

1. はじめに

1970年の建築基準法改正を皮切りに建築基準法上の高さが60mを超える建物の建設が始まり、現在も当時の建物が多く供用されている。このような建物の塑性変形能力を把握することは、防災・減災において重要な課題である。高層の鋼構造建築物の地震応答を精度良く追跡する技術を構築するために、本研究では柱梁接合部の動的载荷試験及び4層骨組みの振動台実験を、汎用解析ソフトを用いた数値解析モデルで再現し、その妥当性を検証した。

2. 柱梁接合部の動的载荷実験

2.1. 実験概要

2017年に北海道大学、名古屋大学、近畿大学、東北大学が共同で防災科学技術研究所の大型耐震実験施設において実施した。内ダイアフラム型式で現場溶接された柱梁接合部が有する動的応答性状を把握することを主な目的に、図1に示す試験体を動的に载荷した。試験体は柱と梁を十字形に組み、片側を1970年代の型式を模擬した接合部(以下試験体1)、もう片方を現代式の接合部(以下試験体2)と

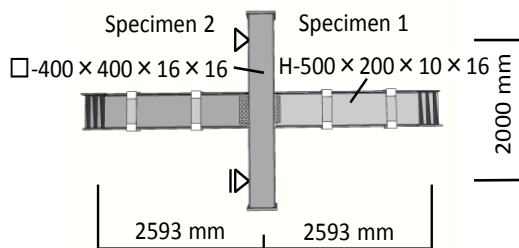


図1 試験体概要

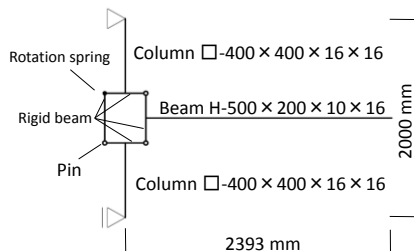


図2 部材モデル概要

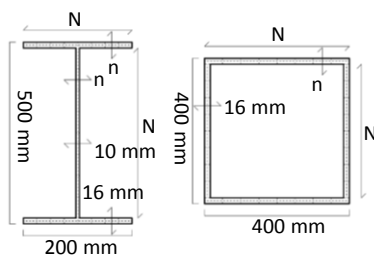


図3 部材モデル概要

した。試験体1では、ウェブ接合に用いる高力ボルトの本数を6本とし、スカラップを1970年代当時のものとした。溶接ワイヤーはYGW11とし、エンドタブはスチールタブとした。また、下フランジの溶接は片側のフランジを最後まで溶接した後に残る片側を溶接し、パス間温度及び入熱の管理は行わなかった。試験体2では、高力ボルトの本数を12本とし、スカラップを改良型とした。溶接ワイヤーはYGW18とし、エンドタブはフラックスタブとした。下フランジの溶接は、ウェブの左右で交互に行い、パス間温度及び入熱の管理をした。载荷の目標を層間変形角にして0.0039、0.005、0.0077、0.01、0.015、0.02、0.03、0.04radと漸増させ、周波数1Hzで動的に载荷した。

2.2 数値モデル

汎用解析ソフトOpenSeesを用い、解析を行った。モデルの構成と、柱および梁の断面分割則を図2,3に示す。梁に柔性法、柱に剛性法で定式化されたファイバー要素を採用した。感度解析の結果、梁は図3における $N \times n = 64 \times 6$ 、柱は $N \times n = 16 \times 2$ と分割し、柱パネルのモデル化はAkshay Guptaら²⁾の方法を参考に行い、鋼構造接合部設計指針式³⁾を用いて剛性を定めた。

柱と梁の材料則にMenegotto-Pinto則を用い、降伏強度

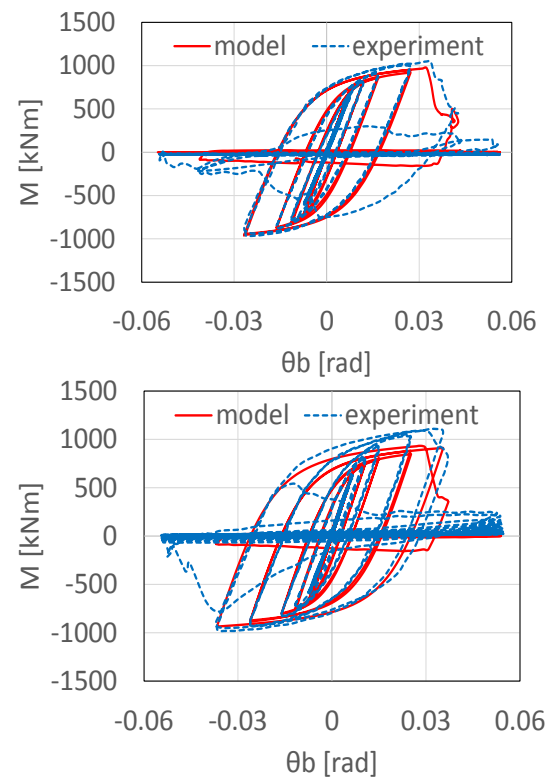


図4 試験体1(上)、試験体2(下)の結果

およびひずみ硬化係数は引張試験を基に決定した。また、山田ら⁴⁾を基に等方硬化則と移動硬化則を考慮した。実験結果と数値モデルによる解析結果が一致するように、累積塑性ひずみに上限をかけ、梁部材の破壊を再現した。局部座屈や疲労による剛性および最大耐力の低下はほとんど見られなかったため、耐力低下はすべて疲労破壊則で表現した。実験で計測した層間変形角を静的に与えた。

2.3. 実験結果との比較

図4に、実験から得た梁端モーメントと層間変形角の関係を、解析結果と比較する。両試験体の挙動を破断直前まで精度よくモデル化できたといえる。破断後はモデルの耐力が急激に低下しているが、これは今回採用した累積塑性ひずみに圧縮と引張の区別が無いため、引張側のフランジが破断するステップで圧縮側のフランジも同時に破壊するからである。

3. 4層骨組の振動台実験

3.1. 実験概要

2008年に防災科学技術研究所所有のE-ディフェンスを用い、長周期地震動を受ける超高層建物の損傷過程・安全余裕度の把握する目的で実大4層鋼構造骨組の振動台実験が行われた⁵⁾。試験体は鉄骨造21層の想定建物を下部の実大層4層と上部の縮約層3層に縮約したものである。実大層は柱と梁と床スラブで、縮約層は床スラブと積層ゴム、U型ダンパーで構成された。平面は東西方向に6m×2スパン、南北方向に8m×1スパンの長方形型であった。

3.2. 数値モデル

縮約4層試験体の南側構面の4層2スパンを取り出し、図6に示す二次元の骨組モデルを作成した。解析は下部の実大層4層のみを静的に行った。柱とパネルのモデル化は2章に準じた。松宮ら⁶⁾を参考に、床スラブを梁部材の断面に含めることで合成梁効果を考慮した。コンクリートの材料則に Kent-Scotto-Park 則を、鉄筋の材料則に Menegotto-Pinto 則を用いた。基礎梁は十分剛であると考えて、柱脚は固定とした。実大4層に対する高次モードの影響が小さいと考え、外力の分布はAi分布を仮定した。縮約層にかかる外力はすべてモデルの4層目に与えた。一次固有周期および各層の質量は測定結果⁶⁾を基にした。実験で測定された相対変位に従って4層目の相対変位を制御し、静的解析を行った。

3.3. 実験結果との比較

三の丸波に対して得られた実験結果のうち、2層と3層の各柱にかかるせん弾力 Q と各層の層間変形角 R を、解析

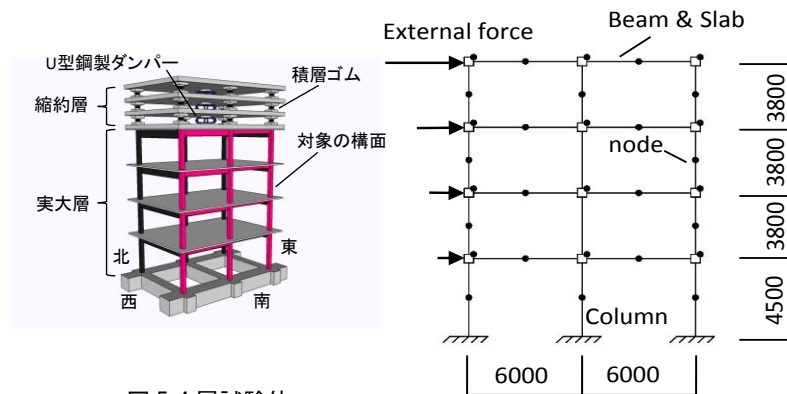


図5 4層試験体

図6 4層モデル概要

と比較した。図7に2層左端及び3層左端の柱について得た結果を示すように、精度よくモデル化できたことが確認できた。今後、動的解析が可能なモデルに展開する。

4. まとめ

鋼構造の非線形応答を再現する数値解析モデルを検討するために、実験を基にOpenSees上でモデルを構築した。柱梁接合部のみを取り出したモデルでは、破断直前までの範囲において精度よくモデル化できた。4層骨組みモデルでは、静的解析を精度よく追跡できるモデルを構築できた。今後、動的解析を可能にするモデルに展開し、4層骨組のモデルの基となった21層建物のモデルについて詳細に検討する。

参考文献

- 1) 松宮智央、岡崎太郎、長江拓也、高橋典之、丸山一平、梶原浩一、中澤博志、御子柴正：部分架構の動的載荷試験と同時損傷評価手法の開発、日本建築学会北海道支部研究報告集、No.90、pp.85~98、2017.6.
- 2) Akshay Gupta, Helmut Krawinler : Seismic Demands for Performance Evaluation of Steel Moment Resisting Frame Structures, Report No.132, June 1999
- 3) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、丸善出版、2006
- 4) 山田哲、今枝知子、岡田健：バウシンガー効果を考慮した構造用鋼材の簡潔な履歴モデル、日本建築学会構造系論文集、第67巻、第559号、pp.225~232、2002
日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、丸善出版、2006
- 5) 長江拓也、鍾育霖、島田侑、福山國夫、梶原浩一、井上貴仁、中島正愛、斉藤大樹、北村春幸、福和伸夫、日高桃子：超高層建物の耐震性能を検証する実架構実験システムの構築、日本建築学会構造系論文集、第74巻、第640号、pp.1163~1171、2009.6
- 6) 松宮智央、吹田啓一郎、中島正愛、劉大偉、周鋒、溝渕裕也：大変形繰返し載荷下における鋼梁の履歴特性に及ぼすRC床スラブの影響、日本建築学会構造系論文集、第598号、pp.141~147、2005.12

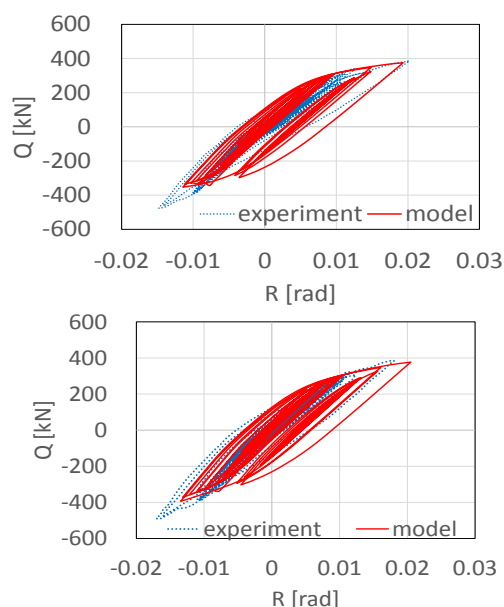


図7 3層(上)、2層(下)の柱のせん弾力