

第3章 無等級材の基準強度に関する検討

3.1 ベイヒバの基準強度に関する検討

3.1.1 はじめに

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ベイヒバ (*Chamaecyparis nootkatensis*) 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。前年度はベイヒバ製材の曲げ、縦圧縮、縦引張り、せん断、めり込みの各試験を行った。その結果、ベイヒバを現在の無等級材の樹種群に追加する場合、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」と同じ樹種群に含めることが適当であると結論づけた。

一方、現行の無等級材の基準強度は、無欠点小試験体によって得られた基準強度値に基づいて誘導されていると考えられる（平成 21 年度の報告書を参照）。そこで本年度は前年度に試験を行ったベイヒバ製材（実大試験体）の非破壊部分から無欠点小試験体を採取し、強度試験を行った。無欠点小試験体の強度試験の結果を製材品の強度試験の結果（井道ら、森林総合研究所研究報告, Vol.9 No.3 125-148, 2010）と比較するとともに、他樹種群の基準強度値と比較し、ベイヒバの基準強度設定における整合性を検証した。

3.1.2 曲げ強度

試験終了後の実大曲げ試験体のうち、非破壊部分が存在する試験体について、可能な限り JIS Z 2101 の曲げ試験に従った無欠点小試験体を採取した。試験体の採取個所は、実大試験体（105mm 角）の木口断面における髓側、樹皮側の 2 個所とした。（ただし、実大試験体には心持ち材と心去り材が混在していた。）木口断面から見た無欠点小試験体の採取位置を図 3.1.2-1 に示す。試験体寸法は 25mm（R 方向）×25mm（T 方向）×400mm（L 方向）とし、JIS Z 2101 に従って、スパン 350mm で中央集中荷重による曲げ試験を行った。また、本試験で用いたベイヒバは年輪幅が非常に狭く、平均年輪幅を測定することはできなかった。

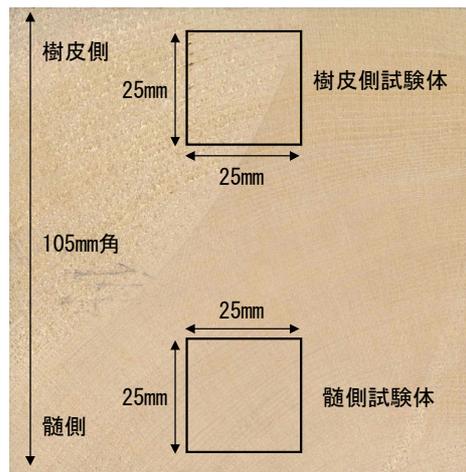


図 3.1.2-1 無欠点小試験体の採取位置（心去り材の場合）

曲げ試験の結果を表 3.1.2-1 に示す。各物性値で樹皮側と髄側との違いはほとんど見られなかった。ただし、105mm 角の断面内では両試験体間の距離が比較的近いこと、半径方向の影響が出にくかった可能性があると考えられる。

全試験体の曲げ強度の平均値 86.2N/mm^2 を用いて、無等級材の基準強度との比較を行った。曲げ強度の平均値を KGS 単位に換算すると、 880kgf/cm^2 となる。表 3.1.2-2 に無等級材の基準強度を定める際の基礎データとなった、無欠点小試験体による基準強度値を示す。実験により得られたベイヒバの基準強度値 880kgf/cm^2 は、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」の樹种群の基準強度値である 750kgf/cm^2 を大きく上回っていた。すなわち、実大試験の結果と同様、無欠点小試験体から求めた基準強度値から基準強度を算出した場合でも、ベイヒバを「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」の樹种群に割り当てることに問題はないことがわかった。

表 3.1.2-1 ベイヒバ無欠点小試験体の曲げ試験の結果

	n	ρ (kg/m^3)	MC (%)	E_{fr} (kN/mm^2)	E_b (kN/mm^2)	σ_{bp} (N/mm^2)	σ_b (N/mm^2)	σ_b 下限値 (N/mm^2)
樹皮側(平均値)	68	503	11.6	11.7	10.7	44.7	86.6	66.3
(変動係数(%))		(8.58)	(3.87)	(20.5)	(18.9)	(17.8)	(13.6)	
髄側(平均値)	68	508	11.6	11.4	10.4	44.6	85.8	66.5
(変動係数(%))		(8.06)	(3.90)	(17.9)	(16.7)	(13.8)	(11.0)	

注：n：試験体数、 ρ ：密度、MC：含水率、 E_{fr} ：縦振動法によるヤング係数、 E_b ：曲げヤング係数、 σ_{bp} ：比例限度応力、 σ_b ：曲げ強度、 σ_b 下限値：順位統計によって算出した信頼水準 75%における 95%下側許容限界値

表 3.1.2-2 無欠点小試験体による強度データから得た基準強度値と無等級材の曲げ基準強度

			無欠点小試験体			実大材
			圧縮 (kgf/cm ²)	曲げ (kgf/cm ²)	せん断 (kgf/cm ²)	F _b (N/mm ²)
針 葉 樹	I	あかまつ、くろまつ、べいまつ	450	800	90	28.2
	II	からまつ、ひば、ひのき、べいひ	425	750	80	26.7
		<u>べいひば</u>		<u>880</u>		<u>26.8</u>
	III	つが、べいつが	400	700	80	25.2
	IV	もみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、 すぎ、べいすぎ、スプルース	350	650	70	22.2
広 葉 樹	I	かし	550	1100	160	38.4
	II	くり、なら、ぶな、けやき	430	850	110	29.4

注：ベイヒバ実大材の F_b は、前年度の実大試験体の試験結果から順位統計によって算出した信頼水準 75%における 95%下側許容限界値

次に、実大試験体と、実大試験体と同じ試験体から採取した無欠点小試験体について、実大試験体の等級区分ごとに強度比（実大試験体の強度／無欠点小試験体の強度）を算出した。結果を表 3.1.2-3 に示す。各等級の試験体数は異なり、かつ試験体数も少ないものの、全長における等級区分および荷重点間における等級区分に対して、おおむね等級が下がるに従って強度比も低下することがわかった。等級に係わらず全試験体で見ると、強度比は 0.58～0.59 となり、無等級材（普通構造材）における曲げの強度比 0.45 よりも大きかった。

表 3.1.2-3 実大試験体の等級区分ごとの強度比
（実大試験体の強度／無欠点小試験体の強度）

実大試験 体の等級	全長における等級区分			荷重点間における等級区分		
	試験体数 (割合 (%))	強度比 (樹皮側試験体)	強度比 (髓側試験体)	試験体数 (割合 (%))	強度比 (樹皮側試験体)	強度比 (髓側試験体)
1 級	7 (10)	0.62	0.67	21 (31)	0.58	0.62
2 級	25 (38)	0.62	0.62	27 (40)	0.60	0.61
3 級	25 (38)	0.56	0.57	17 (25)	0.57	0.54
格外	11 (16)	0.54	0.51	3 (4)	0.50	0.45
全試験体	68 (100)	0.58	0.59	68 (100)	0.58	0.59

3.1.3 むり込み強度

曲げ試験体と同様、試験終了後の実大曲げ試験体のうち、非破壊部分が存在する試験体について、可能な限り JIS Z 2101 のむり込み試験（部分圧縮試験）に従った無欠点小試験体を採用した。試験体の採取個所は、曲げ試験体と同様、実大試験体（105mm 角）断面における髓側、樹皮側の 2 体とした。試験体寸法は 25mm（R 方向）×25mm（T 方向）×75mm（L 方向）とした。曲げ試験の結果から樹皮側と髓側との違いがあまり見られなかったため、むり込み試験に際しては、試験体番号順に交互に半径方向に加圧する試験体と接線方向に加圧する試験体とに振り分けた。JIS Z 2101 に従ってむり込み試験を行った。ただし、試験体採取の際、追衿となった試験体が半径方向加圧試験体で 12 体（13%）、接線方向加圧試験体で 10 体（11%）あった。

むり込み試験の結果を表 3.1.3-1 に示す。むり込み比例限度応力では半径方向加圧と接線方向加圧の間には平均値に優位な差はなかった。一方、辺長の 5% むり込み強度では半径方向加圧のほうが接線方向加圧に比べて有意水準 95%において平均値が優位に大きかった。現行のむり込み基準強度は、無欠点小試験体によって得られた比例限度の平均値を 1.5 倍した値であると考えられる（平成 21 年度の報告書を参照）。製材のむり込みの基準強度を表 3.1.3-2 に示す。半径方向加圧と接線方向加圧とのむり込み比例限度応力の平均値 5.75N/mm^2 の 1.5 倍は 8.625N/mm^2 となる。この値は、実大試験体によるむり込み試験でベイヒバを割り当てるのに適当であるとした、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」の樹種群のむり込みの基準強度 7.8N/mm^2 を上回っていた。すなわち、実大試験の結果と同様、無欠点小試験体の試験結果においても、ベイヒバを現在の製材のむり込み基準強度に追加する場合、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」と同じ樹種群に割り当てることに問題はないことがわかった。

表 3.1.3-1 ベイヒバ無欠点小試験体の JIS むり込み試験の結果

	n	ρ (kg/m^3)	MC (%)	σ_{ep} (N/mm^2)	$\sigma_{e5\%}$ (N/mm^2)
半径方向加圧(平均値) (変動係数(%))	90	501 (9.06)	12.4 (3.66)	5.84 (27.4)	11.1 (24.0)
接線方向加圧(平均値) (変動係数(%))	90	500 (8.92)	12.4 (3.48)	5.66 (34.0)	10.3 (25.3)

注： σ_{ep} ：むり込み比例限度応力、 $\sigma_{e5\%}$ ：辺長の 5% むり込み強度

表 3.1.3-2 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）

樹種		基準強度 (N/mm ²)
	あかまつ、くろまつ、べいまつ	9.0
	からまつ、ひば、ひのき、べいひ	7.8
針葉樹	つが、べいつが、もみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ、べいすぎ、スプルース	6.0
	かし	12.0
広葉樹	くり、なら、ぶな、けやき	10.8

3.2 広葉樹製材（ケヤキ）の強度性能に関する検討

3.2.1 はじめに

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、実務者からの要望が最も大きかったケヤキを取り上げ、強度試験を行った。実大曲げ試験は前年度「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験実施委員会（平成20～21年度）」において実施した。参考として実大曲げ試験の結果を表3.2.1-1に示す。本年度は実大曲げ試験体の非破壊部分から、実大縦圧縮試験体と曲げ無欠点小試験体を採用し、各試験を行った。

表 3.2.1-1 実大曲げ試験の結果

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)	みかけの曲げ 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	平均値	718	23.4	11.8	9.67	36.0	60.5
n=10	変動係数 (%)	5.83	41.6	8.98	10.3	17.3	23.7
愛知	平均値	677	48.3	10.5	8.51	30.2	50.0
n=10	変動係数 (%)	5.76	30.9	11.4	12.6	23.8	28.8
宮崎	平均値	721	20.6	12.4	10.2	36.2	66.7
n=10	変動係数 (%)	5.39	38.1	12.9	12.2	23.1	18.7
合計	平均値	705	26.7	11.6	9.45	34.2	59.0
n=30	変動係数 (%)	6.18	55.5	12.9	13.5	22.3	25.4

3.2.2 実大縦圧縮強度

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。曲げ試験後の非破壊部分から実大縦圧縮試験体を採用した。試験体の断面寸法は230mm×230mm、長さは1000mmとした。試験装置は、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（写真3.2.2-1、3.2.2-2）。



写真 3. 2. 2-1 実大縦圧縮試験の様子



写真 3. 2. 2-2 試験後の様子（赤線が破壊部分）

実大縦圧縮試験の結果を表 3. 2. 2-1 に示す。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 $\times 115 / (100 + \text{含水率})$ によって算出した。正規分布を仮定して全結果から縦圧縮強度特性値（信頼水準 75%における 95%下側許容限界値）を算出すると、 24.4N/mm^2 となり、現行のケヤキの縦圧縮基準強度 21.0N/mm^2 を上回った。ただし、本試験体の含水率は気乾状態（含水率 15%）を上回るものが大部分であったため、気乾状態で試験を行った場合はさらなる強度特性値の上昇が予想される。また、実大曲げ試験の結果（表 3. 2. 1-1）から得られた曲げ強度特性値は 31.0N/mm^2 であった。縦圧縮強度特性値と曲げ強度特性値の強度比（縦圧縮／曲げ）を算出すると 0.79 となり、スギ製材品を対象とした報告とほぼ同様の結果であった。購入地別に縦圧縮強度を比較すると、平均値は 3 地域でやや異なり愛知の試験体の縦圧縮強度が最も低かった。ただし、愛知の試験体の含水率は他の 2 地域に比べて高かった。含水率の低下に伴う縦圧縮強度の上昇を考慮すると、購入地による縦圧縮強度の違いは大きくないと考えられる。また、前年度の聞き取り調査から、ケヤキの取引が全国的に広範囲でなされていることがわかっており、このことからケヤキの強度の地域間差を検討することは困難であった。

表 3. 2. 2-1 実大縦圧縮試験の結果

購入地 n=試験体数		試験時の 密度 (kg/m ³)	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	平均値	756	728	19. 4	11. 3	21. 9	40. 9
n=10	(変動係数(%))	(8. 04)	(6. 54)	(25. 6)	(21. 6)	(26. 1)	(11. 7)
愛知	平均値	752	702	23. 1	8. 89	17. 9	34. 8
n=10	(変動係数(%))	(9. 83)	(7. 47)	(29. 1)	(18. 2)	(24. 1)	(24. 1)
宮崎	平均値	752	732	18. 1	10. 1	17. 8	37. 4
n=10	(変動係数(%))	(7. 08)	(4. 05)	(24. 3)	(24. 4)	(17. 4)	(18. 6)
合計	平均値	753	721	20. 2	10. 1	19. 2	37. 7
n=30	(変動係数(%))	(8. 10)	(6. 23)	(28. 2)	(23. 4)	(24. 8)	(18. 8)

3. 2. 3 無欠点小試験体の曲げ強度

実大曲げ試験体の非破壊部分から、曲げ試験用の無欠点小試験体を採取した。試験体は 2 方柱材とし、実大試験体の髓側と樹皮側から採取した。寸法は 25mm×25mm×400mm とした。JIS Z 2101 に従って曲げ試験を行った。曲げ試験の様子と破壊後の試験体の例をそれぞれ写真 3. 2. 3-1、3. 2. 3-2 に示す。

また、実大試験体とは別に、髓を含んだケヤキ板材を 2 体入手した。これらの板材から髓側から樹皮側に向かって無欠点小試験体を複数体採取した。試験体の寸法は 20mm×20mm×320mm とした。JIS Z 2101 に従って曲げ試験を行い、曲げ強度性能の半径方向の変動について検討した。ケヤキ板材の木口断面と破壊後の試験体の例をそれぞれ写真 3. 2. 3-3、3. 2. 3-4 に示す。



写真 3. 2. 3-1 無欠点小試験体の曲げ試験の様子



写真 3. 2. 3-2 破壊後の試験体の例



写真 3. 2. 3-3 ケヤキ板材の木口断面
(上：試験体 No. 1、下：試験体 No. 2)



写真 3. 2. 3-4 破壊後の試験体の例

実大曲げ試験体から採取した無欠点小試験体の曲げ試験の結果を表 3. 2. 3-1 に示す。髓側試験体と樹皮側試験体との曲げ強度の大小の傾向は各購入地で異なり、試験体採取位置による強度の違いは明確ではなかった。すべての地域の合計では髓側試験体と樹皮側試験体との曲げ強度の平均値はいずれも 110 N/mm^2 で等しかった。みかけの曲げヤング係数は、髓側の平均値が 11.3 kN/mm^2 、樹皮側の平均値が 11.1 kN/mm^2 であり、曲げ強度と同様、採取位置による違いは明確ではなかった。また、「木材工業ハンドブック」のケヤキの曲げ強度の平均値は 100 N/mm^2 、曲げヤング係数の平均値は 12.0 kN/mm^2 であるので、本試験のケヤキは文献値と比べて曲げ強度が若干大きく、曲げヤング係数が若干小さかった。

ここで、曲げ強度の平均値 110 N/mm^2 を用いて、無等級材の基準強度との比較を行った。曲げ強度の平均値を KGS 単位に換算すると、 1122 kgf/cm^2 となる。無等級材の基準強度を設定する際の基礎データとなった無欠点小試験体によるケヤキの基準強度値は 850 kgf/cm^2 であるので（平成 21 年度の報告書を参照）、本試験体の平均値は基準強度値を大きく上回っていた。また、同じ供試体から採取した実大試験体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、実大試験体は無欠点小試験体の強度比（実大試験体/無欠点小試験体）は 0.52（樹皮側との比較）、0.53（髓側との比較）であった。無等級材（普通構造材）の曲げの強度比（実大試験体/無欠点小試験体）は 0.45 が採用されている。そのため、今回のケヤキの曲げの強度比は無等級材で採用されている値に比べて、実大試験体と無欠点小試験体との差は小さいという結果となった。

表 3.2.3-1 無欠点小試験体の曲げ試験の結果

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

ケヤキ板材から採取した無欠点小試験体の密度、縦振動法のヤング係数、曲げ強度の半径方向の推移を図 3.2.3-1 に示す。試験体 No.1 では、密度、縦振動法のヤング係数、曲げ強度のいずれにおいても半径方向の変動は明確ではなかった。試験体 No.2 では、密度、縦振動法のヤング係数、曲げ強度のいずれにおいても樹皮側の値が低下していた。ただし、これは板材の樹皮側端部に劣化が存在したためであると考えられる。試験体 No.2 の樹皮側の劣化を検討から除外して、本試験体で用いた 2 体のケヤキ板材の密度、縦振動法のヤング係数、曲げ強度の各パラメータの半径方向の変動を見た。その結果、ケヤキでは、一般の針葉樹材で見られる、髓から樹皮側に向かってヤング係数や曲げ強度が増大する未成熟材部の存在は認められなかった。

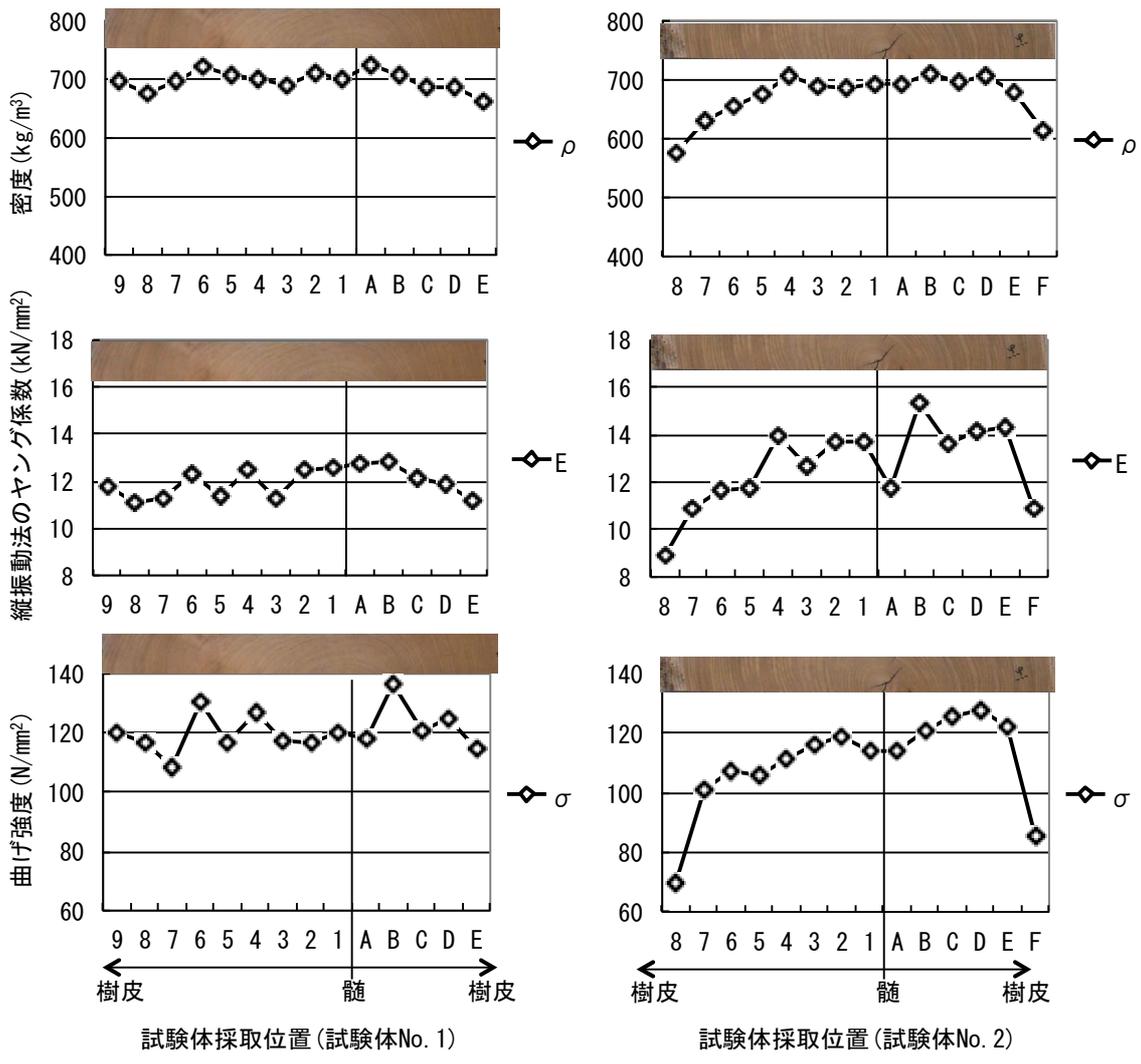


図 3. 2. 3-1 半径方向の密度、縦振動法のヤング係数、曲げ強度の推移

3.3 国産材枠組壁工法構造用製材に適用する基準強度の妥当性に関する検討

枠組壁工法構造用製材では北米の樹種群に対応して基準強度が与えられており、国産材についてもそれぞれの樹種群に振り分けられている。しかし、国産材を各樹種群へ割り当てた根拠が明確でなく、また本寸法型式の国産材による強度データ量が十分ではないため、樹種群配置の妥当性について検証されていない。

平成 22 年度の林野庁補助事業として「2×4住宅部材の開発事業」（事業主体：全国木材協同組合連合会）が実施されており、枠組壁工法住宅に使用される部材の開発を目的に進められている。その事業の柱の一つが、国産材による**枠組壁工法構造用製材の強度性能の解明**であり、**膨大な試験体の曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・めり込み試験**が計画されている。

そこで、現在、本事業によって得られた強度データを収集中であり、次年度にはこれらのデータを解析し、現行の基準強度の妥当性について検討する予定である。

3.4 まとめ

ベイヒバの無欠点小試験体を用いて曲げ試験、めり込み試験を行った結果、実大材での結果と同様、ベイヒバを現在の無等級材の樹種群に追加する場合、「からまつ、ひば、ひのき、べいひ」と同じ樹種群に含めることに問題はないことがわかった。ケヤキの実大縦圧縮試験を実施し、縦圧縮強度特性値を算出した結果、曲げ強度と同様、現行の無等級材の基準強度を満足していた。