

橋梁・車両振動を用いた 橋梁のパラメータ推定

フロンティア工学研究グループ山本研究室

工学システム学類4年 大村怜

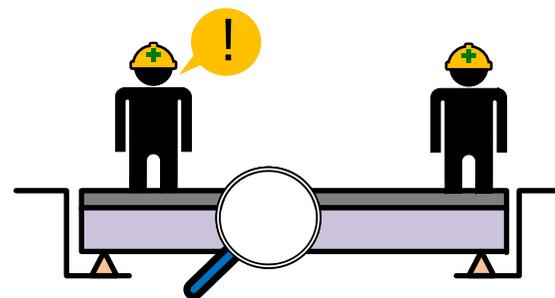
指導教員 山本亨輔

研究背景

現在日本には約70万基の橋梁が存在

定められている点検要領は「5年に一度の近接目視点検」※

自治体の**予算不足・人手不足**



※国土交通省道路局，道路橋定期点検要領，2014

既往の研究

橋梁への構造ヘルスマニタリングの例

(Structure Health Monitoring)

橋梁上にセンサを設置し、車両が通過した際の応答を計測する
計測されたデータからモード形状、周波数応答などを計算し構造の
異変を検知する。 [1-2]

問題点

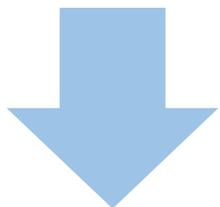
- P-1. 設置コストが高い
- P-2. 交通振動は遷移応答であるため車両が橋梁に及ぼす外力が
わからないとパラメータ推定ができない
- P-3. 長期的な計測を前提にしている

[1]Kyosuke Yamamoto, Mikio Ishikawa, "Numerical Verification of Bridge Screening Technology based on Vehicle Vibration" ,Proceedings of the World Congress on Engineering 2016 Vol II WCE,2016

[2]毛利宏輔:GPS同期型MEMSセンサの橋梁モニタリングへの適用, 筑波大学工学システム学類卒業論文2016

研究目的・提案手法

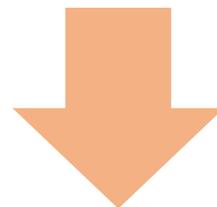
橋梁と車両の振動を用いた 橋梁のパラメータ推定



MEMSセンサと制御システムを開発

(Micro-Electro-Mechanical Systems)

Point: 全センサの時刻同期



PSO法を用いて推定

(Particle Swarm Optimization)

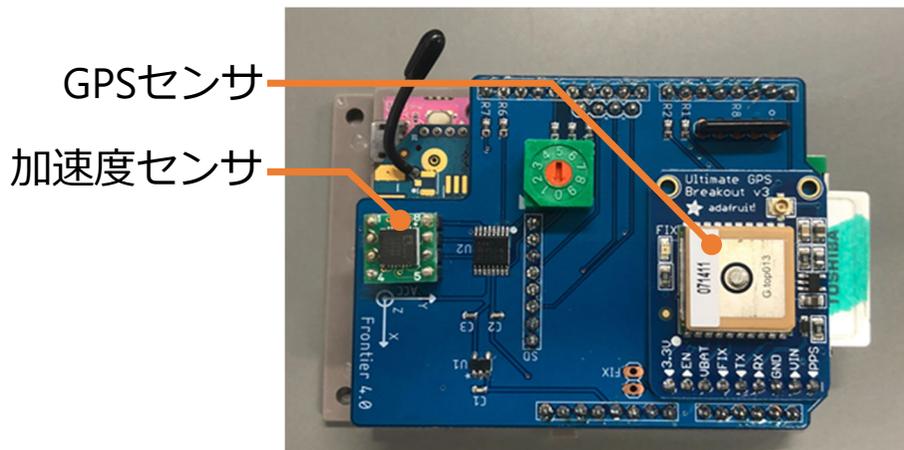
Target: 路面凹凸・曲げ剛性分布

R-1. 安価で作成できるMEMSセンサーを用いて少コスト化を図る

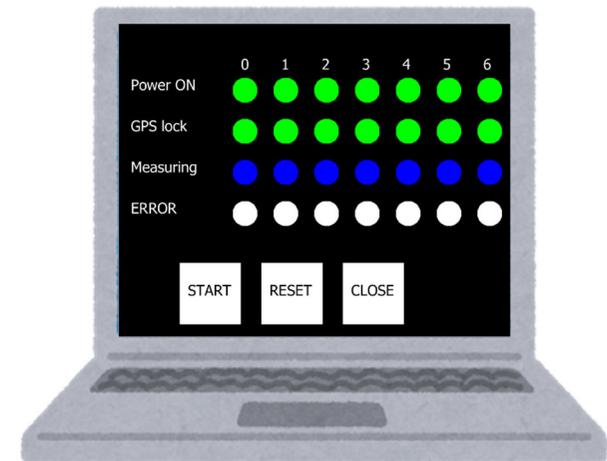
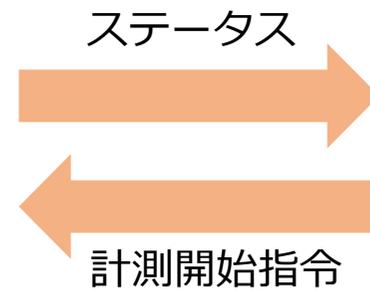
R-2. 車両の振動も橋梁と同時に計測して車両の応答も用いる

R-3. 橋梁のパラメータを直接推定する

提案手法 | MEMSセンサ



鉛直方向の加速度のみ
300[Hz]で計測

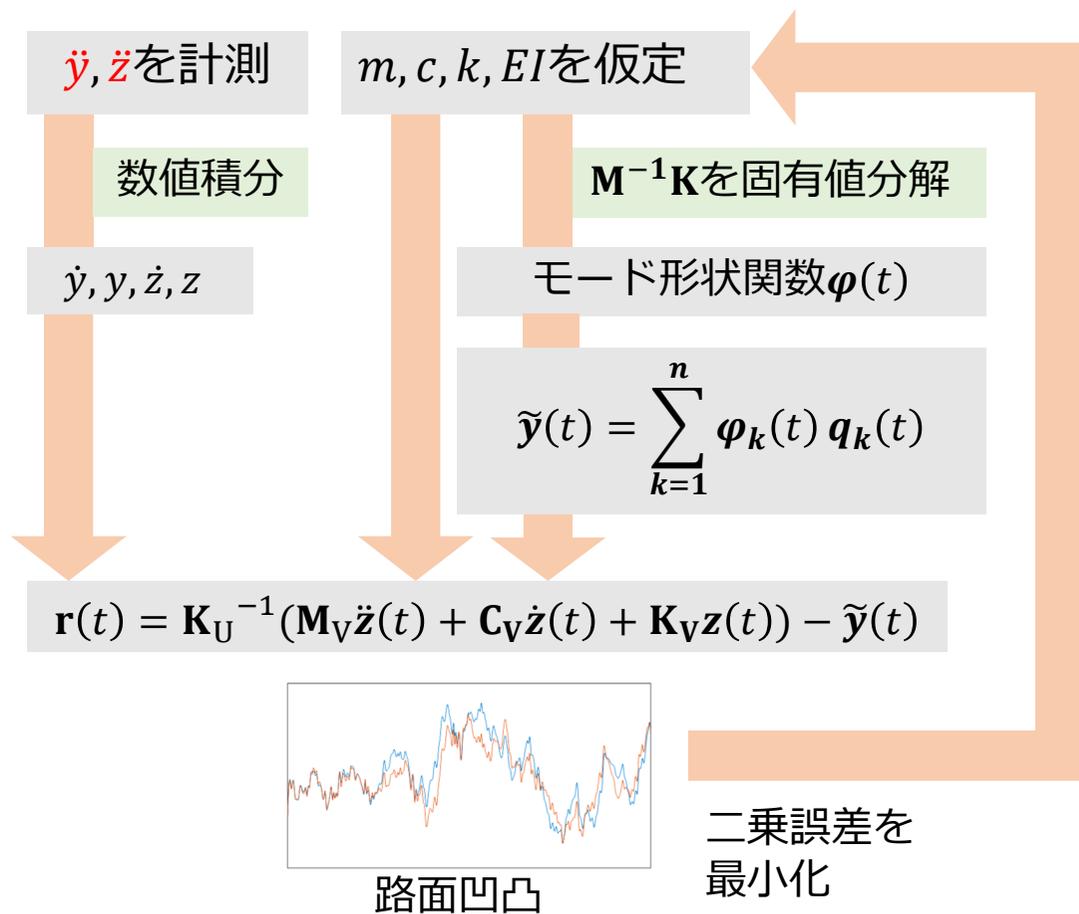
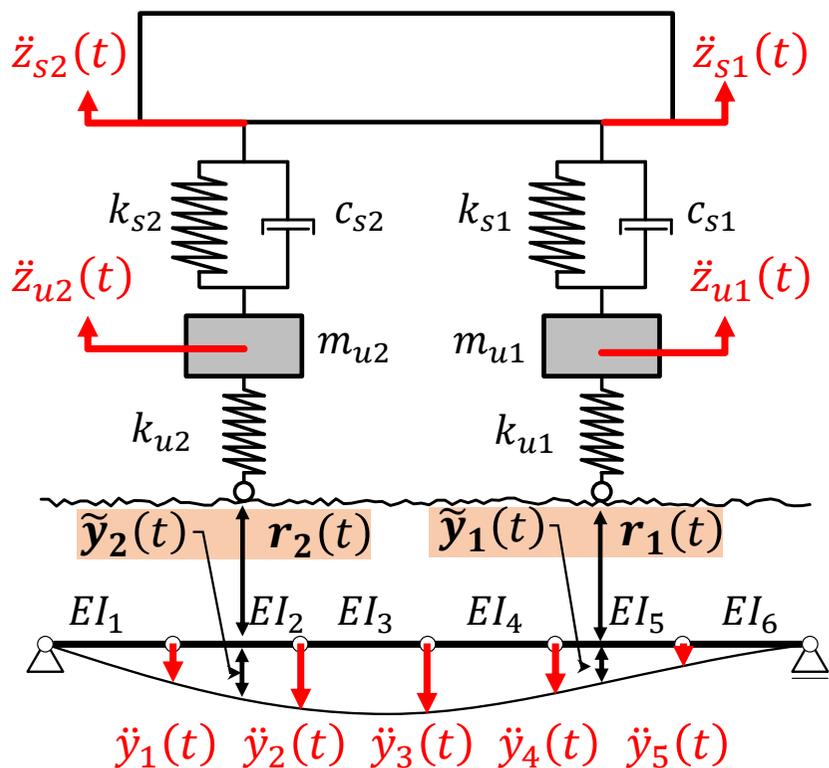


制御用PCのGUI(Graphical User Interface)から
計測開始時刻の指示を行う
同時に各センサの動作状態を表示

提案手法 | 数値モデル

車両(Half-Car Model)の運動方程式

$$\mathbf{M}_V \ddot{\mathbf{z}}(t) + \mathbf{C}_V \dot{\mathbf{z}}(t) + \mathbf{K}_V \mathbf{z}(t) = \mathbf{K}_U (\tilde{\mathbf{y}}(t) + \mathbf{r}(t))$$

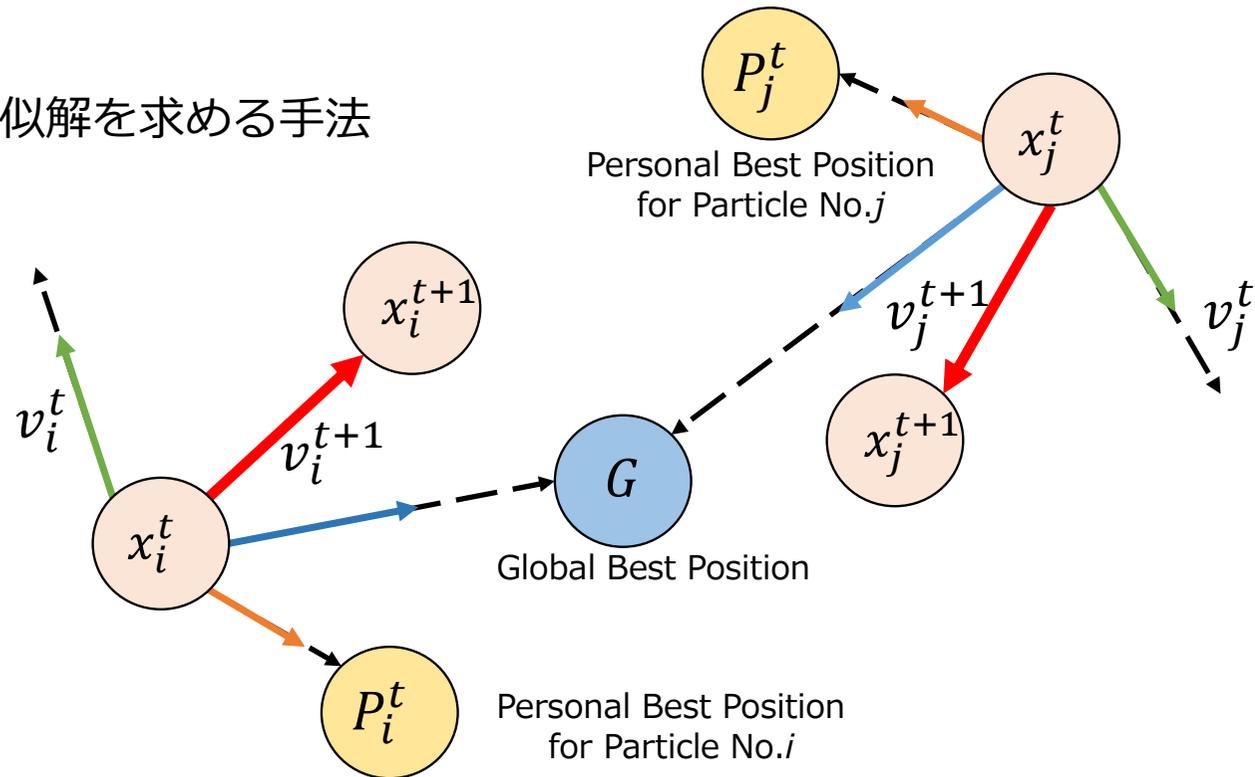


提案手法 | 粒子群最適化法※

解空間に粒子をランダムに配置し, 他の粒子の情報に基づいて
自身の位置と速度を調整
解空間を探索することで最適解の近似解を求める手法

$$\begin{aligned}x_i^{t+1} &= x_i^t + v_i^{t+1} \\v_i^{t+1} &= wv_i^t + c_1r_1(P_i^t - x_i^t) + c_2r_2(G - x_i^t)\end{aligned}$$

$$x^{(i)} = \left\{ \begin{array}{l} m_{u1}, m_{u2}, k_{u1}, k_{u2}, \\ k_{s1}, k_{s2}, c_{s1}, c_{s2}, EI_{1\sim6} \end{array} \right\}^{(i)}$$



※J.Kennedy, R.C.Eberhart, "Particle swarm optimization" in Proc. of IEEE Int.Conf.on Neural Networks, pp.1942-1948, 1995

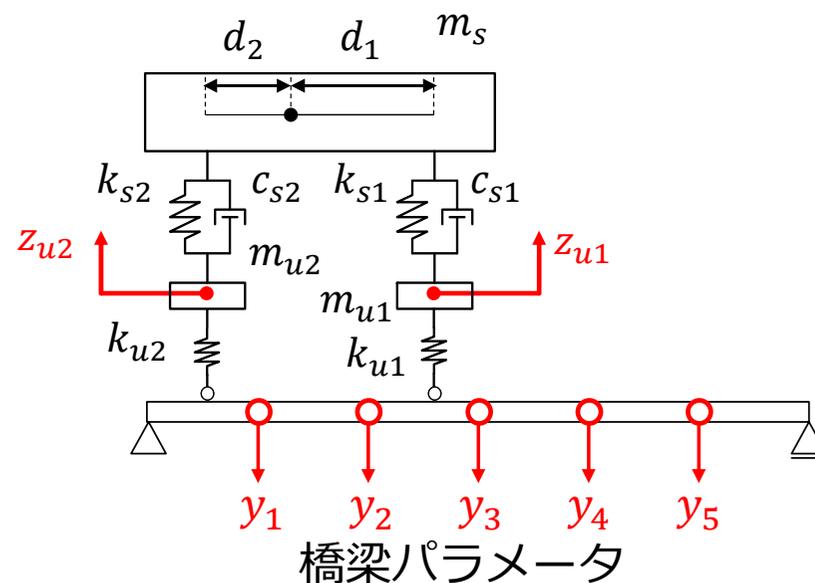
数値実験 | 概要

1次元FEMモデルにおいて
車両が通行した際の橋梁と車両振動から
路面凹凸が推定可能か検証

シミュレーションと同じパラメータを用いて
推定手法の妥当性を検証

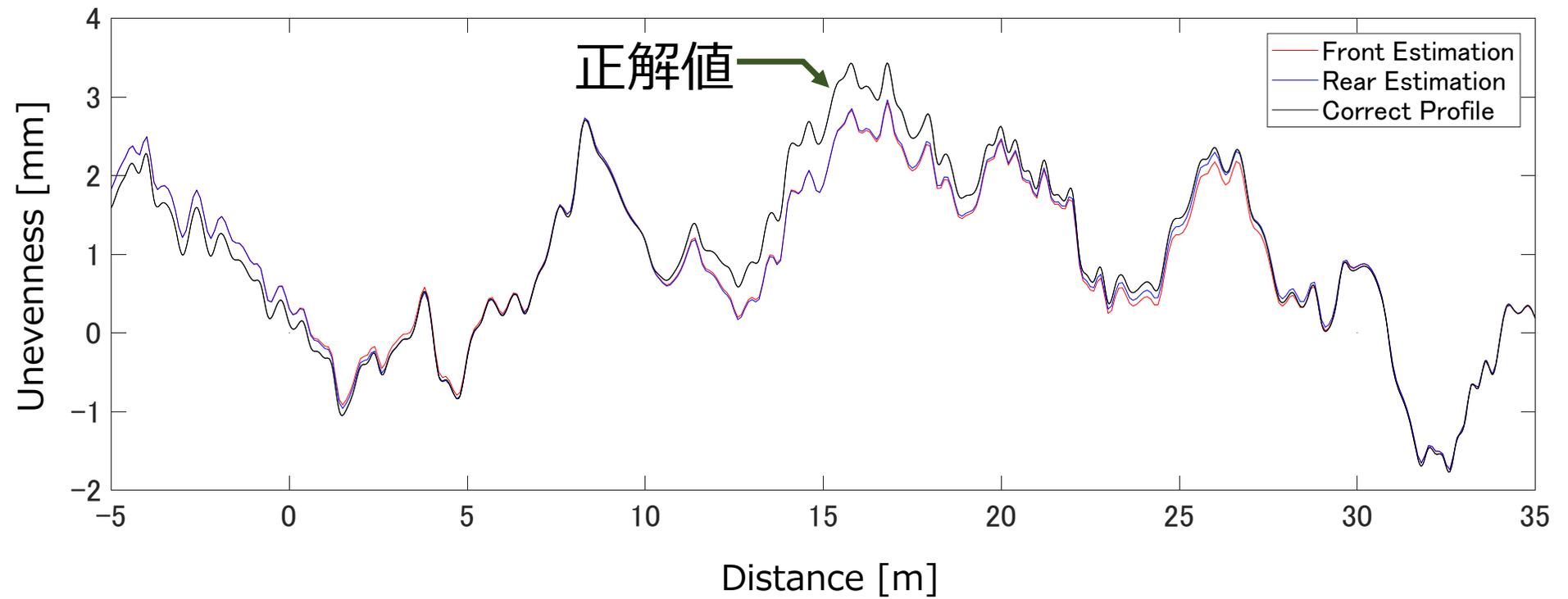
車両パラメータ

m_s [kg]	9.0×10^5	k_{s1}, k_{s2} [N/m]	4.5×10^5
m_{u1}, m_{u2} [kg]	5.0×10^2	k_{u1}, k_{u2} [N/m]	6.0×10^4
I_V [kg m ²]	2.8×10^6	c_{s1}, c_{s2} [kg/s]	2.0×10^5
d_1, d_2 [m]	1.75	v [m/s]	10



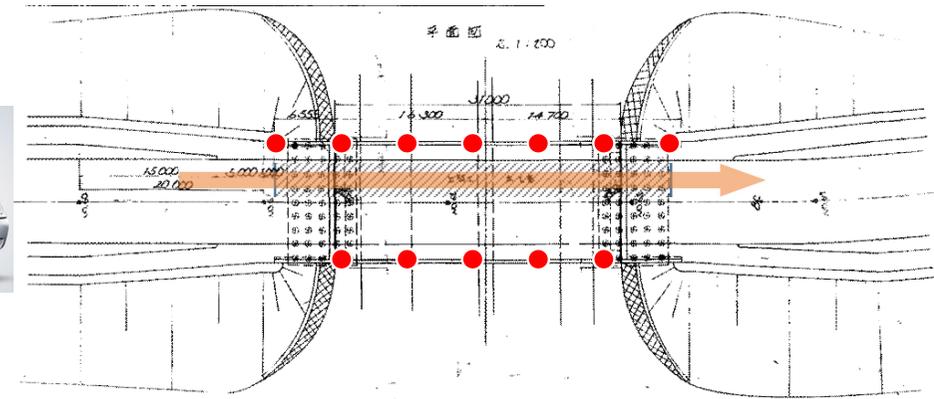
橋長 [m]	30.0
要素の長さ[m]	5
EI [Nm ³]	1.56×10^{11}
ρA [kg/m]	3.00×10^3

数値実験 | 結果



実橋実験 | 概要

対象橋梁 : 筑波大学構内 松美橋
橋長 : 約32m
桁構造 : 箱桁

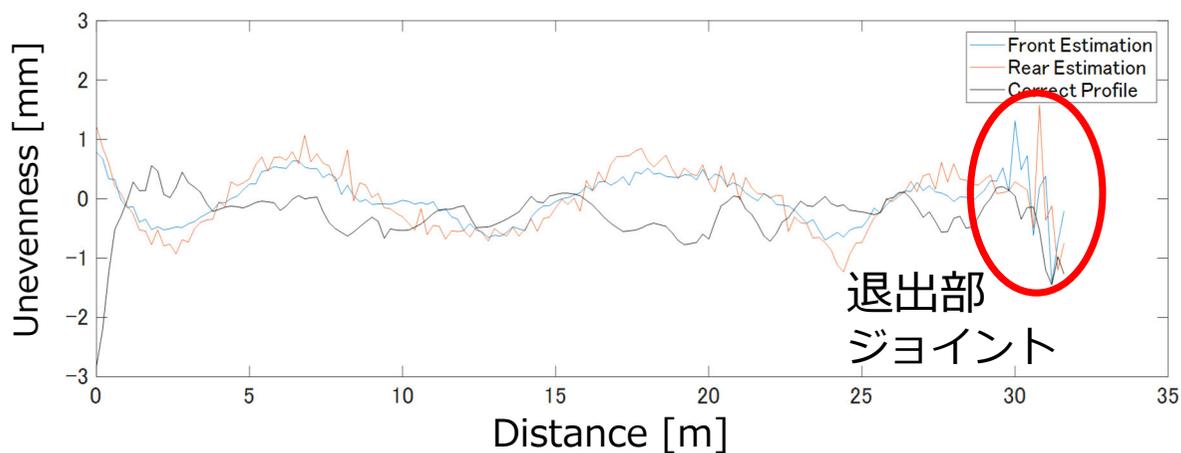
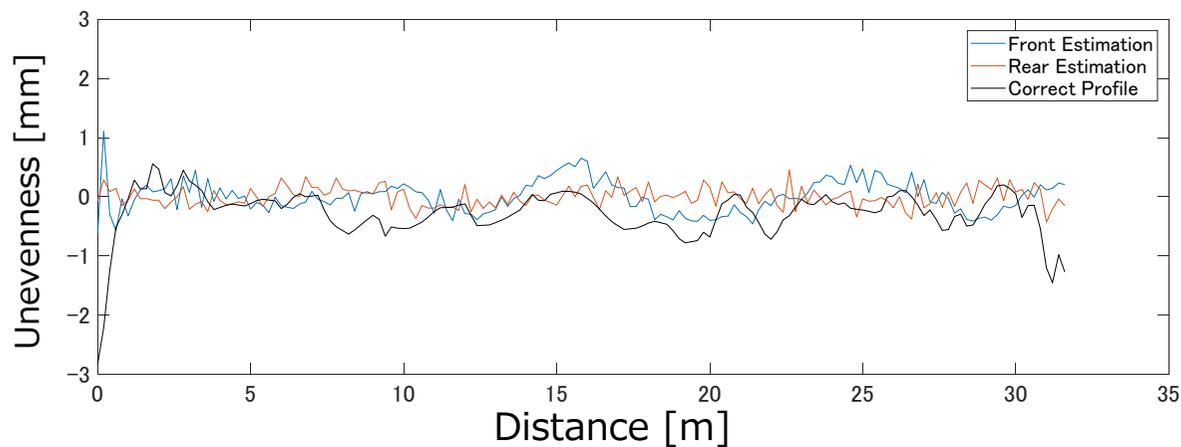


初期パラメータの中央値

m_{u1} [kg]	2.5×10	k_{s1} [N/m]	4.5×10^3
m_{u2} [kg]	6.0×10^2	k_{s2} [N/m]	4.5×10^3
c_{s1} [kg/s]	1.5×10^3	k_{u1} [N/m]	6.0×10^4
c_{s2} [kg/s]	2.0×10^2	k_{u2} [N/m]	6.0×10^4



実橋実験 | 結果



ケース① 車両パラメータの推定結果

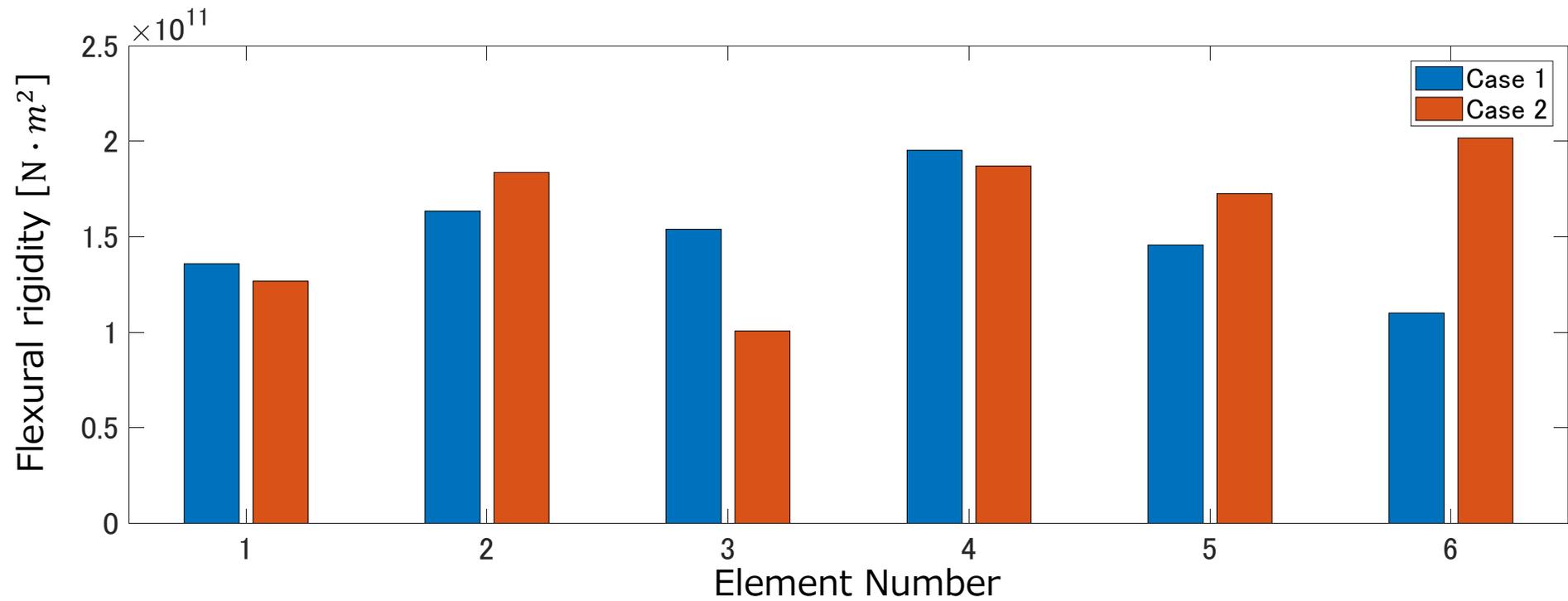
m_{u1} [kg]	1.812×10^2	k_{s1} [N/m]	2.432×10^3
m_{u2} [kg]	2.612×10^2	k_{s2} [N/m]	2.638×10^3
c_{s1} [kg/s]	1.386×10^3	k_{u1} [N/m]	8.846×10^4
c_{s2} [kg/s]	2.206×10^2	k_{u2} [N/m]	7.690×10^4

ケース② 車両パラメータの推定結果

m_{u1} [kg]	0.841×10^2	k_{s1} [N/m]	6.607×10^3
m_{u2} [kg]	2.581×10^2	k_{s2} [N/m]	2.550×10^3
c_{s1} [kg/s]	1.625×10^3	k_{u1} [N/m]	7.739×10^4
c_{s2} [kg/s]	1.577×10^2	k_{u2} [N/m]	7.126×10^4

実橋実験 | 結果

両ケースの走行から推定されたEI分布



まとめと課題

- MEMSセンサ

- 位置推定精度への依存度が高い



GPSモジュールの精度を上げる

収集するデータの種類を増やす(ジャイロセンサなど)

- PSO法

- 前後輪から推定される路面凹凸の差のみを最小化すると実際の路面凹凸と違うものが最適解として扱われる
- 解空間が広すぎるため探索が困難



目的関数の見直し