

超弾性合金を用いた RC 部材の繰返し引張特性に関する研究

宇都宮大学 学生員 ○野沢哲哉
正会員 藤倉修一

学生員 藤岡光 学生員 山口敬也
正会員 Nguyen Minh Hai フェロー会員 中島章典

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、地震時保有水平耐力法が主流となり、橋の損傷を予め規定した塑性ヒンジ部に限定し、大地震時にも橋梁構造物の崩壊を防ぐことが可能となった。しかし、塑性ヒンジを設けるということは、橋脚基部において地震時に主鉄筋が降伏しコアコンクリートが損傷することを意味しており、損傷が大きい場合には橋脚に残留変形が生じ、大規模な復旧が必要なケースもある。

一方、現在銅金属ベースの超弾性特性を有する形状記憶合金 (Super-Elastic Alloy 以下、SEA と呼ぶ) が開発され、建設材料として実現可能な状況となりつつある¹⁾。SEA は塑性化を許すものの、荷重除荷時に変形が元に戻るため、残留変形を大幅に低減することが可能である。そこで、RC 橋脚の残留変形を低減するために、SEA を主鉄筋の一部として橋脚に用いることによって、残留変形の低減を可能にできると期待される。

本研究では、SEA を用いた RC 部材の基本性状を把握することを目的とし、両引き試験を行った。両引き試験は曲げ部材の主鉄筋周囲を取り出した状況に類似していることから²⁾、RC 部材の引張挙動を把握するために用いられている。繰返し引張荷重による両引き試験を通して、SEA を主鉄筋の一部として RC 部材に用いた場合の挙動を検討した。

2. 両引き試験

(1) 供試体

図-1 に本試験に使用した供試体の概要を示す。各供試体のコンクリート部分は 100mm×100mm の正方形断面で、長さは 800mm および 500mm の 2 種類 (以下、それぞれ 800 供試体と 500 供試体と呼ぶ) である。RC 部材における主鉄筋の一部として SEA を用いる場合、SEA を鉄筋に接続する必要があり、図-1(a) の 800 供試体はその影響を検討するための供試体である。また、図-1(b) に示す 500 供試体は、SEA そのものの RC 部材中における挙動を把握する供試体である。さらに本試験では、SEA の付着の有無による RC 部材への影響を検討するため、丸棒 SEA と全長にねじ加工を施したねじ切り棒 SEA の 2 種類の SEA を用いた。

800 供試体における鉄筋と SEA の接続には長さ 50mm の高ナットを継手として用い、端部をねじ加工した鉄筋および SEA をそれぞれ 25mm ずつ定着させた。500 供試体については試験機に固定するため、同様に高ナットを用いて鉄筋を SEA に接続した。ねじ SEA 供試体では、長さ 500mm を超えるねじ切り棒 SEA を作製することが難しいため、長さ 300mm の SEA2 本を高ナットを用いて中央で接続した。引張試験で求められた D13 の降伏強度は 367N/mm² である。また本試験で使用した各供試体中の SEA の材料特性を表-1 に示すが、試験体毎に材料特性が異なる。ねじ SEA 供試体は SEA を 2 本使用するため、2 本分 (ねじ SEA1, ねじ SEA2) 記載した。D13 と丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体で用いた SEA の応力-ひずみ関係を図-2 に示す。図-2 より、SEA の降伏強度は D13 の半分程度であることがわかる。また、SEA には降伏後でも除荷するとひずみが変形前の状態に戻る超弾性特性が確認できる。実験当日におけるコンクリートの強度試験の圧縮強度は 52.2N/mm²、引張強度は 3.9N/mm²、静弾性係数は 31.3kN/mm² である。

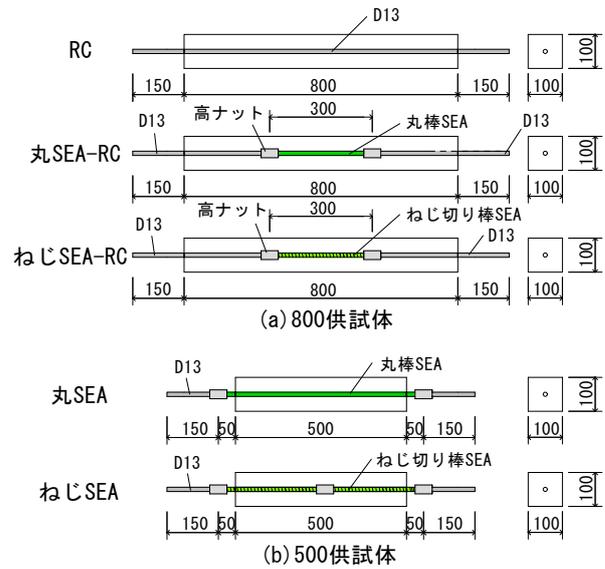


図-1 供試体概要 (単位: mm)

表-1 SEA の材料特性

供試体名	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
丸 SEA-RC	188	25.9
ねじ SEA-RC	179	28.3
丸 SEA	222	28.8
ねじ SEA1	166	52.5
ねじ SEA2	186	25.0

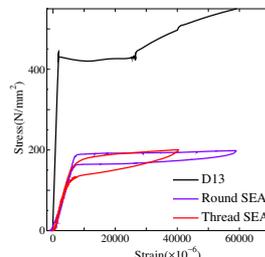


図-2 D13 および SEA の応力-ひずみ関係

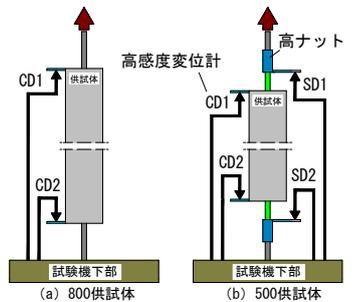


図-3 両引き試験の荷重概要

(2) 試験方法

本試験では、図-3 に示すように供試体を鉛直方向に設置し、荷重を行った。計測項目は荷重、鉄筋ひずみ、試験体のコンクリート部変位であり、500 供試体については SEA 変位も計測した。コンクリート部変位とは、図-3 に示した CD1 および CD2 から算出した供試体のコンクリートブロック長さの変化量である。また、SEA 変位とは図-3 に示した SD1 および SD2 から算出した SEA 長さの変化量である。荷重については引張荷重のみを与え、繰返し荷重とした。各供試体に応じて荷重サイクルを一部変えて行ったが、ここでは RC 供試体の荷重サイクルについて説明する。ひび割れ発生荷重を 1 回、主鉄筋降伏荷重を 3 回荷重し、その後は変位制御での荷重に切り替え、鉄筋降伏時のコンクリート部変位を 1 δ_y として、2 δ_y を 3 回、3 δ_y 以降、2 δ_y ずつ変位振幅を増やし、各サイクル 1 回ずつ荷重した。

Key Words: 超弾性合金, SEA, RC 部材, 残留変形, 残留変位, 両引き試験, 繰返し荷重

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 Tel.028-689-6227

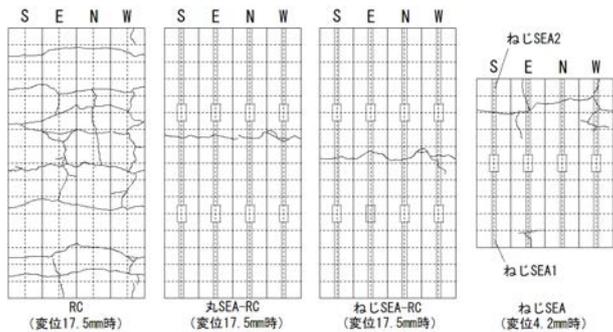


図-4 ひび割れ状況 (展開図)

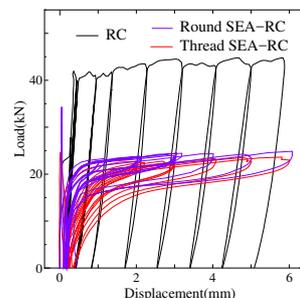


図-5 荷重-コンクリート部変位関係 (800 供試体)

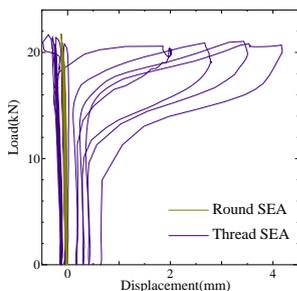


図-6 荷重-コンクリート部変位関係 (500 供試体)

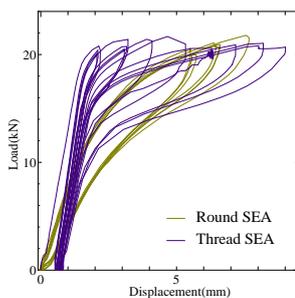


図-7 荷重-SEA 変位関係 (500 供試体)

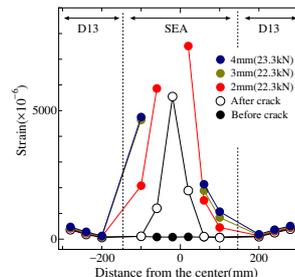


図-8 ねじSEA-RC 供試体の変位ごとのひずみ分布

3. 実験結果

(1) ひび割れ状況

800 供試体のコンクリート部変位が 17.5mm の時のひび割れ状況および 500 供試体のコンクリート部変位が 4.2mm の時のひび割れ状況を図-4 に示す。各供試体には 50mm 間隔のメッシュを記入してある。なお、丸 SEA 供試体については載荷終了までひび割れが生じなかったためここには示していない。RC、丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体の初期ひび割れ発生荷重はそれぞれ 23kN、34kN、25kN である。RC 供試体では初期ひび割れ発生後もコンクリート部変位が増加するに従って供試体の長手方向にひび割れが分散して発生し、進展した。それに対し、丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体では SEA のある位置にひび割れが発生して以降、変位振幅を増やし、コンクリート部変位が増加しても新たなひび割れの発生や進展はなかった。これは、SEA の降伏強度が鉄筋の半分程度であるので、SEA に応力が集中し、SEA だけで応力を負担したことが原因であると考えられる。また、ねじ SEA 供試体では、ねじ SEA2 部分でのひび割れが多くみられ、ねじ SEA1 部分ではほとんどひび割れは発生しなかった。これは、表-1 に示したように、ねじ SEA2 の弾性係数はねじ SEA1 の半分程度であることが原因であると考えられるが、さらなる検討が必要である。

(2) 荷重と変位の関係

800 供試体の荷重-コンクリート部変位関係の比較を図-5 に示す。丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体では、初期載荷の際に荷重がそれぞれ 34kN、25kN まで増加しひび割れが生じたが、SEA 部分でひび割れが発生したため、その後はひび割れ周囲の SEA だけで荷重を負担している。各載荷サイクルにおけるコンクリート部変位の残留変位を比べると、RC 供試体に比べて丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体の方が残留変位は大幅に小さい。例えば、 $9\delta_y$ 時 (コンクリート部変位 4mm) の残留変位は、RC、丸 SEA-RC、ねじ SEA-RC 供試体においてそれぞれ 3.4mm、0.2mm、0.2mm である。これは、RC 供試体では鉄筋が降伏したことにより残留変位が生じたのに対し、丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体では、供試体中の SEA が有する超弾性特性によって残留変位が低下した。図-4 に示すように、両供試体では SEA 部分でひび割れが発生し、ひび割れ位置周囲の SEA

が降伏して、その部分だけにひずみが集中したが、残留変位低減効果が確認された。

500 供試体における荷重-コンクリート部変位関係の比較を図-6 に示す。500 供試体の荷重-SEA 変位関係の比較を図-7 に示す。図-6 および図-7 より、ねじ SEA 供試体には最大 0.6mm 程度の残留変位が生じている。図-2 から SEA には残留ひずみは生じないので、図-6 および図-7 で生じている残留変位はひび割れ断面での骨材の噛み合わせが原因だと考えられる。

(3) ひずみ分布

ねじ SEA-RC 供試体におけるひずみ分布を図-8 に示す。縦軸にはひずみを、横軸には供試体中央からの距離を示している。供試体中央部 6 箇所がねじ切り棒 SEA、その外側の 6 箇所が D13 の鉄筋のひずみを示す。この図から、D13 に比べて SEA に生じているひずみが大きいことがわかる。これは、図-4 に示したひび割れ位置周囲における断面での応力を SEA が負担しているためである。また、変位が 4mm に達していても D13 のひずみはひび割れ発生直前と比べてもほとんど変化がみられない。これは、ひび割れ位置での SEA が降伏しており荷重が増加しないため、D13 部分に伝達される応力に変化がないことが原因である。

4. まとめ

本研究では、SEA を用いた RC 部材の繰り返し引張荷重に対する基本性状を把握することを目的とし、繰り返し載荷による両引き試験を行い以下の結果を得た。

1. SEA を用いた RC 部材は、残留変位低減効果を有することが確認できた。
2. 本試験において、SEA と鉄筋を継手で繋いだ主鉄筋を有する RC 部材は、SEA の降伏強度が鉄筋の半分程度であったため、SEA 部分でひび割れが発生した後、そのひび割れ位置周囲に損傷が集中し、それ以降新たなひび割れは発生しなかった。

参考文献

- 1) 大森俊洋, 荒木慶一, 須藤裕司, 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, pp.3-9, 2012.6.
- 2) 岡村甫, 前田詔一: 鉄筋コンクリート工学 (三訂版), 市ヶ谷出版社, pp.98-102, 2000.3.