

ブレース付門型骨組みの復元力特性

高松 隆夫*・玉井 宏章*・福原 章宏**・山西 央朗***

(平成20年10月31日受理)

Restoring Force Characteristics of Braced Frame

Takao TAKAMATSU, Hiroyuki TAMAI, Akihiro FUKUHARA and Teruaki YAMANISHI

(Received Oct. 31, 2008)

Abstract

A conventional brace member buckles in compression and shows slip behavior in tension. The authors proposed a non-compression brace without buckling and slip. Experimental studies were carried out on non-compression braced frames to clarify restoring force characteristics of X-type or K type of braces. In this paper, an experimental study was performed on portal frames with exposed column bases to verify influence of an axial force of the brace on performance of the column base

Key Words: exposed column-base, steel portal frame, brace

1. はじめに

現在の耐震補強では、補強部材としてブレースが頻繁に使用されている。また、ブレースには、引張ブレース(引張力のみ抵抗して圧縮力には抵抗しないものとして設計されるブレース)が使用されており、圧縮力が作用すれば座屈を起し、そして引張力により塑性伸びをすることでスリップ現象が生じる。著者等は、楔デバイスを設置したブレースを“ノンコンプレッションブレース”と呼び提案している。これは、従来と同様の細長比を有するブレースにおいて、座屈やスリップ現象を防ぐことができ、また、ブレースをX型に配置することで、完全弾塑性型の復元力特性を示す^{1)~4)}。

一方、アンカーボルト降伏先行型露出柱脚では、側柱を想定した変動軸力⁵⁾や、中柱を想定した一定圧縮軸力^{6), 7)}などの軸力が作用することで、柱脚の曲げ抵抗、弾性回転剛性、復元力特性が変化することが明らかになっている。

そのため、アンカーボルト降伏先行型露出柱脚では、柱脚に作用する軸力を考慮して設計する必要がある。

これら、アンカーボルト降伏先行型露出柱脚の特性より、ブレースが設置されている露出柱脚では、ブレース軸力による影響を考慮する必要がある。また、著者等の提案するノンコンプレッションブレースは、座屈・塑性伸びによるスリップ現象が生じることなく、引張抵抗するため、従来型ブレースを設置した場合と比べて、より厳しい応力状態に曝される。しかしながら、ブレースによる軸力を検討した柱脚の研究、あるいは、柱脚の変形状態を考慮した上部構造を含む架構実験等の研究はあまり行われていない。そのため、ブレースと柱脚との相互作用については明らかにされておらず、ノンコンプレッションブレースのような新しい性能を有したブレースに対する適切な設計法を検討するためのデータが不足している。

そこで、本研究では、露出柱脚付門型フレームの載荷実験を行い、柱脚を有した場合のブレースの性能、及び柱脚

* 広島工業大学工学部建築工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

*** 広島工業大学大学院工学研究科知的機能科学専攻

表1 素材特性

材種	ヤング係数 E (N/mm ²)	降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	降伏比 σ_y/σ_u (%)	ひずみ硬化	
					開始ひずみ ϵ_{st} (%)	
Gブレース SNR400	205000	296	438	68	2.44	
NCブレース SNR400	205000	291	438	66	2.58	
柱ウェブ	SS400	205000	313	418	75	2.61
柱フランジ	SS400	205000	282	418	67	2.51
梁ウェブ	SS400	205000	294	401	73	3.62
梁フランジ	SS400	205000	281	392	72	2.84

表2 主要寸法

Gブレース	: $\phi_{BR}=18.3\text{mm}$ $A_{BR}=263\text{mm}^2$
NCブレース	: $\phi_{BR}=18.3\text{mm}$ $A_{BR}=263\text{mm}^2$
柱	: H-200x200x8x12
梁	: H-250x125x6x9

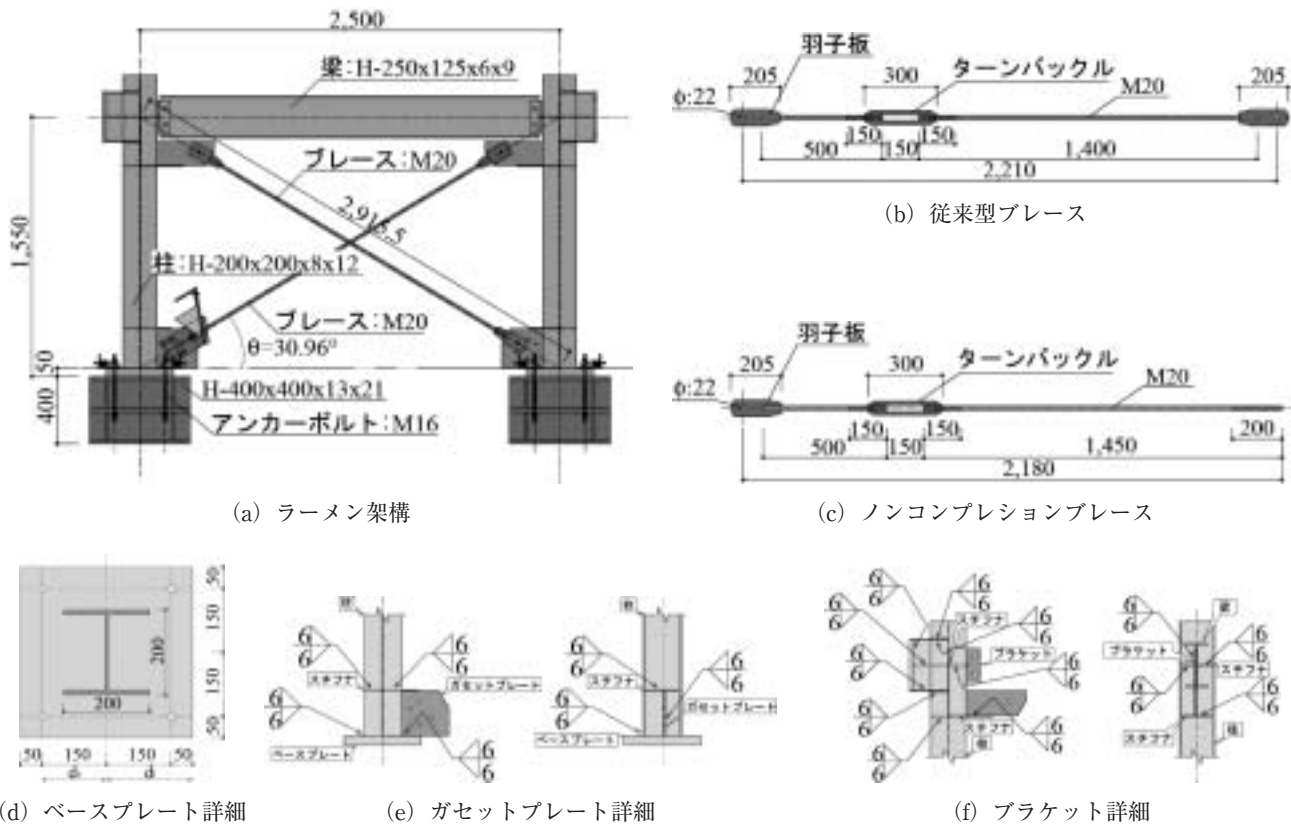


図1 試験体概要

に及ぼすブレース軸力の影響を明らかにする。但し、本試験体において柱脚の耐力は十分に大きく、ブレースの引張軸力による柱脚への影響が小さい場合について検討する。

2. 実験概要

本論文では、ブレース付架構について検討を行う。一般的にブレース付架構は、H型柱の弱軸方向の構面に設置される(強軸方向は、ラーメン架構としている)。そのため、本実験では露出柱脚を有する弱軸方向のブレース付門型ラーメン架構の水平載荷実験を行う。実験変数は柱脚の楔デバイスの有無及びブレースの楔デバイスの有無とする。

2.1 試験体

図1にラーメン架構及び各部詳細を、表1、表2にフレ

ーム及びブレースの素材特性、主要寸法を示す。

試験体は柱脚をスリップ型(S)(楔デバイス無し)としたもの及びノンスリップ型(NS)(楔デバイス有り)としたものに、従来型ブレース(G)及びノンコンプレッションブレース(NC)を設置した計4種類とする。

ラーメン架構の鋼材はすべてSS400とし柱にはH-200x200x8x12を、ベースプレートには隅角部に1本づつアンカーボルトを配置し、PL-400x400x50を、梁にはH-250x125x6x9を使用している。柱にはブラケットを設けて、柱梁接合部は梁ウェブのみを高力ボルトにより柱ブラケットに接合するピン接合とする。また、アンカーボルトには軸部の塑性伸びが十分に期待できる転造ねじアンカーボルト(M16)を使用している。アンカーボルトには降伏軸力の

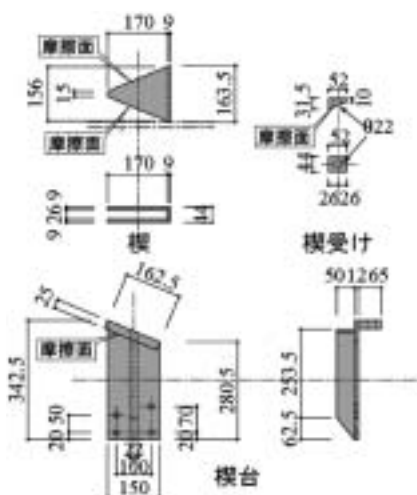


図2 ノンコンプレッションブレース，
楔・楔受け・楔台

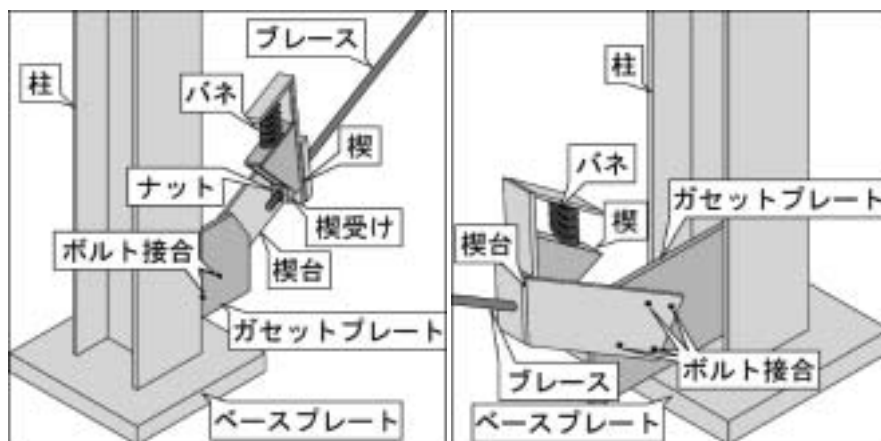


図3 ノンコンプレッションブレース設置状態

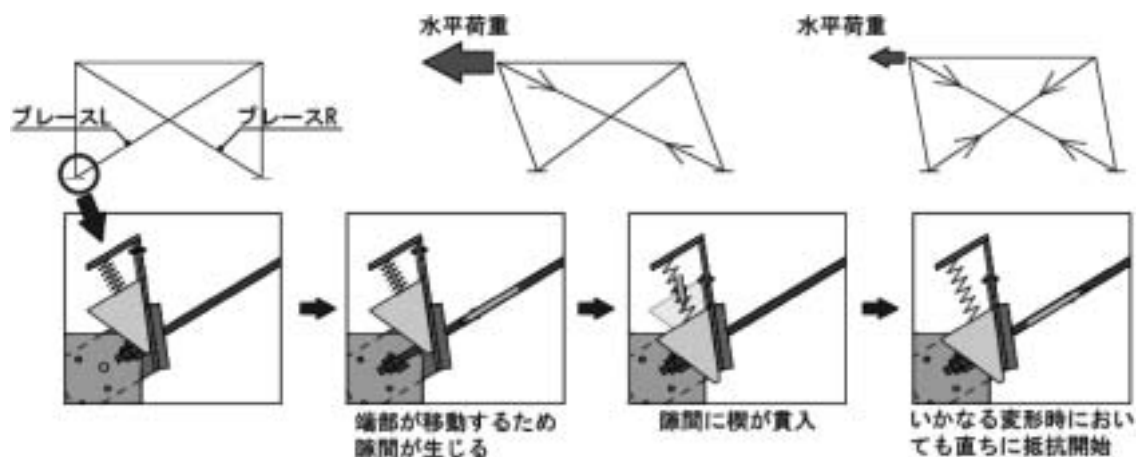


図4 ノンコンプレッションブレース作動概念

30%を初期軸力として導入している。

尚ベースプレートの孔とアンカーボルトとのクリアランス部にセメントペースト（水セメント比 50%程度）を詰めることでベースプレートのせん断スリップを抑制している。

ブレースには G ブレース及び NC ブレース共にターンバックル付転造ネジ付丸鋼ブレース M20 を使用している。初期載荷時に楔の貫入により弾性剛性が変化することを防ぐためにブレースの降伏軸力の 50%を初期軸力として導入している。導入方法としてはブレースに取り付けられているターンバックルを締めることで軸力を導入している。

尚、ターンバックル付転造ネジ付丸鋼ブレースは軸部の十分な塑性伸び能力が確保できるものを使用している。

2.2 ノンコンプレッションブレース

図 2，図 3，図 4 にブレースの楔デバイス形状，楔デバイス設置状況，及び楔デバイス作動概念を示す。

ブレースの楔デバイスは，楔，楔受け，楔台及びバネから構成されている。ブレースを X 型に配置し，ブレース下端部に楔デバイスを設置する。また，楔デバイスの摩擦

面を，楔受けとの摩擦面，及び，楔台との接触面の 2 面に設ける。ブレース法線からの接触面角度を上下それぞれ 22.5 度して，貫入角度を 45 度としている。ブレースに張力が導入された際，楔が押し戻されることを防ぐため，楔，楔受け及び楔台接触面に発錆処理を施し静止摩擦係数を増大させている。

ノンコンプレッションブレースの上端部は従来型ブレースと同様に，羽子板をガセットプレートに高力ボルトにより接合する。下端部はガセットプレートにボルト接合された楔台にブレースを通し楔及び楔受けを設置しダブルナットで固定する。楔の貫入がスムーズに行われるように楔に取付けたプレートと楔台とを全ネジとナットを用い，楔の貫入に支障がでない程度締め付けている。

ノンコンプレッションブレースの特性を以下に示す。引張側のブレースでは引張力に抵抗する。しかし，圧縮側のブレースは端部が移動するために圧縮力に抵抗しない。そのためノンコンプレッションブレースでは座屈現象は生じない。また，圧縮力によって端部が移動することで生じた間

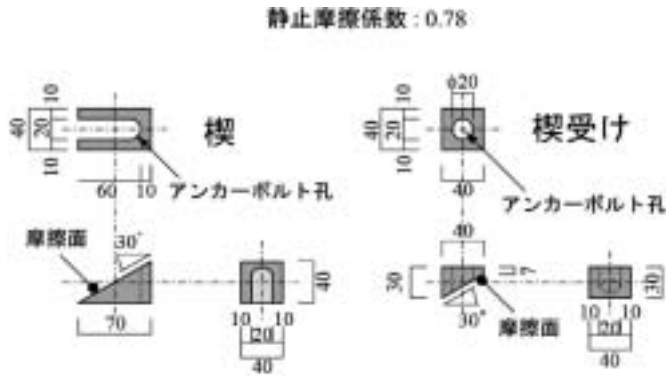


図5 ノンスリップ露出柱脚，楔・楔受け

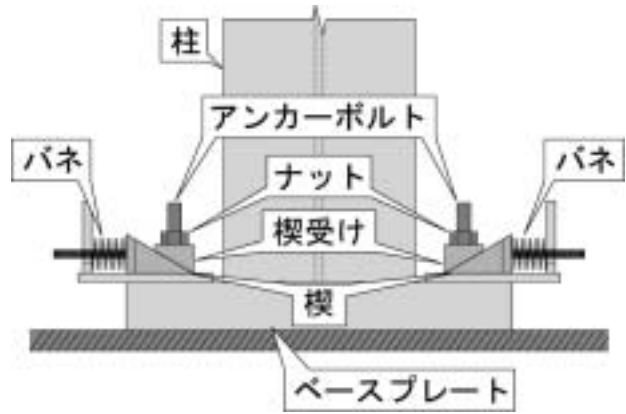


図6 ノンスリップ露出柱脚

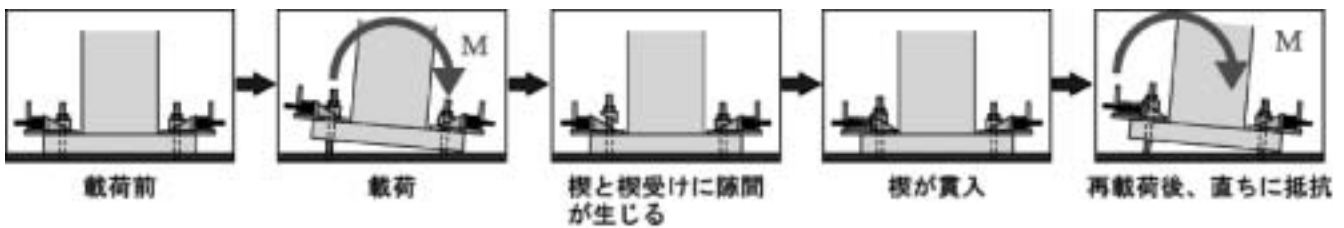


図7 ノンスリップ露出柱脚作動概念

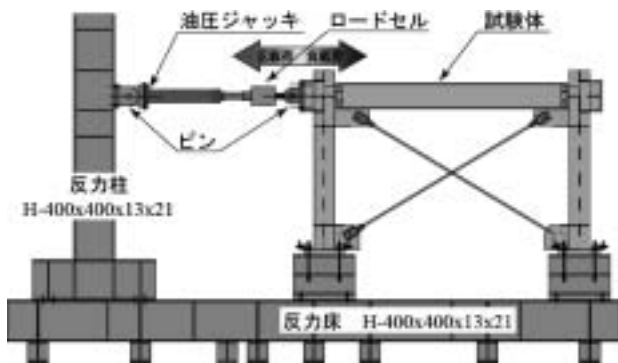


図8 載荷装置

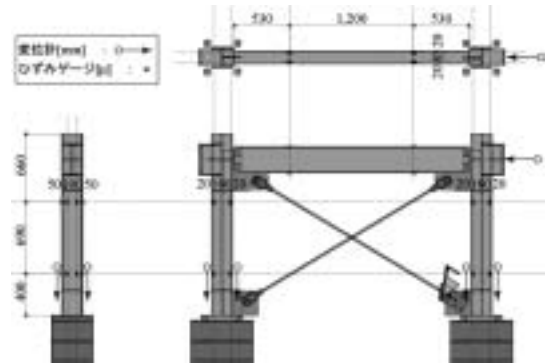


図9 計測位置

隙部に楔が貫入することにより、構造物の変形状態にかかわらず、引張変形が作用すると直に引張力に抵抗する機構になっており、ブレース材の塑性伸びによる緩みも生じない。よって、スリップ現象も防ぐことができる。

2.3 ノンスリップ型露出柱脚

図5、図6、図7に露出柱脚の楔デバイス形状、楔デバイス設置状況、及び楔デバイス作動概念を示す。

露出柱脚の楔デバイスはブレースの場合と同様に、楔、楔受け、楔台及びバネから構成されている。アンカーボルトに引張軸力が作用した際、楔が押し戻されることを防ぐため楔及び楔受けに発錆処理を施し静止摩擦係数を増大させた。

ノンスリップ型露出柱脚の特性について記載する。アンカーボルトに塑性伸びが生じた場合、ナットとベースプレ

ートに隙が発生する。この隙部に楔が貫入することで、再度柱脚に曲げモーメントが作用した時に、原点よりアンカーボルトが抵抗する。故に一般的な露出柱脚で発生していたアンカーボルトの塑性伸びによるスリップ現象が生じることはない。

2.4 載荷装置と載荷方法

図8に本実験で使用する載荷装置を示す。反力柱の上部に設置した油圧ジャッキにより、試験体柱頭部に水平載荷を行う。載荷は、層間変形角を制御値として1/1000、1/500、1/250、1/200、1/100と漸増させて、正負で各2サイクル行う。

2.5 計測方法

図9に計測位置を示す。変位計測は柱頭部水平変位 δ より層間変形角 r を、柱脚部の鉛直変位よりベースプレート

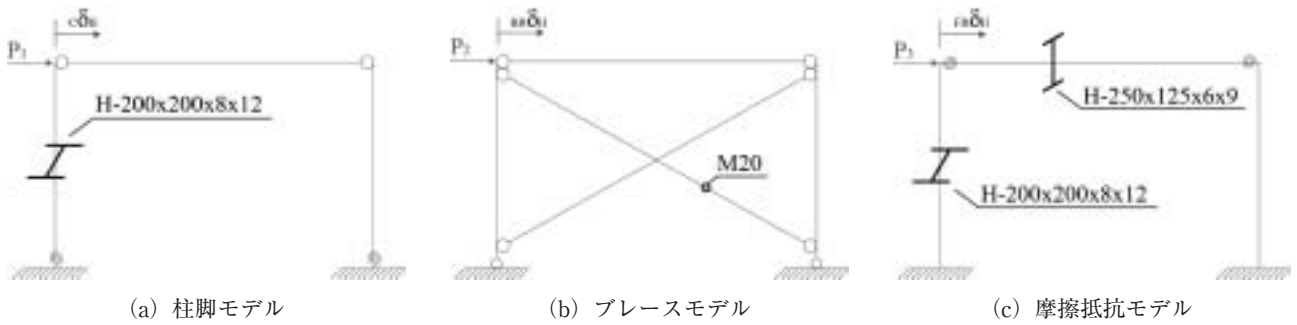


図 10 解析モデル

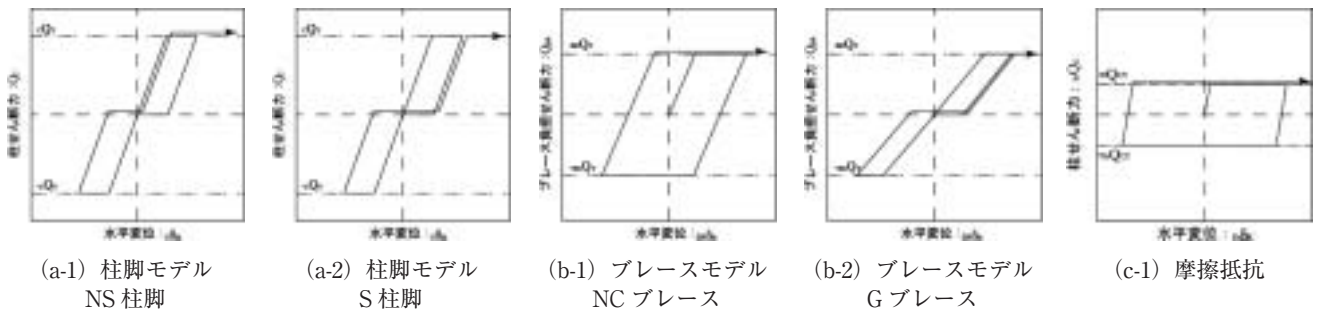


図 11 復元力特性モデル

回転角 θ を算出する。荷重計測は油圧ジャッキ先端に取り付けたロードセルにより水平荷重 P を、アンカーボルトは下部に取り付けたロードセルにより、アンカーボルト軸力 T を計測する。柱のフランジに貼り付けたひずみゲージよりラーメン架構の負担する層せん断力 Q_f を算出する。また、柱の材端モーメント M を算出する。更に、梁のフランジにひずみゲージを貼り付け、梁のせん断力を算出する。

3. 復元力特性モデル

本論文で取り扱う試験体の評価にあたり図 10 に解析モデルを、図 11 に復元力特性モデルを示す。

図 10(a)はフレームの解析モデルであり、柱梁接合部はピン接合、柱脚部は弾塑性バネとして、柱のみが抵抗するものとしている。図 10(b)はブレースの解析モデルであり、柱梁接合部をピン接合、柱脚部もピン支持として、ブレースのみが抵抗するものとしている。また、実際の試験体の柱梁接合部は完全なピン接合でないため、ボルト接合による摩擦抵抗等の影響が柱に伝播してくるため、図 10(c)に示すフレームの解析モデルについても検討する。梁に生じたモーメントが柱に伝播すると考えているため、柱と梁は剛接合とする。また、柱梁接合部の摩擦抵抗によって生じたモーメントの大きさではベースプレートの回転は微小と思われるので基礎と柱は剛接合とする。

これら、3つの解析モデルより求めた復元力特性モデルを足し合わせたものにより本研究の試験体を評価する。

3.1 フレームの降伏耐力及び弾性剛性

フレームの降伏耐力： cQ_y 、柱頭部の水平変位： $c\delta_H$ 及び弾性剛性： k_c は以下の式より求められる。

$$cQ_y = \frac{M_y}{L} \dots\dots\dots (1)$$

$$c\delta_H = \delta_1 + \delta_2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta_1 = P \cdot L^2 \cdot \frac{2 \cdot I_{AB}}{A \cdot n \cdot E_{AB} (d_c + d_t)^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\delta_2 = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E_c \cdot I_c} \dots\dots\dots (4)$$

$$k_c = \frac{P}{c\delta_H} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 M_y ：柱の降伏曲げ耐力、 L ：柱部材長、 δ_1 ：柱の回転による変位、 δ_2 ：柱の曲げによる変位、 P ：水平荷重、 I_{AB} ：アンカーボルトの有効長さ、 A ：アンカーボルト軸部断面積、 n ：引張側アンカーボルト抵抗本数、 E_{AB} ：アンカーボルトのヤング率、 d_c ：柱断面図心位置から圧縮合力点位置までの距離、 d_t ：柱断面図心位置から引張側アンカーボルト中心位置までの距離、 E_c ：柱のヤング率、 I_c ：柱の断面2次モーメントである。

フレームの弾性剛性を求める際、以下の仮定を設けている。

- i) ベースプレートの板厚が50mmと厚いため、圧縮合力点位置をベースプレート端部とする。
- ii) (5)式のフレームの弾性剛性は柱1本分の剛性のため、2倍したものをフレームの弾性剛性とする。

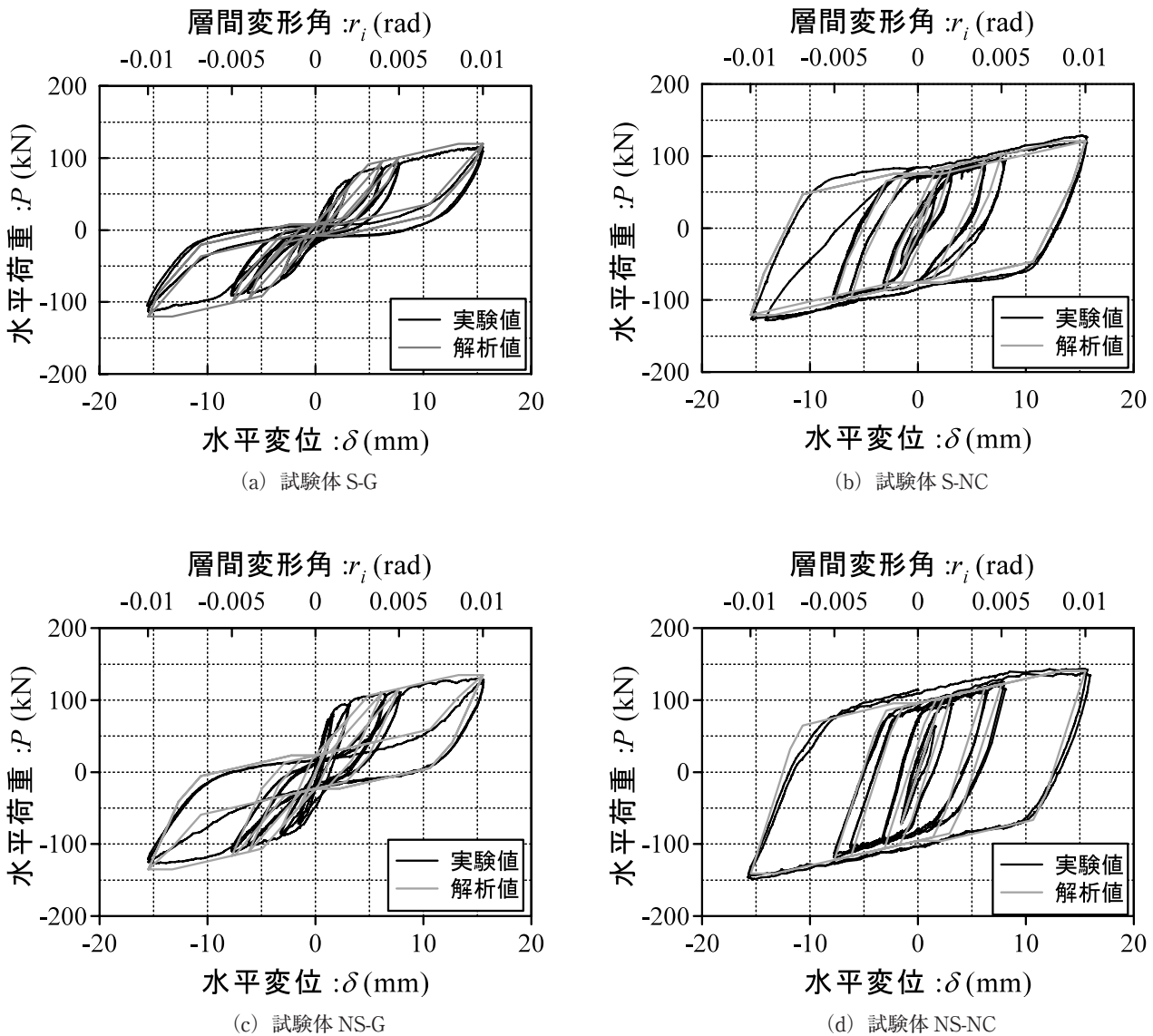


図 12 水平荷重 P - 水平変位 δ

3.2 ブレースの降伏耐力及び弾性剛性

ブレースの降伏層せん断力 ${}_{BR}Q_y$ 及び弾性剛性 k_{BR} は以下の式で求められる。

$${}_{BR}Q_y = A_{BR} \cdot \sigma_y \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$k_{BR} = \frac{n \cdot E_{BR} \cdot A_{BR} \cdot \cos^2 \theta}{l_{BR}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 A_{BR} ：ブレースの軸部断面積、 σ_y ：ブレース材の降伏応力度、 θ ：ブレース設置角度、 n ：ブレース抵抗本数、 E_{BR} ：ブレースのヤング率、 l_{BR} ：ブレースの有効長さである。

ブレースの弾性剛性を求める際、以下の仮定を設けている。

- iii) ブレースの有効長さは柱と梁の軸線との交点間距離とする。
- iv) ブレースの断面性能はブレース軸部のものとする。

v) 弾性剛性は、従来型ブレース (G) では 1 本分の弾性剛性、ノンコンプレッションブレース (NC) では、2 本分の弾性剛性が得られるとする。

vi) ブレースの素材特性には、完全弾塑性型モデルを用いる。

vii) 従来型ブレース (G)、ノンコンプレッションブレース (NC) 共に引張力のみ抵抗するものとする。

3.3 摩擦抵抗によるフレームの耐力及び弾性剛性

摩擦抵抗によるフレームの最大耐力 ${}_{Fr}Q_{CY}$ は実験値より算出し、弾性剛性 k_{Fr} は以下の式で求められる。

$$k_{Fr} = \frac{P}{F_r \delta_H} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 P ：水平荷重、 $F_r \delta_H$ ：水平変位である。

最大耐力 ${}_{Fr}Q_{CY}$ は実験により梁端部に発生したモーメントを図 10(c) に示す解析モデルに置き換えた場合に柱に生

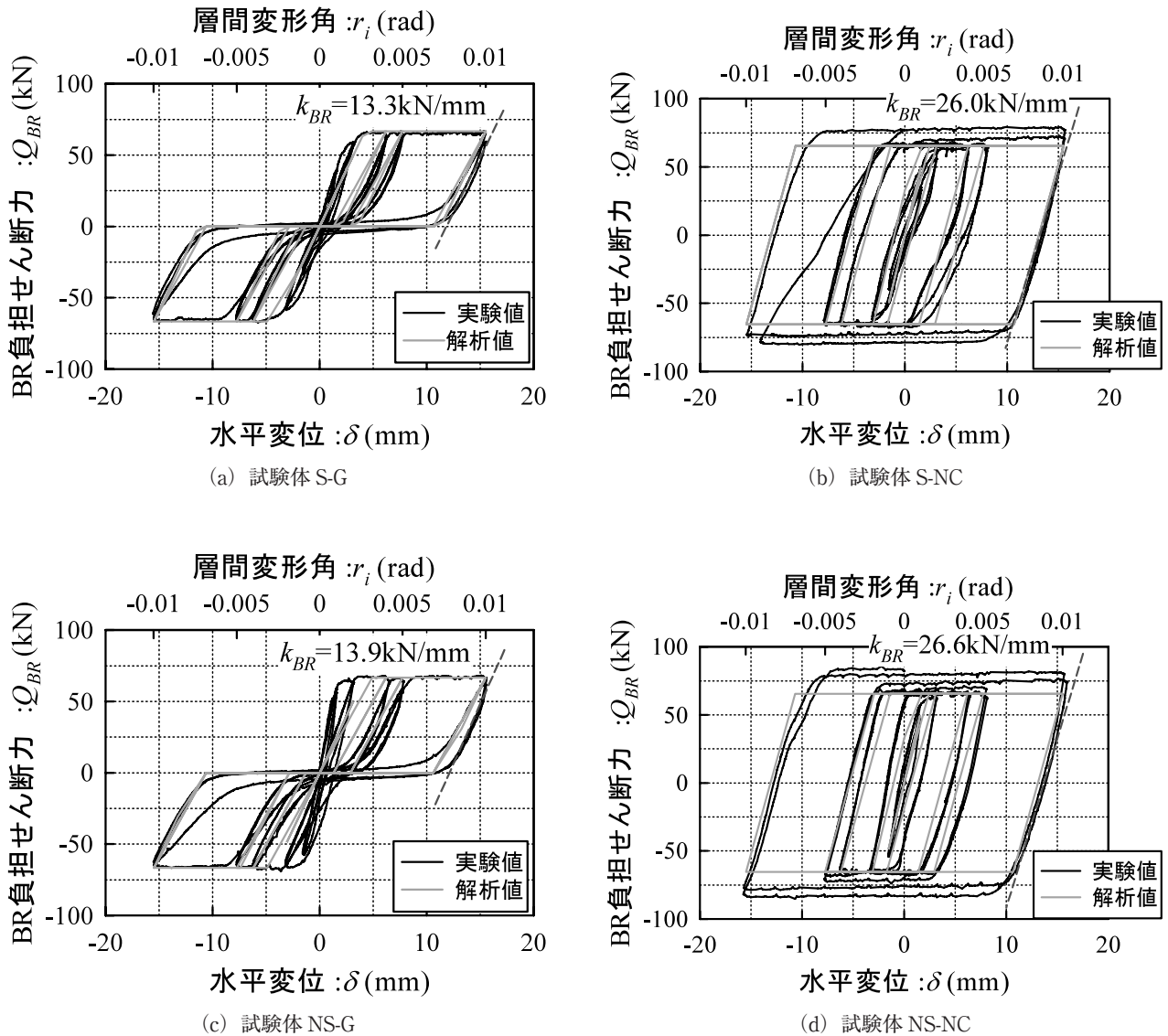


図 13 ブレース負担せん断力 Q_{BR} –水平変位 δ

じるせん断力とする。また、梁端部のモーメントの値が最初に流れ始めた時点での柱に作用するせん断力を上限値とする。

3.4 各種復元力特性モデル

図 11(a)に示すフレームの復元力特性モデルでは、ノンスリップ型の場合原点立上り型の復元力特性モデルを示し、スリップ型の場合スリップ型の復元力特性モデルを示すとする。

図 11(b)に示すブレースの復元力特性モデルでは、ノンコンプレッションブレースの場合完全弾塑性型の復元力特性モデルを示し、従来型ブレースの場合スリップ型の復元力特性モデルを示すとする。

図 11(c)に示す摩擦抵抗の影響によるフレームの復元力特性モデルはすべて完全弾塑性型とする。

4. 実験結果と考察

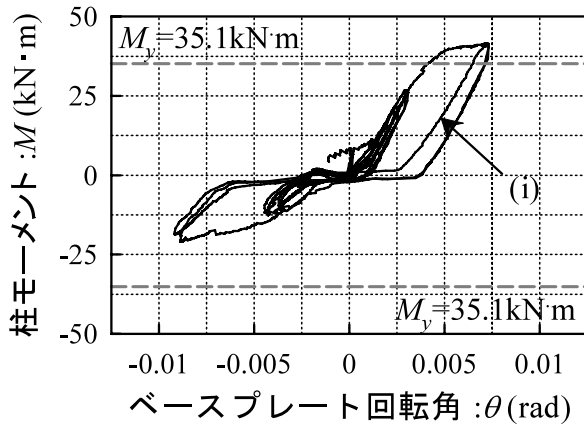
図 12, 図 13, 図 14, 図 15 に各実験結果を示す。図 12 に水平荷重 P –水平変位 δ の関係を、図 13 にブレース負担せん断力 Q_{BR} –水平変位 δ の関係を、図 14 に曲げモーメント M –ベースプレート回転角 θ の関係を、図 15 に柱軸力 N_c –ベースプレート回転角 θ の関係を示す。また、図 12, 及び、図 13 には復元力特性モデルを併せてます。

尚、図 14, 図 15 に示してある結果は、左右の柱で原点逆対称的な結果を示すため、載荷点側の柱の結果（正方向で正の回転角）について示す。

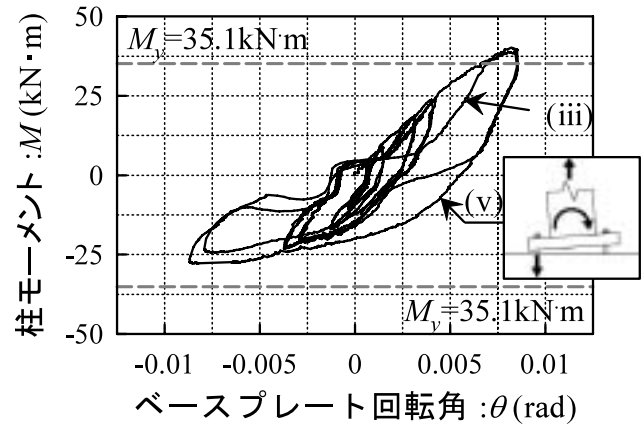
4.1 水平荷重–水平変位

図 12(a)に試験体 S-G, (b)に試験体 S-NC, (c)に試験体 NS-G, (d)に試験体 NS-NC の結果を示す。

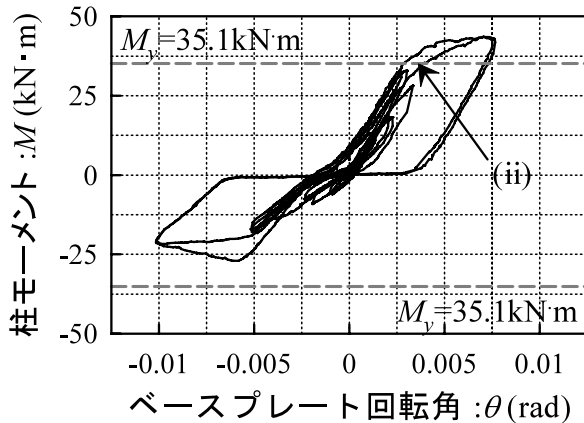
従来型ブレースを用いた試験体 S-G, NS-G ではスリップ型の履歴を描いている。それに対し、ノンコンプレッションブレースを用いた試験体 S-NC, NS-NC では紡錘型の履



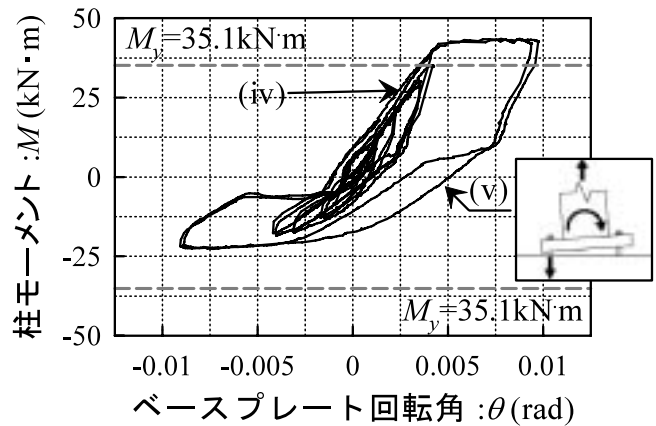
(a) 試験体 S-G



(b) 試験体 S-NC



(c) 試験体 NS-G



(d) 試験体 NS-NC

図 14 柱モーメント M - ベースプレート回転角 θ

歴を示し、エネルギー吸収効率が良いといえる。また、常に一定の弾性剛性を示し安定している。更に、本論文で提案している復元力特性モデルは、実験結果と良好に対応している。

本実験で用いたブレースは、細長比が大きいため、従来型ブレースでは直ぐ座屈が発生し、更に、塑性伸びにより塑性伸びした量程、緩みが発生する。これらの影響により、ブレースがスリップ型の復元力特性を示し (図 13(a), (c) 参照)、架構の履歴にもスリップ現象が現れている。一方、S 型柱脚のアンカーボルトは、最終サイクルでのみスリップ現象が生じており (図 14(a) 中の (i) 参照)、また、NS 型柱脚はスリップ現象を改善し原点立上り型の復元力特性を示している。(図 14(c) 中の (ii) 参照) 更に、ブレース軸力の影響により、正方向と負方向での降伏耐力に差異が生じている。このように柱脚の復元力特性は、スリップ現象が発生することで、僅かではあるが架構の履歴面積が減少し (図 12(a), (c) 参照)、正負の降伏耐力の差異による影響は現れていない。(左右の柱脚で影響を相殺し合う

ためである。) 载荷前にブレース材に初期軸力として、ブレース降伏軸力の 50% を導入していたため、ブレース材が弾性時の剛性はブレース材が降伏後の剛性に比べ高くなっている。

ノンコンプレッションブレースでは、座屈、塑性伸びによる緩みを改善できる。このため、ブレースを X 型に配置している本試験体では、ブレースは完全弾塑性型の復元力特性を示し (図 13(b), (d) 参照)、また、架構の履歴は Bi-linear 型となっている。一方、柱脚では従来型ブレースと同様に、S 型は最終サイクルでスリップ現象が生じ、NS 型は原点立上り型の復元力特性を示し (図 14(b), (d) 中の (iii), (iv) 参照)、更に正負の降伏耐力に差異が生じている。これらの、柱脚の復元力特性は従来型ブレースを用いた場合と同様に、スリップ現象により履歴面積が現象している (図 12(b), (d) 参照)。正負の降伏耐力の差異による影響が現れない理由としては、従来型ブレースを用いている場合と同様である。

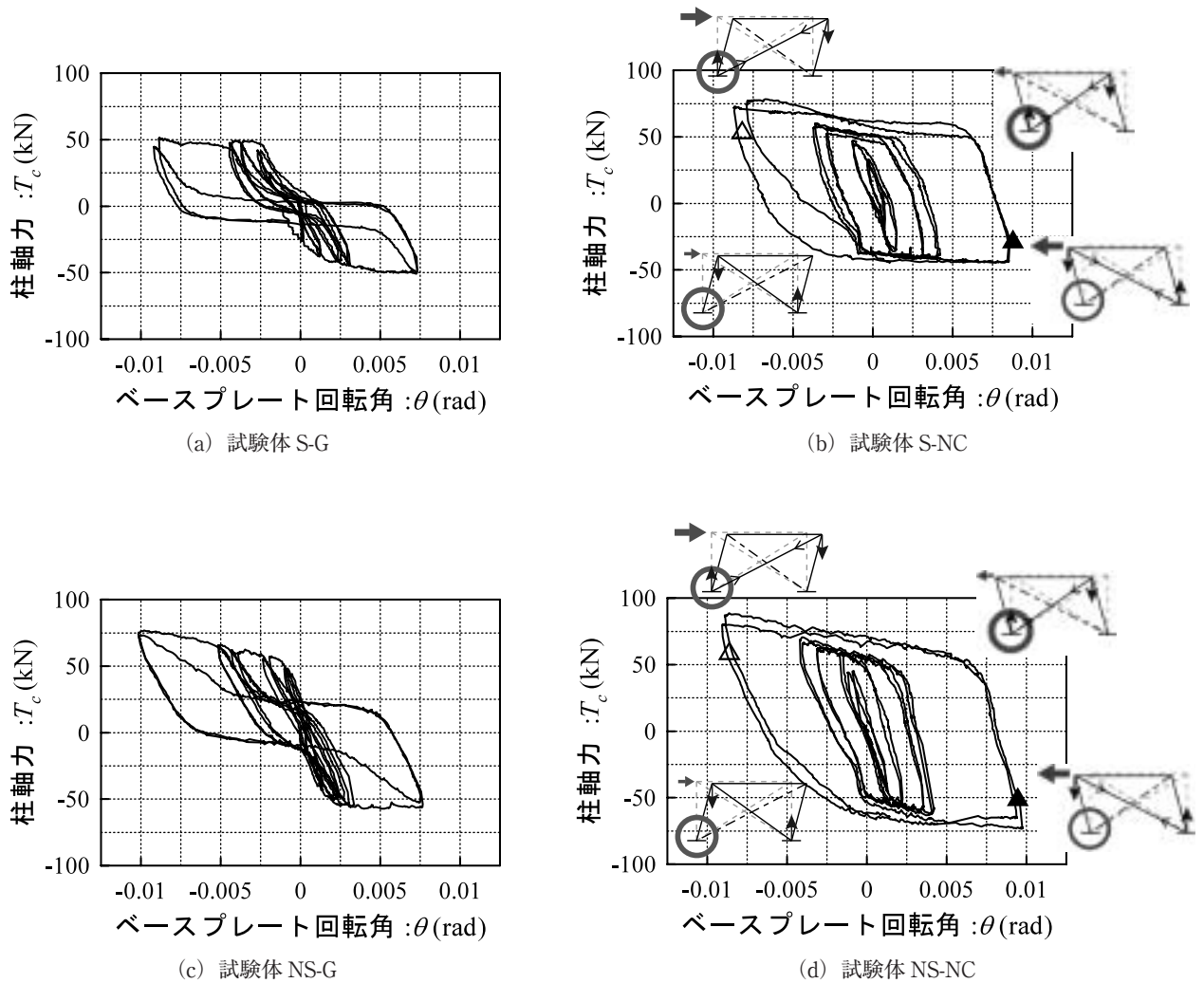


図 15 柱軸力 N_c - ベースプレート回転角 δ

4.2 ブレース負担せん断力-水平変位

図 13(a) に試験体 S-G, (b) に試験体 S-NC, (c) に試験体 NS-G, (d) に試験体 NS-NC の結果を示す。

従来型ブレースを用いた試験体 S-G, NS-G ではスリップ型の履歴を描いている。弾性荷重, 除荷時の剛性はブレース材の降伏軸力の 50% を初期軸力として導入しているため一方のブレースは荷重による抵抗, もう一方のブレースは除荷による抵抗を示すためブレース 2 本分の弾性剛性を示している。しかし, ブレース降伏後は, 荷重時, 除荷時共に 1 本のブレースのみの抵抗となるため, ブレース 1 本分の剛性を示している。

ノンコンプレッションブレースを用いた試験体 S-NC, NS-NC では完全弾塑性型の履歴を描いている。また, 全てのサイクルの荷重時と除荷時の剛性は常にブレース 2 本分を示している。ブレース材の降伏軸力の 50% を初期軸力として導入することで, ブレース材が弾性時のときは一方のブレースは荷重による抵抗, もう一方のブレースは除荷による抵抗を示すためブレース 2 本分の剛性を示す。ま

た, ブレース降伏後もブレース 2 本分の剛性を示す。これは, 荷重を除荷する際, 一方のブレースは除荷による抵抗を, 除荷と同時に引張による抵抗をするため, ブレース 2 本分の剛性を示す。そのため, 降伏耐力はブレース 1 本分ではあるが, 弾性剛性は, 2 本分の値となる。

4.3 柱脚の曲げモーメント-ベースプレート回転角

図 14(a) に試験体 S-G, (b) に試験体 S-NC, (c) に試験体 NS-G, (d) に試験体 NS-NC の結果を示す。

従来型ブレースを用いた試験体 S-G, NS-G では正荷重時は柱脚には圧縮軸力が作用し, 負荷荷時は, 柱脚には引張軸力が作用する。このため, 無軸力下の降伏耐力に比べ正荷重では耐力が増加し, 負荷荷では耐力が減少する。尚, 試験体 NS-G の最終サイクルでは前サイクルより高い値を示している。これは, ブレース材のスリップ現象により, ベースプレート回転角 0.006rad からブレースが抵抗し, それまでは引張軸力が作用しないため柱脚が無軸力状態になるためである。このため, ブレース材が抵抗を開始すると材端モーメントは減少し, 最大回転角時には前サイクル

と同じ値となる。

ノンコンプレッションブレースを用いた試験体 S-NC, NS-NC では正載荷時では載荷点側の柱の柱頭部に取り付けられているブレースが引張抵抗するため載荷点側の柱には圧縮軸力が作用し、無軸力下の降伏耐力に比べ最大耐力は上昇する。

また、ノンコンプレッションブレースは、除荷と共に抵抗していなかった側のブレースが引張抵抗を開始するので、正方向載荷除荷時（図 15 中、▲）から負方向載荷除荷開始次（図中 15、△）の間は引張軸力が、逆に、△～▲の間は圧縮軸力が作用する。このため、引張軸力が作用する正方向載荷除荷時には、柱脚の圧縮側のアンカーボルトが抵抗する場合（S-NC, NS-NC の層間変形角 $1/100\text{rad}$ 時の 1 サイクル目）があり、回転角と逆向きの曲げ抵抗が発生し、正の回転角で負の曲げ耐力となる（図 14 中(v)）。また、試験体 NS-G, NS-NC では、アンカーボルトが降伏しているものの、スリップ現象を起こすことなく、原点立上り型の復元力特性を示している。

4.4 柱軸力カーブベースプレート回転角

図 15 (a) に試験体 S-G, (b) に試験体 S-NC, (c) に試験体 NS-G, (d) に試験体 NS-NC の結果を示す。

すべての履歴はブレースの抵抗に大きく依存している。従来型のブレースを用いている試験体 S-G, NS-G では、ブレースに座屈、塑性伸びが生じることでスリップ現象が生じている。正載荷では柱頭部に設置しているブレースが引張抵抗するため柱脚には圧縮軸力が作用する。除荷によりブレースの軸力が減少するため柱脚の圧縮軸力は減少していき、ブレース軸力が 0 になると、軸力は一定でベースプレート回転角のみ進行する。負載荷になると柱脚に設置しているブレースが抵抗を始めるため柱脚には引張軸力が作用する。除荷時は正載荷時の除荷時と同様で、除荷と同時にブレースの軸力が減少するため、柱脚の引張軸力は減少していき、ブレース軸力が 0 になると軸力は一定でベースプレート回転角のみ進行する。

ノンコンプレッションブレースを用いた試験体 S-NC, NS-NC も正載荷でも、柱頭部に設置しているブレースが抵抗するため、柱脚には圧縮軸力が作用する。除荷と同時に、ブレースの軸力が減少し、もう一方（抵抗していなかった側）のブレースが抵抗を始めるため、柱脚に引張軸力が作用し始める。また、回転角が 0 に戻る前に抵抗するブレースが切り換わるため柱脚に作用する軸力は圧縮軸力から引張軸力に推移する。負載荷を開始した際、ブレースは既に降伏しているため、柱脚に作用する引張軸力の上昇は緩やかとなる。除荷を開始すると柱脚に設置していたブレースの軸力は減少するが、柱頭部に設置したブレースが抵

抗を始めるため柱脚には圧縮軸力が作用し、正載荷を開始する前に、柱脚に圧縮軸力が作用する。

5. まとめ

本研究では、2 種類のブレースを用い、柱脚を有するブレース付門型骨組みの繰返し水平載荷実験を行った。得られた知見は以下となる。

1. ブレース軸力の影響により、各柱脚では付加曲げによる耐力の低下、あるいは、上昇が見られたが、フレーム全体としてみれば、ブレース軸力の影響はない。
2. 柱脚を有する門型骨組みの場合でも、ブレースの性能は文献の評価式を用い評価することができる。
3. ブレース軸力により柱脚に作用する変動軸力を考慮した履歴性状を大まかに知ることができた。

謝 辞

本研究では、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、試験体作成にあたりフルサト工業株式会社には、転造ネジアンカーボルト、並びに、ターンバックル付転造ネジ付ブレース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) 高松隆夫, 玉井宏章, 小持明宏: ノンコンプレッションブレースの履歴性状とエネルギー吸収性について, 鋼構造年次論文報告集, 第 11 巻 pp.129-136: 2003. 11.
- 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, 加藤孝昌, 小畑寛行: ノンコンプレッションブレースで補強した鋼構造骨組の復元力特性, 鋼構造年次論文報告集, 第 14 巻 pp.429-436: 2006. 11.
- 4) 高松隆夫, 玉井宏章, 加藤孝昌: ノンコンプレッションブレースによる耐震補強工法に関する実験的研究, 広島工業大学紀要・研究編, 第 42 巻, pp.105-111: 2008. 2.
- 5) 山西央朗, 高松隆夫, 玉井宏章, 松村高良, 松尾彰: 変動軸力を受けるアンカーボルト降伏先行型露出柱脚の復元力特性, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 III-C1, pp.1079-1080: 2008. 8.
- 6) 高松隆夫, 玉井宏章, 松村高良, 山西央朗, 松尾彰: 一定軸力下の鉄骨露出柱脚の復元力特性モデル, 鋼構

造年次論文報告集，第 15 卷，pp.97-104：2007. 11.
7) 松村高良，高松隆夫，玉井宏章，山西央朗，松尾彰：
一定軸力下におけるアンカーボルトを多数配列した露

出柱脚の復元力特性，日本建築学会学術講演梗概集，
構造Ⅲ-C1，pp.1085-1086：2008. 8.