



Title	繊維化塑性関節法によるCFT柱の繰返し挙動解析
Author(s)	修行, 稔; 島津, 勝; 作本, 裕介
Citation	長崎大学工学部研究報告 Vol.34(63) p. 31-36, 2004
Issue Date	2004-07
URL	http://hdl.handle.net/10069/15079
Right	

This document is downloaded at: 2019-04-26T14:19:57Z

繊維化塑性関節法による CFT 柱の繰返し挙動解析

修 行 稔*・島 津 勝*
作 本 裕 介**Elastoplastic analysis of concrete-filled tubular columns by
a fibered plastic hinge method

by

Minoru SHUGYO*, Masaru SHIMAZU* and Yusuke SAKUMOTO**

The accuracy of a new straight beam element proposed by the author is examined for the analysis of elastoplastic cyclic behavior of concrete filled tubular (CFT) columns. A plastic hinge type formulation is employed combining the 'modified incremental stiffness method', the updated Lagrangian formulation and numerical integration about the end sections of the element. The stress-strain relation of concrete fiber is modeled as the elastic-perfectly plastic type model considering the confinement effect of steel tube. Comparisons with test results show that the beam element has a sufficient accuracy for the cyclic analysis of CFT columns.

Key words: beam element, concrete filled tube, elastoplastic analysis, cyclic loading

1. 序

構造物の性能設計の信頼性を保証するためには、構造物の臨界挙動や劣化域を含む大たわみ挙動を正確に把握する必要がある。著者らは先に、開断面材・閉断面材・半剛接合部を有する鋼骨組の統一した三次元崩壊解析のための汎用真直はり要素を提案した¹⁾。

この要素は CFT 部材の混在する骨組の解析にも適用可能であるとともに²⁾、上谷らが示した片持はり一柱の構面内挙動限界³⁾も検出可能な精密さを有している⁴⁾。しかし、本解法が CFT 部材の繰返し挙動をどの程度追跡し得るかについては、いまだ確認されていない。

本報は、下端が固定され、上端が水平二軸回りにピン支持された CFT 柱に、定軸力のもとで柱の中ほどに繰返し水平荷重を載荷して柱が崩壊するまでの挙動を調べ、本解法で解析を行ってその信頼性や適用限界

などを検討したものである。

2. 実験装置

図 1 に実験装置⁴⁾の概要を示す。図中の(a)が後述する供試体である。300 kN 疲労試験用フレームを用いて、上部に 300 kN 油圧ジャッキ(b)を設置し、このジャッキに二方向自在継手(c: 島津製スイベルヘッド)を着けてピンとする。供試体は上部をこのスイベルヘッド、下部をフレームに固定して上端ピン下端固定の状態にする。供試体の中ほどに厚さ 19mm の鋼板を溶接し、この鋼板にロードセル(e)と自在継手を介して油圧ジャッキ(f)で水平繰返し荷重を載荷する。この鋼板には自在継手の反対側および直交方向にガラス板を接着し、おのおの上下 2 台ずつ、中心距離を 120mm に設定した変位計(図 1 (d)および図 2)で載荷点の水平二方向の変位を計測する。水平荷重はロードセルで計

平成16年4月16日受理

*構造工学科 (Department of Structural Engineering)

**生産科学研究科 (Graduate School of Science and Technology)

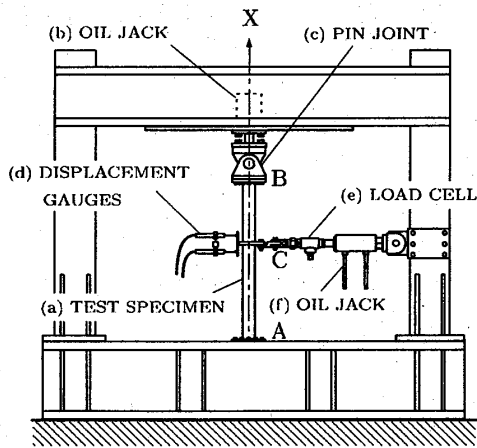


図1 実験装置

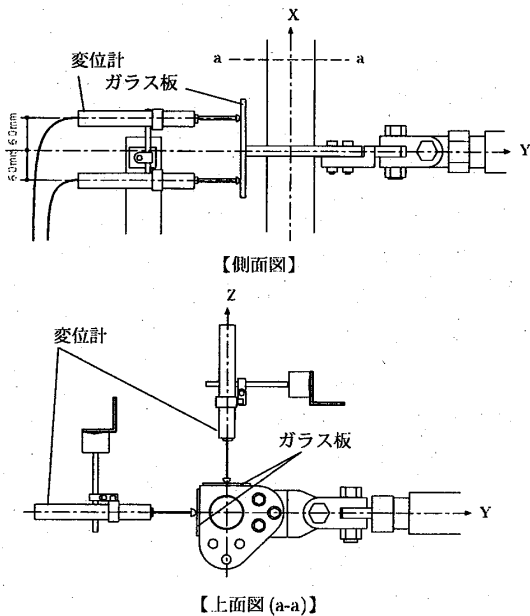


図2 変位計の設置状況

測し、軸力は供試体上部に貼付したひずみゲージの出力（軸方向垂直ひずみの平均値）を用いて、鋼管とコンクリートの断面積およびヤング率から換算して得た。

本実験装置が、定軸力のもとで所期の性能（すなわち上部スィベルヘッドが水平二方向にピンとして機能すること）を発揮し得るか否かは、文献4の研究に際して89.1φ×4.2tの純鋼管を用いた予備実験で調査している。図3と図4はその結果であるが、定軸力の有無にかかわらずY軸Z軸回りともに水平荷重 H_y, H_z が変化しても曲率の変曲点の変化はほとんどなく、点線で示したスィベルヘッド支持点ではほぼピンの状態であるとみなすことができる。

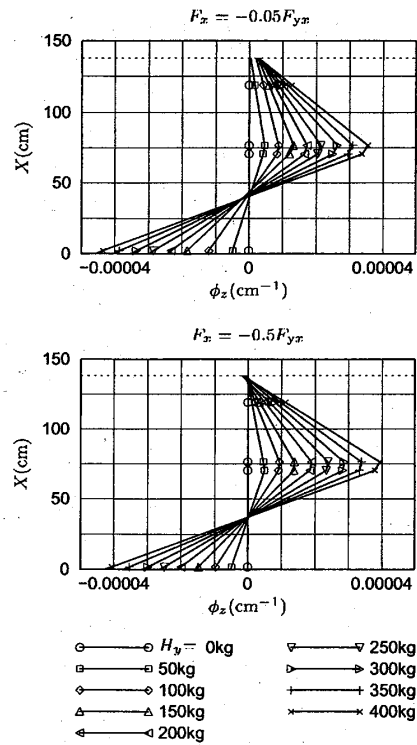


図3 Z軸まわりの弾性曲率分布

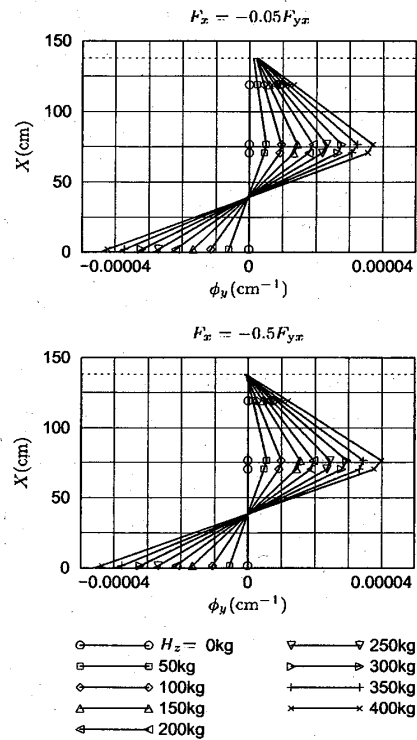


図4 Y軸まわりの弾性曲率分布

3. 供試体

鋼管の材料は公称寸法外径89.1mm 板厚3.2mmのSTK 400の円形鋼管である。鋼管の両端には32mm厚の鋼板A, Bを、中ほどに載荷板Cを溶接し、径厚比を大きくするため溶接ビードを除いた部分を均等に切

削した(図5)。鋼管の焼鈍は行っていない。充填するコンクリートは、粗骨材最大寸法20mm、スランプ値18、呼び強度35 N/mm²のレディミクスト普通コンクリートを発注し使用した。

供試体は2体である。各供試体の寸法と材料定数は以下の通り。供試体Aは、外径 $D=88.59\text{mm}$ 、鋼管厚 $t=2.68\text{mm}$ 、供試体Bは、 $D=88.23\text{mm}$ 、 $t=2.51\text{mm}$ 。ミルシートに記載された鋼管の降伏応力 $\sigma_{sy}=391.0\text{ N/mm}^2$ と、シリンダー圧縮試験から得られたコンクリートの降伏応力 $\sigma_{cy}=38.96\text{ N/mm}^2$ および降伏ひずみ $\epsilon_{cy}=-0.00174$ は、両者に共通である。

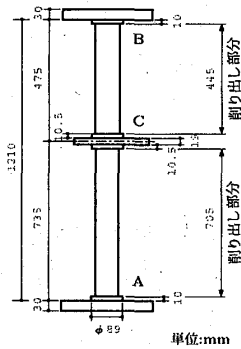


図5 供試体

4. 実験プログラム

供試体A：初めに柱の初期降伏軸力 F_{yx} (鋼管のみの初期降伏軸力と充填コンクリートのみの初期降伏軸力の合算値)の0.3倍の軸力を載荷し、これを一定に保ちながら、水平力載荷点の載荷方向の変位振幅±10mmで5回の繰返し水平力を載荷する。以後2mm刻みで変位振幅を大きくさせながら同様の載荷を繰返し、柱の復元力が大きく減少するまで実験を続行する。

供試体B：最初に載荷する定軸力の軸力比を0.2とする以外は、供試体Aと同じ載荷とする。

5. 解析モデル

解析に用いたモデルを図6に示す。図5から分かるように、下部鋼板から10mmは切削されておらず溶接ビードも存在するので、この下部鋼板から10mmの点を固定点とし、載荷板までの切削部分を6要素、載荷板とその上下の非切削部を2要素、その上の切削部分を2要素、上部鋼板下の非切削部と上部鋼板およびスイベルヘッドをまとめて1要素で近似した。載荷板を含む要素とスイベルヘッドを含む部分は剛性の高い要素とした。本解法では一部材を、4要素に分割するのが標準であるが¹⁾、6要素としたのは、ひずみの値を実験値と比較するためにはひずみゲージ貼付位置にも

節点が必要なためである。

6. 解析結果と実験結果の比較

本解法では plastic hinge 部を繊維に分割する必要がある。図7は円形CFTのときの分割図である。解析に用いる諸定数は実験と同じとし、ミルシートに記載のない鋼管のヤング率 E_s と降伏後のひずみ硬化係数 H_s については標準値である $E_s=205.8\text{GPa}$ 、 $H_s=E_s/100$ と仮定した。コンクリートの応力ひずみ関係については、河野ら⁵⁾が採用した非線形のものもあるが、本研究では簡素化のため図8に示す弾完全塑性形とした。

図9は、供試体A(軸力比0.3)の水平力載荷位置における荷重～変位関係と変位履歴である。図中▲印は目視で局部座屈が観測された点を示している。局部座屈は二つの供試体とも載荷方向とは直角方向の柱脚部に生じた。最初の10サイクル程度まではほぼ面内の挙動に収まっているが、その後構面外変形が漸増し、局部座屈発生後急速に構面外方向に崩壊している。柱がある限界を超えて繰返し荷重を受けると構面外に不安定になることが知られている⁹⁾が、これに加えて鋼管の残留応力やコンクリート骨材の偏在などが、この構面外への崩壊の主な原因であると思われる。

図10は供試体Aの実験に対応する解析の結果である。本解法では初期不整を導入しないと構面外変形が生じないため、柱中央で5mmの正弦波形的構面外へ

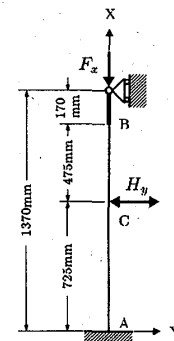


図6 解析モデル

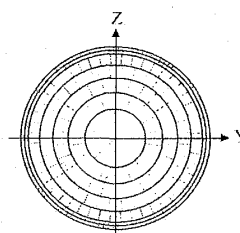


図7 断面分割図

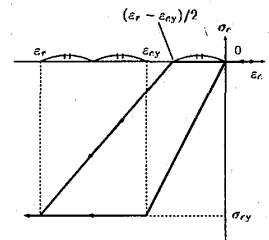


図8 コンクリートの応力ひずみモデル

の初期不整を仮定して解析した。5mm という値は、局部座屈が生じるあたりまで実験値をよく再現するという条件で試行錯誤で求めたものである。本解法は繰返し挙動を安定に解析でき、精度も実用的には十分であると言えるが、局部座屈の影響を考慮できないため局部座屈発生後の挙動を追跡できていない。

図11と図12はそれぞれ供試体 B (軸力比0.2) の実験結果と解析結果である。解析においては柱中央で11mm の正弦波形の初期不整を仮定している。結果は供試体 A と共通しており、解析では局部座屈発生後の挙動が再現できない。

図13は供試体へのひずみゲージの貼付の状況であ

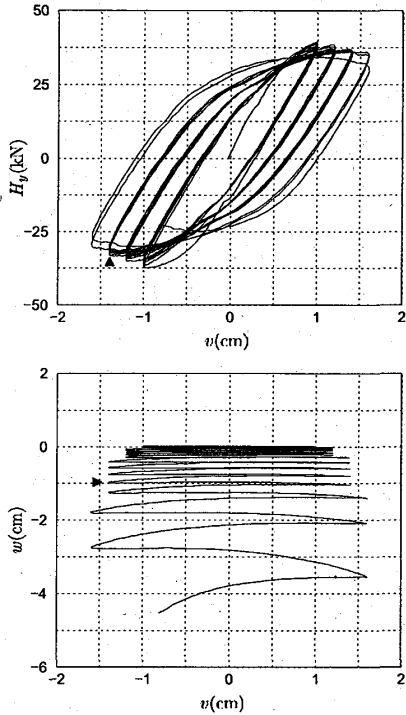


図9 供試体 A の荷重～変位関係と載荷点の変位履歴 (実験結果)

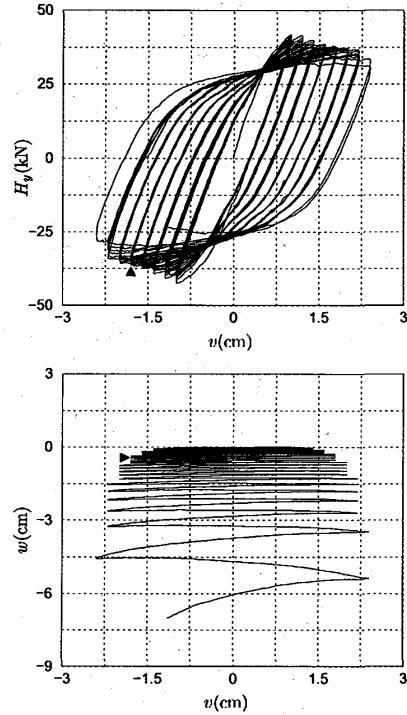


図11 供試体 B の荷重～変位関係と載荷点の変位履歴 (実験結果)

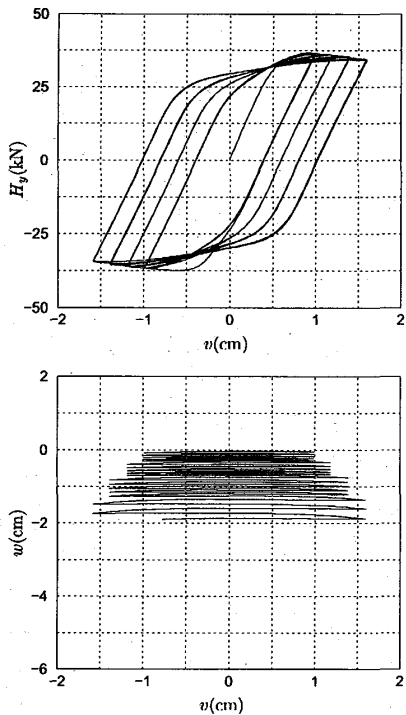


図10 供試体 A の荷重～変位関係と載荷点の変位履歴 (解析結果)

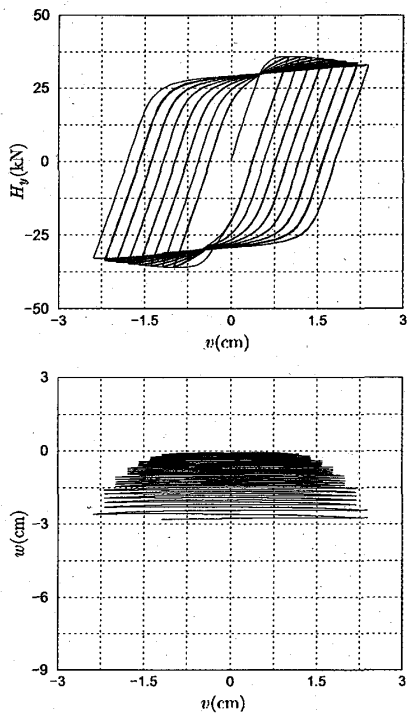


図12 供試体 B の荷重～変位関係と載荷点の変位履歴 (解析結果)

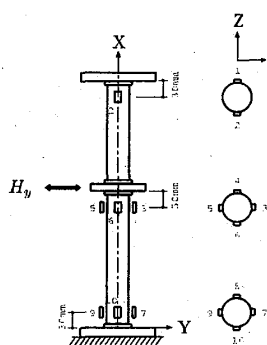


図13 ひずみゲージ貼付位置

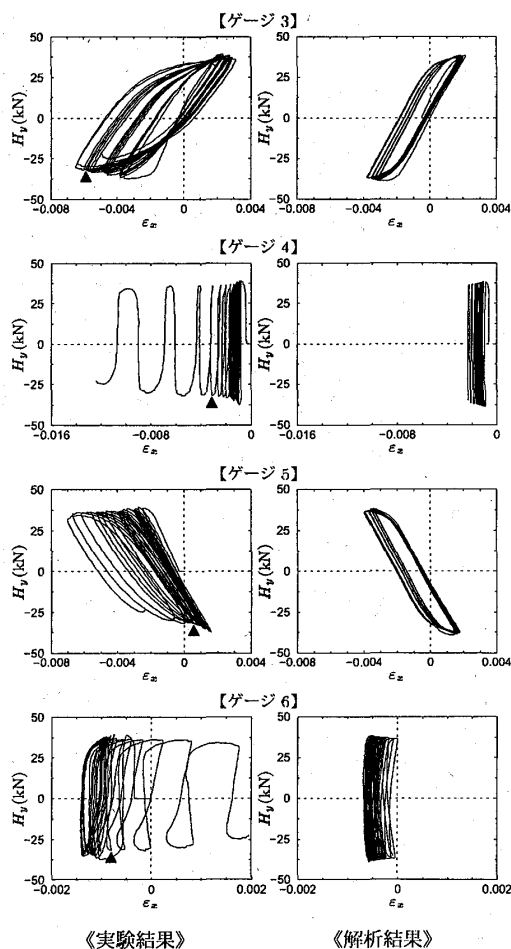


図14 供試体 A の水平力～ひずみ履歴関係

り、図14と15は供試体 A の柱脚部の荷重～ひずみ関係の実験と解析の比較である。本解法の結果は局部座屈発生までは実験値とよく対応している。

7. 結 語

著者らの提案した繊維化塑性関節モデルを用いて、定軸力下で繰返し水平力を受ける下端固定上端ピンの円形 CFT 柱の実験に対応する解析を行った。その結果、本解法は鋼管の局部座屈発生後の挙動を追跡でき

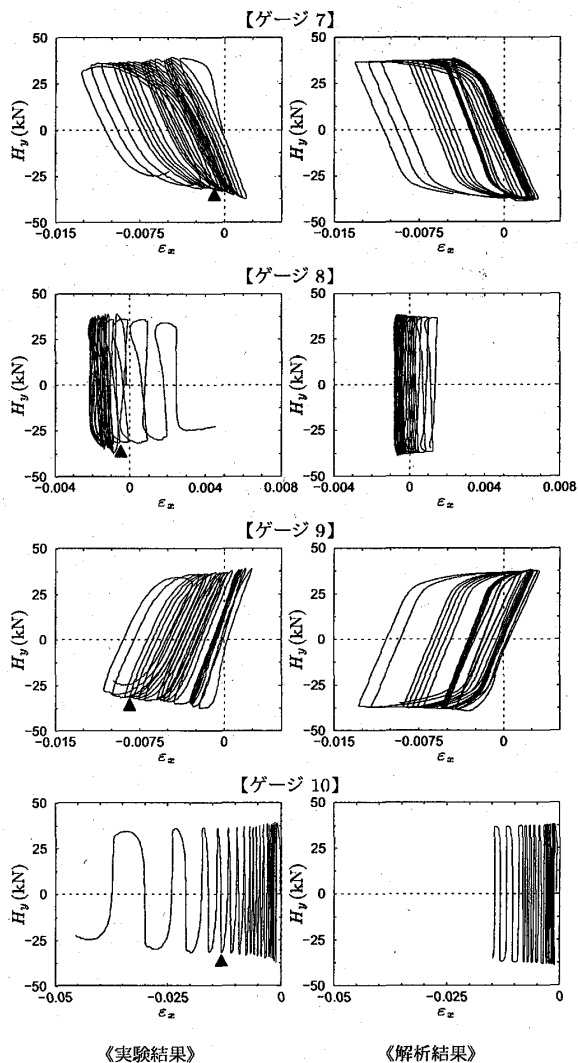


図15 供試体 A の水平力～ひずみ履歴関係

ないという問題点はあるものの、CFT 柱の繰返し挙動をかなりの精度で安定に解析できることを明らかにした。また、鋼管繊維のひずみも局部座屈が生じるまでであれば精度よく得られることを示した。

謝 辞

本論文で示した実験装置および実験は、当時大学院生であった村上裕基氏（有限会社門脇構造研究所）と中西博文氏（株式会社ナカノコーポレーション）の修士論文の研究の一環として製作、実施されたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1) M.Shugyo : Elastoplastic Large Deflection Analysis of Three-Dimensional Steel Frames, J. Struct. Engrg., ASCE, Vol.129, No.9, pp.1259-1267, 2003.9

- 2) 修行 稔, 李 劍平: コンクリート充填円形鋼管柱の非線形解析法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.505, pp.147-152, 1998.3
- 3) 上谷宏二, 榊井 健: 繰返し曲げを受ける片持梁一柱の構面内挙動限界解析法, 日本建築学会構造系論文集, No.513, pp.97-104, 1998.11
- 4) 李 劍平, 修行 稔: 構面外水平荷重の下で繰返し水平力を受ける円形鋼管柱の構面外累積変形に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46B, pp.673-681, 2000.3
- 5) 河野昭彦, 松井千秋, 中島隆裕, 高木潤一: 繰返し軸方向力を受けるコンクリート充填鋼管部材の座屈挙動とエネルギー吸収能力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.482, pp.131-140, 1996.4