

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立体 RC 骨組の三方向加力実験(その2)

林 秀樹<sup>1)</sup>・北山 和宏<sup>2)</sup>

1)学生会員 首都大学東京大学院建築学専攻 東京都八王子市南大沢1-1 e-mail:hayashi-hideki@metro-u.ac.jp

2)会員 首都大学東京大学院建築学専攻准教授(工博) 東京都八王子市南大沢 1-1 e-mail:kitak@ecomp.metro-u.ac.jp

1. はじめに

本稿では(その1)に続き,三方向外力を受ける連層鉄骨ブレースの耐震性能の検討を行う。

2 実験結果の検討

2.1 最大耐力の検討

試験体の最大耐力  $Q_{exp}$  と計算値  $Q_{cal}$  の比較を表1に示す。骨組に作用する水平力は各柱と中央の架構部によって負担されるので式(1)が成り立つ。

$$Q = Q_{su} + Q_{c1} + Q_{c4} + Q_{c5} + Q_{c6} \quad (1)$$

ここで  $Q_{cal}$ : 補正水平力,  $Q_{su}$ : 鉄骨ブレースを含む中央部分骨組の負担せん断力,  $Q_{c1}, Q_{c4}, Q_{c5}, Q_{c6}$ : 柱の負担せん断力,  $Q_b$ : 境界梁の曲げ戻し効果及び直交梁または壁の抑え込み効果によって生じる水平力(境界梁端部4箇所の曲げモーメントと引張側柱に取り付く2本の境界梁及び2本の直交梁または耐震壁の鉛直方向のせん断力, 図-1参照),  $Q_A$ : アンカー筋の引張抵抗によって生じる水平力であり, 全て測定値に基づき計算した。耐震壁の  $Q$ - 復元力履歴特性を図-4のように仮定し, 測定された耐震壁のせん断変形角より耐震壁に生じるせん断力  $Q$  を算出し, 鉛直方向に変換したものを耐震壁の抑え込み力として使用した。また, B 構面(柱5,6)の負担せん断力は図-5のように A 構面におけるモーメントの釣り合いから求めた。図-2, 図-3 内の点線は耐震改

$$Q_{su} = \frac{\sum M_b + l_w(\sum Q_b + 0.5N + N_t) + \sum l_w' N_A}{H} \quad (2)$$

ここで  $\sum M_b$ : 境界梁の曲げ戻しモーメント,  $\sum Q_b$ : 引張側の付帯柱に接続する境界梁に作用するせん断力及び引張側の付帯柱に接続する直交梁または耐震壁に作用するせん断力,  $N$ : 中央スパンに加えた軸力,  $N_t$ : 付帯柱の引張抵抗力,  $N_A$ : アンカー筋の引張力,  $l_w$ : 両付帯柱の中心間距離(1000mm),  $l_w'$ : 圧縮側付帯柱の中心からそれぞれのアンカー筋までの距離,  $H$ : スタブ面から加力点までの高さ(2080mm)。式(1),(2)に梁・柱の曲げ終局強度(文献1の略算式による), 耐震壁のせん断終局強度(荒川 mean 式), アンカー筋の降伏強度を代入して水平耐力を算定した結果を表-1に示す。正方向は実験値が計算値の1.00倍であったのに対し, 負方向では0.80倍であった。これは, 負方向では実験において耐震壁はせん断終局強度に達しておらず, 耐震壁の抑え込み効果を過大に評価しているからである。また, B 構面の変動軸力を考慮していないため, 柱

5,6の負担せん断力を適切に評価できていないこともあげられる。

2.2 各部材の負担せん断力

式(3),(4)によって正方向及び負方向載荷ピーク時における負担せん断力を算定し, 図-2, 図-3にそれぞれ示す。

$$Q_{su} = Q_u - (Q_{c1} + Q_{c4} + Q_{c5} + Q_{c6}) \quad (3)$$

$$Q_{AT} = Q_{su} - Q_b - Q_A \quad (4)$$

ここで  $Q_{su}$ : 鉄骨ブレースを含む中央1スパン骨組の負担せん断力,  $Q_u$ : 補正水平力,  $Q_{c1}, Q_{c4}, Q_{c5}, Q_{c6}$ : 柱のせん断力,  $Q_b$ : 境界梁の曲げ戻し効果及び直交梁または壁の抑え込み効果によって生じる水平力(境界梁端部4箇所の曲げモーメントと引張側柱に取り付く2本の境界梁及び2本の直交梁または耐震壁の鉛直方向のせん断力, 図-1参照),  $Q_A$ : アンカー筋の引張抵抗によって生じる水平力であり, 全て測定値に基づき計算した。耐震壁の  $Q$ - 復元力履歴特性を図-4のように仮定し, 測定された耐震壁のせん断変形角より耐震壁に生じるせん断力  $Q$  を算出し, 鉛直方向に変換したものを耐震壁の抑え込み力として使用した。また, B 構面(柱5,6)の負担せん断力は図-5のように A 構面におけるモーメントの釣り合いから求めた。図-2, 図-3 内の点線は耐震改

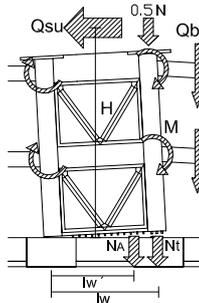


図-1 圧縮側柱脚部におけるモーメントの釣り合い

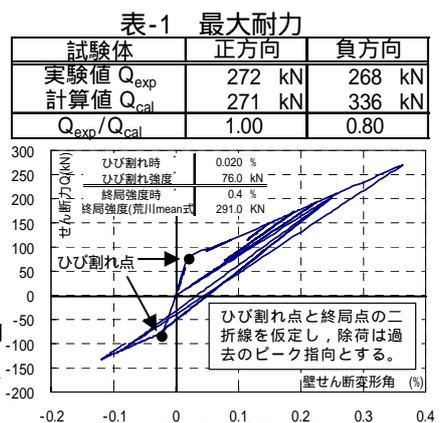


図-4 耐震壁の  $Q$ -モデル

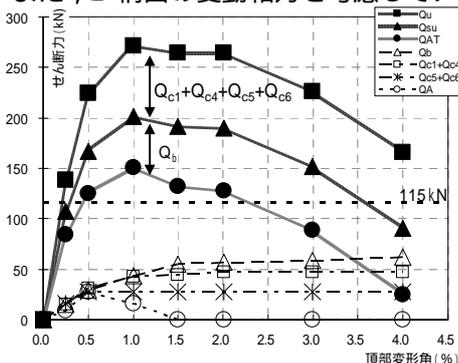


図-2 正方向の負担せん断力推移

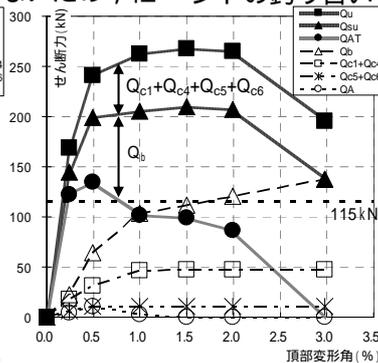


図-3 負方向の負担せん断力推移

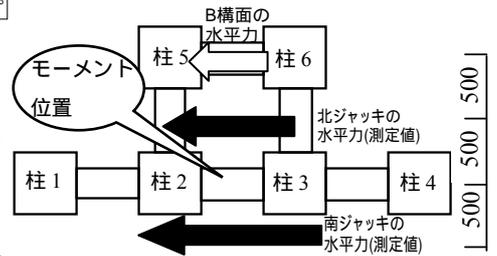


図-5 A 構面におけるモーメントの釣り合い

修設計指針<sup>3)</sup>による全体曲げ破壊時のブレース架構部の負担せん断力の計算値である。これは付帯柱の引張力と軸力によって生じる水平力を評価したものであり、式(4)による  $Q_{AT}$ (実験値)に対応する。両方向ともに式(4)によって算定される左辺  $Q_{AT}$  の最大値は計算値を上回った。しかし正方向は面内頂部変形角 2%まで計算値を上回っているのに対し、負方向は面内頂部変形角 1%に計算値を下回り危険側の評価となる。これは、負方向が耐震壁の抑え込み効果によって柱 3 の軸力が増し、柱脚部コンクリートの損傷を早めたためであると考えられる。

### 2.3 圧縮軸力

連層鉄骨ブレースの付帯柱である柱 2, 3 の負担圧縮軸力-面内頂部変形角関係をそれぞれ図-6, 図-7 に示す。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。柱 2, 3 で比較すると下階壁抜け柱でもある柱 2 の圧縮軸力の方が大きくなると予想されたが、柱 2 の最大圧縮軸力は 870kN, 柱 3 では 916kN となり、柱 3 の方が約 50kN 大きくなった。これは連層ブレースの全体曲げに対する耐震壁の抑え込み効果の寄与の差である。すなわち、負加力時に耐震壁の抑え込み効果が発揮され、この時抑え込み力として耐震壁に生じる鉛直力は柱 3 に圧縮軸力として伝達された。柱 2 の最大軸力比(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または降伏強度を乗じて和としたもので最大圧縮軸力を除した値)は 0.71, 柱 3 では 0.75 であるが、その時のコンクリート圧縮応力度は柱 2 ではコンクリート圧縮強度の 0.92 倍、柱 3 では 0.97 倍だった。これは最大耐力が圧縮側付帯柱の圧壊によって決まったことを示す。また水平力が最大となる 4-W(正方向)で柱 2 の負担圧縮軸力が、6-E(負方向)で柱 3 の負担圧縮軸力が最大となった。柱 2, 3 側のブレース縦枠の負担圧縮軸力-面内頂部変形角関係を図-8 にそれぞれ示す。正負共に加力サイクルが進むに連れてブレース

縦枠の負担圧縮軸力が増大した。最大水平耐力以降、付帯柱の脚部コンクリートが圧縮強度に達し圧壊、剥落したことにより圧縮軸力を負担できなくなり、代わりにブレース縦枠が負担したからである。その結果、最大水平耐力以降は引張主筋の破断までは急激な耐力の低下が起きなかった。

### 3. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 耐震改修設計指針<sup>3)</sup>に基づく計算では、付帯柱の引張り耐力によって連層鉄骨ブレースを含む部分架構の全体曲げ耐力が決定した。実験でも付帯柱の主筋が引張降伏したが、面外曲げによる軸力変動と直交部材による抑え込み効果によって付帯柱に作用する圧縮軸力が増大し、脚部コンクリートの圧壊によって補強建物の水平耐力が決定した。そのため、正負加力時の水平耐力がほぼ同じとなった。ただし、多くの境界梁端部において主筋の降伏が生じており、ほぼ同時に全体崩壊機構が形成された。
- (2) 水平二方向載荷時には、下階壁抜け柱(柱 2)の圧縮軸力よりも、二層の直交耐震壁が抑え込み効果を発揮する加力方向での圧縮側付帯柱(柱 3)の圧縮軸力の方が 5%大きくなった。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、そのときのコンクリート圧縮応力度は下階壁抜け柱(柱 2)ではコンクリート圧縮強度の 0.92 倍、柱 3 では同じく 0.97 倍であり、付帯柱の圧壊によって補強建物の水平耐力が決まったことと符合する。
- (3) 二方向水平力を受ける補強建物において連層鉄骨ブレースが全体曲げ破壊する場合には、ブレースに隣接する下階壁抜け柱だけでなく、他方の付帯柱についても作用する圧縮軸力に注意すべきである。
- (4) 付帯柱の軸力負担能力はコンクリートの圧壊によって低下したが、その後にブレース縦枠が圧縮軸力を負担したため、水平耐力の急激な低下は免れた。

【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築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、芝浦工業大学工学部建築学科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。

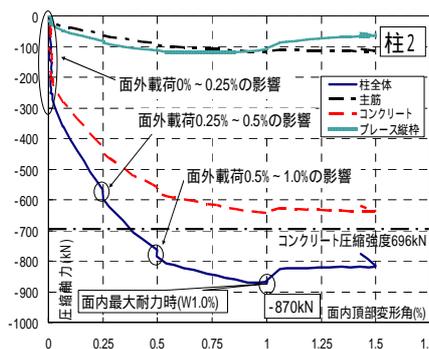


図-6 柱 2 の負担圧縮軸力

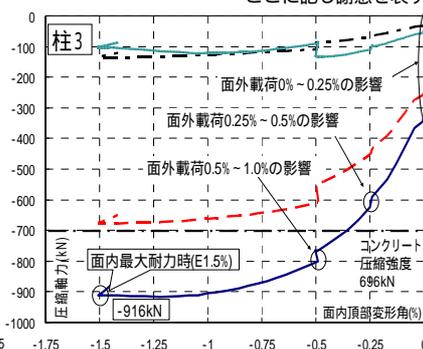


図-7 柱 3 の負担圧縮軸力

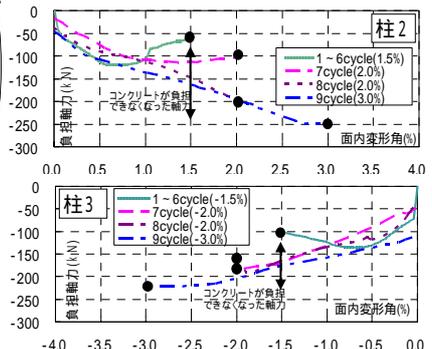


図-8 ブレース縦枠の負担圧縮軸力