

圧縮木材による締結要素部品の製造法開発

東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科

教授 廣井 徹磨

(平成17年度研究開発助成 AF-2005007)

キーワード：圧縮木材，締結要素，ねじ

1. 研究の背景と目的

循環型社会の形成，CO₂排出削減の観点から工業用材料として森林資源の有効利用を考えることが必要である¹⁾。たとえば椅子や机などオールウッディな各種木質構造物を考える場合，締結要素部品が金属やプラスチックではなく，高強度木質材であれば意匠性やリサイクル性の面から都合がよい。

木製締結要素としてダボが用いられているが，ねじは少ない。木製ねじの規格は無く，各社が独自に製造している。

著者らはこれまで，高強度木製締結要素部品を製造するため，スギ材を用いて，断面積を1/4とする2方向3段75%圧縮を実施する方法を既報で示した^{2) 3)}。そのとき比重は1.2以上となり高密度化が達成された。これを利用して締結要素として旋削によるφ10のダボを製作し，製品強度評価として曲げ試験とせん断試験を行った結果，アルミニウム材並の強度を得ることができた。

そこで本研究では，締結要素として代表的なねじを，圧縮木材を利用して形成することを目的とした。

具体的には，M16のおねじ，めねじ形成のために行った，いくつかの方法とその結果を報告する。

2. おねじの各種製造方法と結果

2.1 ねじり押し込みによるおねじ形成実験⁴⁾

木材圧縮方法として丸棒をテーパードライスに押し込み，断面収縮させることを考えた。またダイス出口で，ねじ穴にねじ込む変形によってねじ形成を行う可能性を試みた。以下，ねじり押し込みと呼ぶ。

(a) 供試材

市販の入手可能なφ20の丸棒で，落葉広葉樹木シナ，カツラ，カシとした。長さは150mmとした。断面の年輪の様子を図1に示す。スギに比べ年輪が明瞭でないことがわかる。

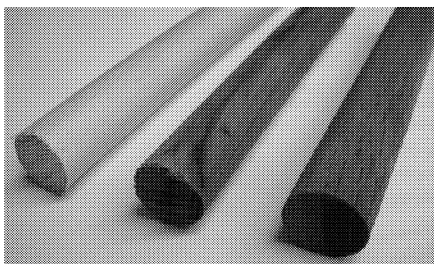


図1 ねじり押し込み用供試材(シナ；気乾比重0.37~0.5，カツラ；気乾比重0.4~0.5，カシ；気乾比重0.63)

(b) 金型

ねじり押し込み用の金型を図2に示す。A，Bに分かれており，A部には木材を断面収縮するためのテーパ穴(6:20)を

つけ，φ20の丸棒をφ14に圧縮できるように製作した。このとき圧縮比は2倍となる。B部の金型にはM16のめねじを設けている。A部に木材を押し込みながら，押し出された木材はB部で弾性回復中にねじを形成されるように計画した。このとき押し込みながらねじり変形を与えることとなる。A，Bは2本のボルトで締結した。金型の材質はアルミニウム合金(A5052)を使用した。

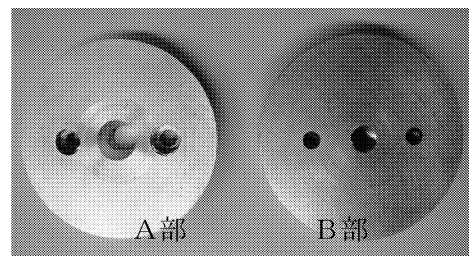


図2 ねじり押し込み用金型

(c) 実験方法

木材を煮沸(水の沸騰状態100℃，煮沸時間1時間)により可塑性し⁵⁾，取り出した直後に，これを図3のようにドリルチャックでつかみ，旋盤の心押し台に装着する。金型を旋盤のチャックでつかみ，回転させ(回転数32rpm)そこに心押し台を手動で押しあてていく。

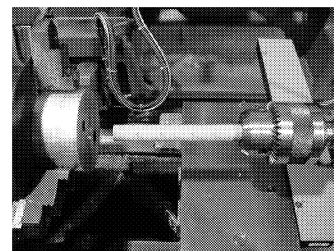


図3 旋盤とドリルチャック

加工の進行につれ，摩擦抵抗が大きくなるため，供試材は圧縮により樽形状に膨らんで破壊する。その時点で，緊急停止し，ドリルチャックをゆるめ，金型ごと送風定温恒温器に入れ，180℃で60分間保持し，形状固定処理を行う。炉より取り出した後，金型を30分以上扇風機によって強制冷却し室温まで下げ，金型Bを逆回転させ取り外した後，製品を観察した。なお，ここでは潤滑を行っていない。

(d) ねじり押し込み結果

図4は圧縮により縮径はできたが，途中で木材がねじり破断してしまったカシの例である。乾燥させてねじ山を見ても，浅く谷を削り込んだような角ねじになっていた。この理由は，密度が大きく，変形しにくい材質のためと考えられる。

図5にはねじ形成に成功したカツラの例を示す。金型Bをはずすとき、ねじ山が崩れたが、ねじ形成は可能であることが分かった。

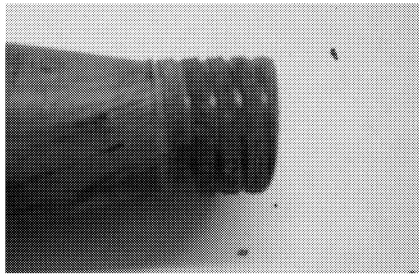


図4 M16 ねじ形成失敗 (カシ)

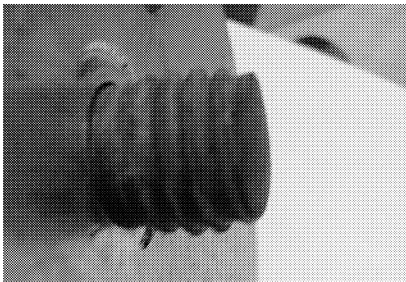


図5 M16 ねじ形成成功 (カツラ)

表1にはM14 (φ12) の場合の結果を含めて示す。表中の×印は、ねじ形成が見られず、○はねじ形成成功を示す。成功例が少ない。φ12では断面積63%の縮径であり、抵抗が大きいと考えられる。

表1 ねじり押し込みによるおねじ形成結果 (φ20)

直径 mm 樹種	12 (M14 用)	14 (M16 用)
シナ	×	×
カツラ	×	○
カシ	×	×

(e) 低圧縮率のねじり押し込みによる結果⁶⁾

木材の初期外径をφ17と小さくすることで圧縮率を低くし、また潤滑として木材を溶解したろうに浸してから、ねじり押し込みを行ってみた。なお、金型Bを二つ割りに改造した。その結果、ねじ形成が可能になった(図6)。ねじ部長さは20mmであった。二つ割り金型を長くすれば、長い寸法のねじ形成は可能であると思われる。しかし、ねじ山の高さが低く、圧縮率が小さいため、強度向上の期待は低い。

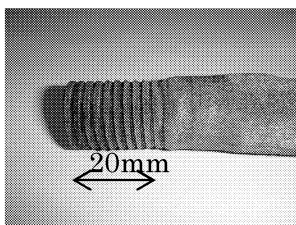


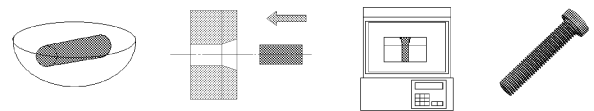
図6 ねじり押し込み結果(M16, 母材外径φ17, ろう潤滑, カツラ)

以上のように、ねじり押し込みではねじ山の形状精度や、ねじ部の長さが不十分であった。そこで、その他の方法を検討した⁷⁾。

2.2 縮径後、再可塑性・ねじり押し込みする方法

(a) 実験方法

縮径して圧縮木材を製造する段階とねじを形成する段階を分けることでおねじ形成を試みた。φ25をφ16に縮径(59%)して、簡易形状固定した圧縮木材を、再び図7に示すように可塑性して、旋盤によってピッチ2の自動送り、めねじの金型にねじり押し込みした。つかみ部が破断したとき旋盤を停止し、金型ごと形状固定した。冷却後、逆転して取り出した。以下の実験では、供試材をスギとした。スギの比重は0.36である。



再可塑性 ねじり押し込み 形状固定 冷却・逆転

図7 縮径後、再可塑性・ねじり押し込みする方法

(b) 縮径後、再可塑性・ねじり押し込み結果

図8に再可塑性後、ねじり押し込みした結果を示す。良好なねじ山が形成できている。しかし、ねじ部の長さが短い結果となった。ねじ形成における摩擦によりつかみ部が破断するため、これ以上長いねじ形成は困難と考えられる。

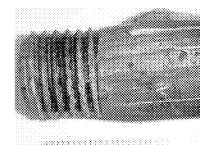


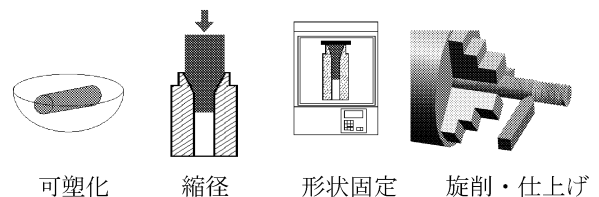
図8 縮径後、再可塑性・ねじり押し込み結果

2.3 縮径後、切削する方法

上記のようにねじり押し込みによるねじ形成は困難と思われたため、他の方法を検討した。

(a) 実験方法

図9に示すように、可塑性後、テーパ角20°の金型に押し込んでφ16に縮径し、金型ごと形状固定する。冷却後、押し出して取り出し、旋削およびヤスリ仕上げによっておねじを形成する方法を実施した。供試材寸法は、φ30~25として縮径率を変えた。潤滑剤として、ろうを塗布した。



可塑性 縮径 形状固定 旋削・仕上げ

図9 縮径後、切削する方法

(b) 縮径後、切削仕上げ結果

図10(a)は素材直径φ25からφ16に縮径した場合(縮

径率 59%), (b)は素材寸法 $\phi 28$ の場合 (縮径率 67%) の結果である。縮径率が大きいほど、年輪が多箇所折りたたまれている。また、切削によるねじ加工結果では、(b)の圧縮率の高い方が切削も容易で、ねじ山の形状も良好である。

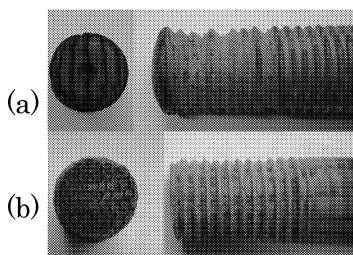


図 10 縮径後、ヤスリ仕上げ結果

2.4 縮径直後、弾性回復を利用する方法

(a) 実験方法

テーパ金型の出口径を小さくし、弾性回復変形を利用してどこまでねじ形成が可能かどうか調べた。図 11 に示すように $\phi 20$ を $\phi 12$ に縮径 (64%) した。圧縮速度 300mm/min、荷重 4.5kN である。ねじを取り出すために割り型を用いた (図 12 参照)。

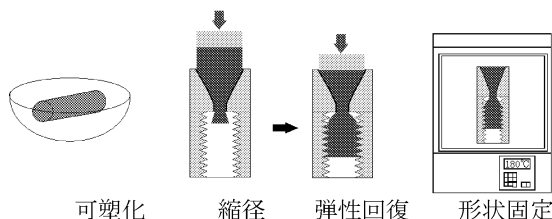


図 11 縮径直後、弾性回復を利用する方法

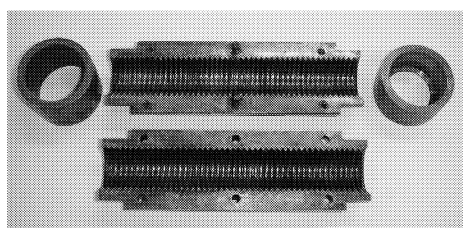


図 12 M16 おねじ形成用割型

(b) 縮径直後、弾性回復を利用した結果

図 13 に、 $\phi 20$ から $\phi 12$ に縮径 (64%) し、M16 の型で製造した結果を示す。木材がめねじ金型の内面で擦られて表面が削られており、ねじ山の形成はできなかった。これは、圧縮する速度より木材の弾性回復速度が速いためである。

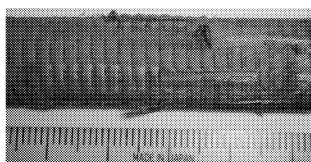


図 13 縮径直後、弾性回復結果

2.5 軸方向圧縮による方法

(a) 実験方法

ねじを製造する方法として、軸圧縮を試みた。図 14 に示すように M16 の下穴径の $\phi 14$ の丸棒を用意し、圧縮した。金型は割り型を使用した。圧縮前の長さを変化させることで圧縮率を変えた。

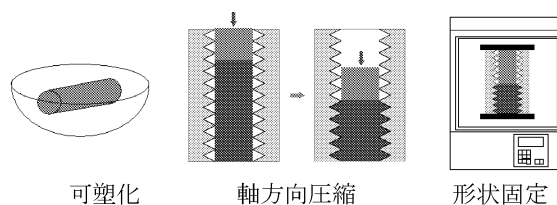


図 14 軸方向圧縮による方法

(b) 軸方向圧縮による結果

図 15 に軸方向圧縮結果を示す。軸方向圧縮率は左から 47%, 63%, 70%, 78% である。圧縮率が低い場合はねじ山の形成が不十分である。軸方向圧縮率が高い 78% では、ねじ山の一部分が剥がれ落ちている箇所がある。本方法は、ねじ製造方法としては採用できないと考えられる。

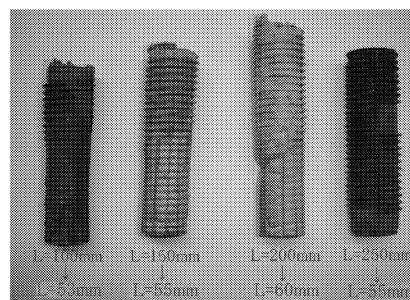


図 15 軸方向圧縮結果

2.6 縮径後、再可塑性・マンドレルによる方法

(a) 実験方法

ねじ山を形成するため、図 16 に示すように、 $\phi 20$ から $\phi 14$ に縮径 (51%) した試料を金型に入れた後、再可塑性し、さらに圧縮木材の中心に $\phi 10$ のマンドレルを押し込み ($\phi 20$ からの縮径率 75%)、木材を外側に押しつけることを試みた。マンドレルはステンレス丸棒で、先端角度は 40° である。

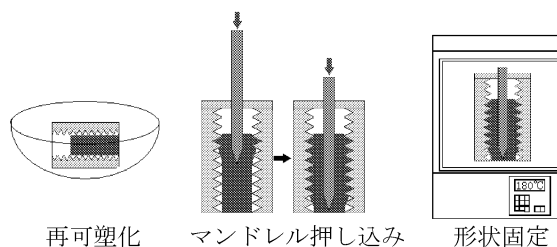


図 16 縮径後、再可塑性・マンドレルによる方法

(b) 再可塑性後マンドレルによる結果

図 17 にマンドレルを押し込んだ結果を示す。ねじ部の長さは 38 mm である。マンドレルは傾いて進入していることがわかる。ステンレスのストレート丸棒を用いたため、マンドレルを抜くことができない状況となった。

ねじに着目すれば、偏った側 (上側) のねじ山形状が良好となっている。しかし反対側が形成できていないので、

ナットは入らなかった。偏心を防ぐため下穴を設けるなど、また、マンドレルを金属から高圧縮材に変更するなど、工夫することによりねじ製造の可能性が考えられる。

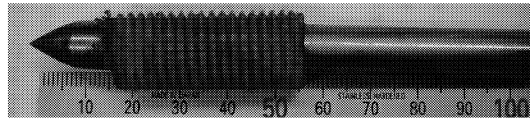


図 17 縮径後、再可塑性・マンドレルによる結果

2.7 ねじ山のせん断強度試験

おねじ製造が可能であったヤスリ仕上げねじと再可塑性ねじの試料と、比較材として未圧縮スギ、未圧縮ツゲからヤスリ仕上げにより M16 おねじを製作した。ねじ部の長さを 10mm として、M16 ナットにねじ込み、 $\phi 14$ の棒で押し込んで、破断荷重を求めた。その結果を図 18 に示す。

ヤスリ仕上げの高縮径率のねじと同等の強度が、再可塑性の低縮径率のねじり押し込み材で得られた。しかし、未圧縮ツゲの約半分の強度であった。

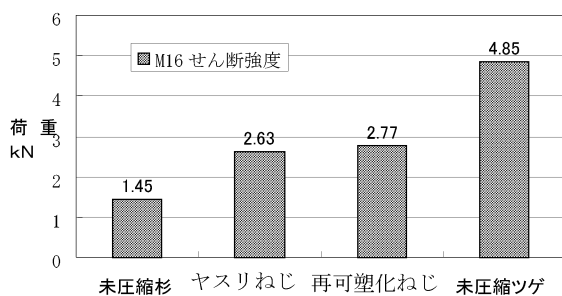


図 18 ねじ山せん断強度 (M16)

3. めねじの各種製造方法と結果

M16 のめねじを製造するためには外寸法 30mm の棒または角状に圧縮した後、下穴を開け、タップを立てることが考えられる。しかしこの場合、木材の晩材部分を切断することになり、強度低下を招くと考えられる。また、おねじで実施したヤスリがけによる仕上げを検討したが、穴の内面への仕上げは困難である。そこで、本研究におけるめねじ形成方法として、中子を用いためねじ製造方法を検討した。可塑性条件や形状固定処理条件は同一とした。

3.1 中子を用いためねじ形成実験

(a) 中子と金型

中子として、M16 おねじを図 19 のように木材の中心に置き、これを 2 方向から圧縮する。なお、中子の寸法

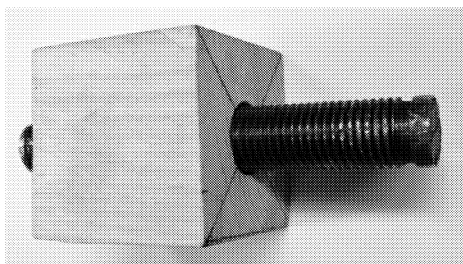


図 19 M16 用中子と圧縮前の状態

としては、形成されるめねじが、すきまばめになるように、また、木材の弾性回復を考慮して大きめの外径 $\phi 16.5$ とした。さらに、ねじ山高さも小さく設定して製作した。

次に、金型を新たに製造した。これまでの M10 用の 3 段 2 方向の 7.5% 圧縮を実施してきたが、今回 M16 製造を可能にするため M16 用の金型を製作した。

金型寸法は、図 20 に示すように供試材の初期断面形状は 60mm \times 60mm に設定し、3 段 2 方向圧縮後は 30mm \times 30mm となるようにした。長さは 200mm まで可能である。

金型材質はアルミニウム合金とした。

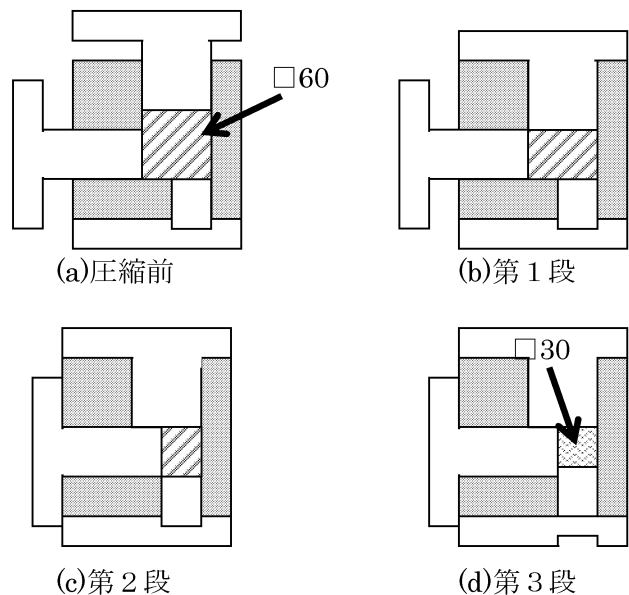


図 20 M16 用圧縮金型

(b) 供試材

供試材は、市販材の利用を目指して国産赤マツ、輸入材 S P F (Spruce; トウヒ, Pine; マツ, Fir; モミ) を用いた。初期断面形状 60mm \times 60mm では最終圧縮荷重が 300kN (30tf) を超えることがわかったので、初期寸法を変更して実施した。ともに 50mm \times 50mm とした。S P F の比重は 0.43、マツの比重は 0.53、である。そこで供試材の最終比重はそれぞれ、1.19、を 1.47 となる。なお、セルロースの比重は 1.5 とされており、マツの圧縮ではほぼ最大圧縮と考えられる。

3.2 中子を用いためねじ製造結果

図 21 にマツの結果を示す。初期寸法 50mm \times 50mm が 30mm \times 30mm に圧縮され、年輪が密になっている。

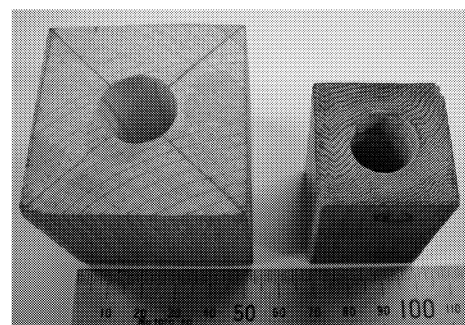
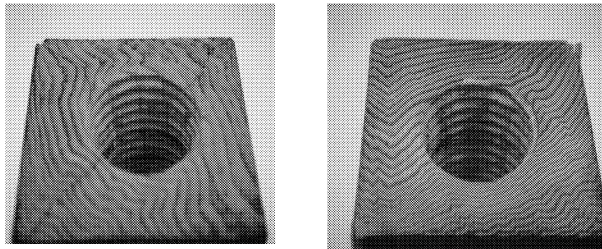


図 21 マツの圧縮前と圧縮後

図 22 には、SPF とマツのめねじ部の詳細を示す。M16めねじが形成されていることがわかる。また、SPFを見れば、圧縮前に中心に中子を設定したが、圧縮後は中心からずれる場合があることが判明した。めねじの内径はφ15であった。



SPF の圧縮後 マツの圧縮後
図 22 中子を用いためねじの形成結果

3.3 めねじせん断強度評価

上記によって得られためねじに、市販の金属製ボルトを5山(10mm)ねじ込み、そのボルトを逆向きに当て金によって押し出すことにより、ねじ山せん断強度を調べた。

その結果、SPFでは1.86kNであり、マツでは1.62kNとなった。この強度は図18で示したおねじの強度に比べ低い。その理由はめねじの内径がφ15であり、市販ボルトの外径が15.8となっており、ねじ山先端の0.4mmだけで荷重を負担しているためと考えられる。また、めねじ先端部分では十分に圧密化されていないことも考えられる。

4. おねじ、めねじの組み合わせ

前節で、めねじが得られたので、SPFを用いて2方向圧縮後、図23に示すようにヤスリ仕上げによっておねじを製造した。おねじの外径は先端部分でφ15.4、つかみ部でφ16.0となった。

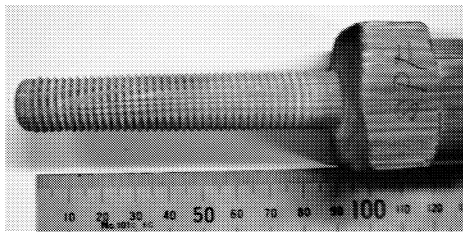


図 23 SPFおねじ(75%圧縮後ヤスリ仕上げ)

その強度を評価のため、先端部分で市販のナット5山でせん断したところ3.2kNであった。ナットの内径は14.2である。引っかかり高さは0.6であり、かつ圧縮後の切削によるため、めねじに比べ荷重負担能力が高い。

次に、破損した先端部分を切り落とし、SPFめねじと10山はめあわせて図24のようにせん断した。その結果、1.2kNと低い強度であった。この理由はめねじの内径が15mmであり、おねじの外径が15.4mmのためである。すなわち引っかかりの高さが0.2しかないため荷重負担できていなかった。なお、図25に示すように、強度の高いおねじ側には損傷がほとんど見られず、めねじ側にねじ山の一部破損が見られた。

この実験結果から、めねじの強度向上が必要であること

および、引っかかりの高さを増やすため、精度向上が必要であることがわかった。

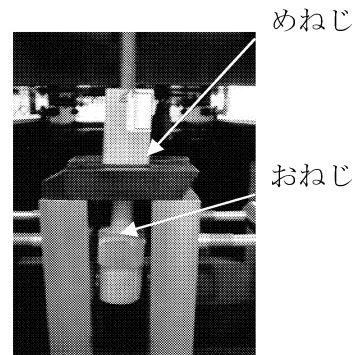


図 24 SPFおねじとめねじの組み合わせせん断(ねじ山数10)

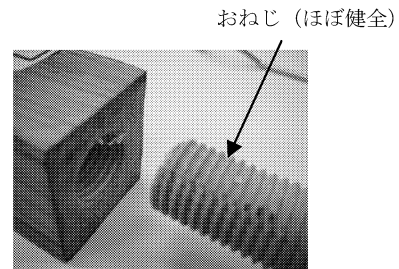


図 25 SPFの組み合わせせん断後

5. 結言

圧縮木材による木製ねじ製造を行い、以下のことが明らかとなった。

おねじの製造方法について

(1)ねじり押し込みによるおねじの製造では、圧縮率を小さくし、潤滑を行うことでM16のねじ形成ができる。最適材質はカツラであった。

(2)上記以外のおねじ製造法として5種類の方法を実施した結果、丸棒を縮径するか、角材を圧縮して旋削し、ヤスリ仕上げでおねじを製造することができた。しかしこの方法は作業時間が長くなる。

めねじ製造について

(3)中子によるめねじ製造では、中子を太くすることにより組み合わせ可能なめねじができた。しかし、さらなる精度向上が必要である。

(4)圧縮木製おねじとめねじとの組み合わせでは、おねじの強度が高く、めねじ破損となった。

謝辞

本研究は(財)天田金属加工機械振興財団の研究奨励費によるものであり、木材圧縮によるねじ製造方法について各種実験を実施することができた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1)阿部ほか:木材科学講座1 概論, (1998), 22, 海青社.
- 2)廣井ほか:第54回塑加連講論(2003), 307.
- 3)廣井ほか:第55回塑加連講論(2004), 75.
- 4)廣井ほか:第56回塑加連講論(2005), 673.
- 5)鈴木ほか:木材科学講座8 木質資源材料(1999), 51, 海青社.
- 6)廣井:第57回塑加連講論(2006), 301.
- 7)廣井:第58回塑加連講論(2007), 601.