

地震時軌道面振動に対する 簡易な車両走行安全性評価法

鉄道力学研究部
車両力学研究室長 飯田 浩平

➤ 背景

- 日本:世界有数の地震大国
- 2004年新潟県中越地震で営業走行中の新幹線列車が脱線
- 地震時に脱線・逸脱しにくくする対策に関する研究開発
 - 地震時走行安全性の評価
 - 正弦波加振に対する安全限界線図
 - 確率論に基づいた脱線発生確率推定

} 地震対策の効果を把握
しにくい場合があった

➤ 目的

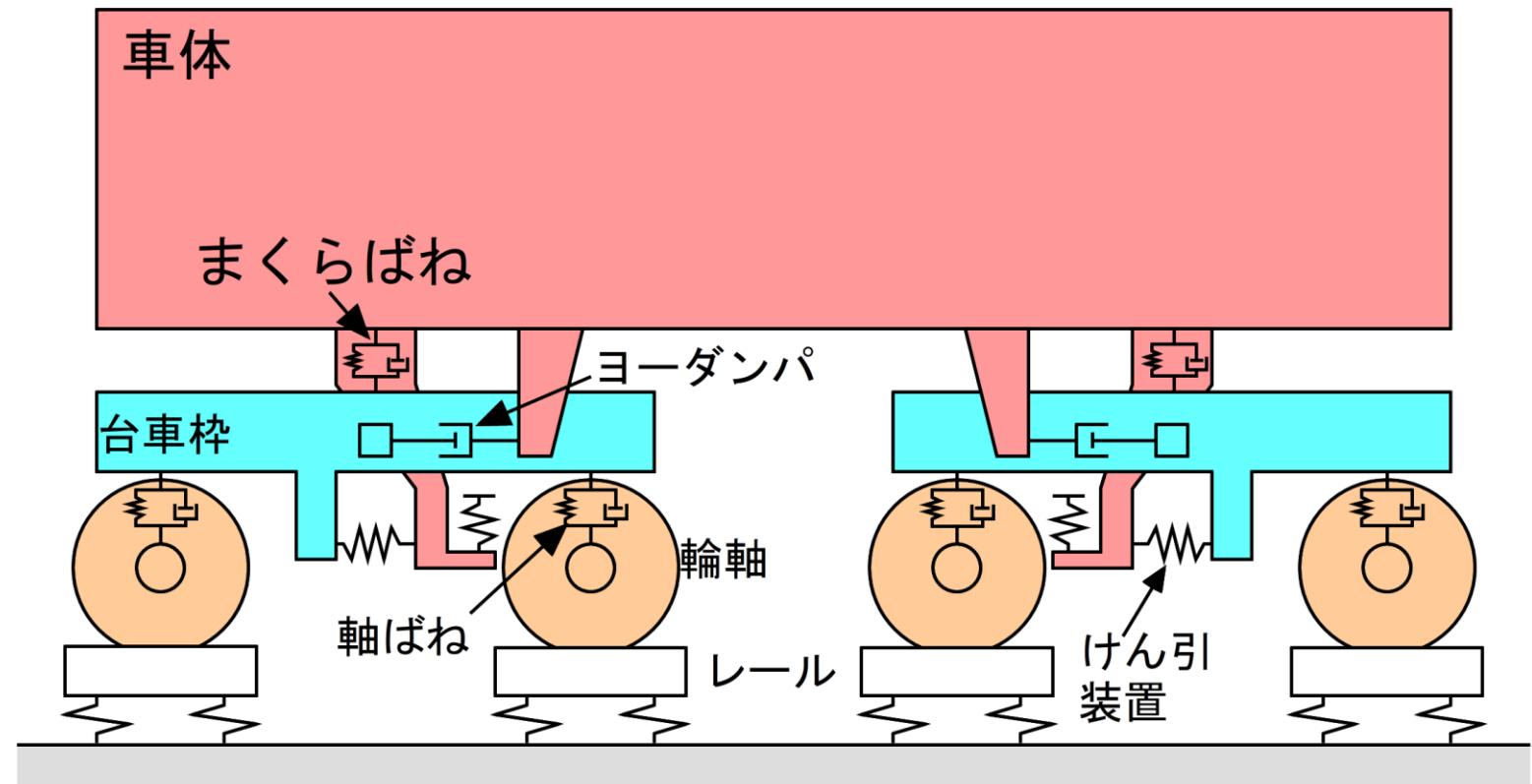
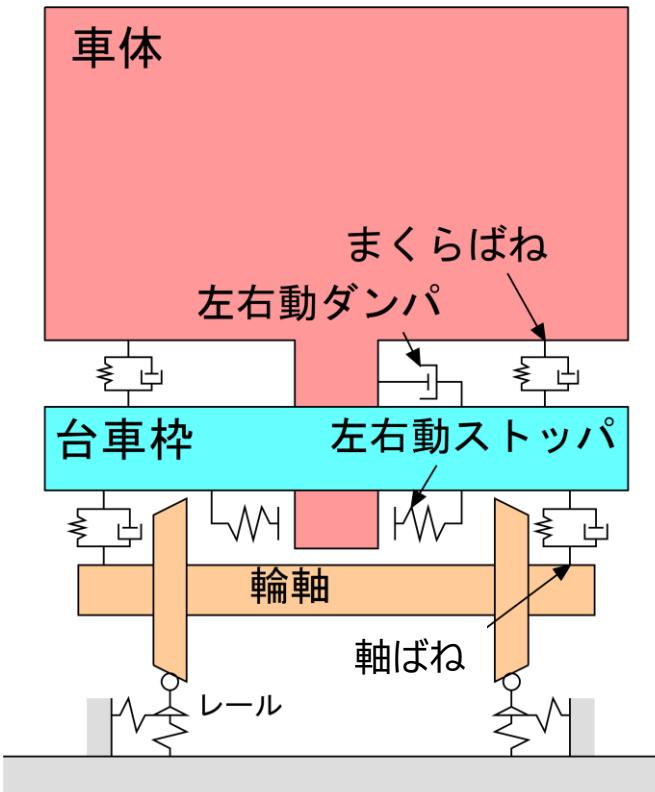
- 地震波に対する走行安全性を簡易に評価・比較する
 - 車両…様々な地盤・構造物上の軌道を走行

1. 地震時の車両挙動 — 車両運動シミュレーションプログラム
2. 従来の地震時走行安全性評価法
3. 簡易な地震時走行安全性評価法の提案
4. 地震対策効果の評価例
5. まとめ

車両運動シミュレーションプログラム

Railway Technical Research Institute

- 鉄道総研開発のプログラム(VDS: Vehicle Dynamics Simulator)
マルティボディ・ダイナミクスに基づいたプログラム



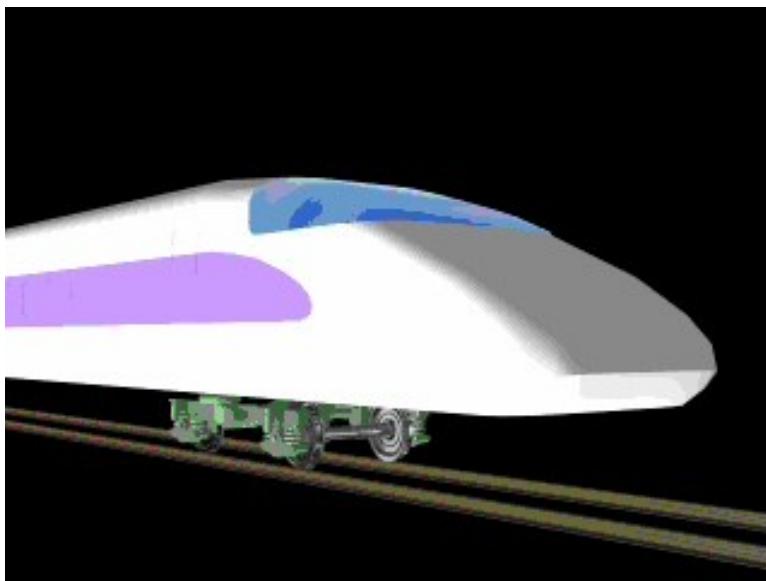
解析モデル例

▶ 地震時における安全性の判断

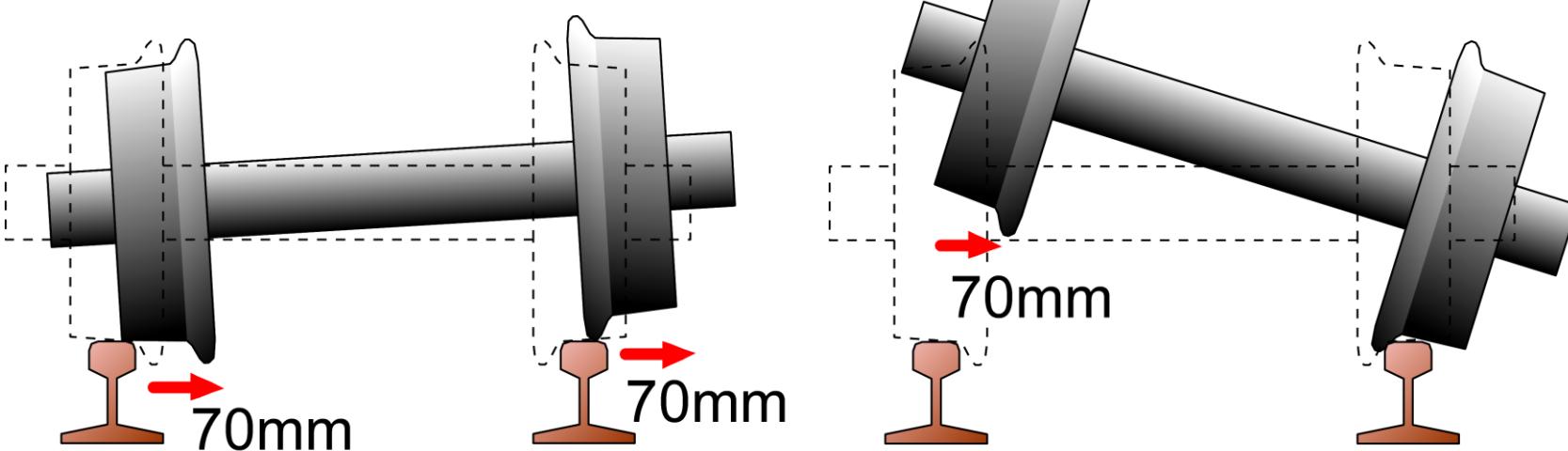
地震時: 車輪が容易にレールから離れて浮き上がる。



脱線／非脱線で安全性を判断



車両挙動解析例



脱線判定条件における輪軸の姿勢
(車輪・レール相対左右変位70mm)

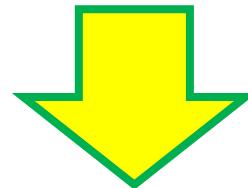
1. 地震時の車両挙動 — 車両運動シミュレーションプログラム
2. 従来の地震時走行安全性評価法
 - 正弦波加振に対する安全限界線図
 - 地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法
3. 簡易な地震時走行安全性評価法の提案
4. 地震対策効果の評価例
5. まとめ

正弦波加振に対する安全限界線図

Railway Technical Research Institute

正弦波5波で脱線しない限界の軌道面振動振幅
(安全限界振幅)の周波数特性

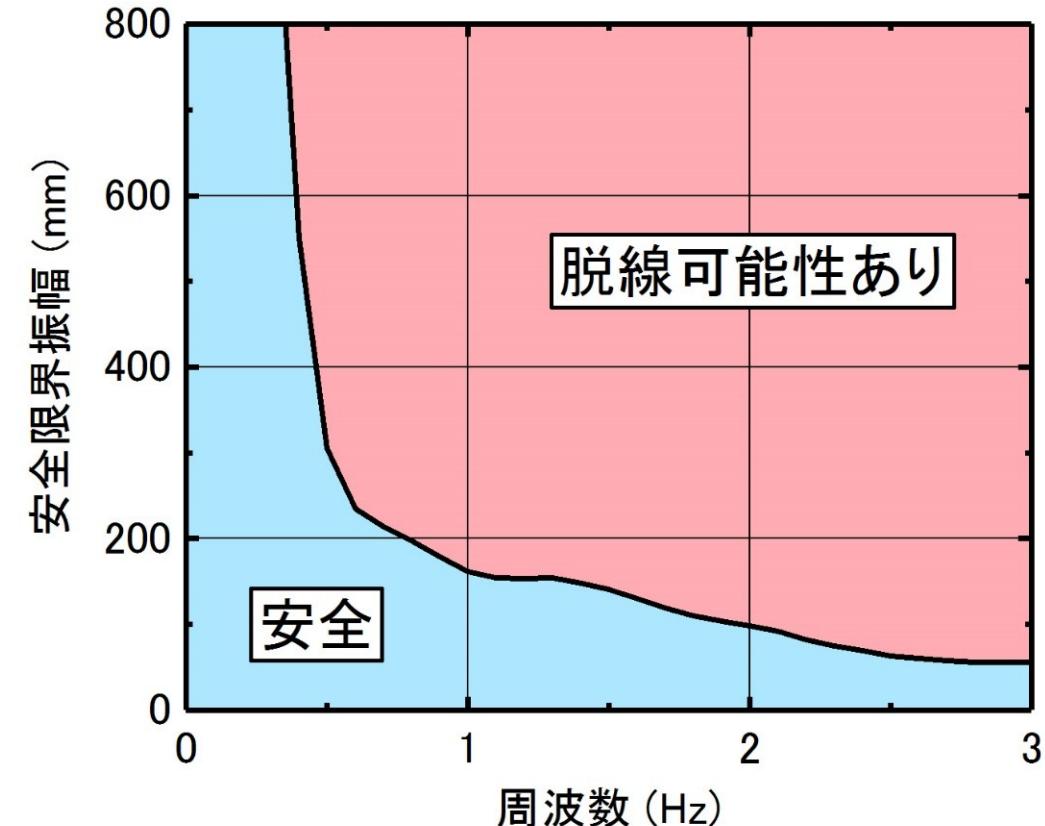
※安全限界振幅が大きいほど安全性が高い



地震時耐脱線性能の基礎特性を把握可能

<課題点>

実際の地震(ランダム波)に対する安全性を
把握しにくい



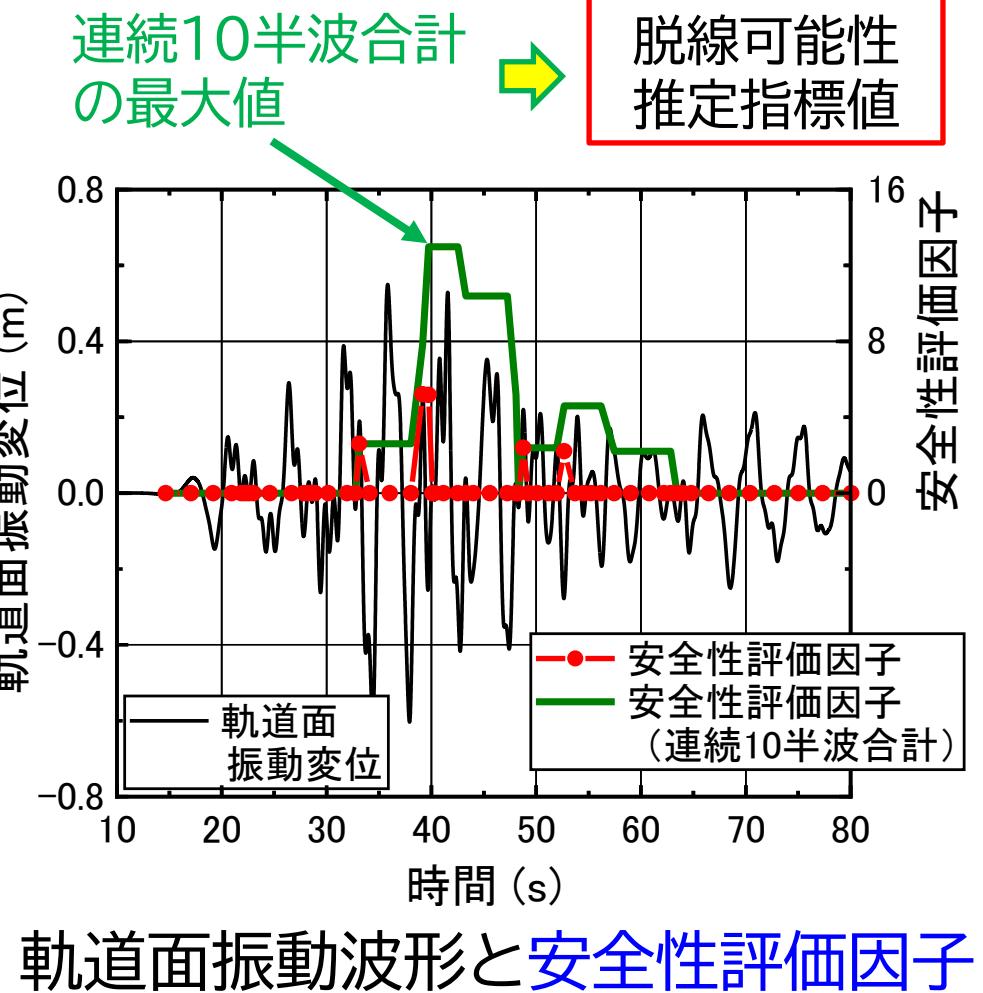
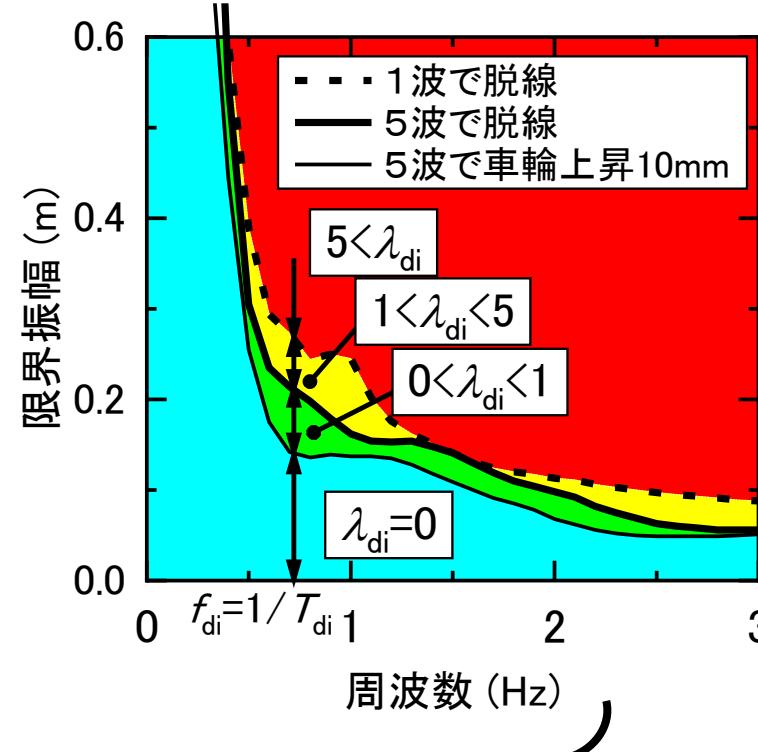
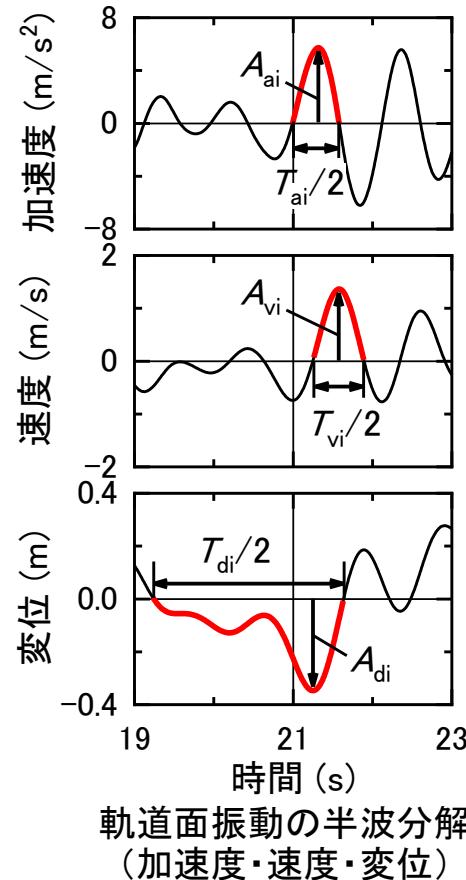
正弦波加振に対する安全限界線図例

地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法

Railway Technical Research Institute

▶ 脱線可能性推定指標値

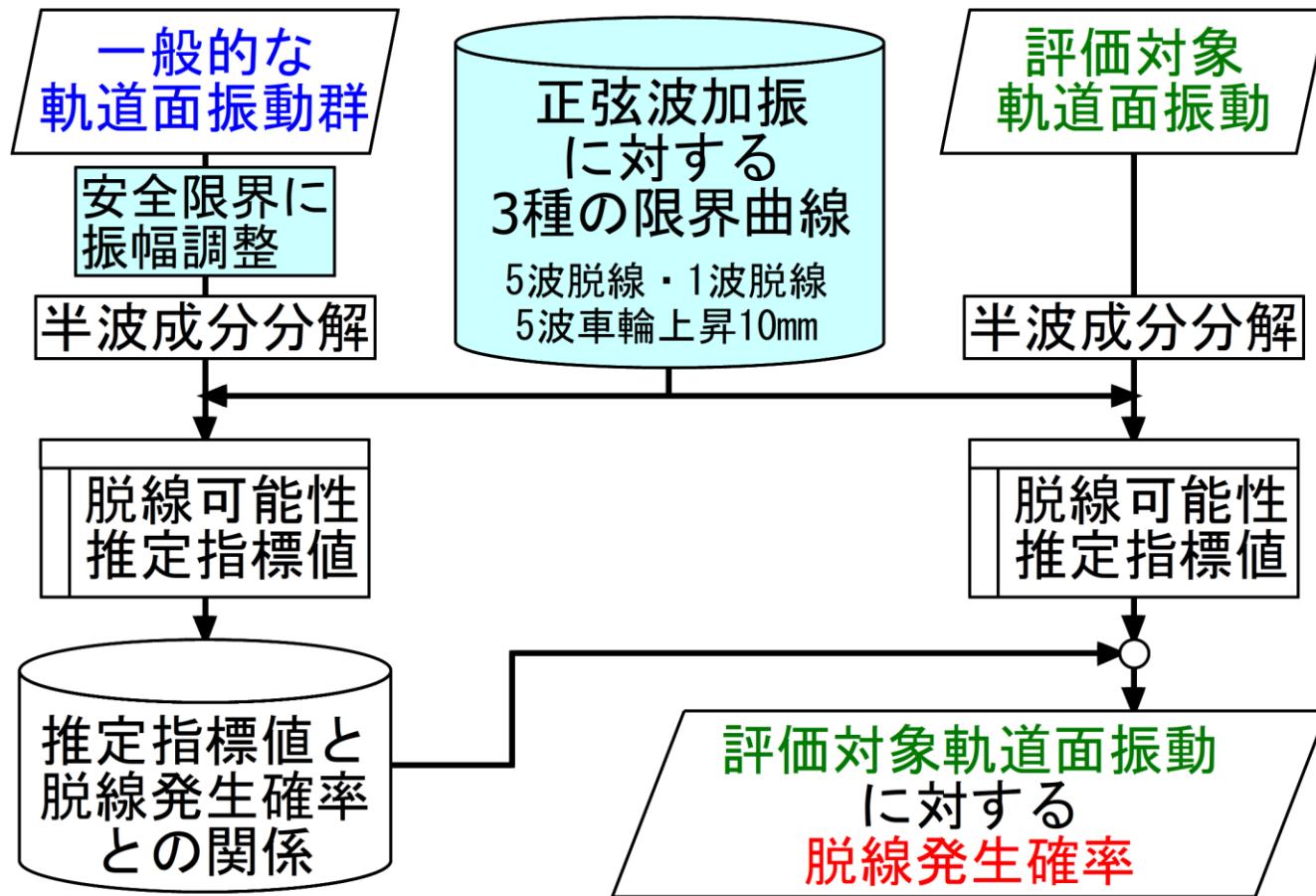
- 地震時の脱線しやすさと相関が高い



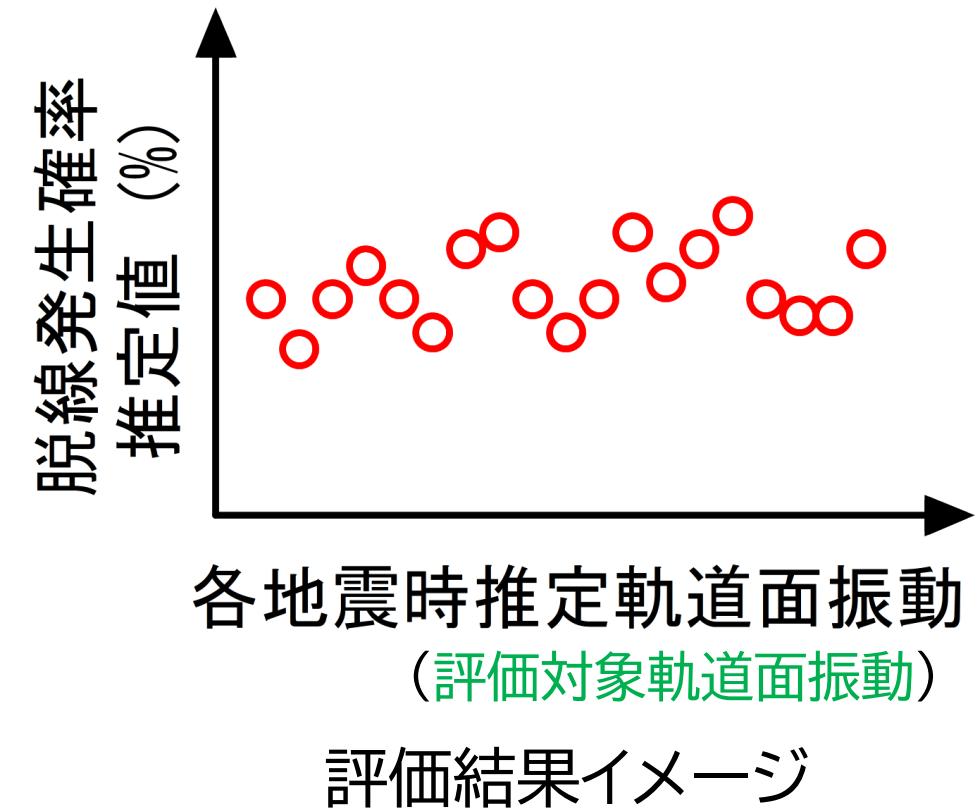
地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法

Railway Technical Research Institute

▶ 脱線発生確率の推定



脱線発生確率推定フロー図



地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法

Railway Technical Research Institute

➤ 確率推定の前提条件

- 車両は地震に遭遇したものとする
(地震発生確率、車両存在確率は考慮しない)
- 軌道面振動波形の形状の発現可能性は均一とする
- 線路形状は軌道不整のない直線区間とする
- 隣接構造物間の不同変位は考慮しない

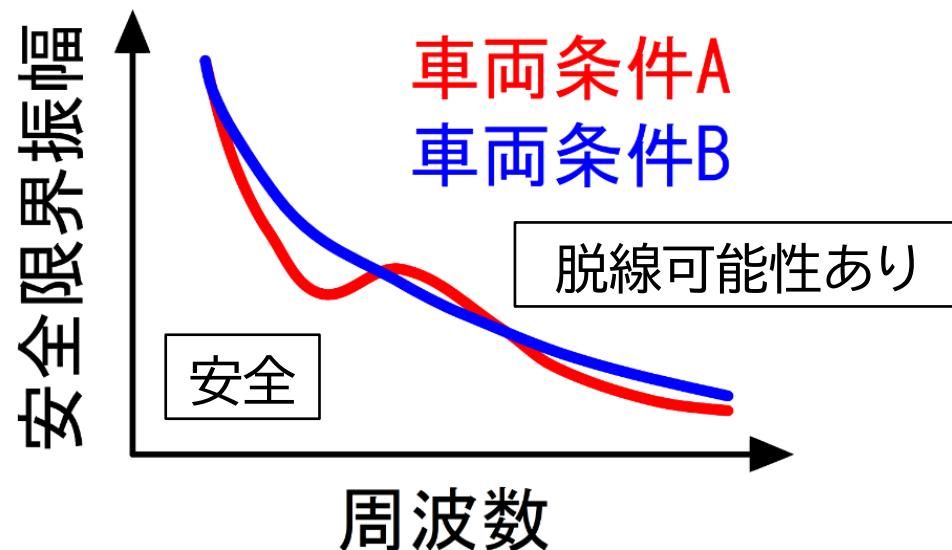


- ✓ 地震時軌道面振動毎に脱線発生確率を推定
- ✓ 高い妥当性

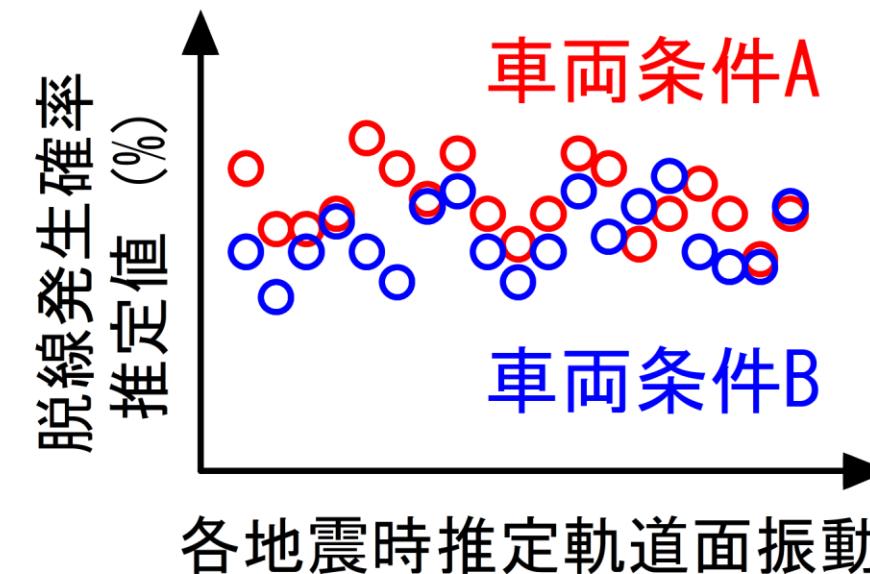
従来の地震時走行安全性評価法の課題

Railway Technical Research Institute

正弦波加振に対する安全限界線図



地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法



- ◆ 周波数帯によって安全限界振幅の大小関係が異なる→比較が困難
- ◆ 実際の地震動に対する影響が不明

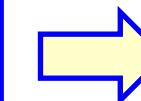
- ◆ 軌道面振動によって大小関係が異なる
→比較が困難
- ◆ 計算量が多い(時間がかかる)

1. 地震時の車両挙動 — 車両運動シミュレーションプログラム
2. 従来の地震時走行安全性評価法
3. 簡易な地震時走行安全性評価法の提案
 - 評価法のコンセプト
 - 代表軌道面振動特性の算定
 - 地震時走行安全性評価値の算出
4. 地震対策効果の評価例
5. まとめ

車両は様々な地盤条件・構造物条件上の軌道を走行

- 地震動と構造物の特性を広範に考慮
- 個別の地震時軌道面振動に依存しない評価

車両の地震時軌道面振動(ランダム波)に対する走行安全性を総合的に評価



簡易評価・概略評価

個別の地震時軌道面振動の評価
地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法
の方が妥当性が高い



詳細評価

評価法のコンセプト

Railway Technical Research Institute

➤ 地震波に対する走行安全性を容易に把握可能にする→1つの値で評価

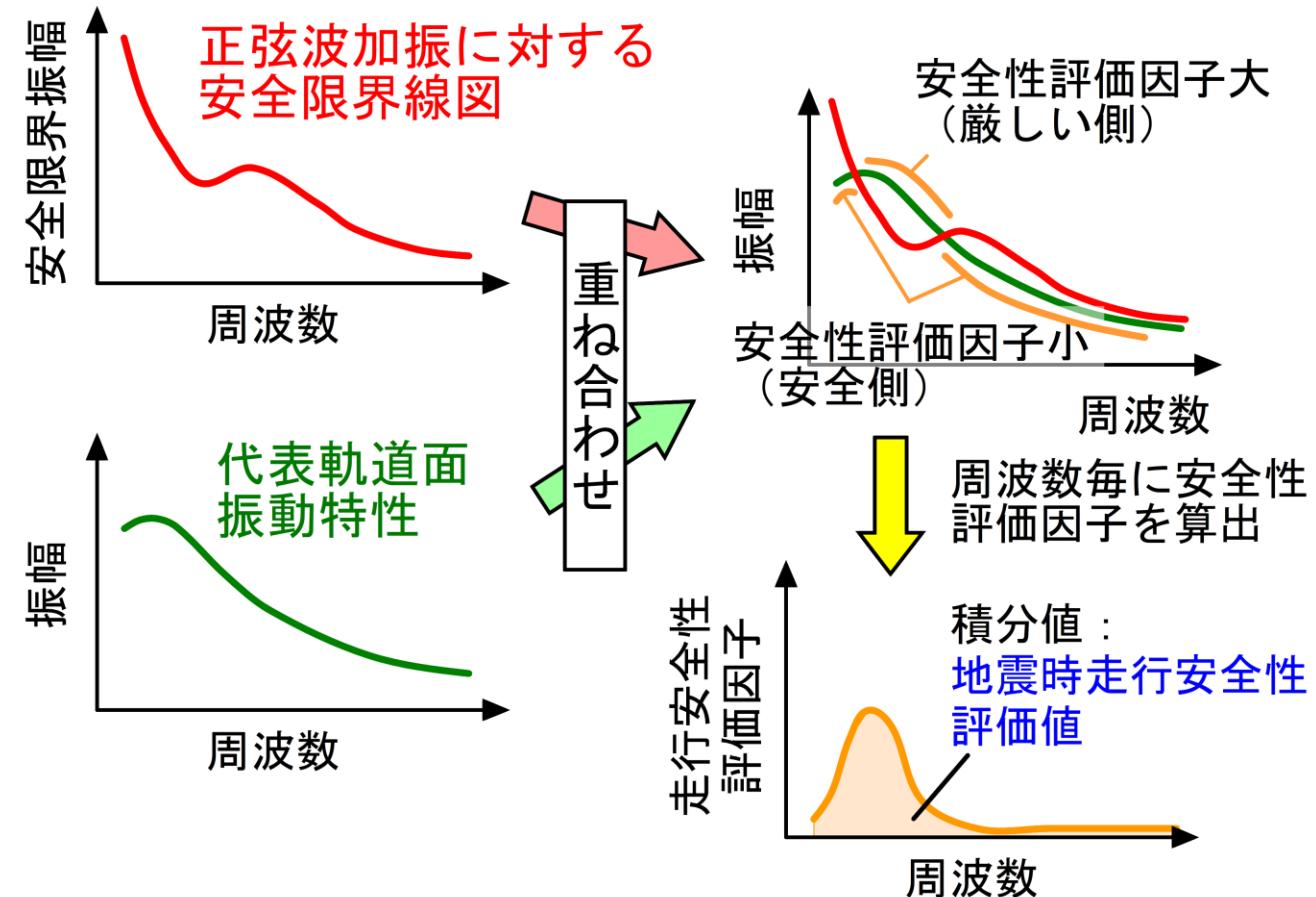
<乗り心地レベル>

- ・車両走行時の**床面振動加速度**
- ・**人体の等感度曲線**に基づいて算出



<地震時走行安全性評価値>

- ・正弦波加振に対する安全限界線図
- ・地震時の**代表軌道面振動特性**の重ね合わせから算出



提案する評価法の概略

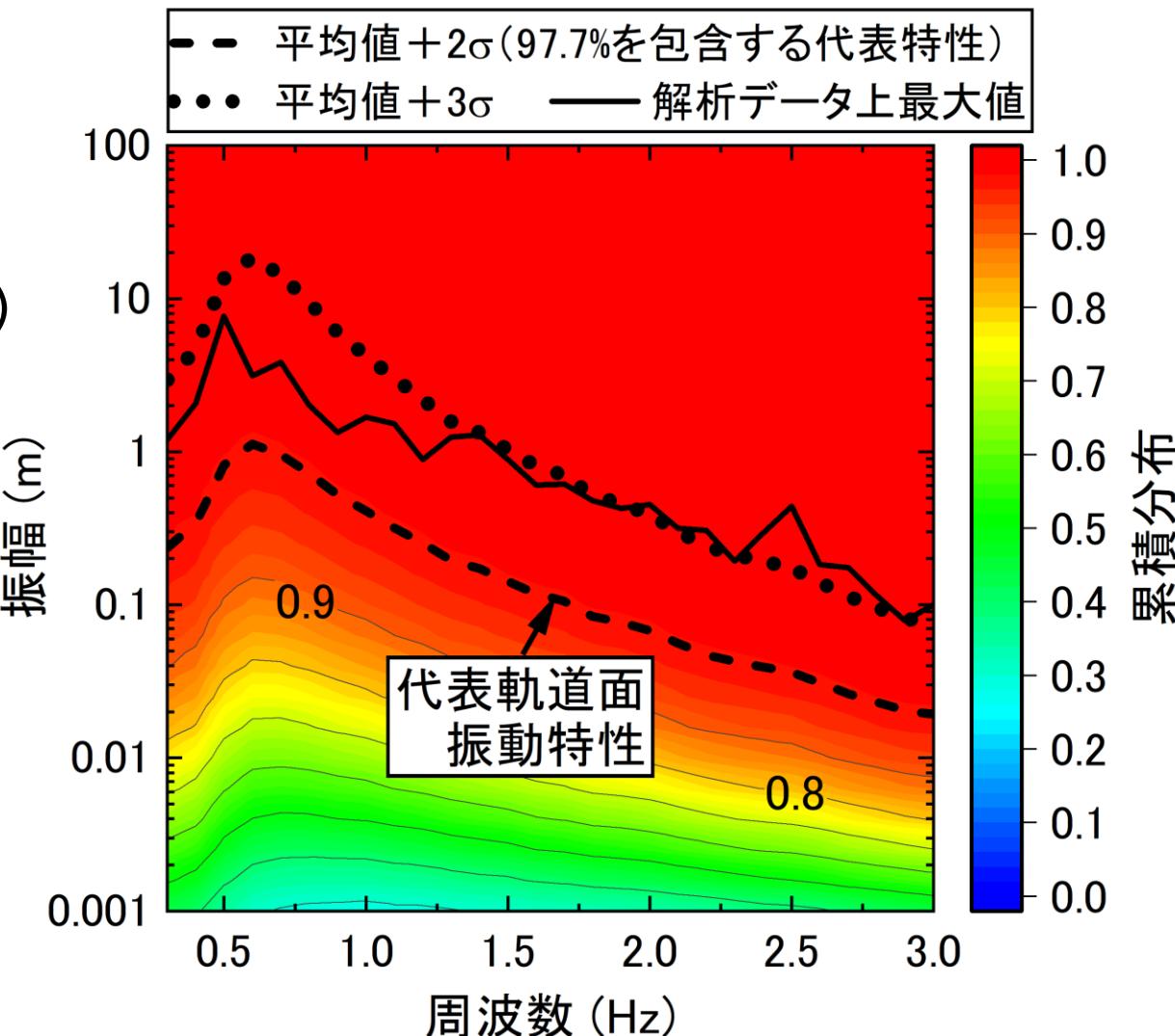
代表軌道面振動特性の算定

Railway Technical Research Institute

- 地震動の選定
 - 防災科学技術研究所強震観測網
 - 期間: 1996年5月～2019年2月
 - 最大加速度: 200gal以上 (1928波)
- 構造物条件
 - 構造物固有周期: 0.1～2.0秒(20種)
 - 構造物減衰: 5%



38560ケースの軌道面振動



軌道面振動成分の各周波数における累積分布

地震時走行安全性評価値の算出

Railway Technical Research Institute

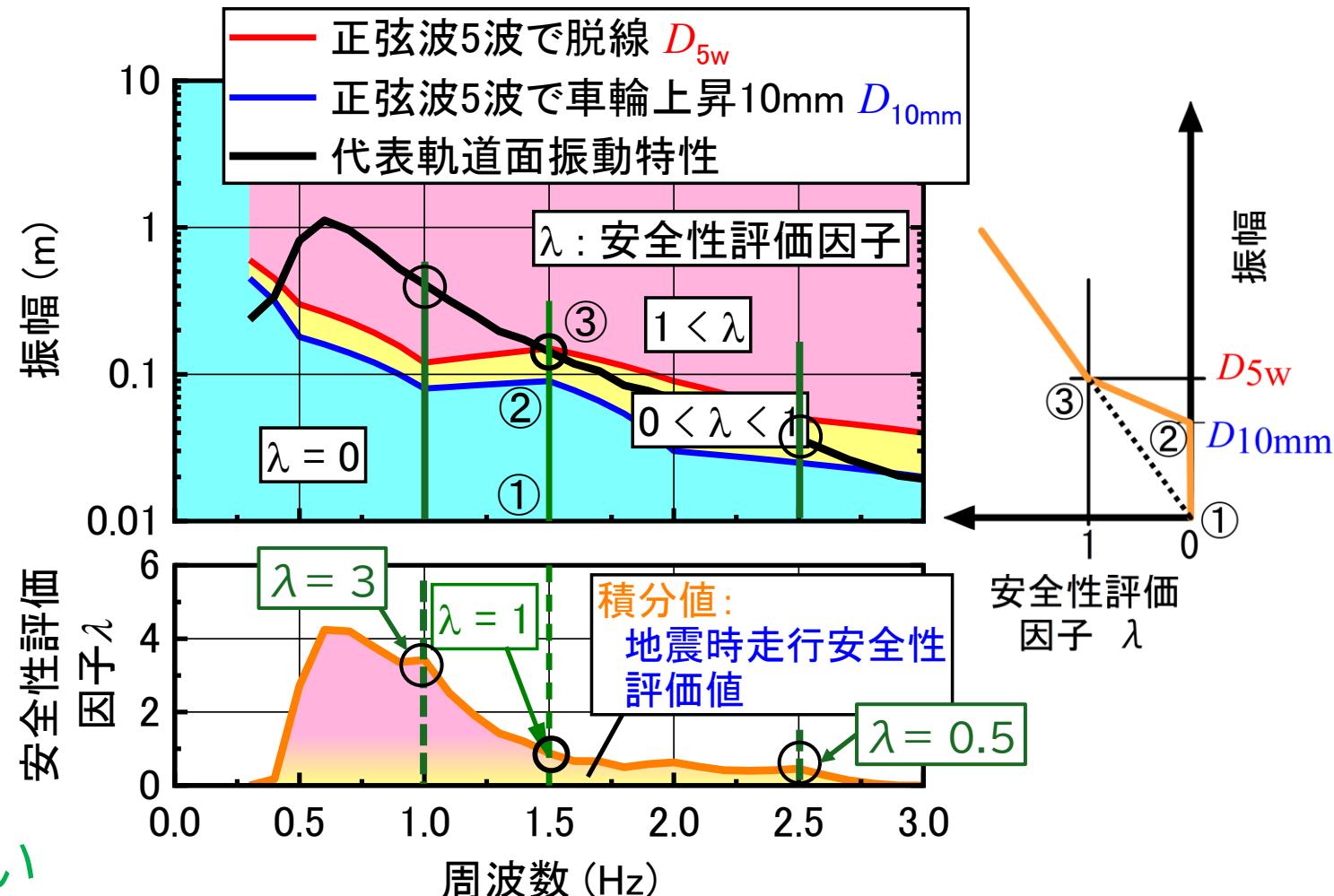
- 正弦波加振に対する限界線図
5波で脱線
5波で車輪上昇10mm
- 代表軌道面振動特性

安全性評価因子 $\lambda(f)$

周波数領域で積分

地震時走行安全性評価値

➤ 地震時走行安全性評価値が小さいほど地震時走行安全性が高い



地震時走行安全性評価値算出の概念図

① 正弦波加振に対する2種の限界線図算出

- 車両運動シミュレーションを用いる

② 地震時走行安全性評価値算出

- 2種の限界線図と代表軌道面振動特性から算出
- 車両運動シミュレーションは不要

③ 車両条件間で地震時走行安全性評価値を比較

- 評価値が小さい方が地震時走行安全性が高い

脱線発生確率推定法よりも計算量小

1. 地震時の車両挙動 — 車両運動シミュレーションプログラム
2. 従来の地震時走行安全性評価法
3. 簡易な地震時走行安全性評価法の提案
4. 地震対策効果の評価例
5. まとめ

在来線車両を対象とした地震対策に関する評価

Railway Technical Research Institute

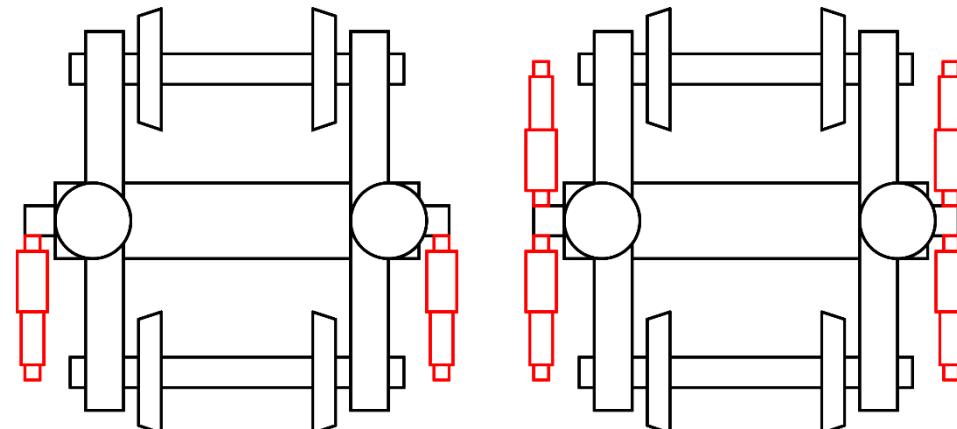
➤ 検討条件

● 車両条件

- ・ 車種: ヨーダンパを装備した在来線車両
- ・ 走行速度: 130km/h

● 地震対策条件

- ・ 地震対策なし
- ・ ヨーダンパを台車内前後対称に配置
- ・ 在来線用脱線防止ガードを設置
- ・ 上記2対策の併用



通常配置

前後対称配置

台車内ヨーダンパ配置

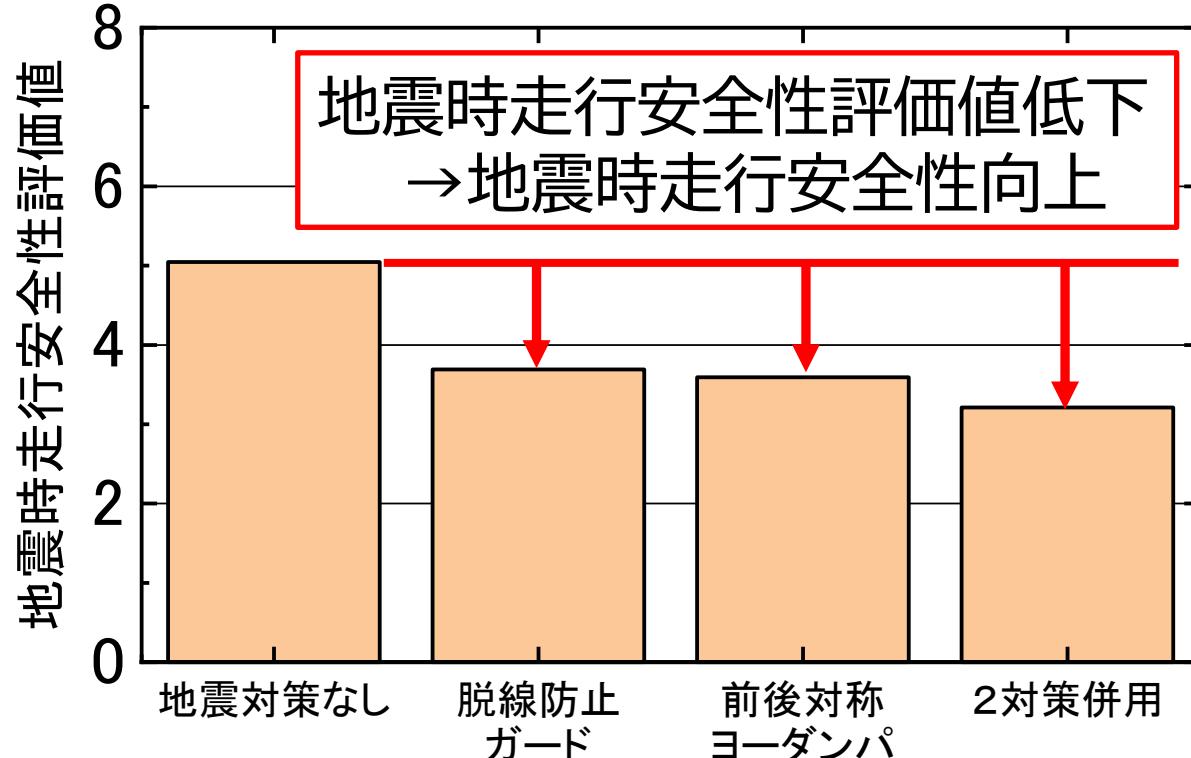


在来線用脱線防止ガード

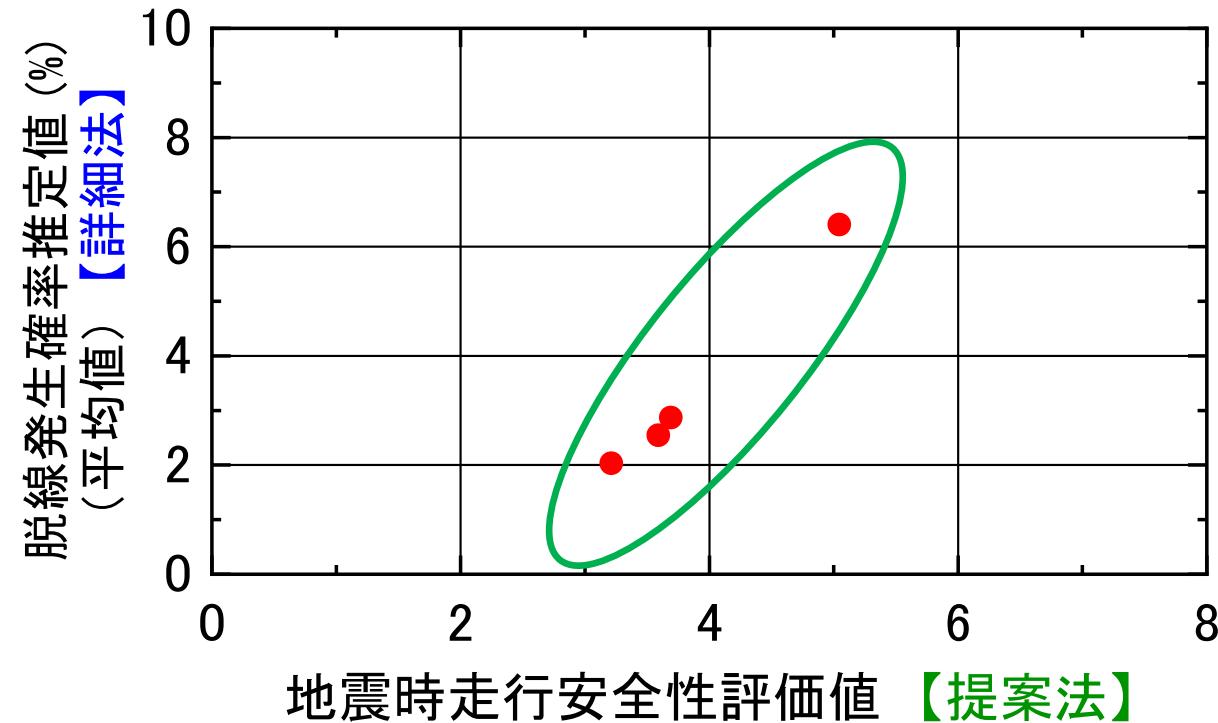
在来線車両を対象とした地震対策に関する評価

Railway Technical Research Institute

▶ 評価結果



地震時走行安全性評価値比較
地震対策の効果を容易に比較可能



脱線発生確率推定法(詳細法)と
概ね線形な評価を短時間で可能

➤ まとめ

地震波に対する走行安全性を簡易に評価・比較する手法を提案

- ◆ 個別の地震時軌道面振動に依存せず走行安全性を総合的に評価可能
- ◆ 従来の評価法より車両条件間の比較が容易
- ◆ 地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法より短時間で評価可能

➤ 今後の展開

- ◆ 提案手法：地震時走行安全性の簡易評価・概略評価

条件を絞り込んだ後、地震動の波形を用いた脱線発生確率推定法で詳細評価

本研究を進めるにあたり、東日本旅客鉄道株式会社より車両関係データの提供を受けました。また、地震波波形は防災科学技術研究所の強震観測網により公開されているものを使用しました。ここに謝意を表します。

飯田浩平, 名波健吾, 葛田理仁:地震時の軌道面振動特性を広範に考慮した車両の地震時走行安全性評価法, 鉄道総研報告, Vol.39, No.6, pp.11-16, 2025