

第I部門

復旧時にセルフセンタリング機構を発揮するメタボリズム耐震橋脚構造の解析的検討

京都大学工学部 学生員 ○白井 洵

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・目的

原点指向型の復元力特性を有するセルフセンタリング(SC)柱は、地震後の残留変位低減による復旧性向上が望める一方で、RC柱と比べて履歴面積が小さくエネルギー吸収能が劣るという課題がある。そこで本研究では、SC機構とエネルギー吸収能の両立を目的に、復旧時にのみSC機構を発揮する構造の開発を目指す。具体的には、地震時には柱のSC機構を要求せず、地震後の復旧時に塑性化した部材を撤去する中で、SC機構が顕在化することを狙う。その際、提案構造実現のため、前田ら¹⁾が提案したメタボリズム耐震橋脚構造に着目し、提案構造に対する解析的検討を実施する。

2. メタボリズム耐震橋脚構造

メタボリズム耐震橋脚構造¹⁾とは、軸力を支持する永続部と地震力に抵抗する可換部で構成された機能分離型の橋脚である。可換部は、地震時に塑性化によるエネルギー吸収能を期待するとともに、軸力支持下で取替えが可能である。一方、永続部は常に軸力を支持し、取替えが想定されていないため、地震時の塑性化を許容しない部材である。メタボリズム耐震橋脚構造は、元は将来の耐震基準の改正への対応として、軸力支持下

での耐震性能更新を目的とした構造だが、地震後に可換部取替えによる早期の耐震性能回復が可能であり、高い復旧性能を有すると考えられている。

3. コンクリートヒンジと高強度芯材による提案構造概要

(1)提案構造

本研究では、植村ら²⁾の検討を参考に、メタボリズム耐震橋脚構造の永続部にコンクリートヒンジを用いた構造と、コンクリートヒンジの断面中心に高強度芯材を配置した構造の二種類を提案する(図-1)。なお、本検討で要求するSC力は、復旧時に永続部のみでP-Δ効果を打ち消す程度とする。コンクリートヒンジは、底面に発生する作用軸力に対する反力の偏心によって、原点指向型の復元力を発揮するヒンジ構造である。さらに、コンクリートヒンジを鋼管で拘束することで、繰返し荷重を受けた際のコンクリートヒンジ下端の損傷を防ぐことを狙う。また、高強度芯材は、芯材の弾性的な正の復元力を付加し、より確実にSC機構を実現させるために配置する。なお、芯材はコンクリートとの間に付着の無いアンボンド方式とした。一方、可換部は中空断面を有するRC部材で、柱基部から1D(Dは断面高さ)区間までの永続部を囲むように取り付けられる。

(2)解析モデル

解析モデルの概略を図-2、図-3に示す。永続部のコンクリートヒンジは一辺300mmの正方形断面とし、柱高さ1000mmとした。高強度芯材は径13.0mmで、上端は節点を共有することで柱部(柱高さ1500mm)に接続し、下端はフーチング内部で固定した(柱高さ-

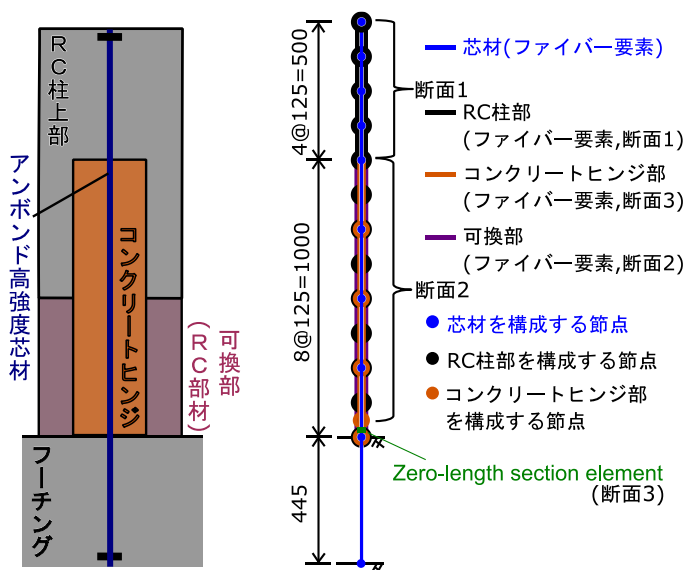


図-1 提案構造概略図

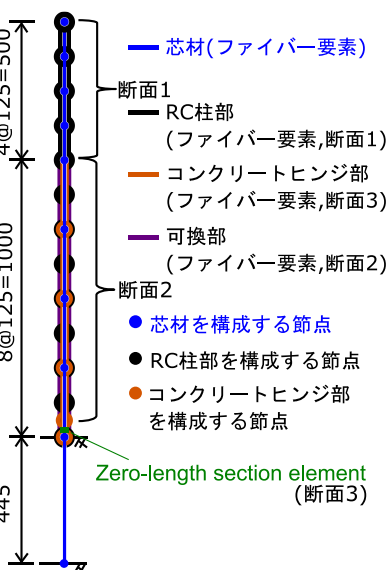


図-2 解析モデル概略図(Unit:mm)

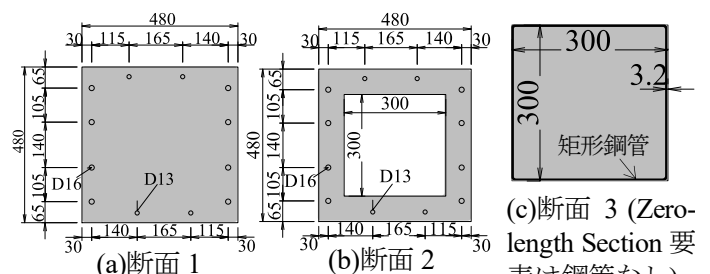


図-3 解析モデル断面図(Unit:mm)

(c)断面3 (Zero-length Section要素は鋼管なし)

Jun SHIRAI, Keita UEMURA, Yoshikazu TAKAHASHI

shirai.jun.62z@st.kyoto-u.ac.jp

445mm). RC 柱部および可換部は前田ら¹⁾の実験供試体を参考とした. いずれの部材についても, ファイバー要素でモデル化した. 芯材のアンボンドは, 端部以外の節点に, 水平変位に関してのみ柱部の同じ高さの節点に追従するような拘束条件を与えることでモデル化した. また, 永続部底面とフーチング上面の接触面のモデル化には, 植村ら²⁾の検討に倣い, Zero-length section element を採用した. 接触面のコンクリートの材料モデルには, 引張応力がゼロで, 圧縮側は線形とする簡易的なモデルを用いた. 鋼管の材料モデルには完全弾塑性型の MP モデルを, 高強度芯材には初期剛性の 1/100 の大きさの強度を持つ弾塑性型の MP モデルを採用した.

4. 解析結果

(1)荷重－変位関係

図-4 に, 永続部のみの荷重－変位関係を示す. 図より, 永続部(芯材あり)では, 原点指向型の復元力特性を示すとともに, 芯材により P- Δ 効果による負勾配が打ち消されている. また, 永続部(芯材なし)でも P- Δ 効果による負勾配が確認できるものの, 正の復元力が維持できているため, P- Δ 効果による柱の倒壊は発生せず, SC 機構が実現できていることがわかる. 次に, 図-5 に可換部と組み合わせた際の荷重－変位関係を示す. これより, 芯材ありの場合は, わずかに降伏後の二次剛性が確認できるものの, 標準 RC 柱の復元力特性とほとんど違いがないことがわかる. また, 芯材なしの場合は, 標準 RC 柱と同一の復元力特性を示している. よって, 地震時には SC 機構が発現せず, 可換部によるエネルギー吸収が維持できているといえる.

(2)永続部底面の鉛直変位分布

図-6 に, 載荷変位-50mm 後に水平荷重がゼロになった際(残留変位発生時)の永続部底面における鉛直変位分布を示す. 図より, 永続部のコンクリートヒンジ底面とフーチング上面の接触が切れ, 永続部に軸力が伝達されていないことがわかる. よって, 可換部と組み合わせることで, 永続部による復元力が発現しなかったため, 復元力特性に影響を及ぼさなかったといえる. この現象は, 可換部の鉄筋が塑性化し, 柱全体が鉛直方向に延伸したため, 永続部が鉛直方向に引き上げられたことによると考えられる. このように, 永続部に軸力が作用しない状況は, コンクリートヒンジが地震時に損傷なく維持できることを表し, 復旧時にのみ SC 機構が要

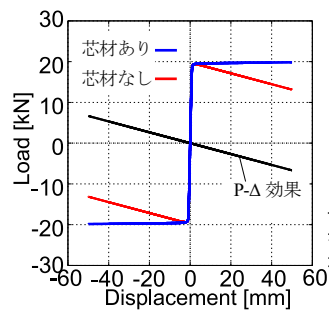


図-4 永続部のみの荷重－変位関係

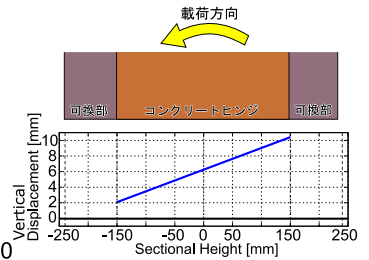


図-6 永続部底面の鉛直変位分布(芯材なしの場合)

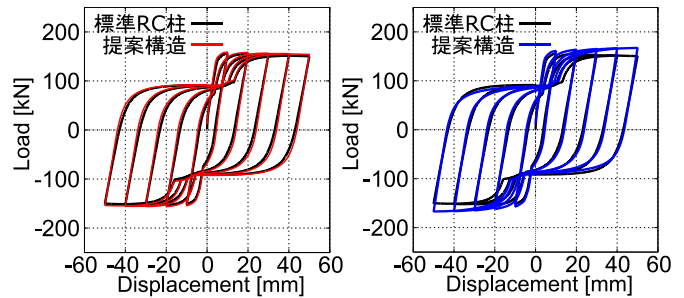


図-5 可換部を組み合わせた荷重－変位関係
(a)芯材なし (b)芯材あり

求される永続部にとって有利な状況といえる.

5. まとめ

コンクリートヒンジによる永続部では, 可換部と組み合わせると, 永続部底面とフーチング上面の接触が切れるため, 地震時の復元力特性に影響を及ぼさず復旧時の SC 機構が実現できることが分かった. また, SC 機構の実現性向上のため, 断面中心に高強度芯材を導入した結果, 地震時の復元力特性を大きく変化させることなく, 永続部のみの挙動となっても正の剛性を保つ復元力特性が維持できた. 以上より, 復旧時に可換部を撤去する中で, 永続部の SC 機構が顕在化するメタボリズム耐震橋脚構造が実現できる可能性が示された.

謝辞: 本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(B)18H01522 の助成を受けて実施した. 謝意を表します.

参考文献

- 1) 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.1377-1392, 2020.
- 2) 植村佳大, 五島健斗, 高橋良和: 0.2G 相当の復元力を有するコンクリートヒンジを埋め込んだ RC 柱に関する研究, 第 40 回地震工学研究発表会講演論文集, No.1607, 2020.