劣化挙動の分析および耐力評価

佐藤 亮輔

1. 序論

近年、CFT 構造(Concrete Filled Steel Tube)は S 造、RC 造、SRC 造に次ぐ構法として普及が進んでおり、 高層建築物への適用が多くみられる。建物のさらなる 高層化に伴い、一般には使用する材料も高強度化する 傾向にある。一方、高強度材を使用することによる材 料価格の上昇や、施工難度が上がるなどのデメリット がある。技術力の高さや施工事例に富むゼネコンなど には普及するが、そうでない施工者への CFT の適用は 今後の課題ともいえる。また、使用する鋼管を薄肉化 することにより、経済的な設計が可能になる。

以上の理由から、本実験では鋼管幅厚比の大きい領 域を対象として、実験を行う。また、材料強度は鋼材 を 590N/mm²級程度、コンクリートを Fc80~90 程度を 上限値として実験変数を決定した。

実験を通して、薄肉かつ超高強度材を使用しない範囲

での角形 CFT 柱の構造性能や耐力劣化性状を分析、評価することが目的である。

2. 実験計画

2.1 試験体および載荷装置

表1に本実験で使用する試験体、表2に鋼材引張試 験結果、充填コンクリートのシリンダー試験結果を示 す。また、図1に試験体図面、図2に載荷装置の全体 図を示す。柱脚部はベースプレート上部に溶接されて おり下端は固定端とした。上端はピンで10MN 試験機 および1000kN ジャッキに接続した。また、柱脚の固 定端から柱頭ピンまでは1140mmであり、径高さ比が 4(Lk/D=8)の中柱に分類される(CFT 構造設計施工 指針(以下 CFT 指針))¹⁾。

	No.	試験体名	鋼管規格	コンクリート 設計基準強度 [N/mm ²]	柱幅B[mm]	柱せい D[mm]	板厚t[mm]	幅厚比D/t	軸力比
単調載荷									
	No.1	t6n023							0.23
	No.2	t6n042	SN490	60	285	285	6	47.5	0.42
	No.3	t6n060							0.60
	繰返し載荷								
	No.4	t6n023c							0.23
	No.5	t6n042c	SN490	60	285	285	6	47.5	0.42
	No.6	t6n060c							0.60

表1 実験で使用する試験体

表 2 材料試験結果

コンク	リート	鋼材					
シリンダー強度	ヤング係数	鋼管板厚t	降伏応力				
N/mm²	N/mm²	mm	N/mm²				
64.8	32306.2	6.24	380.6				
鋼材							
降伏ひずみ	引張強度	欧井山	ヤング係数				
%	N/mm²	P#1/L10	N/mm²				
0.18	545.9	69.7	205803				



図1 試験体図面



図2 試験機全体図(西面)



2.2 載荷方法

柱頭のピン治具を介し、10MN 試験機により一定 の軸力を与える。一定軸力下で 1000kN ジャッキに より柱頭部に水平力を与え、単調載荷と正負交番載 荷を行う。付与する軸力は載荷治具の制約により決 定し、その範囲で低軸力、高軸力とその中間をとる 軸力比を設定した。繰返し載荷のプログラムは柱脚 からピンまでの部材角で制御し、R=±0.25%で1 サ イクル、その後は R=±0.5%から 2 サイクルごとに 0.5%ずつ増加する漸増振幅載荷を行う計画とした。

2.3 測定方法

図 3、図 4 に変位計、ひずみゲージの計測位置を 示す。計測位置は全体の挙動、および柱脚部の局部 座屈性状を観察できるように設定した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状および荷重-変形関係

図5に単調載荷、および繰返し載荷の水平力-部 材角関係を示す。繰返し載荷のグラフには単調載荷 のグラフを重ねて表示した。各グラフに燈色の破線 による剛塑性崩壊機構直線を重ねて示しており、終 局曲げ耐力は CFT 指針¹⁾に従って求めた値を使用し た。また、写真1に水平載荷終了時点の各試験体(北 西柱脚部)の写真を示す。No.1 では最大耐力発現後 の勾配が塑性崩壊機構直線の勾配とほぼ一致してお り、柱脚部の耐力劣化がほとんど起こらなかった。 図には示していないが、柱脚部の曲げモーメントも 一定値を保持し続けた。No.2 では最大耐力発現後に 塑性崩壊機構直線の勾配を大きく上回る勾配を示し ており、変形の進行に伴い徐々に劣化は緩やかにな っていった。No.3 では前述した2体に比べて急激に 耐力劣化が進行した。繰返し載荷においては、最大 耐力点までは単調載荷をやや上回る形で進行するが、 それ以降は同目標部材角のサイクルで明確な耐力低 下が見られ、高軸力の実験ではその傾向が顕著であ

った。

3.2 単調載荷と繰返し載荷の対応関係

図6に同軸力比の単調載荷、繰返し載荷の曲げモ ーメントー部材角関係の対応関係を示す。図中の赤 線が単調載荷、黒実線が繰返しにおける正側、破線 が負側の繰返しによる累積変形を表している。累積 変形は、モーメントが正の部分と負の部分で分けて、 それぞれの履歴曲線をつなぎ合わせたものである。 いずれの軸力比の実験においても単調載荷は繰返し 載荷を概ね包絡するような傾向にある。ことがわか る。このような傾向は津田等²⁾の論文でも示されて いる。





(a) No.1 t6n023

(c) No.2 t6n042



(e) No.3 t6n060(f) No.6 t6n060c写真 1 破壊性状(水平載荷終了時)



(d) No.5 t6n042c

(b) No.4 t6n023c



4.2 応力- 歪関係モデル

図7に本解析で使用する応力-盃関係モデルを示 す。鋼材は Menegotto-Pinto モデルを基本とし、繰返 しによる剛性低下を考慮したモデルである。コンク 図 10 に各断面分割モデルの解析結果を示す。No.1 においては Type5 の解析が比較的精度よく水平力減 少の勾配を示した。No.2、No.3 では Type4 の解析が 比較的実験結果に近しい劣化性状を示した。Type1 (従来の解析モデル)では、特に低軸力の場合は水 平力減少勾配がやや過大に表現されている。この傾 向を修正するために、角部の拘束効果をコンクリー トのモデルに反映させることは有効な手段といえる だろう。



図10 実験値と解析値の比較

5. 耐力評価の考察

既存の耐力評価では、柱脚部の曲げモーメントが 全塑性曲げモーメントに達した状態を曲げ終局状態 とする。曲げモーメントが作用する鋼管柱脚部の応 力状態を考えると、軸方向と柱幅(せい)方向の二 軸圧縮ないしは二軸引張となることが考えられる。 軸方向圧縮の状態になると鋼材は軸縮みを起こし、 直交方向の伸びが生じる。しかし、柱脚部はベース プレートに溶接されており、直交方向の伸びが拘束 され、その結果圧縮応力が生じる。二軸応力状態の 降伏はミーゼスの降伏条件で考えることができ、降 伏に至るための軸方向応力の割増が期待できる。ま た、充填コンクリートに関しても同様である。鋼管 柱脚部は溶接により固定されており、鋼管の拘束効 果による圧縮強度の増加を期待できる。松井らの著 書。において、角形鋼管の拘束効果について言及さ れている。すなわち、軸圧縮時に側圧により充填コ ンクリートが三軸圧縮状態となり圧縮強度の上昇が 期待できる。図 11 は上記の考察に従って終局曲げ耐 力を割り増したものを剛塑性崩壊機構直線に適用し た結果である。



剛塑性崩壊機構直線

6. まとめ

単調載荷と繰返し載荷の両方において、高軸力下 では耐力劣化が顕著に現れた。ファイバー要素解析 に関しては図9に示した断面分割の方法を適用する ことで精度良く劣化性状を示すことができた。

角形 CFT に関する既往の研究と同様に、曲げ耐力 は理論値を上回る傾向にあった。柱脚部の拘束効果 を考慮して終局曲げ耐力を割り増しすることにより 実験値に近い値を示した。

参考文献

- 日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施 工指針,2008.
- 津田恵吾,松井千秋:コンクリート充填角形鋼管柱の構造性能と幅厚比制限値について,鋼構造論文集,第1巻第2号,pp.25-36,1994.
- 3) 河野昭彦:平面骨組解析プログラムの理論マニュ アル, 2009.
- 4) 小俵慶太:巨大地震に対する超高層建築物の部材の耐力劣化を考慮した時刻歴応答解析,九州大学修士論文,2012.
- 5) 崎野健治,孫玉平:直線型横補強材により拘束されたコンクリートの応力-ひずみ関係,日本建築学会構造系論文集,第461号, pp.95-104, 1994.
- 6) 松井千秋:コンクリート充填交換構造 CFT 構造の 性能と設計(オーム社),2009.