

# 車上計測された軌道変位による 桁たわみ推定法

鉄道力学研究部 構造力学研究室

研究員 服部 紘司



# 本日の発表

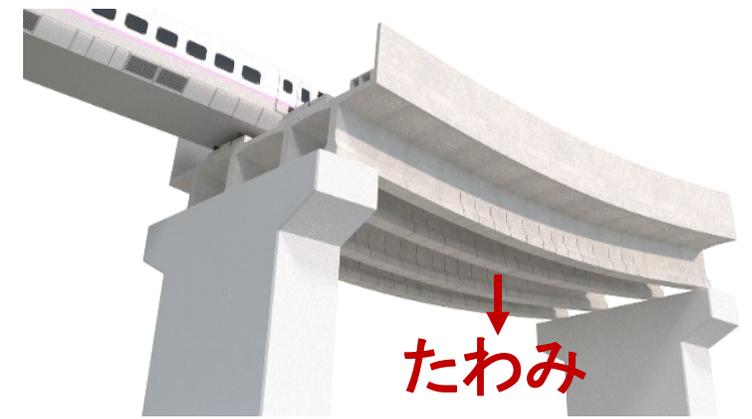
1. 研究背景
2. 車上計測について
3. 慣性計測に基づく推定法と事例
4. 差分計測に基づく推定法と事例
5. まとめ

# 本日の発表

1. 研究背景
2. 車上計測について
3. 慣性計測に基づく推定法と事例
4. 差分計測に基づく推定法と事例
5. まとめ

# 橋りょう桁たわみについて

- 橋りょうの代表的な**性能指標**
  - **設計標準**: 走行安全性, 乗り心地
  - **維持管理標準** 付属資料: 活用法例示
- 実務での具体例
  - 開業監査・工事施工後の**性能確認**
  - 要注意橋りょうの**モニタリング**



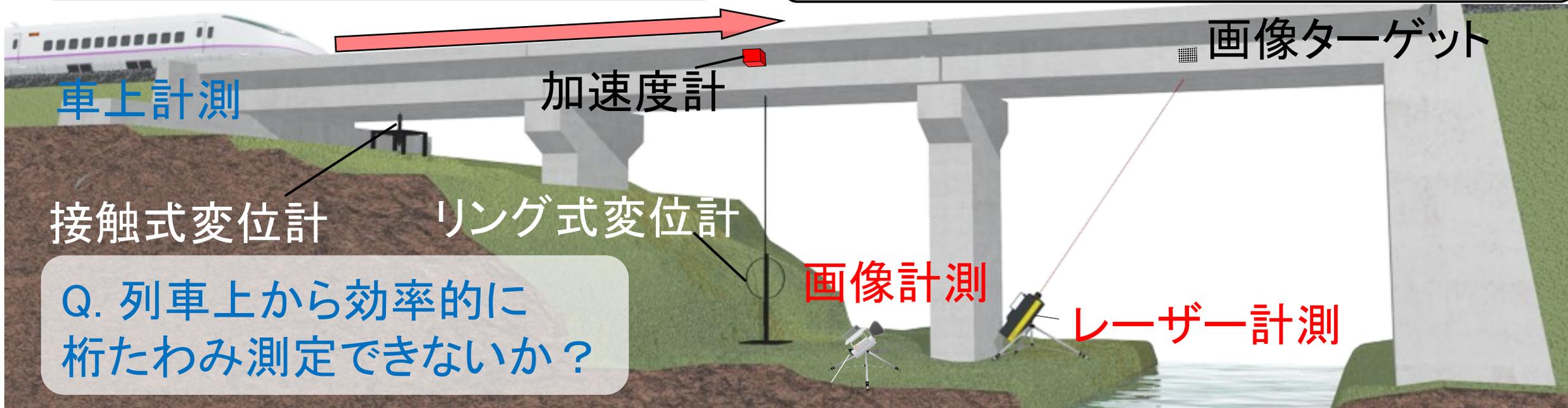
# 桁たわみ測定方法と課題

## 課題

## 測定方法

- 現地に**測定機器**を設置
- 近年、簡易な手法が発達
  - **レーザー計測**, **画像計測**

- 地上計測では**省力化**の限界あり
  - 現地に向かう時間, 人員
- **線区全体のモニタリング**:コスト大
  - 数億円単位になる例も



Q. 列車上から効率的に  
桁たわみ測定できないか？

# 本日の発表

1. 研究背景
- 2. 車上計測について**
3. 慣性計測に基づく推定法と事例
4. 差分計測に基づく推定法と事例
5. まとめ

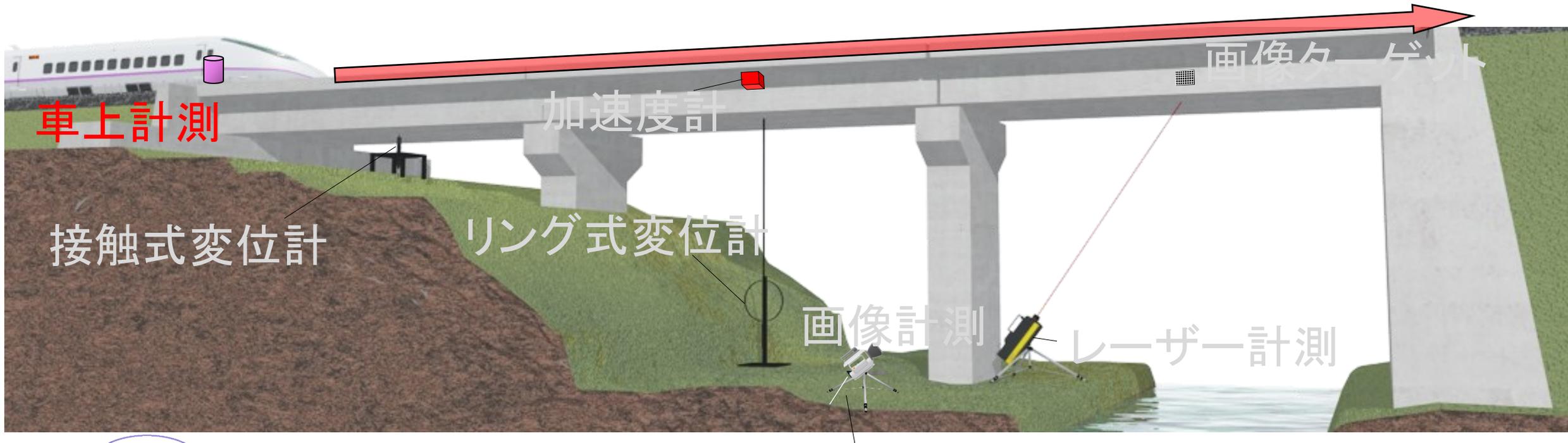
# 車上計測のメリット

## 現場のメリット

- 網羅的かつ高頻度での計測
- 桁へのセンサ設置や管理が不要

## 管理者のメリット

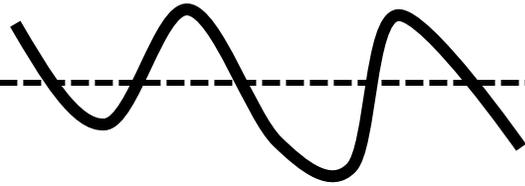
- 橋りょうモニタリングのCBM化
  - 低コスト化, 省人化
- 線区を網羅した要注意橋りょう抽出
  - 早期異常検知で輸送障害防止



# 車上計測のポイントと課題

## ポイント

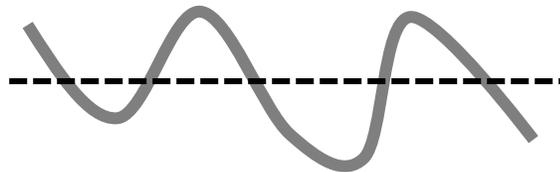
軌道変位(検測車)



||  
構造物の変形



+  
静的軌道変位



車上計測は世界中で検討されるも基本的な桁たわみも未実現

推定

課題①

両者の関係が未解明

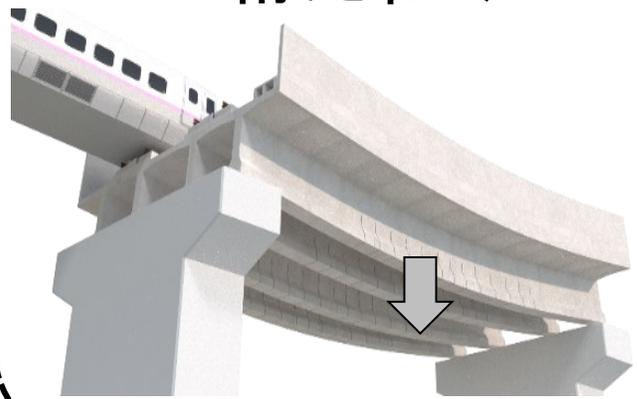
課題②

静的軌道変位が卓越

課題③

実路線での検証が不足

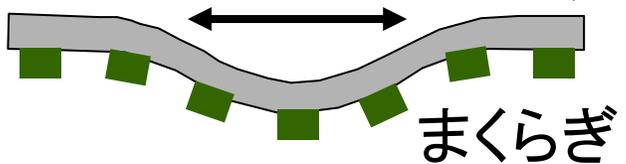
桁たわみ



ゆがみ

レール

まくらぎ



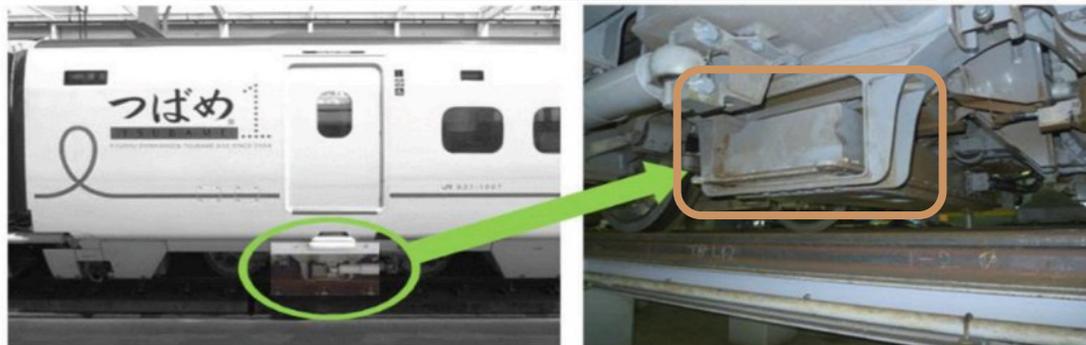
# 本研究の目的

## 本研究の目的①

軌道変位を用いた桁たわみ推定に必要な原理を構築

- 軌道変位は**軌道検測方法**に合わせた特徴を持つ
  - **軌道検測方法**に合わせた桁たわみの車上計測法の構築が必要

慣性計測（主に新幹線）



差分計測（主に在来線）



## 本研究の目的②

出典: Matsuoka and Tanaka (2023)

慣性計測および差分計測に基づく桁たわみの車上計測法を構築・検証

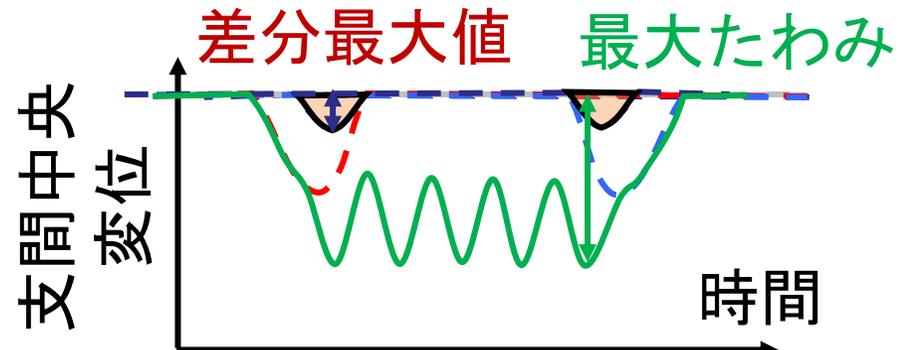
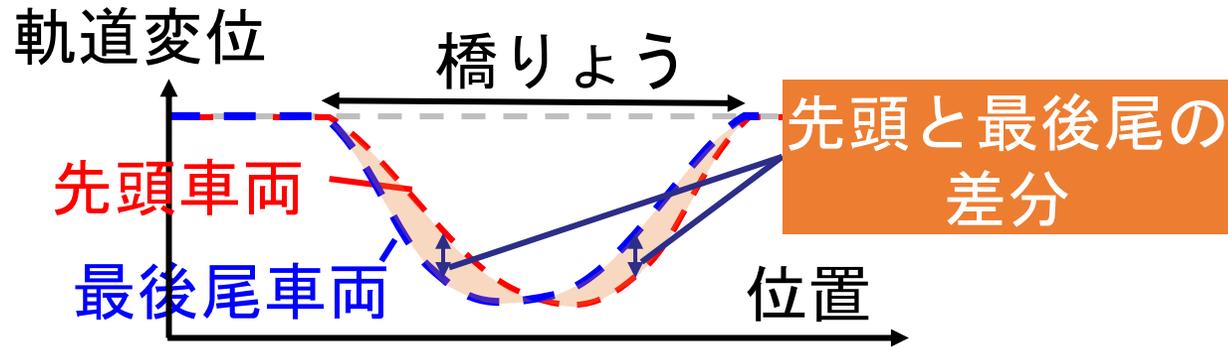
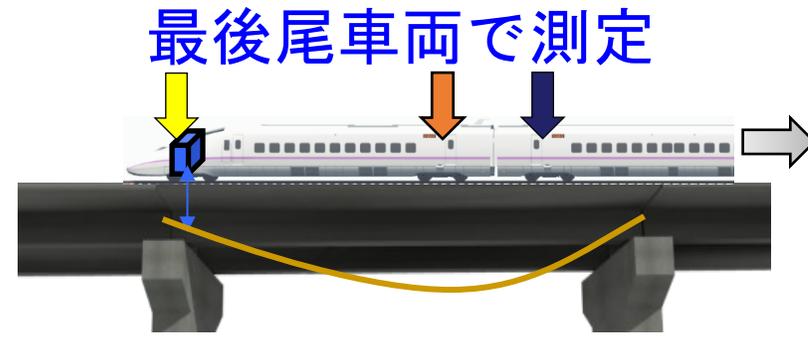
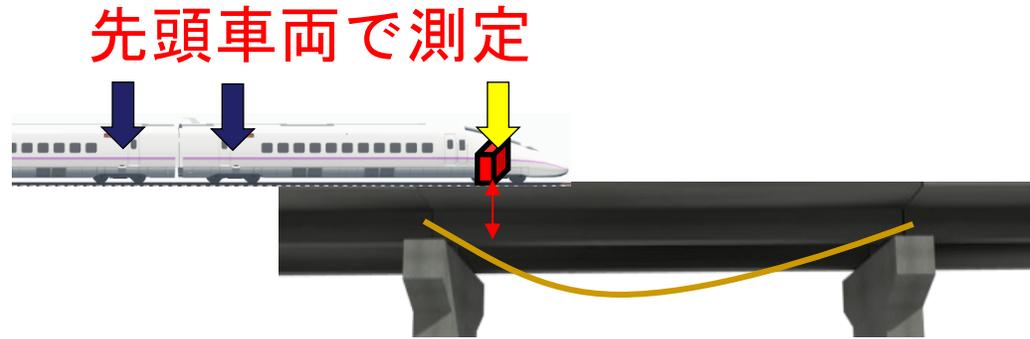
# 本日の発表

1. 研究背景
2. 車上計測について
- 3. 慣性計測に基づく推定法と事例**
4. 差分計測に基づく推定法と事例
5. まとめ

# 慣性計測に基づく桁たわみ推定の原理

## 基本概念

先頭/最後尾車両の軌道変位の差分と桁たわみの比例関係

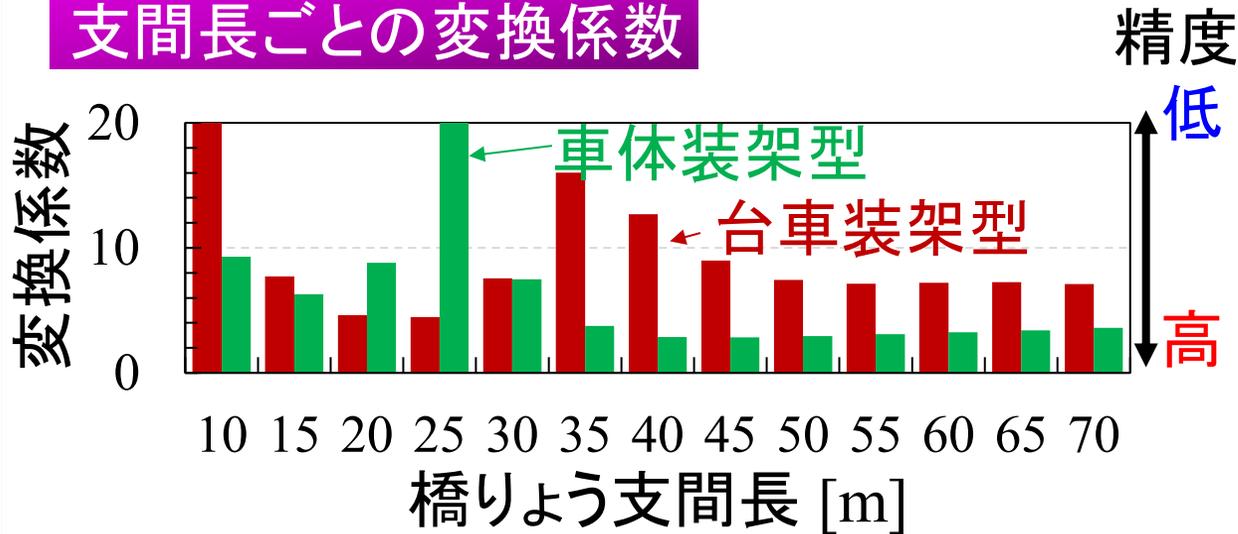


# 変換係数を用いた桁たわみ推定

## 桁たわみ推定法

$$\text{軌道変位差分最大値} \times \text{変換係数} = \text{桁たわみ推定値}$$

## 支間長ごとの変換係数

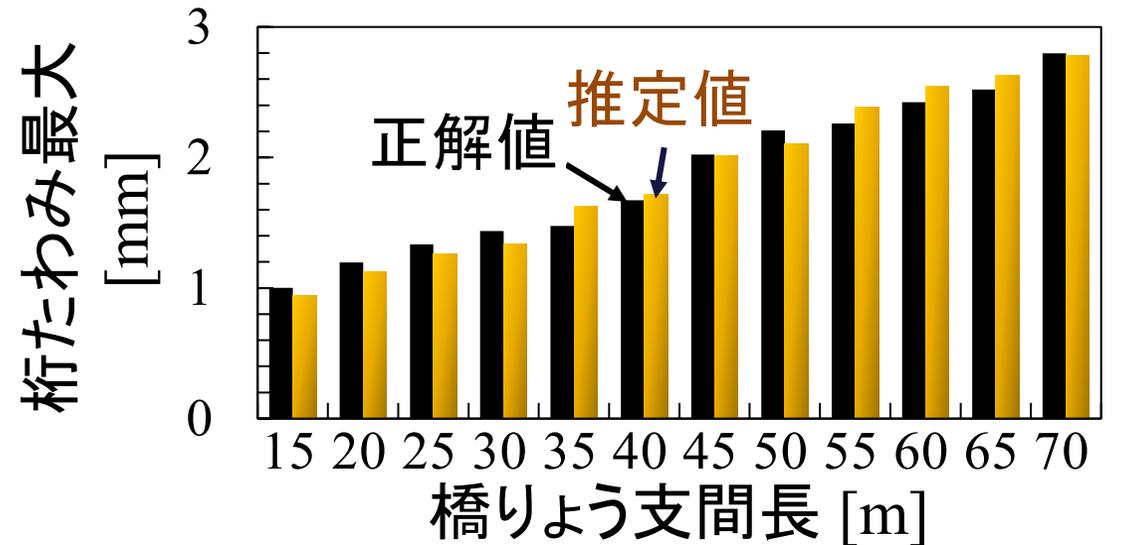


→ 曲げ剛性によらず **支間長のみ** から決定

## 適用範囲

車両／橋りょう相互作用解析で検証

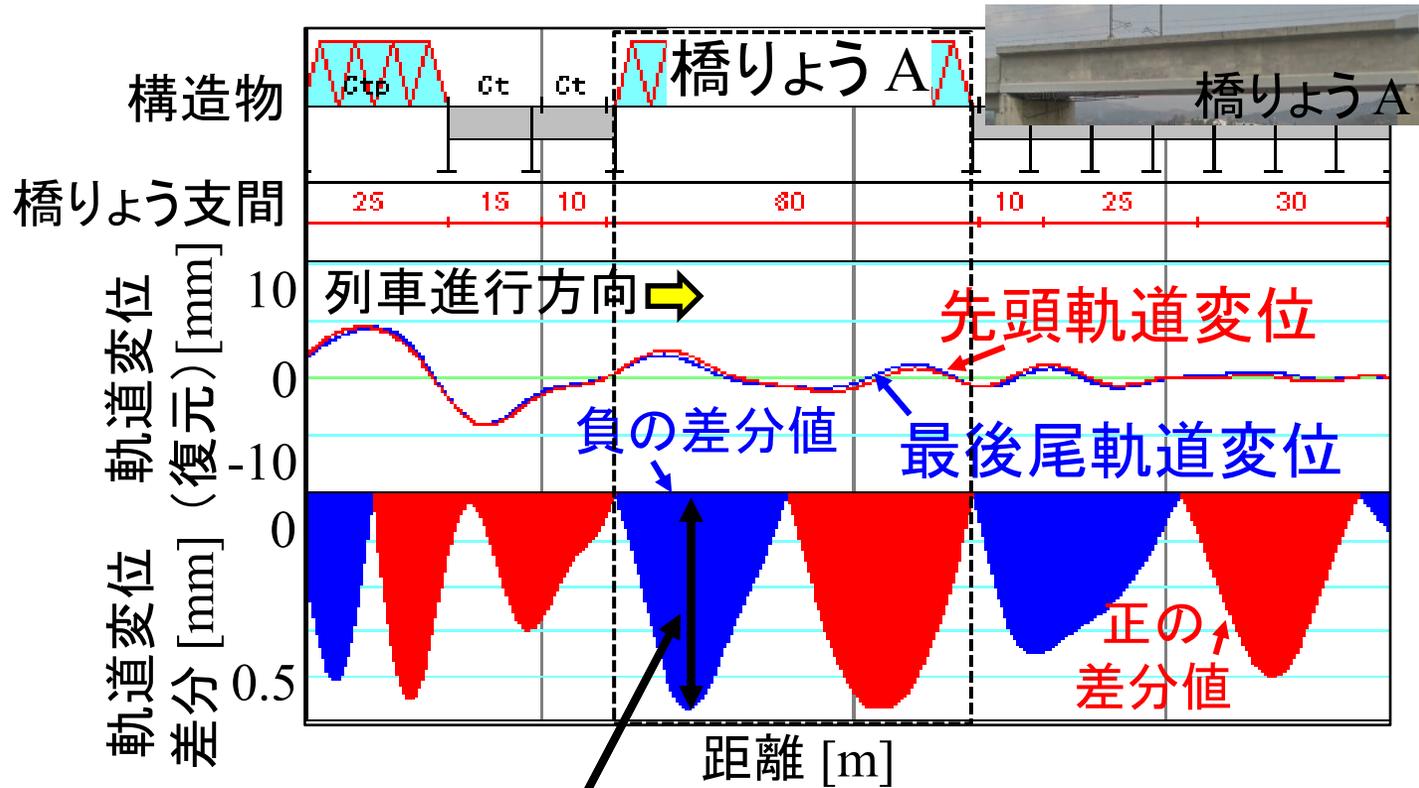
6両, 100km/h, 静的軌道変位あり



→ 適用範囲：列車速度：100km/h以下  
× 高速では動的成分増で精度低下

# 桁たわみ推定：実路線検証

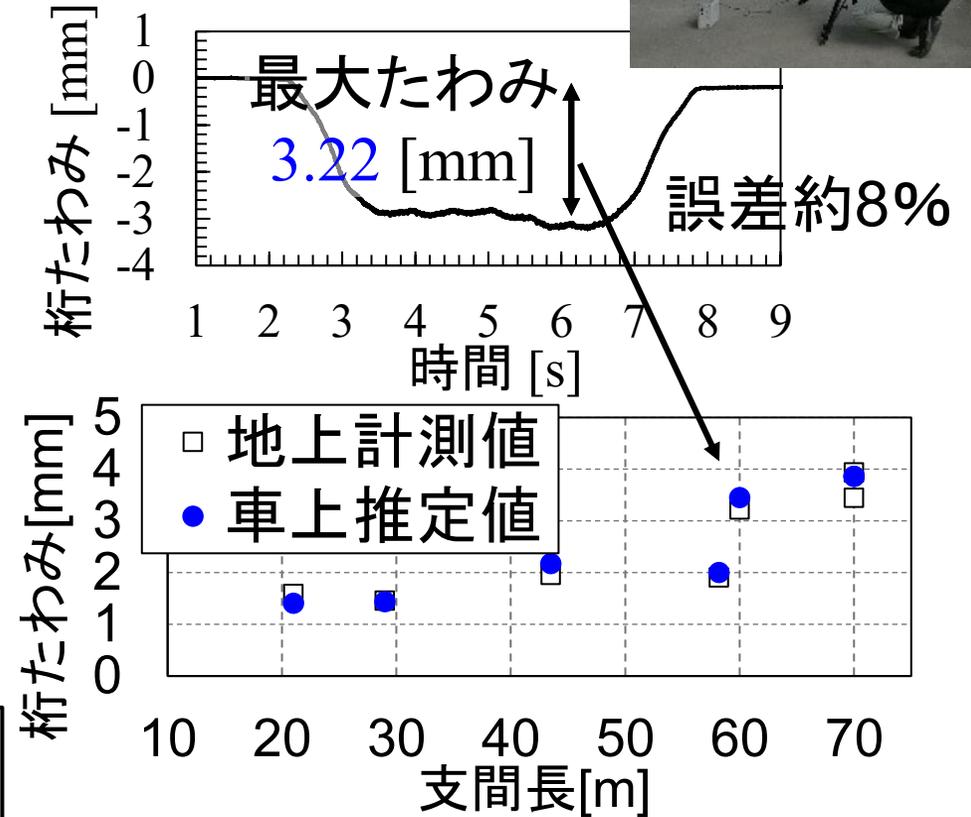
誤差10%以内で車上から桁たわみを推定できることを実証(100km/h程度)



軌道変位差分最大値  $0.481$  [mm] × 変換係数  $7.21$  = 桁たわみ推定値  $3.47$  [mm]

(支間長60m)

## 地上計測による検証



誤差10%以内で推定可能



# 本日の発表

1. 研究背景
2. 車上計測について
3. 慣性計測に基づく推定法と事例
- 4. 差分計測に基づく推定法と事例**
5. まとめ

# 差分計測に基づく桁たわみ推定の原理

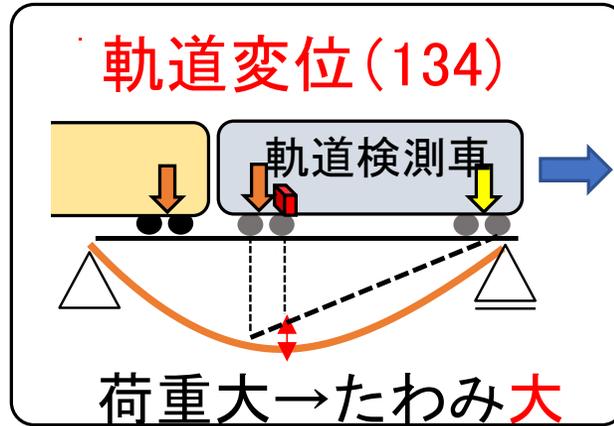
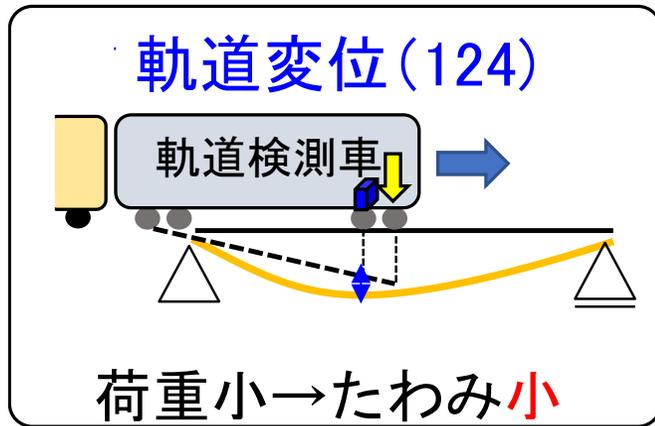
## 基本概念

第2軸と第3軸で計測された軌道変位の差分と桁たわみの比例関係

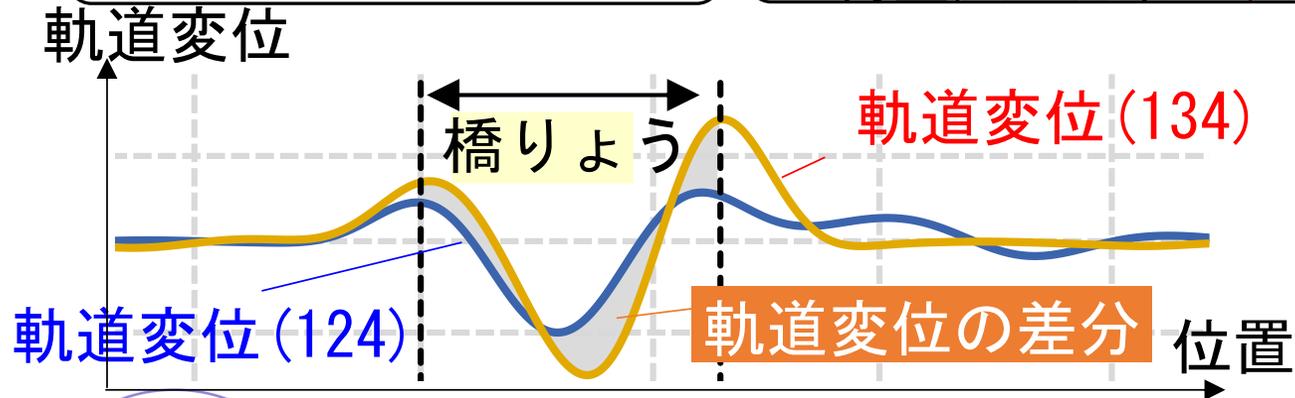
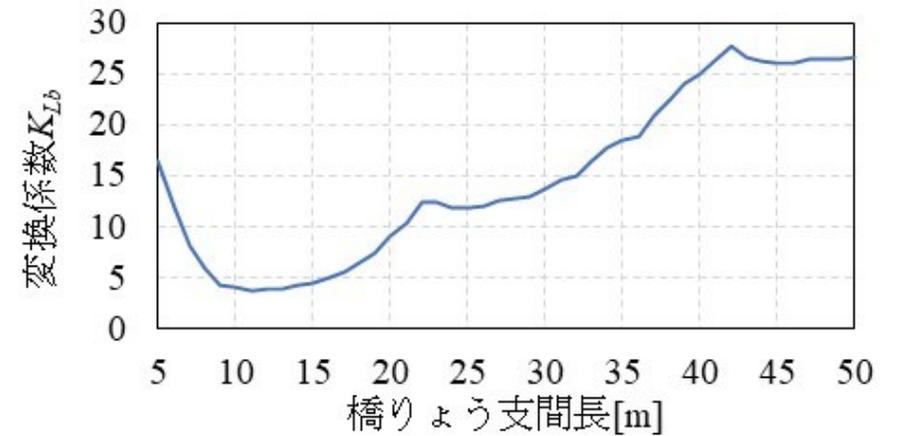
→両先頭車での差分ではなく、同一車両内で差分をとる

第2軸で測定

第3軸で測定



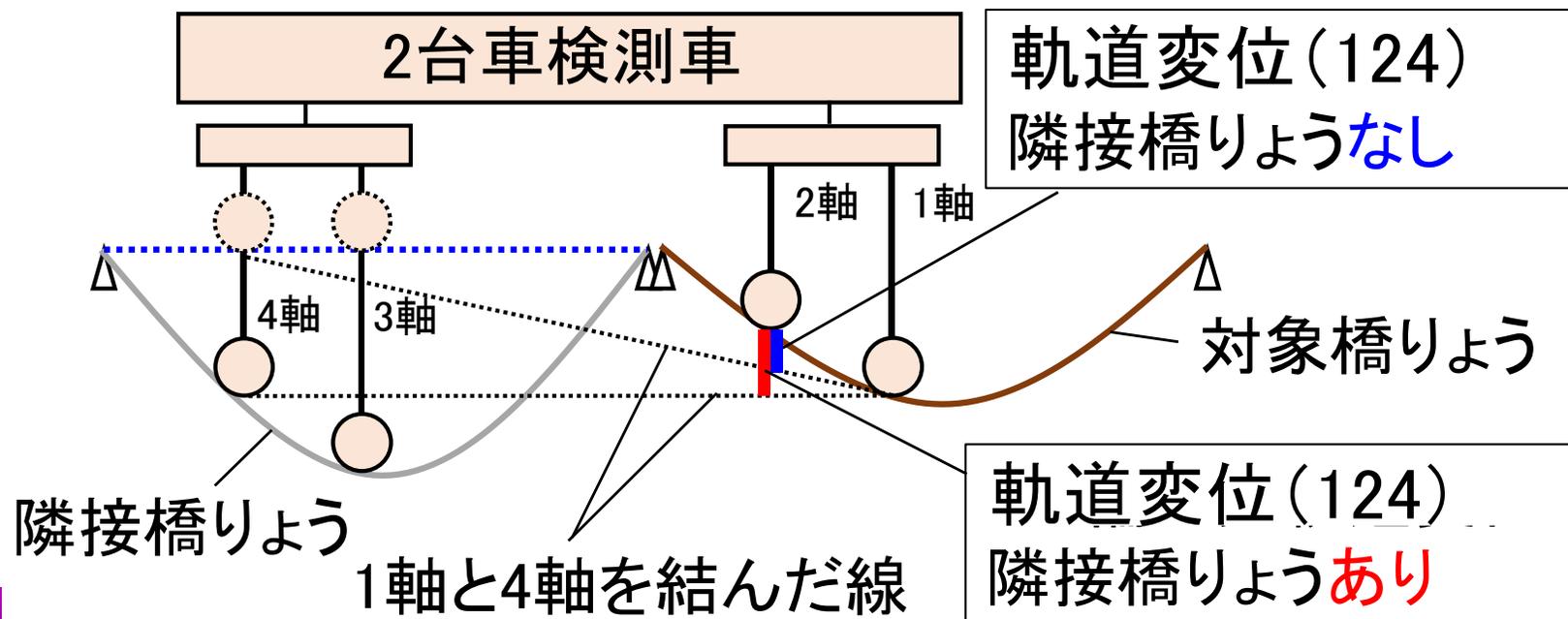
## 支間長ごとの変換係数



$$\text{軌道変位差分最大値} \times \text{変換係数} = \text{桁たわみ推定値} (?)$$

# 差分計測特有の課題

- 差分計測 → 第1軸と第4軸との**相対変位** (差分) で軌道変位算出
  - **隣接橋りょう**のたわみが混入



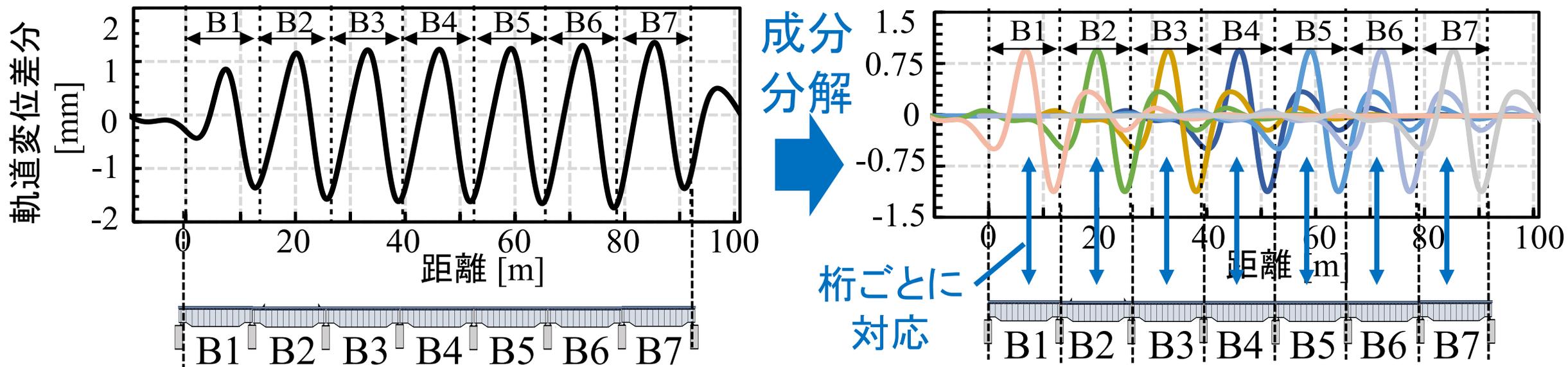
課題

隣接橋りょうの影響で**変換係数の推定誤差大**(約30%)

# 差分計測特有の課題の解決

- 軌道変位を桁ごとの成分に**分解**する手法を構築(線形回帰)
  - 各成分に対して**変換係数**を利用可

数値解析による検証 桁7連 B1~B7の区間

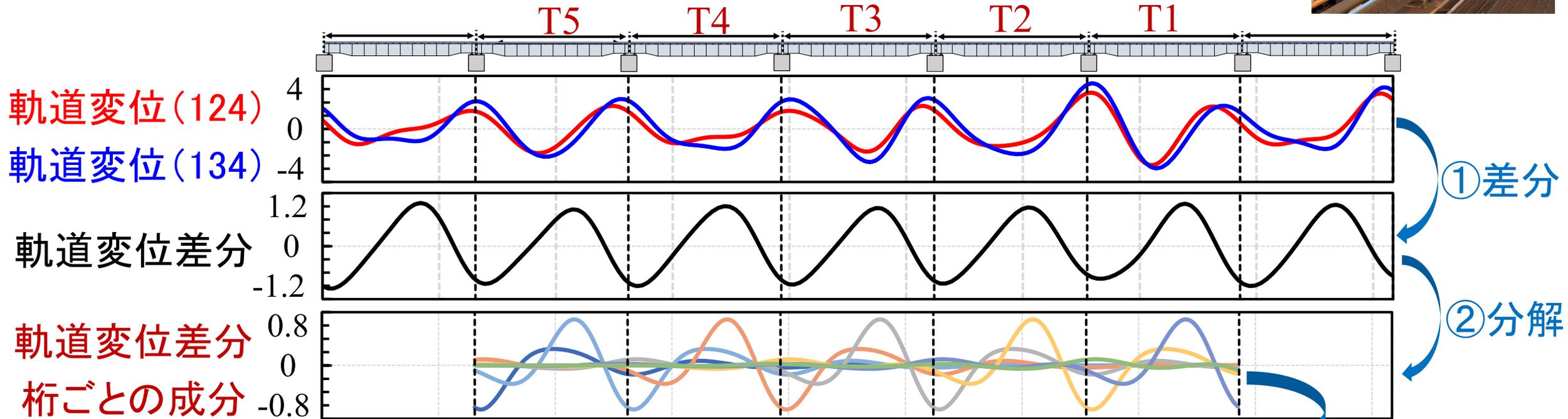


隣接橋りょうの影響除去 + 区間全体の桁たわみを一括推定可能

# 桁たわみ推定：実路線検証



対象：瀬戸大橋 桁長13.1mの単純桁が連続する鋼直結軌道区間



|       |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|
| 推定    | 0.98 | 1.00 | 0.95 | 0.95 | 1.01 |
| 地上計測  | 0.99 | 1.00 | 0.98 | 0.84 | 1.01 |
| 誤差(%) | 1    | 0    | 3    | -12  | 1    |

※相対たわみで  
検証

誤差約10%以内で  
推定可能



# 本日の発表

1. 研究背景
2. 車上計測について
3. 慣性計測に基づく推定法と事例
4. 差分計測に基づく推定法と事例
5. まとめ

# まとめ

1. 車上計測の基本として、荷重条件の異なる2つの**軌道変位の差分**と**桁たわみ**が**比例**関係であることを解明
2. **慣性計測**では、軌道変位の差分に**変換係数**を乗じる**桁たわみ推定法**を開発
3. **差分計測**では、変換係数を用いると課題となる**隣接構造物の影響も考慮**した**桁たわみ推定法**を開発

# 成果の活用と今後の見通し

- ◆ 成果の活用：車上計測による**桁たわみのモニタリング**
  - 慣性計測されている**新幹線区間**（低速100km/h以下限定）
  - 差分計測されている**在来線区間**（直結軌道，桁連続限定）
- ◆ 今後の見通し
  - 慣性計測：**動的成分**（共振）を考慮した桁たわみ推定法
  - 差分計測：橋まくらぎ，橋台，盛土も考慮できる**在来線一般区間**への拡張＋支承のあおり推定

# 参考文献

## 慣性計測

- Matsuoka, K. and Tanaka, H.: Drive-by deflection estimation method for simple support bridges based on track irregularities measured on a traveling train, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 182, No. 109549, 2023
- 松岡弘大, 田中博文: 車上計測された軌道変位に基づく鉄道橋の準静的な桁たわみ推定法, *土木学会論文集*, Vol. 79, No. 15, 22-15051, 2023

## 差分計測

- 服部紘司, 松岡弘大, 田中博文: 軌道変位に基づく桁たわみ推定のための桁たわみ-軌道変位変換プログラムの構築, *土木学会論文集*, Vol.80, No.15, 23-15047, 2024