

FEMを用いたRC構造物の照査と 柱はり接合部の配筋合理化

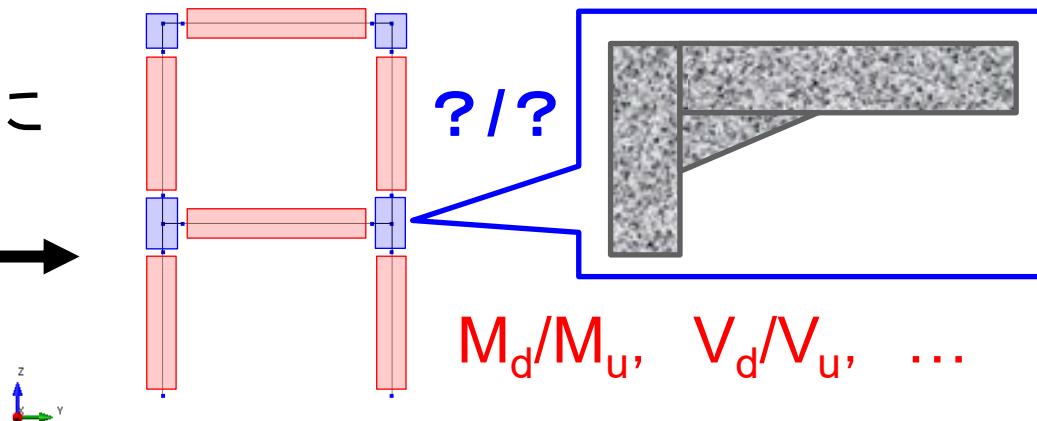
構造物技術研究部 コンクリート構造研究室

研究員 鈴木 瞭

1. 背景と目的



設計では基本的に
骨組解析



柱・梁等

- ・ 要求性能を満足しているか照査
- ・ 耐久性を満足しているか検討

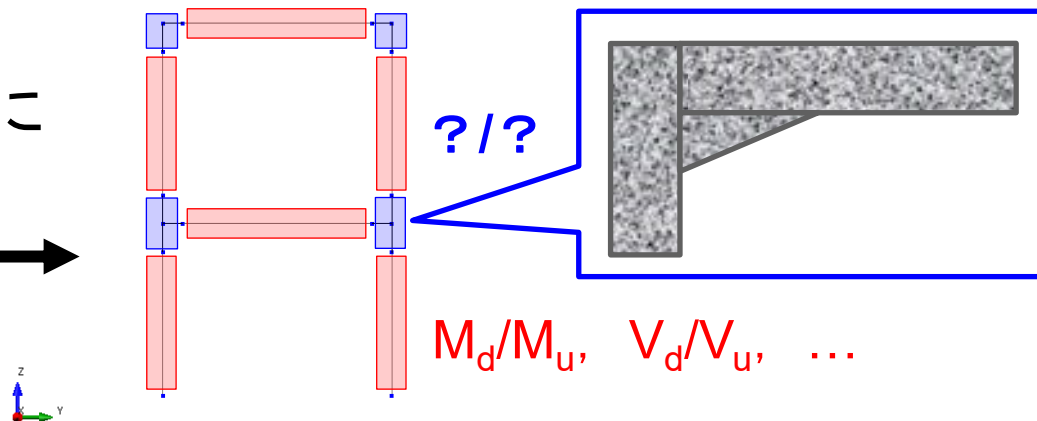
柱梁接合部

- ・ 接合部が破壊したら, , ,
→ 骨組解析でどのように表現?
- ・ 柱や梁に比べて修復しにくい

1. 背景と目的



設計では基本的に
骨組解析



想定する構造物の挙動の範囲で接合部が損傷しない
＝仕様を規定

デメリット



- ・仕様の前提を満たしていない構造物には適用不可
- ・過剰／過少な鉄筋量の配置に繋がっている可能性

目的



- ・柱梁接合部の照査を可能とする
- ・仕様で規定する鉄筋量を実態に合わせて見直す



1. 背景と目的

骨組解析(仕様)

限定される

鉄筋量・鉄筋位置は考慮可能

過剰なハンチ筋本数等の可能性

設計者や構造物によらず唯一

柱梁接合部は剛域

小

適用範囲

鉄筋

設計解

モデル化

計算コスト

FEM(照査)

基本的にどんな構造物でも対象

形状や配置まで考慮可能

合理的な接合部を実現可能

解は無数に存在

形状や支持条件をそのまま再現

大

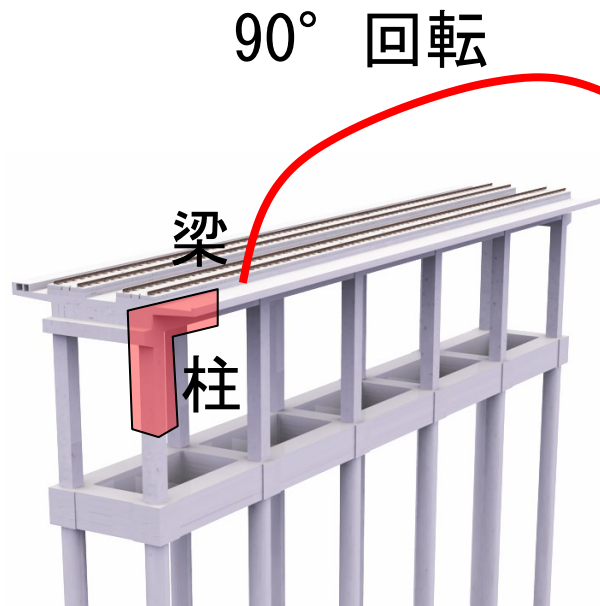
設計の手軽さ

設計の柔軟性

2. 解析の概要

柱梁接合部のモデル化

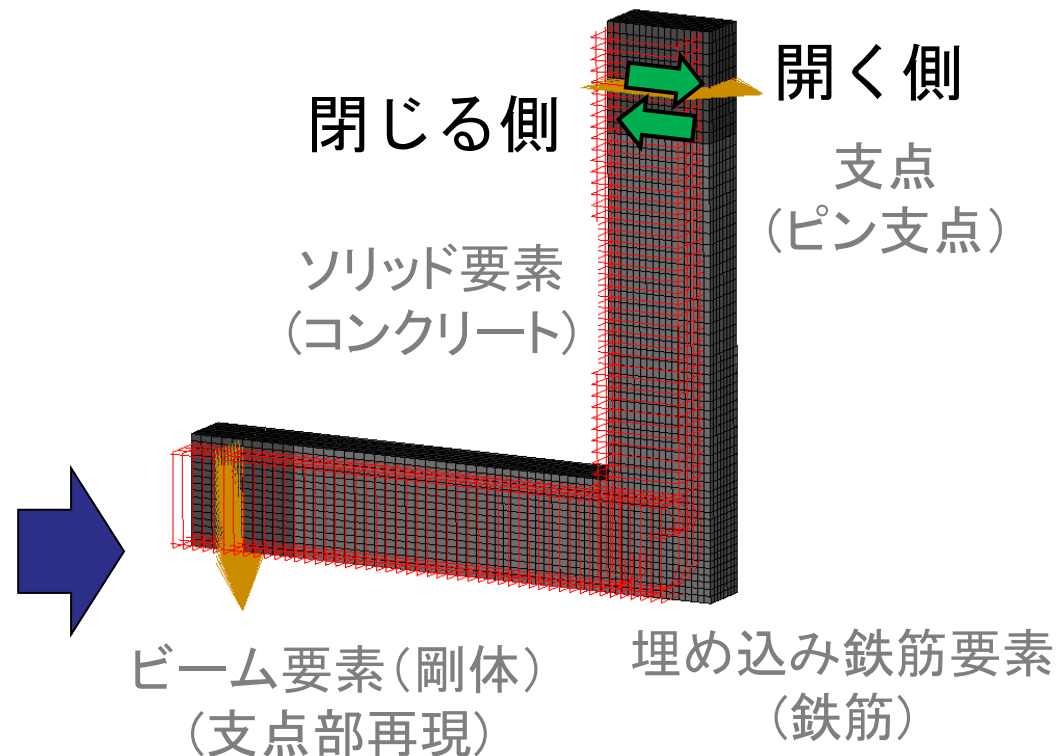
- ・ 正負交番载荷
- ・ 1/2程度に縮尺



ラーメン高架橋



試験体



- ・ DIANA 10.5を使用
- ・ 一方向単調载荷
- ・ メッシュ寸法30mm程度

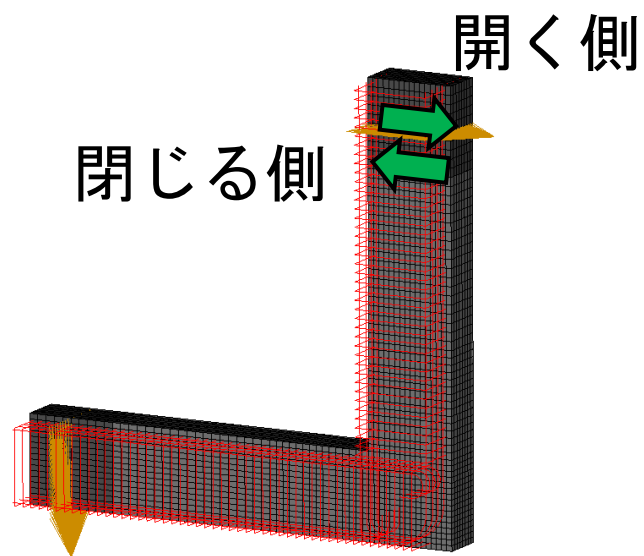
解析モデル (FEM)

※鉄筋の可視化のために、一部コンクリート要素非表示

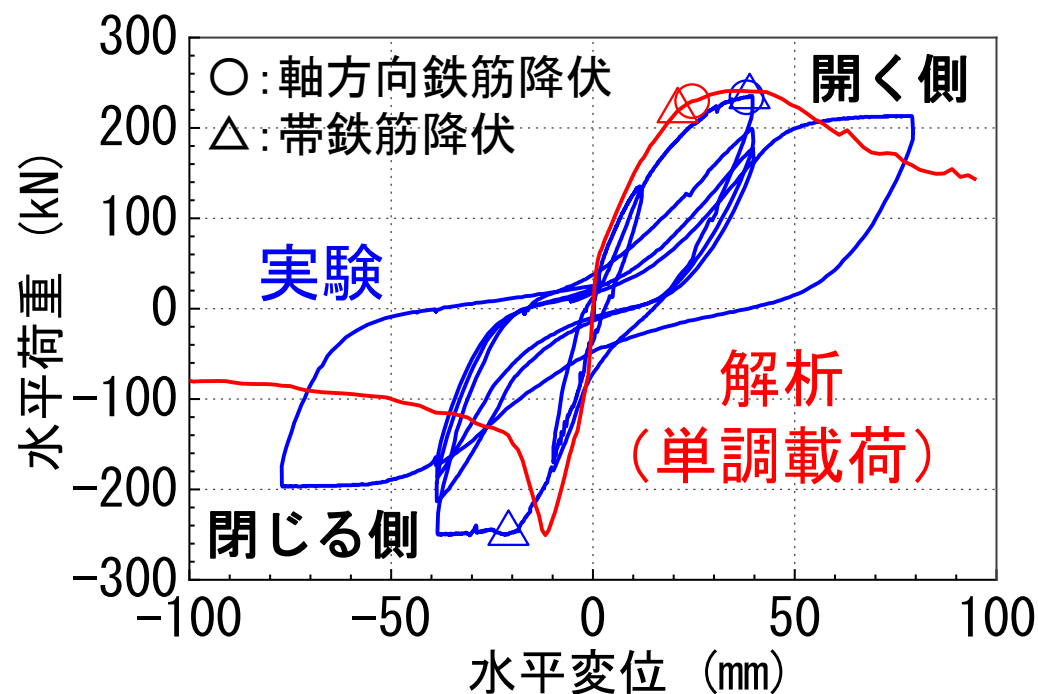
2. 解析の概要

モデルの特徴①

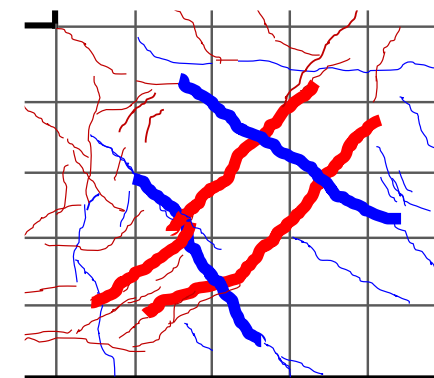
実験での剛性や耐力，ひび割れ発生状況を再現



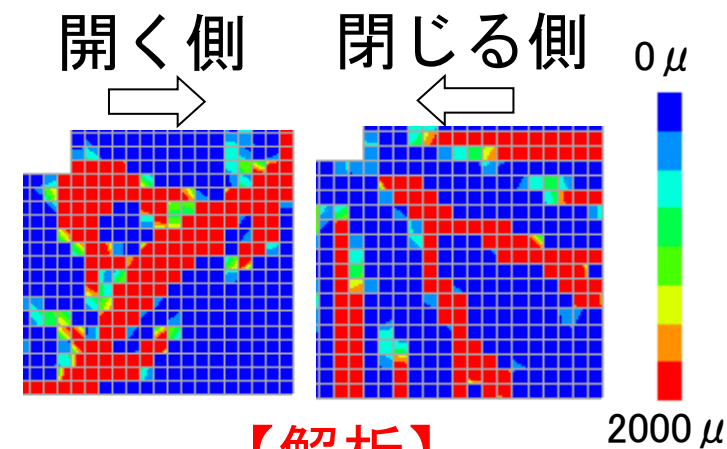
解析モデル



水平荷重と水平変位の関係の例



【実験】
ひび割れ性状

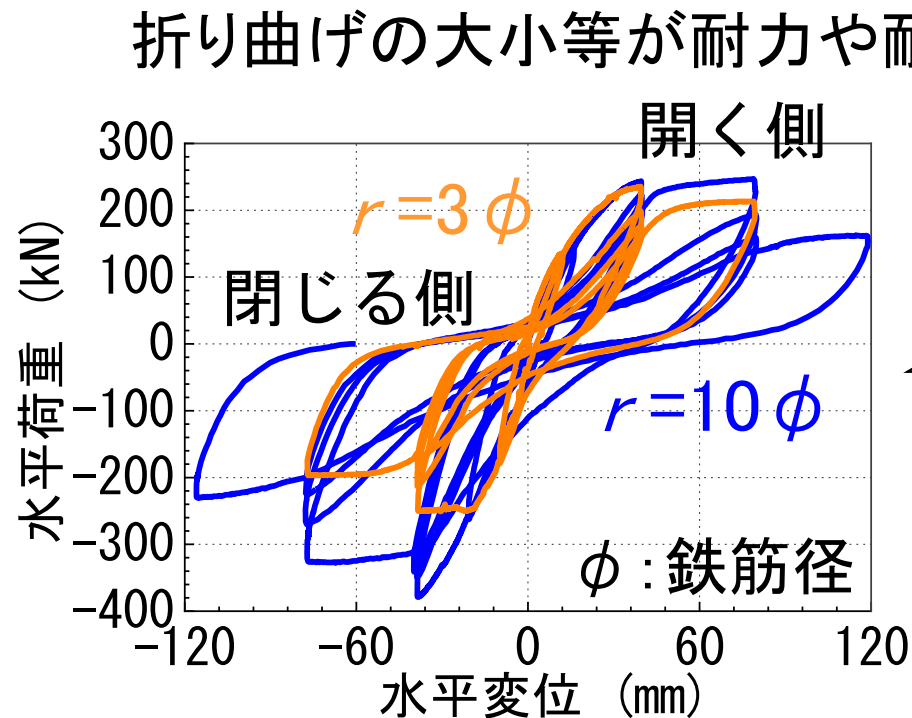
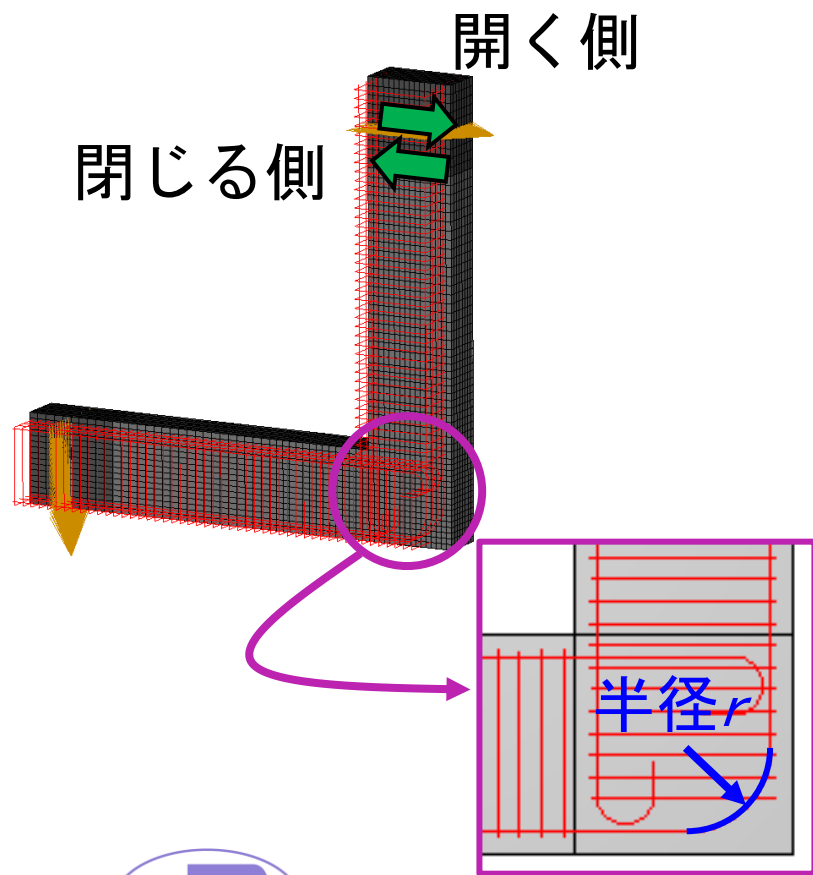


【解析】
最大主ひずみ分布

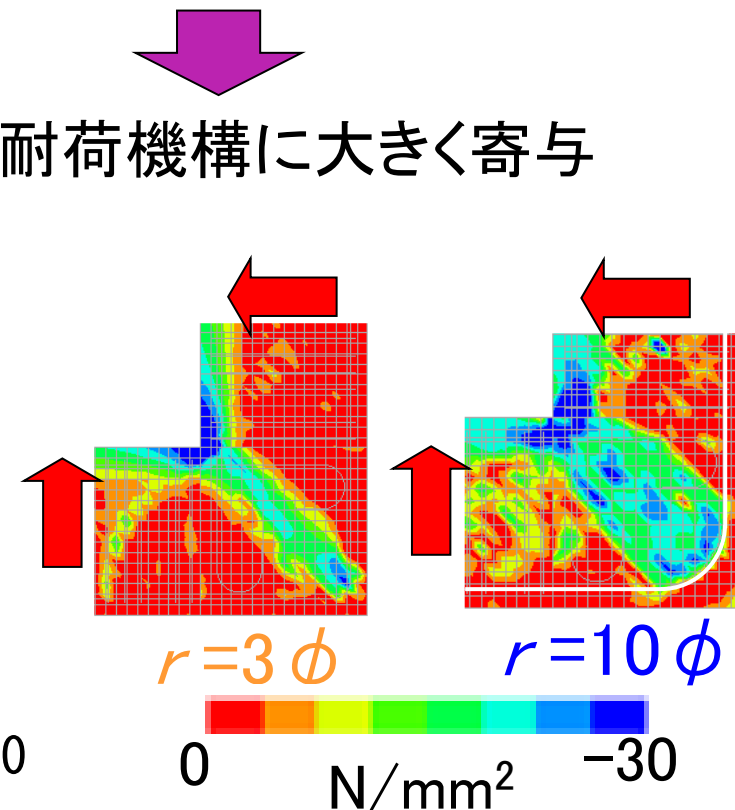
2. 解析の概要

モデルの特徴②

離散鉄筋を用いて、接合部内の複雑な配筋や鉄筋の折り曲げを再現



実験の結果



最小主応力分布

本日の発表

1. 背景と目的
2. 解析の概要
- 3. 柱梁接合部の照査**
4. 配筋の合理化の検討
5. まとめと成果の活用

3. 柱梁接合部の照査

FEMを用いて照査する際に満たすべき項目

要求性能

安全性

すべての設計作用とその繰返しに対して
構造安全性の限界状態に至らない

使用性

しばしば生じる設計作用に対して損傷が限界状態に
至らないことを確認

復旧性

すべての設計作用に対して
損傷レベルが修復性の限界状態に至らないことを確認

限界状態

破壊

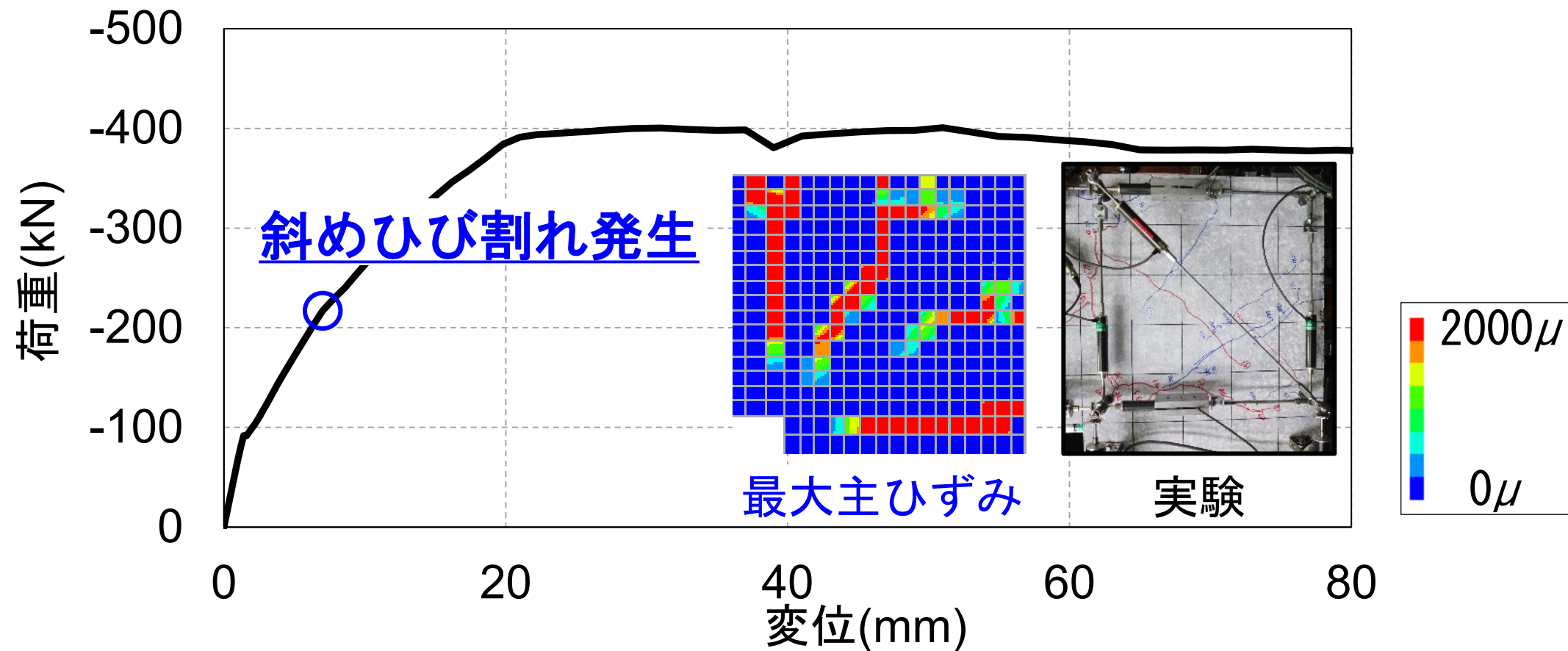
損傷レベル 1

損傷レベル 1 ~ 2

3. 柱梁接合部の照査

限界値の設定

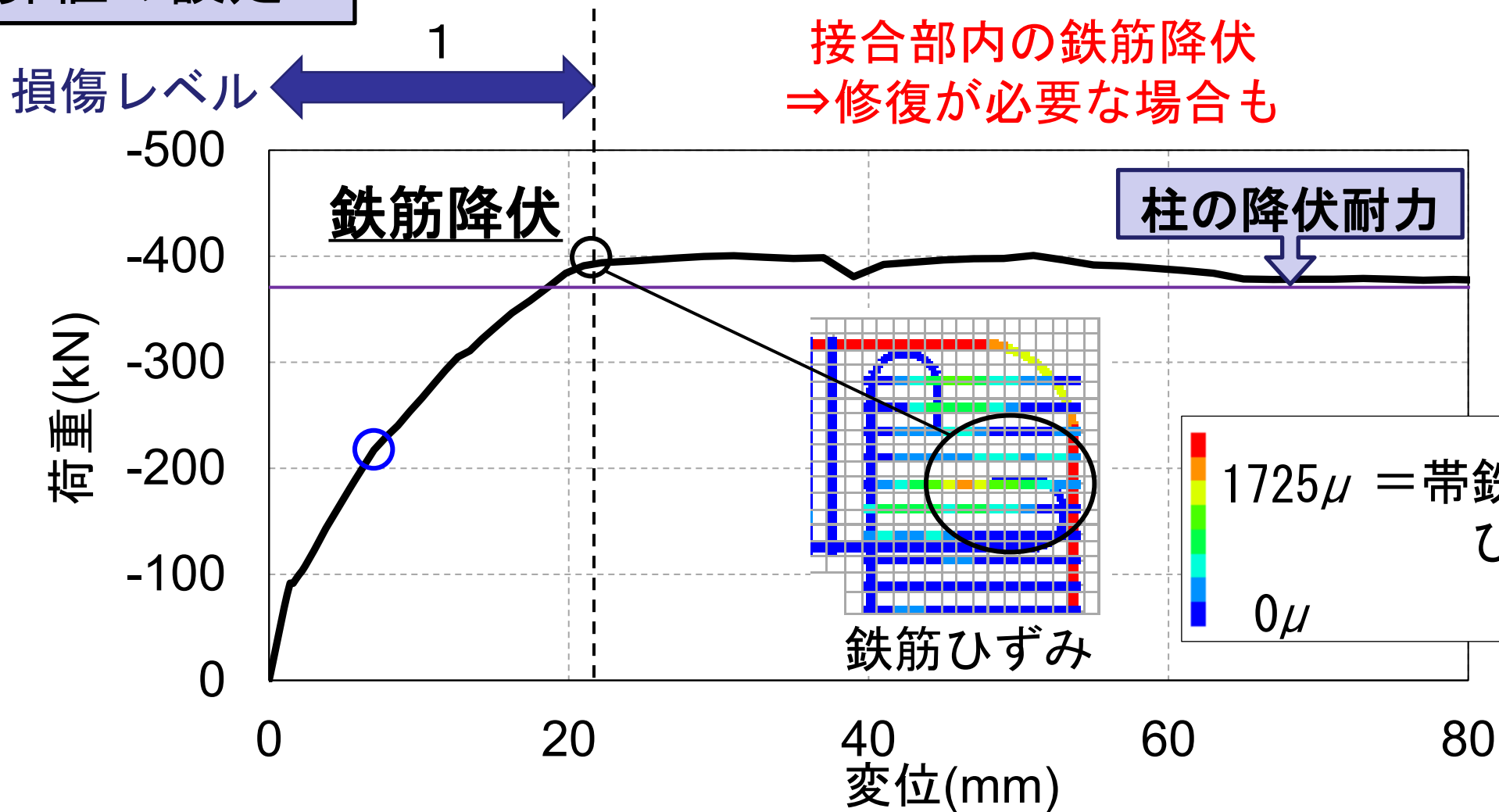
接合部の荷重—変位関係（閉じる側載荷時）



3. 柱梁接合部の照査

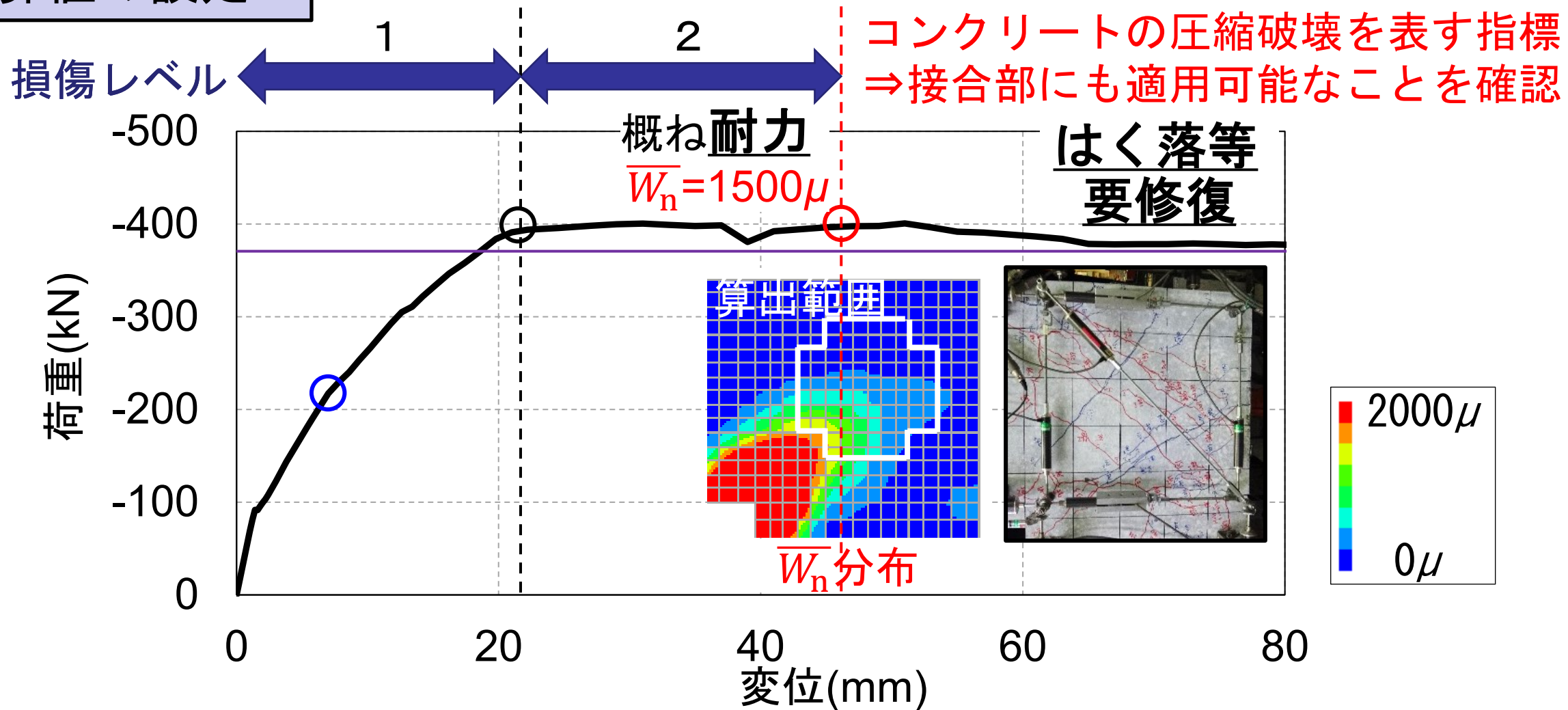
限界値の設定

接合部の荷重—変位関係（閉じる側載荷時）



3. 柱梁接合部の照査

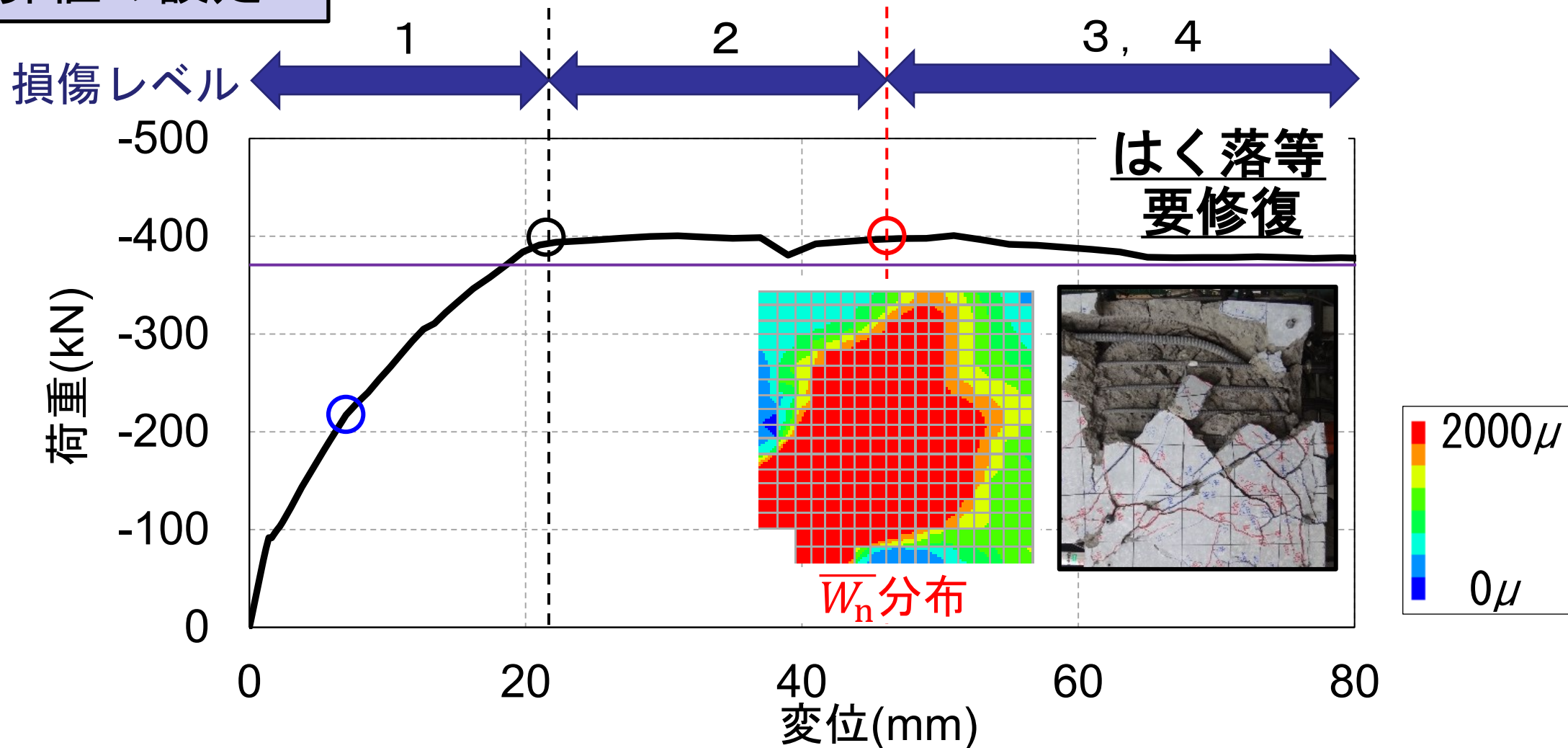
限界値の設定



3. 柱梁接合部の照査

限界値の設定

接合部の荷重—変位関係（閉じる側載荷時）



3. 柱梁接合部の照査

限界値の設定（まとめ）

損傷レベル	照査指標	限界値
損傷レベル1 （無損傷）	鉄筋の ひずみ	降伏ひずみ
損傷レベル2 （場合により修復）	$\overline{W}_n$	1500 μ

- ✓ 接合部の損傷状況に基づき損傷レベル1の限界値を鉄筋の降伏と設定
- ✓ 接合部でも圧縮損傷の指標 $\overline{W}_n=1500\mu$ で耐力を評価できることを確認
⇒ 損傷レベル2の限界値として設定

➤ FEMを用いた接合部の照査体系を構築

本日の発表

1. 背景と目的
2. 解析の概要
3. 柱梁接合部の照査
- 4. 配筋の合理化の検討**
5. まとめと成果の活用

4. 配筋の合理化の検討

仕様を決定する（骨組解析を用いる）際に満たすべき事項

・ 要求性能 安全性 使用性 復旧性



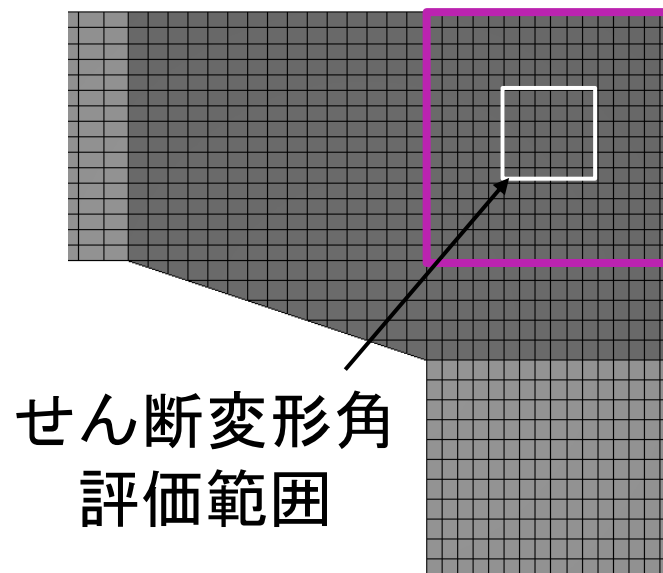
・ 剛域の確保（骨組解析の前提）

剛域

パネルゾーンの剛性が
柱や梁の剛性に比べて十分に大きい

限界値：パネルゾーンのせん断変形が急増する点
→柱や梁の曲げ降伏が先行すればよい

パネルゾーン



せん断変形角
評価範囲

4. 配筋の合理化の検討

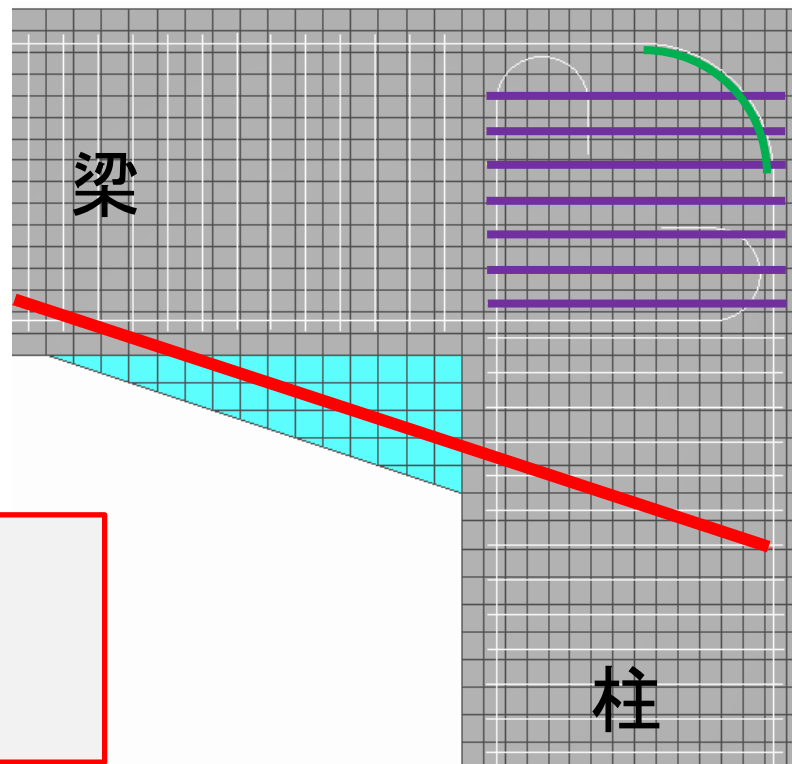
配筋を変化させたパラメータスタディ

ハンチ（形状・大きさ）

主に1:3（ラーメン高架橋）
短辺は柱幅の4割程度

ハンチ鉄筋本数

軸方向鉄筋の6~10割程度
（事例調査による）
（これまで規定なし）



接合部内帯鉄筋量

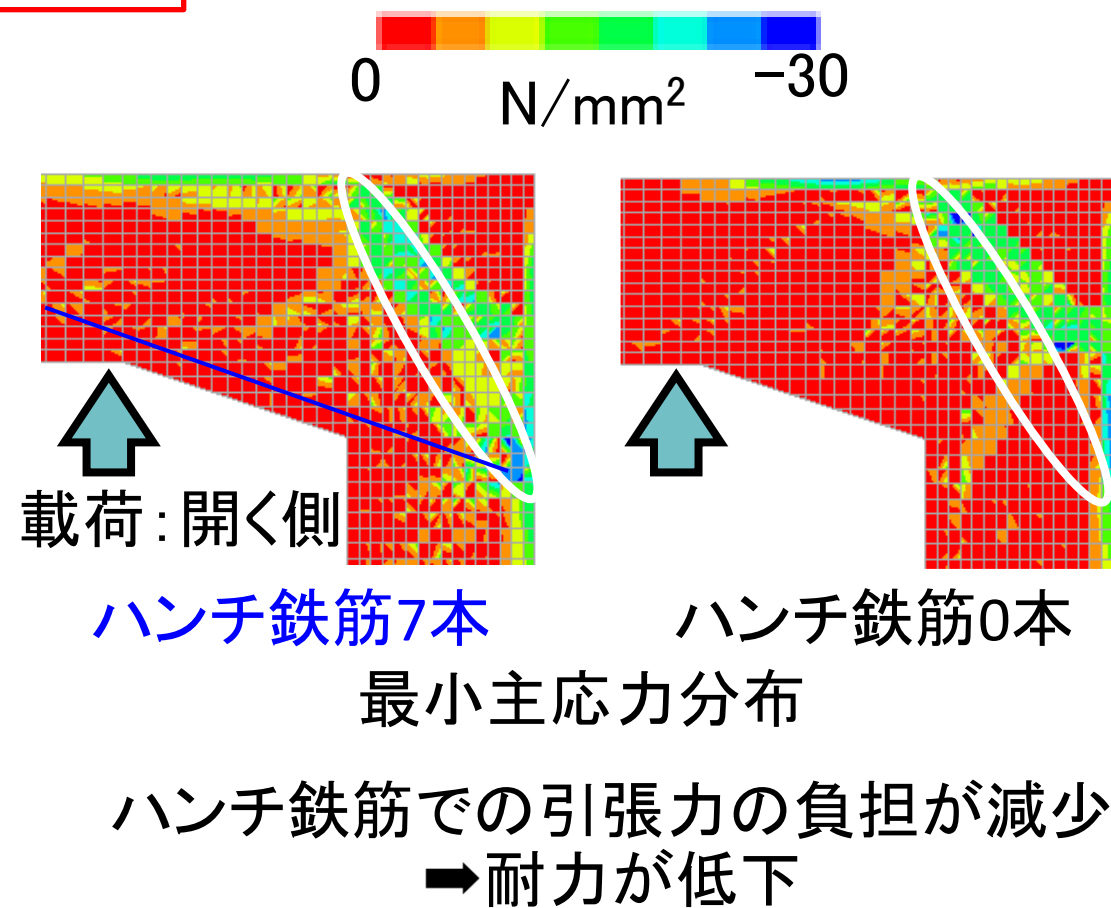
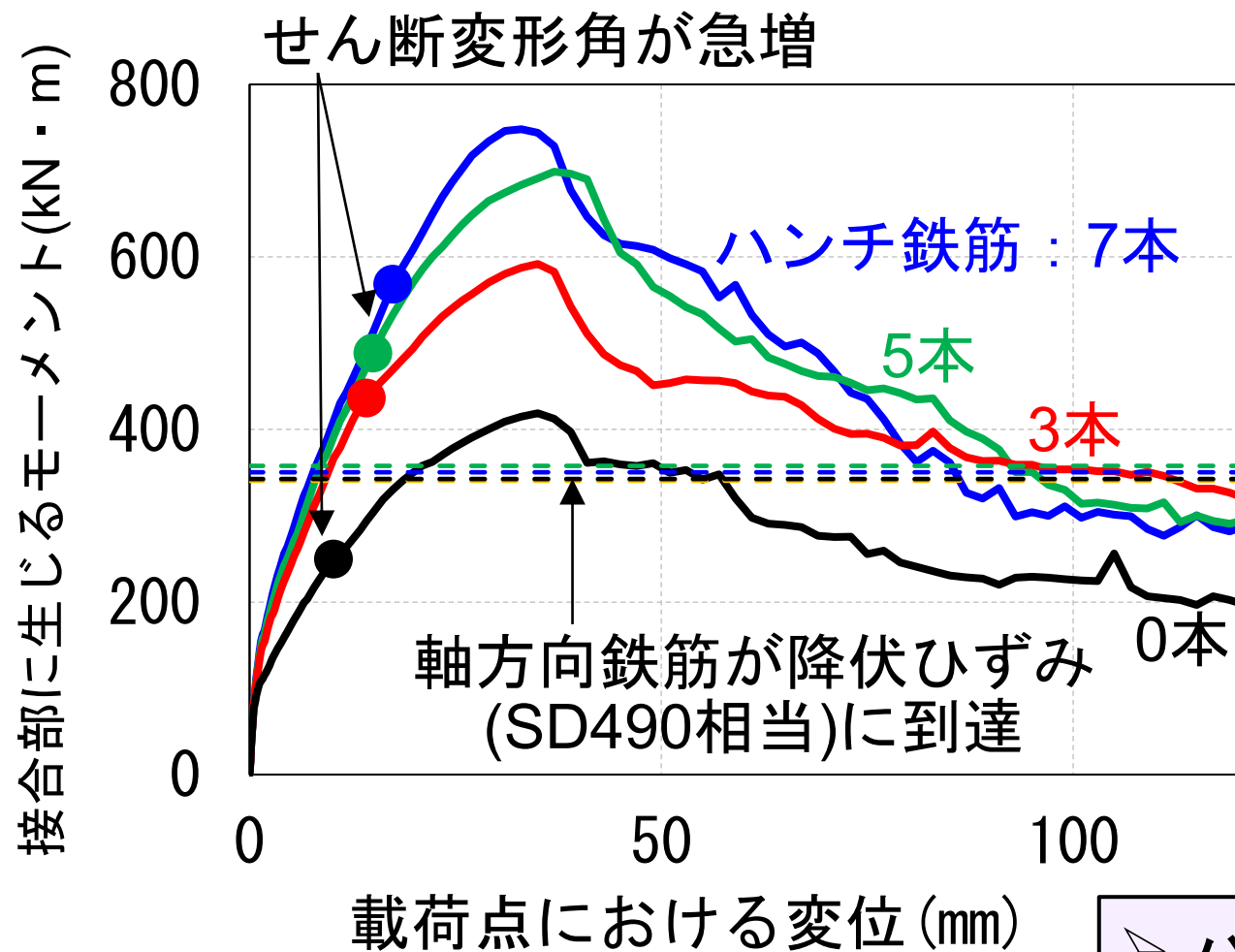
柱の塑性ヒンジ部と同様
（H16年RC標準）

曲げ内半径

軸方向鉄筋径の10倍
（配筋の手引き）

4. 配筋の合理化の検討

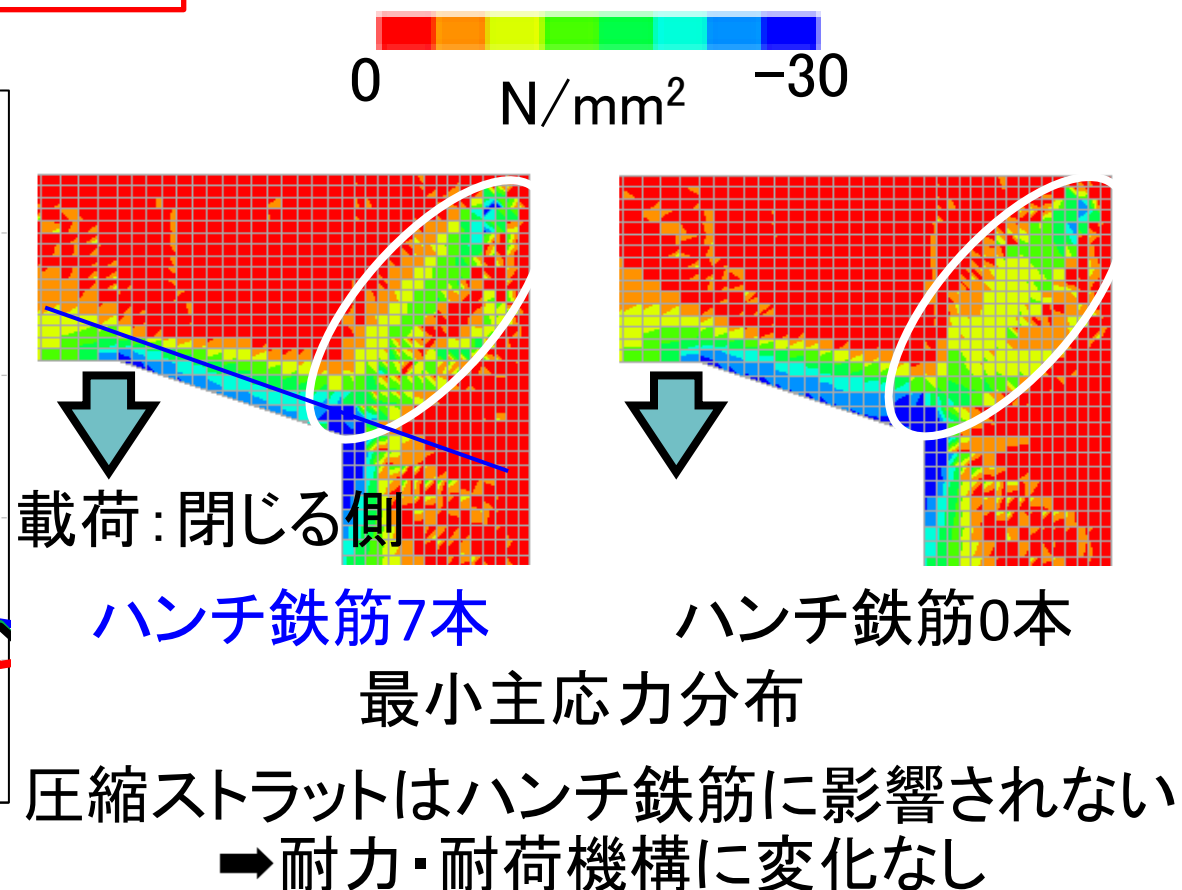
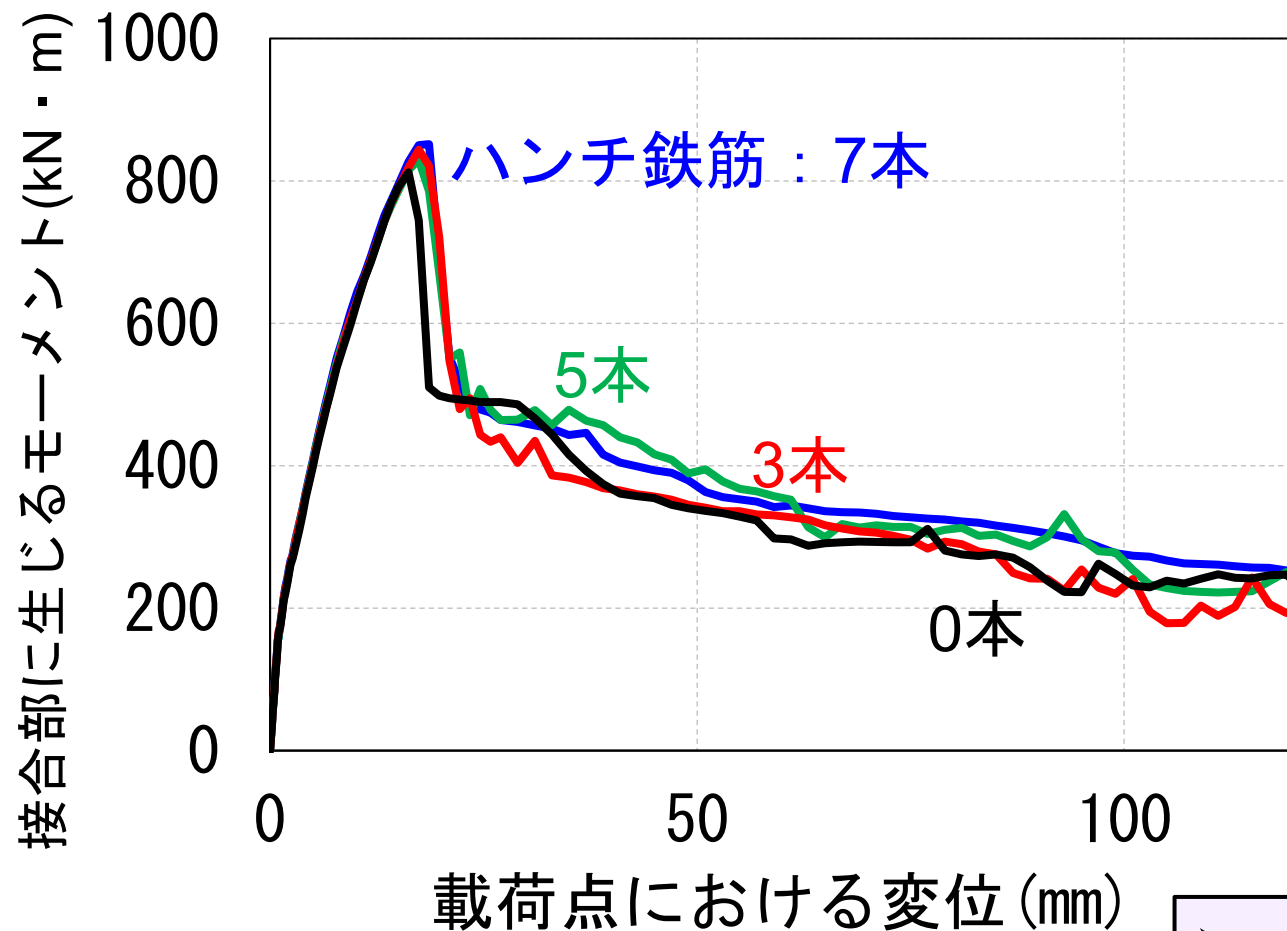
ハンチ鉄筋を変化させた場合（開く側）



➤ ハンチ鉄筋の本数により耐荷機構が変化

4. 配筋の合理化の検討

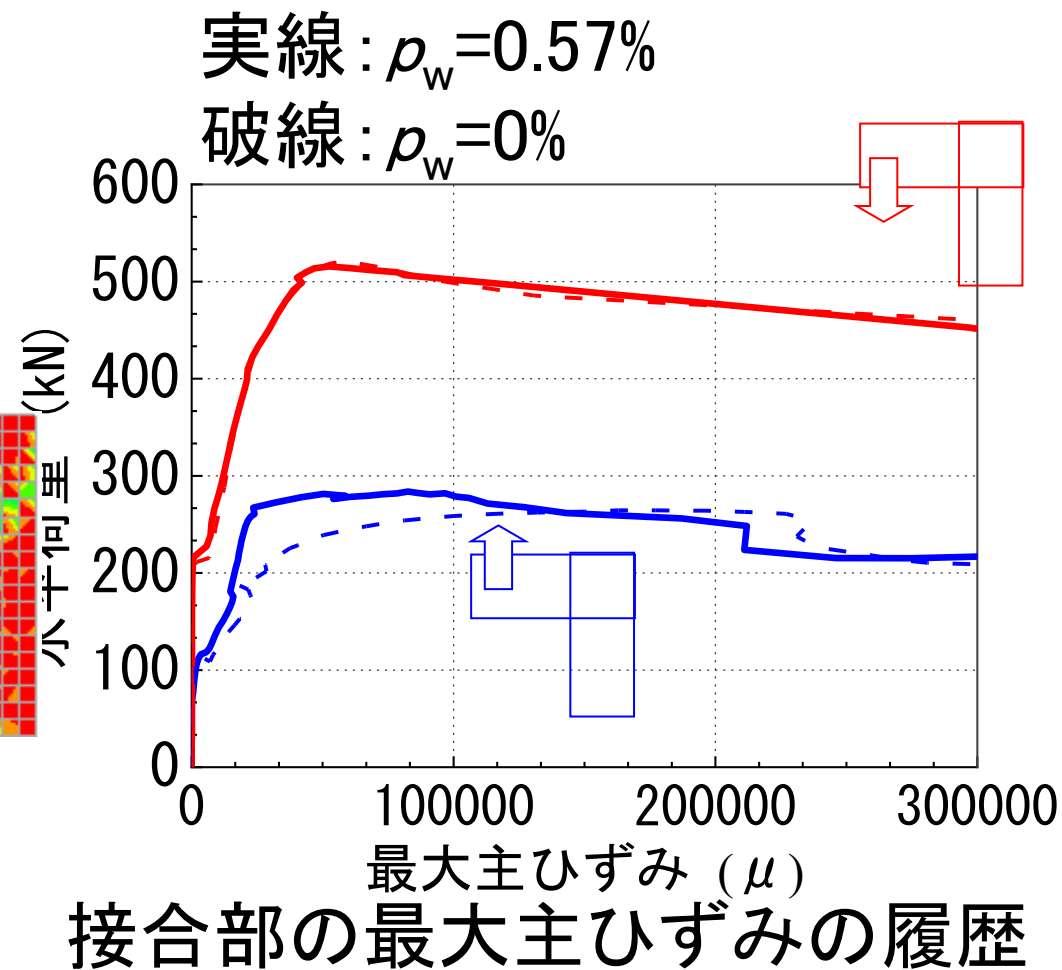
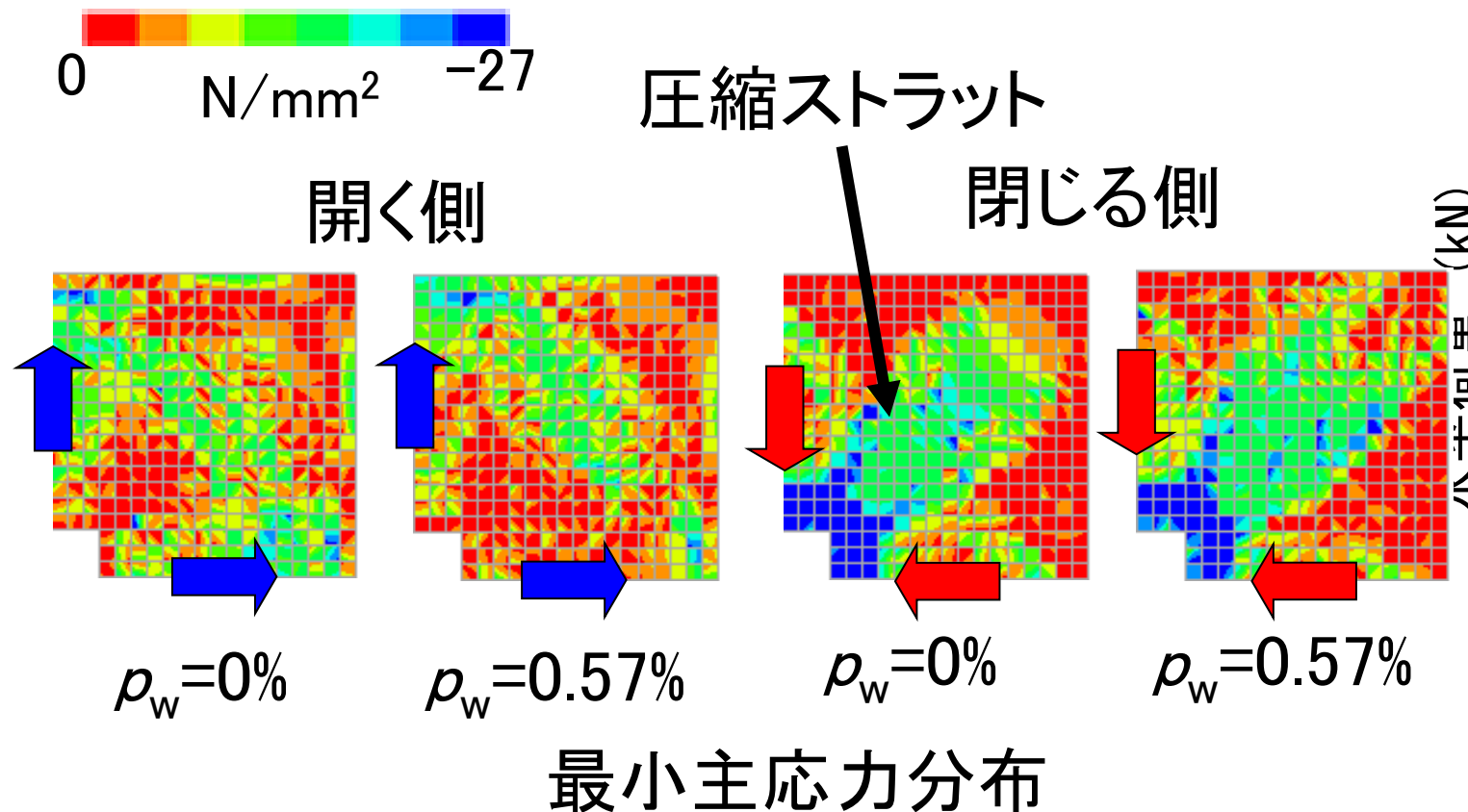
ハンチ鉄筋を変化させた場合（閉じる側）



➤ ハンチ鉄筋は耐荷機構等への影響無し

4. 配筋の合理化の検討

帯鉄筋量を変化させた場合



➤ 帯鉄筋を増加させても、圧縮ストラット幅や最大主ひずみに顕著な違い無し

4. 配筋の合理化の検討

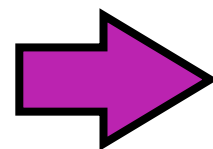
仕様（構造細目）への反映

安全性

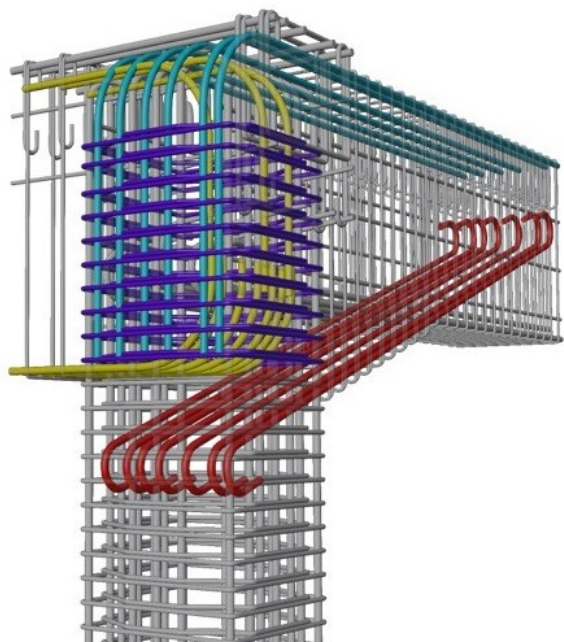
使用性

復旧性

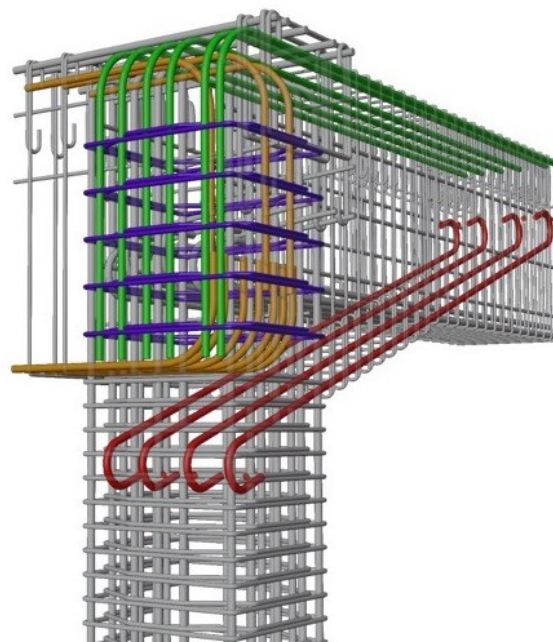
剛域



これらをすべて満たす諸元であれば
仕様として規定できる



従前（例）



改訂（例）

せん断力に対して必要な
柱のせん断補強鉄筋量と同量
（R5年RC標準）

- 柱の軸方向鉄筋の断面積の
1/2以上
 - 300mm以下の間隔
- 柱の軸方向鉄筋の降伏強度
と同等
（配筋の手引き）

本日の発表

1. 背景と目的
2. 解析の概要
3. 柱梁接合部の照査
4. 配筋の合理化の検討
5. まとめと成果の活用

5. まとめと成果の活用

-  FEMを用いた照査体系を構築した
-  FEMによって仕様に規定される配筋の見直しを図った
 - ⇒帯鉄筋量やハンチ鉄筋量の削減を実現
 - ⇒仕様に關する本成果を配筋の手引きに反映
(来年度公開予定)

参考文献

- 中田裕喜, 渡辺健, 田所敏弥: RCラーメン高架橋の柱はり接合部の構造細目が耐力に及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol.37, No.1, pp.29-35, 2023
- 鈴木瞭, 中田裕喜, 渡辺健: 有限要素解析における損傷指標に基づくL形およびT形柱はり接合部の損傷評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, pp.475-480, 2023
- 鈴木瞭, 中田裕喜, 渡辺健, 村田裕志: 直交するはりの諸元がRCラーメン高架橋の柱はり接合部の耐荷機構に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.24, pp.369-374, 2024