第Ⅴ部門　　大断面を有するRC柱に復旧時セルフセンタリング機能を付与する立体フレームコアの開発

京都大学大学院工学研究科　学生員　○土坂　真斗
京都大学大学院工学研究科　正会員　植村　佳大
京都大学大学院工学研究科　正会員　高橋　良和

1. 背景及び目的

早期復旧実現に向けて，軸力支持下で塑性部材の取替が可能であり，セルフセンタリング機能とエネルギー吸収性能の両立を目指したRC柱構造が提案されている[1]．この構造には，地震時にはセルフセンタリング機能を要求せず，復旧時に塑性部材を取替える中でのみセルフセンタリング機能が発現する「復旧時セルフセンタリング機能」を期待している．しかし，当該構造は小中規模断面RC柱への適用を念頭に置いており，大断面RC柱に実装する場合，構造的に非効率になるという課題がある．

そこで本研究では，大断面RC柱に効率的に復旧時セルフセンタリング機能の付与が可能な立体フレームコアの開発し，提案構造に対して実験的検討を行う．

2. 提案構造

(1) メタボリズム柱構造

メタボリズム柱構造とは，可換部取替時の軸力支持性能を期待した地震時に損傷を受けず繰り返し利用可能な部材（永続部）と，塑性化により地震時のエネルギー吸収性能を期待し，取替可能な部材（可換部）からなる機能分離型の柱構造である．過去に著者らは，当該構造において軸力支持下での可換部取替えに成功している[2]が，可換部取替時に残留変位をゼロにするために外部機構により柱に荷重を加える必要があるという課題が残っている．

(2) 立体フレームコア

本研究では，大断面RC柱へ復旧時セルフセンタリング機能を付与する構造として，4本の鋼管拘束コンクリートヒンジからなるラーメン構造形式の立体フレームコアを提案する．立体フレームコアは，1本で構成された鋼管拘束コンクリートヒンジと同様に復元力を発揮し，その際にRC柱の断面に占めるヒンジ部の断面積の割合を減少させつつも十分な偏心量を確保できるため，復旧時セルフセンタリング機能を柱へ効率的に付与することが可能となる．

3. 実験概要及び結果

(1) 実験供試体概要

実験供試体概要を**図-1**に示す．本実験では，塑性ヒンジ長(0.5D(D:断面幅))の2倍の区間を検討対象とし，区間外である柱上部とフーチング部は検討の対象外とした．なお，本実験では立体フレームコアを丸鋼で模擬した．

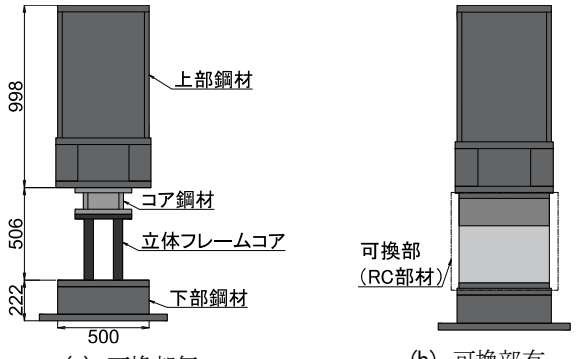
また，可換部取替により耐震性能の回復が可能であることを確認するために，RC-H8-1，RC-H8-2の二体の可換部を製作した．RC-H8-1にはRC-H8-2への取替を可能とするため，フーチング内の埋め込み鉄筋に見立てた取替後の軸方向鉄筋接続用のネジ節鉄筋を下部に設置しており，RC-H8-2ではネジ節鉄筋と機械式継手を用いて接合する．

(2) 実験方法

本実験では，正負交番載荷実験及び可換部撤去実験をそれぞれ二度実施した．RC-H8-1では可換部を設置してから軸力を載荷したのに対し，RC-H8-2では軸力を載荷している状態で可換部を設置したため，異なる初期状態で載荷実験を実施したことに注意されたい．また，可換部撤去が終了しても残留変位が残っている場合は，強制的に水平荷重を加え，残留変位をゼロとしてから可換部の設置を行う．

(3) 正負交番載荷実験(立体フレームコアのみ)

水平荷重－水平変位関係(**図-2**)より，履歴曲線が原点付近を通過しており，本実験で用いる立体フレームコアがセ



(a) 可換部無　　(b) 可換部有

図-1　実験供試体概要

Manato TOSAKA, Keita UEMURA, Yoshikazu TAKAHASHI
tosaka.manato.47x@st.kyoto-u.ac.jp

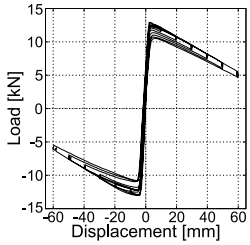
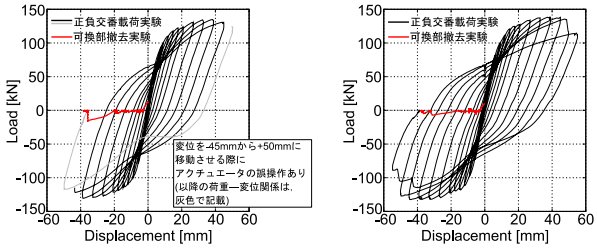


図-2　立体フレームコア単体の水平変位－水平荷重関係



a）RC-H8-1　　b）RC-H8-2

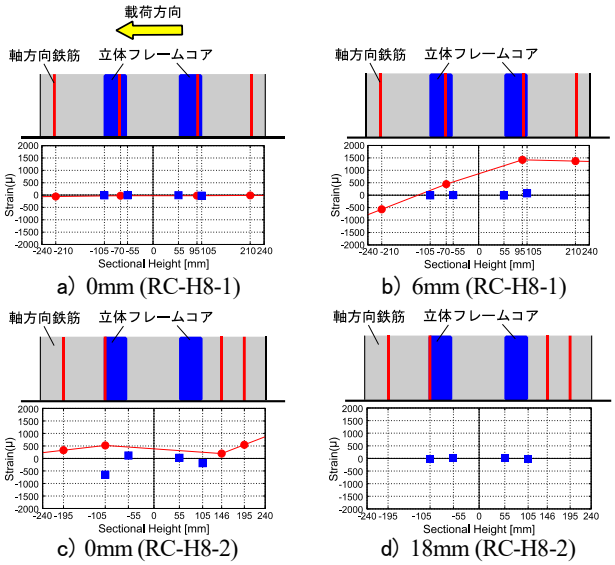
図-3　水平変位－水平荷重関係

ルフセンタリング機能を有していることが確認できる．また，立体フレームコアが保有しているセルフセンタリング力は，軸力(200kN)を支持した状態で得られており，*P*-Δ効果による柱の倒壊を防止する程度のセルフセンタリング力が実現されていることが確認できる．

(4) 正負交番載荷実験(立体フレームコア+可換部)

RC-H8-1及びRC-H8-2の水平荷重－水平変位関係(**図-3**)より，両供試体は復元力特性がフラッグ型の履歴曲線とならず，一般的なRC柱と同等のエネルギー吸収性能が発揮されたことが確認される．

図-4に柱基部断面のひずみ分布(高さ25mm位置)を示す．なお，横軸は載荷面側を負，載荷面裏側を正としている．RC-H8-1では軸力載荷時に永続部，可換部ともに設置しているため，断面積の割合が小さい立体フレームコアは初期状態においてほとんどひずみが発生しておらず，軸力を支持していないことがわかる．その後，断面のひずみ分布が線形であると仮定した場合，載荷振幅6mm時点で立体フレームコアが断面における引張側に位置したことがわかる．したがって，載荷振幅6mm以降は立体フレームコア底面とフーチング上面の接触が切れることで立体フレームコアへの軸力の伝達が防止され，立体フレームコアの損傷が抑制されたと考えられる．RC-H8-2では，立体フレームコアのみで軸力を支持した状態で可換部を設置し，正負交番載荷実験を開始しているため，載荷振幅0mm時点で立体フレームコアに圧縮ひずみが確認される．その後，載荷振幅の増大に伴って，立体フレームコアの圧縮ひずみは徐々に減少し，載荷振幅18mm時点で圧縮ひずみがほぼゼロとなっていることがわかる．すなわち，RC-H8-2においても，RC-H8-1と同様に期待した理想的な挙動の発現が確認された．



a）0mm (RC-H8-1)　b）6mm (RC-H8-1)

c）0mm (RC-H8-2)　d）18mm (RC-H8-2)

図-4　柱基部断面のひずみ分布

(5) 可換部撤去実験

いずれの供試体においても，軸力支持下での可換部の撤去が可能であった．ここで，**図-3**に可換部撤去中の水平荷重－水平変位関係を赤線で示す．RC-H8-1では正負交番載荷実験後に36.0mmであった残留変位が，可換部を撤去する中で3.0mmまで低減し，RC-H8-2では37.5mmから3.1mmまで低減した．これは，正負交番載荷により塑性化した可換部を撤去していく中で立体フレームコアが有するセルフセンタリング機能が顕在化したためであるといえる．

4. まとめ

正負交番載荷及び可換部撤去実験から，立体フレームコアを埋め込んだメタボリズムRC柱が復旧時セルフセンタリング機能を有することを確認した．よって，地震後の早期復旧可能な柱構造に関する知見を得た．

謝辞：本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(A)21H04574と，科学研究費補助金若手研究21K14231の助成を受けて実施した．謝意を表します．

参考文献

1)　白井洵，植村佳大，高橋良和：復旧時セルフセンタリング機構を有するメタボリズム柱構造の解析的検討，土木学会論文集A1，78巻4号，pp.523-536，2022.

2)　前田紘人，林学，高橋良和：メタボリズム耐震橋脚構造の開発に向けた正負交番載荷及び塑性ヒンジ部取替実験，土木学会論文集A1，76巻4号，pp.377-392，2020.