

丸鋼をおねじ加工継手により接合した部材の 曲げ耐荷性状

小原 孝之^{*1}・野間 康隆^{*1}・水上 博之^{*2}・田中 篤史^{*3}・新井 泰^{*3}

軸方向鉄筋に丸鋼が用いられている鉄筋コンクリート地下構造物のリニューアル工事では、その丸鋼を
研り出し、新設異形鉄筋と圧接する継手接合が行われているが、施工が煩雑であることなどが課題となっ
ている。著者らは、現場において電動工具で丸鋼をおねじ加工する鉄筋継手を開発した。この工法には、
現場の施工を合理化し、工期短縮を実現するだけでなく、コンクリート研り工を削減し、環境上の問題を
低減する効果もある。本報では、既設丸鋼をおねじ加工し、新設異形鉄筋と継手接続した部材の曲げ耐荷
性状を明らかにすることを目的として実施した梁曲げ載荷実験とその結果について述べる。

キーワード：部材接合、丸鋼、継手、ねじ加工、曲げ耐荷性状

1. はじめに

1970年代までに築造された地下構造物には、軸方向鉄筋に丸鋼を用いた鉄筋コンクリート構造物が存在する。このような地下構造物を改良して機能向上を図る場合、図-1に示すように、既設構造物の部材に、新たに築造する構造物の部材を接合（以下、新旧部材接合）する。その際に、既設構造物の丸鋼（以下、既設丸鋼）を研り出し、新たに築造する構造物の異形鉄筋（新設鉄筋）を圧接、重ね継手、またはあき重ね継手とする必要がある。

しかし、現場におけるコンクリートの研り作業は、施工上、環境上の問題を含むことが多く、一方、規格が異なる鉄筋同士の圧接は、強度特性上、認められない場合

もあるなど課題も多い。また、既設構造物の改良工事は通常、供用しながら行われるため、施工時間は営業時間外である夜間の数時間しか確保できないといった実情もあり、これらの課題を解決に導く工程短縮やそれを可能にする合理的な施工技術の開発が求められている。なお、このような既設・新設部材の接合を設定する部位は、構造性能の健全性を確保する意味でも、設計段階において発生曲げモーメントが小さくなる箇所を選ぶようにすることが多い。そのため、接合部に求める性能は、設計上求められる耐力に応じて合理的に選択できるようにすることが望ましい。

以上を背景に、著者らは、現場における急速施工が可能な丸鋼と異形鉄筋の継手構造を提案してきた¹⁻³⁾。本報では、同継手構造を適用した新旧接合部材の曲げ載荷実験を行って、同部材の曲げ耐荷性状を明らかにする。

2. 既設丸鋼をおねじ加工した継手の概要¹⁻³⁾

既設丸鋼をおねじ加工した継手（以下、開発鉄筋継手）による既設・新設部材接合の概念を図-2に、おねじ加工した外観の例を写真-1に示す。切断した既設部材の端部から既設丸鋼の一部をコンクリートから研り出し、その端部から電動工具により加工しておねじを形成する。新設する部材に配置する異形鉄筋にも同様におねじ加工を施し、既設丸鋼と新設異形鉄筋を高ナットで接続して、新旧部材の軸方向鉄筋を接合する¹⁾。これらの過程は市販の電動工具とねじ切削工具を用いて実施でき、特殊な機械や工具は不要である。さらに、一般に圧接や溶接を行う場合の研り深さは数十センチ必要だが、本継

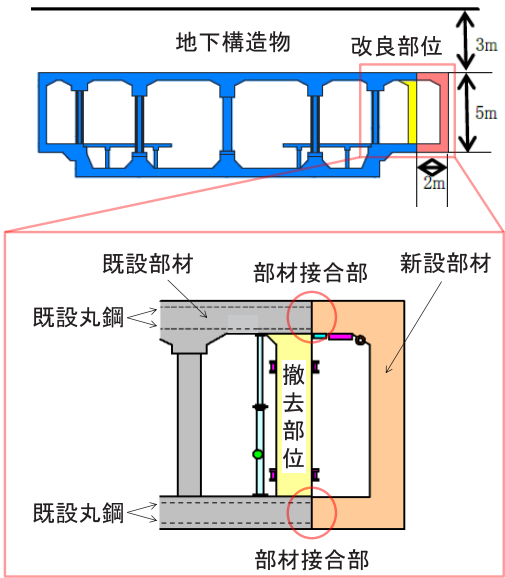
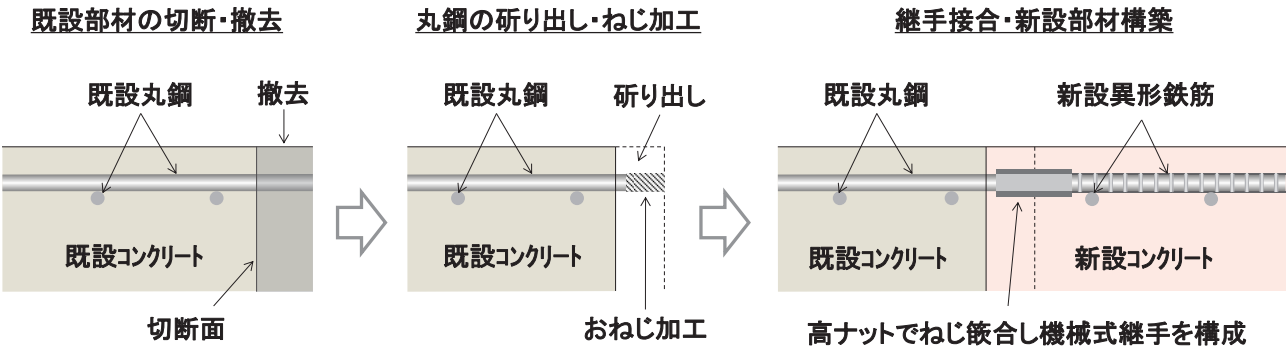


図-1 地下構造物の改良に伴う部材接合

*1 構造・材料研究部 *2 メトロ開発株式会社（現 水上技術士事務所） *3 メトロ開発株式会社



図－2 既設丸鋼をおねじ加工した継手による既設・新設部材接合の概念

表－1 ねじ継手の引張試験諸元と試験結果²⁾

丸鋼の諸元				加工おねじの諸元			ねじ継手の引張試験結果		
径 ϕ (mm)	断面積 A_{s1} (mm ²)	①降伏強度 f_y ②引張強度 f_u (N/mm ²)	①降伏荷重 N_y ②引張荷重 N_u (kN)	呼び径 D (mm)	有効断面積 A_{s2} (mm ²)	断面欠損率 A_{s2}/A_{s1}	加工おねじ 嵌合長さ (mm)	引張破断荷重 N_{exp} (kN)	
								平均	
16	201	① 332 ② 447	① 66.7 ② 89.9	M16	157	78.1%	31 (1.94×D)	75.6	76.6 (N_{exp}/N_y 1.15) (N_{exp}/N_u 0.85)
							30 (1.88×D)	78.8	
							29 (1.81×D)	75.3	
19	284	① 319 ② 450	① 90.5 ② 127.8	M20	245	86.3%	35 (1.75×D)	115.7	115.7 (N_{exp}/N_y 1.28) (N_{exp}/N_u 0.91)
							33 (1.65×D)	116.7	
							28 (1.40×D)	114.7	
25	491	① 313 ② 448	① 153.8 ② 220.1	M24	353	71.9%	36 (1.50×D)	186.0	184.0 (N_{exp}/N_y 1.20) (N_{exp}/N_u 0.84)
							27 (1.13×D)	182.1	



写真－1 丸鋼をおねじ加工した外観

手工法であれば10～20センチ程度に低減でき、現場における研り作業を合理化できる。

著者らは、加工おねじの加工精度と加工したおねじによる継手の強度特性に関する実験を行った。初めに、電

動工具を用いて丸鋼をおねじ加工する加工実験^{1,3)}を行った。その結果、加工おねじの先端側と末端側の最端部に近い位置では加工精度が不十分な不完全ねじ部が生じたが、その位置から離れるほど加工精度は改善し、最終的なねじ山高はJIS規格値におけるひっかかりの高さの7割程度以上の値が得られた。おねじ加工部のせん断強度実験結果からは、不完全ねじ部となった加工先端部と末端部の一部領域を除く、安定した加工を行えた領域においては、ねじ山のせん断強度は丸鋼母材のせん断降伏強度程度以上の強度が得られた³⁾。次に、表－1に示すような加工ねじ部の端部より材質SS400の高ナットを継手として嵌合させて引張試験を行ったが、嵌合長さがあるにもかかわらず、加工ねじ部における母材破断に至らしめることができた。破断後のねじには加工ねじ山の損傷は見受けられず、破断時の最大荷重(N_{exp})は丸鋼母材の降伏耐力(N_y)を上回り、 N_{exp} を丸鋼母材の降伏荷重で除して得た比 N_{exp}/N_y の値は1.15～1.28であり、いずれも丸鋼の母材の降伏荷重を上回った²⁾。以上より、電動工具で既設丸鋼をおねじ加工し、高ナットで接合する継手の適用可能性を見出すことができた。

3. 実験概要

3.1 検討概要

おねじ加工鉄筋継手を軸方向鉄筋の継手に適用した部材の耐荷性能を実証するため、既設、新設各床版を梁に見立て、各々作り分けた既設・新設接合梁試験体を製作し、曲げ載荷実験を行った。一般に、この種の部材では曲げ破壊が支配的であり、せん断破壊が先行するような仕様は稀であるため、部材の性能としては曲げ耐荷性状に着目し、曲げ載荷実験を行った。具体的には、軸方向鉄筋径の異なる2体の梁試験体を作製し、2点集中載荷により曲げモーメントを作用させて曲げ破壊に至らしめ、耐荷力と破壊性状について検討した。

また、当該載荷試験を終了した接合梁試験体のコンクリートを研り、全鉄筋継手を摘出して、各継手の損傷観察を行うとともに、これらを引張試験に供して鉄筋継手としての残存耐力について検討した。

3.2 試験体

(1) 試験体の構造仕様

既設・新設接合梁試験体（以下、梁試験体）の形状寸法を図-3に示す。試験体は、梁の中央より左側を既設側とし、右側を新設側とした。梁試験体を製作する際に既設側（図-3左側）を先に製作し、実際の施工と同様に新設側に接する既設側の端部で丸鋼を研り出しておねじ加工し、高ナットで既設丸鋼と端部をねじ加工した新設異形鉄筋と接続した。その後、新設側（図-3右側）を製作して、新旧部材接合部材を模擬した。梁の部材高さは、一般的な地下鉄駅舎の部材厚に相当する600mmとした。梁両端部には支点を設け、等曲げ区間として中央部に断面高さの3.3倍に相当する2mの間隔を空けて載荷点を設けて2点集中載荷とした。せん断スパンは断面高さの3倍に相当する1.8mと十分長くして、曲げ破壊を先行させた。左右両端の軸方向鉄筋の定着部には厚さ6mmの端板鋼板を配置して、軸方向鉄筋を端板鋼板に溶接することにより十分な定着耐力を確保した。

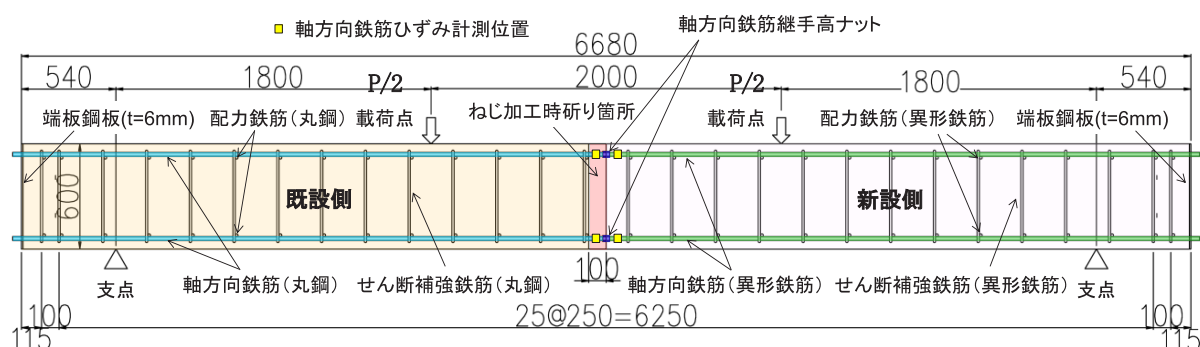


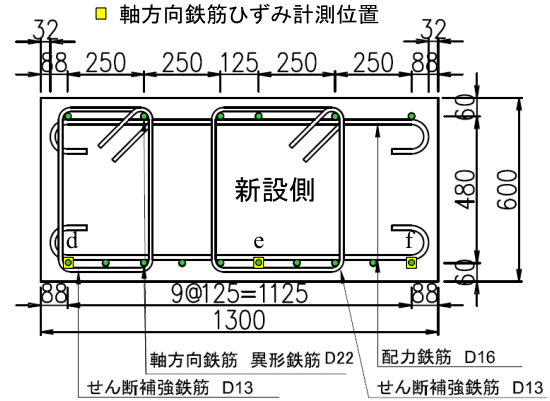
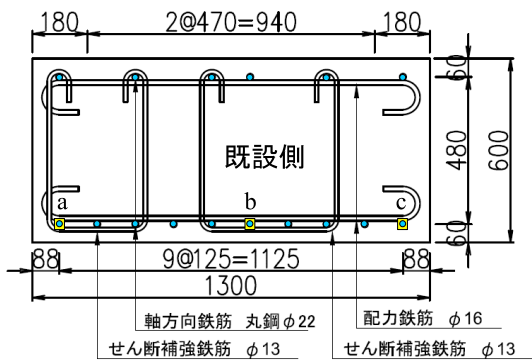
図-3 試験体の概要（側面図）

表-2 試験体の配筋仕様の一覧

No.	軸方向鉄筋		配力鉄筋・せん断補強筋	
1	既設側	丸鋼 SR235 $f_y=311\text{N/mm}^2$, $f_u=459\text{N/mm}^2$ 上端筋 $\Phi 22 \times 6$ 本, 下端筋 $\Phi 22 \times 10$ 本 ねじ加工継手 M22	既設側	配力鉄筋 : SR235 $\Phi 16 @ 250\text{mm}$ $f_y=325\text{N/mm}^2$, $f_u=462\text{N/mm}^2$ せん断補強鉄筋 : SR235 $\Phi 13 @ 250\text{mm}$ $f_y=331\text{N/mm}^2$, $f_u=461\text{N/mm}^2$
	新設側	異形鉄筋 SD345 $f_y=385\text{N/mm}^2$, $f_u=556\text{N/mm}^2$ 上端筋 D22 $\times 6$ 本, 下端筋 D22 $\times 10$ 本 ねじ加工継手 M22	新設側	配力鉄筋 : SD345 D16 $@ 250\text{mm}$ $f_y=364\text{N/mm}^2$, $f_u=560\text{N/mm}^2$ せん断補強鉄筋 : SD345 D13 $@ 250\text{mm}$ $f_y=390\text{N/mm}^2$, $f_u=576\text{N/mm}^2$
2	既設側	丸鋼 SR235 $f_y=322\text{N/mm}^2$, $f_u=458\text{N/mm}^2$ 上端筋 $\Phi 19 \times 6$ 本, 下端筋 $\Phi 19 \times 10$ 本 ねじ加工継手 M20	同上	
	新設側	異形鉄筋 SD345 $f_y=390\text{N/mm}^2$, $f_u=576\text{N/mm}^2$ 上端筋 D19 $\times 6$ 本, 下端筋 D19 $\times 10$ 本 ねじ加工継手 M20		

※ f_y : 降伏強度, f_u : 引張強度

No.1(丸鋼Φ22→M22,異形鉄筋D22)



No.2(丸鋼Φ19→M20,異形鉄筋D19)

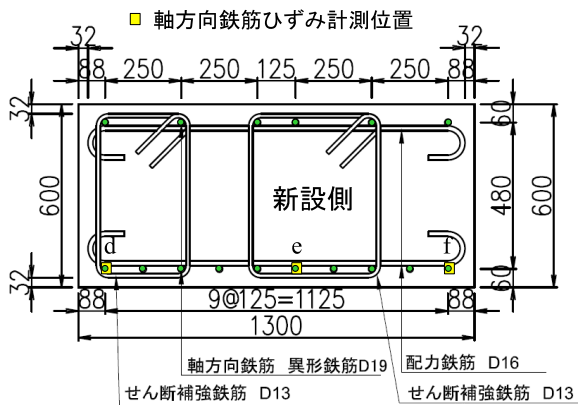
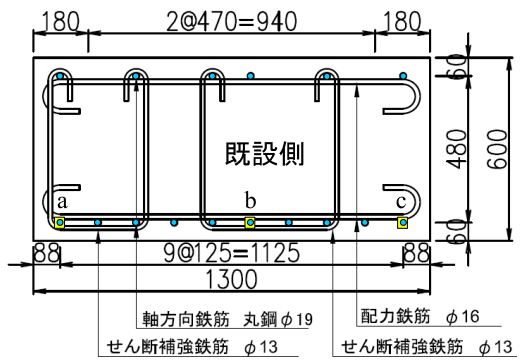


図-4 試験体の断面寸法(断面図)

梁試験体の鉄筋には既設側には丸鋼を用い、新設側には异形鉄筋を用いた。試験体に用いた鉄筋の配筋仕様を表-2に示す。丸鋼の材質はSR235とし、异形鉄筋の材質はSD345とした。軸方向鉄筋の既設丸鋼(以下、既設丸鋼)の径は、試験体No.1はΦ22とし、試験体No.2はΦ19とした。新設鉄筋は既設丸鋼とほぼ等価な断面積を持つ径の异形鉄筋とし、それぞれD22とD19とした。

図-4に試験体の断面寸法を示す。試験体の断面幅は1300mmとし、引張側となる軸方向鉄筋の下端筋は断面内に125mm間隔で10本配置した。また、圧縮側となる上端筋は下端筋の6割の6本を配置した。せん断補強筋及び配力鉄筋の仕様は試験体No.1とNo.2で共通とし、配力鉄筋には、既設丸鋼はΦ16、新設鉄筋はD16を用い、せん断補強鉄筋には、既設丸鋼はΦ13、新設鉄筋はD13を用いた。配力鉄筋とせん断補強鉄筋は梁軸方向に250mmで配筋した。

(2) 既設・新設接合部の施工

試験体の既設・新設接合部において既設丸鋼と新設鉄筋を継手接続した状況を写真-2に示す。既設側の中央位置で電動プレーカーを用いてコンクリートから丸鋼を研り出す際のコンクリートの研り深さは100mmとし、既設丸鋼のおねじ加工の長さは60mm以上とした。さらに、

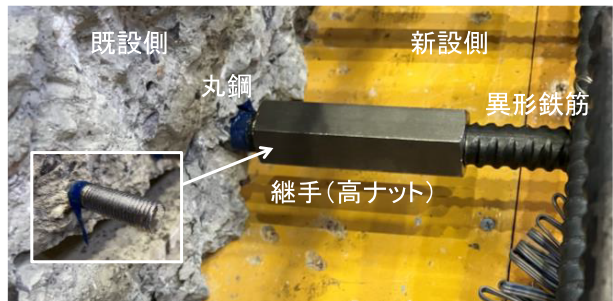


写真-2 新旧部材接合部の軸方向鉄筋継手の外観

継手の高ナットの長さは100mmとし、おねじ加工部の長さ50mmの既設丸鋼を銲合させた。一方の新設鉄筋側においても同様に、工場でおねじ加工したおねじ長さ50mmの新設鉄筋端部と銲合させた。

3.3 梁部材曲げ載荷実験

梁試験体曲げ載荷実験の実施状況を写真-3に示す。

載荷実験では、2箇所の載荷点に各々最大容量1,000kNの油圧ジャッキ2台を用意し、集中荷重を与えることとしたが、既設側と新設側で配筋仕様が異なり、特に軸方向鉄筋降伏以降の載荷に伴う梁試験体の変形が、既設側と新設側で大きく異なることが予想された。この場合、既設側の載荷重と新設側の載荷重が各々異なってしまうが、それを回避するため、2台のジャッキの油圧系統は



写真－３ 曲げ載荷実験の実施状況

それぞれ独立とした。また載荷は、両者の差異を極力小さくするために各載荷点にロードセルを個別に配置し、各載荷点の荷重が等価になるように調整しながら行った。

ここで、本梁試験体において実際は当該試験体の自重によるモーメントが発生する。この自重による作用も梁試験体の耐力として考慮すべきであると考え、梁試験体の自重を梁試験体軸方向の単位長さ重量 19.1 kN/m と想定し、自重による支点反力と等曲げ区間に作用するモーメント ($M=72.1\text{ kN}\cdot\text{m}$) を算出した後に、等曲げ区間にこれと等価なモーメントを発生させる換算荷重 ($P=80.0\text{ kN}$) を載荷荷重とした。また本実験においては、ジャッキによる集中荷重を作用させる前に、自重による換算荷重 $P=80.0\text{ kN}$ が作用しているものとして、荷重の初期値に加えたが、載荷梁やジャッキは載荷フレーム側に固定されているため、これらの重量は作用荷重から除外した。

3.4 継手残存耐力評価実験

おねじ加工鉄筋継手が梁部材の終局にどのように影響したかを明らかにするために、まず、曲げ載荷実験終了後に２種類のコンクリートを研り、上端筋６本と下端筋１０本の全鉄筋を各々摘出し、外観損傷を観察した。次に、摘出した鉄筋継手を引張試験に供して、鉄筋継手の残存耐力を計測し、そのばらつきの程度を統計的に分析した。

4. 実験結果

4.1 梁部材曲げ載荷実験の結果

(1) 荷重と等曲げ区間中央位置の鉛直変位の関係

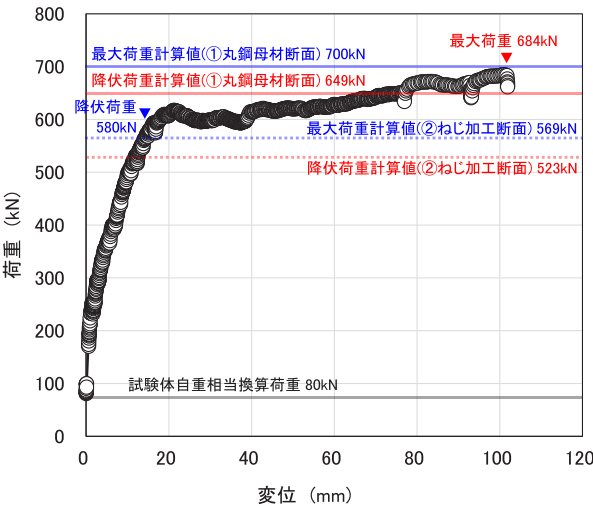
荷重と等曲げ区間中央位置の鉛直変位の関係を、試験体 No.1 の結果を図－５に、試験体 No.2 の結果を図－６に示す。ここで、鉛直変位は支点と梁の中央位置で反力床からの絶対変位を計測した。計測した中央位置の鉛直方向の絶対変位から支点の鉛直方向の絶対変位を差し引いて中央位置の鉛直変位とした。

No.1, No.2 とも、梁試験体中央の打ち継ぎ目の位置において最初のひび割れが観察され、その後、荷重の増大とともに変位が増大している。No.1 においては、荷重が 600 kN を超えたあたりから変位が増大し、荷重－変位関係における勾配が大きく変化している。その後、変位が増大しても荷重を維持し続けて大変形し、変位は 100 mm を超えた。最終的には、部材の終局に至る前に支点装置の変位限界に至って載荷を終了している。すなわち、試験体 No.1 に関しては終局荷重が得られていない。

一方、試験体 No.2 においては、 P が 530 kN を超えたあたりから変位が増大し、荷重－変位関係における勾配が大きく変化している。さらに荷重を加えるとさらに変位は増大し、最終的には変位 100 mm を超えたあたりで、等曲げ区間内の圧縮側コンクリートの一部が圧壊して荷重が低下し、終局に至っている。

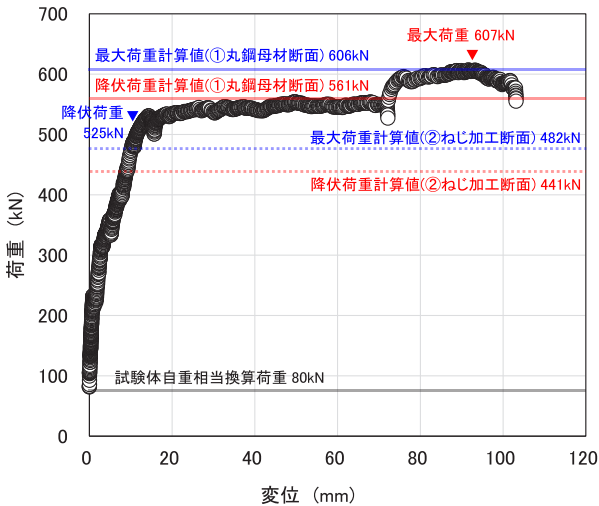
(2) 耐荷力

表－3に実験結果の一覧を示す。実験結果におけるひび割れ発生荷重は、载荷中のひび割れ観察時に目視でひび割れを発見した時の荷重である。降伏荷重は、既設丸鋼に添付したひずみゲージの値が、その降伏ひずみに達した時の荷重である。最大荷重は、実験で得られた最大の荷重である。また、ひび割れ発生、降伏、最大のモーメントは、それらの荷重より等曲げ区間に作用するモーメントを各々算出して求めている。



図－5 荷重と載荷点変位の関係 (No. 1)

一方、試験体の耐荷力を 2022 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕⁴⁾(以下、JSCE 示方書)に規定されている鉄筋コンクリートの曲げ耐力算定手法を用いて求めており、その計算では、既設丸鋼の断面積として、丸鋼母材の断面積 (No. 1・Φ 22-380mm², No. 2・Φ 19-314mm²) を用いた計算①と、おねじ加工部のねじの有効断面積 (No. 1・Φ 22-303mm², No. 2・Φ 19-245mm²) を用いた計算②の 2 通りを実施した。それらの計算結果を表－3 に①、②として各々示す。最大荷重については、



図－6 荷重と載荷点変位の関係 (No. 2)

表－3 耐荷力の一覧

No.	軸方向鉄筋		配力鉄筋・せん断補強筋		耐荷力				
					耐力種別	モーメント M(kN・m)		荷重 P(kN)	
						実験値※1,3	計算値※2	実験値※1,3	計算値※2
1	既設側	材質 SR235 上 Φ22×6 本 下 Φ22×10 本 ねじ加工継手 M22	既設側 配力鉄筋： SR235Φ16@250mm せん断補強筋： SR235 Φ13@250mm	ひび割れ発生	228 (1.04)	219	253 (1.04)	243	
				軸方向鉄筋 (丸鋼)降伏	522 (①0.89) (②1.11)	①584 ②471	580 (①0.89) (②1.11)	①649 ②523	
	新設側	材質 SD345 上 D22×6 本 下 D22×10 本 ねじ加工継手 M22	新設側 配力鉄筋： SD345 D16@250mm せん断補強筋： SD345 D13@250mm	最大※3	616※4 (①0.98) (②1.20)	①630 ②512	684※3 (①0.98) (②1.20)	①700 ②569	
2	既設側	材質 SR235 上 Φ19×6 本 下 Φ19×10 本 ねじ加工継手 M20	同上	ひび割れ発生	207 (0.96)	215	230 (0.96)	238	
				軸方向鉄筋 (丸鋼)降伏	473 (①0.94) (②1.19)	①505 ②397	525 (①0.94) (②1.19)	①561 ②441	
	新設側	材質 SD345 上 D19×6 本 下 D19×10 本 ねじ加工継手 M20		最大	546 (①1.00) (②1.26)	①546 ②434	607 (①1.00) (②1.26)	①606 ②482	

※ 1 耐力には、自重に相当するモーメント (72.1kN・m) 及び荷重 (80.0kN) を加算した。
※ 2 丸鋼母材の断面積を考慮した計算①とおねじ加工後のねじの有効断面積を考慮した計算②を実施した。
※ 3 () 内の値は実験値と計算①及び計算②による計算値との比率 (実験値/計算値) である。
※ 4 No. 1 は終局に至る前に支点装置の変位限界に至って载荷を終了したため、実験で記録した最大荷重を記載した。

No. 1, No. 2 とも、丸鋼母材の断面積を用いた計算①の結果に良く対応している。また、実験値を計算①の計算値で除した比の値は No. 1 が 0.98 で、No. 2 が 1.00 となっており、おねじ加工鉄筋継手を有する新旧部材接合部は、軸方向鉄筋の断面積に丸鋼母材の断面積を考慮して鉄筋コンクリートの耐力算定理論により算出した最大耐力と同等であったということが出来る。このことから、既設丸鋼を開発継手で接合した既設・新設接合部は、一般的な鉄筋コンクリート部材と同等の曲げ最大耐力を保有しているものと考えられる。

実現場においては、既設・新設接合を行う個所は、構造系の健全性を確保する意味でも、設計段階において発生曲げモーメントが小さくなる箇所を選ぶようにすることが鉄則で、既設・新設接合部に要求する耐力は小さい値に制限される。したがって、鉄筋コンクリート部材と同等程度の耐力を有する本開発継手による新旧部材接合部は、設計実務上は十分な耐荷性能を有していると言えるものと考えられる。

(2) ひび割れ性状

図-7に実験終了後のひび割れ発生状況を記録したひび割れ図を示す。既設側と新設側で比較すると試験体 No. 1 ではほぼ同等の本数のひび割れが観察されたが、試験体 No. 2 においては既設側のひび割れ本数が新設側に比較して少なかった。これは、丸鋼が異形鉄筋に比較して付着性能が劣ることを示しているものと考えられる。実験終了後の等曲げ区間の外観を写真4～6に示す。これによると、ひび割れの開口が打ち継ぎ位置と打ち継ぎ位置から50～60cm左側の位置の2か所のひび割れに集

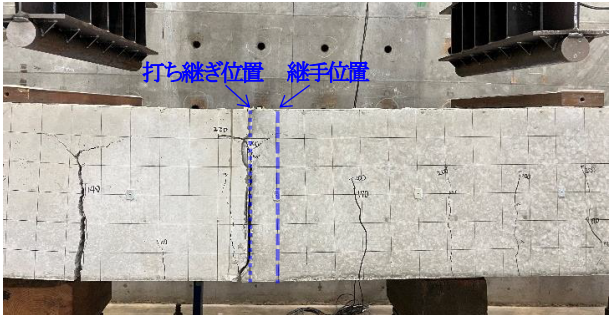


写真-4 実験後のひび割れ状況 No. 1

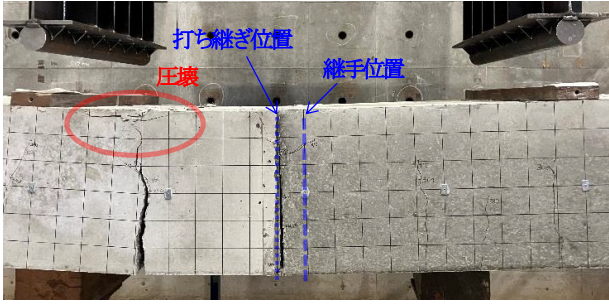
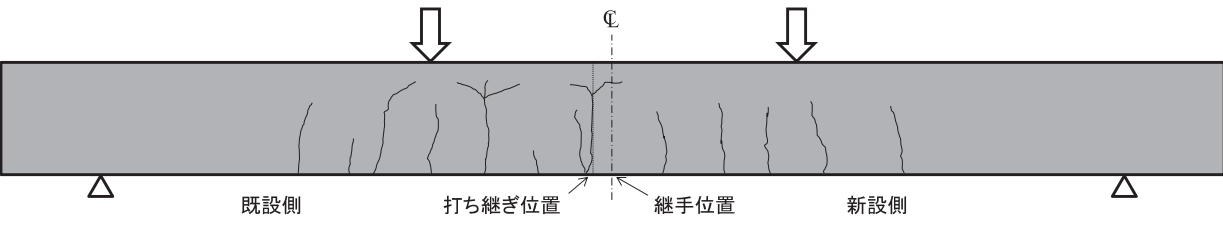


写真-5 実験後のひび割れ状況 No. 2



写真-6 実験後のコンクリート圧壊状況 No. 2

試験体 No.1 (既設丸鋼Φ22→M22, 新設鉄筋D22)



試験体 No.2 (既設丸鋼Φ19→M20, 新設鉄筋D19)

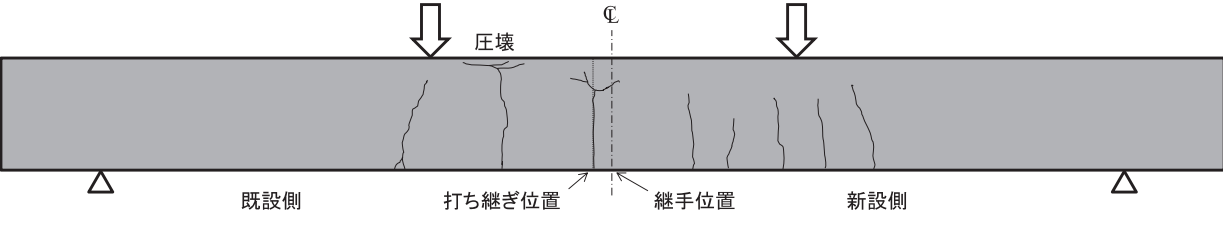


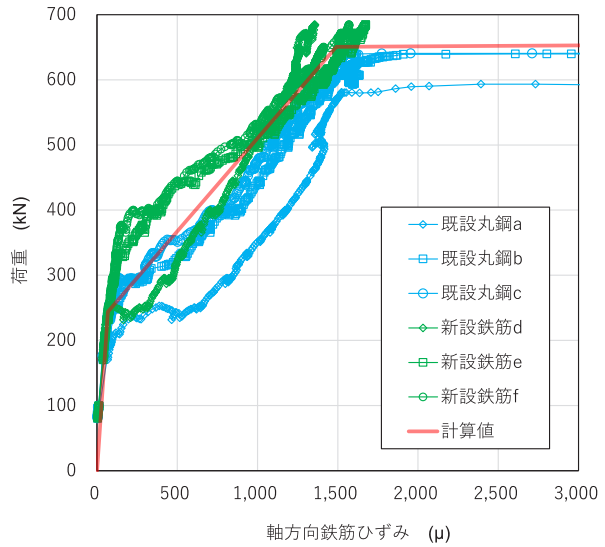
図-7 載荷終了後のひび割れ状況

中して、丸鋼の付着性能が劣ることを顕著に示している。なお、No.2においては、写真－6に示すように、ひび割れ開口が最も顕著なひび割れ位置の圧縮縁コンクリートにおいてコンクリートが圧壊し、終局に至った。

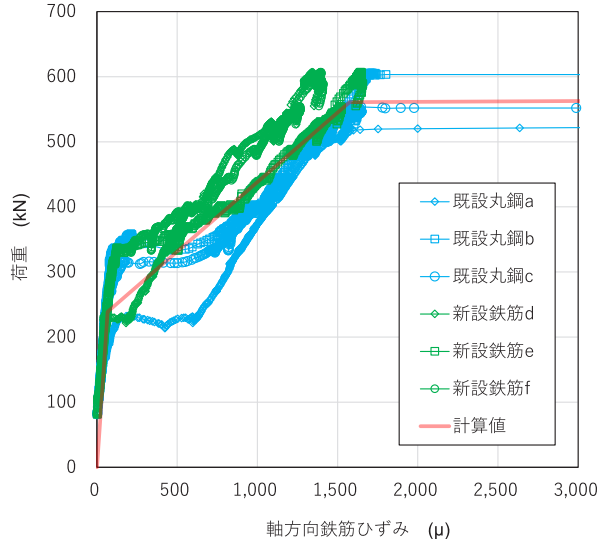
いずれの試験体においても、最終的にひび割れの開口が顕著になったり、圧壊で終局を迎えたりした断面位置は、新旧部材接合を実施した位置とは異なった。すなわち、本開発継手による新旧部材接合が部材としての破壊モードに影響を与えたり、耐力低下を引き起こしたりする現象は認められず、新旧部材接合部から離れた一般部において損傷が顕著になった。

(3) 降伏耐力と軸方向鉄筋のひずみ性状

図－8 に試験体 No. 1 の荷重と軸方向鉄筋ひずみの関



図－8 荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係 (No. 1)



図－9 荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係 (No. 2)

係を、図－9 に試験体 No. 2 の荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係を示す。図中には、JSCE 示方書に準じて求めた荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係の計算値を併せて示す。

既設丸鋼に添付したひずみゲージの値より観察された降伏荷重の実験値は、計算値よりも小さい値を示し、実験値を計算値で除した比の値は No. 1 が 0.89 で、No. 2 が 0.94 であった。この原因は、丸鋼が異形鉄筋に比較してコンクリートとの付着性能に劣ることによるものであると考えられる。

試験体 No. 1 の結果を示した図－8 によると、既設丸鋼のひずみと新設鉄筋のひずみは荷重 200 ～ 300kN 程度までは同等であるが、それを超えた荷重においては、計測箇所によってばらつきはあるが、既設丸鋼のひずみの方が大きい傾向がある。計算値と実験値との比較においても同様で、新設鉄筋のひずみは計算値よりも小さいか、或いは同等程度であるのに対し、既設丸鋼のひずみは、荷重 200 ～ 300kN 程度以降においてひずみ値が計算値を上回り、その差は荷重が大きくなるほど顕著になる。これは、丸鋼のコンクリートとの付着性能が劣ることによるものと考えられる。さらに、c 点 (図－4 参照) においてひずみを計測した既設丸鋼は、荷重 580kN で降伏している。荷重 580kN は、計算値の 649kN の 89% の値であった。試験体 No. 2 の結果を示した図－9 においても、図－8 と同様の傾向が見られる。

しかし、前述のとおり、試験体 No. 1、No. 2 共に損傷が顕著になった断面は新旧部材接合を行った位置より離れた既設側の一般部であった。したがって、異形鉄筋を前提とする鉄筋コンクリートに比較して、降伏に至る過程での変位が計算値よりも大きいことや、丸鋼の降伏が計算値よりも小さい値で起こることは、丸鋼を軸方向鉄筋に用いた部材において起こる事象であり、部材接合部が影響して起こったものではないと言える。

4. 2 継手残存耐力評価実験の結果

実験後の鉄筋継手の研り出し状況を写真－7 に示す。



写真－7 継手の研り出し状況

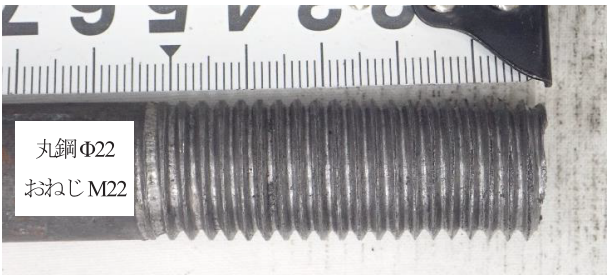


写真-8 抽出後の鉄筋継手丸鋼おねじ部外観の例 No. 1

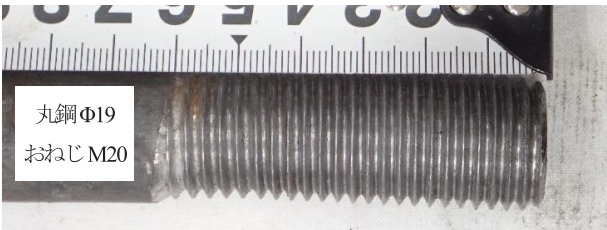


写真-9 抽出後の鉄筋継手丸鋼おねじ部外観の例 No. 2



写真-10 継手外観の例 No. 1 (上:試験前, 下:試験後)



写真-11 継手外観の例 No. 2 (上:試験前, 下:試験後)

すべての鉄筋継手を研り出し外観を観察したが、破断したものではなく、丸鋼のねじ部はすべて、工具を用いて緩めて取り外すことができた。取り外した後のおねじの状

表-4 実験結果の一覧

No. 仕様	位置		母材 降伏 耐力 N _y (kN)	試験 最大 荷重 N _{exp} (kN)	耐力 比 N _{exp} /N _y	丸鋼母材断面 積に対する 最大応力 σ _{max} [*] (N/mm ²)	
No.1 丸鋼径 Φ22 おねじ 加工径 M22	上 端 筋	1	118	153	1.30	404	平均値 403 変動係数 1.3%
		2	118	150	1.27	396	
		3	118	151	1.28	399	
		4	118	154	1.30	405	
		5	118	155	1.31	409	
		6	118	155	1.31	408	
	下 端 筋	7	118	164	1.38	431	平均値 426 変動係数 1.9%
		8	118	163	1.38	429	
		9	118	167	1.42	440	
		10	118	160	1.35	421	
		11	118	162	1.37	426	
		12	118	160	1.35	421	
		13	118	157	1.33	413	
		14	118	164	1.39	431	
		15	118	163	1.38	429	
		16	118	158	1.33	415	
No.2 丸鋼径 Φ19 おねじ 加工径 M20	上 端 筋	1	91	121	1.32	426	平均値 417 変動係数 2.5%
		2	91	122	1.34	432	
		3	91	115	1.25	404	
		4	91	118	1.29	416	
		5	91	117	1.28	413	
		6	91	116	1.27	409	
	下 端 筋	7	91	129	1.41	455	平均値 447 変動係数 2.5%
		8	91	130	1.43	460	
		9	91	125	1.37	442	
		10	91	129	1.41	454	
		11	91	129	1.42	457	
		12	91	126	1.38	446	
		13	91	129	1.42	457	
		14	91	125	1.37	441	
		15	91	120	1.32	424	
		16	91	124	1.36	437	

※ $\sigma_{max}=N_{exp}/A_s$ (丸鋼母材の断面積)

態を観察しても、おねじ部のせん断変形などの損傷も見られなかった。

写真-8, 9に抽出した鉄筋継手の丸鋼おねじ部の外観の事例を示す。抽出したすべての鉄筋継手の外観を把握した後に、引張試験に供した。その結果、すべての鉄筋継手において、おねじ加工した丸鋼の継手高ナットの外側の個所において破断した。写真-10, 11に鉄筋継手の試験前の外観と試験後の外観の事例を示す。

引張試験に供したすべての鉄筋継手の最大荷重 N_{exp} と、 N_{exp} を、ねじ加工のない無垢の部分の丸鋼母材の降伏耐力 N_y で除した耐力比 N_{exp}/N_y を表-4に示す。これらによると、すべての鉄筋継手において、その最大荷重は丸鋼母材の降伏耐力を上回り、 N_{exp}/N_y は1.25～1.43の値を示した。すなわち、曲げ載荷試験後の鉄筋継手であっても、丸鋼母材の降伏耐力 N_y の1.25～1.43倍の引張耐

力を有していたことになる。曲げ載荷実験の前の段階では、丸鋼が降伏に至った後に、おねじ加工して断面欠損が生じたことによる継手の耐力低下により、直ちに鉄筋継手位置のおねじ加工部位の丸鋼が破断し、脆性的に終局に至ることが予想された。しかし、試験体 No. 1, No. 2 共に、丸鋼降伏後の大変形領域に至るまで荷重を保持できた要因は、上述のとおり、丸鋼のおねじ加工部位の耐力が母材の降伏耐力よりも十分に大きかったことによると考えられる。ただし、玉井らの研究⁵⁾によると、異形鉄筋による場合には、鉄筋とコンクリートの間の付着による一体性が十分であるため、ひび割れが発生した箇所において局所的に鉄筋がひずみ硬化し、鉄筋には N_y を超える引張力が作用する。しかし、既設丸鋼の場合には、異形鉄筋と比較して付着性能が劣ることと、丸鋼は降伏後にさらに付着性能が低下することが想定されるため、結果的に鉄筋継手には丸鋼母材降伏耐力を大きく上回る引張荷重が作用せずに、鉄筋継手部の破断を免れることができたものと考えられる。

また表-4には、上端筋6本、下端筋10本の最大荷重を丸鋼母材の径で除して得た最大応力 σ_{max} の結果と、上端筋、下端筋各々の σ_{max} の平均値と変動係数を算出し、その結果を示している。これによると、変動係数の値は1.3～2.5%と小さい値に収まっており、おねじ加工後の既設丸鋼の引張耐力のばらつきも小さく安定していることから、おねじ加工鉄筋継手の信頼性は高いということができる。

以上を総括すると、おねじ加工鉄筋継手は、曲げ載荷試験に供して既設丸鋼が降伏して、部材の終局に至るまでの経過を経てもなお、丸鋼母材の降伏耐力の1.2倍以上の引張耐力を有していたことが明らかになったほか、そのおねじ加工鉄筋継手の耐力のばらつきも変動係数1.3～2.5%と信頼性が高いことも明らかになった。よっておねじ加工継手は、設計上、曲げモーメントが小さい個所に限定して適用する限りにおいては、有効な既設・新設部材接合技術であると言えることができる。

5. まとめ

丸鋼を電動工具によりおねじ加工して、高ナットに嵌合させて接続する継手の可能性を評価することを目的に、 $\Phi 19$ と $\Phi 20$ の2種類の径の丸鋼を既設軸方向鉄筋に用いた部材の梁試験体を作成し、曲げ載荷実験を行った。本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- ・曲げ載荷試験においては、試験体 No. 1, No. 2 とも、梁中央の打ち継ぎ目の位置において最初のひび割れが観察され、その後、荷重の増大とともに変位が増大し、最終的には、等曲げ区間内の既設側の断面においてひび割れ開口が顕著になって大変形域まで安定して耐力を維持した。なお、試験体 No. 1 に関しては支点装置の変位が制限変位に達したため、終局荷重が得られていないが、試験体 No. 2 においては、等曲げ区間内の圧縮側コンクリートの一部が圧壊して荷重が低下し、終局を迎えた。
- ・試験体 No. 1, No. 2 共に最終的に損傷が顕著になった断面は既設・新設部材接合部より離れた既設側の一般部であり、部材接合部の存在が破壊モードや耐力低下などに悪影響を及ぼすことは無かった。
- ・最大荷重の実験値は、No. 1, No. 2 とも土木学会コンクリート標準示方書式による計算値と良く対応しており、実験値を計算値で除した比の値はNo. 1 が0.98で、No. 2 が1.00であった。すなわち、おねじ加工継手を有する既設・新設部材接合部は鉄筋コンクリートの耐力算定理論により算出した最大耐力と同等の耐力を示し、既設丸鋼を開発継手で接合した新旧部材接合部は、一般的な鉄筋コンクリート部材と同等の曲げ最大耐力を発揮するものと考えられる。
- ・おねじ加工鉄筋継手は、曲げ載荷試験に供して既設丸鋼が降伏して、部材の終局に至るまでの経過を経てもなお、丸鋼母材の降伏耐力の1.2倍以上の引張耐力を有していた。さらにその開発鉄筋継手の耐力のばらつきも変動係数1.3～2.5%と信頼性が高いことも明らかになった。本開発鉄筋継手を適用する既設・新設部材接合部は、設計上、曲げモーメントが小さい個所に限定して設置することが原則となっており、この原則に従う限りには、おねじ加工継手は有効な既設・新設部材接合継手技術であると言えることができる。

参 考 文 献

- 1) 船津貴弘, 小原孝之, 水上博之, 新井泰, 田中篤史: 電動工具により既設丸鋼をおねじ加工した継手の実験的検討(その1), 土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, V-508, 2023. 9
- 2) 小原孝之, 船津貴弘, 水上博之, 新井泰, 田中篤史: 電動工具により既設丸鋼をおねじ加工した継手の実験的検討(その2), 土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, V-509, 2023. 9
- 3) 小原孝之, 野間康隆, 新井泰, 田中篤史: 電動工具により既設丸鋼をおねじ加工した継手の加工精度と強度特性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 46,

No. 2, 2001. 6

- 4) 土木学会：2022 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕
- 5) 玉井真一，島弘，出雲淳一，岡村甫：一軸引張部材における鉄筋の降伏以後の平均応力－平均ひずみ関係，土木学会論文集，1987 巻，378 号，p. 239-247，1987

Bending performance of members joined by threaded connections of round steel

Takayuki OBARA, Yasutaka NOMA, Hiroyuki MINAKAMI, Atsushi TANAKA and Yasushi ARAI

In the renewal work of reinforced concrete underground structures where round steel is used as axial reinforcement, the existing round steel is removed, and a joint connection with the newly installed deformed rebar is performed. However, this process is complicated and presents challenges. We have developed a rebar joint that allows for the threading of round steel using electric tools on-site. This method not only streamlines on-site construction and shortens the construction period but also reduces the need for concrete chipping work, thereby mitigating environmental issues. This report describes the beam bending load tests conducted to clarify the bending resistance characteristics of members connected by threading the existing round steel and joining it with the newly installed deformed rebar, along with the results of these tests.