

## 竹製接合具(竹コネクター)の試作及び耐久性試験

大内 成司・中原 恵・二宮 信治・寒竹 慎一\*・北嶋 俊朗\*

井上 正文\*\*・田中 圭\*\*・宮内 裕之\*\*・後藤 泰男\*\*\*

材料開発部・\*大分県竹工芸・訓練支援センター ・\*\*大分大学・\*\*\*(株)ホームコネクター

### Development of Bamboo Connector in Timber Structures and Creep Test

Johji OUCHI, Megumi NAKAHARA, Shinji NINOMIYA, Shinichi KANTAKE\*, Toshiro KITAJIMA\*

Masafumi INOUE\*\*, Kei TANAKA\*\*, Hiroyuki MIYAUCHI\*\*, Yasuo GOTO\*\*\*

Material Development Division, \*Oita Bamboo Craft and Training Support Center,

\*\*Oita University, \*\*\*Home Connector Co.,Ltd

#### 要旨

本研究では、建設資材リサイクル法の施行に伴う、建築物の分別解体及び再資源化の義務付けに向けて、解体・リサイクル可能な木質構造用接合技術の開発に着手し実験を行った。接合具にモウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) を利用し、竹製接合具(竹コネクター)を試作した。竹製接合具の強度には、ラミナの積層枚数が影響を与えることがわかった。また、接合部の引張り試験において、14日間養生時では、竹製接合具を用いる方が、金属製接合具を用いるよりも接着剤の硬化が早く、優れた強度性能を発揮することがわかった。

#### 1. はじめに

近年、様々な分野でごみ処理問題、廃棄物対策が重要課題となっている。特に建設系廃棄物は、他の廃棄物に比べリサイクル率が低い。中でも木造住宅の解体によって排出される廃棄物に関しては、他の構造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、接合に使用される金物類と木材との分別の手間が挙げられている。

本研究開発では、建築用の金属製接合具の開発研究や小径竹を接合具として用いた強度試験等で得られたこれまでの成果<sup>1)2)</sup>を基に、解体や廃棄が容易な環境に優しく実用性の高い竹製接合具を開発することを目的とした。

環境に優しく実用性の高い竹製接合具の開発を行うために、竹製接合具(以下、『竹コネクター』とする)の試作及び耐久性試験、各種接合具の力学的評価、並びに建築構造物への応用研究を実施した。そのため、大分県産業科学技術センター、大分県竹工芸・訓練支援センター、大分大学、(株)ホームコネクターからなる共同研究体を形成して、研究開発に取り組んだ。

#### 2. 実験

##### 2.1 コネクター接合法とは

コネクター接合法とは、大分大学の井上らによって開発された、「接合金物と接着剤を併用した木材接着法」(以下、『コネクター接合法』とする)のことであり、その概略をFig.1に示す。木材の接合面にコネクター用の穴と枝

管用の穴をあけ、その穴にコネクターを挿入し、木材同士をつき合わせ、ビスにより仮留めを行う。次に、コーキングガンにより接着剤を注入し、目視により充填が確認できた後、込栓を打ち込み養生し完了となる。

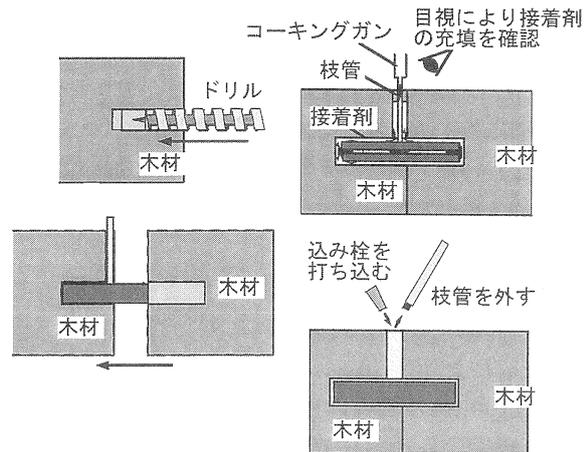


Fig.1 接合法の概略

##### 2.2 竹コネクターの製造方法

供試材として油抜きをしたモウソウチクを使用し、幅40mm、厚さ5、3mmの竹ラミナを4枚と7枚積層し、竹集成材を製造した。接着剤は、水性高分子イソシアネート系(API)、

ポリウレタン樹脂(PUR)、ユリア樹脂(UR)の3種類を使用し、製造条件を6条件とした。Table 1 に竹集成材の製造方法のパラメータを示す。工程は、まず、竹ラミナに接着剤を約200g/m<sup>2</sup>片面塗布し、コールドプレスで圧縮圧力10kgf/cm<sup>2</sup>で圧縮接着を行い竹集成材を製造する。その竹集成材を手押し鉋及び自動鉋で20mm角の角柱に切削し、丸棒切削機により直径18mmの丸棒に加工する。次に、丸棒を150mmの長さで切断し、木口切削加工機で丸棒の木口の中心部に直径6mmの穴を貫通させる。その後、丸棒側面の中心部に直径7.5mm枝管用の穴をあけ、竹コネクターとなる。

Fig. 2 に竹集成材を用いた竹コネクターの加工法の概略を、Fig. 3 に試作した竹コネクターの形状及び寸法を示す。

### 2.3 竹コネクター素材の引張り試験

2.2 に記した竹コネクターの製造方法において、直径18mmの丸棒に加工する前の20mm角の角柱での引張り試験を行った。Fig. 4 に試験体形状及び寸法を示す。

### 2.4 竹コネクターを使用した接合部の引張り試験

供試体として、含水率8.5~26.5%、ヤング係数6.77~7.36GPaのスギ材を使用した。竹コネクターの1製造条件当たり6体とし、6条件、合計36体の試験体を試作し試験を行った。接合には、Fig. 1 で示した接合法によりポリウレタン系樹脂接着剤を使用し、突合せ面には接着効果を排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。Fig. 5 に試験体形状及び寸法を示す。

Fig. 6 に試験において使用した加力装置と変位測定装置を示す。載荷は、3体は単調引張載荷、3体は繰り返し載荷で行った。変位計は、接合部の4面にそれぞれ取り付け、接合部の開きを測定した。

### 2.5 クリープ試験

竹コネクターを実際に建築に使用すると仮定した場合、長期負荷に対する性能を把握する必要があり、クリープ曲げ試験を行った。また、ラミナの積層方向の違いによる影響について検討した。

#### 2.5.1 試験条件

試験体形状は、厚さ5mmのラミナを4枚積層した20×20×540mmであり、負荷方向に対し積層方向が垂直(Vertical)と水平(Horizontal)になるように行った。スパンは500mmとした。負荷重量は、事前に行った曲げ試験結果から比例限荷重のほぼ1/2の40kgfとし、支点から150mm内側に20kgfづつ負荷が掛かるようにした。負荷期間は14日間とし、除荷2日後を最終測定とした。同時に、耐久性付与を目的として木材に使用され始めている木材保存剤の低分子フェノール樹脂(主成分:メチロール化フェノールモノマー)の含浸処理を試み、負荷方向に対し積層方向が垂直(Vertical)のみ試験を行った。Fig. 7 にクリープ曲げ試験の概略を示す。

Table 1 竹集成材の製造方法のパラメータ

シリーズ	積層数	接着剤	試験体数
4-API	4	水性高分子イソシアネート系	6
4-PUR	4	ポリウレタン樹脂	6
4-UR	4	ユリア樹脂	6
7-API	7	水性高分子イソシアネート系	6
7-PUR	7	ポリウレタン樹脂	6
7-UR	7	ユリア樹脂	6

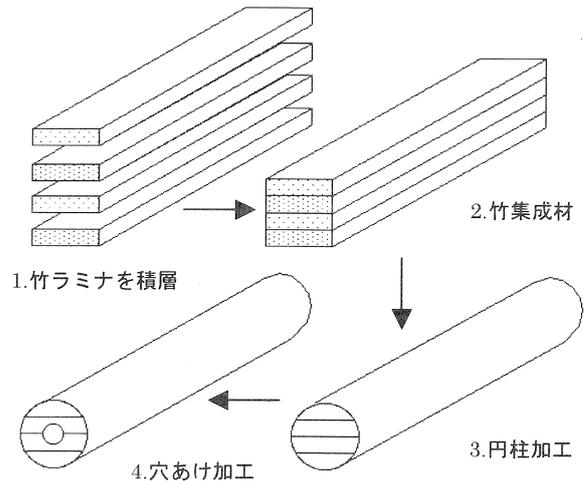


Fig. 2 竹コネクター加工法の概略

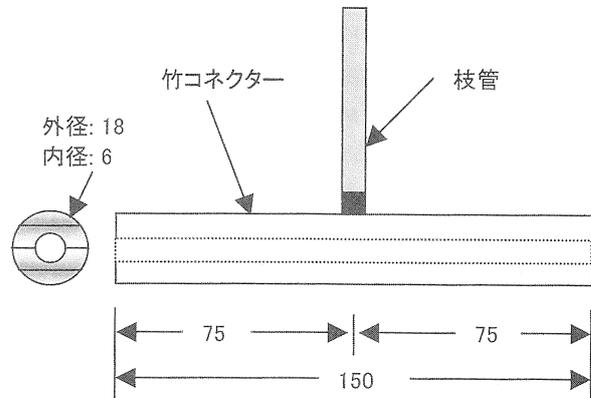


Fig. 3 竹コネクターの形状 (単位: mm)

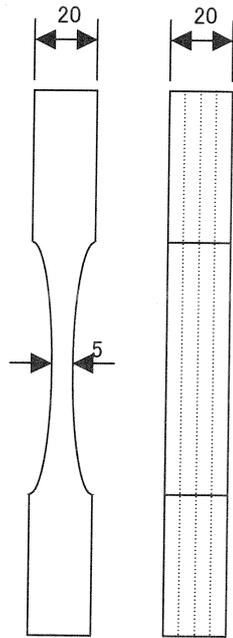


Fig. 4 竹コネクタ素材引張り試験体の形状 (単位: mm)

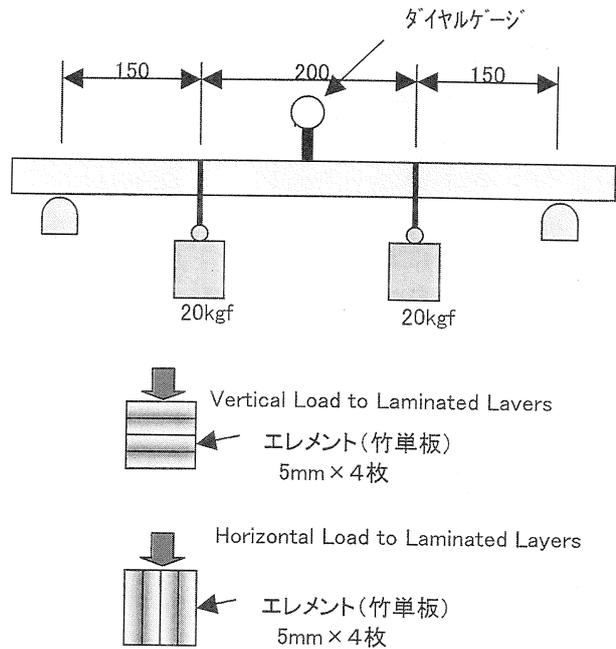


Fig. 7 クリープ曲げ試験の概略 (単位: mm)

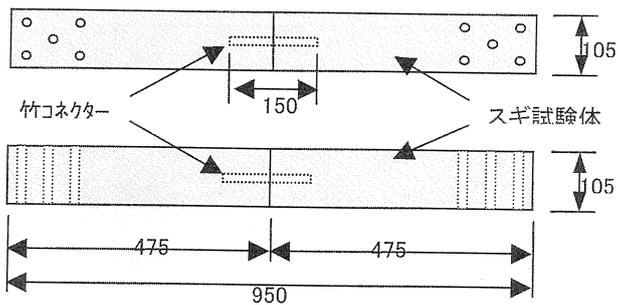


Fig. 5 接合部引張り試験体の形状 (単位: mm)

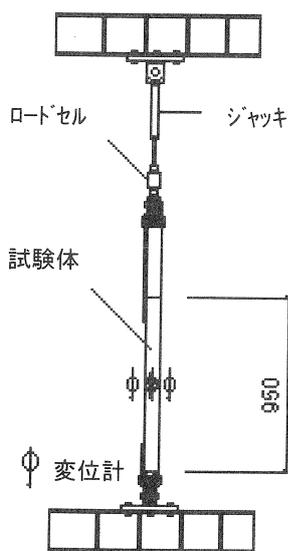


Fig. 6 加力装置 (単位: mm)

### 3. 結果および考察

#### 3.1 竹コネクタ素材の引張り試験

Fig. 8に各シリーズの最大耐力を示す。積層枚数で比較すると、7枚積層の方が4枚積層よりも全体的に高い値を示した。一方、積層に用いた接着剤による耐力の差異は、ほとんど見られなかった。

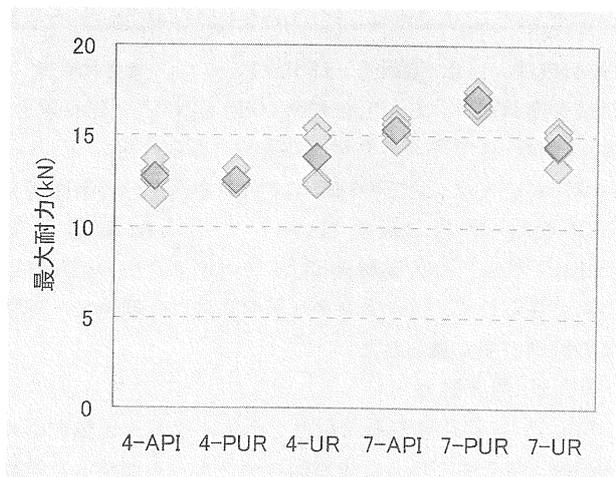


Fig. 8 竹コネクタ素材の引張り強さ

#### 3.2 竹コネクタを使用した接合部の引張り試験

##### 3.2.1 破壊性状

Fig. 9~14に各シリーズの代表的な破壊性状を示す。また、Table 2に各試験体の破壊性状の一覧を示す。厚さ5mmの竹ラミナを4枚積層して製造した竹コネクタを使用し

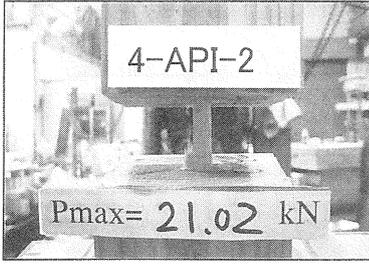


Fig. 9 4-API シリーズ

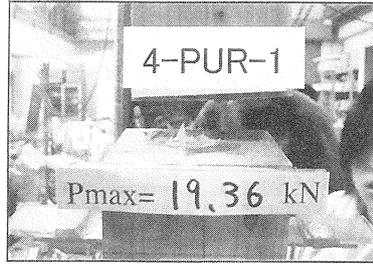


Fig. 10 4-PUR シリーズ

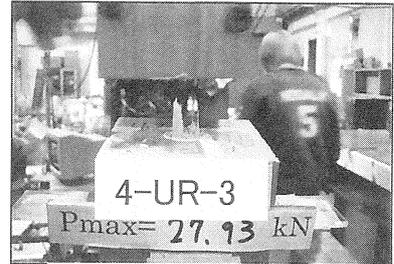


Fig. 11 4-UR シリーズ

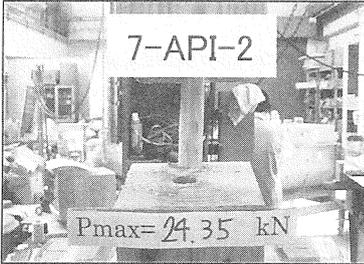


Fig. 12 7-API シリーズ

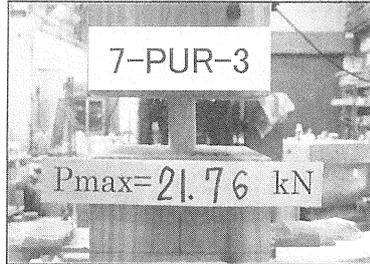


Fig. 13 7-PUR シリーズ

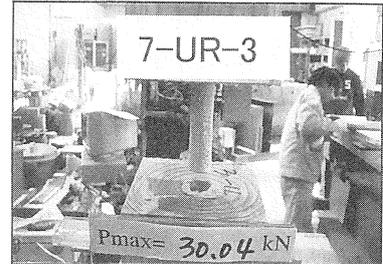


Fig. 14 7-UR シリーズ

Table 2 破壊性状リスト

試験体名	試験体番号					
	1	2	3	4	5	6
4-APIシリーズ	×	△	×	△	×	×
4-PURシリーズ	×	△	×	△	×	△
4-URシリーズ	×	×	×	×	×	×
7-APIシリーズ	×	○	△	○	○	×
7-PURシリーズ	△	○	○	△	×	△
7-URシリーズ	△	○	○	×	△	△

○ 引抜け △ 破断+一部引抜け × 接合具破断  
た接合部試験体（4-API, 4-PUR, 4-UR）では、一部を除き、多くのケースで竹コネクタの破断がみられた。

4-URにおいては、全ての試験体で竹コネクタの破断が見られた。厚さ3mmの竹ラミナを7枚積層した7-API, 7-PUR, 7-URの試験体では、竹コネクタの破断はほとんど見られず、竹コネクタが引き抜けた状態での試験体の破壊が多く見られた。

### 3.2.2 最大耐力

Fig. 15 に各条件の最大耐力を示す。なお、比較のため同時期、同条件で行った金属製コネクタを使用した試験体の結果も示す。最大耐力は、竹コネクタ全ての条件において、金属製コネクタを使用した試験体の最大耐力を上回る結果となった。これは、使用した接着剤が水分反応硬化型であったため、竹コネクタを使用した試験体の方が、接着剤の硬化が速く進んだためと思われる。積層枚数の違いによる最大耐力は、7枚積層の方が4枚積層よりも僅かではあるが高い値を示した。これは、前項で述べたよ

荷重 (kN)

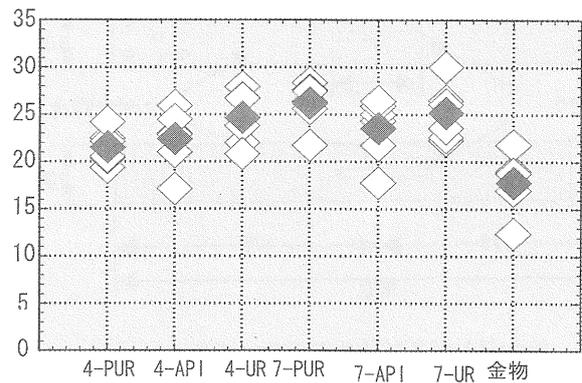


Fig. 15 接合部の引張り試験結果

うに破壊性状の違いなどから、竹コネクタ自身の強度に差が生じたためと思われる。竹コネクタ自身に強度差が生じた原因は、竹ラミナの製造方法に有ると考えられる。まず、表皮側を切削し、平面がでた時点で表皮側の切削は終了とする。その後、内皮側から切削を行い、所定の厚さ（5mm, 3mm）に仕上げるため、厚さ3mmの方が表皮側により維管束の分布密度が高くなる。そのため、7枚積層の方が4枚積層よりも相対的に維管束の分布量が多くなるためだと考えられる。

一方、積層に用いた接着剤による耐力の差異は、竹コネクタ素材の引張り試験結果と同様に、ほとんど見られなかった。

### 3.3 クリープ曲げ試験

Fig. 16 にクリープ変形の経時変化を、Table 3 にそれぞれの値を示す。負荷方向に対する積層方向の違いによる

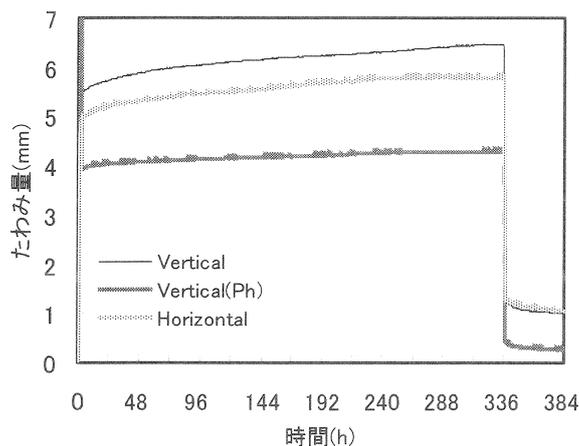


Fig. 16 クリープ変形の経時変化

Table 3 クリープ曲げ性能 (単位: mm)

	Vertical	Horizontal	Vertical (Ph)
負荷開始			
瞬間弾性変形量	5.38	4.58	3.91
クリープ変形量	1.06	1.22	0.39
瞬間弾性回復量	5.06	4.41	3.78
クリープ回復量	0.38	0.34	0.25
残留たわみ量	1.00	1.05	0.27

比較を見ると、負荷開始から14日間後のクリープ変形量は、垂直:1.06mm、水平:1.22mmであり、差は見られなかった。また、除荷後のクリープ回復量及び残留たわみ量も差は見られなかった。積層方向の違いによるクリープ性能の差がなかったということは、竹コネクタの形状(円柱状)から見ると、現場で実際に使用する場合、挿入時に方向を気にせず施工が出来るので、良好な結果といえるであろう。

低分子フェノール樹脂を含浸させたものと比較すると、クリープ変形量は0.39mmと小さく、未処理材の約1/3の値であった。除荷2日後の残留たわみ量は約1/4の値であり、たわみにくく、永久変形が小さいことがわかった。これは、長期間使用する部材として適していることを示しており、今後、竹コネクタへの低分子フェノール樹脂含浸処理についてさらに検討を進めていく。

### 3.4 竹コネクタの木製家具への利用

本研究成果をもとに、手始めとして木製家具への利用について検討を行い、竹コネクタを使用したテーブルを試作した。Fig. 17 に試作した竹コネクタを、Fig. 18, 19 にテーブルの試作事例を示す。

## 4. まとめ

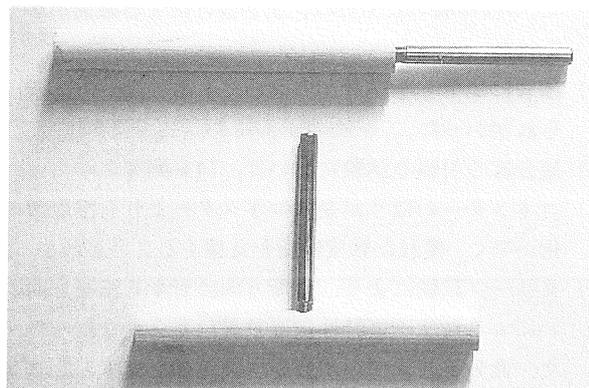


Fig. 17 試作した竹コネクタ

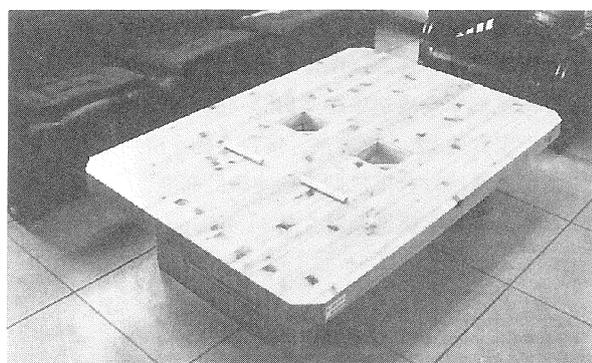


Fig. 18 竹コネクタ挿入の様子

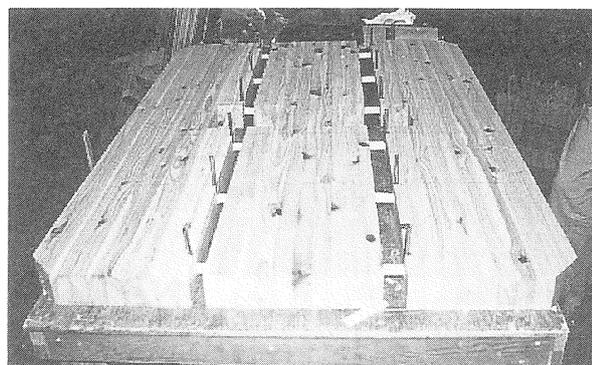


Fig. 19 試作したテーブル

本研究では、モウソウチクを利用した竹集成材を製造し、竹製接合具(竹コネクタ)の試作と接合部の強度実験及び耐久性能試験としてクリープ試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 竹コネクタ素材の引張り試験及び接合部の引張り試験では、ラミナを7枚積層したものの方が、やや高い値を示した。
- 2) 接合部の引張り試験の破壊性状を見ると、4枚積層したものは、竹コネクタ自身の破断が多く見られた。ま

た、7枚積層したものは、引き抜けによる破壊が多く見られた。

- 3) 積層に使用した接着剤の違いによる強度への影響は見られなかった。
- 4) 接合部の引張り試験において、14日間養生時では、竹コネクターのほうが金属コネクターよりも接着剤の硬化が早く、優れた強度性能を発揮することがわかった。
- 5) クリープ試験により、負荷方向に対する積層方向の違いによるクリープ特性には差異は見られなかった。また、低分子フェノール樹脂含浸処理を施すと、クリープ性能が向上することがわかった。

#### 参考文献

- 1) 井上正文他3名：接着剤と接合金物を併用した木質構造継手合部に関する実験的研究  
日本建築学会構造系論文集No. 489, pp59-66, 1996. 11
- 2) 井上正文他3名：接着剤と接合金物を併用した木質構造仕口合部に関する実験的研究  
日本建築学会構造系論文集No. 498, pp. 105-111, 1997. 8