

## 竹材の接合技術に関する研究

## —丸竹材の強度試験—

寒竹慎一\*・林 知行\*\*

\*別府産業工芸試験所 \*\*農林水産省森林総合研究所

## Study on the Joining Technology of the Bamboo Material

## —The Strength Test of Bamboo Culm—

Shinichi KANTAKE\*・Tomoyuki HAYASHI\*\*

\*Beppu Industrial-Art Research Division

\*\*Forest and Forest Product Research Institute

## 要旨

丸竹材の基本的強度特性及び材欠損が生じた場合の強度特性変化を把握するため、丸竹材の圧縮試験及び曲げ試験を行った。それぞれの試験結果データから、最大応力、ヤング係数、密度、長さ、加工形状の間に如何なる関係が存在するのか検討を行った。圧縮試験については、最大応力と密度、最大応力と円孔径、円孔径と円孔を無視したヤング係数については、比較的強い相関関係が認められたが、最大応力と試験片長さについては、相関関係が認められなかった。曲げ試験については、円孔加工径1cm以下であれば曲げ強度を低下させず、また円孔加工径2cm以下であれば曲げヤング係数に影響を与えなかった。スリット加工は、深さが1cm程度であっても、円孔加工径3cmと同程度の強度低下を示した。スリット加工は大きな強度低下を生じやすく、接合部の加工には不向きであるという事を把握した。

## 1. 緒言

本研究では、竹材需要の拡大を図るため、丸竹材（マダケ）に焦点を置き、丸竹材の構造材利用の可能性について取り組むこととした。丸竹材を構造材として利用する上で問題となるのが接合法である。一般的な丸竹接合法は、萱葺き屋根や竹垣に見られるしゅろ縄及び麻縄を用いた縛り接合、大径竹にホゾ穴を開け小径竹を差込、目釘で抜け防止を施した差込仕口接合、木芯を節間内に埋め込んだ棒継<sup>1)</sup>と呼ばれる継手接合等が主である。このような接合法しかないのは、竹の長所でもあり、短所でもある形状に起因する。竹材は、節を有し中空で形状、大きさの一定しない材であり、木材と異なり規格化が困難な材料であるがためである。現状の接合技術では、当然使用用途も限られ、工業的利用も不可能である。そこで、求められるのが新たな接合技術である。新接合技術を開発する上で、さまざまな加工方法が検討されるが、竹材は強度的異方性が強く加工時の強度低下が懸念される。モウソウチク材の強度特性、材質については鈴木<sup>2)</sup>、継田<sup>3)</sup>らによって報告されている。また、力学的構造については、尾田<sup>4)</sup>、天田<sup>5)</sup>らによって検討されている。竹材の強度特性は同一竹林内においても個体差が大きく<sup>6)</sup>当然、種が異なれば特性も異なることは言うまでもないが、マダケ材の強度特性の報告例は少なく北村<sup>7)</sup>や古叟<sup>8)</sup>

らによる報告があるが、ホゾ穴加工や切り欠き加工等の材欠損が生じた場合の強度特性の変化については、ほとんど研究例がない。そこで本研究は、竹材の新接合技術開発の基礎研究として、マダケ丸竹材の圧縮試験及び曲げ試験を行い、丸竹材の基本的強度特性及び材欠損が生じた場合の強度特性の変化について報告するものである。

## 2. 実験方法

## 2.1 丸竹圧縮試験

## 2.1.1 供試竹材

供試竹材は、平成10年5月頃に伐採された竹齢3～5年生の大分県産マダケ材（胸高直径5cm前後）で、水酸化ナトリウム水溶液（0.02～0.04%）により20～30分煮沸処理を行い脱脂した竹材を使用した。試験片は、地上高20～400cmの部位で採取し、節部は除いた。試験片は、繊維方向長さの異なる10cm（T10）、15cm（T15）、20cm（T20）の3タイプとし、各タイプごと材中央部片側に円孔径1cm（E1）、2cm（E2）、3cm（E3）の加工を施した材と無加工材（E0）を作製し各8体とした。Fig.1に示す。

## 2.1.2 圧縮試験

圧縮強度試験は、最大荷重5tfの万能試験機AG-5000（島津製）を用いて、繊維垂直方向に静的荷重をかけた。クロスヘッドスピードは1mm/min. なお、無加工材

については、最大荷重が5tfを超えるため、最大荷重100tfの縦型万能試験機（前川試験機製）を用いた。

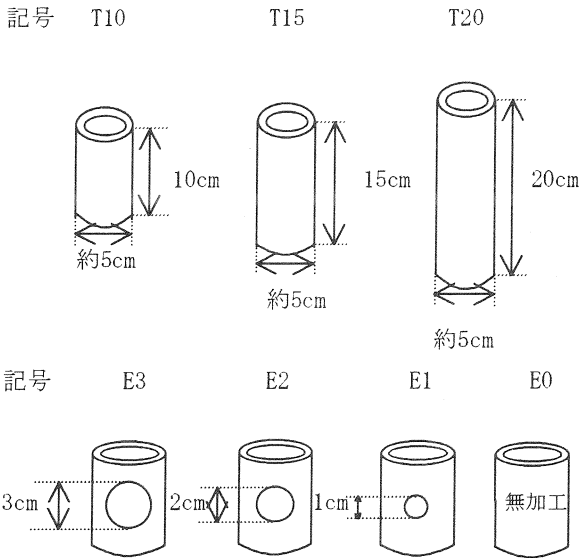


Fig. 1 圧縮試験片

## 2.2 丸竹曲げ試験

### 2.2.1 供試竹材

供試竹材は、圧縮試験と同様の原料を用いた。試験片は、地上1~6mの部位で採取し、節は4つ入るものとし、節間長さ30~38cmのものとした。試験片は、繊維方向長さ125cm×直径約5cmとして、材中央部片側に円孔加工（直径1cm, 2cm, 3cm）を施した材と無加工材を各8体、材中央部片側に切り込み深さの異なる（0.5, 1, 1.5, 2cm）スリット加工（繊維直交方向）を施した材を各4体とした。Fig. 2に示す。

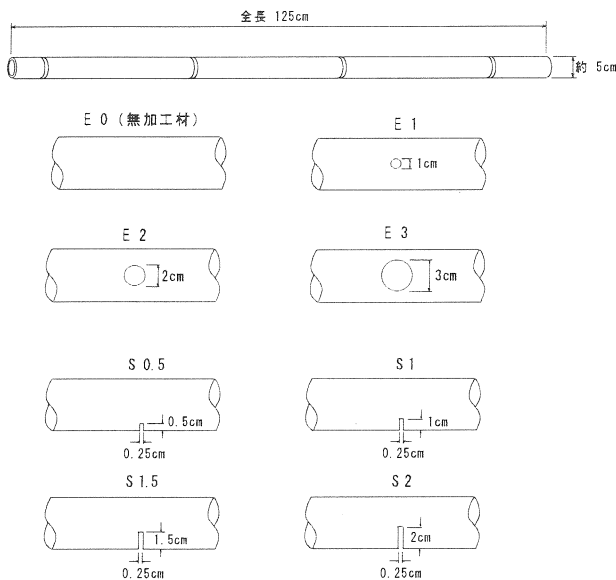


Fig. 2 曲げ試験片

### 2.2.2 曲げ試験方法

曲げ試験は、欠損部を真下に位置させた4点曲げで行い、節間中央部に静的荷重をかけ、荷重点間距離を $l=10$ cm、スパンを $L=90$ cmとした。強度測定には、万能試験機AG-5000B（島津製）を用いて、クロスヘッドスピードは5mm/minとした。試験方法をFig. 3に示す。

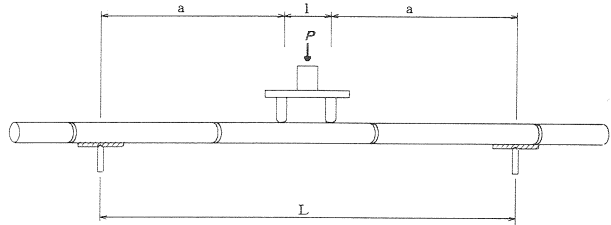


Fig. 3 曲げ試験方法

## 3. 結果及び考察

### 3.1 圧縮試験結果

丸竹圧縮試験結果の平均値をTable 1に示す。試験結果をもとに、応力・ヤング係数・密度・長さ・加工形状の間に如何なる関係が存在するか検討を行った。

Table 1 丸竹圧縮試験結果（平均値）

試験片 No	最大荷重 kgf	最大応力 kgf/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 ×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	密度 g/cm <sup>3</sup>
T10-0	4648.5	712.5	106.3	0.79
T10-1	3671.4	603.7	68.7	0.80
T10-2	3081.7	472.7	61.2	0.74
T10-3	2358.9	383.8	57.0	0.78
T15-0	5034.5	716.7	123.2	0.80
T15-1	3701.3	587.3	86.0	0.79
T15-2	3546.5	485.4	77.2	0.81
T15-3	2363.5	364.4	64.1	0.79
T20-0	4828.2	699.1	133.4	0.78
T20-1	4009.9	607.7	99.9	0.78
T20-2	3036.8	492.0	98.4	0.78
T20-3	2218.5	358.9	78.4	0.76

#### 3.1.1 最大応力と密度の関係

最大応力と密度の関係をFig. 4に示す。グラフが示すように、応力と密度の関係が明らかになった。応力と密度の間には正の相関関係が存在し、密度の増加に伴い応力も増加する。また、材欠損が生じて、その関係は保たれている。

#### 3.1.2 最大応力と円孔径の関係

最大応力と円孔径の関係をFig. 5, Fig. 6, Fig. 7に示す。T10, T15, T20の各試験片において、いずれも材欠損面積

が増すにつれて最大応力の低下が顕著である。無加工材の平均応力を1とした時、他の円孔加工材の平均最大応力低下を比率で表すと、次のようになった。

$$E0 : E1 : E2 : E3 = 1 : 0.84 : 0.67 : 0.52$$

このことから、直径Dの丸竹材に3/5Dのホゾ穴を開けると、最大応力は半分に低下するといえる。

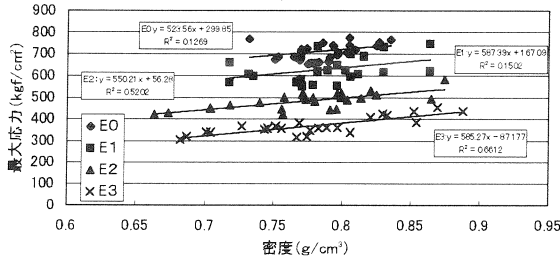


Fig. 4 最大応力と密度の関係

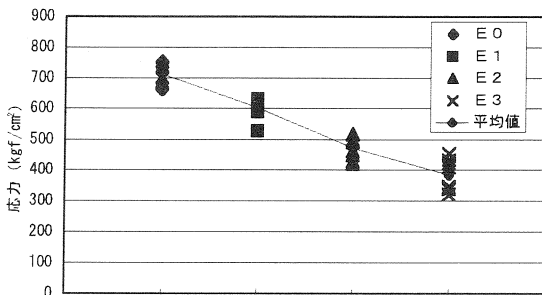


Fig. 5 最大応力と円孔径の関係—T10—

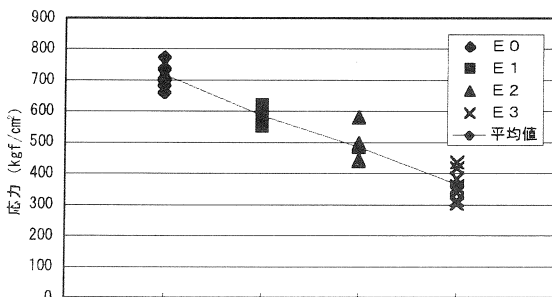


Fig. 6 最大応力と円孔径の関係—T15—

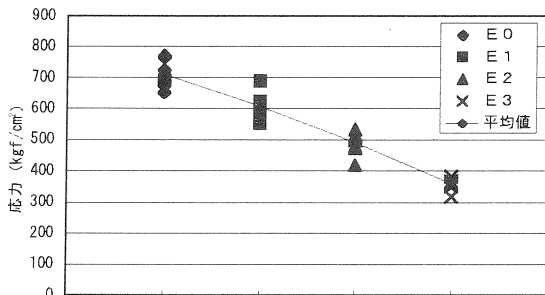


Fig. 7 最大応力と円孔径の関係—T20—

### 3.1.3 ヤング係数と円孔径の関係

ヤング係数と円孔径の関係をFig. 8, Fig. 9, Fig. 10に示す。無加工材と円孔加工材の間には有意差が認められる。T10, T15, T20の各円孔加工材, E1, E2, E3のグループ間において、有意水準5%で分散分析を行った結果を以下に述べる。T10のグループ間については、有意差は認められなかった。T15については、グループ間に有意差が認められた。T20については、E1とE2の間に有意差は認められないが、E2とE3の間には有意差が認められた。以上のことから、円孔径の面積比による明確な相関関係は認められないが、グラフから判断できるように、円孔径面積が大きくなるにつれ、ヤング係数が小さくなる。無加工材の平均ヤング係数を1とした時、他の円孔加工材の平均ヤング係数低下を比率で表したものを以下に示す。

$$T10 \quad E0 : E1 : E2 : E3 = 1 : 0.65 : 0.58 : 0.54$$

$$T15 \quad E0 : E1 : E2 : E3 = 1 : 0.70 : 0.63 : 0.52$$

$$T20 \quad E0 : E1 : E2 : E3 = 1 : 0.75 : 0.71 : 0.56$$

このことから、直径Dの丸竹材に1/5D・2/5D・3/5Dのホゾ穴加工を行うと、ヤング係数はそれぞれ30%、30~40%、40~50%程低下する。

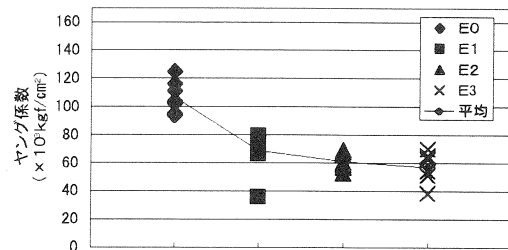


Fig. 8 ヤング係数と円孔径の関係—T10—

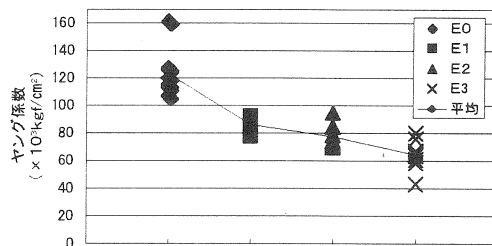


Fig. 9 ヤング係数と円孔径の関係—T15—

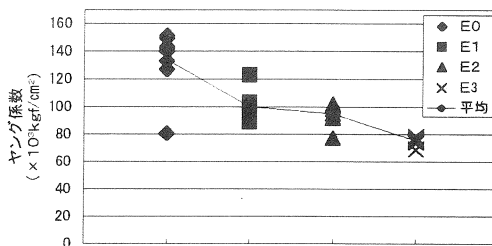


Fig. 10 ヤング係数と円孔径の関係—T20—

### 3.1.4 最大応力と長さの関係

最大応力と長さの関係について、各データグループを有意水準5%として分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。

### 3.2 曲げ試験

丸竹曲げ試験結果の平均値をTable 2に示す。試験結果より、応力・ヤング係数・密度・加工形状の間に如何なる関係が存在するか検討を行った。

Table 2 丸竹曲げ試験結果 (平均値)

試験片 No	最大荷重 kgf	最大応力 kgf/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 ×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	密度 g/cm <sup>3</sup>
E0	215.9	1500.7	295.0	0.86
E1	257.0	1559.4	312.6	0.85
E2	190.3	1244.2	297.6	0.85
E3	121.1	799.8	264.2	0.83
S0.5	181.5	1018.7	247.3	0.79
S1	142.8	1010.7	262.6	0.82
S1.5	74.1	442.6	176.9	0.82
S2	50.8	303.8	151.5	0.86

#### 3.2.1 曲げ強度と円孔径の関係

曲げ強度と円孔加工材及びスリット加工材の関係を図11に示す。まず、円孔加工材について述べる。E0とE1は、ほぼ同等の曲げ強度を示しているが、E2、E3と円孔径面積が増すにつれて曲げ強度の低下が顕著である。E0の平均曲げ強度を1とした時、他の円孔加工材の平均曲げ強度低下を比率で表すと、次のようになった。

$$E0 : E1 : E2 : E3 = 1 : 1.03 : 0.83 : 0.53$$

このことから、直径Dの丸竹材にホゾ穴加工を行う場合、1/5D以下ならば曲げ強度の低下は起こらないと言える。しかし、2/5Dのホゾ穴加工を行うと曲げ強度は2割程度低下し、3/5Dでは5割程度曲げ強度は低下する。

次に、スリット加工材について述べる。円孔加工材と同様に、スリットの深さが増すにつれて曲げ強度も低下している。E0（無加工材）の平均曲げ強度を1とした時、各スリット加工材の平均曲げ強度低下を比率で表すと次のようになった。

$$E0 : S0.5 : S1 : S1.5 : S2 = 1 : 0.68 : 0.67 : 0.3 : 0.2$$

スリット加工材の場合、スリットの深さというよりも竹材繊維を、繊維直交方向に切断した場合のスリット幅（繊維直交方向の長さ）で比較した方が判断しやすい。この場合、S0.5とS1のスリット幅は平均3cm前後でありE3（円孔加工径3cm）のそれに近い。S1.5のスリット幅は平均4.4cm、S2のスリット幅は平均4.8cmであった。以上のことから曲げ強度においては、材欠損面積よりも竹材繊維

の切断量（繊維直交方向）が曲げ強度に大きく作用することが分かった。

#### 3.2.2 曲げヤング係数と密度の関係

曲げヤング係数と密度の関係をFig. 12, Fig. 13に示す。円孔加工材において、変動領域の狭い範囲（曲げヤング係数240~340tf）ではあるが、正の相関関係が認められる。スリット加工材S0.5, S1, S1.5については、試験片数が少ないものの円孔加工材と同様な傾向を示している。このことから、密度の高い材を使用すれば高いヤング係数値が得られるといえる。また、S2については、密度の値が上がってもヤング係数は150tf前後と変動が見られない。これは、3.2.1で記したようにスリット幅が4.8cmと材直径の半分近くを切断しており、この事による極端な材強度低下が原因と思われる。

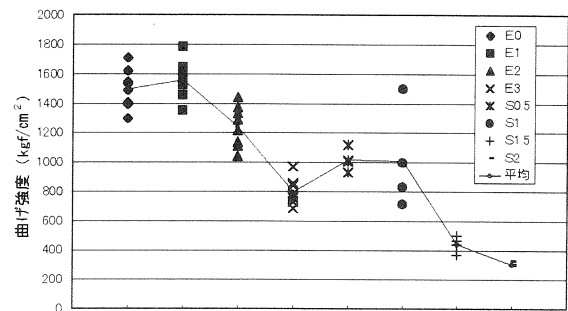


Fig. 11 曲げ強度と円孔径及びスリット加工の関係

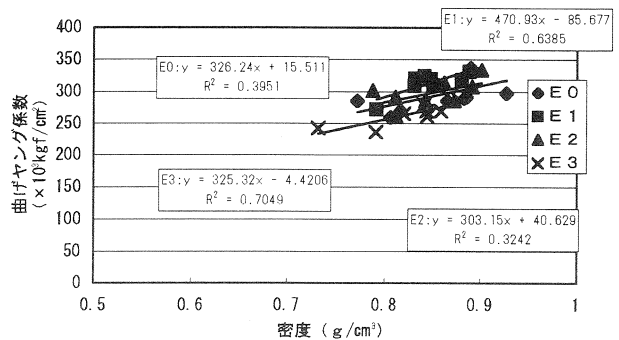


Fig. 12 曲げヤング係数と密度の関係-円孔加工-

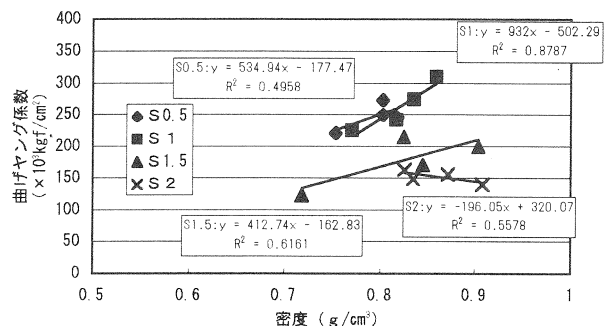


Fig. 13 曲げヤング係数と密度の関係-スリット加工-

### 3.2.3 曲げヤング係数と加工形状の関係

曲げヤング係数と円孔加工及びスリット加工の関係についてFig. 14に示す。E0, E1, E2のデータグループについて有意水準5%で分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。このことから、丸竹材にホゾ穴加工を行う場合、竹材直径をDとしたとき2/5D以下の円孔加工であれば曲げヤング係数に影響を与えないといえる。スリット加工材については、試験片数が各4体と繰り返し数が少なく、特にS1, S1.5のデータばらつきがS0.5, S2と比較して大きい為、グループ間の相関は判断し難い。しかし、曲げ強度と同様にスリット幅が広がると曲げヤング係数も減少する。

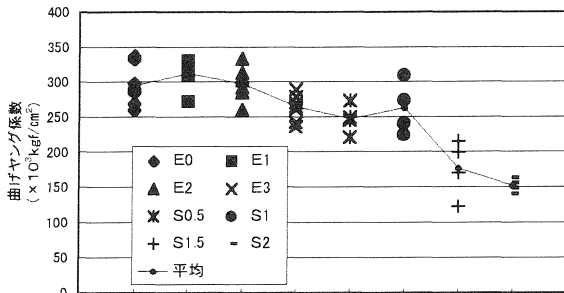


Fig. 14 曲げヤング係数と加工形状の関係

## 4. 結言

丸竹材の圧縮試験、曲げ試験を行って得られた結果をまとめると以下のとおりである。

#### 丸竹圧縮試験

- ①応力と密度の間には相関関係が認められ密度の増加に伴い応力も増加した。
- ②材欠損面積が拡大するにつれ応力が低下した。
- ③丸竹材に1cm以上の円孔加工を行うとヤング係数は30%以上低下することを把握した。
- ④最大応力と試験片長さの関係については、相関関係が認められなかった。

#### 丸竹曲げ試験

- ①円孔径1cm以下の加工であれば曲げ強度に影響を与えない。
- ②曲げヤング係数と密度の間には相関関係が認められ密度の増加に伴い曲げヤング係数も増加した。
- ③円孔径2cm以下の加工であれば曲げヤング係数に影響を与えないことを把握した。

## 謝辞

本研究は、森林総合研究所木材利用部接合研究室の方々のご支援により進めることができました。業務多忙の中、研修生として受け入れていただき、実験技術指導及

びデータ解析指導を賜りました。ここに心からの謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 佐藤庄五郎：図説竹工藝，(1974)，80，共立出版。
- 2) 鈴木 寧：東大演習林報告，36 (1948)，135。
- 3) 継田視明：新潟大学演習林報告，22 (1989)，67。
- 4) 尾田十八：日本機械学会論文集 (A編)，46-409 (1980)，997。
- 5) 天野重庚：Bamboo J，15 (1998)，23。
- 6) 鈴木 寧：東大演習林報告，38 (1950)，167。
- 7) 北村博嗣：第11回日本木材学会大会要旨，(1961)，1。
- 8) 古曳博也，阿部 優，二宮信治，小谷公人，寒竹慎一：平成7年度大分県産業科学技術センター研究報告，(1996)，78。