

竹製接合具と接着剤を併用した木材接合部の開発*¹井上正文*²・田中 圭*³・後藤泰男*³・中原 恵*⁴・大内成司*⁴

井上正文・田中 圭・後藤泰男・中原 恵・大内成司：竹製接合具と接着剤を併用した木材接合部の開発 九州森林研究 56：138-143, 2003 近年、様々な分野でゴミ処理問題、廃棄物対策が問題になっている。特に建設系廃棄物は、接合に使用されている金物類と木材との分別の手間がかかることなどの理由で、他の廃棄物に比べリサイクル率が低い。そこで本報では、解体・リサイクル可能な構造物および接合の実現をめざし、接合具に天然小径竹材を用いた場合と竹集成材を用いた場合について製作方法及び形状を検討した。さらに、試作品を使用した接合部を製作し、その強度性能を把握するために実験を行った。その結果、竹集成材を用いることで金属製の接合具と同等以上の引張強度を実現できることが明らかとなった。

キーワード：竹製接合具、接着剤、竹集成材、引張強度

I. はじめに

近年、様々な分野でゴミ処理問題、廃棄物対策が重要な社会課題となっている。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、他の材料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。

本研究では、解体・リサイクル可能な構造物及び接合の実現を目指し、著者らが開発した「接合金物と接着剤を併用した接合法」(I)、(2) (以下『コネクター接合法』とする)を応用し、解体時にノコヤチェンソーで容易に切断することが可能で、かつ木材との分別の必要がない「竹材」を使用した接合具の開発を行ったので報告する。

II. 竹製接合具と接着剤を併用した接合法

本研究で開発する「竹製接合具と接着剤を併用した木質構造用接合法」(以下、竹コネクター接合法とする)の接合メカニズム(T-typeの場合)を図-1に示す。竹コネクター接合法は、「コネクター接合法」を基本としており、その施工方法等は基本的に同様である。接合面に竹製接合具挿入用の穴と、枝管用の穴をあけ、竹製接合具を穴に収め、木材同士を突合わせ、コーキングガンにより接着剤を注入し、充填が確認できた後、枝管を取り外し込栓を打ち養生する接合法である。なお、本報に述べる竹コネクター接合法で使用した接着剤は、すべて発泡性ポリウレタン

系接着剤である。また、接合部の接着剤注入から実験までの期間(養生期間)は、すべて14日間とした。

III. 天然の小径竹材を使用した場合

1. 継手接合部試験体及び実験の概略

試験体の形状および寸法を図-2に示す。木材は、現在一般に建築用材として使用されているヤング係数5.01~9.39GPa、含水率39~59%のスギ材(無等級・グリーン材)を入手、加工し使用した。小径竹材を使用した接合具(以下、小径竹接合具とする)には、外径が16mm程度のメダケを使用し、長さ150mmに切りそろえ、油抜きを行った(図-3参照)。表-1に試験体のリストを示す。実験は、竹表面の仕上状態と付着性能との関係を明らかにするため、小径竹接合具の表面仕上状態をパラメータにとり行った。表面仕上状態は次の4パターンとした。
Nシリーズ：何も加工を施さない状態(写真-1参照)

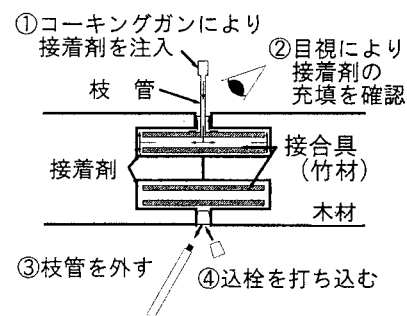


図-1. 竹コネクター接合法のメカニズム

*¹ Inoue, M., Tanaka, K., Goto, Y., Nakahara, M. and Ouchi, S.: Development of Joint in Timber Structure Using Bamboo Connector and Adhesive

*² 大分大学工学部 Fac. Eng., Oita Univ., Oita, 870-1192

*³ (株)ホームコネクター Home Connector Co.Ltd., Oita, 870-0927

*⁴ 大分県産業科学技術センター Oita Industrial Research Institute, Oita, 870-1117

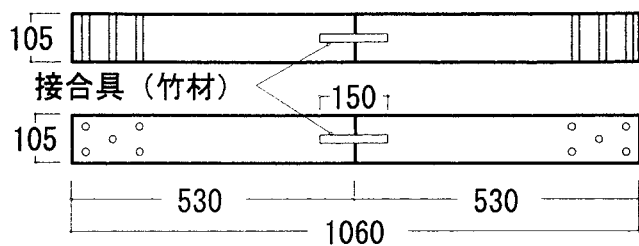


図-2. 試験体形状・寸法 (単位: mm)

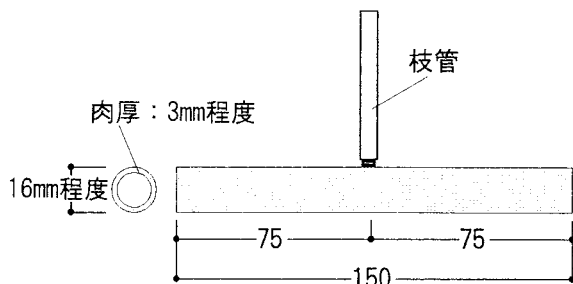


図-3. 小径竹接合具の形状・寸法 (単位: mm)

表-1. 試験体リスト
(小径竹接合具を使用した継手接合部)

試験体名	表面仕上加工状態		試験体数
	(表皮の除去)	(切込み加工)	
Nシリーズ	無	無	5
Uシリーズ	無	有	5
Sシリーズ	有	無	5
SUシリーズ	有	有	5

Uシリーズ: 表皮はそのまま千鳥状に切り込み (長さ: 約 5 mm, 幅: 約 3 mm, 間隔: 約 5 mm) をつけた状態 (写真-2 参照)

Sシリーズ: 表皮を研磨紙 (AA100) で取り除いた状態 (写真-3 参照)

SUシリーズ: Sシリーズ同様, 表皮を取り除いて, かつUシリーズと同様の切り込みをつけた状態 (写真-4 参照)

これら4種類の竹材表面加工に対して, 各シリーズ5体ずつ合計20体の試験体を製作した。

図-4に実験の概略を示す。载荷は, オイルジャッキにより単調引張载荷 (载荷速度: 7.35kN/min) で行った。本実験では, 突合せ面での木材同士の接着効果を排除するためウレタンシートを挟んだ。

2. 実験結果及び考察

図-5に各シリーズの最大耐力を示す。なお, 比較のため小径竹接合具とほぼ同じ寸法 (直径18mm) の鋼製接合具を使用したシリーズの試験体の結果も示す。Nシリーズは, 極端に低い値を示している。このシリーズの試験体では, 小径竹接合具表皮と接着剤との付着が切れ, 小径竹接合具自体に破壊が見られず引抜けた (写真-5 参照) ことから, 小径竹接合具表皮と接着剤の付着力が極端に乏しいためであると考えられる。これに対しSシリーズは, 接着剤の凝集破壊および小径竹接合具表面の部分的な剥離が同時に見られた。接着剤の凝集破壊を起こした試験体では, 小径竹接合具表面に接着剤が残り (写真-7 参照), 小径竹接合具表面の



写真-1. Nシリーズ

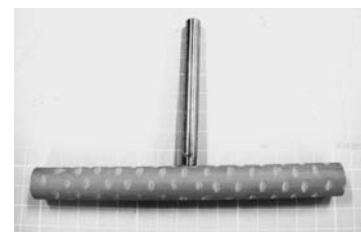


写真-2. Uシリーズ



写真-3. Sシリーズ



写真-4. SUシリーズ

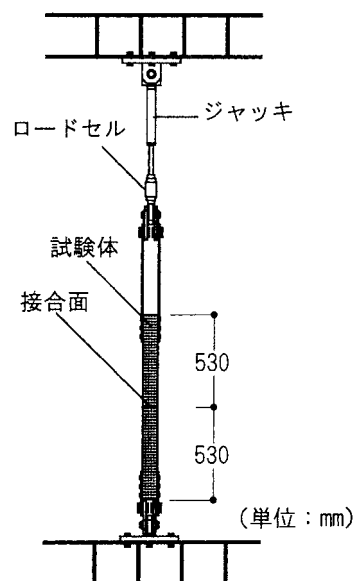


図-4. 実験の概略

剥離部分では、木材の穴に剥離した部分が残っていた（写真－8参照）。また、最も耐力の高かった試験体では、小径竹接合具の繊維方向への割裂が確認された（写真－9参照）。これは、小径竹接合具に枝管を取り付けるためにあけた穴の部分で応力集中が起こり、割裂が生じたものと思われる。これらのことから、接着剤との付着性状が良好であったと考えられ、最大耐力も鋼製接合具を使用した試験体に近い値を示した。Uシリーズは、切り込みをつけた部分のみに付着力の上昇がみられ、N・S両シリーズの中間的な値となったと考えられる（写真－9参照）。SUシリーズは、小径竹接合具表面の全体的な剥離と、小径竹接合具の破断が見られた（写真－10参照）。これは、表皮の削り取りと切り込みの両方の加工を行ったことにより、竹材自身の引張強度が低下したのに対し、逆に小径竹接合具表面と接着剤との付着力は、Uシリーズに比べ上回ったため結果的に小径竹接合具が破断したと思われる。

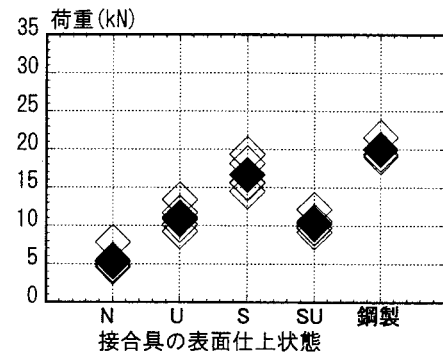
本節の実験では、小径竹接合具表皮の加工の違いにより耐力に明らかな差がみられた。天然の小径竹（メダケ）を接合具に用いる場合、接合具と接着剤との付着性状を改善させるためには表皮を取り除くことが不可欠である。また、適切な表面加工を行うことで最大耐力が鋼製接合具を使用した場合と大差がなく、構造物における接合を想定した場合においても十分な引張強度を有すると考えられる。しかし、天然の小径竹材をそのまま接合具として使用する場合、均一な形状及び強度のメダケを大量に入手することは極めて困難であり接合具表面の接着性を向上させるための表皮の除去にかなりの手間が必要となる等の問題点が存在することが明らかとなった。

IV. 竹ラミナ集成材を使用した場合

前述した小径竹材をそのまま接合具として使用した場合の様々な問題点の克服と商品化を可能とする目的から、竹の集成加工材を用いることを検討した。特に本節では、丸竹から整形断面のラミナを製作し、これを集成化した材料（以下、竹ラミナ集成材とする）から竹製接合具（以下、竹ラミナ接合具とする）を製作する方法の検討を行った。また、あわせて製作した竹ラミナ接合具の強度性能の把握とその試作した竹ラミナ接合具を使用した接合部の強度性能を把握する実験を行った。

1. 接合具の加工

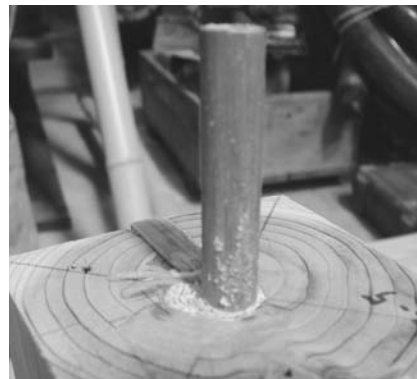
竹ラミナ接合具は、竹ラミナの積層数（4枚・7枚）、接着剤の種類（水性高分子イソシアネート系・ポリウレタン樹脂・ユリア樹脂）をパラメータに試作を行った。図－6に竹ラミナ集成材



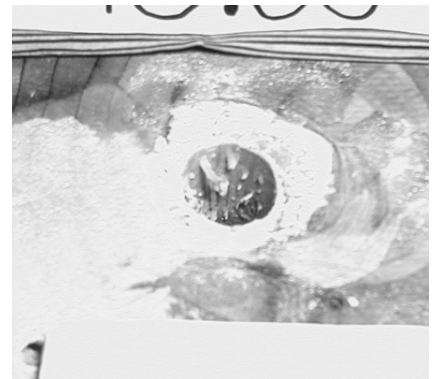
図－5. 最大耐力（小径竹接合具を使用した継手）



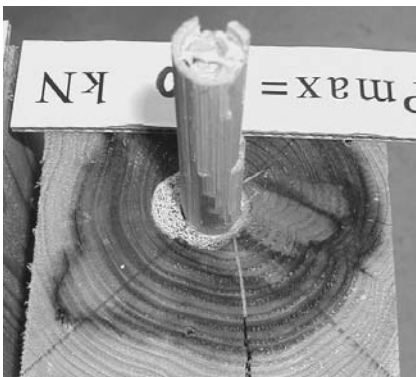
写真－5. Nシリーズ破壊性状



写真－6. Sシリーズ破壊性状（1）



写真－7. Sシリーズ破壊性状（2）



写真－8. Sシリーズ破壊性状（3）



写真－9. Uシリーズ破壊性状



写真－10. SUシリーズ破壊性状

接合具の製造手順を示す。まず、節を取り除いた竹の両面を自動一面カンナ盤で平滑に整形し(写真-11参照)、表皮側が外側にくるように重ね、片面にのみ接着剤を塗り(塗布量:200g/m², 写真-12参照)、圧縮(圧力:0.98MPa, 時間:6h, 温度:常温)した(写真-13参照)。その後、自動カンナ盤で幅、厚さを

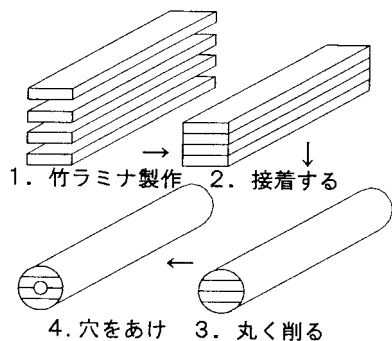


図-6. 製造の手順

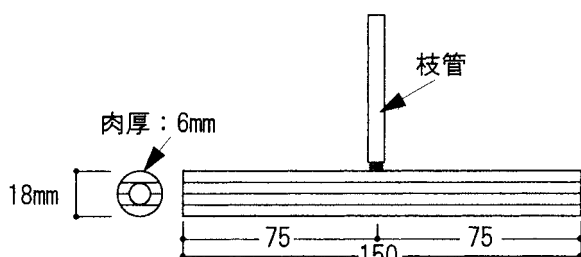


図-7. 竹ラミナ接合具の形状・寸法(単位:mm)

揃え、丸棒削機で丸棒に加工し(写真-14参照)、木口切削加工機で丸棒の中心部に穴をあけ(写真-15参照)、丸棒側面中心部に枝管用の穴をあけ(図-7参照)竹ラミナ接合具となる(写真-16参照)。

2. 竹ラミナ接合具の引張強度

竹ラミナ接合具の強度性能把握のため、材料である竹ラミナ集成材の引張実験を行った。表-2に試験体リストを示す。図-8に使用した試験体形状及び寸法を示す。試験は積層数、接着剤の種類が材料強度に与える影響を把握するため、積層数(4層, 7層)、接着剤の種類(水性高分子イソシアネート系, ポリウレタン樹脂系, ユリア樹脂)をパラメータに各シリーズ4本ずつ試験を行った。引張強度を図-9に示す。積層数で比較すると7枚の方が4枚のものよりもわずかに高い強度を示した。これは7枚積層のラミナを、4枚積層のラミナに比べ、薄くすることで強度の弱い竹の内皮側部分を多く切削することになり、結果7枚積層の竹ラミナ集成材は強度の高い外皮側の部分を多く含む構成になったためと考えられる。接着剤で比較すると4枚積層ではユリア樹脂が、7枚積層ではポリウレタン樹脂がわずかに高い値を示した。竹ラミナ集成材の引張強度は、概ね130~150MPaの範囲となり、鋼材(SS400)のおよそ1/3、木材(スギ無等級材)の基準強度:13.5MPa(3)の10倍以上であることが明らかとなった。

表-2. 試験体リスト(材料引長試験)

シリーズ	積層数	接着剤	試験体数
BL4-API	4枚	水性高分子イソシアネート系	各4体
BL4-PUR		ポリウレタン樹脂	
BL4-YUR		ユリア樹脂	
BL7-API		水性高分子イソシアネート系	
BL7-PUR	7枚	ポリウレタン樹脂	
BL7-YUR		ユリア樹脂	



写真-11. 竹ラミナの制作



写真-12. 接着剤塗布

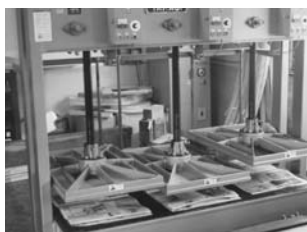


写真-13. 圧縮接着



写真-14. 丸棒加工



写真-15. 穴あけ



写真-16. 完成品

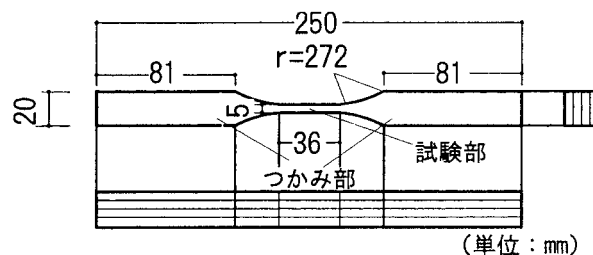


図-8. 竹ラミナ集成材引張試験 試験体形状・寸法

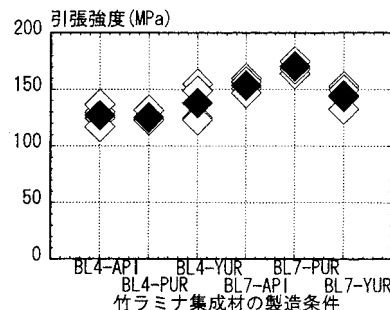


図-9. 竹ラミナ集成材の引張強度

3. 竹ラミナ接合具のせん断強度

竹ラミナ接合具のせん断強度性能把握のため、材料である竹ラミナ集成材の2面せん断試験を行なった。試験に用いたパラメータは表-2と同様である。図-10に試験の概要を示す。なお、載荷速度は4 kN/minとした。実験により得られたせん断強度を図-11に示す。積層数で比較すると7枚の方が4枚のものよりもわずかに高い強度を示した。接着剤で比較すると4枚積層では水性高分子イソシアネート系が、7枚積層ではポリウレタン樹脂がわずかに高い値を示した。

4. 竹ラミナ接合具を用いた継手接合部引張実験

4.1 試験体及び加力装置

表-3に試験体リストを示す。木材は、ヤング係数6.77~7.36GMPa、含水率8.5~26.5%のスギ材(無等級)を加工し使用した。試作した竹ラミナ接合具6シリーズに対し、各6体ずつ、合計36体の試験体について実験を行った。

実験で使用した装置、試験体寸法および載荷速度等の実験方法は、Ⅲで用いたものと同様である。

4.2 実験結果

表-4に各試験体の破壊性状の一覧を示す。また、写真-15~16に各シリーズの代表的な破壊性状を示す。4枚積層である(L4-API, L4-PUR, L4-YUR)では、一部の試験体を除き、多くの試験体で接合具の破断がみられた。7枚積層である(L7-API, L7-PUR, L7-YUR)シリーズは、ほとんどの試験体で接合具の引抜けで最終状態に至った。

図-12に各シリーズの初期剛性((最大耐力の1/3)/(そのときの変形量))を、図-13に各シリーズの最大耐力を示す。なお比較のため、竹ラミナ接合具と同じ寸法・形状の鋼製接合具を使用した試験体の結果も示す。初期剛性は鋼製接合具のほうが高い結果を示した。これは、接合具そのものの剛性の違いが影響しているためと思われる。最大耐力は、どのシリーズにおいても竹ラミナ接合具を使用した試験体が鋼製接合具を使用した試験体を上回っていた。これは接合に用いた接着剤の竹ラミナ接合具の付着性能が、鋼製接合具とのそれよりも良好であったためと思われる。また、積層枚数で比較すると、7枚の方が4枚よりもわずかに高い耐力を示した。これは、破壊性状の違いなどから、竹ラミナ接合具自身の強度性能の違いによるものと考えられる。一方、積層に用いた接着剤による初期剛性、最大耐力の差異はほとんどみられなかった。

Ⅳでは、竹ラミナ集成材を用いた接合具の試作及びそれらを用いた接合部の強度実験について述べた。その結果、竹ラミナ接合具の強度には、ラミナの積層枚数が影響を与えることがわかった。また、14日養生時では、竹ラミナ接合具を用いたほうが、鋼製接合具を用いるより接着剤の付着性状が良好であり、優れた強度性能を発揮することがわかった。ただし、養生期間が長くなり接着剤の付着強度が上昇すると、接合具自身の強度性能が接合強度に大きな影響を与えるようになるため、竹ラミナ接合具と鋼材接合具を用いた場合の接合強度の関係は逆転すると考えられる。

V. まとめ

本報では、解体・リサイクル可能な木質構造接合法として「竹

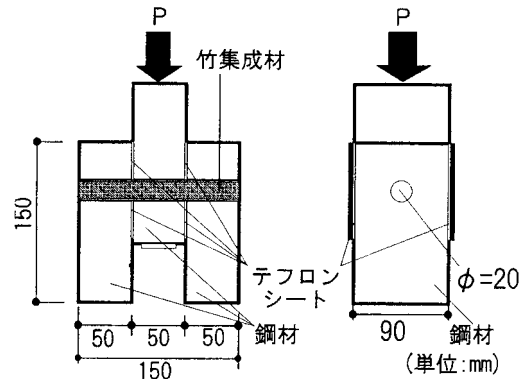


図-10. 竹ラミナ集成材の2面せん断試験の概要

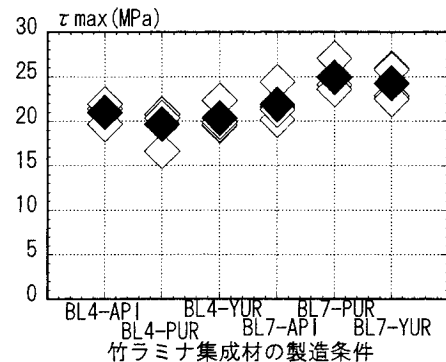


図-11. 竹ラミナ集成材のせん断強度

表-3. 試験体リスト
(竹ラミナ接合具を用いた継手の引張実験)

シリーズ	積層数	積層用接着剤	試験体数
L4-API	4枚	水性高分子イソシアネート系	各6体
L4-PUR		ポリウレタン樹脂	
L4-YUR		ユリア樹脂	
L7-API	7枚	水性高分子イソシアネート系	
L7-PUR		ポリウレタン樹脂	
L7-YUR		ユリア樹脂	

表-4. 破壊性状リスト

試験体名	試験体番号					
	1	2	3	4	5	6
L4-APIシリーズ	×	△	×	△	×	×
L4-PURシリーズ	×	△	×	△	×	△
L4-YURシリーズ	×	×	×	×	×	×
L7-APIシリーズ	×	○	△	○	○	×
L7-PURシリーズ	△	○	○	△	×	△
L7-YURシリーズ	△	○	○	×	△	△

○: 引抜け ×: 竹集成材接合具の破断
△: 引抜け+竹集成材接合具の一部損傷

コネクター接合法」を提案し、接合具に天然小径竹材を用いた場合と竹集成材を用いた場合について実験を行った。これにより竹ラミナ集成材を用いることで鋼製接合具と同等以上の引張強度を実現できることが明らかとなった。しかし一方で、竹ラミナ集成

材の製作には多大な手間と材料の無駄を生じる、最も強度の高い表皮の除去が必要である等、製品化、量産化には多くの課題があることが明らかとなった。

今後はさらに竹製接合具の加工・生産方法の改良を重ねるとともにその接合性能の把握と向上を試みる予定である。

謝 辞

本研究は、平成13年度「新事業創出研究開発事業」((財)大分県産業創造機構)により行いました。本研究を実施するにあたり

竹接合具の製作に多大な御協力を頂きました大分県竹工芸・訓練支援センターの職員の皆さまに深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 井上正文ほか(1996)日本建築学会構造系論文 489:59-66.
- (2) 井上正文ほか(1997)日本建築学会構造系論文集 498:105-111.
- (3) 菊池重昭(2001)建築学構造シリーズ建築木質構造, p.244, オーム社, 東京.



写真-17. L4シリーズ破壊性状



写真-18. L7シリーズ破壊性状

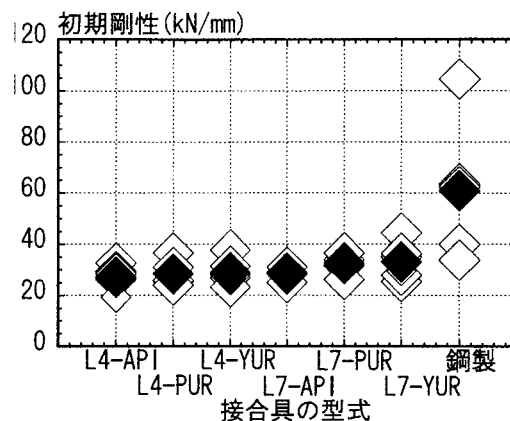


図-12. 初期剛性
(竹ラミナ接合具を用いた継手引張実験)

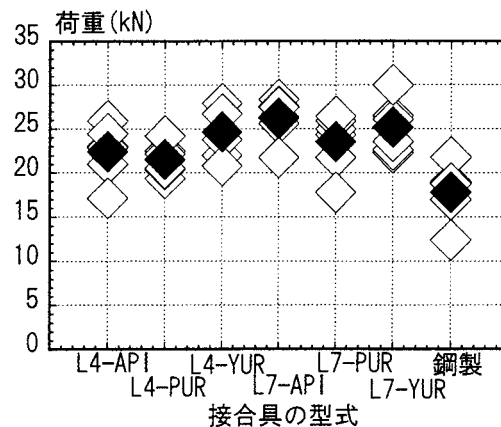


図-13. 最大耐力
(竹ラミナ接合具を用いた継手引張実験)

(2003年1月6日 受理)