

狭あい部に設置可能な制振装置を用いた耐震補強

2023年7月28日(金)

鉄道総合技術研究所 土井達也



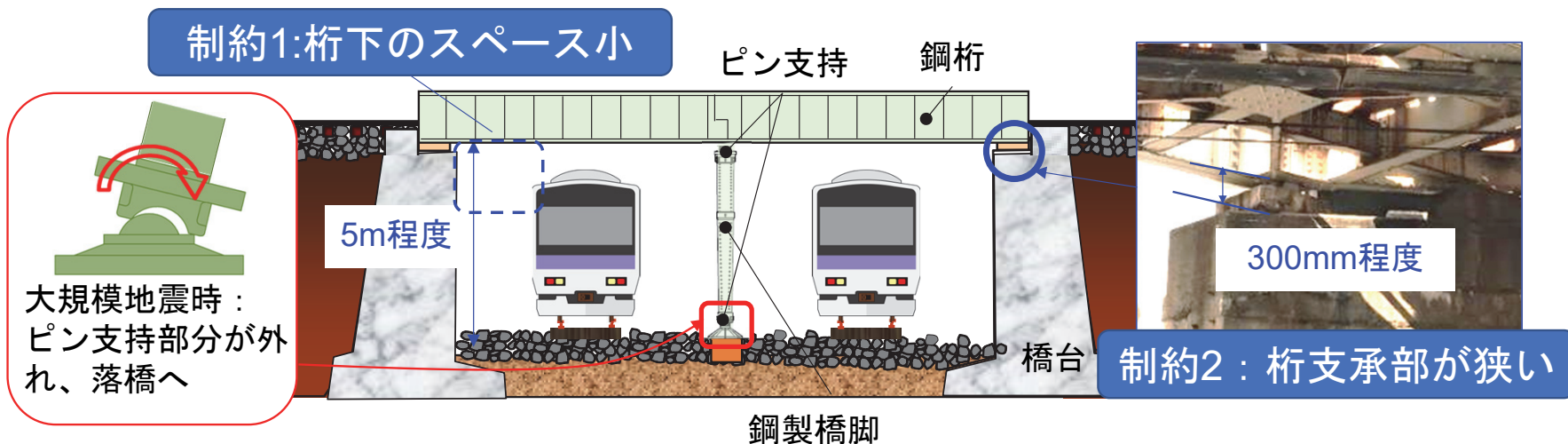
背景

- 熊本地震での道路橋の落橋事例
 - ➡ 鉄道橋梁においても、ロックンク橋脚の①落橋防止が省令で求められる
- 鉄道では、都市部の道路や鉄道を跨ぐ箇所に存在（重要度高）
 - 復旧性の観点で設計地震動に対する②過大变位抑制も重要
 - ③桁下空頭の確保や④狭隘箇所での施工が要求される



背景

必要な性能：
桁の変位抑制
と落橋防止

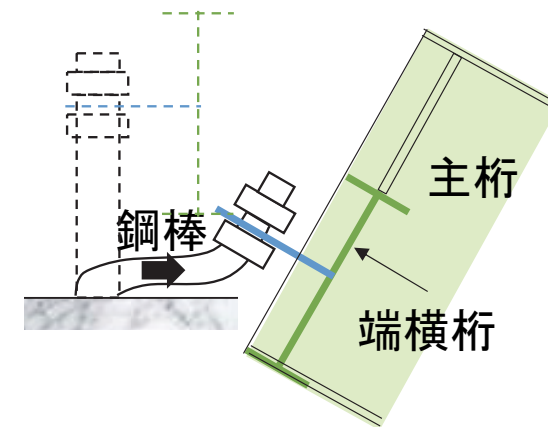
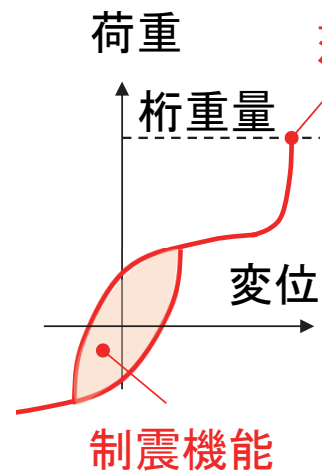
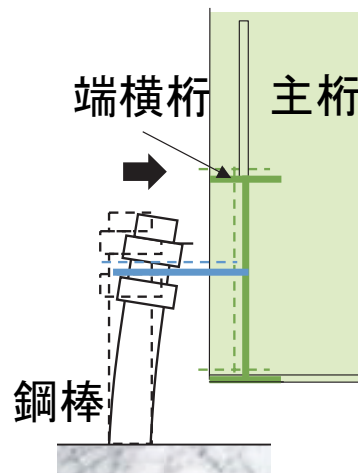
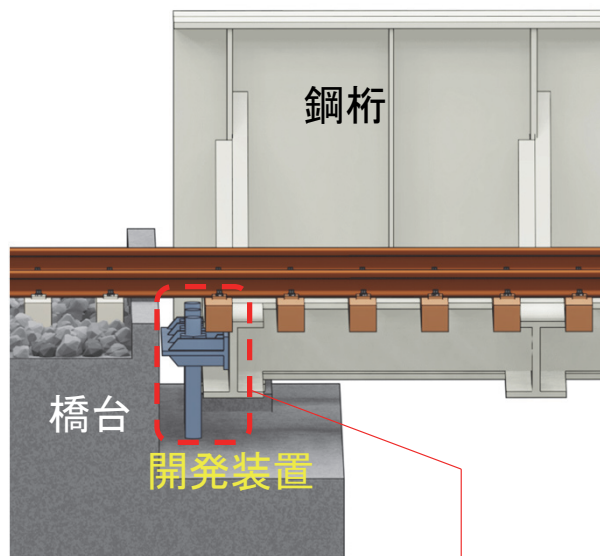


● 従来工法では、工法を組合せても対策不可

要求性能 \ 工法	①落橋防止	②過大変位抑制	③桁下空頭小	④狭隘施工
桁座拡幅	○	×	×	○
ダンパー	×	○	×	△
支承補強	×	○	○	○

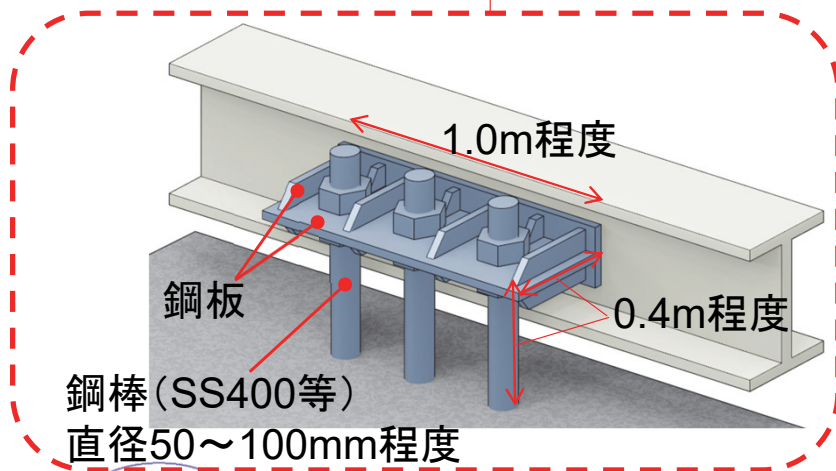


提案装置の概要



鋼棒の塑性曲げ変形
⇒エネルギー吸収
⇒過大变位抑制

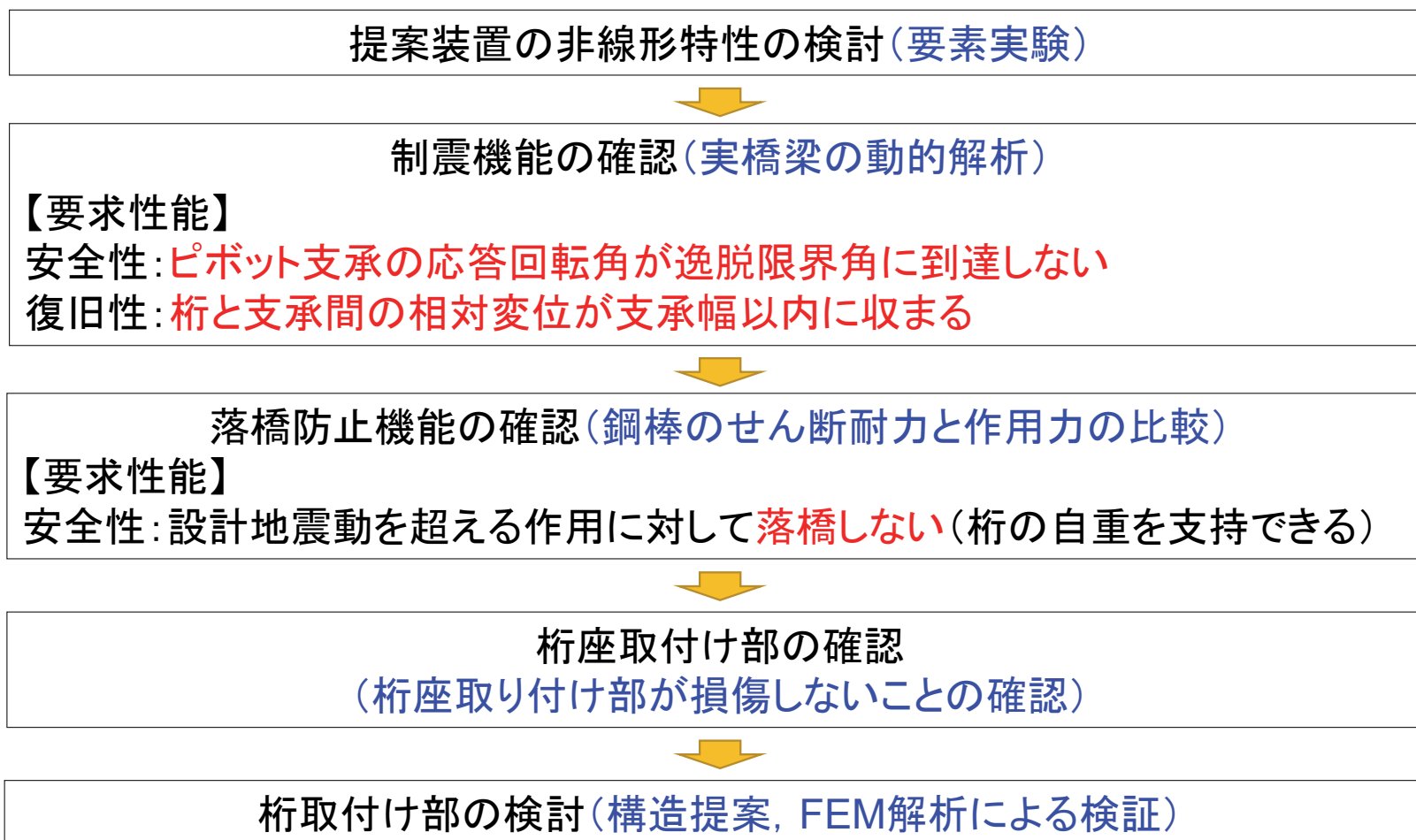
鋼棒の高い延性
⇒落橋防止



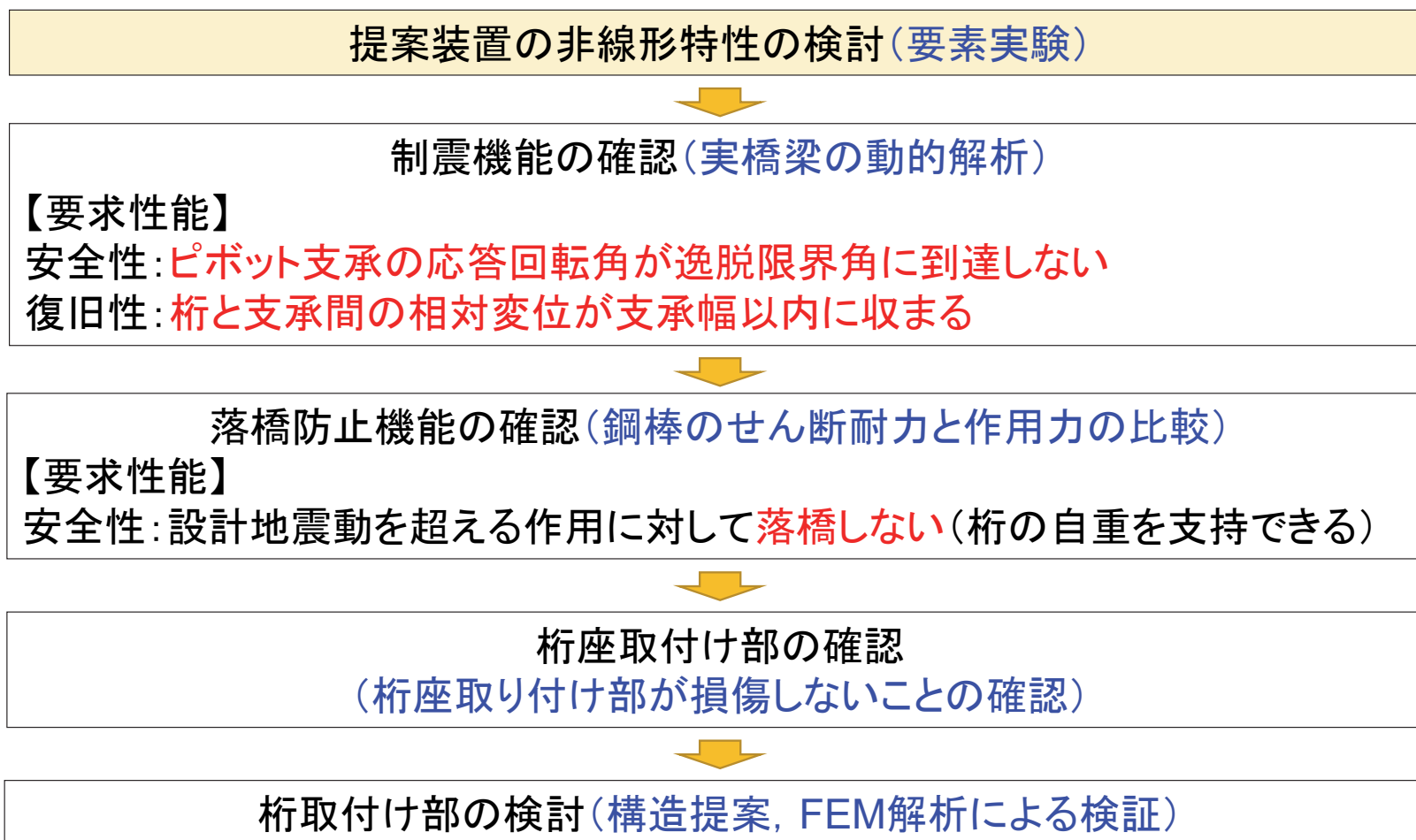
小型
桁下空頭小○，狭隘施工○



研究の構成

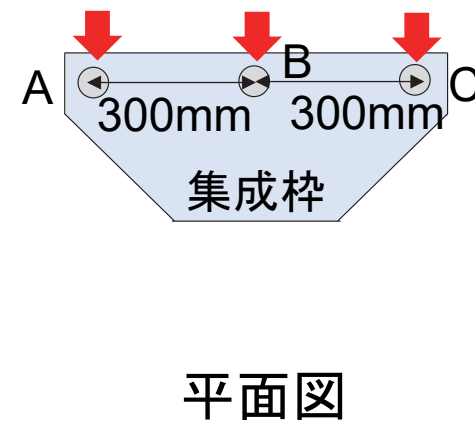
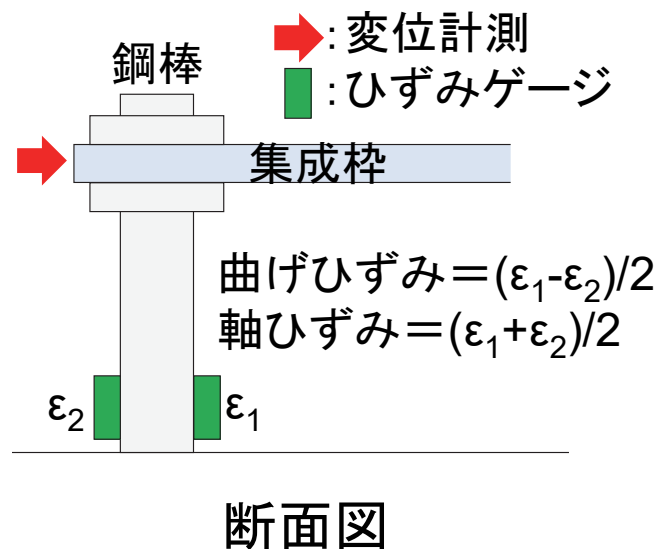
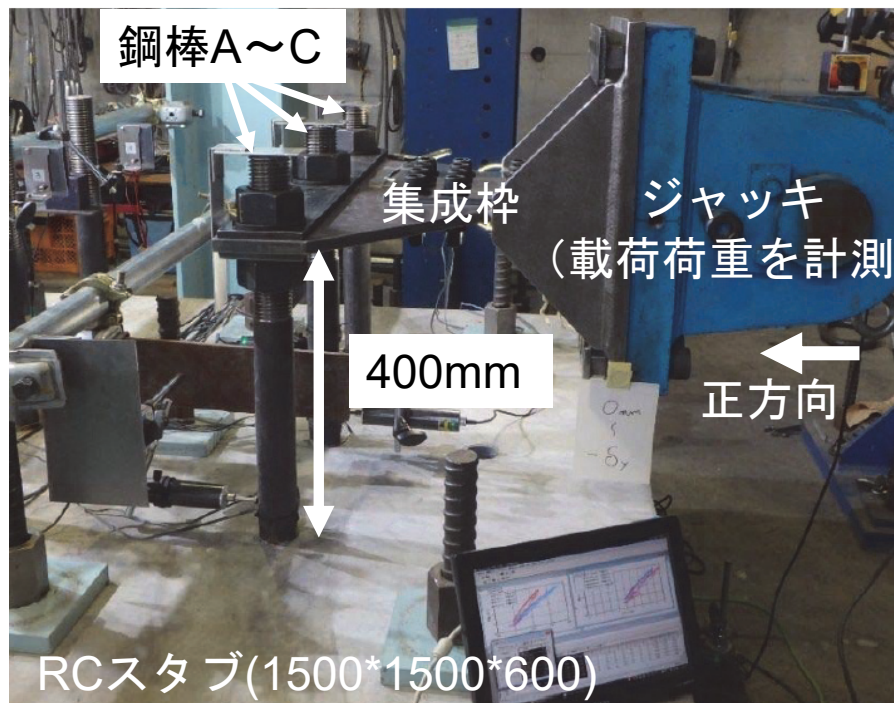


研究の構成



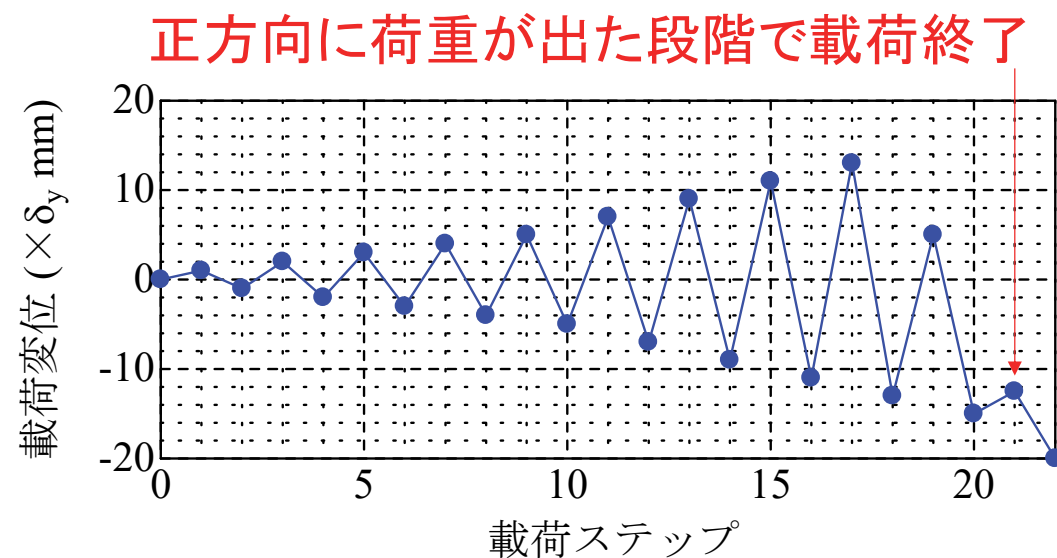
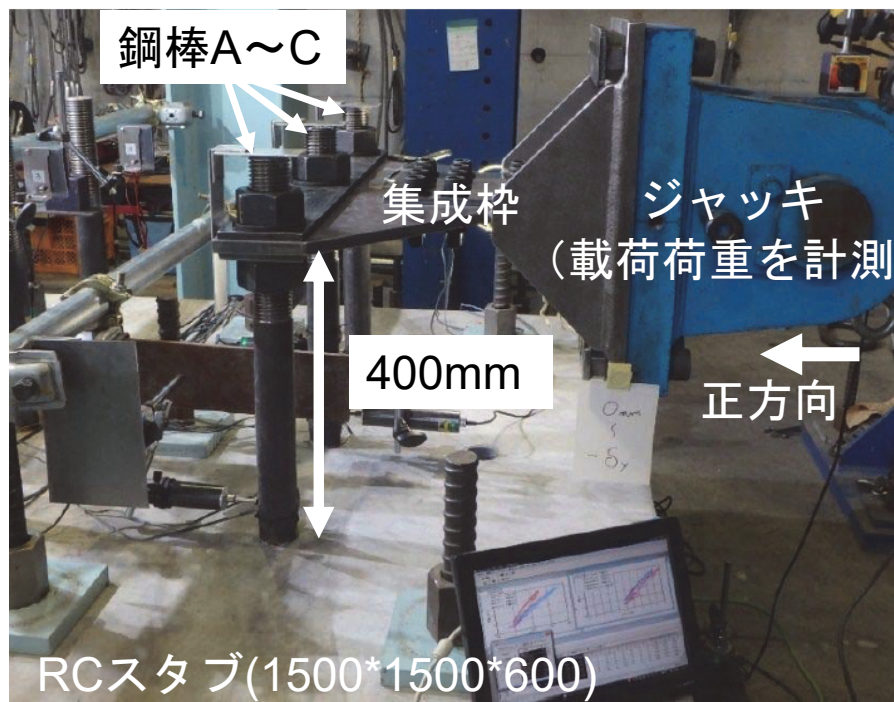
要素実験による非線形特性評価の概要

- 正負交番载荷試験(降伏変位1回繰返し)で非線形特性評価
- 鋼棒はSS400の径50mm, 本数3本, 作用高さ400mm(実施工想定)
- 荷重変位関係と曲げひずみ・軸ひずみを評価



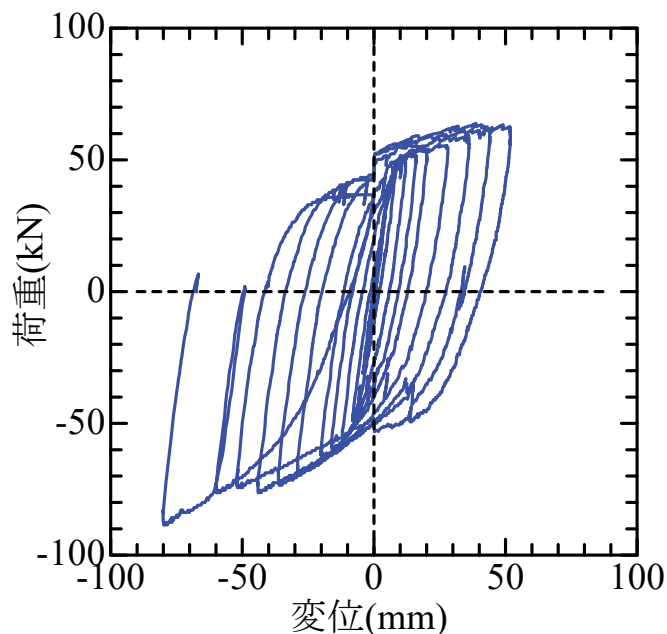
要素実験による非線形特性評価 荷重ステップ

- 降伏変位 $\delta_y = 4\text{mm}$
- $-20\delta_y = -80\text{mm}$ 荷重後, 十分な曲げ変形が生じ, 非線形特性は十分確認できたと判断して試験終了

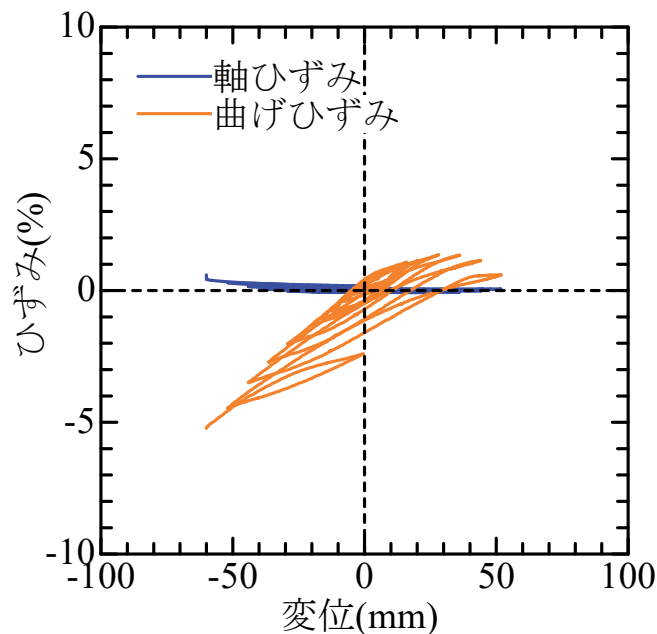


要素実験による非線形特性評価結果

荷重変位関係



軸ひずみ, 曲げひずみ



試験後の状況(中央の鋼棒)

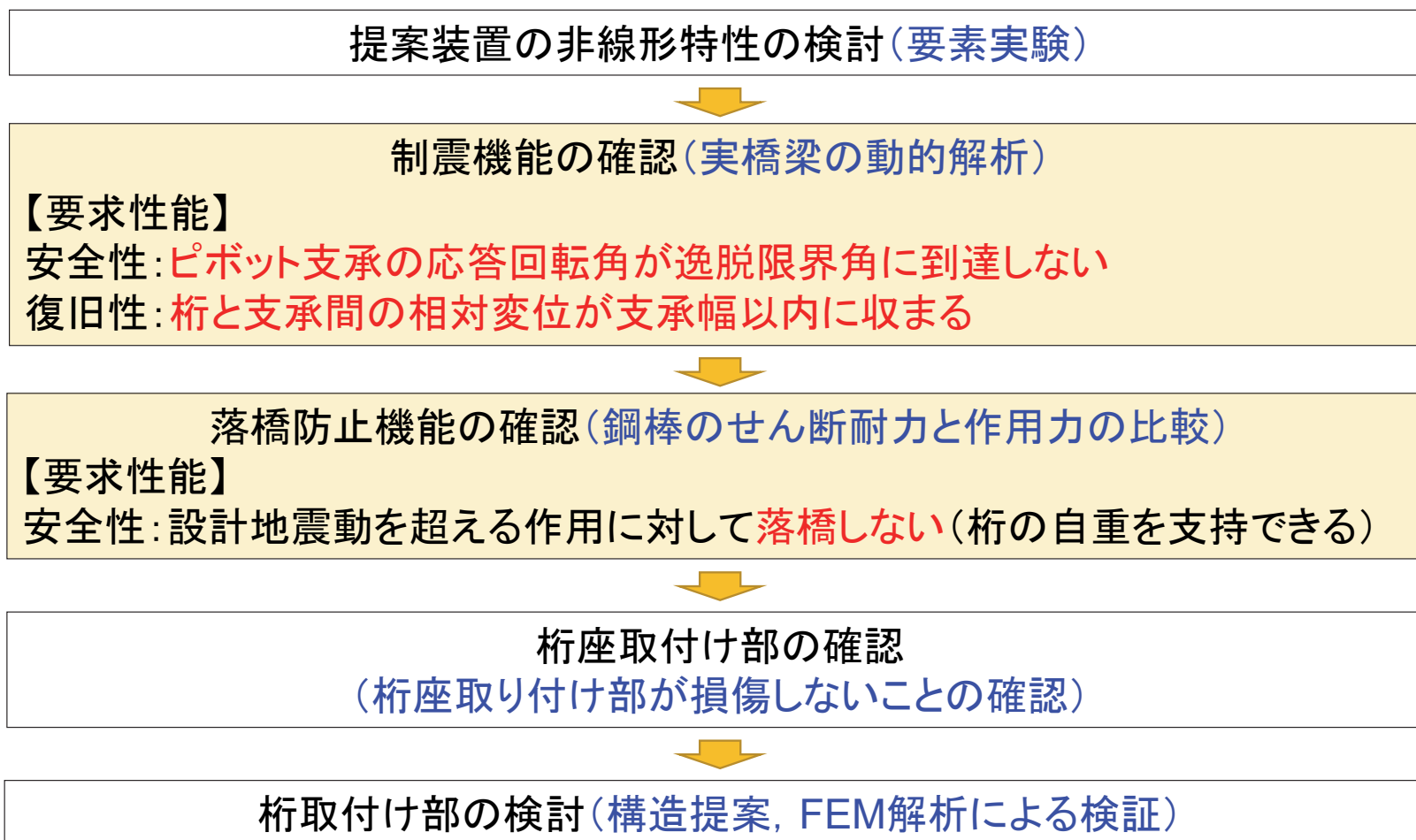


双曲線形状の履歴ループ
⇒エネルギー吸収効果
(履歴減衰約45%)

ほとんど曲げ変形で抵抗
している
⇒想定通りの挙動

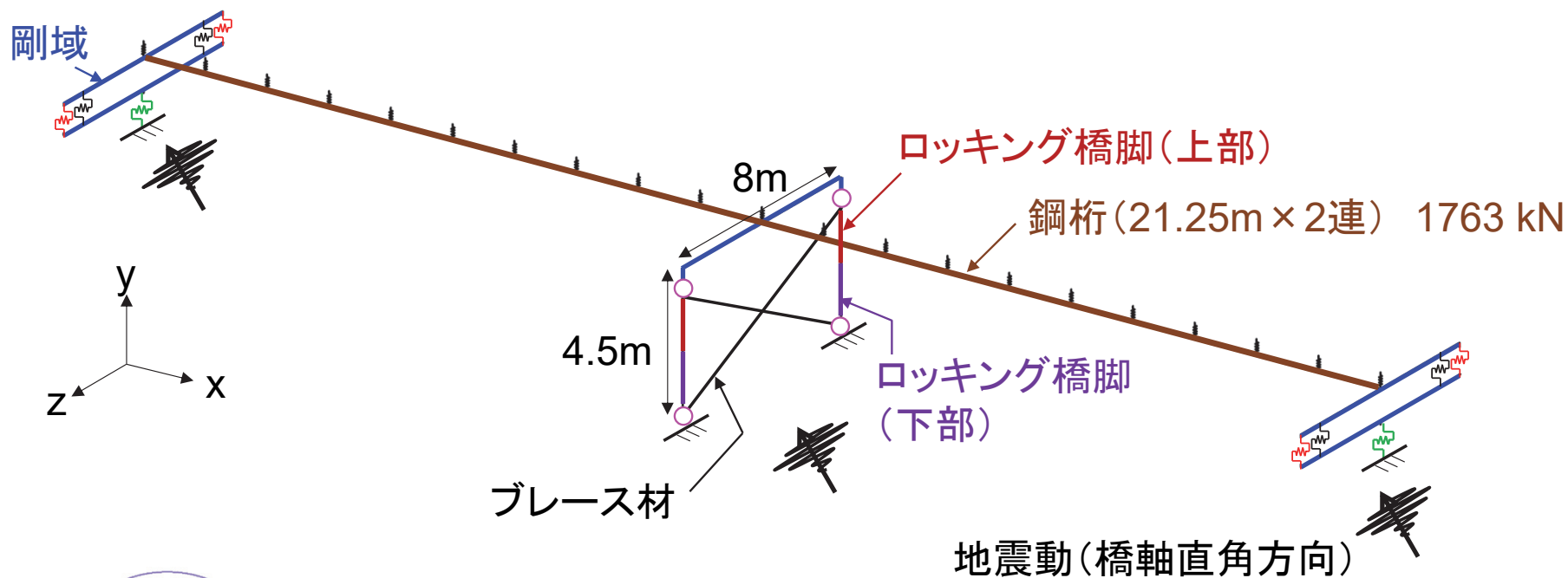
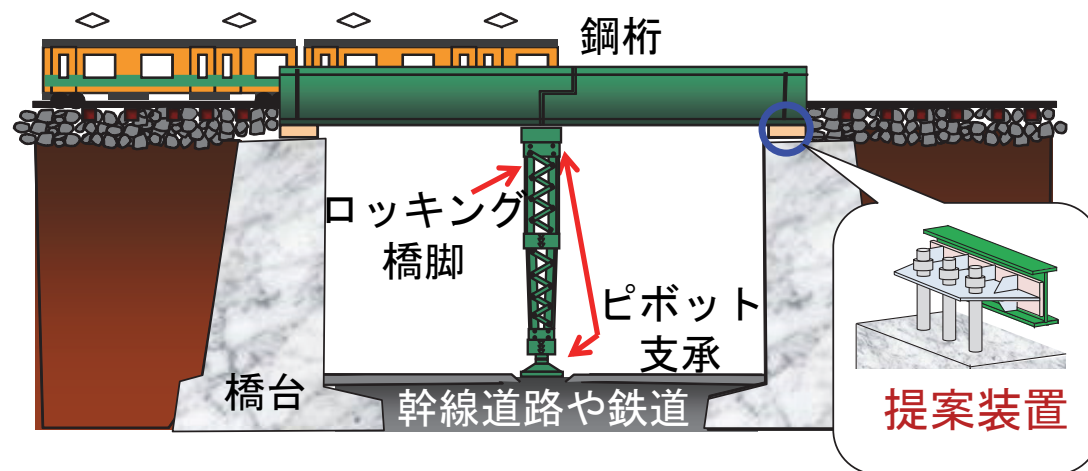
鋼棒基部に目立った損傷は見
られない

研究の構成



解析モデル

- 21.25mの鋼桁2連，中央にロッキング橋脚を有する形式の橋梁をモデル化
- 実験で非線形特性を確認した制振装置を設置（概略検討により，実験の諸元で所要の制震性能を有することを確認済）
- 線路直角方向について検討

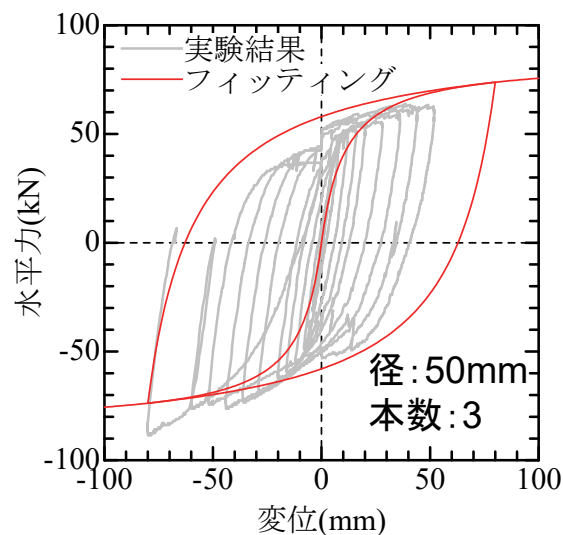
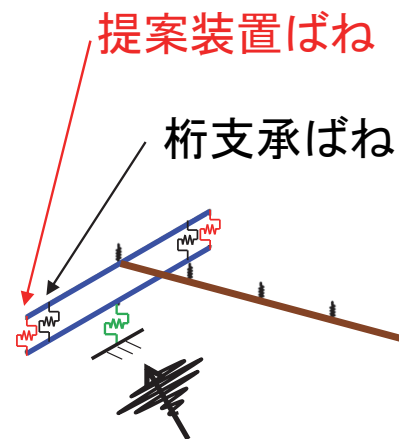


解析モデル(ばねの非線形特性)

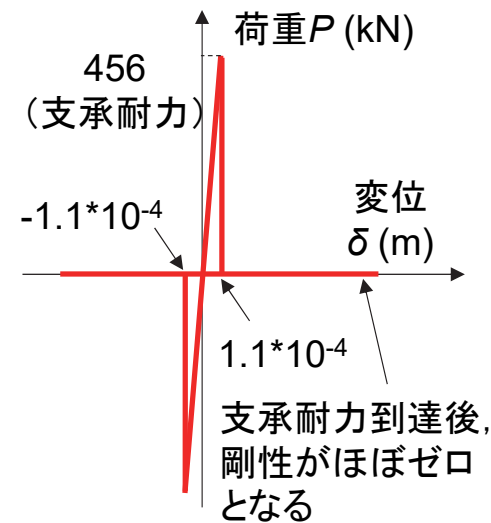
$$P = K_0 \delta / (1 + \delta / \delta_y)$$

$$K_0 = 7.69 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

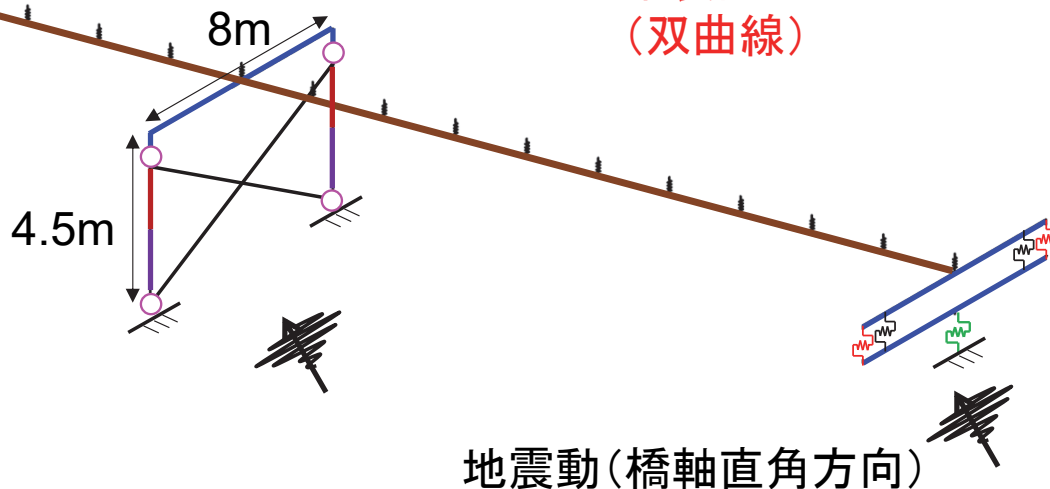
$$\delta_y = 1.09 \times 10^{-2} \text{ m}$$



提案装置ばね
(双曲線)

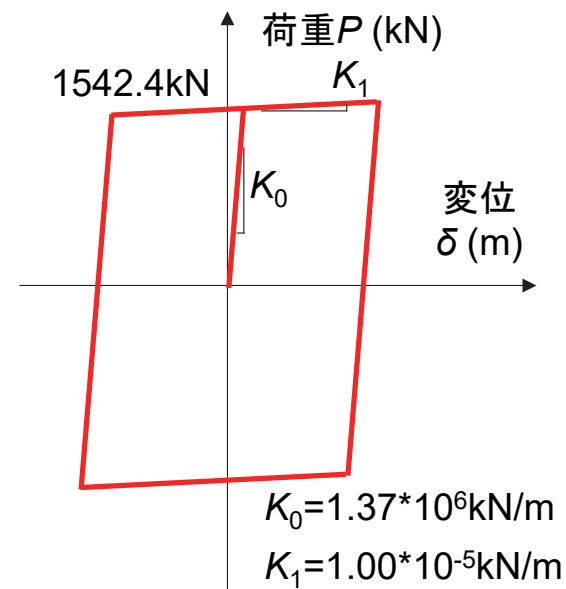
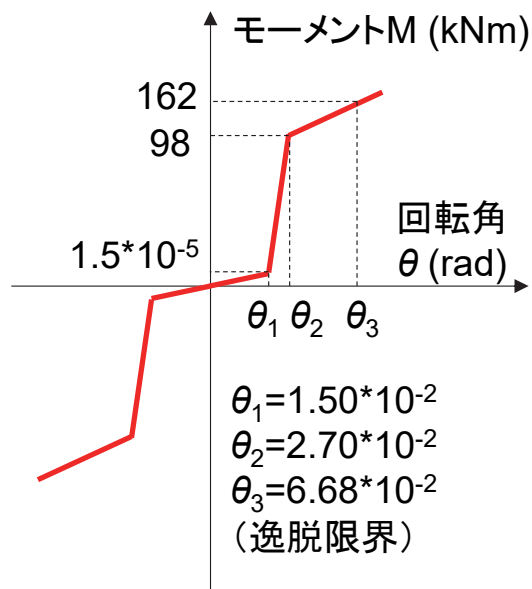
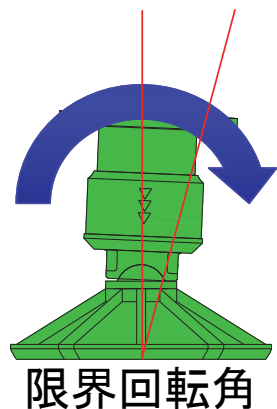


桁支承ばね
(ギャップ要素)



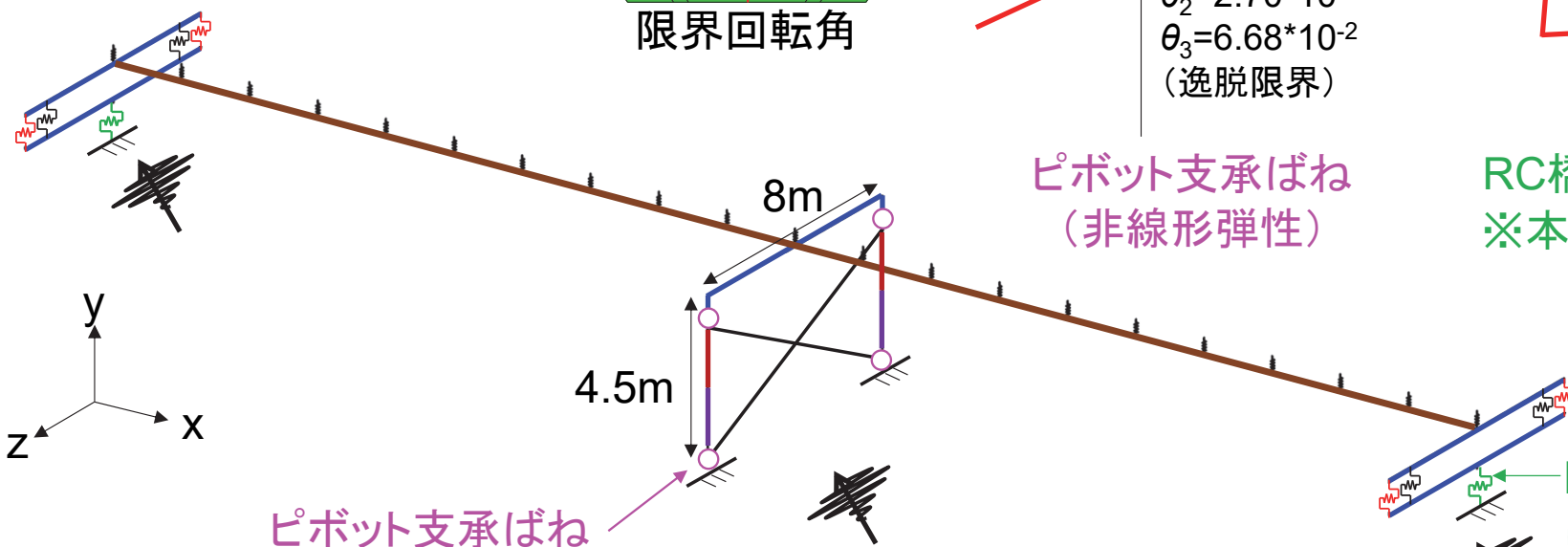
地震動(橋軸直角方向)

解析モデル(ばねの非線形特性)



ピボット支承ばね
(非線形弾性)

RC橋台ばね(バイリニア)
 ※本解析では弾性範囲の
 応答であった

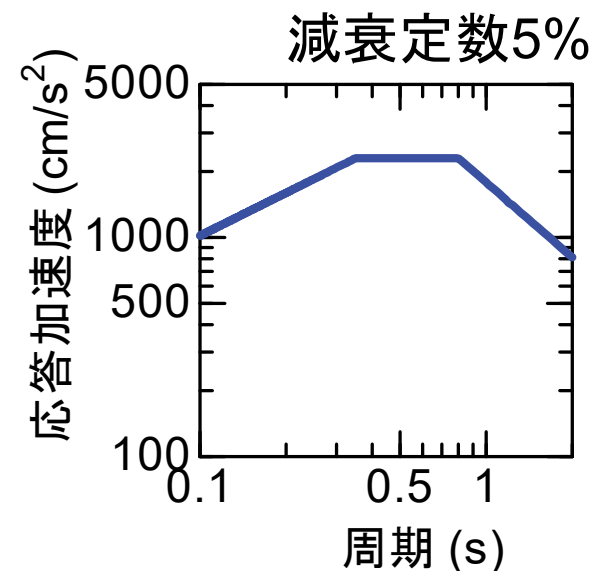
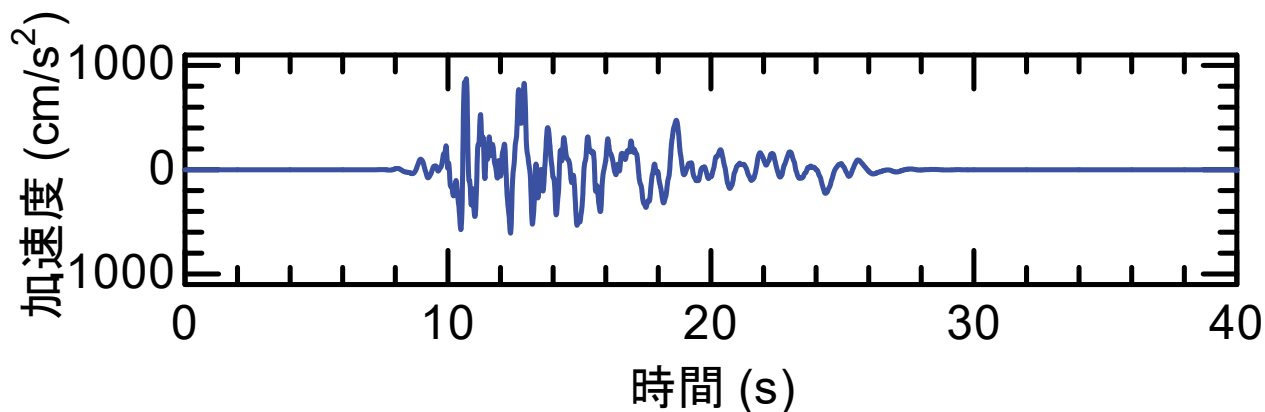


地震動(橋軸直角方向)



■ 入力地震動, 減衰, 固有値解析結果

入力地震動・・・スペクトルII G3(普通)地盤

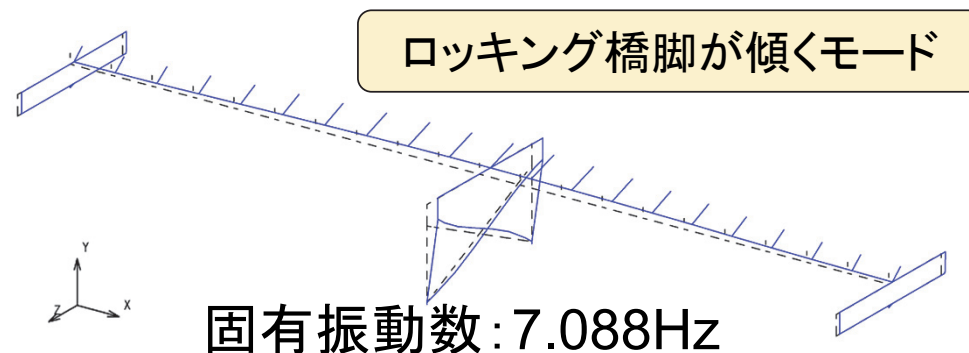


減衰の設定(剛性の高い要素で減衰が過大にならないよう, **要素別Rayleigh減衰**を設定)

要素	要素別Rayleigh減衰
上部工, 橋脚, ブレース材, RC橋台ばね	$\alpha = 0.267$ $\beta = 1.76 \times 10^{-4}$
桁支承ばね, 提案装置ばね など	$\alpha = 0.0$ $\beta = 1.00 \times 10^{-5}$

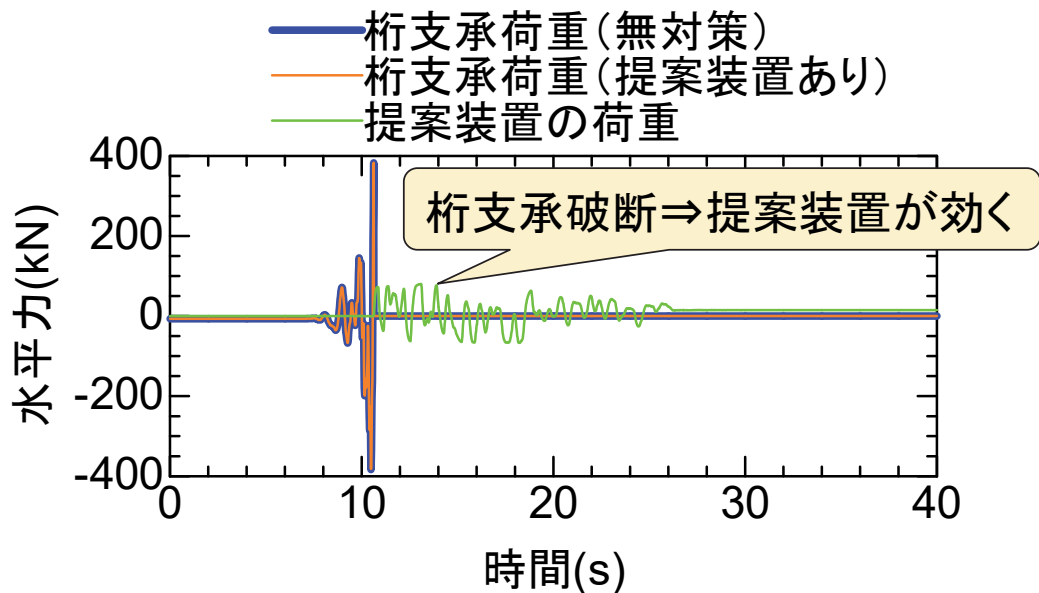
$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

固有値解析結果(有効質量比最大モード)

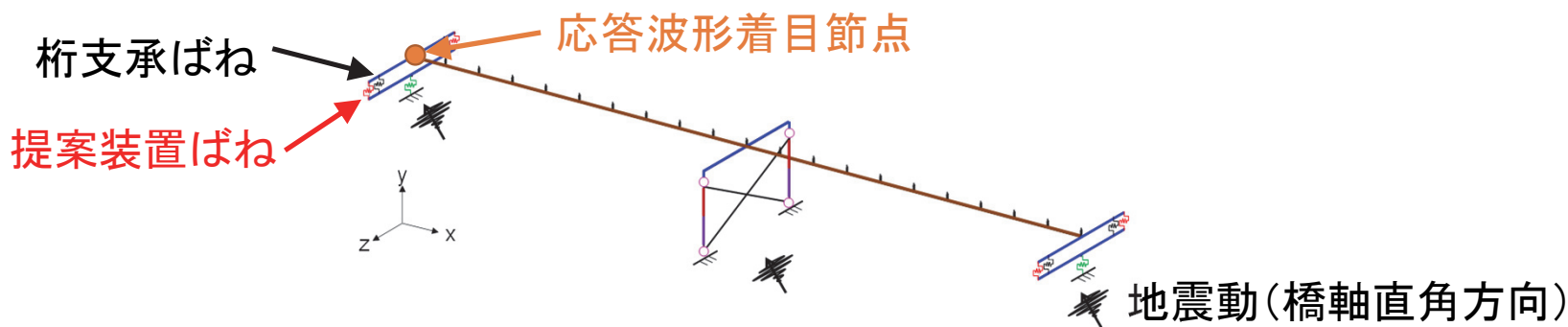
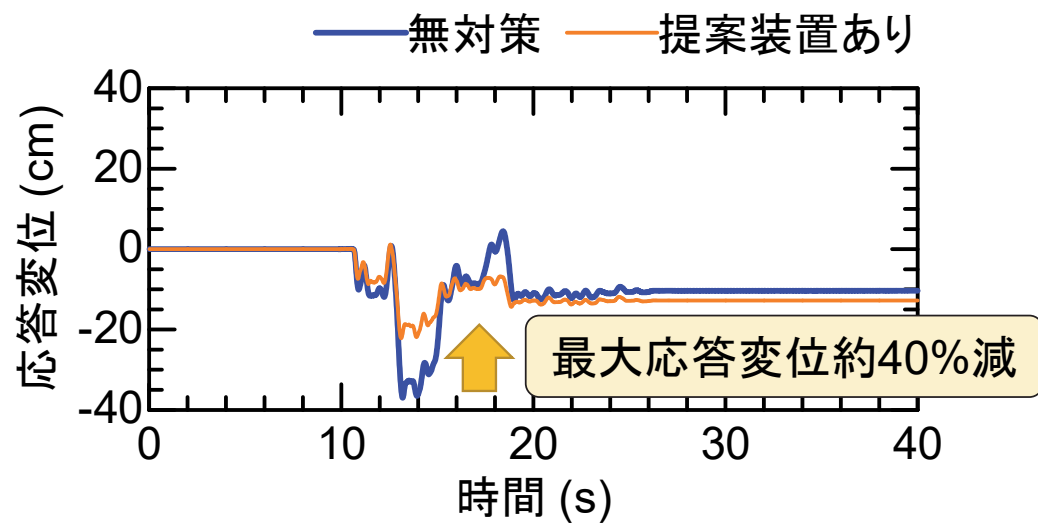


解析結果

桁支承および提案装置の水平荷重時刻歴

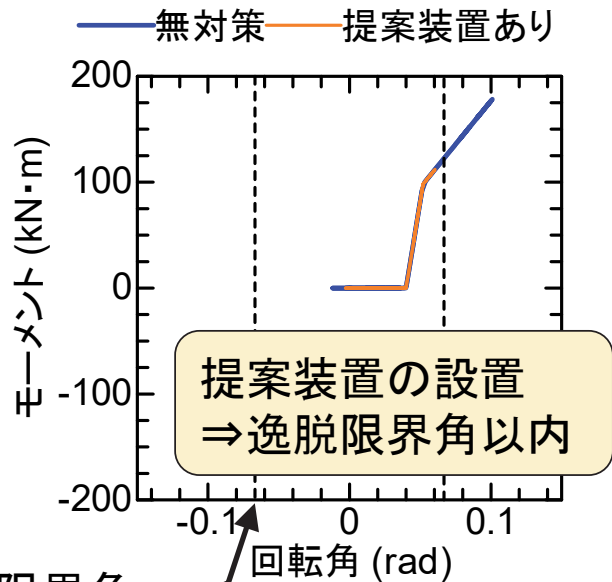


桁端部の橋軸直角方向の変位時刻歴

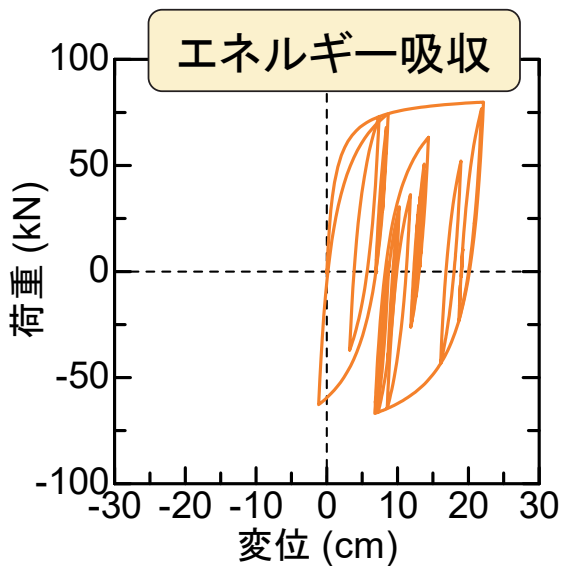


解析結果

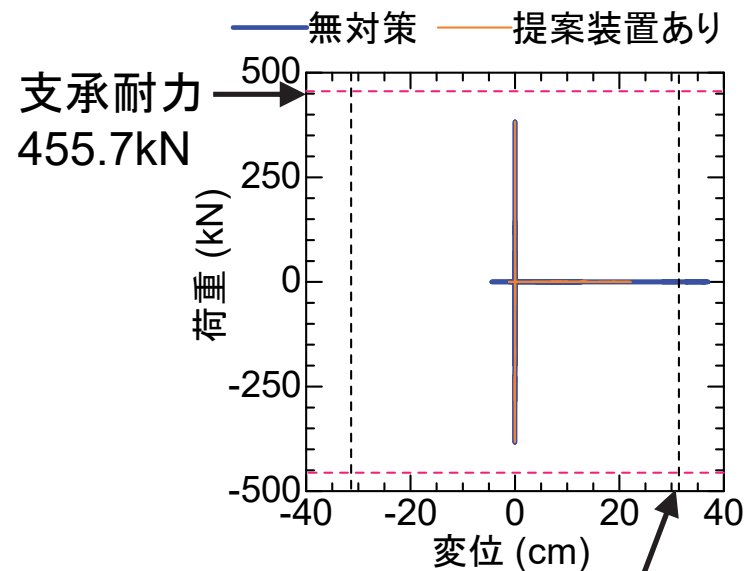
ピボット支承の履歴曲線



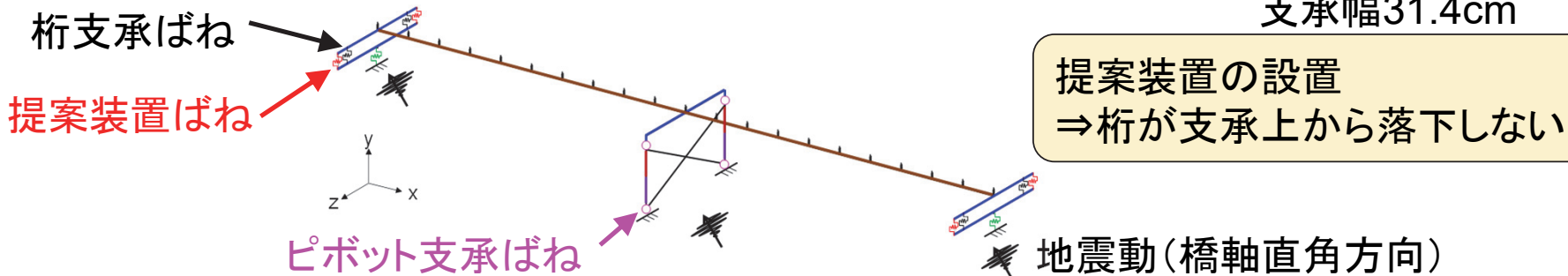
提案装置の履歴曲線



桁支承の履歴曲線



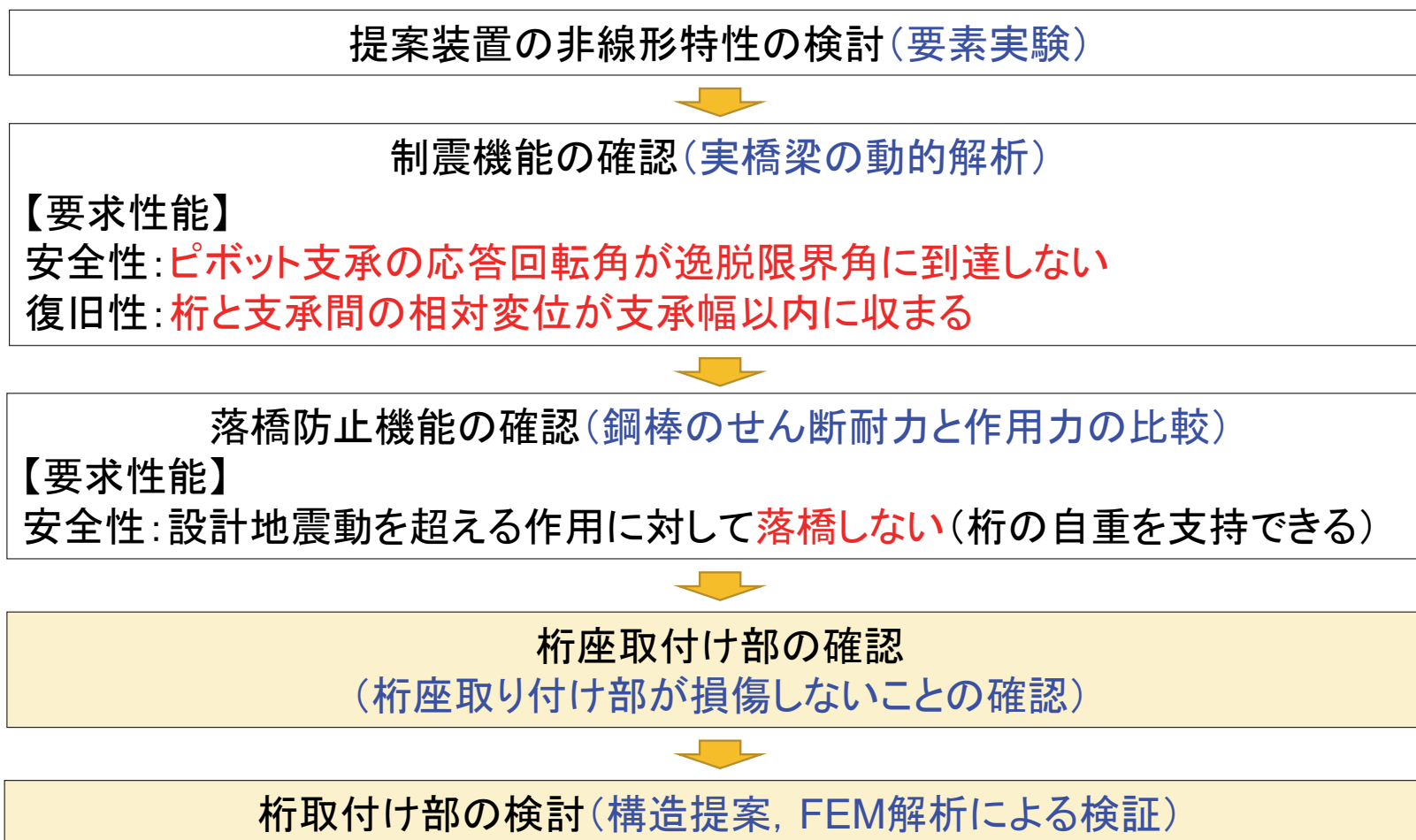
逸脱限界角
0.0668rad



落橋防止機能の確認

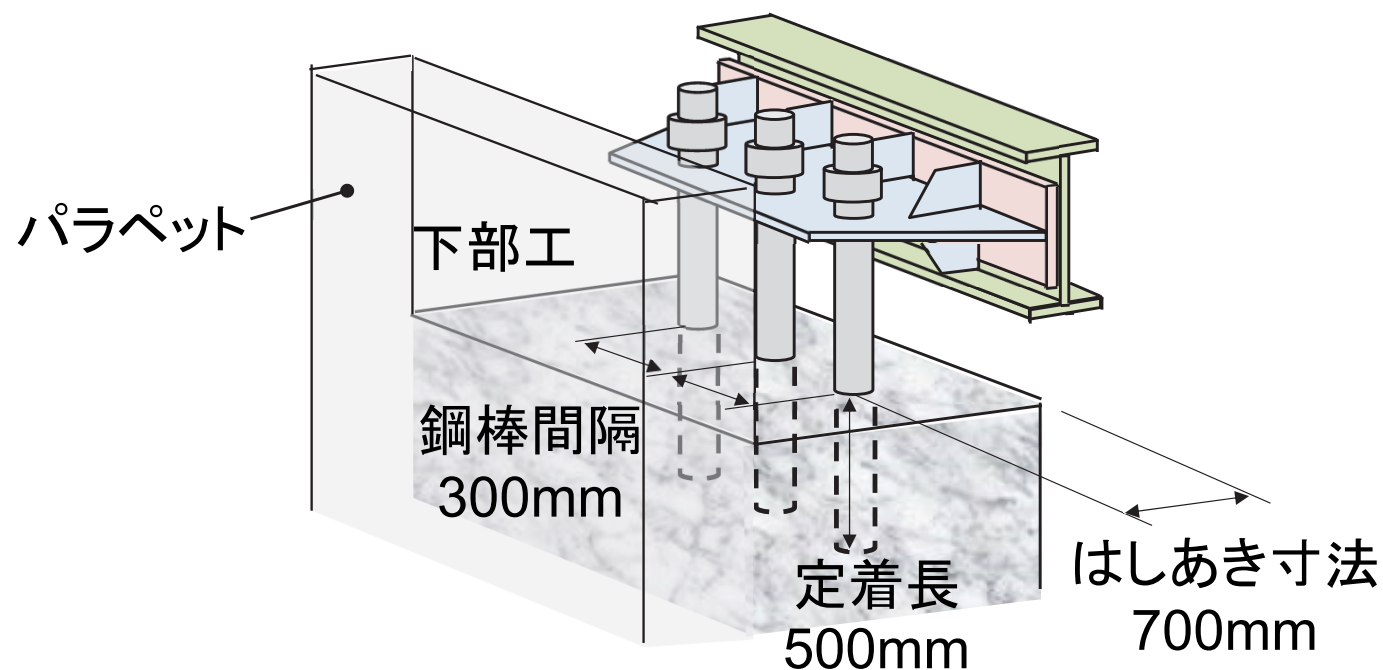
- 桁2連分の死荷重は, 実重量より1763 kN
 - 1763×1.3 (各個撃破の割増係数) / 4基 = 573kN
 - 鋼棒3本分のせん断耐力は約800kN
- ⇒ 桁自重を支持することができる

研究の構成



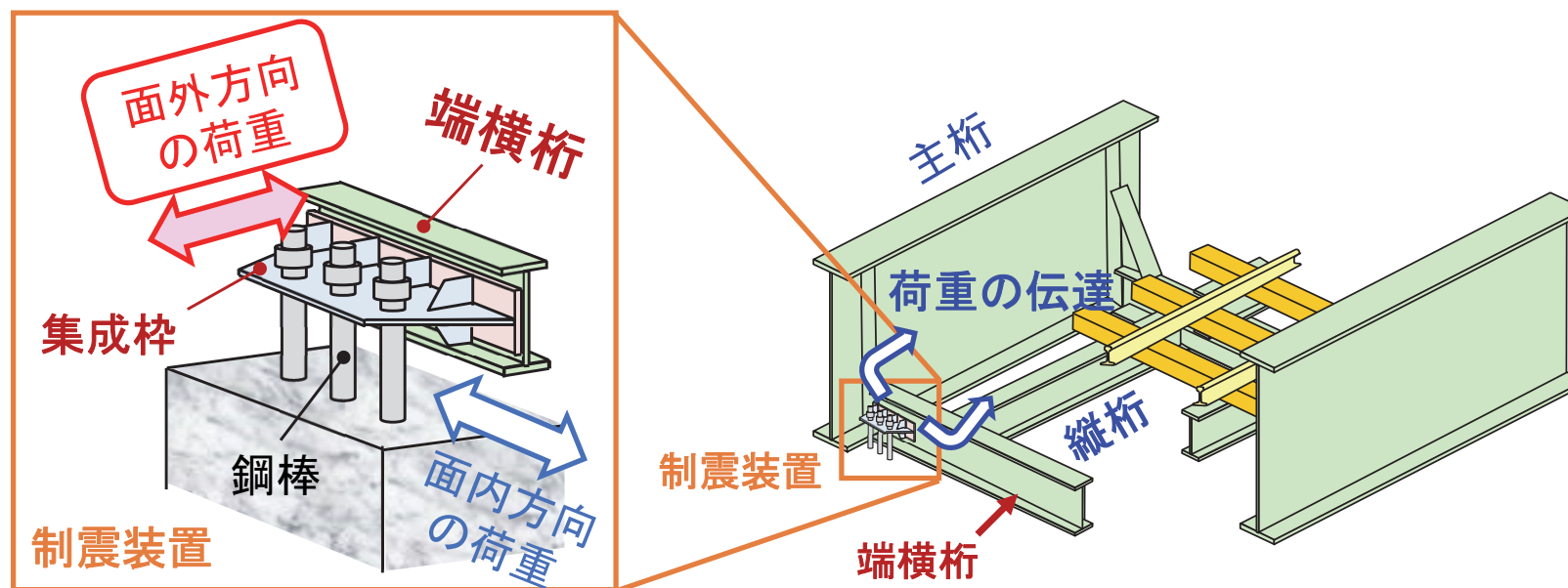
■ 桁座取り付け部

- 鉄道のあと施工アンカーの手引きに基づく検討により、下記の条件で設計最大作用に対して損傷しないことを確認している



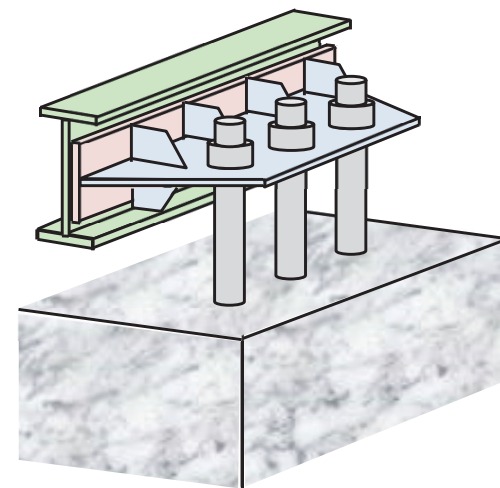
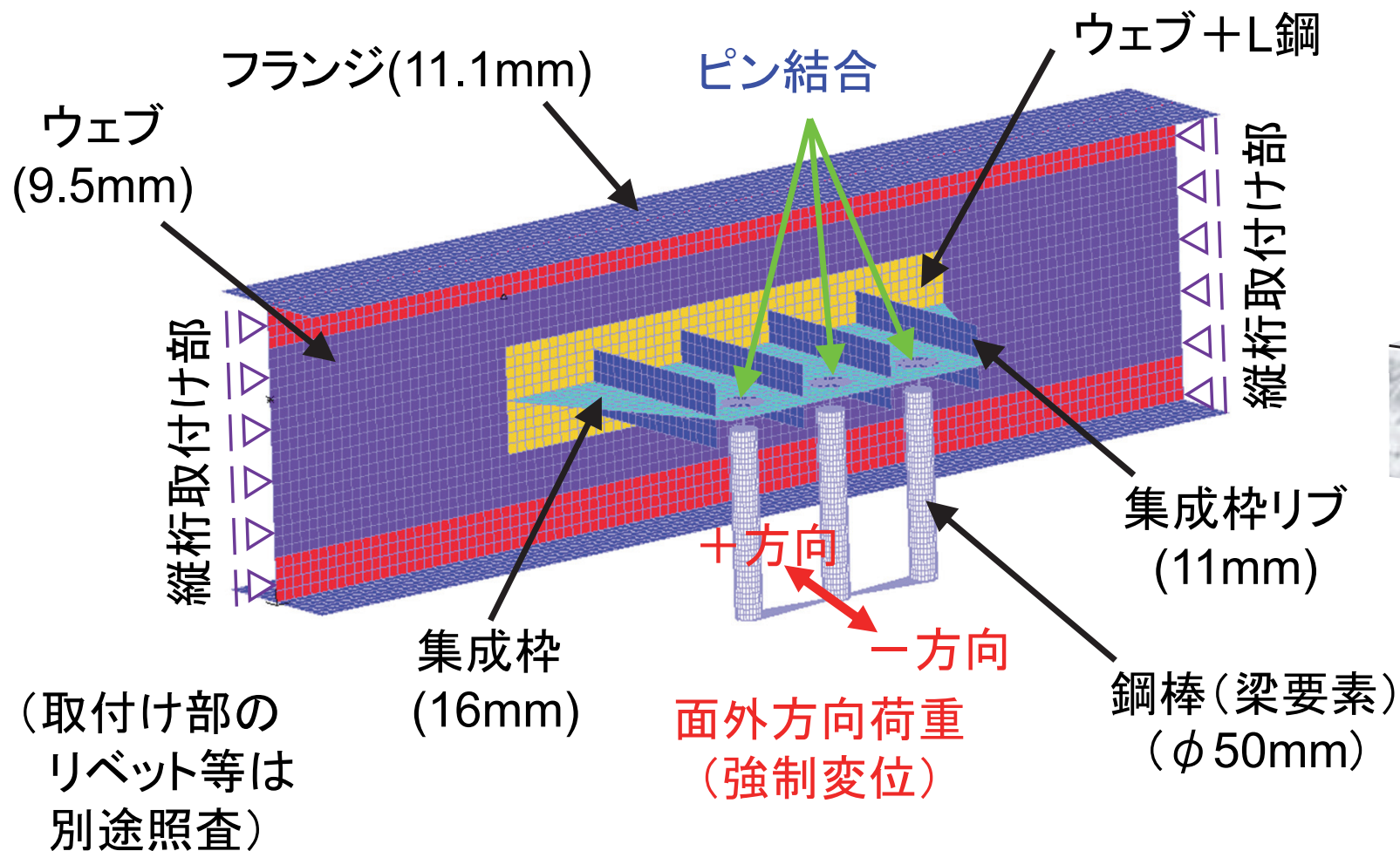
■ 桁取り付け部

- 主桁周辺に設置スペースがないので、端横桁に提案装置を設置
- 目標性能：設計地震動に対して制震機能が発揮される際、取り付け部が損傷しない
設計地震動を超える作用で落橋防止機能が発揮される際、破壊しない

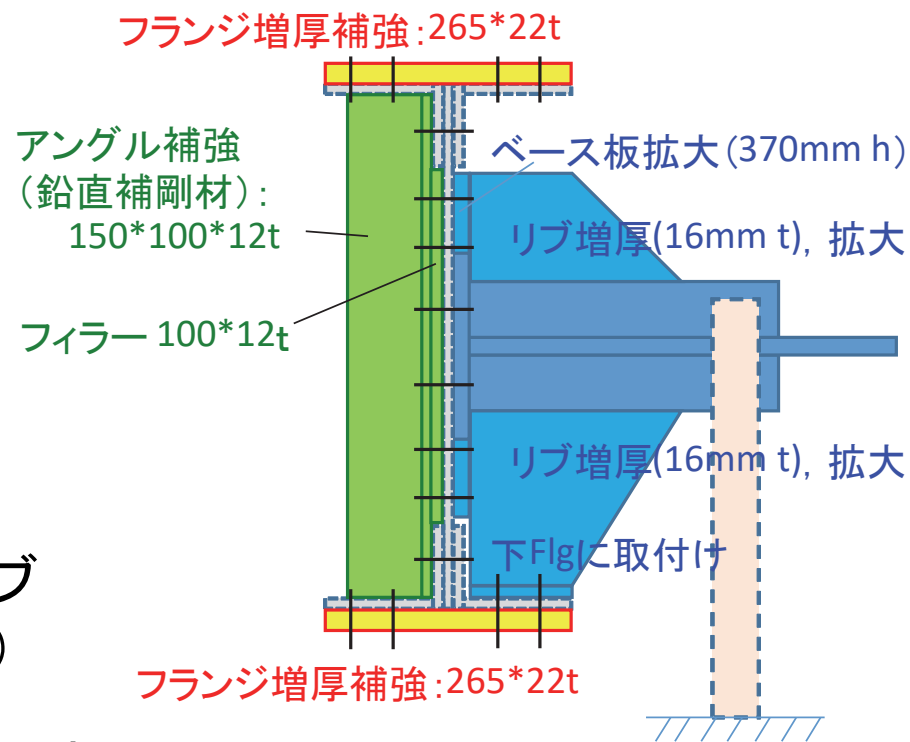
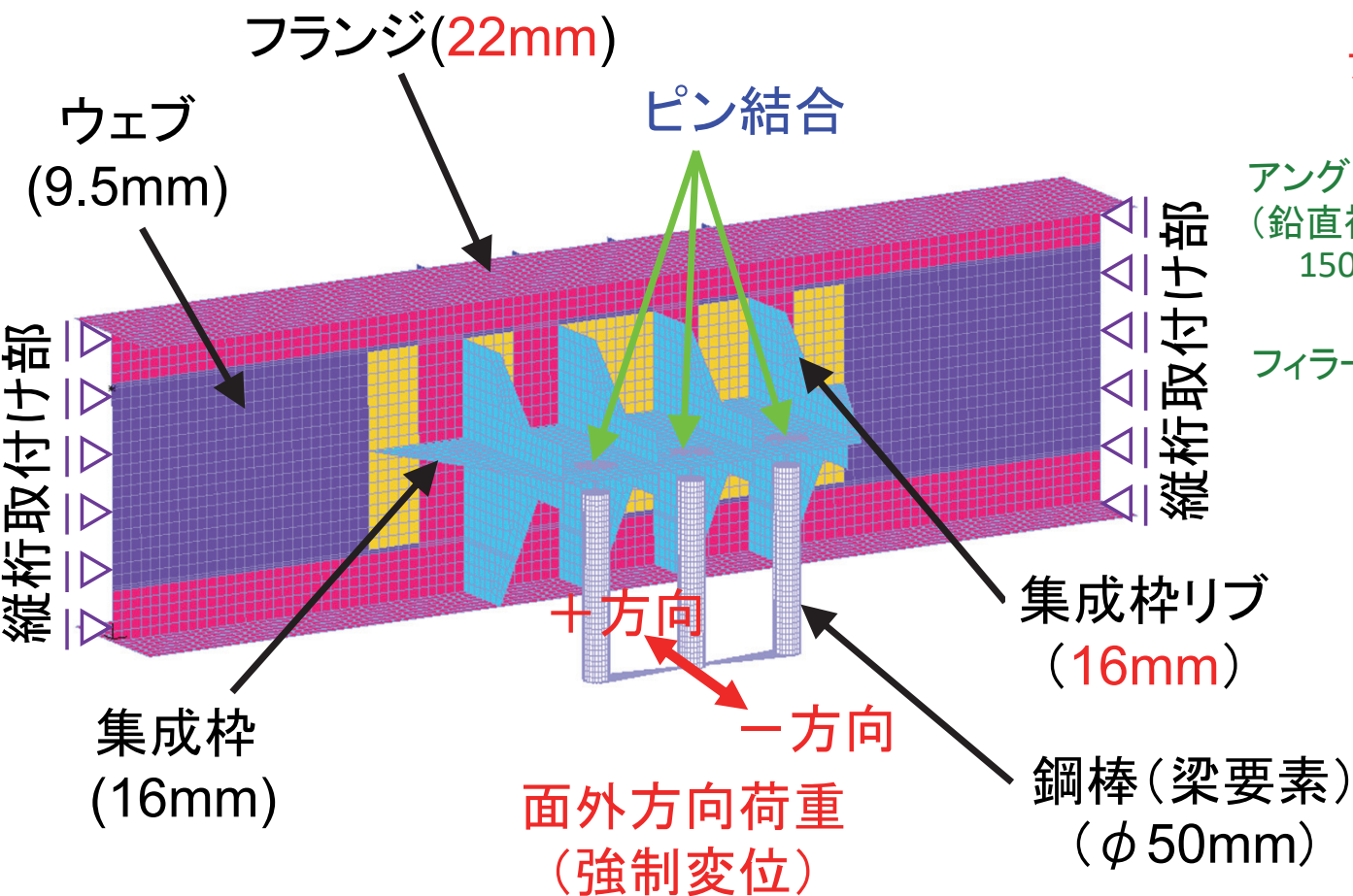


面外方向荷重に対する
桁取り付け部(集成枠・端横桁)の挙動をFEM解析で確認

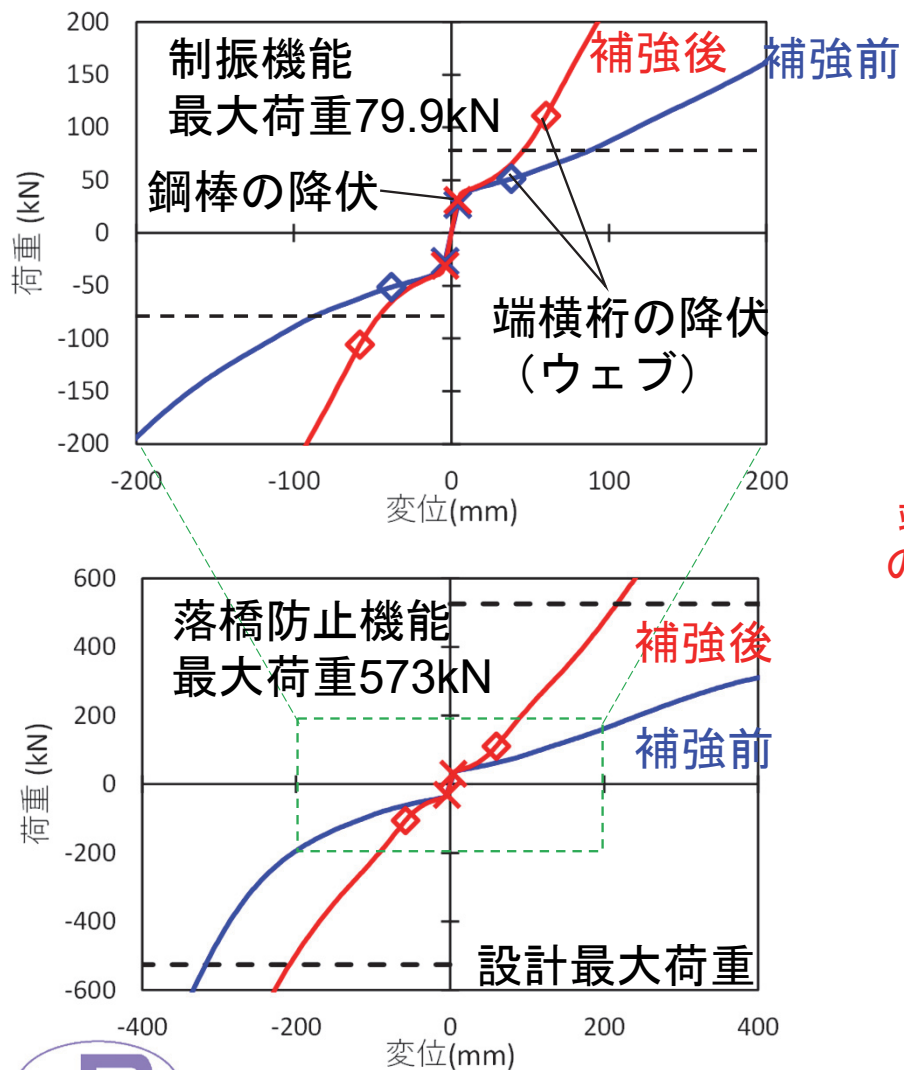
解析モデル(無補強)



解析モデル(補強有)

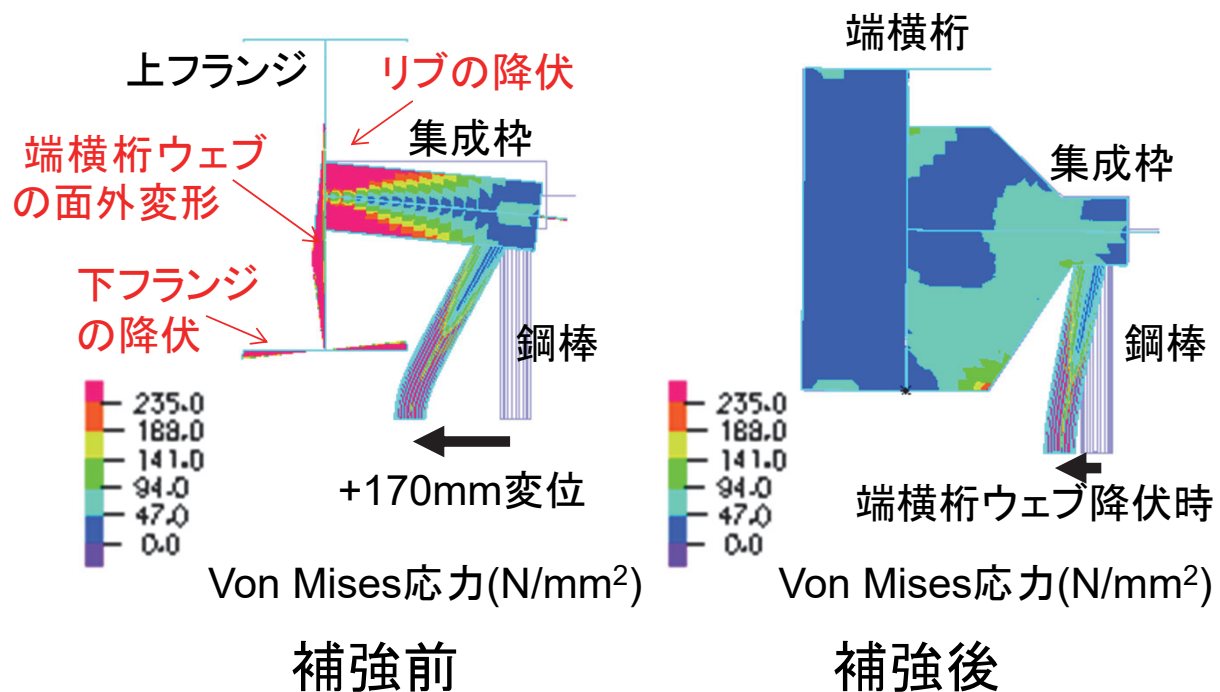


解析結果(桁取り付け部)



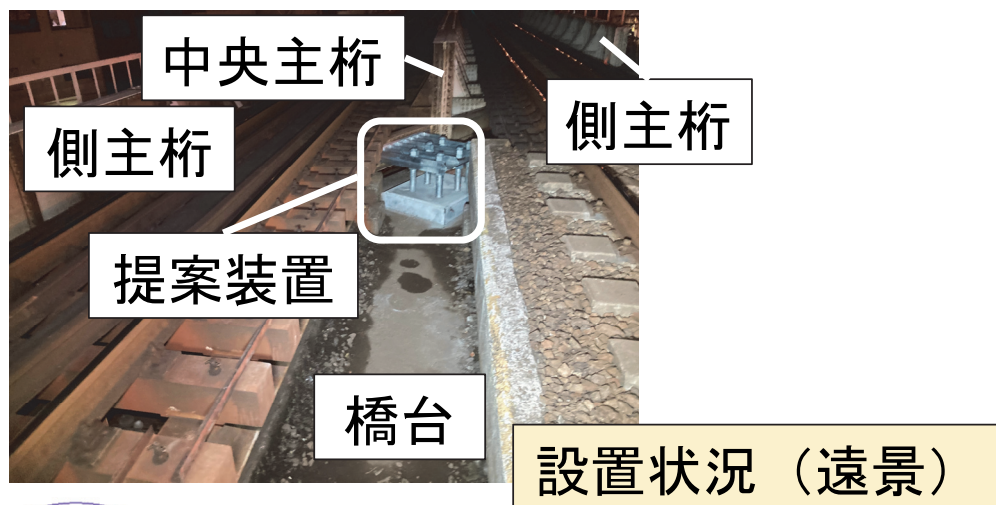
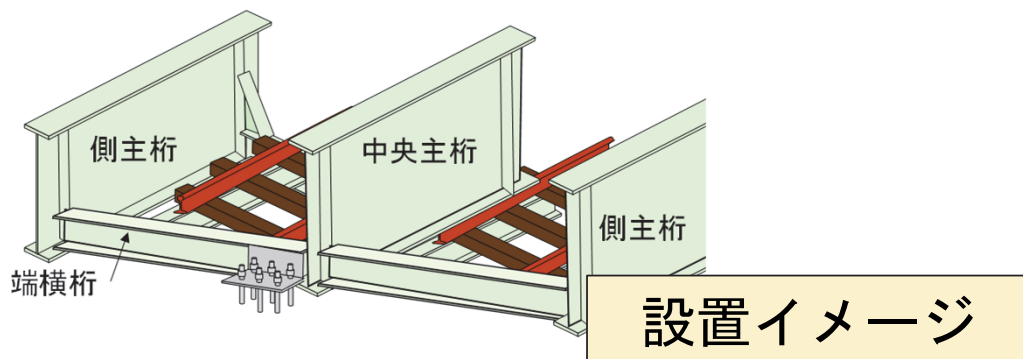
補強後の取り付け部

- 制振機能が発揮される際の最大荷重(79.9kN)に対して損傷しない
- 落橋防止機能が発揮される際の最大荷重(573kN)に対して破壊しない



■ 実橋梁への設置事例

- 他社線をまたぐ実橋梁を対象に詳細設計が実施され、提案装置が設置された



まとめ

提案装置の正負交番載荷試験による非線形特性の把握

提案装置を設置した橋梁の動的解析による制震機能の評価

落橋防止機能の確認

FEM解析による桁取り付け部分の検討

- 荷重～変位関係は双曲線型の履歴曲線を描き、エネルギー吸収効果が発揮される
- 設計地震動に対してピボット支承の応答回転角を逸脱限界角以内に抑制できる
- 桁支承は破壊するが桁が支承上から落下しない
- 鋼棒のせん断耐力が桁自重を支持できるか否かを検討し、十分な落橋防止機能を有する
- 提案装置を既設鋼橋の端横桁に取り付ける方法として、端横桁をねじりやウェブ面外変形に対して補強しながら設置する方法を提案した。
- 制震機能が発揮されている間には損傷せず、落橋防止機能が発揮される際には破壊に至らない

実橋梁での詳細設計を経て、1橋りょうで採用された

ご清聴ありがとうございました

