

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！

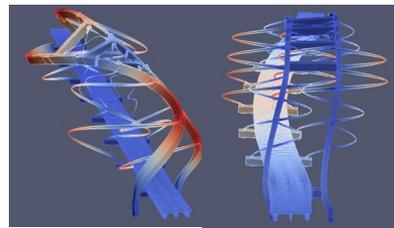


固有振動数を測定
…全体的劣化は分かる

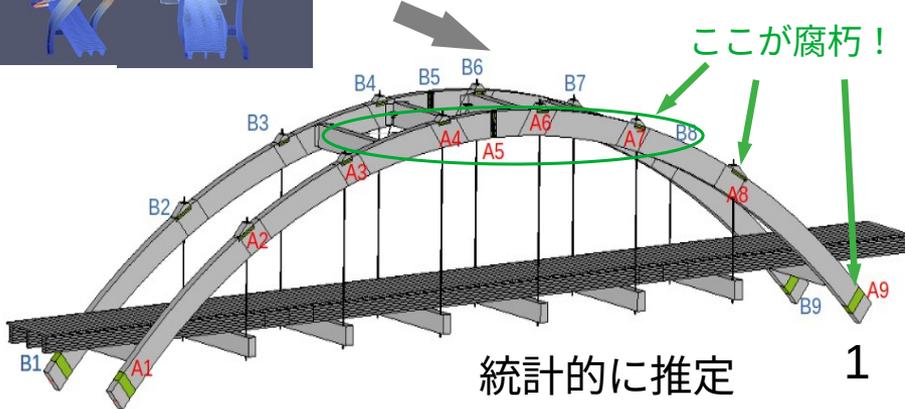
腐朽箇所の同定は**困難！！**



代わりに



3Dモデルの振動特性



統計的に推定

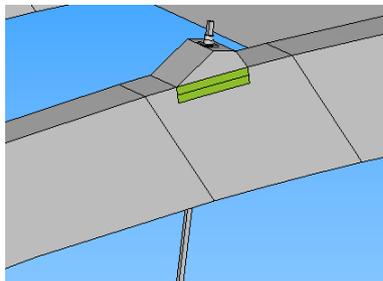
足場を組んで部材を一本ずつ点検は大変！

解析モデル

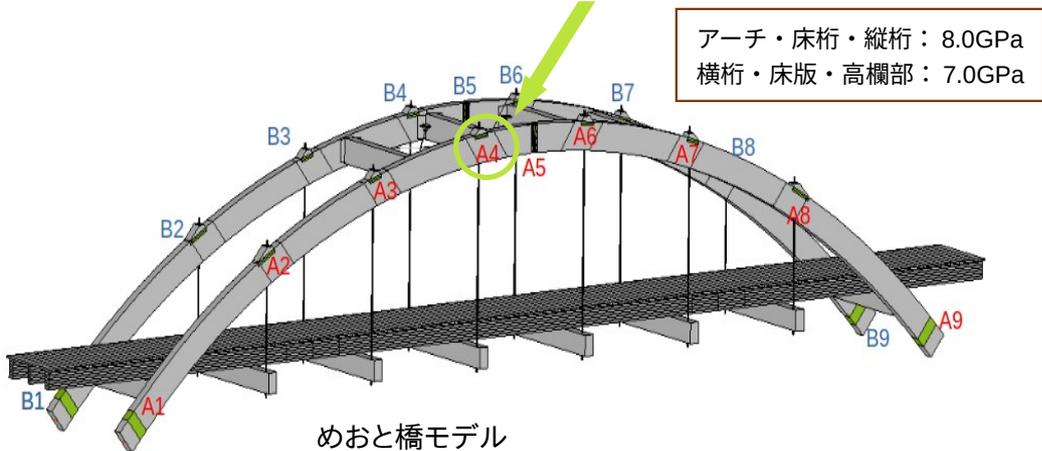
対象橋梁：めおと橋 (秋田市)



「腐朽箇所」



「Salome-meca2021」で3Dモデル化

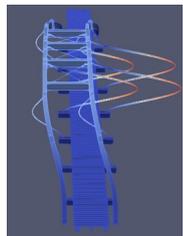


感度分析

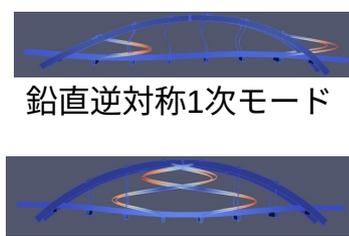
腐朽しやすい箇所 … A1~A9, B1~B9

健全時のヤング率から 1倍, 0.9倍, ..., 0.3倍

＜振動解析＞

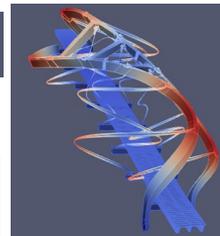


水平対称
1次モード

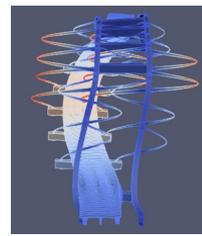


鉛直逆対称1次モード

鉛直対称1次モード

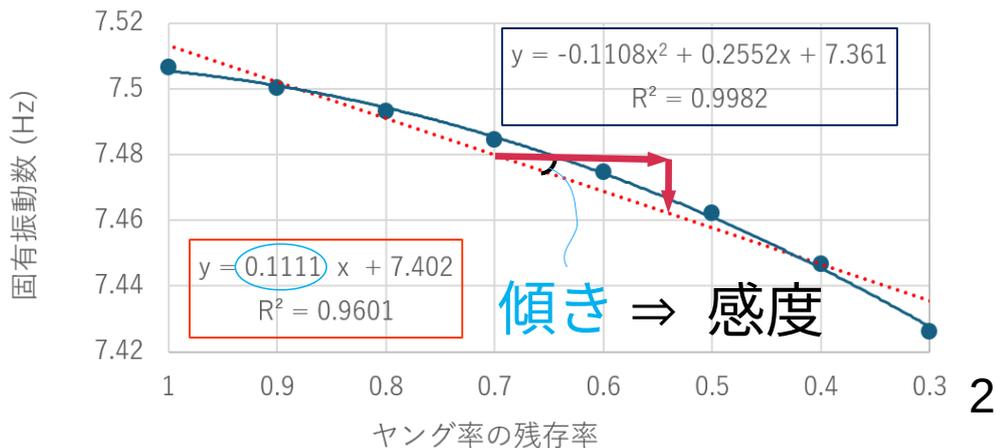


アーチねじれ
1次モード

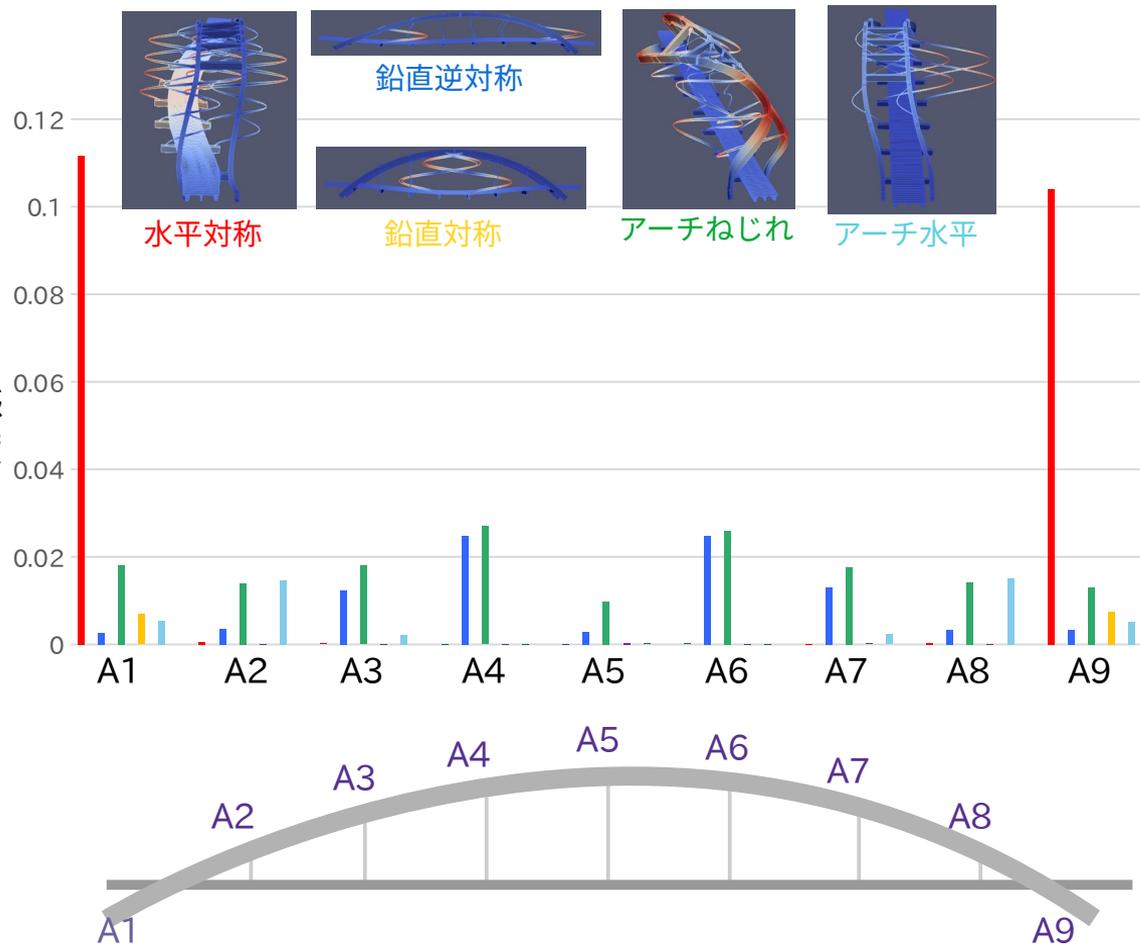


アーチ水平
1次モード

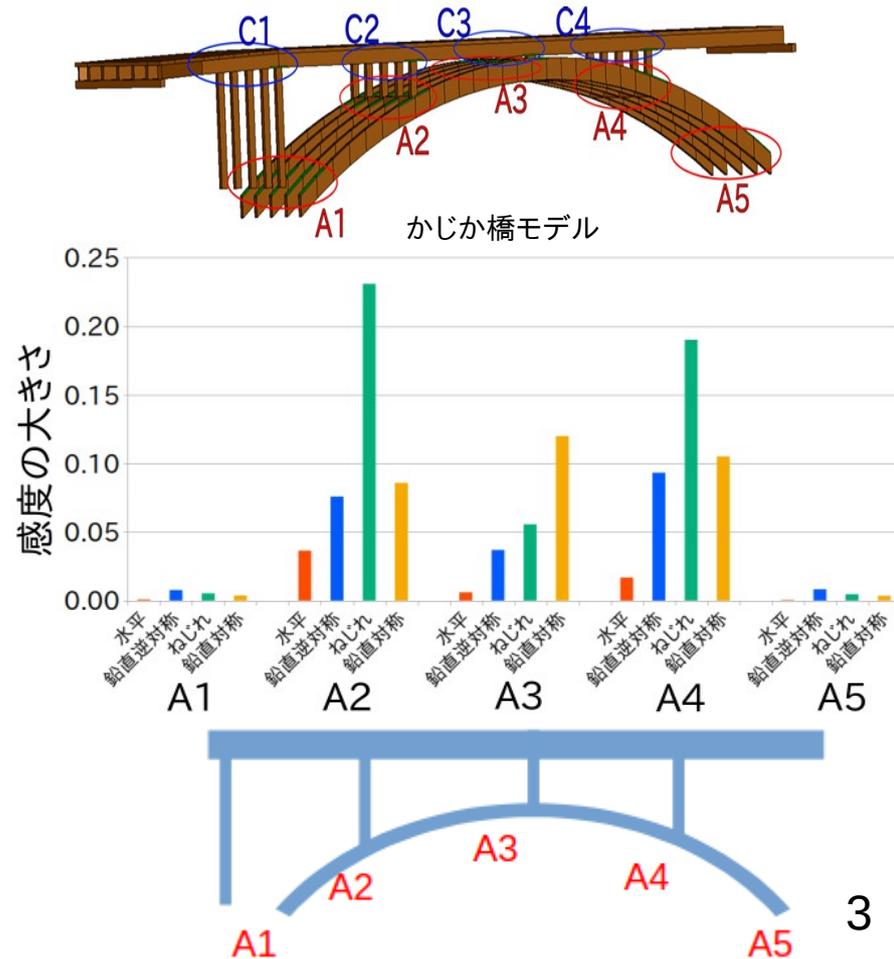
A1腐朽時の水平対称1次モード



感度解析の結果

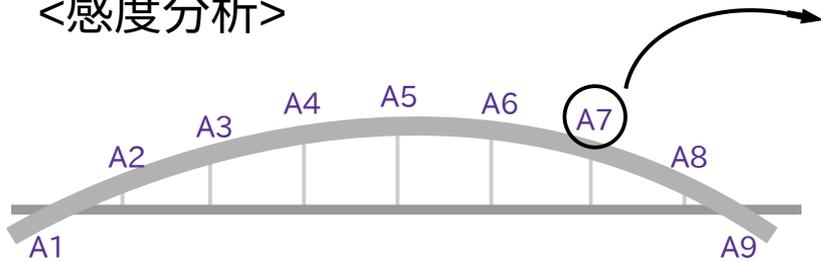


<比較>

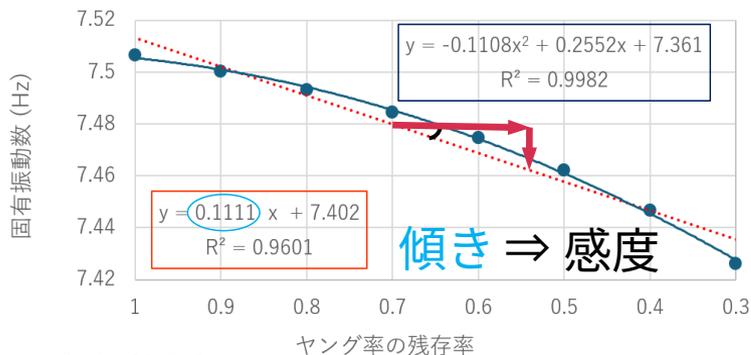


腐朽箇所 の 推定

<感度分析>



A1腐朽時の水平対称1次モード



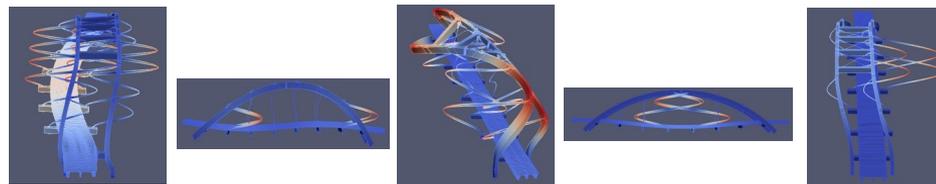
[感度分析]

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

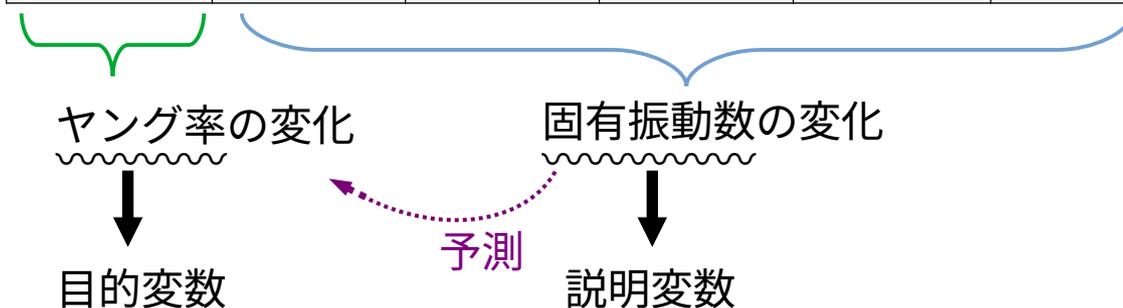
<A7>



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

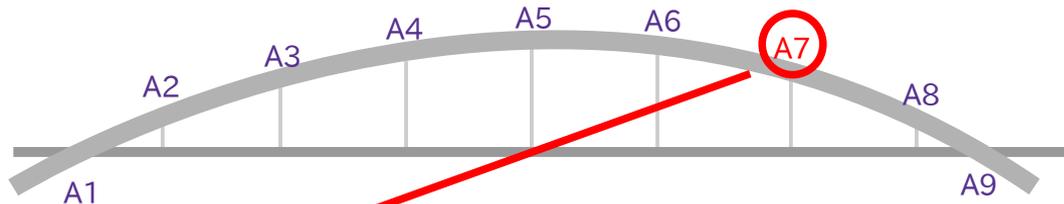
⋮

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

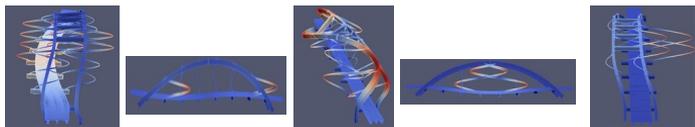


重回帰式をA1~A9, B1~B9に対してつくる

重回帰分析



<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
0.8	7.5076	4.681	6.704	4.1981	1.7555
0.3	7.50752	4.673	6.695	4.198	1.7543

重回帰式

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

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

⋮

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

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

⋮

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

18本の
重回帰式

目的変数 Y

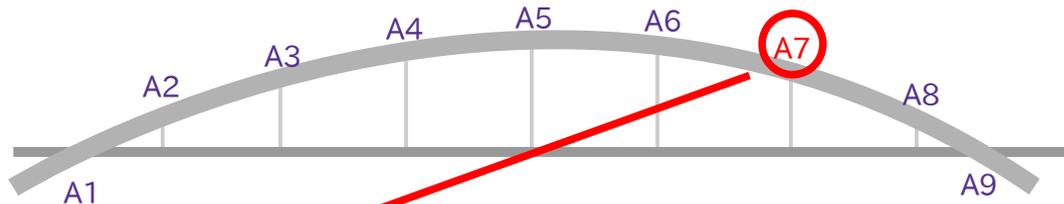
説明変数 X

固有振動数の測定値

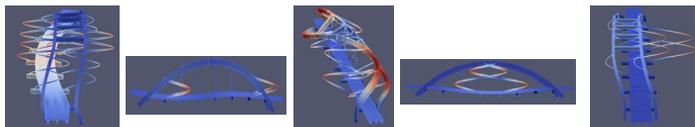
代入

最も小さい y が
腐朽箇所？

重回帰分析



<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
0.8	7.5076	4.681	6.704	4.1981	1.7555
⋮					
0.3	7.50752	4.673	6.695	4.198	1.7543

目的変数 Y

説明変数 X

重回帰式

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

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

⋮

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

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

⋮

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

18本の
重回帰式

固有振動数の測定値

代入

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)

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

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

[テストデータ]

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

<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

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

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

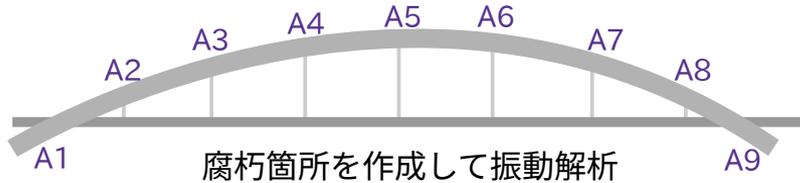
$$y_{B1} = -951 \cdot x_{水} + 364 \cdot x_{逆} - 750 \cdot x_{ね} + 203 \cdot x_{鉛} + 155 \cdot x_{ア} + 2976$$

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

解析結果(固有振動数)を代入

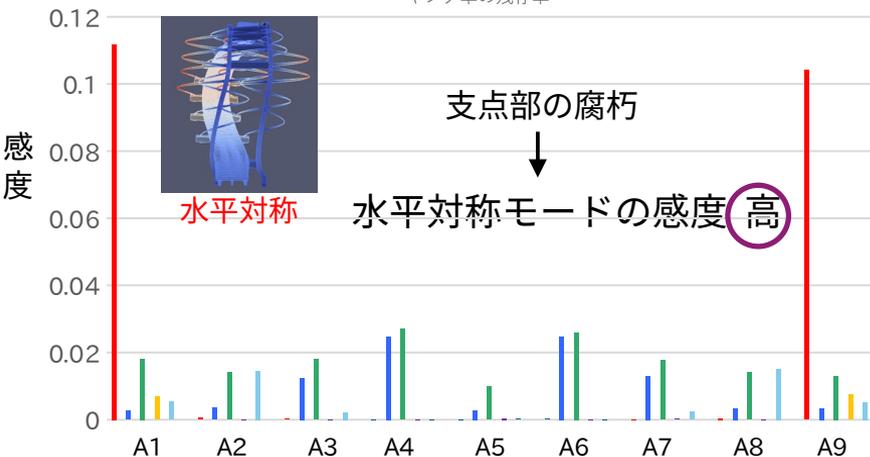
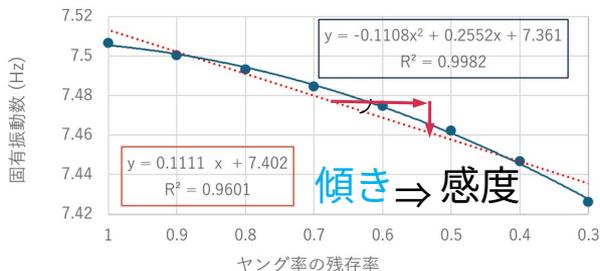
まとめ

<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)

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

A7が0.8
(全18データ)

順位	重回帰式	予測値
1	y_{A6}	0.1406
2	y_{B4}	0.3179
3	y_{A4}	0.3949
4	y_{B6}	0.6999
5	y_{B3}	0.7932
6	y_{A7}	0.8001
7	y_{A3}	0.8489
8	y_{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