

## 5. 鉄骨造建築物の基準の整備に資する検討

以下2つの課題毎に委員会を設置  
「建築研究所」との共同研究として調査を実施

- (イ) 幅厚比の規定に抵触するH形鋼柱の補強方法に関する検討
- (ロ) 立体的に複雑な接合部分の例示仕様の整備に関する検討

宇都宮大学  
千葉大学  
東京工業大学  
京都大学  
北海道工業大学

平成23年度 建築基準整備促進事業

## 5. 鉄骨造建築物の基準の整備に資する検討

### (イ) 幅厚比の規定に抵触する H形鋼柱の補強方法に関する検討

千葉大学・京都大学

# 調査の実施概要と委員会の構成

## 調査の実施概要

幅厚比の大きいH形断面柱を対象として、スチフナ補強したときの力学挙動（最大耐力・塑性変形能力）を実験と解析によって確認し、補強効果を定量的に評価した。

**載荷実験による検証  
(京都大学)**

**有限要素法解析による検証  
(千葉大学)**

主査	長谷川 隆	独立行政法人 建築研究所
幹事	聲高 裕治	京都大学
委員	原田 幸博	千葉大学
〃	伊藤 隆之	株式会社 間組
〃	牧田 敏郎	〃
協力委員	向井 昭義	国土交通省 国土技術政策総合研究所

# 調査報告書（目次）

1. 序
2. **H形断面部材の局部座屈に関する文献調査**
  - 2.1 基準・指針におけるH形断面柱の幅厚比の制限値
  - 2.2 局部座屈を伴うH形断面部材の力学挙動に関する既往の研究
  - 2.3 H形断面部材の局部座屈を抑制するための既往の研究
3. **スチフナ補強されたH形断面柱の塑性変形能力確認実験**
  - 3.1 実験の目的
  - 3.2 試験体と実験パラメータ
  - 3.3 載荷方法・計測方法
  - 3.4 実験結果（単調載荷の場合）
  - 3.5 考察（単調載荷の場合）
  - 3.6 実験結果（繰返し載荷の場合）
  - 3.7 まとめ
4. **H形鋼柱のスチフナ補強による塑性変形能力向上に関する数値シミュレーション**
  - 4.1 有限要素解析モデル
  - 4.2 載荷実験結果と数値シミュレーション結果の比較
  - 4.3 補強方法に関するパラメトリックスタディ
  - 4.4 まとめ
5. **まとめと課題**

# 1. 序

## 背景：建築基準法の改正（平成19年）

鉄骨造建築物の計算ルート2で、幅厚比の当面の緩和値（F Bランク）が廃止された。

→これまでにルート2でF Bランク部材で設計された建築物が、増改築時に既存不適格となる恐れがある。

## 経緯：建築基準整備促進事業（平成22年度）

H形断面梁をスチフナ等で補強する方法について、載荷実験とF E M解析による検証を行なった。

→スチフナの設置位置や設置数等と塑性変形能力の関係を明らかにした。

→**H形断面柱**（工場・倉庫・体育館等で使われる場合が多い）を対象に、スチフナの補強効果を、載荷実験とF E M解析によって検討することが課題として示された。

# 3. スチフナ補強されたH形断面柱の 塑性変形能力確認実験

## 載荷実験による補強効果の検証

### ■ 補強方法の影響

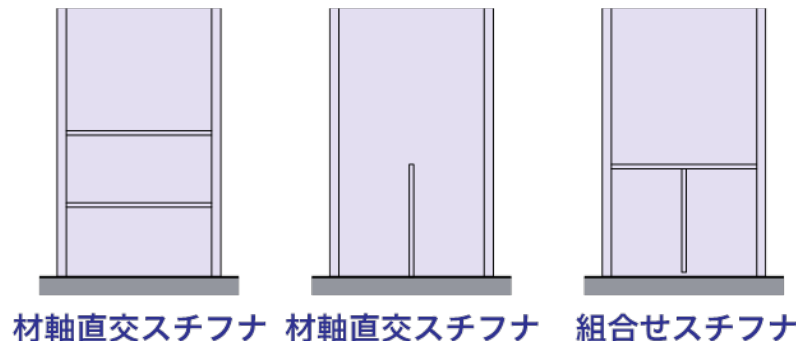
- ・ フランジ間に水平スチフナを設ける方法  
→ 材軸直交スチフナ補強
- ・ ウェブに鉛直スチフナを設ける方法  
→ 材軸平行スチフナ補強
- ・ 上記の組合せによる方法  
→ 組合せスチフナ補強

### ■ 補強箇所の影響

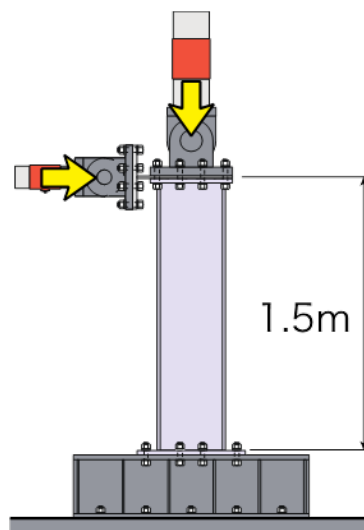
- ・ スチフナの間隔
- ・ スチフナの設置箇所数

### ■ 柱の作用軸力の影響

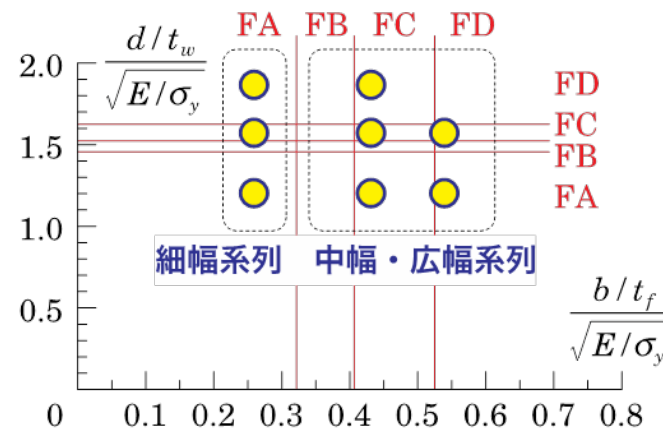
### ■ 載荷履歴の影響



### 補強方法



### 載荷方法



### 試験体の幅厚比分布

# 3. スチフナ補強されたH形断面柱の 塑性変形能力確認実験

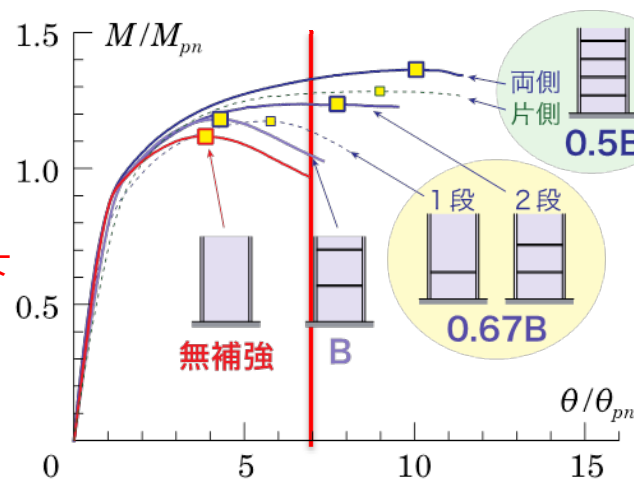
## 載荷実験より得られた主な知見

### ■ 材軸直交スチフナ補強

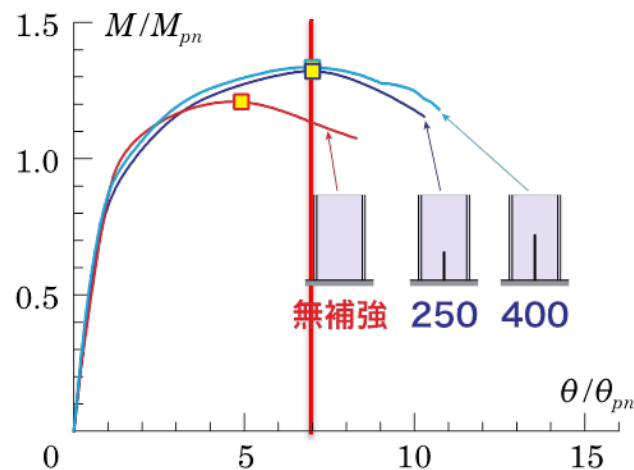
- ・ スチフナの補強間隔
  - 細幅・中幅：フランジ幅の1/2倍以下
  - 広幅：十分な補強効果を確認できず
- ・ 補強高さ
  - 無補強部を塑性化させない
- ・ 補強の面
  - ウェブの片側だけの補強でも可  
(さらに検討が必要)

### ■ 材軸平行スチフナ補強

- ・ スチフナの長さ (補強高さ)
  - 無補強部を塑性化させない
- ・ スチフナの設置箇所数 (補強間隔)
  - せい方向に1箇所  
(さらに検討が必要)
- ・ 補強の面
  - ウェブの片側だけでよい



材軸直交スチフナ補強



材軸平行スチフナ補強



# 4. H形鋼柱のスチフナ補強による塑性変形能力向上に関する数値シミュレーション

## 数値シミュレーションによる実験結果の再現

### 有限要素解析：

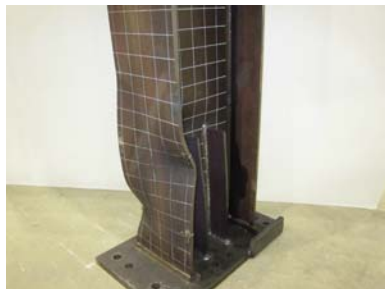
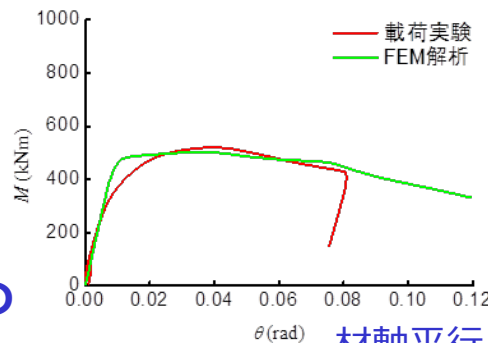
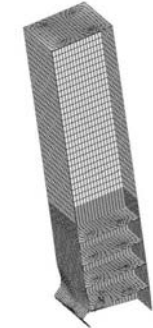
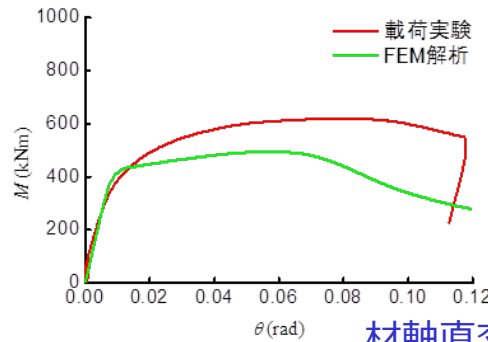
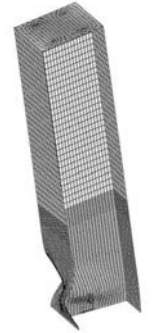
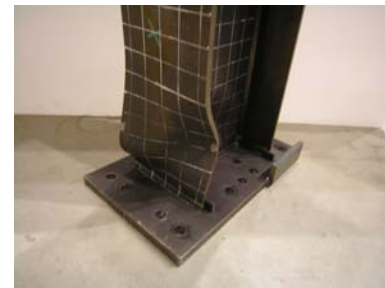
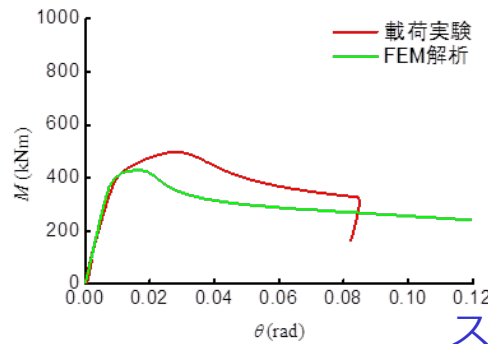
■ 荷重実験の試験体をモデル化して有限要素解析による数値シミュレーションを実施し、実験結果をどの程度再現できるかを検証した。

### 成果：

■ スチフナ補強による局部座屈の発生位置、荷重-変形関係を再現できることを確認した(ただし、部材耐力はやや過小評価)。

→ 荷重実験で検証できなかった補強設計パラメータの影響を調べる

実験結果とシミュレーション結果の比較の例(フランジFB, ウェブFB)





# 4. H形鋼柱のスチフナ補強による塑性変形能力向上に関する数値シミュレーション

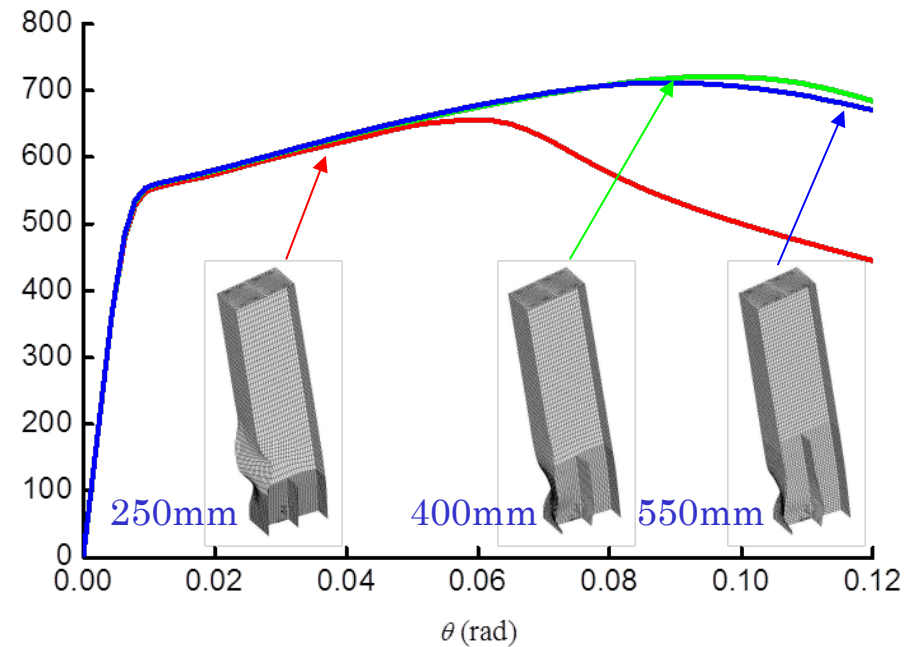
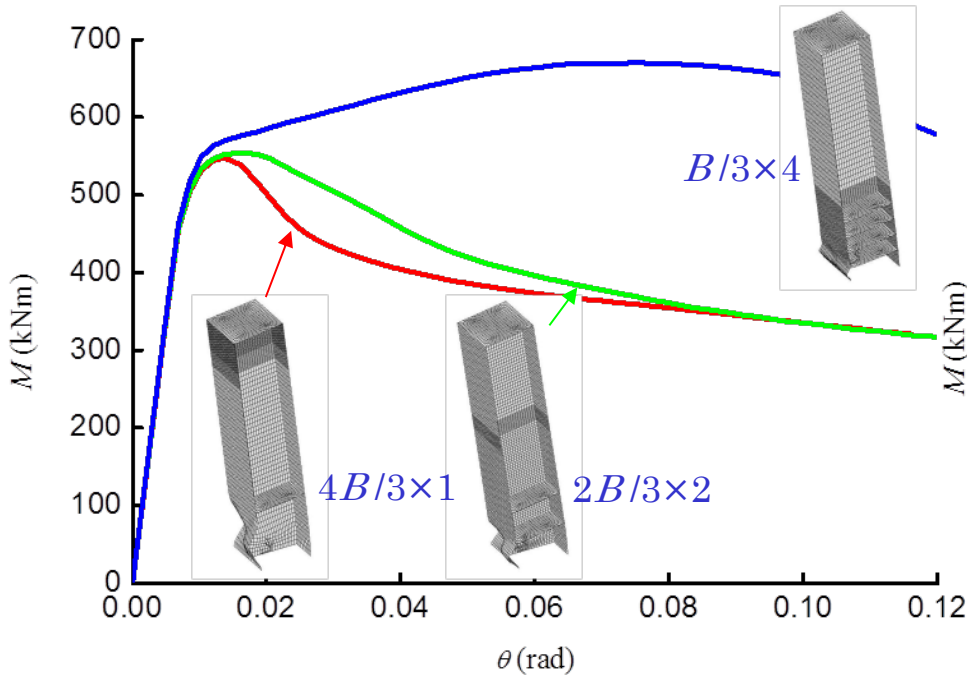
## 補強効果に関するパラメトリックスタディ

### 例1. 材軸直交スチフナ間隔：

- 補強区間長さが同じでも、スチフナ間隔が長い(フランジ幅 $B$ を超える)と補強効果は見込めない

### 例2. 材軸平行スチフナ長さ：

- フランジ局部座屈箇所を補強区間に収めるために必要なスチフナ長さあり、補強効果も頭打ち



材軸直交スチフナによる補強区間長さが同じH形断面柱のスチフナ間隔による荷重-変形関係の違い(フランジFC, ウェブFA)

材軸平行スチフナ長さによる荷重-変形関係の違い(フランジFA, ウェブFD)

## 5. まとめと課題

### 材軸直交スチフナ補強

- 補強長さは、作用軸力やモーメント勾配を考慮して、無補強部を塑性化させないように決定する必要がある。
- 補強長さが同じでも、スチフナ間隔が大きい（フランジ幅 $B$ を超える）と補強効果が見込めない。細幅・中幅断面では、スチフナ間隔をフランジ幅の1/2以下にすることで高い塑性変形能力を得ることができる。
- スチフナをウェブの片側だけに設ける場合、両側に設ける場合と比べてほぼ同等の塑性変形能力が得られる。

### 材軸平行スチフナ補強・組合せスチフナ補強

- 高い塑性変形能力が得られる条件を、限定的な断面形（フランジ $FA$ ・ウェブ $FC$ ）に対して確認することができた。
- 上記の場合は、スチフナをウェブの片側だけに設ければよい。
- スチフナの長さ・設置箇所数などについては、定性的な傾向を把握したが、定量的には十分な成果が得られなかった。

平成23年度 建築基準整備促進事業

## 5. 鉄骨造建築物の基準の整備に資する検討

### (口) 立体的に複雑な接合部分の 例示仕様の整備に関する検討

宇都宮大学・東京工業大学・北海道工業大学

# (ロ) 立体的に複雑な接合部分の 例示仕様の整備に関する検討

## 調査の実施概要

### 接合部ディテール集の作成と接合部に関する実験による検証

#### 1) 接合部ディテール集の作成

- ①対象接合部の選定・追加
- ②対象接合部の問題点整理
- ③接合部ディテールの提案, 留意点の検討

#### 2) 立体的に複雑な接合部の実験

- |                       |           |
|-----------------------|-----------|
| ①鉛直ハンチを有する梁端接合部に関する実験 | (宇都宮大学)   |
| ②梁段違い形式の柱梁接合部に関する実験   | (宇都宮大学)   |
| ③勾配を有する梁と柱の接合部に関する実験  | (北海道工業大学) |
| ④梁が偏心接合する接合部に関する実験    | (東京工業大学)  |
| ⑤ブレース接合部に関する実験        | (東京工業大学)  |

# 調査概要

**立体的に複雑な接合部**，たとえば柱梁接合部で部材が直交しない場合や梁せいが異なる場合は標準的な接合部ディテールが普及していない

- 工作や超音波検査に問題がある接合部が生じる
- 力学的な応力伝達が不明確なため、実験結果に基づく力学的な検証がなされていない

設計実務者および鉄骨製作実務者から構成される**接合部委員会**を組織

接合部ディテールに関する実態調査，問題点の整理，対応方法の検討

これらの結果を**接合部ディテールのシート**としてまとめ，設計者や鉄骨製作実務者が実務を行う上で役立つものにするとともに，鉄骨造建築物の確認検査や適合性判定などで判断が難しい場合に役に立つような基礎的資料を作成することが本調査の目的である。

**立体的に複雑な接合部の実験**を行い，その力学挙動を検証する。

今後の接合部設計および接合部ディテール集の提案に生かす実験データを得ることが実験の目的である。

# 調査報告書（目次）

1. 序
2. 角形鋼管柱を用いた柱梁接合部  
(1) ～ (14)
3. H形断面柱を用いた柱梁接合部  
(1) ～ (6)
4. ブレース端接合部  
(1) ～ (4)
5. 柱脚  
(1) ～ (5)
6. その他
  - 6.1 継手・小梁端接合部
  - 6.2 横補剛関連接合部
  - 6.3 ファスナー関連接合部
  - 6.4 水平ブレース端接合部
  - 6.5 鉛直ハンチの補強
7. まとめと課題

# 委員会の構成

## 接合部ディテール調査委員会（五十音順，敬称略）

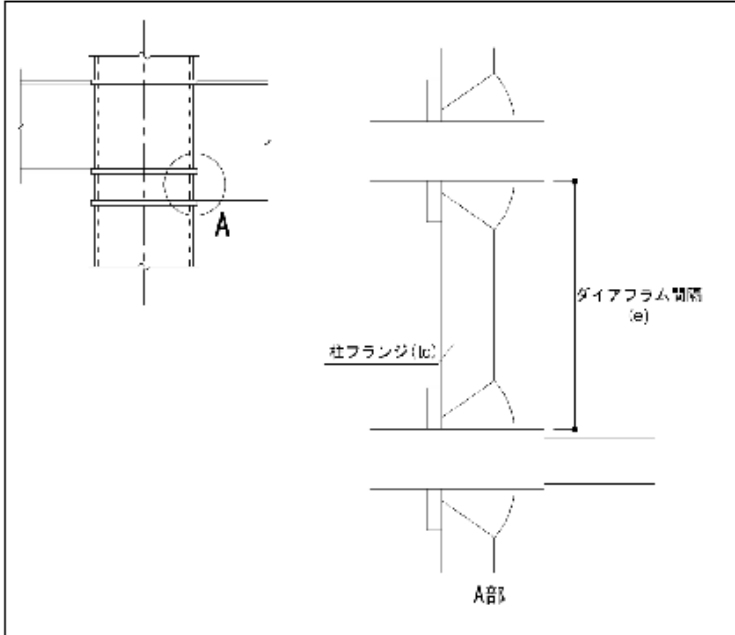
委員	長	増田	浩志	宇都宮大学
幹	事	長谷川	隆	独立行政法人建築研究所
委	員	青野	弘毅	那須ストラクチャー工業株式会社
		大塚	英郎	株式会社大林組
		香取	修治	株式会社駒井ハルテック
		小林	秀雄	株式会社日本設計
		小林	義信	株式会社アルテス
		櫻井	優貴	株式会社山下設計
		関	清豪	大成建設株式会社
		多賀	謙蔵	神戸大学
		田沼	吉伸	北海道工業大学
		横山	幸夫	株式会社駒井ハルテック
協力委員		西山	功	国土交通省国土技術政策総合研究所
		向井	昭義	国土交通省国土技術政策総合研究所

# 接合部ディテール集 (ダイアフラムの段差)

## 4. ダイアフラムの段差

柱フランジの板厚が与えるダイアフラムの間隔。

### ○検討対象とする接合部ディテール



### ○検討課題

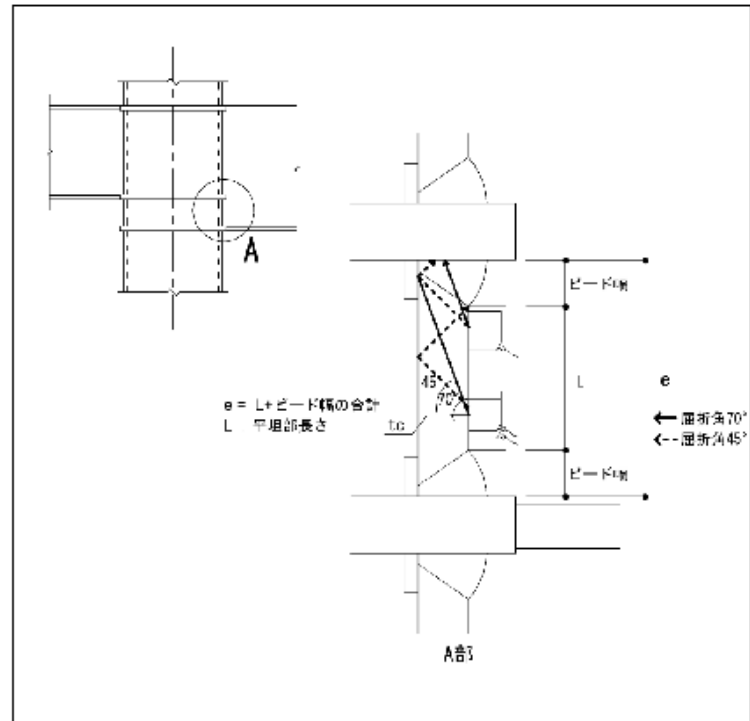
超音波探傷検査が可能な寸法を検討する。

### ○検討課題に対応した接合部のディテールの例

一般には段差 150mm くらいが目安となるが、柱フランジ厚さ(tc)に応じて変化する。ここでは一例として、詳細検討した結果を以下に示す。

柱フランジ厚	tc=25mm	許容段差 (内々寸法)	e=125mm 以上
"	tc=28mm	"	e=135mm "
"	tc=32mm	"	e=150mm "
"	tc=36mm	"	e=160mm "

(ルートギャップ：7mm, 開先角度：35°, 屈折角：45°, 70° 併用の場合)



### ○検討課題対応に関する留意点

内々寸法、板厚を考慮して検討する必要がある。

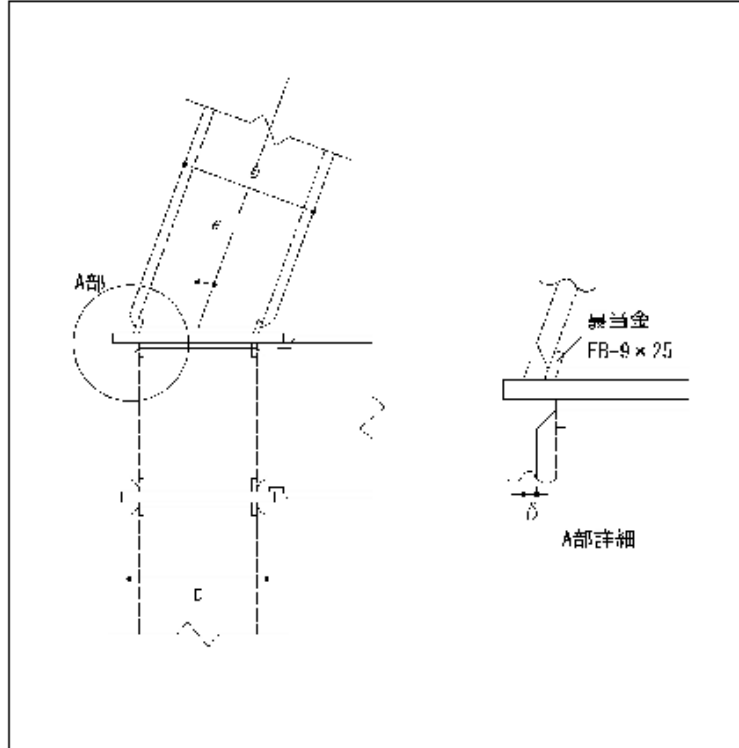


# 接合部ディテール集 (斜め柱に取り合う柱梁接合部)

## 13. 斜め柱に取り合う柱梁接合部

斜線制限から、柱をセットバックさせる場合、接合部に食違いが生じる。

### ○検討対象とする接合部ディテール

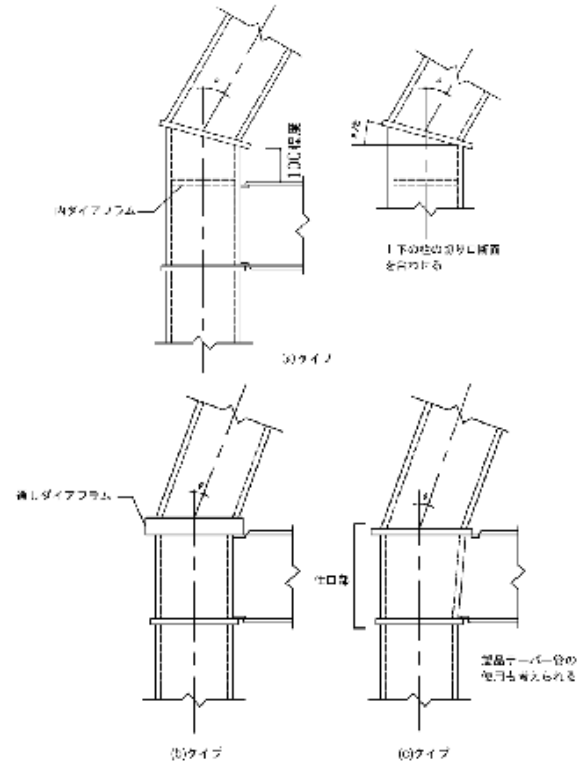


### ○検討課題

柱のずれによる応力伝達を検討する。

### ○検討課題に対応した接合部のディテールの例

- ①仕口上部で折り曲げ点を設ける。(a) タイプ。
- ②ダイヤフラムを厚くする。(b) タイプ。
- ③仕口部テーパ形状とする。(c) タイプ。



※ (社) 日本鋼構造協会「実例でわかる工作しやすい鉄骨設計 (第3版) 検討」, 技報堂出版, P.49 参照

### ○検討課題対応に関する留意点

- ① (b) タイプにおけるダイヤフラム板厚の決定方法。  
参考として、以下の文献がある。  
※鉄骨 Q&A 委員会、「建築技術者の鉄骨 Q&A (2集)」, 1998年, PP.11.
- ②別途参考として以下がある。  
※ (社) 日本鉄鋼連盟, ボックスコラム委員会, 冷間成形角形鋼管「Q&A」集  
2007年1月, PP.13.

# 調査報告書（目次）

1. 序
2. 鉛直ハンチを有する梁端接合部に関する実験
3. 梁段違い形式の柱梁接合部に関する実験
4. 勾配を有する梁と柱の接合部に関する実験
5. 梁が偏心接合する接合部に関する実験
6. ブレース接合部に関する実験
7. まとめと課題

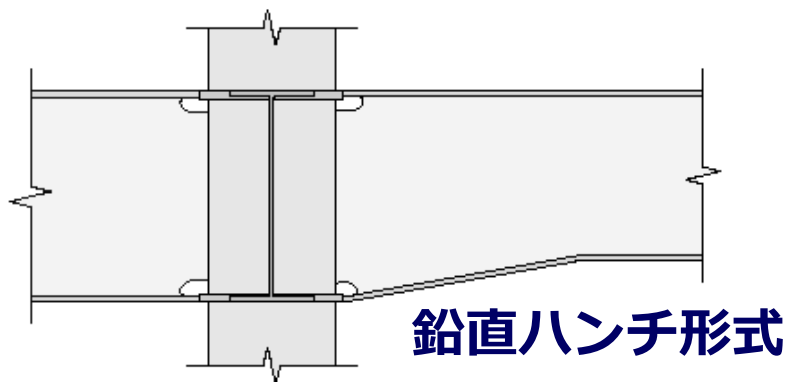
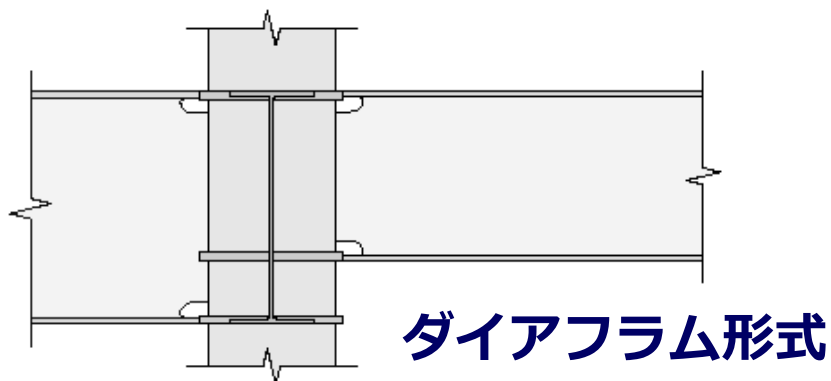
# 委員会の構成

## 接合部実験WG（五十音順，敬称略）

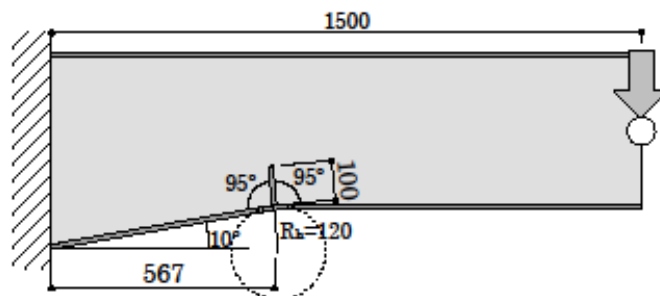
主	査	長谷川	隆	独立行政法人建築研究所
委	員	石原	直	独立行政法人建築研究所
	//	吉敷	祥一	東京工業大学
	//	前田	憲太郎	北海道工業大学
	//	増田	浩志	宇都宮大学
	//	山田	哲	東京工業大学
協力委員		向井	昭義	国土交通省 国土技術政策総合研究所

## 2. 鉛直ハンチを有する梁端接合部に関する実験

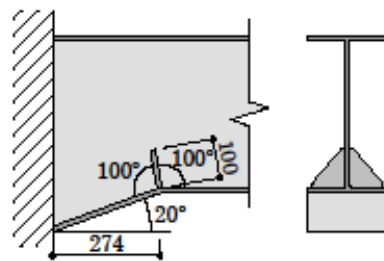
左右で梁せいの異なる梁を接合する場合，ハンチ先端近傍の応力集中とこれに起因する梁ウェブおよび梁フランジの早期座屈が生じる可能性がある．補強方法に関して信頼性のある実験データがない．FEM解析および実験によって基本性状を検討する．



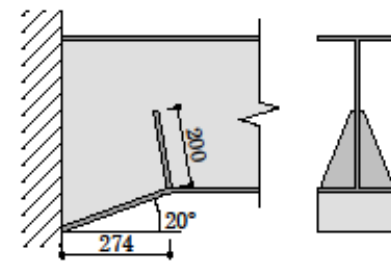
梁段差形式の柱梁接合部



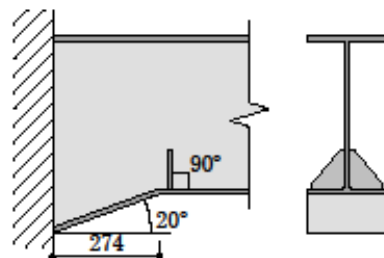
(e,f)B/2スチフナハンチ曲げ加工部中央



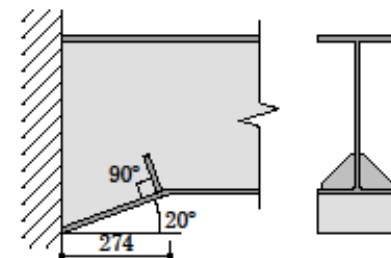
(i,j)B/2スチフナハンチ曲げ加工部中央



(k)2×B/2スチフナハンチ曲げ加工部中央



(l)B/2スチフナハンチ曲げ加工部始端

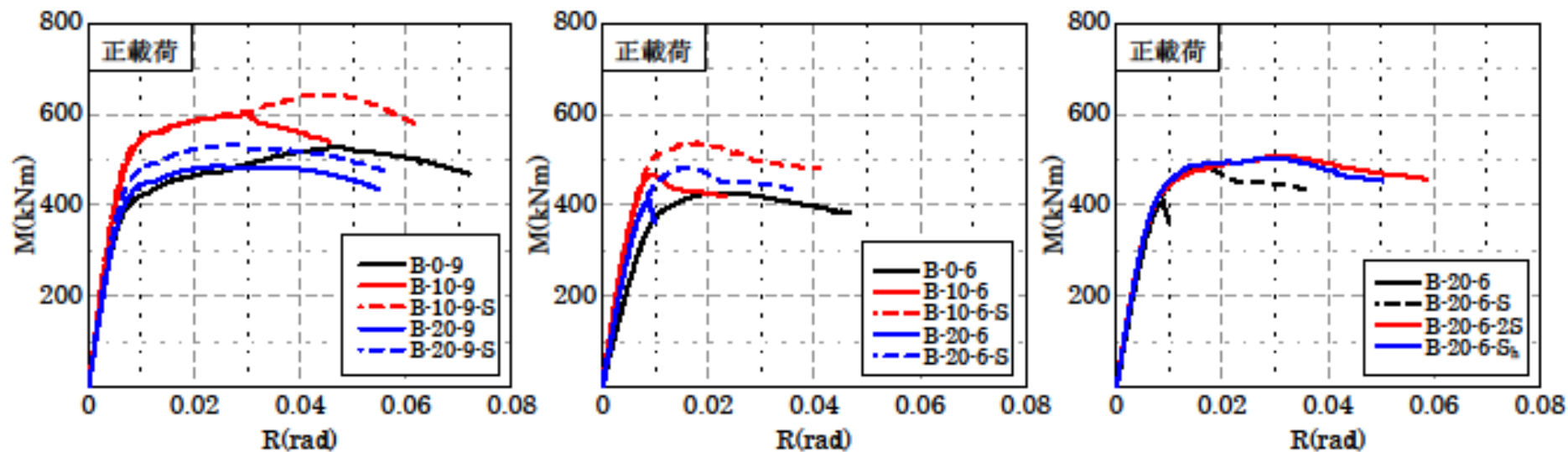


(m)B/2スチフナハンチ曲げ加工部終端

FEM解析変数例

## 2. 鉛直ハンチを有する梁端接合部に関する実験

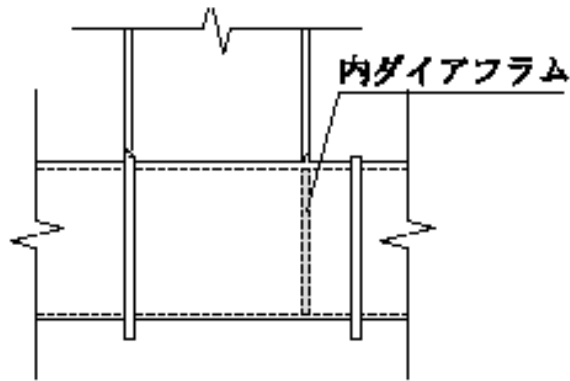
- ・ FEM解析結果から、ハンチ部の補強スチフナの取付け位置について始端、中央部、終端部の違いによる影響は小さい。
- ・ 鉛直ハンチ先端にヒンジが生じる場合、梁端にヒンジが生じる場合のいずれの場合でも補強スチフナが必要と考えられる。
- ・ 実験結果から、補強スチフナの長さは長い方が補強効果が高いが、梁幅の1/2の長さの補強スチフナによって十分な効果が得られる。



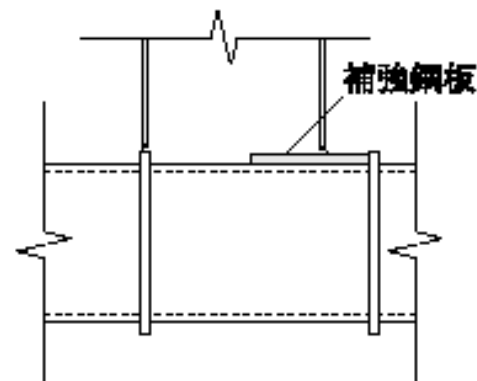
骨格曲線

### 3. 梁段違い形式の柱梁接合部に関する実験

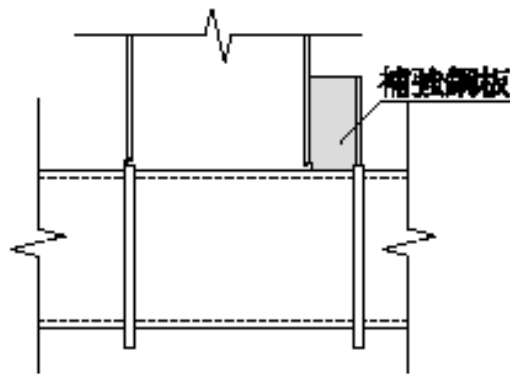
梁段違い形式の柱梁接合部について、水平ダイアフラムおよび鉛直ハンチを設けることなく、比較的製作が容易である柱補強形式や梁端補強形式の試験体を用いて、採用できる標準ディテールの提案を行う。



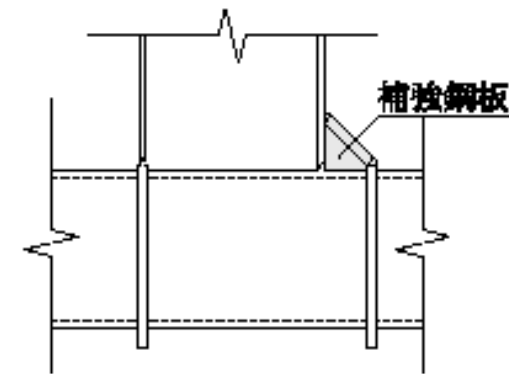
内ダイアフラム形式



柱補強形式



カットティ補強形式



プレートハンチ補強形式

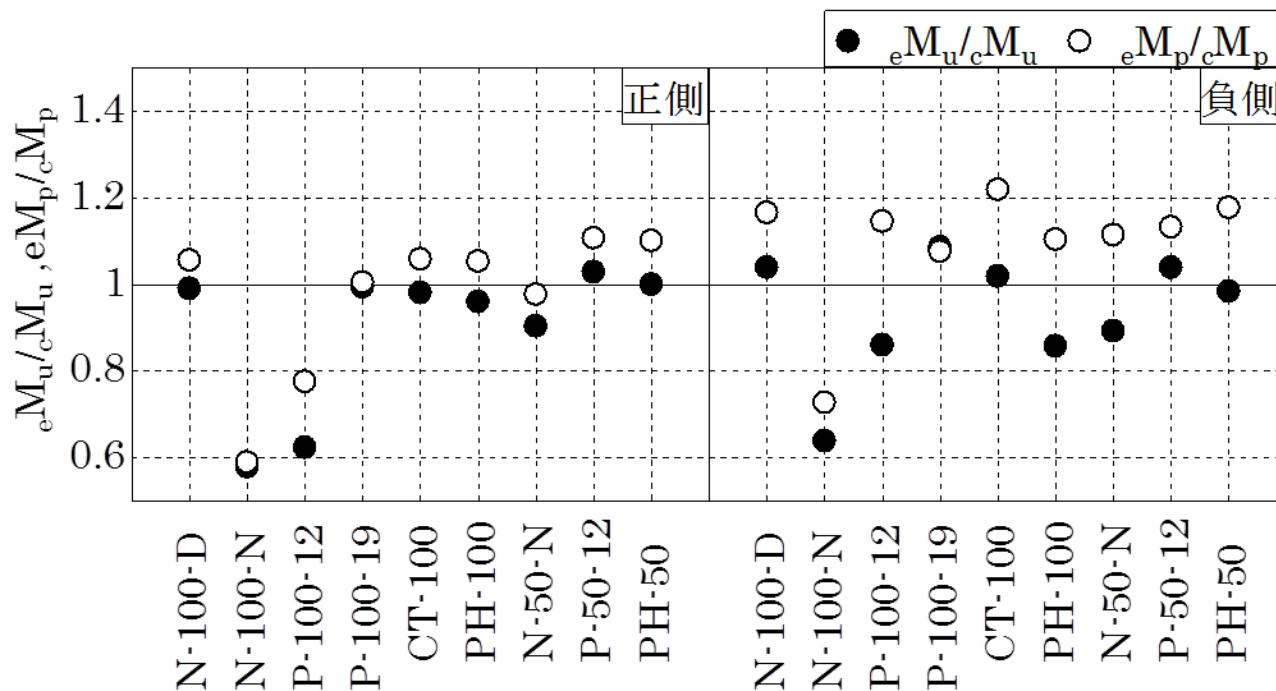
梁段差形式の柱梁接合部

### 3. 梁段違い形式の柱梁接合部に関する実験

・柱補強形式について，適切な板厚を用いることによって，内ダイアフラム形式と同程度の耐力と変形能力が期待できる．補強板厚が小さい場合，面外曲げ変形によって補強鋼板の隅肉溶接が早期に破断する可能性がある．

・カットティ形式について，本試験体のディテールでは十分な補強効果が期待できる．カットティウェブと梁フランジの溶接部に亀裂が生じるため，カットティウェブ厚の増大，溶接部の端部処理に留意が必要である．

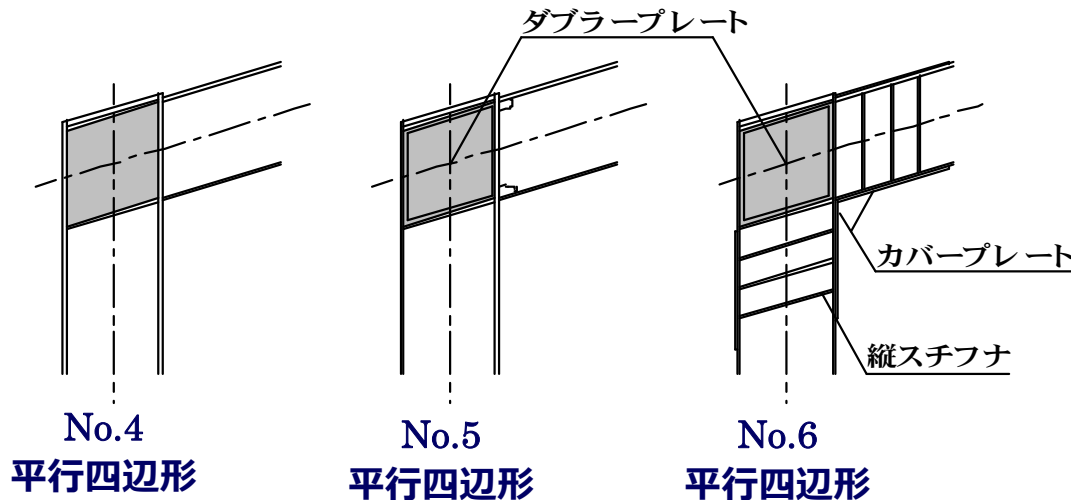
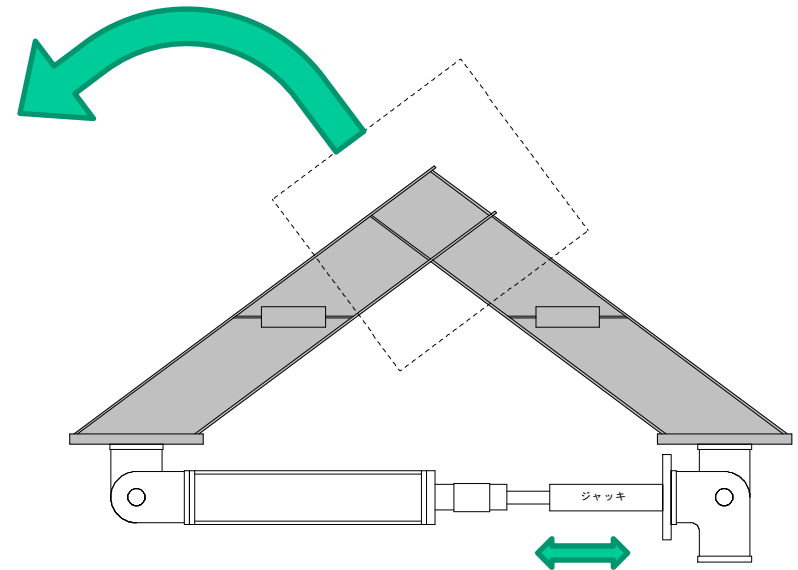
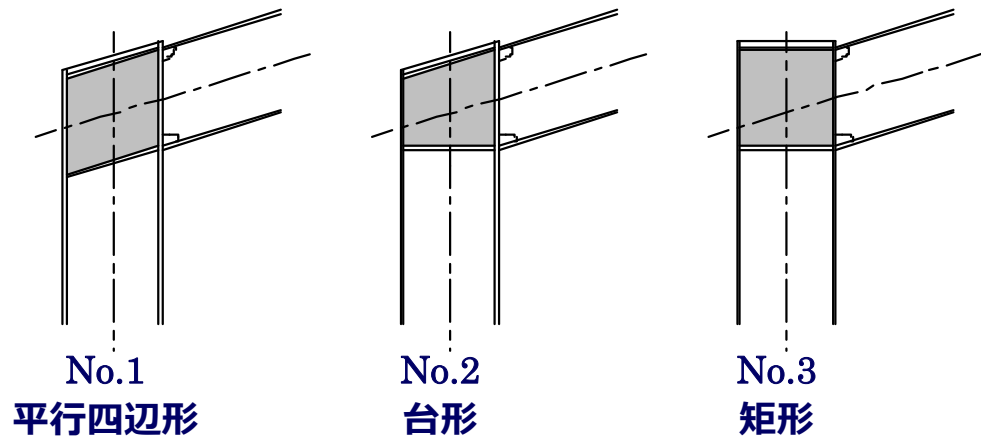
・プレートハンチ形式について，梁せい差50mmの場合，本試験体のディテールでは十分な補強効果が期待できる．梁せい差100mmの場合，ハンチが圧縮力を受ける側の載荷で全塑性耐力が80%程度となる．プレートハンチの板厚を大きくする必要がある．



全塑性曲げ耐力および最大曲げ耐力評価

# 4. 勾配を有する梁と柱の接合部に関する実験

目的：柱にH形鋼を用いた山形ラーメンや片流れラーメンの柱梁接合部パネルの形状は矩形ではない形状が多く、この場合の耐力の算定方法は明らかではない。本実験では、接合部パネルの形状、スカラップおよび補強がパネル耐力に与える影響について検討する。



- No.4 : No.1のスカラップ無し
- No.5 : No.1+ダブラープレート補強
- No.6 : No.1+ダブラープレート補強  
+ 部材端補強  
(No.1と同程度のパネル降伏比)



# 4. 勾配を有する梁と柱の接合部に関する実験

成果：

パネル形状の比較

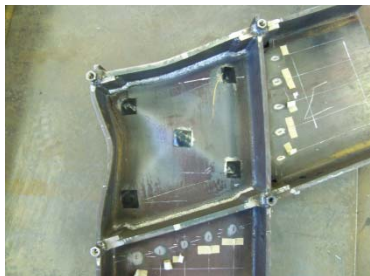
- 台形(No.2)と矩形(No.3)では指針式による計算値により安全側に評価し、平行四辺形(No.1)では計算値をわずかに下回った。
- 指針式によるパネル体積が等しい平行四辺形(No.1)と矩形(No.3)では、矩形の場合が平行四辺形の1割程度降伏耐力が高い。

スカラップの有無

- スカラップを有する場合は、無い場合に比べ降伏耐力が本実験では1割程度降伏耐力が低下した。

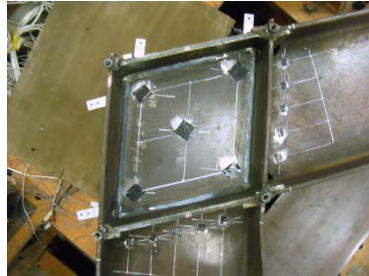
補強の効果

- 降伏耐力の計算値を下回ったが、無補強のNo.1に比べ補強の効果は確認できた。
- パネル降伏比が1.3となるNo.5では、柱・梁部材の部材角が1/30になるまでパネルに大きな塑性化は見られず、柱端部の圧縮側フランジの座屈により終局を迎えた。



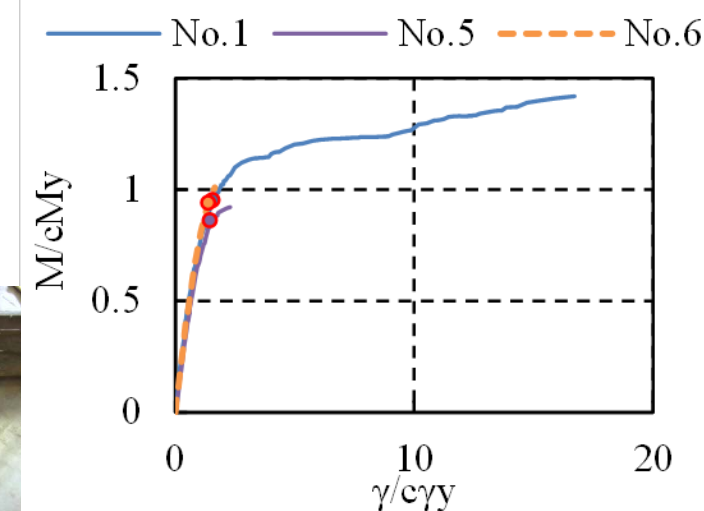
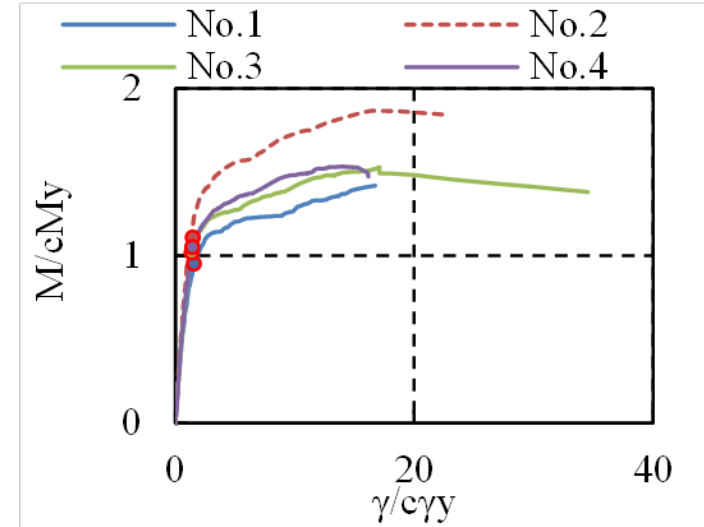
終局状態(No.1)

No.1~No.4はパネル部の面外座屈



終局状態(No.5)

No.5、6はパネル部に大きな損傷は見られない。No.5は柱端部の座屈により終局。



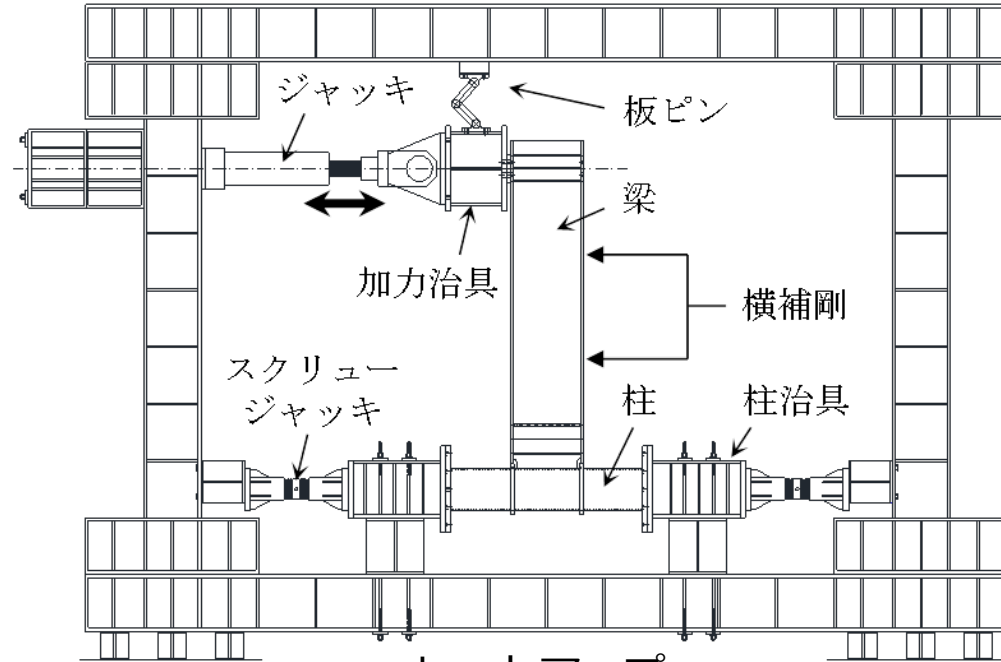
モーメントとパネルせん断変形角  
無次元化骨格曲線

# 5. 梁が偏心接合する接合部に関する実験

目的：

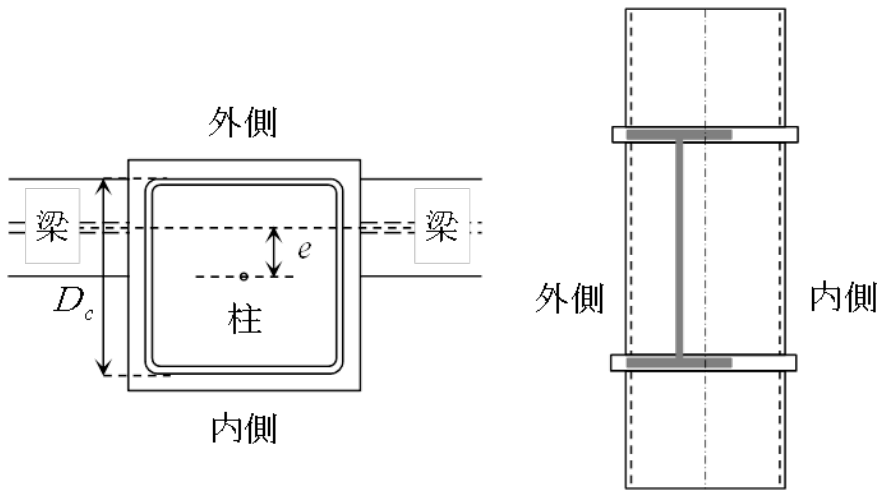
実際の建物では外壁の取り付けなどの関係から、外周架構において梁と柱の外縁を合わせる形で接合(偏心接合)されることが多い。

このような接合部では両側パネルの負担モーメントが均等にならず、**片方のパネルに変形が集中**する。また、梁フランジのひずみ分布が変化することで、**梁の早期破断につながる可能性がある**。これらの影響を実験により検討した。



セットアップ

試験体



試験体名称	梁断面	パネル断面	降伏型	偏心
C-200-12	H-500 × 200 × 10 × 16	□-300 × 300 × 12	梁先行	無
E-200-12			有	
C-200-9	H-500 × 200 × 10 × 16	□-300 × 300 × 9	パネル先行	無
E-200-9			有	
C-150-9	H-500 × 150 × 10 × 16	□-300 × 300 × 9	梁先行	無
E-150-9			有	

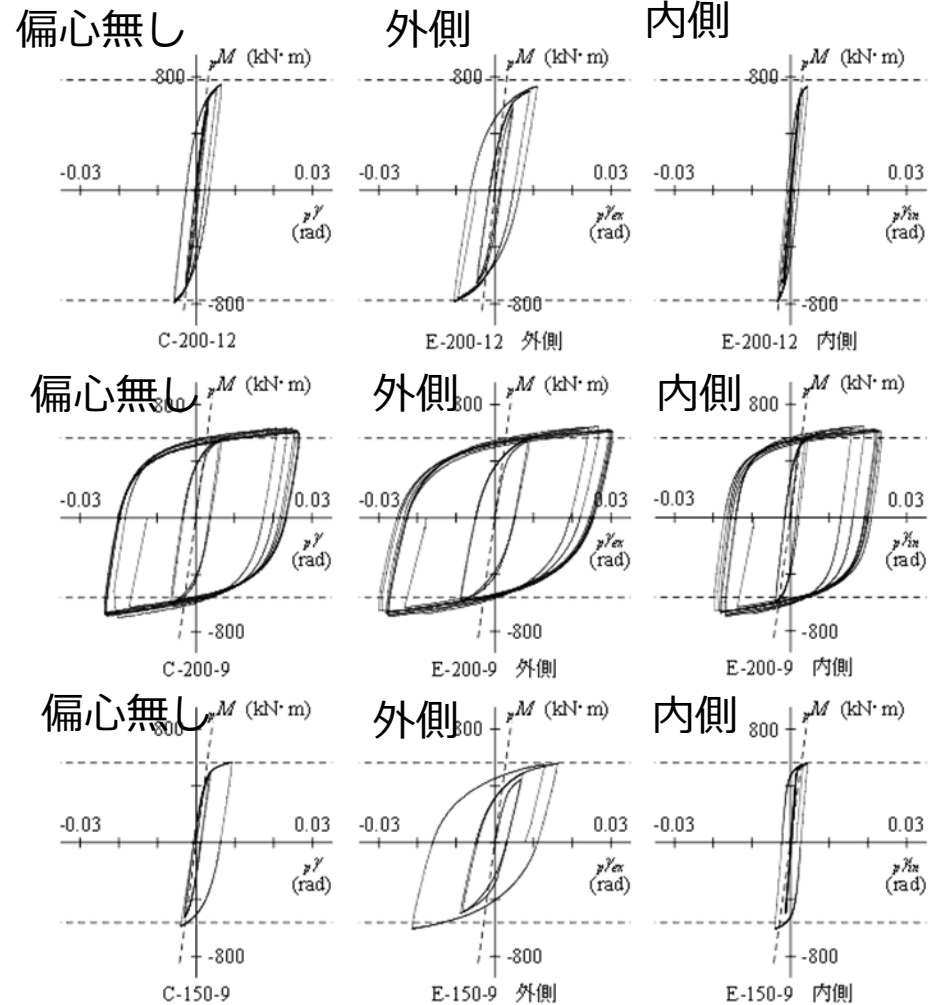
# 5. 梁が偏心接合する接合部に関する実験

成果と今後の課題：

・ 偏心の影響で梁が取り付く外側のパネルが先行降伏することは許容応力度設計上検討すべき課題であるが、塑性化後は内外のパネルの変形は同程度に近づくことから塑性設計の観点では偏心の影響は大きくない。

・ 偏心することでもたまたま、多少接合部におけるウェブのモーメント伝達効率は向上するが、梁フランジひずみ分布が偏ることから梁の塑性変形能力が少し低下した。低下量は耐震性能上問題となるほどのものではない。

・ 梁・パネルの耐力比とエネルギー吸収能力も考慮し、骨組の耐震性能を確保するための必要性能を検討する必要がある。

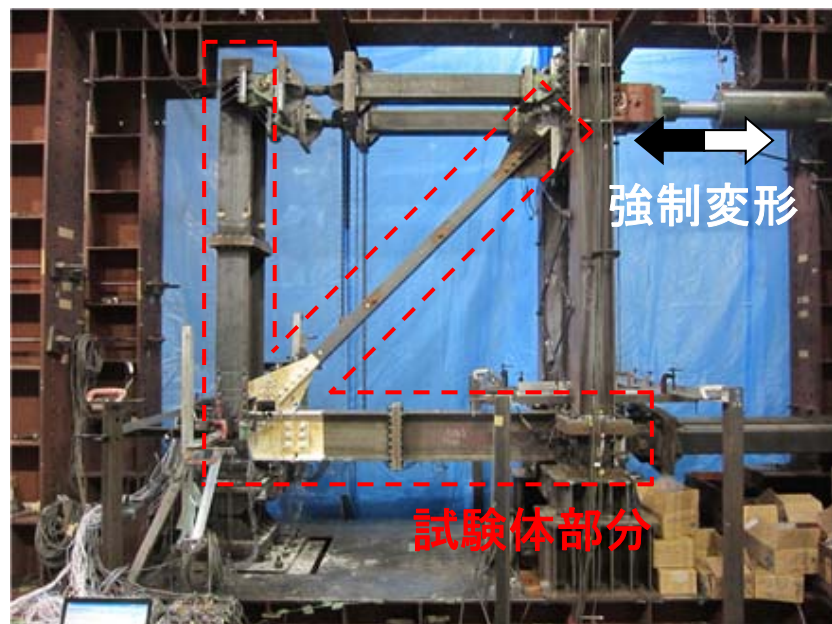


パネルの荷重-変形関係

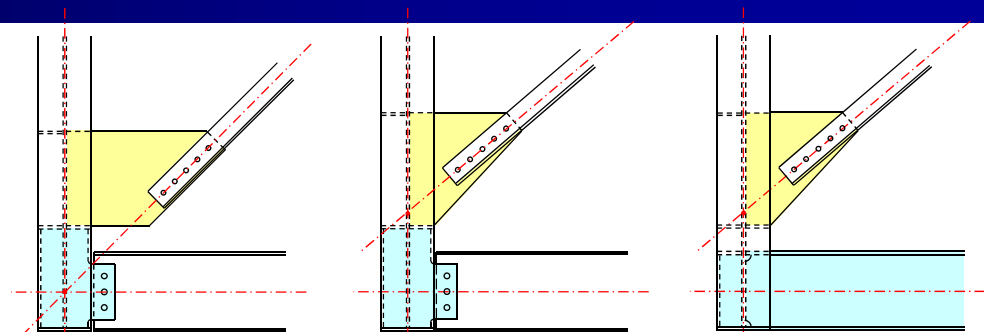
# 6. ブレース接合部に関する実験

目的：

施工性を優先するために明らかに剛性・耐力が不足するような接合部の採用が散見されるブレース接合部について、柱梁とブレース端の接合ディテールをパラメータとした実験を行い、立体的に複雑な接合部における力学的性状を検証する。

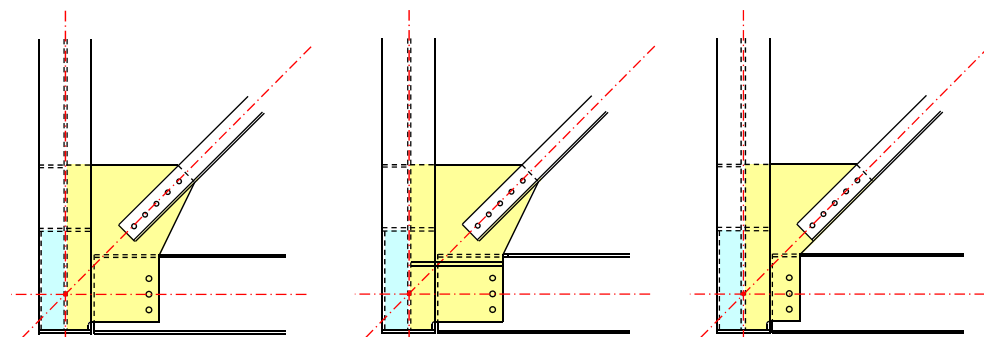


実験セットアップ

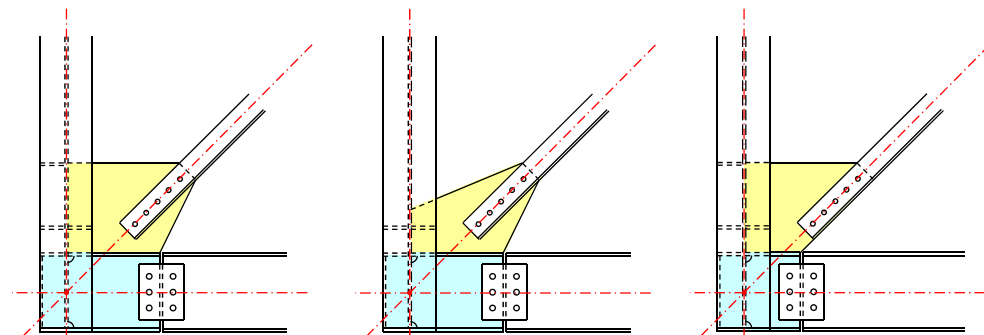


非推奨

偏心許容ディテール



梁端・ブレース端兼用ディテール

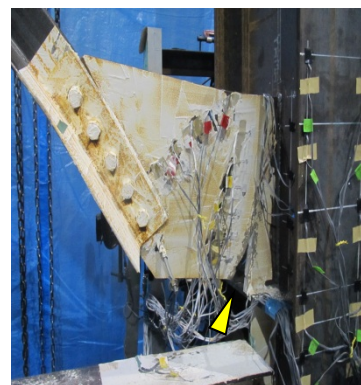
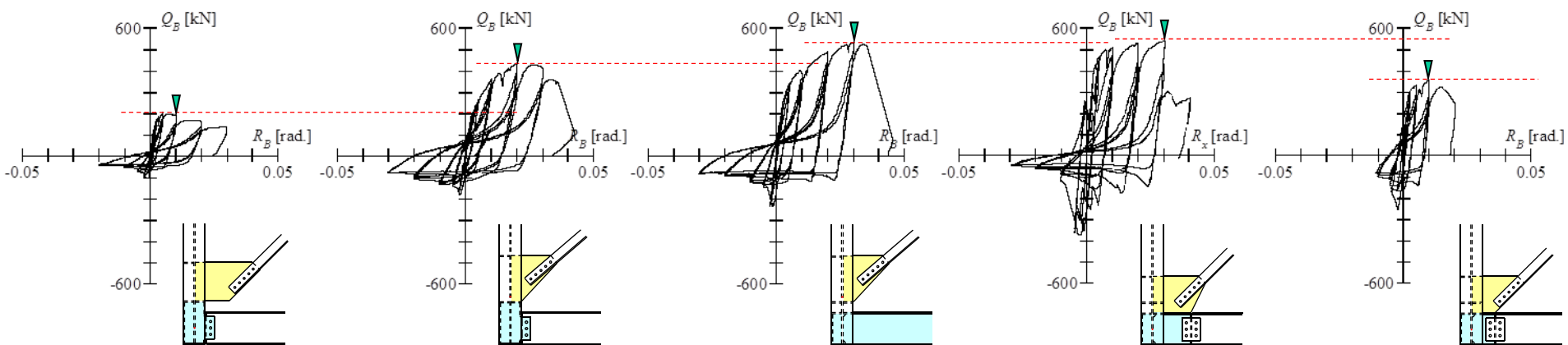


柱梁両溶接ディテール

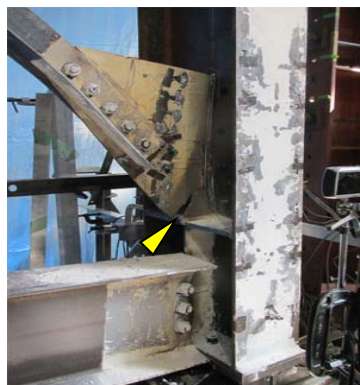
# 6. ブレース接合部に関する実験

成果：

柱梁とブレース端の接合ディテールをパラメータとした実験の結果から、柱梁の影響を受けたブレース端接合部の破壊モードが見られ、接合ディテールごとの剛性・耐力に関する定量的なデータが得られた。



非推奨



偏心許容ディテール



柱梁両溶接ディテール

