

連層鉄骨ブレースで補強されたRC骨組の三方向外力下での耐震性能評価 (その2 実験結果の検討)

正会員 ○中沼弘貴\*1 正会員 北山和宏\*2  
正会員 林秀樹\*1

耐震補強 連層鉄骨ブレース 全体曲げ破壊  
三方向外力 変形性能 等価粘性減衰定数

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を二方向加力時の耐震性能と比較することにより面外復元力特性、負担せん断力、変形性能、エネルギー吸収量の検討を行う。

2. 実験結果の検討

2.1 試験体 No.3 面外復元力特性

試験体 No.3 の面外復元力特性を図-1 に示す。縦軸は中央ジャッキのみによる面外水平力で横軸は面外頂部変形角とした。実線は力とそれぞれの層の変形の関係を示し、一点鎖線は柱2本分の面外方向降伏耐力である。点線は片持ち柱の降伏耐力時の変形角を菅野式から求めた値である。計算降伏耐力と菅野式により求めた降伏時頂部変形角は実験結果と各々よく一致した。面外変形を一定とし面内加力を行うと面外荷重は低下し、面内最大荷重時には面外水平荷重は喪失した。

2.2 負担せん断力

式(1)、(2)によって正方向加力ピーク時における負担せん断力を算定し、図-2と図-3に示す。

$$Q_{su} = Q_u - (Q_{c1} + Q_{c4}) \quad (1)$$

$$Q_{Br} + Q_{c2} + Q_{c3} = Q_{su} - Q_b - Q_A \quad (2)$$

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,  $Q_{c1}, Q_{c4}$ : 独立柱のせん断力,  $Q_b$ : 境界梁の曲げ戻し効果によって生じる水平力,  $Q_A$ : 最外縁部から3本の引張側アンカー筋の引張抵抗,  $Q_{Br}$ : 鉄骨ブレースの負担水平力,  $Q_{c2}, Q_{c3}$ : 付帯柱の負担せん断力, である(文献3参照)。図-2と図-3内の一点鎖線は耐震改修設計指針<sup>2)</sup>による全体曲げ破壊時の耐力計算値である。この計算式では付帯柱の引張力と軸力のみを評価している。

両試験体とも式(2)によって算定される左辺  $Q_{Br} + Q_{c2} + Q_{c3}$

の最大値は計算値を上回った。しかし試験体 No.2 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、試験体 No.3 は最大耐力後に計算値を下回り危険側の評価となる。これより耐震改修設計指針<sup>2)</sup>式は、境界梁の曲げ戻し効果とアンカー筋の引張抵抗による寄与を含まないブレース骨組の耐力を最大値では安全側に評価するが、頂部変形角 1.5%以降から三方向加力時の水平耐力は危険側の評価となる。

三方向加力した試験体 No.3 のブレース斜材軸力(歪ゲージの出力から算出)の水平分力の和を実線で、式(2)で算出した  $Q_{Br} + Q_{c2} + Q_{c3}$  を太実線で図-4にそれぞれ示す。 $Q_{Br} + Q_{c2} + Q_{c3}$  とブレース斜材の水平分力との差は付帯柱の負担するせん断力  $Q_{c2} + Q_{c3}$  である。ブレース斜材の水平分力と面内頂部変形角 0.75%の時に最大に達した後に減少した。これは1層危険断面でのアンカー筋の付着劣化発生時期と対応するため、ブレースの最大耐力はアンカー筋の抜け出しにより決まっている。なお頂部変形角 0.75%時のブレース斜材負担水平力は全耐力の51%であった。

2.3 変形性能

耐震診断基準<sup>4)</sup>に準じて境界梁の影響(梁端部のモーメントとせん断力)を考慮して靱性指標(F値)を算定すると試験体 No.3 は 2.41 となった。このF値に対して降伏変形角  $R_y$  を 1/150 と仮定して式(3)により求めた終局変形角  $R_{mu}$  は 1.61% である。

$$F = \frac{\sqrt{2R_{mu}/R_y} - 1}{0.75(1 + 0.05R_{mu}/R_y)} \quad (3)$$

一方、実験における限界変形角は鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説<sup>5)</sup>における耐震壁の安全限界状態時を参考に、最大耐力の80%に低下した時の頂部変形角と定義した。図-5に  $R_{mu}$  を点線で示し、実験における

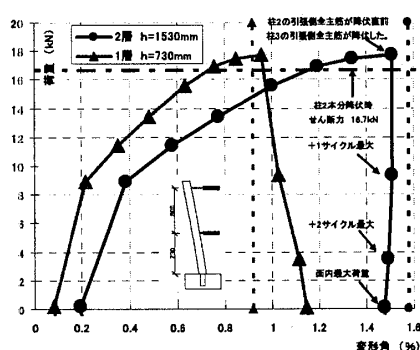


図-1 試験体 No.3 の面外復元力特性

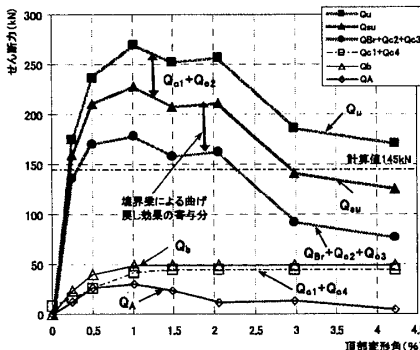


図-2 試験体 No.2 負担せん断力の推移

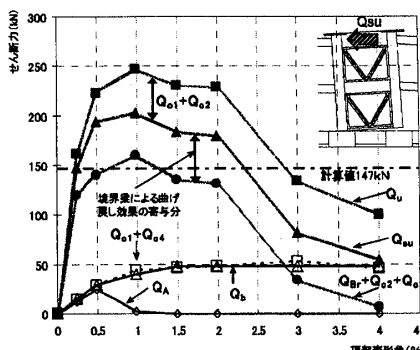


図-3 試験体 No.3 負担せん断力の推移

限界変形角を黒丸で示した。実験での限界変形角は正方向 2.2%、負方向 2.5%で、計算値 (1.61%) よりも大きかった。頂部変形角 2%では繰返し载荷による耐力の低減も大きく、2%を超えた直後に鉄筋が破断しているためにさらに耐力が低下するが、三方向加力状態においても  $R_{mu}=1.61\%$  という評価は安全側であると考えられる。同様な方法で試験体 No.2 についても求め、結果を表-1 に示す。両試験体ともに耐震診断基準<sup>4)</sup>に準じて評価することで安全側に評価できる。実験値と計算値の関係を比較すると試験体 No.3 は試験体 No.2 の 75%程度であることがわかる。

2.4 等価粘性減衰定数

両試験体の等価粘性減衰定数( $h_{eq}$ )を図-6 に示す。横軸に面内方向の頂部変形角を示し縦軸に  $h_{eq}$  を示す。1% (最大耐力時) までの等価粘性減衰定数を比較すると試験体 No.3 の方が大きい。試験体 No.3 は面内方向の加力開始前に、面外変形により引張側付帯柱の主筋を降伏させたために低サイクル時での試験体 No.2 と試験体 No.3 の差が大きかったと考えられる。また最大耐力時においては、試験体 No.3 の  $h_{eq}$  が試験体 No.2 よりも 1 割程度大きくなった。

2.5 累積エネルギー吸収量

図-7 に 1% (繰返し) までの累積エネルギー吸収量を示す。エネルギー吸収量は頂部変形量-補正水平力関係の履歴面積とした。頂部変形角を求める際の高さ  $H_{面内}$  は加力装置の違いから 200mm の差が生じた。そのために頂部変形角 1% で面内変位の差は 2mm である。この 2mm の差は小さいと考えて比較を行った。1% (繰返し) までのエネルギー吸収量は各サイクルにおいて試験体 No.3 の方が大きく、1% までの累積エネルギーは 2 割程度大きいことが確認できる。

前節で示した等価粘性減衰定数と累積エネルギーが試験体 No.3 の方が優れているのは、面外方向にすでに降伏していることと、水平二方向加力を行ったため二軸圧縮を受けるコンクリートの圧壊が試験体 No.2 より激しいことが原因と考えられる。

3. まとめ

本論文では二方向および三方向载荷した 2 体の実験結果を検討した。水平二方向载荷による影響は以下の通りである。耐力や変形性能には差が見られたが、詳細な損傷評価を今後行う予定である。

- ① 面外変形を一定とし面内加力を行うと面外荷重は低下し、面内最大荷重時に面外荷重は喪失した。

- ② 両試験体ともブレース斜材と付帯柱の負担する最大せん断力 ( $Q_{Br}+Q_{c2}+Q_{c3}$ ) は付帯柱の引張力と軸力のみを評価した耐震改修設計指針<sup>2)</sup>式で安全側に評価できた。しかし三方向加力を行った試験体 No.3 では、頂部変形角 1.5%以降に危険側の評価となった。
- ③ 靱性指標 (F 値) から求めた終局変形角は実験による限界変形を 2 体とも安全に評価したが、三方向加力時の限界変形は二方向加力時の 75%程度と小さくなった。
- ④ 等価粘性減衰定数は頂部変形角 1%まで三方向加力時の方が大きかった。面外加力で柱主筋が既に降伏していることと、柱脚部のコンクリートの損傷が激しいことが原因と考えられる。

参考文献 1) 佐藤照祥, 北山和宏, 岸田慎司, 加藤弘行: 鉄骨ブレースで補強されたRC骨組の耐力と変形性能に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, 2004.7 2) (財) 日本建築防災協会: 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 3) 中沼弘貴, 北山和宏, 田島祐之, 森田真司: 鉄骨ブレースで補強された RC 骨組の三方向外力下での復元力特性, コンクリート工学年次論文報告集, 2007.7 (投稿中) 4) (財) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説 2001 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価指針 (案)・同解説, 2004

表-1 試験体 No.3 変形性能

	計算値	実験値		実験値/計算値	
		正方向	負方向	正方向	負方向
No.2	1.68%	3.07%	3.09%	1.83	1.84
No.3	1.59%	2.20%	2.50%	1.38	1.57

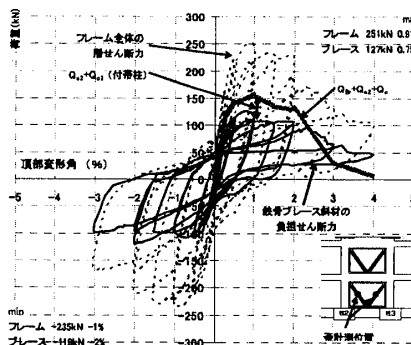


図-4 試験体 No.3 鉄骨ブレース復元力特性

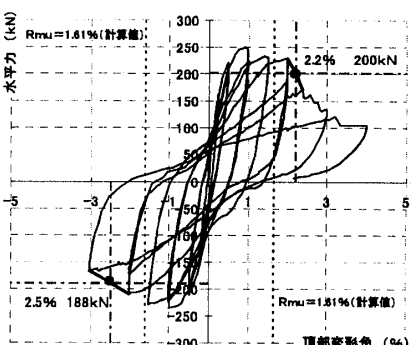


図-5 試験体 No.3 変形性能

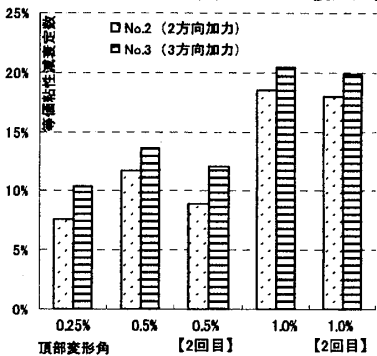


図-6 等価粘性減衰定数

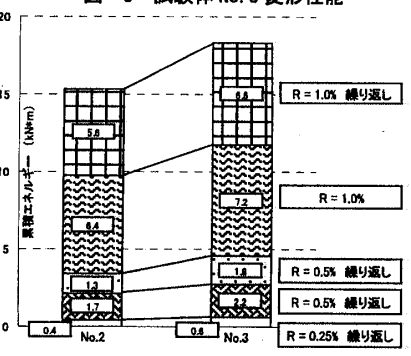


図-7 累積エネルギー吸収量

\*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学専攻修士課程

\*Graduate school of Engineering, Tokyo Metropolitan University

\*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