

鉄筋コンクリート造試験体の設計および実験による損傷

E-Defense を用いたコンクリート系建物実験 2010 / その2

正会員 ○福山國夫^{*1}, 長江拓也^{*2}, 田原健一^{*3}, 松森泰造^{*4}
塩原等^{*5}, 壁谷澤寿海^{*6}, 河野進^{*7}, 西山峰広^{*8}, 西山功^{*9}

フレーム構造 耐震壁 振動台実験

1. 設計概要

RC 試験体の設計では, ①断面詳細は一次設計と二次設計において鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁾, 構造技術基準²⁾に従うこと, ②保有水平耐力は必要保有水平耐力程度とすること, ③柱梁強度比を1以上とすること, を方針とした. コンクリートの設計基準強度 F_c は27 N/mm²とした. 主筋にSD345, せん断補強筋にSD295(壁境界梁KSS785)を用いた. 梁の主筋量は一次設計に従った. 二次設計で柱梁強度比が1以上になるように柱の主筋量を増やした.

Figure 1に配筋例を示す. 中柱を10-D22($P_g=1.55\%$), 外柱を8-D22($P_g=1.24\%$)とした. せん断補強はD10の溶接閉鎖型フープを100 mm 間隔とした. 1階柱脚のせん断補強は中子筋を用いて3, 4-D10($P_w=0.43, 0.57\%$)とした. X方向のG1梁は, 下端筋3-D22($P_t=0.72\%$)とした. 上端筋の端部は下層階ほど多くし, 4-D22~6-D22($P_t=0.96-1.44\%$)とした. せん断補強はD10の溶接閉鎖型フープを200 mm 間隔($P_w=0.24\%$)とした. 壁は両端の400 mmの幅を柱領域とし, 柱主筋として6-D19($P_g=1.72\%$)を配した. 中央のたて筋はD13を300 mm 間隔で, 横強筋はD10を200 mm 間隔でダブル($P_w=0.28\%$)に配した.

2. 強度特性

材料試験結果においてコンクリートの圧縮強度 σ_B は, 30.2-41 N/mm²となった. 主筋の降伏強度 σ_y は, D22が370 N/mm², D29が380 N/mm²であった. D10, D13は388, 372 N/mm²であった. 溶接閉鎖型フープに用いたD10は, DS295が448 N/mm², KSS785が952 N/mm²(い

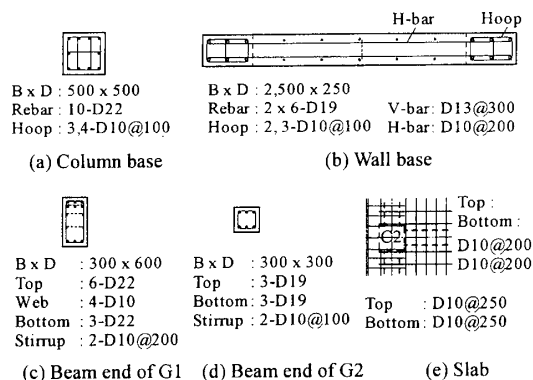


Figure 1 Steel schedule

ずれも0.2%オフセット値)であった.

コンクリートの圧縮強度 σ_B と鉄筋の降伏強度 σ_y を反映した試験体の強度特性を算出法とともに以下に示す.

- (1) 柱梁曲げ強度比(X方向): 柱と梁の曲げ強度は構造技術基準²⁾に示される式を用いて求めた. 梁の上端引張時の強度には, 鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁾に従う協力幅内の床スラブ筋を考慮した. 柱の強度には, 梁の両端ヒンジ時のせん断力から求まる変動軸力を反映した. その結果中柱に対する両側の梁の強度比は2 Fl.-4 Fl.において0.99-1.02となった. 外柱の強度比は, 梁が下端引張になるとき, 2 Fl.-4 Fl.において1.63-1.66となり, 梁が上端引張になるとき, 2 Fl.-4 Fl.において1.14-1.17となった.
- (2) 柱梁接合部のせん断余裕度(X方向): 梁が上記の強度に達したときの接合部せん断力に対する靱性保証型設計指針³⁾に基づく接合部せん断強度の比を求めた. 中柱と梁の十字形接合部のせん断余裕度は2 Fl.-4 Fl.において1.44-1.58となった. ト形接合部のせん断余裕度は, 梁が下端引張になるとき2 Fl.-4 Fl.において2.38-2.88, 上端引張になるとき2 Fl.-4 Fl.において1.10-1.31となった.
- (3) 静的漸増解析(Figure 2): 解析の主な条件は次のとおりである. ①外力分布は A_1 分布から与える, ②柱, 梁, 壁は材端回転パネを有する梁要素でモデル化する, ③柱梁接合部を剛域とする, ④材端回転ばねは部材の弾性剛性を低減(柱で0.7倍, 梁で0.3倍, 壁で0.5倍)したバイリニアとし, 降伏後剛性は初期剛性の0.01倍とする, ⑤部材の曲げ降伏強度を構造技術基準²⁾に示される式を用いて求めた値とする. 最大層間変形角が0.01 radに達した時点の1階の層せん断力はX方向で1424 kN, Y方向で

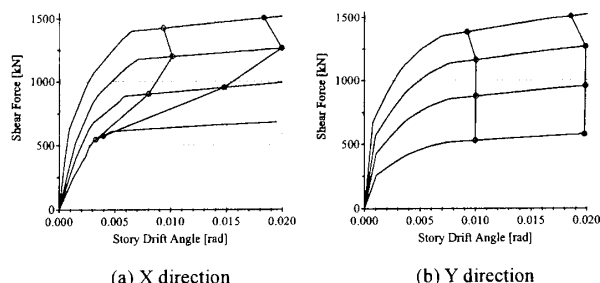


Figure 2 Result of pushover analysis

Design of reinforced concrete specimen and test result on damage

The 2010 E-Defense test on concrete buildings / Part. 2

Kunio FUKUYAMA, Takuya NAGAE, Kenichi TAHARA, Taizo MATSUMORI
Hitoshi SHIOHARA, Toshimi KABEYASAWA, Susumu KONO, Minehiro NISHIYAMA, Isao NISHIYAMA

1383 kN (層せん断力係数にして 0.40 と 0.39 に相当) となった。

(4) 柱、梁、壁のせん断余裕度：静的弾塑性フレーム解析において最大層間変形角が 0.02 rad に達した時点の部材せん断応力に対する靱性保証型設計指針³⁾に基づいて求めたせん断強度の比を求めた。柱と梁のせん断強度はヒンジ回転角 0.02 rad に対応する値とし、壁のせん断強度を部材角 0.02 rad に対応する値とした。X 方向の柱におけるせん断余裕度は、中柱の柱脚で 1.22 となった。また、梁が上端引張になる外柱において 1.43、梁が下端引張になる外柱において 2.57 となった。X 方向の梁は上端引張時に 1.34-1.59 となった。Y 方向の外構面において柱脚の余裕度は 4.17 と 2.73、壁の境界梁の上端引張端部で 1.72-2.15 となった。壁脚の余裕度は 3.00 となった。

3. 損傷過程 (実験結果)

JMA-Kobe 波の 50 %加振, 100 %加振における実験後の様子を Figure 3 に示す。X 方向の十字形柱梁接合部のせん断ひび割れ幅 (実験後に観察された残留値) は, JMA-Kobe 波の 50 %加振において 0.5 mm, 100 %加振において 2.5 mm となり, 最終的に JR-Takatori 波の 60 %加振において 5.3 mm に達した。梁および T 形柱梁接合部のせん断ひび割れ幅は, JR-Takatori 波の 60 %加振においても 1.5 mm 程度であった。

柱脚と壁脚部は, 曲げ圧縮系の損傷が卓越した。柱脚は, 50 %加振における損傷はわずかであり, 100 %加振において 250 mm の高さでカバーコンクリートが一部剥落した。JR-Takatori 波の 60 %加振において, 200-400 mm の高さで四周のカバーコンクリートが剥落した。壁脚部は, JMA-Kobe 波の 100 %加振において, 圧縮角部が高さ約 300 mm, 幅約 600 mm の範囲において曲げ圧縮破壊した。

4. 最大層間変形角 (実験結果)

Figure 4 に, 各階の最大層間変形角分布を示す。JMA-Kobe 波の 25 %加振で X 方向, Y 方向が 0.005 rad を下回った。50 %加振において, X 方向が 0.016 rad, Y 方向が 0.010 rad となった。JMA-Kobe 波の 100 %加振において X 方向が 0.034 rad, Y 方向が 0.033 rad に達し, さらに JR-Takatori 波の 60 %加振において, X 方向で 0.046 rad, Y 方向で 0.051 rad となった。

X 方向は, JMA-Kobe 波の 50 %加振から相対的に 1 階と 2 階の最大層間変形角が大きく, JMA-Kobe 波の 100 %加振以降における大変形時には 1 階と 2 階の部分降伏機

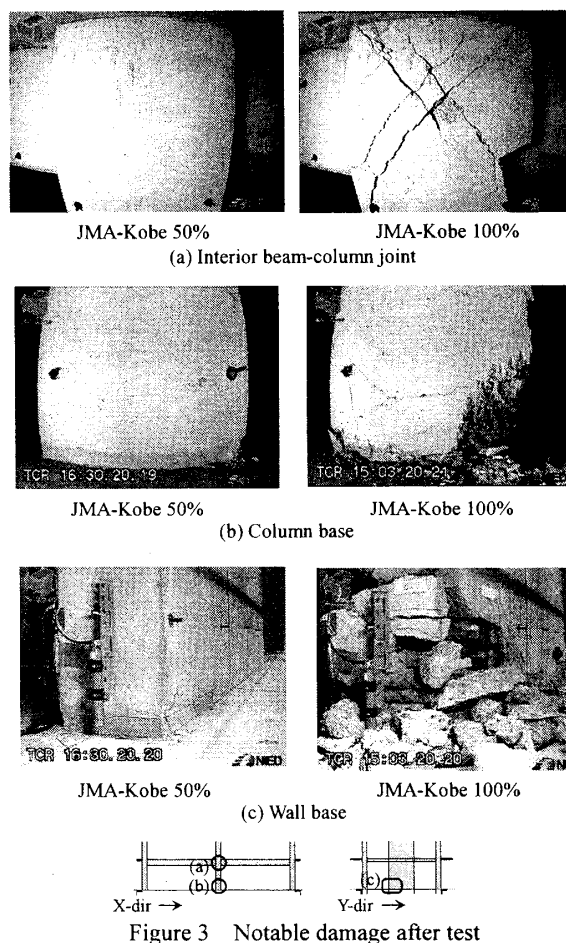


Figure 3 Notable damage after test

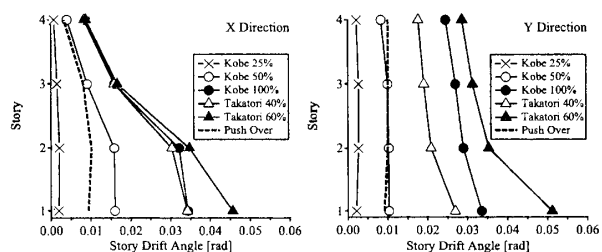


Figure 4 Distribution of maximum story drift

構を示した。Y 方向では, 最大層間変形角がほぼ一様な全体降伏機構を示したが, 壁脚が曲げ圧縮破壊した JMA-Kobe 波の 100 %加振以降は 1 階の値が大きくなった。

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート構造計算標準・同解説, 2010
- 2) 2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書
- 3) 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999

- *1 独立行政法人防災科学技術研究所 客員研究員
- *2 独立行政法人防災科学技術研究所 主任研究員・博士 (工学)
- *3 独立行政法人防災科学技術研究所 研究員・博士 (工学)
- *4 独立行政法人防災科学技術研究所 主任研究員・博士 (工学)
- *5 東京大学大学院工学系研究科 准教授・工博
- *6 東京大学地震研究所 教授・工博
- *7 京都大学大学院工学研究科 准教授・Ph.D.
- *8 京都大学大学院工学研究科 教授・工博
- *9 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部長・工博

Visiting Researcher, NIED
Senior Researcher, NIED, Dr. Eng.
Researcher, NIED, Dr. Eng.
Senior Researcher, NIED, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, University of Tokyo, Dr. Eng.
Prof., ERI, University of Tokyo, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Ph.D.
Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.
Director of Building Department, NI LIM, Dr. Eng.