

圧密技術を利用した環境配慮型竹製接合具の開発 押し抜き成型による圧密竹コネクター製造技術の開発

大内成司*・古曳博也*・阿部 優**

井上正文***・田中 圭***・後藤泰男****・梶原光男*****

*産業科学技術センター・**竹工芸・訓練支援センター

大分大学・*(株)ホームコネクター・***** (株)エクセム

Development of Densified Bamboo Connector Composed of Bamboo Stick

Johji OUCHI*・Hiroya KOHIKI*・Masaru ABE**

Masafumi INOUE***・Kei TANAKA***・Yasuo GOTO****・Mitsuo KAJIWARA*****

*Oita Industrial Research Institute・**Oita Bamboo Craft and Training Support Center

Oita University・*Home Connector Co.,Ltd.*****ECSM Co.,Ltd.

要旨

本研究では、これまで開発してきた竹コネクターの更なる強度の向上を目指し、物理的手段として、テーパー状の金属治具を使用した絞り加工による全周囲からの圧密化処理を施し、押し抜き成型法による圧密竹コネクターの製造を試みた。また、量産化に向けた押し抜き成型加工装置の開発を行った。圧密する竹ヒゴは、竹材の表皮側が台形断面の上底（短辺）側に、内皮側が下底（長辺）側になるように加工し、その台形ヒゴの内皮側が外側になるように8本を束ねたものを圧密することにより、密度の低い内皮側が選択的に圧密されるため均一的な圧密竹コネクターの製造が可能となった。製造した圧密竹コネクターを使用した木造継手接合部の引張試験を行ったところ、コネクター表面に加工を施したものは製造方法の違いに関わらず、仮説構造物の短期許容応力のほぼ2倍の耐力を示した。また、押し抜き成型加工装置の開発により圧密竹コネクターを3分間に1本の割合で製造することが可能となった。

1. はじめに

地球環境問題が叫ばれる中で、すべての分野で廃棄物対策が不可欠となっている。中でも木質系廃棄物は、他の材料製品に比べて対応が遅れているとされ、問題視されている。その理由のひとつとして材料自身のリサイクルは技術的には可能にもかかわらず、接合に使用される金物類（釘やビス等）と木材との分別に手間がかかり、採算が取れないということが挙げられている。

そこで我々は、分別の必要がなく、解体後有用資源として再利用したり、そのまま破碎しパーティクルボード等々にリサイクル、あるいはバイオマス燃料として使用する木造住宅の解体材リサイクルに有利な木材接合法の実現を目指し、「竹材と接着剤を併用した接合法」の開発を続けてきた。これまでに、小径の竹材や竹材を集成加工した接合具（以下、竹コネクターという）を提案し、その製作方法と強度性能について検討を行ってきた。その結果、金属製よりも強度はやや劣るものの、安定した引張強度を得ることができた。また、「リサイクルも容易であり環境に優しい」という観点から評価され、2006年に開催された愛知万博の日本政府館「長久手日本館」の構造用接合具として6万本採用された。しかし、強度が金属製のおよそ1/3であることから、金属製と同等性能の接合を実現するためには、使用本数を増やす、コネ

クターの断面を大きくする等の対応が必要となるため、今後の事業化や需要の拡大を図るためには、強度の向上が不可欠である。

木竹材の曲げ強度・引張り強度等は、密度にほぼ比例して向上することが既往の研究から知られている。そこで本研究では、物理的手段として、搾り加工による全周囲からの圧密化処理を施し密度の向上による強度の向上を目指し、量産化に向けた製造方法の検討を行ったので報告する。

2. 実験

2.1 押し抜き成型法による製作

図1に押し抜き成型法の概念図を示す。この方法はテーパー状の筒状金属治具の挿入口の断面積に相当する竹ヒゴを束ねて挿入し、加圧しながら押し込み、テーパーの部分で徐々に圧密化を図る方法である。竹ヒゴには接着剤を塗布しておき、圧密と同時に接着を行い円柱状に加工する。コネクターの形状は、接着剤導入用の穴が中央にあいた中空状をしている。圧密処理を施すと密度の向上に伴い硬度が増すため、その後小径のドリルでの穴あけ加工が困難になることが予測されるため、最初から穴のあいた状態での圧密を行うことを検討した。

竹ヒゴの形状は、図2に示すように、竹材の表皮側が台

形断面の上底（短辺）側に、内皮側が下底（長辺）側になるようにヒゴ加工を行った。まず、その台形ヒゴの下底側（内皮側）が外側になるように側面に接着剤を塗布した後、8本を束ねて八角柱状にした。こうすることにより、柔らかい柔細胞が多く占める内皮側が選択的に圧密されるため均一化が図られる。金属治具は、八角柱状に構成した竹ヒゴを挿入する上部ストレート部、圧密を行うテーパ部、圧密成型されたコネクタを受け入れる受け治具の3つのパーツから構成されている。これらの治具は、あらかじめ約150℃に加熱しておき、竹ヒゴの熱軟化と接着剤の硬化を促進させる。

作業手順は、まず、金属治具の上部ストレート部に八角柱状に構成した竹ヒゴを挿入する。この時、6mmの金属棒を中央部に挿入し、接着剤導入用穴を確保することとした。この金属棒には圧密加工後、容易に抜けるようにテーパ加工を施している。竹ヒゴの長さは155mmとした。次に、24.5mmの圧入棒でテーパ部の上面まで押し込み、引続き、16mmの圧入棒で受け治具まで押し込み、押し抜き成型が完了となる。

ここで、圧密後のスプリングバックによる摩擦抵抗が大きくなることを考慮に入れ、テーパ部の最狭部を16.7mmとし、テーパ部の出口を18.0mmとした。また、テーパ部から受け治具にスムーズに侵入するように受け治具の入り口付近を18.3mmとした。16.7mmでは、圧密率が高すぎたため最狭部を通り抜けることが出来なかった。そこで、17.3mmに若干直径を大きくしたが、同様な現象が生じたため、再度、直径を17.6mmに大きくした。その結果、最狭部は通り抜けることが出来るようになったが、受け治具の中央付近まで押し込むと、摩擦抵抗の増加で上部ストレート部内の竹ヒゴが圧力に耐え切れなくなり、座屈による破壊が目立つようになった。この時の荷重が、概ね10kNを超えるとこのような現象が見られた。図3にその荷重曲線を示す。A-1（青線）は荷重が11kN辺りから一旦下降し、再び上昇しているが、この時点で座屈現象が起きていると推察される。A-2（赤線）はスムーズに押し抜き成型ができた場合の一例である。変位が150mm付近で一旦0kNまで下降しているのは、圧入棒を24.5mmから16mmに交換したときである。摩擦抵抗を減少させるには、テーパ部と受け治具の内面（接触面）の平滑性を向上させ、滑りを良くする方法が考えられる。そこで、硬質クロムメッキを施し、平滑性を向上させることとした。メッキを施したことにより、摩擦抵抗が減少し全て押し抜くことが出来るようになった。

図4に圧密前と圧密後の断面の比較と、図5に押し抜き成型法により製作した圧密コネクタを示す。

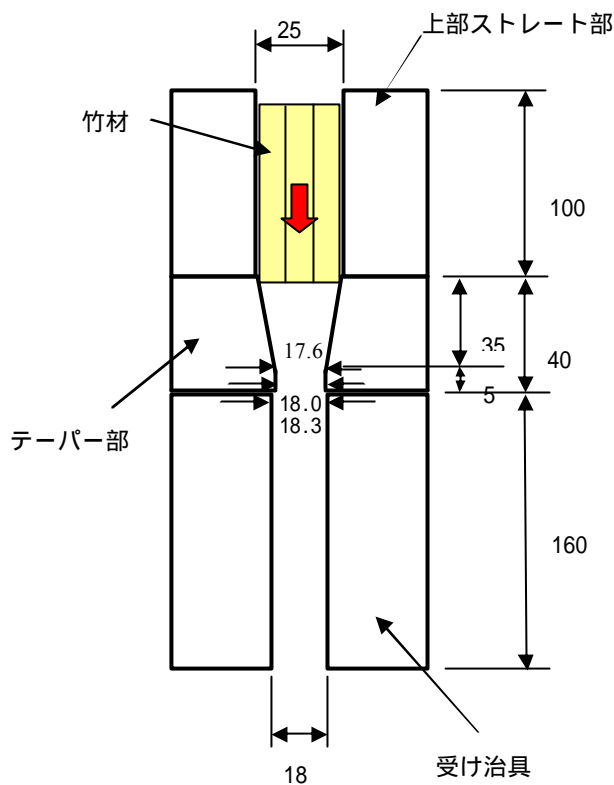


図1 押し抜き成型法の概略図

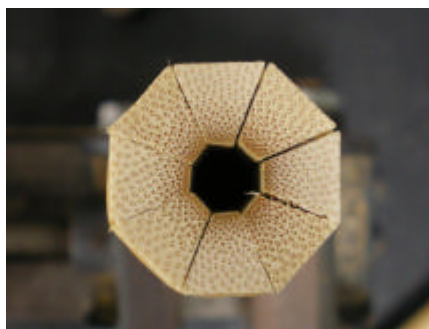


図2 竹ヒゴの断面写真

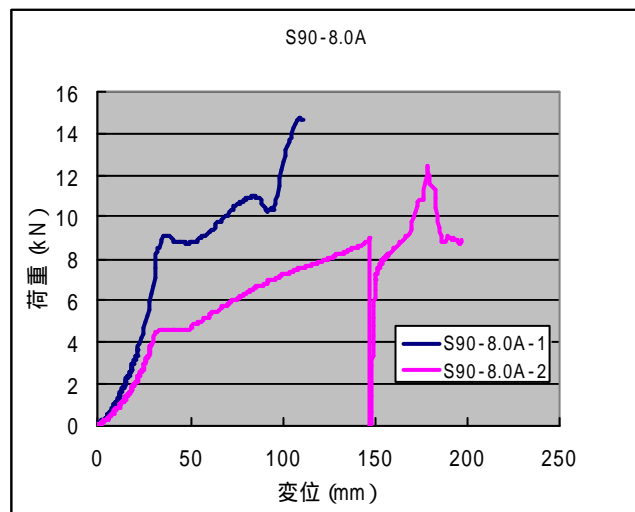


図3 押し抜き成型時の荷重曲線

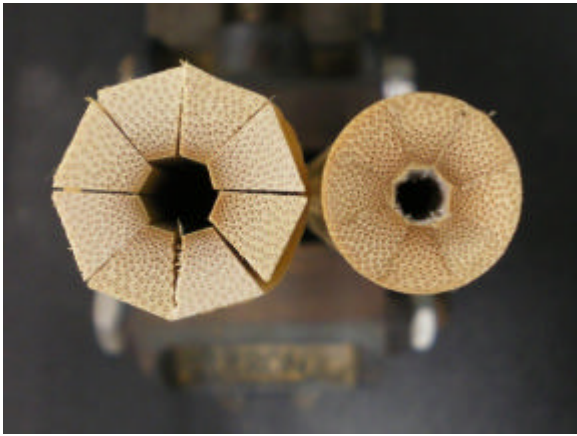


図4 圧密前と圧密後の断面の比較



図5 押し抜き成型法による圧密コネクタ

2.2 圧密竹コネクタを用いた継手接合部の引張試験
 押し抜き成型法により製造した圧密竹コネクタを用いて、継手接合部の引張試験を行った。
 表1に試験体リストを示す。コネクタ表面の加工状態をパラメータにとり、表面加工をしていない状態(Nシリーズ)、表面をサンドペーパー(粒度#60)で粗くした状態(Pシリーズ、図6,7参照)、卓上丸のご盤で繊維と平行方向に切り込み(深さ:約1mm、幅:約2mm)を施した状態(Vシリーズ、図8,9参照)、Pシリーズと同様の加工を施し、かつVシリーズと同様の加工を施した状態(PVシリーズ、図10参照)、表面全体にねじ加工(深さ:約1mm、ピッチ:約4mm、図11参照)を施した状態(Sシリーズ、図12参照)、Pシリーズと同様の加工を施し、かつコネクタの両端約30mmの部分にSシリーズと同様の加工を施した状態(PSシリーズ、図13参照)の6種類の試験体を準備した。なお、比較のため圧密コネクタとはほぼ同じ形状及び寸法の鋼製接合具(Steelシリーズ)についても実験を行うこととし、各3体ずつの試験体を製作し実験を行った。母材の樹種はスギ(乾燥材)とし、充填用の接着剤としてエポキシ樹脂接着剤を使用し、突合せ面には木口面接着の効果を除

するためウレタンシートを挟んだ。接着剤の養生期間は14日間とした。

表1 試験体リスト

試験体名	表面加工	平均密度 (g/cm ³)	
N	未処理	1.27 ~ 1.39	各3体
P	サンドペーパー		
V	切り込み		
PV	サンドペーパー+切り込み		
S	全ねじ		
PS	サンドペーパー+ねじ		
Steel	鋼製接合具	7.3	



図6 サンドペーパー加工



図7 Pシリーズ



図8 切り込み加工



図9 Vシリーズ



図10 PVシリーズ



図11 ねじ加工



図12 Sシリーズ



図13 PSシリーズ

3. 結果及び考察

3.1 引張試験結果

図14に継手接合部の引張試験の最大耐力を示す。最大耐力は、Steelシリーズを用いた試験体が最も高い値を示し、Nシリーズを用いた試験体が最も低い値を示した。

Steelシリーズは鋼製接合具と接着剤の付着強度が大き

いため、母材の破断により最大耐力が決定し、最も高い値が得られた。Nシリーズのコネクターの表面は、鏡面性の高いメッキ処理を施してある金属治具の内面によって圧密されるため、密度が高くなり光沢のある状態となっている。このため、コネクター表面の接着剤が細胞組織に含浸することで生じるとされる「投錨効果」が得られにくい状態であったと推察される。このような要因により、コネクター表面と接着剤の付着効率が悪くなったと考えられる。このためコネクター表面と接着剤の付着切れによる引き抜けが起こり、最大耐力が決定したために最も低い値となった。

Nシリーズと表面加工を施した各シリーズを比較すると、表面加工を施したコネクターの各シリーズの値がNシリーズの値を大きく上回る結果となった。また、表面加工を施したコネクターのシリーズの中では、ばらつきはあるもののVシリーズを除くP,PV,S,PSシリーズは、さほど差は見られなかった。

その結果、最大耐力において表面加工を施していないNシリーズと表面加工を施した各シリーズを比較すると、Nシリーズの1.5倍以上の最大耐力を得られることが明らかになった。

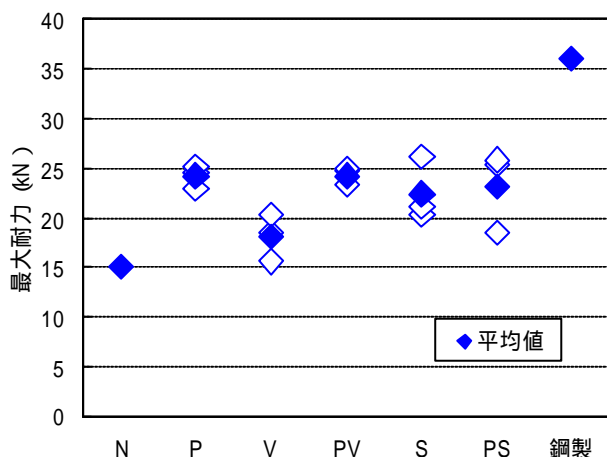


図14 継手接合部の引張試験の最大耐力

3.2 押し抜き成型加工装置の製作

<装置の概要>

これまでの実験結果を基に押し抜き成型装置の仕様を策定し、製作に取り掛かった。図15に製作したその装置を示す。本装置は、3つの圧入工程と治具の取出し工程の、4つの工程から構成されている。これらの工程は、ターンテーブル上に1/4ずつのエリアを有しており、作業者が竹材をセットしスイッチを押すことにより工程がスタートする。一つの工程作業が終了するとターンテーブルが回転し、順次、次の工程へと進み、受け治具取出し工程で受け治具が自動で排出されることとなる。

1. 竹材セット工程

- ・ 上部ストレート治具へセットされた竹材を5mm程度、テーパ治具に押し込む。

2. 圧入第一工程

- ・ 25mmのストレート圧入棒で、竹材をテーパ治具上面まで押し込む。

3. 圧入第二工程

- ・ 16mmのテーパ圧入棒で、竹材をテーパ治具上面から更に受け治具位置まで押し込む。

4. 受け治具排出工程

- ・ 圧入完了後ターンテーブルが回転し、排出口から受け治具のみ排出される。

<加熱装置>

図16に示すように、受け治具の加熱を行うためにターンテーブルの1/4のエリアごとに加熱部を配置した。これは、竹材の軟化と接着剤の熱硬化を促進させるためである。1つの加熱部に3本の電熱ヒータを配置しており、Max200 まで加熱することが可能である。

<圧入装置>

圧入棒の押し込みには、最大3ヶ所での圧入が想定されるので、Max10tonのボールベアリングジャッキを採用した。スムーズな圧入が可能となる。また、上下運動速度（押し込み速度）はインバータ制御により可変（8Hz - 60Hz）が可能である。10Hz時の速度は約50mm/minである。



図15 押し抜き成型加工装置



図16 ターンテーブル及び加熱部

4. まとめ

仮設構造物を設計する際の接合部の短期許容応力は12.7kNであるが、通常は安全率を見込んで2倍以上の値が求められてくる。

今回試験を行った表面加工を施したものは製造方法の違いに関わらず、短期許容応力のほぼ2倍の耐力を示しているが、試験体数が少ないこと、バラツキがあることなどから、さらなる耐力の向上を目指す必要がある。前述したように素材引張試験においては、鋼材に近い引張強度が得られているので、鋼製接合具(Steelシリーズ)の耐力に近づく可能性は十分あると考えられるので、接着剤の付着性能の向上を目指し、今後、表面加工方法等についてより詳細に検討を進めていく考えである。

本研究は、大分県産業創造機構の新産業創出重点研究開発事業によって行ったものである。