

接着接合された水平変位拘束材を有するブレース付露出柱脚に関する基礎的研究

清水 齊*・郷原 良太**

(平成30年11月1日受付)

A study on exposed column-base with brace and horizontal displacement constraint plate bonding concrete footing

Hitoshi SIMIZU and Ryota GOHBARA

(Received Nov. 1, 2018)

Abstract

By installing a horizontal displacement restraining member on the exposed column base with braces, without the action of shear forces to the anchor bolt, the stress state is indicated to be a clear. This paper established the horizontal displacement restraining member with an adhesive, it has been confirmed rigidity and strength of the horizontal displacement restraining member. Numerical analysis is carried out using the rigidity of the horizontal displacement restraint obtained from the experiment to study the modeling of the horizontal displacement restraint material.

Key Words: exposed column base with brace, seismic reinforcement, epoxy resin, horizontal displacement restraint material

1. 序 論

近年、中低層鋼構造物に対してもより安全性を確保することを目的として構造形式をブレース付ラーメン架構とした計画が増加しつつある。ラーメン架構における露出柱脚(以後、ブレース付露出柱脚)は、ブレース軸力によって引張の変動軸力が増大することによるベースプレート下面の摩擦抵抗の減少、および柱脚せん断力の増加が生じることとなる。そのため、アンカーボルトに対しては架構の変形に伴う柱脚曲げモーメントおよび鉛直上向きとなる柱軸力とブレース軸力鉛直成分によるアンカーボルト引抜力に加えて柱脚せん断力が作用することとなる。

著者等は、ブレース付露出柱脚に対してベースプレート水平変位を拘束する部材(以後、水平変位拘束材)を設置することによって、アンカーボルトに柱脚せん断力を負担させずに応力状態が明快になることを示している^{1),2)}。し

かしながら、水平変位拘束材をあと施工アンカーボルトによって設置すると水平変位拘束材とあと施工アンカーボルトの間に生じるクリアランスにより即座に抵抗できない問題が生じる³⁾。

そこで本論文では、ブレース付露出柱脚に水平変位拘束材を設置した一方向単調載荷実験を行い、水平変位拘束材の剛性および耐力の確認、水平変位拘束材の崩壊状態を考察する。また実験から得られた水平剛性を用いて数値解析を行い、水平変位拘束材のモデル化の妥当性について検討を行う。

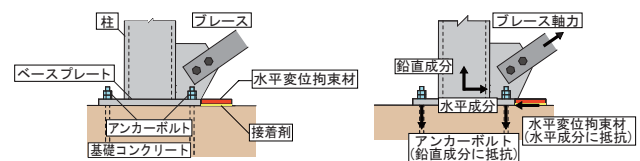


図1 ブレース付露出柱脚構成及び抵抗機構

* 広島工業大学工学部建築工学科

** 広島工業大学大学院建設工学専攻

ここで、実験の目的および設計条件を示す。

- 1) プレースから作用する応力により柱脚耐力の弾性領域を超過するまでの挙動を確認するため、プレースは弾性範囲内に留め、アンカーボルト先行降伏型とする。
- 2) 水平変位拘束材を接着剤にて設置し、水平変位拘束材の水平剛性、耐力及び崩壊状況を考察する。

2. 実験概要

2.1 試験体

図2に載荷装置および試験体を、図3に水平変位拘束材接着図を、図4に崩壊機構を、表1に素材特性値をそれぞれ、示す。

載荷装置は、試験体に設置しているプレース部分にロードセルを介してジャッキを接合し、油圧ジャッキによりプレースに引張軸力を与え、柱脚にせん断力と引張軸力を作用させる。装置の構成は口型反力フレームに反力梁を介して、プレース軸力を想定した油圧ジャッキを設置する。反力台鋼製基礎を高力ボルト接合し、試験体を設置する。試験体上部左右には試験体を回転拘束するための、回転拘束梁を設けた。

試験体はアンカーボルト先行降伏型とし、プレースからの軸力のみを作用させることを考慮している。柱は□-100×100×12 (STKR400) を、ベースプレートには、PL-19×200×200 (SN400C) を使用した。ガセットプレートおよびプレースは PL-16を用いて、計4本の高力ボルトにて摩擦接合する。プレース設置角度は45°とする。アンカーボルトは丸鋼φ9 (SR235) を転造ねじ加工したものを

使用している。アンカーボルト配置はベースプレート隅角部に1本ずつ計4本配置し、コンクリート基礎から10mmほど露出させ、せん断面については軸部とする。基礎はコンクリート基礎とし、主筋にはSD295のD16を上端に3

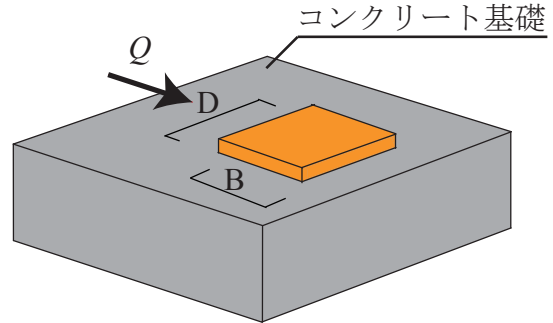


図3 水平変位拘束材接着図

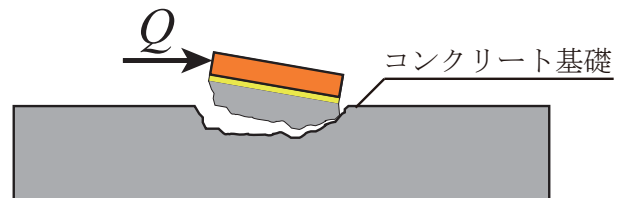


図4 崩壊機構

表1 素材特性

(a) アンカーボルト

サイズ	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)	主要寸法 (mm)
M10	SR235	205000	340	462	軸部径 $\phi = 8.8$ mm

(b) コンクリート

圧縮強度 σ_B (N/mm ²)
29.6

(c) 異形鉄筋

サイズ	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)	使用箇所
D16	SD295	205000	326	465	主筋
D10	SD295	205000	336	475	せん断補強筋

(d) 接着剤

圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
60.0	40.0	11.0

※規格値

(e) 水平変位拘束材

水平変位拘束材	B×D (mm)	Q_{SR} (kN)
S-1 type	162×162	53.2

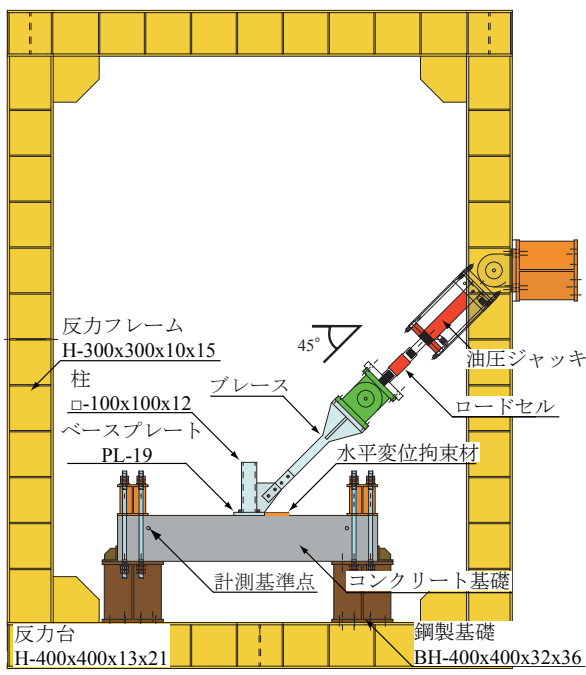


図2 載荷装置および試験体

本, 下端に3本の計6本配置し, せん断補強筋はSD295のD10を150mm, 梁の中央部は100mm間隔で配置して帯筋比0.2%以上を満足するようにしている。

次に水平変位拘束材に接着剤を用いて接着した場合の接着剤工法評価式を示す。図2および図3より, 水平変位拘束材を接着剤で設置する場合, 接着剤近傍のコンクリート剥離で崩壊することとなり, この場合のせん断耐力 Q_{su} は既往の文献⁴⁾より, 以下の式で評価できるとされている。

$$Q_{su} = 0.37 \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot B \cdot D \quad (1)$$

ここに, Q_{su} : コンクリート接着によるせん断耐力, σ_B : コンクリート圧縮強度, B, D : 接着接合部の幅および長さとする。

水平変位拘束材にはPL-22×162×162を用いる。これと表1(b)コンクリートの素材特性値と式(1)より $Q_{su} = 53 \text{ kN}$ となり, 当該応力発揮時には, アンカーボルトは弾性を保持する状態にある。また, その後に水平変位拘束材が破壊するように設計した。水平変位拘束材接着面は黒皮を剥がし, 表面を磨いた。コンクリート接着面は表面を削り, レイタンスを除去している。また水平変位拘束材を設置する際には, ベースプレートと水平変位拘束材間にクリアランスが生じないように設置した。接着剤の養生期間を7日間としている。

2.2 計測及び载荷計画

図5に計測・载荷計画を示す。

载荷はブレース軸方向への一方向単調载荷とし, 水平変位拘束材が破壊するまで载荷を行う。柱, ベースプレート及びブレースはジャッキからの軸力に対して, 弾性範囲に留まるように設計している。

試験体は, 水平変位拘束材を接着により設置したS-1 typeとする。

荷重計測として, ジャッキ先端に設置したロードセルに作用するブレース軸力を計測する。変位計測値としてベ-

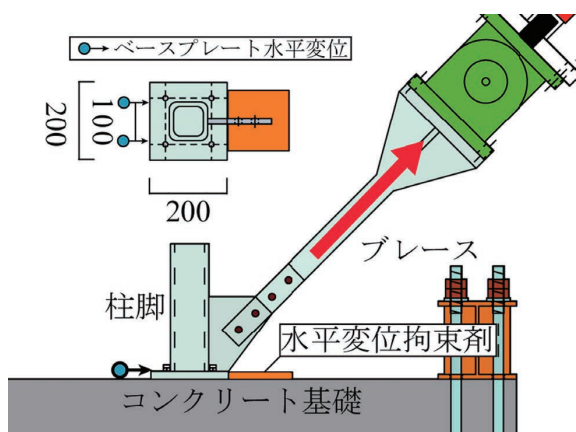


図5 計測・载荷計画

スプレート水平変位を計測する。水平変位は2ヶ所の平均値とし, コンクリート基礎からの計測基準点を支持点とした木製治具からの相対変位としている。

3. 実験結果

図6に柱脚せん断力 $_{CB}Q$ -ベースプレート水平変位 $_{bp}\delta_h$ 関係を, 写真1に水平変位拘束材の破壊状態を, それぞれ示す。

図5より, S-1 type は式(1)により算出された終局せん断耐力を超過し, 88kN時に崩壊した。これは計算値の1.6倍であった。また, アンカーボルト許容穿孔径 +5.0mmの半分である2.5mmを下回っており, 水平変位拘束材によりアンカーボルトにせん断力を伝播することなく, 水平変位拘束材が期待通りに機能していることがわかる。また写真1より, 水平変位拘束材の破壊形状は, コンクリートの母材破壊となった。これは, 既往の研究⁴⁾で認められた破壊形状であった。評価精度は高くないが, 式(1)により接着剤面積を計算すれば, 水平変位拘束材を弾性設計することができる。

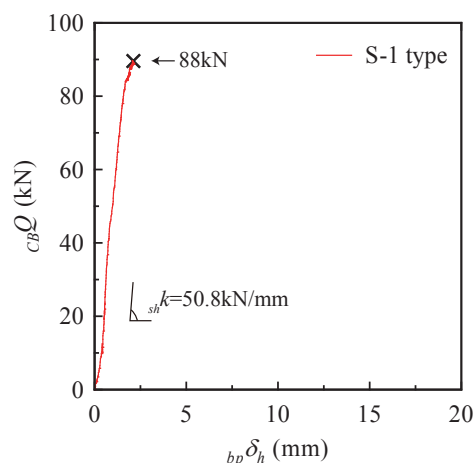


図6 $_{CB}Q$ - $_{bp}\delta_h$ 関係



写真1 水平変位拘束材の破壊状態

4. 水平変位拘束材を有する1層1スパン架構の数値解析

4.1 モデル概要

前述の実験によって、当該補強工法を用いることで、水平変位拘束材がブレース付露出柱脚からのせん断力を負担し、柱脚耐力を増大させることを示した。

そこで、実験で得られた水平剛性を考慮した解析を行い、水平変位拘束材のモデル化について検討を行う。

4.2 解析条件と解析変数

図7に解析モデルを、図8に露出柱脚ディテールを図9に回転ばねモデルを、図10にピンローラーモデルを、図11に弾性ばねモデルを、表2に柱・梁諸量を、表3にモデル諸量を、それぞれ、示す。

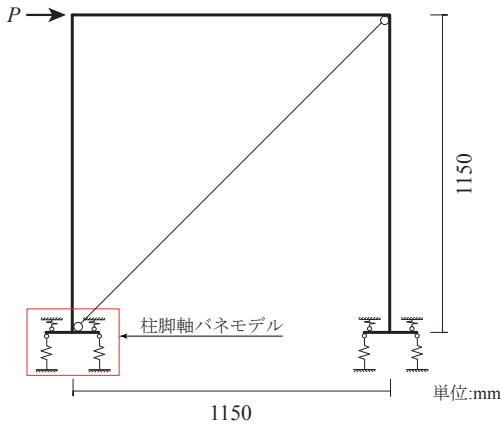


図7 解析モデル

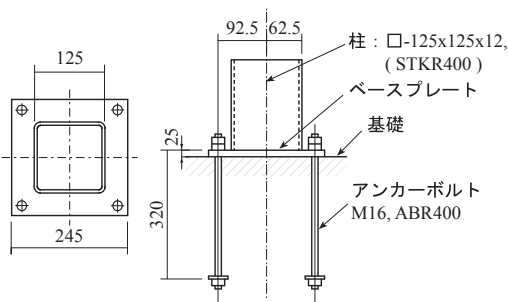


図8 露出柱脚ディテール

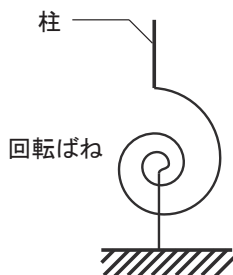


図9 回転ばねモデル

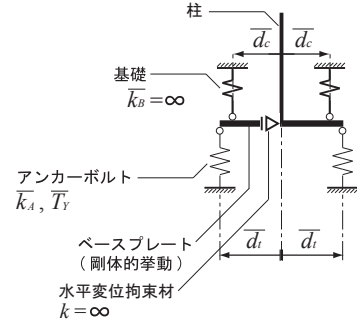


図10 ピンローラーモデル

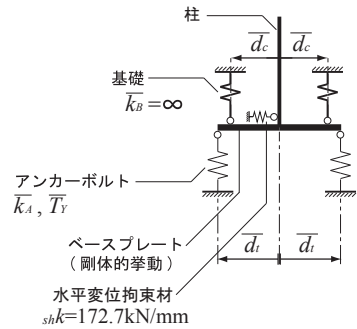


図11 弾性ばねモデル

表2 柱・梁諸量

種別	断面寸法	σ_y (N/mm ²)	A (mm ²)	I_x (mm ⁴)	Z_p (mm ³)	M_p (kNm)
柱	□-125×125×12	245	5.05×10^3	1.03×10^7	2.08×10^5	50.9
梁	H-100×100×6×8	235	2.16×10^3	3.78×10^6	8.64×10^4	20.3

σ_y : 降伏応力度 A: 断面積 I_x : 断面二次モーメント
 Z_p : 塑性断面係数 M_p : 全塑性モーメント

表3 モデル化諸量

ブレース: $A_{BA} = 490 \text{ mm}^2$ (SN400)
アンカーボルト: $\bar{k}_A = 143.3 \text{ kN/mm}$ $\bar{T}_Y = 102.9 \text{ kN}$
ヤング係数 $E = 205,000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

架構は、図7のように1層1スパンとし、柱に□-125×125×12 (STKR400) を、梁に H-100×100×6×8 (SN400) をそれぞれ用いて柱梁耐力比は、2.4以上である。解析には「任意平面骨組みの複合非線形解析プログラム CLAP.f⁵⁾」を用いて静的な単調載荷とし、層間変形角1/50に達するまで行う。なお、本解析では構造物自重による柱軸力は与えない。部材の塑性化は一般硬化ヒンジ方により考慮し、部材の応力度-ひずみ度関係は bi-linear 型としている。

解析変数は、解析モデルの違いとしており、図9のように、一般的に用いられる柱脚部に軸方向せん断方向固定とした回転ばねモデル、図10⁶⁾のように水平変位拘束材をピンローラーとし、水平変位拘束材の剛性を無限大としたも

の、図11のように実験で得られた水平変位拘束材の水平剛性 ($s_k k = 50.8 \text{ kN/mm}$) をもとに解析モデルのアンカーボルト降伏軸力の総和 (205.8 kN) まで水平変位拘束材の耐力を発揮させることを考慮し、水平剛性を実験値の3.4倍である 172.7 kN/mm, 終局せん断耐力を 205.8 kN として軸ばねに置換したものの3種類とする。

5. 解析結果

図12に $P-r$ 関係を、図13に解析の考察を、表4に弾性剛性比をそれぞれ、示す。

図12より、弾性ばねモデルは、ピンローラーモデルと比較して履歴形状に違いは見られない。弾性ばねモデルの弾性剛性はピンローラーモデルに比べて0.89倍に低減している。設計条件などにもよるが、水平変位拘束材を弾性設計

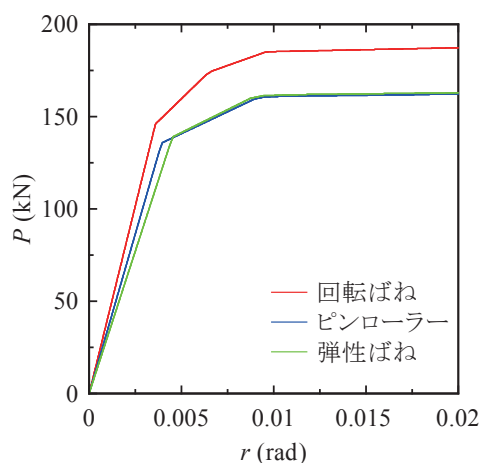


図12 $P-r$ 関係

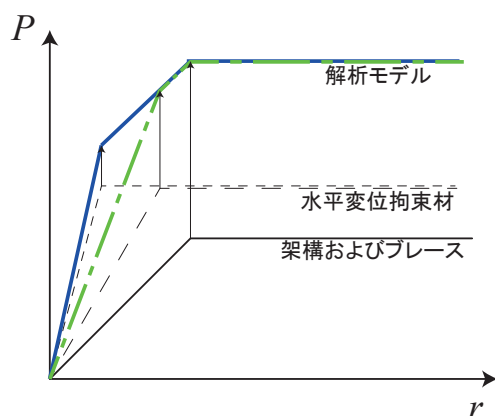


図13 解析の考察

表4 弾性剛性比

モデル	弾性剛性 (kN/mm)	回転ばねモデルに対する剛性比
回転ばね	35.29	1.00
ピンローラー	30.08	0.85
軸ばね	26.79	0.76

した場合、ブレース降伏は実現できるが水平剛性の低減には留意する必要がある。また、解析結果より 0.005 rad 付近から耐力が同等となっている。これは図13に示すように、水平変位拘束材は架構と並列に接続されているため、弾性剛性が変化したのち、耐力が同等となっている。表4に各モデルの弾性剛性および回転ばねモデルに対する剛性比を示す。一般の設計にて用いられる回転ばねモデルと弾性剛性を比較すると、ピンローラーモデルおよび弾性ばねモデルは0.85, 0.76となっており、いずれもブレース降伏は可能であるが、水平剛性の低減を留意する必要がある。

6. 結論

本論にて、水平変位拘束材を接着剤にて設置した試験体にて一方向単調載荷を行い、水平変位拘束材の剛性および耐力を確認した。また、実験から得られた水平変位拘束材の水平剛性を用いて、水平変位拘束材のモデル化について解析を行った。本論の結論を以下にまとめる。

- 1) 接着剤にて設置した水平変位拘束材を用いれば柱脚補強が可能であり、式(1)より算出される値を超過する耐力が得られる。
- 2) 接着剤にて水平変位拘束材を設置したブレース架構は、接着剤を弾性設計することで、ブレース降伏を実現できる。但し、水平剛性を考慮する必要がある。

文献

- 1) 嶋本仁, 高松隆夫, 山西央朗, 玉井宏章: 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, 日本建築学会中国支部研究報告書, 第36巻, pp. 231-234, 2013
- 2) 嶋本仁, 高松隆夫, 山西央朗, 玉井宏章: ブレース引張力を受ける露出柱脚の補強に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 1137-1138, 2012
- 3) 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, pp. 105-111, 2013
- 4) 宮内靖昌, 毛井崇博: エポキシ樹脂を用いた接着接合部力学性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 1, pp. 967-972, 2001.7
- 5) 多田元英: CLAP.f 利用説明書・解析方法説明書, 鋼材倶楽部
- 6) 山西央朗, 笠井和彦, 玉井宏章, 高松隆夫: 露出柱脚付低層鋼構造物の地震応答性状と柱脚の挙動—その1モデル化と解析変数—, 日本建築学会中国支部研究報告書, 第37巻, pp. 201-204, 2017.3