

## 乾燥割れを有するスギ心持ち構造材の評価について

小原 誠\*, 山之内清竜\*\*, 福留重人\*\*\*

## Evaluation of Sugi Boxed Heart Structure Timber Contained Dry Crack

Makoto OBARA, Kiyotatsu YAMANOUCHI and Shigeto FUKUDOME

高温乾燥によりスギ人工乾燥材内部に発生した割れが、強度特性にどのような影響を及ぼすか明らかにするため材料及び接合部の強度試験を行った。実大曲げ試験の結果、内部割れの面積と曲げ強度との間に関係はみられなかった。ボルト接合部のせん断試験結果からは内部割れが増えると最大荷重が低下する傾向がみられた。梁-梁接合における引張試験の結果からは内部割れの面積と最大荷重との間に関係はみられなかったが、破壊形態により吸収するエネルギーに差があることがわかった。また、試験材に発生した内部割れの分布状況を長軸方向に調べた結果、発生量の分布は一様でなく、ある断面から内部割れの発生量を予測することは困難であることがわかった。

**Keyword:** 内部割れ, 曲げ強度, 接合強度, 内部割れ分布

## 1. 緒言

住宅工法の変化による施工期間の短縮や「住宅の品質確保等に関する法律」(平成12年)の施行以降、乾燥材に対する要求は高まっている。

一方、本県の主要な樹種であるスギの人工乾燥は高温蒸気式乾燥が主流となっているが、その製造過程で生じた乾燥割れを含む乾燥材について、表面割れに関する報告はあるものの<sup>1)</sup>、内部割れが強度に与える影響が解明されていないことや、内部割れの発生量を把握する方法がないことから、出荷者または需要者側の目視検収により材の適・不適の判断がなされているところであり、流通上の不安材料となっている。

そこで、本研究では、人工乾燥したスギ心持ち構造材を用いた強度試験を行い、内部割れが材料強度や接合強度にどのような影響を及ぼすか検討した。また、内部割れを簡易に把握する手法を探るため、木口からの内部割れの発生量について測定しその分布等を検討した。

## 2. 内部割れと材料強度の関係

## 2.1 実験方法

## 2.1.1 試験材料及び乾燥方法

供試材は製材直後の県産スギ心持ち正角材(木口断面: 117mm×117mm, 材長3000mm)50本を用い、動的ヤング係数の値の分散がほぼ等しくなるように2グループにわけ、表1の乾燥条件により内部割れの発生が多くなる厳しい条件と少なくなる緩やかな条件で人工乾燥した。

表1 乾燥条件

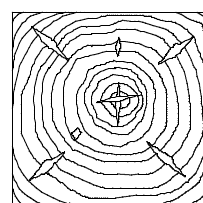
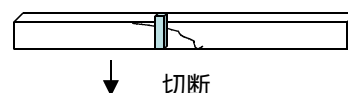
乾球温度(°C)	120	105	100	95	90
湿球温度(°C)	90	75	70	65	60
厳しい条件 時間(h)	36	36	48	72	96
緩やかな条件 時間(h)	20	20	0	96	96

\*乾燥経過は左から右の順(蒸煮, 降温除く)

## 2.1.2 強度試験及び内部割れ面積測定

人工乾燥が終了して16日経過後、重量、寸法、縦振動ヤング係数などを測定し、実大試験機(株島津製作所製UH-25A)を用い、構造用木材の試験方法(財団法人日本住宅・木材技術センター, 平成12年3月)の3等分4点荷重法により曲げ試験を実施した。

曲げ試験終了後、直ちに材中央部付近から試験片を取り出し、含水率、内部割れ面積を測定した。なお内部割れの形状は菱形とし、その面積は図1により長さ $a$ と幅 $b$ から算出した。



内部割れ面積の測定

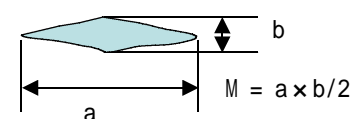


図1 内部割れの面積の測定

\* 木材工業部(現 林業振興課)

\*\* 木材工業部(現 電子部)

\*\*\* 木材工業部

2.2 結果と考察

2.2.1 内部割れと曲げ強さの関係

図2に内部割れ面積と仕上がり含水率の関係について示す。厳しい条件で乾燥したものについては仕上がり含水率10%以下で大きな内部割れの発生がみられた。緩やかな条件では、仕上がり含水率にバラツキがあり、含水率の高い材ほど内部割れの発生が少なかった。このため内部割れの発生が多く見られる厳しい条件で乾燥したものについて、内部割れ面積と曲げ強さの関係について検討した。その結果は図3に示すとおりで、内部割れの面積が増加しても曲げ強さが増減する傾向はなく、両者に関係はみられなかった。なお、試験結果から基準強度を求めたところ、厳しい条件が22.6N/mm<sup>2</sup>、緩やかな条件が25.2N/mm<sup>2</sup>でいずれの条件とも乙種構造材1級の基準値21.6N/mm<sup>2</sup>を上回っていた。

図2 内部割れ面積と仕上がり含水率

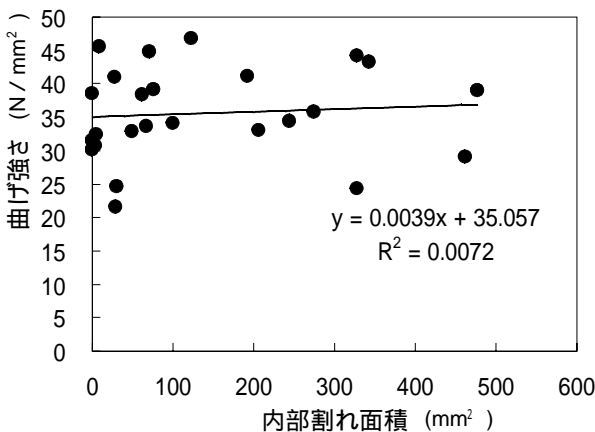
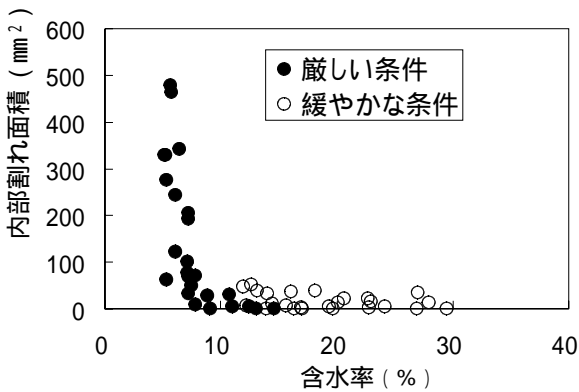


図3 内部割れ面積と曲げ強さ  
(厳しい条件：仕上がり含水率5～15%)

2.2.2 曲げ強さとヤング係数の関係

次に、曲げ強さと曲げヤング係数の関係(図4)をみると厳しい条件で乾燥した場合、緩やかな条件に比べ両者の

相関が低くなる傾向がみられた。曲げ強さと動的ヤング係数との関係でも同様な傾向がみられ、このことから、今回のような厳しい条件で乾燥した場合、機械等級区分による強度評価(打撃法により求めた縦振動ヤング係数から材料強度を推定する手法)をすると、実際の曲げ強度と異なる評価を行う恐れがあると考えられた。

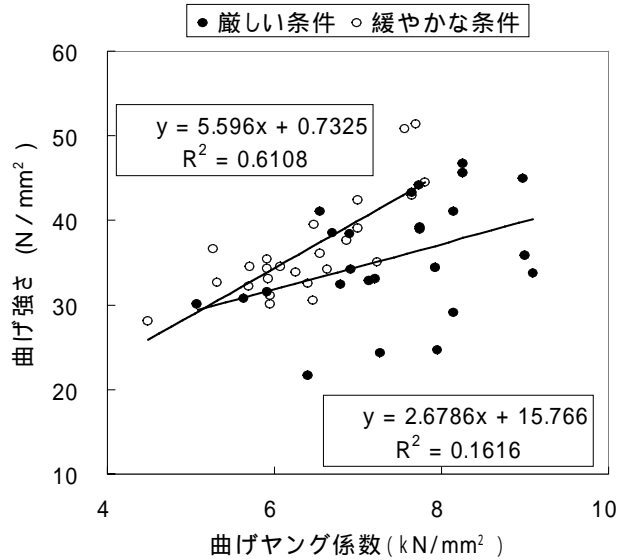


図4 曲げ強さと曲げヤング係数

3. 内部割れとボルト接合強度の関係

3.1 実験方法

3.1.1 材料及び乾燥方法

現在の住宅工法において接合部の大半は金具が使用されていることから、金具と内部割れを有する木材の関係性を明らかにするため、ボルト接合部のせん断試験を行った。

供試材は製材直後で重量がほぼ同程度の県産スギ心持ち正角材(木口断面：117mm×117mm、材長4000mm)6本を用いた。供試材を図4のようにそれぞれ半分に切断し、半分は表2に示す高温乾燥で、他の半分は表3に示す中温乾燥でそれぞれ乾燥した。

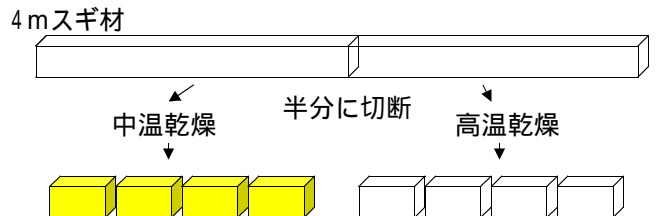


図5 材料及び乾燥方法

表2 乾燥条件(高温乾燥)

乾球温度( )	116-120	108	106
湿球温度( )	90-96	82-85	79
時間(h)	28	72	30

\*乾燥経過は左から右の順(蒸煮, 降温除く)

表3 乾燥条件(中温乾燥)

乾球温度( )	70	71	72	74
湿球温度( )	67	67	67-62	62-50
時間(h)	17	24	192	96

\*乾燥経過は左から右の順(蒸煮, 降温除く)

3.1.2 ボルト接合部せん断試験方法及び測定  
乾燥終了後, 試験体(寸法: 木口断面105mm×105mm, 長さ400mm)を作製し, 木口面の内部割れ面積や発生形状等を測定した。試験方法は, 木質構造設計基準「ボルト接合・二面せん断鋼板側材接合方法試験」に基づき, 前述の実大試験機を用いて加力し, 荷重及び変位量を測定した(図6参照)。

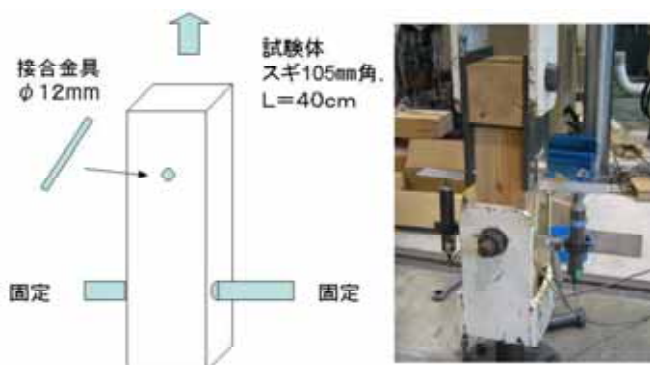


図6 試験体及び試験方法

3.2 結果と考察

3.2.1 乾燥法と最大荷重

表4に乾燥条件方法の違いによるせん断強度の最大荷重の平均値を, 一例として図7に試験材6の内部割れ面積と最大荷重の関係について示す。最大荷重の平均値の検定をしたところ中温乾燥によるものと高温乾燥によるものとで95%以上の確率で両者に差がみられた。

表4 乾燥方法と最大荷重の平均値

乾燥方法	中温乾燥	高温乾燥
最大荷重の平均値(kN)	48.5	40.9
分散	56.4	68.8
観測数	24	24
試験時含水率(%)	13~18	8~14

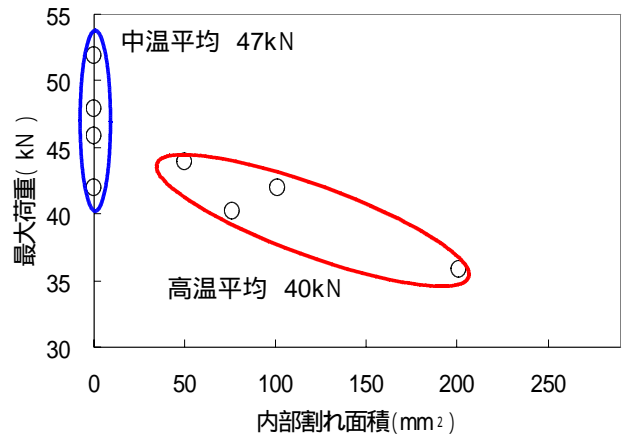


図7 内部割れ面積と最大荷重(試験材6)  
(試験時含水率: 中温15%, 高温9~11%)

3.2.2 内部割れと最大荷重の関係

図8に最大荷重と内部割れ面積の関係について示す。内部割れ面積が増えると最大荷重が低下する傾向がみられた。また, 発生した内部割れの最大割れ幅と最大荷重との関係についても同様な傾向がみられた(図9)。高温乾燥材について, 幅3mm以上と3mm未満とで最大荷重の平均値を算出し, 差の検定を行ったところ, 両群に95%以上の確率で差がみられた。なお, 試験から得られた長期許容せん断耐力は, 全ての条件で基準値を上回った(表5)。

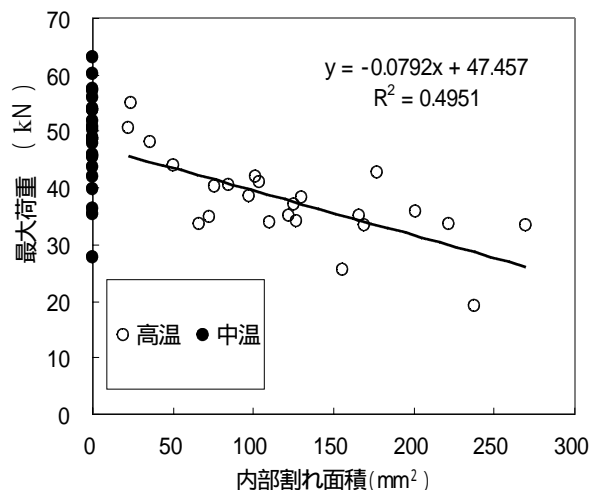


図8 最大荷重と内部割れ面積

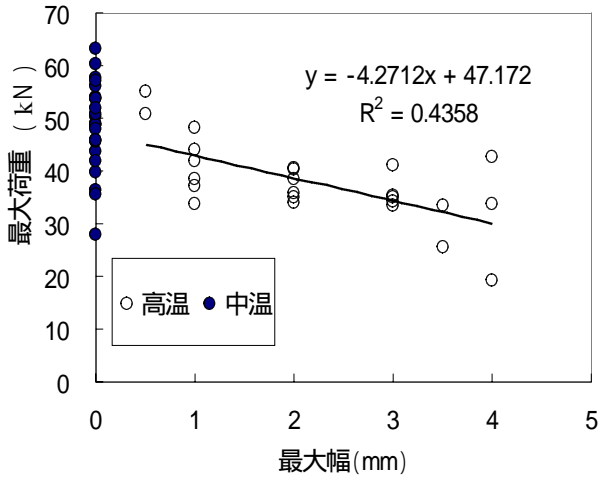


図9 最大荷重と内部割れ最大幅

表5 長期許容せん断力  $F_a$  (単位: kN)

項目	乾燥方法		内部割れ幅	
	高温乾燥	中温乾燥	3mm以上	3mm未満
$F_a$	5.87	11.33	4.75	6.98
基準値	3.95			

3.2.3 内部割れの位置と最大荷重

内部割れが木口面の対角線上ではなくボルトと同一方向に(木口の材辺に対し平行)大きく発生した場合、内部割れが拡大し破壊に至ったケースがあった(図10)。このケースで得られた最大荷重と、エンドマッチングした試験材(同条件で乾燥したもの)でボルトと同一方向に内部割れの発生が小さいもの(図11)の最大荷重と比べると前者で低い値が得られた。このように、内部割れの発生位置によっても耐力が低下する恐れがあることが考えられた。

最大荷重 19.0kN, 変位14mm

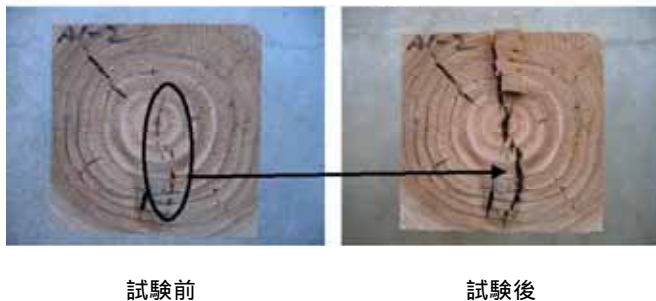


図10 内部割れと破壊形態(試験材1-2)

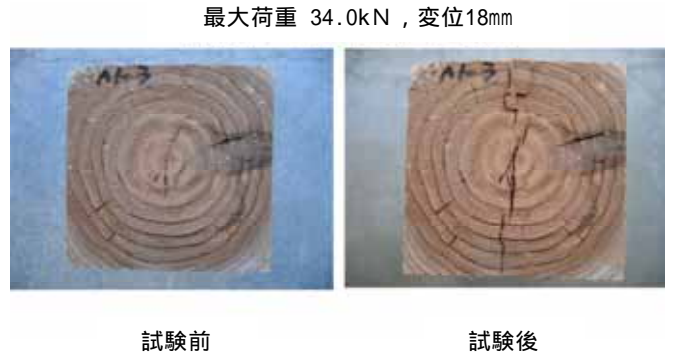


図11 内部割れと破壊形態(試験材1-3)

3.2.4 表面割れの位置と最大荷重

一方、表面割れが接合強度に及ぼす影響について検討するため、図12のように、同一の条件で乾燥した材料で、ボルト穴がある面に表面割れがあるものとなない試験体を作成し、ボルト接合部せん断試験方法と同様の方法でせん断試験を行った。

図12 材料の状況



その結果は図13に示すとおりで、表面割れが拡大した形で破壊に至っているが、最大荷重では大きな差はみられず、今回の結果からは、表面割れによる最大荷重への影響は、明確にできなかった。

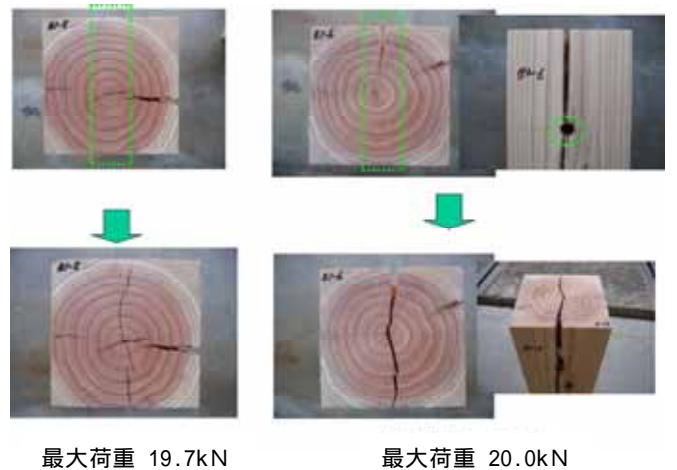


図13-1 表面割れと破壊形態(その1)



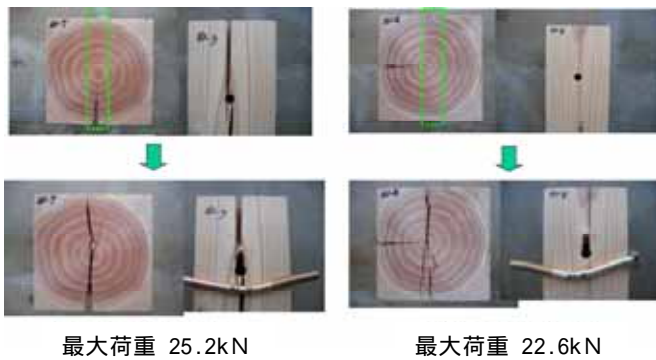


図13-2 表面割れと破壊形態（その2）

4 内部割れと梁-梁接合強度の関係

4.1 実験方法

4.1.1 材料及び乾燥方法

金具を使用しない接合部の強度に内部割れがどのような影響を及ぼすか把握するため、梁-梁接合引張試験を行った。供試材は製材直後で重量がほぼ同程度の県産スギ心持ち材を用い、表6の条件で乾燥した。

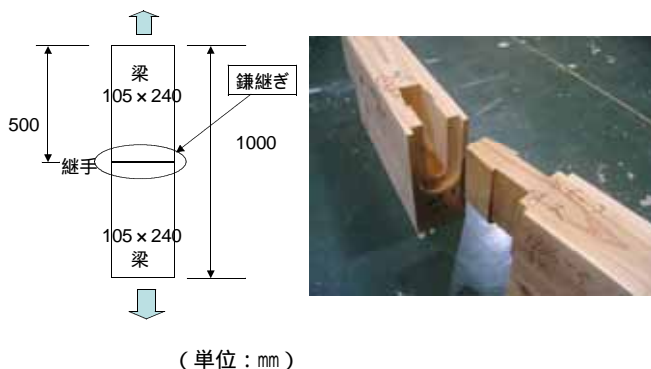
表6 乾燥条件（高温乾燥）

乾球温度( )	116	110-105	90	85-80
湿球温度( )	90	82-75	65	60
時間(h)	24	48	192	144

\*乾燥経過は左から右の順（蒸煮，降温除く）

4.1.2 梁-梁接合引張試験及び測定

試験材は乾燥後、木口断面をそろえ（木口寸法：105mm×240mm）、プレカット加工機により鎌継ぎによる継手加工を行った。（図14参照）。内部割れ面積等を測定後、加工した試験体を接合させ、品確法に基づく告示1654号における性能表示の構造方法試験法、評価法3.2「水平行構面の梁端部仕口及び継手の引張試験」に基づき、前述の実大試験機を用いて加力し、荷重及び変位量を測定した。



（単位：mm）

図14 試験体及び試験方法

4.2 結果と考察

4.2.1 内部割れと最大荷重の関係

図15に男木接合部に発生した内部割れ面積と最大荷重の関係について示す。今回の試験では、内部割れ面積と最大荷重との間に関係はみられなかった。

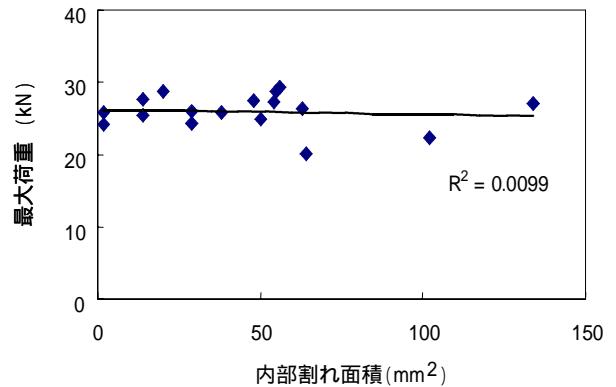


図15 内部割れ面積（男木接合部）と最大荷重（試験材の含水率：10～16%）

4.2.2 破壊形態と変位量等の関係

試験後の試験体を分離すると破壊形態に2つのタイプがみられた（図16，17参照）。1つは両継手加工部がかみ合っておりこんでいるもの、もう1つは、めりこみは少なく男木接合部の加工部分がせん断破壊されたもので、前者を「めり込みタイプ」後者を「せん断破壊タイプ」とした。

両者の破壊形態タイプには最大荷重の差がみられなかったが、図18,19に示すとおりせん断破壊タイプでは最大荷重に達した後、急激に耐力が低下するのに対し、めり込みタイプの場合、最大荷重から徐々に耐力が低下する傾向がみられた。せん断破壊タイプの場合、めりこみタイプに比べ破壊または0.8 Pmaxに至るまでの変位量が少なくなる傾向、すなわち破壊までに吸収するエネルギー量が小さくなる傾向にあると考えられる。

なお、せん断破壊タイプは、男木接合部に、樹心がありかつ、側面に貫通した内部割れを有する場合に発生が多くみられた。また、男木接合部の木口面に発生した内部割れ面積が50mm²以上の場合もせん断破壊タイプの発生が多くみられた（表7）。



図16 めり込みタイプ



図17 せん断破壊タイプ

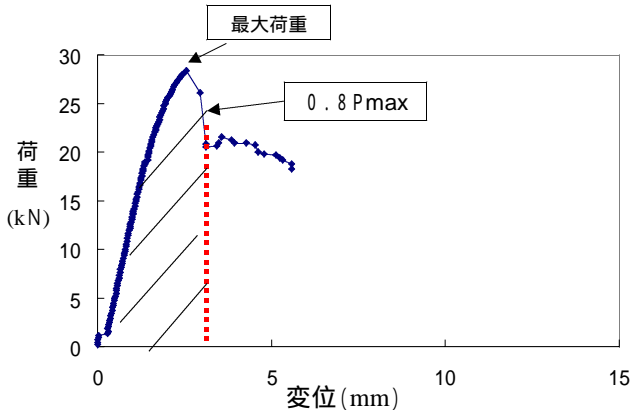


図18 荷重変位曲線 (せん断破壊タイプ)

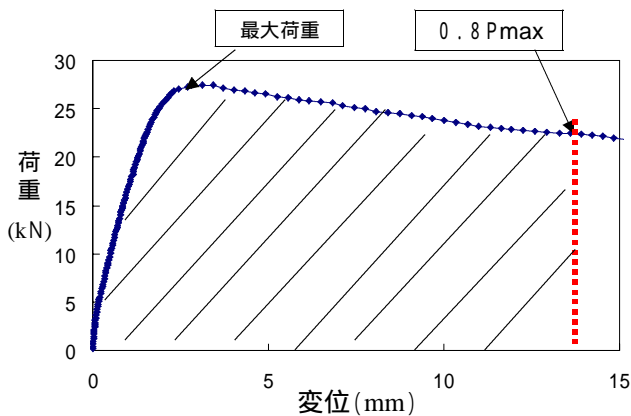


図19 荷重変位曲線 (めり込みタイプ)

表7 男木接合部の破壊形態と内部割れ面積 (単位: 体)

内部割れ面積	せん断破壊タイプ	めり込みタイプ
0 - 50mm <sup>2</sup>	2	7
50mm <sup>2</sup> >	6	2

5 内部割れの発生分布

5.1 実験方法

試験にはスギ心持ち直角材 (寸法: 117mm × 117mm × 3000 mm) を使用した。試験体数は20本とし、内部割れの発生が多くなる条件 (2.1.1 厳しい条件) で乾燥した後、元口 (根本側) から材中央部に向け2, 7, 12, 22, 42, 82, 150cm部と末口から材中央部に向け2, 7, 12, 22, 42, 82 cm部で切断し切断面に表れる内部割れの面積等を「2.1.2 面積の測定」により測定した。

5.2 結果と考察

元口からの距離と内部割れ発生量 (面積) をみると、発生量が最大となる場所が、木口部分や材中央付近である場合やランダムに発生するものもあり (図20, 図21, 図22), 一定の傾向はみられなかった。このことから、1つの切断面、例えば木口付近の切断面から全体の内部割れの発生量を推測することは難しいことがわかった。

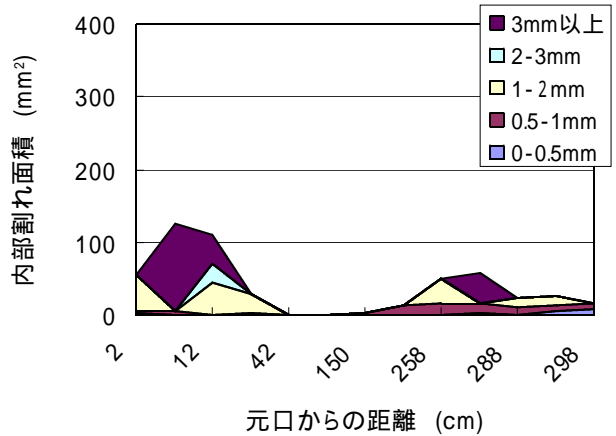


図20 内部割れの発生分布 (木口集中型)

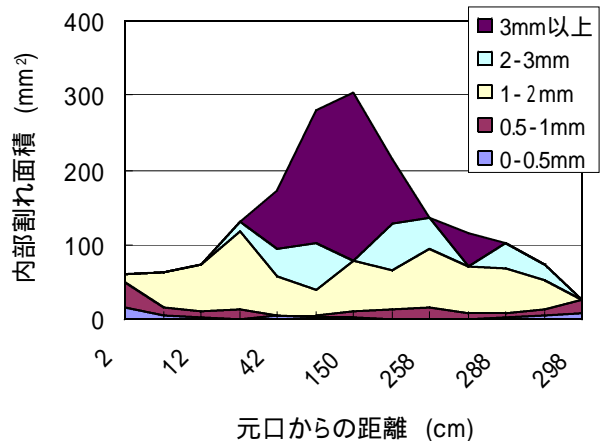


図21 内部割れの発生分布 (材中央集中型)

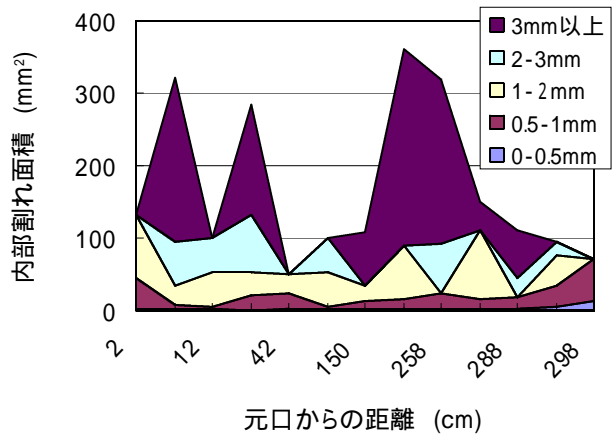


図22 内部割れの発生分布 (ランダム型)

また、試験材の表面に発生した落ち込みの形態を大別すると、図23に示すとおり樹心に向かって落ち込むもの（形態1）、樹心以外に向かって落ち込むもの（形態2）及び表面割れが閉じたことに起因する落ち込みのもの（形態3）の3パターンがみられた。形態2を切断した木口断面には規模の大きな内部割れの発生や発生量が多くみられており（図24,25参照）、材の表面情報等から内部割れの発生を予測できることが示唆された。今後、さらに試験を重ね精査することが望まれる。

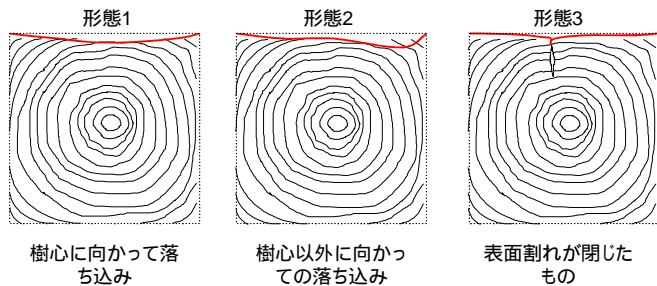


図23 落ち込みの形態

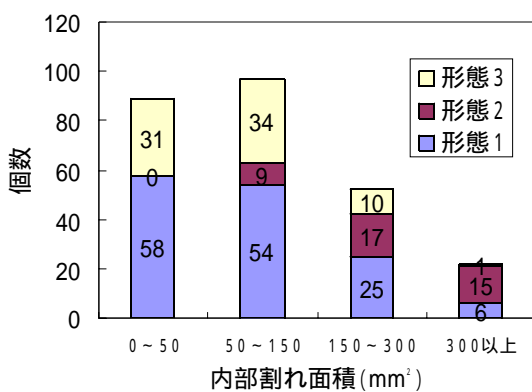


図24 落ち込み形態と内部割れの発生状況

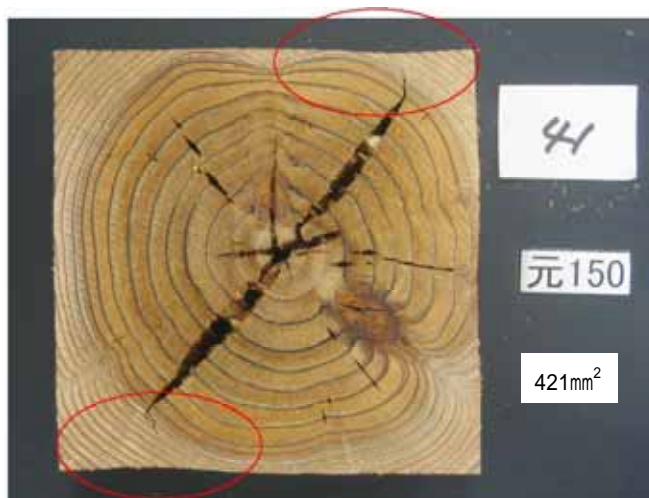


図25 落ち込み形態と内部割れ面積  
(形態2の例)

## 6. 結 言

人工乾燥したスギ心持ち構造材の強度試験及び内部割れの発生に関する検討を行った結果、次のことがわかった。

- (1) 曲げ試験では、内部割れの発生量と曲げ強さとの間には関係はみられなかった。また、試験結果から得られた基準強度は、基準値を上回っていた。なお、厳しい条件で乾燥した場合、曲げ強さとヤング係数との相関が低くなる傾向が見られた。
- (2) ボルト接合部のせん断試験では内部割れ面積が増えると最大荷重が低下する傾向がみられ、内部割れの発生位置によっては最大荷重が低下するものもみられた。なお、試験から得られた長期許容せん断耐力は、全ての条件で基準値を上回った。
- (3) 梁-梁接合引張試験では、内部割れ面積と最大荷重に関係はみられなかったが、破壊形態によっては吸収するエネルギーが小さくなる形態がみられ、その要因の1つとして内部割れの影響が考えられた。
- (4) 内部割れは、材内部で均等に発生しておらず、しかも発生量のピークは様々であり規則性はみられなかった。ある木口断面から、その材全体の内部割れの発生量を予測することは困難であるが、落ち込み等の材表面の情報から規模の大きい内部割れの発生については予測できることが示唆された。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、有益な助言を賜りました九州大学大学院農学研究院 藤本登留 准教授、独立行政法人森林総合研究所加工技術研究領域 斎藤週逸 次世代省エネ加工担当チーム長に謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 荒武志朗, 有馬孝禮, 迫田忠芳, 中村徳孫: 木材工業, 48, 166(1993)





