

スギ，ヒノキ構造用製材の乾燥割れや
背割り加工が強度性能に及ぼす影響

池田 潔彦

スギ、ヒノキ構造用製材の乾燥割れや背割り加工が強度性能に及ぼす影響

池田潔彦

池田潔彦：スギ、ヒノキ構造用製材の乾燥割れや背割り加工が強度性能に及ぼす影響 静林技セ研報 33:15~21
2005 柱や梁など構造用製材の乾燥過程で生じた割れや背割り加工が強度性能に及ぼす影響について検討した。製材工場の自主的な視覚検査で不合格となったスギ正角製材は、割れの断面欠損材積（以下、割れ材積）が通常の背割り加工のそれよりも小さく、割れ材積と曲げ強度及び縦圧縮強度との間に有意な相関関係が認められず、いずれも材料強度を上回った。4面背割り加工したスギ、ヒノキ正角の曲げ試験では、中立軸上の背割り深さ計が一定値を超える場合にせん断破壊が曲げモーメントのそれに先行して起こり、材料強度を下回るものがみられた。柱-梁仕口の曲げ試験では柱、梁の割れの破壊への関与が認められなかった。高温域で人工乾燥したスギの柱、土台を長ほぞ加工と込み栓で接合した仕口は、引張り試験の結果、内部割れの最大耐力及び降伏耐力に及ぼす影響が認められず、短期基準耐力を有していた。

I はじめに

近年、針葉樹構造用製材の乾燥に対する取り組みとして、高温度域の蒸気式乾燥、天然乾燥や高周波加熱を併用した蒸気式乾燥など、低コスト化や乾燥性能の向上を目的とした新たな技術導入が進んでいる。また、乾燥の割れ制御を目的とした正角の4面背割り加工、平角のスリット加工(9)も行われ始めている。ただし、天然乾燥あるいは低中温度域の蒸気式乾燥では表面割れが、高温度域の蒸気式乾燥では内部割れが一定の割合で生じることは避けられない。また、4面背割り加工では断面欠損が生じるため、それらが構造用製材の強度性能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。しかし、これらに関する学術的な報告(1)は少なく、木造住宅の継手、仕口の強度性能に対する影響も明らかになっていない点が多い(8)。このため、製品供給側ではそれら構造用製材の評価と品質管理等の対応が明確でなく、施工側や最終消費者の危惧も払拭されていない。

本研究では、乾燥割れが生じたスギ製材やそれらを用いた柱-梁の仕口、4面背割りの深さや加工数が異なるスギ、ヒノキ製材、高温乾燥で内部割れを生じたスギ製材による柱-土台の仕口について強度試験を行い、製材の乾燥割れや背割り加工が強度性能に及ぼす影響を検討した。

II 人工乾燥等により生じた割れを伴う

スギ正角製材の強度性能

1 試験体と試験方法

蒸気式人工乾燥機により中温度域（乾湿球温度 60～

80℃）で乾燥したスギ心持ち 105mm 正角製材（材長 4m）のうち、製材工場の自主的な視覚検査で乾燥割れにより不合格となった 46 本を試験体とした。全乾法含水率の平均値は 20%、同変動係数は 27%であった。それらは背割り加工がなく、乾燥割れの形状は木口面と材長方向での材芯から材縁にかけての表面割れで、内部割れや貫通割れは見られなかった。

試験体の表面割れ全てについて木口面の割れの幅と長さ及び材面の割れと長さの積を合計して割れ材積を求めた。また、針葉樹の構造用製材の日本農林規格（以下、JAS）に準じて材面の節径比、平均年輪幅、全乾法と高周波式含水率計(MOKO：ケット社製)による含水率を調べた。その他、材寸、重量、密度、動的ヤング係数及び動的捻り振動法(11)によるせん断弾性係数（以下、動的 G）を計測した。その後、試験体を 3m と 1m に切断し、3m 材を曲げ試験体、1m 材を短柱縦圧縮試験体とした。曲げ試験は実大強度試験機を用い、スパン 270 cm、3 等分点 4 点荷重方式で行った。短柱縦圧縮試験は実大強度試験機を用いて両端固定、細長比 30 の条件で行った。

2 結果と考察

表-1 に試験体の材質と曲げ試験及び圧縮試験の結果を、図-1 に割れ材積と全乾法による含水率との関係を示す。中温度域の蒸気式人工乾燥では、仕上がり含水率が低いほど接線方向、半径方向の乾燥応力が大きく表面割れが生じる可能性が高い。しかし、含水率と割れ材積とに有意な相関関係が認められず、割れ材積の差異は試験体の材質差異や乾燥前の含水率や材内の水分傾斜の違

表-1 製品検査で乾燥割れにより不合格となったスギ正角製材の材質と強度試験結果

	密度 (g/cm ³)	平均 年輪幅 (mm)	含水率		節径比		動的 ヤング係数 (GPa)	曲げ 動的 G (GPa)	動的 G (MPa)	曲げ 強度 (MPa)	縦圧縮 強度 (MPa)
			全乾法 (%)	含水率計 (%)	最大 (%)	集中 (%)					
平均値	0.454	4.3	20	22	18	18	8.45	9.11	0.42	46.3	28.2
標準偏差	0.034	0.8	4	4	7	19	1.15	1.47	0.07	7.8	4.5
変動係数(%)	7	19	20	27	41	106	14	16	17	17	16

動的 G：ねじり振動法による動的せん断弾性係数

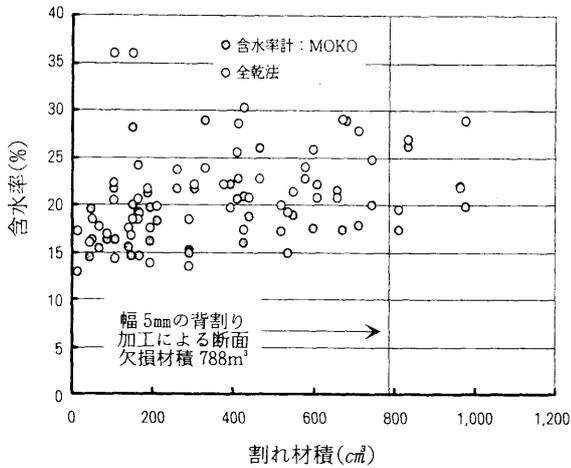


図-1 スギ正角製材の割れ材積と含水率との関係

いが影響したと思われる。

大半の試験体の割れ材積は背割り加工（背割り幅 5 mm，同深さ 52mm）を行った場合の断面欠損材積（788cm³）を下回っており，それを上回った試験体は46本中4本のみであった。また，製材工場の自主的な検査では，割れ材積が小さなものでも表面割れの量よりも質が重視され，意匠（美観）性が損なわれた製材は不合格になる傾向がうかがえた。

図-2 に割れ材積と各強度性能との関係を示す。割れ材積と曲げヤング係数及び曲げ強度のいずれにも有意な相関関係は認められず，破壊形態も割れが起因する水平せん断等で破壊した試験体は皆無であった。また，割れ材積と縦圧縮強度にも有意な相関関係は認められず，割れが破壊に関与した試験体は見られなかった。針葉樹の

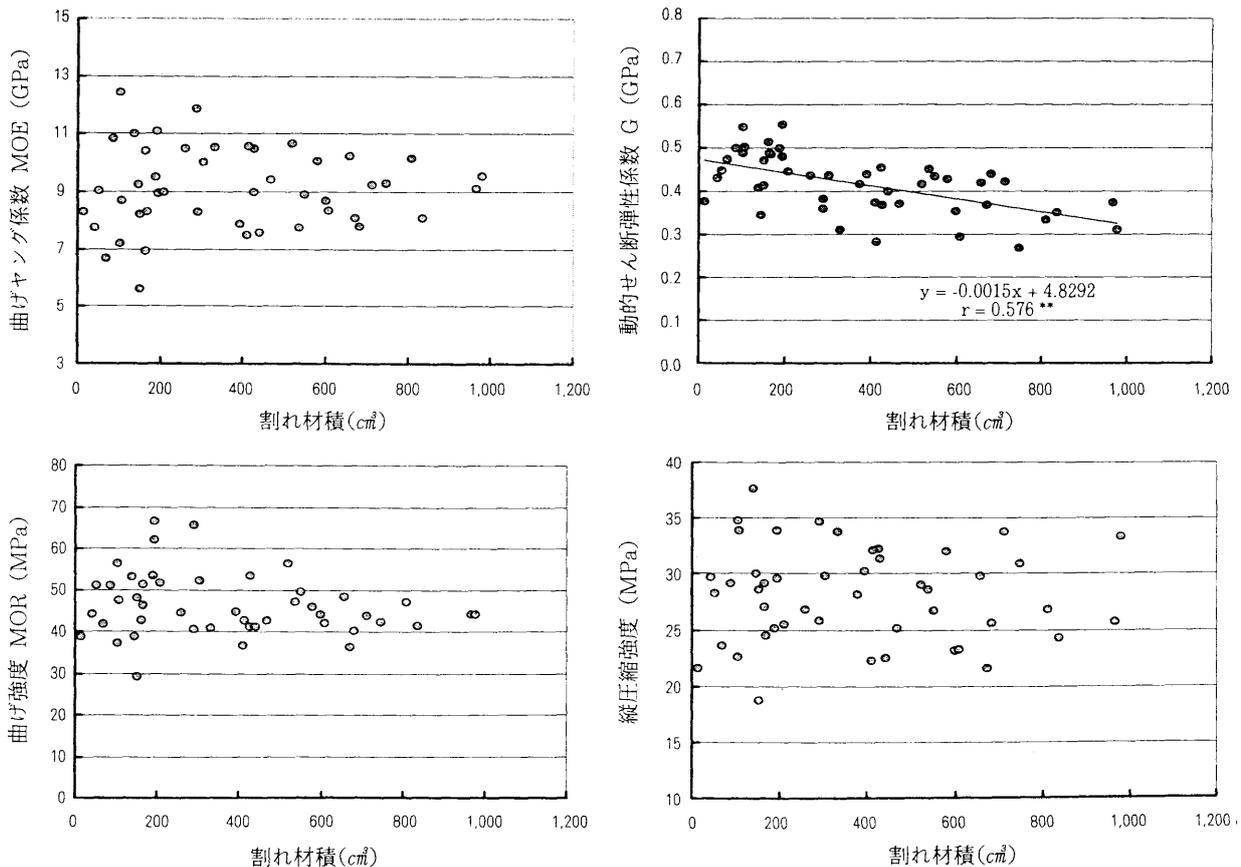


図-2 スギ正角製材の割れ材積と強度性能との関係

r：相関係数、**：危険率1%で有意

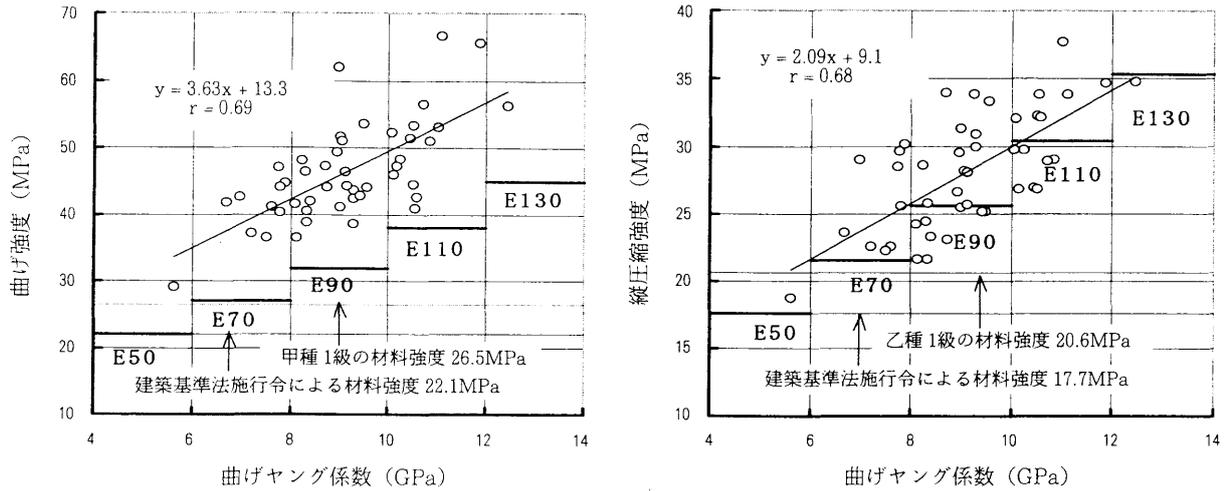


図-3 乾燥表面割れを生じたスギ正角製材の曲げヤング係数と曲げ強度、縦圧縮強度との関係
E50～E130：JAS 構造用製材の機械区分等級，太線は機械区分等級に対応した基準強度特性値(繊維方向)

構造用製材の日本農林規格（以下、構造用 JAS）(14)の乾燥割れに関する規定では、心去り材に生じ易い貫通割れのみが対象で、木口や材面の表面割れは強度性能に影響しない考え方に基づいているが、本試験の結果はそれを裏付けるものとなった。一方、動的Gとの相関関係は危険率1%で有意となり、割れ材積が増えると動的Gが小さくなる傾向が認められた。これまでも背割り加工により製材のせん断弾性係数が低減する報告(12)がある。このことは、一般の木造住宅の梁等ではスパンに対して梁背が大きく設定されているため実用上問題にならない。しかし、中規模以上の木造構造物に製材梁が用いられる場合にその点を考慮する必要があると考えられた。

図-3に曲げヤング係数と曲げ強度、縦圧縮強度との関係を示す。図中には建築基準法施行令の材料強度とJAS 針葉樹構造用製材の機械等級区分各等級の材料強度（長期許容応力度の3倍値）を示した。曲げヤング係数と曲げ強度、縦圧縮強度にはいずれも有意な相関関係が認められた。スギ正角の曲げ強度 (MPa) は、平均値が46.3、信頼水準75%における5%下限値（正規分布に

よる関数法，以下5%下限値）が32.9であった。一方、縦圧縮強度 (MPa) は、平均値が28.2であり、5%下限値が20.4であった。曲げ強度と縦圧縮強度の5%下限値はいずれも建築基準法施行令に示される材料強度（曲げ：22.9MPa，縦圧縮18.4MPa）を上回っている。また、図中に示した機械等級区分等級の基準強度特性値(6)と実験値とを比較すると、曲げ強度は各等級ともに基準強度特性値を上回った。一方、縦圧縮強度はE90，E110の上位等級で基準強度特性値を下回る個体が見られ、「製材品の強度性能に関するデータベース(4)」でも同様の傾向がみられる。これらは、縦圧縮強度はヤング係数以外に密度や節径比等が影響することや、実大材縦圧縮強度のデータ数が曲げ試験のそれと比べて著しく少ないことも要因と推定され、今後の検討課題と考えられた。

III 4面背割り加工が製材の曲げ強度性能に及ぼす影響

1 試験体と試験方法

人工乾燥後にグレーディングマシンで機械等級区分(14)したスギとヒノキの正角製材を試験体に用いた。それらは材長3m，断面寸法120×120mmで，背割り加工

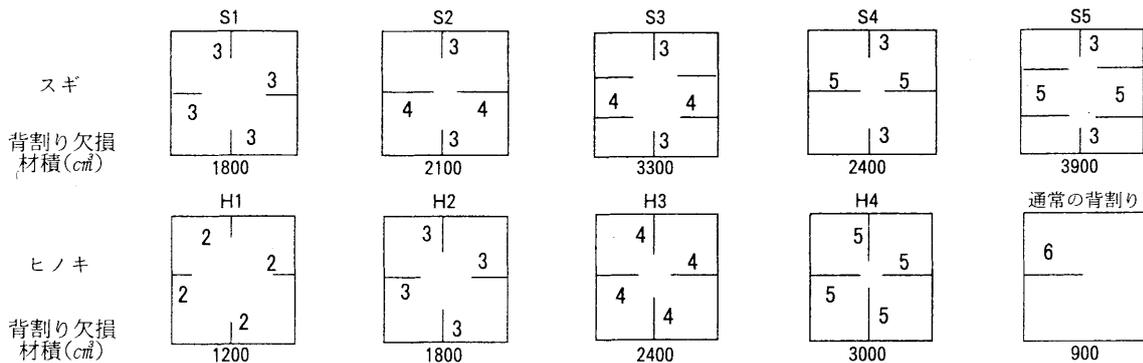


図-4 4面背割り加工したスギ、ヒノキ正角製材の木口面図と欠損材積
背割り加工幅は各試験体とも5mm、図中の数字は背割り加工深さ(cm)
背割り欠損材積はスギ、ヒノキとも断面寸法120×120mm、長さ3mの場合

表-2 4面背割り加工したスギ正角製材の曲げ試験結果 (各タイプ4体の平均値)

試験体種類	破壊形態数		曲げ強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)			密度 (g/cm ³)		年輪幅 (mm)	全乾法含水率(%)
	B	S		曲げ試験	動的加工前	動的加工後	加工前	加工後		
S1	3	1	41.4	8.55	8.21	7.65	0.405	0.380	5.4	16.7
S2	2	2	37.2	7.67	7.47	7.01	0.466	0.442	5.0	24.3
S3	1	3	35.7	8.36	8.33	7.67	0.438	0.408	5.0	19.8
S4	0	4	31.5	7.77	7.64	7.20	0.431	0.403	4.6	20.6
S5	0	4	30.0	7.20	7.33	6.72	0.417	0.388	4.0	25.5

動的ヤング係数と密度の加工前・加工後は背割り加工前後の値

破壊形態数：B 曲げモーメントによる破壊、S：せん断力による水平せん断破壊(表-3も同様)

表-3 4面背割り加工したヒノキ正角製材の曲げ試験結果 (各タイプ5体の平均値)

試験体種類	破壊形態数		曲げ強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)			密度 (g/cm ³)		年輪幅 (mm)	全乾法含水率(%)
	B	S		曲げ試験	動的加工前	動的加工後	加工前	加工後		
H1	5	0	54.8	10.54	10.78	10.59	0.455	0.453	3.0	16.0
H2	3	2	51.7	10.20	10.17	9.82	0.480	0.476	3.6	16.4
H3	0	5	44.0	9.83	9.70	9.37	0.489	0.482	3.8	15.9
H4	0	5	31.2	9.54	10.04	9.65	0.480	0.466	3.9	16.3

前に密度、タッピング法による動的ヤング係数 (以下、Efr)、平均年輪幅を計測した。その後、4材面に深さ(2~5cm)や位置を変えた背割り加工を行い、図-4に示すスギが5種類、ヒノキが4種類の試験体を作製した。各種類ともに試験体数は、スギが機械等級 E110, E90, E70, E50 の各1本の計4本、ヒノキが同 E130, E90 各1本と E110 が3本の計5本である。各試験体は背割り加工後に密度と Efr を再計測した。曲げ試験は実大強度試験機を用い、スパン270cm、3等分点4点荷重方式で行った。曲げ試験後に破壊の影響の無い箇所から試片を採取し全乾法で含水率を計測した。

2 結果と考察

表-2と表-3に曲げ試験結果を示す。背割り加工後は加工前と比べて密度の平均がスギで5~7%、ヒノキで1~3%、Efrのそれがスギで6~8%、ヒノキで2~4%減少し、背割り加工に伴う断面欠損が影響したと考えられる。スギ正角では、2材面で背割り深さを3cm、4cm、5cmに違えた場合の曲げ強度は、分散分析の結果、危険率5%で有意差が認められ、背割り深さが大きくなると曲げ強度も小さくなる傾向にあった。背割り深さ4cm、5cmの試験体は水平せん断破壊を生じ、一部の試験体は材料強度を下回った。背割り深さが4cmと5cmの試験体で、背割り加工数を2とした場合と、材中立軸上に1箇所施した場合の曲げ強度には有意差が認められなかった。背割り深さ3cmの試験体の多くは曲げモーメントによる破壊後に水平せん断破壊が生じた。

ヒノキ正角の曲げ強度は4面背割り深さを2cm (H1)~5cm (H4)に違えた試験体間で分散分析により有意差が認められた。背割り深さが2cmの場合は引張り側材面の曲げモーメントによる破壊が、同3cmの場合はス

ギと同様に曲げモーメントによる破壊が先行した後に水平せん断破壊が、同4cm以上ではいずれの試験体ともに水平せん断破壊が生じた。なお、荷重荷方向と同一方向に施した背割り加工は、スギ、ヒノキの試験体ともに、破壊に関与した様子が見られなかった。

これらの結果から、製材に荷重が負荷された際、最大せん断応力が作用する中立軸付近の背割りが深い場合、曲げ破壊前にせん断破壊が生じると思われた。そこで、荷重荷方向に対する中立軸上の背割り深さを変えた時の最大せん断応力を図-5に示した計算式(13)より求めた。その際、実験と同じ試験体寸法及び試験条件とし、正角(背割りの無い)の曲げ強度 (MPa) は製材強度データベース(4)の平均値、スギ45.1、ヒノキ53.0とした。その結果を図-5に示す。図中にはスギ及びヒノキのせん

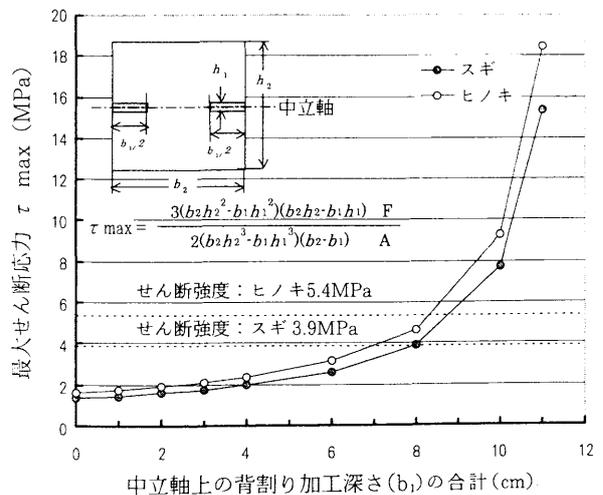


図-5 中立軸上の背割り加工深さ(b1)の合計と最大せん断応力との関係
断面寸法 120×120mm、背割り幅5mm、A:断面積
F:荷重条件(スパン270cm、3等分点加力)によるせん断力

表-4 柱-梁仕口の曲げ試験結果

試験体		曲げ ヤング係数 (GPa)	曲げ 強度 (MPa)	割れ 材積 (cm ³)	全乾法 含水率 (%)	試験時 密度 (g/cm ³)	梁の節径比 (%)				
							中央		外縁 最大	底部	
							最大	集中		最大	集中
7°プレカット胴差し加工	平均値	73.2	323	329	45	0.519	26	40	14	22	33
羽子板ボルト	CV(%)	19	23	126	51	17	39	79	106	53	71
7°プレカット胴差し加工	平均値	73.3	330	370	30	0.463	26	34	21	20	22
両引きボルト	CV(%)	23	22	101	68	25	21	59	86	67	112

CV: 変動係数

断強度の下限値(9)を併せて示した。中立軸上の背割り深さ(b1)合計が8cm, すなわち材幅の約2/3の場合, スギ, ヒノキともに最大せん断応力とせん断強度下限値がほぼ等しい。その場合, 曲げモーメントによる破壊に先行してせん断応力による破壊の生じる可能性が高くなり, 試験結果でもその傾向が顕著にみられた。これより, 120mm 正角製材の場合, 中立軸上の背割り長さの合計が60mm以下, すなわち材幅の50%以下であればせん断破壊に伴う曲げ強度の低減が生じる可能性は低いと考えられた。現在, 流通している正角製材の4面背割りは, 深さが1~1.5cm, 材幅の10~13%であり, 強度性能への影響はないと考えられた。また, II節で記した正角製材の乾燥割れは, 本試験体の断面欠損材積と比較して小さく, 木口面における割れ深さ計も材幅の2/3を下回っている。このため, 表面割れが曲げ強度に及ぼす影響はないと考えられた。

IV 柱-梁仕口の曲げ試験

1 試験体と試験方法

仕口試験体の柱と梁は, 乾燥割れにより視覚検査で不合格となった, 幅105mm×厚150mmのスギ平角製材と105mmスギ正角製材を用いた。梁は密度と節径比及びIIの1項で記した計測方法により割れ材積を測定した。その後, 柱, 梁はプレカットによる胴差し仕口加工を行った。両者を引き寄せ金物(Z金物)を用いて接合し, 柱

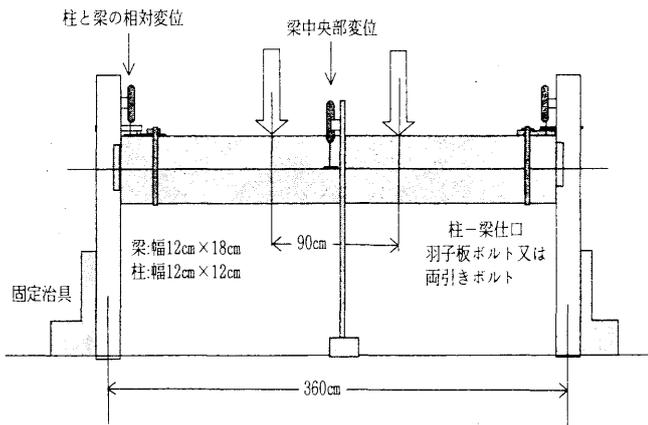


図-6 柱-梁仕口の曲げ試験図

(材長1m) - 梁 (3.6m) のH型仕口曲げ試験体を作製した。引き寄せ金物は羽子板ボルト及び両引きボルトの2種類を用い, 試験体数は各15体ずつとした。柱-梁仕口の曲げ試験方法を図-6に示す。実大試験機を用いて加力点間90cmで行い, 割れの進展やそれらが仕口付近の変位や破壊性状に及ぼす影響を調べた。梁の含水率は試験終了後に全乾法で測定した。

2 結果と考察

表-4に曲げ試験結果を示す。2種類の仕口接合方法で強度性能に有意差が認められなかったため, 以下では両者を一括して評価を行った。図-7に割れ材積と曲げヤング係数及び曲げ強度との関係を示す。割れ材積と曲げヤング係数及び曲げ強度との間にそれぞれ有意な相関関係は認められず, 破壊形状は主に最大曲げモーメント

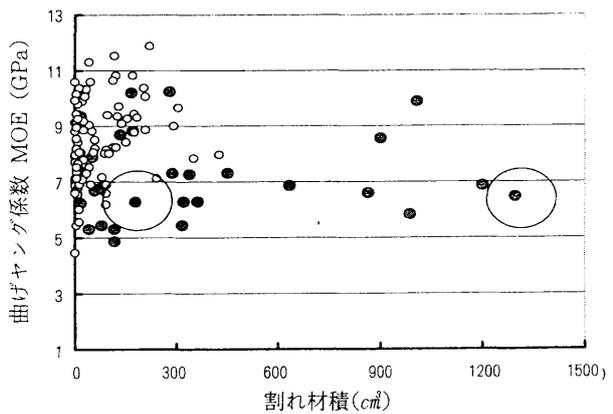
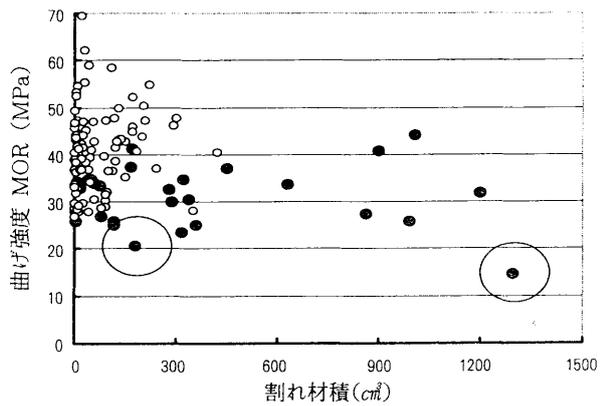


図-7 割れ材積と曲げヤング係数及び曲げ強度との関係
●: 本試験のデータ、○: 既往のスギ平角曲げ試験データ
図中における点線の丸印は梁に目まわりがある試験体を示す

付近における引張り側材面の節や繊維傾斜（目切れ）より生じた破壊であった。本試験体に用いた梁の割れ材積は、図-7に示すように、既往のスギ製材梁曲げ試験体(3)のそれと比べて大きかったが、破壊の起因等に乾燥割れが関与した試験体は皆無であった。梁が破壊した時の木口の様子は、柱へのたわみ変形に伴うめり込みがあった以外、特に問題となるような変形挙動は見られなかった。なお、木造住宅の柱と梁の仕口付近には、床の積載荷重 200kg/m²、梁の床荷重分担幅 180cm、スパン 360cm とした場合、約 650kg のせん断力が作用する。曲げ試験時にその荷重が作用時の各試験体仕口の相対変位は最大でも 1.0mm 以下であり、柱や梁の割れの仕口変位への影響は無いと考えられた。

一方、図-7の点線○で囲んだ2試験体は、梁の目まわりが起因となり仕口付近で水平せん断破壊が生じた。針葉樹構造用製材の JAS(14)では、製材端部を加工した際の仕口耐力等への影響を考慮し、目まわりの深さを製材短片寸法の 1/2 以下に規定している。前述した2試験体の目回りは、規定の深さより大きく、いずれも曲げ強度が材料強度 22.9MPa を下回った。このため、製材の目まわりは、JAS 規定に準じて製品検査を行うなど、十分注意を払う必要があると考えられた。

V 高温度域、中温度域で乾燥したスギ製材による 柱-土台仕口の引張り試験

1. 試験体と試験方法

断面寸法 105mm、長さ 3m のスギ正角製材 60 本を試験体に用いた。30 体ずつを乾球温度 100~105℃ の高温度域（以下、高温度域）と同 60~70℃ の中温度域（以下、中温度域）のスケジュールで蒸気式人工乾燥した。なお、中温度域の半数（柱用）は乾燥前に背割り加工を行った。各製材は乾燥終了後に屋根下で一定期間放置した後、長さ 1m 毎に切断して柱と土台に用いた。高温度域で乾燥した柱と土台は木口面に生じた全ての内部割れ長さを計測した。柱と土台は、プレカット機械により長さ加工を行った後、ナラ材込み栓（径 15mm）を用い

て接合して仕口引張り試験体とした。なお、中温度域の柱への込み栓の打ち込みは、柱の背割り加工面に対して垂直方向とした。試験体数は高温度域と中温度域ともに 35 体である。

仕口の引張り試験は接合試験機を用い単調加力方式で行い、柱と土台の相対変位及びロードセル荷重をデータロガーで計測した。

2 結果と考察

表-5 に引張り試験の結果を示す。表中の降伏耐力、終局耐力、塑性率及び短期基準耐力は、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」(5)に準じて算出した。最大耐力や試験剛性の変動係数は、17~25% で製材の強度性能(4)のそれと近い値を示し、高温度域と中温度域の試験体間に差違がみられなかった。仕口の短期基準耐力は、最大荷重の 2/3 値と降伏耐力との比較で値が小さな後者により算出された。高温度域の仕口が 4.24kN、中温度域のそれが 3.90kN となり、両者とも平成 12 年国土交通省告示 1460 号に示される長ほぞ込み栓差し仕口の短期基準耐力 3.81kN を上回った。

高温度域の仕口の最大耐力、降伏耐力、試験剛性、塑性率の平均値は中温度域のそれら各値と比べて大きい（危険率 1% で有意）。この要因として、高温度域の柱、

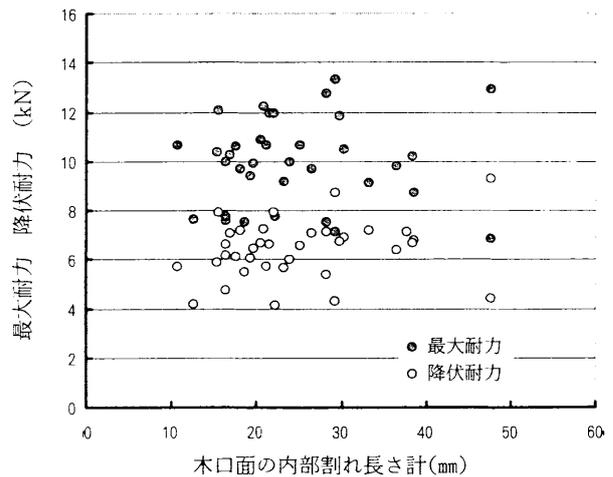


図-8 木口面の内部割れ長さ計と最大耐力、降伏耐力との関係

表-5 込み栓を用いた柱-土台仕口の引張り試験結果

試験体	最大耐力	左時変位	2/3Pmax	降伏耐力	降伏変位	試験剛性	終局耐力	終局変位	塑性率	密度	全乾法
	Pmax(kN)	(mm)	(kN)	Py (kN)	δy(mm)	K(kN/mm)	Pu (kN)	δu(mm)	μ	(g/cm ³)	含水率(%)
高温	9.91	19.67	6.61	6.41	0.96	5.83	9.08	15.10	12.90	0.372	14.8
度域	変動係数(%)	18	38	18	18	53	24	17	43	55	15
	ばらつき係数を乗じた値			4.41	4.24						
	短期基準耐力	4.24 kN									
常温	8.91	17.87	5.94	5.85	1.17	5.35	10.38	15.75	11.10	0.413	18.0
度域	変動係数(%)	17	54	17	18	40	25	17	57	102	10
	ばらつき係数を乗じた値			4.07	3.90						
	短期基準耐力	3.90 kN									

土台の密度が中温度域のそれより大きく、両者間の仕上がり含水率の差異も影響したためと推測される。このため、今後、試験体の材質や含水率など強度性能に關与する条件を出来るだけ同一にして、乾燥温度域の影響について再検討する必要がある。

図-8に高温度域で乾燥した土台の木口面における内部割れの長さ計(両木口面での総数)と仕口の最大耐力、降伏耐力との関係を示す。両者間には有意な相関関係が認められなかった。この結果は、柱と土台を山形プレート、ホールダウン金物、ボルトを用いて接合した仕口のせん断試験において、製材の乾燥割れが強度に及ぼす影響はみられないとする結果(8)と同様であった。ただし、ボルト孔の縁に割れ等の亀裂がある場合に応力集中が生じ終局破壊に至る可能性があり(7)、製材の割れ方向とボルト挿入方向が一致する場合の仕口耐力は20%程度減少する報告(2)もあるため、製材の乾燥割れが接合部の強度に全く影響しないとは言いがたい。しかし、本試験の破壊形態は、込み栓の土台へのめり込み、込み栓孔での柱長ほぞの割れと込み栓の屈曲破壊であり、込み栓孔付近の内部割れが応力集中の起因となる破壊形態は皆無であった。また、仕口耐力も短期基準耐力を有していたことから、内部割れが接合部の強度に及ぼす影響は小さいと考えられた。

VI まとめ

・製材工場の視覚検査で不合格となったスギ正角製材の割れ材積は、通常の背割り加工による断面欠損材積より小さかった。それらは、割れ材積と曲げ強度あるいは縦圧縮強度との間に有意な相関関係が認められず、構造用製材の材料強度を有していた。

・スギ、ヒノキの正角製材に4面背割り加工した場合、中立軸上の背割り深さ計が材幅の2/3以上になると、せん断力による脆い破壊が生じる可能性が大きい。

・柱-梁の仕口の曲げ試験では、柱や梁の乾燥割れが破壊形態及び仕口の変位に及ぼす影響は認められなかった。梁の目回りは、破壊の主要因となり、材料強度を下回る可能性が高いことから製品検査で除く必要性が確認された。

・高温度域で人工乾燥し内部割れが生じたスギ製材を用いて、長ほぞ加工と込み栓で接合した柱-土台仕口は、引張り試験の結果、木口面の内部割れ長さ最大耐力及び降伏耐力との間に有意な相関関係が認められず、短期基準耐力を有していた。

VII おわりに

今後、これらの結果について、製品供給側では構造用

製材の品質管理やPR等に活かし、施工者や最終消費者側に公表し危惧を払拭することで、製品の需要拡大が図られると思われる。

本研究は静岡県木材青壮年団体連合会の研究事業の一環として実施した。その際、金谷木材協同組合青年部、大井川小径木加工事業協同組合の関係各位より多大な御協力を得た。ここに謝意を表す。

引用文献

- (1) 荒武志朗・有馬孝禮・迫田忠芳・中村徳孫 (1993) スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響. 木材工業 50 (1) :26-28.
- (2) 原田真樹・後藤崇志・軽部正彦・林知行 (2002) 割れを有する製材を主材としたボルト・釘接合部のせん断試験. 第52回木材学会要旨集 227.
- (3) 池田潔彦・飯島泰男・岡崎泰男・長尾博文 (2001) スギ平角材の曲げ強度性能評価法に関する2.3の考察. 建築学会学術講演梗概集 17-18.
- (4) 強度性能研究会 (2002) 製材品の強度性能に関するデータベース (6). 森林総合研究所. 55pp.茨城.
- (5) 日本住宅・木材技術センター (2001) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計. 日本住宅・木材技術センター. 413pp 東京.
- (6) 日本建築学会 (2003) 木質構造限界状態設計指針(案)・同解説. 丸善.374pp 東京.
- (7) 小川真貴・祖父江信夫 (1997) ボルト孔の縁にき裂を有する木材接合部の破壊. 木材学会誌 43 (12) :1002-1008.
- (8) 岡崎泰男・飯島泰男 (2001) 柱材の乾燥割れと接合部強度の関係. 建築学会学術講演梗概集 107-108.
- (9) 小野広治・杉本英明・久保健・成瀬達哉・中田欣作 (2004) スギ製材品のスリット及び背割り処理による曲げ性能への影響. 奈良森技セ研報 33 :79-82.
- (10) 森林総合研究所編 (2004) 木材工業ハンドブック 改訂4判. 丸善.1221pp.東京.
- (11) 祖父江信夫・池田潔彦 (1999) スギ心持ち平角材の動的ねじり試験. 木材学会誌 45 (4) :289-296.
- (12) 祖父江信夫・松尾圭造・池田潔彦 (2000) 実大正角材のせん断弾性係数におよぼす背割り深さの影響. 木材学会誌 46 (3) :242-245.
- (13) 湯浅亀一 (1983) 材料力学公式集. コロナ社.341pp. 東京.
- (14) 全国木材組合連合会編 (1996) 針葉樹の構造用製材の日本農林規格並びに解説. 全国木材協同組合連合会.102pp.東京.