

下階壁抜け柱に隣接した連層鉄骨ブレースが全体曲げ破壊するときの RC 立体建物の三方向地震時挙動

耐震補強 連層鉄骨ブレース 全体曲げ破壊 正会員 林秀樹\*<sup>1</sup> 正会員 北山和宏\*<sup>2</sup>  
 三方向外力 下階壁抜け柱 圧縮軸力

1. はじめに

既存 RC 建物内の下階壁抜け柱の圧縮軸耐力不足の際には、軸崩壊防止補強を兼ねて鉄骨ブレースを当該柱に隣接して設置することが多い。しかし、このような下階壁抜け柱の軸力は二方向水平力を同時に受けて大きく変動するので、逆に軸崩壊を加速させることも考えられる。そこで下階壁抜け柱に隣接して連層鉄骨ブレース補強を施した RC 立体建物試験体に三方向外力を与える静的実験を行い、その性能を調査した。

2. 実験概要

2.1 試験体 試験体は図-1,2,3 に示すように鉄骨ブレースを A 構面中央スパンに連層で配置した 2 層 3 スパン奥行 1 スパンの RC 立体骨組で、縮尺は約 1/4 である。柱は全て 140mm 角で柱 1, 4 は 4-D13、鉄骨ブレースの付帯柱 2, 3 及び柱 5, 6 は 6-D10 を主筋として配した。柱 5, 6 は柱 2, 3 の断面を 90° 回転させた配筋とした。梁は全て上下端共に 2-D13 を主筋とし A, B 構面, C, D 構面で同じ配筋とした。また B 構面(柱 5, 6)及び D 構面(柱 3, 6)は柱梁骨組であるが、C 構面の 2 層に耐震壁を設置した(図-3 参照)。耐震壁には D4 鉄筋を、縦 61.5mm ピッチ、横 60mm ピッチでシングル配筋した。ここで、南北方向を面外方向、東西方向を面内方向と呼ぶ。また、最上階にのみ D4 鉄筋を 60 mm ピッチで配筋したスラブを設置した。表-1 に鉄筋及びコンクリートの材料特性をそれ

ぞれ示す。全体曲げ破壊を実現するため、フーチングはすべて PC 鋼棒によって反力床に緊結した。ブレース斜材の断面は H 形(鉄骨枠は片側フランジを削除した h 形)とした。鉄骨ブレースとコンクリート躯体の接合には間接接合部を設けず、鉄骨枠に溶接されたアンカー筋 D10 を鉄筋コンクリート躯体に直接定着させ、その時の埋込み深さを 63mm とした。

2.2 加力方法 図-4 に加力装置を示す。連層ブレースと柱 2, 3 に 160kN の一定圧縮軸力を導入後、面外・面内方向に加力した。試験体のねじれを防ぐため、面内方向に取り付けた二基のジャッキの水平変位が等しくなるように制御した。2 サイクルまでは、まず面外方向に正負交番繰り返し載荷(負載荷が先)をし、面外正方向ピーク後、面外正方向の変形を保持したまま面内方向に正負交番繰り返し載荷(正載荷が先)を行った。この時、面外方向・面内方向共に 1 サイクル:頂部変形角 0.25%, 2 サイクル:0.5%とした。3 サイクル以降は面外正方向に変形させたまま、面内方向に正負交番繰り返し載荷を行い、面外方向の変形角は 3 サイクル:0.5%, 4 サイクル~押し切り:1%とした。面内方向には 3 サイクル:0.5%, 4・5 サイクル:1%, 6 サイクル:1.5%, 7・8 サイクル 2%, 9 サイクル:3%, 押し切りは 4%まで加力した。面外変形角は 2 層梁芯の水平変位をスタブ面から 2 層梁芯の変位計測位置までの高さ(1550mm)で除した値である。面内変形角はジャッキ芯の変位を反力床からジャッキ芯の変位計測位置までの高さ

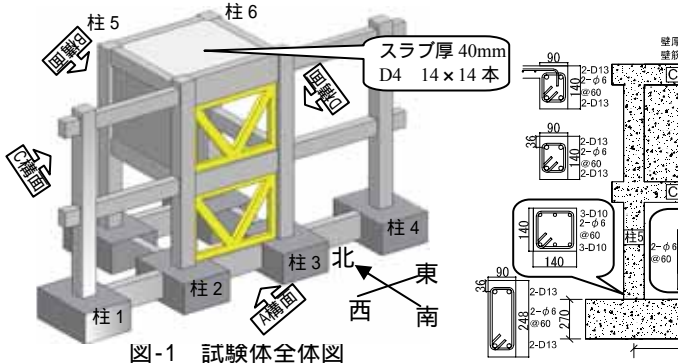


図-1 試験体全体図

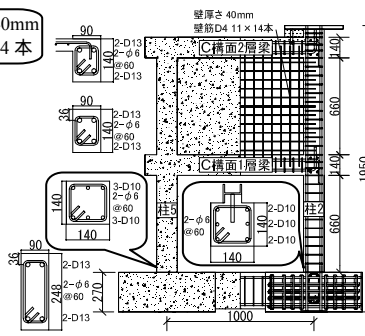


図-3 C 構面配筋図

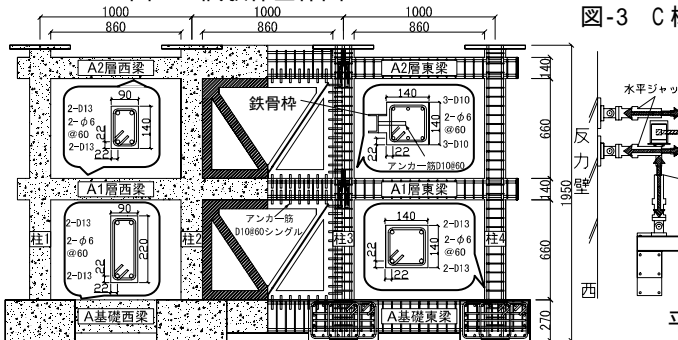


図-2 A 構面配筋図

表-1 鉄筋及びコンクリートの材料特性

鋼材	降伏応力 (MPa)		引張割裂強度 (MPa)
	$\sigma_s$	$\sigma_t$	
柱2,3,5,6主筋 D10 (SD295)	373	509	0.21%
柱1,4主筋 D13 (SD390)	458	655	0.25%
梁主筋 D13 (SD345)	397	556	0.21%
せん断補強筋 6	307	473	0.15%
アンカー筋 D10 (SD345)	410	585	0.22%
鉄骨ブレース (SM490)	433	523	0.25%
スラブ筋 壁筋 D4(SD295)	386	566	0.22%

コンクリート	圧縮強度 (MPa)		割線剛性 ( $\times 10^4$ MPa)	
	$c_B$	$E_c$	$\epsilon_0$	$c_t$
	36.3	3.58	0.20%	3.19

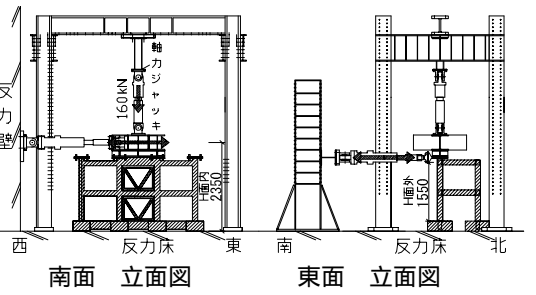


図-4 加力装置

(2350mm)で除した値である。なお面内・面外の正方向は、それぞれ西側及び南側への引き載荷時とした。

### 3. 実験結果

3.1 破壊状況 最終的なひび割れ状況を図-5 に示す。ブレースの付帯柱(柱 2, 3)に曲げひび割れが多数発生し、柱脚のコンクリートが圧壊し最終的に剥落した。A 構面の境界梁には曲げひび割れの後にせん断ひび割れが多く発生した。D 構面の 1,2 層直交梁には、ブレースへの抑え込み効果によるせん断ひび割れが多数発生した。また面外頂部変形角が 0.15%を越えると C 構面の耐震壁にせん断ひび割れが多数発生した。

3.2 面内復元力特性 面内復元力特性を図-6 に示す。縦軸を補正水平力(軸力による P-δ 効果を考慮した水平力)、横軸を面内頂部変形角とした。正方向では、変形角 0.47%で柱 3 の 1 層柱脚主筋が全て引張降伏して剛性が低下し、4-W(4 サイクルで西方向加力、以下同様)ピーク(1.0%)で最大耐力 272kN を迎えた。負方向では変形角-0.41%で柱 2 の 1 層柱脚主筋が全て引張降伏し、6-E ピークで最大耐力 268kN(-1.5%)を迎えた。耐震壁の抑え込み効果が期待されたが正負加力時の最大耐力はほぼ同じだった。最大耐力時の境界梁の主筋はいずれも降伏又はその直前であった。変形角 2%を越えると正負共に引張側柱の柱脚部の主筋が次々と破断し、耐力は低下した。

3.3 面外復元力特性 面外復元力特性を図-7 に示す。縦軸を面外水平力(軸力による P-δ 効果を考慮したジャッキ 3 本分の和)、横軸を面外頂部変形角とした。各載荷ピーク時の面外水平力は負載荷時の方が正載荷時より大きい、これは面内方向に設置した連層ブレースの C 構面(下階壁抜け骨組)に対する抑え込み効果によるものである。

3.4 下階壁抜け柱の圧縮軸力 図-8 に下階壁抜け柱の負担圧縮軸力-面内頂部変形角関係を示す。圧縮軸力は 1 層中央部での主筋 6 本の平均歪をコンクリートの圧縮歪として、材料試験より得られた  $\sigma$ - $\epsilon$  関係よりコンクリートの圧縮応力

を算出した。またブレース縦枠の測定歪(弾性)より、その負担軸力を算出した。こうして得た主筋、コンクリート及びブレース縦枠の負担軸力の和を圧縮軸力とした。下階壁抜け柱の最大圧縮軸力は 870kN であり、この時の軸力比(コンクリート、主筋、ブレース縦枠の断面積にそれぞれの圧縮強度、又は降伏強度を乗じて和とした軸耐力で圧縮軸力を除した値)は 0.71 であった。しかし、コンクリートの負担圧縮軸力はコンクリート圧縮強度の 0.92 倍とほぼ圧縮強度に達した。また水平力が最大となる 4-W(正方向)で負担圧縮軸力が最大となった。これより最大水平耐力は圧縮側付帯柱のコンクリートの圧壊によって決定されたと判断できる。また全体の圧縮軸力から面外載荷による変動軸力を差し引いた全体曲げによる変動軸力は 450kN であり、これはブレース縦枠の圧縮耐力を上回る。これより、本実験では連層ブレースを下階壁抜け柱に隣接して設置することで、逆に軸崩壊に近い状態に至る結果となった。

### 4. 結論

(1)面内加力では正負共にブレース付帯柱の全主筋が引張降伏した後、正方向は変形角 1%で、負方向は 1.5%で最大耐力に達した。その後、変形角 2%まで耐力低下はなく、2%を越えると付帯柱の主筋が次々と破断し、耐力が低下した。(2)水平 2 方向載荷時には、下階壁抜け柱(柱 2)の最大圧縮軸力と補強建物の最大水平耐力とは同時期に生じたが、その時の下階壁抜け RC 柱のコンクリート圧縮応力度はコンクリート圧縮強度の 0.92 倍で、コンクリート圧縮強度にほぼ達しており、付帯柱の圧壊によって補強建物の水平耐力が決まった。(3)連層鉄骨ブレース補強を施した RC 立体建物が全体曲げ破壊する時、鉄骨ブレースを下階壁抜け柱に隣接して設置することは、圧縮軸力に対する補強という観点からは不利である。

【参考文献】1)(財)日本建築防災協会：2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説 2)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説 3)(財)日本建築防災協会：2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説 2001

【謝辞】本研究は、日本学術振興会の科学研究費補助金(基盤研究 C、代表北山和宏)によって実施した。また、芝浦工業大学岸田慎司准教授をはじめ岸田研究室には実験実施にあたり多大な御協力を頂いた。ここに記し謝意を表す。

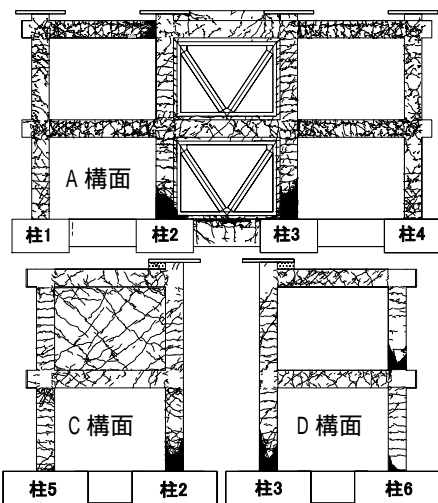


図-5 最終ひび割れ状況

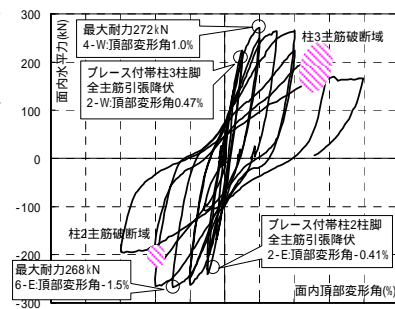


図-6 面内復元力特性

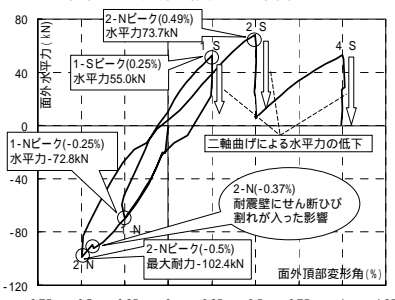


図-7 面外復元力特性

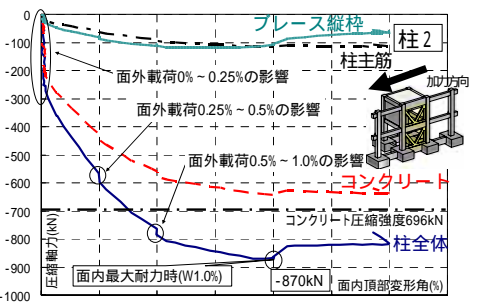


図-8 下階壁抜け柱の負担圧縮軸力

\*1 首都大学東京大学院 (現 長谷工コーポレーション)

\*Graduate Student, Tokyo Metropolitan University (Haseko Corporation)

\*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学専攻准教授 工博

\*\*Associate Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng