

長周期地震動に対する CFT 造超高層建築物の耐震安全性に関する研究

構造研究グループ 主任研究員 長谷川 隆

I はじめに

現在の鉄骨系の超高層建築物では、柱を CFT 構造として、梁はハンチ付きやノンスカラップとしている場合が多い。しかし、このような CFT 柱を有する超高層建築物が長周期地震動を受けた場合の CFT 柱及び梁端部の多数回繰り返し変形時の疲労性能は、必ずしも明らかにされていない。

そこで、長周期地震動を受ける CFT 柱を有する鉄骨系超高層建築物の部材が発揮する保有性能を明らかにするために、CFT 柱部材及び CFT 柱梁接合部の梁端部を対象に、多数回繰り返し繰り返し載荷実験を行った。また、CFT 柱の載荷実験に基づいて CFT 柱の保有性能曲線を提示し、その保有性能曲線を用いて超高層建築物の CFT 柱の損傷を評価する方法を検討した。本稿では、それらについて紹介する。

II CFT 柱部材の多数回繰り返し繰り返し載荷実験

多数回繰り返し変位を受ける CFT 柱部材の保有性能把握を目的として、定振幅繰り返し載荷時の耐力低下までの繰り返し数に着目して曲げせん断実験を行った。試験体は、縮尺 1/3 ~ 1/2 の断面の角形断面 CFT 柱試験体であり、鋼管に 590N 級及び 400N 級鋼材、充填材に 100N 級コンクリートを用いた試験体 17 体¹⁾、鋼管に 490N 級鋼材、充填材に 60N 級コンクリートを用いた試験体 7 体²⁾で、合計 24 体である。表 1 には、100N 級コンクリートを用いた 17 体の試験体一覧を示す。本実験の主な実験パラメーターは、幅厚比 (20, 30)、径長比 (8, 12, 15)、軸力比 (0.3(一定)、0~0.6(変動)、0~0.45(変動)) である。図 1 に実験から得られた荷重-変形関係の例を示す。

本実験から得られた知見は以下である。①図 2 に示すように、漸増載荷を除く全ての試験体の部材角振幅と繰り返し数の関係は対数軸上で右下がりに分布する。②試験体の耐力低下の原因としては、仕口破断、局部座屈、コンクリート損傷の 3 つに分類される (図 2 参照)。③幅厚比が大きいか、最大導入軸力が大きいほど、また、最大導入軸力が同じ場合、変動よりも一定軸力の方が繰り返し数は少なくなる。

表 1 CFT 柱試験体一覧 (100N 級コンクリート試験体)

試験体名	材質		形状		加力形式						
	鋼種	強度 N/mm ²	ヤング率 ×10 ⁴ N/mm ²	鋼管板厚 t (β/t)	柱長さ L (L/D)	加力方向	N/N ₀	θ _h /1000 rad			
HH-14M-C	CK-BESTEN 590Y	104	4.39	14 (20)	2240 (8)	0°	0.3	漸増			
HH-14M-C1		104	4.39					10			
HH-14M-C2		109	4.55					15			
HH-14M-C3		109	4.55					20			
HH-14M-CH1		103	4.34				0.0-0.6	10			
HH-14M-V0		111	4.67					6			
HH-14M-V1		111	4.67					10			
HH-14M-V2		110	4.26				15				
HH-14M-VL1		105	4.41				0.15 ~ -0.45	10			
HH-14M-VL2		102	4.34					15			
HH-14MU-V1		105	4.31				0.0-0.6	10			
HH-14MU-V2		105	4.31					15			
HH-14L-V1		105	4.24				4200 (15)	0°	0.0-0.6	10	
HH-9M-V0		103	4.38				9	2240	0°	0.0-0.6	6
HH-9M-V1		103	4.05				31	2240 (8)	0°	0.0-0.6	10
HH-14M-V0D		103	4.38				14 (20)	2240 (8)	45°	0.0-0.6	6
LH-9M-V1		SN400B	105				4.41	9 (31)	2240 (8)	0°	0.0-0.6

※鋼管外形は全て□-280x280
 ※試験体名は (材質)-(形状)-(加力形式)
 (材質)□HH: 590N 級鋼+100N 級コン, LH: 400N 級鋼+100N 級コン
 (形状)=(板厚, 径長比) 板厚 14:14mm, 9:9mm 径長比 M:8, MU:12, L:15
 (加力形式)□無印:漸増載荷, 0: 6/1000rad, 1:10/1000rad, 2:15/1000rad, 3:20/1000rad, 0D: 6/1000rad(45° 方向)

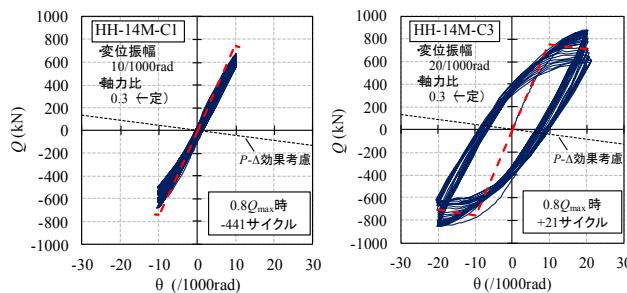


図 1 荷重-変形関係の例

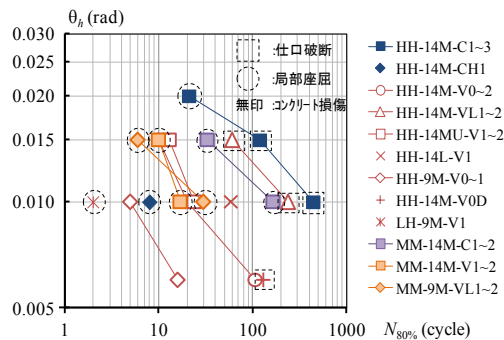


図 2 CFT 柱部材の部材角振幅-繰り返し数の関係

III 超高層建築物のCFT柱部材の保有性能と損傷評価

CFT柱を有する超高層建築物が長周期地震動を受けた場合の挙動を把握するため、図3に示す35層モデルの地震応答解析を行った。また、前述したCFT柱部材の多数回繰り返し載荷実験から得られる保有性能を用いて、長周期地震動を受けるCFT柱部材の損傷評価を行った³⁾。

図4にCFT柱部材の実験結果に基づく柱の保有性能曲線を示す。図4より、部材角振幅 θ と繰り返し回数 $N_{80\%}$ は、コンクリート強度と軸力比毎に分類するとほぼ同一の傾きとなるため、図に示すような分類で性能曲線を提示した。この性能曲線を用いて、図3の35層モデル建物の応答解析から得られる柱部材角の振幅頻度分布により損傷を評価した結果が表2である。中柱では損傷度Dが1以上となり、この部材で耐力低下が生じる可能性があることがわかる。

IV CFT柱梁接合部梁端部の多数回繰り返し載荷実験

CFT柱を有する柱梁接合部で、フランジ端部を拡幅した水平ハンチ梁の場合(CHシリーズ)とウェブ端のスカロップを省略したノンスカロップ梁の場合(CNシリーズ)について、梁端部の多数回繰り返し載荷実験を行った⁴⁾。表3に実験を行った4体の試験体一覧を示す。図5に梁端接合部詳細を示す。図6は、実験から得られた4体の試験体の塑性率と破断までの繰り返し回数(破断寿命)を、既往の研究で得られている鉄骨造梁端部の実験結果と性能曲線⁵⁾の図中にプロットしたものである。CHシリーズとCNシリーズは、スカロップ無し梁端の設計式で安全側に評価できる。

謝辞

本研究は、平成25年度国土交通省建築基準整備促進事業の調査項目「長周期地震動に対するCFT造柱部材等の安全性検証方法に関する検討」の事業主体(竹中工務店、大成建設、小堀鐸二研究所、大林組、鹿島建設、清水建設)と(独)建築研究所との共同研究として実施したものです。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇佐美, 他: 長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討, その29~31, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1255-1260, 2014. 9
- 2) 成原, 他: 長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討, その27~28, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1251-1254, 2014. 9
- 3) 池寄, 他: 長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討, その33, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1263-1264, 2014. 9
- 4) 安田, 他: 長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討, その32, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1261-1262, 2014. 9
- 5) 成原, 他: 長周期地震動に対する鉄骨造超高層建築物の安全性検証方法の検討, その20, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1087-1088, 2013. 8

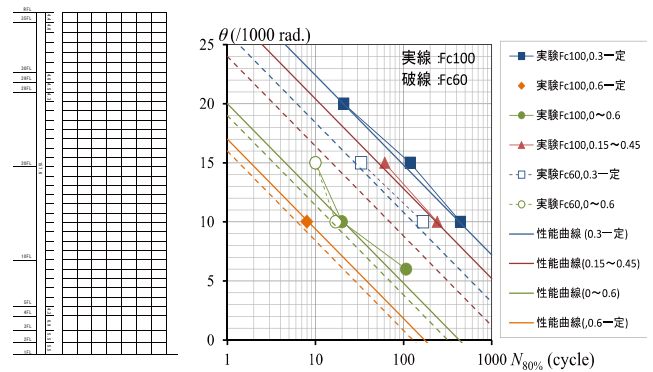


図3 35層モデル建物 図4 CFT柱保有性能曲線

表2 CFT柱損傷評価結果

柱位置	長期軸圧比	最大軸圧比	軸圧区分	損傷度D
隅柱	0.05	0.46	0~0.6	0.12
中柱	0.52	0.65	0.6一定	1.29
内側構面隅柱	0.24	0.38	0.15~0.45	0.06

表3 梁端部試験体一覧

試験体	断面	接合形式	スカロップ	変位振幅
CH-2	梁:(SN490B) BH-600×200~300×12×19 (梁端水平ハンチ)	現場溶接形式	複合円 35R+10R	±2 δp
CH-4				±4 δp
CN-2	梁:(SN490B) BH-600×200×12×19	工場溶接形式	ノンスカロップ	±2 δp
CN-4				±4 δp

※ δp: 梁全塑性耐力(水平ハンチ無視)に対応する弾塑性変位計算値

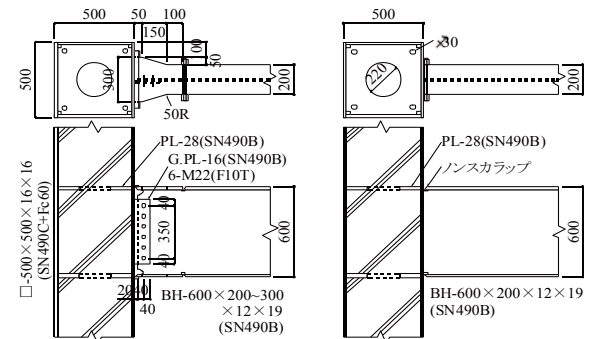


図5 梁端接合部詳細

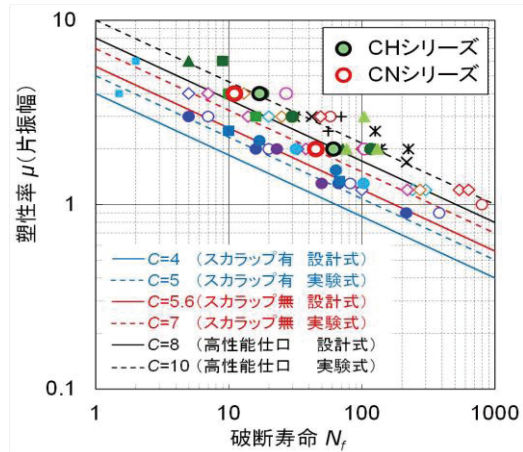


図6 梁端塑性率-破断寿命関係