

5. 鉄骨造建築物の基準の整備に資する検討

平成22年度 調査報告

宇都宮大学、千葉大学、大阪工業大学

# 調査事項全体での調査体制

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) 補強されたSTKR材柱等を有する鉄骨架構の耐震安全性  
に関する調査委員会**

**宇都宮大学、千葉大学、大阪工業大学**

構造設計実務者、コラムメーカー研究者

**(ロ) 立体的に複雑な接合部分の例示仕様の整備  
に関する調査委員会**

**宇都宮大学**

構造設計実務者、鉄骨製作実務者

## 5. 鉄骨造建築物の基準の整備に資する検討

### (イ) 補強されたSTKR材柱等を有する鉄骨架構の 耐震安全性に関する検討

宇都宮大学、千葉大学、大阪工業大学

# (イ) 補強されたSTKR材柱等を有する鉄骨架構の耐震安全性 に関する検討委員会

主査	長谷川 隆	独立行政法人 建築研究所
委員	伊藤 隆之	株式会社 間組
//	聲高 裕治	大阪工業大学
//	中野 達也	宇都宮大学
//	原田 幸博	千葉大学
//	牧田 敏郎	株式会社 間組
協力委員	向井 昭義	国土交通省 国土技術政策総合研究所
アドバイザー	沖 晃司	JFEスチール株式会社
//	園田 正雄	日鐵住金建材株式会社

1. 序
2. 設計資料等に基づく鉄骨造建物の構造特性の調査と応答解析
  - 2.1 設計資料に基づく中低層鉄骨造建物の構造特性に関する調査・分析
  - 2.2 STKR柱を有する既存不適格骨組の  
45° 方向地震入力による立体地震応答解析
3. 鋼板、山形鋼によるSTKR柱の補強に関する実験
  - 3.1 鋼板により補強されたSTKR隅・側柱の曲げ実験
  - 3.2 山形鋼により補強された  
STKR柱を有する立体十字形架構の2方向載荷実験
4. 根巻き補強および鋼板とPC鋼棒による補強を施したSTKR柱の実験
5. 骨組全体の補強設計法の構築と地震応答性状
6. H形鋼梁のスチフナ補強による塑性変形能力の向上に関する実験
7. まとめと課題

# 1. 序

## 1. 背景

2007年の建築基準法令の改正により、以下の変更があった。

- (1) STKR材を柱に用いた場合、最上層の柱頭および最下層の柱脚を除く全ての節点について柱梁耐力比1.5以上を満足する規定が追加
- (2) 幅厚比の当面の緩和値が廃止

→ 柱にSTKR材を用いた建築物やルート2でFBランクの部材で設計された建築物が既存不適格となる恐れがあり、増改築時の課題となっている。

## 2. 経緯

建築基準整備促進事業の中の「鉄骨造建築物の基準の整備に資する検討」では、平成20年度よりこれらの建築物の補強方法の検討を実施。

**平成21年度の調査結果：**

STKR柱の補強方法についての実験的検討等が行なわれ、鋼板補強、山形鋼補強、根巻き補強、鋼板とPC鋼棒による補強等が、STKR柱の補強として有効とされた。

## 3. H22年度に示された検討課題

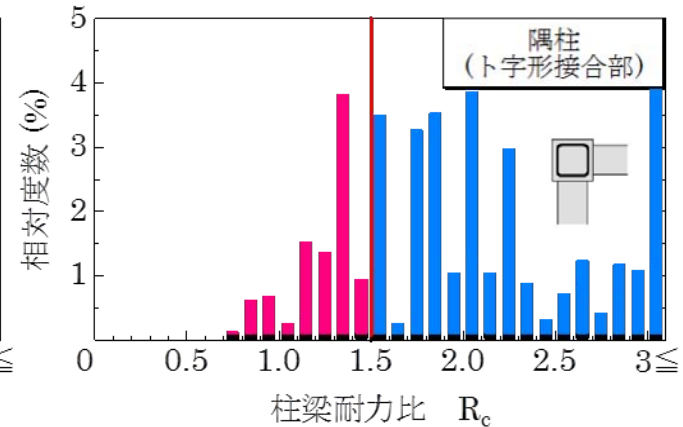
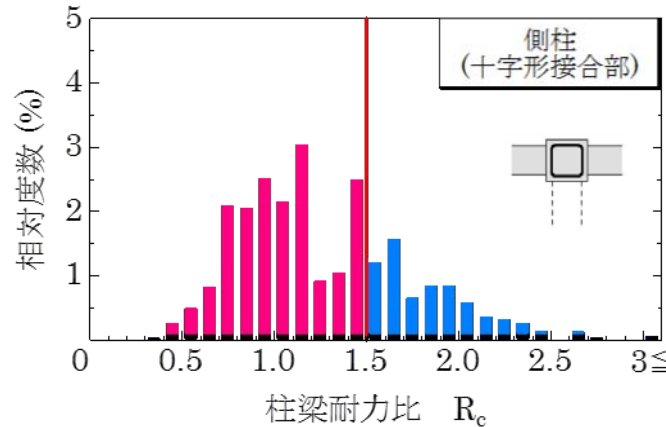
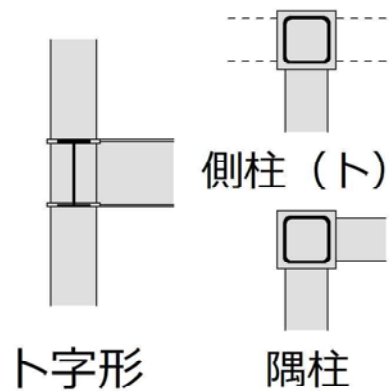
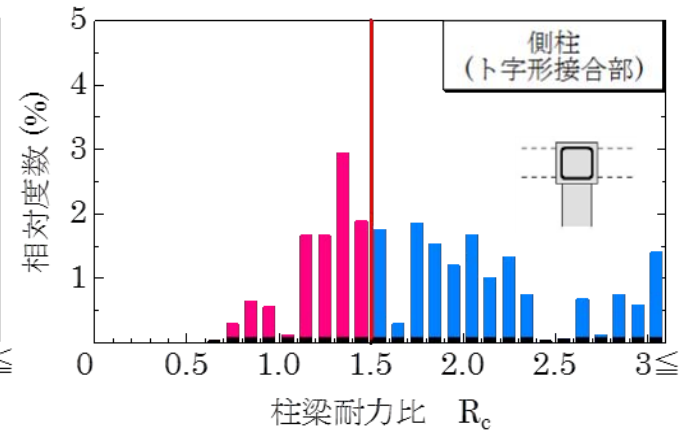
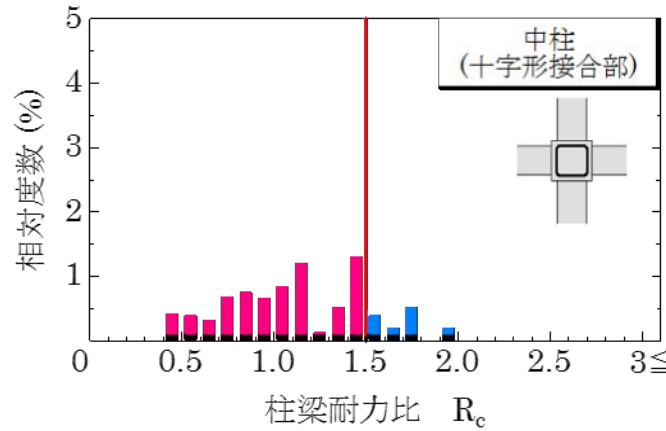
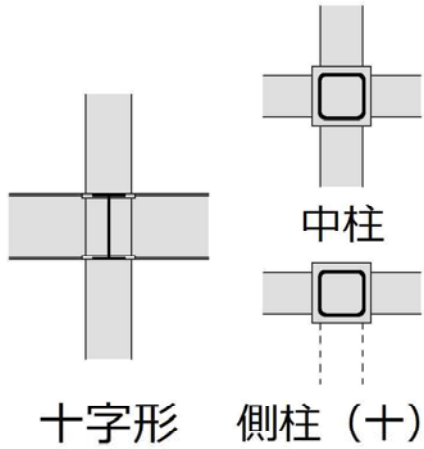
「補強されたSTKR材柱等を有する鉄骨架構の耐震安全性に関する検討」

- (1) 各補強方法について、柱梁接合部等を対象にした検証実験や架構の地震応答解析を行なって、補強設計式を提示。
- (2) 設計ルート2で幅厚比の当面の緩和値(FBランク)が廃止されたことに対応して、スチフナ等でH形梁を補強する方法を実験等により検討。

# 2.1 中低層鉄骨造建物の構造特性に関する調査・分析

## 目的

設計資料に基づき、既存中低層建築物の柱梁耐力比の実状を明らかにする。



十字形接合部

ト字形接合部

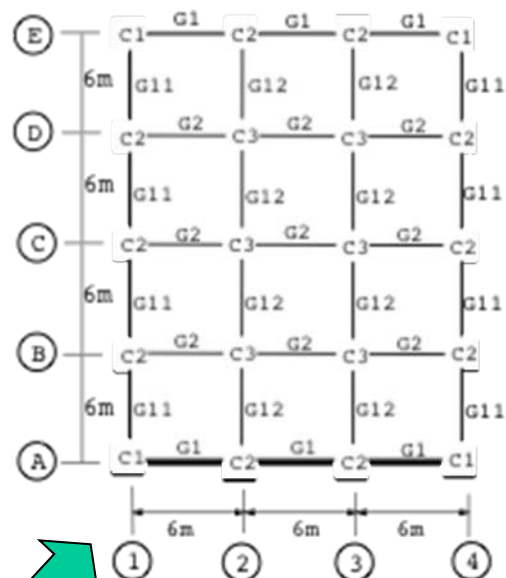
## 結論

中柱の85%(7%)、側柱(+ )の71%(18%)、側柱(ト)の39%(10%)、隅柱の23%(9%)が柱梁耐力比の規定値1.5を満たしていない。

## 2.2 STKR材柱を有する既存不適格骨組の45°方向地震入力による応答の評価

**目的:** STKR柱の地震時の損傷を明らかにするため、柱の損傷にとって厳しい条件となる45° 方向地震入力による立体骨組の地震応答解析を行ない、下記を検討

- (1) 0° 方向地震入力と45° 方向地震入力に対する骨組の応答と損傷を比較
- (2) 45° 方向の立体解析を平面骨組モデルで簡易に行なう手法の検討

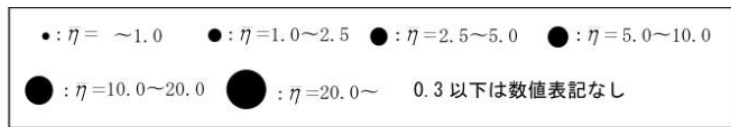


解析対象建物の床伏図

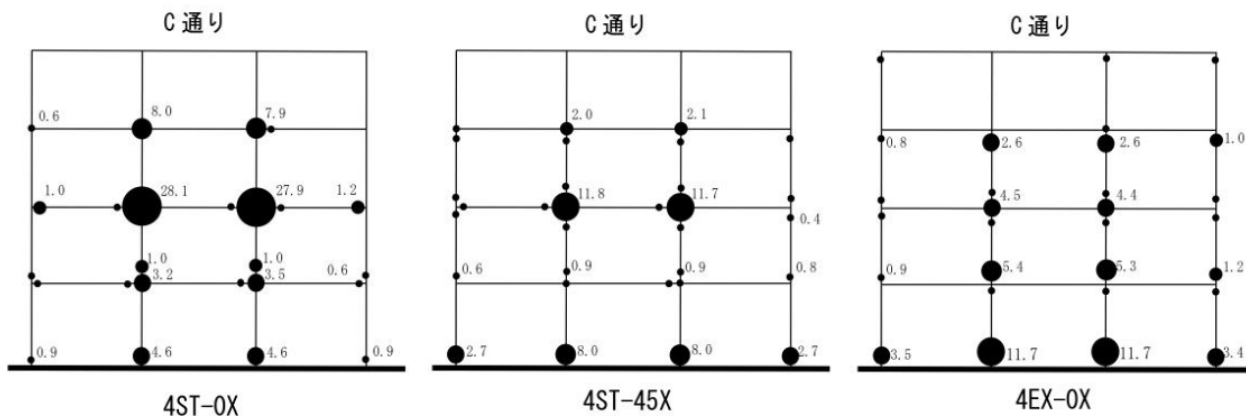
45° 方向からの地震入力

4層建物の解析結果の一例:

立体骨組0° 入力(4ST-0X)、立体骨組45° 入力(4ST-45X)、45° 入力想定モデル(4EX-0X)、の損傷分布の比較



地震動: JKNS



**結論:**

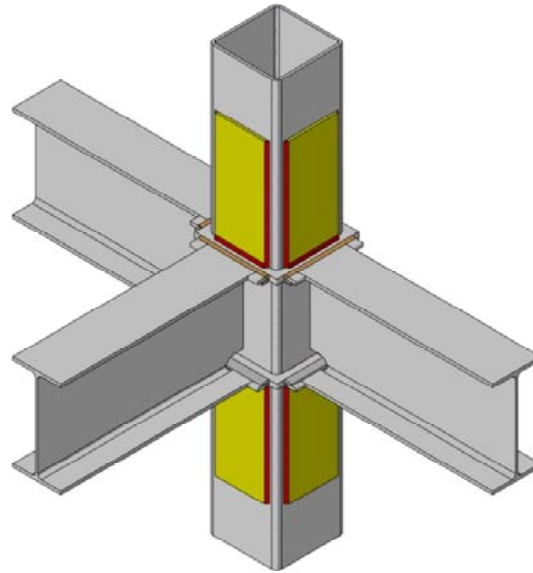
- (1) 45° 方向地震入力では、0° 方向入力に比べ、柱の損傷が大きくなり、逆に、梁、パネル損傷が小さくなることを確認した。
- (2) 45° 方向想定モデルの損傷は、立体骨組の45° 方向の解析と比べ、損傷分布は類似しているが、柱損傷は部分的にかなり大きくなる場合がある。



# 3.1 鋼板により補強されたSTKR隅・側柱の曲げ実験

## 目的:

隅柱や側柱を想定して、鋼板により補強されたSTKR柱の実大曲げ実験を行い、その補強効果と力学性能を把握すると共に、補強柱の全塑性曲げ耐力の計算値と実験値の対応を確認した。



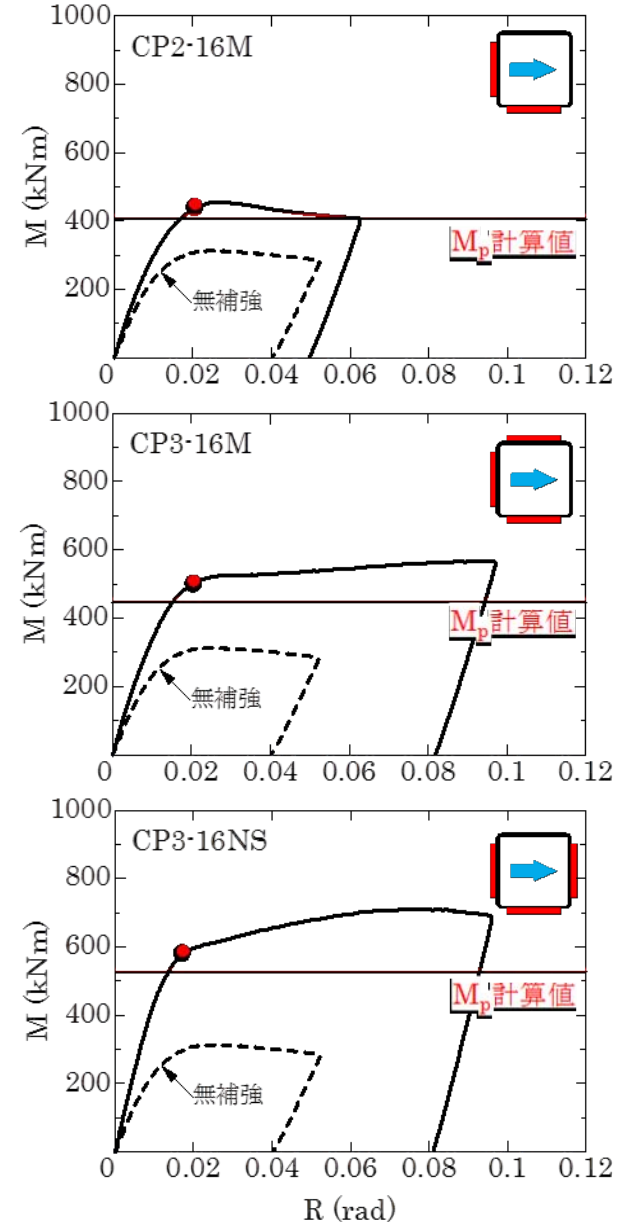
鋼板による補強  
(側柱)

## 結論:

(1) 全塑性曲げ耐力の実験値は、鋼板補強材の全断面を有効とした計算値を超えることを確認した。

(2) 無補強柱に対する全塑性曲げ耐力の増加率

- ・ 隅柱に対する2面補強 : 約1.5倍
- ・ 側柱(ト字形)に対する3面補強 : 約1.7倍
- ・ 側柱(十字形)に対する3面補強 : 約2.2倍

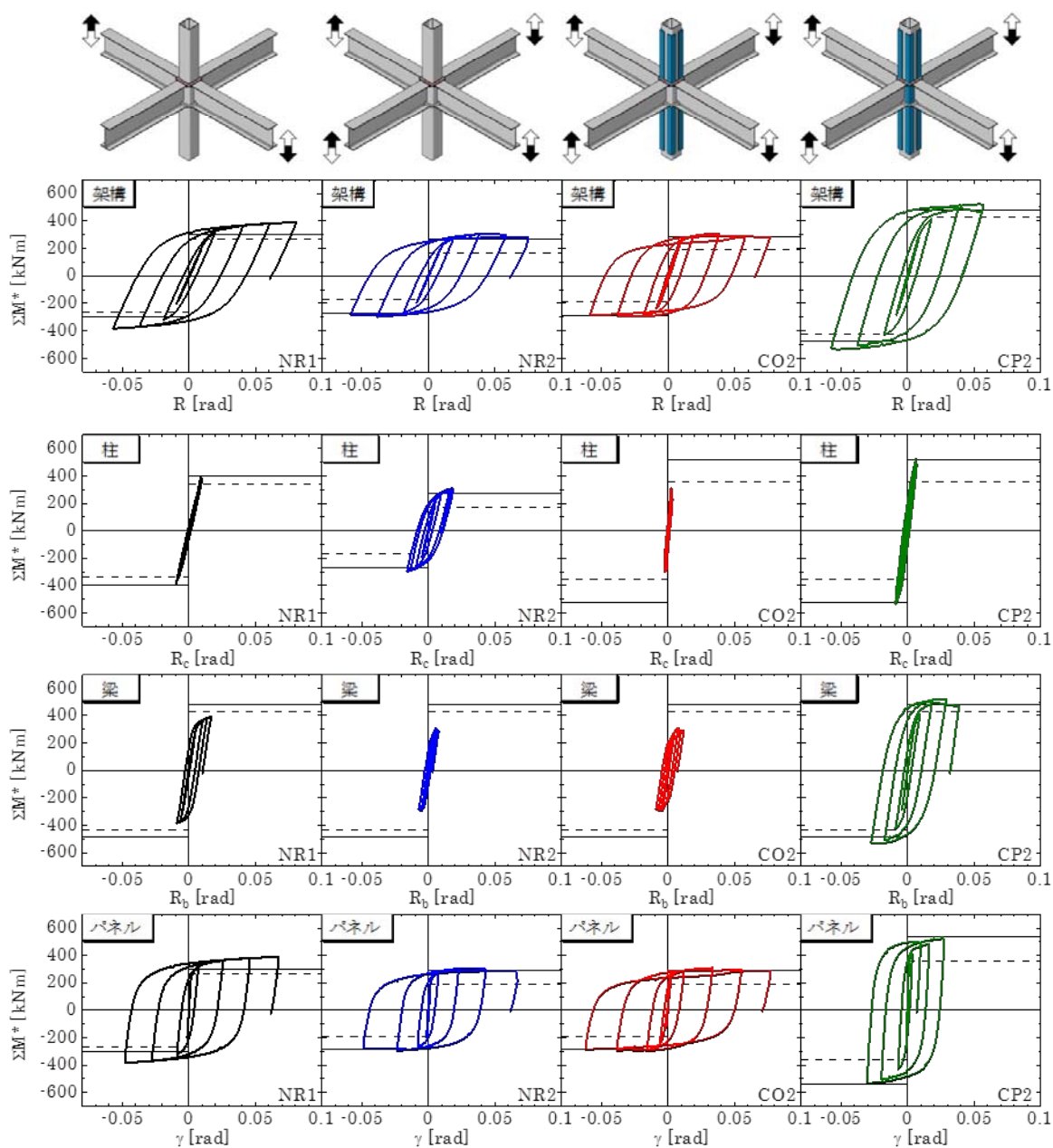


# 3.2 山形鋼により補強された立体十字形架構の2方向载荷実験

**目的:**  
 中柱を想定して、山形鋼により補強されたSTKR柱を有する立体十字形架構の载荷実験を行った。

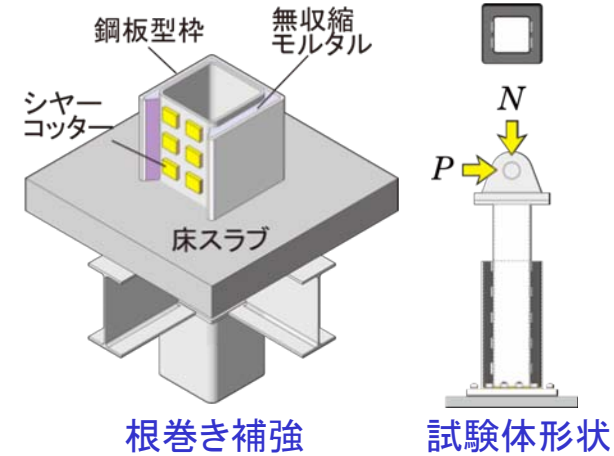
**結論:**  
 (1) 2方向载荷(45° 入力)では、1方向载荷(0° 入力)に比べ、柱の損傷が大きくなり、逆に、梁、パネル損傷が小さくなることを実験的に立証した。

(2) 補強効果  
 ・柱パネル補強: 柱は若干塑性化した  
 が、架構全体の塑性歪エネルギーが最大となり、梁とパネルで効率良く塑性歪エネルギーを負担。  
 ・柱のみ補強: 柱は降伏しなかった。梁は若干の塑性化に留まり、パネルが架構全体の塑性歪エネルギーのほとんどを負担。



# 4. 根巻き補強を施したSTKR柱の実験 (その1)

根巻き補強: 角形鋼管の表面にシヤーコッターを溶接し、鋼板型枠を設置した後に、無収縮モルタルを充填する。



## 実験①

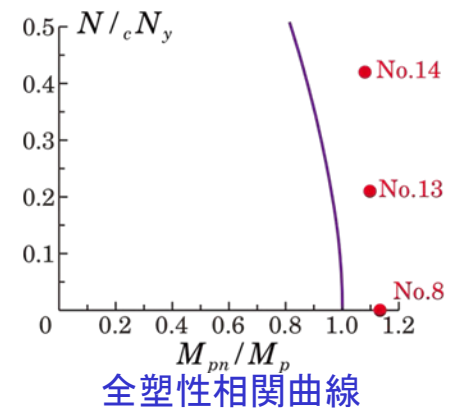
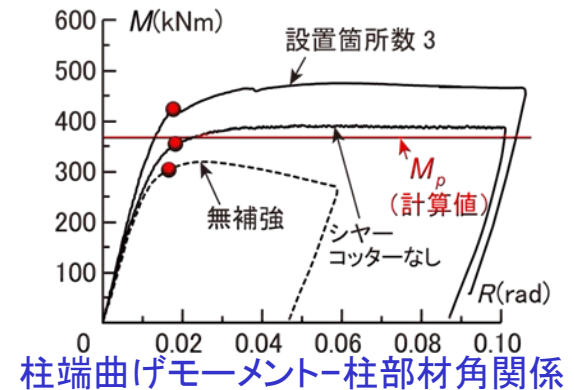
全塑性曲げ耐力に及ぼすシヤーコッターの影響を確認する。

- シヤーコッターを高さ方向に3箇所以上に設け、その厚さをモルタル厚さの20%以上にすればよい。

## 実験②

全塑性曲げ耐力に及ぼす軸力の影響を確認する。

- 軸力を受ける場合の全塑性曲げ耐力は、提案した算定法によって大略的に評価できる。(ただし、全塑性曲げ耐力に及ぼす軸力の影響は算定法に比べて小さい。)
- 補強高さを算出する際には、無補強部の柱に作用する軸力を考慮する必要がある。

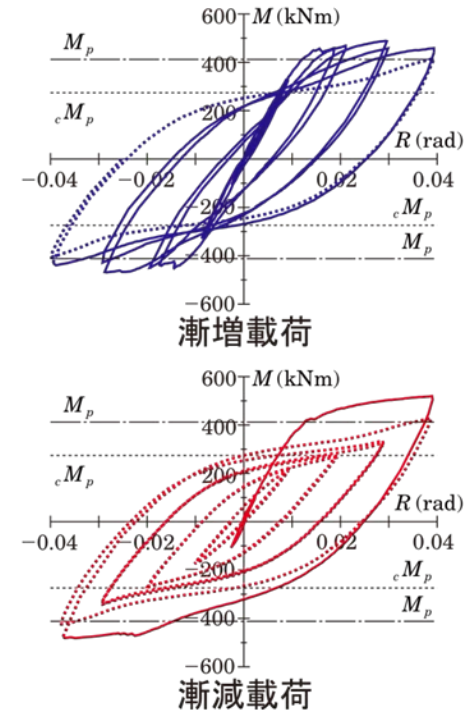


## 4. 根巻き補強を施したSTKR柱の実験（その2）

### 実験③

力学挙動に及ぼす荷履歴の影響を確認する。

- ・ 繰返し水平力に対して、最大曲げ耐力到達時までの力学挙動は単調荷の力学挙動とほぼ同様である。
- ・ 最大曲げ耐力到達以降は、スリップ型の履歴性状が確認される。（点線の履歴ループ）
- ・ 一度経験した最大振幅以下の範囲では補強前の角形鋼管柱の履歴が顕著に表れる。

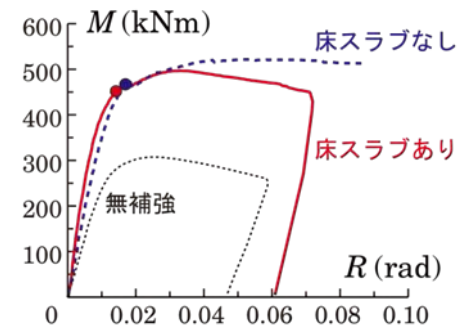


柱端曲げモーメント-柱部材角関係

### 実験④

全塑性曲げ耐力に及ぼす床スラブの影響を確認する。

- ・ 床スラブを有する場合でも、提案した全塑性曲げ耐力の算定法が適用できる。



柱端曲げモーメント-柱部材角関係

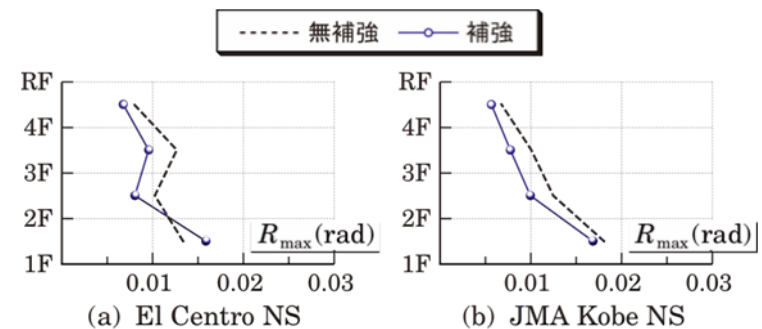
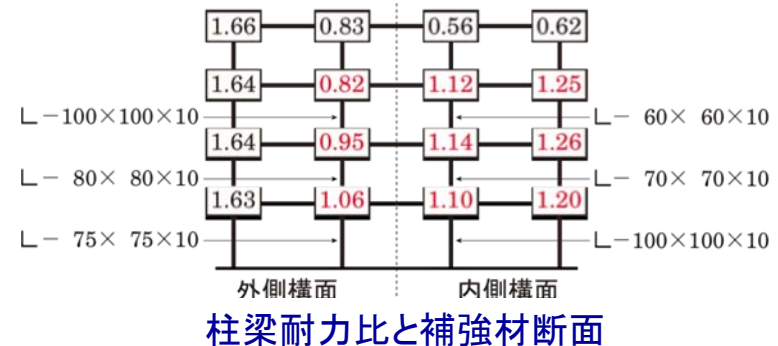
# 5. 骨組全体の補強設計法の構築と地震応答性状

## 補強設計法の手順:

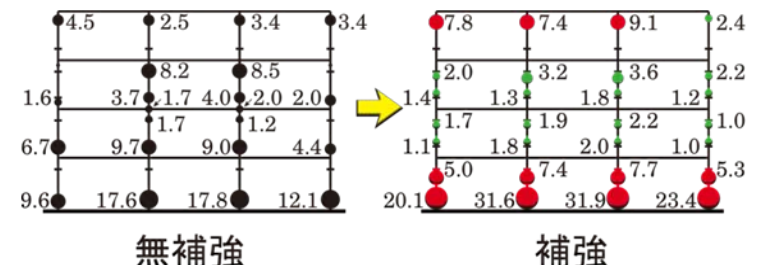
- [1] 対象となる鋼構造骨組の柱梁耐力比を求める。
- [2] 柱梁耐力比の規定値を満足するように、補強断面を決定する。
- [3] 無補強部が補強部に先行して塑性化しないように補強高さ  $h_r$  を定める。  
(補強を施した柱の両端が全塑性状態に到達した場合を想定する。)

## 地震応答性状(45° 方向入力時の応答):

- ・ 補強を施した柱(無補強部)の損傷は、既往の実験結果の上限値(平均累積塑性変形倍率:5)を下まわっている。
- ・ 提案した必要補強高さを満足することで、柱の損傷を抑制することができるものと考えられる。
- ・ ただし、補強を施さない部分や最下層の柱の損傷は大幅に増加するため注意が必要である。



最大層間変形角



平均累積塑性変形倍率の変化

# 6. H形鋼梁のスチフナ補強による塑性変形能力の向上に関する実験

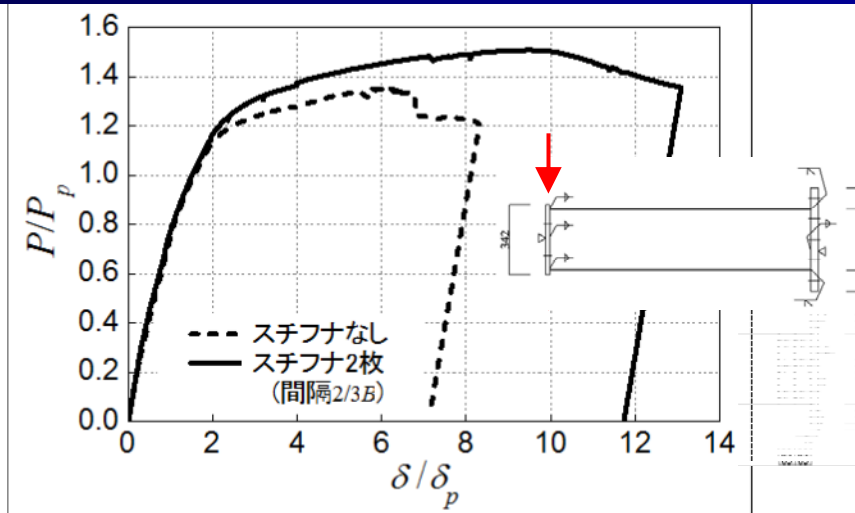
・スチフナ補強は簡便な補強方法の一つだが、変形能力向上効果に関する定量的な知見は十分にまとめられていない。

・幅厚比の大きいフランジを持つH形断面梁部材の縦スチフナによる変形能力向上効果に関する実験データを蓄積する。



・縦スチフナがフランジの局部座屈を抑制し、変形能力が向上することが確認できた。

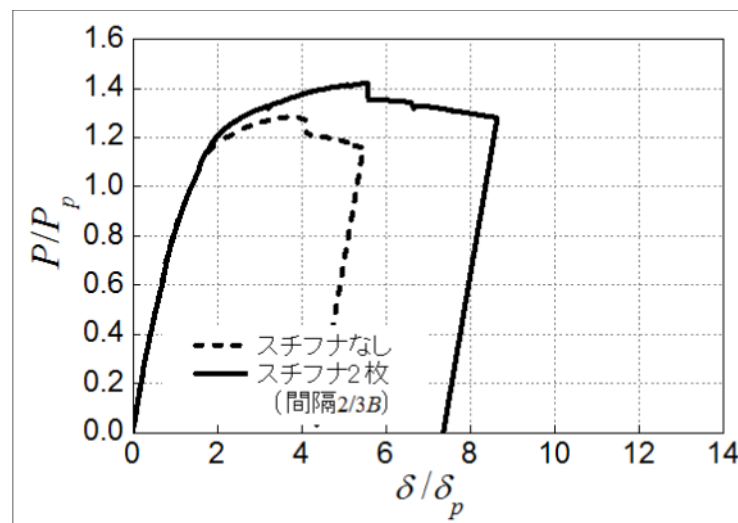
・梁端の塑性化領域に2/3Bの間隔で縦スチフナを2枚付加することで、梁部材の保有累積塑性変形倍率が1.5倍程度向上した。



(1) 種別FBの場合



スチフナなし



(2) 種別FCの場合



スチフナ2枚  
(間隔2/3B)

種別FB, FCのフランジを有するH形断面梁の繰り返し载荷挙動から得られた骨格曲線

局部座屈の状況 (種別FB)

# 7. まとめと課題

## 1. まとめ

(1) STKR柱の補強方法:

- 鋼板、山形鋼、根巻き、鋼板とPC鋼棒による4つの補強方法について、その力学特性や耐震性能及び補強効果を、実験等により概ね把握することができた。

(2) H形鋼梁のスチフナ補強による塑性変形能力の向上:

- スチフナを入れることによって塑性変形能力が向上することを実験的に確認した。

## 2. 今後の課題

(1) STKR柱の補強方法:

- 骨組全体の補強設計法については、柱梁耐力比の規定値を満足しない節点だけに補強を施した場合に、最下層における柱の損傷は大幅に増加することが確認され、これらの損傷をどのように低減すべきか等、今後、さらに検討が必要。

(2) H形鋼梁のスチフナ補強による塑性変形能力の向上:

- 梁のフランジやウェブの幅厚比が異なる場合やスチフナ取り付け位置による影響等をFEM等の解析によって明らかにし、スチフナの取り付け方法に関して、塑性変形性能向上のための設計方法を構築するための検討が必要。
- 鉄骨造体育館や工場、倉庫等は、柱としてH形鋼部材が使われている場合が多く、これらのH形鋼柱についても、塑性変形能力を向上させるための方法に関して、同様の実験的検討が必要。

## 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



# (口) 立体的に複雑な接合部分の例示仕様の整備 に関する検討委員会

委員長	増田 浩志	宇都宮大学
幹事	岩田 善裕	独立行政法人建築研究所
//	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
//	小林 秀雄	株式会社日本設計
//	小林 義信	大川スチール株式会社
//	櫻井 優貴	株式会社山下設計
//	関 清豪	大成建設株式会社
//	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

# 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，鉄骨造建築物の接合部の設計等において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。

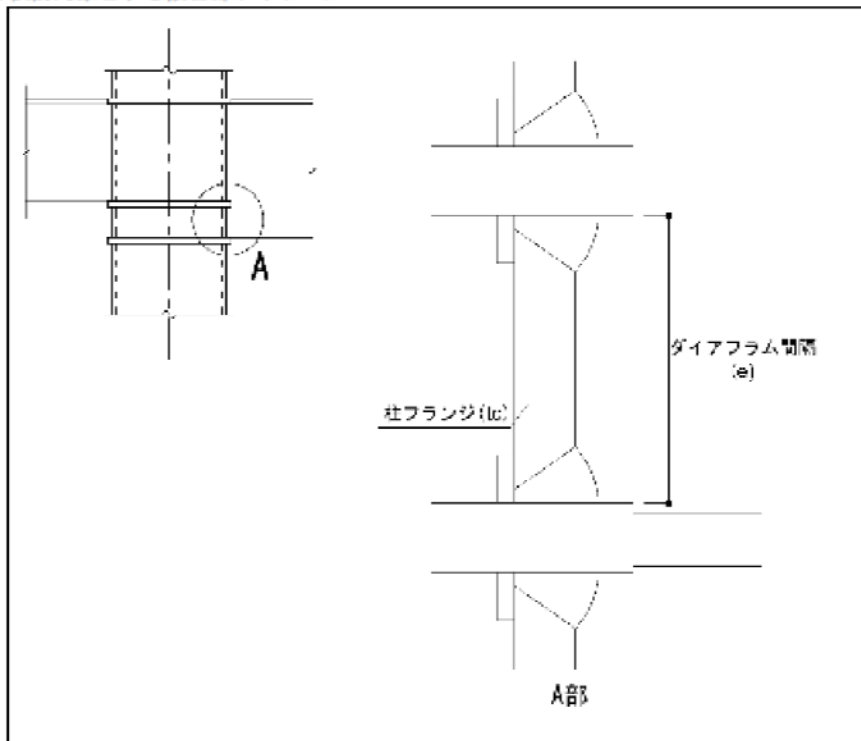
ブレースが取付く露出柱脚に関する実験を行い，その力学挙動を検証する。

接合部設計に生かす実験データを得ることが実験の目的である。

#### 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。

#### ○検査対象とする接合部ディテール



#### ○検査課題

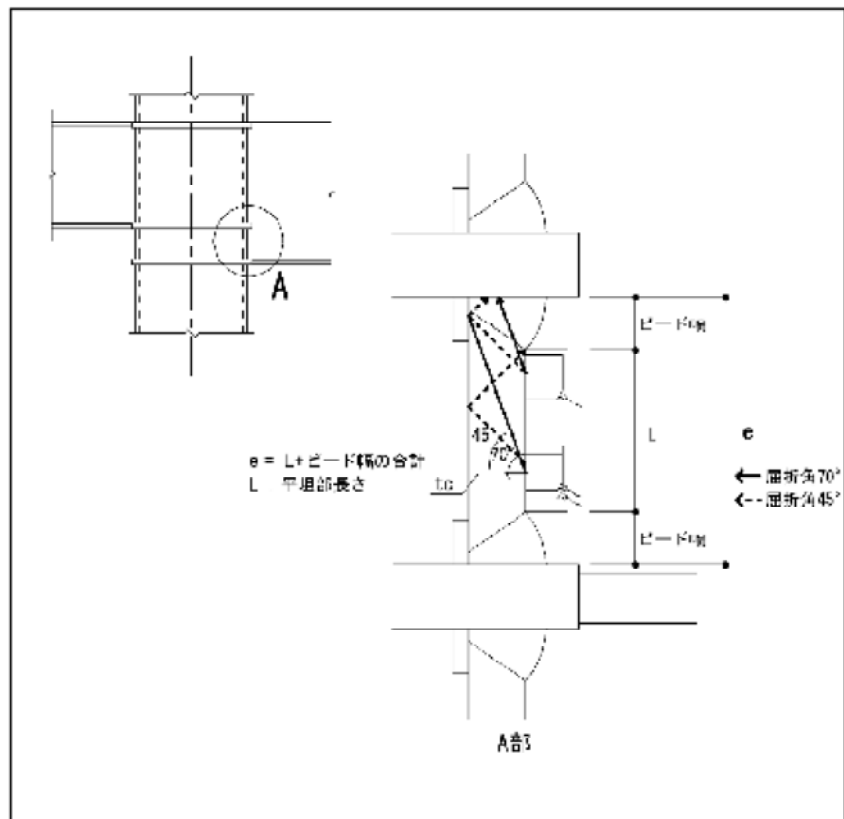
超音波探傷検査が可能な寸法を検討する。

#### ○検査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)



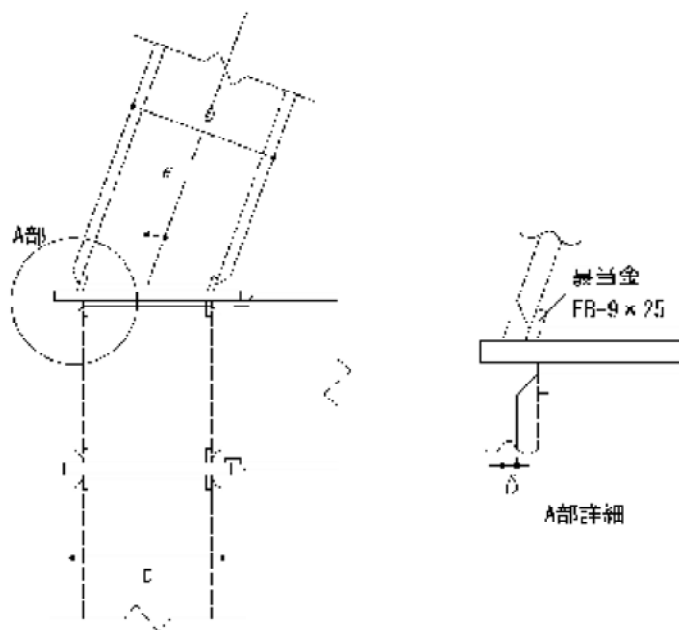
#### ○検査課題対応に関する留意点

内々寸法、板厚を考慮して検討する必要がある。

### 1.3. 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

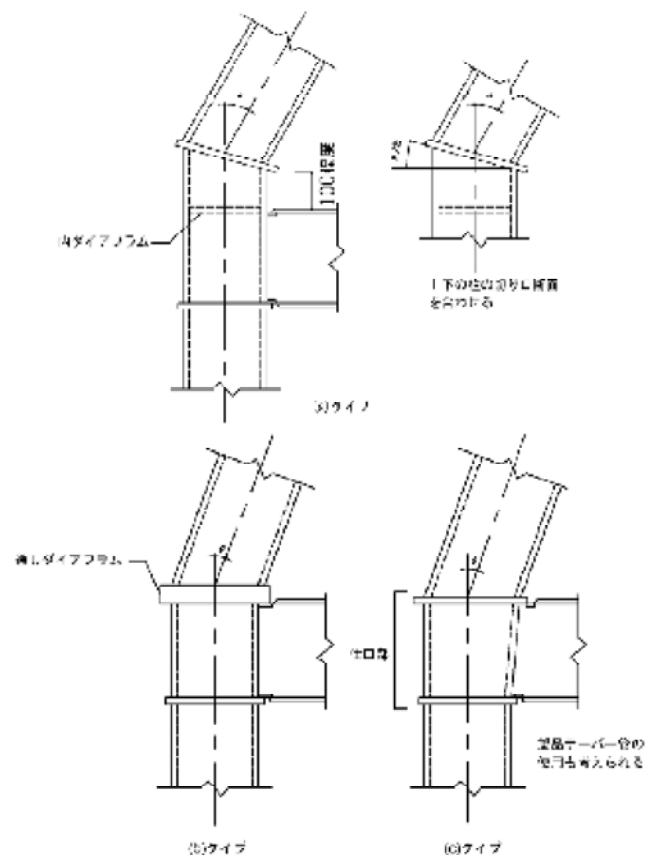


#### ○検討課題

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

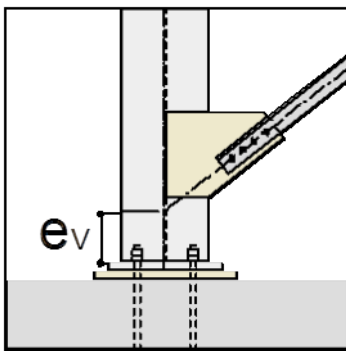
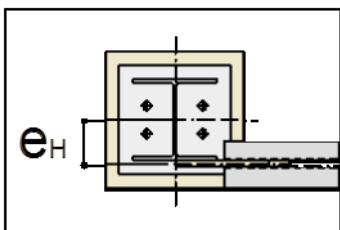
- ①仕口上部で折り曲げ点を設ける。(a) タイプ。
- ②ダイアフラムを厚くする。(b) タイプ。
- ③仕口部テーパー形状とする。(c) タイプ。



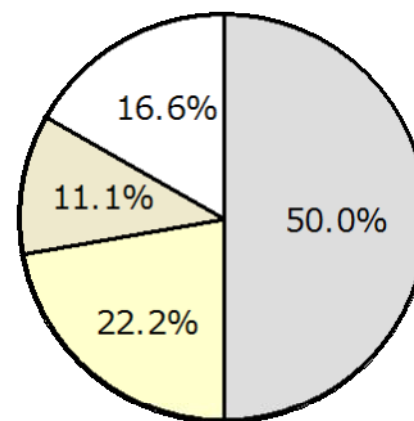
※ (社) 日本鋼構造協会「実例でわかる工作しやすい鉄骨設計 (第3版) 検討」, 技報堂出版, P.49 参照

#### ○検討課題対応に関する留意点

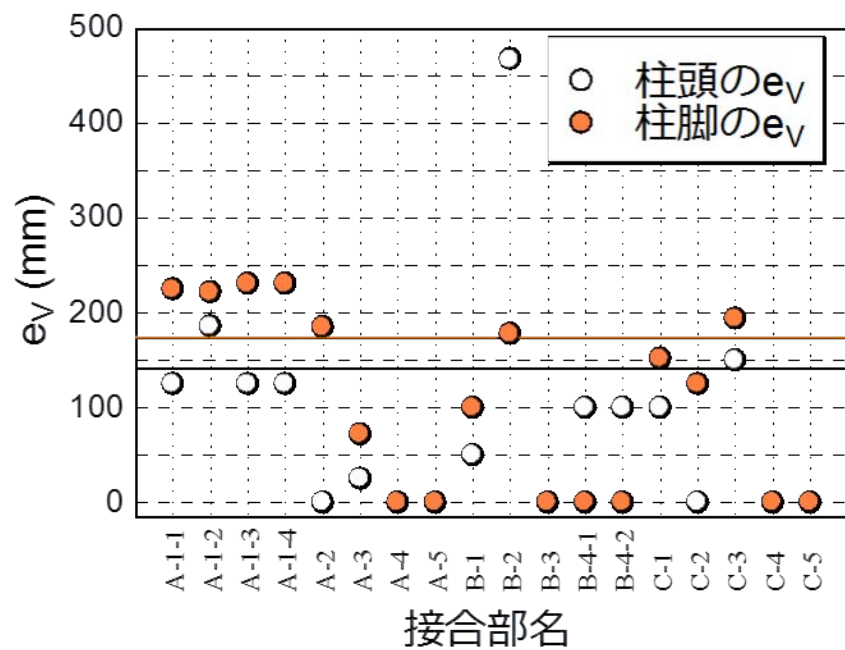
- ① (b) タイプにおけるダイアフラム板厚の決定方法。  
参考として、以下の文献がある。  
※鉄骨 Q&A 委員会、「建築技術者の鉄骨 Q&A (2集)」, 1998年, PP.11.
- ②別途参考として以下がある。  
※ (社) 日本鉄鋼連盟, ボックスコラム委員会, 冷間成形角形鋼管「Q&A」集  
2007年1月, PP.13.



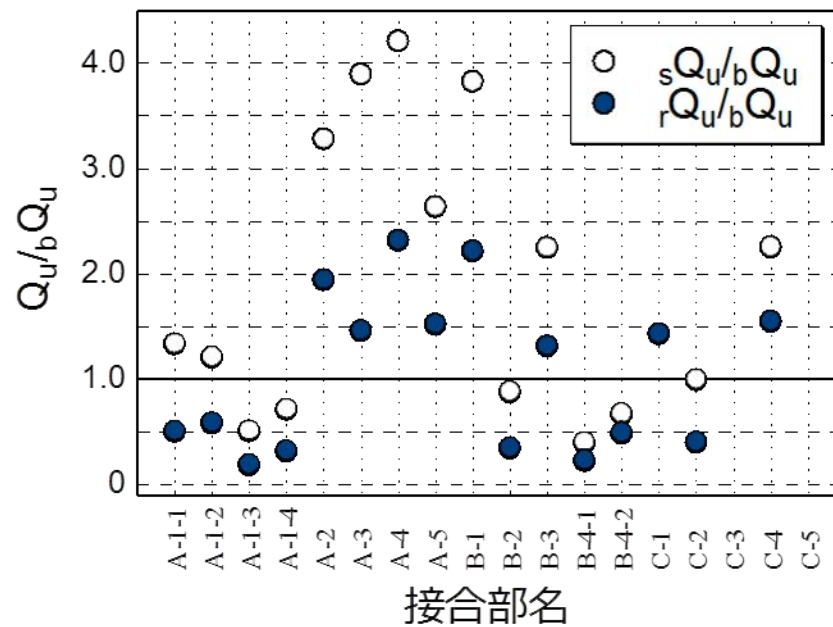
柱脚部ディテール



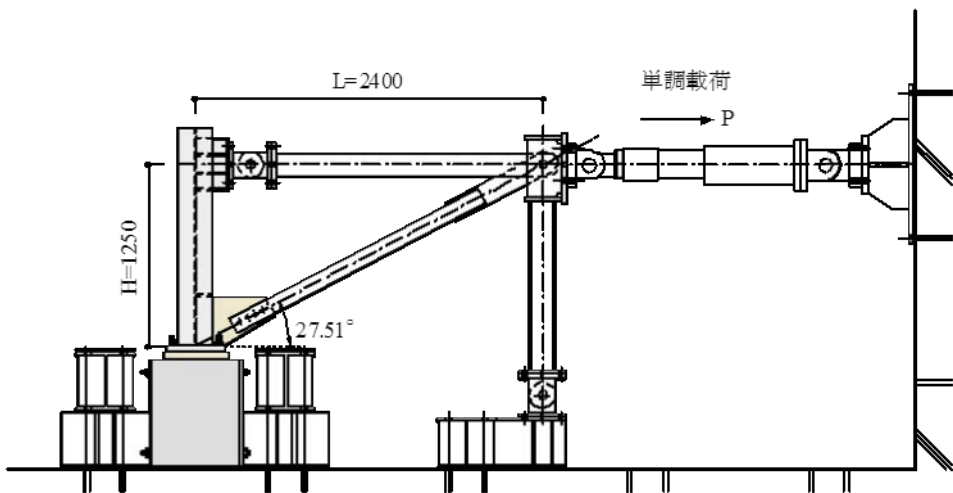
偏心接合の割合



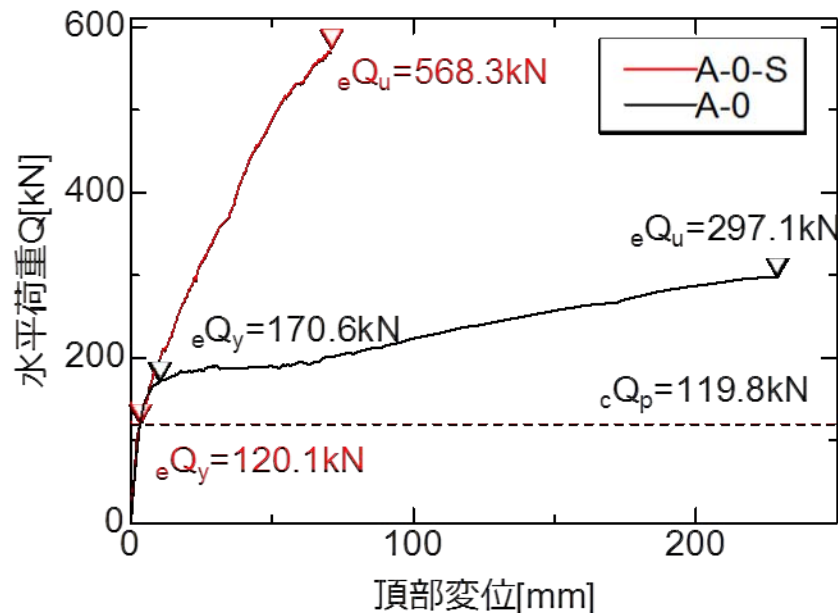
鉛直方向偏心距離の分布



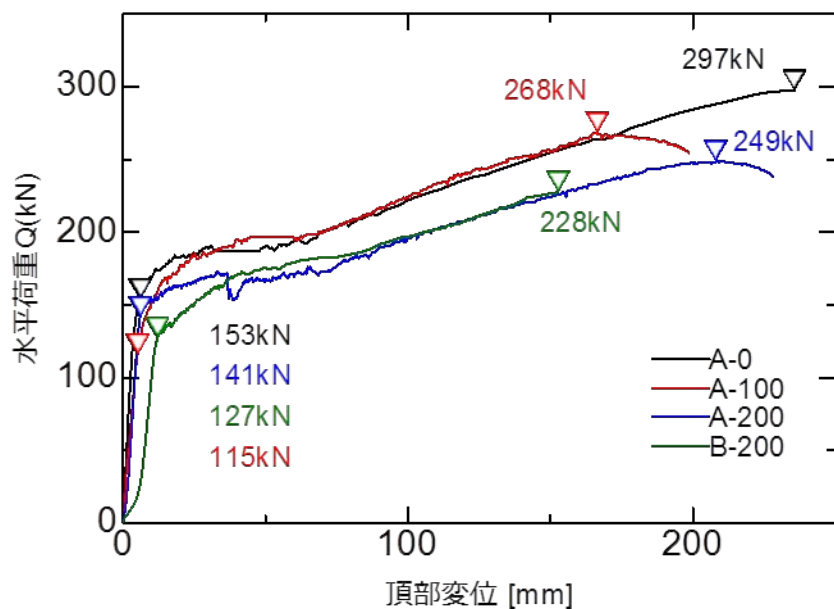
せん断耐力の評価



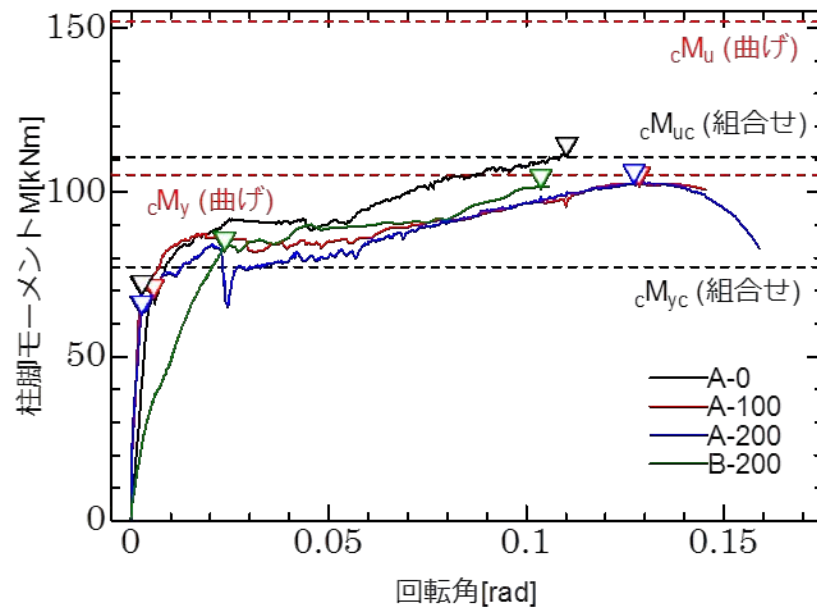
加力概要



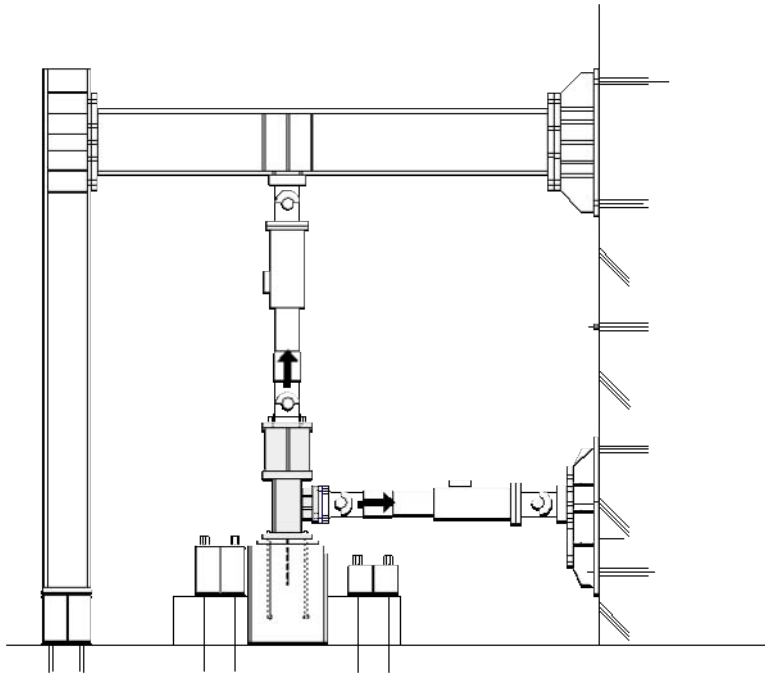
水平荷重－頂部変位関係



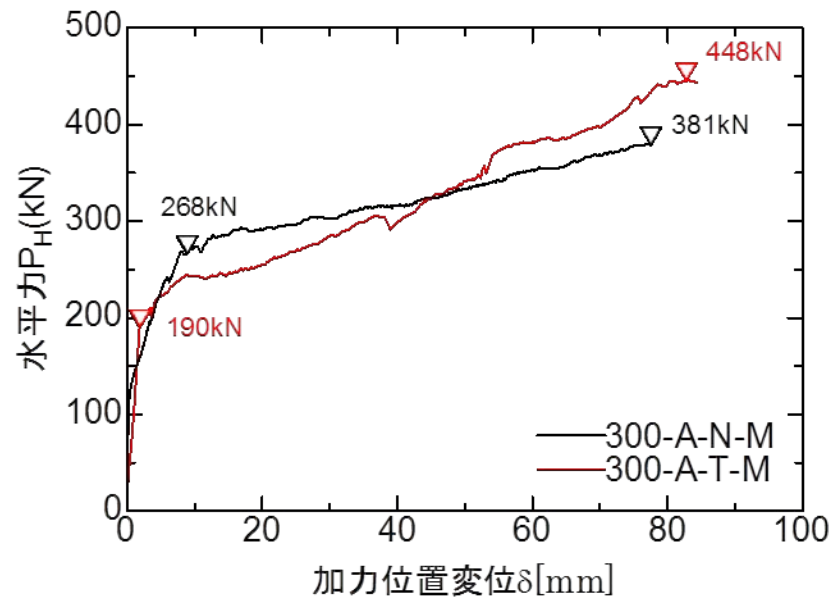
水平荷重－頂部変位関係



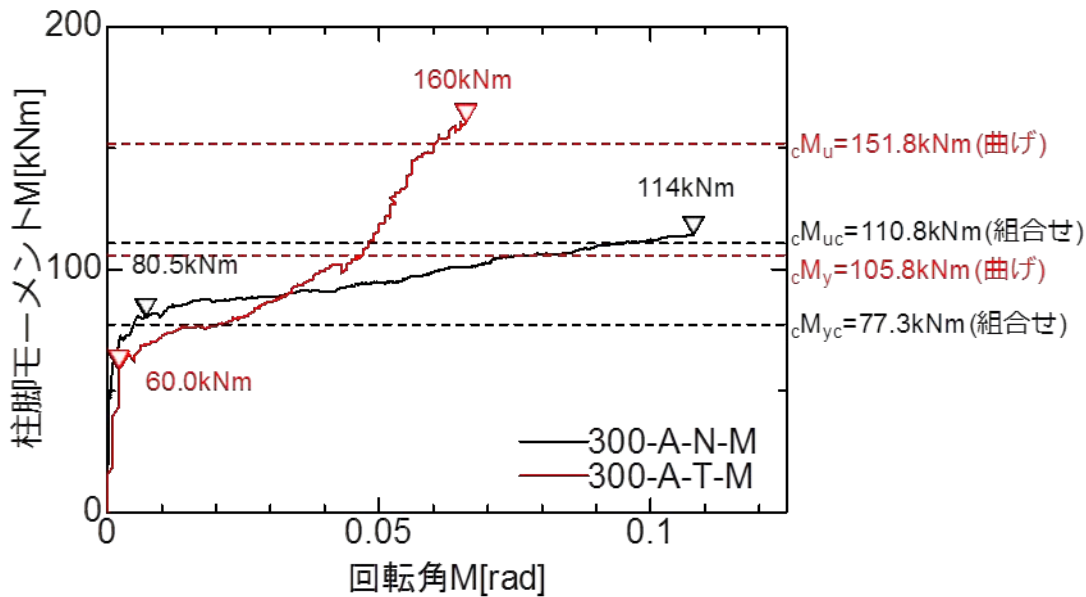
モーメント－回転角関係



加力概要



水平力－変位関係



水平力－変位関係



破壊状況 (300-A-T-M)

# まとめ

接合部ディテールについて、設計実務者・製作実務者による接合部委員会を組織して調査を進め、接合部ディテールのシートを作成した。

ブレースの軸芯と部材芯交点のずれが生じる場合、部材が平面的に斜めに接合する場合、立面的に斜めに接合する場合、柱に絞りが生じる場合について問題が生じやすい。特に溶接の観点から問題が生じることが多い。

ブレースが取付く露出柱脚の力学性状について、建築構造用アンカーボルトを用いた基礎コンクリートを有する試験体による貴重な実験データが得られた。ベースプレートの回転が小さい場合のせん断耐力について、アンカーボルトの曲げ変形を考慮する必要がある。曲げモーメントおよびせん断力の組合せ応力が生じる場合、アンカーボルトに生じる組合せ応力を考慮することによってせん断耐力の評価が可能である。

今後の課題として実験的な検証が望まれる点は以下である。

- 1) ブレースに対称に取り付かないガセットプレートの有効断面の設計
- 2) 梁端の鉛直ハンチおよびブレース端接合部における曲げ加工と製作、スチフナ的设计
- 3) 斜め柱とダイアフラムの溶接部およびパネルに絞りを有する溶接部の食い違いと力学性状
- 4) 柱梁接合部において取合う梁せいが異なる場合の製作と設計