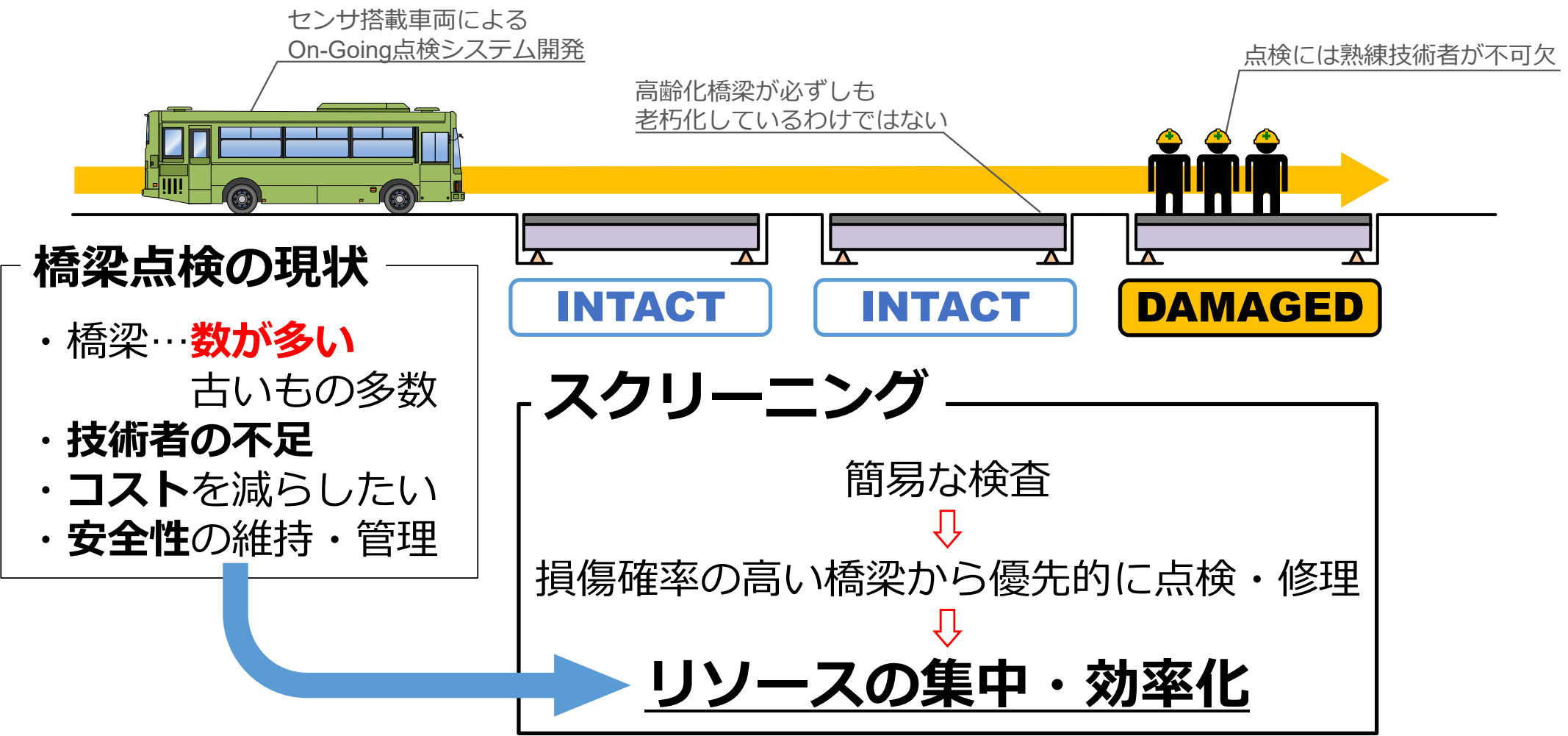


トラス橋の部材破断がSSMA Spatial Singular Mode Angle 分析結果に及ぼす影響の数値的検討



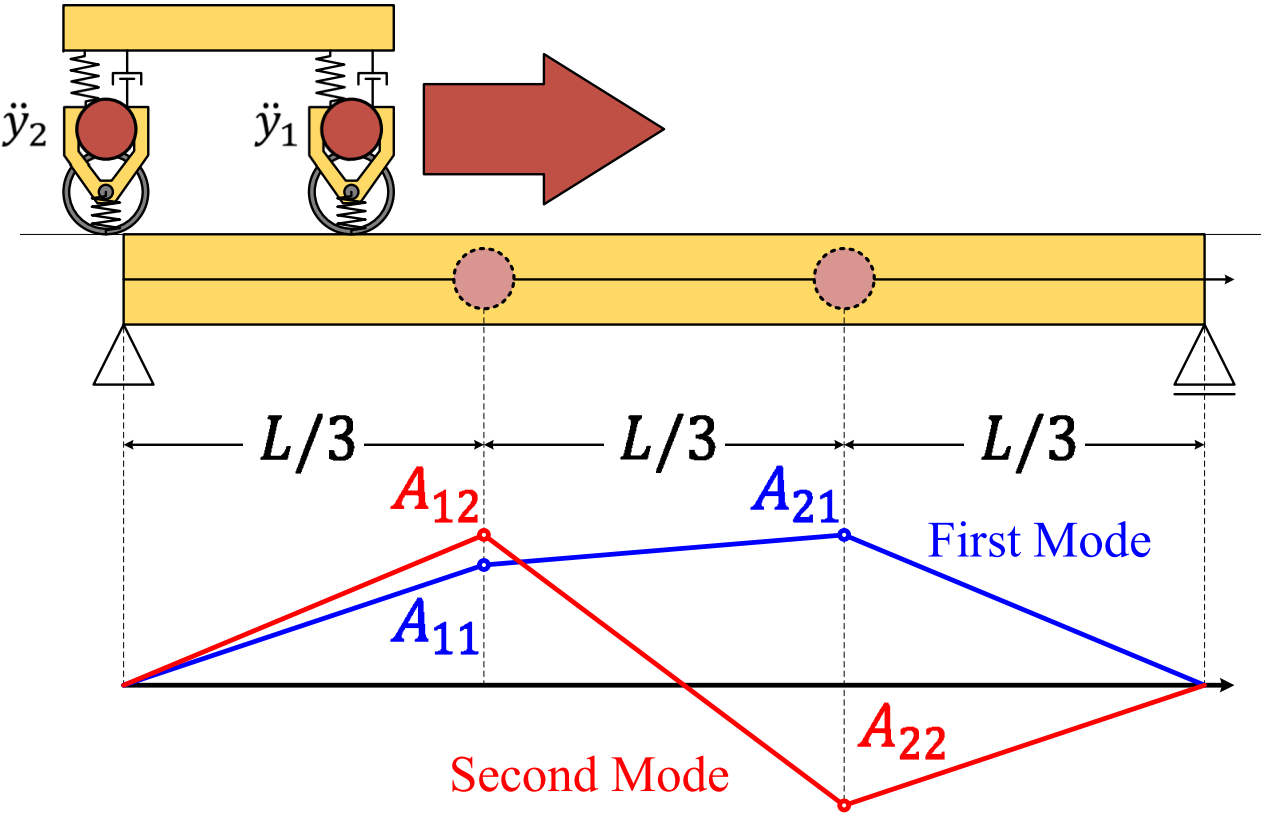
工学システム学類 4年 石川幹生
指導教員 山本亨輔



技術的解決法

車両応答分析: **VRA**(**V**ehicle **R**esponse **A**nalysis)

Technical Solutions



SSMA(**S**patial **S**ingular **M**ode **A**ngle)
空間特異モード角…推定橋梁モード形状を表す

車両の応答加速度を計測

$$\ddot{\mathbf{y}}(t) = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) \end{Bmatrix}$$

橋梁振動を推定

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} = \mathbf{U} \times \mathbf{\Sigma} \times \mathbf{V}^T$$

$\mathbf{N}^{-1}(\mathbf{x}) \ddot{\mathbf{y}}(t)$

空間補間(移動計測点→橋梁上固定点)

$$SSMA = \tan^{-1} \left(\frac{A_{21}}{A_{11}} \right)$$

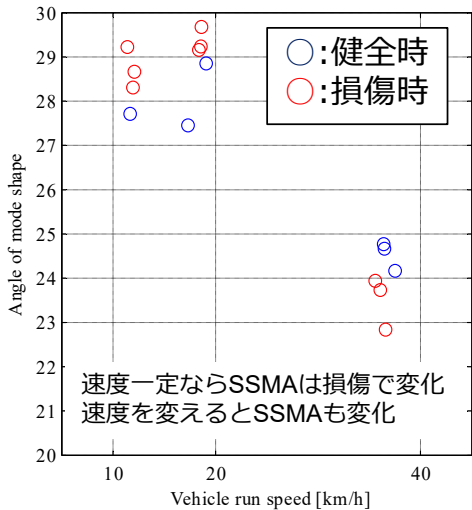
既往の研究

Previous Studies

実橋梁実験

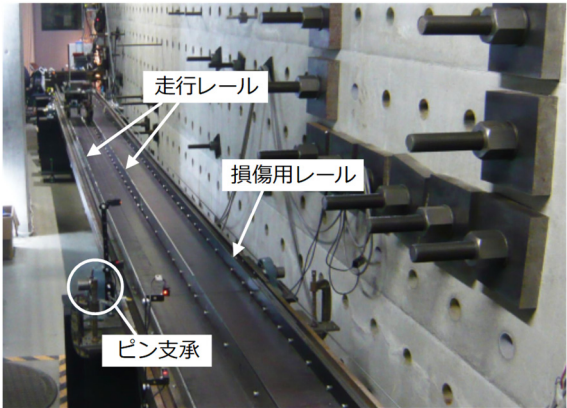


【実験結果】

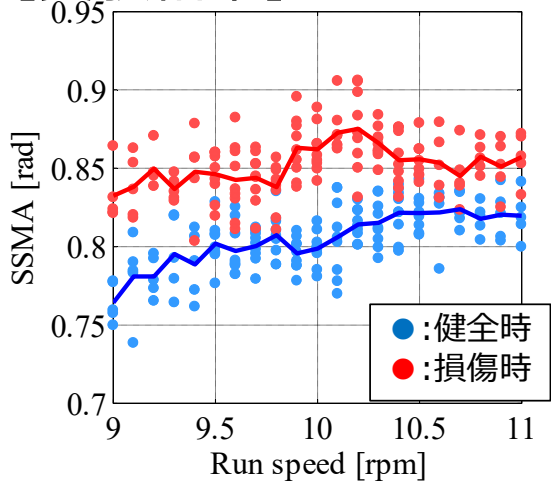


山本亨輔, 伊勢本遼, 大島義信, 金哲佑, 杉浦邦征: 鋼トラス橋の部材破断が橋梁および走行車両の加速度応答に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.180-193, 2012

模型実験



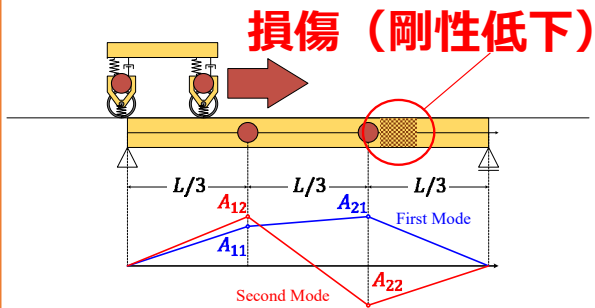
【実験結果】



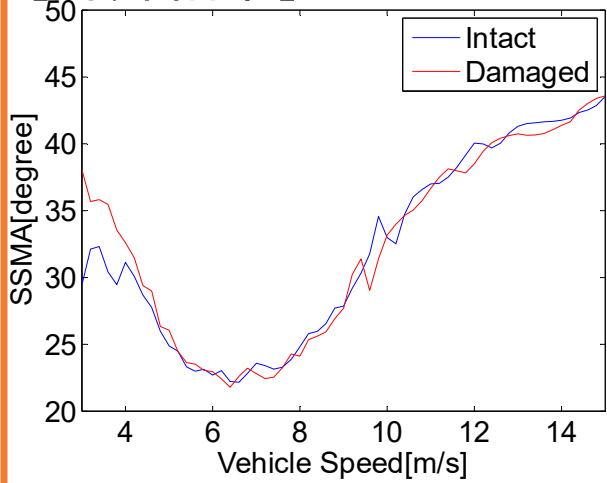
中釜祐太: 模型桁実験による車両応答を用いたモード形状推定法の桁損傷検知への適用性に関する検討, 筑波大学理工学群工学システム学類卒業論文, 2014.

数値計算

【数値計算モデル】



【計算結果】



Kyosuke Yamamoto, Mikio Ishikawa: Relationship between SSMA and vehicle run speed, the 27th KKHTCNN Symposium on Civil Eng., Shanghai, China, 2014.

数値計算の現状

- ・ 橋梁は**1次元単純梁**のみ
- ・ 損傷を**剛性の低下**で模擬

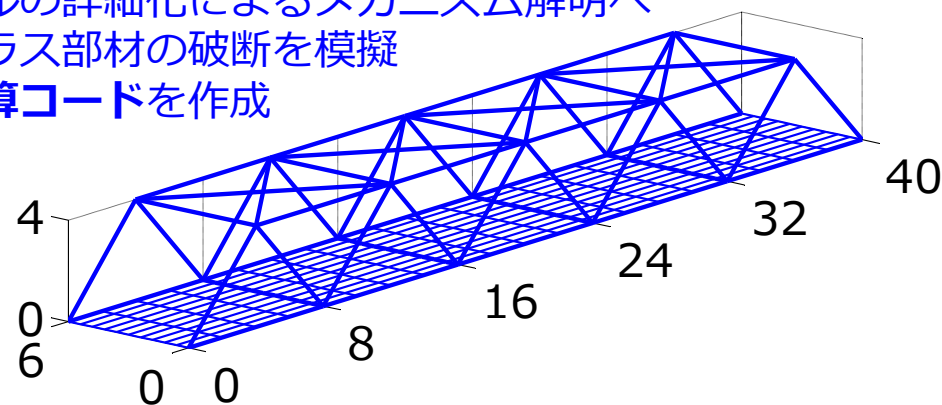
SSMAの性質検討として不十分



目的

- ・ **3次元**に拡張し、SSMAの**特性**を調査
- ・ 健全度判定指標としての**有効性**検証

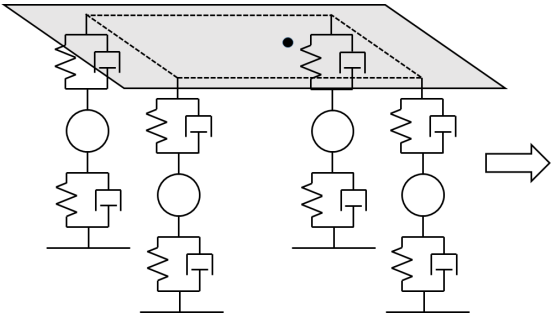
- ・ 損傷モデルの詳細化によるメカニズム解明へ
- ・ 今回はトラス部材の破断を模擬
- ・ **独自の計算コード**を作成



数値シミュレーションモデル

Numerical Models

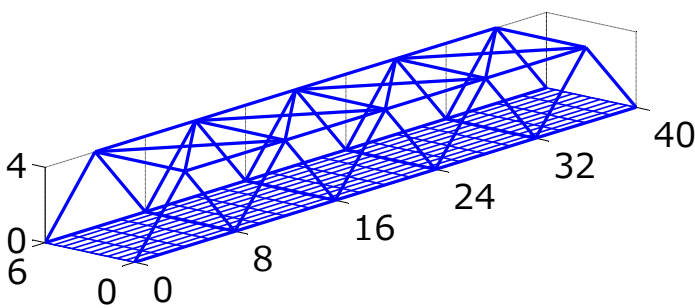
車両モデル



車両モデルパラメータ

バネ上	
質量	18000[kg]
減衰定数	10000[kg/s]
バネ定数	1000000[kg/s ²]
慣性モーメント (ピッチ方向)	65000[kg・m ²]
慣性モーメント (ロール方向)	15000[kg・m ²]
長さ	1.875[m]
幅	0.9[m]
バネ下	
質量	1100[kg]
減衰定数	30000[kg/s]
バネ定数	3500000[kg/s ²]

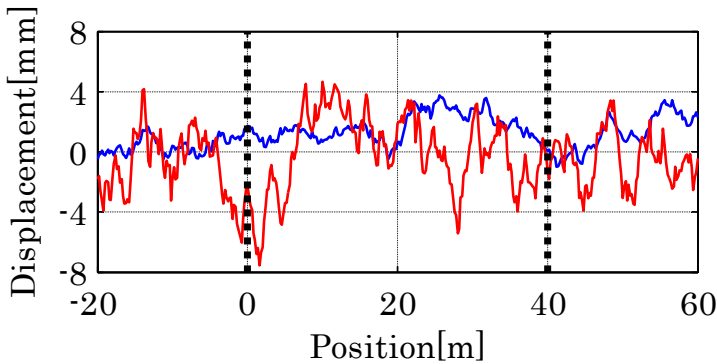
橋梁モデル



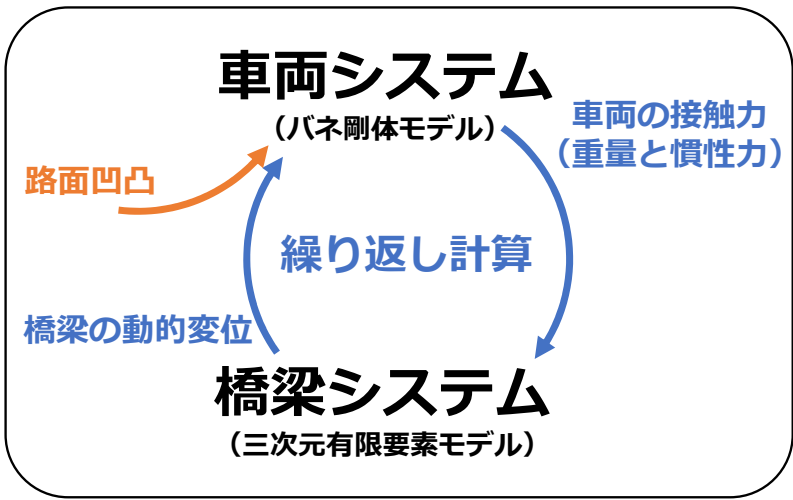
橋梁モデルパラメータ

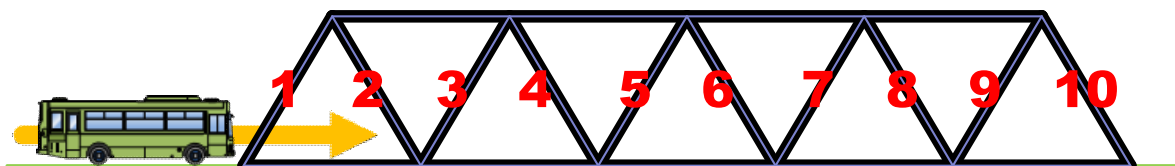
全体寸法	長さ	40[m]
	幅	6[m]
床板	要素分割数 (縦方向)	20
	(横方向)	10
	密度	2400[kg/m ³]
	厚さ	0.4[m]
	ヤング率	25 × 10 ⁹ [Pa]
トラス部材	密度	7800[kg/m ³]
	ヤング率	200 × 10 ⁹ [Pa]
	断面積	0.02[m ²]
	断面二次モーメント	1.0 × 10 ⁻⁴ [m ⁴]
	せん断弾性係数	78 × 10 ⁹ [Pa]
	断面二次極モーメント	1.0 × 10 ⁻⁶ [m ⁴]

路面凹凸



高速アルゴリズムを採用





橋梁のたわみ応答

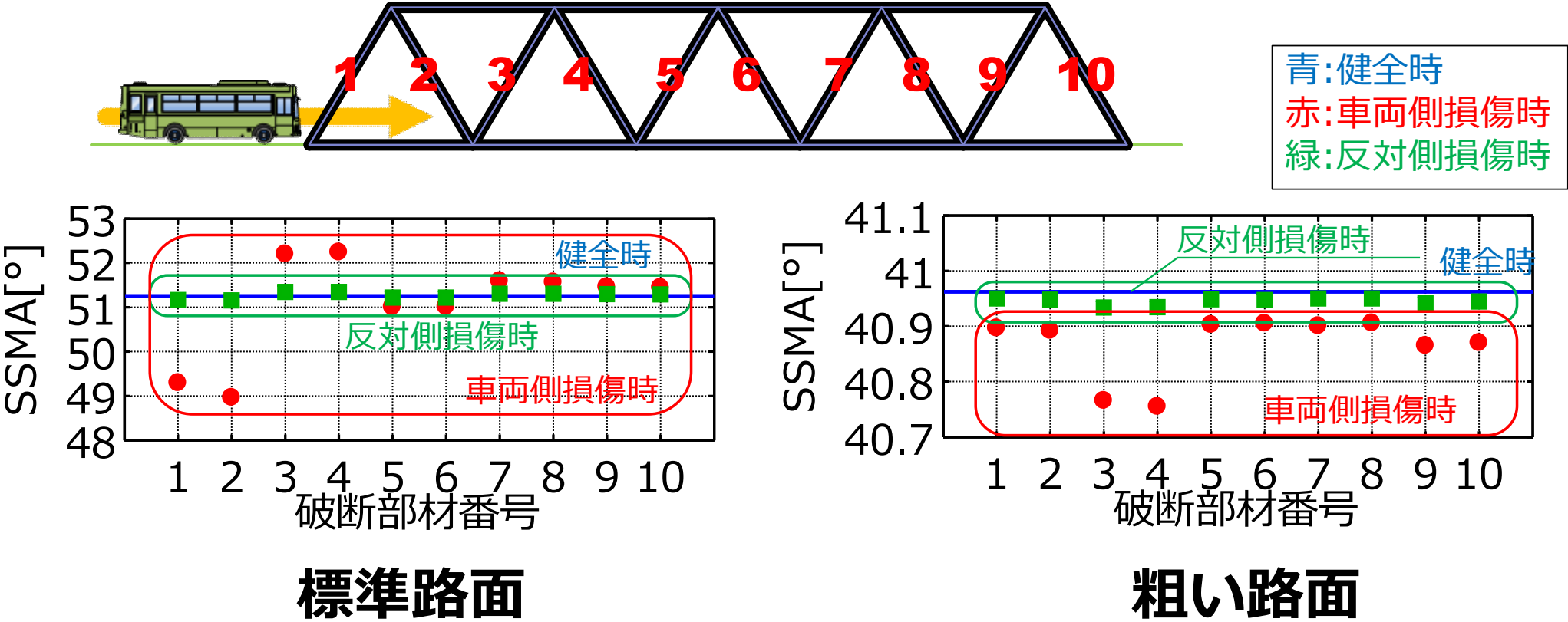
パラメトリック分析

破断部材・・・破断斜材は**1～10**まで
路面凹凸・・・路面変化＝交通荷重特性の変化
車両速度・・・既往の研究におけるパラメータ
白色雑音・・・走行毎のばらつきを考慮



SSMA分析が有効な条件を検討

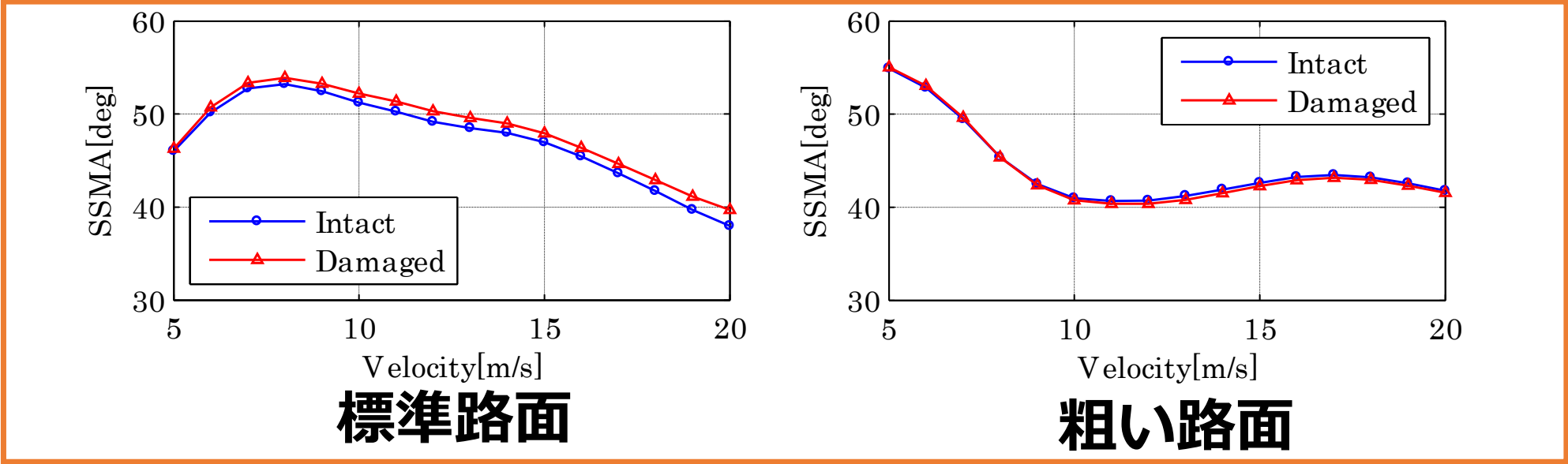
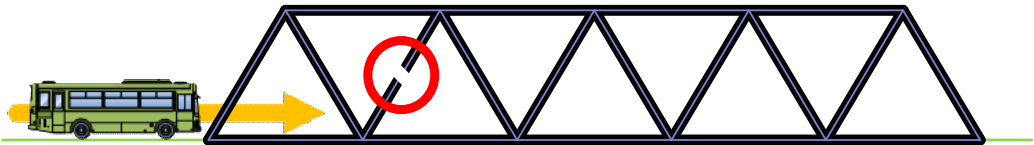
損傷部材位置によるSSMA結果の変化



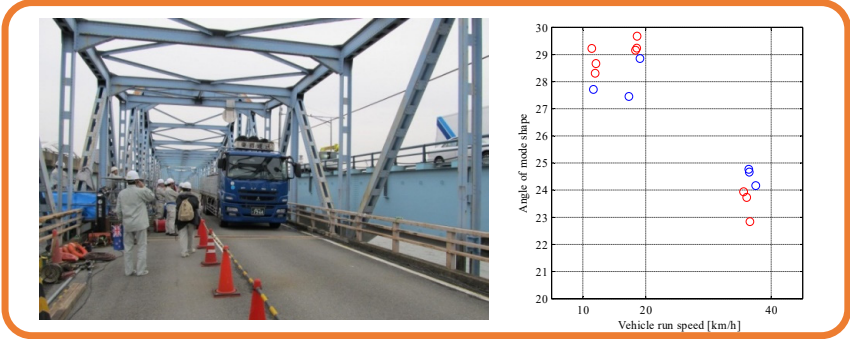
・ 車両走行側が損傷したとき、SSMA変化 大

車両速度の変化による影響

車両速度を5～20m/sまで1m/sずつ変化

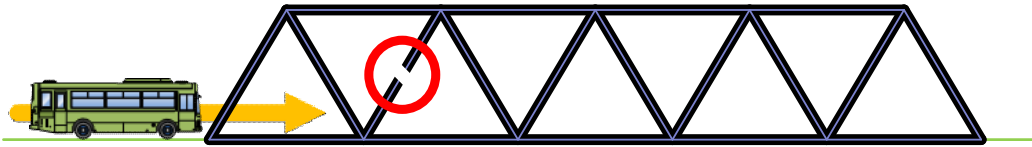


- 1) SSMAのモード形状推定精度：低
 ……**実橋梁実験**の結果と一致
- 2) 車両速度：**速い** ➡ 損傷感度：**良好**

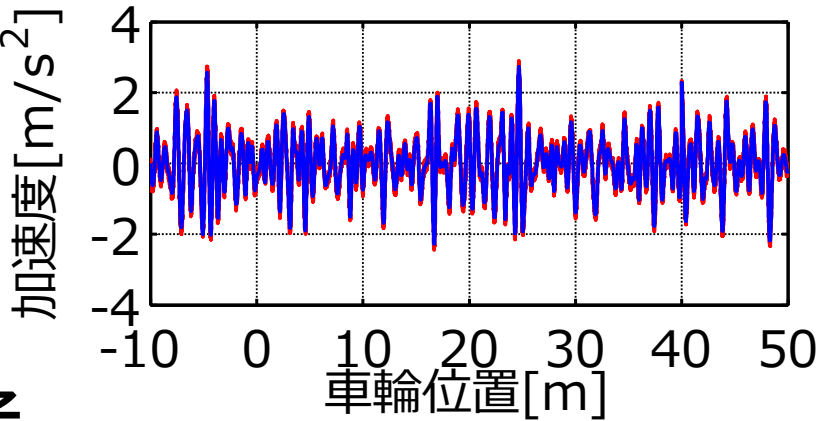


白色ノイズを用いたSSMA分析の有効性検討

±0.2[m/s²]以内の乱数を生成、車輪加速度に加算
車両速度…10m/s
試行回数…各ケース100回ずつ

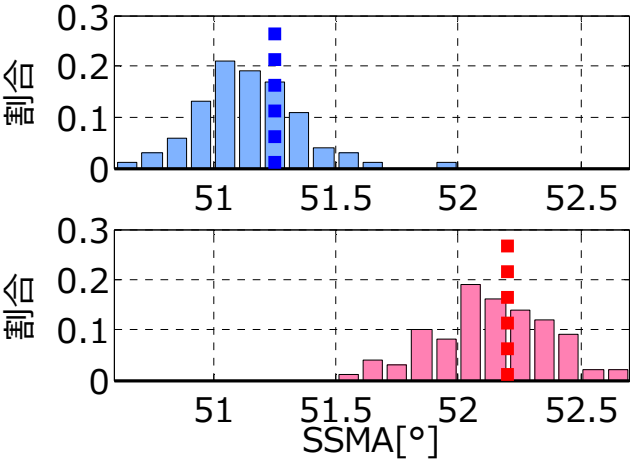


車輪加速度とノイズ

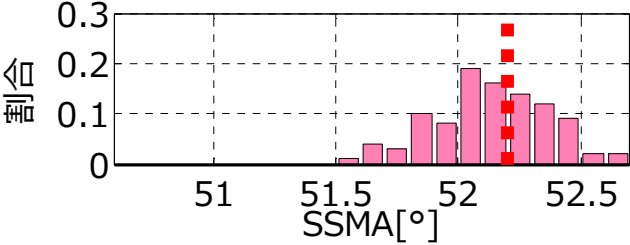


ノイズを発生させたときのSSMAの分布の様子

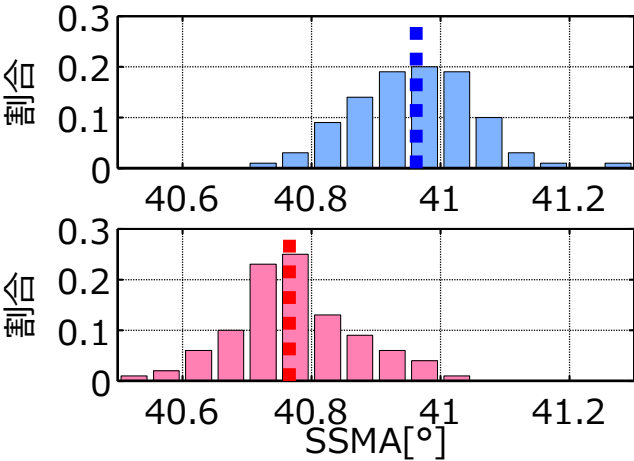
健全時



損傷時



標準路面

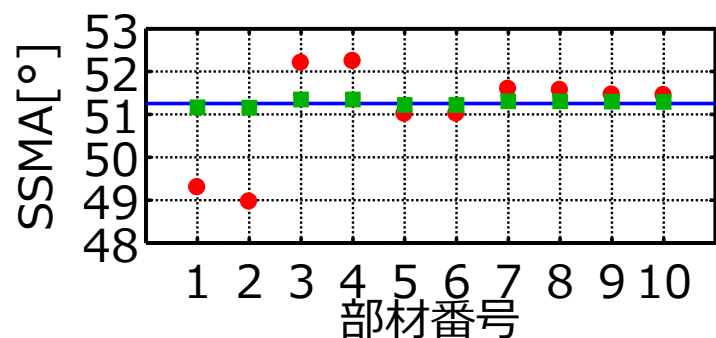


粗い路面

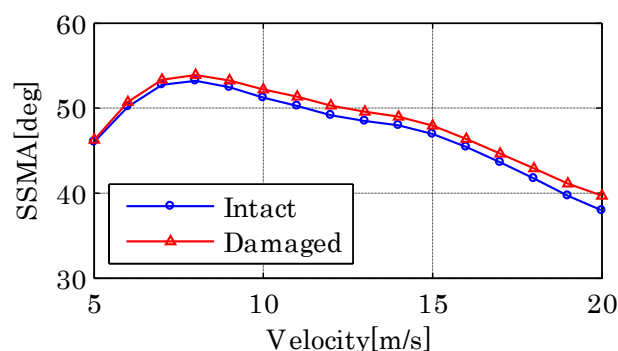
- ・ 車両応答分析の数値計算を**三次元モデル**に拡張、トラス橋の部材破断に対するSSMAの感度を検証



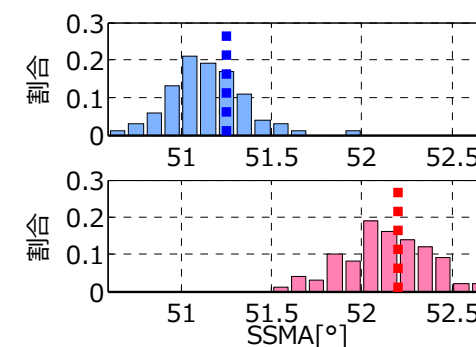
- ・ **車両走行側**のトラス部材の破断に対してSSMAの感度が高い
- ・ **速度**が速い方がSSMAの感度が高くなりやすい
- ・ 車両振動に**ノイズ**を与えても、SSMAによる損傷検知は可能



部材損傷位置とSSMA



車両速度とSSMA



SSMA分布