

高強度 C F T 柱の構造性能に関する研究
—拘束効果を考慮した 3 次元構成則モデルの検証—

Strength and deformation capacities of high strength CFT columns under concentric axial load
—Verification of 3-D constitutive laws for concrete under (compressive) confinement—

○坂東美乃利², 齋藤大樹¹, 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

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

Abstract: Many analytical models for the confined concrete have been presented so far. However, these models have not been verified for the CFT column. In this study, first, the effect of confined pressure on the constitutive law for concrete is investigated by the element-based FEM. Then, the FE analysis, considering the confinement effect, was conducted. The calculated results were compared with the test results and some remaining issues to be solved are suggested.

1. はじめに

前報では、プレーンコンクリート柱、中空鋼管及び CFT 柱の圧縮実験に対する FEM 解析を行った。その結果、コンクリート、鋼管ともに一軸の応力度-ひずみ度関係のみを用い、両者の相互拘束効果を考慮せずとも、最大耐力近傍までは実験結果を良好に模擬することができた。本報では CFT 柱内部のコンクリートに対する拘束効果を考慮可能な構成則を採用し、要素解析を通じて 3 軸応力状態におけるコンクリートに対する適用性を確認するとともに、CFT 柱への適用を試みる。

2. 要素解析概要及び結果

要素解析の概念図および解析概要を Fig-1 に示す。要素解析においては、鋼管による拘束効果を表現するために、試験体の 1/8 を切り出して側面に側圧を作用することでモデル化した。なお、上下方向には移動可能である。コンクリートの圧縮特性を Fig-2 に示す。前報 (その 1) で用いた、ポストピーク挙動を圧縮破壊エネルギー Gc を考慮して表現するモデル (以下、Parabolic) に加え、拘束によるピーク応力度・ひずみ度の上昇を考慮することができるモデル (以下、Thorenfield) を選定し、さらに selby の拘束効果を考慮する。Parabolic に関して、圧縮強度時のひずみ ϵ_c および終局ひずみ ϵ_u の算出式を、式(1), (2)に示す。

$$\epsilon_c = \frac{5f_c}{3E} \quad (1)$$

$$\epsilon_u = \alpha_c + \frac{3G_c}{2Lcf_c} \quad (2)$$

ここで、 f_c :圧縮強度、 E_c :ヤング係数、 G_c :圧縮破壊エネルギー、 L_c :要素代表長さである。これらのパラメータのみが初期条件として設定する値であり、拘束効果による圧縮時・終局時ひずみの増大を直接考慮することができない。

一方、Thorenfield では、拘束によるピーク応力・ひずみの上昇を規定する破壊面は、応力テンソルの第一不変量 I_1 と偏差応力テンソルの第 2 不変量 J_2 の関数である Hsien-Ting-Chen の 4 パラメータモデルによって

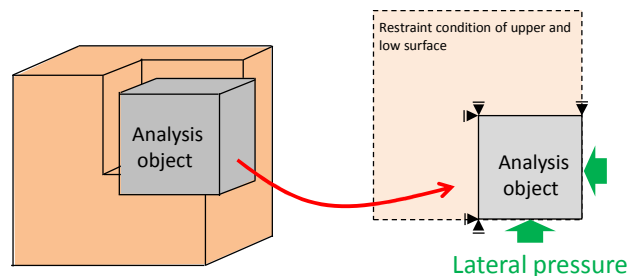


Figure 1 concrete cube under 3 axial pressure and element model for analysis

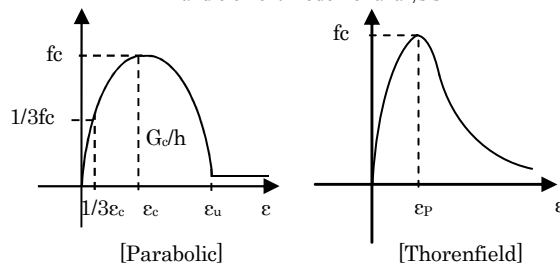


Figure 2 basic uniaxial compressive stress-strain relationships

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.

記述される。算出式を以下に示す。

$$f = 2.0108 \frac{J_2}{f_{cc}^2} + 0.9714 \frac{\sqrt{J_2}}{f_{cc}} + 9.1412 \frac{f_{c1}}{f_{cc}} + 0.2312 \frac{I_1}{f_{cc}} - 1$$

ここで f_{cc} : シリンダー強度, f_{c1} : 最大主応力である (Fig-3). また, ピーク応力近傍での急速な体積膨張は, 1 軸のポアソン比を増大させることによりモデル化される (fig-4). 要素解析では, 側圧の大きさをパラメータ (5MPa, 10MPa) にとり, 側圧の大きさがコンクリートの圧縮特性に与える影響を確認する. なお, 側圧は 2 面から面荷重として, 軸方向加力は上 4 節点から与え, 変位制御による増分解析を行った. 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, 最大反復数 20 回で次ステップに移行するものとした.

解析結果を Fig-5, 6 に示す. Parabolic, Thorenfield ともに側圧の作用による圧縮強度の上昇を確認した.

3. CFT 柱への適用

拘束効果を考慮した 2 つの構成則を前報の基本モデルに組み込んで CFT 柱に対する FEM 解析を実施し, その結果を比較・検討する. Fig-7 に CFT 柱の耐力比 - 軸方向ひずみ関係を示す. Parabolic, Thorenfield ともに, 最大耐力近傍までは実験結果を良好に模擬した. さらに, Parabolic に対して拘束効果を考慮したことにより, 靱性の向上も確認された. なお, CFT 柱の解析モデルでは, 上下面を全方向固定としているため, 下面の節点は膨張により移動することが無い. したがって, 局所的に過度な拘束力が発生している可能性も考えられる.

4. まとめ

拘束効果を考慮可能なコンクリート構成則の適用性を確認し, CFT 柱の解析モデルに対して適用した. その結果, Parabolic に対して拘束効果を考慮することで, 実験結果を良好に模擬することができた. しかし, ポストピーク後の収束計算では, 解が収束しにくくなる. これにより実現象とは異なる固有モードを表す疑似モードの疑いが挙げられる.

5. 参考文献

- 1) Nakamura, H, and Higai, T. : Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Intelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 1990.10
- 2) TNO Building and Construction Reserch, 2010 : DIANA Foundation Expertise Center for Computational Mechanics:DIANA Finite Element

Analysis User's Manual.

- 3) R.G.Selby, and F.J.Vecchio. : Three-Dimensional Constitutive Relations For Reinforced Concrete
- 4) 栗原翔太, 杉本太一, 難波隆行, 植木卓也, 加村久哉, 中西三和, 安達洋 : 高強度 CFT 柱の構造性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1357-1358,2012.9
- 5) 社会法人日本建築学会 : 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 2001
- 6) 社会法人日本建築学会 : コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 2008. 10
- 7) 社団法人日本建築学会 : 鋼構造設計基準, 2005

【謝辞】
本研究を進めるにあたり貴重な助言とご指導を頂いた JFE スチール株式会社スチール研究所および中西・北嶋研究室, 白井・田嶋研究室の皆さまに深く感謝の意を表す。

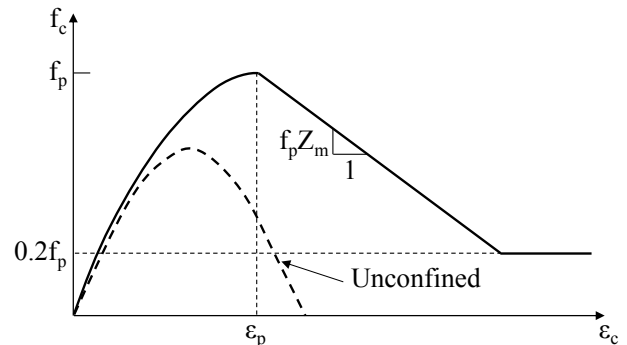


Figure 3 Hsien-Ting-Chen 4-parameter model

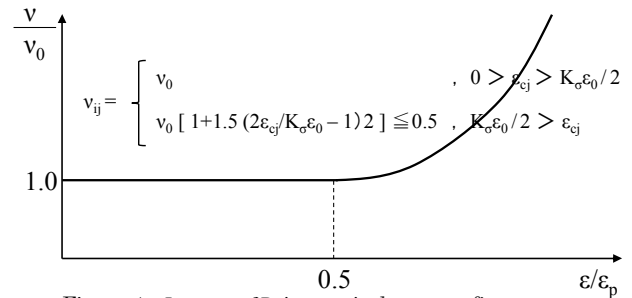


Figure 4 Increase of Poisson ratio due to confinement

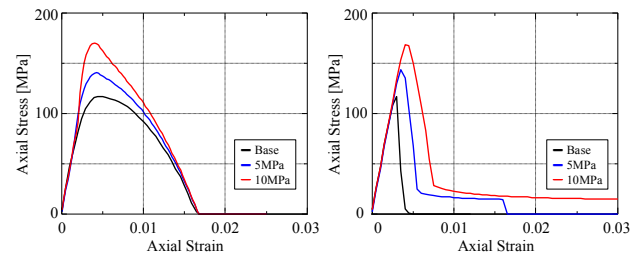


Figure 5 Confirmation of Constitutive law model of Parabolic

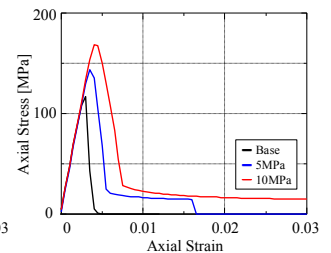


Figure 6 Confirmation of constitutive law model of Thorenfeld

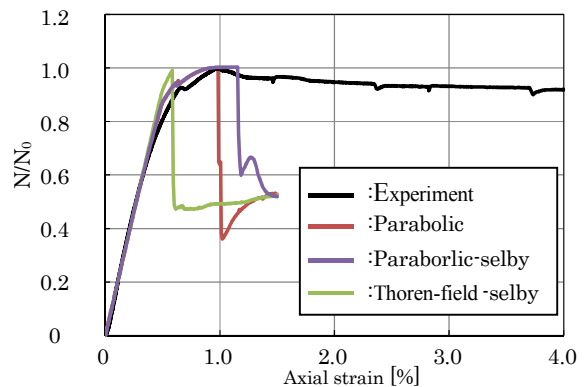


Figure 7 comparison of test and analytical result