

CFT 柱の変形能力評価手法に関する基礎的研究

日大生産工(院) ○柴田 知実 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工(院) 城戸 基

1. はじめに

一般的にCFT構造の設計においては、梁降伏先行型の崩壊機構が想定されるため、梁の塑性変形能力が重要となる。そのため、CFT柱の変形能力はさほど重要とならない場合も多い。しかしながら、今後の長周期地震動等の様々な入力の影響を考えた場合、CFT柱にも大きな変形が生じる可能性があり、適切なCFT柱の変形能力の評価手法を確立することが重要になってきている¹⁾。

変形能力の評価手法は構造形式により必ずしも統一されておらず、鉄骨造(S造)の柱部材の場合は図-1のような繰り返し履歴を考慮した累積塑性変形倍率(以下、塑性率)に基づき、幅厚比の大小により部材種別が定められている。

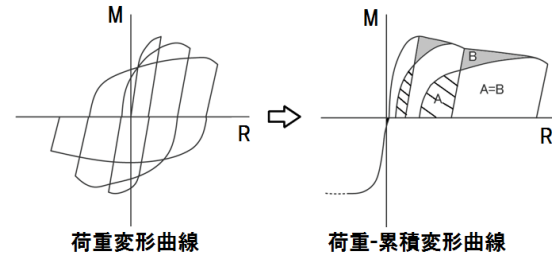
また、現在の日本建築学会「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針」²⁾(以下、CFT指針)では、水平力一部材関係において、水平力の低下を制限することで柱の変形能力を評価する方法が示されている。しかしながら、評価式では、部材長さによる評価式の不連続性など、今後改善すべき点が残されている。

そこで、本研究では、CFT指針の評価手法構築の際に用いられた日米共研³⁾と新都市ハウジングプロジェクト⁴⁾によるCFT柱の曲げせん断実験の実験結果を基に、変形能力の評価尺度としてS造に適用されている塑性率を取り上げ、それと変形能力に影響を及ぼすと考えられる各種変数との関係を明らかにするとともに、文献5)において求められた限界部材角 R_{90} と塑性率との関係について考察を行った。

2. 実験概要

2.1 日米共研

検討に用いた試験体は、座屈長さ径比 $l_k/D=6.0$ 、軸力比 $N/N_0=0.4$ の短柱試験体で、材料強度($\sigma_y=323\sim837\text{N/mm}^2$, $\sigma_B=35.5\sim94.5\text{N/mm}^2$)、幅(径)厚比($B/t=18.8\sim46.7$, $D/t=17.7\sim53.1$)を実数変数とした、円形断面9体、正方形断面12体の合計21体である。載荷方法としては、実構造物の荷重条件を模擬するため、柱部材に一定軸力を載荷し、繰り返しの水平力を作用させている。



曲げモーメントM

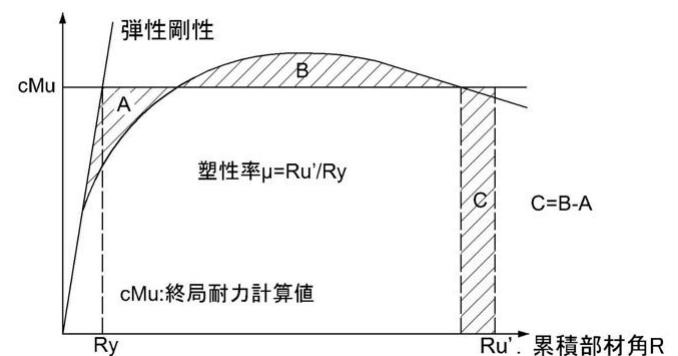


図-1 累積塑性変形倍率

2.2 新都市ハウジングプロジェクト

検討に用いた試験体は、座屈長さ径比 $l_k/D=12\sim24$ 、軸力比 $N/N_0=0.1\sim0.6$ の長柱試験体で、材料強度($\sigma_y=352\sim402\text{N/mm}^2$, $\sigma_B=52.3\sim58.8\text{N/mm}^2$)、幅(径)厚比($B/t=31.0\sim55.4$, $D/t=27.8\sim42.6$)を実数変数とした、円形断面7体、正方形断面7体の合計14体である。

載荷方法としては、柱部材を一端固定、他端ピンの片持ち形式として、一定軸力下において、繰り返しの水平力を作用させている。

3. 検討結果

3.1 各種変数と塑性率との関係

3.1.1 日米共研

図-2に日米共研の実験による塑性率と実験変数との比較を示す。

A Basic study on evaluation method of deformation capacity of concrete filled steel tube columns

Tomomi SHIBATA, Toshiaki FUJIMOTO and Hajime KIDO

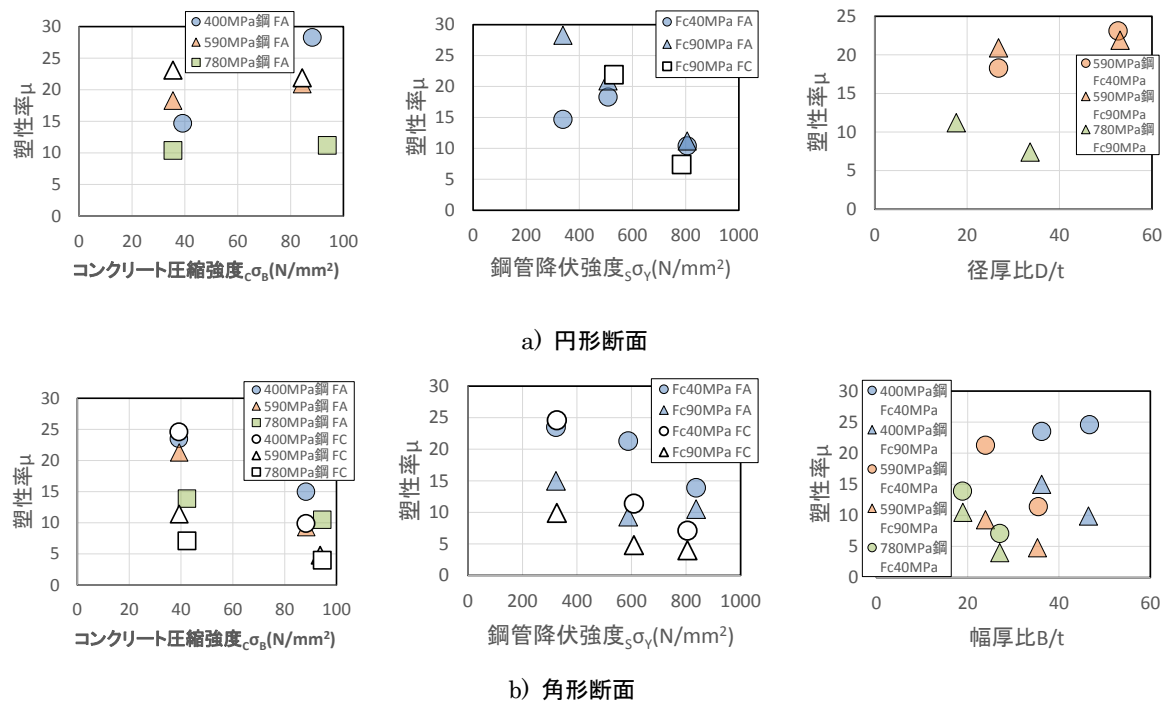


図-2 変数と塑性率の関係（日米共研）

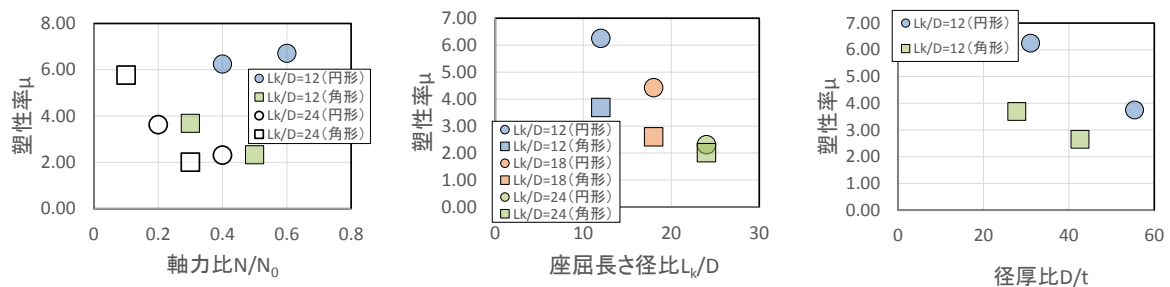


図-3 変数と塑性率との関係（新都市ハウジングプロジェクト）

a) 円形断面

径厚比がFAクラスの場合、コンクリート強度が高いほど塑性率が大きくなる傾向にあった。しかし、FCクラスの場合、コンクリート強度の違いによる塑性率への影響は明確に認められなかった。

また、FA、FCクラス共に鋼管強度が大きくなると塑性率は小さくなる傾向にあった。

径厚比に関しては明確な傾向は認められなかった。

b) 角形断面

FA、FCクラス共に、コンクリート強度が高いほど塑性率が小さくなり、特に低強度の鋼管を用いた場合の塑性率の低下が顕著であった。これは、文献5)における、コンクリート強度と限界部材角との関係と同様の傾向であった。また、文献5)において、鋼管強度が高いほど限界部

材角は大きくなったのに対して、塑性率は小さくなり、逆の傾向を示した。この傾向についても、FA、FCクラス同様に認められた。

3.1.2 新都市ハウジングプロジェクト

図-3に新都市ハウジングプロジェクトの実験による塑性率と実験変数との比較を示す。

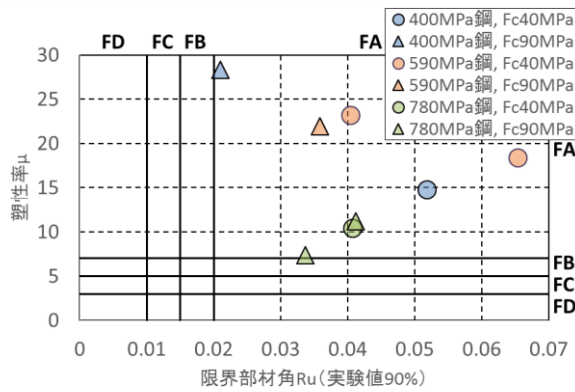
径厚比および幅厚比による影響については、幅厚比および径厚比が大きくなると、概ね塑性率は減少する傾向にあった。円形断面の方がより顕著に塑性率が低下している。

また、限界部材角と同様に軸力比及び座屈長さ径比が大きくなると概ね塑性率は減少する傾向にあった。

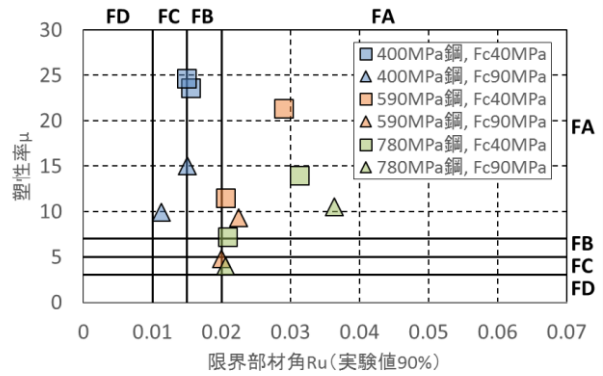
3.2 限界部材角と塑性率との関係

3.2.1 日米共研

図-4に日米共研の実験による限界部材角と塑性率との

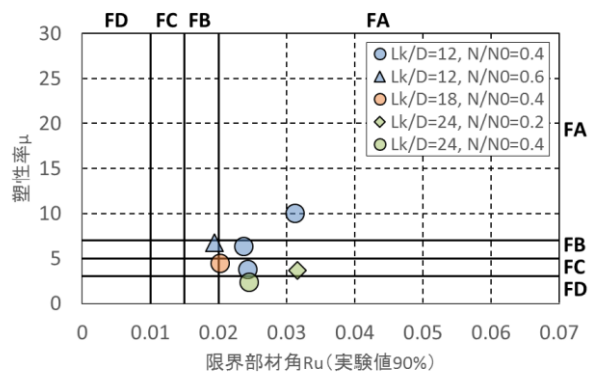


a) 円形断面

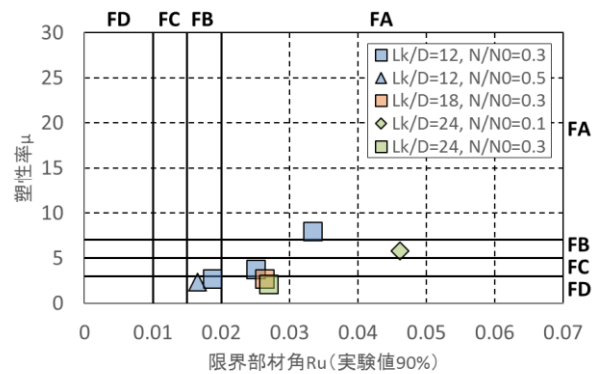


b) 角形断面

図-4 限界部材角と塑性率との関係（日米）



a) 円形断面



b) 角形断面

図-5 限界部材角と塑性率との関係（新都市）

比較を示す。

図中には、CFT指針における限界部材角に基づいたCFT柱部材の構造種別（FA～FD）と文献6)に示された塑性率に基づくS造の柱部材の構造種別（FA～FD）も併せて示している。

a) 円形断面

高強度コンクリートを用いた試験体では、文献6)に示された、塑性率に基づく構造種別評価において、概ね評価が高くなっており、この傾向は材料強度が低くなるほど、顕著に認められた。しかしながら、材料強度のみの違いによる関係性は認められなかった。一方、従来の限界部材角による評価については、低強度鋼管を使用した場合、塑性率での評価とは対照的に、コンクリート強度が大きくなると、概ね評価は低くなる傾向が認められた。結果として、限界部材角および塑性率に基づく部材種別の判定のそれぞれで、全ての試験体においてFAクラスとなっている。

b) 角形断面

塑性率による評価では、鋼管強度およびコンクリー

ト強度による評価の大小について、円形断面と逆の傾向が認められた。また、円形断面の場合、全ての試験体においてFAクラスの判定であったのに対し、角形断面の場合、鋼管強度400MPaの試験体においてはFB～FCクラスに分布する結果となった。そして、限界部材角による評価においても、円形断面とは対照的に、コンクリート強度が大きくなると概ね評価は高くなる傾向が認められた。塑性率に基づく部材種別の判定については、鋼管強度590MPa、コンクリート強度90MPaおよび鋼管強度780MPa、コンクリート強度90MPaの試験体においてFB～FCクラスに分布する結果となった。

3.2.2 新都市ハウジングプロジェクト

図-5に新都市ハウジングプロジェクトの実験による限界部材角と塑性率との比較を示す。

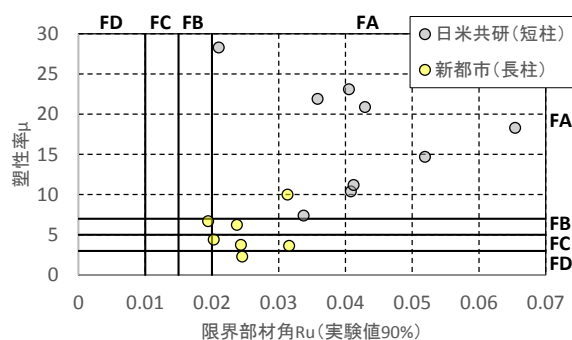
a) 円形断面

限界部材角による構造種別評価において、座屈長さ径比が大きくなるほど評価が高くなり、軸力比が大きくなるほど評価が低くなる傾向が認められた。

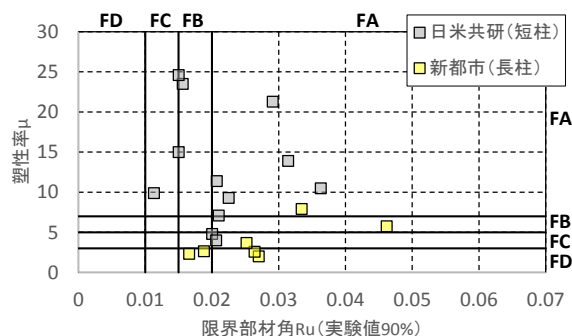
b) 角形断面

限界部材角による部材種別評価において、円形断面と同様な傾向が認められるが、円形断面に比べ、評価の差は大きい。そして、この傾向は特に、座屈長さ径比24、軸力比0.4の試験体に顕著に見られ、断面形状で比較すると円形断面に比べ、角形断面が卓越する結果となった。

また座屈長さ径比12の試験体において、限界部材角による評価についてはFA、FBクラスの判定が同数となっており、角形断面の試験体の評価が低くなった。



a) 円形断面



b) 角形断面

図-6 限界部材角と塑性率との関係

3.2.3 長柱、短柱による比較

図-6に長柱、短柱の両試験体の限界部材角と塑性率との比較を示す。

a) 円形断面

全体的には限界部材角が大きくなると塑性率が大きくなる傾向が認められ、日米共研に比べ、新都市の長柱試験体の実験値が小さい。構造種別の判定では、日米共研の短柱試験体は全て限界部材角、塑性率のどちらの評価法でもFAクラスとなっている。しかし新都市の長柱試験体では、限界部材角は概ねFAクラスの評価となっ

ているが、塑性率ではFB～FDクラスの判定になっていることがわかる。

b) 角形断面

限界部材角と塑性率との相関はあまり認められず、大きくばらついている。特に新都市の長柱試験体では、限界部材角に対し塑性率が小さくなっていることがわかる。日米共研のデータでは、限界部材角での評価において、FA～FCクラスに分布しているが、塑性率の評価では、その多くの試験体がFAクラスの評価になっている。逆に新都市の長柱試験体において、同様に限界部材角の評価では、FA～FBクラスに試験体が分布しているが、塑性率での評価では、多くの試験体がFC～FDクラスの評価になっている。このように、限界部材角と塑性率では、必ずしも評価結果は一致していない。CFT柱の安全性を考えた場合、変形能力の評価方法については、今後更なる検討が必要である。

4. まとめ

既往の実験結果を基に限界部材角及び塑性率を検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 材料強度、幅(径)厚比、軸力比および座屈長さ径比等の変数と変形能力との関係は、限界部材角と塑性率では必ずしも同じ傾向とはならない。
- 2) 限界部材角と塑性率との関係は、円形断面では限界部材角が大きくなると塑性率が大きくなる傾向が認められるが、角形断面ではその傾向は認められない。
- 3) 限界部材角と塑性率との関係では、長柱では限界部材角に比べ塑性率が小さくなる傾向があり、両者の評価に基づく構造種別の判定結果は、必ずしも一致しない。

「参考文献」

- 1) 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構造計算基準化に向けて一長周期地震動も考慮した規準」、2016. 8.
- 2) 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.
- 3) 藤本利昭、他：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.
- 4) 山口種実、他：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.
- 5) 城戸基、藤本利昭：CFT柱材の変形能力に関する基礎的研究、第50回日本大学生産工学部学術講演会, pp. 1-4, 2016. 12.
- 6) 広沢雅也、山内博之：新しい耐震設計法に基づく建築物の構造計算の実際、季刊カラム, No82, pp. 5-38, 1981.10