

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

高松 隆夫*・玉井 宏章*・山西 央朗**・竹本 泰聖***・松尾 彰****

(平成22年11月5日受付)

Basic study on rehabilitated of shearing force for exposed column-base in braced frame

Takao TAKAMATSU, Hiroyuki TAMAI, Teruaki YAMANISHI,
Yasumasa TAKEMOTO and Akira MATUO

(Received Nov. 5, 2010)

Abstract

In a rehabilitation of an existing steel structure, column bases are often treated as reinforced elements. This paper proposes a new reinforcement of the column base. In the reinforcement method, existing anchor bolts of the column base resist an axial force and a shearing resistant plate resists a shearing force. Experimental study on the new reinforcement of the column base was carried out. The following conclusions were obtained from the experimental results: 1) The shearing resistant plate resisted the shearing force of a brace, and anchor bolts resisted the tensile force; 2) Tensile stress of the anchor bolt reached an yield stress; 3) The existing anchor bolts can be designed as a tension member, and this reinforcement of the column base by the shearing resistant plate is effective.

Key Words: *Braced-frame, Anchor-bolt-yield-type exposed column-base, Loading test*

1. はじめに

現在、屋内運動場等の低層鉄骨架構の耐震診断・耐震改修が頻繁に行われ、保有水平耐力が不足している事例がある。その場合、補強工法の一つとしてブレースの断面を増加、および新設等の補強が有効であり、多く採用されている。

一方、ブレースの軸断面を増加あるいは新設した場合、ブレース以外の構造部材（柱、梁、各接合部）への応力負担が増加し、構造物全体の改修・補強を行う必要がある。

しかしながら、露出柱脚では、このような耐震改修を行う場合において、簡便な補強工法が確立されているとはい

い難い。特に、ブレースが直接設置されている柱脚においては、ブレース軸力の水平成分がせん断力、鉛直成分が軸力として作用する。これを考慮し、柱脚では2軸応力下での抵抗機構を用いて設計する必要がある（ブレース架構は、H形柱の弱軸方向の架構として用いるため、曲げモーメントよりも柱軸力およびせん断力による影響が大きくなる傾向にある）。

ブレース架構での柱脚を想定し、せん断と軸力を想定した研究を行った結果、柱脚の性能が架構に及ぼす影響は大きく、柱脚が降伏する場合、耐力、および剛性等の減少に繋がる。また、柱脚の降伏耐力以上の降伏軸力を保持するブレースを設置した場合においては、柱脚のアンカーボル

* 広島工業大学工学部建設工学科

** 広島工業大学高性能構造システム開発研究センター

*** 広島工業大学大学院建設工学専攻

**** 広島大学大学院社会環境システム専攻

表 1 素材特性と主要寸法

部材名	材種	ヤング係数	降伏応力度	降伏ひずみ	ひずみ硬化 開始ひずみ	引張強さ	主要寸法 (mm)	
		E (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	ε_y (%)	ε_{ST} (%)	σ_u (N/mm ²)		
柱	フランジ	SN490	205000	395	0.14	2.51	491	H-250×250×9×14
	ウェブ	SN490	205000	399	0.16	2.61	487	
梁	フランジ	SS400	205000	295	0.15	2.84	412	H-250×125×6×9
	ウェブ	SS400	205000	318	0.17	3.62	434	
ベースプレート	SN490	205000	347	0.18	1.94	487	PL-50	
ブレース	SNR400	205000	280	0.13	2.53	440	M16 軸部径 ϕ =31.0mm	
アンカーボルト	ABR400	205000	294	0.14	2.55	435	M16 軸部径 ϕ =14.5mm	

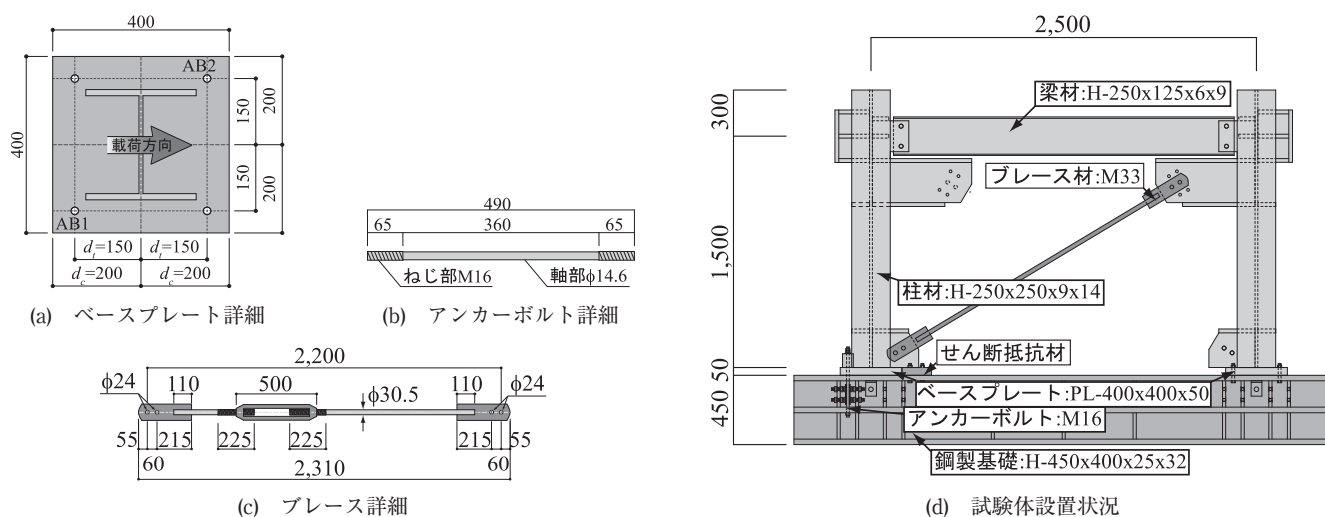


図 1 試験体形状

トが引張せん断崩壊し、ブレース等が弾性範囲でも架構としての靱性等が期待できないことが明らかとなっている¹⁻²⁾。

このように、柱脚の崩壊機構等が明らかにされつつあるが、現行の露出柱脚の補強工法としては、あと施工アンカーボルトの増設が一般的であり、この場合、あと施工アンカーボルトが弾性域であれば引張力等には抵抗できるが、弾塑性域に入ると、抜け出し等の問題が生じる。更に、補強を行った露出柱脚の抵抗機構が明確でないことから、未だ適切な耐震改修設計・施工法が確立できていない。

このような背景の下、本研究では、簡便な露出柱脚の補強工法（3章に示す“せん断抵抗材を用いた工法”）を提案し、耐震改修設計方法を導出するための抵抗機構を明らかにすることを目的にする。方法としては、せん断抵抗材を用いた露出柱脚付きブレース架構を用いて、荷重実験を行い、抵抗機構を明らかにする。尚、本実験は、単調荷重とするので、引張側の柱に注目して検討を行う。圧縮側の柱の柱脚が降伏することによる影響を回避するため、高力ボルトで接合している。

2. 実験概要

実験としては、アンカーボルト降伏先行型露出柱脚付きブレース架構を用いて荷重実験を行う。ブレースの断面

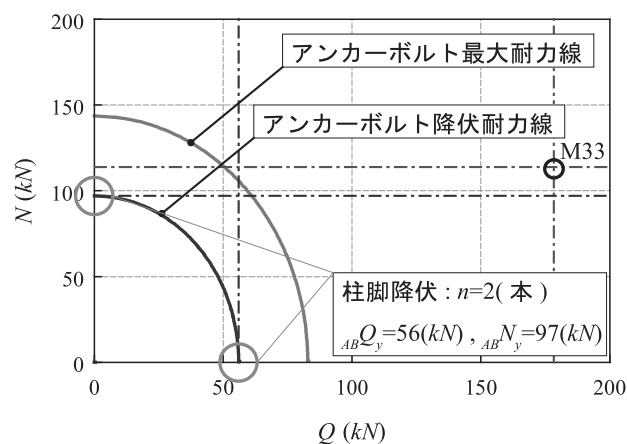


図 2 Q - N 耐力相関関係

は、図 2 に示す柱脚の Q - N 耐力相関関係の柱脚の降伏軸力 ${}_{AB}N_y$ を超過する鉛直成分（ブレース降伏軸力の鉛直成分）を有するもの（M33）を選定している。

尚、本実験では、柱、ベースプレートおよび、基礎部分には、荷重に対して弾性範囲に留まる素材特性・断面性能を採用している。

2.1 試験体概要

表 1 に、試験体の素材特性と主要寸法を、図 1 に、試験体形状を、図 2 に柱脚の Q - N 耐力相関関係を、それぞれ、示す。

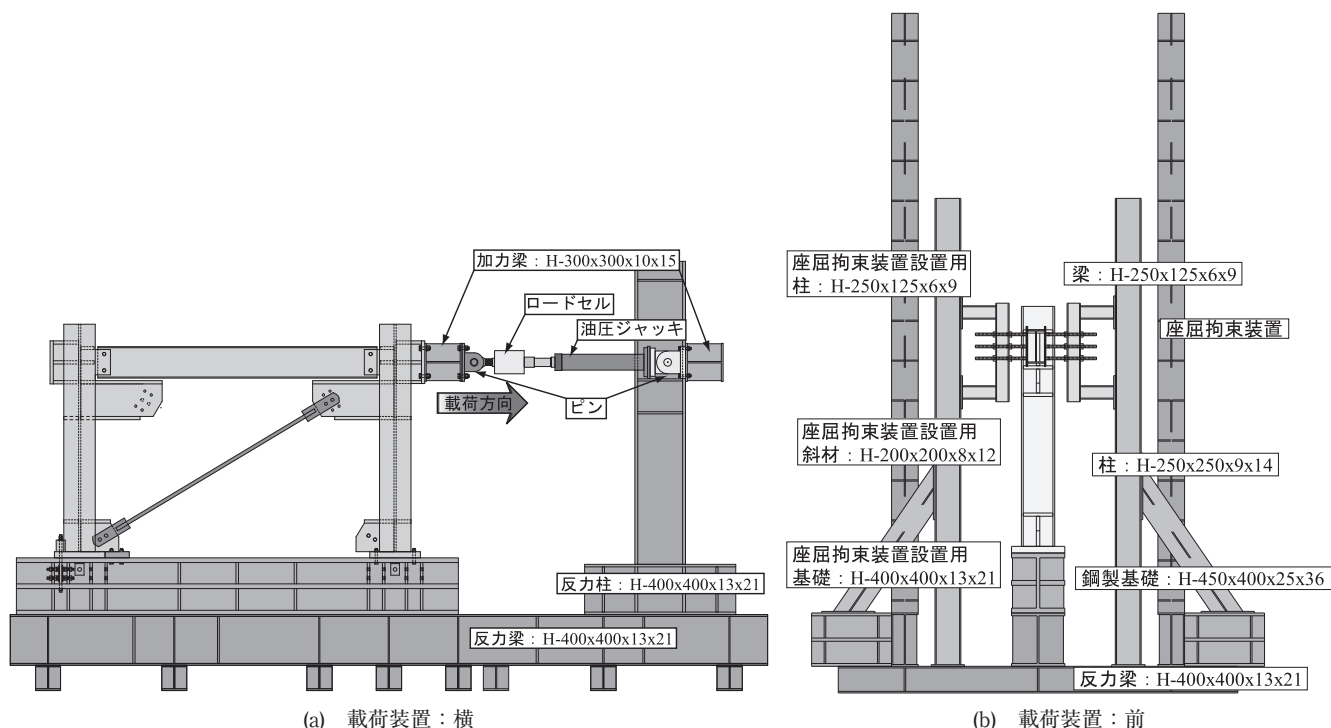


図3 載荷装置

柱には H-250x250x9x14 を、梁には H-250x125x6x9 を使用し、柱下端部にベースプレート PL-400x400x50 を隅肉溶接接合する。柱を弱軸方向に設置し、柱と梁との接合は柱のがセットプレートと梁のウェブとを高力ボルトにより摩擦接合している。尚、本実験では、単調載荷を採用しており、引張側の柱脚のみに着目しているために、圧縮側の柱脚では、高力ボルトによりベースプレートと基礎を接合し、弾性柱脚としている。

引張側の柱脚では、柱脚のアンカーボルトは、転造ねじアンカーボルト M16 を 2 本使用し、図 1 (a) に示すように、ベースプレートの隅角部の対角に配置する。また、ブレースには、ターンバックル付き転造ねじブレース M33 を使用し、設置角度を 31° とする。

尚、アンカーボルトには降伏軸力の 15% (7kN) を初期軸力として導入し、また、ブレースにも降伏軸力の 15% (30kN) を導入する。ブレースの初期軸力の導入方法としては、ブレースに取り付けているターンバックルを締めて、初期軸力を導入している。

2.2 載荷装置と載荷方法

図 3 に載荷装置を示す。載荷装置は、反力床 H-400x400x13x21、反力柱 H-400x400x13x21 および油圧ジャッキにより構成されており、試験体を反力床に設置し、反力柱に取り付けた油圧ジャッキはピンを介し試験体に設置する。また、載荷時における梁の座屈を防ぐため座屈拘束装置を用いる。座屈拘束装置は、梁の中央部に鋼板を両サイドから当てて挟み込んだものであり、接触面における

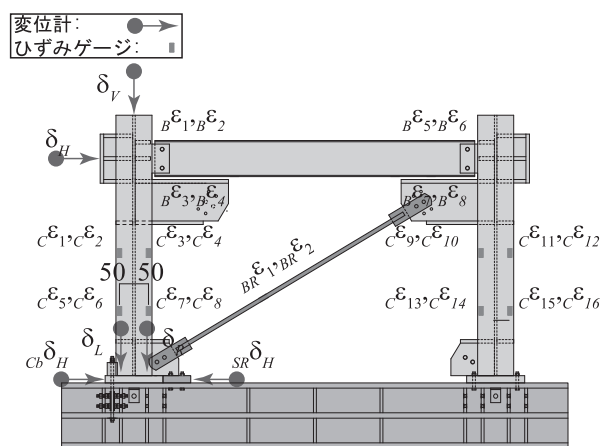


図4 計測位置

摩擦力を小さくするため、鋼板にテフロンシートを貼り、グリスを塗り、ローラー支持としている。

載荷は、試験体柱頭部に水平の油圧ジャッキを設置し、水平単調載荷を行う。尚、2台の油圧ジャッキにより載荷を行うが、試験体にねじれや曲げが作用しないようにするために、各油圧ジャッキの伸び量が等しくなるよう制御する。

2.3 計測方法と整理方法

図 4 に計測位置を示す。変位としては、柱頭部に設置した変位計により柱頭部水平変位 δ_H を、引張側の柱下端部に設置した変位計により、ベースプレート鉛直変位 δ_V を計測し、ベースプレート回転角 θ を算出する。また、ベースプレート側部に設置した変位計により柱脚水平変位 $_{CB}\delta_H$

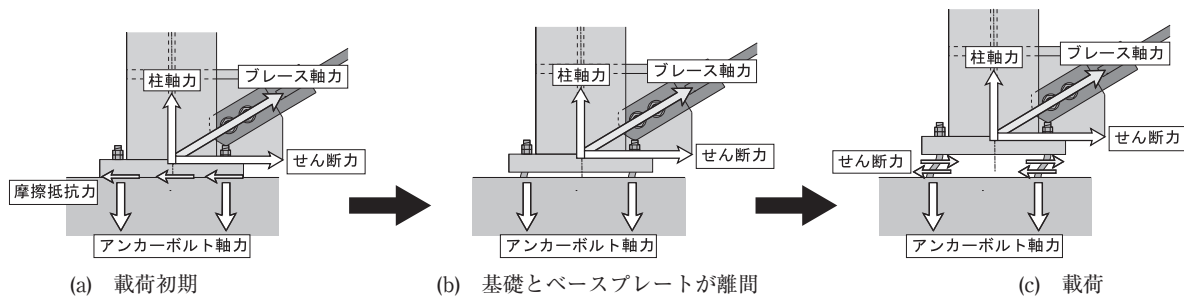


図5 柱脚抵抗機構

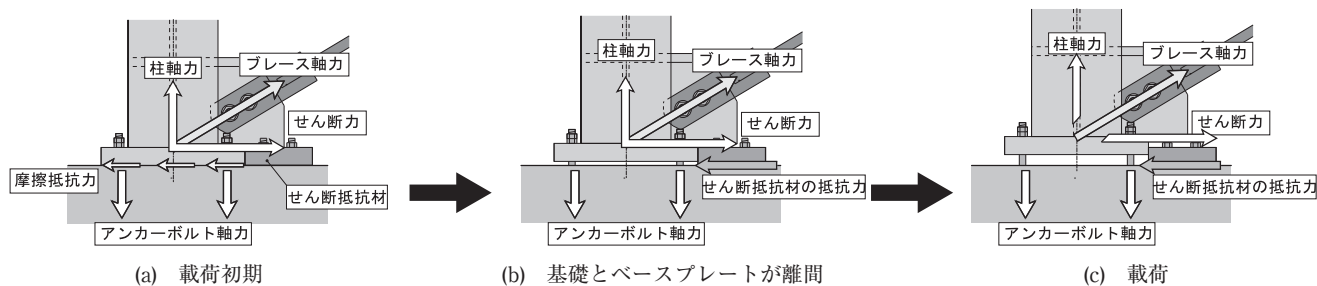


図6 せん断抵抗材を用いた柱脚の抵抗機構

表2 最大変位

最大水平変位	mm	最大鉛直変位	mm
柱頭部	24.67	柱脚部	9.32
柱脚部	0.10		
せん断抵抗材	0.01		



写真1 アンカーボルト

を、せん断抵抗材側部に設置した変位計によりせん断抵抗材水平変位 $_{SR}\delta_H$ を計測する。荷重としては、ジャッキ先端のロードセルにより水平荷重 P を、アンカーボルト上端に設置したセンターホール型ロードセルにより、各アンカーボルトの軸力 $_{AB}T$ を計測する。また、ひずみゲージから柱が負担する軸力 ${}_cN$ を、ブレースが負担する軸力 $_{BR}N$ を算出する。

3. せん断抵抗材

図5, 6に、引張軸力とせん断力を受ける柱脚の抵抗機構、およびせん断抵抗材を用いた時の抵抗機構を、それぞれ、示す。

通常の柱脚での補強方法では、ベースプレートの増設を行い、ベースプレート増設部あと施工アンカーボルトを設置して柱脚の補強を行う。しかしながら、この場合、補強後の柱脚の抵抗機構が不明解であり、あと施工アンカーボルトに作用する応力を予測することが難しく、場合によっては、引抜等の問題が起こる可能性がある。

また、図5に示すように、柱脚の耐力を超過するブレースを用いた場合において、通常では、図5(a)に示すように、せん断力はベースプレートと基礎部の摩擦抵抗により、アンカーボルトに作用するせん断力を低減しているが、ブレース軸力による引張軸力（鉛直成分）により、図5(b)、

(c)のように、ベースプレートと基礎が離間し、アンカーボルトが全せん断力を負担する。この場合、アンカーボルトは2軸応力下になり、柱脚の耐力は低下する。

一方、提案するせん断抵抗材は、図6(a)に示すように、新たなプレートと既存のベースプレートの側部に接触させて、あと施工アンカーボルトで基礎に緊結する工法である。この場合、柱脚に作用するせん断力を全てせん断抵抗材に負担させることで、引張軸力が作用し、ベースプレートと基礎が離間しても、図6(b)に示すように、せん断抵抗材により、柱脚に作用するせん断力に抵抗するために、せん断力が既存アンカーボルトに作用することなく、引張軸力にのみを負担することができる。このために、図6(c)に示すように、各ボルトが負担する応力が明解となり、評価および設計を簡便に行うことができると考えられる。

本実験においては、プレート PL-350x350x50 を用いて、図6(a)に示すように、設置を行う。また、せん断抵抗材を理想的に機能させるために、高力ボルトにより基礎と接合している。尚、ベースプレートとせん断抵抗材との摩擦力を低減するためにテフロンシートを貼り付けグリスを塗っている。

アンカーボルト降伏後もせん断抵抗材は弾性範囲となるように、設計している。

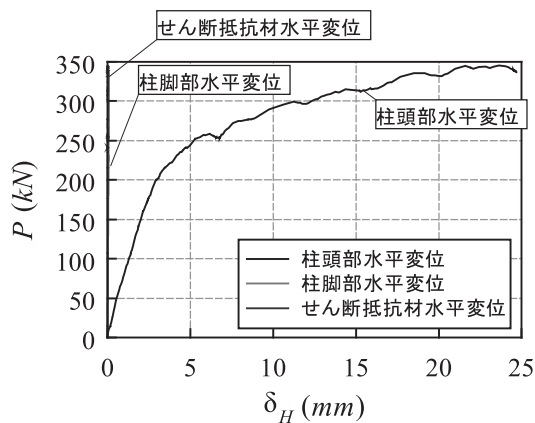


図7 $P-\delta_H$

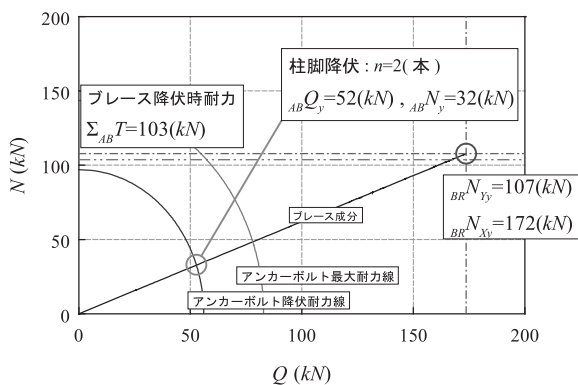


図9 アンカーボルト降伏耐力

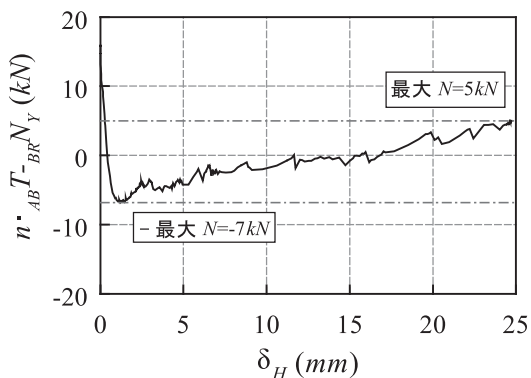


図11 $N-\delta_H$

4. 実験結果と考察

表2に、各変位量を、図7～11に実験結果を、それぞれ、示す。尚、図8には、ブレース降伏軸耐力を、また、図10には、アンカーボルト降伏軸耐力を併せて示す。また、図11の縦軸は、アンカーボルト全耐力 $_{AB}T$ からブレース軸力鉛直成分 $_{BR}N_Y$ を差し引いた値である。

表2と、図7に示すように、柱脚部水平変位は、柱頭部水平変位に比較して殆ど生じておらず、柱脚が水平方向に移動していないことが分かる。また、せん断抵抗材の水平変位も殆ど生じていない。更に、表2より、柱脚部では、水平方向に対して鉛直方向に大きく変位している。このこ

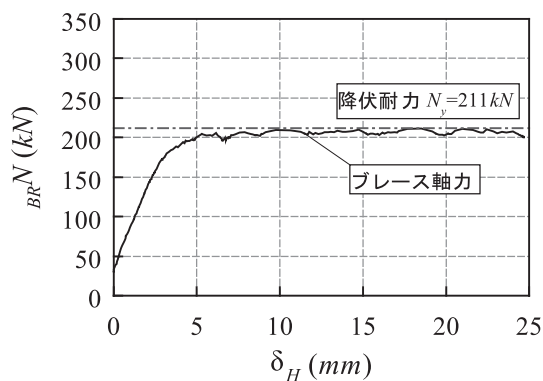


図8 $N-\delta_H$

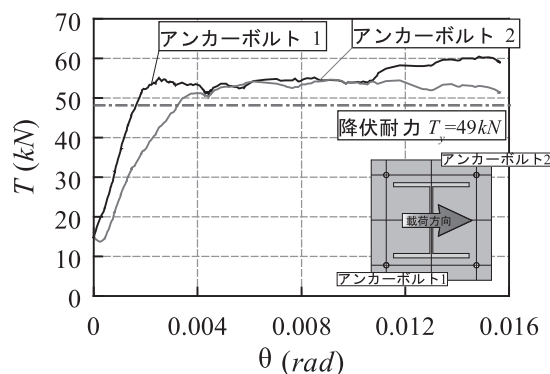


図10 $T-\theta$

とから、柱脚は、せん断方向に変形しておらず、アンカーボルトにせん断変形が作用していない、すなわち、せん断力が作用していないことが分かる。

図8に示すように、ブレース軸力は、最大211kNに達しており、ブレース軸力鉛直成分($_{BR}N_Y = 109(kN)$)は、図9に示す柱脚のミーゼスの降伏軸力を超過している。また、図10に示すように、アンカーボルトの耐力は T_y に達しており、アンカーボルト軸耐力は低減していない。これは、せん断抵抗材により、せん断方向に変形しておらず、引張方向にのみ変形し、引張抵抗したためである。更に、アンカーボルトは、写真1に示すように、せん断変形を起こしておらず、アンカーボルトは引張方向にのみ変形している。

次いで、柱脚に作用する鉛直成分とアンカーボルト軸耐力とは、ほとんど差異がなく、柱脚に作用する引張軸力は、図11からも分るとおり、ほぼアンカーボルトが負担していることが分かる。このため、ブレース軸力鉛直成分である引張軸力を負担することができ、アンカーボルトの全降伏耐力に達している。

せん断抵抗材を用いた柱脚では、ブレース軸力の水平成分(せん断力)および鉛直成分(引張軸力)を受けるとき、柱脚の水平方向の変位を抑え、せん断力をせん断抵抗材が負担することで、アンカーボルトに作用するせん断力は低

減できる。これより、アンカーボルトは、ブレースの鉛直成分のみが作用し、一方、せん断抵抗材には、ブレースの水平成分のみが作用することが分り、それぞれの応力状態が明解であるので、簡便設計できる。以上より、せん断抵抗材は、柱脚の補強工法として有効である。

5. まとめ

本実験により得られた知見を以下に示す。

1. せん断抵抗材は、柱脚に作用するせん断力を低減でき、柱脚の引張軸力に対しても耐力を向上させることができた。
2. せん断抵抗材は柱脚の補強工法において有効的であると言える。

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、試験体の転造ねじアンカーボルトおよびブレースを提供していただきましたフルサト工業株式会社、研究助成をしていただきました古川技術振興財団に対して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹本泰聖, 山西央朗, 高松隆夫, 玉井宏章, 福原章宏, 松尾彰: 引張軸力とせん断力を受けるアンカーボルト降伏先行型露出柱脚-その1 単調載荷下の崩壊機構, 日本建築学会大会学術講演会(富山), pp841-842, 2010, 9
- 2) 福原章宏, 山西央朗, 高松隆夫, 玉井宏章, 竹本泰聖, 松尾彰: 引張軸力とせん断力を受けるアンカーボルト降伏先行型露出柱脚-その2 繰り返し載荷実験, 日本建築学会大会学術講演会(富山), pp843-844, 2010, 9