

# 水平変位拘束材を柱脚部に用いた ノンコンプレッションブレース架構に関する研究

高松 隆夫\*, 山西 央朗\*\*, 玉井 宏章\*\*\*, 嶋本 仁\*\*\*\*

(平成25年10月31日受付)

Study on non-compression braced frame with horizontal displacement constraint column base

Takao TAKAMATSU, Teruaki YAMANISHI, Hiroyuki TAMAI and Hitoshi SHIMAMOTO

(Received Oct. 31, 2013)

## Abstract

Non-compression braces show excellent capability of no buckling and no slip behavior. The braces can be applied to seismic rehabilitation of low-rise steel structures. The looseness due to plastic elongation of the anchor-bolts caused by brace axial forces and column bending moment need be diminished to keep stiffness of the braces. Numerical analysis of the column-base with horizontal displacement constraint plate and wedge-device is carried out to clarify usefulness of the non-compression braces.

**Key Words:** Exposed column-bases, Braced frame, Wedge device, Horizontal displacement constraint plate

## 1. はじめに

近年、低層鋼構造建築物の耐震改修では、保有水平耐力および架構の剛性を向上させる合理的な工法として、ブレースの新設や増設工法<sup>1)</sup>が多く採用されている。通常、低層鋼構造建築物は引張ブレースが用いられるが、ブレース降伏により生じる塑性伸びや圧縮力作用時に座屈を生じる問題があり、地震時のような繰返し荷重下でブレースが有効に抵抗できない。

そこで著者等は、低層鋼構造物に対してノンコンプレッションブレース<sup>2)</sup>(以後、NCブレースと記す)を設置することを提案している。NCブレースはブレース端部に設置した楔と楔受けに生じた間隙にバネの復元力で楔が貫入することによって、完全弾塑性型の復元力特性を示す。また、ブレース架構においては、ブレースの軸剛性・降伏耐力が

構造物に大きな影響を与えるため、より大きなブレースを設置することが耐震安全上望ましい。同じく、完全弾塑性型の復元力特性を示す座屈拘束ブレースと比較して低容量を実現できるので、構造部材の保有耐力が小さめとなる低層鋼構造物に適合している。

一方、実務設計および施工を合理的に実施するためには、一ヶ所当たりのブレース抵抗力を可能な限り大きくして、ブレース構面数を少なくすることが望ましい。従って、周辺部材の補強を実施することが多く、特に柱脚部の耐力不足による補強事例が少なくない。このため、ブレース抵抗力に対する柱脚の補強工法はあと施工アンカーボルトを追加することが一般的であるが、著者等は水平変位拘束材<sup>3)~5)</sup>により、明快な補強が実施できることを示してきた。

また、既往の研究によって、NCブレースを有効に機能させるには、ブレースに対して柱脚が十分な耐力を保有し、

\* 広島工業大学工学部建築工学科

\*\* 広島大学大学院建築学専攻

\*\*\* 長崎大学工学部工学科

\*\*\*\* 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻

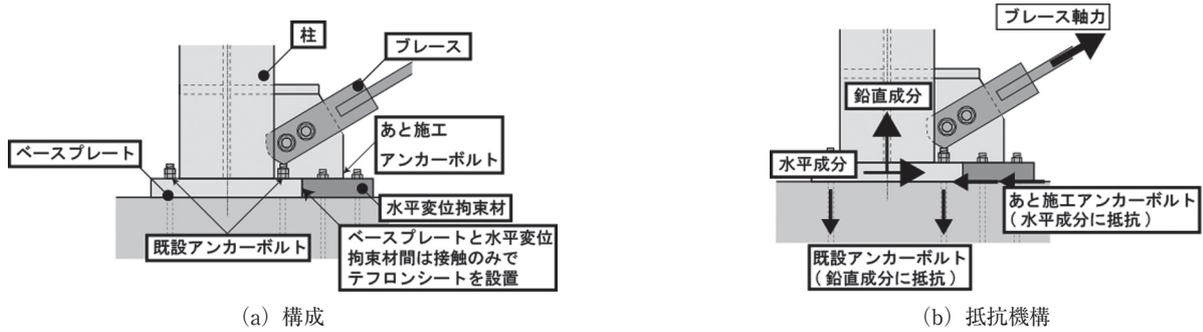


図1 提案する補強工法

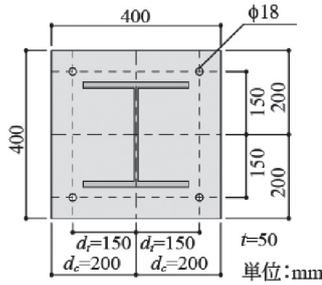


図2 ベースプレート

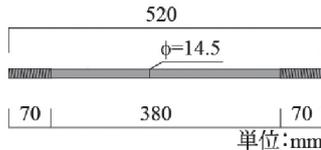
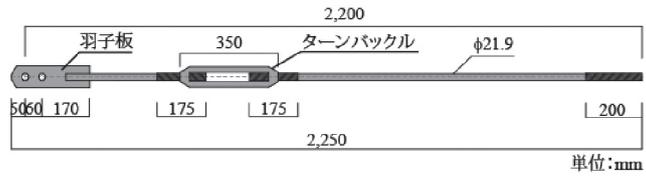
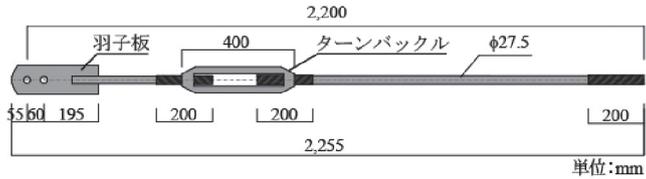


図3 アンカーボルト



(a) M24



(b) M30

図4 プレース

表1 試験体の素材特性

部材名	材種	ヤング係数 $E(N/mm^2)$	降伏応力度 $\sigma_y(N/mm^2)$	引張強さ $\sigma_t(N/mm^2)$	主要寸法
柱フランジ	SN490	205000	395	491	H-250×250×9×14
柱ウェブ	SN490	205000	399	487	
梁フランジ	SS400	205000	295	412	H-250×125×6×9
梁ウェブ	SS400	205000	318	434	
ベースプレート	SN490	205000	347	487	PL-50
プレース M24	SNR400	205000	282	431	$\phi = 21.9mm$
プレース M30	SNR400	205000	303	460	$\phi = 27.5mm$
アンカーボルト M16	ABR400	205000	292	437	$\phi = 14.5mm$ $l_{AB} = 436mm$

かつ架構の変形に伴う曲げによるアンカーボルトの塑性伸びの影響によるスリップ現象を生じるスリップ型柱脚（以後、S柱脚）による影響を解消する必要がある<sup>6)</sup>。対して、アンカーボルトの塑性伸びにはプレースと同様に柱脚に楔デバイスを設置するノンスリップ型柱脚<sup>7)</sup>（以後、NS柱脚）で解消できる。

そこで、本研究では1層1スパン架構にNCプレースを用いた無補強柱脚の実験の結果<sup>5)</sup>に対して、著者等が提案している柱脚補強工法を適用した場合の解析結果を用いて、NCプレースが有効に機能することを検証することを目的とする。さらに、柱脚がS柱脚とNS柱脚の違いにより架構に及ぼす影響を検討する。

## 2. 提案する補強工法

提案する補強工法は、図1に示すように、ベースプレート側部に水平変位拘束材を設置し、あと施工アンカーボルトで固定することによって、柱脚水平変位を拘束する工法である。柱脚水平変位を拘束することにより既設のアンカーボルトにはプレース軸力からの鉛直成分のみが作用する。既設アンカーボルトの組み合わせ応力状態を回避できると同時に、水平変位拘束材を固定するあと施工アンカーボルトはプレース軸力からの水平成分に対してのみ抵抗するため、あと施工アンカーボルトの引抜き等における性能劣化を解消でき、各ボルトの特性を發揮できる抵抗機構である。

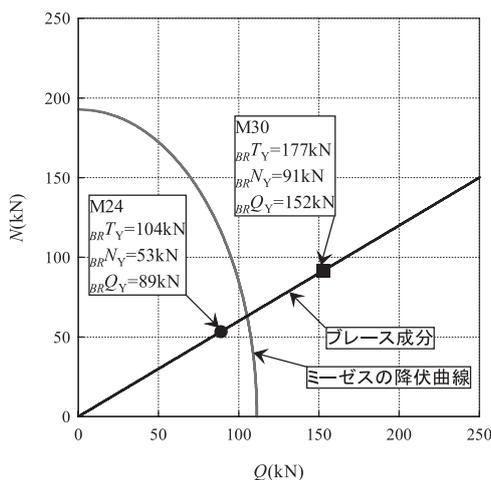


図5 ミーゼスの降伏条件

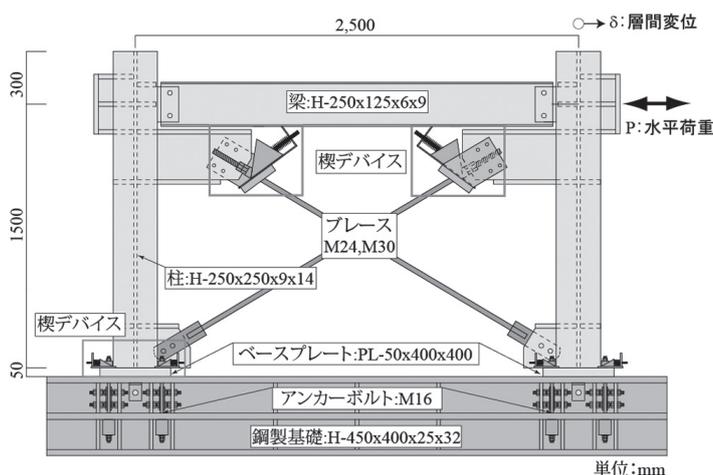


図6 荷装置

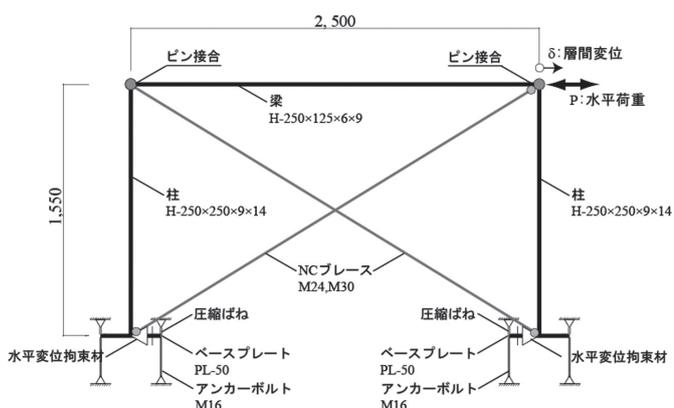


図7 解析モデル

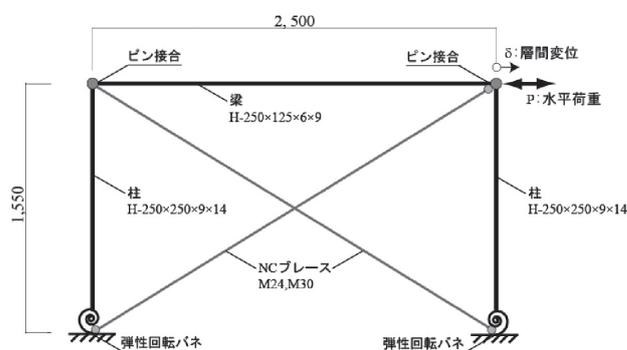


図8 柱脚弾性回転ばねモデル

### 3. 実験概要

#### 3.1 試験体

図2にベースプレート、図3にアンカーボルト、図4にブレース、表1に試験体の素材特性をそれぞれ示す。

ベースプレートの隅角部にはM16の転造ねじアンカーボルトを1本ずつ計4本配置する。ブレースには、図5に示すミーゼスの降伏条件による柱脚耐力関係よりブレースからの軸力に対して柱脚を弾性範囲内に留まるM24と弾性領域を超過するM30のターンバックル付転造ネジ丸鋼ブレースをそれぞれ使用し、設置角度は31.0度とする。

尚、楔が貫入して弾性剛性が変化することを防ぐためブレース降伏軸力の50%を初期軸力として導入する。また、ブレースと同様にアンカーボルトの降伏軸力の30%を導入している。

#### 3.2 荷装置

図6に荷装置を示す。

柱はH-250x250x9x14を弱軸方向に配置し、梁はH-250x125x6x9を用いて、柱梁接合部はガセットプレートに梁ウェブのみを高力ボルト2本により摩擦接合とした

ピン接合とする。

荷方法は、柱頭部に設置した油圧ジャッキにより正負交番漸増繰り返し荷重を行い、制御値は層間変形角1/1000, 1/500, 1/250, 1/200, 1/100 (rad)を、それぞれ、各2サイクルずつ行う。

#### 3.3 計測位置

計測は、柱頭部水平油圧ジャッキに設置したロードセルにより水平荷重Pを、変位計により架構の層間変位δを、ブレースに添付したひずみゲージよりブレース軸力 $BR T$ を計測する。

### 4. 数値解析と力学モデル

#### 4.1 解析概要

本章では、3章に示す荷装置に水平変位拘束材を用いたブレース架構のモデル化を行う。

まず、荷実験に用いた部材の剛性、耐力を誘導し解析モデルを作成し、水平変位拘束材を用いない場合にブレースからの軸力に対して柱脚が弾性範囲内に留まるブレースM24を使用した場合の実験結果および柱脚に弾性回転ばねを導入したモデルとの比較により解析モデルの妥当性を

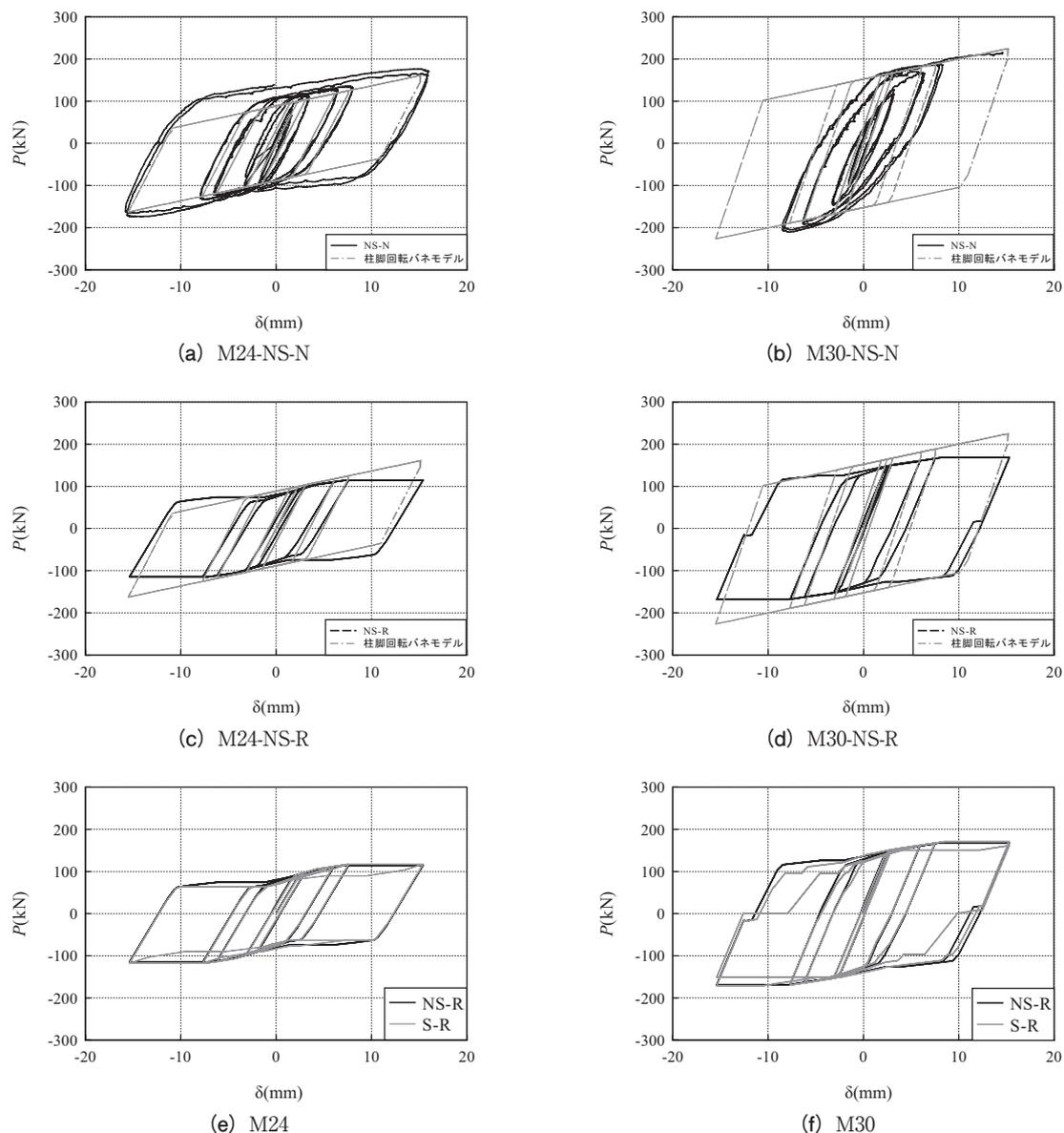


図9 P-δ関係

表2 エネルギー吸収量

試験体	エネルギー吸収量 kNm
M24-S-R	11.1
M24-NS-R	12.1
M30-S-R	16.4
M30-NS-R	18.1

検討する。

次に、水平変位拘束材を用いない場合にブレースからの軸力に対して柱脚が弾性範囲を超過するブレース M30 を使用した場合の実験結果と水平変位拘束材を用いた場合の解析結果を比較し、水平変位拘束材を用いることによる優位性の検証を行う。また、柱脚を NS 柱脚とした場合と S 柱脚とした場合において架構に及ぼす影響も解析により検証する。

#### 4.2 解析モデル

図7に解析モデルを、図8に柱脚弾性回転ばねモデルを、それぞれ示す。

解析モデルは、荷重実験に用いた試験体を再現し、アンカーボルトにせん断力を作用させないため柱脚部に水平変位拘束材と見なした柱脚水平変位を拘束した鉛直ローラー支持を設置したものである。柱梁接合部はピン接合とし、荷重実験においての接合部の摩擦抵抗の影響は考慮しないものとし、柱脚には、引張に抵抗するアンカーボルト軸ばねを、接触反力に抵抗する圧縮ばねをそれぞれ導入している。尚、初期剛性の低下を防ぐため、荷重実験と同様にブレースには降伏軸力の50%を初期軸力として導入する。

解析の制御値は層間変形角 1/1000, 1/500, 1/250, 1/200 を各1サイクルずつ行い、最終サイクル 1/100 は2サイクル行う。解析プログラムには Clap.f を用いる。

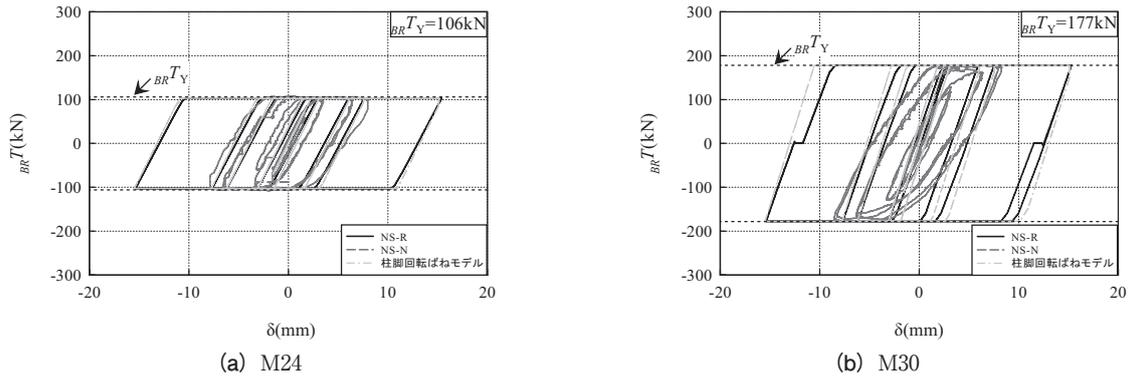


図 10  $BR T-\delta$  関係

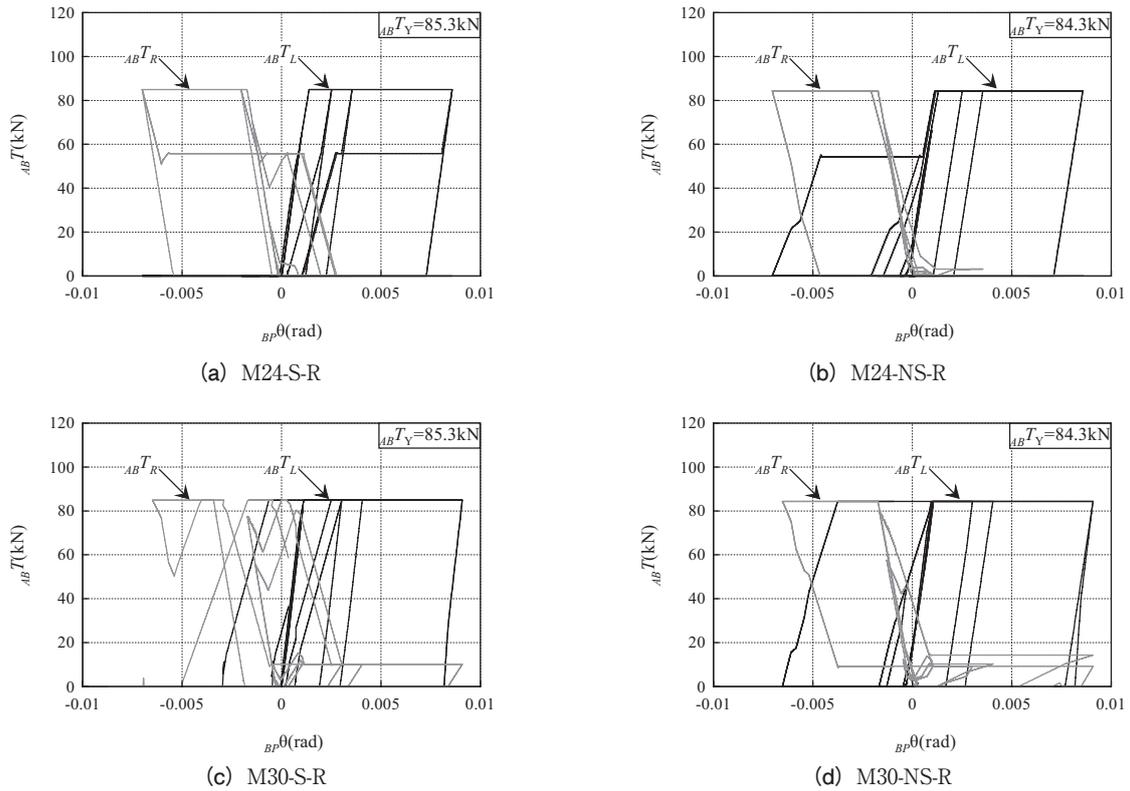


図 11  $AB T-BP \theta$  関係

尚、実験結果と解析結果の整合性を検討するために図 8 に示すような柱脚に弾性回転バネを導入したモデルとも比較を行う。

### 5. 実験結果と解析結果の考察

図 9 に荷重  $P$ -層間変位  $\delta$  関係を、図 10 にブレース軸力  $BR T$ -層間変位  $\delta$  関係を、図 11 にアンカーボルト軸力  $AB T$ -左側柱のベースプレート回転角  $BP \theta$  を、表 2 にエネルギー吸収量を、それぞれ示す。各図の記号は N を無補強型、R は水平変位拘束型を NS は NS 柱脚を、S は S 柱脚を、それぞれ意味している。

図 9 (a), (c) より、M24 の場合は実験結果、解析結果と復元力特性モデルがほぼ対応しており、柱脚の耐力が十分に確保できている場合は水平変位拘束材を用いなくて

も、NC ブレース架構として成立していることがわかる。よって、ブレースからの軸力に対して柱脚が十分に耐力を有する場合は図 8 の解析モデルで簡便に評価できることがわかる。

しかし、図 9 (b) に示すように M30 の場合は、弾塑性領域の実験載荷剛性（第 2 象限と第 4 象限の弾性剛性）が低目となり、復元力特性モデルと対応していない。柱脚にブレースの鉛直成分と水平成分による組合せ応力が作用することで、柱脚に変形集中が生じ、図 10 (b) に示すようにブレース抵抗効率に影響しているためである。更に、最終サイクルではアンカーボルトが破断している。これに対して、図 9 (d) では、解析結果と復元力特性モデルとは対応している。これは、M30 を用いた場合でも、水平変位拘束材により柱脚が弾性抵抗できる範囲に留まったため

である。水平変位拘束材を用いると、柱脚補強が可能であり NC プレースを有効に機能させることができる。

次に水平変位拘束材を用いた場合においても、S 柱脚は図 11 (a) (c) に示すようにスリップ現象を生じ、アンカーボルトが有効に抵抗できていない。対して、NS 柱脚は図 11 (b) (d) に示すようにスリップ現象を生じず、アンカーボルトは有効に抵抗できていることがわかる。これ等の影響により、ベースプレートとナットの間に生じたクリアランスがなくなるまでは架構の変形に伴う曲げのみならず、ブレースからの応力に対しても抵抗できず、図 9 (e) (f) や表 2 に示すように S 柱脚は NS 柱脚に対してエネルギー吸収量が低めとなっている。従って、ブレースの容量が大きくなると S 柱脚では、繰返し載荷下では支持できないことが分かった。その判断の指標は  ${}_{BR}T_Y \cdot \sin\alpha/n \cdot {}_{AB}T_Y$  で表現でき、次期研究で詳細に行う。

## 6. まとめ

NC プレース架構において、水平変位拘束材による補強工法を提案し、柱脚性能を変数とした数値解析を行い、以下の知見を得た。

1. 柱脚がブレースに対して十分な耐力を有している場合は、NS 柱脚を用いることで NC プレースを有効に機能させることができる。
2. 水平変位拘束材を用いれば柱脚補強が可能であり、かつ NC プレース架構を理想的に機能させることができる。また、その復元力特性は弾性回転バネを柱脚に導入したモデルで評価できる。

## 謝 辞

本研究は、広島工業大学「高性能構造システム開発研究

センター」(代表者 高松隆夫教授) のプロジェクト研究の一環として実施されました。

また、試験体作製にあたりフルサト工業株式会社には、転造ねじアンカーボルト、並びに、建築用ターンバックル筋かいを提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 文部科学省大臣官房文教施設企画部：屋内運動場等の耐震性能規準 (平成 18 年版), 2006.2
- 2) 玉井宏章, 高松隆夫, 松尾彰：ノンコンプレッションブレースの耐震性能向上について, 日本建築学会構造系論文集, 第 595 号 pp.131-138, 2005.9.
- 3) 高松隆夫, 玉井宏章, 山西央朗, 竹本泰聖, 松尾彰：ブレース付き露出柱脚のせん断補強に関する基礎的研究, 広島工業大学紀要, 第 45 巻, pp115-120, 2011.2.
- 4) 高松隆夫, 山西央朗, 景山朋定：ブレース付き露出柱脚の補強工法に関する実験的研究, 広島工業大学紀要, 第 46 巻, pp115-120, 2012.2.
- 5) 高松隆夫, 山西央朗, 玉井宏章, 嶋本仁：水平変位拘束材を用いたブレース付き露出柱脚の補強工法に関する研究, 広島工業大学紀要, 第 47 巻, pp105-111, 2013.2.
- 6) 高松隆夫, 山西央朗, 玉井宏章, 中村友一：アンカーボルト降伏先行型露出柱脚付きブレース架構の復元力特性, 広島工業大学紀要, 第 47 巻, pp95-103, 2013.2.
- 7) 山西央朗, 高松隆夫, 玉井宏章, 松村高良, 松尾彰：引張領域を含む変動軸力を受けるノンスリップ型露出柱脚の抵抗特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻第 642 号 pp.1495-1502, 2009.8.