

第4章 無等級材の基準強度と広葉樹材の
品質制御方法に関する検討

4.1 検討の背景と目的

通常、建築物の設計をする場合、国土交通省が樹種あるいは樹種群ごとに定めた基準強度を用いる。近年、耐久性が高いという利点から、住宅の土台等として針葉樹材のベイヒバの利用が拡大している。しかし、ベイヒバは現時点では基準強度が設定されておらず、その設定が強く求められている。

また、現行の広葉樹材（無等級材）の基準強度は、無欠点小試験体で得られた強度に強度比を乗じて算出される。その強度比は、針葉樹材と同じ値が使用されているが、広葉樹材の実大材による強度データがほとんどないため、その妥当性は検証されていない。さらに、広葉樹材の強度に及ぼす品質あるいは節等の欠点の影響についても明らかにされていないため、等級区分法を確立するための基礎データがない。

そのため、針葉樹材のベイヒバ、広葉樹材のうち利用量が多いケヤキ、クリを対象として、実大材および無欠点小試験体による各強度試験を実施し、基準強度の設定に資する強度性能データを明らかにすることを目的とした。

4.2 H24年度までの成果

4.2.1 ベイヒバの基準強度に関する検討

通常、建築物の設計をする場合には、国土交通省が樹種あるいは樹種群ごとに定めた基準強度が用いられる。近年、耐久性が高いという利点から、住宅の土台等としてベイヒバ (*Chamaecyparis nootkatensis*) の利用が拡大している。しかし、ベイヒバの基準強度は設定されておらず、その設定が強く求められている。そこで、本研究ではベイヒバ製材品を用いて各種強度試験を行い、その強度データを収集し、基準強度設定の基礎資料とすることを目的とした。

4.2.1.1 ベイヒバ製材品の強度試験方法

材長が約 4000mm、断面寸法が 105mm×105mmのベイヒバ製材品 200 本を供試材とした。すべての供試材は北米から輸入された丸太を国内で製材（内地挽き）し、人工乾燥されたものである。供試材には心持ち材と心去り材が混在していた。すべての供試材に対して縦振動法によるヤング係数を測定した。その結果、平均値は 10.3kN/mm²、変動係数は 15.2%であった。供試材を縦振動法によるヤング係数の平均値と変動係数がほぼ等しい 2 グループ各 100 本に振り分け、一方の供試材からは曲げ、縦圧縮、めり込み、せん断の各試験体を採取した。もう一方の供試材からは縦引張り試験体を採取した。

曲げ、縦圧縮、縦引張り、めり込み試験は「構造用木材の強度試験法 (Howtec 法)」(日本住宅・木材技術センター) に従った。すなわち、曲げ試験はスパンを材せいの 18 倍 (1890mm) とした 3 等分点 4 点荷重、縦圧縮試験は材長を短辺の 6 倍 (630mm) とした短柱圧縮、縦引張り試験は片側つかみ部分の長さが 950mm でチャック間距離が長辺の 20 倍 (2100mm)、めり込み試験は材長が材せいの 6 倍 (630mm) で材中央部において幅 90mm の 2 枚の加圧板で上下両面から加

圧、の各方法とした。せん断試験は実大いす型試験法（井道裕史ら，木材学会誌，50(4)，220-227，2004）で行った。実大いす型せん断試験体を除くすべての試験体に対して、試験前に縦振動法によるヤング係数を測定した。曲げ、縦引張り試験は直ちに、縦圧縮、めり込み、せん断試験体は温度が 20℃、関係湿度が 65%の恒温恒湿室内で約 1 ヶ月間調湿した後、試験に供した。

4.1.1.2 ベイヒバ製材品の強度試験結果

各強度試験の結果を表 4.1~4.5 に示す。ノンパラメトリック法で算出した 5%下限値（以下、5%下限値）を無等級材の基準強度（建設省告示 1452 号、平成 12 年 5 月 31 日）と比較すると、ヒノキ、ヒバが属する針葉樹II類の曲げ基準強度 26.7N/mm²を上回った。見かけの曲げヤング係数の平均値を「日本建築学会木質構造設計規準」普通構造材の繊維方向特性値 E_0 と比較すると、針葉樹II類の値 9.0kN/mm²相当であった。

縦圧縮試験の結果、5%下限値と無等級材の基準強度とを比較すると、ベイヒバは針葉樹II類の縦圧縮基準強度 20.7N/mm²相当であった。

縦引張り試験の結果、5%下限値と無等級材の基準強度とを比較すると、ベイヒバは針葉樹I類の基準強度 17.7N/mm²相当であった。

めり込み試験の結果、5%下限値を製材のめり込みの基準強度（国土交通省告示 1024 号、平成 13 年 6 月 12 日）と比較すると、ヒバを含む樹種群の基準強度 7.8N/mm²を下回った。しかし、Howtec法で行った他樹種の結果（伊東嘉文ら，第 55 回日本木材学会大会研究発表要旨集，E70945，2005，鈴木修治ら，第 56 回日本木材学会大会研究発表要旨集，PE009，2006，田中洋ら，第 55 回日本木材学会大会研究発表要旨集，E71015，2005，Hirofumi Ido et al, Bulletin of FFPRI, 402, 71-76, 2007）と比較したところ、ベイヒバの 5%下限値はヒバ相当であった。

せん断試験の結果、5%下限値と無等級材の基準強度とを比較すると、針葉樹I類の基準強度 2.4N/mm²を大きく上回った。実大いす型試験法で行った他樹種の結果（井道裕史ら，木材学会誌，52(5)，293-302，2006）と比較したところ、ベイヒバのせん断強度は針葉樹II、III類の樹種群とIV類の樹種群との間に位置した。

表 4.1 ベイヒバ製材品の曲げ試験の結果

	含水率 (%)	見かけの 密度 (kg/m ³)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	真の曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	5%下限値 (N/mm ²)
試験体数	100	100	100	100	100	100	26.8
平均値	18.2	521	10.4	9.34	9.96	49.6	
変動係数(%)	7.13	6.94	17.2	16.2	19.0	21.0	
最小値	15.4	443	5.53	5.10	5.39	22.8	
最大値	22.5	603	15.1	12.8	14.4	72.1	

表 4.2 ベイヒバ製材品の縦圧縮試験の結果

	含水率 (%)	見かけの 密度 (kg/m ³)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	縦圧縮 強度 (N/mm ²)	5%下限値 (N/mm ²)
試験体数	100	100	100	100	20.4
平均値	16.9	514	10.3	28.4	
変動係数(%)	3.99	6.90	16.3	16.4	
最小値	15.4	429	6.24	18.9	
最大値	18.8	628	15.9	41.4	

表 4.3 ベイヒバ製材品の縦引張り試験の結果

	含水率 (%)	見かけの 密度 (kg/m ³)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	縦引張り ヤング係数 (kN/mm ²)	縦引張り 強度 (N/mm ²)	5%下限値 (N/mm ²)
試験体数	99	100	100	100	100	17.7
平均値	18.4	521	10.3	9.80	34.3	
変動係数(%)	6.45	6.46	15.2	16.1	32.8	
最小値	15.6	447	6.34	6.16	15.5	
最大値	22.0	615	14.6	13.7	69.2	

表 4.4 ベイヒバ製材品のめり込み試験の結果

	含水率 (%)	見かけの 密度 (kg/m ³)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	5%変形時 の応力 (N/mm ²)	5%下限値 (N/mm ²)
試験体数	100	100	100	99	4.79
平均値	16.1	513	10.4	7.13	
変動係数(%)	3.86	7.30	14.2	17.7	
最小値	14.4	436	6.80	4.32	
最大値	17.6	631	15.1	11.9	

表 4.5 ベイヒバ製材品のせん断試験の結果

	含水率 (%)	見かけの密度 (kg/m ³)	せん断強度 (N/mm ²)	5%下限値 (N/mm ²)
試験体数	100	100	100	5.21
平均値	16.1	514	6.66	
変動係数(%)	2.59	7.71	13.9	
最小値	15.2	425	4.68	
最大値	17.2	635	9.00	

4.2.1.3 ベイヒバ小試験体の強度性能

ベイヒバを現行の無等級材の基準強度に追加することを想定し、ベイヒバ製材品から採取した無欠点小試験体を用いて、各強度試験を行った。得られた各強度を、現行の無等級材の基準強度の基礎データとなった無欠点小試験体による各樹種群の基準強度値と比較した結果、曲げ、縦圧縮、せん断強度は「あかまつ、くろまつ、べいまつ」の樹種群相当であった。めり込み強度は「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」の樹種群相当であった。各強度で相当する樹種群は異なったが、安全側に判断して基準強度の小さい樹種群に揃えることを考えると、ベイヒバは、無欠点小試験体においても、実大試験の結果と同様、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」樹種群に含めることが適当であると考えられる。

4.2.1.4 ベイヒバの強度試験のまとめ

ベイヒバ材は近年住宅の土台等としての利用が拡大しているが、基準強度が定められておらず、その設定が強く求められている。しかし、基準強度設定の基礎資料となるベイヒバ製材品の強度データは非常に乏しい。そこで、本研究ではベイヒバ製材品の基礎強度データを得ることを目的として、曲げ、縦圧縮、縦引張り、めり込み、せん断についての各強度試験を行った。各試験の結果を現在の無等級材の樹種群と比較したところ、ベイヒバは「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」の樹種群相当であることがわかった。また、ベイヒバ製材品から採取した無欠

点小試験体を用いて、各強度試験を行った。その結果、ベイヒバは無欠点小試験体においても、実大試験の結果と同様、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」樹種群に含めることが適当であると考えられた。

4.2.2 ケヤキの基準強度に関する検討

現行の広葉樹材の基準強度は、無欠点小試験体で得られた強度に強度比を乗じることによって算出されている。広葉樹材の強度比は針葉樹材と同じ値が使用されているが、広葉樹材による実大材の強度データがなく、その妥当性が検証されていない。また、広葉樹材の強度に及ぼす品質あるいは節等の欠点の影響についても明らかにされていないため、等級区分法を確立するための基礎データがない。そこで、伝統的構法の構造部材として使用される広葉樹材のうち、ケヤキを取り上げ、実大材の曲げ試験を行った。曲げ試験後の非破壊部分から実大縦圧縮試験体と曲げ無欠点小試験体を採取し、それぞれ試験を行った。

4.2.2.1 ケヤキ製材品および無欠点小試験体の強度試験方法

茨城県、愛知県、宮崎県の3地域から各10体、合計30体の供試材（寸法：240mm×240mm×4800mm）を購入した。供試材は、節、繊維傾斜、年輪幅等の強度に関連する因子が適切に配置された材料とした。実大材の曲げ試験を、建築研究所所有の材料試験機（最大容量：500kN）を用いて、支点間距離を材せいの18倍とした3等分点4点荷重方式で計画した。しかし、一部の試験体（3体）の曲げ試験後、試験機のシリンダー長が不足することが判明した。そこで、荷重点と支点間距離を材せいの5倍（1200mm）に変更した。荷重点と支点間距離を短くしたことによってもせん断破壊は生じず、すべての試験体は曲げ破壊した。曲げ試験後、非破壊部分から実大縦圧縮試験体と曲げ無欠点小試験体を採取した。実大縦圧縮試験体の寸法は230mm×230mm×1000mmとした。実大材の縦圧縮試験は、森林総研所有の圧縮試験機（最大容量：3000kN）を用いた。相対する2材面の中央に200mmの標点間距離で変位計を取り付け縮みを測定した。曲げ無欠点小試験体は2方柱材とし、実大材の髓側と樹皮側からそれぞれ採取した。寸法は25mm×25mm×400mmとした。JIS Z 2101に従って曲げ試験を行った。

4.2.2.2 ケヤキ製材品および無欠点小試験体の強度試験結果

実大材の曲げ試験、無欠点小試験体の曲げ試験、実大材の縦圧縮試験の結果の概要をそれぞれ表4.6～4.8に示す。実大材について、正規分布を仮定した曲げ強度特性値（5%下限値）を算出すると31.0N/mm²となり、現行のケヤキの曲げ基準強度（29.4N/mm²）を上回った。ただし、供試したケヤキには繊維飽和点を越える含水率を持つ試験体が約1/3程度含まれ、かつ特性値の算出において含水率による強度補正を実施していないので、気乾状態（含水率：15%）ではさらに高い強度が期待される。同じ供試体から採取した実大材の曲げ強度と無欠点小試験体の曲げ強度とを比較すると、実大材は無欠点小試験体の52%（樹皮側との比較）、53%（髓側との比較）であった。実大材の縦圧縮強度について曲げと同様に強度特性値を算出すると、24.4N/mm²となり、現行のケヤキの縦圧縮基準強度（21.0N/mm²）を上回った。曲げ試験体と同様に、含水

率による強度補正をした場合はさらに高い強度が期待される。

表 4.6 ケヤキ実大材の曲げ試験結果

購入地 n=試験体数		含水率 15%時の 密度推定値 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	比例限度 応力 (N/mm ²)	曲げ 強度 (N/mm ²)
茨城 n=10	平均値	718	23.4	11.8	9.67	36.0	60.5
	変動係数(%)	5.83	41.6	8.98	10.3	17.3	23.7
愛知 n=10	平均値	677	48.3	10.5	8.51	30.2	50.0
	変動係数(%)	5.76	30.9	11.4	12.6	23.8	28.8
宮崎 n=10	平均値	721	20.6	12.4	10.2	36.2	66.7
	変動係数(%)	5.39	38.1	12.9	12.2	23.1	18.7
合計 n=30	平均値	705	26.7	11.6	9.45	34.2	59.0
	変動係数(%)	6.18	55.5	12.9	13.5	22.3	25.4

表 4.7 ケヤキ無欠点小試験体の曲げ試験結果

購入地 n=試験体数		試験時の 密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	比例限度 応力 (N/mm ²)	曲げ 強度 (N/mm ²)
茨城(髓側) n=10	平均値	720	11.4	13.2	12.0	50.4	116
	変動係数(%)	8.01	4.49	14.4	14.7	10.8	9.84
茨城(樹皮側) n=10	平均値	695	11.4	12.4	11.5	54.1	116
	変動係数(%)	7.65	5.05	12.5	12.3	11.6	12.2
愛知(髓側) n=10	平均値	675	11.4	11.7	10.5	46.2	105
	変動係数(%)	6.09	2.87	14.9	14.7	18.6	13.3
愛知(樹皮側) n=10	平均値	656	11.4	11.1	9.90	46.8	99.7
	変動係数(%)	9.62	2.96	15.2	13.7	13.3	12.9
宮崎(髓側) n=8	平均値	715	11.1	12.7	11.5	48.0	107
	変動係数(%)	11.1	5.53	22.3	21.8	16.6	15.7
宮崎(樹皮側) n=8	平均値	728	10.8	13.2	12.1	52.4	116
	変動係数(%)	8.95	4.99	19.6	20.3	11.6	13.5
合計(髓側) n=28	平均値	703	11.3	12.5	11.3	48.2	110
	変動係数(%)	8.73	4.35	17.4	17.4	15.3	13.1
合計(樹皮側) n=28	平均値	690	11.2	12.2	11.1	51.0	110
	変動係数(%)	9.44	4.77	16.9	17.3	13.3	14.3

表 4.8 ケヤキ実大材の縦圧縮試験結果

購入地 n=試験体数		含水率 15%時の 密度推定値 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦圧縮 ヤング係数 (kN/mm ²)	比例限度 応力 (N/mm ²)	縦圧縮 強度 (N/mm ²)
茨城 n=10	平均値	728	19.4	11.3	21.9	40.9
	変動係数(%)	6.54	25.6	21.6	26.1	11.7
愛知 n=10	平均値	702	23.1	8.89	17.9	34.8
	変動係数(%)	7.47	29.1	18.2	24.1	24.1
宮崎 n=10	平均値	732	18.1	10.1	17.8	37.4
	変動係数(%)	4.05	24.3	24.4	17.4	18.6
合計 n=30	平均値	721	20.2	10.1	19.2	37.7
	変動係数(%)	6.23	28.2	23.4	24.8	18.8

注：含水率 15%時の密度推定値は、含水率変化に伴う膨潤あるいは収縮による材積変化を無視し、試験時の密度×115/(100+含水率)によって算出した

4.2.2.3 ケヤキの強度試験のまとめ

ケヤキ実大材を用いた曲げ試験の結果、針葉樹材と同様、目視等級区分法や機械等級区分法が適用可能であることが明らかとなった。ただし、繊維傾斜が等級区分や強度性能に及ぼす影響に関しては未解明な部分があるため、繊維傾斜の測定位置、測定方法などについて今後さらなる検討が必要である。曲げおよび縦圧縮強度特性値は、現行のケヤキの無等級材の基準強度を満足した。また、実大材から採取した無欠点小試験体の平均値は、ケヤキの樹种群の基準強度値相当であった。ゆえに、実大材および無欠点小試験体の両方の観点から、現行のケヤキの基準強度は妥当であることが明らかとなった。ただし、ケヤキの曲げおよび縦圧縮の強度比は現行の強度比よりも大きかったため、この点については、今後さらなる検討が必要である。

現在、「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材および機械等級区分構造用製材では、広葉樹製材は適用されていない。今後、実大材の強度データを追加することで、基準強度に広葉樹材としてのケヤキの基準強度を新たに設定できる可能性が示された。

4.2.3 クリの基準強度に関する検討

現行の広葉樹材（無等級材）の基準強度は、無欠点小試験体で得られた強度に強度比を乗じることによって算出されている。強度比は針葉樹材と同じ値が使用されているが、広葉樹材の実大材による強度データがほとんどないため、その妥当性については検証されていない。また、広葉樹材の強度に及ぼす品質あるいは節等の欠点の影響についても明らかにされていないため、等級区分法を確立するための基礎データがない。さらに、現行 JAS の針葉樹の製材品では、スギの試験結果を参考に、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度特性値（下限値）の比率として 1 : 0.8 : 0.6 の関係が採用されているが、広葉樹材ではこの関係について実験的に検証されていない。そこで、木造住宅の土台等に使用されるクリを対象として、実大材による曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・めり込みの各強度試験を実施し、以上の事項について明らかにすることを目的とした。

4.2.3.1 クリ製材品の強度試験方法

曲げ試験は、荷重点間を材せいの 6 倍 (630mm)、支点間距離を材せいの 18 倍 (1890mm) とした 3 等分点 4 点荷重方式で行った。容量が 10tf (約 98kN) の材料試験機 (NMB 製、TCM-10000) により載荷した。クロスヘッド速度は 10mm/min とした。試験体の側面中央部に変位計 (東京測器製、CDP-100) を設置し試験体の全たわみを測定するとともに、試験体の圧縮面上に変位計 (東京測器製、CDP-10) を取り付けた袴型治具 (スパン 401mm) を乗せ、荷重点間における曲げたわみを測定した。

縦圧縮試験は材長を断面の 6 倍 (630mm) とした短柱圧縮試験体で行った。最大容量が 3000kN の圧縮試験機 (前川製作所製、A-300-B4) を用いて、荷重レンジを 600kN に設定して載荷し、最大荷重に達するまでの時間が約 5 分になるように荷重速度を調整した。試験体の長さ方向における中央部の平行な 2 材面に、標点間距離が 150mm で変位計 (東京測器製、CDP-10) を設置

して変形を測定した。両変位の平均を標点間での試験体の変位とした。

縦引張り試験はチャック間距離を長辺の 20 倍 (2120mm)、片側のつかみ部分の長さを 940mm とした。試験機には最大容量が 2000kN の横型引張り試験機 (前川製作所製、HZS-200-LB4) を用いた。試験体の長さ方向における中央部の平行な 2 材面に、標点間距離が 1000mm で変位計 (東京測器製、CDP-10) を設置して変形を測定した。両変位の平均を標点間での試験体の変位とした。

せん断試験は実大いす型せん断方式により行った。供試材には、割れ、節等、せん断試験に対して欠点となりうるものが存在していたため、1 本の供試材からエンドマッチでせん断断面を材軸方向を中心に 90° 回転させて 2 体の試験体を採取した。切り欠き部分のない側の試験体長さは 150mm、切り欠き部分の長さは 45mm、せん断面積は 105×105mm とした。両せん断面の試験体について、実大いす型せん断試験治具を最大容量が 3000kN の圧縮試験機 (前川製作所製、A-300-B4) に設置して用いてせん断試験を行った。荷重レンジを 150kN に設定して載荷し、最大荷重に達するまでの時間が約 5 分になるように荷重速度を調整した。せん断試験後、破断面を観察し、割れ、節、木理の影響が小さい方の試験体をその供試材のせん断試験結果とした。

めり込み試験は長さが断面の 6 倍 (630mm) の試験体に対し、長さ 90mm の鋼製荷重ブロックを試験体中央部の上下に設置する上下加圧方式で行った。最大容量が 3000kN の圧縮試験機 (前川製作所製、A-300-B4) を用いて、荷重レンジを 300kN に設定して載荷し、最大荷重に達するまでの時間が約 5 分になるように荷重速度を調整した。試験体の長さ方向の中央部付近両脇に 2 か所に変位計 (東京測器製、CDP-50) を設置し、クロスヘッドの移動量を測定した。両変位計の平均をめり込み変形量とした。

4.2.3.2 クリ製材品の強度試験結果

各強度試験の結果を表 4.9~4.13 に示す。

曲げ強度特性値 (正規分布と仮定した場合の信頼水準 75%における 95%下側許容限界値、以下同様) は 29.4N/mm²となり、現行の無等級材の基準強度 (広葉樹II類 (くり、なら、ぶな、けやき)、以下同様) $F_b=29.4\text{N/mm}^2$ と同等の値を示した。

縦圧縮強度特性値は 26.3N/mm²となり、現行の無等級材の基準強度 $F_c=21.0\text{N/mm}^2$ を上回る値を示した。

縦引張り強度試験について、試験時の含水率の平均値は約 32%となり、気乾状態には達していなかった。縦引張り強度特性値は 14.1N/mm²となり、現行の無等級材の基準強度 $F_t=18.0\text{N/mm}^2$ よりも低い値を示した。曲げや縦圧縮強度では、含水率の上昇に伴って強度は低下する。一方、縦引張り強度では、針葉樹材であるスギ、カラマツ、ベイマツの各製材品について、乾燥に伴う強度の増加が認められないことが明らかになっている。そのため、縦引張り強度特性値が基準強度を下回ったことについての含水率の影響は小さいと考えられる。また、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の統計的下限値の相対的比率の検討について、縦引張り試験体の含水率が気乾状態に達していなかったことは影響しないと考えられる。しかしながら、含水率と縦引張り強度との関係は、クリを含めた広葉樹材では実験的に明らかになっていないため、この点について

はさらに検討する必要がある。

せん断強度特性値は 6.12N/mm^2 であり、無等級材の基準強度のクリのせん断基準強度 3.0N/mm^2 を 2 倍以上上回っていた。

めり込み試験は試験方法や特性値の算出方法で結果が異なるため、得られた特性値と基準強度とを単純に比較できない。そのため、過去に同じ ISO 13910 の試験方法で行った他樹種の結果と比較した。その結果、めり込み強度の平均値/基準強度、めり込み強度の下限値/基準強度とも既往のデータの範囲内に入っており、実大試験から見た現行のクリの基準強度 10.8N/mm^2 は妥当であると考えられる。

表 4.9 クリ製材品の曲げ試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m^3)	E_{fr} (kN/mm^2)	MOE-app (kN/mm^2)	MOE-true (kN/mm^2)	σ_{bp} (N/mm^2)	MOR (N/mm^2)
試験体数	85	85	85	85	85	85	85
平均値	15.4	540	10.3	9.61	10.1	32.8	48.8
最小値	14.5	452	7.08	6.62	6.57	12.6	17.5
最大値	17.6	667	13.4	13.1	13.0	46.3	73.2
標準偏差	0.538	38.7	1.29	1.21	1.50	6.24	11.0
変動係数(%)	3.50	7.18	12.5	12.6	14.8	19.0	22.5

記号 MC : 含水率、 ρ : 試験時の密度、 E_{fr} : 縦振動法によるヤング係数、MOE-app : 見かけの曲げヤング係数、MOE-true : 真の曲げヤング係数、 σ_{bp} : 曲げ比例限度応力、MOR : 曲げ強度

表 4.10 クリ製材品の縦圧縮試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fr} (kN/mm ²)	E_c (N/mm ²)	σ_{cp} (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)
試験体数	85	85	85	85	85	85
平均値	15.5	539	10.4	10.0	20.1	32.3
最小値	14.2	461	5.11	4.95	10.9	19.7
最大値	16.9	633	13.5	14.0	34.9	39.3
標準偏差	0.604	39.0	1.24	1.54	5.50	3.38
変動係数(%)	3.89	7.22	11.9	15.4	27.4	10.4

記号 MC：含水率、 ρ ：試験時の密度、 E_{fr} ：縦振動法によるヤング係数、 E_c ：縦圧縮ヤング係数、 σ_{cp} ：縦圧縮比例限度応力、 σ_c ：縦圧縮強度

表 4.11 クリ製材品の縦引張り試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fr} (kN/mm ²)	E_t (N/mm ²)	σ_{tp} (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
試験体数	85	85	85	84	84	84
平均値	31.9	611	9.72	8.53	18.0	26.2
最小値	21.1	471	7365	6.28	7.12	13.9
最大値	55.2	776	12.5	11.3	40.0	42.8
標準偏差	6.97	55.3	1.03	1.04	8.18	6.72
変動係数(%)	21.9	9.05	10.6	12.2	45.4	25.6

記号 MC：含水率、 ρ ：試験時の密度、 E_{fr} ：縦振動法によるヤング係数、 E_t ：縦引張りヤング係数、 σ_{tp} ：縦引張り比例限度応力、 σ_t ：縦引張り強度

表 4.12 クリ製材品のせん断試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	σ_s (N/mm ²)
試験体数	85	85	85
平均値	15.3	543	8.63
最小値	14.2	447	4.27
最大値	16.3	660	12.6
標準偏差	0.385	46.2	1.42
変動係数(%)	2.52	8.51	16.4

記号 MC：含水率、 ρ ：試験時の密度、 σ_s ：せん断強度

表 4.13 クリ製材品のめり込み試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	σ_{cvp} (N/mm ²)	$f_{c,90}$ (N/mm ²)	$f_{c,90,y}$ (N/mm ²)	$K_{c,90}$ (N/mm ³)
試験体数	85	85	85	85	85	85
平均値	15.2	543	6.26	13.3	8.54	4.52
最小値	14.0	475	4.59	10.3	6.38	2.34
最大値	17.3	654	8.77	19.8	12.7	8.60
標準偏差	0.582	42.2	1.02	1.99	1.35	1.22
変動係数(%)	3.84	7.78	16.3	15.0	15.8	27.1

記号 MC：含水率、 ρ ：試験時の密度、 σ_{cvp} ：めり込み比例限度応力、 $f_{c,90}$ ：めり込み強度、 $f_{c,90,y}$ ：めり込み降伏強度、 $K_{c,90}$ ：めり込み剛性

4.2.3.3 クリ製材品の強度試験のまとめ

木造住宅の土台等に使用されるクリを対象として、実大材による曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・めり込みの各強度試験を実施し、現行の基準強度の妥当性、欠点等が強度性能に及ぼす影響、各強度特性値の相互関係について検証した。

各強度試験の結果、曲げ・縦圧縮・せん断・めり込みの強度特性値は、基準強度に対して上回るか同等であったが、縦引張り強度特性値は基準強度を下回った。曲げ・縦引張り強度について、目視等級区分ごとに平均値を求めた結果、等級が上位になるほど強度の平均値が高くなる傾向にあり、広葉樹材においても目視等級区分が適用できることがわかった。また、曲げ：縦圧縮：縦引張りにおける各基準特性値の比率は1：0.89：0.48となり、スギから求めた針葉樹材の1：0.8：0.6とは若干異なったため、各強度特性値の比率は広葉樹材と針葉樹材とは異なる可能性がある。

ただし、本引張り試験体の含水率が気乾状態に達していなかったため、今後、クリを含む広葉樹材における含水率と縦引張り強度との関係を把握した上で、以上の結果が妥当であるか再検証する必要がある。

4.2.4 広葉樹の構造用製材の日本農林規格（目視等級）および基準強度の試算

木造建築物の構造設計に際して、時刻歴応答計算や限界耐力計算、エネルギー法を適用した場合を除いた全ての場合、建築基準法施行令（以下、「令」と称する）第3章第3節の仕様書規定が適用されるが、令第46条第2項を適用して、S62建設省告示（以下、「建告」と称する）第1898号の構造計算、すなわち許容応力度計算を行えば多くの仕様規定が適用除外される。しかしながら、その際、使用される材料はS62建告第1898号に掲げる日本農林規格（JAS）を適用した製材（含水率15%または20%以下）、集成材、LVL等に限定される。一方、「製材の日本農林規格（以下、製材JAS）」において構造用製材として対象とされているのは針葉樹材のみであり、広葉樹材は対象外となっている。したがって、広葉樹製材の基準強度は無等級材とし

て規定されているが、日本農林規格に対応した基準強度は設定されていない。

そこで、本事業で実施した強度試験によって得られたケヤキ製材およびクリ製材の曲げ・縦圧縮・縦引張り強度（ケヤキ製材は曲げ試験のみ）に基づいて、広葉樹製材の品質基準及びそれに対応した強度特性値（75%信頼水準 95%下側許容限界値、基準強度に相当）について検討した。

4.2.4.1 広葉樹の構造用製材の品質基準

針葉樹を対象とした現行の製材 JAS の構造用製材には、目視等級区分構造用製材と機械等級区分構造用製材の 2 種類がある。今回得られた試験結果において、曲げヤング係数と曲げ強度との関係において、ケヤキ製材は一定の相関係数が得られたが、クリ製材においては曲げヤング係数の出現範囲が狭かったこともあり、明確な相関関係がみられなかった。また、広葉樹製材が大量生産されることは予想し難いため、製造工場がグレーディングマシンを導入し、広葉樹材の機械等級区分製材を生産することは考えにくい。そこで、本研究では広葉樹材の目視等級区分構造用製材のみを検討対象とした。

製材 JAS の目視等級区分構造用製材では、主として梁、桁など曲げ部材としての利用を想定した「甲種構造材」と、主に柱などの圧縮部材としての利用を想定した「乙種構造材」の 2 種類に分けられ、それぞれの構造材において 3 つの等級が設定されている。しかし、本事業で得られた強度データは試験体を 3 つの等級に区分するほど十分な試験体数とは言えないため、品質・歩留りの両面から考慮した結果、現行の乙種構造材 2 級を基とした 1 等級とした。

広葉樹製材の品質基準(案)を表 4.14 に示した。なお、平均年輪幅については、旧版の「木質構造設計規準・同解説(1995 年版)」を参考にして、環孔材の年輪幅の極度の減少による密度や強度の低下を考慮し、1mm 以上とした。

表 4.14 広葉樹の目視等級区分構造用製材の品質基準（案）

区分	基準	
節	径比が 40%以下であること。	
集中節	径比が 60%以下であること。	
丸身	20%以下であること。	
貫通割れ	木口	木口の長辺の寸法の 1.5 倍以下であること。
	材面	材長の 1/6 以下であること。
目まわり	木口の短辺の寸法の 1/2 以下であること。	
繊維走行の傾斜比	1 : 8 以下であること。	
平均年輪幅	ケヤキなどの環孔材にあつては 1mm 以上であること。	
腐朽	1 程度の軽い腐れの面積が割れの存する材面の面積の 10%以下であること。 2 程度の重い腐れがないこと	
曲がり	0.5%以下であること。ただし、仕上げ材にあつては、0.2%以下であること。	
狂い及びその他の欠点	顕著でないこと。	

4.2.4.2 広葉樹の構造用製材の強度特性値

4.2.4.1 で仮設定した品質基準にしたがって、その基準を満足した強度データから強度特性値（75%信頼水準 95%下側許容限界値、基準強度に相当）を算出した（表 4.15）。なお、強度データから算出したのは曲げヤング係数、曲げ強度の特性値のみで、縦圧縮強度および縦引張り強度の特性値は、4.2.3.2 に示したクリ製材の各特性値の比率を参考に、ケヤキ、クリの両樹種とも、曲げ強度：縦圧縮強度：縦引張り強度を 1 : 0.8 : 0.5 として算出した。なお、曲げ試験体の品質区分には、曲げ試験時の荷重点間における最大単独節径比（40%以下）、最大集中節径比（60%以下）、繊維傾斜（1/8 以下）によって実施した。また、全試験体に対する品質基準を満足した割合は、ケヤキの曲げ試験体で 83%（25 体/30 体）、クリの曲げ試験体で 86%（73 体/85 体）、クリの縦引張り試験体（チャック間の品質）で 69%（59 体/85 体）であった。

表 4.15 本事業で得られた強度データから算出した
ケヤキ、クリの強度特性値と現行の基準強度及び基準弾性係数

樹種 (曲げ強度の試験体数)	強度特性値					弾性係数 (kN/mm ²)	
	縦圧縮強度 (N/mm ²)	縦引張り強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	弾性係数		
					平均値	下限値	
ケヤキ (25 体)	26.1	16.3	32.6	-	9.5	7.1	
クリ (73 体)	25.8	16.1	32.2	-	9.8	7.8	
樹種	現行の基準強度 (N/mm ²)				基準弾性係数 [*] (kN/mm ²)		
	F_c	F_t	F_b	F_s	E_0	$E_{0.05}$	
ケヤキ、クリ	21.0	18.0	29.4	3.0	8.0	5.5	

* 「木質構造設計規準・同解説」(日本建築学会) より

4.3 H25 年度検討方法

4.3.1 クリ無欠点小試験体の基準強度に関する検討

現在、木造住宅の土台等には広葉樹材であるクリが広く用いられている。しかしながら、クリを含む広葉樹材に関しては、実大材による強度データはほとんどない。そのため、H24 年度ではクリ実大材を用いて曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・めり込みの各強度試験を実施し、無欠点小試験体による試験結果から誘導されている現行の無等級材の基準強度との妥当性を検討した。本報では実大材の曲げ試験体の非破壊部分から曲げ・縦圧縮・せん断・めり込みの各無欠点小試験体を採取して強度試験を行い、無欠点小試験体の観点から基準強度の整合性を確認するとともに実大材の強度試験結果との比較を行った。

4.3.2 クリ無欠点小試験体の強度試験方法

無欠点小試験体の採取方法を図 4.1 に示す。実大曲げ試験体の非破壊部分から曲げ・縦圧縮・せん断・めり込みの各無欠点小試験体を採取した。せん断試験体はせん断面を変えた 2 種類、めり込み試験体は加圧方向を変えた 2 種類を採取した。また、実大曲げ試験体は 85 体あったが、破壊状況により無欠点小試験体を採取できなかったものもある。その場合は、①曲げ、②縦圧縮、③めり込み、④せん断の順で優先した。試験体寸法および試験方法は JIS Z 2101 に従い、各強度試験を行った。

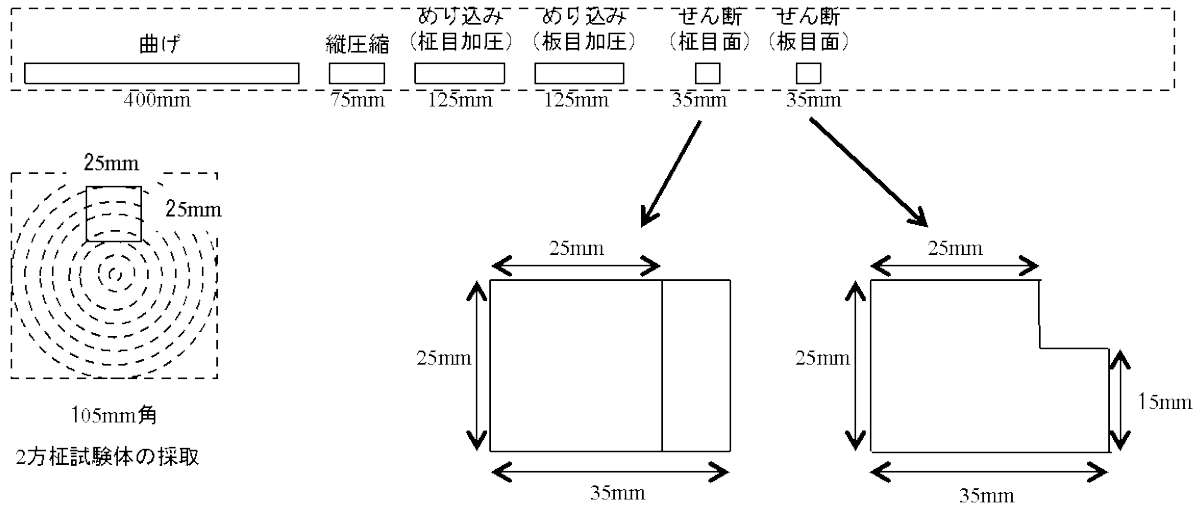


図 4.1 クリ無欠点小試験体の採取方法

4.3.3 クリ無欠点小試験体の強度試験結果

曲げ試験、縦圧縮、せん断、めり込み試験の結果をそれぞれ表 4.16~4.19 に示す。

曲げ強度、縦圧縮強度、板目面せん断強度について、平均値を単位換算すると、それぞれ $75.2\text{N/mm}^2 \div 767\text{kgf/cm}^2$ 、 $37.4\text{N/mm}^2 \div 382\text{kgf/cm}^2$ 、 $10.2\text{N/mm}^2 \div 104\text{kgf/cm}^2$ となる。この値をクリの無等級材の基準強度の算出根拠である無欠点小試験体の曲げ、縦圧縮、せん断の各基準強度値²⁾ 850kgf/cm^2 、 430kgf/cm^2 、 110kgf/cm^2 と比較した。その結果、曲げ強度、縦圧縮強度の各平均値は基準強度値を下回り、板目面せん断強度の平均値は基準強度値とほぼ同等であった。曲げおよび縦圧縮強度の平均値が基準強度を下回った理由として、本試験体で用いたクリの密度の平均値が曲げ試験体および縦圧縮試験体でそれぞれ 527kg/m^3 、 524kg/m^3 であり、「木材工業ハンドブック」の平均値 600kg/m^3 と比べるとかなり小さかったことが考えられる。

一方、実大材の曲げ強度、縦圧縮強度は現行の基準強度を満足していた。現行の無等級材の基準強度は無欠点小試験体の基準強度値に強度比を乗じることにより算出されており、曲げ、縦圧縮の各強度比（普通構造材）は 0.45、0.62 となっている。本試験の同一の試験体から採取した実大材と無欠点小試験体の強度比（実大材/無欠点小試験体）の平均値は、曲げ、縦圧縮でそれぞれ 0.66、0.87 であり、無等級材の強度比と比べていずれも大きい値であったことが、実大材で基準強度を満足した一因であったと考えられる。

表 4.16 クリ無欠点小試験体の曲げ試験の結果（平均値、カッコ内は変動係数（％））

試験体数	試験時の密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E_{fr} (kN/mm ²)	E_b (kN/mm ²)	σ_{bp} (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
77	527 (8.78)	13.8 (6.21)	10.7 (14.6)	9.68 (13.5)	42.5 (16.6)	75.2 (12.4)

記号 E_{fr} :縦振動法によるヤング係数、 E_b :見かけの曲げヤング係数、 σ_{bp} :曲げ比例限度応力、 σ_b :曲げ強度

表 4.17 クリ無欠点小試験体の縦圧縮試験の結果（平均値、カッコ内は変動係数（％））

試験体数	試験時の密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E_c (kN/mm ²)	σ_{cp} (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)
84	524 (8.61)	14.8 (3.50)	10.9 (17.0)	24.6 (24.2)	37.4 (11.3)

記号 E_c :縦圧縮ヤング係数、 σ_{cp} :縦圧縮比例限度応力、 σ_c :縦圧縮強度

表 4.18 クリ無欠点小試験体のせん断試験の結果（平均値、カッコ内は変動係数（％））

	試験体数	試験時の密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	σ_s (N/mm ²)
板目面せん断	76	520 (8.50)	13.8 (4.35)	10.2 (14.2)
柁目面せん断	80	521 (9.01)	13.8 (4.39)	10.3 (10.2)

記号 σ_s :せん断強度

表 4.19 クリ無欠点小試験体のめり込み試験の結果（平均値、カッコ内は変動係数（％））

	試験体数	試験時の密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	σ_{cv-p} (N/mm ²)	$\sigma_{cv-5\%}$ (N/mm ²)
板目面加圧	84	524 (9.15)	14.6 (7.01)	6.66 (20.2)	11.4 (16.6)
柁目面加圧	84	526 (9.98)	15.0 (12.7)	5.41 (17.5)	10.0 (16.7)

記号 σ_{cv-p} :めり込み比例限度応力、 $\sigma_{cv-5\%}$:辺長が5%変形時の応力

4.3.4 クリ無欠点小試験体の強度試験のまとめ

クリの無欠点小試験体を用いて曲げ、縦圧縮、せん断、めり込みの各強度試験を行った。曲げ強度、縦圧縮強度、板目面せん断強度の平均値はそれぞれ 75.2N/mm²、37.4N/mm²、

10. $2\text{N}/\text{mm}^2$ であった。試験結果を無等級材の基準強度の算出根拠である無欠点小試験体の曲げ、縦圧縮、せん断の各基準強度値と比較した結果、曲げ強度、縦圧縮強度の各平均値は基準強度値を下回り、板目面せん断強度の平均値は基準強度値とほぼ同等であった。ただし、本試験体で用いたクリの密度の平均値は曲げ試験体および縦圧縮試験体でそれぞれ $527\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $524\text{kg}/\text{m}^3$ であり、「木材工業ハンドブック」の平均値 $600\text{kg}/\text{m}^3$ と比べるとかなり小さかった。

4.4 事業を通して得られた結論と今後の課題

針葉樹材のベイヒバ、広葉樹材のケヤキ、クリを対象として、実大材および無欠点小試験体による各強度試験を実施し、基準強度の設定に資する強度性能データを明らかにすることを目的とした。

ベイヒバについては、実大材および無欠点小試験体による強度試験の結果から、現行の「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」樹種群に含めることが適当であると考えられた。

ケヤキおよびクリについては、実大材による強度試験の結果から、針葉樹材と同様、目視等級区分法や機械等級区分法が適用可能であることが明らかとなった。無等級材の基準強度との比較については、実大材の強度試験の結果から、ケヤキ、クリとも現行の基準強度は概ね妥当であることが明らかとなった。以上のことから、現在広葉樹製材が適用されていない「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材および機械等級区分構造用製材に関して、広葉樹材の基準強度を新たに設定できる可能性が示された。

また、広葉樹材については以下の課題も明らかとなった。クリの縦引張り試験体の含水率が気乾状態に達していなかったため、今後、クリを含む広葉樹材における含水率と縦引張り強度との関係を把握した上で、以上の結果が妥当であるか再検証する必要がある。繊維傾斜が等級区分や強度性能に及ぼす影響に関しては未解明な部分があるため、繊維傾斜の測定位置、測定方法などについて今後も検討が必要である。実大材と無欠点小試験体の強度比はケヤキ、クリともに針葉樹材から誘導されたと考えられる現行の強度比よりも大きかったため、今後も検討が必要である。

