

論文 スパン中央にモルタル充填継手を有するRCはりの曲げ荷重下での挙動に関する実験的検討

村上 力也*1・森本 健斗*2・尾上 幸造*3・橋本 涼太*2

要旨: 本研究では、D13 鉄筋に対し埋込み長 45.5 mm (3.5×鉄筋径) と埋込み長が短いモルタル充填継手を用いた RC はりの静的 4 点曲げ試験を実施した。その結果、継手あり供試体は鉄筋降伏以前についてはプレーン供試体と同様の挙動を示した。供試体中央の開口変位についてコンクリート標準示方書の鋼材腐食に関するひび割れ幅の限界値を求めた結果、鋼材腐食に対しても通常使用荷重下では問題ないことが示された。スリーブについて降伏は見られず、またプレーン供試体と比較して主筋の挙動は同等であることが確認できた。よって、本研究で使用した継手が RC はりの曲げ破壊に対して十分な耐力を有する可能性が示された。

キーワード: モルタル充填継手, 埋込み長, プレキャスト RC はり, 曲げ破壊

1. はじめに

建設産業における喫緊の課題として、現場で作業に従事する若年層の減少や建設現場の高齢化が挙げられており、生産性の向上が求められている。国土交通省では、「ICTの全面的な活用 (ICT 土工)」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図っている^{1) 2)}。そのような状況下で生産性向上の解決策の一つとして、プレキャストコンクリート(以下、PCa) 製品の利用が挙げられる。PCa 製品を利用する利点として品質に差が生じないことや現場の省力化につながるということが考えられる。

PCa 製品同士を現地で接合する際にモルタル充填継手を使用されている。機械式継手のうち、特にモルタル充填継手は、スリーブと鉄筋の隙間にモルタルを充填して固定させる工法で、鉄筋を回転させてねじ込むことが出来ない PCa 製品同士の接合に適しており、太径鉄筋への良好な適用性³⁾、鉄筋位置の誤差や傾斜への対応が可能であるという特徴を有している。

現在流通しているモルタル充填継手は一定の埋込み長を確保するため、スリーブの長さが比較的大きく、小規模な構造や薄肉部材への適用には不向きな面がある。また、せん断補強筋はスリーブ区間には配置しないため、スリーブが長いとせん断補強筋の配置間隔も広がり、せん断に対して不利になる⁴⁾。

筆者らはこれまで継手のスリーブのコンパクト化を達成するために、スリーブ内部の形状、充填材の種類および挿入側鉄筋の先端形状に着目し、ケーススタディを実施している^{5) 6)}。その結果、鉄筋径に対し 3.5 倍の埋込み長で母材鉄筋の破断を達成しており、埋込み長の短縮を達成している。しかしながら将来的に PCa 製品の継手として利用するうえでより実用的な検討が求められる。

本研究では、要素実験で母材鉄筋の破断を達成した継手の曲げ性状について検討するため、RC はりを作製し載荷実験を行った。載荷実験は継手なしの異形鉄筋を使用したケースと比較することでモルタル充填継手が RC はりに与える影響を検討した。

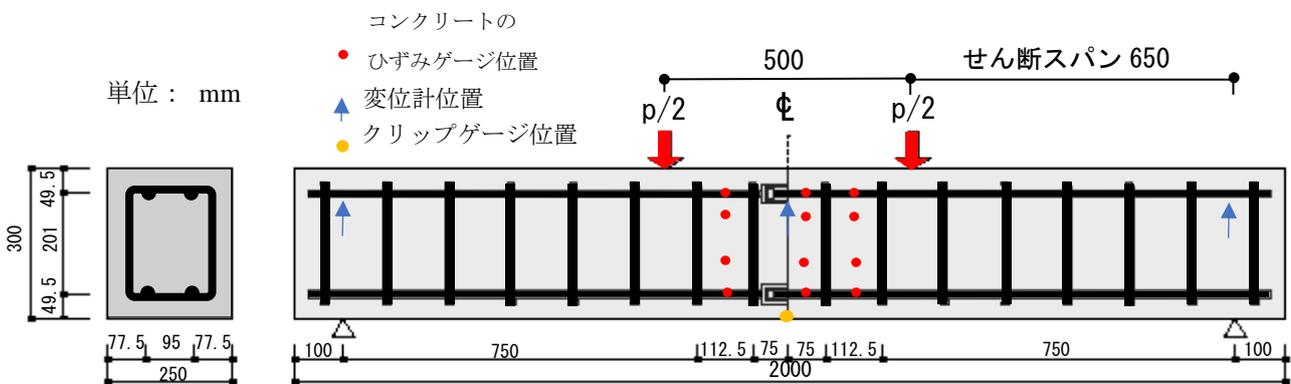


図-1 継手あり供試体概要

*1 極東興和 (株) 広島支店技術部技術課 修士 (工学) (正会員)

*2 熊本大学 大学院自然科学教育部 (学生会員)

*3 熊本大学 大学院先端科学研究部 (工学系) 社会基盤環境部門 博士 (工学) (正会員)

表-1 供試体の共通諸元

| せん断スパン比 a/d | コンクリート | 主鉄筋および圧縮鉄筋 | | | せん断補強筋 | | |
|------------------|------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|
| | 呼び強度 (N/mm ²) | 規格および 呼び径 | p_w (%) | a_t (mm ²) | 規格および 呼び径 | r_w (%) | s (mm) |
| 2.59 | 21 | SD345 D13 | 0.38 | 253 | SD345 D13 | 0.19 | 125 |

a : せん断スパン, d : 有効高さ, p_w : 主鉄筋比, a_t : 主筋断面積, r_w : せん断補強筋比
 s : せん断補強筋間隔 (スリーブ周辺を除く)

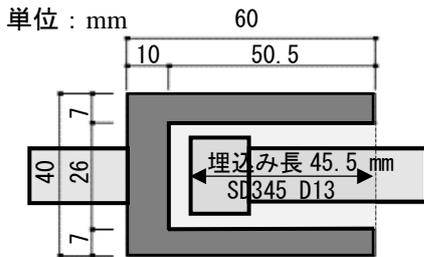


図-2 継手部の詳細

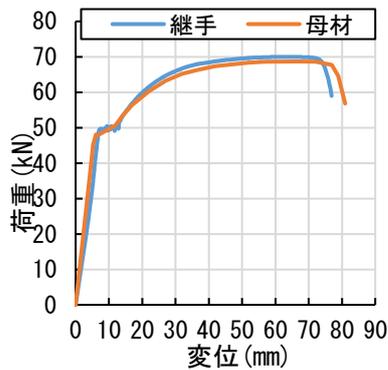


図-3 荷重-変位曲線



写真-1 接合面エポキシ樹脂材塗布状況



写真-3 継手あり供試体接合状況



写真-2 挿入鉄筋側供試体



写真-4 クリップゲージの設置状況

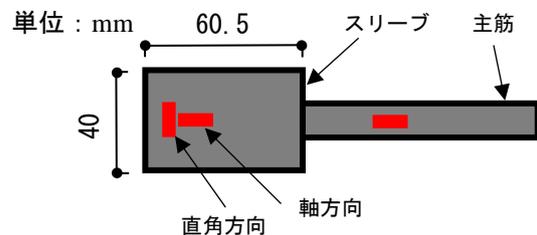


図-4 スリーブ周辺のひずみゲージ位置

2. 実験概要

2.1 供試体概要

図-1 に供試体概要を、表-1 に供試体の共通諸元を示す。供試体は曲げ引張型となるように設計した。全長 2000 mm, 断面幅 250 mm, 高さ 300 mm, 有効高さ 250.5 mm である。供試体の試験区間は 1800 mm で、載荷スパンは 500 mm とした。

2.2 供試体の作製

コンクリートは、呼び強度 21 N/mm², スランプ値 10 cm, 粗骨材最大寸法 20 mm のレディーミクストコンクリートを使用し、2 体 (プレーン 1 体, 継手あり 1 体) の供試体を同日に打設した。主鉄筋および圧縮鉄筋は、SD345 の D13 とし、かぶり厚は道路橋示方書を参照し、一般的なかぶり厚 30 mm で配筋した。継手あり供試体の接合部の型枠には、スリーブと挿入側鉄筋位置を固定できる専用の鋼製仕切り板を作製した。打設後は、3 週間の封かん養生を実施した後に継手部分の接合を行い、その後 1 週間は気中養生を行った。プレーン供試体も同様

表-2 高膨張型充填材の品質規格

| 項目 | 品質規格 | 試験方法 (試験温度 20°C) |
|----------------------------------|---------|------------------------|
| 48 時間膨張圧 (N/mm ²) | 33 以上 | メーカー試験法 による |
| テーブルフロー (mm) | 210~220 | JASS 15M-103 による |

の養生方法とした。継手あり供試体の接合は、スリーブ側の供試体を鉛直に立てた状態で充填材をスリーブに流し込み、上から挿入鉄筋側の供試体を差し込む形で接合を行った。この際、接合面の凹凸を調整するためにエポキシ樹脂を塗布した。写真-1 にスリーブ側の供試体の接合前の状況を、写真-2 に挿入鉄筋側の供試体を、写

真-3 に供試体接合後の状況を示す。せん断補強筋は、主鉄筋および圧縮鉄筋と同様に、SD345 D13 を使用した。せん断補強筋間隔は継手あり供試体のスリーブ周辺を除いて $s=125\text{ mm}$ 間隔で配置した。

2.3 モルタル充填継手の詳細

モルタル充填式継手の詳細を図-2 に示す。スリーブの材質は S45C を使用しており、充填材には膨張性能を有する材料を使用した。表-2 に充填材の品質規格を示す。充填材の特徴として、PC 鋼材の定着を目的として開発された生石灰および珪酸塩を主成分とする充填材である。挿入側鉄筋の先端にはヘッド加工（直径 19 mm、幅 15 mm）を施している。ヘッド部分の材質は SS 400 であり、スリーブ部分と異形鉄筋およびヘッド部分と異形鉄筋は摩擦圧接によって接合されている。継手単体の性能として、一軸引張試験の結果を図-3 に示す。一軸引張試験は、試験間距離についてスリーブ長+16×鉄筋径(mm)、載荷方法は手動で実施した。継手の引張試験の結果、異形鉄筋の母材破断であったことから、継手部が母材よりも同等以上の耐力を有していることを確認した。

2.4 載荷実験方法

載荷試験は手動の油圧ポンプを使用し、静的 4 点曲げ試験を実施した。載荷点には円柱状の鋼板を 2 枚の支圧板で挟むようにして載荷を行った。支点には鋼棒の上に支圧板を設置した。円柱鋼板の水平方向の変位を制御する目的で円柱鋼板の両脇に鋼板を設置している。

ひずみゲージはコンクリート表面およびスリーブ周辺に貼付した。コンクリート表面のひずみゲージの貼付位置を図-1 に、スリーブ周辺のひずみゲージの貼付位

置を図-4 に示す。モルタル充填継手による応力の伝達を検討するためにスリーブ側主鉄筋にも同様にひずみゲージの貼付けを実施した。継手あり供試体は、写真-4 に示すとおり、供試体接合部分に開口変位を測定する目的でクリップゲージを設置した。

載荷試験中は、荷重が 50kN 増加する毎に載荷を中断し、ひび割れ発生状況を確認した。鉄筋の降伏を確認した後は、変位制御による載荷に切り替えた。載荷試験の様子を写真-5 に示す。

3. 結果および考察

3.1 荷重変位関係および荷重ひび割れ関係

表-3 に初期ひび割れ荷重、降伏荷重および終局荷重の計算値を示す。コンクリートの圧縮強度および曲げ強度は JIS A 1108⁷⁾、JIS A 1106⁸⁾ に準拠して値を求めた。ひび割れ発生荷重の実験値 P_{cr-exp} は目視によってひび割れを確認した際の値、実験値の鉄筋降伏荷重 P_{y-exp} は引張鉄



写真-5 載荷試験の様子

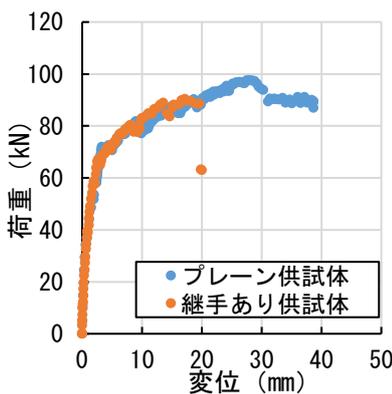


図-5 荷重変位曲線

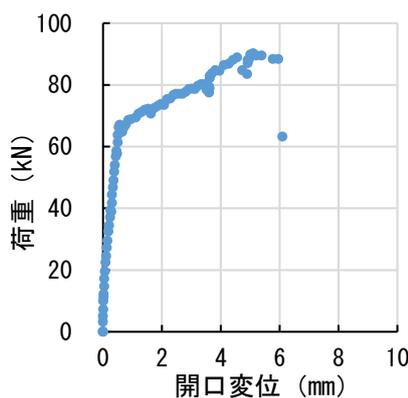


図-6 荷重開口変位曲線

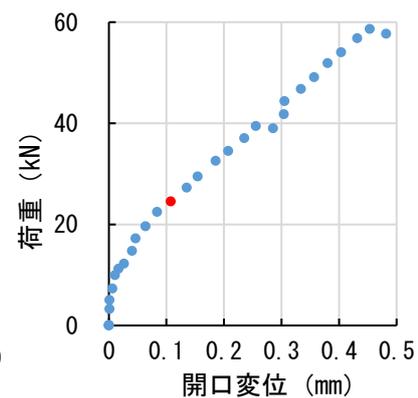


図-7 荷重開口変位曲線 (図-6を拡大)

表-3 耐力計算結果

| 供試体名 | コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²) | ひび割れ発生荷重 | | 鉄筋降伏荷重 | | 終局荷重 | |
|------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | P_{cr-cal} (kN) | P_{cr-exp} (kN) | P_{y-cal} (kN) | P_{y-exp} (kN) | P_{u-cal} (kN) | P_{u-exp} (kN) |
| プレーン | 32.3 | 48.0 | 36.3 | 63.0 | 71.9 | 81.0 | 97.5 |
| 継手あり | | | 39.4 | | 72.2 | | 90.2 |

筋降伏により RC はりの荷重低下が見られた最初の値、また終局荷重 P_{u-exp} は載荷試験における最大荷重を使用した。計算結果より、ひび割れ発生荷重は計算値と比較して値が小さくなった。また、鉄筋降伏荷重および終局荷重は計算値と比較すると大きくなっている。

載荷荷重と供試体中央の鉛直変位の関係を図-5 に示す。一部荷重が減少している部分はひび割れ確認時に、荷重増加を中断したためである。プレーン供試体はコンクリートの圧壊を確認した後に載荷を中断した。継手あり供試体は鉄筋の降伏を確認した後に載荷途中で接合面の目開きが進行して接合部のエポキシ樹脂の破砕に至った時点で載荷を中断した。図-5 より初期剛性に関しては大きな差が見られないことがわかる。なお、継手の抜き等確認されなかった。図-6 に荷重および供試体中央のクリップゲージの開口変位関係を示すが、鉄筋降伏後に接合部の開口変位の値が大きくなっていることが

わかる。なお、初期のひび割れ発生は接合面以外で確認した。

図-7 に弾性範囲内における継手あり供試体の荷重-開口変位関係を示す。鋼材腐食に関して「コンクリート標準示方書⁹⁾」ではひび割れ幅の限界値 W_a をコンクリートのかぶり c の関数で与えており、鉄筋コンクリートの場合 $0.005c$ としてよいとある。本研究で使用した供試体のかぶりは 30 mm であり、ひび割れ幅の限界値 W_a は 0.15 mm となる。また本研究の継手あり供試体の鉄筋降伏荷重は 72.2 kN である。図-7 より、鉄筋降伏荷重のおよそ $1/3$ の 24 kN (約 189 N/mm^2) 付近で開口変位がひび割れ幅限界値 0.15 mm となることがわかる。実際の RC 構造物の鉄筋に永続的に作用する引張応力度は、一般に 100 N/mm^2 以下に制御して設計するため、通常の使用状態レベルでは十分な性能を有していると考えられる。

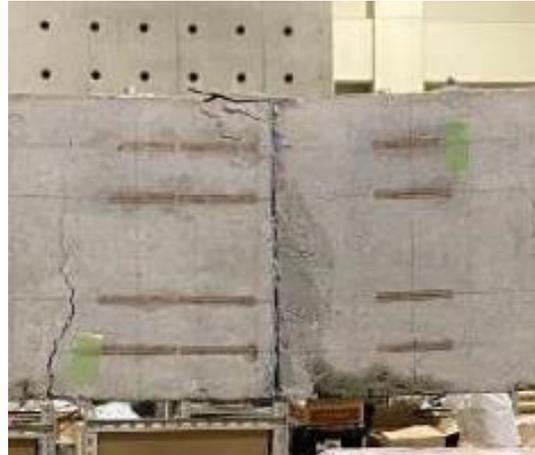


写真-6 供試体中央付近のひび割れ状況
(左 プレーン供試体, 右 継手あり供試体)

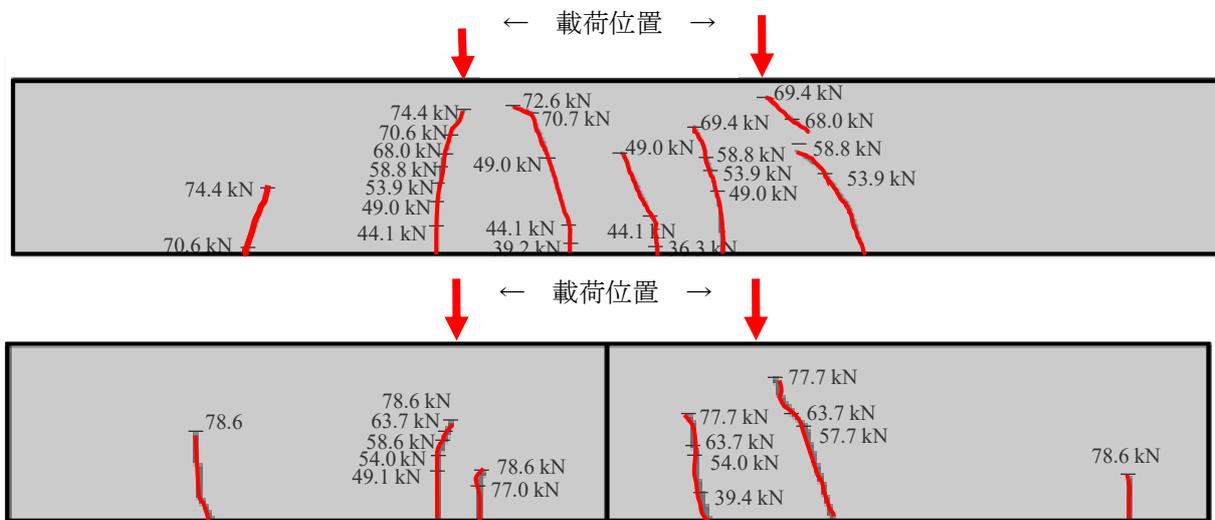


図-8 供試体側面のひび割れ状況 (上 プレーン供試体, 下 継手あり供試体)

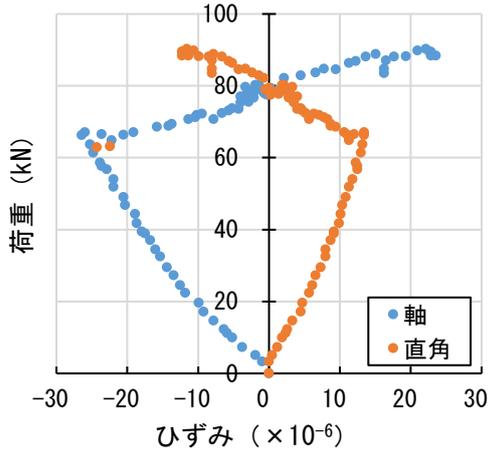


図-9 荷重-圧縮ひずみ関係
(スリーブ部分)

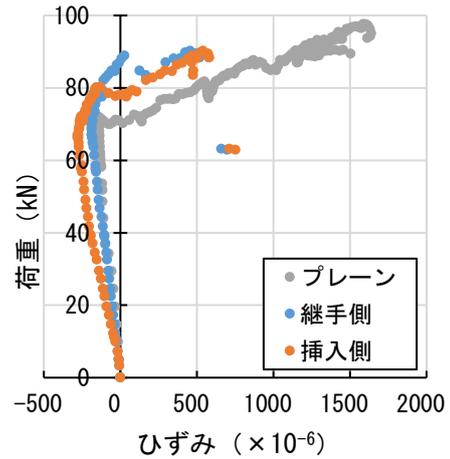


図-11 荷重-圧縮ひずみ関係

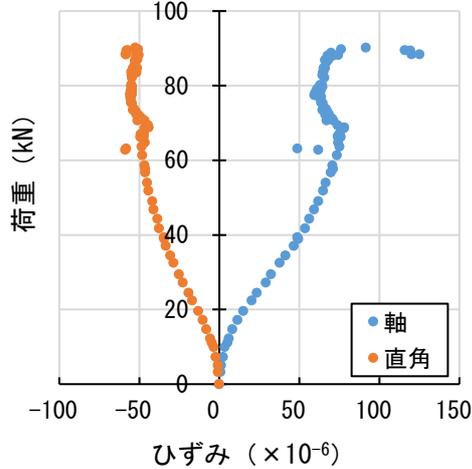


図-10 荷重-引張ひずみ関係
(スリーブ部分)

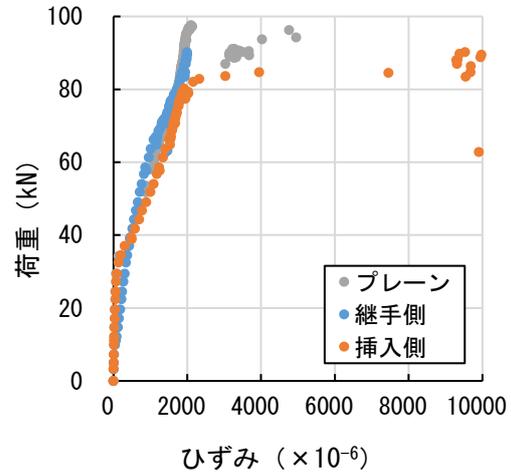


図-12 荷重-引張ひずみ関係

3.2 破壊状況

破壊状況について供試体側面のひび割れ発生状況を図-8に、試験終了後に撮影した供試体中央付近の破壊状況を写真-6に示す。いずれの供試体においても等曲げ区間に均等にひび割れが進行しており荷重の伝達が円滑に行われていることがわかる。図-8より載荷スパン中のひび割れを比較するとプレーン供試体のひび割れが継手あり供試体と比較して荷重が小さい段階で進行しており、ひび割れ本数も多いことが顕著にわかる。これは引張力によって継手あり供試体の接合部の目開きにより、プレーン供試体よりもひび割れ分散性が低下したことが要因の一つであると推察されるが、一方で継手あり供試体でも、接合部近傍にひび割れは発生していることから、継手を有する場合でも、部材の連続性やひび割れ分散性が失われないことが確認できた。

既往の文献¹⁰⁾より、機械式鉄筋継手をRCはりに使用した際に継手部にひび割れが集中することが報告されている。図-8および写真-6よりスリーブ周辺にひび割

れが集中している様子は見られないことから曲げ荷重下において良好な結果が得られていると考えられる。

3.3 スリーブ周辺の鉄筋ひずみコンクリートひずみ

スリーブ部分のひずみに関して、圧縮側スリーブの荷重とひずみの関係を図-9に、引張側スリーブの荷重およびひずみの関係を図-10に示す。図-9より引張鉄筋が降伏した後に、中立軸位置が徐々に上端寄りになることで圧縮側鉄筋が引張側に移行していることが確認できる。図-10より引張側スリーブ部分の軸方向ひずみの値はおよそ 125×10^{-6} であり、スリーブ部分に作用する応力は 25 N/mm^2 程度であることから、スリーブ自体の降伏はなかったものと考えられる。

圧縮側主筋の荷重およびひずみの関係を図-11に示す。図-11のプレーン供試体の荷重-圧縮鉄筋ひずみ関係よりコンクリートの圧壊後に再度圧縮側に移行していることがわかる。図-12は主筋の荷重-引張鉄筋ひずみ関係である。図-12より継手側および挿入側鉄筋をプレーン供試体と比較すると両供試体に大きな差は見られな

かった。

本研究では、曲げ破壊にのみ注目し実験を実施した。今後はせん断破壊の検討を行うと共に繰り返しに対する挙動についても実験を実施する必要がある。

4. まとめ

埋込み長の短いモルタル充填継手を使用して静的4点曲げ試験を実施した。本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 継手あり供試体のRCはりの荷重-変位関係は鉄筋が降伏するまでは継手あり供試体と大きな違いは見られず、プレーン供試体と同等の性能を有することが確認できた。コンクリート標準示方書の鉄筋腐食に関する限界ひび割れ幅の算定より、鋼材腐食に対して、通常使用する荷重状況下では問題ないことが確認できた。
- 2) 継手あり供試体のひび割れはプレーン供試体と比較するとひび割れ本数が少なく、ひび割れの進行も少なかった。これは、継手あり供試体の接合面の目開きによる影響によってひび割れ分散性が低下したことが主な要因であると推察される。一方、継手あり供試体でも、接合部近傍にひび割れは発生していることから、継手を有する場合でも、部材の連続性やひび割れ分散性が失われないことが確認できた。
- 3) 本実験において母材鉄筋が降伏に至るまでスリーブ鉄筋の拔出し等確認されなかった。このことから本研究で使用しているモルタル充填継手がRCはりの曲げ挙動に対して十分な耐力を有することが示された。

謝辞：

実験の実施に際し熊本大学工学部技術部の友田祐一氏、橋本享弘氏、戸田喜統氏、濱崎ありさ氏、同研究室の井上みなみ氏のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction, <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> (閲覧日；2021年1月10日)
- 2) 機械式鉄筋定着工法技術検討委員会：機械式鉄筋定着工法の配筋設計ガイドライン，平成28年7月
- 3) 機械式鉄筋継手工法技術検討委員会：現場打ちコンクリート構造物に適用する機械式鉄筋継手工法ガイドライン，平成29年3月
- 4) 安田瑛紀，中村拓郎，松本智夫，二羽淳一郎：モルタル充填継手を同一断面に配置したRCはりの曲げ性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 38, No.2, pp.595-600, 2016
- 5) 村上力也，森本健斗，下野聖也，尾上幸造：モルタル充填継手の耐荷性能に及ぼす各種パラメータの影響に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，42巻，No.2, pp.499-504, 2020
- 6) 森本健斗，村上力也，尾上幸造：充填材の種類及び挿入側鉄筋のヘッド加工がモルタル充填継手の耐荷性能に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，42巻，No.2, pp.493-498, 2020
- 7) 日本産業規格：JISA1108 コンクリートの圧縮強度試験方法，2021
- 8) 日本産業規格：JISA1106 コンクリートの曲げ強度試験方法，2021
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書（2017年制定）—設計編—
- 10) 大野拓也，Nguyen Dac Phuong，睦好 宏史，牧 剛史：機械式鉄筋継手の性能がRC部材の力学的性状に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No.2, pp.589-594, 2013