

鋼管拘束型鉄筋継手を用いた RC 柱の接合工法の開発

田口 隆治*1・西村 知晃*1・土井 至朗*1
三嶋 武典*1・安保 知紀*2

概 要

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。鉄筋継手の性能には節形状が影響すると考えられることから、ねじ節鉄筋とたけ節鉄筋を用いた継手単体の試験体による引張試験を実施し、節形状の違いによる引張強度や拔出し量の違い等を確認した。さらに、実大規模の柱部材を模擬した試験体を用いた正負交番載荷試験を実施し、柱部材の変形性能や継手の損傷状況を確認し、継手を配置しない RC 柱と同等の性能を有していることを確認した。

キーワード：プレキャスト、引張強度、付着、節形状、鉄筋継手

DEVELOPMENT OF AN RC COLUMN-BONDING METHOD USING REINFORCEMENT REBAR JOINTS WHICH ARE SPLICED AND CONSTRAINED WITH STEEL PIPES

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

Abstract

To save labor when connecting precast components, we developed a method to constrain steel pipes at the joint in which the rebars are spliced together in the axial direction. Since it is thought that knot shape of a joint may affect the performance of the rebars, we conducted a tensile test for the single specimen of joint for each of the two cases –a screw type knot rebar and bamboo-knot like rebar. The test confirmed that tensile strength and amount of extraction varied depending on the shape of the knot. In an additional test, the specimen simulating a column component of actual size was loaded alternately in plus and minus directions to confirm the deformation performance of the column component and damage to the joint, and it was confirmed that the specimen has a performance equivalent to an RC column with no joint.

Keywords: precast, tensile strength, bonding, knot shape, reinforcing bar joint

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

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

鋼管拘束型鉄筋継手を用いた RC 柱の接合工法の開発

田口 隆治*1・西村 知晃*1・土井 至朗*1
三嶋 武典*1・安保 知紀*2

1. はじめに

近年、建設業界では現場の生産性向上の必要性が増しており、土木分野においてもプレキャスト工法の適用が進められている。筆者らはプレキャスト部材を接合する際の施工の省力化を目的に、新しい鉄筋継手工法を考案した。これまでに、ねじ節鉄筋を用いた継手単体の引張試験や、継手を基礎部に設けた柱部材の正負交番載荷試験を実施して、この継手の性能を確認した^{1)~3)}。このうち引張試験では、実施したすべてのケースで鉄筋は母材破断とならず、鉄筋が抜け出した。そこで本研究では、鉄筋の節形状に着目し、たけ節鉄筋を使用した継手単体の引張試験および柱部材の正負交番載荷試験を実施し、新しい知見が得られたのでここにまとめた。

2. 継手概要

筆者らが考案した継手工法の概要を図-1に示す。基礎部構築時に、あらかじめ基礎部内に定着する鉄筋および鉄筋の継手範囲を内包するように鋼管を設置しておく。柱部材を建込む直前に、中空の鋼管内に無収縮モルタルを充填し、柱部材から突出した軸方向鉄筋を上方から鋼管内に挿入しながら柱を接合する工法である。この鉄筋継手は、2本一組の鉄筋を継ぐことで鉄筋の重心と継手の重心を等しくしていることが特徴であり、定着側の鉄筋は、上方から見て挿入側の鉄筋と90度回転させた並びとなっている。部材の接合は、上述したように無収縮モルタルの充填と柱の建込みという2工程で完了するため、現場での大幅な省力化が期待できる。

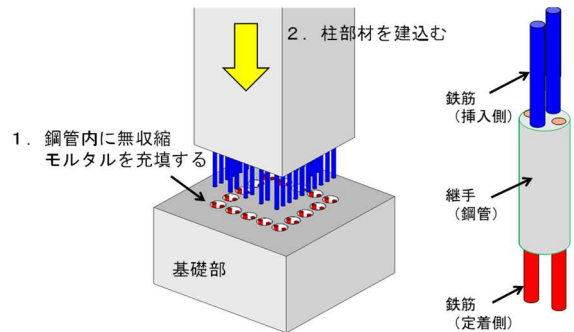


図-1 工法概要

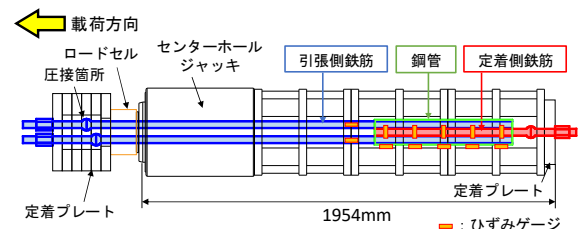


図-2 引張試験概要

3. 引張試験

3.1 試験概要

継手の引張強度および破壊性状を確認することを目的に、引張試験を実施した。引張試験の概要を図-2に示す。引張試験は、2本の鉄筋を同時に引張ることが可能な大型のセンターホールジャッキを用い、鉄筋端部は荷重プレートを介してナットで固定した。試験ケースを表-1に示す。本研究では鉄筋の節形状の違いに着目し、過去に実施した試験^{1), 2)}に、たけ節鉄筋を用いた試験体 (No. 16, No. 17) を追加した。また、過去の試験²⁾では、塑性域のひずみが正確に測れなかったことから、No.13と同じパラメータの No.13'を追加した。試験体 No.16, No.17 は、たけ節鉄筋とねじ節鉄筋を圧接し、ねじ節鉄筋部分を定着プレートにナットで固定

*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

表-1 引張試験ケース一覧

試体番号	鉄筋径Φ	節形状	鉄筋種別	鋼管長さ(Φ [*])	鋼管径(mm)	鋼管厚さ(mm)	無収縮モルタルの圧縮強度(N/mm ²)	最大応力(N/mm ²)	破壊形態						
No.1	D32	ねじ	SD390	5	114	3.5	53.7	59.1	222						
No.2				15				583							
No.3				20				602							
No.4				10	481										
No.5				10	485										
No.6				15	551										
No.7				20	577										
No.8				15	610										
No.9				20	646										
No.10				15	599										
No.11				20	639										
No.12	D35	ねじ	SD490	20	140	6.6	57.3	582	鉄筋の節が欠損						
No.13	D32							614							
No.13'	D32							52.2	721	抜け出し					
No.14	D25							114	6	656					
No.15	D19							102	4.2	57.3	694				
No.16	D32							たけ	SD490	15	140	6.6	74.9	572	破断
No.17										20			68.4	680	

*・Φ：鉄筋公称直径

した。このねじ節鉄筋は、継ぎ足したねじ節鉄筋が破断しないよう、試験対象とした母材(D32)よりも太いD35(SD490)とした。鋼管はいずれも一般構造用炭素鋼鋼管(STK400)を使用した。鋼管内に充填した無収縮モルタルはプレミックスタイプとした。主な計測項目は載荷荷重、引張側鉄筋のひずみ、鋼管の軸方向および周方向ひずみとした。

3. 2 試験結果

(1) 破壊状況

ねじ節鉄筋を使用した試験体 No.1~No.15 は、ナット定着部分の鉄筋の節が欠損した試験体 No.12 以外は、すべて鉄筋の抜出しで荷重が急激に低下した²⁾。一方、たけ節鉄筋を使用した試験体 No. 16, No. 17 は、引張側鉄筋の一本が破断したため試験を終了した。写真-1に鋼管を取り除いて確認した無収縮モルタルの損傷状況を示す。試験体 No.13'では、付着割裂によると思われる軸方向のひび割れが発生しており、他のねじ節鉄筋を用いた試験体と同様の結果²⁾であった。試験体 No.17 は、端部がコーン状に破壊しているものの、軸方向のひび割れは見られなかった。

(2) 継手の強度

継手長さを 20Φ (Φ は鉄筋公称直径) としたねじ節鉄筋 (試験体 No. 13') とたけ節鉄筋 (試

No.13'



No.17



写真-1 引張試験後の無収縮モルタル状況

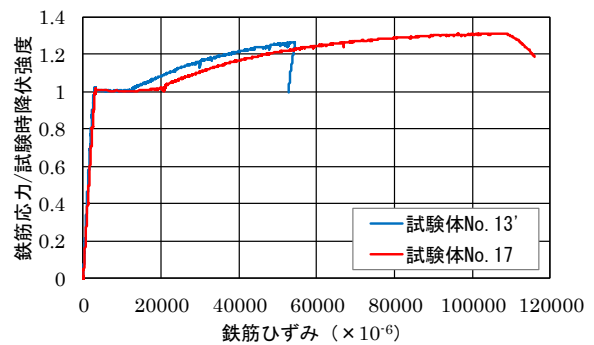


図-3 鉄筋の応力とひずみの関係

験体 No. 17) の鉄筋応力とひずみの関係を図-3に示す。鉄筋の応力は、載荷荷重を鉄筋 2 本の公称断面積で除した値とした。使用した鉄筋のロットが異なるため、縦軸は鉄筋の応力を試験時の降伏強度で除して無次元化した値とした。試験体 No. 13'では最大応力時に鉄筋が抜出したことに対して、試験体 No.17 では最大応力に達した後に荷重が低下し、ひずみが約 120,000×10⁻⁶ の時点で破断に至った。ただし、ひずみ測定位置と鉄筋破断位置が異なるため、破断時の正確な伸びは確認できていない。

継手の引張強度と継手長さの関係を図-4に示す。縦軸は最大応力を鉄筋の規格降伏強度で除した値で表している。継手長さが 5Φ の試験体 No.1 は鉄筋降伏前に鉄筋が抜け出したため、極端に低い値となっている。本試験の範囲では、鉄筋の節形状による強度への影響に大きな差がないことがわかった。また、継手長さを 10Φ 以上とすることで、継手は鉄筋の JIS 規格降伏強度の約 1.2 倍以上の強度を有することが確認できた。

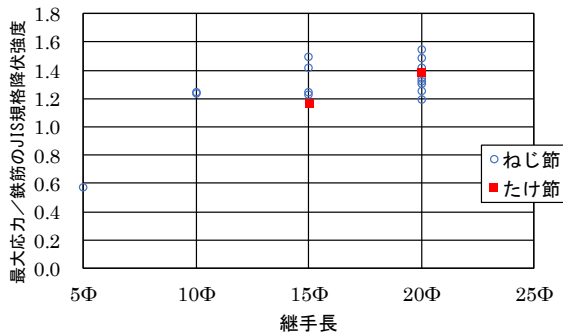


図-4 継手強度と継手長さの関係

(3) 鋼管のひずみ

継手長さを 20Φ とした時の鉄筋の応力と鋼管中央の周方向ひずみの関係を図-5に示す。鉄筋の節形状によらず、いずれも载荷開始後は圧縮ひずみが発生し、鉄筋の応力が $600 \sim 650 \text{ N/mm}^2$ 程度から引張側に転じた。また、たけ節鉄筋の場合、鋼管の周方向ひずみが 140×10^{-6} 程度となった時点で鉄筋が破断したのに対し、ねじ節鉄筋の場合は、鋼管の周方向ひずみは 600×10^{-6} 程度まで増大し、鉄筋の拔出とともにひずみが減少した。

鉄筋の各応力時における試験体 No.13' と試験体 No.17 の鋼管のひずみ分布を図-6、図-7に示す。それぞれ(a)が鋼管の周方向ひずみ、(b)が軸方向ひずみの分布を表している。図-6(a)より、鉄筋の応力が 600 N/mm^2 までは、鋼管中央付近では周方向に引張ひずみは発生しておらず、鋼管端部で引張ひずみが発生している。鉄筋の応力が 700 N/mm^2 時点では鋼管全長に渡って引張ひずみが発生し、鉄筋が抜け出す直前の 721 N/mm^2 時点では、鋼管中央部で最も大きな引張ひずみが発生していたことがわかる。これは、鉄筋が抜け出す際、鉄筋の節により無収縮モルタルが押し広げられるのを鋼管が拘束していることを示している。また、図-6(b)に示す鋼管の軸方向ひずみ分布は、鉄筋の応力が 600 N/mm^2 までは上に凸の分布形状のまま引張ひずみが増加しているが、その後 700 N/mm^2 時点ではひずみは一様に0付近となり、鉄筋が抜け出す直前の 721 N/mm^2 では鋼

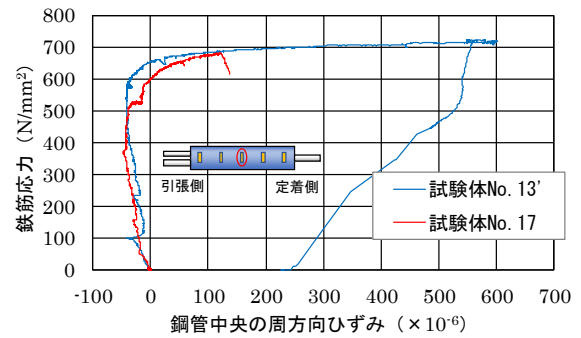
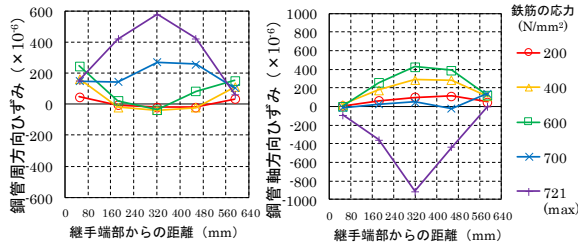


図-5 鉄筋応力と鋼管周方向ひずみの関係

管中央に大きな圧縮ひずみが発生し、下に凸の形状となった。

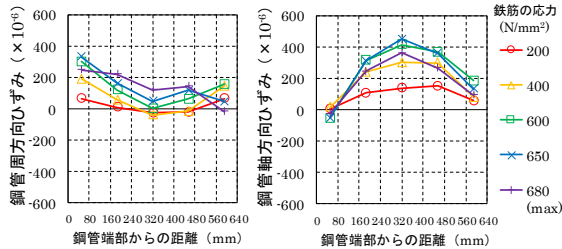
次に、試験体 No.17 では、鋼管の周方向ひずみは図-7(a)に示すように、鉄筋の応力が 600 N/mm^2 程度までは試験体 No.13' と同じような分布形状であったが、鉄筋が最大応力に達しても大きな引張ひずみは発生しなかった。また、鋼管の軸方向ひずみの分布も図-7(b)に示すようであり、鉄筋の応力が最大となる 680 N/mm^2 時点でも、上に凸の形状のままであり、図-6(b)のような圧縮ひずみは発生しなかった。

ここで、鋼管の軸方向に作用する力を図-8のように想定した。この図は鉄筋に引張力が作用した時の鉄筋の付着応力の分布と、鋼管に作用する力を示している。载荷開始直後は、状態①のように鉄筋に引張力が作用すると無収縮モルタルとの間に付着応力が発生する。この時、無収縮モルタルから鋼管には押し広げる力が作用するため、無収縮モルタルと鋼管の接触面にはある程度の摩擦力が発生する。そのため、鉄筋の引張力の一部を鋼管が負担することで鋼管の軸方向にひずみが発生する。次に、鉄筋と無収縮モルタルの付着が切れる範囲が端部から中央に向かって進展する状態②を経て、各々の鉄筋周辺の付着切れの範囲が鋼管の中央を超えると、状態③となり鋼管軸方向に圧縮力が作用すると推察した。このことから、試験体 No.17 の鉄筋の拔出は鋼管端部付近のみであったと推察できる。



(a) 周方向ひずみ (b) 軸方向ひずみ

図-6 鋼管のひずみ分布 (試験体 No. 13')



(a) 周方向ひずみ (b) 軸方向ひずみ

図-7 鋼管のひずみ分布 (試験体 No. 17)

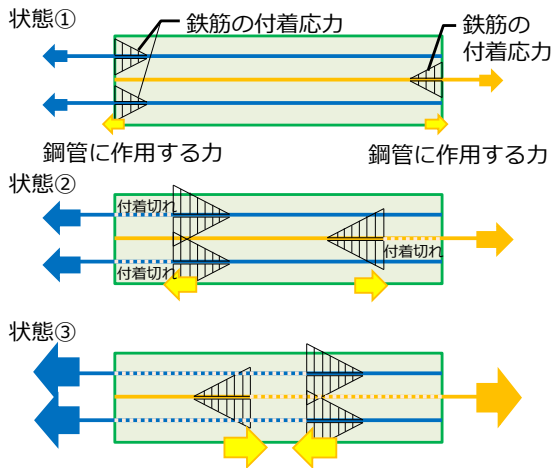


図-8 鋼管に作用する力

4. 交番荷重試験

4.1 試験体概要

基礎部に継手を配置した時の柱の変形性能を確認するために交番荷重試験を行った。試験体の概要を図-9に、試験体諸元を表-2に示す。いずれも軸方向鉄筋は、たけ節の D32 (SD490) とし、柱部材の配筋は継手の有無に関わらず同じとした。試験体 No.2 には、継手長さが 20Φ となるよう長さ 640mm の鋼管を設置した。試験体には、頭部に設置した荷重治具を介して鉛直ジャッキ、水平ジャッキを接合し、せん断スパンは曲げせん断スパン比が 4 程度となるよう

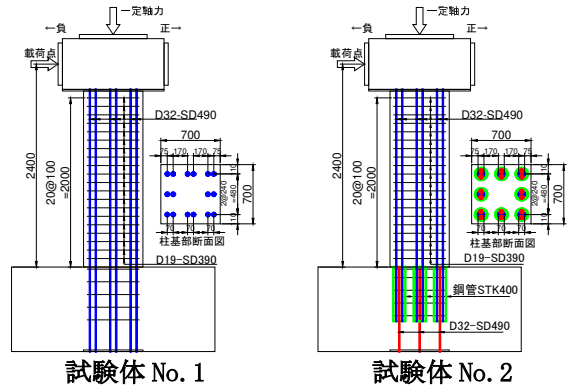


図-9 試験体概要

表-2 試験体諸元

	継手	柱断面 寸法 (mm)	せん断 スパン (mm)	柱主筋	柱帯筋
No.1	なし	700×700	2400	D32 SD490	D19 SD390 @100mm
No.2	L=640mm Φ=139.8mm				

表-3 材料強度一覧

	コンクリートの 圧縮強度 (N/mm ²)	無収縮モルタルの 圧縮強度 (N/mm ²)	柱軸方向鉄筋		柱帯鉄筋	
			降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-3}$)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ ($\times 10^{-3}$)
No.1	49.9	-	523	2721	419	2234
No.2	47.6	65.1				

に 2400mm とした。試験体 No.2 はフーチングと柱は別々に製作し、実験場内に搬入した後、フーチングに設置した鋼管内に無収縮モルタルを注入し、柱を建て込んだ。無収縮モルタルはプレミックスタイプを使用した。材料強度一覧を表-3に示す。

4.2 荷重方法

荷重は、一定軸力 (3.0N/mm²) を作用させた状態で、まず正側に水平変位を与え、最外縁の軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した後、2 段目の軸方向鉄筋が降伏ひずみに達するまで荷重を行った。続いて荷重の方向を反転させ、負側も 2 段目の軸方向鉄筋が降伏ひずみに達したのを確認して除荷した。この初回荷重時の正側、負側の最外縁および 2 段目の軸方向鉄筋の降伏変位の絶対値を平均し、 $1\delta_y$ とした。その整数倍で変位を漸増させる正負交番荷重を行い、各 δ_y の荷重は 3 回ずつ繰り返した。試験体 No.1 の $1\delta_y$ は 26.5mm であり、直接比較を行うために試験体 No.2 も同様の変形量とした。

4. 3 試験結果

(1) M-θ 関係および損傷状況

両試験体の柱基部の曲げモーメント (M) と部材角 (θ) の関係を図-10 に示す。図に記した曲げモーメントは、鉛直荷重により柱基部に作用するモーメントも付加した値とし、部材角は荷重点変位をせん断スパンで割った値とした。1δ_y の1回目のモーメントはNo.2が若干小さいものの、4δ_y まではほぼ同じ履歴を描いた。鉄筋の座屈が目視で確認され始めた 5δ_y 以降は、繰返し回数が増えるにつれてモーメントの減少傾向が大きくなった。

正側荷重および負側荷重ともに 2δ_y の1回目で圧縮側コンクリート基部に損傷が見られ、正側荷重では 3δ_y の1回目の荷重で最大曲げモーメント (2196kN・m) となり、負側荷重では -2δ_y の1回目付近で最大曲げモーメント (2276kN・m) となった。正側、負側ともに 4δ_y までは、最大曲げモーメントをほぼ維持しており、5δ_y の荷重で軸方向鉄筋の座屈が目視で確認でき、2回目から3回目の荷重でも荷重の低下がみられた。6δ_y の1回目の荷重で柱基部コンクリートの損傷範囲が広がり荷重の低下が顕著となった。負側-6δ_y の3回目の荷重中に引張側の軸方向鉄筋が破断したため、荷重終了とした。

試験体 No.2 の損傷の進行は試験体 No.1 とほぼ同様であり、4δ_y までは正負ともに最大曲げモーメントを維持していた。正側荷重では 2δ_y の1回目の荷重で最大曲げモーメント (2189 kN・m) となり、負側荷重では -4δ_y の1回目で最大曲げモーメント (2278kN・m) となった。試験体 No.1 と同様に、6δ_y の荷重で荷重が大きく低下し、軸方向鉄筋が破断したため試験を終了した。破断箇所は両試験体とも基部から 150 mm 前後の箇所であり、軸方向鉄筋の座屈範囲は柱基部から 0.5D 程度であった。

試験体 No. 1, No. 2 の損傷状況を写真-2, 写真-3 に示す。写真はそれぞれ、最大曲げモーメントを維持している 4δ_y の1回目の状況と荷重が落ち始めた +5δ_y の2回目の状況である。

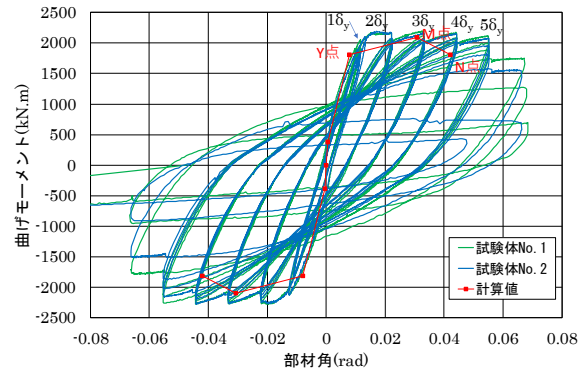
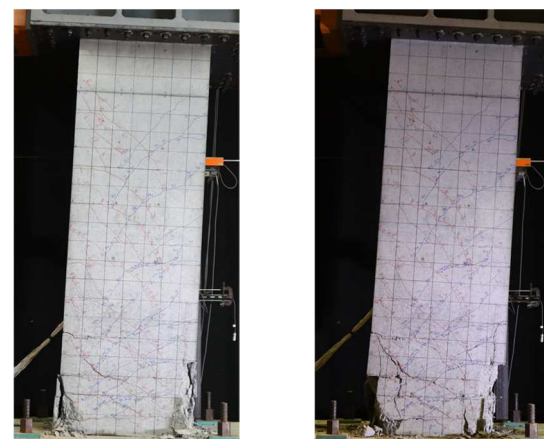


図-10 M-θ 関係



4 δ_y の1回目 5 δ_y の2回目
写真-2 試験体 No. 1 の損傷状況



4 δ_y の1回目 5 δ_y の2回目
写真-3 試験体 No. 2 の損傷状況

両試験体とも、4δ_y までに柱基部のコンクリートに損傷は見られるものの鉄筋は露出しておらず、5δ_y から鉄筋の座屈やかぶりコンクリートの剥落が顕著になった。

(2) 計算値との比較

図-10 には「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」⁴⁾ (以下、鉄道標準) に

従って算出した試験体 No.1 の M-θ 関係を併せて記した。ここで、柱軸方向鉄筋が 2 段に配置されているため、引張鉄筋は 2 段鉄筋の重心位置として算定した。さらに、軸方向鉄筋の抜出し量を算定するのに用いる鉄筋間隔の影響を表す α は、「橋梁および高架橋耐震照査の手引き」⁵⁾に従い 2 段配筋の引張鉄筋の中心間隔と段間隔を用いて算出した。図中の Y 点は軸方向鉄筋が降伏した点、M 点は最大荷重を保持できる最大変位の点、N 点は引張鉄筋が降伏する時の曲げモーメントを維持できる最大変位の点を表す。図に示すように、試験値は計算値を概ね内包する結果となった。

(3) 鉄筋の抜出し

柱基部の軸方向鉄筋の抜出し量を表-4 に示す。鉄筋の抜出し量は、略図に示したように柱基部における中心と端部の目開きの計測値 (VC, VL) の関係から求めた。なお、 $4\delta_y$ 以降は柱基部の損傷が大きくなったため、計測不能となった。試験体 No.1 に比べ試験体 No.2 の鉄筋の抜出し量が僅かに大きく、その差は $+1\delta_y$ で 0.7mm、 $+3\delta_y$ で 1.0mm であった。この差は継手による影響と考えられ、その影響は、試験体 No.1 に対する試験体 No.2 の同一変位に対する曲げモーメントの比率が、 $+1\delta_y$ で 95%、 $+3\delta_y$ で 98%と、若干低くなる結果として現れたと考えられる。

(4) 継手の状態

試験終了後にフーチングから取り出した継手内部の無収縮モルタルの損傷状況を写真-4 に示す。写真-1 (試験体 No.13') に示したような、鉄筋に沿った付着割裂によるひび割れは発生していなかった。

次に、鋼管の周方向ひずみと荷重の関係の一例を図-11 に示す。図に示した継手は、正側載荷時に軸方向鉄筋が引張となる継手である。図に示すとおり、軸方向鉄筋引張時には鋼管周方向に圧縮ひずみが発生し、軸方向鉄筋圧縮時には鋼管周方向に引張ひずみが発生した。鋼管周方向の圧縮ひずみは AL-2 で最も大きな値とな

表-4 軸方向鉄筋の抜出し量

	軸方向鉄筋位置での抜出し量 (mm)	
	No.1	No.2
+1 δ_y -1	1.42	2.09
+2 δ_y -1	3.76	4.85
+3 δ_y -1	6.57	7.52

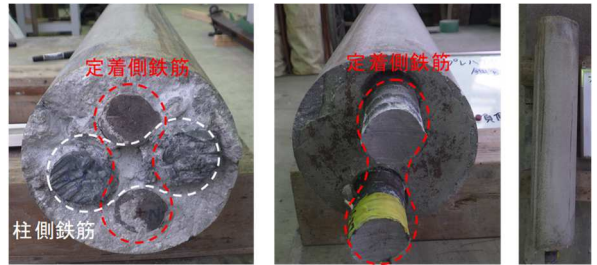
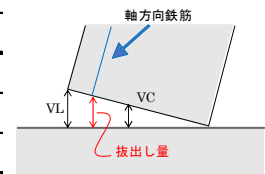


写真-4 試験後の継手の状況

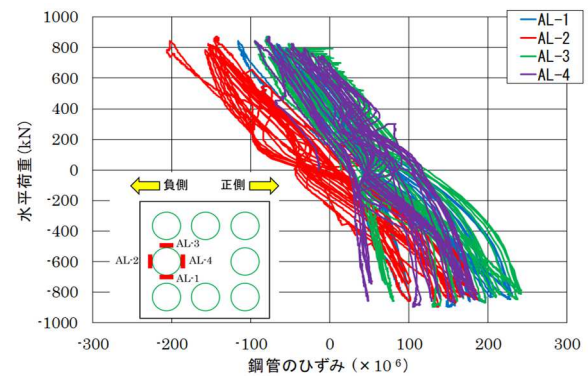


図-11 荷重と鋼管の周方向ひずみの関係

っている。これは AL-2 が引張側最外縁に位置し、曲げの影響も受けることから、鋼管軸方向に発生した引張ひずみが大きかったためと思われる。また軸方向鉄筋引張時、鋼管周方向には図-5 の試験体 No.13'に見られるような大きな引張ひずみは発生しておらず、鉄筋の抜け出しは小さかったと考えられる。

(5) 軸方向鉄筋のひずみ

荷重と柱基部最外縁の軸方向鉄筋のひずみの関係を図-12 に示す。図中の実線は正側載荷時に引張が発生する鉄筋のひずみであり、破線は負側載荷時に引張が発生する鉄筋のひずみである。載荷途中でひずみの計測が不能となり、試験体 No. 1 は $+5\delta_y$ の 1 回目、試験体 No. 2 は $+4\delta_y$ の 1 回目に向かう途中までの結果を示している。この範囲では軸方向鉄筋のひずみは最大

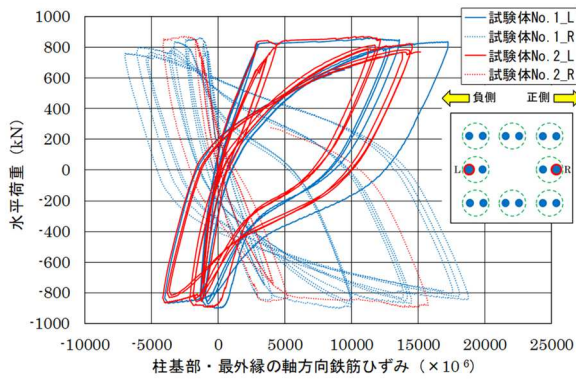


図-12 荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係

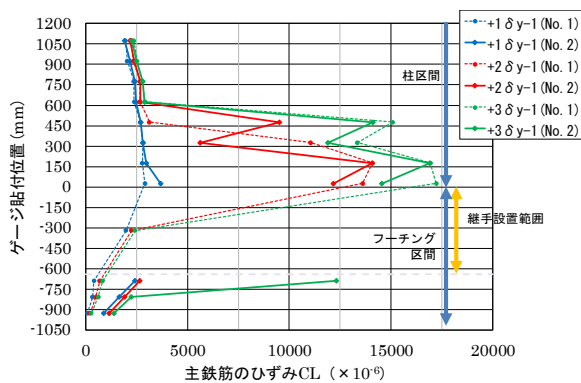


図-13 軸方向鉄筋のひずみ分布

で $20,000 \times 10^{-6}$ 以下であり、鉄筋が破断するような大きなひずみは発生していない。

最外縁の軸方向鉄筋のひずみ分布を図-13に示す。試験体 No.2 の継手内の鉄筋ひずみは測定していないため、継手設置範囲のグラフは省略している。正側の $1\delta_y$ から $3\delta_y$ のそれぞれ1回目の载荷時のひずみを示した。試験体 No.1 と No.2 の柱区間のひずみはほぼ同様の分布を示しており、このことから柱部材の躯体変形は同等であったと考えられる。

一方、フーチング(高さ 1000mm)内は、試験体 No.2 では継手内の鉄筋にひずみゲージを貼り付けると、鉄筋の付着性状に影響を与えると考えたため、この区間に該当するひずみゲージは貼り付けていないが、両試験体で同じ高さに貼り付けたひずみゲージの値で比較すると、試験体 No.2 は No.1 よりも大きな値となり、継手直下では $2\delta_y$ の2回目の载荷時に降伏ひずみを超えた。このように、継手下部からの鉄筋の拔出しや伸びが認められることから、基礎部に

継手を配置することで、鉄筋の伸出しによる柱基部の回転量は大きくなると考えられ、今回の試験の範囲においては、表-4のように目開き量に差が生じていると思われる。

5. まとめ

鋼管拘束型鉄筋継手に用いる鉄筋の節形状をたけ節とした場合、以下のことが確認できた。

- (1) 継手単体の引張試験では、継手長さを 15Φ 以上とし、D32 のたけ節鉄筋を使用することで母材が破断した。
- (2) 基礎部に継手を設けた柱の交番载荷試験では、継手を有しない柱と同等の曲げ耐力や変形性能を有しており、鉄道標準で計算される $M-\theta$ 関係を用いて安全側に評価できる。
- (3) 継手からの鉄筋の拔出し量を詳細に算定することで、より正確な変形性能を算出することが可能である。

参考文献

- 1) 安保知紀, 土井至朗, 鈴木雄太, 石橋忠良: 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, Vol.74, V-605, 2019.9
- 2) 土井至朗, 石橋忠良, 松岡茂, 安保知紀: プレキャスト柱部材の接合部に用いる鋼管拘束型継手の性能評価, コンクリート工学年次論文集vol.42, No.2, pp.523-528, 2020.7
- 3) 土井至朗, 安保知紀, 三嶋武典: 鋼管で拘束された重ね継手の引張性能に関する研究, 土木学会第75回年次学術講演会, Vol.75, V-618, 2020.9
- 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
- 5) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 [耐震設計] (平成24年版) 橋梁および高架橋耐震照査の手引き, 2017.3