鋼構造柱梁接合部破壊と高層骨組地震応答に関する構造実験と数値解析

名古屋大学工学部環境土木建築学科建築学コース

長江研究室 鳥谷尾駿佑

1. 研究の背景と目的

超高層建物は、主要部材の塑性化を許容している。一方 現在、設計用地震動の強さを超えた地震動を生む地震が発 生すると予測されている。そうした中、建物の終局挙動を把 握しておくことは極めて重要といえる。

そこで本研究では、耐震性能に重要な影響を与える柱梁 接合部を対象に、当時の設計・施工をできるだけ再現した試 験体に対する載荷実験から破断までの終局挙動を解明し、 数値解析により実挙動を適切にモデル化することを目的と する。

2. 試験体の概要

本実験に使用する試験体は、多くの初期超高層建物に採 用された柱梁接合部の接合形式に則して製作した。鋼構造 骨組の外柱とそれに接合する梁を反曲点位置で取り出した 部位を想定し、なおかつ一つの試験体で静的および動的の 2 種類の実験を行えるよう、十字型とした。

梁はH形鋼H-500×200×16×10(SM490A)とし、柱は内ダイ アフラムを入れた角形鋼管□-400×400×16(BCR295)で代用し た。梁フランジは柱表面に完全溶込み溶接により接合した。 梁ウェブは、シアープレートを介した高力ボルト摩擦接合 で、シアープレートは柱に両面隅肉溶接で接合した。スカラ ップはアールをとらない半径 35mm の 1/4 円形とした。試 験体の力学特性を表1に示す。

3. 実験条件

図1に試験体の様子を示す。柱の両端を振動台上でピン 支持し、梁の先端には反力床に固定されたロードセルとピ ンで接合した。振動台に表2に示す変位を入力し、実質的 に梁端載荷とした。

4. 損傷過程の追跡

試験体の損傷過程を追跡する。23 サイクル目(層間変形角 にして 3/200)に降伏モーメントに達し、27 サイクル目(層間 変形角 3/100)に最大耐力に達した。フランジ破断及びシア ープレート全塑性時の曲げモーメントの和として算出した 最大曲げ耐力に対して実験値は 0.96 倍であった。

25 サイクル目(層間変形角 1/50)でフランジ溶接部の破断 開始に伴う負勾配が認められ、27 サイクル目で片方のフラ ンジ溶接部が完全に破断した。溶接部断面の破断状況から

梁全般	最大耐力 jMf(kNm)		全望	全塑性モーメント Mp(kNm)			耐力比 jMf/Mp			
	863			681				1.27		
	すべり			降伏			柱面外塑性			
シアープレート	(kNm)			(kNm)			(kNm)			
	39			70			107			
表 2 入力波形										
サイクル	1-6	7-12	13-18	19-22	23-24	25-26	27-28	29-37		
変位mm	9	12	18	24	36	48	72	96		
層間変形角rad	3/800	1/200	3/400	1/100	3/200	1/50	3/100	1/25		

表 1 試験体の力学特性





(b)接合部付近 (c 図 1 試験体 単位:mm

(c)破断の様子

は、溶接部端点および第1パスにあたる範囲が溶け込み不 足であることが確認された。

5. 数値解析モデルの概要

作成した解析モデルは、前述の試験体を模擬した 2 次元 フレームモデルである。柱と梁は、試験体の柱梁部材の中心 線で構成される線材で、弾性棒としてモデル化している。パ ネルゾーンにあたる部分は剛域とし、柱梁それぞれの材端 には回転ばねを設けている。柱梁接合部における終局挙動 のモデル化の適切性を検討するため、この回転ばねに与え る復元力特性を変化させながら、実験と同等の効果を与え る振幅を与えて数値解析を行った。検討に用いた復元力特 性モデルは、耐力低下や破断を表現できるイバラメディナ クラウィンクラーモデル(IMK モデル)を採用している。

6. モデル化の適切性の検討

モデル化の適切性を定量的に評価するため、履歴ループの合致性の他に部材が吸収したエネルギーを評価の指標とした。今回のモデル化では、本実験で得られた履歴性状がピンチングに類似することから、バイリニアモデルの他、IMKピンチングモデルの採用を考えた。耐力低下や負勾配の有無に着目して8種類のモデルの検討を進めたが、その中で最適と思われる条件で得られた結果を図2に示す。ひずみ硬化係数を0.12とし、耐力低下、負勾配を考慮したピンチングモデルである。最大耐力はどのモデルでも大きく外れることはなかったが、耐力低下を考慮した分接合部の劣化が表現できている。バイリニアでは実験に対し最大で6倍の過大評価となってしまった吸収エネルギーも、ピンチングの効果によって最大でも1.7倍までに抑えられている。



図2 解析結果と実験結果比較

7. E-ディフェンス実験への適用

2013年2月、超高層建物の1/3スケール模型で接合詳細 を模擬した18層鉄骨造骨組の試験体を用いて、東海・東南 海・南海の三連動地震動を模擬した地震動に対する挙動解 明のため、E-ディフェンス実験が行われた⁵⁾。過去の研究⁴⁾ で本実験データをもとに構築された2次元フレーム解析モ デル(図3(a))を展開し、図3(b)のように材端回転ばねに弾 塑性モデルを導入して動的解析を行った。導入したモデル はひずみ硬化係数 0.01 のバイリニア型と、図 3(c)に示す破 断を加味したものの2種類で、ぞれぞれの動的応答を検討 した。なお、図中の Mp は全塑性モーメント、K は初期剛性 を表す。加振倍率 2.00 で得られた実験結果に基づいて求め た塑性率を破断モデルのパラメータとして導入し、加振倍 率 2.27 での動的解析を行った。その結果、1 層目から 4 層 目までの梁端がすべて破断した。図4に両モデルの解析結 果から得られる1階層間変形角を時刻歴で示す。破断した 梁端の数を見ると、加振倍率 3.10 のときの実験結果と整合 するため、実験は 3.10、解析は 2.27 の加振倍率で得られた 結果を比較する。1 階層せん断力と層間変形角の関係につい て、実験結果4と解析結果を図5に示す。解析結果は実験結 果にそぐわない挙動を示しているが、極端に層剛性が低下 しており、梁端破断の影響が層に多大な影響を与えている ことが分かる。さらに、図6に示す層毎の最大層間変形角 からは特に、下層部の変形への影響が明確に表れている。

8. 結論と今後の課題

柱梁接合部破壊実験から、フランジ溶接部破断を含めた 接合部の弾塑性挙動を、復元力特性を用いて把握した。この 結果を基に数値解析を行い、実挙動を適切に表現できるモ デルを構築した。今後、E-ディフェンス実験の資料を含め、 柱梁接合部による構造物全体への影響を厳密に検討し、実 建物の耐震性能評価に結び付ける必要がある。



参考文献

5)

- 1) 松宮 智央,長江 拓也,錘育 霖,岡崎 太一郎,福山 國夫, 中島 正愛:超高層鋼構造建物の柱梁接合部に関する4層骨組振動台実 験,日本建築学会構造系論文集,No. 671, pp. 85-94, 2012.1.
- 2) Lignos, D.G., and Krawinkler, H: Deterioration modeling of steel components in support of collapse prediction of steel moment frames under earthquake loading, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.132(11), pp1291-1302, 2011
- 上谷 宏二, 田川 浩:梁端部脆性破壊を伴う鋼構造骨組の地 3)
- 震応答, 日本建築学会構造系論文集, No. 489, pp. 77-86, 1996. 11. 波多野 智也, 飛田 潤, 長 4)
 - 江 拓也、福和 伸夫、平山 義治:鉄骨造超高層建物の振動台実験にお ける汎用強震計による構造損傷評価、日本建築学会大会学術講演梗 概集め,構造II, p953, 2015
 - 「都市機能の維持回復に関する調査研究」報告書,京都大学防災研究 所,2013