

# 車上測定に基づく 軌道座屈危険度推定手法

軌道技術研究部 軌道構造研究室長  
西宮 裕騎

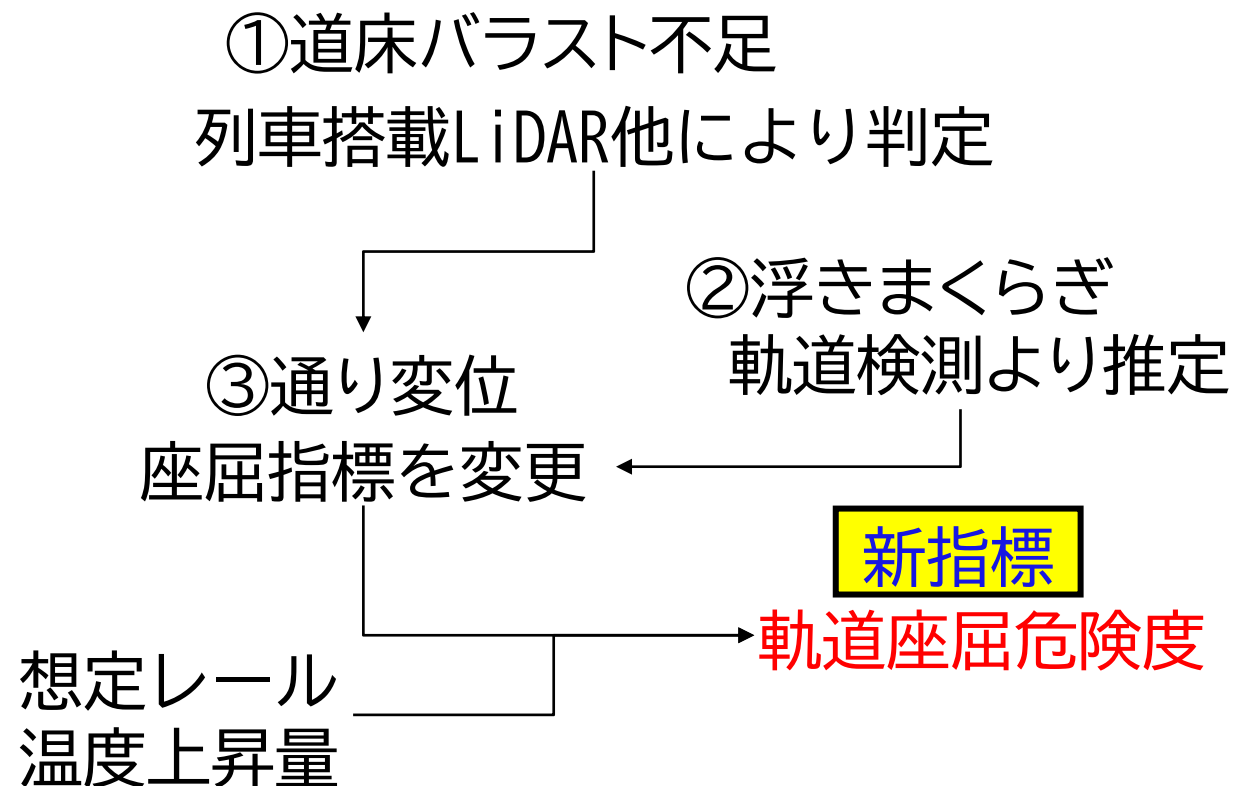
# 背景と目的

**【背景】** 著大通り変位の発生が増加傾向  
⇒抑制には弱点箇所抽出が必要

## 【現状の抽出方法】

- ①道床バラスト不足  
徒歩・目視検査、4区分の判定
- ②浮きまくらぎ  
目視判定(ごく一部のみ実施)
- ③通り変位  
既存の座屈指標には反映されない

**【目的】** 車上測定に基づき効率的に軌道座屈の弱点箇所を抽出するシステムを構築

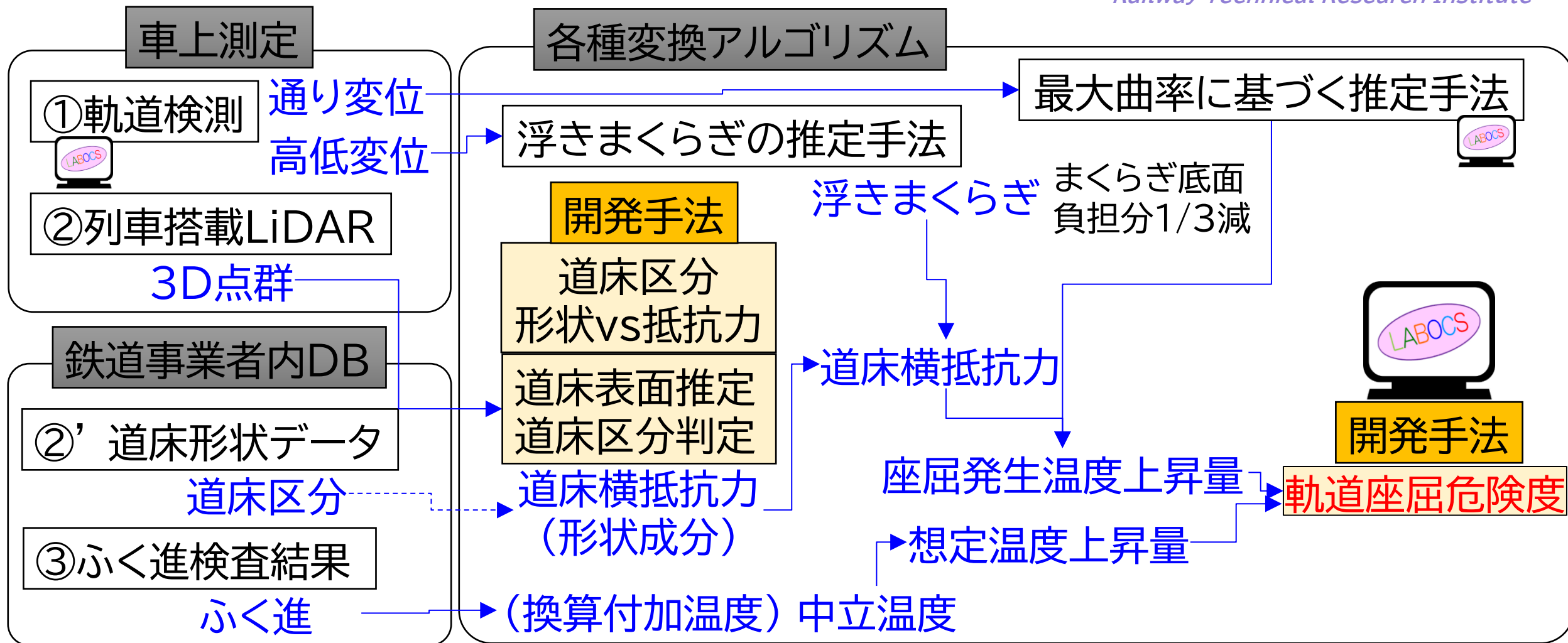


LABOCSのコマンド群を活用

1. 軌道座屈危険度の推定手法の概要
2. 車上測定に基づく道床横抵抗力の推定手法
3. 軌道座屈発生温度上昇量の簡易推定法
4. 定尺区間の軌道座屈安定性の評価
5. 新たな軌道座屈安定性の評価手法

1. 軌道座屈危険度の推定手法の概要
2. 車上測定に基づく道床横抵抗力の推定手法
3. 軌道座屈発生温度上昇量の簡易推定法
4. 定尺区間の軌道座屈安定性の評価
5. 新たな軌道座屈安定性の評価手法

# 軌道座屈危険度の推定手法の概要




➡ 一連の構成要素を統合し、LABOCSをコアとした評価システムを構築する


1. 軌道座屈危険度の推定手法の概要
- 2. 車上測定に基づく道床横抵抗力の推定手法**
3. 軌道座屈発生温度上昇量の簡易推定法
4. 定尺区間の軌道座屈安定性の評価
5. 新たな軌道座屈安定性の評価手法


# 道床形状から道床横抵抗力を推定する手法

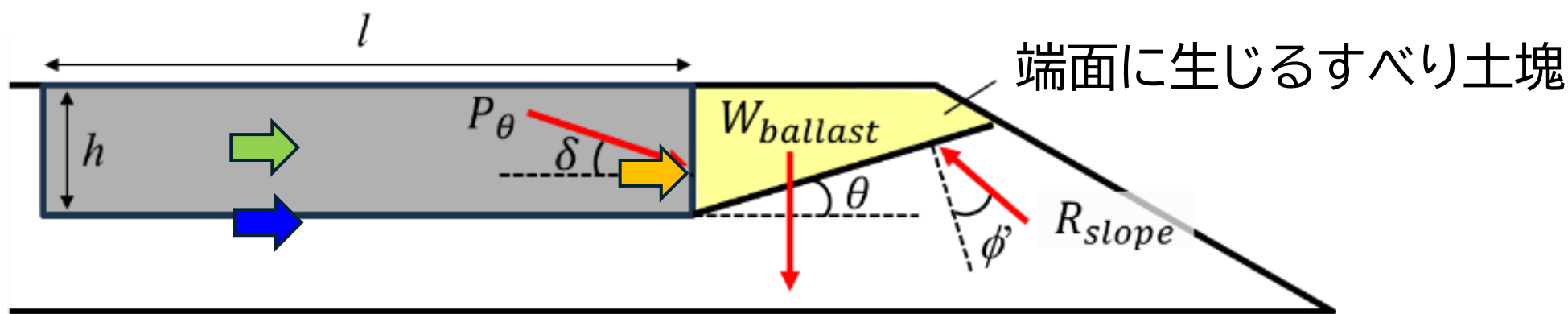
任意の道床形状から道床横抵抗力を推定 ⇒ 極限釣り合い法による推定

道床横抵抗力 = 底面抵抗 + 側面抵抗 + 端面抵抗

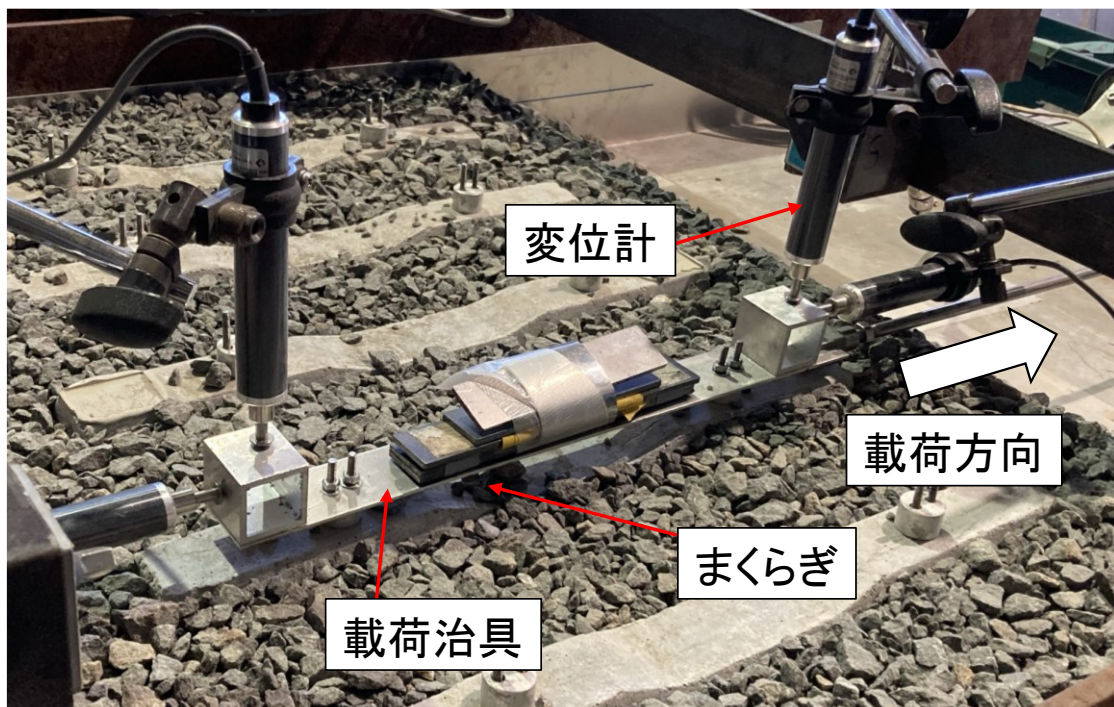
底面抵抗 : 底面のバラストとの摩擦力

側面抵抗 : 側面のバラストとの摩擦力

端面抵抗 : 端面のすべり土塊(黄色部)との釣り合い =  $P_\theta \times \cos\delta = P_\theta \times \cos\frac{\theta}{2}$



# 道床形状から道床横抵抗力を推定する精度検証



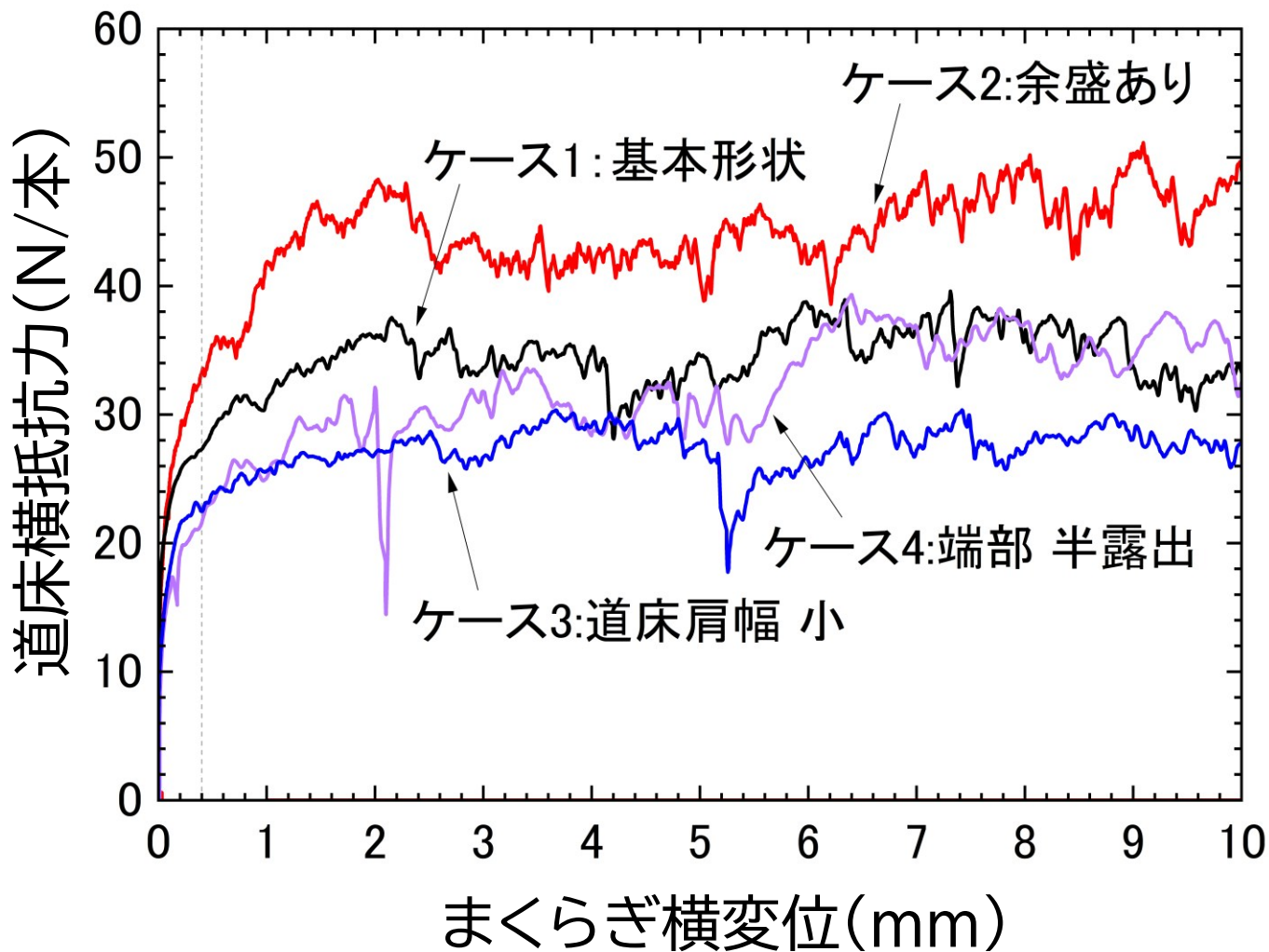
1/5模型によるまくらぎ1本引き試験

## 試験ケース

	( ):実スケール換算値
基本形状	
余盛あり	
道床肩幅小	
端部半露出	

➡ 各道床形状に対する道床横抵抗力を1/5模型で測定

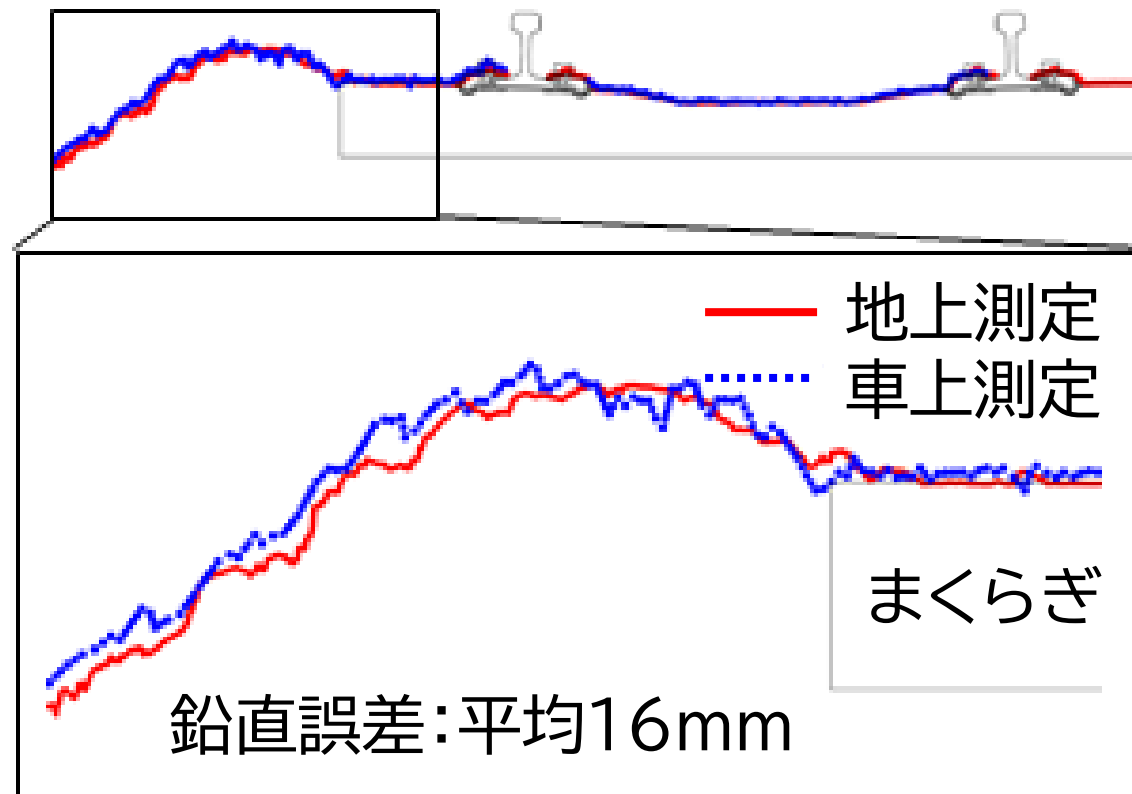
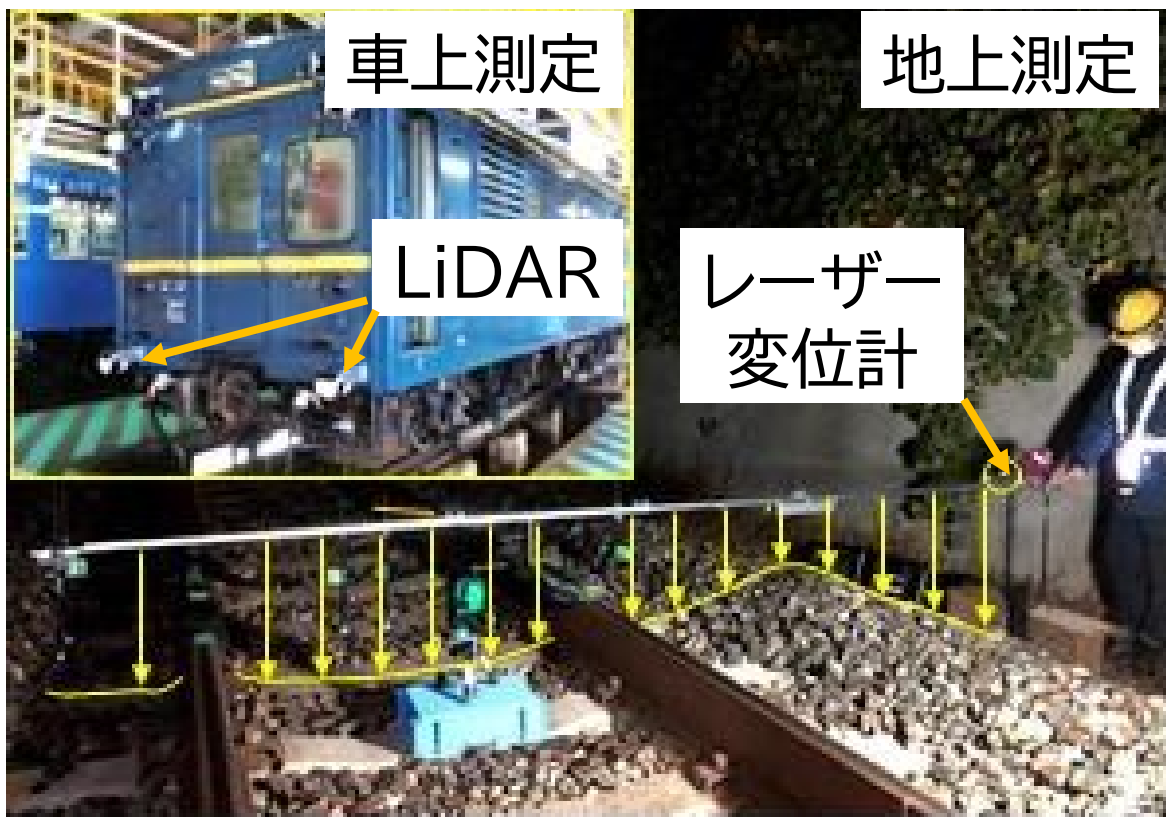
# 道床形状から道床横抵抗力を推定する精度検証結果



道床形状	実験値 (N)	推定値 (N)	差 (%)
1. 基本	36.1	39.4	9
2. 余盛あり	45.1	45.1	0
3. 肩幅小	26.9	30.4	13
4. 端部露出	34.7	30.1	-13

➡ 最大誤差13%, 実用上, 十分な精度で推定可能であることを確認

# 列車搭載LiDARによる道床形状の測定精度検証



地上および車上で測定された道床形状の比較による精度検証

鉛直方向の平均誤差16mm

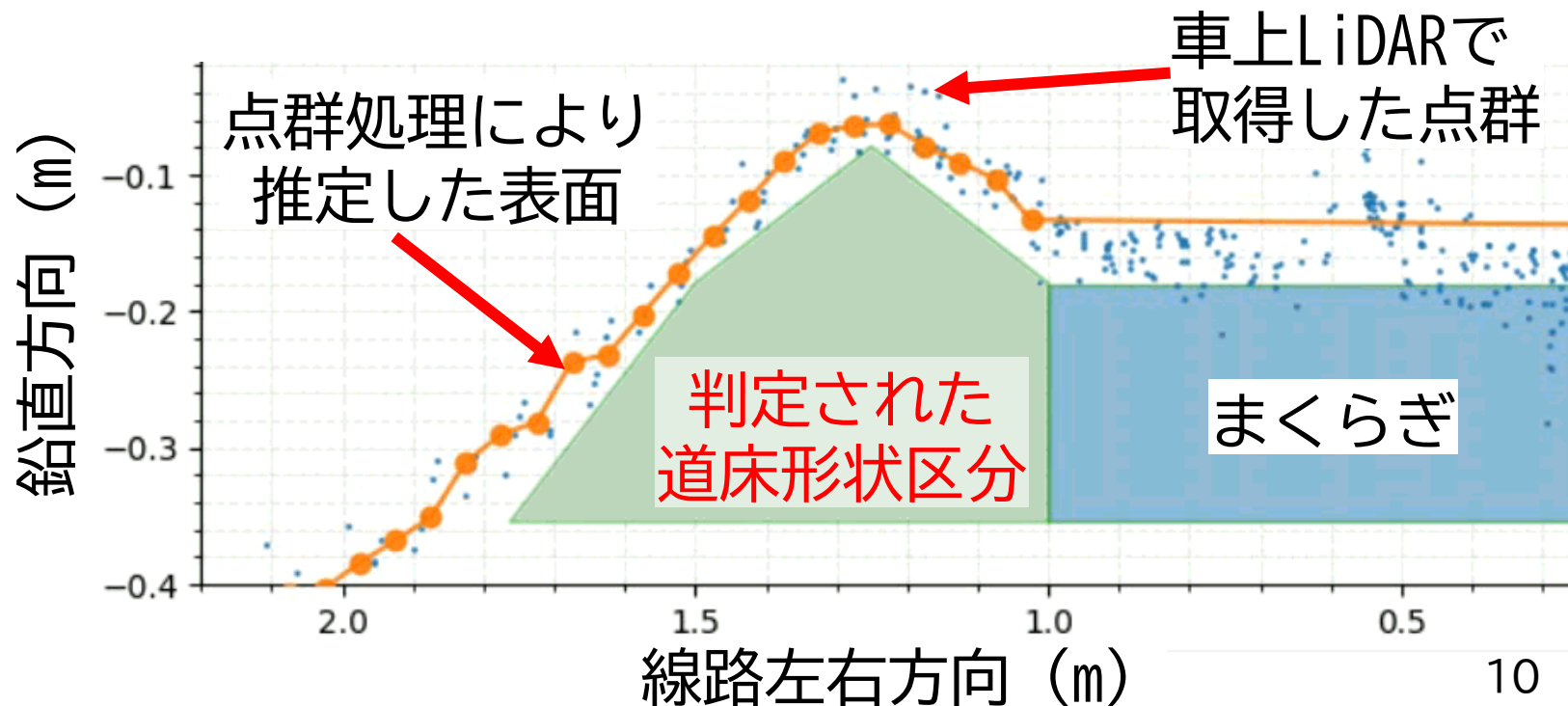
➡ 現状の目視検査を上回る精度で評価可能

# 列車搭載LiDARによる道床横抵抗力の推定アルゴリズム

- ①道床区分(形状⇒道床横抵抗力の対応関係)を予め設定  
(96パターン, 道床横抵抗力10%程度刻み)
- ②車上LiDARからの点群処理(軌道1m抽出⇒二次元化)
- ③軌道断面方向5cmの中央値処理で道床表面を推定
- ④道床区分を図形判定, 形状⇒横抵抗力の関係から算出

道床区分の詳細

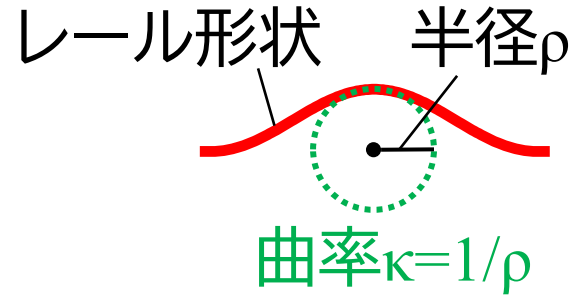
項目	区分	単位
道床肩幅	500, 400, 300, 200	mm
まくらぎ 端部露出	0.25, 0.5, 0.75, 1.0	高さの 割合
余盛	0, 100	mm
肩勾配	0, 1.5, 2.5	勾配



1. 軌道座屈危険度の推定手法の概要
2. 車上測定に基づく道床横抵抗力の推定手法
- 3. 軌道座屈発生温度上昇量の簡易推定法**
4. 定尺区間の軌道座屈安定性の評価
5. 新たな軌道座屈安定性の評価手法

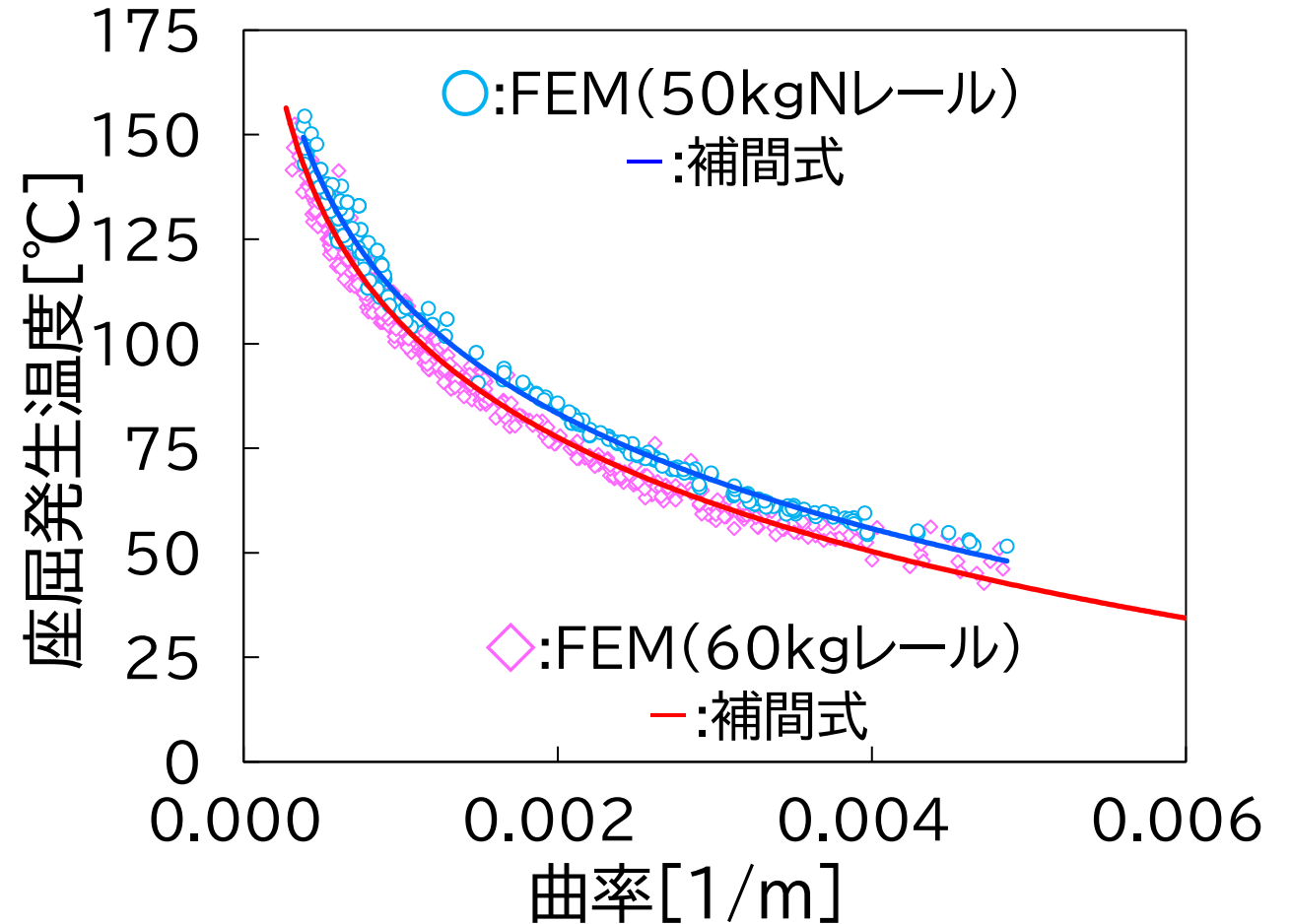
# 軌道の平面曲率を用いた座屈発生温度上昇量の簡易推定

Railway Technical Research Institute



レール形状の曲率と座屈発生温度との関係は波形の種類によらず概ね一致

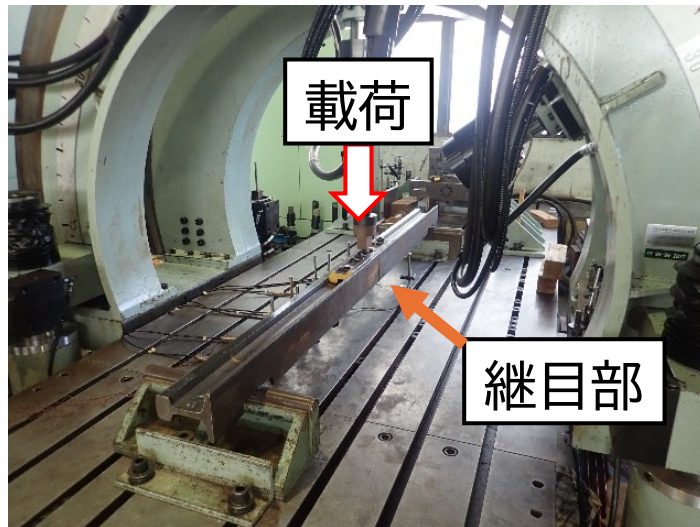
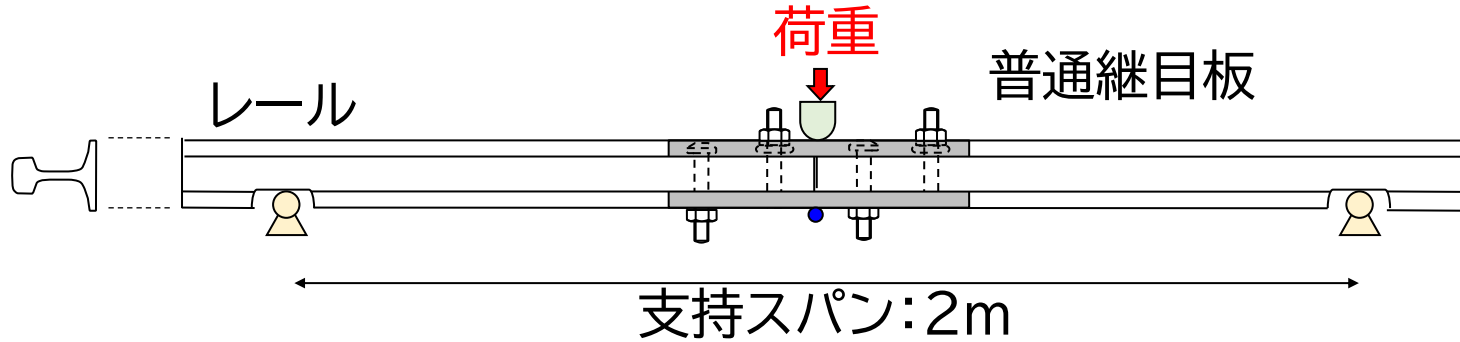
- 通り変位の復元波形から座屈発生温度を簡易に推定可能
- FEMによる軌道座屈解析結果と比較し、精度良く近似可能



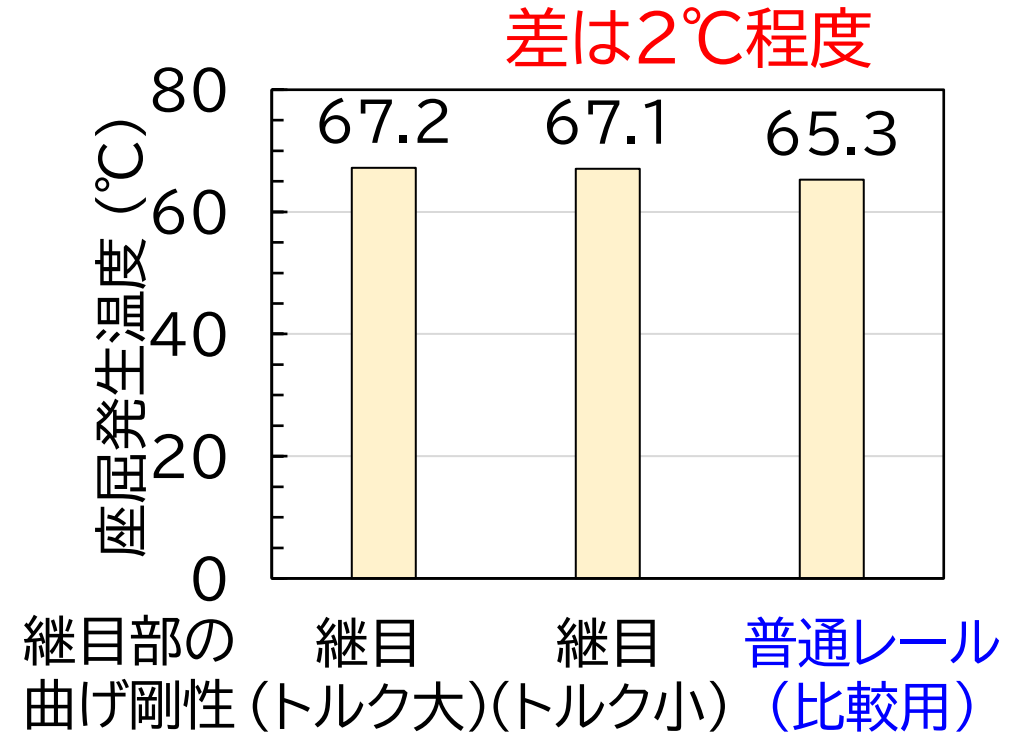
1. 軌道座屈危険度の推定手法の概要
2. 車上測定に基づく道床横抵抗力の推定手法
3. 軌道座屈発生温度上昇量の簡易推定法
- 4. 定尺区間の軌道座屈安定性の評価**
5. 新たな軌道座屈安定性の評価手法

# 定尺レール区間の軌道座屈安定性の評価

## 継目部の水平曲げ剛性が軌道座屈安定性に与える影響評価



継目の水平曲げ剛性測定試験



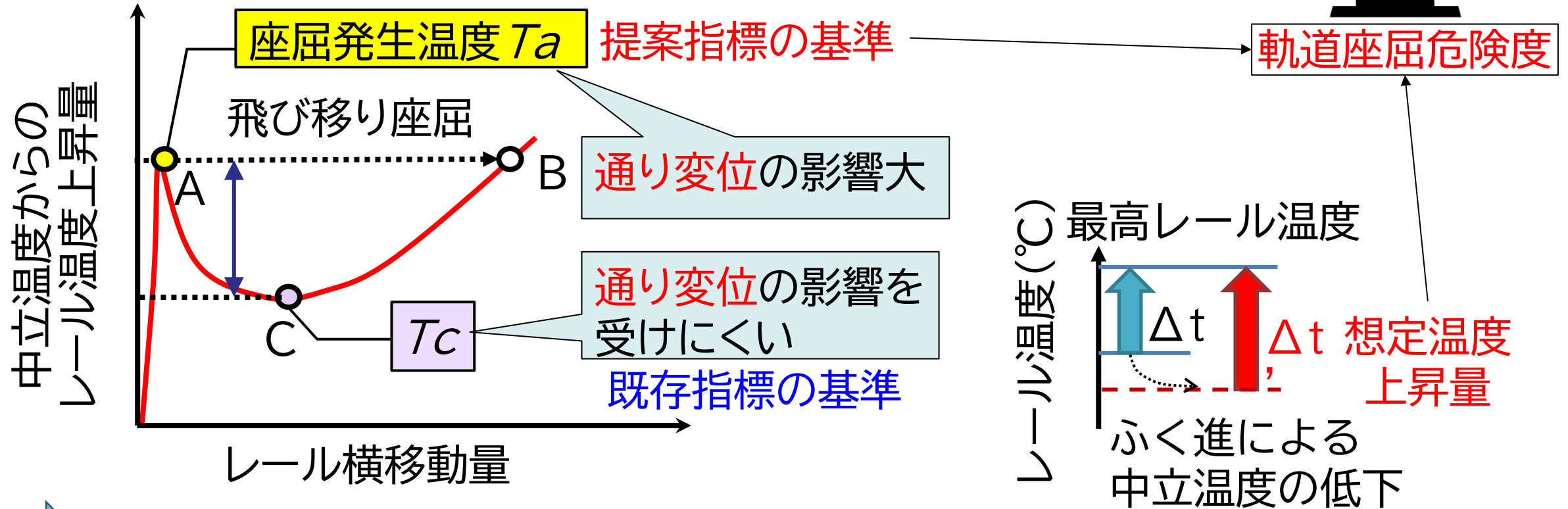
FEMによる軌道座屈解析

継目部は座屈の弱点箇所になりにくい ⇒ 実務上, レール単体として評価可能

1. 軌道座屈危険度の推定手法の概要
2. 車上測定に基づく道床横抵抗力の推定手法
3. 軌道座屈発生温度上昇量の簡易推定法
4. 定尺区間の軌道座屈安定性の評価
5. 新たな軌道座屈安定性の評価手法

# 新たな軌道座屈安定性の評価指標

- [指標の定義・特徴] **座屈発生温度**に対する**想定温度上昇量**の比
- ⇒道床形状による道床横抵抗力(△既存指標)
  - ⇒浮きまくらぎによる道床横抵抗力(△既存指標)
  - ⇒通り変位(×既存指標)



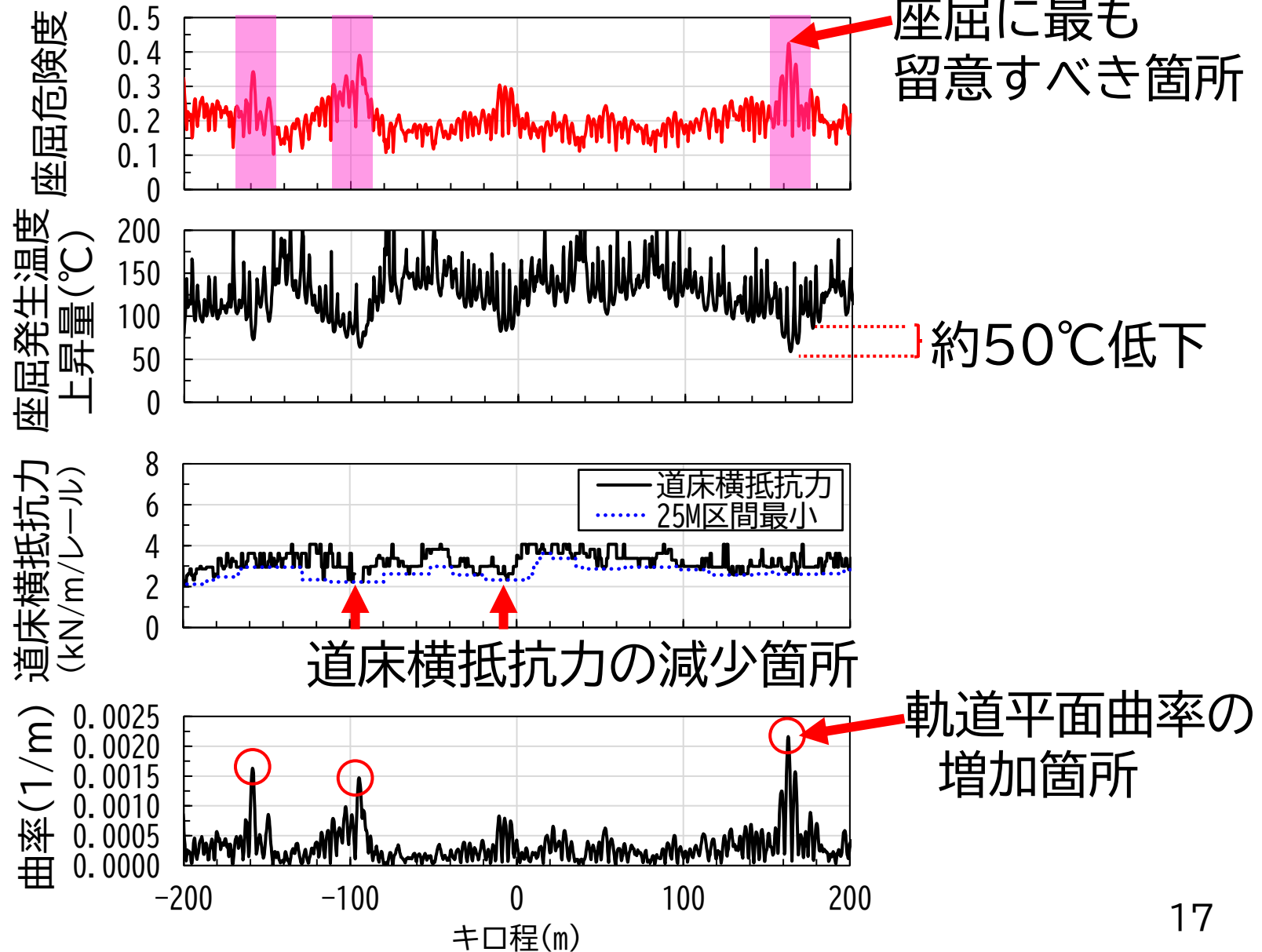
➡ 評価結果を端的に表す新指標「**軌道座屈危険度**」を提案

# 提案手法による評価例

実車測定事例による検証  
⇒ 軌道検測車に搭載された  
LiDAR他データを使用



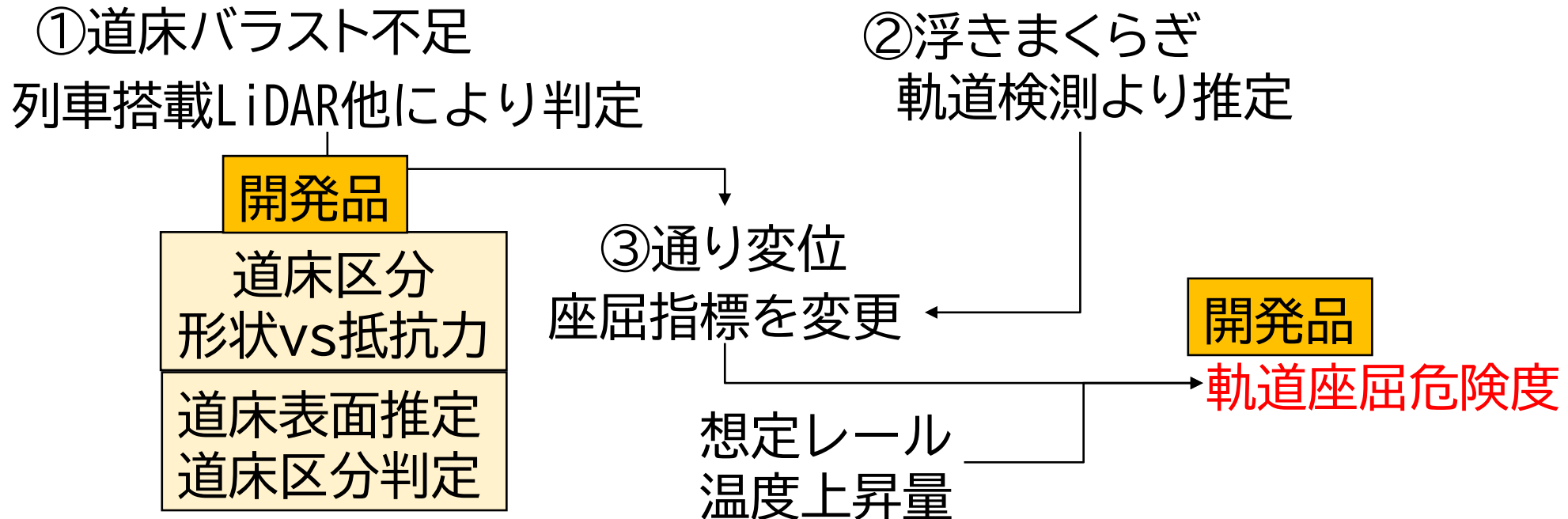
提案指標により、座屈の  
懸念箇所を効率的に抽出可能



- 道床形状から道床横抵抗力へ実用十分な精度で変換可能な推定手法を構築した。
- 道床形状を車上から実用十分な誤差範囲で取得であることを確認した。
- 軌道の平面曲率を用いた簡易な推定手法を開発し, FEM解析結果と±10%以内の精度で推定可能であることがわかった。
- 新たな指標である座屈危険度の推定手法を提案し, その算出手法をLABOCSをコアソフトウェアとして構築した。
- 有効性を実車による検測結果を対象として確認した。

# 成果の活用

- 開発品の導入を支援していく。試運用の結果を基に、普及に向けた課題を抽出していく。
- 効果的な活用には、軌道変位の検測頻度、波長帯域等を適切に設定する必要があるため、技術的な導入支援を実施していく。



- 玉川新悟, 山岡大樹, 西宮裕騎: 軌道検測車で測定した通り変位波形に基づくロングレールの実用的な座屈発生温度の推定法, 構造工学論文集, Vol. 69A, pp.1-10, 2023
- 西宮裕騎, 中村貴久: 車上計測データを活用した軌道座屈安定性の評価手法, 日本鉄道施設協会誌, 第63巻, 第9号, 2025
- 大高亮輔, 西宮裕騎, 塩田勝利, 細見章人: 車上の測域センサを用いた道床形状の測定精度評価, 土木学会全国大会 第78回年次学術講演会, VI-1197, 2023
- 細見章人, 山岡大樹, 玉川新悟, 西宮裕騎: 水平3点曲げ試験によるレール継目部の横曲げ剛性の評価, 土木学会全国大会 第78回年次学術講演会, VI-541, 2023
- 田島史花, 中村貴久: 極限つり合い式推定手法を用いた道床形状の異なるバラスト軌道における道床横抵抗力の推定, 土木学会全国大会 第79回年次学術講演会, VI-1339, 2024