

丸竹材のための接合法の検討

Study on Joining Method for Bamboo Culm. *

●堀江秀夫／富山大学芸術文化学部

HORIE Hideo / Faculty of Art and Design, University of Toyama

●Key Words : *Phyllostachys pubescens*, temporary bamboo structure, easy joining method,

the characteristic value of strength , モウソウチク, 仮設竹製構造物, 簡易な接合法, 基準強度特性値

はじめに

竹材は、過去、生活日用品や工芸品、楽器、釣竿、和風建築の内装材料、造園用資材、農林水産土木用資材など身近な生活資材であった。このため、竹林は竹製品の生産林として管理されてきた。しかし、近年は竹製品の需要が減少した結果、放置された竹林が里山や農地に広がり、周辺の低木や農作物の生長を妨害し、里山森林や農地が荒廃するという放置竹林問題が生じている^{1,2)}。

この放置竹林問題の解決には、これまでの竹材用途の復活や新たな用途開発により、かつてのように竹林が適切に管理される状況を復活させなければならない。竹材は木材よりも屋外での劣化が激しいが仮設であれば問題とはならず、長寿命を目指す住宅部門への活用よりも仮設資材部門への活用が効果的である³⁾。具体的には、建築基準法第85条第5項における仮設興行場・博覧会建築物・仮設店舗等の使用期間は1年以内となっていることから、丸竹材および接合部の耐用年数を1年とした仮設構造物への利用が考えられる。

特別な加工・処理をしない青竹状態の丸竹材は、身近な裏山から手鋸一丁で老人子供でも毎年入手可能な資材であり、生物劣化しやすいことが廃棄のしやすさに繋がるという竹材の特徴から、毎年、作り替えては廃棄する仮設構造物の部材こそが丸竹材の用途に適している。一方、仮設構造物とはいえ、現代では構造計算により設計が可能でなければ信頼性が得られないことから、構造解析プログラムへの入力データとして部材と接合部の力学特性が明示されていなければならない。

このような考えから、筆者は青竹状態の丸竹材を仮設構造部材として利用するための設計データの蓄積を目的とする研究を行ってきた。限られた産地のマダケとモウソウチクを用いた実験結果ではあるが、まず、丸竹材の形状測定から、丸竹材の外径から丸竹材の力学的な断面性状および強度性能が予測可能であることを明らかにした⁴⁻⁶⁾。次に、各種の接合法の中から、誰でもが製作可能と思われる数種類の接合法について強度性能試験を行い、丸竹材に適した接合法について検討した。その結果、接合具に込栓と締め具に鉄線を用いたせん断抵抗型接合が現実的であった。マダケでは、接合具に直径12mm木

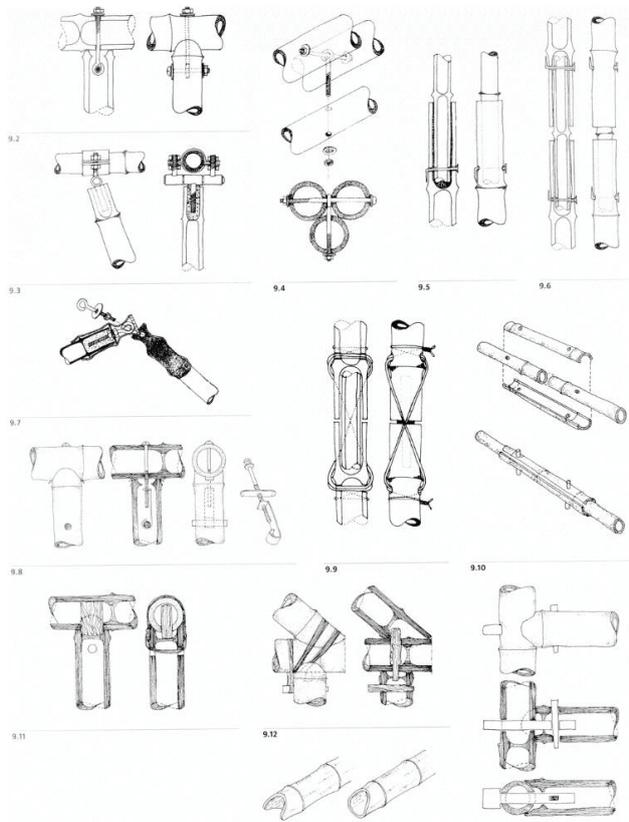
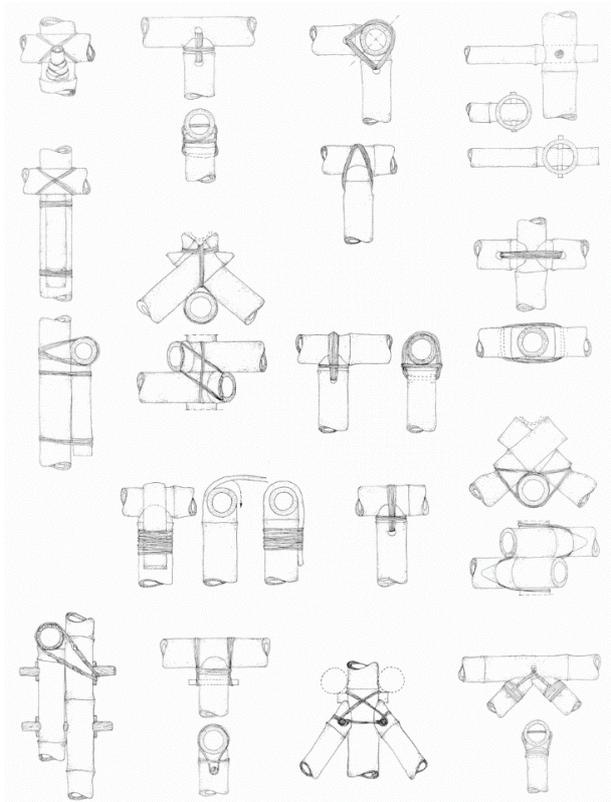
ダボ、締め具に直径1.2mm針金、モウソウチクでは、接合具に直径24mm木丸棒、締め具に直径2.6mmなまし鉄線である。また丸竹材の外径から、接合部の強度性能を接合角度に係らず予測可能であることを明らかにした⁷⁻⁹⁾。

ところで、放置竹林の整備と仮設構造物の需要の視点から、富山県の施策である水と緑の森づくり税を用いた里山再生整備事業¹¹⁻¹²⁾に着目した。この事業では、放置竹林(主にモウソウチク)の整備も対象となっており、整備の方針は「間伐によるタケノコ林づくり」と「皆伐による広葉樹林への転換」に分かれ、3年間は専門業者による伐採費を、4～7年間は竹林所有者が行う伐採にかかる消耗品等を補助している。この間伐によるタケノコ林づくりの場合、継続した整備(春のタケノコ掘りと秋の間伐)を行わないと元どおりの鬱蒼とした放置竹林になってしまう危険がある。継続した整備を行うためには、タケノコだけでは弱く、ほかに新たな整備目標を加えた方が現実的になると思われる。そこで、里山再生整備事業で整備された竹林空間を、タケノコ以外の整備目標として利用すること考えられる。タケノコ林全体を付近の保育園や幼稚園の園外保育フィールド・小学生の裏山の遊び場・高齢者の屋外健康増進施設として利用することができれば、地域活性化に結びつく竹林整備目標となるからである。この竹林アスレチック施設の意義は、次のように整理できる。

- ① 健全なタケノコ林を継続させるには、元気がなくなってきた6年生以上の竹は伐採し、常に元気な1～5年生の竹だけ残すように手入れ＝整理伐(せりりばつ)を行う必要がある^{13,14)}。つまり、毎年、「整理伐で出た竹材」を処分しなければならない。
- ② 竹林に生えている立竹(りゅうちく)の竹稈(ちくかん)は、地中に根が張っているため自然の片持ち梁形式の支柱と見なせ、これを利用した構造物を作ろうと思えば、基礎が不要となる。また、材料である竹材は軽量であり、人力かつ簡単な工具で加工・建設が可能である。

* 本研究の一部は、2016年度日本建築学会北陸支部大会研究発表会(2017年7月、長野)および第68回日本木材学会大会(2018年3月、京都)において発表した。

つまり、竹林を利用すれば、誰でも簡単な構造物を作ることができる。



③ 一方、伐採した竹稈の部材としての耐久性は 2 ～ 3 年程度であるため、アスレチック施設は 1 ～ 2 年ごとに部材交換をする必要がある（ただし、支柱に用いている立竹は、3 年程度使い続ける）。

つまり、この部材交換には「整理伐で出た竹材」を処分せず利用すればよい。

④ 竹林アスレチックが利用されるようになればタケノコ林の付加価値となり、竹林手入れの意欲増大につながる。

つまり、年一回のタケノコ採り以外にはもてあまされていた竹林が、一年を通して利用されることになり、地域の環境整備活動の意欲向上につながり、ひいては地域の活性化につながる。

⑤ 竹林を利用したアスレチック施設は、固定された野外遊具で遊ぶだけではなく、冒険遊び場のように、こどもたちが自ら考えて自分たちで遊具を創り出すこと（切ったり、組立ったり、壊したり）もでき、こどもの生きる力を育むことに繋がる¹⁵⁾。

こうした背景から、筆者は仮設構造物の用途として竹林アスレチック施設を想定した接合部も検討してきた¹⁰⁾。本研究では、青竹状態のモウソウチク丸竹材を対象にして、誰でも製作可能で安価・簡便な接合法を目標とした。

最初に、接合位置がずれたり外れたりしない「接合具（込栓）と締め具によるせん断抵抗型」接合⁹⁾の接合法をさらに実用的なものとするため、耐久性があって安価で手に入りやすい市販品の接合具（込栓）および安価で柔らかに手締めできる締め具に変更した接合部の強度性能

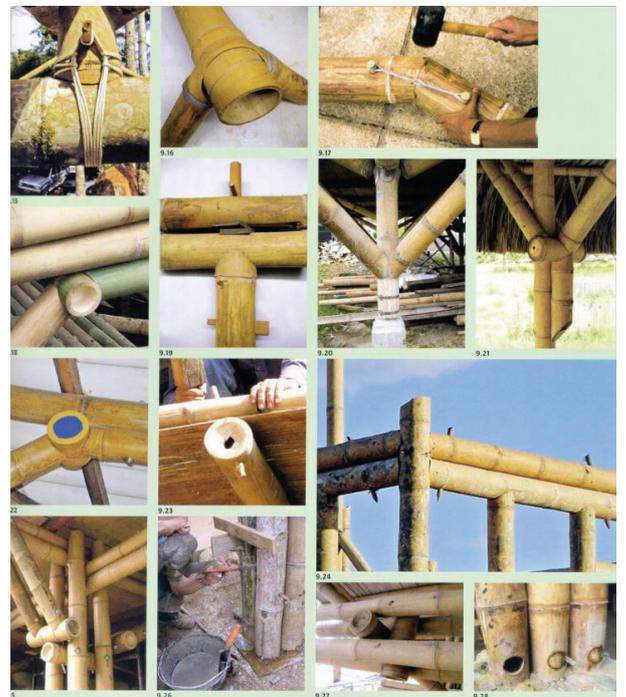


図 1 南米コロンビアで使用されている丸竹材接合法

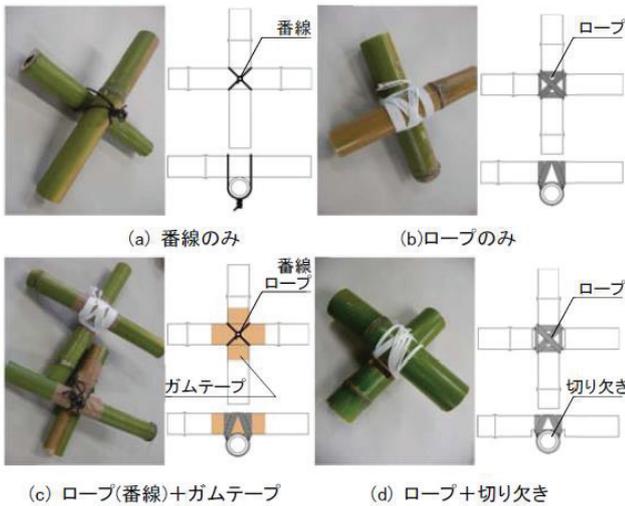


図2 応急仮設建築用に考えられた縛り接合



図3 込栓接合で製作されたトラス構造物



図4 木ダボによる込栓接合で試作されたパーゴラ



図5 出店テント用に考えられた市販金具を応用した接合

について検討した。

次に、竹林アスレチック施設としてのモンキーブリッジの接合部を想定した接合で、接合部に加わるせん断力を丸竹材を貫通させたロープに負担させる高耐力の縛り接合について検討した。

1. 既往の接合法

特殊な金具や接着剤等を用いない、市販の材料と簡単な工具で作ることができる丸竹材の接合法を紹介する。

図1は、南米コロンビアの竹構造マニュアルからの抜粋である¹⁶⁾。つる植物・天然繊維・皮紐、最近では化学繊維・針金を接合具とする縛り接合、また硬い耐久性のある木製の込栓やボルト類を使用した接合、さらにモルタル等を竹稈内に流し込んで竹稈の潰れを防ぐ接合等がある。どれも実用性の高い接合法であるが、竹の種類・寸法および加工精度と接合強度の関係が不明のため、現在の日本では採用しにくい。

図2は、東日本大震災後の竹製応急仮設建築としての会所¹⁷⁾に使われた縛り接合である。マダケとモウソウチクを用いた数種類の接合部の強度試験^{18,19)}から、最終的には「直径3mmポリエステル3つ打ちロープ+布テープ接合」がロープの巻き方の誤差に対して鈍感であり、耐力の安定的な確保に一定の信頼性を期待しうると評価され、直径50~75mm丸竹材の接合耐力は平均でマダケ2.31kNおよびモウソウチク2.97kNであった¹⁹⁾。接合耐力は布テープに負う面が大きいが、この布テープの巻き付け量が不明であり、1年間程度の建物使用期間中の布テープ粘着力の低下も不明である。

図3は、横浜開港150周年記念イベント会場に建設されたトラス構造物である。この設計のため、直径18mm竹集成材の込栓による直交型接合部の強度試験が行われ、直径100mm前後の丸竹材(モウソウチクと思われる)の接合耐力は平均3.54kNであった²⁰⁾。竹集成材という特殊な材料を込栓に用いており、一般的な接合法とはいえない。

図4は、家具用の木製らせん溝付きダボを込栓として用いる接合である^{21,22)}。直径100mm前後のモウソウチクと直径15mmの木ダボによる直交型接合部の場合、接合耐力は平均3.23kNであった²¹⁾。木ダボが青竹の内部にあって蒸れた状態となるため、木ダボの膨潤により接合部の緩みがなくなるものの、木ダボの腐朽が進みやすく1年の構造物使用期間でも不安な面がある。

図5は、配管吊りバンドとビニールハウスジョイントと呼ばれる市販の金物を応用して、出店用の竹テントを製作するために開発された接合法である²³⁾。配管吊りバンドにネジを通すための孔あけ加工を施しネジとナットで固定するため、小径のネジの強度に接合耐力が支配されることと、金物の寸法にあった直径の丸竹材を選定しなければならないため材料を選ぶことから、重要な接合部や大径のモウソウチクには不向きである。

図6は、市販のステンレス製ジョイントを用いた接合である²⁴⁾。丸竹材側にはオス型、接合部にはメス型として着脱が簡易に行えるようになっている。金物の種類の範囲の接合角度しか作れず、金物寸法にあった直径の丸

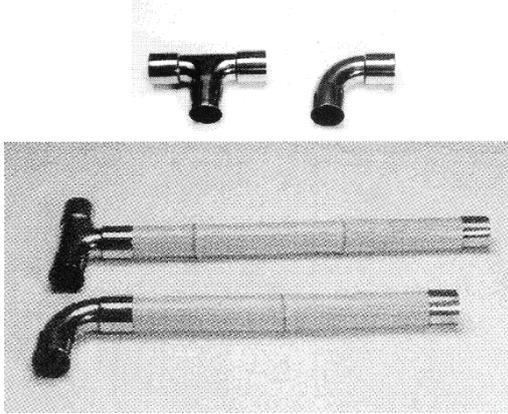


図6 ステンレス製ジョイントを用いた接合



図7 込栓（木丸棒）となまし鉄線による接合



図8 ガセット側面に埋め込んだ込栓（塩ビパイプ）と荷締めベルトによる接合で作られたパーゴラ

竹材を選定・加工しなければならぬため材料を選ぶ接合法であり、大径のモウソウチクには不向きである。

図7は、接合具（込栓）と締め具によるせん断抵抗型接合⁷⁻⁹⁾である。縦材と横材の両方に孔を明け、その孔に込栓（直径 24mm 木丸棒）を挿入して縦材と横材を嵌め合わせる。荷重がかかった後に縦材と横材が離れないように締め具（直径 2.6mm なまし鉄線）を巻き、シノを用いて締め上げる。接合部の位置を正確に決めることができ、緩みのない接合となる。直径 70mm 前後のモウソウチクの直交型接合部の耐力は、平均 3.90kN であった²⁵⁾。丸棒が特注品のため高価になる。丸棒が青竹の内部にあって蒸れた状態となるため丸棒の膨潤により接合部の緩みがなくなり、丸棒が腐朽してしまってもなまし鉄線により接合部が分離することがない。なまし鉄線の錆が問題となる接合部には不向きである。

図8は、プレカット工場からの構造用厚物合板廃材の有効利用から考案されたものである。ガセットの側面に埋め込んだ込栓を接合具とし、締め具として荷締めベルトを用いる接合^{7,26)}で作られた保育園の砂場用パーゴラである。ガセット（構造用厚物合板）と丸竹材の間に込栓1本（水道用の直径 18mm 塩化ビニルパイプ）入れて荷締めベルトで固定するもので、せん断・モーメント抵抗型接合である。ガセットを加工するのが手間であるが一旦できあがれば数年間の屋外暴露使用に荷締めベルトとともに耐え、組立・解体・再利用が容易である。傷んだ丸竹材を毎年交換しながら長期間使用できる特徴がある。単純な直方体の骨組の接合に適しており、複雑な構造物には不向きである。

2. 実用的な「接合具（込栓）と締め具によるせん断抵抗型」接合の検討

図7に示した「接合具（込栓）と締め具によるせん断抵抗型」接合をさらに実用的なものとする目的で、特注品の込栓（直径 24mm 木丸棒）と締め具（直径 2.6mm なまし鉄線）に替えて、安価で耐久性があり手に入り易い市販の接合具と、安価で柔らかく手締めできる締め具を検討した。また、締め具で接合位置を固定した後に接合具（込栓）を挿入できるように、充電式インパクトドライバ用の長い六角軸ドリル刃を用いて片側の丸竹材を貫通させて込栓孔とした接合部の強度性能についても検討した。

2.1. 材料と試験体

用いた材料・工具は、表1および図9のとおりである。

試験体の木取りは、丸竹材の根本部分を外して、試験体長さに合わせて元口から裁断してゆくように行った。

接合具（込栓）には直径 26mm または直径 18mm の水道用硬質ポリ塩化ビニル管（以後、塩ビパイプと呼ぶ）1本、締め具には農業用ビニルハウスのビニルフィルム抑え用ビニルテープ（以後、ビニルテープと呼ぶ）または

直径 2.6mm なまし鉄線である。また、接合具（込栓）孔の加工には、接合具と同径の六角軸ドリル刃を取り付けた 18V 充電式インパクトドライバを用いた。

接合具と締め具は、富山県高岡市内のホームセンターで購入したものであり、購入価格（2016 年）も示した。

接合形式を図 10 に示した。「内接合具+締め具」接合と、接合位置を現場合わせし易い「片側貫通接合具+締め具」接合、の 2 種類である。

表 1 使用材料

- ・丸竹材：富山県高岡市産モウソウチク、竹齢 3 年の青竹、胸高直径 100~140 mm（富山大学高岡キャンパス裏の竹林から 6 月と 9 月に伐採）、16 本
- ・接合具 1：塩ビパイプ、外径 18 mm 内径 13mm、商品名クボタシーアイパイプ VP13、密度 1.28g/cm³、外径から求めた見かけの密度 0.65g/cm³（149 円/m）
- ・接合具 2：塩ビパイプ、外径 26 mm 内径 20mm、商品名クボタシーアイパイプ VP20、密度 1.33g/cm³、外径から求めた見かけの密度 0.56g/cm³（189 円/m）
- ・締め具 1：ビニルテープ、幅 10mm、ポリエチレン製、モノフィラメント入り、商品名コートバンド M タイプ（積水樹脂株）（2.6 円/m）
- ・締め具 2：なまし鉄線、線径 #12、直径 2.6 mm（12.2 円/m）



図 9 試験体の製作に用いた材料と工具

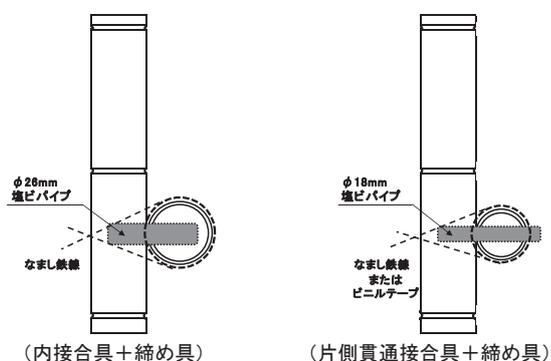


図 10 試験体の 2 種類の接合形式

接合角度を図 11 に示した。0 度（平行型）、45 度、90 度（直交型）の 3 種類である。

ここで、横方向の丸竹材を丸竹横材と呼び、縦方向の丸竹材を丸竹縦材と呼び、接合角度 0 度の場合には外径が小さい方を丸竹横材と呼ぶこととする。丸竹材の外径とは、接合具（込栓）孔付近の測定値を指す。

2.2 試験方法

表 2 に示した 5 種類の接合試験体を製作した。接合具（込栓）は丸竹材の節間中央部にあけた孔（接合具と同径）に差込み（内接合具の場合は事前に長さ決めていた塩ビパイプを使用、片側貫通接合具の場合は長めの塩ビパイプを打ち込んだ後にノコギリで長さ決め）、丸竹材どうしを接合した。締め具は、丸竹に二重となるように巻き付け、なまし鉄線はシノで締め上げて緩みを取り、ビニルテープでは手で締め上げて緩みを取った。

試験方法は図 11 と図 12 に示したとおりである。

100kN インストロン強度試験機を用いて、荷重速度 1mm/分で球座を介して加力し、接合部にせん断力を加えた。接合角度 45 度と 90 度の試験体には、距離 500mm の位置の丸竹横材の両端に直径 16mm 貫通孔をあけ、直径 14mm ボルトを通してボルトを固定し、支点とした。

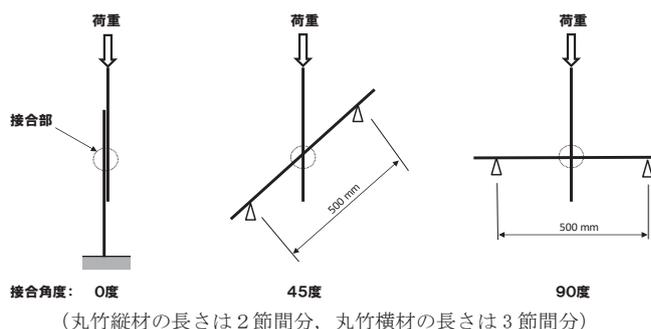


図 11 試験体の接合角度と試験方法

表 2 試験体の種類と試験体数

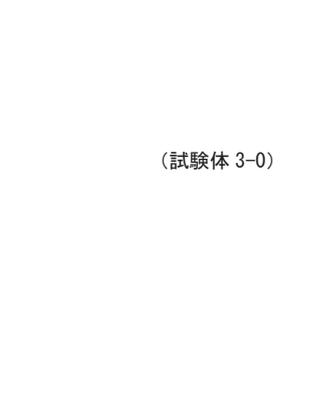
試験体 No.	接合具の種類	接合形式	締め具の種類	接合（試験角度） （試験体数）
1-90	Φ18mm 塩ビパイプ	片側貫通接合具 + 締め具	ビニルテープ	90 度（5 体）
2-90	Φ18mm 塩ビパイプ	片側貫通接合具 + 締め具	なまし鉄線	90 度（5 体）
3-0	Φ26mm 塩ビパイプ	内接合具 + 締め具	なまし鉄線	0 度（10 体）
3-45	Φ26mm 塩ビパイプ	内接合具 + 締め具	なまし鉄線	45 度（16 体）
3-90	Φ26mm 塩ビパイプ	内接合具 + 締め具	なまし鉄線	90 度（14 体）



(試験体 1-90)



(試験体 2-90)



(試験体 3-0)



(試験体 3-45)



(試験体 3-90)

図 12 試験風景

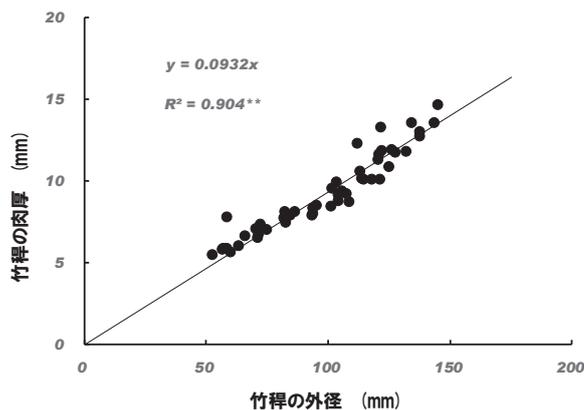


図 13 試験体に用いた竹稈の外径と肉厚の関係

接合角度 90 度と 45 度の場合は、1/100mm 読み変位計により丸竹横材の接合部の垂直変位を、また接合角度 0 度の場合は試験機のクロスヘッド移動量を、それぞれ接合部のずれ変位として測定した。

なお、丸竹材の接合具（込栓）孔付近について、ノギスを用いて試験前の外径（断面 2 方向の平均値）と試験後の肉厚、試験後の全乾法による含水率を測定した。

2.3 試験結果と考察

接合具（込栓）孔をあけた部分の試験体（丸竹横材）の外径と肉厚の関係を図 13 に示した。図から、竹稈の外径と肉厚の間には強い正の直線相関があることが分かる。

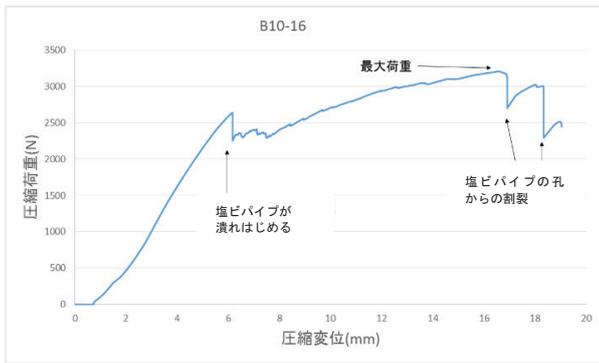
込栓（塩ビパイプ）を支える竹稈の支圧面積は、接合部の耐力に大きな影響を及ぼし、竹稈の肉厚（稈壁の厚さ）が重要な指標となる。一方、図 13 のとおり、非破壊で測定できる外径を肉厚の代わりに指標とすることができる。よって、今後は外径を指標に接合部の耐力を見てゆくことにする。

試験体の種類ごとに、代表的な荷重-接合部ずれ変位曲線と破壊形態を図 14 に示した。試験時の観察から、試験体の種類にかかわらず破壊の過程は次のとおりであった。

- ・初期変位には直線域が存在する。
- ・接合具（塩ビパイプ）がせん断力により潰れることによって、変位は塑性的に大きく進む。
- ・最終的には、丸竹横材の接合具（塩ビパイプ）孔部分が割裂して荷重は降下する。
- ・締め具の効果により、破断して接合部が分離することはない。なお、締め具自体が破断する例はなかった。

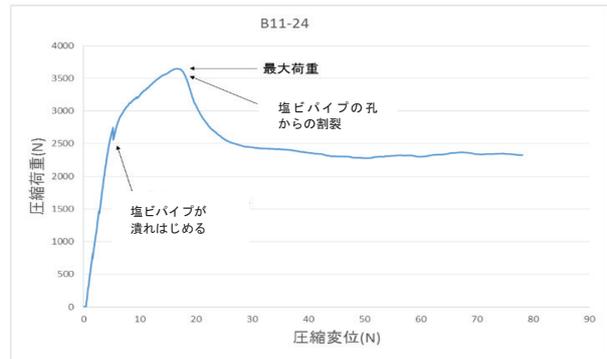
以上のことから、最大荷重に影響を与える丸竹横材の外径を指標として、今後は接合部の強度性能を検討する。

なお、全試験体の平均含水率は 58.7% であった。



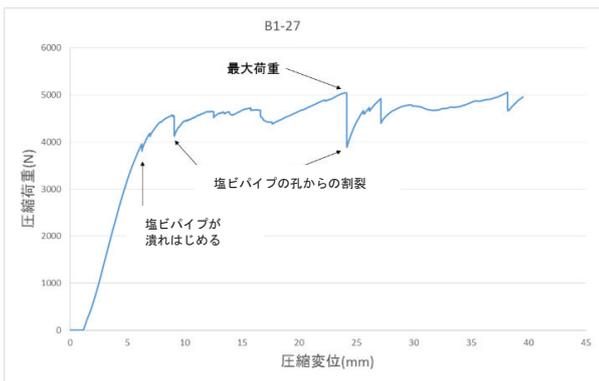
No. 1-90

(片側貫通Φ18塩ビパイプ、ビニルテープ、90度)



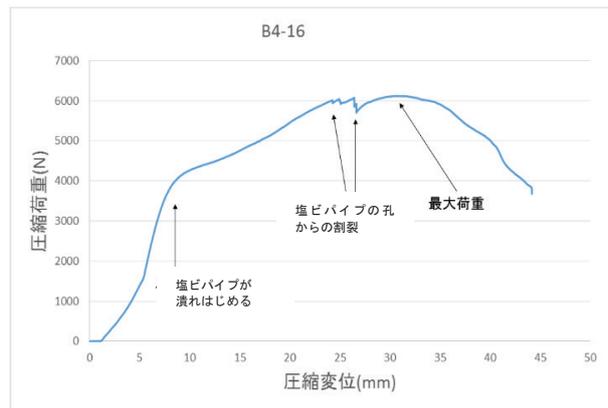
No. 2-90

(片側貫通Φ18塩ビパイプ、なまし鉄線、90度)



No. 3-90

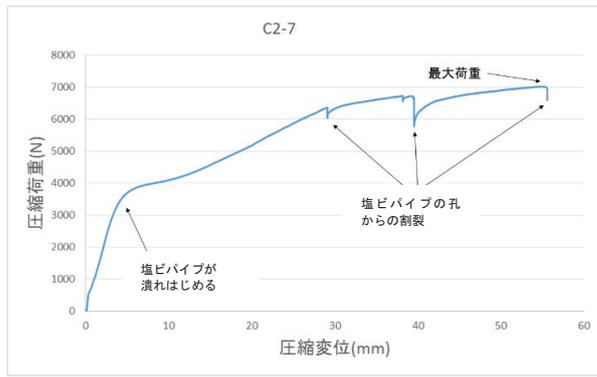
(内Φ26塩ビパイプ、なまし鉄線、90度)



No. 3-45

(内Φ26塩ビパイプ、なまし鉄線、45度)

図14 代表的な荷重-接合部ずれ変位曲線と破壊形態



No. 3-0

(内Φ26塩ビパイプ, なまし鉄線, 0度)

図14 (つづき) 代表的な荷重-接合部ずれ変位曲線と破壊形態

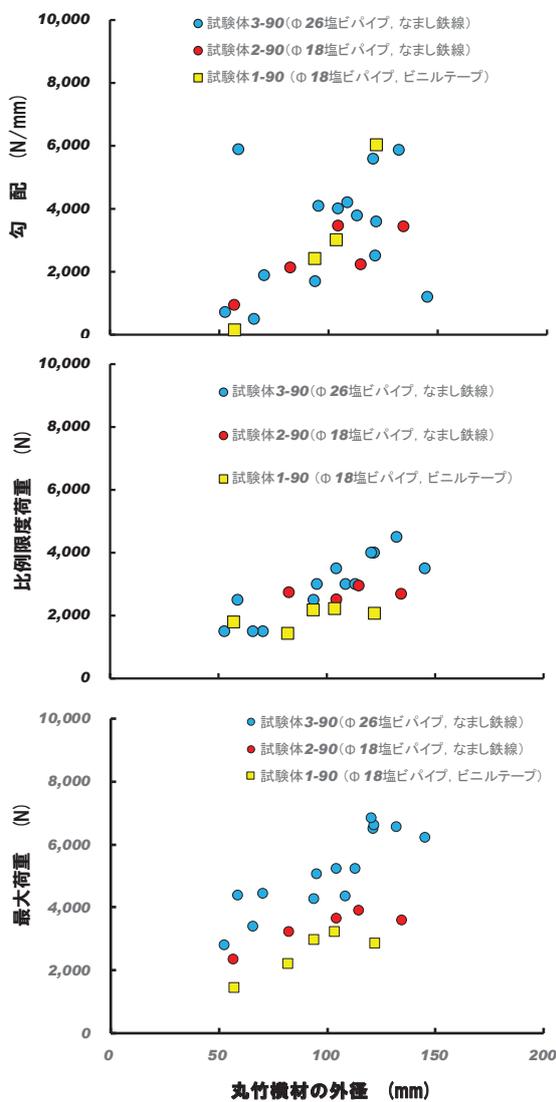


図15 試験体1-90と2-90と3-90における丸竹横材の外径と強度性能の関係

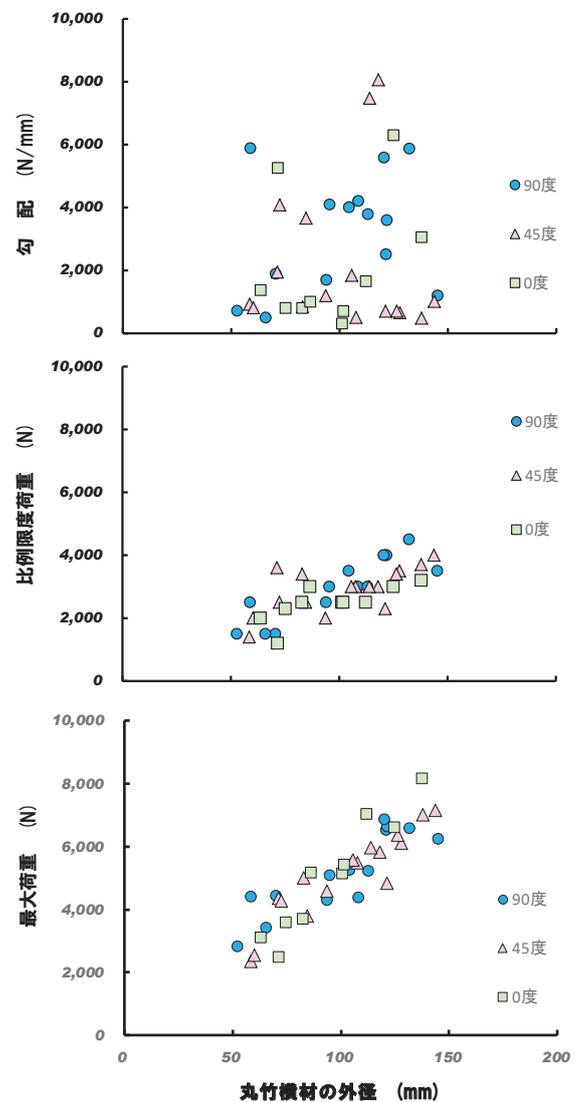


図16 試験体3-0と3-45と3-90における丸竹横材の外径と強度性能の関係

2.3.1 試験体 1-90 と 2-90 と 3-90 の比較

試験体 1-90、2-90、3-90 の荷重-接合部ずれ変位曲線における初期直線域の勾配と比例限度荷重と最大荷重について、丸竹横材の外径との関係を図 15 に示した。

図から、外径と勾配との間、および外径と最大荷重との間に正の相関関係が見られた。

また、試験体の種類により勾配の差はないようであるが、最大荷重には差があった。

接合具の種類では、直径 18mm 塩ビパイプの片側貫通接合具よりも、接合具径が大きい直径 26mm 塩ビパイプの内接合具の方が高強度であった。締め具では、ビニルテープよりも、伸びが小さいなまし鉄線の方が高強度であった。

なお、直径 18mm 塩ビパイプの片側貫通接合具の場合、比例限度荷重は一定値を示し、また丸竹横材の外径が大きくなると肉厚が厚くなるため、接合具孔付近の竹自体の破壊ではなく塩ビパイプの潰れ破壊が支配的になって、最大荷重は一定値を示す傾向にあった。

2.3.2 試験体 3-0 と 3-45 と 3-90 の比較

試験体 3-0 と 3-45 と 3-90 の荷重-接合部ずれ変位曲線における初期の直線域の勾配と比例限度荷重と最大荷重について、丸竹横材の外径との関係を図 16 に図示した。

図から、外径と勾配の間には相関は見られないが、外径と比例限度荷重・最大荷重の間には正の相関関係が見られた。

また、接合角度による勾配・比例限度荷重・最大荷重の差は見られなかった。つまり、接合部の強度性能は接合角度の影響を受けないことが分かる。

このことから、接合具が直径 18mm 塩ビパイプの試験体においても接合角度の影響を受けないことが推測されるため、安価で作り易い「片側貫通接合具（直径 18mm 塩ビパイプ）+締め具（ビニルテープ）」接合は、接合角度にかかわらず、図 15 に示された試験体 1-90 の強度性能を参考に利用すべきである。

2.3.3 「接合具（塩ビパイプ）+締め具（なまし鉄線）」接合の基準強度特性値

「内接合具（塩ビパイプ）+締め具（なまし鉄線）」接合と「片側貫通接合具（塩ビパイプ）+締め具（なまし鉄線）」接合の試験結果を、接合角度を無視して表示したのが図 17 である。図中には、両接合の試験結果を合わせて求めた回帰直線式 ($y=0.5x$) も表示した。

試験結果を原点の周りに回帰直線の傾きだけ回転した座標による最大荷重の座標変換値を求めた。この変換値の分布を正規分布と仮定し、5%限界値（信頼水準 75%の 95%下側許容限界値）^{27,28)} を求めると $y=0.5x-1.4$ （図中の黒色の一点鎖線）となり、これを丸めて $y=0.5x-2$ （図中の赤色の一点鎖線）とした。

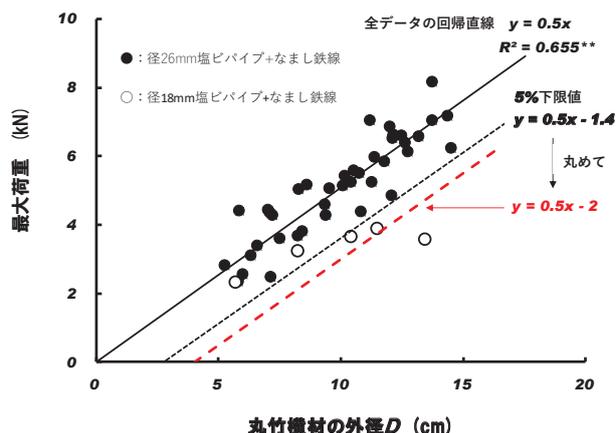


図 17 「接合具（塩ビパイプ）+締め具（なまし鉄線）」接合における丸竹横材の外径と最大荷重の関係

つまり、「接合具（直径 18mm または 26mm 塩ビパイプ）+締め具（直径 2.6mm なまし鉄線）」接合の基準強度特性値 ${}_0F$ ²⁷⁾ は、丸竹横材の外径を 6cm 以上かつ D (cm) とすると、

$${}_0F = 0.5 \times D - 2 \quad (\text{kN}) \quad (D \geq 6 \text{ cm})$$

ただし、

- ・接合具が直径 18mm 塩ビパイプの場合、外径 10cm 以上では塩ビパイプの潰れ破壊が支配的となるため $D \geq 10\text{cm}$ のときは ${}_0F = 3.0\text{kN}$ 一定
- ・接合具が直径 26mm 塩ビパイプの場合、外径 15cm 以上での実験を行っていないため $D \geq 15\text{cm}$ のときは ${}_0F = 5.5\text{kN}$ 一定

と表すことができる。

この式に従うと、丸竹横材の外径 6cm と 10cm と 15cm の場合、接合部の基準強度特性値は 1.0 kN と 3.0 kN と 5.5 kN なる。

3. モンキーブリッジのための「丸竹材貫通塩ビパイプ・ロープによる縛り」接合の検討

丸竹材を利用した仮設構造物の一つとして竹林アスレチック施設が考えられる。具体的には、竹林内に生えている竹(立竹)を支柱とし、整理伐で得られた丸竹材を歩み竹・手摺り竹とするモンキーブリッジ（図 18）が考えられる。このモンキーブリッジを組み立てるための、支柱となる立竹と歩み竹・手摺り竹の接合について検討した。

モンキーブリッジ接合部に必要とされる荷重を検討するため、富山県高岡市立万葉なかよし保育園の園長に相談した。園外保育でモンキーブリッジを利用する場合の



図 18 モウソウチク竹林内に設置された
モンキーブリッジ

注意点を尋ねたところ、「一組の園児全員（30人程度）がモンキーブリッジに載ることが想定され、この荷重に耐えられるようにして欲しい」とのことであった。文部科学省の学校保健統計調査では6歳男子（小学校1年生）の平均体重は21.4kg²⁹⁾であることから、園児30人がまとまったときの荷重は、 $22\text{kg} \times 30\text{人} = 660\text{kg}$ を想定すれば十分である。支点（2本の立竹）に支えられた歩み竹の中央に660kgの荷重が加わると、各支点（立竹と歩み竹の接合部）には330kgの荷重が加わることになる。つまり、3.3kNのせん断力に耐えられる接合でなければならない。

この3.3kNの短期設計荷重に耐えるということは、おおよそ6.6kNの基準強度特性値をもつ接合法でなければならない。これまで紹介した接合法では無理である。

そこで、立竹に水平の貫通孔をあけ、その孔と外径が等しい塩ビパイプ（直径18mm、直径26mm）を打ち込んだ後にノギリで長さ決めを行い、その塩ビパイプ内にロープ（クレモナロープ、直径9mm、直径12mm）を通し、歩み竹・手摺りにロープを巻きつけた後に立竹側で結ぶ「丸竹材貫通塩ビパイプ・ロープによる縛り」接合（図19）を考案し、その強度試験を行った。

3.1 材料と試験体

用いた材料は市販品で、表3のとおりである。立竹貫通材の塩ビパイプは前章と同じ材料であり、接合具であるロープは通信販売で購入したもので、購入価格（2017年当時）も示した。

試験体の木取りは、丸竹材の根本部分を外して、試験体長さに元口から裁断してゆくように行った。

3.2 試験方法

試験方法は、図20に示したとおりで、2種類の試験を行った。実際の接合法とは異なり、立竹の破壊形態を調べるための試験法A、歩み竹・手摺り竹の破壊形態を調べるための試験法Bにより、接合角度90度の強度試

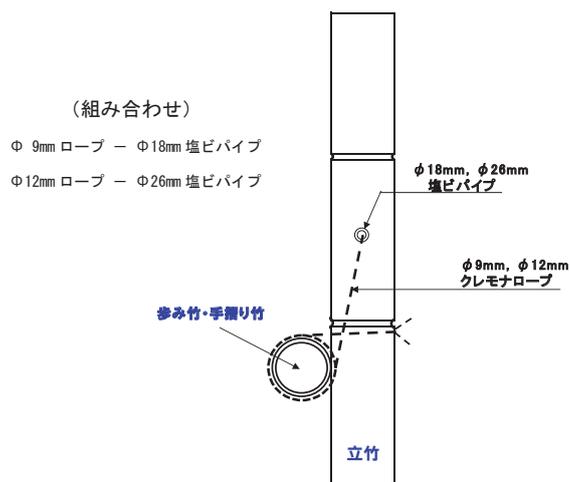


図 19 「丸竹材貫通塩ビパイプ・ロープによる縛り」
接合の概要

表 3 使用材料

・丸竹材	：富山県高岡市産モウソウチク、竹齢3年の青竹 胸高直径100~140mm（富山大学高岡キャンパス裏の竹林から4・6・10月に伐採）、11本
・立竹貫通材1	：塩ビパイプ、外径18mm内径13mm、商品名クボタシーアイパイプVP13、密度1.28g/cm ³ 、外径から求めた見かけの密度0.65g/cm ³ (149円/m)
・立竹貫通材2	：塩ビパイプ、外径26mm内径20mm、商品名クボタシーアイパイプVP20、密度1.33g/cm ³ 、外径から求めた見かけの密度0.56g/cm ³ (189円/m)
・接合具1	：直径12mmクレモナSロープ（素材：(株)クラレ製） (238円/m)
・接合具2	：直径9mmクレモナSロープ（素材：(株)クラレ製） (140円/m)

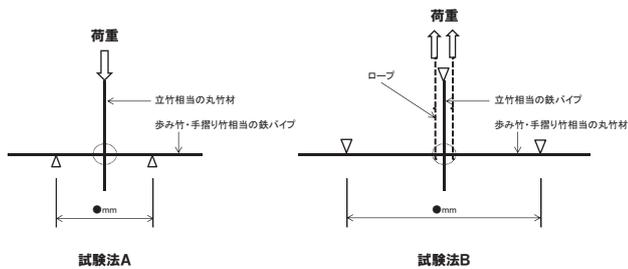


図 20 2 種類の試験方法

験を行った。

試験法 A と B の違いは、次のとおりである。

試験法 A：立竹に相当する丸竹材に水平の貫通孔をあけ、その孔と外径が等しい塩ビパイプ（直径 18mm，直径 26mm）とその塩ビパイプ内にロープ（直径 9mm，直径 12mm）を通した後、歩み竹・手摺り竹に相当する直径 89mm 鉄パイプ（スパン 266mm の 2 点を M 型ブロックで支持）にロープを二重に巻きつけてから立竹側で結び目を作った。試験は、実際の竹林での施工状態とは上下反対にした状態で、立竹に球座を介して圧縮荷重を加えるように行った。荷重速度は 10mm/分である。

試験法 B：立竹に相当する直径 100mm 鉄パイプを固定し、ロープ（直径 12mm）を歩み竹・手摺り竹に相当する丸竹材（スパン 800mm の 2 点でベルトにより浮き上がりを固定）に二重に巻きつけてから、ロープ端を試験機のクロスヘッドに取付けた。試験は、試験機に取付けたロープ端に引張荷重を加えるように行った。荷重速度は 20mm/分である。

接合部のずれ変位は、試験機のクロスヘッド移動量である。

なお、丸竹材の接合部の位置について、試験前に外径（断面 2 方向の平均値）を測定し、試験後に全乾法による含水率を測定した。

3.3 試験結果と考察

試験方法に係らず、接合部のロープ結び目には手締めのための緩みがあること、またロープ自体が伸びてゆくことから、接合部のずれ変位は大変形であった。

試験法 A では、鉄パイプに押されて丸竹材の断面の潰

れと割裂が起こり、最終的には丸竹材の塩ビパイプ孔からの割裂（図 21 参照）またはロープの破断で破壊した。

最大荷重時の接合部ずれ変位は、直径 12mm ロープと直径 26mm 塩ビパイプの組み合わせでは平均 208mm、直径 9mm ロープと直径 18mm 塩ビパイプの組み合わせでは平均 200mm であった。

なお、ロープを通した塩ビパイプ端は、荷重の増加とともに丸竹材に食い込むように変形し、ロープを痛めることはなかった（図 22 参照）。

試験法 B では、丸竹材が鉄パイプによる横圧縮とロープの締め付けにより割裂して破壊した（図 21 参照）。

最大荷重時の接合部ずれ変位は平均 200mm であった。

なお、全試験体の平均含水率は 64.5% であった。



試験法 A



試験法 B

図 21 2 種類の試験方法による試験体の破壊形態



図 22 塩ビパイプ端の変形

丸竹材の外径と最大荷重の関係を図 23 に示した。図から、試験法の違いやロープの直径の違いに係らず、丸竹材の外径と最大荷重の間には正の相関関係が見られた。

このため、全試験体の結果を一つにして表示したのが図 24 である。図中には、全試験体の回帰直線式 ($y = 1.2x$) も表示した。

図から、この接合法においては、丸竹材の外径と最大荷重の間に強い正の直線相関があることが分かる。

原点の周りに回帰直線の傾きだけ回転した座標による最大荷重の座標変換値を求めた。この変換値の分布を正規分布と仮定し、5%限界値(信頼水準 75%の 95%下側許容限界値)^{27,28)}を求めると $y = 1.2x - 1.2$ (図中の黒色の一点鎖線) となり、これを丸めて $y = 1.2x - 2$ (図中の赤色の一点鎖線) とした。

つまり、「丸竹材貫通塩ビパイプ・ロープによる縛り」接合の基準強度特性値 ${}_0F$ は、丸竹材の外径を 6cm 以上かつ D (cm) とすると、

$${}_0F = 1.2 \times D - 2 \quad (\text{kN}) \quad (D \geq 6 \text{ cm})$$

ただし、ロープ破断の試験体があったことを考慮して、

- ・接合具が直径 12mm ロープと直径 26mm 塩ビパイプの組み合わせの場合

$$D \geq 15\text{cm} \text{ のときは } {}_0F = 16.0\text{kN} \text{ 一定}$$

- ・接合具が直径 9mm ロープと直径 18mm 塩ビパイプの組み合わせの場合

$$D \geq 12\text{cm} \text{ のときは } {}_0F = 12.4\text{kN} \text{ 一定}$$

と表すことができる。

基準強度特性値の 1/2 を接合部の短期許容耐力と仮定すると、園児 30 人がまとまって歩み竹に乗ったときに接合部に働くせん断荷重 3.3kN に耐えるには、丸竹材の外径が 7.2cm 以上必要であることが分かる。

なお、この接合法は高強度ではあるものの、ビニルテープやなまし鉄線に比べるとロープの単価が高く、比較的高価な接合法といえる。

4. 結論

本研究では、モウソウチク青竹を対象にして、安価・簡便で、誰でも製作可能な丸竹材の接合法について検討した。

まず、汎用的な接合法として「接合具(塩ビパイプ)と締め具(なまし鉄線)によるせん断抵抗型」接合(図 10 参照)の基準強度特性値を求めた。この接合法は、緩みがないという長所を示す。一方、長い部材の曲げ変形に伴い接合部に回転が生じ、締め具(なまし鉄線)に想定外の力が加わることから、静的な荷重が短い部材に加わる構造物に適している。また、なまし鉄線が錆びるため、この錆びが問題となる用途には不向きであり、な

まし鉄線をシノで締め上げた後、ワイヤーカッターでなまし鉄線を切り揃えた端部が服等に引っ掛かる危険があるため、丁寧な端部処理をする必要がある。

この点では、締め具としてビニルテープを用いることが推奨される。ビニルテープの接合強度はなまし鉄線よりも一段低下するが、非常に安価で簡便な接合となる。

次に、竹林アスレチック施設としてのモンキーブリッジを製作するため、高耐力な接合法としての「丸竹材貫通塩ビパイプ・ロープによる縛り」接合の(図 19 参照)の基準強度特性値を求めた。この接合法は、高強度という長所を示す。しかし、ロープの結び目の緩みとロープ自体の伸びのために接合部のずれが大きく現れる欠点がある。一方、長い部材の曲げ変形等にもしなやかに追従して安定した接合強度を発揮する。また、ロープの単価は高いものの、ロープの耐久性が高いため数年間は使用できる。

これら 2 つの接合法の結果をまとめて、仮設構造物設計のための丸竹材接合の基準強度特性値を図 25 のようにまとめた。

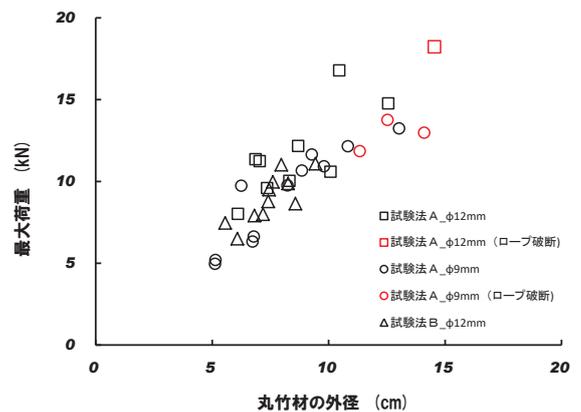


図 23 丸竹材の外径と接合部の最大荷重の関係

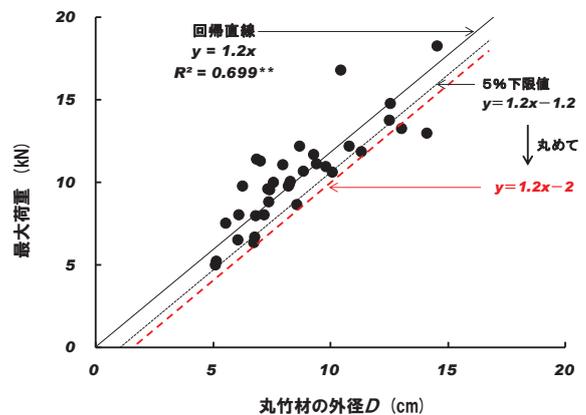


図 24 全試験体における丸竹材の外径と最大荷重の関係

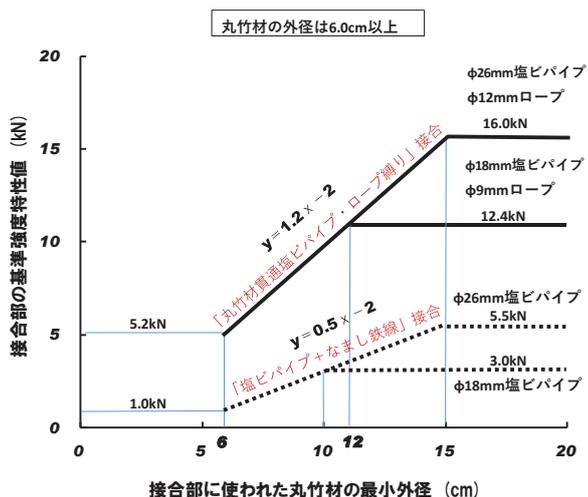


図 25 丸竹材接合部の基準強度特性値の算出図

接合強度は丸竹材の外径と強い正の直線相関があることを利用して、接合部を構成する丸竹材の最小の外径値から基準強度特性値を算出するものである。このとき、今回の試験で使用した丸竹材の外径値の範囲から、使用できる丸竹材は外径 6cm 以上とした。

なお、接合部を構成する接合具と締め具の長さから、直径 10cm の丸竹材 2 本の接合を想定して 1 接合部当たりの材料費を算出すると、「内接合具（直径 26mm 塩ビパイプ）+締め具（なまし鉄線）」接合および「片側貫通接合具（直径 18mm 塩ビパイプ）+締め具（なまし鉄線）」接合はともに約 50 円/接合部、「片側貫通接合具（直径 18mm 塩ビパイプ）+締め具（ビニルテープ）」接合は約 35 円/接合部、「丸竹材貫通直径 26mm 塩ビパイプ・直径 12mm ロープによる縛り」接合は約 500 円/接合部、「丸竹材貫通直径 18mm 塩ビパイプ・直径 9mm ロープによる縛り」接合は約 300 円/接合部となった。

おわりに

竹材の仮設構造物への利用は、竹材のパルプ化や炭化や粉碎・たい肥化といった大量利用＝放置竹林の一举解決とはならないが、天然生物材料を生活の中で上手に使うていく日本の生活文化に係わると考えています。食育や木育といった言葉があるように、「竹育」という言葉があれば、放置竹林問題の解決策に繋がるように思えます。本研究がその一助となれば幸いです。

謝辞

接合具（塩ビパイプ）と締め具（ビニルテープ、なまし鉄線）による接合部実験を担当してくれた富山大学芸術文化学部生（当時）の木下紗希氏、試験体のためのモウソウチク伐採を許可していただいた竹林所有者の林

武一氏、モンキーブリッジの設計荷重についてご教示いただいた高岡市万葉なかよし保育園の矢後比登美園長に感謝いたします。

文献

- 1) 鳥居厚志, 奥田史郎: タケは里山の厄介者か?, 森林科学 58, 2-5 (2010).
- 2) とやまの竹資源利用・整備促進検討会: とやまの竹資源利用・整備促進報告書, 1-40 (2009).
- 3) 平野陽子: 建材としての竹材の利用拡大に向けて, 木材工業 59(10), 443-447 (2004).
- 4) 堀江秀夫: 仮設構造部材としての青竹の曲げ性能, 日本木材加工技術協会第 29 回年次大会(岡山)講演要旨集, 67-68 (2011).
- 5) 堀江秀夫: 仮設構造部材としての青竹の曲げ性能(その 2), 第 62 回日本木材学会大会(札幌)研究発表要旨集, 23 (2012).
- 6) 堀江秀夫: 仮設構造部材としての青竹の強度性能, 第 63 回日本木材学会大会(盛岡)研究発表要旨集(CD-ROM 版), D27-08-1515 (2013).
- 7) 堀江秀夫, 齋田夏希: モウソウチク丸竹の接合法に関する基礎研究, 日本建築学会北陸支部研究報告集 57, 99-101 (2014).
- 8) 堀江秀夫, 丸竹の接合法に関する研究, 日本建築学会北陸支部報告集 59, 71-73 (2016).
- 9) 堀江秀夫, 木下紗貴: 丸竹の接合法に関する研究(その 2), 日本建築学会北陸支部報告集 60, 80-83 (2017).
- 10) 堀江秀夫: 竹林アスレチックの可能性について, 第 68 回日本木材学会大会(京都)研究発表要旨集(CD-ROM 版), R14-08-1045 (2018).
- 11) 富山県: 水と緑の森づくり事業「里山再生整備事業」と「みどりの森再生整備事業」のあらまし
- 12) 立山 凧: 富山県におけるモウソウチク林の空間活用に関する一考察, 平成 28 年度富山大学芸術文化学部卒業論文, 34-41 (2017).
- 13) 山形県森林研究研修センター: 孟宗竹栽培管理マニュアル(山形県版), <https://www.pref.yamagata.jp/ou/norinsuisan/142003/hukyukankei/hukyuu%20jyouhou/mosomanual1.pdf>, 3-18 (2017).
- 14) 静岡県環境森林部: 竹林整備読本「竹林の整備と利用、拡大防止のための解説書」, <https://www.pref.shizuoka.jp/kankyoka-80/mori/book/documents/tikurinseibidokuhon.pdf>, 1-33 (2005).
- 15) 金子 仁: 自然体験が育む幼児の生きる力の育成ー森の幼稚園での活動を通して学ぶことー, 育英短期

- 大学幼児教育研究所紀要 13, 23-31 (2015).
- 16) Gernot Minke : “Building with Bamboo” ,
Birkhauser, Basel, 2012, pp. 40-47.
 - 17) 陶器浩一, 永井拓生 : 竹を構造材料として用いた空間構造の設計および施工 — 竹を構造材料として用いた応急仮設建築物の設計・施工の実例 その 1 — .
日本建築学会技術報告集 21(49) , 1007-1012 (2015) .
 - 18) 生駒岳大, 澤 修平, 額田直子, 永井拓生, 陶器浩一 : 丸竹曲げによる空間構造の設計と施工 その 3 接合部耐力の算定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, 2012, pp, 701-702.
 - 19) 永井拓生, 陶器浩一 : 竹の設計強度の算定および人力設計が可能な接合法の開発 — 竹を構造材料として用いた応急仮設建築物の設計・施工の実例 その 2 — . 日本建築学会技術報告集 22(52) , 925-928 (2016) .
 - 20) 吉田競人, 松井正澄, 田中成人 : 孟宗竹を利用した構造物の部材接続部の強度, 職業能力開発総合大学校東京校紀要 25, 1-7 (2010).
 - 21) 川崎弥生 : 竹を利用したパーゴラの提案, 平成 23 年度富山大学芸術文化学部卒業論文, 2012.
 - 22) 吉野真希 : 竹を利用した運動会用テントの提案, 平成 23 年度富山大学芸術文化学部卒業論文, 2012.
 - 23) 神澤則生 : イベントで大人気 竹テント作ってみませんか? , “現代農業特選シリーズ DVD でもっとわかる 4 竹 徹底活用術 荒れた竹林を宝に変える!” , 農山漁村文化協会, 東京, 2012, pp. 48-49.
 - 24) 寒竹慎一, 小谷公人, 阿部 優 : 丸竹材の曲げ加工及び接合技術に関する研究, 平成 11 年度 研究報告 大分県産業科学技術センター, 145-146 (2000).
 - 25) 齋田夏希 : 孟宗竹の有効利用に関する研究—竹材の接合方法について—, 平成 25 年度富山大学芸術文化学部卒業論文, 2014.
 - 26) 有貞美保 : 孟宗竹の有効利用に関する研究—創己祭用出店テントの提案—, 平成 25 年度富山大学芸術文化学部卒業論文, 2014.
 - 27) 日本建築学会 : “木質構造設計基準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法— (第 4 版)”, 丸善, 東京, 2009, pp. 149-168.
 - 28) 日本建築学会 : “木質構造接合部設計マニュアル”, 丸善, 東京, 2010, pp. 312-317.
 - 29) 文部科学省 : 学校保健統計調査-平成 29 年度 (速報値) の結果の概要, 2017.