|超弾性合金を用いた RC 部材の繰り返し引張特性に関する実験

| 宇都宮大学 | 学生員 | ○ 山口敬也 | 栃木県 | 非会員 | 野沢哲哉 |
|-------|-----|-----------------|---------|--------|------|
| 宇都宮大学 | 正会員 | 藤倉修一 | | 学生員 | 藤岡光 |
| 宇都宮大学 | 正会員 | Nguyen Minh Hai | HRC 研究所 | 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、橋梁の損傷を予め想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場合、例えば橋脚基部では、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位が生じ, 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⁾.例えば SEA 棒材が大きい軸引張力を受けた場合、棒材は塑性化す るが、除荷時には塑性変形が回復する特性を有している. そ こで、SEA を主鉄筋の一部として橋脚に用いることによっ て,残留変位の低減が期待されている.

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、曲げ部材の主鉄筋周囲の挙動を再現可 能な両引き試験により²⁾、繰り返し引張載荷実験を行った. これにより、SEA を主鉄筋の一部として RC 部材に用いた 場合の繰り返し引張特性を検討した.

両引き試験 2.

供試体 (1)

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,供試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) を記載した.D13 と丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試 図**–3** に示した CD1 および CD2 から算出した供試体のコン 体で用いた SEA の応力-ひずみ関係を図―2 に示す.図―2 よ クリートブロック長さの変化量である.また,SEA 変位と り、SEAの降伏強度はD13の半分程度であることが確認さ れた. また, SEA には降伏後でも除荷するとひずみが変形 の変化量である. 前の状態に戻る超弾性特性が確認された.試験当日におけ るコンクリートの強度試験の圧縮強度は 52.2N/mm², 引張 た. 各供試体に応じて載荷サイクルを一部変えて行ったが, 強度は 3.9N/mm²,静弾性係数は 31.3kN/mm² である. (2)試験方法

し、載荷を行った.計測項目は荷重、鉄筋ひずみおよび供 リート部変位を $1\delta_y$ として、 $2\delta_y$ を 3 回、 $3\delta_y$ 以降、 $2\delta_y$ ず 試体のコンクリート部変位の3項目であり,500供試体に つ変位振幅を増やし,各サイクル1回ずつ載荷した. Key Words: 超弾性合金,残留変位,両引き試験,繰り返し載荷, RC 部材

〒 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



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 | |



ついては SEA 変位も計測した. コンクリート部変位とは, は図-3 に示した SD1 および SD2 から算出した SEA 長さ

載荷については引張荷重のみを与え,繰り返し載荷とし ここでは RC 供試体の載荷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回載荷し,そ 本試験では、図-3に示すように供試体を鉛直方向に設置の後は変位制御での載荷に切り替え、鉄筋降伏時のコンク



3. 実験結果

ひび割れ状況 (1)

割れ状況および 500 供試体のコンクリート部変位が 4.2mm および図**–7** より,ねじ SEA 供試体には最大 0.6mm 程度の の時のひび割れ状況を図-4 に示す.各供試体には 50mm 間 残留変位が生じている.図-2 から SEA には残留ひずみは 隔のメッシュを記入してある.なお,丸 SEA 供試体につい 生じないので,図-6 および図-7 で生じている残留変位は ては載荷終了までひび割れが生じなかったのでここには示 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. していない. RC, 丸 SEA-RC およびねじ SEA-RC 供試体 これに対して、丸 SEA 供試体ではコンクリートへの付着が の初期ひび割れ発生荷重はそれぞれ 23kN,34kN,25kN で 殆どないので、SEA がコンクリートから抜け出し、残留変 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 位は生じていない. 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 (3) ひずみ分布 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 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 生して以降,変位振幅を増やし,コンクリート部変位が増 ている.供試体中央部 6 箇所がねじ切り棒 SEA,その外側 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, の 6 箇所が D13 の鉄筋のひずみを示す.この図から.D13 SEA の降伏強度が鉄筋の半分程度であるので、SEA に応力 に比べて SEA に生じているひずみが大きいことが確認さ が集中したためと考えられる.また,ねじ SEA 供試体では,れた.これは,図―4 に示したひび割れ位置周囲における断 ねじ SEA2 部分でのひび割れが多くみられ,ねじ SEA1 部 面での応力を SEA が負担しているためである.また,変位 分では殆どひび割れは発生しなかった.これは,**表–1** に示 が 4mm に達していても D13 のひずみはひび割れ発生直前 したように、ねじ SEA2 の弾性係数はねじ SEA1 の半分程 と比べても殆ど変化がみられない. これは、ひび割れ位置 度であることが原因であると考えられるが、さらに検討が での SEA が降伏することによって荷重が増加しないため, 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 の後はひび割れ位置周囲の 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, $9\delta_u$ 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 800 供試体のコンクリート部変位が 17.5mm の時のひび を図-6に、荷重-SEA 変位関係の比較を図-7に示す.図-6

ねじ SEA-RC 供試体におけるひずみ分布を図-8 に示す. 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.

まとめ 4.

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、両引き試験による繰り返し引張載荷実 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 ことが確認された.
- 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.
- 岡村甫,前田詔一:鉄筋コンクリート工学(三訂版),市ヶ谷 2)出版社, pp.98-102, 2000.3.