

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1 実験概要と結果)

正会員 ○林秀樹\*1 正会員 北山和宏\*2  
正会員 中沼弘貴\*1

耐震補強 連層鉄骨ブレース 全体曲げ破壊  
三方向外力 二軸曲げ

1. はじめに

連層鉄骨ブレースを用いて RC 建物を耐震補強した時の耐震性能を検討した事例は少ない。また地震力は三方向から作用するが、既往の実験的研究では鉛直力と面内方向水平力の二方向に加力して性能を評価したものが多く、そのため三方向加力の影響が考慮されておらず、鉄骨ブレースで補強された RC 骨組の三方向加力下での復元力特性に関しては不明な点が多い。そこで本研究では、連層鉄骨ブレースを含む骨組の全体曲げ破壊を対象とし三方向加力を行い、佐藤らが行った二方向加力の実験<sup>1)</sup>と比較し耐震性能を評価する。

2. 実験概要

佐藤らの試験体 No.2<sup>1)</sup> と同等な試験体 No.3 を作製し三方向加力実験を行った。

2.1 試験体

試験体の配筋と寸法を図-1 に示す。試験体は鉄骨ブレースを中央スパンに連層で配置した 2 層 3 スパンの RC 平面骨組で縮尺は約 1/4 である。破壊形式は全体曲げ破壊とし付帯柱の主筋量を調節した。各試験体の材料特性を表-1 に示す。

ブレース断面は H 形とし、接合方法は間接接合部を設けず、アンカー筋を溶接した鉄骨ブレースを型枠に組み込んで、コ

ンクリートを打設し一体とした。アンカー筋は接合部破壊の終局耐力が他の耐力に比べ高くなるよう、耐震改修設計指針<sup>2)</sup>に基づき D10@60 シングル (基礎梁天端からの埋め込み深さ 63mm) とした。

2.2 加力方法

加力は図-2 に示すように、連層ブレースと付帯柱 (柱 2 および柱 3) に一定軸力導入後、面外方向南向きに面外変形角 1.5%まで変形させ、この状態で正負交番载荷を行った。試験体 No.2 では面外加力は行われていない。試験体 No.2 と試験体 No.3 の加力方法の違いと加力サイクルを表-2 に示す。試験体 No.3 の独立柱に軸力を加えていないのは後述する事故の影響によるものである。面外変形角  $R_{面外}$  は梁芯の変位  $\delta_{面外}$  をスタブ面から変位計測位置までの高さ  $H_{面外}$  (No.3 ; 1530mm) で除した値である。面内変形角  $R_{面内}$  はジャッキ芯の変位  $\delta_{面内}$  を床から変位計測位置までの高さ  $H_{面内}$  (No.2 ; 2330mm, No.3 ; 2350mm) で除した値である。面外変形角 1.5%とは柱 3 柱脚危険断面の引張側主筋が降伏した時点の面外変形角である。この時、柱 2 柱脚危険断面での引張側主筋歪は 0.16%、独立柱は 0.1%程度であった。また面内加力の正方向は西側への引き载荷時とした。

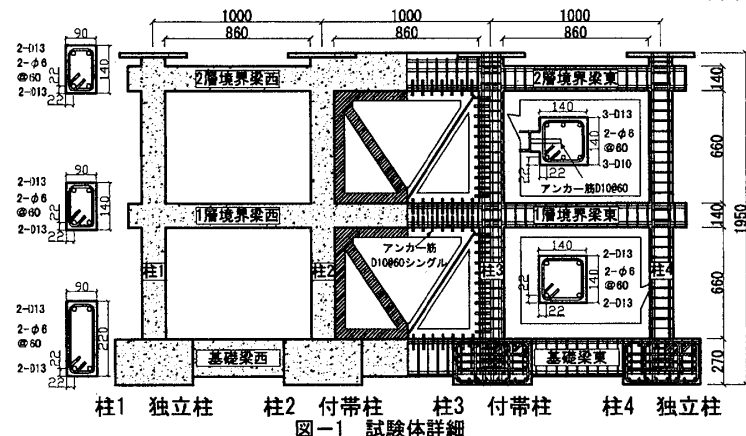


図-1 試験体詳細

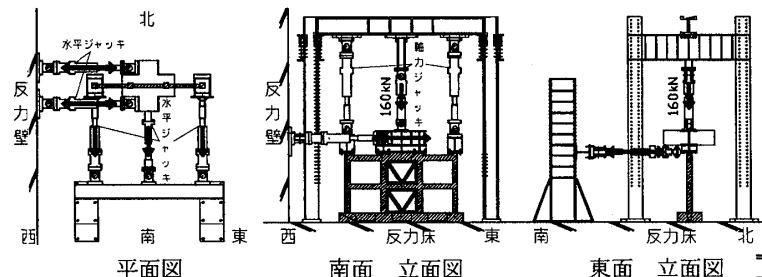


図-2 加力装置

表-1 材料特性

鋼材		$\sigma_y$	$\sigma_t$	$\epsilon_y$
付帯柱主筋 D10 (SD295)	No.2	368	503	0.20%
	No.3	379	492	0.20%
独立柱主筋 D13 (SD390)	No.2	430	602	0.24%
	No.3	456	660	0.23%
梁主筋 D13 (SD345)	No.2	346	470	0.19%
	No.3	377	544	0.21%
せん断補強筋 $\phi 6$	No.2	589	630	0.28%
	No.3	407	494	0.19%
アンカー筋 D10 (SD345)	No.2	383	526	0.22%
	No.3	384	547	0.21%
鉄骨ブレース (SM490)	No.2	435	551	0.21%
	No.3	280	375	0.14%

$\sigma_y$ :降伏応力度 (MPa)  $\sigma_t$ :最大応力度 (MPa)  $\epsilon_y$ :降伏歪

コンクリート	$\sigma_B$	$E_c$	$\epsilon_0$	$\sigma_t$
No.2	37.0	3.12	0.22%	2.67
No.3	30.3	2.80	0.22%	2.44

$\sigma_B$ :圧縮強度 (MPa)  $E_c$ :割線剛性 ( $\times 10^4$ MPa)  
 $\epsilon_0$ :最大強度時歪  $\sigma_t$ :引張割裂強度 (MPa)

表-2 加力サイクル

面外 (%)	軸力 (kN)	面内 (%)											
		中央	独立柱	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No.2	0	160	40	0.25	0.5	0.5	1	1	2	2	4	5	10
No.3	1.5	160	0	0.25	0.5	0.5	1	1	1.5	2	2	3	4

Earthquake Resistant Performance of RC Frame Strengthened by Multistory Steel Brace Subjected to Tri-lateral Loading (Part1 Test Program and Results)

HAYASHI Hideki, KITAYAMA Kazuhiro  
And NAKANUMA Hiroki

### 3. 実験結果

試験体 No.3 では制御事故により独立柱に軸力が大きく作用し、柱1は2層柱頭、柱4は2層柱脚で面外座屈を生じたが実験に与える影響は少ないと判断した。

#### 3.1 破壊状況

面内頂部変形角 4%時の試験体 No.3 の破壊状況を写真-1 に示す。付帯柱には曲げひび割れが多数発生し、柱脚はコンクリートの圧壊が激しく最終的にはコンクリートが脱落した。境界梁には曲げひび割れの後にせん断ひび割れが観測された。

#### 3.2 面内復元力特性

試験体 No.2 と No.3 の面内復元力特性を図-3 と図-4 に示す。軸力による P- $\delta$  効果を考慮した水平力を縦軸とした。

両試験体ともに面内頂部変形角 0.35%程度で引張側柱主筋の全てが降伏し、面内頂部変形角 1%程度で境界梁主筋が曲げ降伏して最大耐力が決定した。アンカー筋の付着劣化は試験体 No.3 では面内頂部変形角 0.4%で、試験体 No.2 では変形角 0.7%でそれぞれ生じた。最大耐力後は面内頂部変形角 2%までは急激な耐力低下はなく面内頂部変形角 2%を越えると試験体 No.3 は次々に引張側付帯柱の主筋が破断した。そのため試験体 No.3 は No.2 に比べ 2%以下の耐力低下が大きくなった。復元力特性の形状は面内頂部変形角 0.5%まではやせた形状で、それ以降は太った形状となった。また試験体 No.3 の最大耐力は試験体 No.2 の最大耐力の 93%であった。

#### 3.3 最大耐力の検討

試験体の最大耐力  $Q_{max}$  と計算値  $Q_{cal}$  との比較を表-3 に示す。骨組に作用する水平力は独立柱と中央の部分骨組によって負担されるので式 (1) が成り立つ。

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

ここで  $Q_{cal}$ : 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,  $Q_{c1}$ ,  $Q_{c4}$ : 独立柱の負担せん断力,  $Q_{su}$  は圧縮側の柱脚部におけるモーメントの釣合いから、式 (2) によって求めた。試験体 No.2, No.3 より最大耐力時におい

て最外縁のアンカー筋が引張降伏しているの、それによる寄与を考慮した。

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

ここで  $\Sigma M_b$ : 境界梁の曲げ戻しモーメント,  $\Sigma Q_b$ : 境界梁に作用するせん断力,  $N$ : 中央スパンに加えた軸力,  $N_i$ : 付帯柱の引張力,  $N_A$ : アンカー筋 1 本の引張力,  $l_w$ : 両付帯柱の中心間距離 (1000mm),  $l_w'$ : 圧縮側付帯柱の中心から最外縁アンカー筋までの距離 (875mm),  $H$ : 基礎梁芯から 2 層梁芯までの高さ (1640mm)。式 (1), (2) に梁・柱の曲げ終局強度, アンカー筋の降伏強度を代入して水平耐力を算定した (文献 3 参照)。その結果, 試験体 No.2 は実験値が計算値の 1.06 倍であったのに対し, 試験体 No.3 は 0.94 倍であった。材料強度の違いを考慮すると, 面外力を受けることで面内水平耐力は 11%低下した。これは水平二方向加力によって付帯柱脚部のコンクリートの圧縮損傷が促進されたためと考える。

#### 4. まとめ

- ① 両試験体共に付帯柱の全主筋が引張降伏した後、境界梁が降伏し連層鉄骨ブレースに対する抑え込み効果が一定となり頂部変形角 1%程度で骨組の最大耐力に達した。
- ② 両試験体の最大耐力は付帯柱の引張耐力, 軸力による抵抗モーメント, 境界梁の曲げ戻しおよびアンカー筋の引張力を考慮した計算値で評価すると二方向加力のものは安全側の評価であったが、三方向加力のものは危険側の評価となり、 $(Q_{max}/Q_{cal})$  の値は二方向加力のものより 11%低下した。

参考文献は (その 2) にまとめて記す。

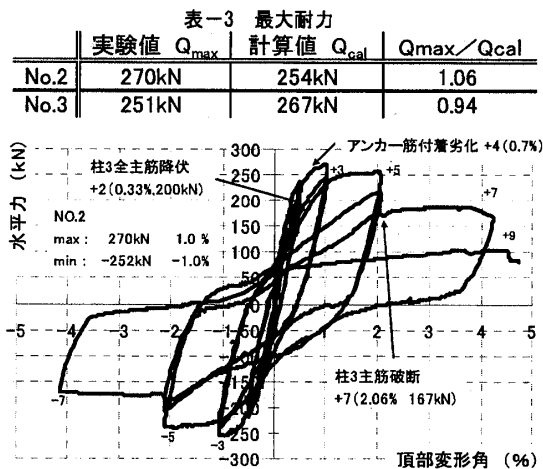
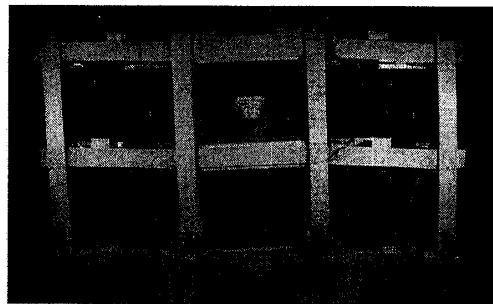


図-3 No.2 面内復元力特性

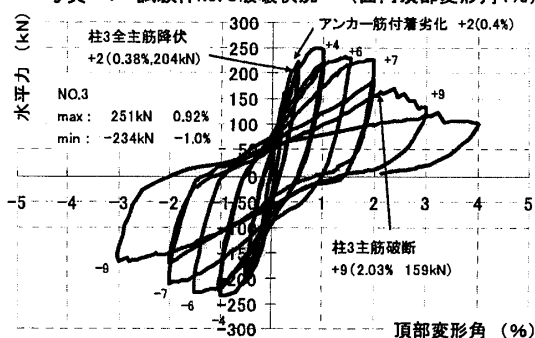


図-4 No.3 面内復元力特性

\*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

\*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

\*Graduate school of Engineering, Tokyo Metropolitan University

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