

超弾性合金を有するコンクリート部材の一軸繰返し载荷に対するファイバー要素解析

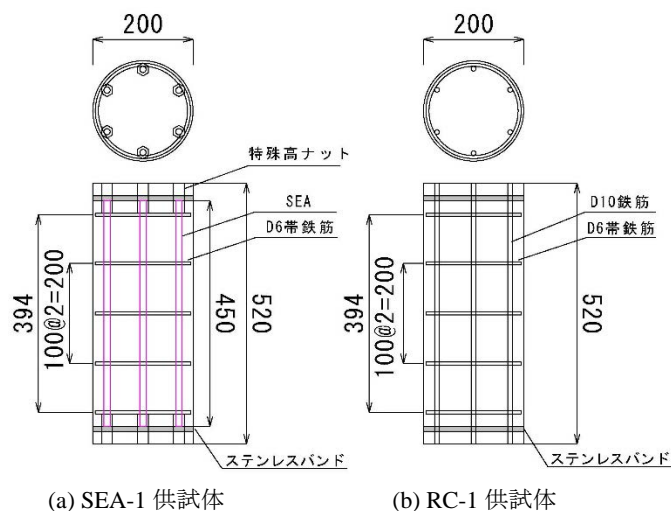
宇都宮大学 学生会員 ○出町 元大 正会員 藤倉 修一 正会員 Thay Visal
学生会員 藤岡 光 非会員 富山 晋太郎 非会員 齋藤 来仁太

1. はじめに

2016年に発生した熊本地震では、地盤の変動や残留変位が一因で橋梁に被害が生じ、被害橋梁の撤去もしくは再建設等により、復旧までに長期間を要したため、速やかな交通網の回復ができなかった。兵庫県南部地震以降、耐震設計は大幅に進歩したが、地震による被害をなくすことは難しいため、地震後の復旧性能を向上させることに焦点をあてた研究がこれまでに幾つかなされている¹⁾。

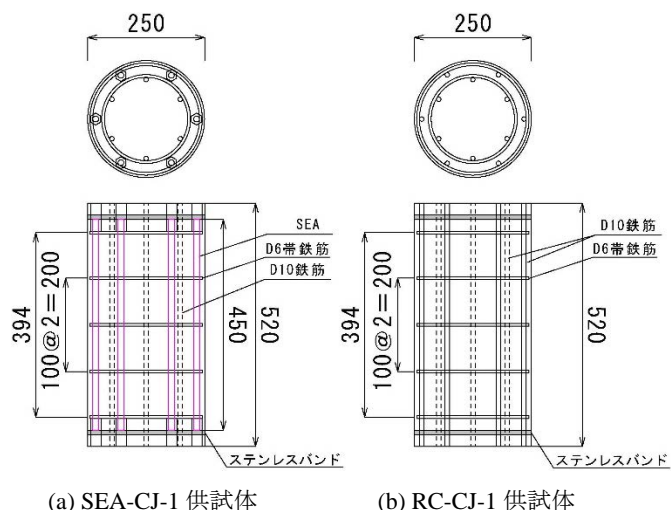
本研究では、地震後の復旧性能の向上を目指し、塑性変形後に荷重を除荷すると元の形状へと復元する超弾性特性を有する超弾性合金（Super-Elastic-Alloy 以下、SEA と呼ぶ）の一種である銅系 SEA に着目した。具体的には Cu-Al-Mn の銅系 SEA で、超弾性合金として現在主流である Ni-Ti 系 SEA と比較して同等程度の超弾性機能を有しながらも、安価であり、加工性に優れている²⁾。そのため建築、土木分野において銅系 SEA を構造物に用いるための研究が進められている。

著者らは、銅系 SEA を鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC 橋脚）の塑性ヒンジ部に用いた新型橋脚を作製し、正負交番载荷実験を行っている。その結果、残留変位の大幅な低減に加え、塑性ヒンジ部におけるコンクリートの損傷が少なかったことを確認した。一方で、有限解析ソフト TDAP III のファイバー要素解析を用いて実験の再現解析を行ったところ、履歴ループの包絡線はある程度再現できたものの、除荷・再载荷における履歴の再現性に課題が残った。これについては、既存のコンクリートモデルが RC 部材をもとに作成されたものであり、SEA を軸方向筋に用いた場合のコンクリート部材の挙動と異なる可能性がある。载荷実験および再現解析から、SEA を用いた RC 橋脚の挙動は一般的な RC 橋脚と異なり原点志向型の履歴曲線を示すため、SEA を有するコンクリート部材の挙動を明らかにする必要がある。そこで本研究では SEA を有したコンクリート柱



(a) SEA-1 供試体 (b) RC-1 供試体

図-1 柱供試体



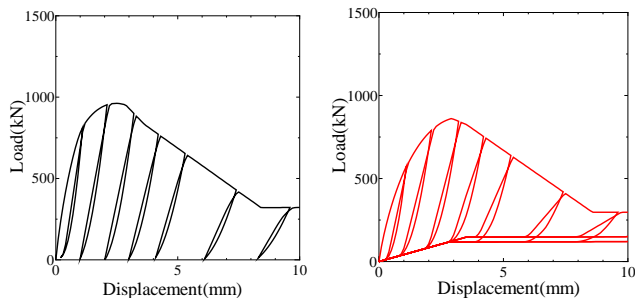
(a) SEA-CJ-1 供試体 (b) RC-CJ-1 供試体

図-2 コンクリート巻立て補強供試体

に対して一軸圧縮繰返し载荷試験を行うために、事前解析を行い、SEA を有するコンクリート部材の繰返し圧縮载荷時の挙動を把握することを目的とした。

2. 解析モデル

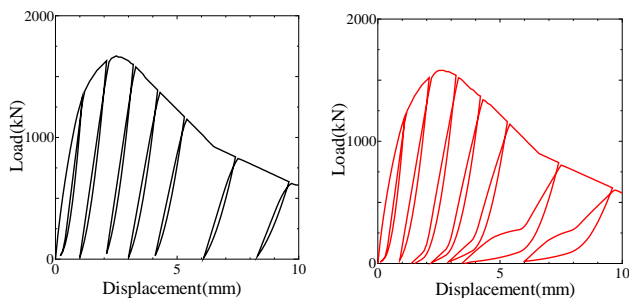
本研究で想定した RC および SEA を軸方向鉄筋に用いた柱供試体を図 1 に示す。モデルとした供試体は、一軸圧縮試験からコンクリートの応力-ひずみ関係を求めるために行われた既往の研究³⁾を参考にし、寸法や軸方向鉄筋の配置を決定している。既往の研究における供試体高さに対する円形断面の直径の比に関して、多く



(a) SEA-1 供試体

(b) RC-1 供試体

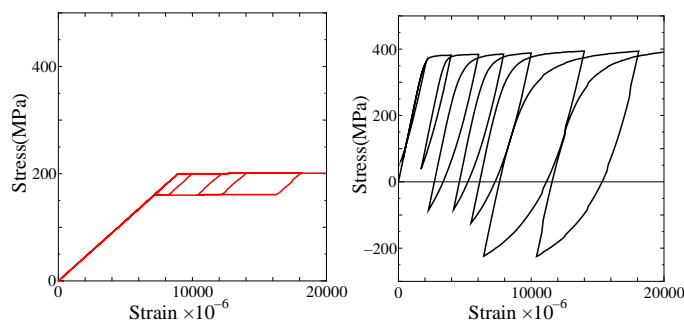
図-3 柱試験体の荷重-変位関係



(a) SEA-CJ-1 供試体

(b) RC-CJ-1 供試体

図-4 コンクリート巻立て供試体の荷重-変位関係



(a) SEA

(b) 鉄筋

図-5 主筋の応力-ひずみ関係

が1:2~3だったことから、本研究における解析モデルについても同様とした。これらの供試体に加えて、図-1の外側にさらに軸方向鉄筋を配置することで、コンクリート巻立て補強を対象とした供試体についてもモデル化する。供試体の概要を図-2に示すが、コンクリート巻立て補強において、鉄筋の代わりにSEAを用いた場合の残留変位低減効果を検証するためのものである。また解析に使用した応力-ひずみ関係のモデルとして被りコンクリートおよびコアコンクリートには星隈・堺モデル³⁾、軸方向鉄筋には修正 Menegotto-Pinto モデル⁴⁾、SEAには金澤モデルを用いた⁵⁾。

3. 解析結果

図-3に柱試験体の荷重-変位関係の解析結果を示す。RC-1の関係は、通常のRC部材の挙動を示している。SEA-1については、最大荷重の20%程度まで除荷してから超弾性特性が発揮している。これは、圧縮荷重中のSEAの負担荷重がコンクリートと比較して小さいために、コンクリートの負担荷重がゼロに近づいてから、全体の挙動に対してSEAの効果が現れたためである。

コンクリート巻立て補強供試体の解析結果を図-4に示す。コンクリート巻立て補強供試体のRC-CJ-1においては、最大荷重が増加する以外はRC-1と概ね同様の挙動を示していることがわかる。一方で、外側にSEAを配置したSEA-CJ-1においては、SEA-1ほどではない

が、RC-CJ-1に比べて残留変位が低減されている。例えば、変位9.5 mmまで荷重の後に除荷したときの残留変位は、RC-CJ-1では8.3 mm、SEA-CJ-1では6.0 mmであった。このときSEA-CJ-1の主筋のSEAと鉄筋の応力-ひずみ関係を図-5に示す。荷重荷重をゼロにした際に、内側の鉄筋に引張力が作用していることが確認できる。このため、鉄筋とSEAがそれぞれ引張力と圧縮力を負担することによって、図-4(b)に示すように残留ひずみが生じた。

4. まとめ

- (1) SEAのみを用いた圧縮試験の解析においては超弾性特性によって残留ひずみはほぼゼロとなった。
- (2) 断面内に鉄筋とSEAを同時に用いた場合、それぞれが引張力、圧縮力を負担するため、ある程度の残留ひずみが生じた。

参考文献

- 1) 藤倉修一, 忍田祥太, 臼井裕太, Nguyen Minh Hai, 中島章典, 浦川洋介: レベル2地震損傷後に修復可能なRC橋脚の提案および実験的検証, 土木学会論文集 A1, Vol.75, No.4, I_591-I_601, 2019.
- 2) 大森俊洋, 荒木慶一, 須藤祐司, 石田清仁, 貝沼亮介: 新しい鉄系および銅系超弾性合金の開発, 機能材料, Vol.32, No.6, 2012.6.
- 3) 堺淳一, 川島一彦, 庄司学: 横拘束されたコンクリートの除荷および再荷重過程における応力度-ひずみ関係の定式化, 土木学会論文集, No.654, I-52, 297-316, 2000.
- 4) 堺淳一, 川島一彦: 部分的な除荷・再荷重を含む履歴を表す修正 Menegotto-Pinto モデルの提案, 土木学会論文集, No.738, I-64,
- 5) 金澤悠太: 地震応答解析における超弾性合金のモデル化に関する一検討, 第49回関東支部技術研究発表会.