

4 208材・210材の乾燥特性及び強度性能の解明

木材部 吉田孝久、今井信、奥原祐司、山口健太

大径材の大断面を活かした横架材としての利用を検討するため、枠組壁工法で使用されるカラマツ及びスギ大径A材丸太から208材；50×205×4,000mm、210材；50×255×4,000mmを製材し、その乾燥特性及び曲げ強度性能について検討した。

その結果、10日間の80℃蒸気式中温乾燥で、カラマツはおよそ12%に、スギは8%の含水率に仕上がった。210材の製材後の反りは、カラマツが平均4.6mm/4m、スギが平均7.5mm/4mであり、スギが大きかった。また、製材後はほとんどが木表側に発生した。210材の乾燥後の反りは、カラマツが平均3.9mm/4m、スギが平均7.4mm/4mとなり、製材後と比較して大きな差はなかった。しかし、反る方向が製材後（木表側）とは反対側に反る材が多かった。210材の乾燥後の曲がり（幅ぞり）は、カラマツが平均2.9mm/4m、スギが平均3.7mm/4mであり、スギが大きかった。210材の乾燥後のカップ（幅ぞり）は、カラマツが平均1.78mm/235mm、スギが平均2.55mm/235mmであり、スギが大きかった。210材の乾燥後のねじれは、カラマツが平均10.1mm/4mに対しスギが平均3.0mm/4mでカラマツのねじれが目立った。乾燥後に問題となるような大きな曲がりやカップ（幅ぞり）はなかった。

目視等級区分による等級格付けでは、特級・1級に格付けされた材は、カラマツ210材が88%、スギ210材が56%であった。目視等級区分ではねじれの許容基準が大きいためカラマツのねじれによる低位格付けは少なかった。目視等級区分で下位に格付けされる因子は、カラマツでは厚さに係る節と反りが、スギについては圧倒的に反りであった。

210材における見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に12.69kN/mm²、8.15kN/mm²であり、カラマツは高いヤング係数を示した。210材における曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に48.4kN/mm²、37.5kN/mm²であり、カラマツは強い強度性能を示した。208材においては外側木取りのためか210材よりもさらに高い強度性能を示した。

カラマツ大径材から枠組壁工法住宅に使用する横架材の208材や210材を製材した場合、乾燥による形質変化に大きな問題はなく、曲げ強度性能も高いことから十分に利用可能であると思われる。

キーワード：枠組壁工法、大径A材丸太、208材、210材、

1 試験の目的

「カラマツ材は曲げヤング係数が高く、特に成熟材になると「ねじれ」が少なくなる上に強度は際立って高くなる」という特性がある。本課題においては、この特性を活かし、「ツーバイフォー住宅」における甲種枠組材のうち横架材として使用することを前提に、208材及び210材について、その利用可能性をスギ材と比較する中で検討した。

2 試験の方法

2.1 供試丸太

カラマツ大径材20本及びスギ大径材20本を試験材とした。その詳細を表4-1及び表4-2に示した。カラマツは、末口短径35.5cm～52.5cm、末口年輪数は44年～84年で、スギ丸太は、末口短径36.5cm～48.5cm、末口年輪数は48年～66年で1本のみ150年の材が存在した。

丸太の縦振動ヤング係数 E_{fr} は、カラマツが12.08（最小8.50～最大16.50）kN/mm²で、スギが7.41（最小3.70～最大10.70）kN/mm²であった。

心材率は平均でカラマツが89.4%、スギが75.4%であり、カラマツの心材率は高かった。

2.2 製材木取り

カラマツ大径材20本、スギ大径材20本より図4-1に示す木取りを基本として208材と210材を製材した。

210材を主製品とし、まず髓を中心に左右（上下）対称に幅255mmのタイコ材を製材、このタイコ材を芯定規により髓を割る木取りで210材；50×255×4,000mmを製材した（木取りの詳細は1の3.3.3）。また、タイコ材を製材した端材からは、厚さと幅に応じて208材；50×205×4,000mmあるいは210材、その他新材料エレメント：40×125×4,000mmを製材した。

表 4-1 スギ丸太の概要

スギ	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口心材径 (mm)	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E _{tr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	414	459	59	3.81	316	76.3	6.0	643	7.5
標準偏差	34	44	18	0.96	35	4.2	2.8	103	1.5
変動係数	8.2	9.5	30.2	25.1	11.1	5.5	47.6	16.1	19.4
最小	355	370	30	1.61	250	67.5	0.7	463	3.7
最大	490	575	150	7.85	400	87.3	13.2	1,026	10.7
データ数	60	60	60	60	60	60	60	60	60

表 4-2 カラマツ丸太の概要

カラマツ	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口心材径 (mm)	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E _{tr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	393	442	69	2.94	350	89.1	6.3	649	12.1
標準偏差	29	49	9	0.44	29	2.9	4.0	54	1.8
変動係数	7.4	11.1	12.9	14.9	8.2	3.2	63.8	8.4	15.2
最小	355	370	44	2.30	315	80.8	1.3	528	8.5
最大	525	610	84	4.63	475	96.3	15.2	778	16.5
データ数	60	60	60	60	60	60	60	60	60

表 4-3 カラマツ・スギ共通の乾燥スケジュール

乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	処理時間 (h)	備考
80	80	0	8	
80	75	5	12	
80	70	10	12	
80	65	15	12	
80	60	20	12	
80	50	30	158	
0	0	0	2	クーリング
70	63	7	24	調湿 (EMC:10.3%)
合計 240時間 (10日間)				

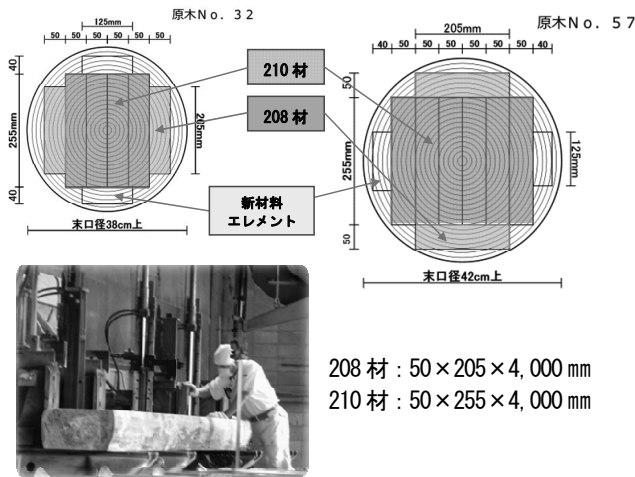


図 4-1 208材及び210材の基本的な木取り

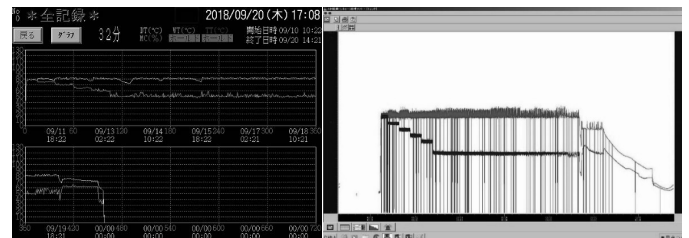


図 4-2 乾燥スケジュールと実用機での実測温度
左図：カラマツ乾燥 (小林木材 (株))
右図：スギ乾燥 (瑞穂木材 (株))

2.3 乾燥試験

乾燥スケジュールは、カラマツ材とスギ材共通で表 4-3 のスケジュールで行った。

乾燥は 80°C一定の中温乾燥とし、階段式に温度差を開いた。乾燥終了時に平衡含水率 EMC=10.3% (乾球温度 70°C、温度差 7°C) の調湿処理を 24 時間行った。乾燥期間は全 240 時間 (10 日間) の工程で実施した。

なお、カラマツ材の乾燥は、小林木材 (株) のエノ産業製蒸気式エノホットランド (写真 4-1) で、スギ材の乾燥は、瑞穂木材 (株) の新柴設備製蒸気 SK 式乾燥機 (写真 4-2) で行った。

乾燥の前と後で 208 材・210 材の長さ、幅、厚さ、重量、含水率 (含水率計による測定)、ねじれ、反り・曲がり、カップ (幅ぞり)、材面割れ等の測定を行った。



写真 4-1 カラマツの乾燥 (小林木材 (株))

写真 4-2 スギの乾燥 (瑞穂木材 (株))

2.4 曲げ試験

乾燥後の形質測定を終了した材は、モルダーにより208材は38×184×4,000mmに、210材は38×235×4,000mmに仕上げた。その後、目視等級区分及びMSR(Machine Stress Rating)を行った後にエッジワイズでの曲げ試験を実施した。

曲げ試験は、図4-3に示した3等分点4点荷重方式で実施した。

208材については、梁背の21倍である3,864mmを下部支点間距離(スパン)とし、上部荷重点間距離を1,288mmとした。210材については、梁背の21倍がとれなかったため16倍の3,760mmを下部支点間距離(スパン)とし、上部荷重点間距離を1,253mmとした。

試験機は、実大材曲げ試験機(株)島津製作所UH-1000kNAを用い、載荷速度は15mm/minで実施し、荷重を加え始めてから試験体が破壊するまでの時間は1分以上となるように行った。荷重点および支点の幅はともに200mmである。

曲げ試験の様子を写真4-3に示した。なお、加重時における試験材の転倒防止のため、下部支点の内側および60cmの位置に転倒防止治具を試験材からおおよそ25mm離して設置した。

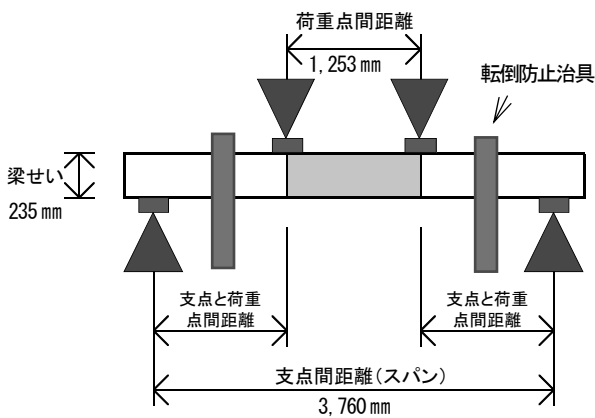


図4-3 曲げ試験条件(210材の場合)



写真4-3 曲げ試験の様子

たわみの計測は、中央部において、全スパンのたわみ(写真4-4左)と、ヨークを用いてモーメントが一定になる荷重点間のたわみ(写真4-4右)を測定した。

最大荷重 F_{ult} から曲げ強さ (F_b) を求め、また、荷重と全スパンのたわみから「見かけの曲げヤング係数 (E_m)」を、荷重と曲げモーメント一定区間のたわみの関係から「真の曲げヤング係数 (E_b)」を算出した。



(全スパンのたわみ)

(モーメント一定区間のたわみ)

写真4-4 たわみ計測の様子

3 試験の結果

3.1 乾燥後の「ねじれ」

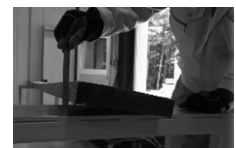
カラマツを利用する上で大きな問題となる欠点に「ねじれ」がある。板材の利用であれば多少の「ねじれ」は釘打ち等で矯正され問題とされないが、角材等のように断面の大きな材となると釘打ち等による矯正が効かなくなるため、納まり的にも見た目にも大きな問題となる。

ここでは、枠組壁工法構造用製材の「ねじれ」について検討した。

枠組壁工法構造用製材におけるJASでの「ねじれ」の基準値を表4-4に示した。特級、1級では208材で29mm/4m以下、210材で35mm/4m以下のかかなり大きな「ねじれ」が許容されている。

今回試験対象としたスギ及びカラマツ大径材から製材された208材と210材の乾燥後のねじれ量を表4-5に示した。また、各段階における出現割合を図4-4に示した。

表4-4 ねじれのJAS基準



ねじれ特級1級は4m材で	208材	29mm/4m以下
	210材	35mm/4m
ねじれ2級は4m材で	208材	38mm/4m
	210材	48mm/4m
ねじれ3級は4m材で	208材	57mm/4m
	210材	70mm/4m

表4-5 乾燥後のねじれ

	ねじれ (乾燥後) mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	0.9	3.0	4.6	10.1
最小値	0	0	0	0
最大値	8	19	18	42
標準偏差	1.8	4.2	4.6	9.8
変動係数	189.1	139.8	98.7	96.5
試験体数	31	111	36	100
ねじれが有る材の平均値	2.6	5.5	6.2	12.4

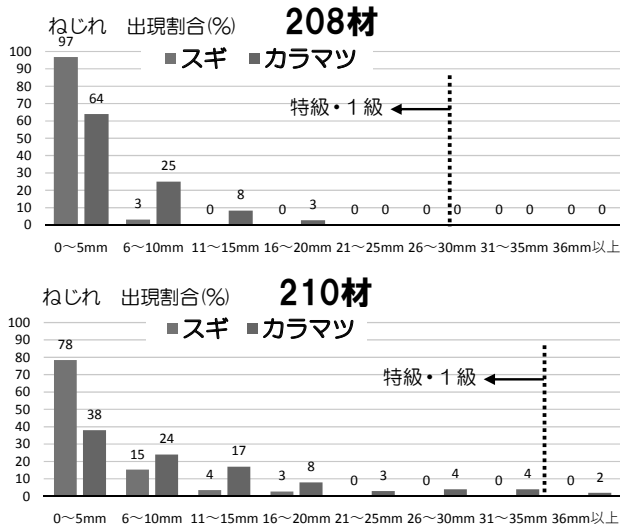


図4-4 乾燥による「ねじれ」発生段階別出現割合

スギの場合、「ねじれ」を問題にするような発生量ではなく、208材、210材問わず全ての材が基準値内であった。「ねじれ」に関してスギは、全てが特級・1級材となった。

一方、カラマツの場合、208材では「ねじれ」発生の最大は18mm/4mであり全ての材が特級・1級の評価であった。しかし、より髄近くから製材される210材では、「ねじれ」発生の最大は42mm/4mであり、2本が2級の評価、残りは全て特級・1級の評価であった。

カラマツの場合、40mm/4m近くの「ねじれ」は、材の硬さもあり材厚38mmを考えると、かなり困難な矯正が強いられるのではないかと思われた。「ねじれ」がほとんど発生しなかった材(0~5mm/4m)は、スギの場合、208では30本/31本(97%)、210材では87本/111本(78%)であった。一方、カラマツの場合は、208では23本/36本(64%)、210材では38本/100本(38%)であり「ねじれ」の発生率は高い。

「ねじれ」が発生した材のみの発生量の平均値を図4-5に示した。

208材と210材は材幅が違うため一概には「ねじ

れ」の大きさを比較できないが、これを見る限り、「ねじれ」はスギよりもカラマツに大きく発生し、208材より210材に大きく発生する傾向にあった。

208材に比べ210材の方が「ねじれ」が大きいのは、図4-6の208材と210材の木取り位置から、210材は208材より髄近くにあり未成熟材(図4-6の濃色部)の割合が多いと考えられ、このことから210材の方が繊維傾斜が大きく(写真4-6)、したがって、「ねじれ」も大きかったことが推測できる。

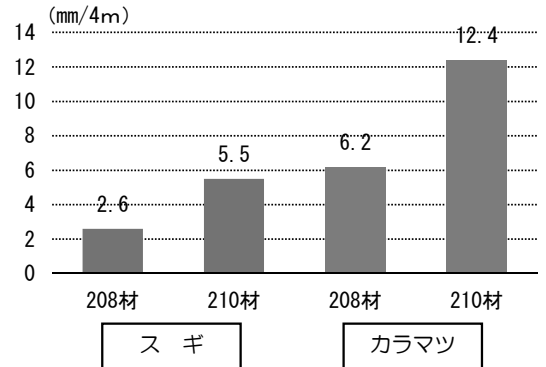


図4-5 ねじれが発生した材のみのねじれ発生量(平均値)
(※注 板幅が異なるため208材と210材の単純比較はできない)

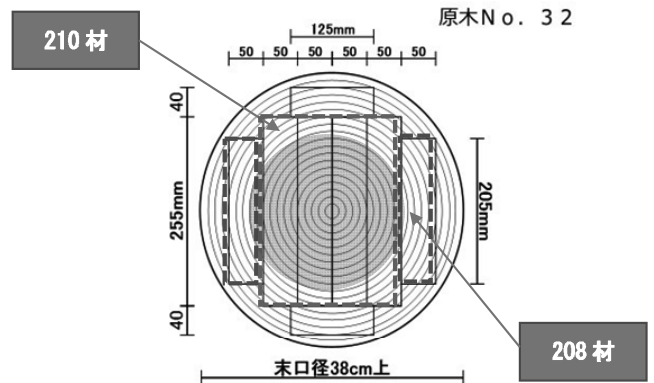


図4-6 208材と210材の基本的な木取り位置
(図中茶色部は未成熟材部を想定)

木材の「ねじれ」は繊維傾斜(写真4-5)が影響し、この繊維傾斜にはS旋回とZ旋回が存在する(写真4-6)。一般に心持ち角材の場合、スギはZ旋回、カラマツやアカマツはS旋回の材が多い。今回の試験結果を

見ると(図4-7)、スギ、カラマツともにねじれる方向が違うS旋回とZ旋回の両方の材が存在した。

スギは、髓に近い木取りの210材はS旋回の材とZ旋回の材が半々存在し、これに対し外側木取りの208材はS旋回の材が多くなった。また、カラマツは、髓に近い木取りの210材はほとんどがS旋回であったが、外側木取りの208材はZ旋回の材が多くなった(図4-7)。

これは、丸太の外側から製材された208材や一部の210材は、写真4-5で見ると、丸太によっては繊維傾斜に起因するねじれ返しが起こっていることが考えられ、これによって、本来Z旋回のスギが丸太の外側からはS旋回の材が製材され、本来S旋回のカラマツが丸太の外側からZ旋回の材が製材されたものと考えられる。

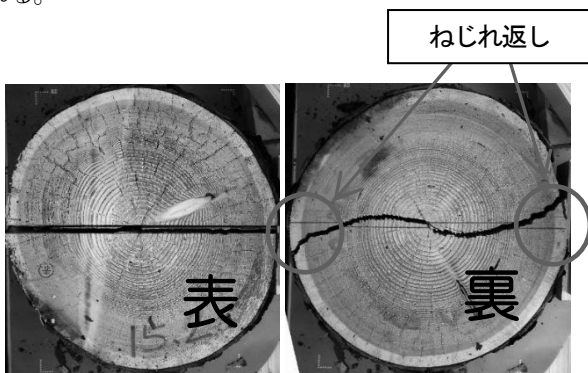


写真4-5 繊維傾斜による表面と裏面の違い
表面を鉋で割った時の様子(カラマツ)

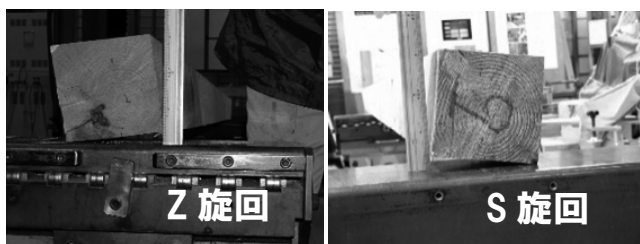


写真4-6 ねじれの方向

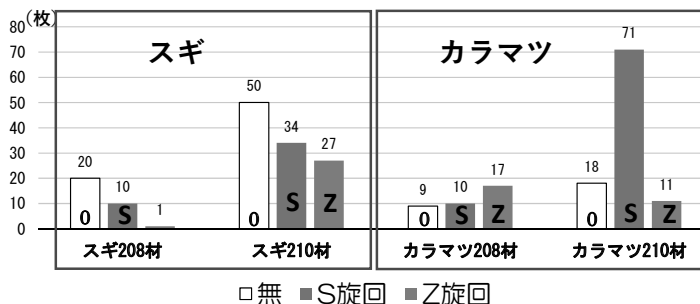


図4-7 ねじれの方向と出現数

3.2 乾燥後の「反り」

枠組壁工法構造用製材におけるJASでの「反り」の基準値を表4-6に示した。

特級・1級材では208材、210材ともに10mm/4m以下の「反り」を許容されている。2級、3級の基準は210材よりも208材の方が厳しい基準となっている。

製材後の「反り」と乾燥後の「反り」の発生状況を表4-7に示した。また、各段階における出現割合を図4-8に示した。

「反り」の発生が0mm~2mmと極少ない材は、スギの場合、208材で16%、210材で12%であった。一方、カラマツの場合は、208材で22%、210材で27%であった。また、「反り」の発生が0mm~5mmの少ない材で見ると、スギの場合、208材で47%、210材で67%であり、一方、カラマツの場合は、208材で47%、210材で76%であった。

さらに、「反り」の発生を特級・1級基準の0mm~10mmとしてみると、スギの場合、208材で84%の材が、210材で83%の材が特級・1級材となり、一方、カラマツの場合は、208材で97%の材が、210材で99%の材が特級・1級材となった。

このように、スギとカラマツを比較した場合、一般的にカラマツの方が「反り」は少なくスギは多かった。また、スギの場合、個体によって大きな「反り」を発生する材が目立ち、カラマツの最大が210材の12mm/4mであるのに対し、スギの最大は210材の36mm/4mであった。

表4-6 反りのJAS基準

そり特級1級は4m材で	208材	10mm/4m以下
	210材	10mm/4m
そり2級は4m材で	208材	13mm/4m
	210材	11mm/4m
そり3級は4m材で	208材	21mm/4m
	210材	19mm/4m



表4-7 製材後と乾燥後の反り

製材後	そり (製材後) mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	8.0	7.5	5.4	4.6
最小値	0	0	0	0
最大値	18	20	17	14
標準偏差	5.0	5.7	3.7	3.2
変動係数	62.0	76.1	69.0	69.6
試験体数	31	111	36	100

乾燥後	そり (乾燥後) mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	6.2	7.4	4.6	3.9
最小値	0	0	0	0
最大値	23	36	11	12
標準偏差	5.0	5.7	3.0	2.6
変動係数	81.4	76.9	63.8	66.4
試験体数	31	111	36	100

材が木表側に発生した (図4-10)。

これが乾燥により同じ方向に反るのであれば、発生量は増えても木表、木裏の割合は変化しないはずである。スギの場合、製材時に木表側に発生した材は、208材で87%から45%に、210材では82%から49%に変化した。一方、カラマツの場合は、製材時に木表側に発生した材は、208材で67%から78%に、210材では79%から35%とその数字に変化が生じた。

製材後から乾燥後にかけての「反り」が、木表側から木裏側に、あるいは、木裏側から木表側に逆転した材は、スギでは142本中52本(37%)が、カラマツでは136本中58本(43%)あった。

製材後に外側(木表側)に反った材は、乾燥後には内側(木裏側)に反る傾向にあり、この現象は立木段階での成長応力と乾燥収縮、乾燥時の加重等による複数の応力が影響しているのではないかと考えられる。

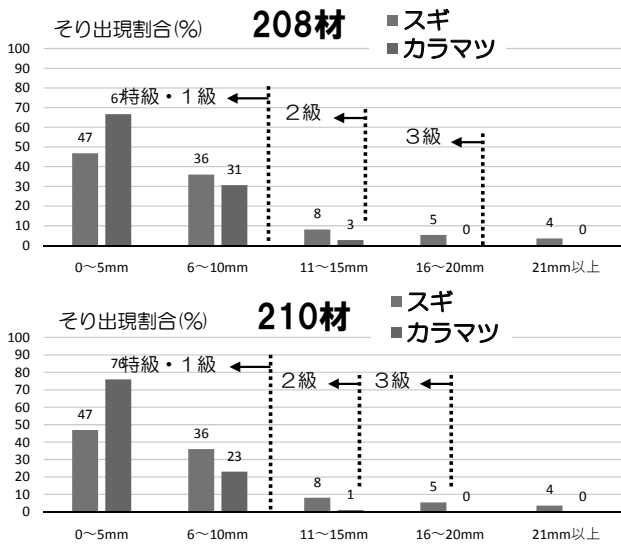


図4-8 乾燥による「反り」発生段階別出現割合

製材後及び乾燥後の「反り」の平均値を図4-9に示した。

スギはカラマツに比べ製材後、乾燥後ともに「反り」は大きかった。

乾燥後の「反り」と製材後の「反り」の平均値を比較すると、一般的には、乾燥収縮によって乾燥後の「反り」は製材後に比べて大きくなると考えられるが、本試験では、樹種、材種問わず、乾燥後の方が少なくなった。このことは、「反り」の発生する方向が木表側であるか木裏側であるかが影響していた。

製材後の「反り」は、スギの場合、208材で87%の材が、210材では82%の材が木表側に発生し、カラマツの場合は、208材で67%の材が、210材では79%の

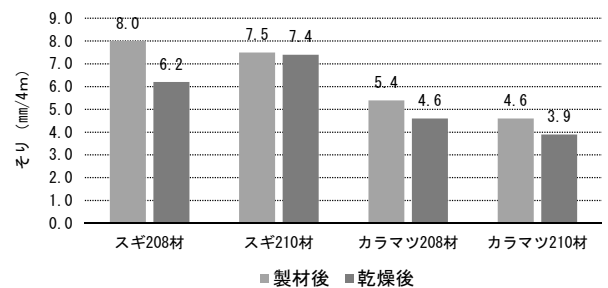


図4-9 製材後及び乾燥後の「反り」

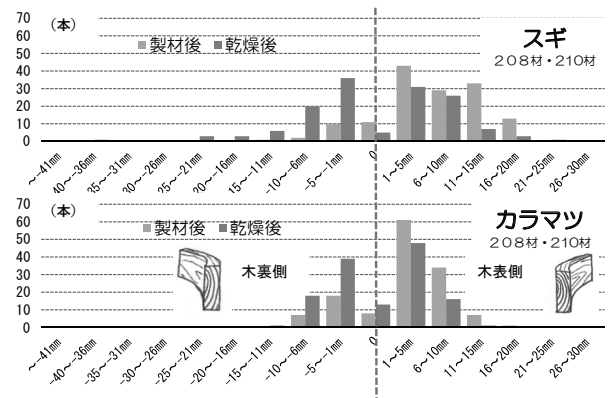


図4-10 製材後及び乾燥後の「反り」発生段階別度数分布

3.3 乾燥後の「曲がり」

製材後及び乾燥後の「曲がり」発生量を表4-8及び図4-11に示した。

平均値を見ると、乾燥後の「曲がり」は製材後と比べ、その発生量は大きくなった。

枠組壁工法構造用製材のJASにおける「曲がり」の基準値は、特級、1級材が材長の0.2%以下、2級、3級材が0.5%以下と規定されている。つまり、本試験で

は4m材を供試しているため、特級、1級材は8mm以下、2級、3級材は20mm以下の基準となる。

スギ、カラマツを問わず「曲がり」の発生は、平均値で製材後に1~2mm程度、乾燥後には3~4mm程度であり、基準値内の材が多かった。

特級、1級基準の8mmを超える材は、乾燥後で208材ではスギ、カラマツともに無かったものの、210材ではスギに9本、カラマツでは2本存在した。

表4-8 製材後及び乾燥後の「曲がり」

製材後	曲がり (製材後) mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	1.1	2.2	2.3	1.8
最小値	0	0	0	0
最大値	3	8	6	7
標準偏差	1.0	1.6	1.9	1.7
変動係数	90.5	71.1	82.6	90.9
試験体数	31	111	36	100

乾燥後	曲がり (乾燥後) mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	2.2	3.7	2.8	2.9
最小値	0	0	0	0
最大値	7	18	7	10
標準偏差	2.4	3.3	1.8	2.2
変動係数	108.8	89.0	62.9	76.5
試験体数	31	111	36	100

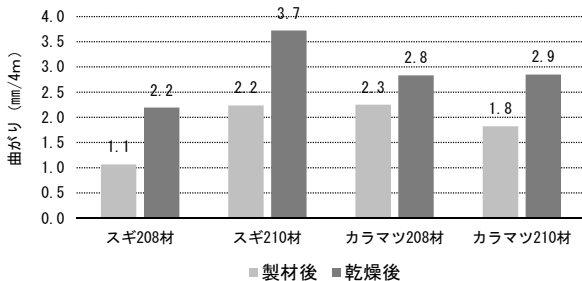


図4-11 製材後及び乾燥後の「曲がり」

3.4 乾燥後の「カップ (幅ぞり)」

乾燥後の「カップ (幅ぞり)」を表4-9に示した。

「カップ」の測定は、208材と210材で測定スパンが異なるため、両者の比較は単純にはできないが、208材では、スギが平均1.36mm/184mmで最大は2.66mmであり、カラマツが平均0.70mm/184mmで最大は1.87mmであった。また、210材では、スギが平均2.55mm/235mmで最大は5.50mmであり、カラマツが平均1.78mm/235mmで最大は4.25mmであった。

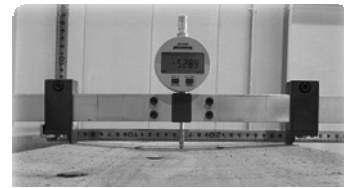
カラマツに比べスギの方が「カップ」は少ない傾向にあった。

製材後50mmの材厚は、乾燥後のモルダー仕上げにより全て既定の38mm厚に調整された。

表4-9 乾燥後の「カップ (幅ぞり)」

乾燥後	カップ (幅ぞり)			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	1.36	2.55	0.70	1.78
最小値	0.11	0.06	0.04	0.02
最大値	2.66	5.50	1.87	4.25
標準偏差	0.58	1.10	0.50	1.07
変動係数	42.8	43.2	71.5	59.8
試験体数	31	111	35	100

※カップ測定のスパンは、208材が184mm、210材が235mmで行った。



3.5 歩止まりと目視等級区分

大径材20本(末口短径36.5cm~48.5cm)から208材及び210材を製材した最終の製品歩止まりは、スギの場合、平均で35.4%(MIN:31.7%~MAX:39.9%)、カラマツでは、平均で36.0%(MIN:31.9%~MAX:39.5%)であった(歩止まりの詳細については、1の3.4.1.3を参照)。

今回の木取りは210材を中心に製材したものであったが、その製材品の内訳は、スギは208材が30枚(21%)、210材が111枚(79%)の製材量であった。これに対しカラマツでは208材が36枚(27%)、210材が99枚(73%)の製材量であった(図4-12)。

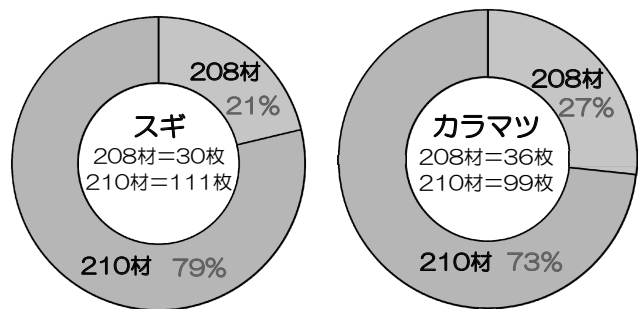


図4-12 丸太各10本から製材された208材と210材の割合

得られた208材と210材のモルダー掛け後の製品を、三井ホームコンポーネント（株）の格付士の方により、目視等級区分格付けを行った。その結果を図4-13に示した。

スギ210材の場合、この段階での格付けでは寸法基準オーバーの材が多くあり（寸法基準：±1.5mm）、格外の材が目立った。しかし、これはモルダーの精度を高めることで回避できると判断でき、適正な加工を行うことで基準寸法が確保できるという前提で格付けをし直した。その結果が図4-14（スギ）である。

この場合のスギ210材は、3級に格付けされた材の内、75%が「反り」が決定因子となって3級に格付けされ、また、格外品の内57%の材が「反り」により格外となった。

このように、スギの場合、格付けを低下させる原因の多くは「反り」であった。

一方、カラマツの場合、208材、210材ともに含水率計MOCO2による含水率測定で19%以上の材が多かったため、これにより格外が多い結果となった（図4-13）。このことは乾燥の期間延長等で19%以下の乾燥が可能であると考えられ、適正な乾燥を行うことで、含水率は基準内に納まると想定できる。その結果を図4-14（カラマツ）に示した。ちなみに、曲げ強度試験を行った材の全乾法における含水率は、スギ、カラマツ問わず全ての材が19%以下の基準内の値であった。

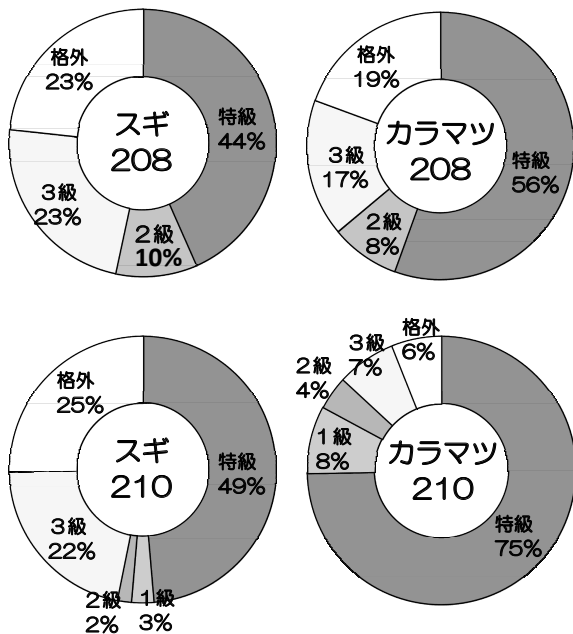


図4-13 208材と210材の格付け（含水率・寸法オーバー有）

カラマツの場合は、反り、曲がりが多く、格付けも上位等級の材が多くなった。

208材における2級、3級の低位等級材では「厚方向の丸身」が原因し、また、210材における低位等級材では「厚さに係る節」と「反り」が原因していた。

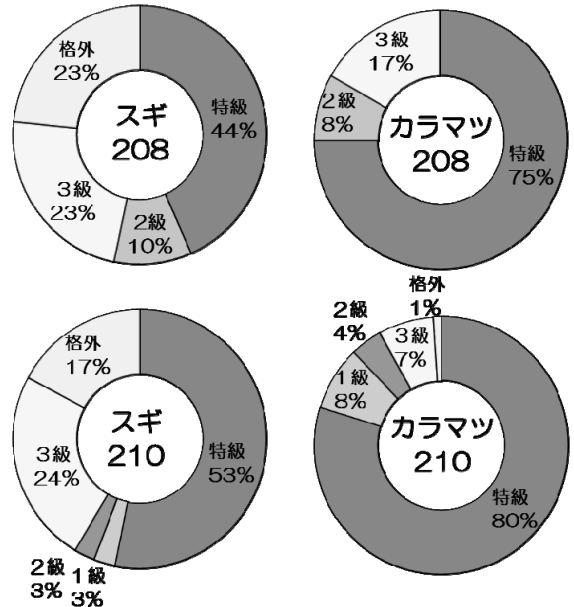


図4-14 寸法を基準内とした場合の格付け（スギ）と含水率を基準内とした場合の格付け（カラマツ）

3.6 機械等級区分（MSR：Machine Stress Rating）

目視等級区分を終了した材は斎藤木材工業（株）において集成材ラミナ用の機械等級区分機により、曲げヤング係数の測定を行った（MSR写真4-7）。

MSRによるヤング率測定結果を表4-10に示した。また、ヤング係数区分別の頻度を図4-15及び図4-16に示した。



写真4-7 機械等級区分（MSR） 斎藤木材工業（株）

表4-10 機械等級区分（MSR）による曲げヤング率の測定結果

	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	9.47	8.63	15.06	12.79
最小値	7.2	5.8	12.1	8.6
最大値	12.5	13.0	18.8	17.6
標準偏差	1.45	1.41	1.54	1.65
変動係数	15.3	16.3	10.2	12.9
試験体数	31	111	36	100

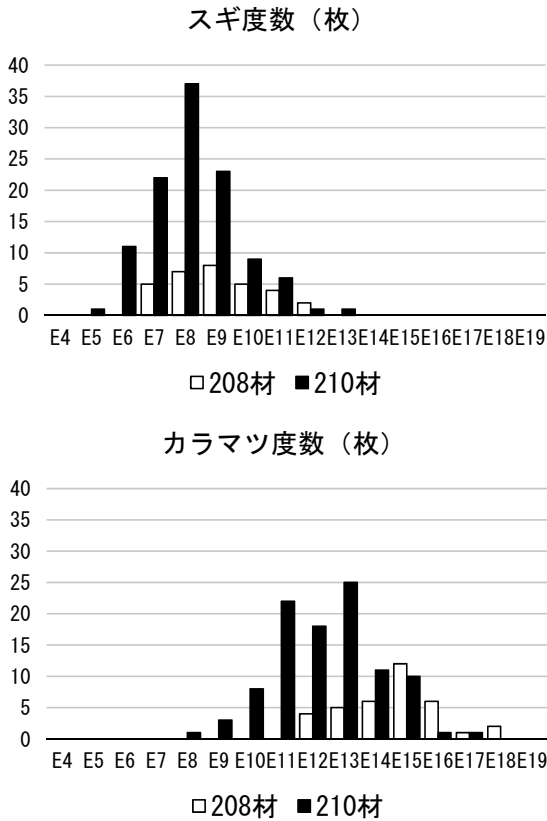


図 4-15 曲げヤング係数の階級別出現頻度 (MSR)

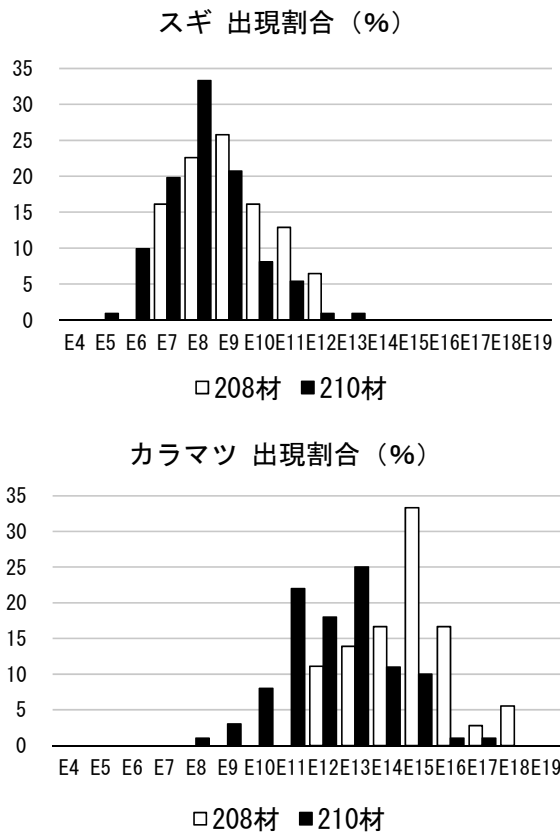


図 4-16 曲げヤング係数の階級別出現割合 (MSR)

スギの場合、MSR によるヤング係数は、208 材で平均 9.47kN/mm²、210 材で 8.63kN/mm²であった。210 材に比べ 208 材の方がやや高い傾向にあるのは、208 材の方が 210 材に比べ丸太の外側から木取られているため成熟材の割合が大きく、このことが影響しているのではないかとと思われる。

一方、カラマツの場合のヤング係数は、208 材が平均 15.06kN/mm²、210 材が 12.79kN/mm²であった。210 材に比べ 208 材の方がかなり高い傾向にあり、スギと同様に 208 材の方が成熟材の割合が大きいことが影響しているものと思われる。

3.7 曲げ強度試験

曲げ試験の結果を、208 材について表 4-11 に、210 材について表 4-12 に示した。

表 4-11 曲げ強度試験の結果 (208 材)

スギ208材							
	動的ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 (kN/mm ²)	真のヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	9.46	8.75	9.02	41.6	8.5	0.348	2.75
最小値	6.69	5.88	5.76	18.0	7.1	0.305	1.36
最大値	13.54	12.61	12.89	63.7	12.4	0.421	3.97
標準偏差	1.99	1.92	2.14	13.1	1.3	0.034	0.64
変動係数	21.0	22.6	23.8	31.3	14.9	9.9	23.3
試験体数	16	15	16	16	16	16	16

カラマツ208材							
	動的ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 (kN/mm ²)	真のヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	15.55	14.25	14.87	61.9	12.2	0.540	2.17
最小値	11.96	10.81	11.36	34.9	10.3	0.473	1.44
最大値	21.60	19.70	21.24	94.1	17.3	0.629	3.30
標準偏差	2.43	2.23	2.43	16.8	1.9	0.040	0.54
変動係数	15.6	15.7	16.4	27.1	15.9	7.4	24.7
試験体数	18	18	18	18	18	18	18

表 4-12 曲げ強度試験の結果 (210 材)

スギ210材								
	動的ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 スパン補正值 (kN/mm ²)	真のヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	8.31	7.96	8.15	8.30	37.5	7.7	0.338	5.2
最小値	5.74	5.69	5.82	5.83	15.3	6.2	0.269	1.9
最大値	12.76	11.76	12.03	12.55	66.5	9.9	0.440	10.1
標準偏差	1.52	1.44	1.50	1.65	11.3	0.9	0.031	2.1
変動係数	18.3	18.1	18.1	19.9	30.0	12.2	9.1	40.1
試験体数	58	58	58	58	58	58	58	58

カラマツ210材								
	動的ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 スパン補正值 (kN/mm ²)	真のヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	12.98	12.41	12.69	13.00	48.4	11.0	0.481	5.0
最小値	8.70	7.52	7.70	7.97	20.4	8.8	0.397	2.0
最大値	20.03	18.31	18.73	21.93	76.5	18.2	0.595	9.0
標準偏差	2.35	2.18	2.23	2.59	14.4	1.9	0.049	2.1
変動係数	18.1	17.6	17.6	19.9	29.8	17.3	10.1	41.4
試験体数	50	50	50	50	50	50	50	50

※ 見かけのヤング係数スパン補正值は枠組壁工法構造用製材の JAS に従い、見かけのヤング係数に 1.023 を乗じた数値

3.7.1 曲げヤング係数

動的ヤング係数と真のヤング係数及び見かけのヤング係数それぞれの関係を 208 材について図 4-17 に、210 材について図 4-18 に示した。

208 材及び 210 材ともに、動的ヤング係数と真のヤング係数、及び動的ヤング係数と見かけのヤング係数は強い相関関係にあった。特に 208 材については、スギ、カラマツともに強い相関関係であった。

また、相関の強さは真のヤング係数よりも見かけのヤング係数の方がやや強かった。

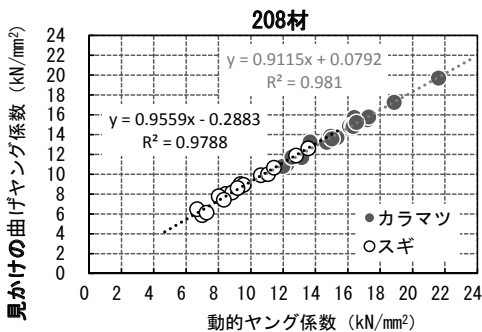
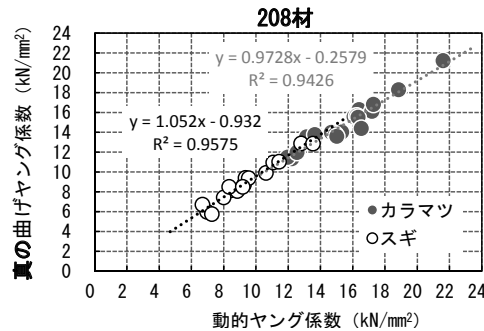


図 4-17 動的ヤング係数と真のヤング係数及び見かけのヤング係数 (208 材)

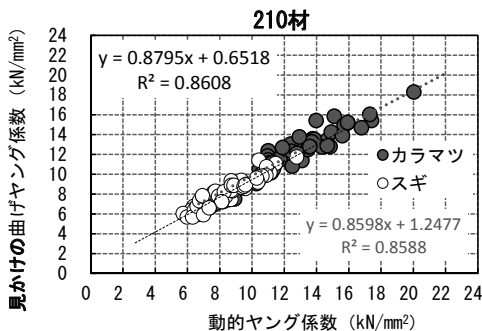
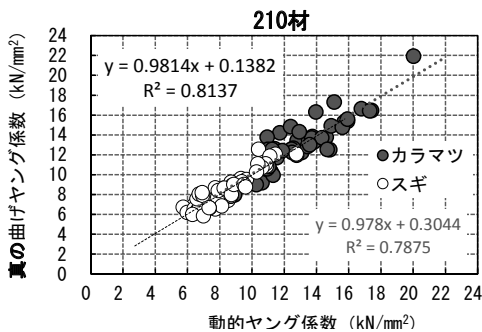


図 4-18 動的ヤング係数と真のヤング係数及び見かけのヤング係数 (210 材)

3.7.2 補正後の見かけの曲げヤング係数

曲げ試験における見かけのヤング係数の度数分布割合を、208 材について図 4-19 に、210 材について図 4-20 に示した。なお、210 材の見かけのヤング係数においては、枠組壁工法構造用製材の JAS 規定に従い、曲げ試験の下部スパンが梁背の 21 倍が確保できず 16 倍となってしまうため、補正值として見かけのヤング係数に 1.023 を乗じた値を用いた。

スギの場合、208 材ではそのピークが E8 (ヤング係数 8kN/mm²以上 9kN/mm²未満) にあり、210 材では E7 がピークであった。一方、カラマツの場合では、208 材でのピークは E13 で 210 材では E12、E13 であった。両樹種とも 208 材の方が上位に位置していた。

見かけの曲げヤング係数の補正後の平均値は、スギ 208 材が 8.75kN/mm²、スギ 210 材が 8.15kN/mm²であり、一方、カラマツ 208 材は 14.25kN/mm²、カラマツ 210 材が 12.69kN/mm²であった。カラマツはスギに比べ高いヤング係数を示し、また、丸太の最外部から製材された 208 材は、スギ、カラマツともにその内側から製材された 210 材に比べ高い値を示した。

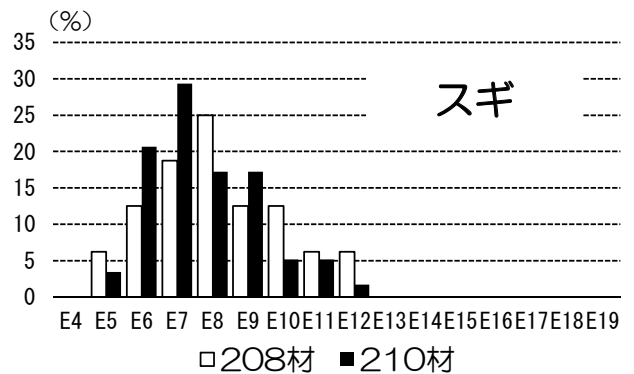


図 4-19 見かけのヤング係数の階級別出現割合 (%) スギ

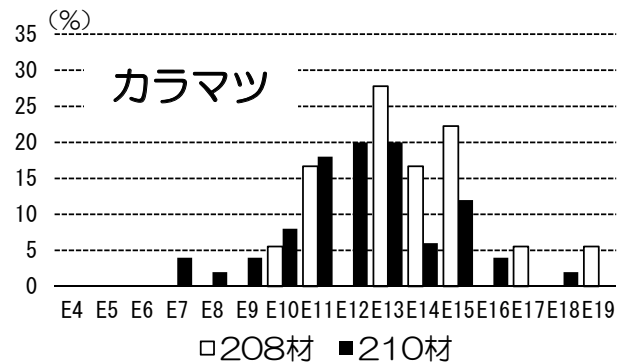


図 4-20 見かけのヤング係数の階級別出現割合 (%) カラマツ

3.7.3 曲げ強さ

今回の曲げ試験では、208材は梁背21倍のスペンで、210材は梁背の16倍のスペンで行ったが、せん断で破壊した材も多く見られた。スギ208材では1本、210材では3本、カラマツ208材では0本、210材では7本の材がせん断破壊した。また、強かった材では上部の圧縮破壊も見られた。

曲げヤング係数（真のヤング係数と見かけのヤング係数）と曲げ強さの関係を208材について図4-21に、210材について図4-22に示した。

曲げ強さの平均は、スギ208材が41.6N/mm²、スギ210材が37.5N/mm²であり、一方、カラマツ208材は61.9N/mm²、カラマツ210材が48.4N/mm²であった。曲げヤング係数同様に、カラマツはスギに比べ高い強度を示し、また、丸太の最外部から製材された208材は、スギ、カラマツともにその内側から製材された210材に比べ高い強度を示した。

曲げヤング係数と曲げ強さの関係では、真のヤング係数及び見かけのヤング係数ともに曲げ強さとの相関関係は強いが、両者を比較すると、スギ、カラマツともに見かけのヤング係数の方が曲げ強さとの相関は強かった。

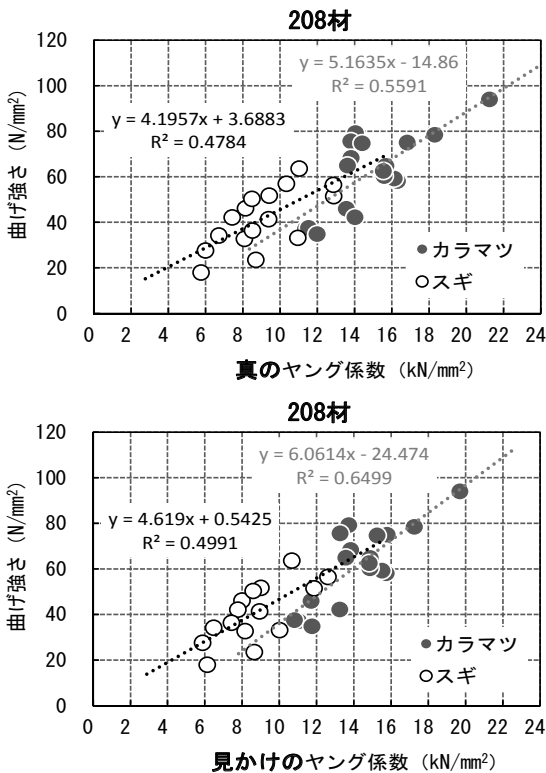


図4-21 208材における曲げヤング係数と曲げ強さの関係

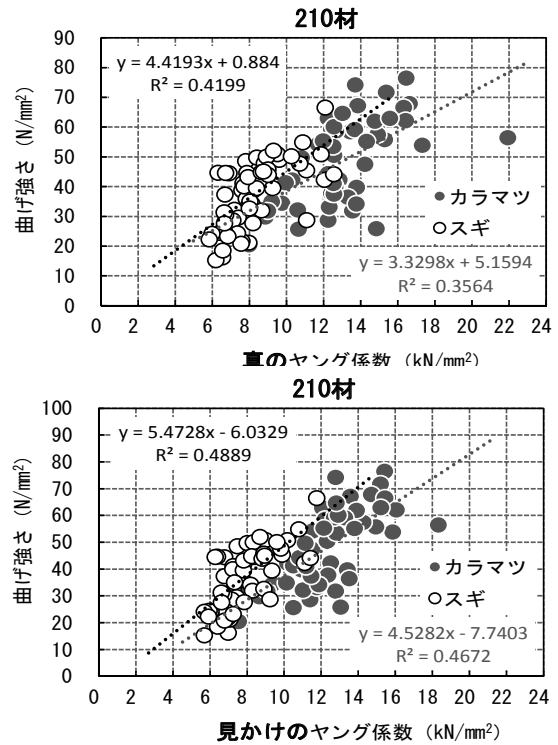


図4-22 210材における曲げヤング係数と曲げ強さの関係

3.7.4 曲げ強さと密度、平均年輪幅の関係

全乾密度と曲げ強さの関係を図4-23に、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図4-24に示した。

全乾密度が高いほど、また、平均年輪幅が狭いほど曲げ強さは高くなる傾向は見られるが、ばらつきが大きくほとんど相関関係は無かった。その中で、カラマツの平均年輪幅との間に弱い相関関係が見られた。

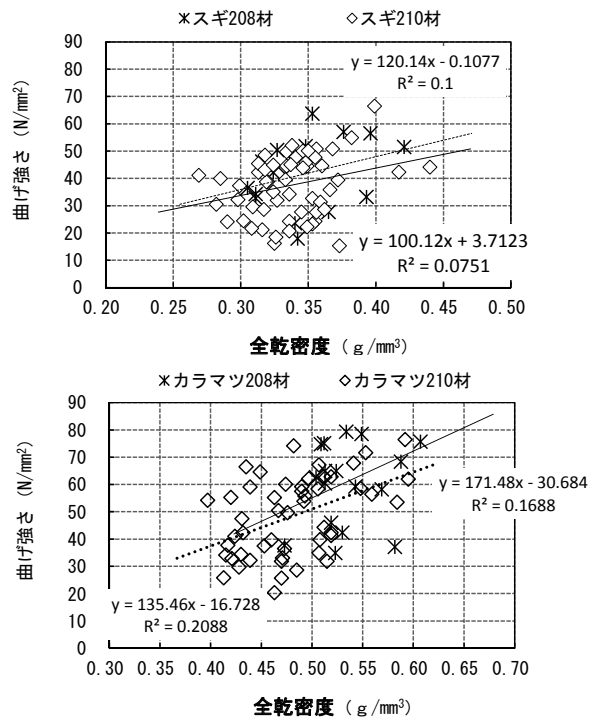


図4-23 全乾密度と曲げ強度の関係

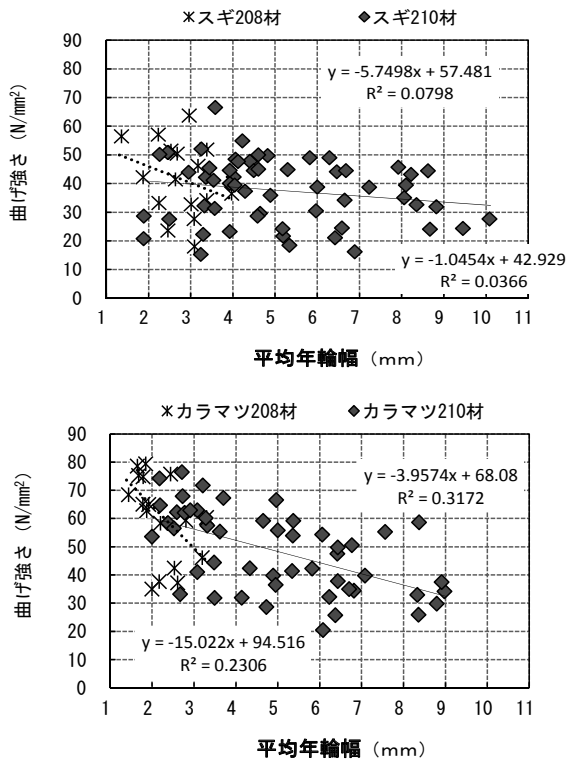


図4-24 平均年輪幅と曲げ強度の関係

3.7.5 その他

その他、スギ大径材やカラマツ大径材を208材や210材として利用する場合、丸太の段階において、長期間放置しておいた丸太(写真4-8)や皮を剥いたまま放置しておいた丸太(写真4-9)では、丸太段階で表面割れが生じ、これが製材時の割れとなって現れ(写真4-10)、最後の製品にまで影響した。伐倒から製材、乾燥まではできるだけ短期間に行うことが望ましいと考える。

また、髓を割る製材では、カラマツについては髓割れ(写真4-11)やそこから滲出するヤニ(写真4-12)が問題となり、スギでは、乾燥に伴う髓割れが目立った(写真4-13)。

今回試験に供したスギ丸太はA材であったが、節も目立ち等級的には下位の丸太であった。上級の丸太であればさらに高品質の208材、210材が得られるものと思われる。



写真4-8 長期間丸太のまま放置されたスギ



写真4-9 皮剥き後、製材を待つカラマツ



写真4-10 製材時に既に存在する表面割れ



写真4-11 製材時に髓を割ると髓割れが生じる(カラマツ)



写真4-12 髓割れ部分からのヤニ滲出(カラマツ)



写真4-13 乾燥後の髓割れ(材面割れ)(スギ)

4 まとめ

課題1の「208材・210材木取り」から製材した製材寸法 208材；50×205×4,000 mm、210材；50×255×4,000 mm、製品寸法 208材；38×184×4,000 mm、210材；38×235×4,000 mmの材について、その乾燥特性及び強度性能を検討した結果、

- (1) 丸太と主製品の縦振動ヤング係数 (E_{fr}) の相関は強かった。
- (2) 10日間の80℃蒸気式中温乾燥で、カラマツはおよそ12%に、スギは8%の含水率に仕上がった。
- (3) 210材の製材後の反りは、カラマツが平均4.6 mm/4m、スギが平均7.5 mm/4mであり、スギが大きかった。また、製材後は木表側に多く発生していた。
- (4) 210材の乾燥後の反りは、カラマツが平均3.9 mm/4m、スギが平均7.4 mm/4mとなり、製材後と比較して大きな差はなかった。しかし、反る方向が製材後(木表側)とは反対側に反る材が多かった。
- (5) 210材の乾燥後の曲がり、カラマツが平均2.9 mm/4m、スギが平均3.7 mm/4mであり、スギが大きかった。
- (6) 210材の乾燥後のカップ(幅ぞり)は、カラマツが平均1.78 mm/235 mm、スギが平均2.55 mm/235 mmであり、スギが大きかった。
- (7) 乾燥後に問題となるような大きな曲がりやカップ(幅ぞり)はなかった。
- (8) 210材の乾燥後のねじれは、カラマツが平均10.1 mm/4mに対しスギが平均3.0 mm/4mでカラマツのねじれが目立った。
- (9) 目視等級区分による等級格付けでは、特級・1級に格付けされた材は、カラマツ210材が88%、スギ210材が56%であった。
- (10) 目視等級区分ではねじれの許容基準が大きいためカラマツのねじれによる低位格付けは少なかった。
- (11) 目視等級区分で下位に格付けされる因子は、カラマツでは厚さに係る節と反りが、スギについては圧倒的に反りであった。
- (12) 210材における見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に12.69kN/mm²、8.15kN/mm²であり、カラマツは高いヤング係数

を示した。

- (13) 210材における曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に48.4kN/mm²、37.5kN/mm²であり、カラマツは強い強度性能を示した。
- (14) 208材においては外側木取りのためか210材よりもさらに高い強度性能を示した。
- (15) 210材の一部は髄(芯)を割る製材であったため、製材後の髄割れが目立ち、ここからのヤニ滲出があった。
- (16) カラマツ大径材から枠組壁工法住宅に使用する横架材の208材や210材を製材した場合、乾燥による形質変化に大きな問題はなく、曲げ強度性能も高いことから十分に利用可能であると思われる。
- (17) 枠組壁工法構造用製材におけるJASでのねじれ許容範囲が大きいことは、カラマツに有利であると思われる。