CFT 柱材の変形能力に関する基礎的研究

日大生産工(院) ○城戸 基 日大生産工 藤本 利昭

1. はじめに

現在の日本建築学会「コンクリート充填鋼管構 造設計施工指針」¹⁾(以下,CFT指針)では,CFT 柱の変形能力は水平力の低下を制限することに より部材の性能を確保する手法が示されている。 通常の設計では,一般的に建物の最終崩壊形とし て梁崩壊による全体崩壊形を想定する。そのため, 設計上は梁の塑性変形能力が重要となり,CFT柱 は優れた変形能力があるにもかかわらず,その変 形は,さほど大きくならない場合が多い。しかし ながら,今後の長周期地震動の影響やCFT柱の変 形能力を生かした設計を考えた場合,より適切な 部材の変形能力の評価手法が必要となる。

そこで本報告では、日米共研と新都市ハウジン グプロジェクトのCFT柱の曲げせん断実験の実 験結果を基に、CFT柱の変形能力に影響すると考 えられる各種パラメータと限界部材角との関係 について比較検討を行った。

2. 検討方法

CFT柱の変形能力は、CFT短柱の実験結果を基 に、軸力による水平力の低下を含んだ水平力一部 材角関係において水平力が5%低下した点を限界 部材角(95%耐力限界)として定義した新都市ハ ウジングプロジェクトにおける提案が基本とな り発展し、その考え方を基に実験データの整理が 行われてきた。

近年,CFT柱の実験データが更に蓄積されてきたこと,CFT柱の最大耐力以降の耐力劣化勾配はRC柱,S柱に比べ緩やかであるにも拘らず,他の構造形式,土木学会の評価方法と比較しても最も厳しい評価方法であること等から,限界部材角を最大水平耐力より5%低下時(95%耐力限界)から10%低下時(90%耐力限界)の部材角に緩和することが検討されている²。

そこで本研究では、まず日米共研³と新都市ハ ウジングプロジェクト⁴の限界部材角の実験値と CFT柱の変形能力に影響を及ぼす鋼管の強度、コ ンクリート強度、幅厚比および径厚比、軸力比と の比較を行い限界部材角と影響因子との関係を 明らかとし、更に式(1)、(2)に示す現行のCFT指針 における評価法との比較を行った。 <円形CFT柱の限界部材角評価式>

$$R_{u} = \gamma_{c} \cdot \left(8.8 - 6.7 \cdot \frac{N}{N_{0}} - 0.04 \cdot \frac{D}{t} - 0.012 \cdot F_{c}\right) / 100$$

· · · · · · · · · · · · (1)
< 角形 CFT 柱の限界部材角評価式>

$$R_{u} = \frac{\gamma_{r}}{0.15 + 3.79 \cdot \frac{N}{N_{0}}} \cdot \frac{t}{D} \cdot \beta \cdot (2)$$

$$\beta = 1.0 - \frac{F_c - 40.3}{566} \le 1.0$$

ここで、 γ_c : 円形断面CFT柱の座屈長さ径比に よる低減係数 ($l_k/D \leq 10$ の場合1.0、 $l_k/D > 10$ の場 合0.6)、 γ_r : 角形断面CFT柱の座屈長さ径比による 低減係数 ($l_k/D \leq 10$ の場合1.0、 $l_k/D > 10$ の場合 0.8) である。

3. 実験および結果概要

3.1 日米共研3)

検討に用いた試験体および実験結果ならびに 現行の CFT 指針での評価式の計算結果一覧を表 1 に示す。試験体は、座屈長さ径比 6.0、軸力比 0.4 で、断面形状、鋼管の材料強度、コンクリー ト強度および鋼管の幅厚比(径厚比)を実験変数 とした円形断面試験体 9 体、正方形断面を有する 角形断面試験体 12 体の合計 21 体である。

実験は一定軸力を載荷した状態で上下加力ス タブの平行度を保つと同時に上部スタブを下部 スタブに対して水平移動するようにせん断力を 加える方法とし,水平力は正負繰り返し加力とし ている。変位の測定は,水平変位,材軸方向変位 および柱頭,柱脚の局部変位を測定している。ま た,鋼管表面に貼付した塑性2軸および3軸ひず みゲージにより鋼管各部のひずみを測定している。

3.2 新都市ハウジングプロジェクト4)

検討に用いた試験体および実験結果ならびに 現行のCFT指針での評価式の計算結果一覧を表2 に示す。試験体は、断面形状、座屈長さ径比、鋼 管の幅厚比(径厚比)および軸力比を実験変数と した円形断面試験体7体、正方形断面を有する角 形断面試験体7体の合計14体である。

Basic Study on Deformation Capacity of CFT Columns

Hajime KIDO, Toshiaki FUJIMOTO

-1 -

1 - 1

実験は片持ち柱形式とし、所定の一定軸力を載 荷,保持した後,油圧ジャッキにより正負繰り返 し水平力を加力している。変位の測定は,水平変 位,材軸方向変位および柱頭,柱脚の局部変位を 測定し,また,ひずみは下方の軸方向5断面に2 軸ゲージを,上方の軸方向には1軸ゲージを貼付 し鋼管のひずみを測定している。

- 4. 限界部材角の比較
- 4.1 日米共研
- a) 実験変数と限界部材角の関係(円形断面)

図1に限界部材角と実験変数との比較を示す。 同図(a)より、コンクリート強度が高くなるに 伴い限界部材角は小さくなった。鋼管の降伏強度 が同じ試験体で比較すると、95%耐力限界は、 so_{yc}=530,806では変化は無認められないが、降 伏強度が低くなるとコンクリート強度の上昇に よる限界部材角の低下が大きくなることがわか った。90%耐力限界でも、同様な変化が見られた が、95%耐力限界に比べ大きな変化の変化が見ら れた。

鋼管降伏強度による比較では、コンクリート強 度が40MPaの95%耐力限界は、降伏強度による 差は認められないものの、コンクリート強度が 90MPaの場合、降伏強度の低い試験体の限界部材 角が小さくなっている。90%耐力限界も同様の傾 向は認められるが、その変化は大きくなっている。 これらのことから、限界部材角はコンクリート

| | | | | 111 | IN THE | 5. K 1 Y 1 H I II | | | | | | | |
|------|-----------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|------------|----------|------------|--|--|
| 試験体名 | | 幅(径) B(D)[mm] | 板厚 t[mm] | 幅厚比 B/t(D/t) | 一般化 幅厚比 α | 鋼管圧縮 | コンクリート | | 限界部材角(実験値) | | 限界部材角(計算値) | | |
| | | | | | | 降伏強度 | 圧縮強度 | 軸力比 N/N ₀ | 0.5%耐力限更時 | 00%耐力限界時 | 0.5%耐力限界時 | | |
| | | | | | | s σ _{yc} | _c σ _B | | D | D., | D | | |
| | | | | | | MPa | MPa | | Ru | ĸu | Ru | | |
| 円形断面 | SC4-A-4-C | 241 | 4.70 | 51.3 | 0.08 | 338 | 39.2 | 0.37 | 0.0411 | 0.0519 | 0.0380 | | |
| | SC4-A-9-C | 238 | 4.70 | 50.6 | 0.08 | 338 | 88.2 | 0.38 | 0.0159 | 0.0210 | 0.0317 | | |
| | SC6-A-4-C | 241 | 9.00 | 26.8 | 0.07 | 508 | 35.5 | 0.38 | 0.0469 | 0.0654 | 0.0476 | | |
| | SC6-A-9-C | 241 | 9.00 | 26.8 | 0.07 | 508 | 84.4 | 0.38 | 0.0400 | 0.0429 | 0.0417 | | |
| | SC6-C-4-C | 238 | 4.52 | 52.7 | 0.14 | 530 | 35.5 | 0.45 | 0.0304 | 0.0405 | 0.0325 | | |
| | SC6-C-9-C | 240 | 4.52 | 53.1 | 0.14 | 530 | 84.4 | 0.39 | 0.0304 | 0.0358 | 0.0305 | | |
| | SC8-A-4-C | 161 | 9.12 | 17.7 | 0.07 | 806 | 35.5 | 0.41 | 0.0409 | 0.0408 | 0.0492 | | |
| | SC8-A-9-C | 161 | 9.12 | 17.7 | 0.07 | 806 | 93.9 | 0.41 | 0.0416 | 0.0412 | 0.0422 | | |
| | SC8-C-9-C | 160 | 4.76 | 33.6 | 0.12 | 785 | 93.9 | 0.39 | 0.0320 | 0.0337 | 0.0372 | | |
| 角形断面 | SR4-A-4-C | 210 | 5.80 | 36.2 | 1.37 | 323 | 39.2 | 0.40 | 0.0152 | 0.0156 | 0.0166 | | |
| | SR4-A-9-C | 210 | 5.80 | 36.2 | 1.37 | 323 | 88.2 | 0.39 | 0.0147 | 0.0150 | 0.0155 | | |
| | SR4-C-4-C | 210 | 4.50 | 46.7 | 1.71 | 326 | 39.2 | 0.40 | 0.0144 | 0.015 | 0.0129 | | |
| | SR4-C-9-C | 209 | 4.50 | 46.4 | 1.70 | 326 | 88.2 | 0.40 | 0.0099 | 0.0113 | 0.0118 | | |
| | SR6-A-4-C | 211 | 8.83 | 23.9 | 1.22 | 588 | 39.3 | 0.38 | 0.0288 | 0.0291 | 0.0263 | | |
| | SR6-A-9-C | 211 | 8.83 | 23.9 | 1.22 | 588 | 88.3 | 0.38 | 0.0219 | 0.0225 | 0.0241 | | |
| | SR6-C-4-C | 211 | 5.95 | 35.5 | 1.82 | 609 | 39.3 | 0.38 | 0.0205 | 0.0207 | 0.0177 | | |
| | SR6-C-9-C | 210 | 5.95 | 35.3 | 1.81 | 609 | 93.7 | 0.38 | 0.0161 | 0.0200 | 0.0161 | | |
| | SR8-A-4-C | 178 | 9.45 | 18.8 | 1.19 | 837 | 42.3 | 0.43 | 0.0306 | 0.0314 | 0.0297 | | |
| | SR8-A-9-C | 179 | 9.45 | 18.9 | 1.20 | 837 | 94.5 | 0.42 | 0.0305 | 0.0363 | 0.0274 | | |
| | SR8-C-4-C | 180 | 6.66 | 27.0 | 1.70 | 805 | 42.3 | 0.42 | 0.0202 | 0.0210 | 0.0212 | | |
| | SR8-C-9-C | 180 | 6.66 | 27.0 | 1.70 | 805 | 94.5 | 0.41 | 0.0205 | 0.0206 | 0.0196 | | |

表1 限界部材角評価結果一覧(日米共研)

表2 限界部材角評価結果一覧(新都市ハウジングプロジェクト)

| 試験体名 | | 幅(径) B(D)[mm] | 高さ L [mm] | 板厚 t [mm] | 座屈長さ 径比 L _k /D | 幅厚比 B/t(D/t) | 鋼管圧縮 | コンクリート | 軸力比 N/No | 限界部材角(実験値) | | 限界部材角(計算値) |
|------|--------|------------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|--|--|-------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | | 降伏強度 _s σ _y MPa | 圧縮強度 _c σ _B Mpa | | 95%耐力限界時 Ru | 90%耐力限界時 Ru | 95%耐力限界時 Ru |
| 円形断面 | C24M2 | 318.5 | 3800 | 10.26 | 24.0 | 31.0 | 368 | 52.3 | 0.2 | 0.0289 | 0.0315 | 0.0335 |
| | C24M4 | 318.5 | 3800 | 10.26 | 24.0 | 31.0 | 368 | 53.1 | 0.4 | 0.0235 | 0.0245 | 0.0254 |
| | C18M4 | 318.5 | 2900 | 10.26 | 18.0 | 31.0 | 368 | 56.1 | 0.4 | 0.0189 | 0.0203 | 0.0252 |
| | C12M4 | 318.5 | 1900 | 10.26 | 12.0 | 31.0 | 368 | 57.7 | 0.4 | 0.0202 | 0.0237 | 0.0251 |
| | C12M4M | 318.5 | 1900 | 10.26 | 12.0 | 31.0 | 368 | 58.4 | 0.4 | 0.0254 | 0.0313 | 0.0251 |
| | C12M6 | 318.5 | 1900 | 10.26 | 12.0 | 31.0 | 368 | 58.8 | 0.6 | 0.0162 | 0.0194 | 0.0170 |
| | C12T4 | 318.5 | 1900 | 5.75 | 12.0 | 55.4 | 402 | 58.8 | 0.4 | 0.0212 | 0.0243 | 0.0192 |
| 角形断面 | R24M1 | 250 | 3000 | 8.99 | 24.0 | 27.8 | 352 | 54.4 | 0.1 | 0.0370 | 0.0462 | 0.0530 |
| | R24M3 | 250 | 3000 | 8.99 | 24.0 | 27.8 | 352 | 55.1 | 0.3 | 0.0240 | 0.0270 | 0.0218 |
| | R18M3 | 250 | 2200 | 8.99 | 18.0 | 27.8 | 352 | 57.1 | 0.3 | 0.0239 | 0.0264 | 0.0217 |
| | R12M3 | 250 | 1500 | 8.99 | 12.0 | 27.8 | 352 | 58.8 | 0.3 | 0.0185 | 0.0252 | 0.0216 |
| | R12M3M | 250 | 1500 | 8.99 | 12.0 | 27.8 | 352 | 58.8 | 0.3 | 0.0272 | 0.0334 | 0.0216 |
| | R12M5 | 250 | 1500 | 8.99 | 12.0 | 27.8 | 352 | 58.8 | 0.5 | 0.0155 | 0.0166 | 0.0136 |
| | R12T3 | 250 | 1500 | 5.87 | 12.0 | 42.6 | 356 | 58.8 | 0.3 | 0.0187 | 0.0188 | 0.0141 |

強度の上昇により低下するが、その変化割合は鋼管の降伏強度により影響され、降伏強度が低いほど低下割合が大きくなることが確認できた。

一方,径厚比による比較では,その傾向は顕著で はないが,径厚比が大きくなると限界部材角が小 さくなる傾向が認められる。

b) 実験変数と限界部材角の関係(角形断面)

図(b)より,角形断面の場合,95%耐力限界時 と90%耐力限界時とでは大きな変化は確認でき なかった。

限界部材角は、コンクリート強度が高くなると 小さくなる傾向はあるが、高強度鋼を用いた場合 はほとんど変化していない。一方、鋼管降伏強度、 幅厚比による限界部材角への影響は顕著で、降伏 強度が高くなるほど、幅厚比が小さくなるほど限 界部材角が大きくなることがわかる。

c) 限界部材角評価式と実験値との関係

図 2 に現行の CFT 指針による限界部材角の評 価式の値と実験値との比較を示す。

同図より,円形断面の場合95%耐力限界は,実験結果との対応はよく,ばらつきも少ない。90%耐力限界は,実験値が大きく変化した試験体が3体あり,ばらつきが若干大きくなっている。

一方角形断面の場合,95%耐力限界は,実験結 果との対応はよく,ばらつきも少ない。90%耐力 限界は,95%耐力限界時に比べ,実験値が若干大 きくなっているもののその変化は小さく,実験結 果との対応はよく,ばらつきも少ない。

以上のことから,95%耐力限界を90%耐力限界 に緩和した場合でもその変化は小さく,現行の限 界部材角の評価式で評価して場合でも,さほど過 小評価にはならない。寧ろ角形断面に比べ円形断 面の評価式の精度が低い点を改善する必要があ ると考えられる。

4.2 新都市ハウジングプロジェクト

a) 実験変数と限界部材角の関係(円形断面)
 図3に限界部材角と実験変数との比較を示す。

同図(a)より,円形断面の場合,径厚比の違い による95%耐力限界,90%耐力限界への影響は 認められず,また95%耐力限界と90%耐力限界 の差異も僅かであった。

軸力比に関しては、座屈長さ径比が 12.0, 24.0 の場合でも、軸力比が高いほど 95%耐力限界, 90%耐力限界共に小さくなり、95%耐力限界と 90%耐力限界の差異も僅かであった。

また、座屈長さ径比の違いによる 95%耐力限 界、90%耐力限界への影響は認められず、他の実 験変数と同様に 95%耐力限界と 90%耐力限界の 差異も僅かであった。

b) 実験変数と限界部材角の関係(角形断面)

角形断面の場合,幅厚比に関しては,座屈長さ 径比が12.0の場合,95%耐力限界は,幅厚比の違

— 3 —



いによる変化はみられなかったが,90%耐力限界 は、幅厚比が大きくなると小さくなった。また, 95%耐力限界と90%耐力限界は、幅厚比が42.6の 場合、差異は認められないが、幅厚比が27.8の場 合は90%耐力限界が95%耐力限界に比べ大きく なった。

軸力比による影響に関しては、円形断面の場合 と同様に、座屈長さ径比が12.0、24.0の場合でも、 95%耐力限界、90%耐力限界共に軸力比が高いほ ど変形能力は小さくなり、95%耐力限界と90%耐 力限界では、軸力比が小さくなると値の差が大き くなる。特に、座屈長さ径比が12.0の時顕著に現 れている。

また,座屈長さ径比による95%耐力限界,90% 耐力限界への影響は認められず,95%耐力限界と 90%耐力限界の差異も僅かであった。

この結果から,95%耐力限界と90%耐力限界の 評価方法による違いは,円形断面に比べ角形断面 のほうが顕著であった。

c) 限界部材角評価式と実験値との関係

図4に現行の CFT 指針による限界部材角の評 価式の値と実験値との比較を示す。

同図(a)より,円形断面の場合,95%耐力限界 は実験結果との対応はよく,図2に示した日米共 研に比べばらつきも少ない。90%耐力限界も同様 に,実験結果との対応はよく,ばらつきも少ない。 角形断面の場合,95%耐力限界時は,実験結果と の対応はよいが,図2に示した日米共研に比べば らつきが大きい。90%耐力限界は、全体的に95% 耐力限界に比べ,実験値が大きくなるため,評価 式は安全側の評価となるが,軸力比0.1で座屈長 さ径比12.0の試験体では過大評価となっており, 今後検討の必要がある。

以上の結果から,座屈長さ径比が比較的大きい 新都市ハウジングプロジェクトの実験範囲にお いては,95%耐力限界,90%耐力限界共に現行の CFT指針の評価式で円形断面CFT柱の変形能力を 概ね評価できるが,軸力比の低い範囲において危 険側となる場合があることがわかった。

5. まとめ

既往の日米共研と新都市ハウジングプロジェ クトの実験結果を基に限界部材角を検討した結 果,以下の知見が得られた。

- 材料強度と径厚比(幅厚比)を変数とした日米 共研の試験体では、限界部材角の評価方法を 95%耐力限界から90%耐力限界と変えた場合、 角形断面では現行のCFT指針の評価式でも十 分評価できることがわかった。一方円形断面 の場合、元来精度が十分でなく、今後検討が必 要であると考えられる。
- ・ 座屈長さ径比,径厚比(幅厚比)および軸力比
 を変数とした新都市ハウジングプロジェクト

の試験体では、限界部材角の評価を95%耐力 限界から90%耐力限界と変えたことによる差 異は僅かで、おおむね評価できることがわか った。

今後は、より精度の高い評価式の構築に向け、 さらに検討を進める予定である。



「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, 2008.10
- 2)藤本利昭: CFT柱材の変形能力,2016年度日本建築学会大 会(九州)構造部門(SCCS)パネルディスカッション資料 「CFT構造計算規準化に向けて―長周期地震動も考慮した 規準―」,2016.8
- 3)藤本利昭,向井照義,西山功,稲井栄一,甲斐誠,時野谷 浩良,馬塲武志,福元敏之,森浩二,崎野健治,森野捷輔: 高強度材料を用いたコンクリート充てん鋼管柱の曲げせん断性状,日本建築学会構造論文集,No.509,pp. 167 -174.,1998.7
- 山口種実,上田弘樹,福元敏之,堀江竜巳:CFT長柱の構 造性能に関する研究-その1実験計画-,日本建築学会大 会学術講演梗概集,pp.1185-1186,2000.9