

連結装置の破壊モードに着目した 編成車両の衝突シミュレーション

車両技術研究部 車両強度研究室
主任研究員 佐藤 裕之

背景・目的

Railway Technical Research Institute

編成車両の衝突事故事例

連結装置が破損すると車端部同士が衝突する恐れがある

2002年 鹿児島本線 列車衝突事故



出典:航空・鉄道事故調査委員会:「鉄道事故調査報告書 九州旅客鉄道株式会社鹿児島線海老津駅～教育大前駅間 列車衝突事故」, 2003-4B, 2003 一部加筆

非常ブレーキや衝突時に車両
間の上下変位が変化

連結器が傾いた状態で衝突
による衝撃力が負荷される

先行研究では、連結器角度を固定した
条件でのみ破壊試験を実施している

本研究の目的

- ・連結器角度ごとの連結装置破壊挙動の把握
- ・連結装置破損を考慮した衝突安全向上策の検討



1. 本研究の進め方
2. 連結装置まわりの準静的圧縮試験
3. 連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析
4. 編成車両の衝突解析
5. まとめと成果の活用

1. 本研究の進め方

Railway Technical Research Institute

連結装置まわりの準静的圧縮試験を実施し、連結器角度ごとの破壊モードを明らかにする



連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析を実施し、連結装置の破壊モードを抑止する方策を検討する

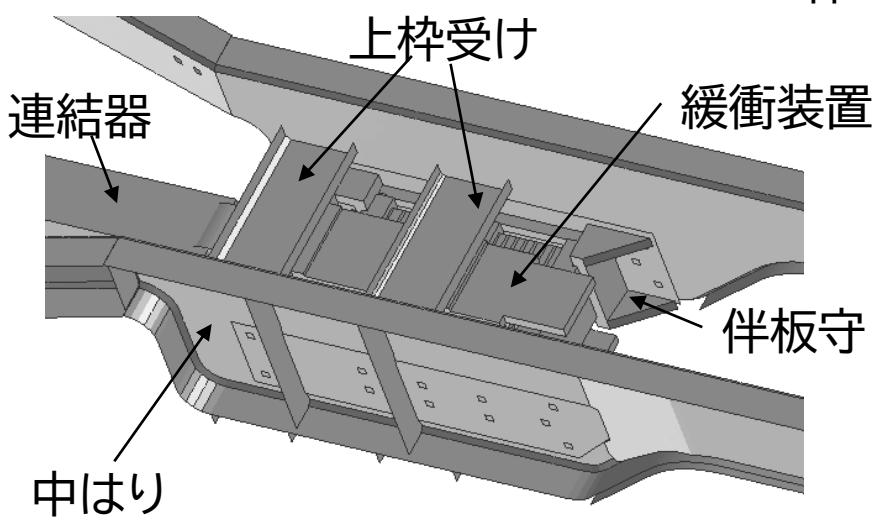
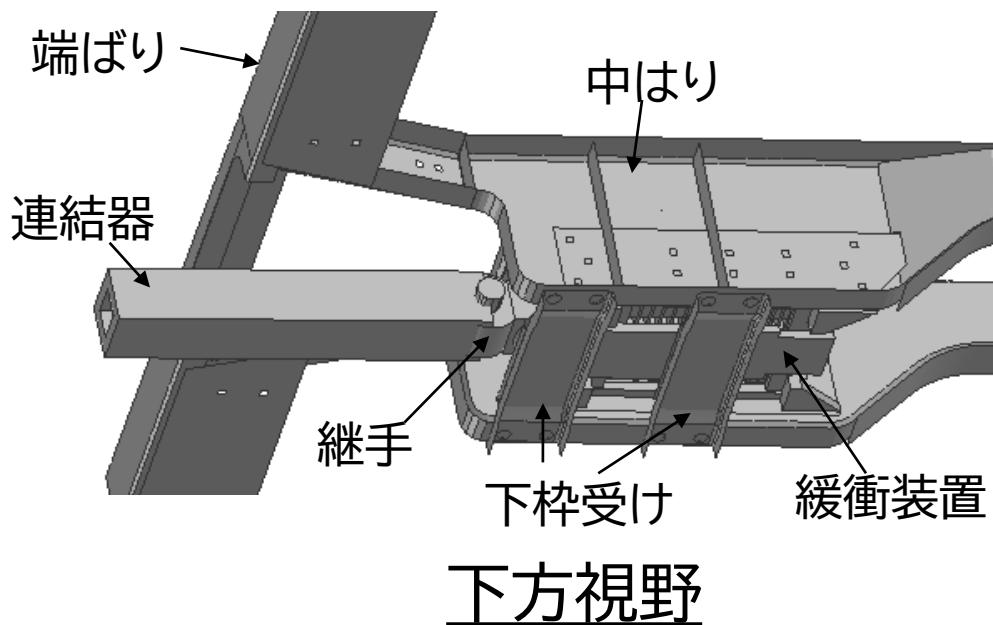
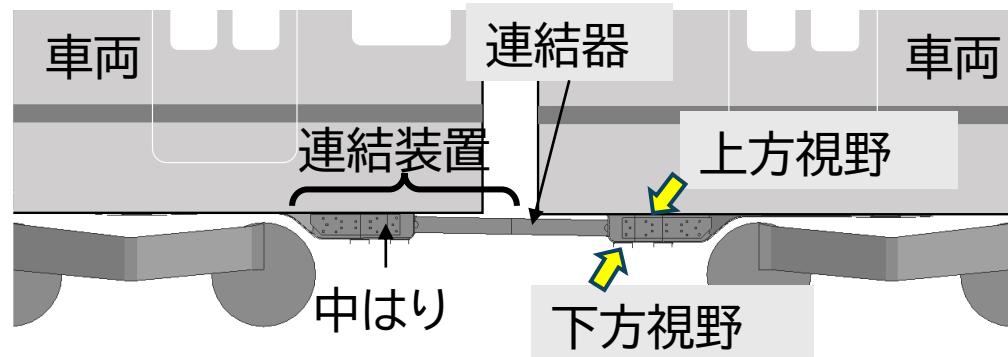


踏切事故を想定した編成車両の衝突解析を実施し、連結装置の破損を考慮した衝突安全向上策を検証する

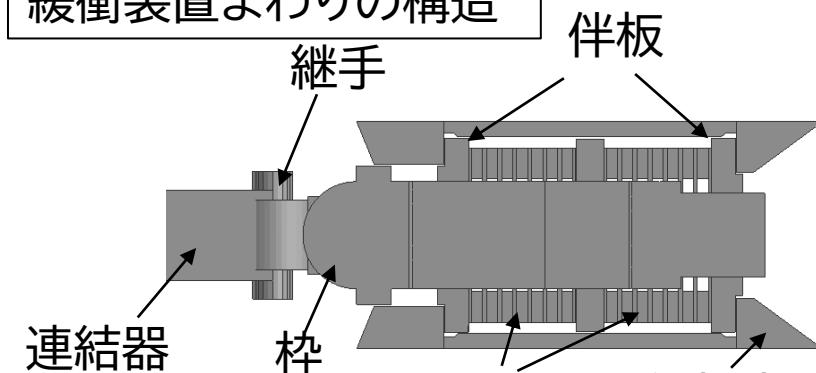
2. 連結装置まわりの準静的圧縮試験

Railway Technical Research Institute

連結装置の構造



緩衝装置まわりの構造

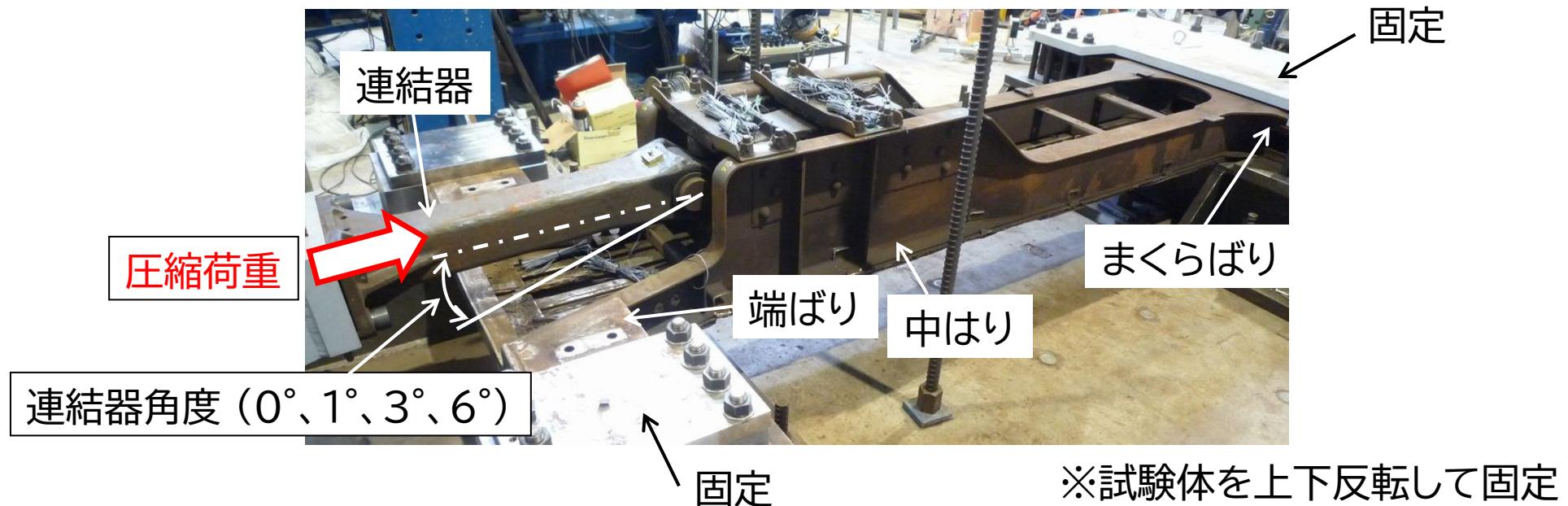


連結装置は車両端部に取り付けられ、車両間隔を一定に保つ役割がある。⁴

2. 連結装置まわりの準静的圧縮試験

Railway Technical Research Institute

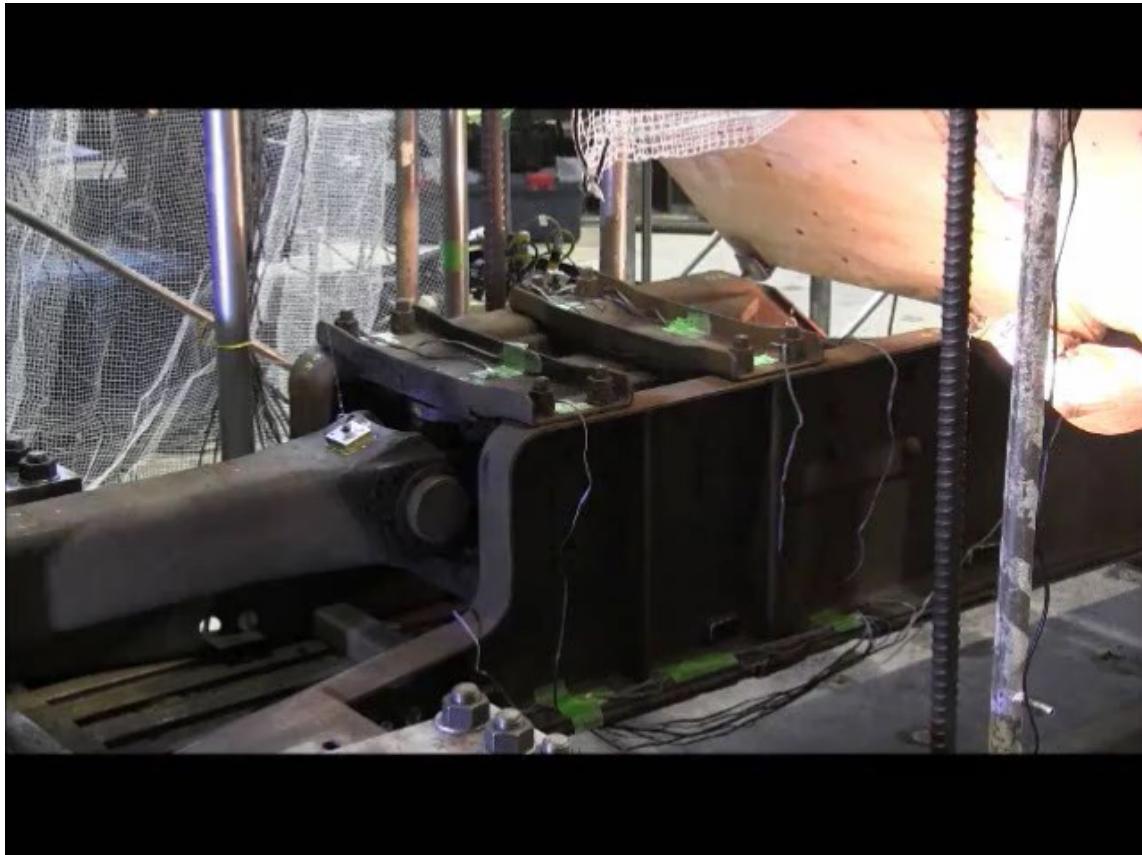
連結装置まわりを切り出した実物大試験体を用い、
連結器角度(0° 、 1° 、 3° 、 6°)をパラメータとした準静的圧縮試験を実施



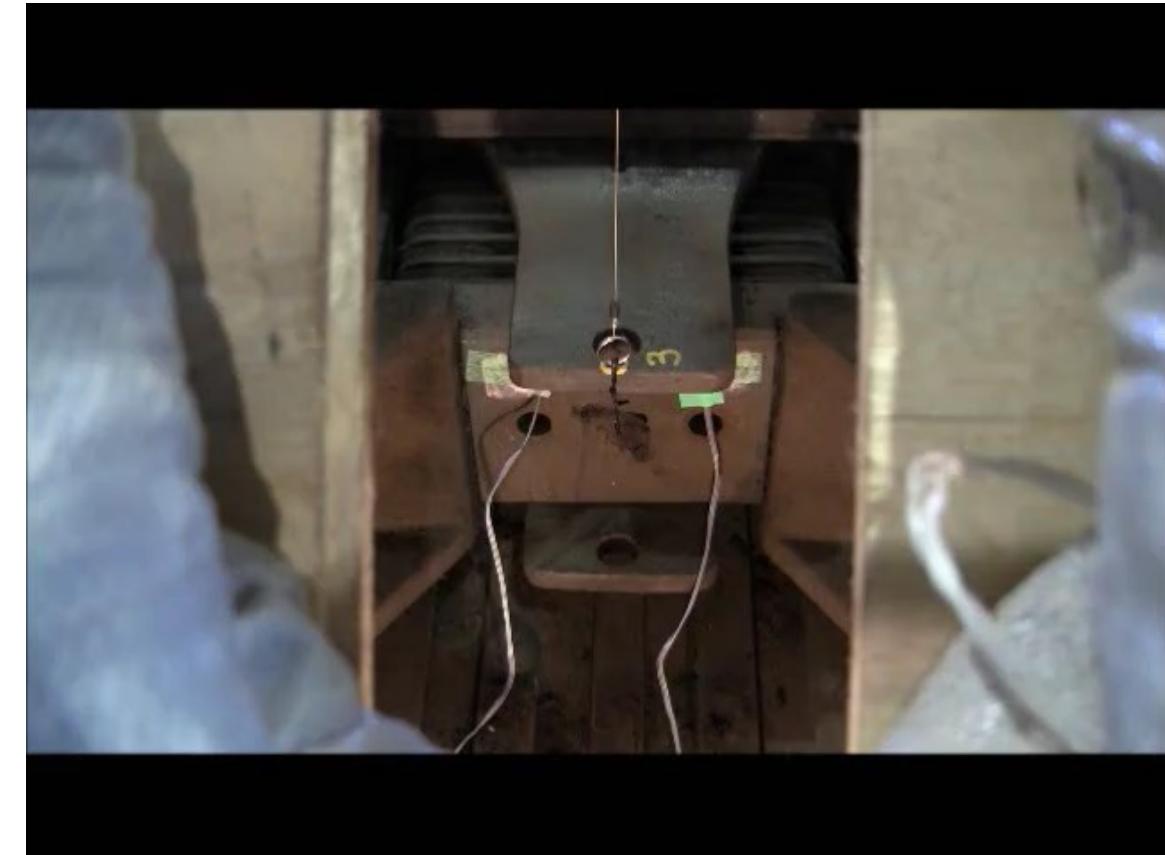
ステンレス鋼製先頭車両の廃車から切り出して製作した。
サイズは車体長手方向に約3.4m、まくらぎ方向に約1.6m。

2. 連結装置まわりの準静的圧縮試験

Railway Technical Research Institute



前方の様子(0°条件)



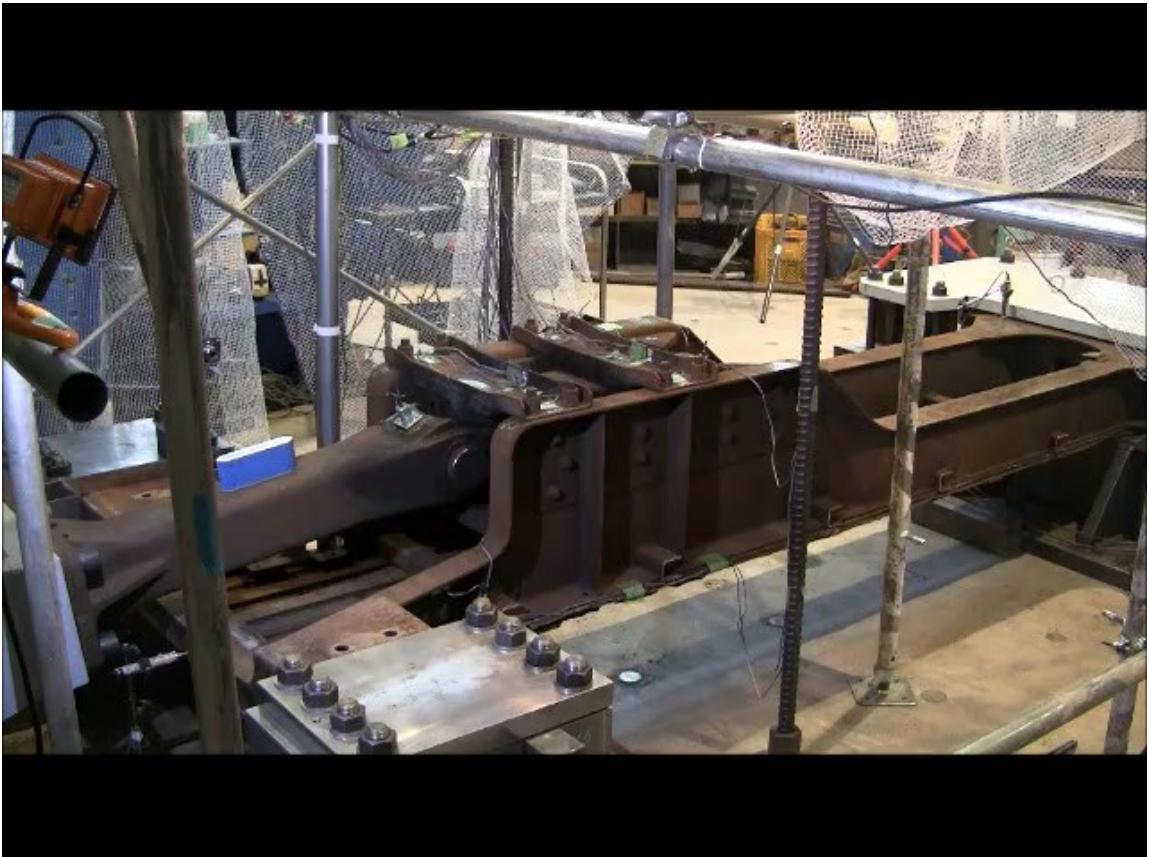
後方の様子(0°条件)



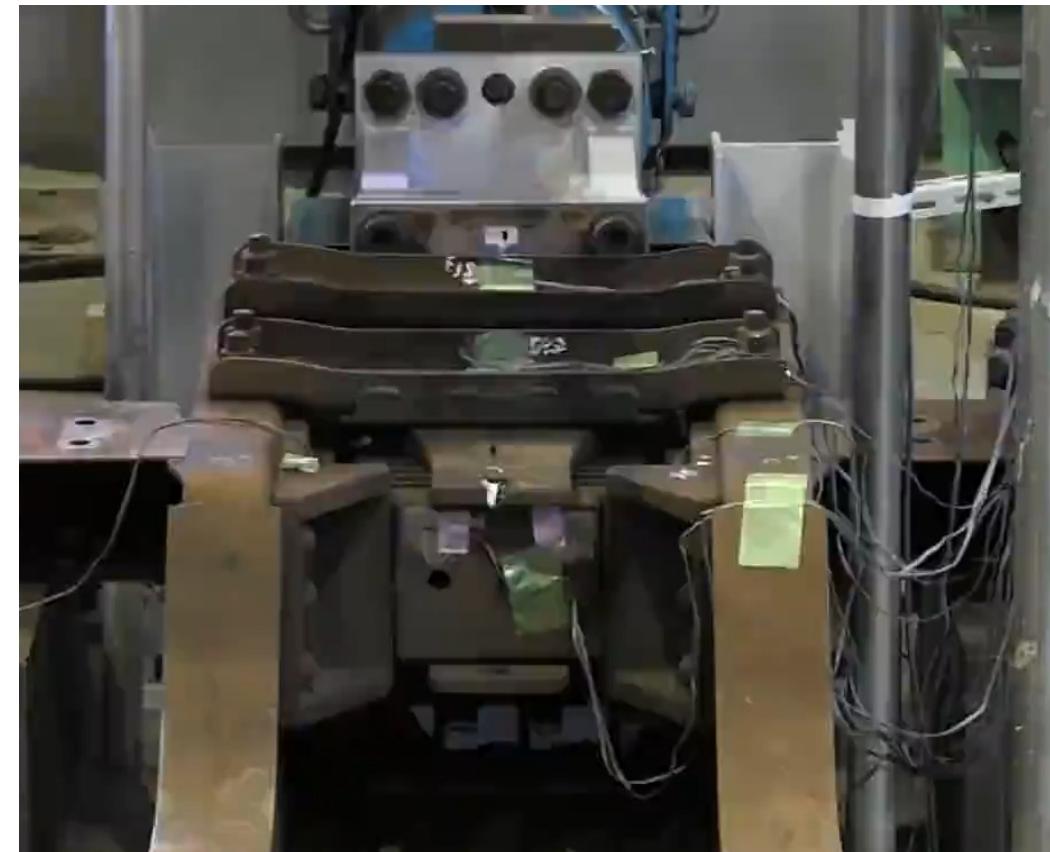
0°条件では中はり開きモードが発生

2. 連結装置まわりの準静的圧縮試験

Railway Technical Research Institute



前方の様子(6°条件)



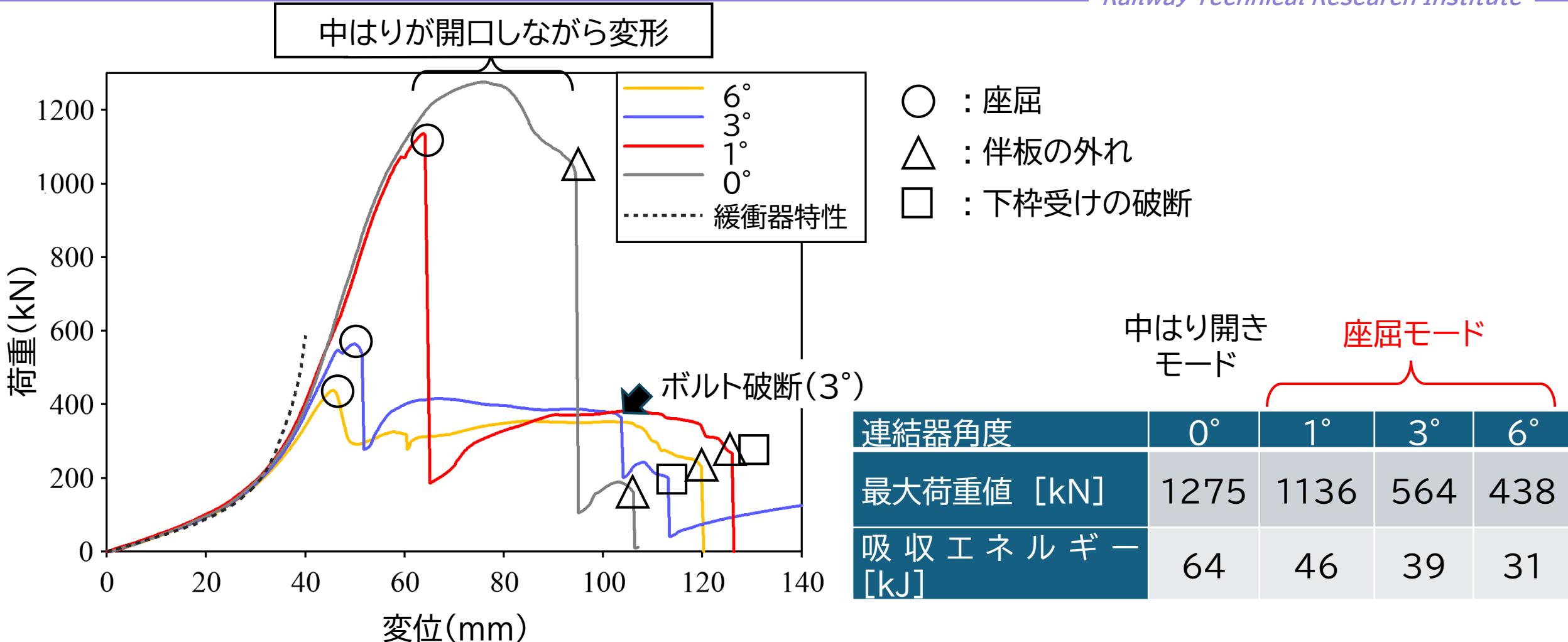
後方の様子(6°条件)



1°、3°、6°条件では**座屈モード**が発生

2. 連結装置まわりの準静的圧縮試験

Railway Technical Research Institute



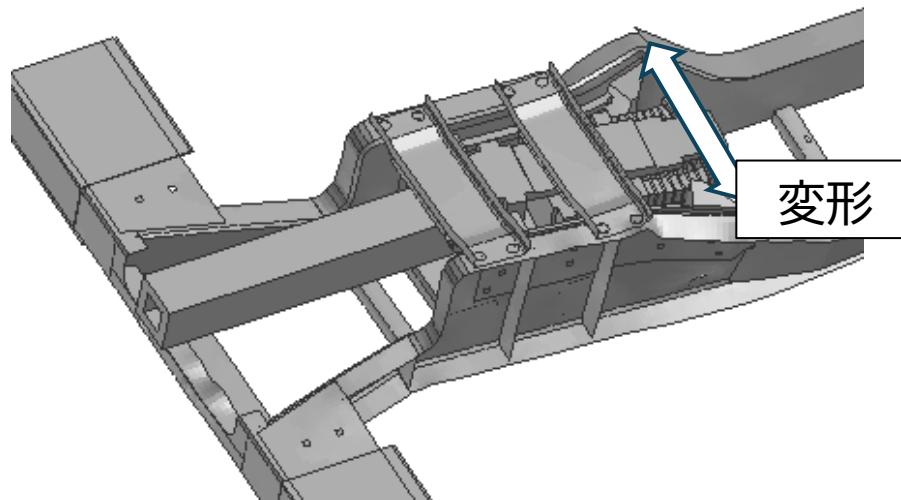
最大荷重値(耐荷重値)、エネルギー吸収量を低下させる座屈モードを明らかにした。

3. 連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析

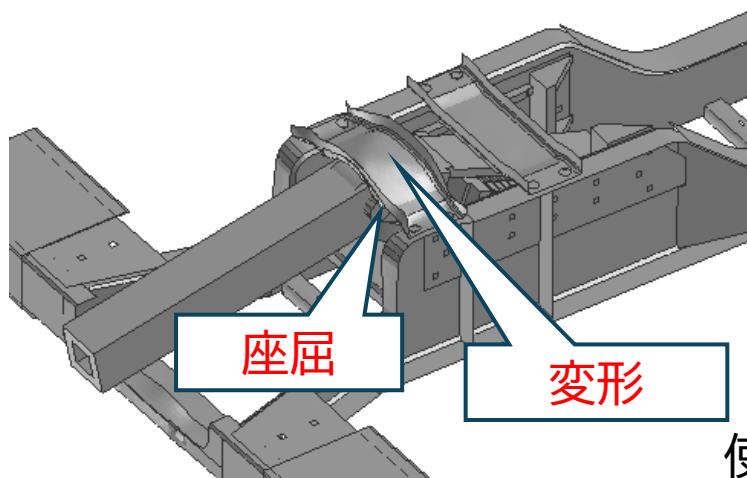
Railway Technical Research Institute

連結装置まわりのFE解析結果

連結器角度ごとの破壊モードの発生を再現



中はり開きモード(0°)



座屈モード(1° 、 3° 、 6°)

使用ソフト:PAMCRASH

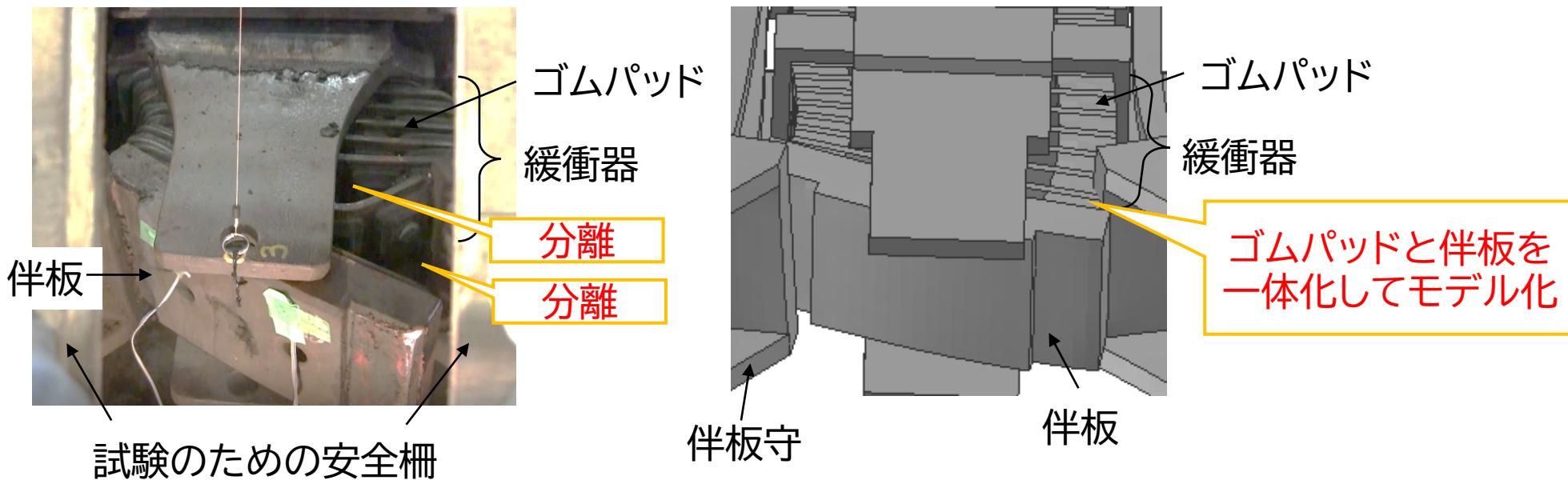
試験結果に対する解析結果の誤差の割合

連結器角度	0°	1°	3°	6°
最大荷重	5.8 %	0.6 %	4.6 %	10.7 %
エネルギー吸収量	27.0 %	-4.1 %	10.8 %	21.6 %

3. 連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析

Railway Technical Research Institute

解析との差異に関する考察(0°条件)

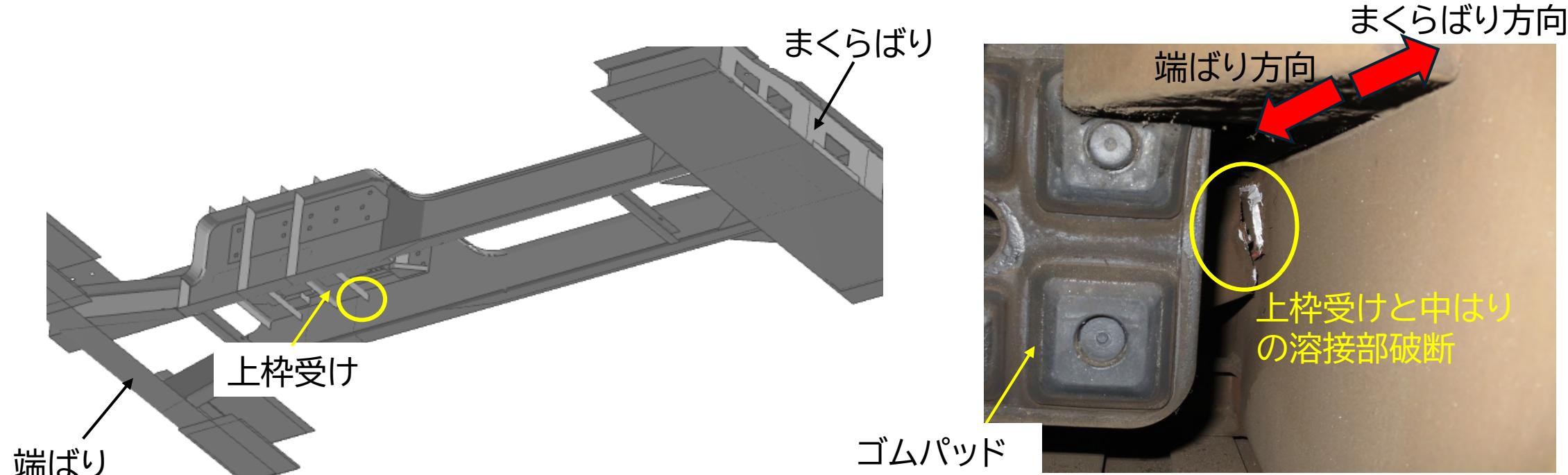


ゴムパッドと伴板を簡易的な一体モデルとしたため、ゴムパッドと伴板の分離が再現できず、伴板の後方への大きな飛び出しを再現できていなかった。
そのため、解析モデルのエネルギー吸収量が増加した。

3. 連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析

Railway Technical Research Institute

解析との差異に関する考察(6°条件)



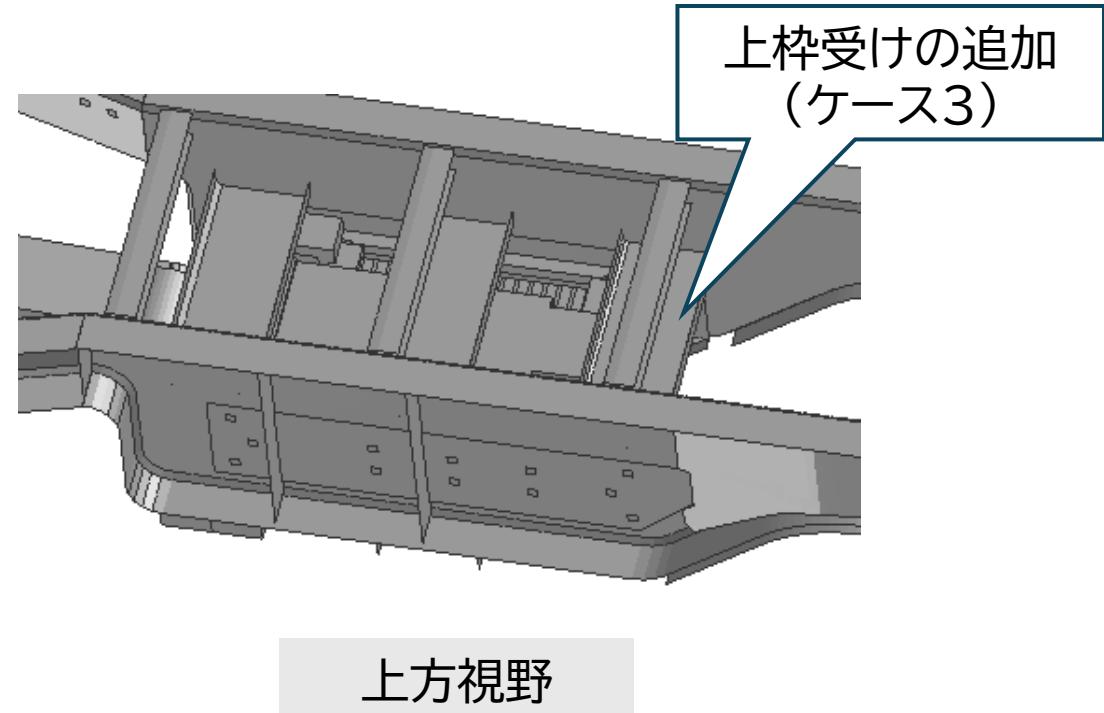
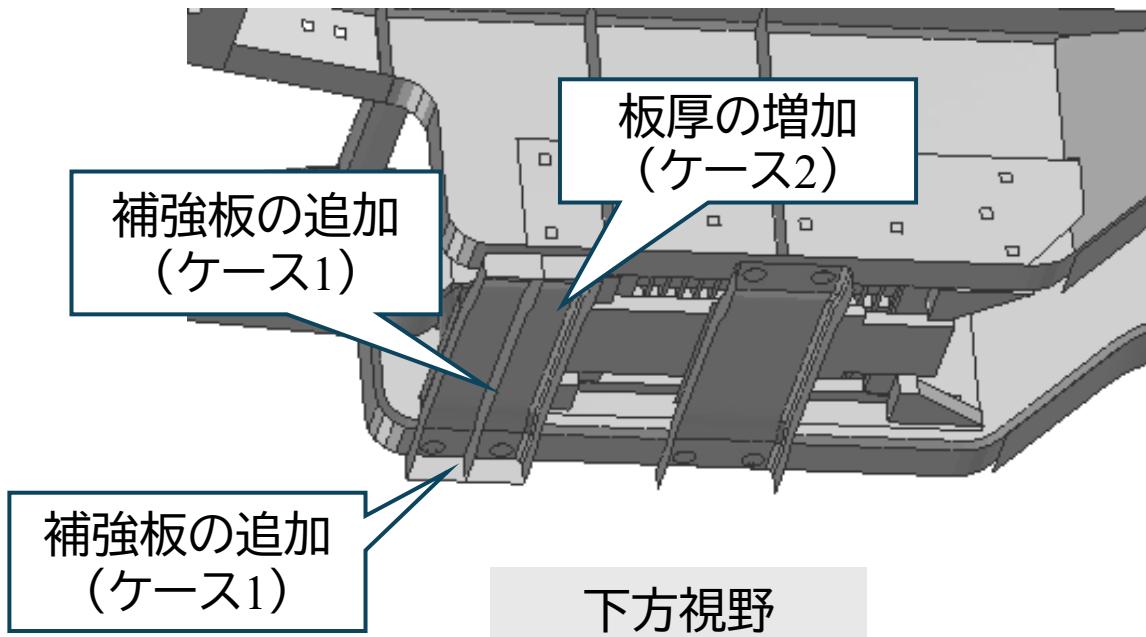
上枠受けの溶接部のモデル化を行っていないため、溶接部の破断による荷重低下が再現できず、解析モデルのエネルギー吸収量が増加した。

相異なる挙動は若干あるものの、**連結装置の破壊モードの特徴は再現しているため**、後述する編成車両の衝突解析モデルに本モデルを用いた。

3. 連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析

Railway Technical Research Institute

座屈モード抑止策の検討



ケース1：下枠受けに補強板を追加

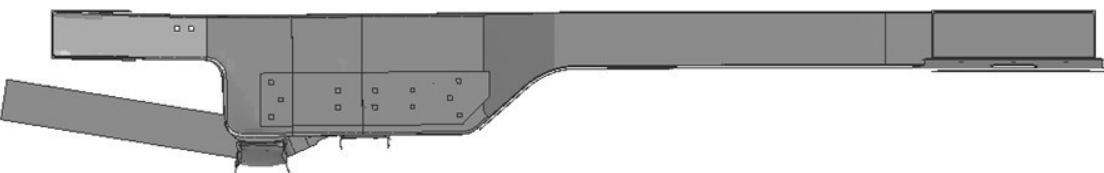
ケース2：下枠受けの板厚増加($t_6 \Rightarrow t_{10}$) + ケース1

ケース3：上枠受けの追加 + ケース2

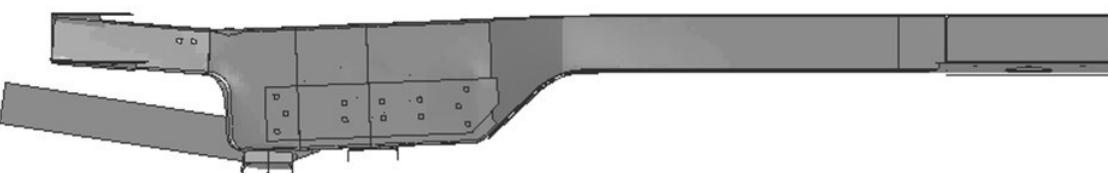
3. 連結装置まわりの準静的圧縮試験の数値解析

Railway Technical Research Institute

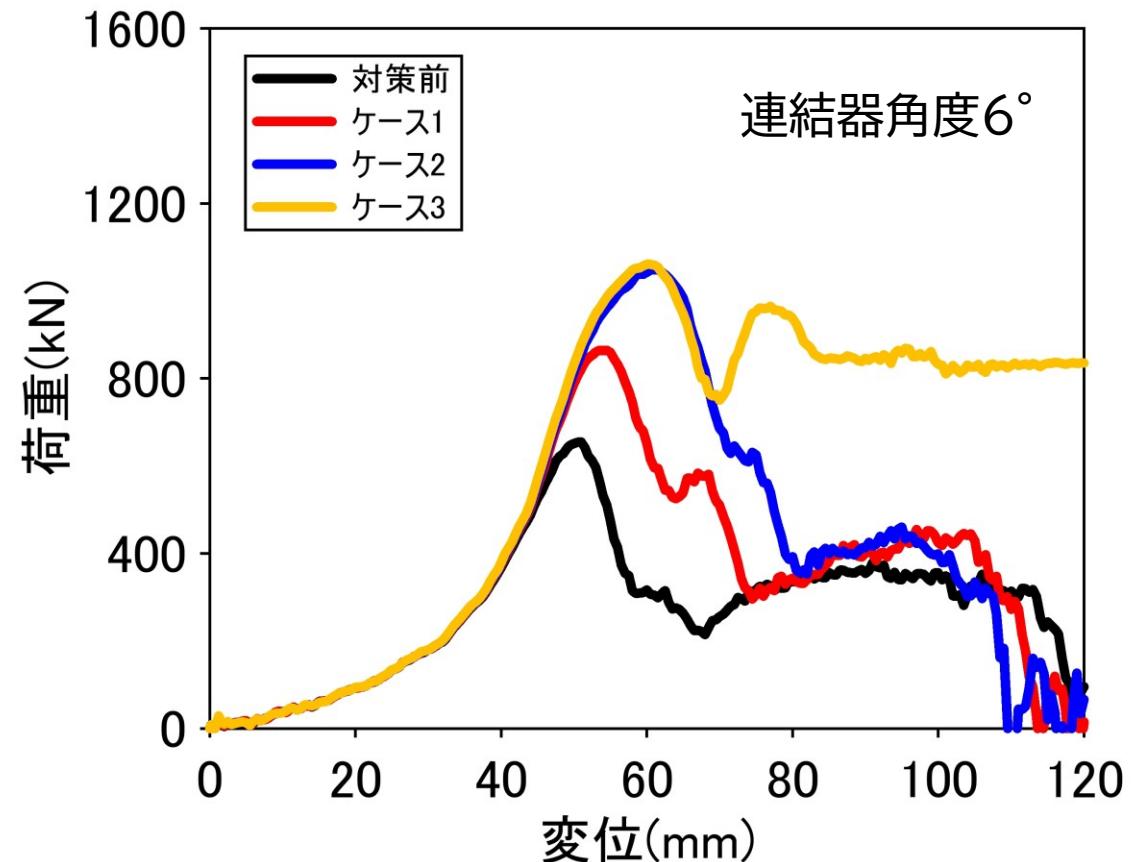
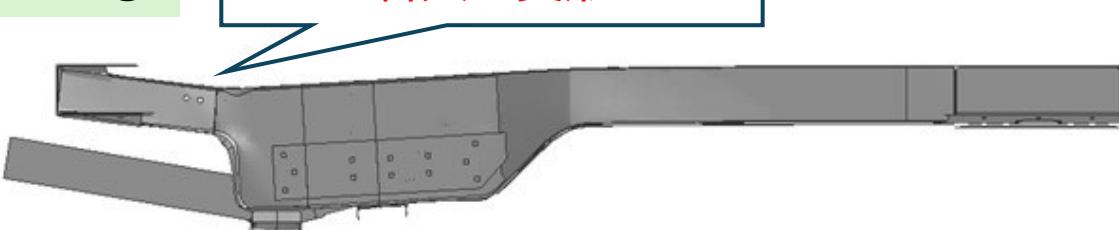
ケース1



ケース2



ケース3



ケース3では中はりが大きく座屈している。連結装置周りの過度な強化は、中はりの座屈につながる恐れがあり、**全体の強度バランスを考慮した設計**が重要である。

4. 編成車両の衝突解析

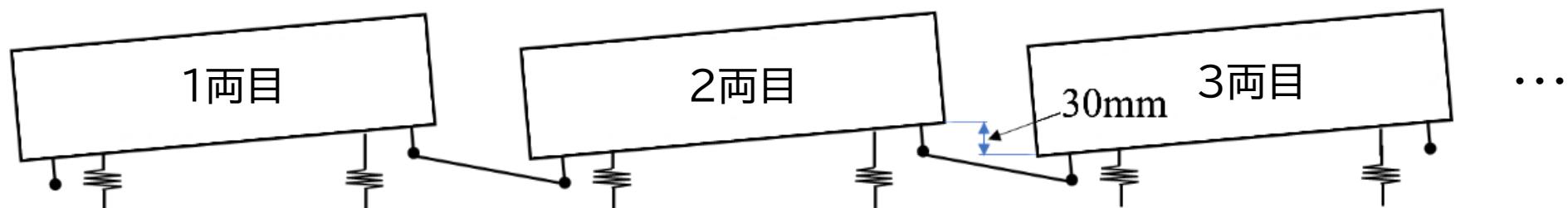
Railway Technical Research Institute

衝突条件

昭和62年度～平成22年度までに発生した踏切重大事故の統計的調査結果よりダンプトラックとの衝突件数が多いことから、衝突対象物はダンプトラックとした。

衝突速度は踏切重大事故を調査した衝突速度の平均値を採用して、**54km/h**とした。

非常ブレーキにより発生する車体の傾斜姿勢(ピッキング)を想定し、各車両間に**上下相対変位30mm**(後方車両の連結器角度1°に相当)を初期姿勢とした。

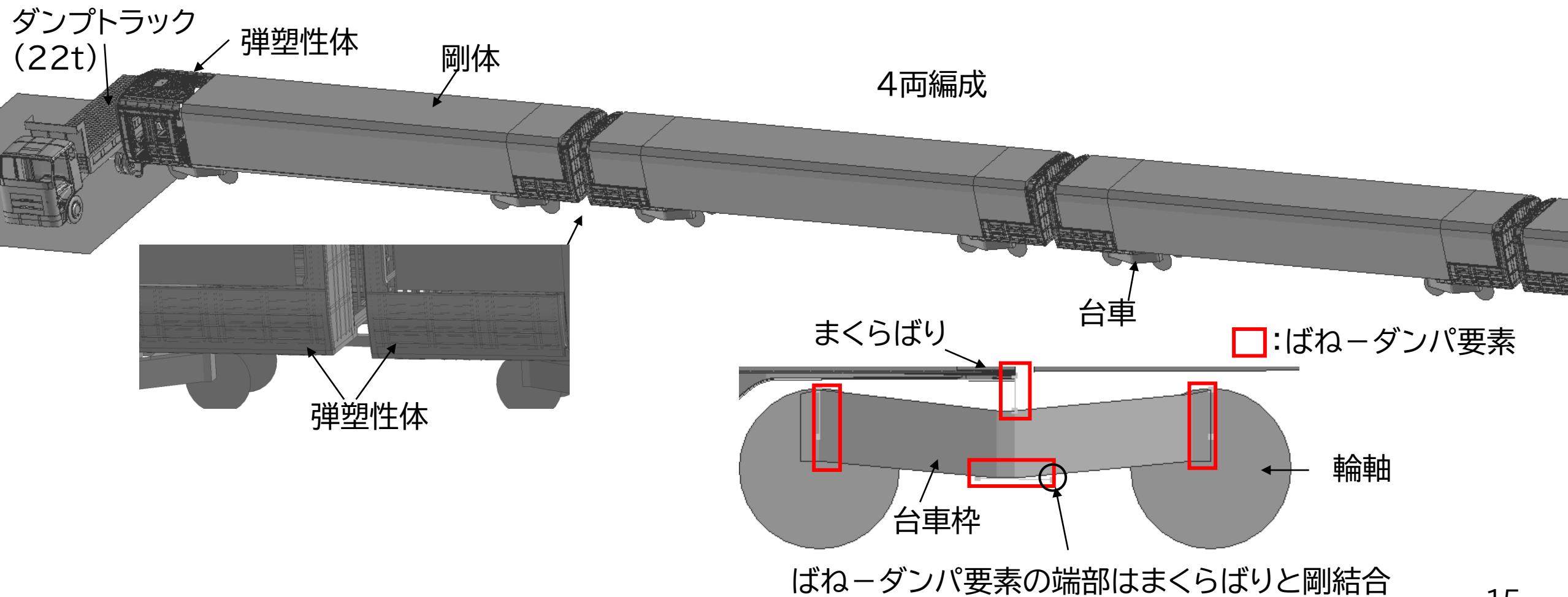


4. 編成車両の衝突解析

Railway Technical Research Institute

編成車両のFEモデル

動的な荷重が負荷されるため、材料にはひずみ速度依存性を考慮
1980年代以降に量産された標準的なステンレス鋼製車両を対象

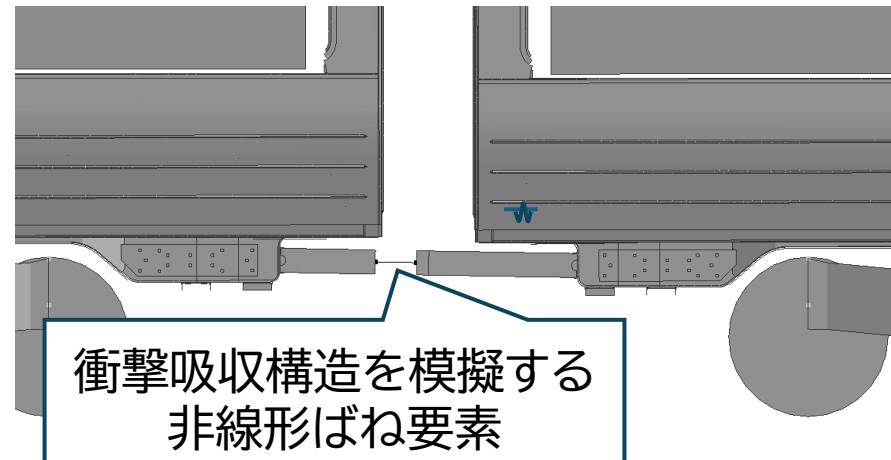
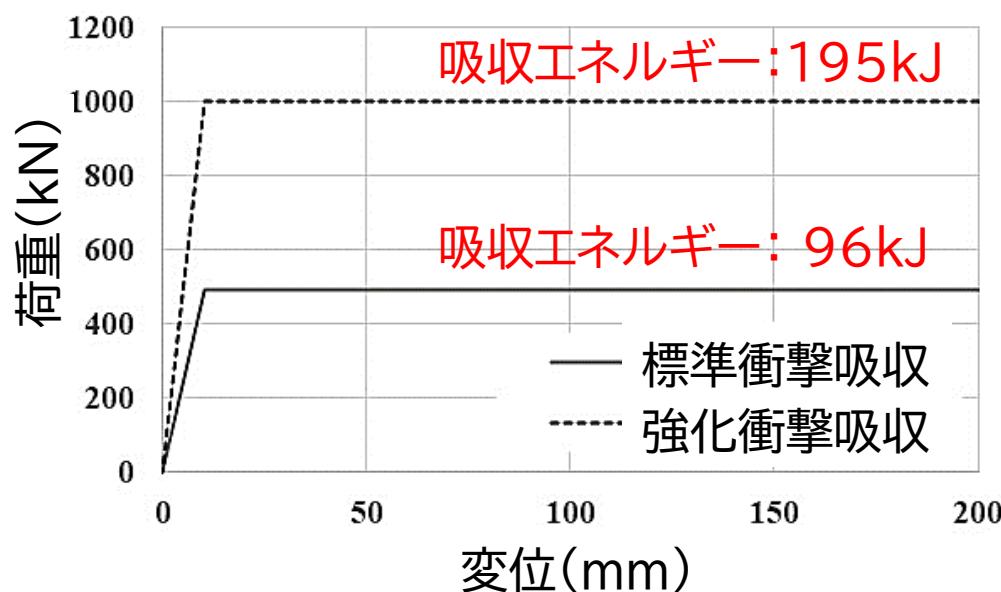
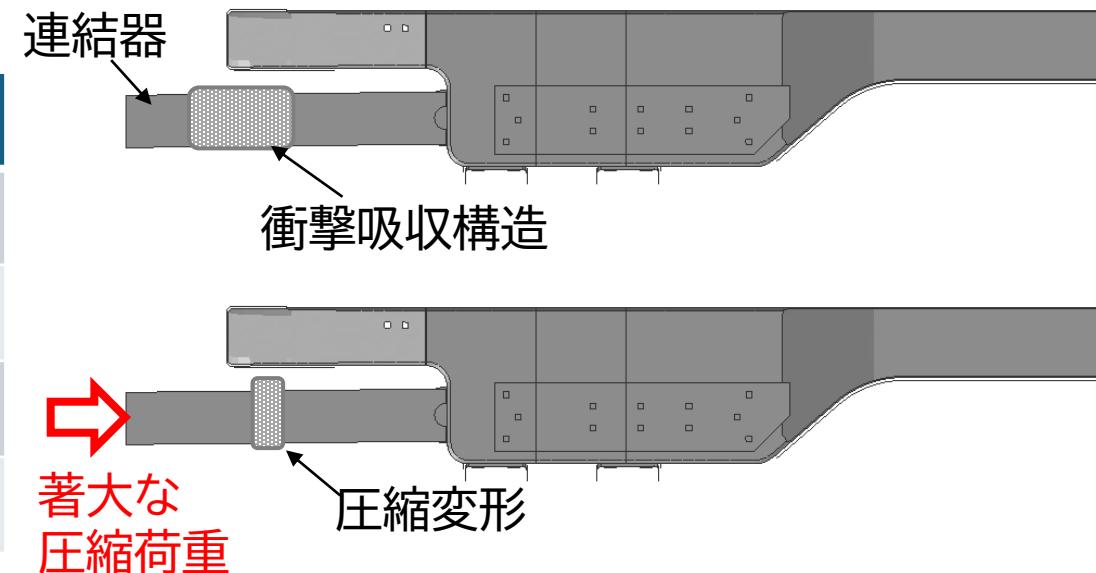


4. 編成車両の衝突解析

Railway Technical Research Institute

解析条件

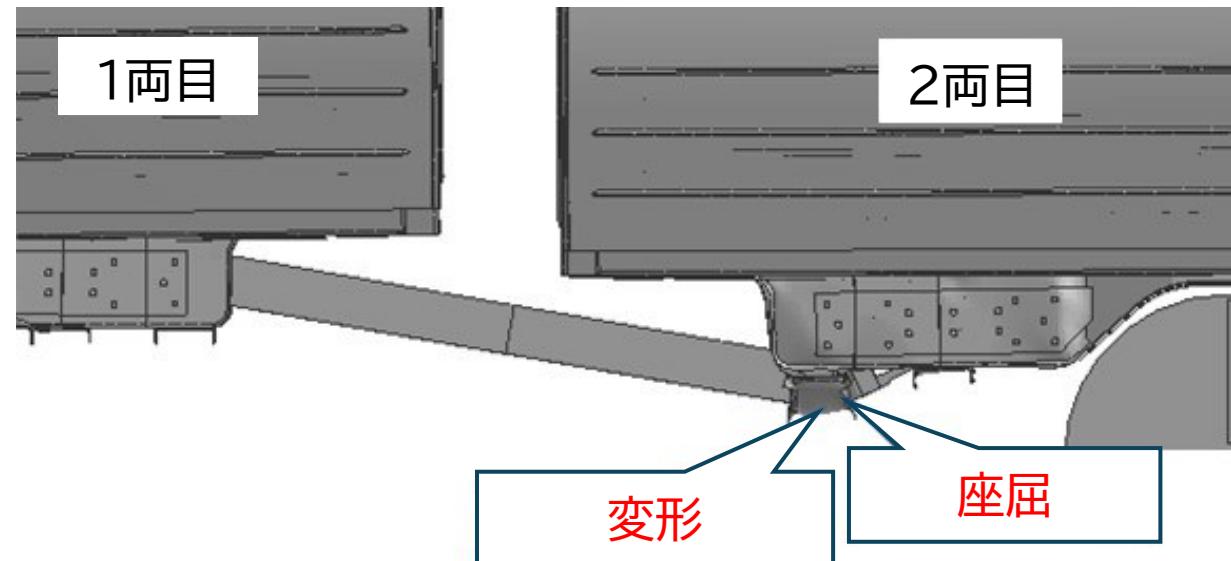
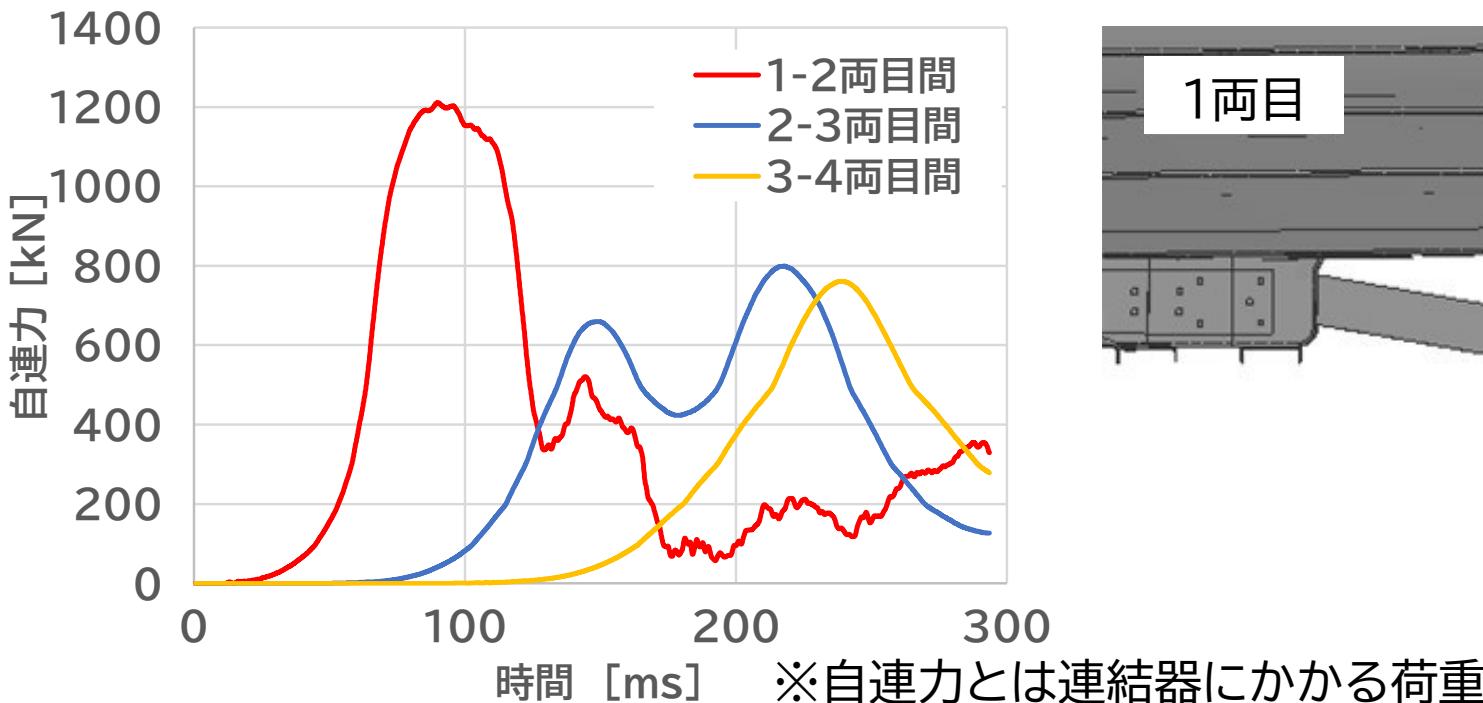
解析条件	下枠受け	連結器
基本条件	基本構造	基本構造
強化条件	強化(ケース2)	基本構造
標準衝撃吸收条件	強化(ケース2)	標準衝撃吸收
強化衝撃吸收条件	強化(ケース2)	強化衝撃吸收



4. 編成車両の衝突解析

Railway Technical Research Institute

解析結果(1): 基本条件

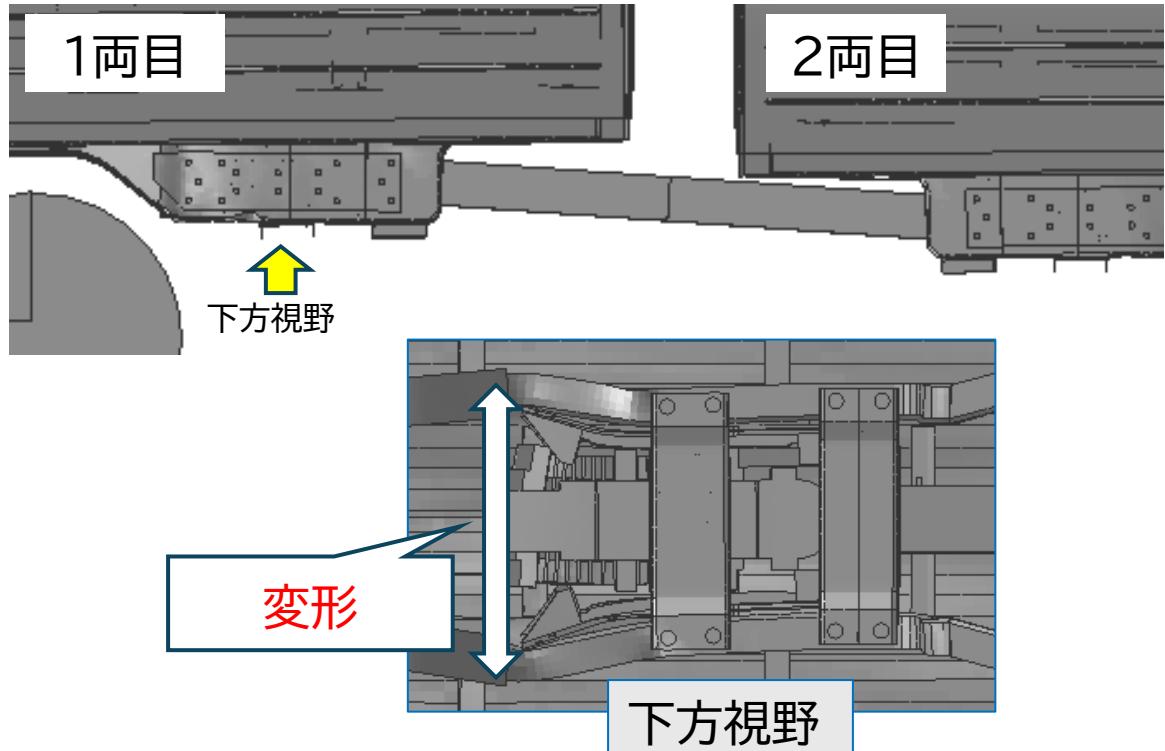
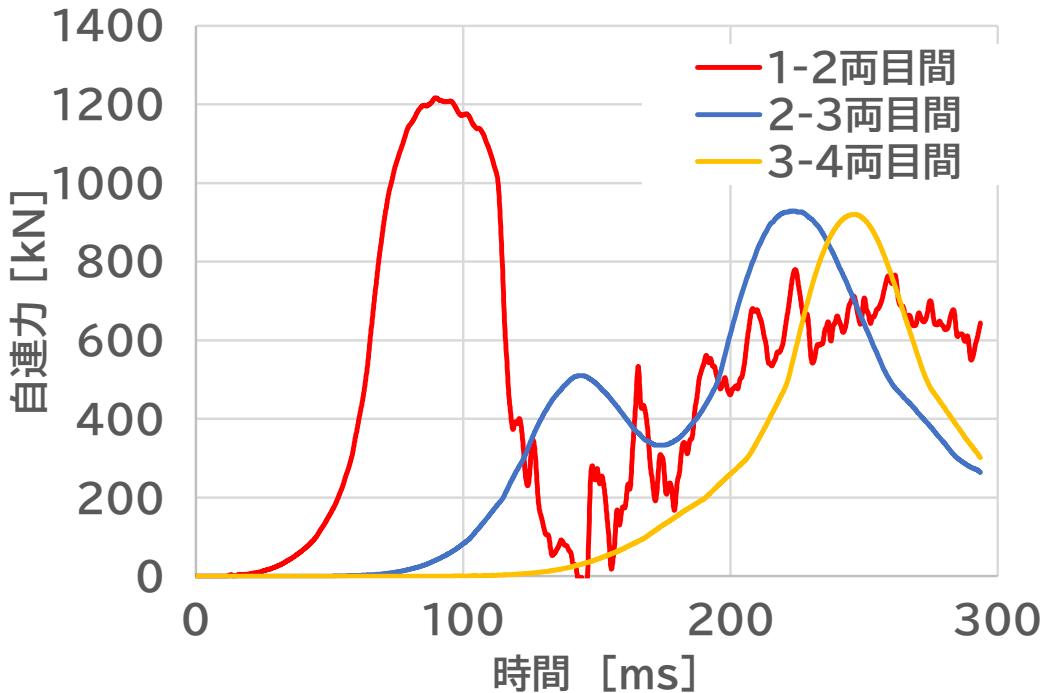


2両目前位で座屈モードによる連結装置の破壊が発生した。他の号車間では連結装置の破壊は発生せず。

4. 編成車両の衝突解析

Railway Technical Research Institute

解析結果(2): 強化条件

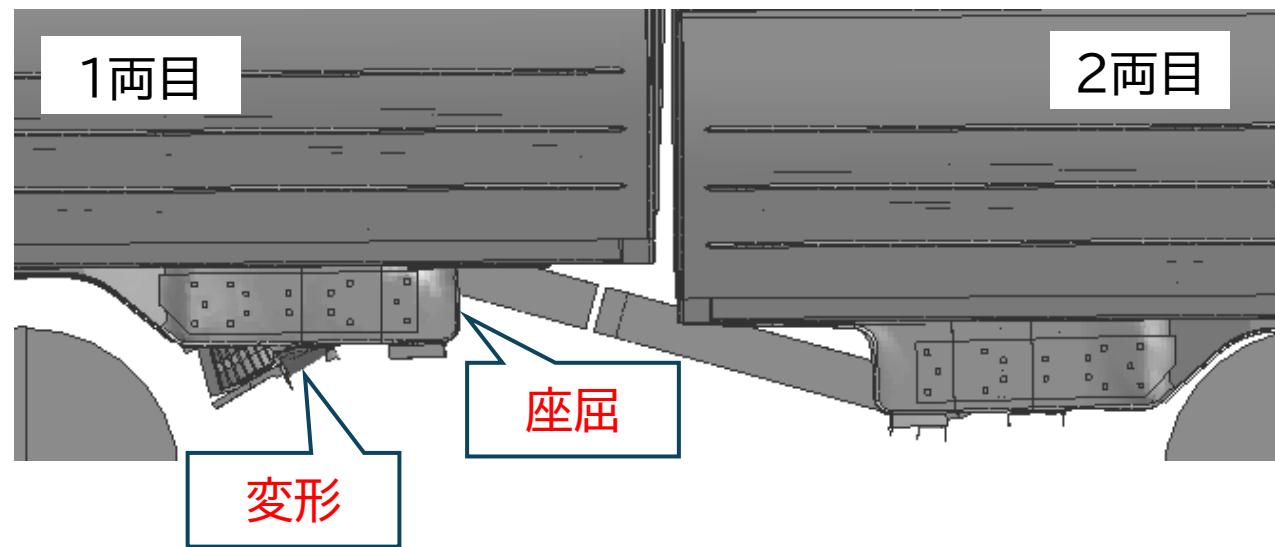
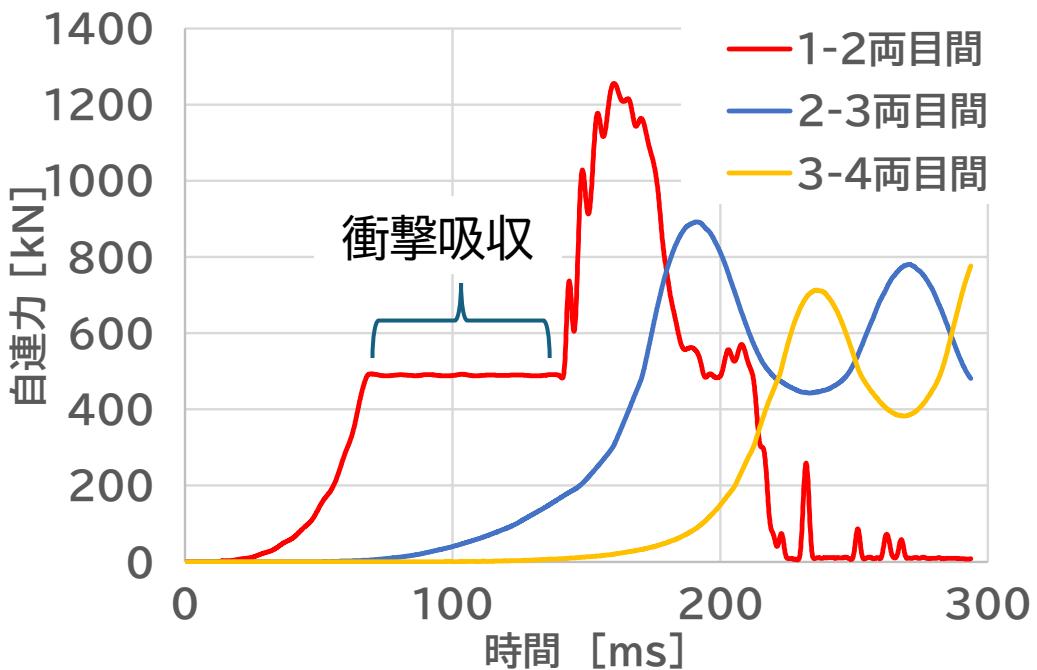


2両目前位の座屈モードによる連結装置の破壊は抑止したが、1両目後位で中はり開きモードによる連結装置の破壊が発生した。他の号車間では連結装置の破壊は発生せず。

4. 編成車両の衝突解析

Railway Technical Research Institute

解析結果(3): 標準衝撃吸収条件

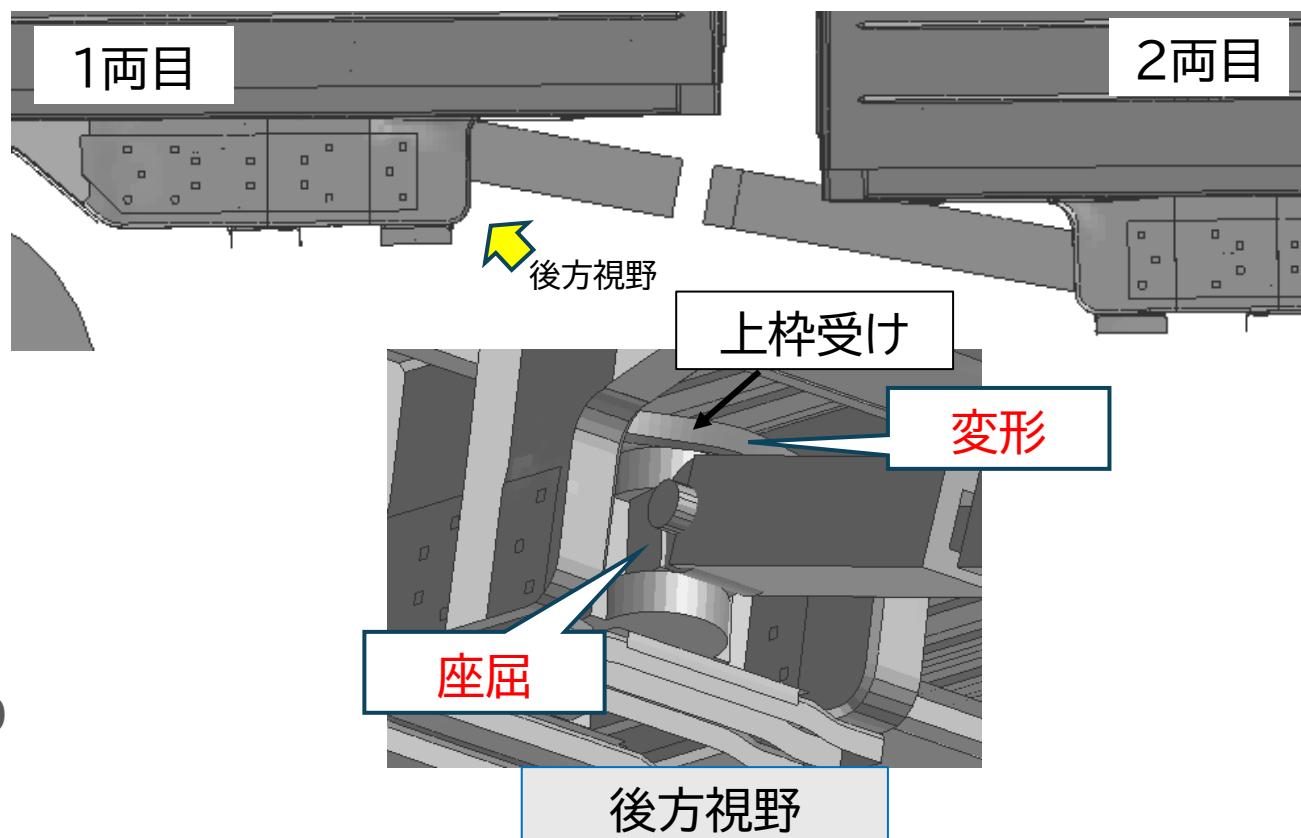
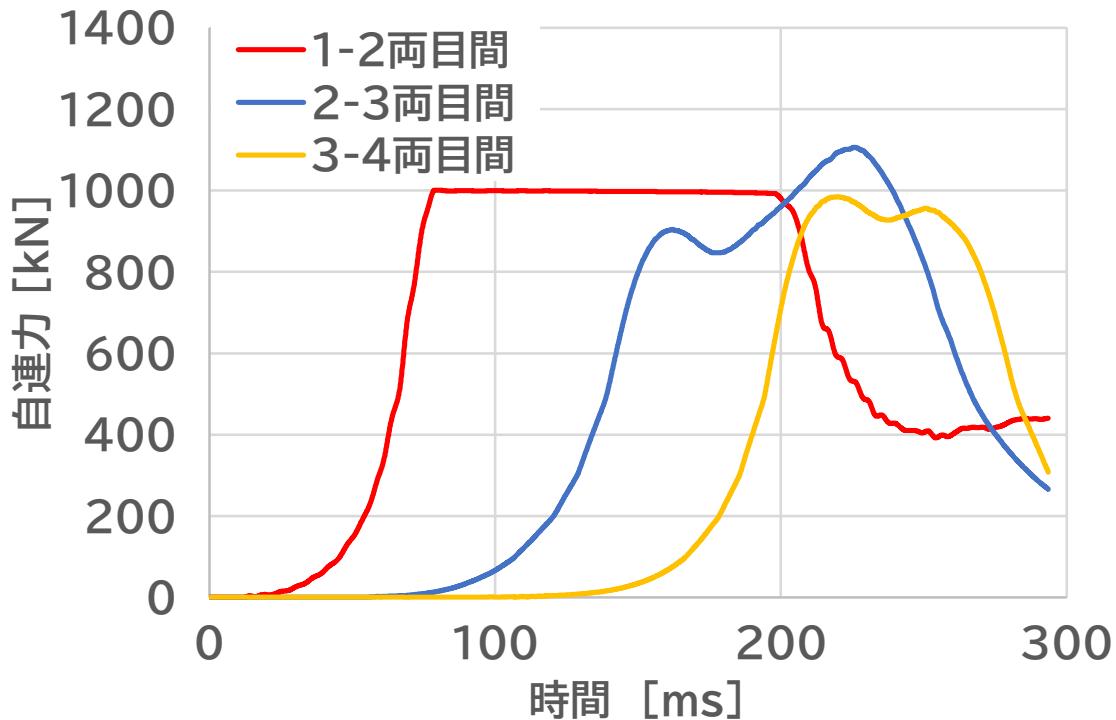


1両目後位で連結装置が上方向の座屈モードによる連結装置の破壊が発生した。他の号車間では連結装置の破壊は発生せず。

4. 編成車両の衝突解析

Railway Technical Research Institute

解析結果(4): 強化衝撃吸収条件



1両目後位で上枠受けの変形を伴いながら座屈が発生したが、これ以上の変形や座屈は発生せず、連結装置の破壊には至らなかった。一方、2-3両目間の自連力が増加しており、全体のバランスを考慮することが重要である。

5. まとめ

Railway Technical Research Institute

- ・準静的圧縮試験において、連結器角度により破壊モードが異なることが明らかとなった。
- ・座屈モードは中はり開きモードと比較して、耐荷重および吸収エネルギーが低下することが明らかとなった。
- ・連結装置の破壊モードを考慮できる編成車両モデルを構築することで、連結装置の破壊を抑止する衝突安全対策を検討することを可能にした。
- ・ダンプトラックに編成車両が54km/hで衝突する条件で解析を行った結果、下枠受けを強化し、吸収エネルギー195kJの衝撃吸収構造を搭載することで連結装置の破壊を防止することを確認した。

5. 成果の活用

Railway Technical Research Institute

- ・衝突時の連結器まわりの破壊モードの評価
- ・破壊モードに基づく衝突安全性向上策の検討
⇒受託等で編成車両の衝突安全性の検討に活用
- ・編成車両における乗客乗務員の傷害度評価の検討に活用
⇒乗客乗務員の傷害度を抑えるような車体構造設計指針の策定に向けて
検討を進める予定

参考文献

Railway Technical Research Institute

- 航空・鉄道事故調査委員会:「鉄道事故調査報告書 九州旅客鉄道株式会社鹿児島線海老津駅～教育大前駅間 列車衝突事故」, 2003-4B, 2003
- 佐藤裕之, 沖野友洋:連結装置の破壊モードを考慮した編成鉄道車両の衝突解析, 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 911, DOI: 10.1299/transjsme.22-00008, 2022
- 沖野友洋, 山本勝太, 高野純一, 宇治田寧:列車乗務員の傷害度を指標とした踏切事故時の車両の衝突安全性評価, 第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, No.2604, 2012
- ジェー・アール・アール編:普通列車編成両数表, Vol.40, 交通新聞社, 2019
- 佐藤裕之, 沖野友洋:連結装置の破壊モードに着目した編成車両の衝突シミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.36, No.10, pp.13-18, 2022