

軌道変位の新たな 複合管理指標の開発

軌道技術研究部 軌道管理研究室
主任研究員 吉田 尚史

背景

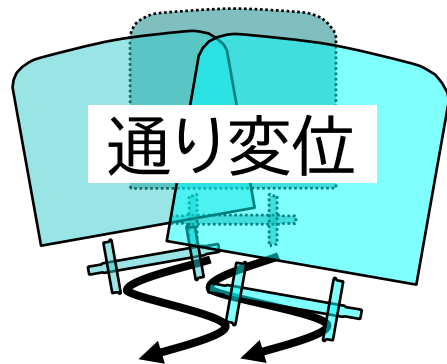
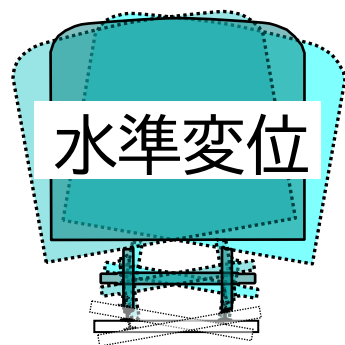
- 複合変位は、国鉄時代に運用されていた2軸貨車の走行特性に基づいて定められたため、現在運用されているボギー車に対して必ずしも最適とはなっていない
 - 現行車両の走行特性に基づいた新たな軌道変位の複合管理指標への見直しが求められている
 - 見直しにあたり、旅客車両の走行特性も考慮した指標とすることで、貨物走行線区以外における旅客車両の乗り心地向上も図れる可能性がある

目的

- 旅客車両も含めて現在運用されている車両の走行特性を分析し、軌道変位起因の脱線を防止するための新たな軌道変位の複合管理指標を開発する

1. 背景・目的
2. 複合変位管理および周期的水準変位管理の概要
3. コンテナ車モデルを用いた車両運動シミュレーション
4. 新たな複合管理指標案
5. 旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案
6. まとめと成果の活用

複合変位管理の概要



$$\text{複合変位} = | 10\text{m弦通り変位} \pm 1.5 \times \text{水準変位} |$$

水準と通りが同じ区間に、逆位相で、繰り返り存在すると、車両がローリング共振して走行安全性が低下する。

| 種別 | 変位の対象延長 | 対象の変位及び箇所数 | |
|------|---------|------------|-------|
| | | 変位量 | 変位箇所数 |
| I種 | 80m | 18mm | 4箇所 |
| II種 | 60m | 21mm | 3箇所 |
| III種 | 30m | 25mm | 2箇所 |
| IV種 | | 35mm | 1箇所 |

- 2軸貨車の走行特性に基づいて、現車試験やシミュレーションによって定められた
⇒現在運用されているボギー車に対して、必ずしも最適とはなっていない
⇒複合変位が整備基準値以内にも関わらず脱線する事例があった

周期的水準変位管理の概要

- 定尺レールの長さの1/2(12.5m)の波長で成長する周期的な水準変位が、脱線した貨車のローリング固有振動数1.3Hzに対し、脱線時の貨車の通過速度約59km/hで共振を起こし、輪重減少率が大きくなって乗り上がり脱線が発生
- 同種の脱線事故防止のため、車両の振動特性を考慮して、共振現象を助長するような周期的水準変位の管理法が提案された
 - ⇒ 波長12.5mの周期的水準変位管理の導入(2020年)
 - ⇒ 貨車のダンパの改良により、周期的水準変位管理は廃止(2023年)
 - ⇒ 複合変位については引き続き見直しが求められている



現行車両の走行特性を考慮した新たな指標の検討

1. 背景・目的
2. 複合変位管理および周期的水準変位管理の概要
3. コンテナ車モデルを用いた車両運動シミュレーション
4. 新たな複合管理指標案
5. 旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案
6. まとめと成果の活用

コンテナ車モデルを用いた車両運動シミュレーション

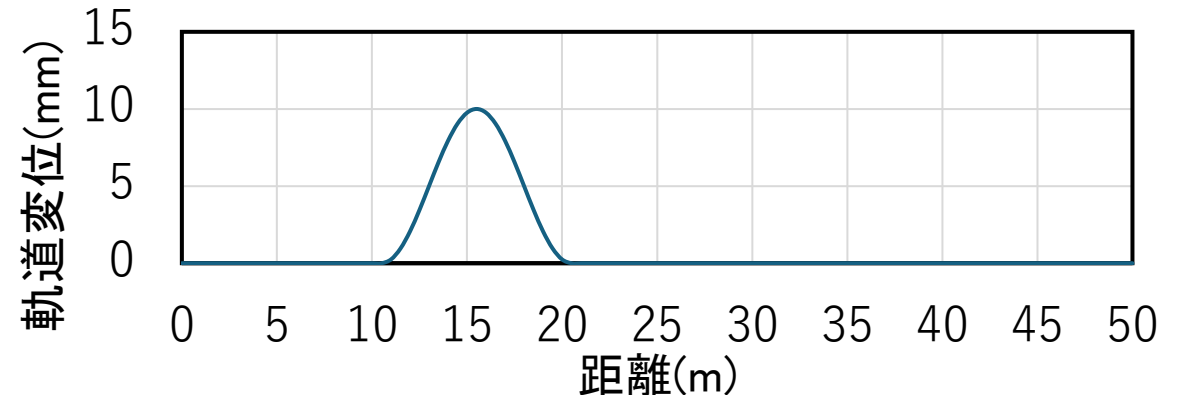
輪重減少率80%※となる逆位相の水準変位と通り変位の組み合わせを試算

※在来鉄道運転速度向上試験マニュアルにおける、
走行安全上の動的輪重減少率の目安値

主な入力条件

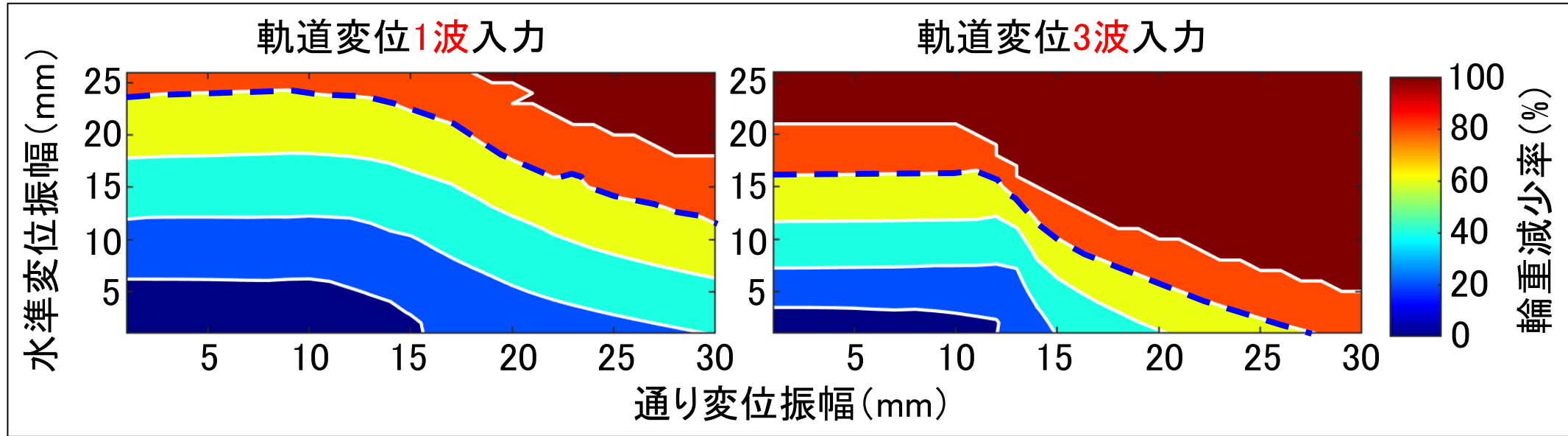
| | |
|------------|---------------------------|
| 積載条件[kg] | 14,250(中間積載)／40,700(最大積載) |
| 走行速度[km/h] | 45／60／70 |
| 軌道変位形状 | 実振幅(cos波) |
| 軌道変位波長[m] | 10／12.5／15／20／25 |
| 軌道変位振幅 | 1mm単位(通り変位・水準変位) |
| 軌道変位波数 | 1波／3波 |

軌道変位の入力波形例(波長10m、1波の例)



シミュレーション結果

輪重減少率80%に達する軌道変位が**最も小さかった**条件
(中間積載、70km/h走行、波長15m条件)での結果例



- 中間積載、70km/h走行、軌道変位波長15m以下、軌道変位に周期性がある場合に、輪重減少率が大きくなる
- 通り変位に比べて水準変位の方が輪重減少率への影響が大きい
⇒ 既存の複合変位の算出式で、水準に重みをつけることと考え方が合致

コンテナ車の動揺測定の概要

目的: 輪重減少率が大きくなる(車体ローリングが発生しやすい)条件の分析

• 測定の概要

- 対象線区: 貨物列車が走行しており、複合変位を管理している路線A
- コンテナ車の形式: 現行の主要なコンテナ車
- 積載重量: 11.5t(シミュレーションにおける中間積載と同程度の条件)

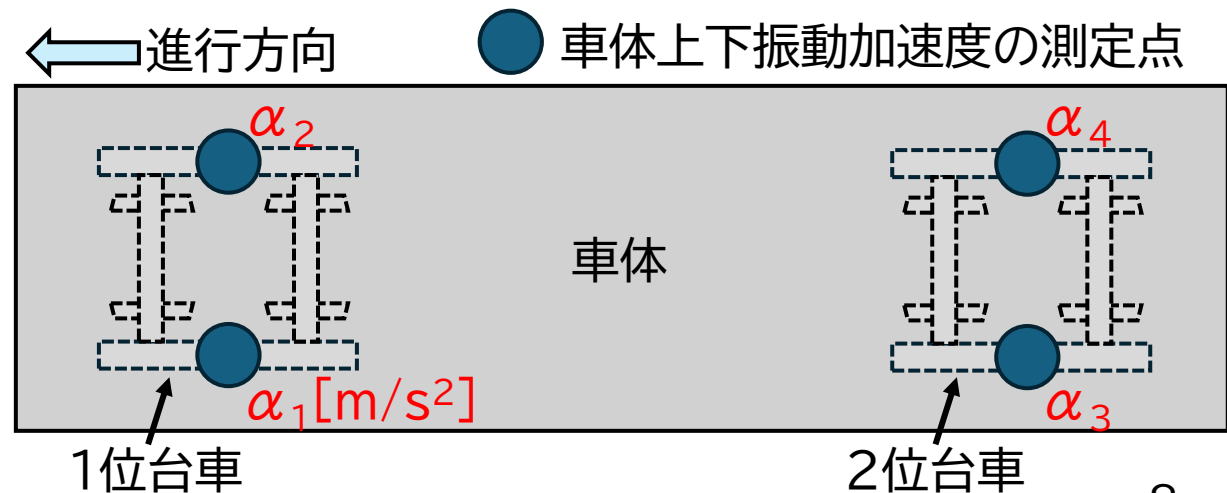
• 測定項目

- まくらばね直上の4箇所で車体上下振動加速度を測定

換算式

$$\{(\alpha_1 - \alpha_2) + (\alpha_3 - \alpha_4)\} / 2$$

により、車体ローリング振動モードへ換算



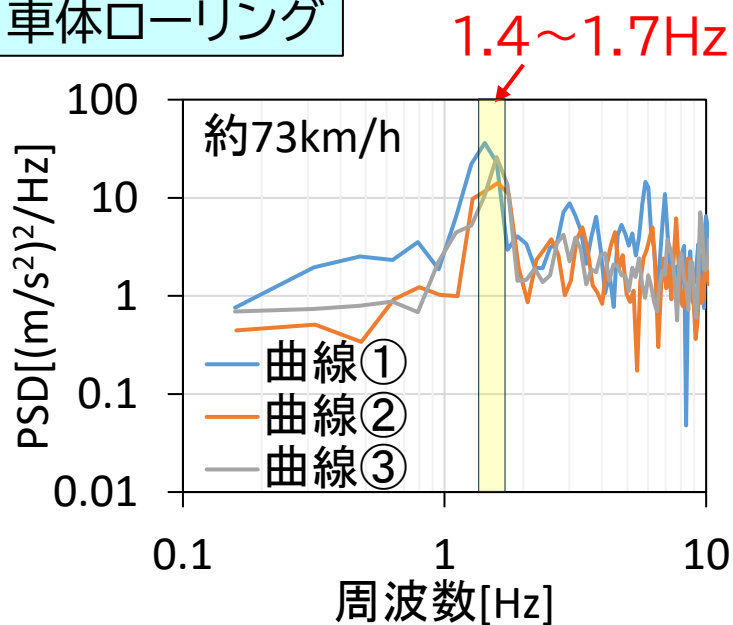
コンテナ車の動揺および軌道変位の周波数分析

- 対象: 下記に当てはまる**曲線**
 - 曲線半径**300m~400m**
 - 走行速度**45km/h以上**

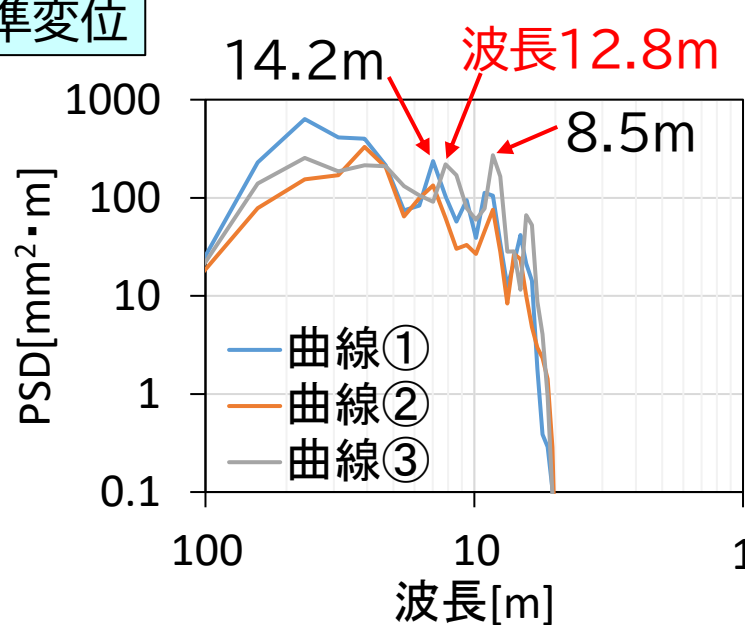
車体ローリング上位3曲線の諸元

| No. | 曲線半径[m] | カント[mm] | 曲線延長[m] | 走行速度[km/h] |
|-----|---------|---------|---------|------------|
| ① | 400 | 105 | 205 | 72.9 |
| ② | 400 | 105 | 320 | 73.7 |
| ③ | 400 | 105 | 555 | 72.8 |

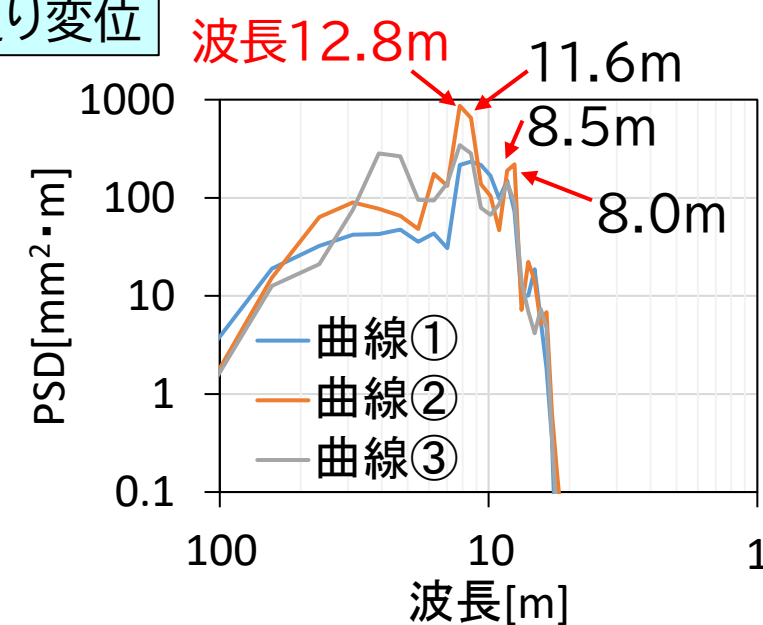
車体ローリング



水準変位



通り変位



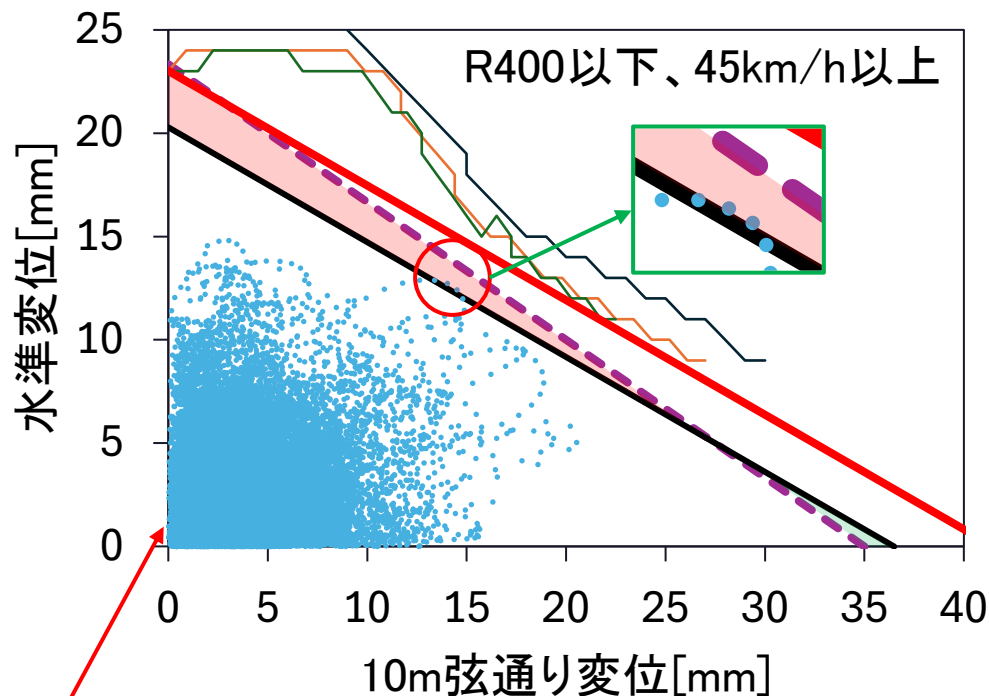
- 1.4~1.7Hz付近にピークが見られる
- 引き続き、**波長12.5m**(73km/h付近で、ローリング共振周波数と一致)の**軌道変位**に着目した管理が有効

1. 背景・目的
2. 複合変位管理および周期的水準変位管理の概要
3. コンテナ車モデルを用いた車両運動シミュレーション
4. 新たな複合管理指標案
5. 旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案
6. まとめと成果の活用

新たな複合管理指標案

複合IV種に代わる管理指標案

軌道変位1波の組み合わせ



- 路線A
- 複合変位基準値IV種
通り-1.5×水準=35
- 波長10m_輪重減少率80%
- 波長12.5m_輪重減少率80%
- 波長15m_輪重減少率80%
- 複合管理指標_新案
通り-1.8×水準=41.5
- 複合管理指標_新案_5mm余裕
通り-1.8×水準=36.5

25cmサンプリングデータ

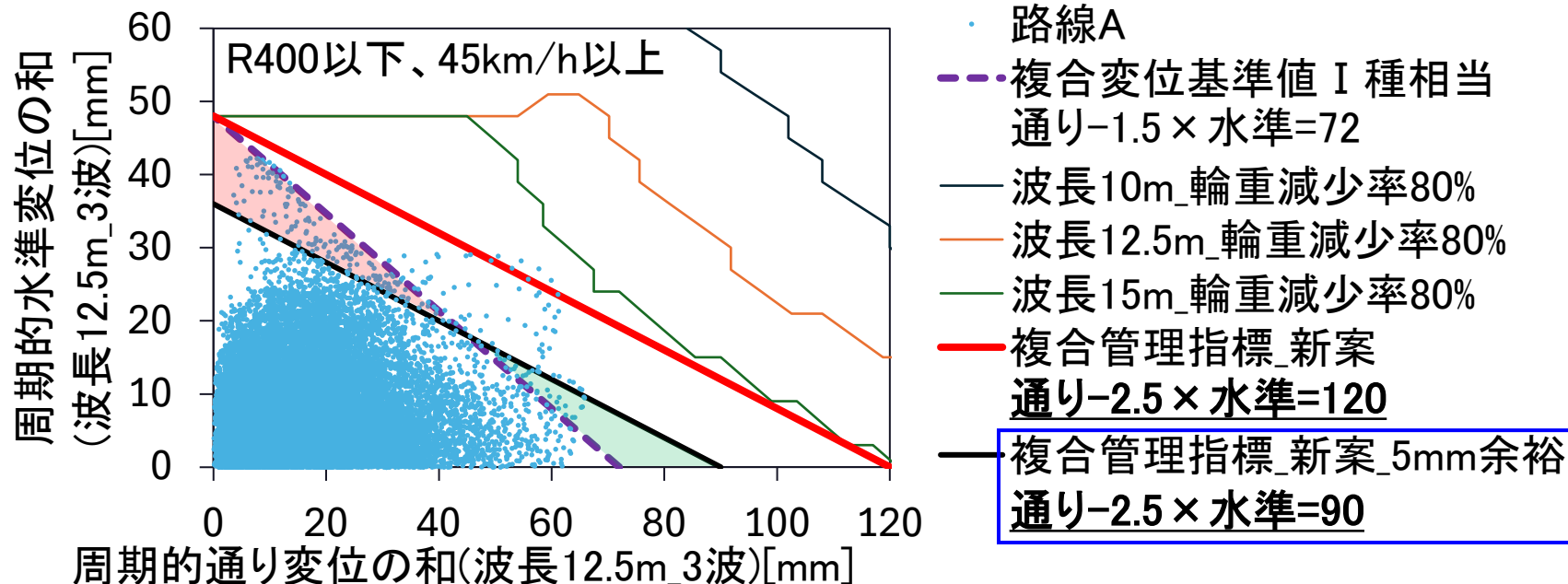
→箇所単位で整理したところ、

旧指標では0箇所、新指標では**1箇所**で**超過値検出**

新たな複合管理指標案

複合 I 種に代わる管理指標案

波長12.5mの周期的軌道変位3波の組み合わせ



- 旧指標では4箇所、新指標では**5箇所**で超過値検出
→超過箇所は、**コンテナ車のローリング上位の箇所**
- 旧指標では検出され、**新指標では非検出の箇所** →徐行措置などの**対処が不要**となる

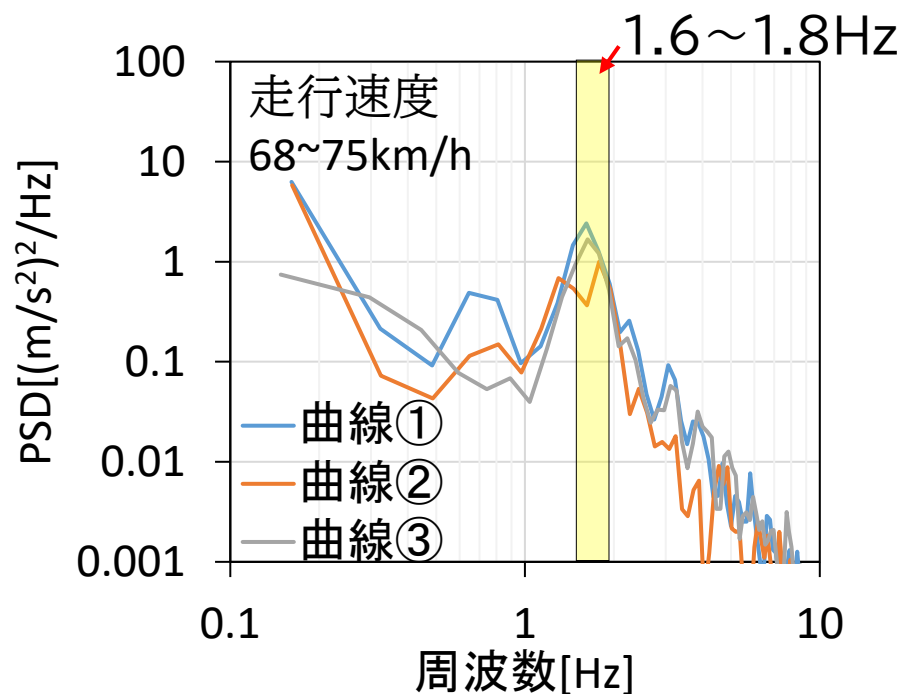
新指標での管理により、現行車両の走行特性に基づいて、**実態に即した軌道管理が可能**となると考えられる

1. 背景・目的
2. 複合変位管理および周期的水準変位管理の概要
3. コンテナ車モデルを用いた車両運動シミュレーション
4. 新たな複合管理指標案
5. 旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案
6. まとめと成果の活用

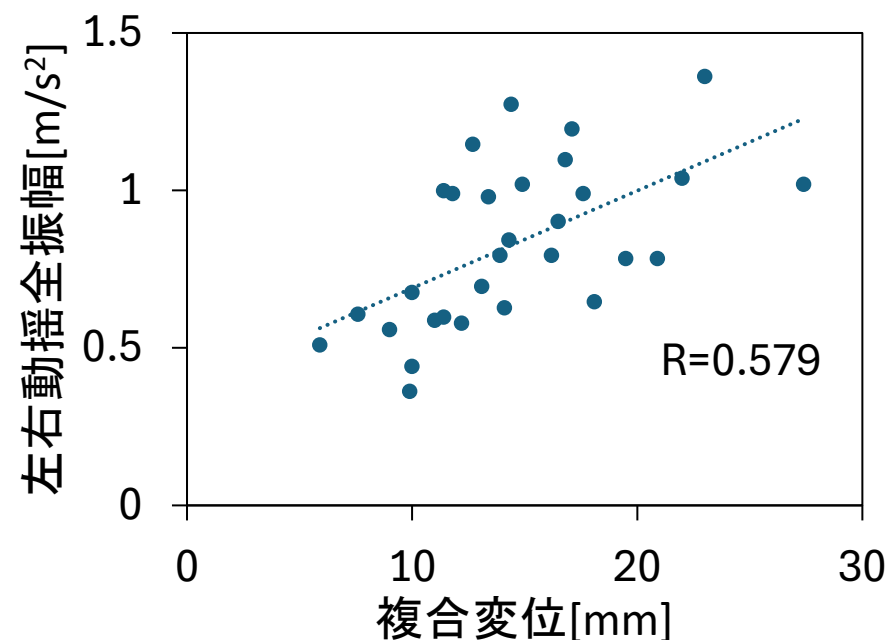
複合変位と旅客列車動揺との関係

ある路線Bにおいて、R400以下、45km/h以上の、30曲線で分析

左右動揺上位3曲線における
左右動揺のPSD



30曲線における
複合変位と左右動揺の関係

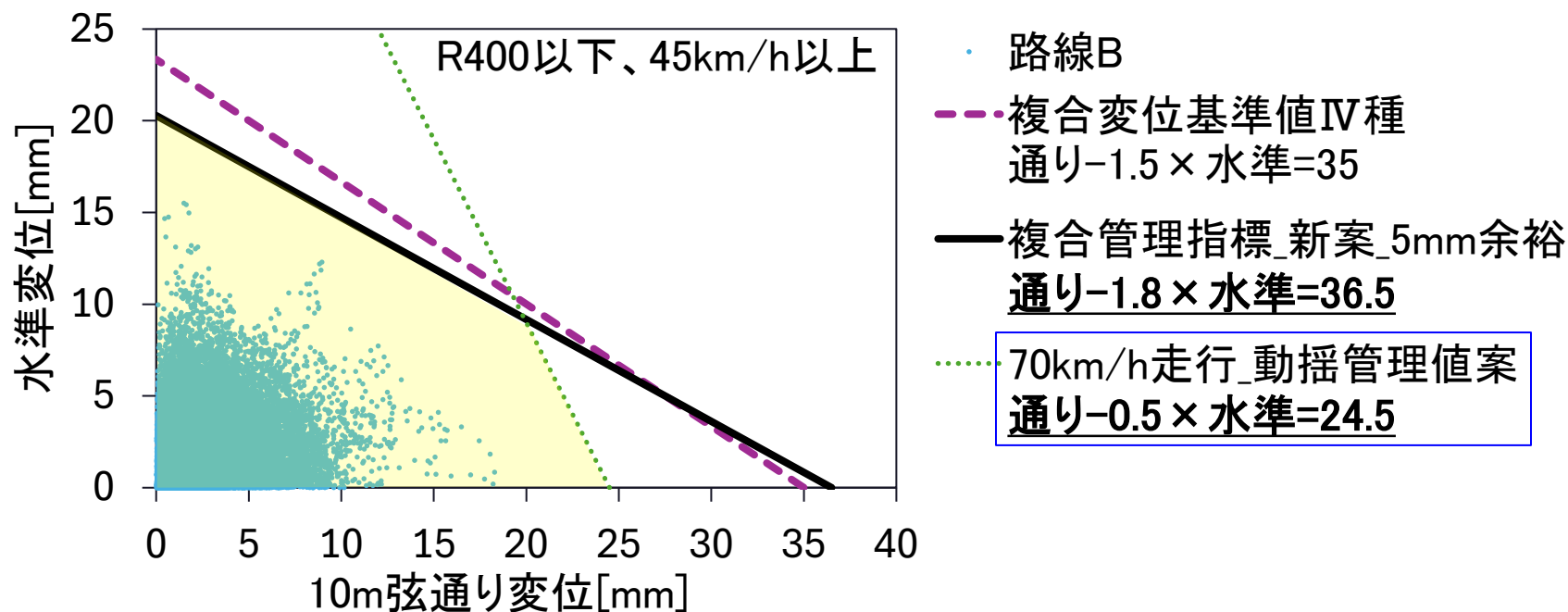


- コンテナ車ローリングと同様の周波数帯にピークが見られる
- 複合変位と旅客列車動揺には相関がある
→ 複合変位の管理は、乗り心地向上に効果がある

旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案

- R400以下の曲線を想定し、70km/h走行で動揺基準値0.25gとなる条件を、車両運動シミュレーションの試算結果を基に提案

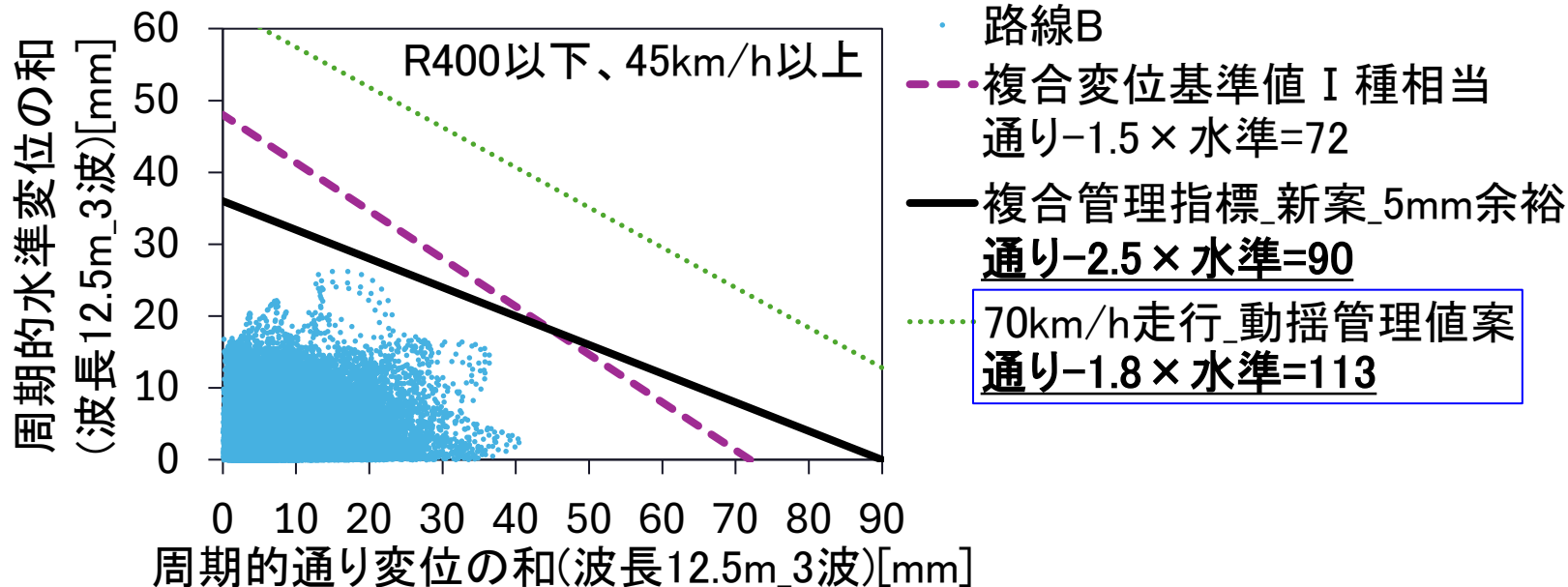
軌道変位1波



- 黒線と緑線が交差している
→ 両線を超過しない、黄色塗りの範囲での管理により、コンテナ車の走行安全性と旅客車の乗り心地をともに良好に維持できる

旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案

周期的軌道変位3波



- 黒線以下の値で管理することで、乗り心地の向上にも寄与できる
- 路線Bにおいては、黒線と緑線ともに超過箇所はなかった
→ 路線Bは走行安全性・乗り心地ともに良好と考えられる

新指標を、新たな乗り心地の評価にも適用できる可能性を示した

今後、新指標の鉄道事業者への導入を見据え、係数や管理値の検討を継続する

1. 背景・目的
2. 複合変位管理および周期的水準変位管理の概要
3. コンテナ車モデルを用いた車両運動シミュレーション
4. 新たな複合管理指標案
5. 旅客車の動揺も考慮した複合管理指標案
6. まとめと成果の活用

まとめ

- コンテナ車モデルの車両運動シミュレーションおよびコンテナ車の動揺測定試験を基に、**新たな複合管理指標**を提案した
 - 新指標により、**現行車両の走行特性に基づいて、実態に即した軌道管理が可能となる**
- 旅客車モデルの車両運動シミュレーションを基に、**乗り心地も考慮した複合管理指標**を提案した
- 今後、新指標の**係数や管理値**の検討を継続し、**適用条件や適用範囲**を明確化する

成果の活用

- 鉄道事業者において、社内規程で定められている**複合変位管理の改定**に活用する
- 鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)等の改定に活用する

- 吉田尚史, 坪川洋友: 車両の走行安全性向上のための軌道の複合管理指標の開発に向けた基礎的検討, J-RAIL2024, 2024
- 吉田尚史, 坪川洋友, 中橋順一: 車両運動シミュレーションを用いた軌道変位の新たな複合管理指標の開発に向けた検討, 第80回土木学会年次学術講演会, 2025