

論文 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

小原 孝之*1・野間 康隆*1・新井 泰*2・田中 篤史*3

要旨：軸方向鉄筋に丸鋼を用いた鉄筋コンクリート地下鉄構造物の改良工事においては、既設丸鋼を研り出し、新設構造物の異形軸方向鉄筋との重ね継手、または圧接による継手により接合することを想定する。そこで本研究では、既設丸鋼と新設異形軸方向鉄筋とを、実現場において電動工具で加工するねじ加工継手により接合する工法を提案する。この工法により、現場施工の合理化、工期短縮はもとより、コンクリート研り工が削減され、騒音、粉塵の発生等の安全衛生管理上の問題を低減できる。本報では、電動工具による丸鋼のおねじ加工実験を実施し、その加工精度と加工おねじの強度特性に関して検討した結果について述べる。

キーワード：丸鋼、継手、部材接合、ねじ加工

1. はじめに

1970年代までに築造された地下鉄構造物（以下、地下構造物と称す）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数多く存在する。このような地下構造物を改良して機能向上を図る場合、例えば図-1に示すように、既設部材に新設部材を接合するが、この際には、既設構造物の丸鋼の軸方向鉄筋（以下、既設丸鋼と称す）を研り出し、新設構造物の軸方向鉄筋との重ね継手、または圧接による継手を想定する。しかし、現場でのコンクリートの研り工は、施工環境上の問題を多く含み、圧接は、規格が異なる鉄筋同士の強度特性上、適用不可の場合もある。さらに、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実情もある。そこで、これらの課題を解決に導く合理的な施工技術が求め

られているが、既設・新設部材の接合位置においては、構造安定性を確保する必要もあることから、接合部の継手性能は設計上必要な耐力に応じて合理的に選択できることが望ましい。以上を踏まえて、本報では、電動工具による現場での急速施工が可能な継手工法を想定した丸鋼のおねじ加工実験及び加工精度と加工おねじの強度特性について述べる。

2. 既設丸鋼をおねじ加工した継手の概要

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を図-2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、その端部を電動工具によりおねじ加工する。新設部材に配置する異形鉄筋にも同様のおねじ加工を施し、既設丸鋼と新設異形鉄筋を高ナットで接続して、両部材の軸方向鉄筋を接合する。圧接や溶接を行う場合の研り深さは、数十cm必要であるが、本工法を用いる場合は、10~20cm程度に低減でき、現場における研り工も合理化できる。

既設丸鋼のおねじ加工の第1段階では、切断した丸鋼端部のバリ取りと切削用ダイスの食いつきを向上するための面取り加工を行う。第2段階では、ねじ切削ダイスの円周方向に遊びがあるアジャスタブルダイスを用いて一次切削を行う。第3段階では、仕上げ加工として、円周方向にあそびのないソリッドダイスによる二次切削を行う。以上の3段階の工程を経て既設丸鋼端部におねじを形成する。

3. 加工おねじの形状計測と分析

3.1 電動工具によるおねじ加工実験¹⁾

おねじ加工実験はΦ16、Φ19、Φ25の3種類の径の丸鋼に対して実施した。丸鋼の材質はSS400である。

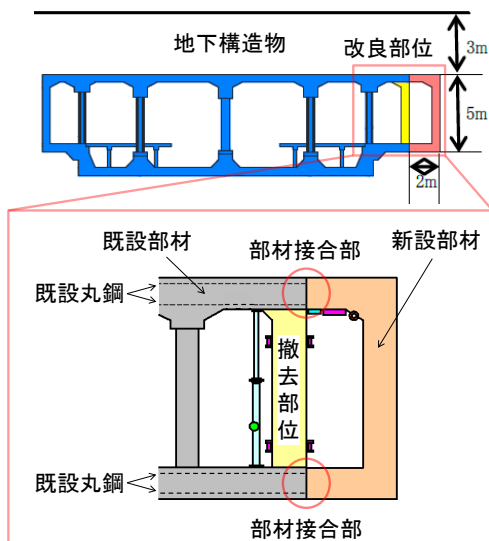


図-1 地下鉄構造物の改良に伴う部材接合の例

*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 土木設計第一課 工博 (非会員)

*3 メトロ開発株式会社 技術部 土木設計第二課 (非会員)

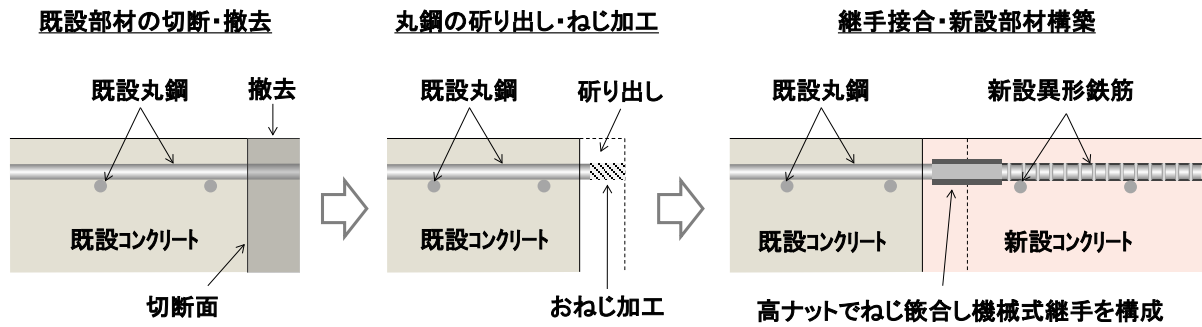


図-2 既設丸鋼をおねじ加工した継手による既設・新設部材接合の概念

おねじ加工にはメートル並目ねじ用のダイスを使用し、径はΦ16の丸鋼にはM16を、Φ19およびΦ25の丸鋼には丸鋼と同一径のねじが一般に流通していないため、それぞれM20及びM24を用いた。実験ケースの一覧を表-1に示す。おねじ加工は、前述の3段階の工程を経て実施した。加工の状況を写真-1に、おねじ加工後の外観を写真-2に示す。具体的には、実験室内において、丸鋼を万力によって水平方向に固定するとともに、最大トルク1000Nmの電動インパクトレンチを使用して、丸鋼の端部から約40～50mmをおねじ加工した。

加工精度を把握するための計測項目は、おねじの山の高さ（以降、ねじ山高と称す）およびピッチとし、計測は3次元スキャナを用いて行った。図-3～5にねじ山高、ピッチの計測結果を示す。図中の[]内の数値はねじ山の計測番号であり、最も先端のねじ山高の計測番号を1として奥に向かって番号を振るとともに、最も末端のねじ山高の番号を-1として手前に向かって負の番号の計測番号を振った。計測結果は、加工を開始した先端の位置（以降、先端位置と称す）から奥に向かう領域（以降、先端側と称す）と、加工を完了した最も末端の位置（以降、末端位置と称す）から先端位置に向かう領域（以降、末端側と称す）の2か所において整理した。先端側の分析領域としては、先端位置の計測番号1のねじ山から奥に向かって8個分の計測番号8のねじ山のまでを分析の対象とした。末端側も同様に、末端位置の計測番号-1のねじ山から手前に向かって8個分の計測番号-8までを対象とした。なお、No.1～3の何れにおいても、ねじのピッチの8倍がねじの直径と等しいため、先端側と末端側ともにねじの直径と同じ長さの領域を分析することになる。

3.2 加工おねじの形状計測結果とその分析

図-6～8に、加工実験を行った10体の試験体の各計測番号における加工おねじのねじ山高の計測結果の平均値とばらつきの値を示す。ねじ山高としてはJIS規格値におけるひっかかりの高さの値^{2,3)}で除した比（以降、ねじ山高比と称す）を算出した。ばらつきとしては、10体の試験体の計測結果から標準偏差を算出して平均値で除し、変動係数を算出した。

表-1 丸鋼のおねじ加工実験ケース一覧

No.	丸鋼諸元		おねじ加工諸元(mm)			試験 体数
	材質	径(mm)	径	ピッチ*	ねじ山高*	
1	SS400	Φ16	M16	2.0	1.083	10体
2		Φ19	M20	2.5	1.353	10体
3		Φ25	M24	3.0	1.624	10体

※JIS規格基準寸法のピッチとひっかかりの高さの値

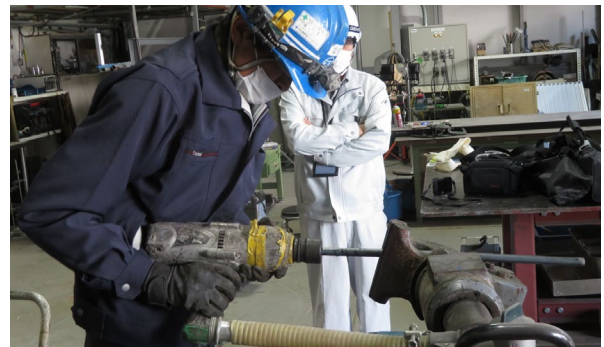


写真-1 おねじの切削加工状況

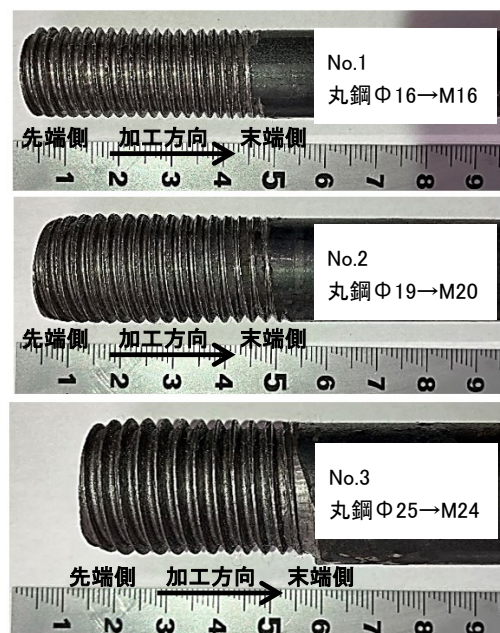


写真-2 丸鋼をおねじ加工した外観

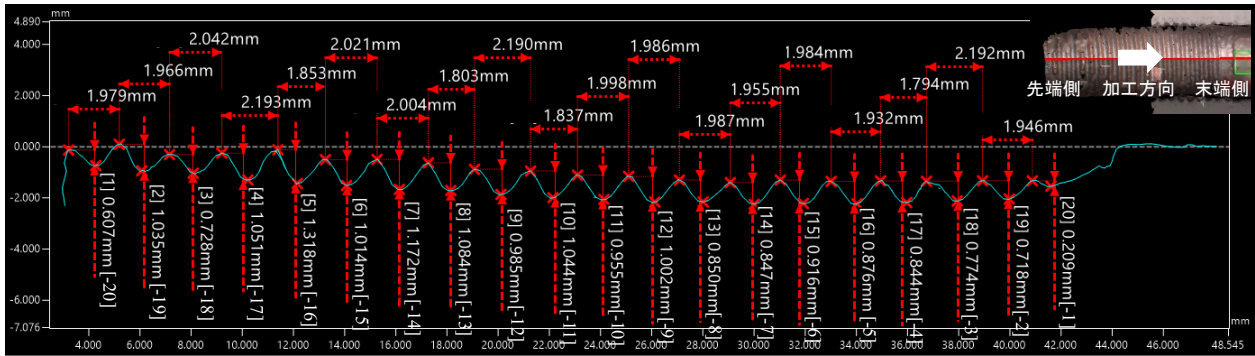


図-3 三次元スキャナによる形状および寸法の計測結果の一例 No. 1 (丸鋼Φ16→ねじM16)

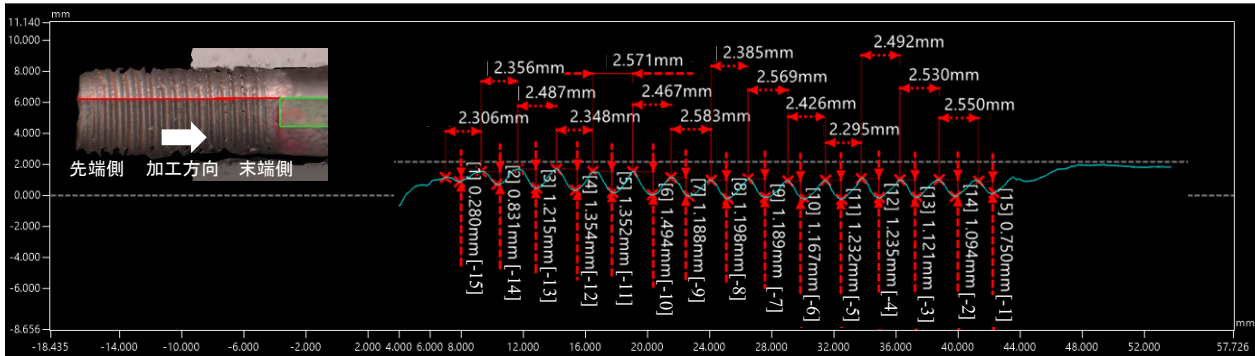


図-4 三次元スキャナによる形状および寸法の計測結果の一例 No. 2 (丸鋼Φ19→ねじM20)

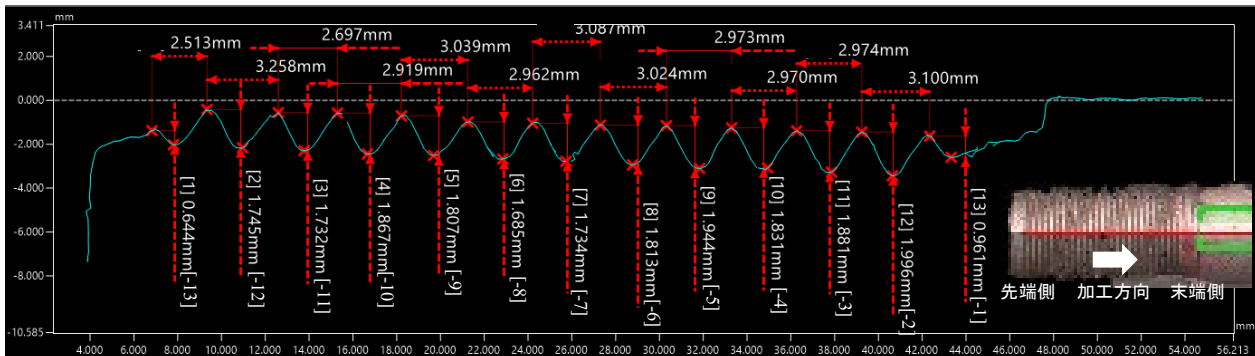
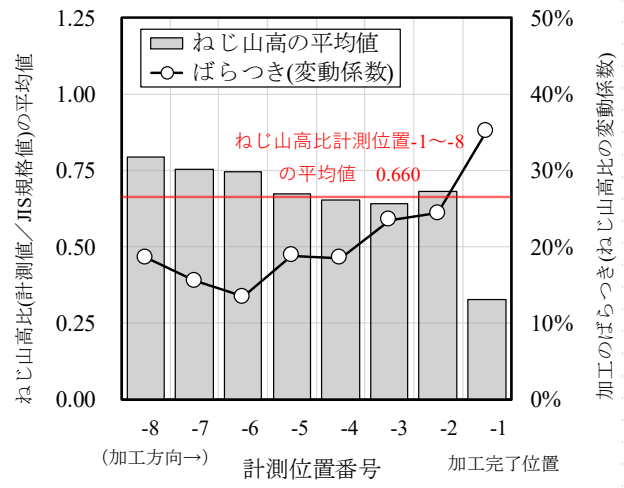
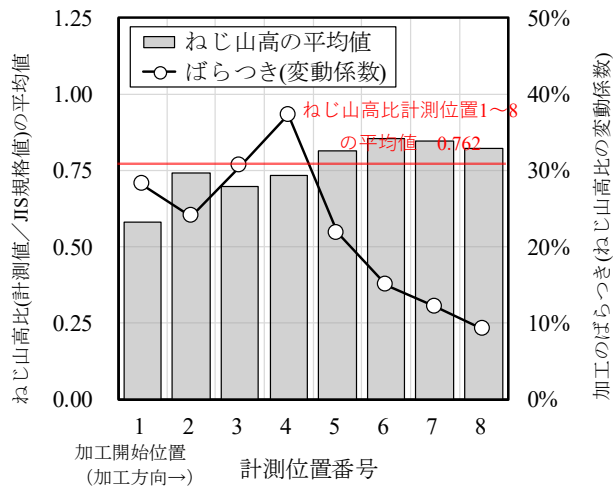


図-5 三次元スキャナによる形状および寸法の計測結果の一例 No. 3 (丸鋼Φ25→ねじM24)

先端側では、No.1~3の何れにおいても、先端位置の計測番号-1のねじ山高が他に比べて著しく低くなったが、加工方向の奥に向かうほど高くなり、一定値に安定する傾向が見られた。同様に、ばらつきを示す変動係数も先端位置に近いほど大きな値を示し、奥に向かうほど小さくなり安定する傾向を示した。これらの要因としては、おねじ加工の第一段階で、ダイスのかみ合わせを向上させるためにテーパ加工を施したことが影響していると考えられ、加工開始時はダイスの軸方向と丸鋼の軸方向の角度にずれがあり、回転軸が乱れたことも影響していると考えられる。一方、末端側では、No.1~3の何れにおいても、末端位置の計測番号-1のねじ山高が著しく低くなったが、計測番号-2以降は高くなり、その後はほぼ一定値で安定していた。ばらつきを示す変動係数も末端位置に近いほど大きくなり、手前に向かうほど小さくなり安定する傾向を示した。これらの要因としては、末端位

置においてはダイスが完全に通過しておらず、加工が不完全になったことが考えられる。

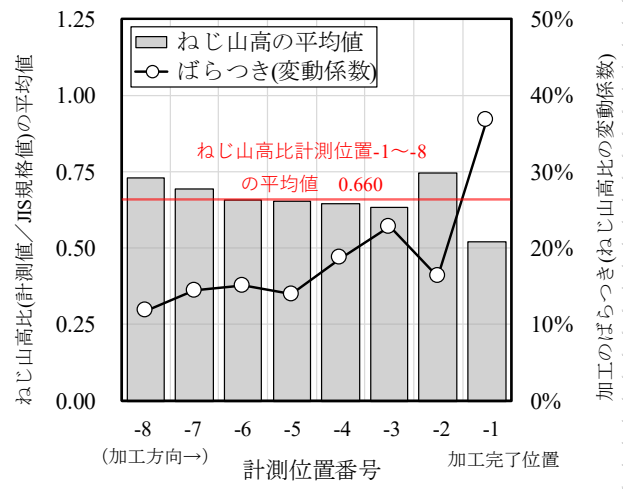
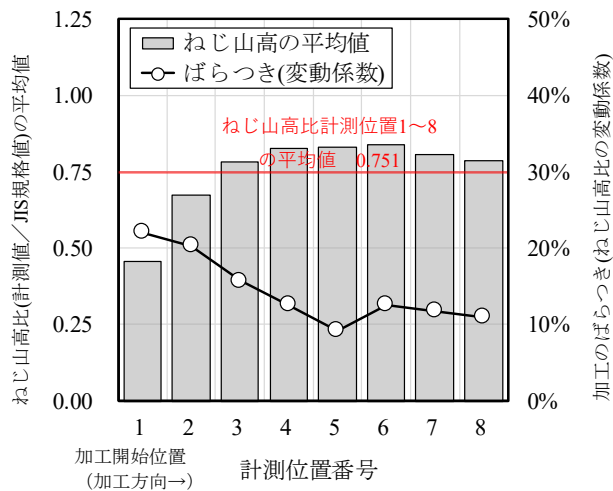
No.1では、先端側の計測番号1~8のねじ山高比の平均値は0.762、末端側の計測番号1~8の平均値は0.660であり、不完全ねじ部を除くと、ねじ山高はJIS規格値の約7割程度の値になっている。No.2でも、先端側が0.751、末端側は0.660となり、No.1の結果と類似した。一方、No.3では、先端側の平均値が0.945、末端側は0.925で、No.1とNo.2よりも大きかった。この要因としては、No.1とNo.2が丸鋼径と加工ねじ径が同じ (No.1, Φ16→M16) 或いは1mm大きい (No.2, Φ19→M20) のに対し、No.3は加工ねじ径が1mm小さいサイズ (Φ25→M24) であり、安定した加工が行えたことによるものと考えられる。その反面、本来の丸鋼径より小さいねじ径に加工することは、切削する段面積、即ち断面欠損が大きくなることにも繋がるため、注意が必要である。



(1) 先端側

(2) 末端側

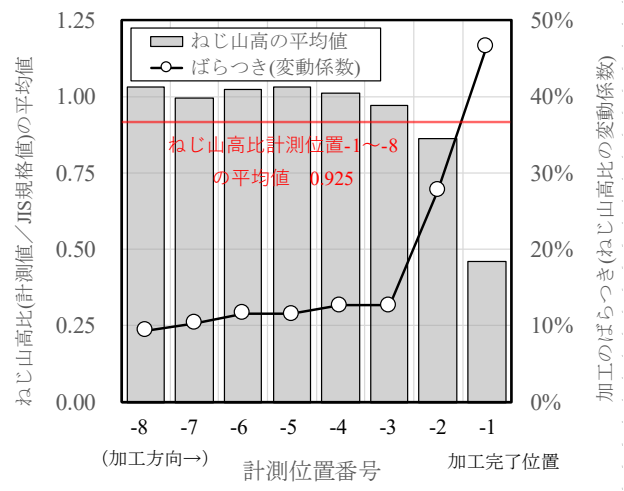
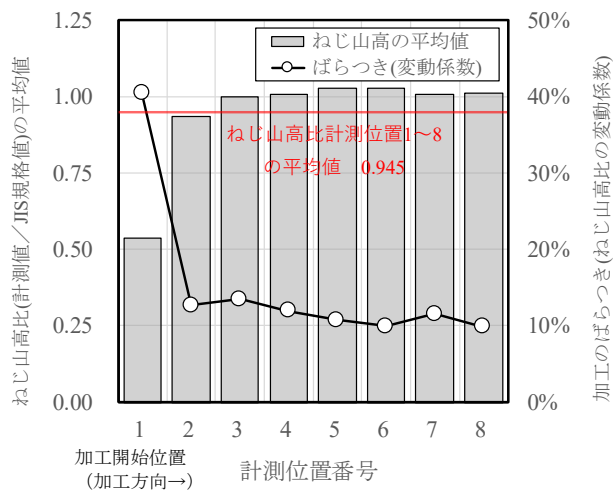
図-6 加工おねじの形状計測および誤差分析結果 No.1 (丸鋼 Φ16→ねじ M16, 試験体数 n=10)



(1) 先端側

(2) 末端側

図-7 加工おねじの形状計測および誤差分析結果 No.2 (丸鋼 Φ19→ねじ M20, 試験体数 n=10)



(1) 先端側

(2) 末端側

図-8 加工おねじの形状計測および誤差分析結果 No.3 (丸鋼 Φ25→ねじ M24, 試験体数 n=10)

以上を総括すると、先端側と末端側においてねじ山高が低く、且つ、寸法のばらつきが大きい領域、即ち不完全ねじ部が発生することが分かった。一方で、最も先端から奥側或いは最も末端から手前側になるほどねじ山高は高くなるとともに、ばらつきも小さくなることで寸法が安定し、ねじ山高としては JIS 規格値の約 7 割程度以上の値になることが分かった。これらについては今後も実験データを蓄積し、定量的な評価を試みる予定である。

4. おねじ加工部のせん断強度実験及びせん断強度特性

4.1 おねじ加工部のせん断強度実験⁴⁾

本実験の試験体は図-9 に示すように、電動工具により丸鋼をおねじ加工した後に、ねじ山 1~3 個程度に相当する区間を残し、それ以外のねじ山を旋盤で切削除去することにより製作した。なお、残したねじ山は、ねじ山の高さが安定する先端側の計測位置番号 3 以降のねじ山とした。残したねじ山には、材質 SS400 の高ナットを嵌合させ、高強度ボルト (SCM435H、規格降伏強度 785N/mm²) と接合して引張荷重を与えることで、おねじ加工部のねじ山をせん断破壊させた。本実験に用いた丸鋼の引張試験結果から得られた強度特性値を表-2 に、実験ケースの一覧を表-3 に示す。

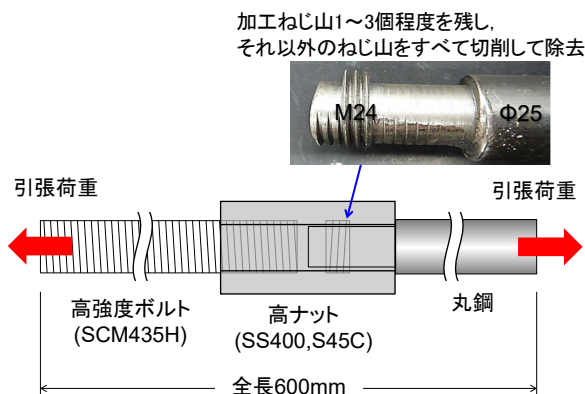


図-9 せん断強度実験の概要

表-2 実験に用いた丸鋼の諸元

径 (mm)	材質	引張試験結果(N/mm ²)	
		降伏強度 f_y	引張強度 f_u
Φ16	SS400	332	447
Φ19		319	450
Φ25		313	448

表-3 せん断強度実験ケース一覧

No.	継手高ナット諸元(材質)	丸鋼諸元(径, 材質)	加工おねじ諸元(径)	試験体数
1	SS400	Φ16, SS400	M16	3
2		Φ19, SS400	M20	3
3		Φ25, SS400	M24	3

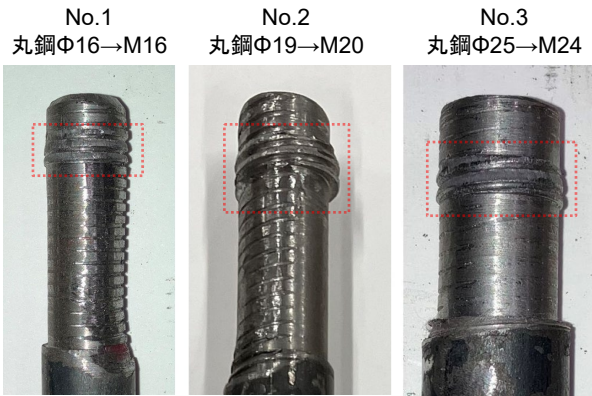


写真-3 ねじ底面のせん断破壊状況

4.2 おねじ加工部のせん断強度特性

試験後のおねじ加工部の状況について、試験体 No.1~3 の外観を写真-3 に示す。丸鋼径、おねじ加工の径に関わらず、すべての試験体においておねじ加工した丸鋼側のねじ山の底辺位置でせん断方向にずれて切断された破断面が観察された。

表-4 にせん断強度実験の結果の一覧を示す。同表には、実験によって得られた最大引張荷重(P_u)と、その最大引張荷重をせん断断面積、すなわち、おねじ加工したねじ山の底面の面積(A_t)で除して得られたせん断強度(τ_u)を併記した。ここで、おねじ加工したねじ山の底面の面積(A_t)とは、切削加工によりねじ山を残した部位の長さにおねじの谷位置における直径より算出される周長を乗じて求めた面積のことをいう。せん断強度(τ_u)の平均値は 179~228N/mm² の範囲を示し、丸鋼母材のせん断強度(τ_y)181~191N/mm² と同等あるいはそれ以上の値を示した。せん断強度の 3 体の実験結果にはばらつきが見られるが、変動係数は 10.6~21.9% の範囲にあった。

丸鋼直径 Φ16 を M16 に加工した No.1 の結果は、ねじ山高比は 0.664~0.973 の範囲であったが、せん断強度は 172~267N/mm² の範囲にあり、その平均値は 228 N/mm² と No.1~3 の結果の中で最も高い値を示した。丸鋼直径 Φ19 を M20 に加工した No.2 のねじ山高比は 0.738~0.935 の範囲であったが、せん断強度は 181~241N/mm² の範囲にあり、その平均値は 207N/mm² であった。丸鋼直径 Φ25 を M24 に加工した No.3 のねじ山高比は 0.932~1.090 の範囲で No.1~3 の中で最も高い値であったが、その一方でせん断強度は 157~192N/mm² の範囲にあり、その平均値は 179N/mm² と、No.1~3 の結果の中で最も低い値を示した。その原因は定かではないが、No.3 のみ丸鋼径 Φ25 よりも小さい径 M24 におねじ加工していることから、他のケースよりもより深く切削加工を行っていることが影響していると考えられる。

図-10 におねじ加工部のせん断強度とねじ山高の関係を示す。ここで図の横軸にはねじ山強度比(h/h_{JIS})の値を取り、縦軸にはおねじ加工部のせん断強度(τ_u)を丸鋼

表-4 おねじ加工部のせん断強度実験結果の一覧

試験体	丸鋼の諸元		加工おねじの諸元					せん断強度実験結果						
	径Φ (mm)	せん断降伏強度 $\tau_y=f_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	呼び径 (mm)	ピッチ (mm)	実験部位長さ (mm)	ねじ山高の平均値(n=3)		せん断 ^{※2} 断面積 A _t (mm ²)	最大引張荷重 P _u (kN)	せん断強度 ^{※3} $\tau_u=P_u/A_t$ (N/mm ²)	換算せん断強度比 ^{※4} τ_u/τ_y			
						ねじ山高 (mm)	ねじ山高比 ^{※1}				平均	平均	平均	
														平均
No.1-1	16	191	M16	2.0	4.21	0.664	0.613	0.778	58.2	36.3	172	228 (21.9%)	1.27	1.76
No.1-2					3.60	0.893	0.824		49.8	44.3	245		1.45	
No.1-3					4.38	0.973	0.898		60.6	58.8	267		1.62	
No.2-1	19	184	M20	2.5	4.14	1.243	0.919	0.864	71.6	62.7	241	207 (14.9%)	1.57	1.52
No.2-2					3.99	1.265	0.935		69.0	45.4	181		1.56	
No.2-3					4.22	0.998	0.738		73.0	52.5	198		1.58	
No.3-1	25	181	M24	3.0	7.61	1.525	0.939	0.987	157.9	109.9	192	179 (10.6%)	0.98	1.17
No.3-2					5.22	1.514	0.932		108.3	62.0	157		1.37	
No.3-3					4.22	1.770	1.090		87.6	60.2	189		1.11	

※1 ねじ山高比 = ねじ山高の計測値/JIS規格基準寸法におけるひっかかりの高さの値
 ※2 せん断断面積 A_t(mm²) = ねじ山の底面の面積 = 実験部位長さ(mm) × おねじ谷位置における周長(mm)
 ※3 せん断強度 τ_u (N/mm²) = 最大引張荷重 P_u(N) / せん断断面積 A_t(mm²), ()内の値は変動係数
 ※4 換算せん断強度比 = おねじ加工部のせん断強度(τ_u) / 丸鋼母材のせん断降伏強度(τ_y)

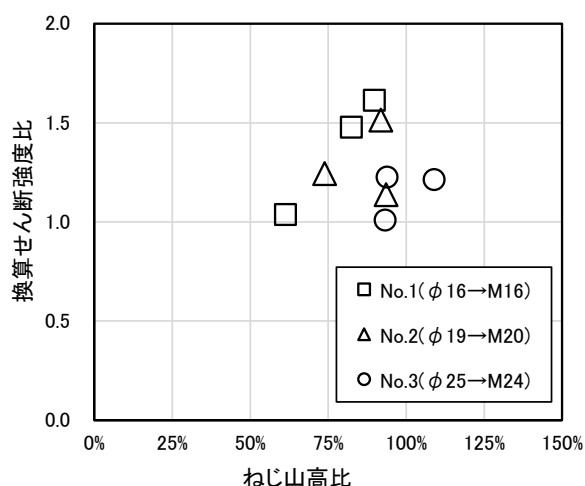


図-10 おねじ加工部のせん断強度とねじ山高の関係

母材のせん断降伏強度(τ_y)で除した換算せん断強度比(τ_u/τ_y)の値を取った。これによるとねじ山高比に関わらず換算せん断強度はおおよそ 1.0 以上、即ち、丸鋼母材のせん断降伏強度程度以上の強度が得られることが分かる。おねじ加工部のせん断強度特性については、今後も実験を重ねてデータを蓄積することにより強度推定の精度を高める予定である。

5. まとめ

電動工具により丸鋼をおねじ加工して構成する継手の開発を目指し、おねじ加工実験によりその加工精度を検討するとともに、おねじ加工部の強度特性について検討した。本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- (1) 電動工具を用いて丸鋼をおねじ加工する加工実験を行った。その結果、加工おねじの先端側と末端側においては、最端部に近い位置のねじ山高が低く、加工のばらつきも大きい不完全ねじ部が生じた。しかし、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約 7 割程度以上の値が得られた。
- (2) おねじ加工部のせん断強度実験を実施し、強度特性を検討した。その結果から、不完全ねじ部となった領域を除き、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。せん断強度特性については、今後も実験を重ねてデータを蓄積することにより強度推定の精度を高める予定である。

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) JISB0205-4:2001 一般用メートルねじ第 4 部: 基準寸法
- 3) 東京鋌螺協同組合: ネジ総合カタログ 2022
- 4) 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