

高強度 C F T 柱の構造性能に関する研究
—有限要素法による円形 C F T 柱の解析モデルの概要—

Strength and deformation capacities of high strength CFT columns under concentric axial load
—Development of FE analytical models for circular CFT column—

○齋藤大樹¹, 坂東美乃利², 新藤辰典³, 難波隆行⁴, 加村久哉⁴, 田嶋和樹⁵, 白井伸明⁵,
北嶋圭二⁶, 中西三和⁶, 安達洋⁷

*Hiroki Saito¹, Minoru Bando², Tatsunori Shindo³, Takayuki Nanba⁴, Hisaya Kamura⁴, Kazuki Tajima⁵, Nobuaki Shirai⁵,
Keiji Kitajima⁶, Mitsukazu Nakanishi⁶, Hiromi adachi⁷

Abstract: Recently, the CFT column with high strength concrete has been frequently utilized in columns of the highrise buildings under high axial force. However, test results on the CFT columns with high strength material are limited to be scarce. The authors conducted the concentric compression test on the circular CFT columns over past two years to understand their strength and deformation capacity. In this study, a basic 3-D finite element model for the CFT column is developed.

1. はじめに

CFT(コンクリート充填鋼管)柱が、高層建物の高軸力を負担する柱部材として、近年多く採用されている。しかし、高強度材料を用いた CFT 柱の研究は少なく、実験データが乏しいことから、本研究では、過去 2 年間にわたって円形断面 CFT 柱の圧縮性能を確認することを目的として、円形断面 CFT 柱の中心圧縮実験をコンクリートのみの実験(プレーンコンクリート柱実験)と鋼管のみの実験(中空鋼管実験)を併せて実施してきた。

本報では過去に本研究で実験を行った円形断面 CFT 柱を解析対象とし、鋼管の内部応力状態や圧縮強度に影響を及ぼす、CFT 柱のコンクリートと鋼管の相互拘束効果を解析的に検討するためのコンクリートの構成則の構築を目的とし、FEM 解析を行った。

2. 解析対象試験体

2. 1 試験体概要

Fig 1 に実験概要図、Table 1 に試験体構造諸元、Table 2, 3 に材料試験結果を示す。本報で解析対象とする円形 CFT 柱は 550N/mm² 級鋼管, 100N/mm² 級コンクリートの高強度材料を使用した。計測項目は荷重, 変位, ひずみの 3 項目とし、ひずみは試験体上段・中段・下段の軸方向ひずみに加え、周方向ひずみも計測した。

2. 2 実験結果概要

1) 累加強度

CFT 柱の強度推定式には、主に設計で用いられる累加強度 N_0 がある。累加強度 N_0 は、鋼管耐力(以下 N_y)とコンクリート耐力(以下 N_c)に相互関係がない場合の終局圧縮耐力の和として以下の式で表わされる。

$$N_0 = A_s \cdot s \cdot \sigma_y + A_c \cdot c \cdot \sigma_B \quad \dots (1)$$

A_s : 鋼管の断面積 $s \cdot \sigma_y$: 鋼管の降伏強度
 A_c : コンクリートの断面積 $c \cdot \sigma_B$: コンクリートの圧縮強度
 $N_y = A_s \cdot s \cdot \sigma_y$ $N_c = A_c \cdot c \cdot \sigma_B$

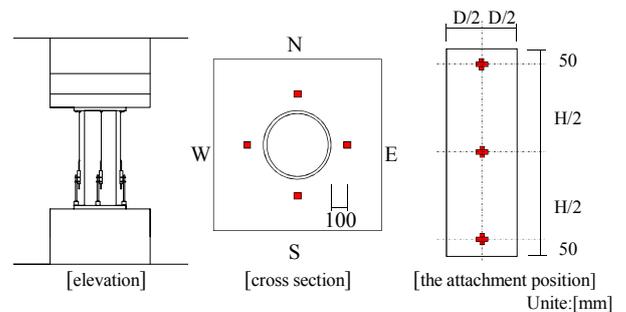


Figure 1 Experiment outline

table 1 List of test specimens

Specimen designation	D [mm]	t [mm]	D/t	H [mm]	N_0 [kN]	N_{max} [kN]
CFT column	268	12	23	805	9813	9802
Concrete column	250	-	-	750	5746	5544
Steel pipe	270	12	23	810	4312	5065

table 2 Material properties of concrete

Compressive strength	Strain at σ_B	Young modulus	Splitting tensile strength
$c \cdot \sigma_B$ [N/mm ²]	ϵ_c	$\times 10^4$ [N/mm ²]	[N/mm ²]
117	3243	4.33	5.36

table 3 Test results of steel

Steel thickness [mm]	Yield strength [N/mm ²]	tensile strength [N/mm ²]
12	453	595

1 : 日大理工・学部・海建 Undergraduate Student, Nihon Univ. 5 : 日大理工・教員・建築 Prof. Nihon Univ, Dr. Eng.
 2 : 日大理工・院(前)・海建 Graduate Student, Nihon Univ. 6 : 日大理工・教員・海建 Prof. Nihon Univ, Dr. Eng.
 3 : 日大理工・院(前)・建築 Graduate Student, Nihon Univ. 7 : 日大理工・名誉教授・海建 Emeritus Prof. Nihon Univ, Dr. Eng.
 4 : J F E スチール株式会社 JFE Steel Corporation Civil Engineering.

2) 応力-軸方向ひずみ関係

Fig 2 にプレーンコンクリート柱, 中空鋼管, CFT 柱の実験結果を示す. プレーンコンクリート柱の最大応力は材料試験強度を下回る結果となった. CFT 柱は, 鋼管が降伏後も耐力を上昇させ, 鋼管とコンクリートの間に相互拘束効果が作用し, 累加強度よりも耐力を上昇させた.

3. 解析モデルの構築

ここでは, 一般的な RC 部材の解析に多用されている解析モデルを試行的に使用して実験結果との整合性を確認する. Fig 3 に要素分割図を示す. コンクリートの中心部は 15 節点ソリッド要素, その他コンクリートと鋼管には 20 節点ソリッド要素でモデル化した. 使用した構成則を Fig-4 に示す. コンクリートの 1 軸圧縮応力度-ひずみ度関係は上昇域と下降域からなる 2 つの放物線で近似し, 下降域は圧縮破壊エネルギー G_{rc} を考慮した軟化モデルとした. なお, G_{rc} は中村らの提案式を用い, 要素代表長さ L_c は要素体積 V と等価な体積を持つ球の直径 $(= (3V/4\pi)^{1/3})$ とした. 一方, 引張側の上昇域は引張強度 f_t までを線形弾性と仮定し, 下降域は大岡らの 3 直線モデルを採用した. なお, 引張破壊エネルギー G_f は大岡らの提案式から求め, 要素代表長さ L_c は圧縮側と同様とした. 鋼管の応力度-ひずみ度関係は降伏点を折点とする bi-linear モデルとし, 降伏後の 2 次勾配は初期剛性 $1/100$ とした境界条件は上下面を全方向固定した. 加力は上節点を変位制御することで行った. また, 非線形反復手法には,

Newton-raphson 法を用いた. 収束判定は, エネルギーノルム比が 0.1% 以下とし, 反復数 20 回の計算でも収束条件が満たされない場合には, 不釣り合い力を当該ステップで解除し, 次ステップに行するものとした.

4. 解析結果

Fig-5 にプレーンコンクリート柱, 中空鋼管試験体の応力-軸方向ひずみ関係, CFT 柱の耐力比-軸方向ひずみ関係を示す.

プレーンコンクリート柱, 中空鋼管試験体の解析結果は, 概ね実験の応力 - 軸方向ひずみ関係を再現している. CFT 柱の解析結果は実験の最大耐力および最大耐力時ひずみを良好に模擬している. しかし, 実験の終局ひずみは 4% 近傍に対し, 解析結果は約 0.6% であり, 解析結果は非常に脆性的な耐力低下を示している. これは, コンクリートの拘束効果を考慮していないため, 終局ひずみの靱性さが構成則モデルとして表現されていないことが原因と考えられる.

5. まとめ

本報ではプレーンコンクリート柱, 中空鋼管及び高強度材料を用いた CFT 柱の圧縮実験に対する FEM 解析を行った. その結果, RC 部材の解析に適用されている構成則を使用した簡易的な解析モデルであっても最大耐力近傍までは良好に模擬することができた. 次報では, CFT 柱の拘束効果の検討を行う.

6. 参考文献

次報にまとめて示す.

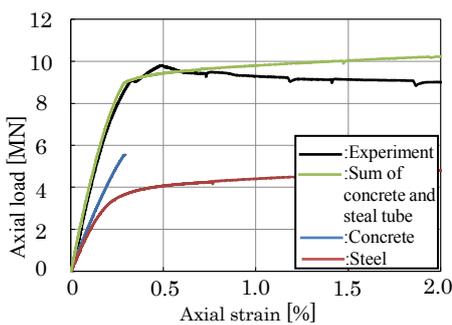


Figure 2 Load-strain curve

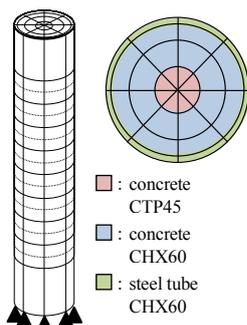


Figure 3 Plan of element decomposition

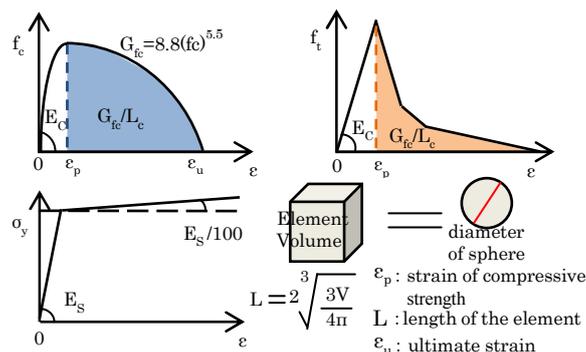


Figure 4 Using constitutive law model

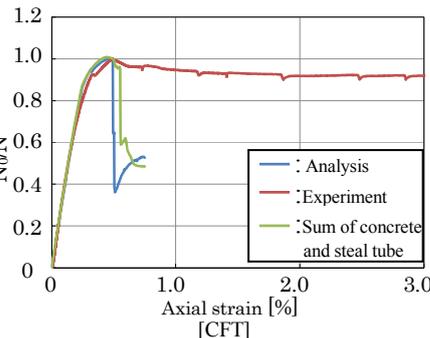
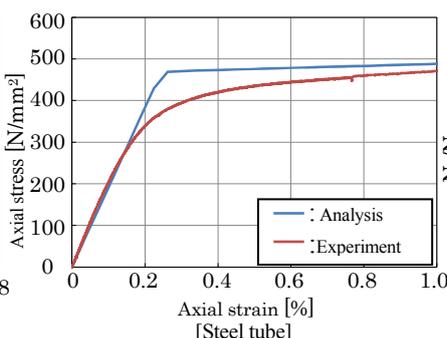
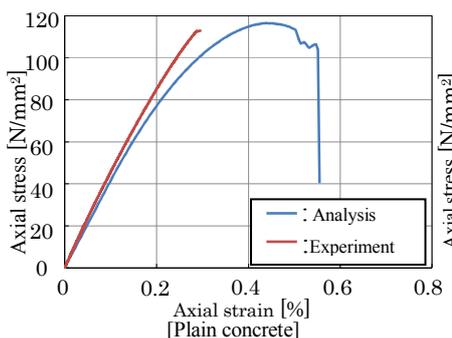


Figure 5 comparison of test and analytical result