

(7) コンクリート充填円形鋼管柱の 復元力特性に関する研究

城戸 将江¹

¹ 北九州市立大学 国際環境工学部環境空間デザイン学科 (〒808-0135北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail:kido@env.kitakyu-u.ac.jp

性能設計に適用できるコンクリート充填鋼管柱の復元力特性の定式化を目指し研究を行なっている。本論文では、既往の一定軸力と水平力を受けるコンクリート充填円形鋼管柱の実験結果と、すでに提案されているコンクリート充填鋼管柱の復元力特性との比較を行った。また、実験結果より除荷剛性を求め、初期剛性に対する除荷剛性の比およびそれらに影響を及ぼす軸力比、径厚比の影響、軸縮み量、局部座屈発生の影響について検討を行なった。

Key Words : hysteresis rule, skeleton curve, unloading stiffness, composite column

1. はじめに

コンクリート充填鋼管柱（以降、CFT柱）の復元力特性に影響を与える因子として、径厚比・幅厚比、軸力比、座屈長さ・断面せい比、鋼管およびコンクリートの強度などが考えられる¹⁾。さらに、性能設計を合理的に行なうには、構造性能に影響を及ぼす、軸縮み量や局部座屈などの損傷限界や上記のパラメータの影響を考慮できるような復元力特性の定式化が必要である。

CFT柱の骨格曲線および履歴則に関する研究はすでにいくつかある。その中でも日米共同研究のデータを用いて得られた、適用範囲の広い復元力特性のモデル²⁾が、鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説¹⁾（SRC規準）に示されている。このモデルの履歴則はノーマルトリニアである。骨格曲線、履歴則ともに実験値との対応がよいことが示されているが、耐力については実験値に対して安全側に、履歴吸収エネルギーについては部材角が1%以上となると危険側の評価を与えることが報告されている³⁾。また、文献3)では、Cloughモデル（Takedaモデル）と類似したもの、文献4)では、局部座屈発生前はトリリニア型、その後はCloughモデルとするもの、が提案されている。

これまで、著者らは性能設計に適用できるCFT柱の復元力特性の定式化を目指し、経験部材角と残留変形角の関係、損傷限界部材角の関係について、既往のCFT柱の実験資料を用いて検討を行い、軸力比が大きくなると同一経験部材角における残留変形が大きくなることを示し

た⁵⁾⁶⁾。

本研究では、座屈長さ・断面せい比が比較的小さい柱を対象とし、文献7)に示されている、一定軸力を受ける円形CFT柱の既往の実験資料と文献2)で提案された骨格曲線を比較した。また、初期剛性に対する除荷剛性の比およびそれらに及ぼす軸力比、径厚比の影響、軸縮み量、局部座屈発生の影響について検討した。

2. 検討に用いた骨格曲線の概要

検討に用いたCFT柱の骨格曲線の概要について示す。図-1に、骨格曲線の模式図を示す。初期剛性 K は全断面弾性として算定する。また、限界部材角 R_U は、実験による最大耐力（水平力）が95%低下したときの部材角であり、円形断面の場合は次式で算定する²⁾。

$$R_U(\%) = 8.8 - 6.7 \times \frac{N}{N_0} - 0.04 \times \frac{D}{t} - 0.012 \times \sigma_B \quad (1)$$

ここで、 N は載荷軸力、 N_0 は圧縮耐力、 D は断面径、 t

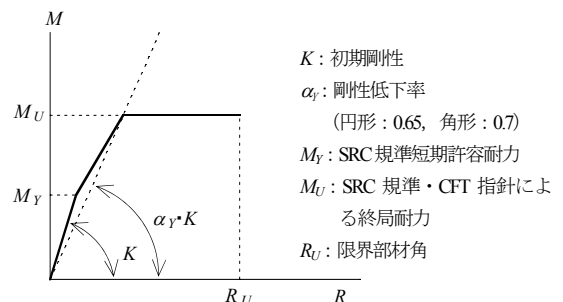


図-1 骨格曲線²⁾

は板厚, σ_B はコンクリート強度である。

本論文では骨格曲線を求める際、鋼管の拘束効果を考慮して計算を行なった。

3. 既往の実験結果との比較

(1) 検討に用いた実験の概要

荷重条件は図-2に示すように一定軸力 N と水平力 Q を受ける、材長 L で一端固定、他端自由の片持柱である。

実験変数は、1) 鋼管の径厚比 D/t ($= 33, 39, 77$)、2) 軸力比 n ($= 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$)、である。載荷プログラムを図-3に示す。柱の部材角 R ($=\delta/L$, δ : 柱頭の水平変位)を0.25%刻みで増加させ、同一変位振幅で4回の繰返し載荷を行っている。また、単調載荷実験も $n=0.3, 0.5, 0.7$ の場合について行なわれている。

実験で用いられた鋼管は、STK400の円形鋼管で、コンクリート設計強度は29.4MPaである。鋼管の実測寸法を表-1に、引張試験の結果およびコンクリート強度を表-2に示す。断面径は約100mm、材長 L は508mmであり、座屈長さ・断面せい比は約10である。

(2) 実験結果との比較

a) 単調載荷の場合

図-4 に実験で得られた曲げモーメント M —部材角 R 関係と骨格曲線の比較を、 $D/t=33, 39, 77$, $n=0.3, 0.5, 0.7$ の場合について示す。曲げモーメントは、 $M=Q \cdot L+N \cdot \delta$ ($\delta=RL$) として計算されたものである。図中、□印は最外縁のひずみ度がはじめて引張試験により得られた降伏ひずみに達した点（鋼管降伏）、→で示した点は局部座屈が確認された点（局部座屈発生）、○印は曲げ耐力点を示す。

図によれば、軸力比が 0.7 の場合を除いて骨格曲線は

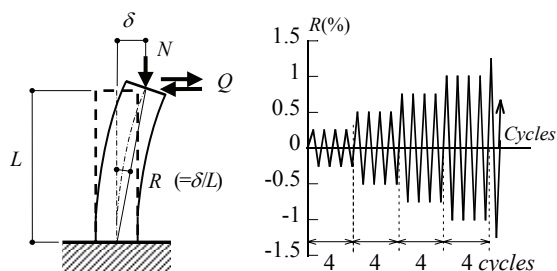


図-2 荷重条件

図-3 載荷プログラム

表-1 鋼管の実測寸法

径厚比	断面せい D (cm)	板厚 t (mm)	D/t	断面積 A_s (cm ²)
33	100.0	3.01	33.3	920
39	99.0	2.55	38.8	770
77	96.0	1.25	76.7	370

実験値とおおむね対応していることが観察される。

なお、 $D/t=77$, $n=0.7$ の場合は限界部材角のほうが第二折れ点時の部材角より小さくなっているため、第二折れ点までしか図示していない。これは、限界部材角をきめるのに用いられた実験データの径厚比の範囲が、13.8～95 であり¹⁾、径厚比 77 はこの範囲に含まれているが、径厚比、軸力比ともに高い値であるため限界部材角の値が小さくなっていると考えられる。

b) 繰返し載荷の場合

図-5 に実験で得られた曲げモーメント M —部材角 R 関係と骨格曲線の比較を $D/t=33, 39, 77$, $n=0.3, 0.5, 0.7$ の場合について示す。図中点線は単調載荷の結果を示している。

繰返し載荷の場合についても、実験値とよい対応を示しているが、 $D/t=77$ のときは部材角が大きくなると実験耐力のほうが小さくなっている。

なお、単調載荷の場合と同様に $D/t=77$, $n=0.7$ の場合は限界部材角のほうが第二折れ点時の部材角より小さくなっているため、第二折れ点までしか図示していない。これも a) 単調載荷の場合で述べたものと同じ理由だと考えられる。

4. 除荷剛性と初期剛性の比較

(1) 除荷剛性の読み取り

除荷剛性 αK_r を実験結果から算定した。具体的には、図-6 の模式図に示すように、曲げモーメント M —部材角 R 関係中の $\alpha K_r (=M/(R_0 - R_r))$ を除荷剛性として読み取った。

ここでは実験値の除荷剛性ととの比較には初期剛性の理論値を用いることとした。

(2) 初期剛性に対する除荷剛性の比

図-7 に得られた除荷剛性 αK_r と初期剛性 K の比を示す。軸力比は $n=0.3, 0.5, 0.7$ のときを示している。また、図

表-2 引張試験結果およびコンクリート強度

径厚比	降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	コンクリート強度 σ_B (N/mm ²)	
			繰返し	単調
33	406	488	33.4 ($n=0.2, 0.7, 0.8$) 31.9 ($n=0.3 \sim 0.6$)	33.4
			繰返し	33.4
39	391	477	30.9 ($n=0.2, 0.3, 0.7, 0.8$) 33.5 ($n=0.4 \sim 0.6$)	33.5
			繰返し	33.5
77	410	490	32.4	32.0
			繰返し	32.0

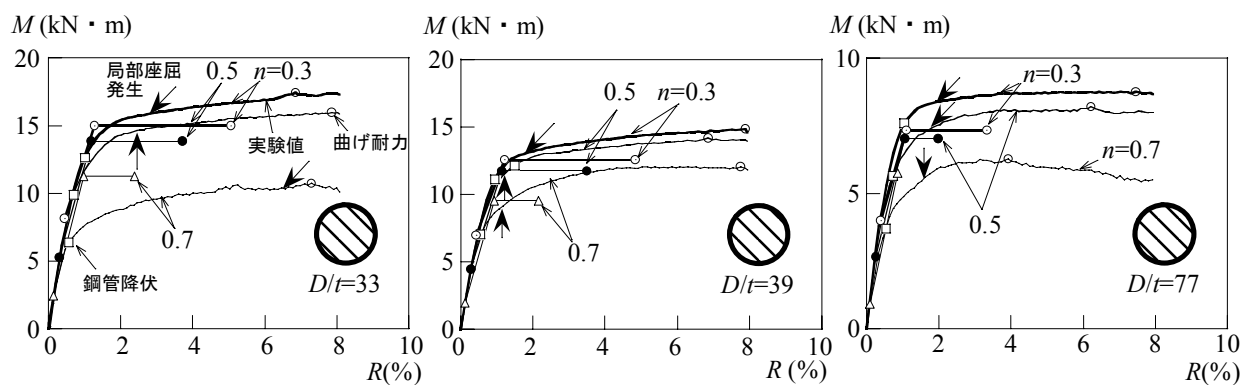


図-4 単調載加の場合

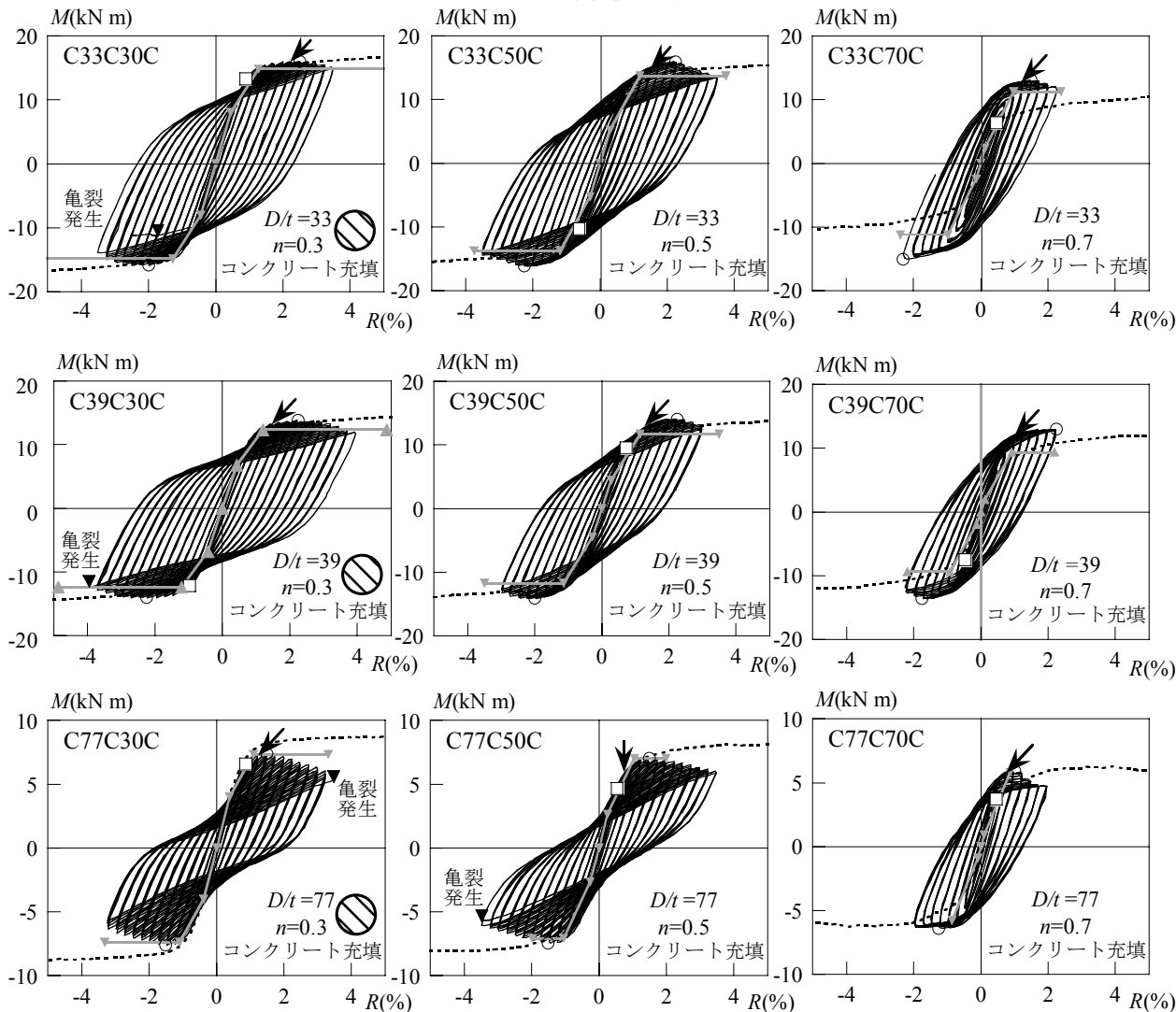


図-5 繰り返し載加の場合

中、軸ひずみ度が 0.2%を超えた部材角（軸縮み限界）と局部座屈が発生した部材角（局部座屈発生限界）を示している。

部材角が大きくなるにつれ、初期剛性に対する除荷剛性の比 $\alpha K_r/K$ が小さくなっていることがわかる。軸力比が 0.3, 0.5 の場合はほぼ同じ値を示しており、軸力比の影響は特に見受けられない。また、部材角が同じとき、径厚比が 33, 39 のときよりも径厚比が 77 のときのほう

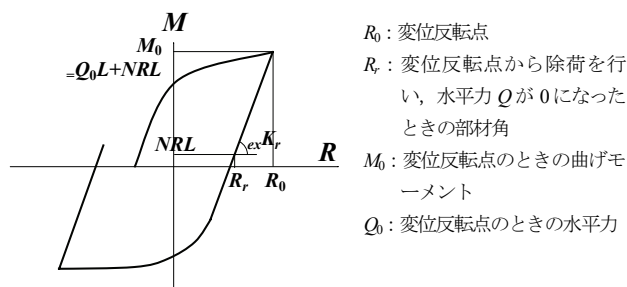


図-6 模式図

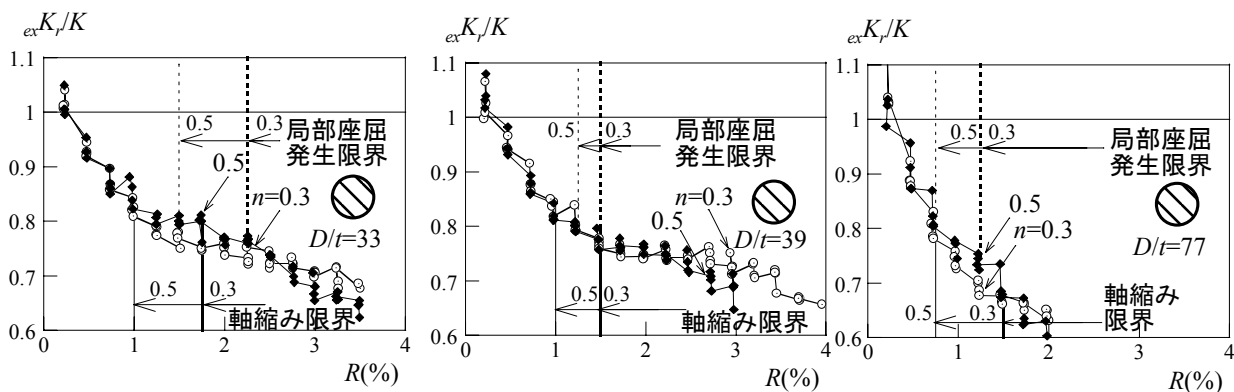


図-7 初期剛性 K に対する除荷剛性 αK_r の比 $\alpha K_r/K$

が、 $\alpha K_r/K$ の値が小さくなっている。部材角が 2% のとき
径厚比が 33, 39, 77 の $\alpha K_r/K$ はそれぞれ 0.74~0.77, 0.74
~0.77, 0.6~0.65 程度である。

軸縮み限界および局部座屈発生限界の影響は、特に
みられない。

5 まとめ

文献 2) に示されている骨格曲線を、文献 7) に示されて
いる円形 CFT 柱の実験結果と比較し実験値との対応を
検討した。また、実験結果から得られた除荷剛性 αK_r と
計算による初期剛性 K の比較を行い、軸力比、径厚比
の影響を示した。

除荷剛性の初期剛性に対する比に及ぼす軸力比の影響
は特に見受けられず、径厚比 33, 39 の場合と比較する
と 77 の場合のほうが値が小さい。

謝辞：本研究は、社団法人日本鉄鋼連盟による 2006 年
度鋼構造研究・教育助成事業の援助を受けた（城戸將
江）。ここに、関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2001.1
- 2) 森修，野口隆，藤本利昭，森野捷輔：ハイブリッド構造に関する日米共同構造実施研究（CFT-33）CFT 柱の復元力特性モデル，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1225-1226，1998.9.
- 3) 吉川真次，松谷輝雄，中島將好，上田弘樹，大竹章夫，一戸康生：コンクリート充填鋼管柱の超高層建物への利用についての実験的研究 その 17.円形鋼管コンクリート柱の復元力特性のモデル化，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1569-1570，1991.9.
- 4) 最相元雄，辻大介，西本洋一：コンクリート充填鋼管柱の復元力特性と復元力モデルに関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 531 号，pp.181-188，2000.5.
- 5) 城戸將江，津田恵吾：コンクリート充填円形鋼管柱の経験部材角と残留変形角の関係，日本建築学会九州支部研究報告，第 44 号，pp.177-180，2005.3.
- 6) 城戸將江，津田恵吾：コンクリート充填角形鋼管柱の経験部材角と残留変形角の関係，鋼構造年次論文報告集，第 13 巻，pp.503-508，2005.11.
- 7) 松井千秋，津田恵吾，河野昭彦，山地雄二郎，藤永隆：コンクリート充填円形鋼管柱の構造性能と軸力制限値，日本建築学会構造系論文集 第 512 号，pp.181-188，1998.10.

A STUDY OF HYSTERESIS CHARACTERISTICS OF CONCRETE FILLED CIRCULAR STEEL TUBULAR COLUMNS

Masae KIDO

The skeleton curve of concrete filled circular steel tubular columns which has been proposed is compared with the moment-rotation angle relation obtained from experimental data. The ratio of unloading stiffness obtained from the experimental data and calculated initial stiffness is shown. The effect of the axial force ratio, the diameter-thickness ratio, the value of axial shortening and the local buckling on the ratio of unloading stiffness and initial stiffness is discussed.