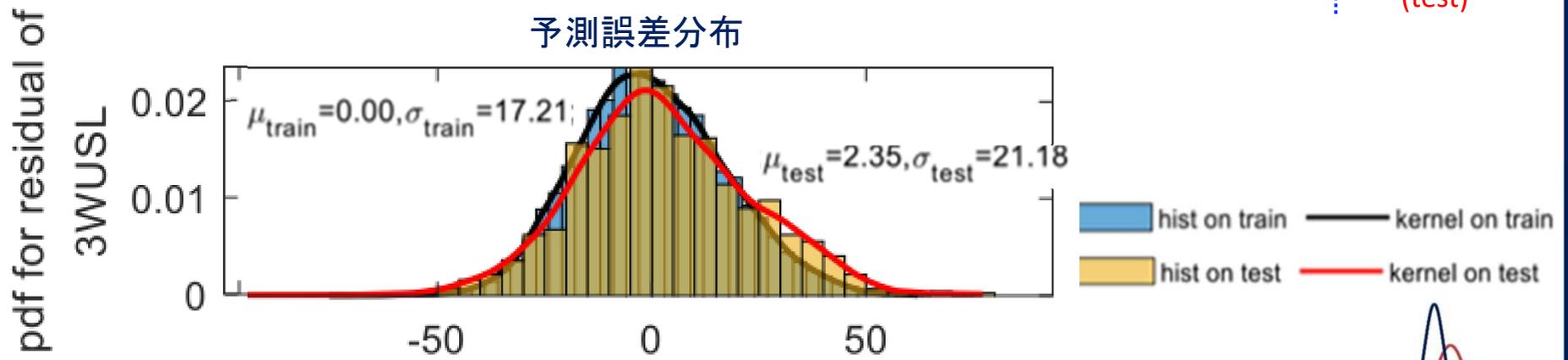
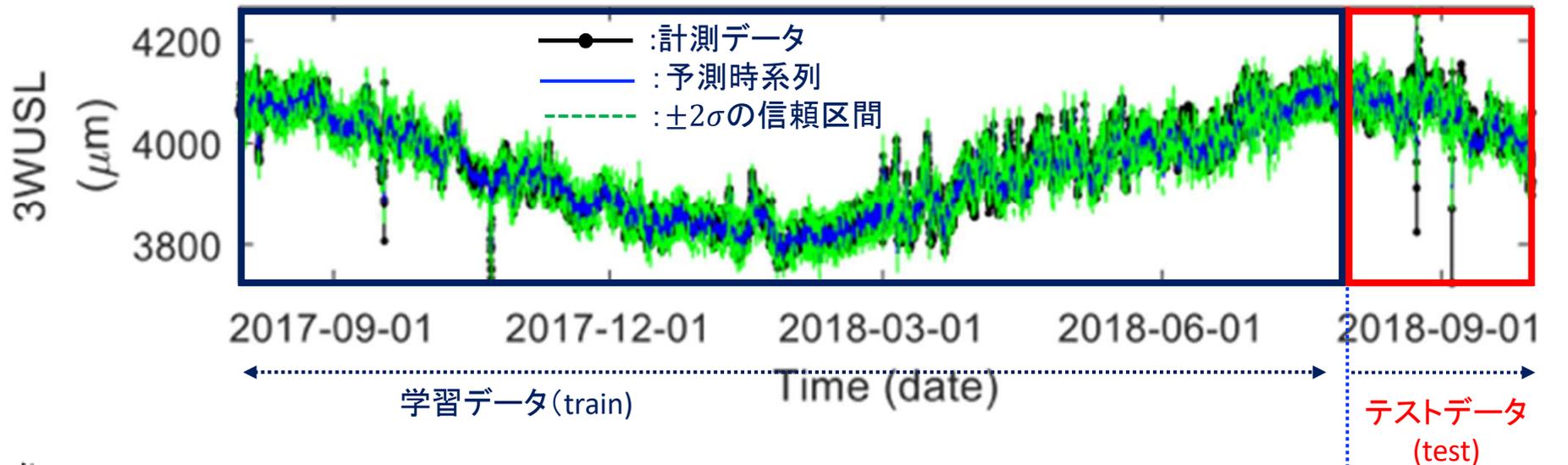


# 長期計測データにおける季節変動の調査

例1: 明石海峡大橋

ガウス過程回帰(GPR)による季節変動予測

気温を考慮した桁端の橋軸方向変位の予測



# 長期計測データにおける季節変動の調査

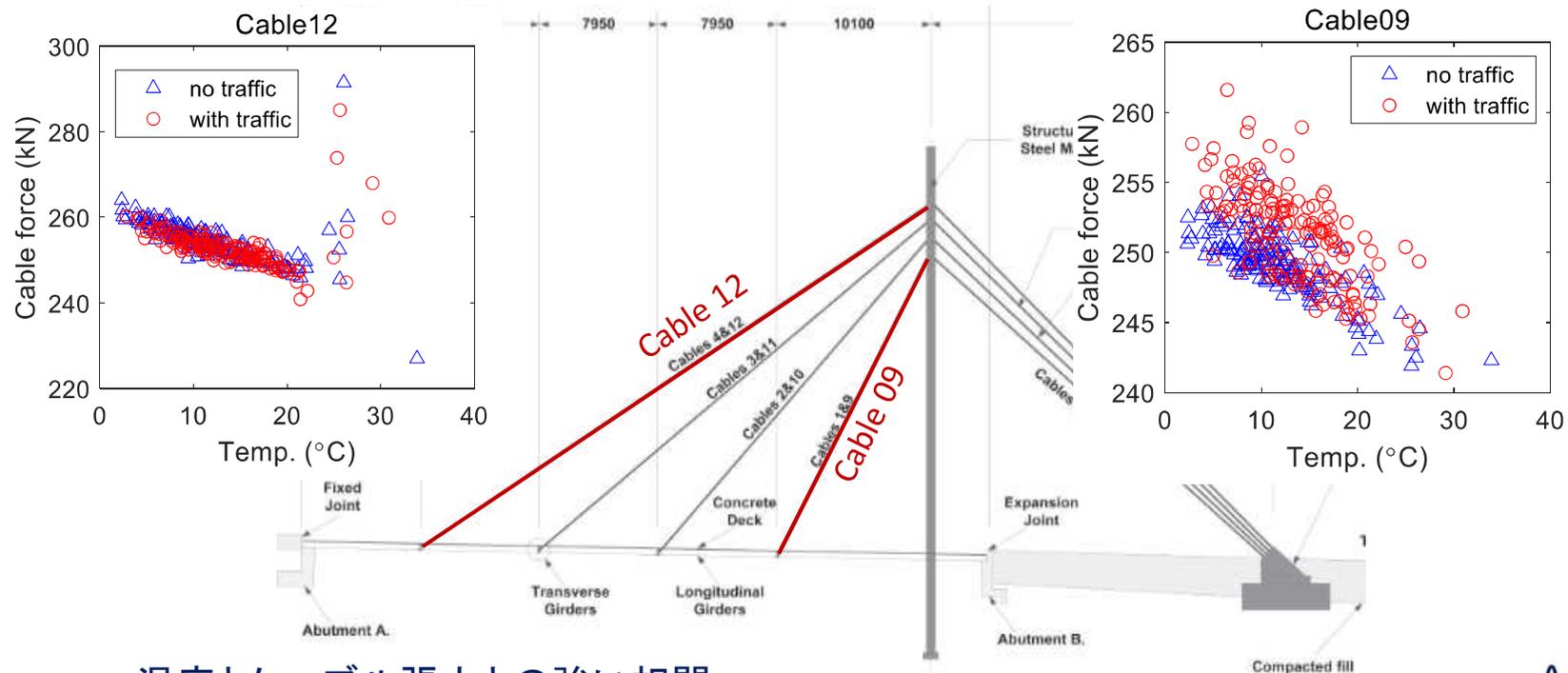
## 例2: 小規模斜張橋(海外)

ケーブルの同定振動数

	SI method	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>
Cable 12	Bayes OMA	2.07	4.20	6.42	8.54	10.64
	SSI	2.08	4.27	6.43	8.54	10.64
Cable 09	Bayes OMA	3.61	7.20	11.00	14.68	18.33
	SSI	3.61	7.21	11.00	14.69	18.33

ケーブル張力推定: 以下のケーブル張力と振動数の関係式を利用

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$



- 温度とケーブル張力との強い相関
- 走行車両のケーブル張力変動への影響: 短いケーブルが影響を受けやすい。

# まとめ

- ケーブル構造の特殊橋の劣化特性や実態調査(管内)
  - 判定区分の判断が難しい.
  - 重要なメインケーブルの定着部およびケーブル全体の健全性判断: 定量的ではなく、経験上のものになってしまう.
  - 防食テープが巻かれたケーブル: 近接目視だけでテープ内部の状態把握が困難.
- **相関マトリックス**を利用し, 構造項目と劣化特性や実態との相関検討中
- ケーブル構造の特殊橋モニタリングの実態調査
  - 自治体の小規模吊橋の維持管理・モニタリングに活用できる情報は限られている.
  - 長期モニタリングにおける季節変動の検討には有効活用
- **自治体管理の実橋へのモニタリング試行(今年度)**
- 長大橋の長期計測データ分析向けのデータ解析手法の整備
  - 実稼働モード解析法の整備(高精度の同定でも, 季節変動の影響を受ける)
  - 多変量回帰分析手法(季節変動などの外部因子の影響を考慮)の整備
- 長期計測データにおける季節変動の調査
  - **相関マトリックス**: 変位と温度, 風速, 風向の強い相関
  - 回帰モデルの構築: 温度, 風速, 風向を考慮
  - 非線形回帰である**ガウス過程回帰**: 突風など突発的な現象への対応



# 検討中



- 1) ケーブル構造の特殊橋の構造項目と劣化特性や実態との関連性
  - 部材毎の材料, ケーブルや定着の仕様, 径間などの構造項目と損傷箇所のカテゴリ・相関分析
  - 相関分析結果に踏まえ, カテゴリされた損傷や変状に対するモニタリング法の検討.
- 2) 実橋へのモニタリング試行
  - 姫路河川国道管理のカラウコ大橋: ケーブル振動および画像に着目した特徴量の変化をモニタリング(長期モニタリング)
  - モニタリングデータを用いた解析モデルのアップデート
    - 損傷パターンによる橋梁挙動検討
    - モニタリング対象と特徴量を提案
- 3) ケーブルを有する橋梁の損傷に対する感度解析  
自治体へのヒアリング: どの部材のどのような損傷がどの判定区分なのか判断が難しい
  - 実態調査に基づき, 吊り形式橋梁の損傷シナリオを設定し感度解析
  - モデル作成には設計図書と実橋モニタリングの結果を反映.
- 4) 点検マニュアルの役割を果たす資料作成



第17回新都市社会技術セミナー, 令和2年9月28日

プロジェクト名: 長大橋の観測データの活用による維持管理支援システムの検討



ご静聴ありがとうございました。