

実橋梁通過時に取得した車両 振動データの特徴量抽出と 健全度の比較

フロンティア工学研究グループ山本研究室 修士2年

金子直樹

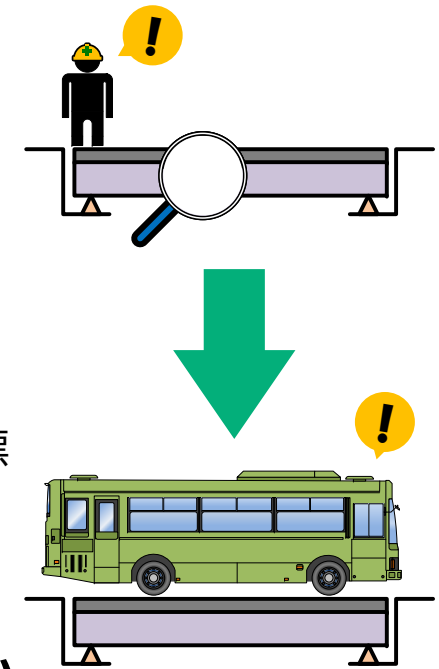
筑波大学/理工情報生命学術院/システム情報工学研究群/構造エネルギー学位プログラム

令和5(2023)年度卒業研究

令和6(2024)年1月31日(水)

研究背景 | Introduction

- **老朽化橋梁の増加 × 人員・予算の不足**
 - 既に**34%の橋梁は建設後50年以上**を経過している
 - 橋梁点検において振動モニタリングの重要性が増加
- **SSMA ➡ 車載センサデータから橋梁損傷の有無を推定**
 - 車両振動のみから得られる橋梁特徴量
 - Spatial Singular Mode Angle: 空間特異モード角度
 - 車両振動 × 空間補正 ➡ モード分解 … 橋梁局所損傷に反応する指標
 - 健全時からデータ蓄積が必要
- **社会実装されておらず、データ蓄積が行われていない**



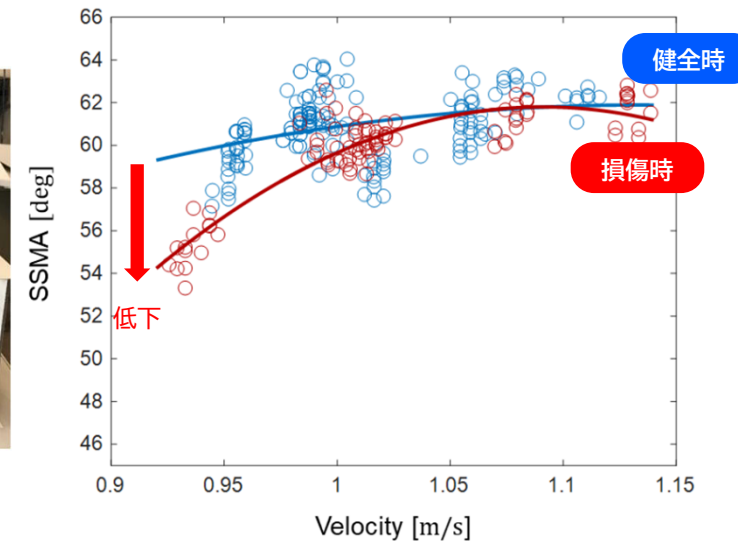
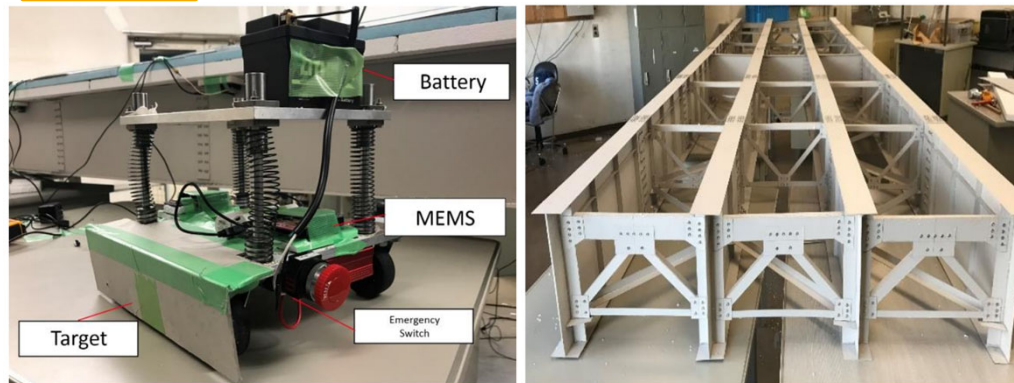
題 目：『実橋梁通過時に取得した車両振動データの特徴量抽出と健全度の比較』

発表者： 金子直樹

既往研究(1) | Previous Studies and Issues

数値シミュレーションとラボ実験ではSSMAの有効性が示されている[1]

ラボ実験



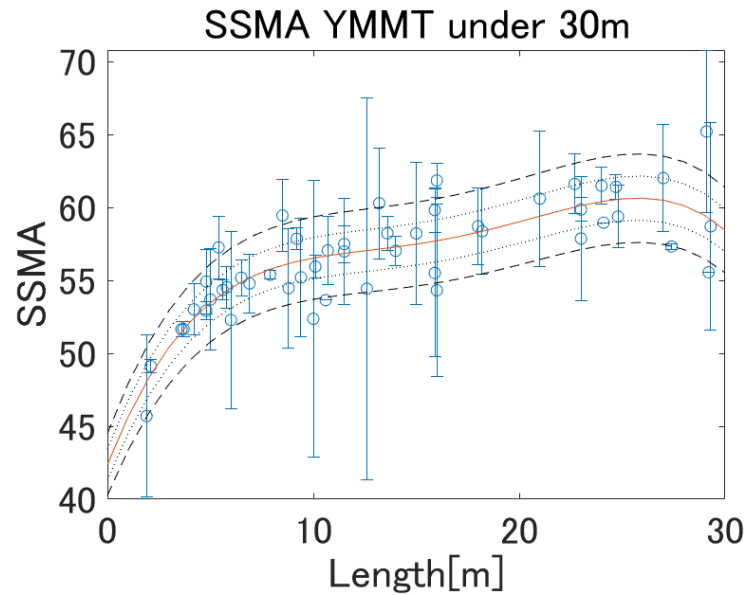
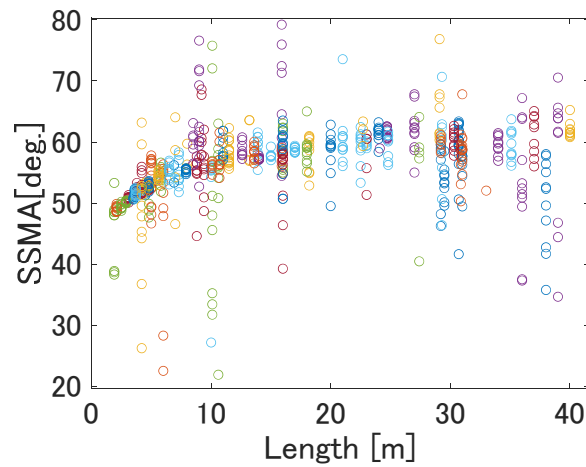
軽量車両での健全(青)と経度損傷(赤)

橋梁の損傷によってSSMAの値は**変化する**

[1] 高橋悠太. 空間特異モード角に基づく道路インフラ点検技術の適用性に関する実験的検証. 筑波大学博士学位論文. 2019

既往研究(2) | Previous Studies and Issues

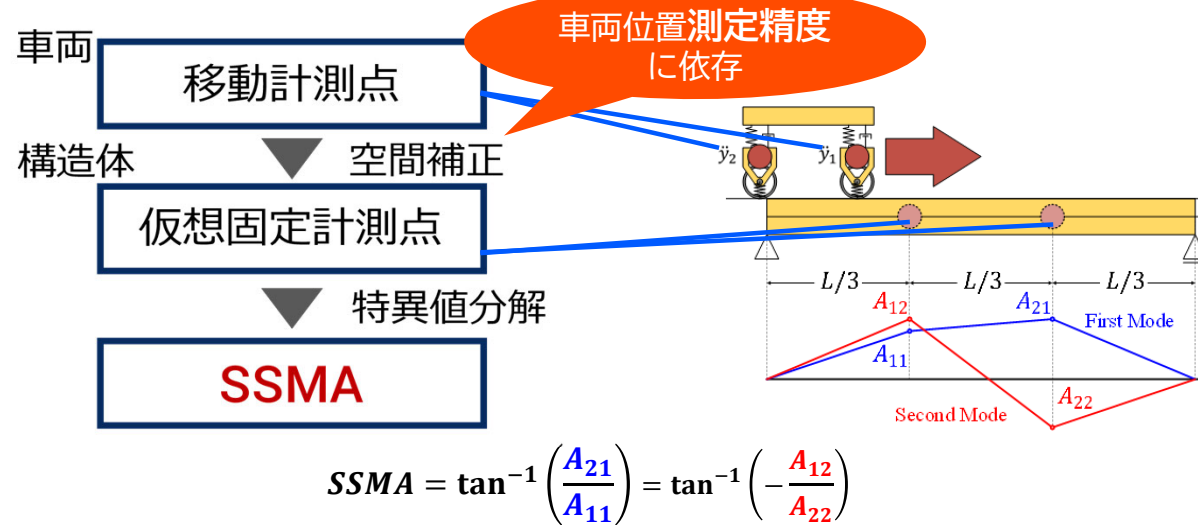
実橋梁計測により橋長とSSMAに何らかの相関関係があることが示唆されている[2]



しかし、実環境でのSSMAの**分散**が大きく、傾向把握が困難

Takahashi, Y., Kaneko, N., Sakai, M., Shin, R., & Yamamoto, K. (2023, August). The Analysis for the Acceleration Data of Vehicle Running on Over 100 Bridges Based on SSMA. In International Conference on Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures (pp. 29-39). Cham: Springer Nature Switzerland.

SSMA | Spatial Singular Mode Angle



実車両振動計測において、車両の位置データ精度が重要

題目：『実橋梁通過時に取得した車両振動データの特徴量抽出と健全度の比較』

発表者： 金子直樹

5

研究目的 | Purpose

高精度GNSS※による空間補正を車両振動データに適用し, SSMAを推定

- SSMAの分散は高精度GNSSで抑制できる可能性がある
- 安定的にSSMAを計測できることから橋梁損傷度による統計分析も期待

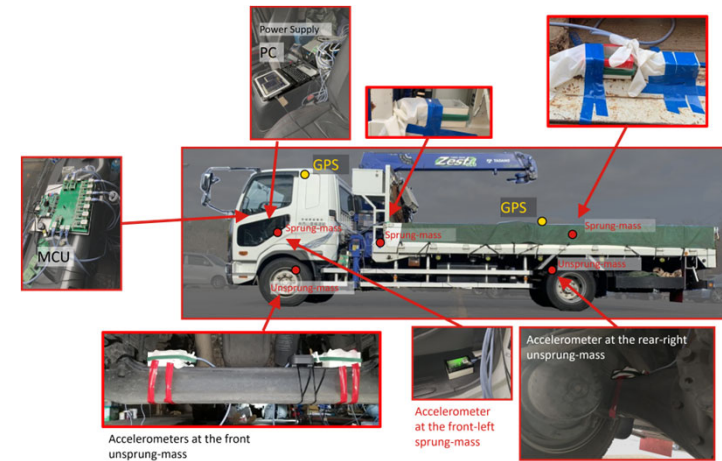
統計分析手法

- 決定木分析
ツリー構造を用いて、目的変数に影響を及ぼす説明変数を探索
- Neural Network学習
人間の脳に似た層構造で、データの傾向を学習する

※GNSS(Global Navigation Satellite System) : 衛星測位システムの総称

計測対象 | Object of Measurement

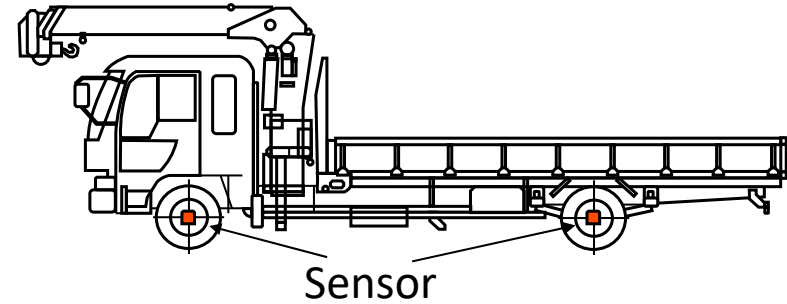
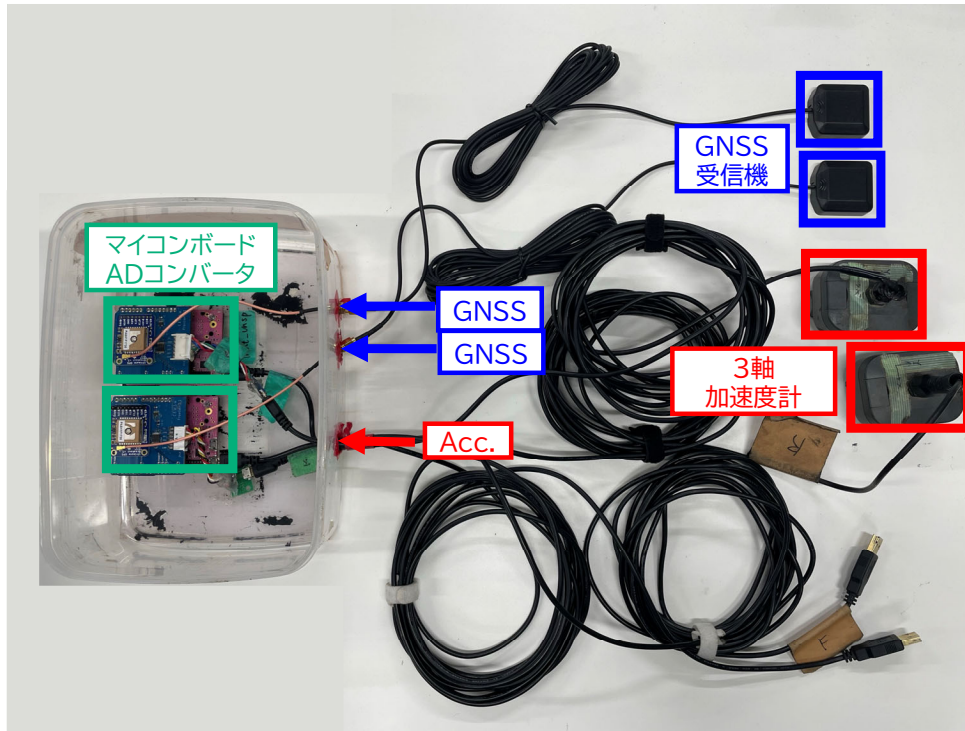
- 橋梁
 - 筑波大学内道路かえで通り内の陸橋:松美橋
 - PC箱桁橋
 - 全長約31m
 - 橋梁位置はGoogle mapの位置情報を使用
- 車両
 - 総重量13.8t
 - 車両ばね下の前後左方に3軸加速度センサを設置
 - 車両ばね上の前方に2種類のGNSSセンサを設置



題目: 『実橋梁通過時に取得した車両振動データの特徴量抽出と健全度の比較』

発表者: 金子直樹

車両振動計測システム | Vehicle Vibration Measurement System

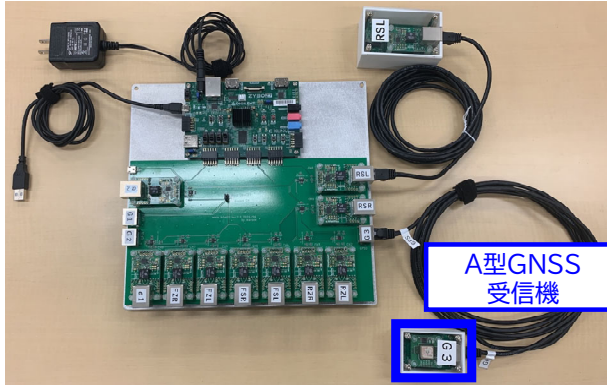


3軸加速度×2点
 サンプリングレート :300Hz
 測定範囲 :±2G
 量子分解能 :24bits

GNSS×2点
 時刻同期のみに用いる
 位置情報は取得しない

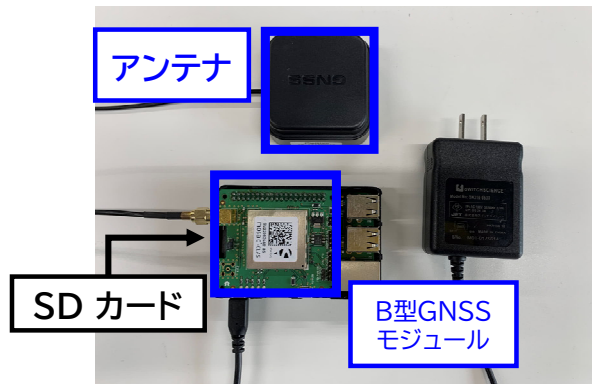
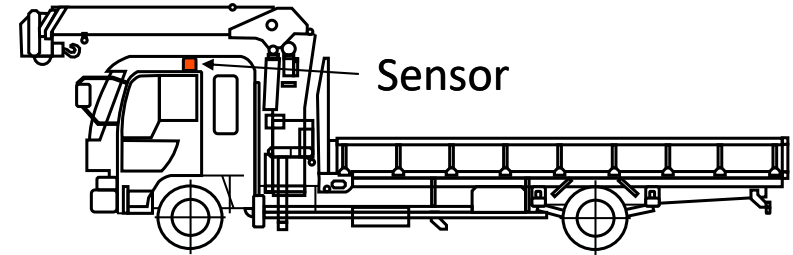
マイクロコンピュータボード(GR-Peach) :Renesas Electronics社製のMPUを搭載し, 10MBのRAMと最大400MHzの動作周波数を持つ
 加速度センサ(KXR-94 R2040) :Kionix社製の3軸加速度センサ. アナログ出力で測定レンジは±2G.
 ADコンバータ(ADS1220) :TI社製のADコンバータ. 入力4Ch, 分解能は24bitで測定周期は最大で2000SPS.
 GPS受信機(AE-GYSFDMAXB) :Adafruit社製のGPSセンサ用ブレイクアウトボード. 搭載チップはMTK3339で更新レートの最大値は10Hz

位置計測システム | GNSS Sensor System



A型 GNSS

- GYSFFMANC(太陽誘電製)
- 測位精度: 2m
- サンプルング周波数 1Hz



B型 GNSS(高精度)

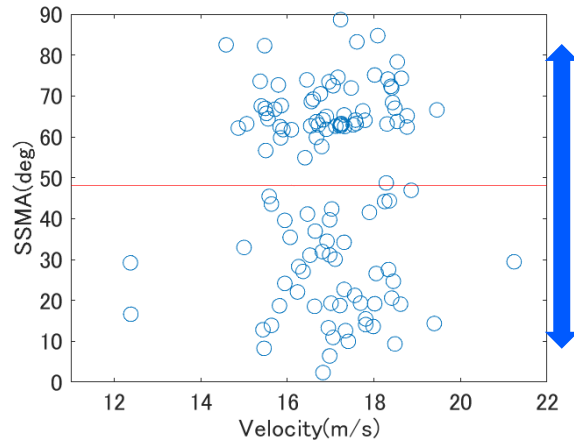
- Mosaic-HAT(Septentrio社製)
- CLAS ※対応
- 測位精度: 2.76cm
- サンプルング周波数 100Hz

各センサ間の同期は、GNSS時刻を参照
測定後に内挿処理することで、計測間隔内は補間を行う

※CLAS(Centimeter Level Augmentation Service):センチメートル級即位補強サービス. PPP-RTK方式を使用

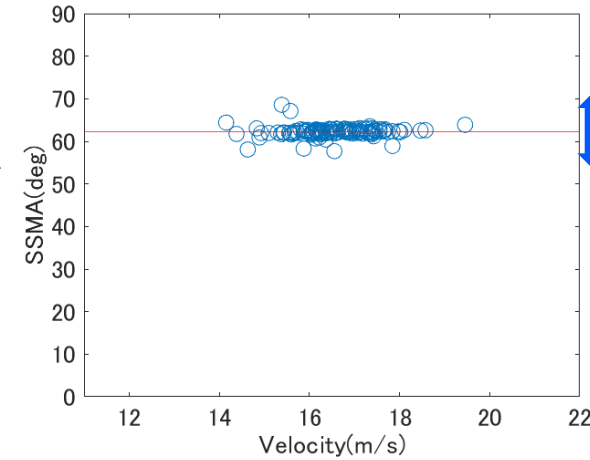
シングルボードコンピュータ(Raspberry Pi 3 model B) :ラズベリー財団製のARM Cortex-A53プロセッサ搭載の評価ボード
GNSSモジュール(mosaic-CLAS) :septentrio社製のCLAS(PPP-RTK補正)対応GNSSモジュール

結果と考察 | Result and Discussion



SSMAの分布(A型GNSS使用)

SSMAの分散値が減少



SSMAの分布(B型GNSS使用)

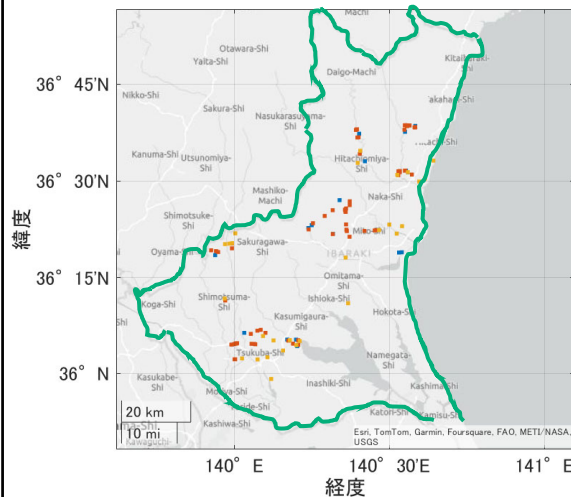
- 同一橋梁であれば、SSMAは一致する
 - B型GNSSセンサ(高精度)により、SSMAの推定精度を高められる
- ➔
- 原因: 車両位置測定精度の向上→空間補正, 橋梁上車両の振動抽出の精度向上
 - SSMA算出には高精度GNSS(CLAS対応 or RTK※対応)を使用することが求められる

※RTK(Real Time Kinematic): 相対測位と呼ばれる測定方法の一つで、固定局と移動局で信号を受信する技術

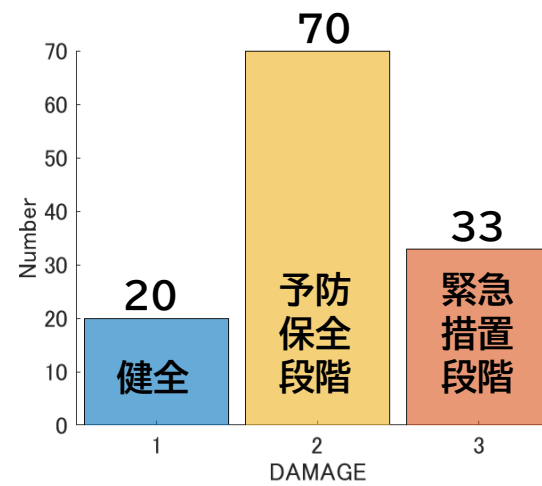
金子直樹, 酒井真清, 佐久間活機, 秦涼太, 高橋悠太, 山本 亨輔: 車両振動ベースの橋梁状態推定の及ぼすGPS精度の影響, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, 2023, I-06

追加検証 | Additional Verification

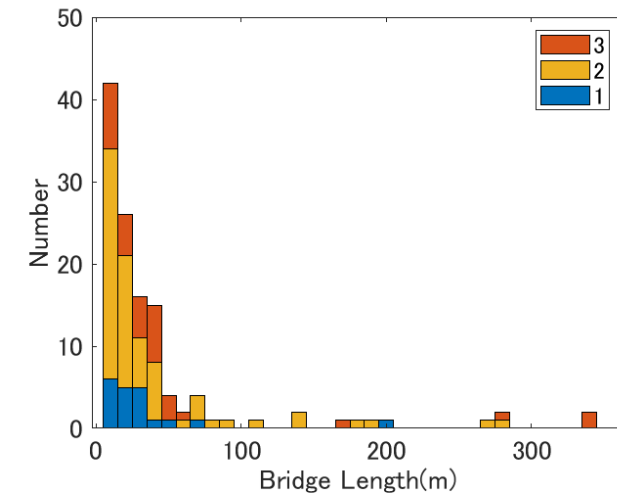
- 2年間で4回の計測実験を行った
- 対象橋梁は茨城県内の123基
- 分析に使用したデータは1,011個



計測橋梁の分布



対象橋梁の損傷判定の分布



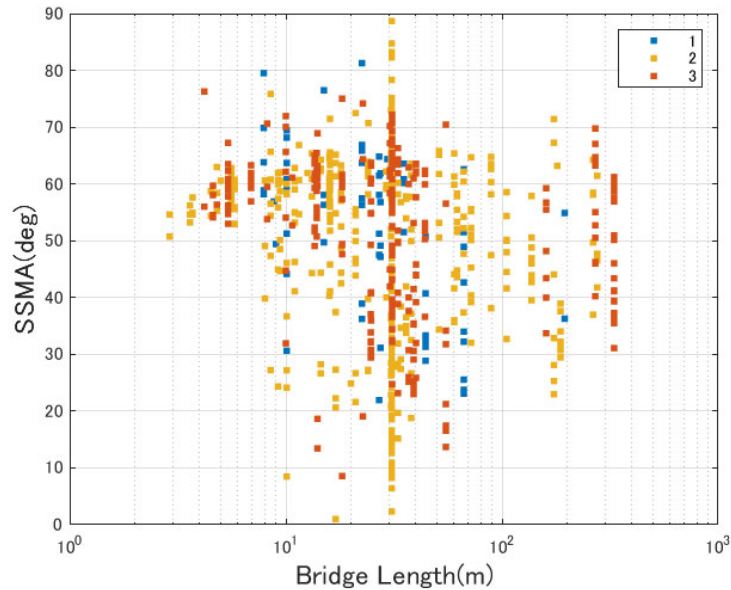
対象橋梁の橋長の分布(10m刻み)

計測回

- 2021年：7/20～7/21, 12/08～12/10
- 2022年：5/09～5/27, 12/13

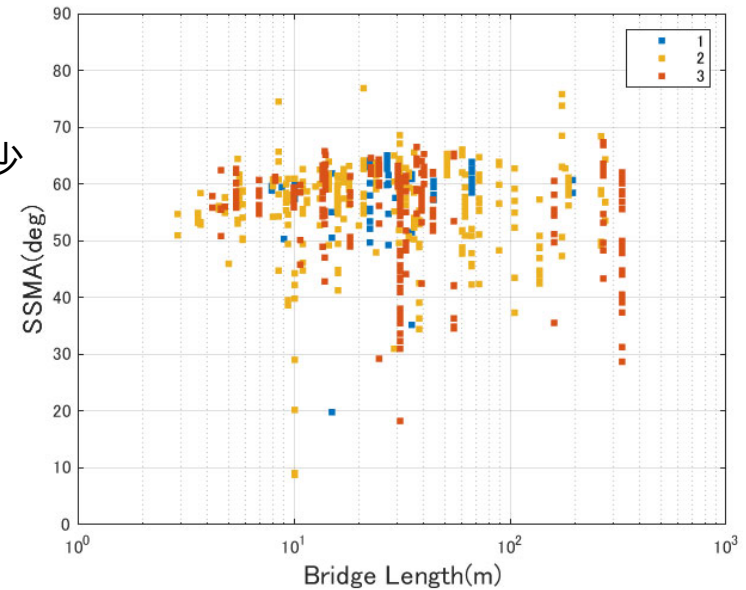
※前のスライドで紹介したセンサシステムとは別のセンサシステムも設置

追加検証 | Additional Verification



SSMAの分布(A型GNSS使用)

SSMAの分散値が減少



SSMAの分布(B型GNSS使用)



松見橋での計測同様、B型GNSS(高精度)を使用することで、SSMAの分散を抑えられた

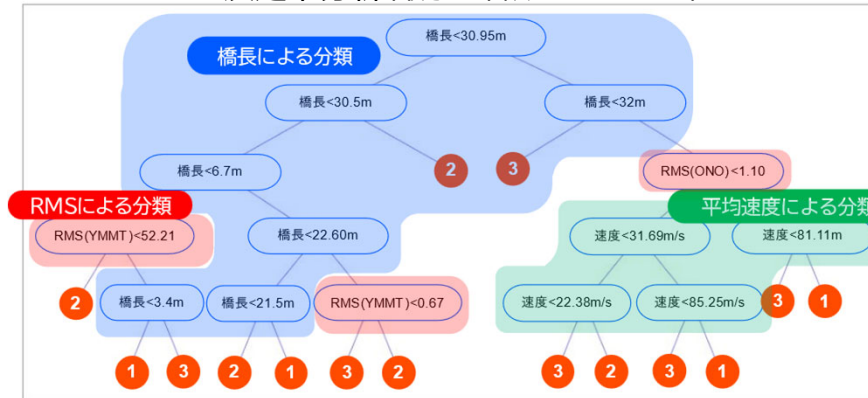
題目：『実橋梁通過時に取得した車両振動データの特徴量抽出と健全度の比較』

発表者： 金子直樹

12

結果と考察 | Results and Discussion

決定木分析(最小2乗誤差:0.2957)



- 橋長, 車両平均速度の分布が多い
- 最小2乗誤差が大きい

Neural Network学習(検証精度:54.3%)

真の損傷判定	1	18		
	2	94		
	3	41		
		1	2	3
		予測された損傷判定		

- 全て損傷判定Ⅱと判断された



- 『車両振動の特徴量 = 損傷判定』ではないため, 特徴量から損傷を推定することは難しい
- 長期的に車両振動を計測し, **特徴量の変化量**を観測し続ける必要がある

特徴量

- 橋長
- 車両速度
- SSMA
- RMS
- 卓越周波数

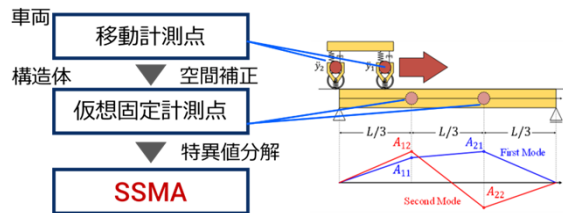
※Neural Network学習には, 他に車両振動から15種類の特徴量を算出

まとめ | Summary

- 実環境において、橋梁上の車両振動に橋梁振動成分が含まれる
- ただ、車両振動の特徴量そのものと損傷判定は1対1対応していない

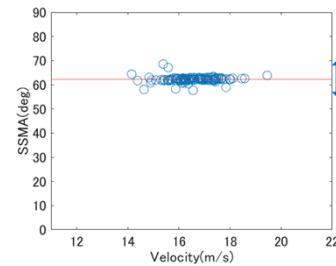
➡ 車両振動の特徴量の変化量を長期的に観測する必要がある
橋梁の損傷判定が変化したときの車両振動特徴量変化の有無を検証する必要がある

SSMA算出方法



SSMAの精度検証

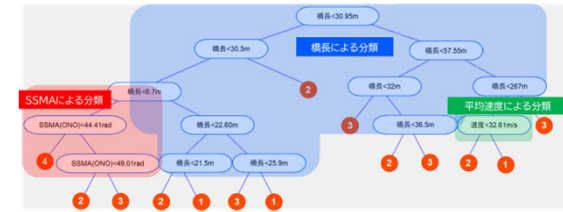
- 高精度GNSSにより、SSMAの分散を抑えられた



特徴量と損傷判定の関連度

- 車両振動の特徴量と損傷判定との関連性は見られなかった

決定木分析の結果



題目：『実橋梁通過時に取得した車両振動データの特徴量抽出と健全度の比較』

発表者： 金子直樹