

木橋における振動特性を用いた部分的な腐朽箇所の推定手法 7022548 米谷尚輝

近代木橋 … 1980年代後半～ 多数架設



↓
20年以上経過

↓
点検が重要！

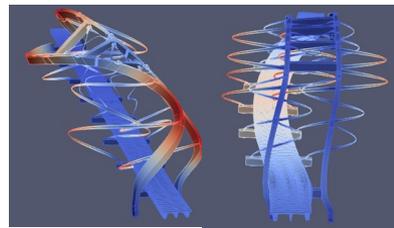


固有振動数を測定
…全体的劣化は分かる

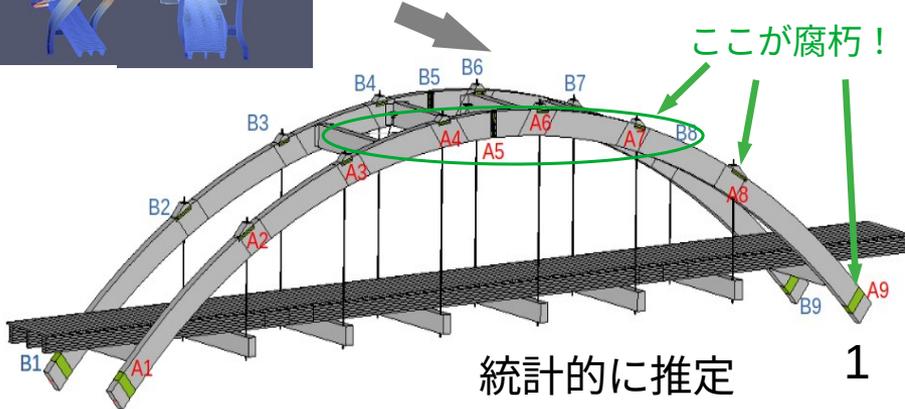
腐朽箇所の同定は**困難！！**



代わりに



3Dモデルの振動特性



統計的に推定

足場を組んで部材を一本ずつ点検は大変！

解析モデル

対象橋梁：めおと橋



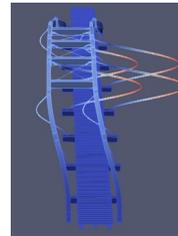
橋種	中路式2ヒンジアーチ橋
施工年度	2020年
支間長	20m
所在地	秋田県秋田市仁別国民の森
用途	歩道橋

感度分析

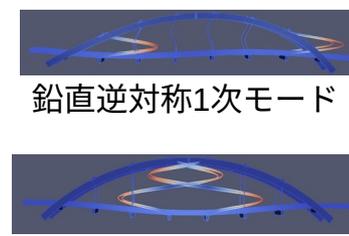
腐朽しやすい箇所 … A1~A9, B1~B9

健全時のヤング率から 1倍, 0.9倍, ..., 0.3倍

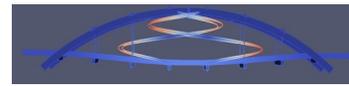
<振動解析>



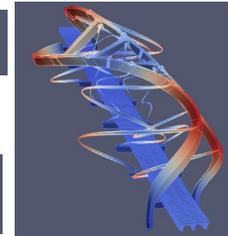
水平対称
1次モード



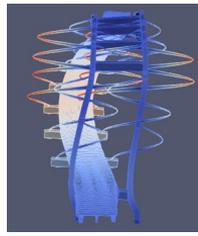
鉛直逆対称1次モード



鉛直対称1次モード

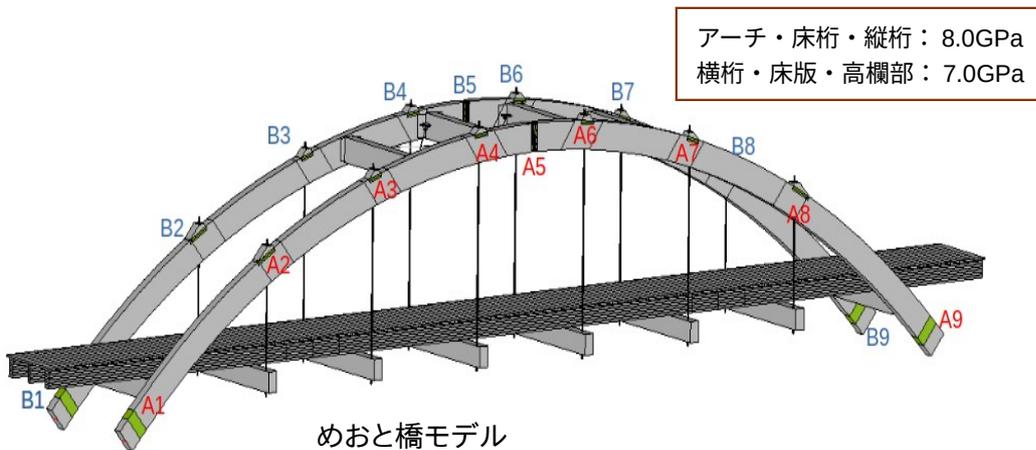


アーチねじれ
1次モード

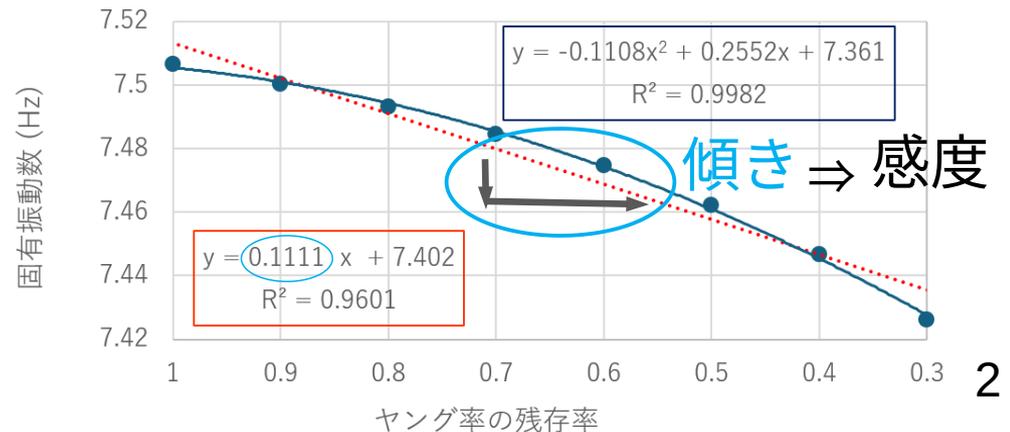


アーチ水平
1次モード

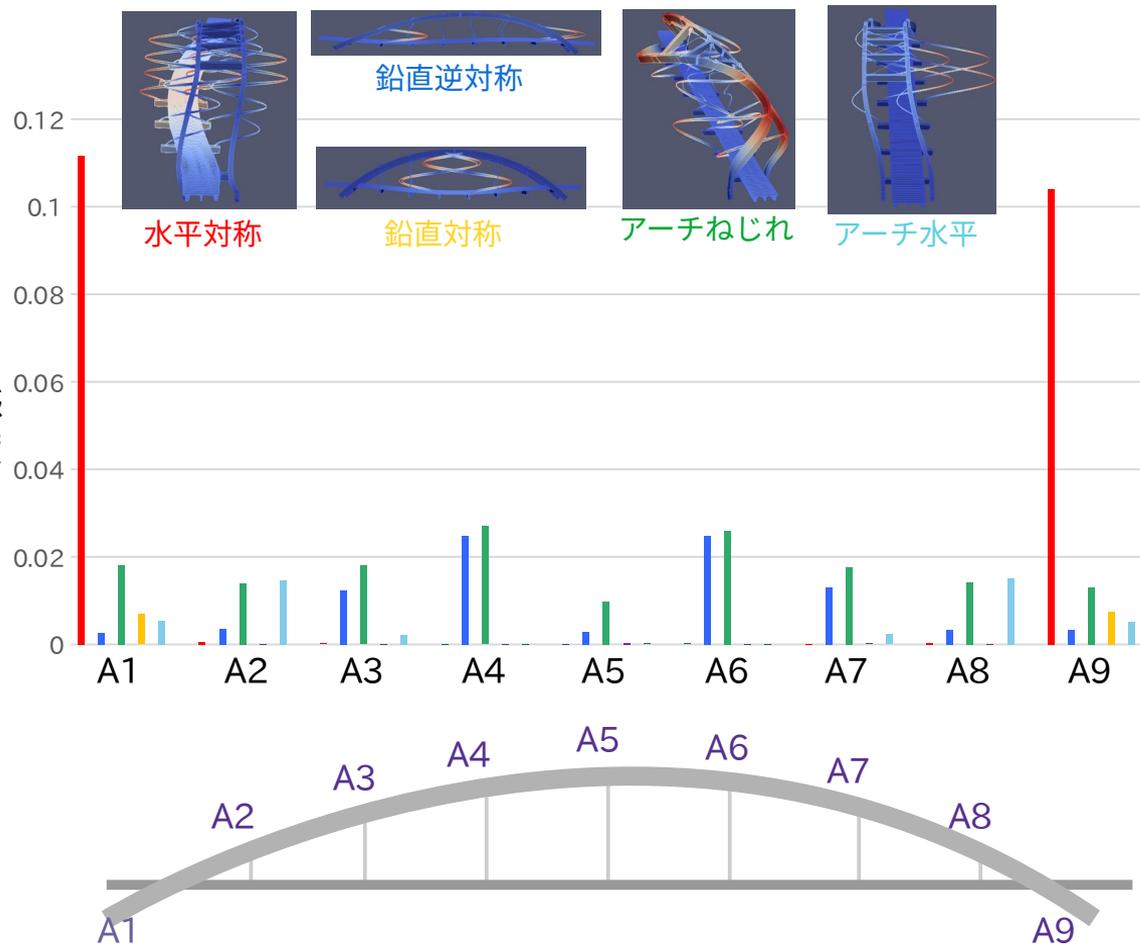
「Salome-meca2021」で3Dモデル化



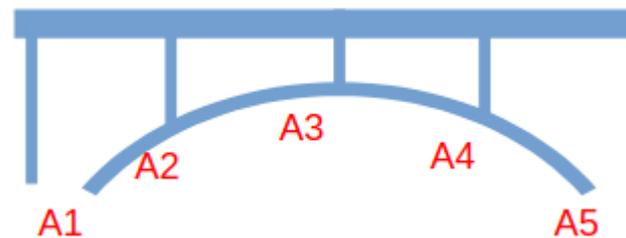
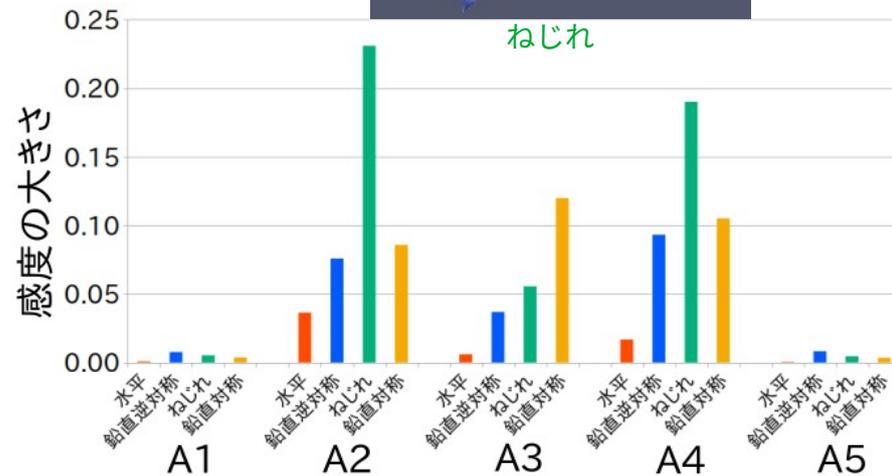
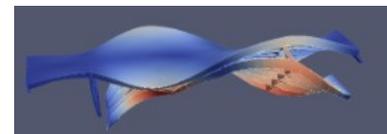
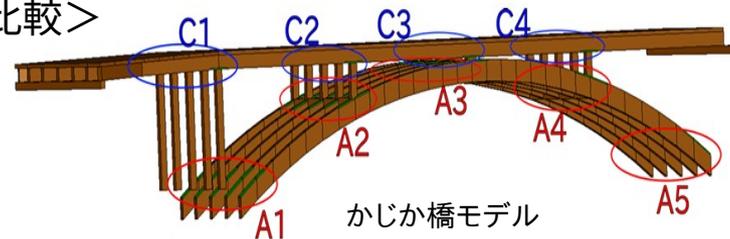
A1腐朽時の水平対称1次モード



感度解析の結果

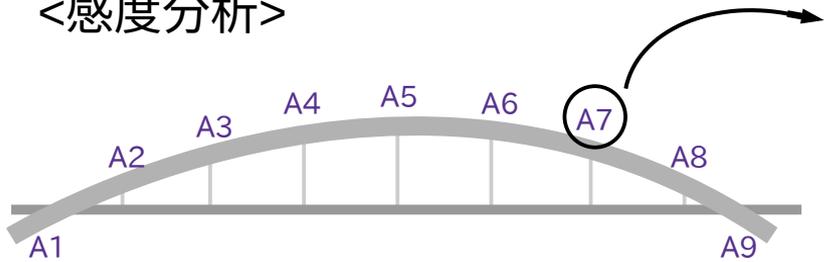


<比較>

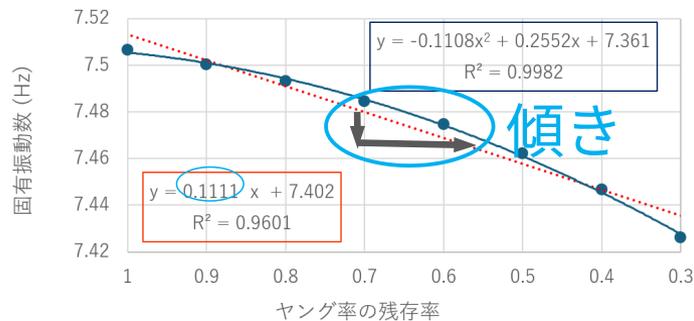


腐朽箇所 の 推定

<感度分析>



A1腐朽時の水平対称1次モード



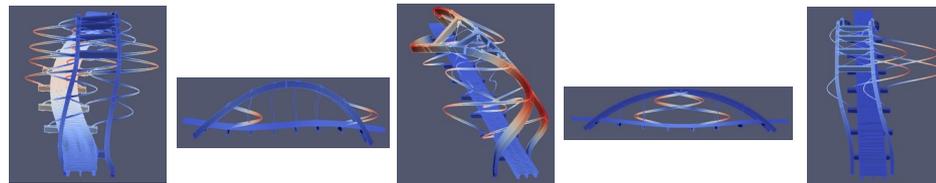
[感度分析]

ヤング率の変化 ⇒ 固有振動数の変化

[本当にやりたいこと]

固有振動数(測定値) ⇒ 腐朽箇所 の 推定

<A7>



残存ヤング率	水平対称(Hz)	鉛直逆対称(Hz)	アーチねじれ(Hz)	鉛直対称(Hz)	アーチ水平(Hz)
1.0	7.50767	4.683	6.707	4.19813	1.7559
0.9	7.50765	4.682	6.706	4.19811	1.7557

⋮

0.3	7.50752	4.6735	6.695	4.198	1.7543
-----	---------	--------	-------	-------	--------

ヤング率の変化

固有振動数の変化

目的変数

説明変数

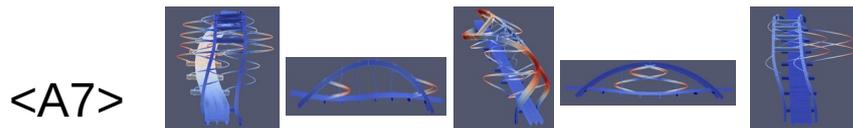
予測

重回帰式をA1~A9, B1~B9に対してつくる

重回帰分析

重回帰式

$$y_{A7} = -4.77 \cdot x_{\text{水平対称}} - 25 \cdot x_{\text{鉛直逆対称}} + 21.5 \cdot x_{\text{アーチねじれ}} + 8.1 \cdot x_{\text{鉛直対称}} + 4599 \cdot x_{\text{アーチ水平}} - 34580$$



残存ヤング率	水平対称 (Hz)	鉛直逆対称 (Hz)	アーチねじれ (Hz)	鉛直対称 (Hz)	アーチ水平 (Hz)
1.0	7.50767	4.683	6.707	4.19813	1.7559
0.9	7.50765	4.682	6.706	4.19811	1.7557
0.8	7.5076	4.681	6.704	4.1981	1.7555
		⋮			
0.3	7.50752	4.673	6.695	4.198	1.7543

$$y_{A1} = -528 \cdot x_{\text{水}} - 1625 \cdot x_{\text{逆}} - 1575 \cdot x_{\text{ね}} + 1344 \cdot x_{\text{鉛}} + 247 \cdot x_{\text{ア}} + 11613$$

$$\vdots$$

$$y_{A9} = -1354 \cdot x_{\text{水}} + 131 \cdot x_{\text{逆}} - 1223 \cdot x_{\text{ね}} + 513 \cdot x_{\text{鉛}} + 190 \cdot x_{\text{ア}} + 6390$$

$$y_{B1} = -951 \cdot x_{\text{水}} + 364 \cdot x_{\text{逆}} - 750 \cdot x_{\text{ね}} + 203 \cdot x_{\text{鉛}} + 155 \cdot x_{\text{ア}} + 2976$$

$$\vdots$$

$$y_{B9} = -470 \cdot x_{\text{水}} - 996 \cdot x_{\text{逆}} - 2562 \cdot x_{\text{ね}} + 1410 \cdot x_{\text{鉛}} + 268 \cdot x_{\text{ア}} + 14741$$

18本の重回帰式

目的変数 Y

説明変数 X

固有振動数の測定値

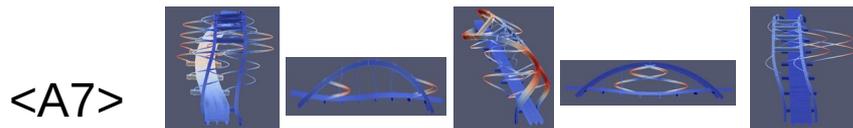
代入

最も小さい y が腐朽箇所?

重回帰分析

重回帰式

$$y_{A7} = -4.77 \cdot x_{\text{水平対称}} - 25 \cdot x_{\text{鉛直逆対称}} + 21.5 \cdot x_{\text{アーチねじれ}} + 8.1 \cdot x_{\text{鉛直対称}} + 4599 \cdot x_{\text{アーチ水平}} - 34580$$



残存ヤング率	水平対称 (Hz)	鉛直逆対称 (Hz)	アーチねじれ (Hz)	鉛直対称 (Hz)	アーチ水平 (Hz)
1.0	7.50767	4.683	6.707	4.19813	1.7559
0.9	7.50765	4.682	6.706	4.19811	1.7557
0.8	7.5076	4.681	6.704	4.1981	1.7555
⋮					
0.3	7.50752	4.673	6.695	4.198	1.7543

$$y_{A1} = -528 \cdot x_{\text{水}} - 1625 \cdot x_{\text{逆}} - 1575 \cdot x_{\text{ね}} + 1344 \cdot x_{\text{鉛}} + 247 \cdot x_{\text{ア}} + 11613$$

$$\vdots$$

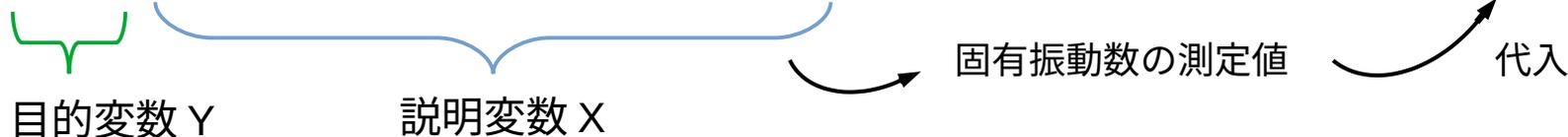
$$y_{A9} = -1354 \cdot x_{\text{水}} + 131 \cdot x_{\text{逆}} - 1223 \cdot x_{\text{ね}} + 513 \cdot x_{\text{鉛}} + 190 \cdot x_{\text{ア}} + 6390$$

$$y_{B1} = -951 \cdot x_{\text{水}} + 364 \cdot x_{\text{逆}} - 750 \cdot x_{\text{ね}} + 203 \cdot x_{\text{鉛}} + 155 \cdot x_{\text{ア}} + 2976$$

$$\vdots$$

$$y_{B9} = -470 \cdot x_{\text{水}} - 996 \cdot x_{\text{逆}} - 2562 \cdot x_{\text{ね}} + 1410 \cdot x_{\text{鉛}} + 268 \cdot x_{\text{ア}} + 14741$$

18本の
重回帰式



最も小さい y が
腐朽箇所?

A7が 0.8, 0.3のときを測定値としてA7が腐朽箇所と推定できるか?

検証結果

A7が0.3 (全18データ)

A7が0.8 (全18データ)

	回帰式	予測値
1	A7	0.2999
2	A3	0.7795
3	B3	0.8327
4	B7	1.3461
5	A2	4.3319
6	A8	4.3462
7	B2	4.6209
8	B8	5.3619

	回帰式	予測値
1	A6	0.1406
2	B4	0.3179
3	A4	0.3949
4	B6	0.6999
5	B3	0.7932
6	A7	0.8001
7	A3	0.8489
8	B7	0.8894

<各腐朽箇所・腐朽段階の順位>

	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
A1	3位	2位	1位	1位	1位	1位	1位
A2	6位	3位	3位	3位	2位	2位	2位
⋮							
B9	6位	4位	3位	2位	2位	2位	2位

全体の約18%がTop1

$$y_{A1} = -528 \cdot x_{水} - 1625 \cdot x_{逆} - 1575 \cdot x_{ね} + 1344 \cdot x_{鉛} + 247 \cdot x_{ア} + 11613$$

⋮

$$y_{A9} = -1354 \cdot x_{水} + 131 \cdot x_{逆} - 1223 \cdot x_{ね} + 513 \cdot x_{鉛} + 190 \cdot x_{ア} + 6390$$

$$y_{B1} = -951 \cdot x_{水} + 364 \cdot x_{逆} - 750 \cdot x_{ね} + 203 \cdot x_{鉛} + 155 \cdot x_{ア} + 2976$$

⋮

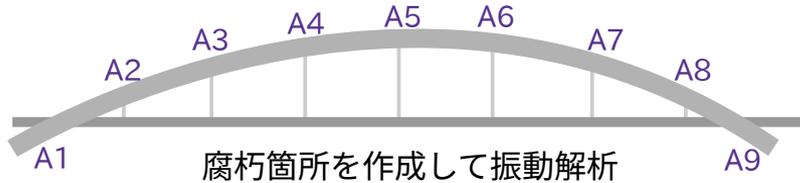
$$y_{B9} = -470 \cdot x_{水} - 996 \cdot x_{逆} - 2562 \cdot x_{ね} + 1410 \cdot x_{鉛} + 268 \cdot x_{ア} + 14741$$

残存ヤング率	水平対称 (Hz)	鉛直対称 (Hz)	鉛直逆対称 (Hz)	アーチねじれ (Hz)	アーチ水平 (Hz)
0.3	7.50752	4.1980	4.67354	6.69537	1.7543
0.8	7.50763	4.1981	4.6817	6.70489	1.75556

解析結果(固有振動数)を代入

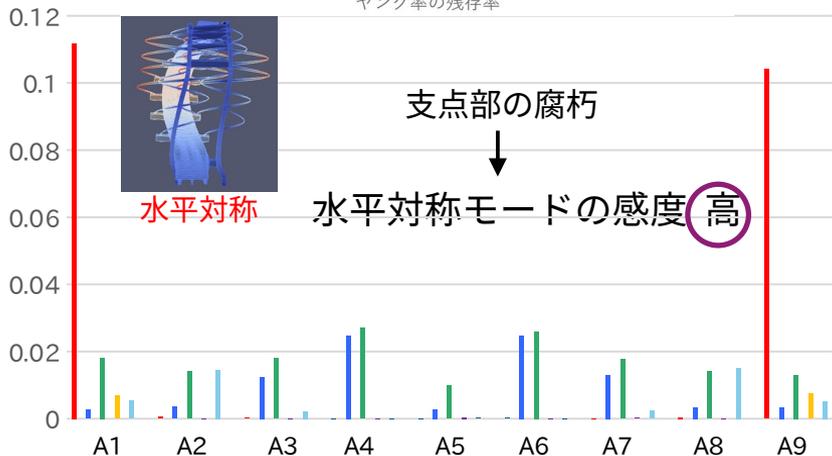
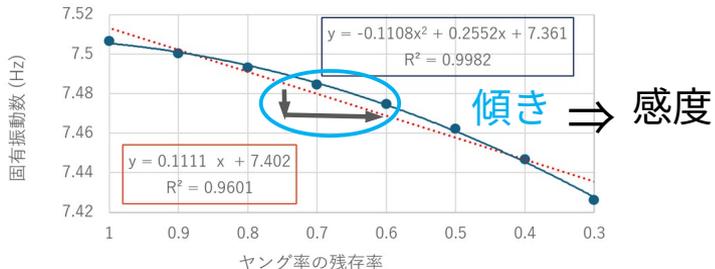
まとめ

<めおと橋>



感度分析

A1腐朽時の水平対称1次モード



重回帰分析

$$\begin{aligned}
 y_{A1} &= -528 \cdot x_{水} - 1625 \cdot x_{逆} - 1575 \cdot x_{ね} + 1344 \cdot x_{鉛} + 247 \cdot x_{ア} + 11613 \\
 &\vdots \\
 y_{A9} &= -1354 \cdot x_{水} + 131 \cdot x_{逆} - 1223 \cdot x_{ね} + 513 \cdot x_{鉛} + 190 \cdot x_{ア} + 6390 \\
 y_{B1} &= -951 \cdot x_{水} + 364 \cdot x_{逆} - 750 \cdot x_{ね} + 203 \cdot x_{鉛} + 155 \cdot x_{ア} + 2976 \\
 &\vdots \\
 y_{B9} &= -470 \cdot x_{水} - 996 \cdot x_{逆} - 2562 \cdot x_{ね} + 1410 \cdot x_{鉛} + 268 \cdot x_{ア} + 14741
 \end{aligned}$$

A7が0.3
(全18データ)

	回帰式	予測値
1	A7	0.2999
2	A3	0.7795
3	B3	0.8327
4	B7	1.3461
5	A2	4.3319
6	A8	4.3462
7	B2	4.6209
8	B8	5.3619

A7が0.8
(全18データ)

	回帰式	予測値
1	A6	0.1406
2	B4	0.3179
3	A4	0.3949
4	B6	0.6999
5	B3	0.7932
6	A7	0.8001
7	A3	0.8489
8	B7	0.8894

かなり腐朽している場合 ⇒ 最も腐朽している箇所として予測
やや腐朽している場合 ⇒ 他の腐朽箇所が上位

今後の課題： 振動モードを増やす ⇒ 精度の改善