

## 1

## プレキャスト柱部材の接合部に用いる鋼管拘束型鉄筋継手の性能評価

三嶋 武典\*1・土井 至朗\*1・田口 隆治\*1・安保 知紀\*2

## 概 要

建設工事現場における生産性向上の取り組みの一つとして、プレキャスト工法の適用が挙げられる。プレキャスト部材同士の接合作業の省力化を目的に、軸方向鉄筋の重ね継手部を鋼管で拘束する工法を開発した。本研究では、継手の高応力繰返し性能を確認するため、プレキャスト柱部材を模擬した試験体を製作し、交番載荷試験を行った。その結果、継手を設けた柱は、継手のない柱と同等の耐力、変形性能を有し、試験終了後も継手には大きな損傷がないことを確認した。

キーワード：鉄筋継手，静的耐力，高応力繰返し性能

## PERFORMANCE EVALUATION OF STEEL PIPE RESTRAINING REBARS USED FOR JOINTS OF PRECAST COLUMN COMPONENTS

Takenori MISHIMA \*1, Shiro DOI \*1, Ryuji TAGUCHI \*1, Tomonori ABO \*2

## Abstract

The precast method is one approach to achieve higher productivity at construction sites. To increase saving of labor in joining precast components, we at Tekken have developed a new method that introduces rebars embedded in the bottom of the steel pipes to restrain the lap joints of reinforcing rebars in the axial direction. In this research, specimen simulating a precast column component was prefabricated, and the alternative load test was carried out to verify the high stress cyclic performance of connection. This test demonstrates that the column with steel pipe joints has the same strength and deformation performance as that without joints, and that the specimen after test suffered no significant damage.

Keywords: Reinforcement joint, Static strength, High stress cyclic performance

---

\*1 Foundation / Structure Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

\*2 Manager, Foundation / Structure Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

## プレキャスト柱部材の接合部に用いる鋼管拘束型鉄筋継手の性能評価

三嶋 武典\*1・土井 至朗\*1・田口 隆治\*1・安保 知紀\*2

### 1. はじめに

建設業界では、今後技能労働者が減少していくなかで、現場での生産性向上の必要性が増しており、鉄筋コンクリート構造物を構築する工事においてもプレキャスト工法の適用が進められている。

プレキャスト工法では、鉄筋の継手構造が施工性や部材性能に関わる重要な要素となる。鉄筋の継手には、機械式継手工法が一般に多く用いられるが、高い製作精度や施工精度が要求されるほか、接合後に各継手内へのグラウトの注入、帯筋の設置、型枠の組立て、コンクリート打設等の手間が発生する。筆者らは、これまでに接合部の施工の省力化を目的に新しい継手構造を考案し、継手の引張試験を行い、静的耐力、破壊性状を確認した<sup>1)</sup>。今回は、高応力繰り返し性能を確認するため、実大規模の試験体を製作し、柱部材の正負交番載荷試験を実施したので、その結果について報告する。

### 2. 継手概要

筆者らが考案した継手構造の概要を図-1に示す。基礎部内に軸方向の定着鉄筋と、それを内包するように鋼管を設置しておき、柱部材を上方から押下げ、柱の軸方向鉄筋を鋼管内に挿入するものである。軸方向鉄筋は2本一組とし、埋め込み側の鉄筋は柱側の鉄筋と90度ずらした並びとなっている。部材の接合手順は、(1) 基礎部に設置した継手となる鋼管内にグラウトを注入する、(2) 上からプレキャスト柱部材を建て込む、という工程で完了するため、現場での省力化が期待できる。なお、継手の引張性能については、鉄建技術報告 2019(No.33)<sup>2)</sup>

に記載しているので参考にいただきたい。

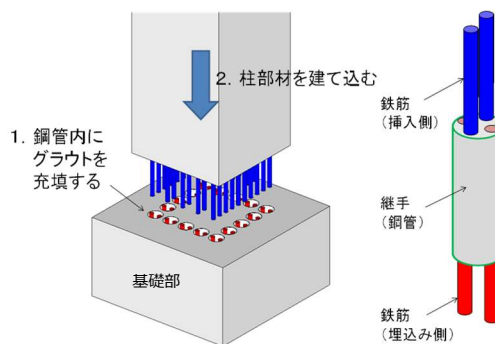


図-1 考案した継手構造の概要

### 3. 交番載荷試験

#### 3.1 試験体概要

試験体概要を図-2に、試験体諸元を表-1に示す。試験体 No.1 は継手をフーチング内に埋め込み、基礎と柱の接合を対象とした。試験体 No.2 は柱の基部に継手を設け、柱同士の接合を対象とした。試験体 No.3 は柱頭部を模擬し、桁受け部を設けた形状としており、実際の構造物とは天地が逆の状態となる。試験体の軸方向鉄筋は D32 SD490 を使用し、継手の鋼管長さは軸方向鉄筋径の 20 倍の 640mm とし、鋼管径は施工性を考慮し  $\phi 139.8\text{mm}$  とした。さらに、鋼管による拘束力を向上させるため、板厚は引張試験時<sup>1)</sup>の 3.5mm より厚くし 6.6mm とした。No.1 と No.3 は柱の変形性能を向上させるため、柱基部 1D 区間の軸方向鉄筋内側にスパイラル鉄筋<sup>3)</sup>を配置した。スパイラル鉄筋は、公称径 7.1mm の細径異形 PC 鋼棒 SBPD1275/1420 を 17.1mm ピッチで配置した。試験体のフーチングと柱はそれぞれ分けて製作し、実験場内に搬入した後、試験体の組立て

\*1 建設技術総合センター 研究開発センター 基礎・構造グループ

\*2 建設技術総合センター 研究開発センター 基礎・構造グループ グループリーダー

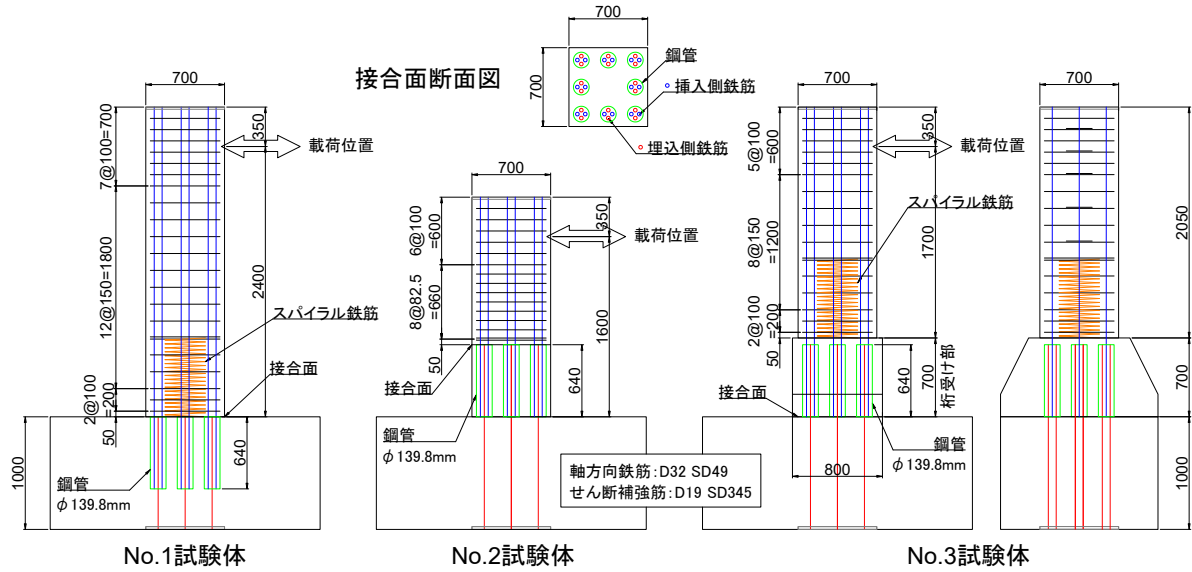


図-2 交番荷重試験体の概要

表-1 交番荷重試験体の諸元

	継手位置	接合面	柱断面 寸法 (mm)	せん断 スパン (mm)	コンクリート 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	継手充填 無収縮 グラウト強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	フーチング内	基礎と柱 の境界	700×700	2400	28.5	72.6
No.2	柱基部	基礎から 640mm		1600	33.5	66.0
No.3	桁受け部	基礎と桁受け部 の境界		2400	32.8	86.1

を行った。フーチング上の柱設置箇所には、写真-1に示すように柱の鉛直性を確保するためのスペーサーと、位置合わせのための仮設鋼材を予め設置し、柱の建込みを行った。柱の建込み状況を写真-2に示す。No.1とNo.2の柱の建込み手順は、(1) 継手鋼管内にグラウトを継手開口面から流し込む、(2) 柱を上方から所定の位置に下ろす、(3) 柱の鉛直性の確認を行う、以上で建込み完了とした。No.1, No.2は柱の立て起こしからグラウト注入、柱設置まで約15分で作業を完了した。

No.3は接合面の上側に継手鋼管が配置されており、継手の開口面が下側となるため、柱を建て込んだあと、桁受け部にあらかじめ設けておいたグラウト注入孔より継手内部へグラウトを注入した。

### 3.2 荷重方法

荷重は、一定の軸力(1.0N/mm<sup>2</sup>)を保持した状態で水平変位を与え、軸方向鉄筋が降伏したときの水平変位を16<sub>y</sub>として、その整数倍で変位



写真-1 フーチング上面の柱設置箇所



写真-2 柱建込み状況

を漸増させる正負交番荷重とした。各δ<sub>y</sub>の荷重は1回ずつとした。試験体No.1は、図-2に示すように柱の軸方向鉄筋が継手長さ分フーチングに埋め込まれ、基部の荷重方向の鉄筋が2段配置となることから、最外縁の軸方向鉄筋が降伏したときの水平変位と2段目の軸方向鉄筋が降伏したときの水平変位の平均を16<sub>y</sub>とした。なお、No.1では48<sub>y</sub>、No.3では66<sub>y</sub>に達した

時点で、水平ジャッキのストロークと鉛直ジャッキの移動量がほぼ限界まで達したため、以降の荷重は水平ジャッキの位置を 800mm 下げ、せん断スパンを 1600mm とし、鉛直ジャッキを取り外して試験を続行した。

### 3.3 試験結果

#### (1) 試験体 No. 1

図-3 に柱基部の曲げモーメントと部材角の関係を示す。部材角は、フーチングから 2400mm の位置(当初の荷重点高さ)の水平変位を 2400 で除した値とした。図中の実線は荷重点高さ 2400mm 時のもの、破線は荷重点高さを 1600mm に変更したあとの履歴を示す。正側では  $4\delta_y$  まで、負側では  $3\delta_y$  までは最大荷重以降も荷重をほぼ維持していたが、それ以降、コンクリートの損傷が大きくなるにつれ、荷重の落ち方が大きくなった。損傷状況を写真-3 に示す。正側荷重時の部材角約  $1/2180$ (荷重点変位 1.1mm)の時点で柱基部に曲げひび割れが発生し、 $1/93(26.0\text{mm})$ で柱基部最外縁の軸方向鉄筋が降伏、 $1/68(35.0\text{mm})$ で2段目の引張側軸

方向鉄筋が降伏した。負側は部材角  $-1/90(-26.6\text{mm})$ で最外縁の鉄筋が降伏し、 $-1/69(-34.7\text{mm})$ で2段目の鉄筋が降伏した。これらの鉄筋降伏時の変位を平均し、 $\pm 1\delta_y=30.6\text{mm}$ とした。その後、 $2\delta_y$ で柱基部のコンクリートに圧壊が見られ、変位が進むにつれ圧壊の領域が広がった。荷重点を変更して以降の荷重では、荷重点と柱基部を結ぶ斜めひび割れが大きくなり、圧縮側では軸方向鉄筋に沿った付着割れが見られた。 $6\delta_y$ 以降はかぶりコンクリートの剥落が顕著となり、 $8\delta_y$ の正負荷重後、負方向に押し切り、試験終了とした。

#### (2) 試験体 No. 2

図-4 に柱基部の曲げモーメントと部材角の関係を示す。部材角は、フーチングから 1600mm の位置の水平変位を 1600 で除した値とした。写真-4 に試験体の損傷状況を示す。試験体 No.2 は部材角約  $1/320$ (荷重点変位 5mm)で曲げひび割れを柱基部に確認し、 $1/103(15.6\text{mm})$ で基部の軸方向鉄筋が降伏、負側は $-1/90(-17.7\text{mm})$ で鉄筋が降伏した。これら

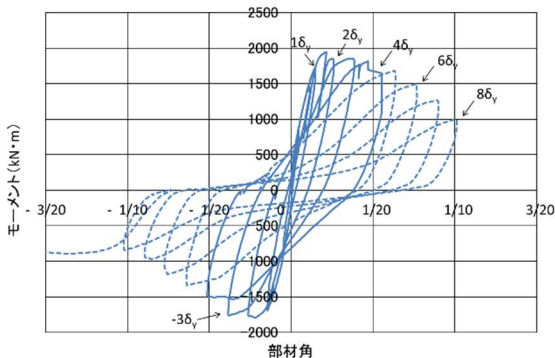


図-3 M-θ履歴 (試験体 No. 1)

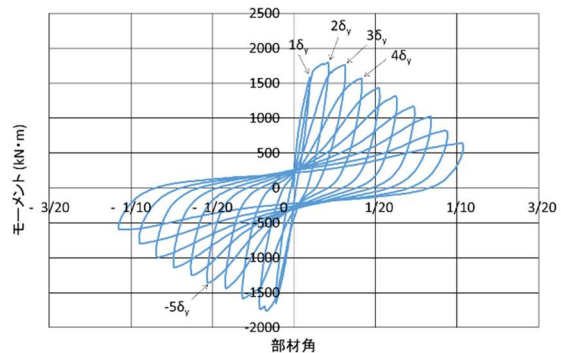


図-4 M-θ履歴 (試験体 No. 2)

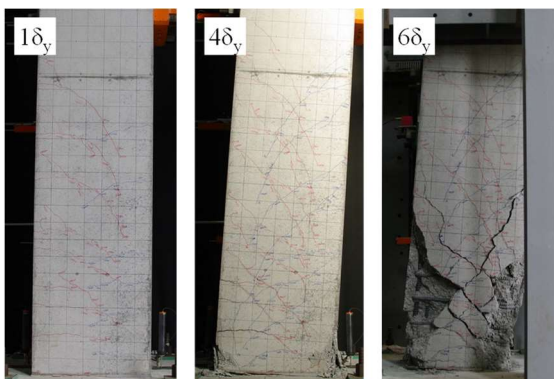


写真-3 損傷状況 (試験体 No. 1)

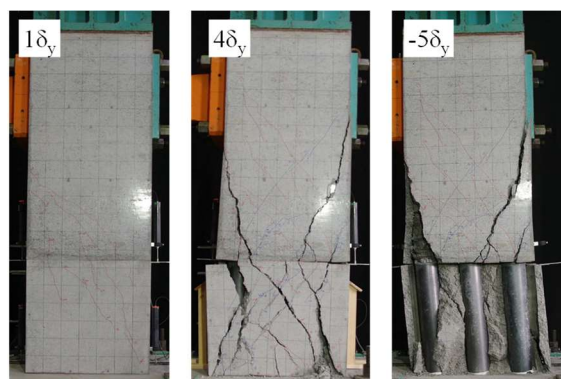


写真-4 損傷状況 (試験体 No. 2)

の降伏時の変位を平均し、 $\pm 1\delta_y = 16.6\text{mm}$  とした。 $2\delta_y$ で最大荷重 1123kN を観測し、 $+3\delta_y$ で載荷点から柱基部へ向かうひび割れが大きくなり、荷重が下がり始めた。 $+4\delta_y$ 以降では、接合面より下の柱基部の鋼管周りのコンクリートの剥落が顕著となり、 $-5\delta_y$ で載荷方向と直交する面(観察面)のコンクリートが完全に落ち、鋼管が露出した。その後も荷重は下がり続けたが急激に落ちることはなく、 $10\delta_y$ の正負載荷後、試験を終了した。

図-5に各  $\delta_y$  時の柱の変形図を示す。 $6\delta_y$ 以降の状態は、かぶりコンクリートの剥落により継手区間の変位の計測が不可能になったため記載していないが、 $3\delta_y$ 付近から徐々に継手区間のせん断変形が大きくなり、 $10\delta_y$ 時には写真-5に示すように、柱基部の傾きに対し接合面よりも上部の柱の傾きが小さい変形状態となった。No.2では、継手区間にせん断補強筋を配置していないため、このような変形になったと考えられるが、せん断補強筋等を配置することで改善される可能性がある。

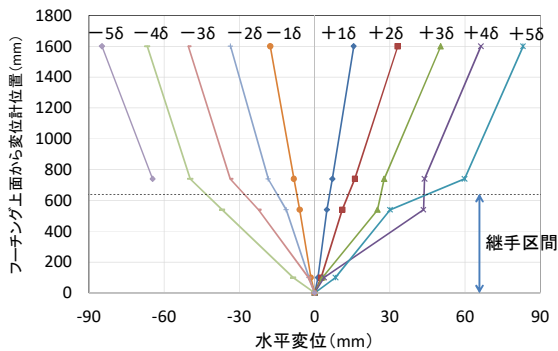


図-5 各  $\delta_y$  時の柱の変形 (試験体 No. 2)

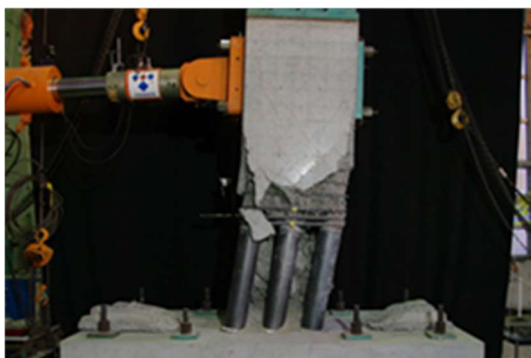


写真-5 10  $\delta_y$  時の変形状況 (試験体 No. 2)

### (3) 試験体 No. 3

図-6に柱基部の曲げモーメントと部材角の関係を示す。部材角は、フーチングから2400mmの位置(当初の載荷点)の水平変位を2400で除した値とした。損傷状況を写真-6に示す。正側では部材角約 1/89(載荷点変位 27.0mm)、負側では-1/94(-25.4mm)で柱基部最外縁の鉄筋が降伏し、 $\pm 1\delta_y = 26.2\text{mm}$  とした。 $+2\delta_y$ 以降、荷重は微増に止まり、正側では $+4\delta_y$ 、負側では $-5\delta_y$ で最大荷重となり、柱基部の桁受け部圧縮側にひび割れが発生したが、正負ともに  $6\delta_y$  までは荷重はほぼ一定の値を保っていた。 $7\delta_y$ で載荷点位置を下げて以降は桁受け上部から載荷位置にかけてのひび割れが急激に大きくなり荷重が落ちたが、桁受け部の損傷の進展はほとんど見られなかった。 $8\delta_y$ の正負載荷後、負側に押し切って載荷を終了した。

### (4) 計算値との比較

図-7に試験体 No.1, No.2 の M- $\theta$  関係の包絡線と鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造<sup>4)</sup>(以下、鉄道標準)に従って算出し

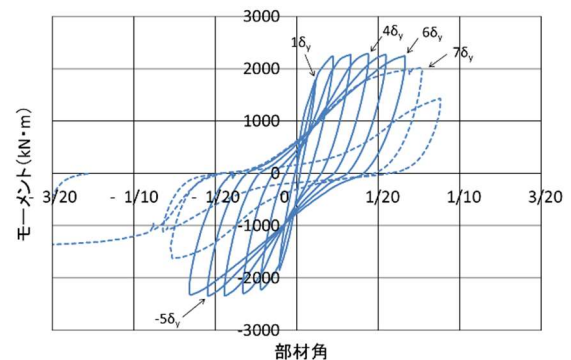


図-6 M- $\theta$  履歴 (試験体 No. 3)

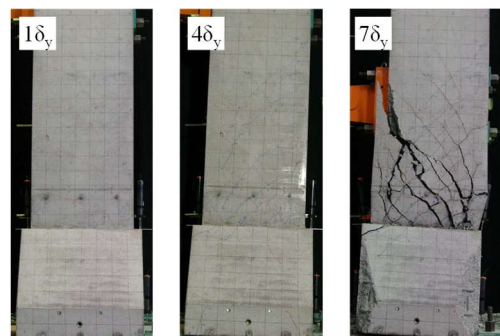


写真-6 損傷状況 (試験体 No. 3)

た計算値を示す。No.1 では柱基部とフーチングをつなぐ軸方向鉄筋が2段配置であるため、軸方向鉄筋は重心位置に配置したものとして計算した。材料強度は実強度を使用した。同図より、引張鉄筋が降伏するY点までは実験結果と計算結果は比較的良好一致した。

表-2 に鉄道標準に従って計算したY点、M点(コンクリートの圧縮ひずみが  $3500 \times 10^{-6}$  に達する点)におけるモーメントと、各試験の18y時および最大荷重時のモーメントを示す。実験値は計算値に比べて No.1 では若干高め値となったが、No.2, No.3 では計算値に近い値となった。

(5) 鋼管による拘束

各試験体の鋼管周方向のひずみの一例を図-8に示す。ひずみゲージは鋼管軸方向中央に貼り付けた。各試験体とも文献1)の引張試験結果と同様、載荷初期に軸方向鉄筋が引張を受けるとき、鋼管の周方向には圧縮ひずみが発生した。載荷が進むに連れ周方向のひずみは徐々に増加していったが、いずれの試験体も鋼管は降伏までには至らなかった。特に、柱の変形の影響を最も受けやすいと思われる試験体 No.2 で

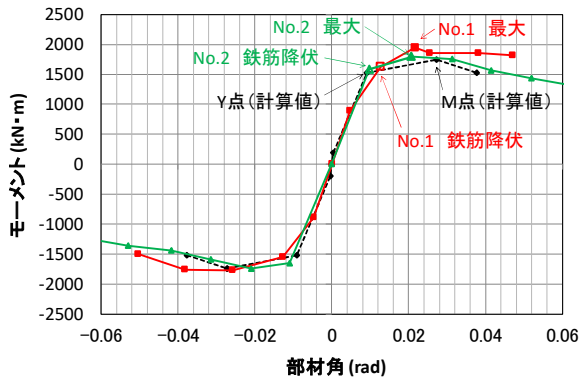


図-7 計算値との比較

表-2 各試験体のY点、M点でのモーメント

		No.1	No.2	No.3
Y点	実験値	1621	1584	1783
	計算値	1521	1546	1749
	実験値/計算値	1.07	1.02	1.02
M点	実験値	1948	1792	2291
	計算値	1743	1812	2232
	実験値/計算値	1.12	0.99	1.03

もひずみは最大で  $430 \times 10^{-6}$  程度であり、引張試験で鉄筋が鋼管内から抜け出すときに見られた周方向ひずみの急激な増大は起きなかった。

試験終了後の継手端部のグラウトの状況を写真-7に示す。グラウトは引張試験で見られたようなコーン状の破壊や付着割裂は見られなかった。このことから鋼管内からの鉄筋の抜け出しは微小であったと考えられる。

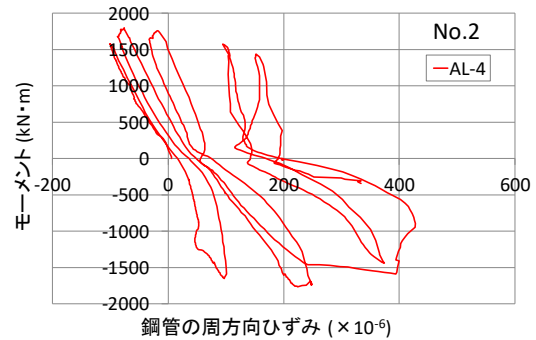
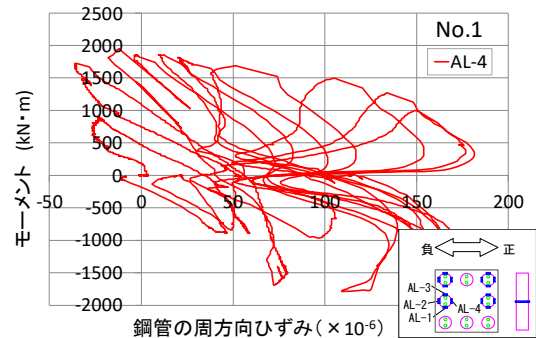


図-8 鋼管周方向のひずみ

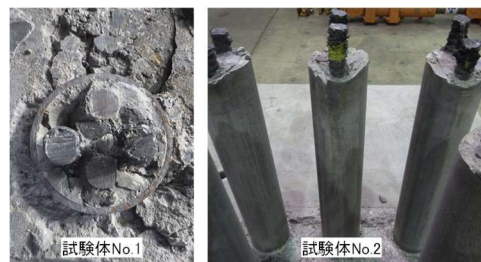


写真-7 試験終了後の継手グラウトの状況

(6) 軸方向鉄筋のひずみ

軸方向鉄筋のひずみの最大値を表-3に示す。ひずみが最大となったのは試験体 No.1 の柱基部(図-9の試験体 No.1 ひずみゲージ貼付図参照)であり、その値は  $26,000 \times 10^{-6}$  程度であった。No.1 の軸方向鉄筋のひずみは、図-10に示すように+46y到達時に最大となった。前述の継手引張試験<sup>1)</sup>では、継手長を  $20\phi$  とした場合、鉄筋のひずみが  $50,000 \times 10^{-6}$  程度になるまで継手は荷重を保持できることが確認されており、本継手構造は、今回の適用範囲では十分な性能を有していると考えられる。

4. まとめ

軸方向鉄筋の重ね継手を径  $\phi 139.8\text{mm}$ 、板厚  $6.6\text{mm}$ 、長さ  $20\phi$  の鋼管で拘束する継手を、実大規模の柱の基礎部、柱基部、桁受け部に配置

した試験体で交番載荷試験を行い、以下のことを確認した。

- (1) M- $\theta$  関係は、継手を有しない柱の計算結果と近い値となった。
- (2) 鋼管周方向のひずみの急激な増大はみられず、試験終了後の継手にもコーン破壊や付着割裂が発生していなかったことから、鋼管からの鉄筋の拔出は、ほぼなかったと考えられる。
- (3) 考案した継手の引張試験<sup>1)</sup>では、鉄筋のひずみが  $50,000 \times 10^{-6}$  程度になるまで荷重を保持できることを確認したが、今回の交番載荷試験で確認した柱の軸方向鉄筋のひずみは、最大でも  $26,000 \times 10^{-6}$  程度であったことから、この継手構造は柱部材への適用に関して十分な性能を有していると考えられる。

表-3 軸方向鉄筋の最大ひずみ

	軸方向鉄筋の最大ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	ひずみが最大となった箇所
No.1	25864	柱基部から25mm上側
No.2	23612	柱基部から50mm下側
No.3	18915	桁受け上部から25mm上側

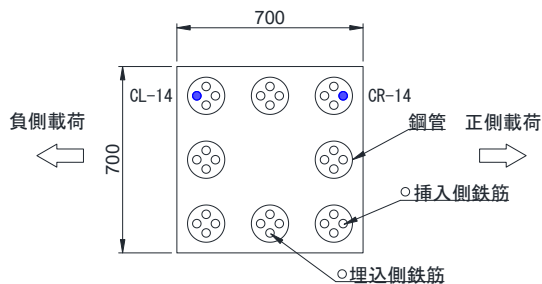


図-9 試験体 No. 1 ひずみゲージ貼付図

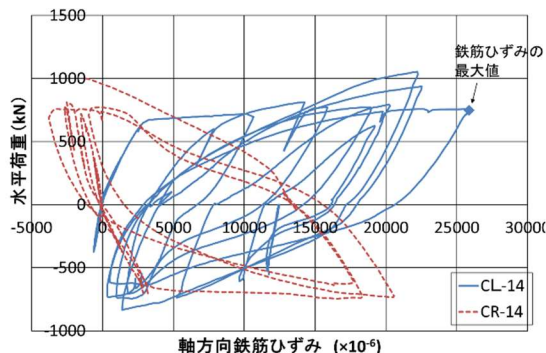


図-10 試験体 No. 1 の軸方向鉄筋ひずみ

参考文献

- 1) 安保知紀, 石橋忠良, 土井至朗, 鈴木雄太: 鋼管で拘束された重ね継手の引張性能に関する実験的研究, 土木学会第 74 回年次学術講演会, V-605, 2019.9
- 2) 鈴木雄太, 土井至朗, 田口隆治, 安保知紀: 鉄道高架橋のプレキャスト化に向けた鋼管拘束型鉄筋継手の開発, 鉄建技術報告 2019 No.33, pp.5-9, 2020.3
- 3) 石橋忠良, 菅野貴浩, 木野淳一, 小林薫, 小原和弘: 軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱の正負水平交番載荷実験, 土木学会論文集 No.795 V-68, pp.95-110, 2005.8
- 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 2004.4