

論文 丸鋼をおねじ加工した継手により接合した梁部材の曲げ耐荷性状

小原 孝之*1・野間 康隆*1・田中 篤史*2・新井 泰*3

要旨：軸方向鉄筋に丸鋼が用いられている既設のRC 地下構造物の改良工事では、その丸鋼を研り出し、新設構造物の異形鉄筋と圧接により継手接合を行うことがあるが、施工が煩雑であることや、強度特性上、圧接が認められない場合もあるなど課題も多い。そこで著者らは、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。本報では、当該継手を用いて既設構造物の丸鋼と新設構造物の異形鉄筋を接合した部材の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の概要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、おねじ加工、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、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、既設・新設部材接合）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、新設構造物の異形鉄筋（以下、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。

以上の経緯から、著者らは既設・新設部材接合を伴う現場で急速施工が可能な丸鋼と新設鉄筋の継手構造として、**図-1**に示すような既設丸鋼をおねじ加工した継手（以下、おねじ加工鉄筋継手）を提案しており¹⁾³⁾、具体的には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。おねじ加工した外観の例を**写真-1**に示す。新設鉄筋にも同様におねじ加工を施し、既設丸鋼と新設鉄筋を高ナットで接続して、新旧方向鉄筋を接合する。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、本継手工法であれば10~20センチ程度に低減でき、現場での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²⁾³⁾。その結果、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実強度程度以上の強度が得られた。さらに、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結果、嵌合長さが27~36mmと、ねじ径の1.13~1.94

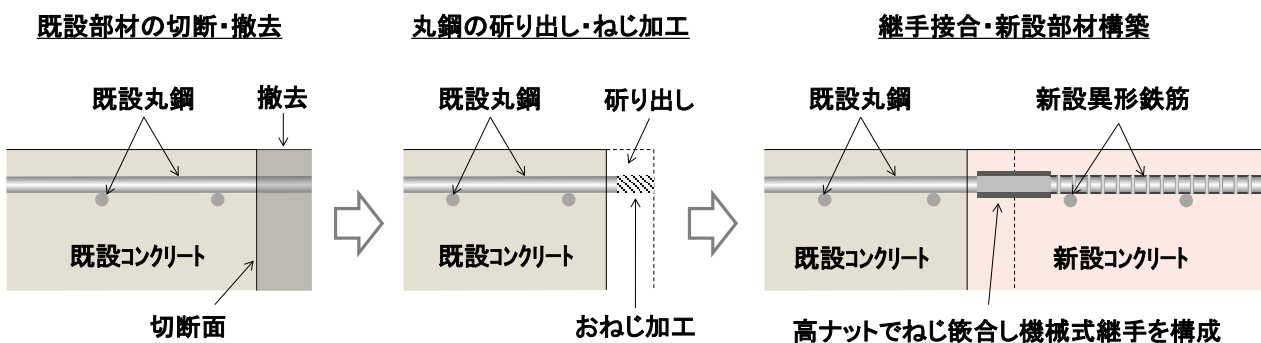


図-1 既設丸鋼をおねじ加工した継手による既設・新設部材接合の概念

*1 株式会社 安藤・間 技術研究所 構造・材料研究部 コンクリート構造グループ 工博 (正会員)
 *2 メトロ開発株式会社 技術部 土木設計課 (正会員)
 *3 メトロ開発株式会社 技術部 土木設計課 工博

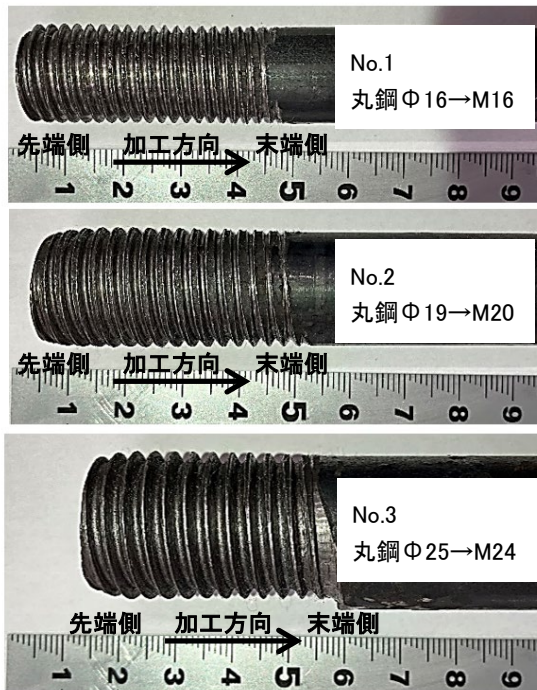


写真-1 丸鋼をおねじ加工した外観

倍の短い嵌合長さで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、破断時の最大荷重は丸鋼母材の公称断面積と実降伏強度を用いて算出した実降伏耐力を上回り、最大荷重を丸鋼母材の実降伏耐力で除して得た耐力比は1.15~1.28であった。

以上を踏まえて、本研究では、おねじ加工継手構造を適用した既設・新設部材接合部材の耐荷特性を明らかにすることを目的として梁試験体の曲げ載荷実験を行った。

2. おねじ加工鉄筋継手を用いた部材の載荷実験

2.1 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。

2.2 既設・新設接合梁試験体

既設・新設接合梁試験体（以下、梁試験体）の形状寸法を図-2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。製作にあたっては先ず既設側（図-2左側）を製作し、実施工と同様に新設側に接合する既設側の端部で丸鋼を研り出しておねじ加工し、既設丸鋼と端部をねじ加工した新設鉄筋を高ナットで接続した。次に、新設側（図-2右側）を製作して、既設・新設両部材を模擬した。梁試験体の部材高さは、一般的な地下駅の部材厚に相当する600mmとし、梁試験体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、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、曲げ破壊先行を想定した。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。

2体の梁試験体No.1, No.2の断面寸法と配筋の詳細を図-3に示す。梁試験体の断面寸法は幅1300mm、高さ600mmとした。断面内には上端筋、下端筋それぞれ一段の軸方向鉄筋を配置し、下端筋は10本、上端筋は6本を配置した。既設側の軸方向鉄筋には材質SR235の丸鋼を用い、No.1にはΦ22を、No.2にはΦ19を用いた。新設側の軸方向鉄筋には材質SD345の異形鉄筋を用い、No.1にはD22を、No.2にはD19を用いた。梁試験体の軸方向鉄筋の仕様と強度、並びに試験日のコンクリートの圧縮強度を表-1に示す。既設側の丸鋼せん断補強筋及び配力鉄筋の仕様はNo.1とNo.2で共通とし、配力鉄筋として、既設丸鋼にはΦ16、新設鉄筋にはD16を用い、せん断補強鉄筋として、既設丸鋼にはΦ13、新設鉄筋にはD13を用いた。また梁軸方向には、配力鉄筋、せん断補強鉄筋を共に250mm間隔で配置した。

試験体の既設・新設接合部において既設丸鋼と新設鉄

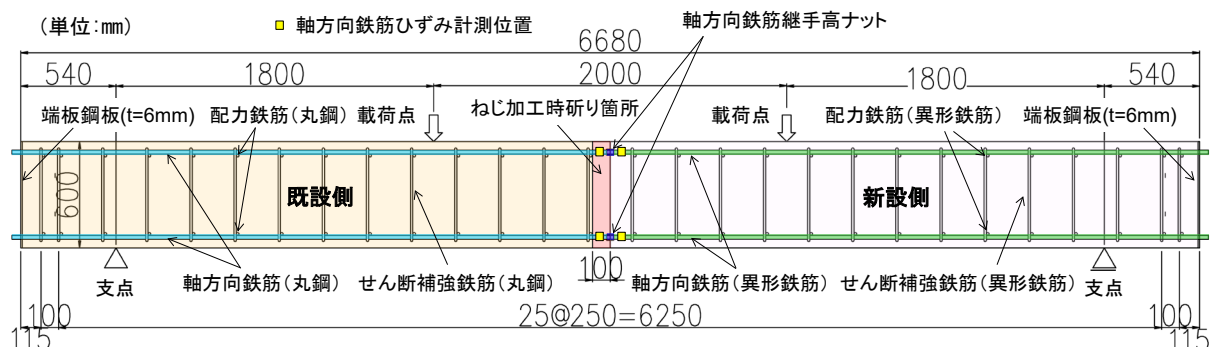


図-2 梁試験体の概要（側面図）

表-1 梁試験体の軸方向鉄筋とコンクリートの仕様

種別		試験体 No.1	試験体 No.2
既設側仕様	軸方向鉄筋	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 ねじ加工継手のおねじ加工径 M22	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 ねじ加工継手のおねじ加工径 M20
	コンクリート	$f_c^* = 37.4\text{N/mm}^2$	$f_c^* = 40.1\text{N/mm}^2$
新設側仕様	軸方向鉄筋	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 ねじ加工継手径のおねじ加工径 M22	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 ねじ加工継手径のおねじ加工径 M20
	コンクリート	$f_c^* = 42.5\text{N/mm}^2$	$f_c^* = 46.6\text{N/mm}^2$

※ f_y : 降伏強度, f_u : 引張強度, f_c^* : 試験日の圧縮強度

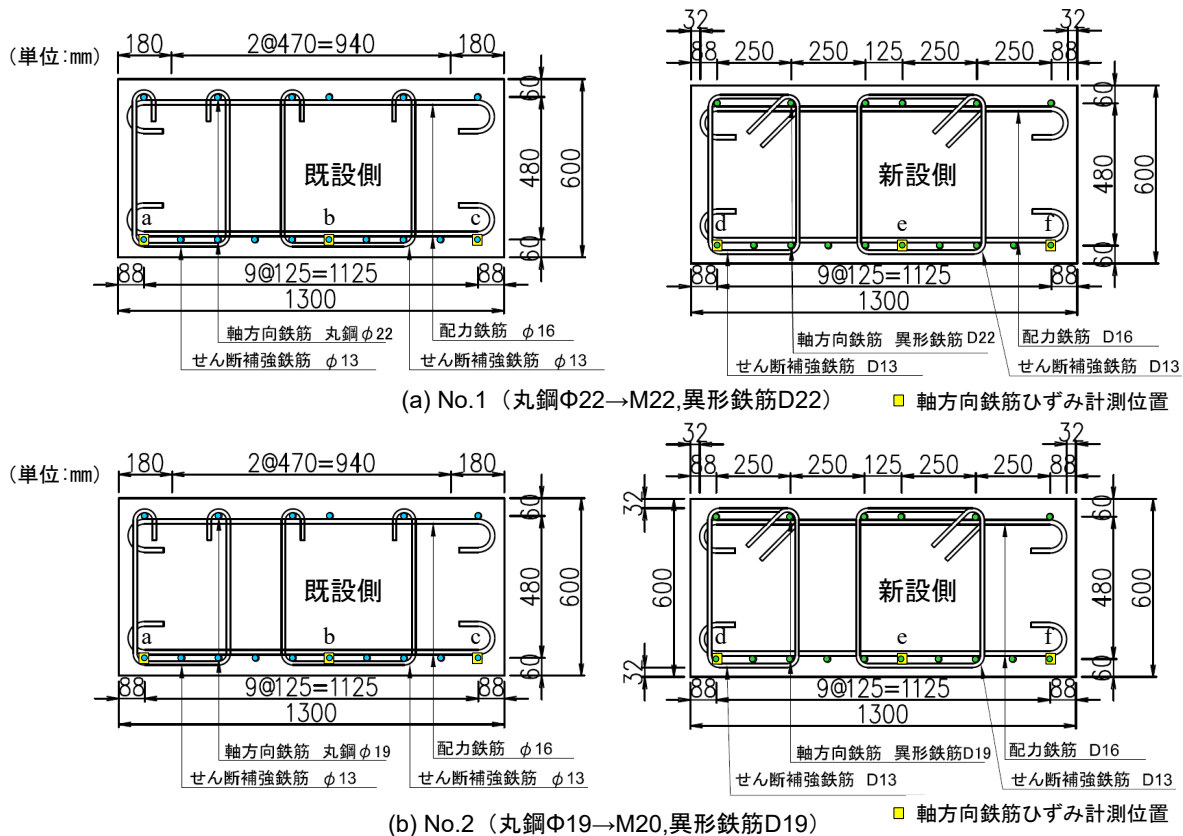


図-3 梁試験体の断面寸法 (断面図) と配筋の詳細

筋を継手接続した状況を写真-2 に示す。既設側の中央位置において電動ブレイ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長さは 60mm 以上とした。継手の高ナットの長さは 100mm とし、おねじ加工した既設丸鋼端部 50mm を嵌合させた。新設側は、工場でおねじ長さ 50mm に加工した新設鉄筋端部と嵌合させた。

2.3 梁試験体曲げ荷重実験

荷重実験では、2箇所荷重点に各々最大容量 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荷重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、

既設側の荷重と新設側の荷重が各々異なってしまう恐れがあったため、2台のジャッキの油圧系統はそれぞれ独立とし、各荷重点に個別に配置したロードセルの値より各荷重点の荷重が等価になるように調整しながら載

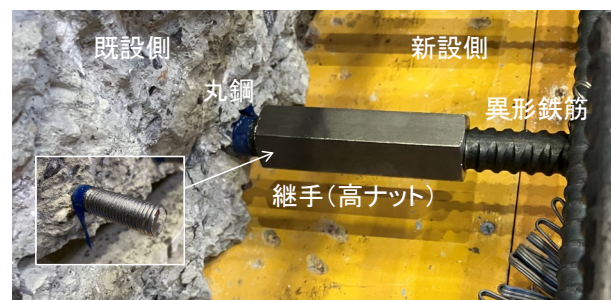


写真-2 既設・新設接合部の軸方向鉄筋継手の外観

荷した。ここで、当該試験体の自重により発生するモーメントも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 19.1kN/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を算出 ($M=72.1\text{kN}\cdot\text{m}$) し、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 ($P=80.0\text{kN}$) を自重による荷重とした。

3. 実験結果

3.1 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について、No.1 の結果を図-4 に、No.2 の結果を図-5 に示す。なお、ここで示す鉛直変位とは、支点と梁の中央位置における反力床からの絶対変位を用いて、梁の中央位置の変位から支点の変位を差し引いて求めた変位である。No.1, No.2 とも、梁試験体中央の打継ぎ目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も増大した。No.1 においては、荷重が 600kN を超えたあたりから変位が急増し、荷重-変位関係における勾配も大きく変化した。その後、変位が増大しても荷重を維持しながら変形が進み、変位が 100mm を超えても部材は終局に至らず、最終的には支点装置の変位限界に至った時点で載荷を終了したため、終局荷重が得られなかった。一方、No.2 においては、荷重が 530kN を超えたあたりから変位が急増し、荷重-変位関係における勾配も No.1 同様大きく変化した。さらにその後も変位が増大し、最終的には変位 100mm 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て終局に至った。

3.2 耐力力

表-2 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、載荷中のひび割れ観察時に目視で確

認できた時点の荷重である。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点の荷重で、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、最大の各モーメントは、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。一方、試験体の耐力力は

表-2 耐力力の一覧

No.	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	ひび割れ発生	228 (1.04)	219	253 (1.04)	243
	軸方向鉄筋降伏(丸鋼)	522 (①0.89) (②1.11)	①584 ②471	580 (①0.89) (②1.11)	①649 ②523
	最大 ^{※4}	616 ^{※4} (①0.98) (②1.20)	①630 ②512	684 ^{※4} (①0.98) (②1.20)	①700 ②569
2	ひび割れ発生	207 (0.96)	215	230 (0.96)	238
	軸方向鉄筋降伏(丸鋼)	473 (①0.94) (②1.19)	①505 ②397	525 (①0.94) (②1.19)	①561 ②441
	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、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載荷を終了したため、実験で記録した最大荷重を記載した。

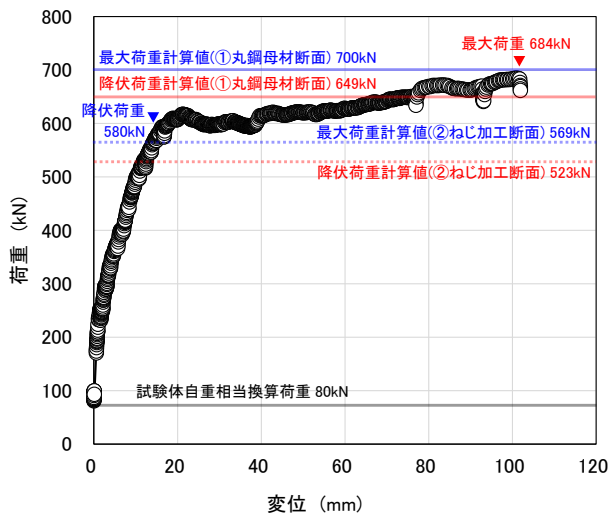


図-4 荷重と等曲げ区間中央位置の鉛直変位の関係 (No. 1)

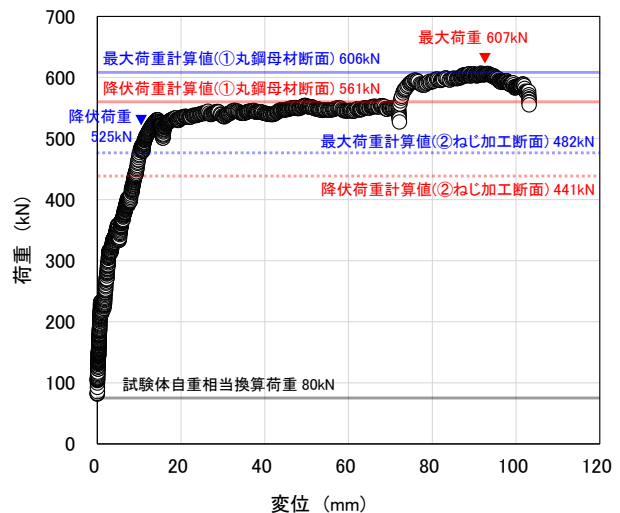


図-5 荷重と等曲げ区間中央位置の鉛直変位の関係 (No. 2)

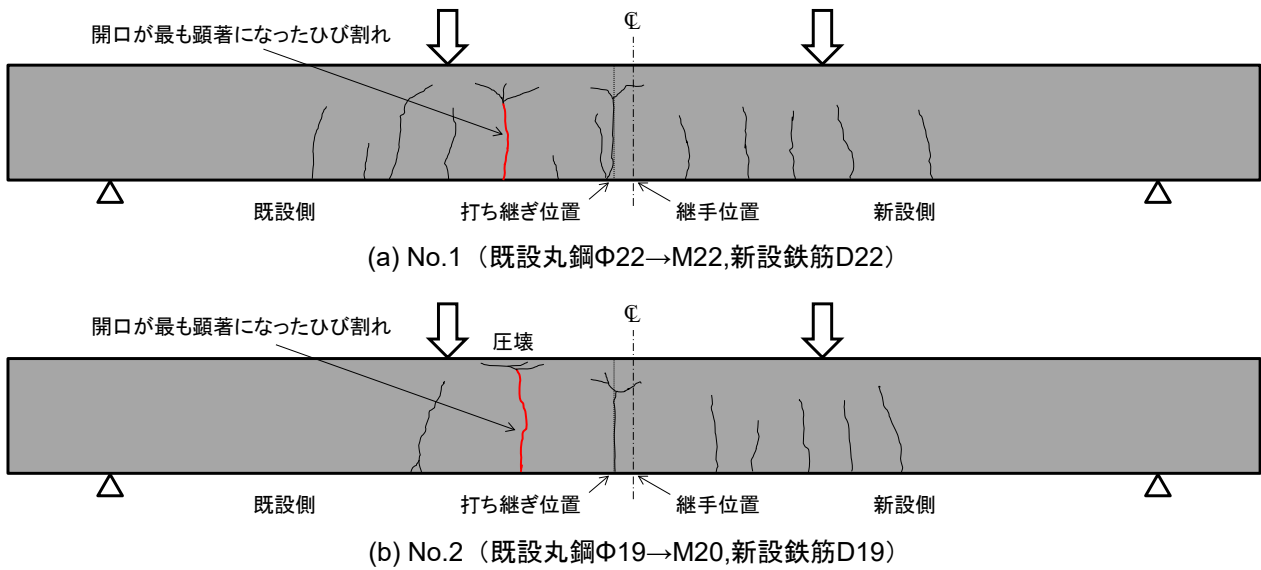


図-6 載荷終了後のひび割れ状況

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に則って、表-1に示した軸方向鉄筋とコンクリートの実強度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 $\Phi 22-380\text{mm}^2$, No.2 $\Phi 19-314\text{mm}^2$)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 $\Phi 22-303\text{mm}^2$, No.2 $\Phi 19-245\text{mm}^2$)を用いた計算②の2通り実施した。それらの計算結果を表-2に①、②として各々示す。最大荷重については、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の計算値で除した値はNo.1が0.98, No.2が1.00となっており、おねじ加工鉄筋継手を有する既設・新設接合部は、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える。以上より、既設丸鋼をおねじ加工鉄筋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。

実構造においては、既設・新設部材接合を行う箇所は、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のが鉄則で、これによれば、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、おねじ加工鉄筋継手を用いた既設・新設接合部については、設計実務上は十分な耐荷性能を有していると評価できると考えられる。

3.3 ひび割れ性状

図-6に実験終了後のひび割れ発生状況を示す。既設側と新設側で比較するとNo.1ではほぼ同等の本数のひび割れが観察されたが、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。また、いずれの

試験体も、最終的にひび割れの開口が顕著になり、圧壊で終局に至った断面位置は、既設・新設接合部とは異なっているが、この状況は、おねじ加工鉄筋継手による既設・新設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ているのではなく、丸鋼のコンクリートとの付着性能が異形鉄筋と比較して劣っていることによるものと考えられる。

3.4 降伏荷重と軸方向鉄筋のひずみ性状

荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係について、No.1を図-7に、No.2を図-8に示す。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値はNo.1で0.89, No.2で0.94であった。この原因は、丸鋼が異形鉄筋と比較してコンクリートとの付着性能に劣っていることによるものであると考えられる。No.1の結果を示した図-7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、それを越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。また、図-3のc点において計測した既設丸鋼は荷重580kNで降伏しているが、この荷重は計算値649kNの89%の値である。なお、a点、b点の計測ひずみからも、c点と同様に計算値よりも小さい荷重で降伏していることが分かるが、これは、丸鋼のコンクリートとの付着性能が劣るためであると考えられる。なお、No.2の結果を示した図-8においても図-7と同様の傾向が見られる。

しかし、前述のとおり、No.1, No.2共に損傷が顕著になった断面は、既設・新設両部材を接合し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

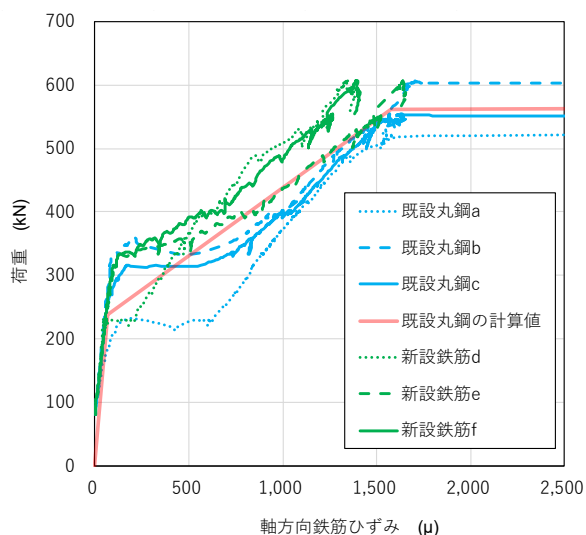


図-7 荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係 (No. 1)

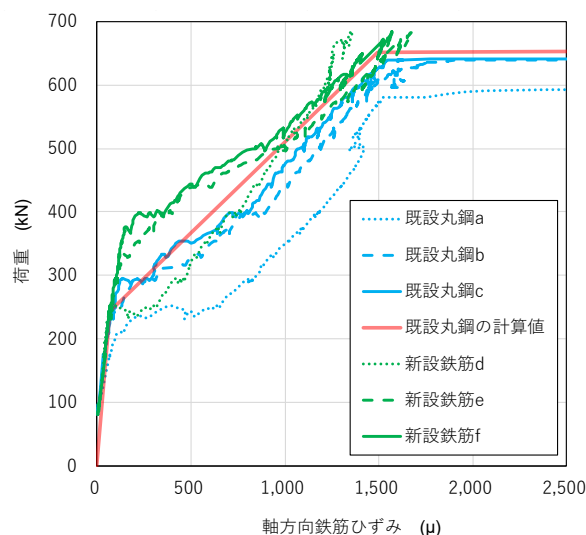


図-8 荷重と軸方向鉄筋ひずみの関係 (No. 2)

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軸方向鉄筋のひずみ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荷重で起こることは、丸鋼を軸方向鉄筋に用いた部材において発生する事象であり、部材接合部が影響して発生したものではないと言えることができる。

4. 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、Φ19 と Φ20 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。

- (1) 曲げ載荷試験においては、No.1, No.2 とも、梁中央の打ち継ぎ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りながら、大変形域まで安定して耐力を維持した。
- (2) 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。
- (3) 最大荷重の実験値は、No.1, No.2 とも JSCE 示方書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, No.2 が 1.00 であった。すなわち、おねじ加工鉄筋継手を有する既設・新設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、既設丸鋼をおね

じ加工鉄筋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発揮するものと考えられる。

- (4) おねじ加工鉄筋継手を適用する既設・新設接合部は、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おいては、おねじ加工鉄筋継手は有効な既設・新設部材接合技術であると言える。

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], 2023.3
- 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