

CFT 円形短柱におけるエネルギーパスを考慮した軸耐力の研究

島崎 和司* 楊 迪** 趙 衍剛***

ENERGY PATH ANALYSIS OF CIRCULAR CONFINED CONCRETE COLUMNS SUBJECTED TO AXIAL COMPRESSION

Kazushi SHIMAZAKI* Di Yang** Zhao Y.G.***

1. 緒言

本研究では、CFT 円形短柱におけるコンファインド効果を定式化するために、径厚比、鋼管強度とコンクリート強度をパラメータとして一体型平押し実験とアンボンド型中押し実験を行い、得られたデータをもとに、載荷経路、コンクリートの拘束係数 k 、鋼管の周方向応力成分比率 α と軸方向応力成分比率 β を算出し、付着の有無による耐力効果、寸法や径厚比効果とコンファインド効果の関係について定量的に考察する。現在までの CFT 円形短柱における実験データを収集し、整理・分析した上でデータベースを構築し、構築したデータベースを利用して、CFT 円形短柱の軸圧縮強さに関する各国の計算式を考察した上、新たに簡明な計算式を提案することを目的とする。

2. 研究方法

- 1) コンクリートの拘束係数の考察。コンファインド効果を定式化するには、まず CFT におけるコンクリートの拘束係数 k を明らかにする必要がある。コンクリートの拘束係数 k については 3.5~5.2 或いは 2.6~4.1 の範囲にあるといわれ、日本建築学会 CFT 指針、SRC 基準では $k=4.1$ を採用しているが具体的な根拠が示されず、拘束係数 k 、径厚比及び強度比にどのような関係があるか明確になっていない。本研究ではまず径厚比と強度比をパラメータとし、鋼管に軸方向力が作用していない中押しの中心圧縮実験を行い、拘束係数と径厚比及び強度比との関係を考察する。
- 2) 鋼管の周方向と軸方向応力成分比率の考察。累加強度理論から導いた CFT 柱の耐力式に鋼管の周方向応力成分比率と軸方向応力成分比率の影響を含んでおり、コンファインド効果を定式化するには、鋼管の周方向と軸方向応力成分比率、いわゆる載荷経路の影響を明らかにする必要がある。鋼管の周方向と軸方向応力成分比率について多く研究されているが、ほとんど実験で得られた応力歪み関係か

ら求めている。降伏後の多方向の応力歪み関係が複雑であり、鋼管の周方向と軸方向応力成分比率を正確に確定することが困難である。本研究では径厚比と強度比をパラメータとし、上述の中押しの中心圧縮実験と同じ条件で鋼管とコンクリートに両方とも載荷する平押しの中心圧縮実験を行い、2 種類の実験結果を比較することより鋼管の周方向と軸方向応力成分比率をそれぞれ算出し、鋼管の周方向と軸方向応力成分比率と径厚比及び強度比との関係を考察し、博士後期課程の学生を指導してまとめる。

3) 鋼管コンクリート以外への適用

鋼管コンクリート以外へ適用できるかの検討。一般的な拘束材料として繊維強化ポリマー (FRP) があり、これは耐食性に優れ、軽量で弾力性が高く、施工も容易である。

4. 研究内容

CFST 柱でも FRP 拘束コンクリート柱でも、軸耐力は構造工学において重要な安全設計の要素である。

長年にわたり、多くの実験的及び理論的研究が進められている。これらの研究は、実験データの経験的解析に基づくモデルや、能動的拘束コンクリートの理論に基づくモデルが含まれている。能動的拘束コンクリートと異なり、受動的拘束コンクリートは軸方向応力の増加に伴い横方向応力も増加する。

荷重過程で軸方向変形が増加すると、受動的拘束コンクリートのひび割れが進み、拘束応力も変化する。受動的拘束コンクリート柱の耐力モデルは、コンクリートと拘束材の相互作用メカニズムに基づいて確立されている。

鋼管 FRP ジャケットによるコンクリートの拘束は、本質的にエネルギー伝達プロセスである。この観点から、軸圧縮下で受動的に拘束されたコンクリート柱のエネルギー関係を詳細に分析し、ピーク強度でのエネルギー特性を比較することは、充填コンクリートと外部拘束材との相互作用の理解において重要である。

本研究では、受動的に拘束されたコンクリート柱のコンクリートと拘束材間の相互作用メカニズムをエネルギーの観点から初めて検討し、拘束材とコンクリート間のエネルギー関係を反映するエネルギーパス法を提案した。また、エネルギー比は拘束材とコンクリートが吸収するエネルギーの相関関係を示す。

*教授 建築学部建築学科

Professor, Dept. of Architecture and Building Engineering

**大学院生 (工学研究科建築学専攻博士後期課程)

Graduate (D.C.), Course of Architecture and Building Engineering

***客員教授 建築学研究所

Visiting Professor, Institute for Architecture and Building Engineering

ピーク応力時のエネルギー比を分析することで、受動的に拘束されたコンクリート柱のエネルギー分布状態を明らかにすることができる。

5. 結論

本研究で得られた重要な結論を簡単にまとめると以下のようになる。

- 1) CFST 柱のコンクリートと鋼管の相互作用メカニズムを、エネルギーの観点から検討した。
- 2) CFST 柱のエネルギー伝達経路を定義し、一軸圧縮強度や鋼材強度、径厚比などのパラメータを基に実験的に分析した。
- 3) FRP 拘束コンクリート柱と FRP ジャケットの相互作用を、エネルギーの観点から調査した。
- 4) 一軸圧縮強度や FRP 層数などのパラメータに基づき、FRP 拘束コンクリート柱のエネルギー伝達経路を提案し、実験的に検証した。
- 5) 応力経路の分析に基づき、受動的拘束コンクリートの等価横応力を提案し、能動的拘束と受動的拘束のコンクリートの相関関係を明確にした。
- 6) コンクリートと鋼管のエネルギー分布を考慮した、CFST 柱の耐力モデルを開発した。

6. 予算

本研究は、大学院博士後期課程の楊迪氏によるもので、予算のほとんどは、副査である趙衍剛客員教授の渡航費に充てられた。

参考文献

- [1] Z.H. Lu and Y.G. Zhao, Suggested empirical models for the axial capacity of circular CFT stub columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 66 (6), 850-862 (2010.6).
- [2] X.Y. Zhang, Y. Chen, X. Shen and Y. Zhu, Behavior of circular CFST columns subjected to different lateral impact energy, *Applied Sciences*, 9 (6), 1-15 (2016.1).
- [3] D. Gan, Study of static and seismic performance of short concrete columns restrained by steel tubes, Lanzhou University (2012).
- [4] G.D. Hatzigeorgiou, Numerical model for the behavior and capacity of circular CFT columns, Part I: Theory, *Engineering Structures*, 30 (6), 1579-1589 (2008.6).
- [5] S.Q. Lin, Y.G. Zhao, J.M. Li and Z.H. Lu, Confining Stress Path-Based Compressive Strength Model of Axially Loaded FRP-Confined Columns, *Journal of Composites for Construction*, 25 (1), p. 04020077 (2021).
- [6] A. Nanni and N.M. Bradford, FRP jacketed concrete under uniaxial compression, *Construction and Building Materials*, 9 (2), 115-124 (1995.10).
- [7] Y. Xiao and H. Wu, Compressive Behavior of Concrete Confined by Carbon Fiber Composite Jackets, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 12 (2), 139-146 (2000).

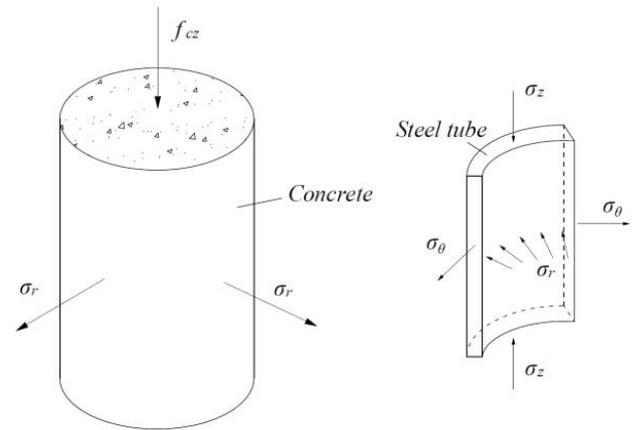


Fig. 1 Stress state of circular CFST column

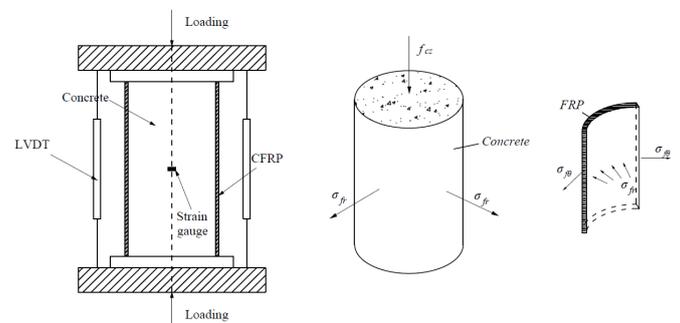


Fig.2 Force state of FRP confined concrete column

- [8] S.Q. Lin, Y.G. Zhao, and L. He, Stress paths of confined concrete in axially loaded circular concrete-filled steel tube stub columns. *Engineering Structures*, 173, 1019-1028 (2018.2).
- [9] Y.G. Zhao, S.Q. Lin, Loading paths of confined concrete in circular concrete loaded CFT stub columns subjected to axial compression. *Engineering Structures*, 156, 21-31 (2018.2).
- [10] F.E. Richart, A. Brandtzaeg, and R.L. Brown, A study of the failure of concrete under combined compressive stresses, University of Illinois. *Engineering Experiment Station. Bulletin*, 185 (1928).
- [11] J.B. Mander, M.J.N. Priestley, and R. Park, Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, 114 (8), 1804-1826 (1988.9).