

カラマツ造林木の収縮率

中野達夫*・朱建軍**・武田孝志***・徳本守彦***

* 前信州大学農学部

** 岐阜大学大学院連合農学研究科

*** 信州大学農学部森林科学科

1. はじめに

カラマツは寒冷地に生育する樹種であることから、長野県を含む本州中部の高海拔地や、北海道、岩手県など本州東北部地方において、短伐期造林樹種の旗手として大面積にわたって植栽されてきた。現在では樹齢40～50年生までに成長してきている状況にある。しかし、樹心から20～30年くらいの未成熟材部においては、繊維のねじれなどによる材のねじれ狂いや割れなど、多くの欠点により心持ち正角材としての利用は敬遠されてきた¹⁾。そのため、短伐期施業から長伐期施業への切り替えが必要となってくるが、カラマツは造林の歴史が浅く、高々100年余に過ぎないため、高樹齢木での材の性質に関するデータが必ずしも十分でない。そのようなデータの不足を補うため、できるだけ高樹齢のカラマツ造林木を入手し、成長と各種木材の性質との関係について検討してきた^{2,3,4)}。本報告ではカラマツ材の各種性質のうち収縮について測定した結果を報告する。

2. 試験材料及び方法

試験を行った供試木の概要は表1のとおりである。これらの供試木において、地上高1.2m、以下3ないし4m毎に円板を採取し、各円板の2半径方向において、樹心から外側に向かって、JISに定められた木口試験片（接線方向30mm×半径方向30mm×繊維方向5mm）及び柾目試験片（接線方向5mm×半径方向30mm×繊維方向60mm）をそれぞれ連続的に木取った。また、測定方法はJISに準じた。

表1 供試木の概要

試料No	採取地	樹齢(年)	本数	胸高直径(cm)	樹高(m)	枝下高(m)
No.1	手良沢山演習林	70	1	48	25	14
			1	24	25	14
		45	2	40	29,33	13,14
			2	24,28	29	20,24
No.2	数原営林署管内	70	6	34～54	23～32	11～16
No.3	浅間山国有林	106	3	66～72	30～33	14～17
			3	44～48	30～31	14～19

3. 測定結果及び考察

3.1 収縮率のデータによる各種欠点の判別

試験片の採取のところで述べたように、円板の半径方向において、所定の試験片をできるだけ連続的に取ろうとすると、アテや目切れ、繊維の蛇行などの欠点を伴った試験片がどうしても含まれる。データの整理に当たってはこのような欠点を避け、できるだけ正常材についてのデータを用いて収縮現象を解析する必要がある。

収縮率に一番異常な影響をもたらすのはアテである。典型的なアテ材の収縮率は繊維方向で著しく大きく、横断面2方向でかなり小さくなることが知られている。しかしこれらの影響度はアテの程度によって異なってくる。またアテは試験片の全ての年輪に含まれているわけではなく、試験片の一部の年輪のみがアテの場合が多い。したがってアテ材としてデータを棄却する判定基準はかなり難しい。

まず、繊維方向の収縮率を測定する柾目試験片については、アテのほか目切れや主として節の影響による繊維の蛇行も繊維方向の収縮率に影響を及ぼすことから、繊維方向の収縮率の大きい試験片について、肉眼的にアテかどうかを判定するとともに、目切れや繊維の蛇行があるかどうかを調べた。

その結果、繊維方向の全収縮率（生材から全乾までの収縮率）が0.4%を超えるものはほぼアテ、目切れや繊維の蛇行が著しいものであることがわかったので、これを基準にデータの棄却を行った。

次に横断面収縮率の測定を行う木口試験片については、アテが横断面の収縮を少なくすることと、容積密度を大きくすることに着目し検討した。すなわち、肉眼的にアテの存在を確かめながら、半径方向の全収縮率(β_r)と容積密度(R)の比(β_r/R)がどのような値をとるかを検討した結果、この比が7未満の場合、アテの影響があることがわかったので、これを基準にデータの棄却を行った。

このような基準で棄却していくと、アテとは直接関係のないとされる樹心部に近い材もほとんど棄却

された。以上の棄却の結果、ほぼ正常材についての収縮値が得られたものと考えられる。

なお半径方向と接線方向の収縮率から求めた容積全収縮率 (β_v) と容積密度の比 (β_v/R) を用いて、 β_v/R の場合と同様の検討を行うことも考えられるが、カラマツの場合、後述するように、接線方向の収縮率が早材で測るか晩材で測るかによってかなり異なることから、あえて半径方向の収縮率でアテ材の判別を行った。

3.2 早材と晩材の接線方向の収縮率

カラマツは早材と晩材で細胞形態が著しく異なり、収縮率も両者でかなり異なる。半径方向の場合、早材と晩材で収縮率が異なっている、それらが積算される形をとるので問題ないが、接線方向の場合、両者の収縮率の違いが柾目面に凹凸となって現れる。晩材の収縮率は大きいためへこみとなり、早材の収縮率は小さいため突出する。

JIS 規格では、予め生材の時に引いた線上で測定することになっているが、カラマツの場合、年輪幅が広くなると早材と晩材の収縮率の違いが著しく目立ち、線上で測定するだけでは実情に合わないことになる。接線方向の収縮率 (β_t) を早材と晩材で測定し、異方度 (β_t/β_r) と年輪幅の関係を示すと図 1 (A), (B) のとおりである。図 1 (A) には柾

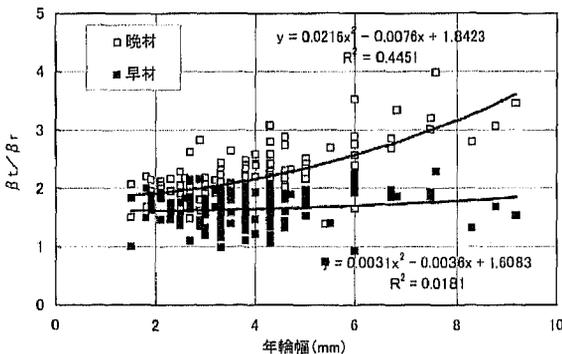


図 1 (A) 早材・晩材別の β_t/β_r と年輪幅との関係 (柾目試験片)

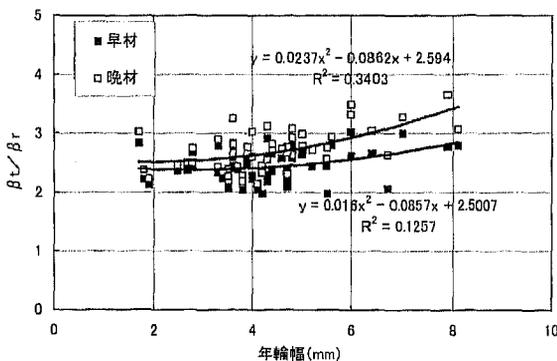


図 1 (B) 早材・晩材別の年輪幅と β_t/β_r との関係 (木口試験片)

目試験片で測定した異方度を、また図 1 (B) には木口試験片で測定した異方度を示している。

図 1 (A) の柾目試験片で測定した異方度は年輪幅の狭いところでは早材と晩材の収縮異方度にあまり差はないが、年輪幅が 3 mm を超えると晩材の異方度が早材の異方度よりかなり大きくなる傾向を示す。これに対し、図 1 (B) の木口試験片で測定した異方度は晩材が早材より大きい、その差は柾目試験片におけるものより小さい。また柾目試験片の早材の異方度は 2 より小さいものが多いが、木口試験片の早材の異方度は 2 より大きい。

このような現象が現れるのは、試験片の形状によるものと考えられる。すなわち、柾目試験片の接線方向の長さは 5 mm であるのに対し、木口試験片の同方向の長さは 30 mm で、接線方向の長さが短い柾目試験片においては、収縮応力の影響が少なく、早材と晩材の収縮率の差がほぼそのまま顕著に現れることを示している。これに対して、接線方向の長さが長い木口試験片においては大きい収縮応力を持つ晩材の収縮が支配的になり、早材の収縮はより晩材に近づくことになる。

12cm 正角のような実大寸法においても早・晩材の収縮に伴う凹凸は常に観察されるが、柾目試験片において認められるほど著しくはない。これらのことから、接線方向の長さが長くなると柾目面における凹凸が応力緩和によって小さくなり、一定になるようであるが、接線方向の長さがどの程度になれば一定になるのか明らかでない。いずれにしても、このような早・晩材の密度差に伴うカラマツ独特の収縮現象はデータを理解する上で注意すべきであろう。

3.3 年輪幅と収縮率との関係

成長の良否が収縮率に及ぼす影響を調べるため、半径方向全収縮率、繊維方向全収縮率、容積密度、横断面収縮異方度などと年輪幅との関係を検討した。

横断面収縮率のうち、接線方向全収縮率は前述の

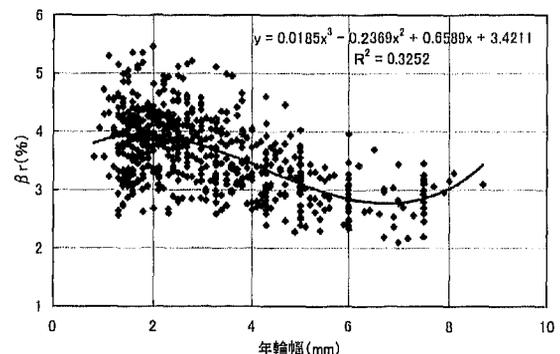


図 2 半径方向全収縮率 (β_r) と年輪幅との関係

ように早材と晩材で異なった値が出るため、半径方向全収縮率 (β_r) を用いることとした。 β_r と年輪幅との関係を図2に示す。これによると、年輪幅が小さなところでは、 β_r は大きな値をとるとともに著しい変動を示すが、それより年輪幅が広くなると、 β_r の値もその変動も減少する傾向を示す。

次に容積密度 (R) と年輪幅との関係を求めると図3のとおりで、 β_r の場合とはほぼ等しい傾向を示す。 β_r はRと相関が高いことが指摘されているが、本試験のカラマツについての両者の関係は図4のとおりで、相関係数0.7程度の正の相関が認められる。このようなRの影響をなくするため、 β_r/R を計算し、年輪幅との関係を求めると図5のとおりである。図から明らかなように、 β_r/R は年輪幅の増加に伴いわずかに減少する傾向が認められ、 β_r はRの影響を除くと年輪幅との関連性は少なくなる。

横断面収縮についてのもう一つの指標である収縮異方度 (β_t/β_r) と年輪幅との関係を図6に示す。 β_t/β_r は年輪幅の増加に伴って放物線状に増加するが、年輪幅が約3mmを超えるとバラツキが大きくなる。これは前述のように、年輪幅が広くなると β_t を晩材で測るか、早材で測るかによって β_t/β_r の値が異なってくることによる。図1 (A), (B) では

早材で測定した β_t/β_r と晩材で測定した β_t/β_r とを区分して示したが、この図は本口試験片の測定値で、早・晩材を区分して測定したものではない。もし、早材で測定していたとすれば、 β_t/β_r は同じ年輪幅でも小さい値が、また晩材で測定していたとすれば、同じ年輪幅でも大きい値が出ることになり、図6にはこのような値が混在し、年輪幅の広いところではバラツキが大きいことになる。

繊維方向全収縮率 (β_t) と年輪幅の関係を図7に示す。この図では前述のとおり β_t が0.4%以上のものは異常材と考え棄却している。この図によると、 β_t は年輪幅にかかわらず0%から0.4%の範囲に分散していることがわかる。 β_t に及ぼす年輪幅の影響

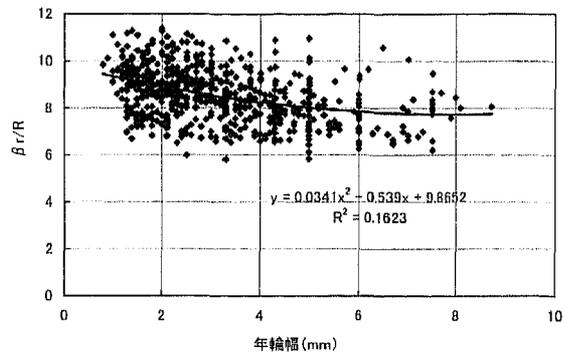


図5 比半径方向収縮率(β_r/R)と年輪幅との関係

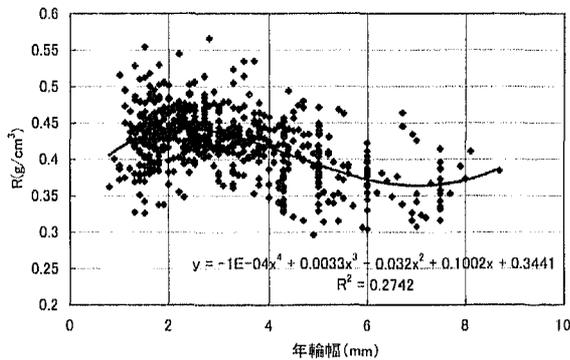


図3 容積密度(R)と年輪幅との関係

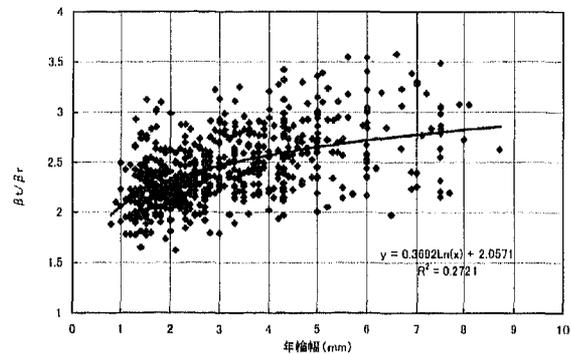


図6 収縮異方度(β_t/β_r)と年輪幅との関係

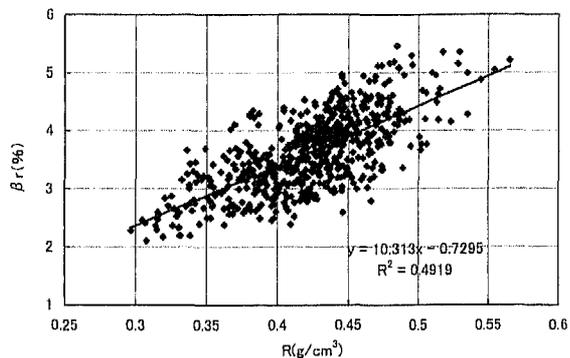


図4 半径方向全収縮率(β_r)と容積密度(R)との関係

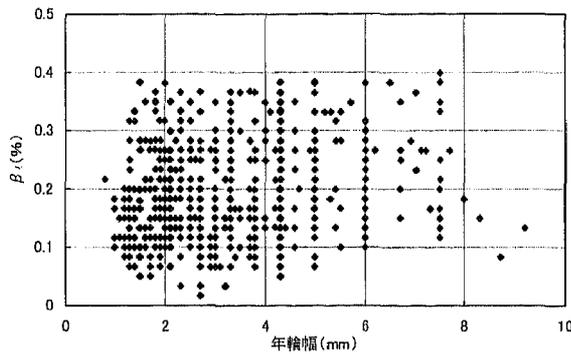


図7 繊維方向全収縮率(β_t)と年輪幅との関係

表2 試験材の採取地別収縮率一覧表

試験材		接線方向 (%)			半径方向 (%)			繊維方向 (%)			容積 (%)			密度 (g/cm ³)			年輪幅 (mm)	収縮特性値				
		δ	β_{15}	β	R	ρ_0	ρ_{15}		$\Delta v/\Delta w$	β_v/R	F.S.P.	β_t/β_r	β_r/R									
手良沢山 45年生	平均	0.32	4.03	8.70	0.14	1.50	3.56	0.01	0.04	0.21	0.48	5.63	12.40	0.41	0.47	0.50	4.00	1.10	30.17	27.46	2.49	8.61
	最大値	0.40	5.38	11.02	0.21	2.38	5.36	0.02	0.15	0.40	0.65	7.71	15.91	0.53	0.63	0.66	8.70	1.36	37.30	32.27	3.49	11.63
	最小値	0.19	2.41	5.29	0.08	0.86	2.19	0.01	-0.03	0.08	0.29	3.47	7.71	0.30	0.32	0.36	1.10	0.80	19.49	23.88	1.66	5.82
	標準偏差	0.05	0.64	1.23	0.03	0.36	0.71	0.00	0.04	0.08	0.07	0.93	1.73	0.04	0.06	0.06	1.85	0.10	3.02	1.47	0.33	1.20
	変動係数	11.89	11.93	11.13	12.67	15.05	13.32	15.23	25.42	18.91	10.68	12.03	10.87	8.23	9.02	8.50	21.31	7.35	8.09	4.55	9.38	10.28
手良沢山 70年生	平均	0.30	3.87	8.15	0.13	1.54	3.49	0.01	0.06	0.24	0.44	5.56	11.85	0.38	0.43	0.46	3.85	1.12	31.37	28.12	2.39	9.19
	最大値	0.38	5.14	10.45	0.19	2.62	5.46	0.02	0.17	0.37	0.58	7.93	15.96	0.48	0.58	0.61	7.70	1.31	36.82	32.66	3.40	12.85
	最小値	0.21	2.26	5.66	0.09	0.81	2.17	0.01	-0.02	0.12	0.32	3.57	8.25	0.30	0.34	0.37	1.30	0.86	24.13	24.88	1.40	6.79
	標準偏差	0.04	0.67	1.20	0.02	0.38	0.72	0.00	0.04	0.07	0.06	0.95	1.72	0.04	0.05	0.05	1.83	0.10	3.06	1.41	0.39	1.33
	変動係数	14.82	17.31	14.74	18.81	24.61	20.59	25.52	66.63	29.29	14.51	17.06	14.52	10.01	11.62	10.74	47.52	9.18	9.74	5.03	16.33	14.53
藪原 70年生	平均	0.35	4.20	9.24	0.15	1.58	3.75	0.01	0.02	0.17	0.50	5.69	12.71	0.43	0.49	0.53	3.05	1.09	29.62	27.18	2.52	8.66
	最大値	0.42	6.02	11.37	0.21	2.35	5.36	0.02	0.18	0.38	0.63	7.94	15.89	0.57	0.66	0.69	7.90	1.24	35.62	31.94	3.55	10.75
	最小値	0.24	2.40	6.90	0.09	0.84	2.11	0.01	-0.08	0.05	0.33	3.49	8.92	0.31	0.	0.37	1.20	0.86	22.42	22.92	1.65	6.52
	標準偏差	0.04	0.72	1.06	0.03	0.34	0.69	0.00	0.05	0.07	0.06	0.91	1.49	0.05	0.06	0.06	1.53	0.09	2.94	1.64	0.40	0.99
	変動係数	10.01	17.18	11.46	17.93	21.22	18.30	22.64	243.4	44.21	11.55	15.92	11.70	10.95	12.00	11.34	50.20	8.05	9.93	6.02	15.71	11.47
浅間山 106年生	平均	0.33	3.81	8.57	0.14	1.50	3.63	0.01	0.03	0.18	0.47	5.24	11.98	0.43	0.49	0.53	2.77	1.04	27.69	26.67	2.39	8.35
	最大値	0.40	5.33	10.61	0.21	2.30	5.16	0.02	0.18	0.38	0.60	7.39	15.22	0.55	0.64	0.68	8.10	1.36	35.63	33.19	3.58	11.12
	最小値	0.20	1.96	5.60	0.09	0.90	2.38	0.00	-0.07	0.02	0.28	2.88	8.07	0.33	0.37	0.39	0.80	0.73	20.61	23.30	1.77	6.52
	標準偏差	0.03	0.67	1.05	0.02	0.28	0.57	0.00	0.05	0.09	0.05	0.84	1.37	0.04	0.04	0.05	1.26	0.10	3.24	1.50	0.33	1.04
	変動係数	10.51	17.60	12.20	15.18	18.76	15.62	25.45	205.1	48.16	10.59	16.01	11.47	8.32	9.01	8.57	45.45	10.09	11.70	5.63	13.90	12.40
計	平均	0.33	3.96	8.70	0.14	1.52	3.62	0.01	0.03	0.19	0.48	5.47	12.23	0.42	0.48	0.51	3.26	1.07	29.14	27.14	2.44	8.58
	最大値	0.42	6.02	11.37	0.21	2.62	5.46	0.02	0.18	0.40	0.65	7.94	15.96	0.57	0.66	0.69	8.70	1.36	37.30	33.19	3.58	12.85
	最小値	0.19	1.96	5.29	0.08	0.81	2.11	0.00	-0.08	0.02	0.28	2.88	7.71	0.30	0.32	0.36	0.80	0.73	19.49	22.92	1.40	5.82
	標準偏差	0.04	0.69	1.16	0.02	0.33	0.65	0.00	0.05	0.08	0.06	0.91	1.56	0.04	0.06	0.06	1.64	0.10	3.37	1.58	0.36	1.13
	変動係数	12.85	17.46	13.31	17.41	21.41	18.02	26.49	154.0	43.22	12.62	16.61	12.78	10.57	11.56	10.90	50.27	9.72	11.56	5.84	14.56	13.21

(注) : δ : 含水率1%当たりの収縮率 (平均収縮率)
 β_{15} : 生材から気乾までの収縮率 (気乾収縮率)
 β : 生材から全乾までの収縮率 (全収縮率)
R : 容積密度
 ρ_0 : 全乾密度
 ρ_{15} : 気乾密度
 $\Delta v/\Delta w$: 水1g当たりの弁積収縮量

β_v/R : 容積収縮率と容積密度の比 (比容積収縮率)
F.S.P. : 収縮率から求めた繊維飽和点
 β_t/β_r : 収縮異方度
 β_r/R : 半径方向収縮率と容積密度の比 (比半径方向収縮率)

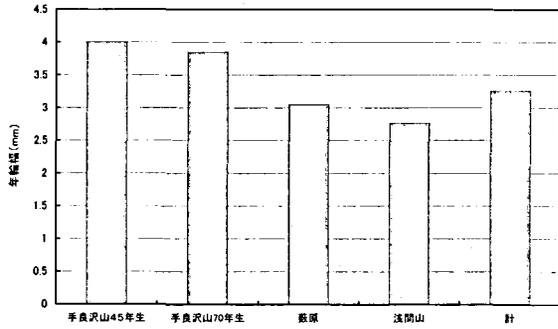


図8 年輪幅の試験材の採取地別比較

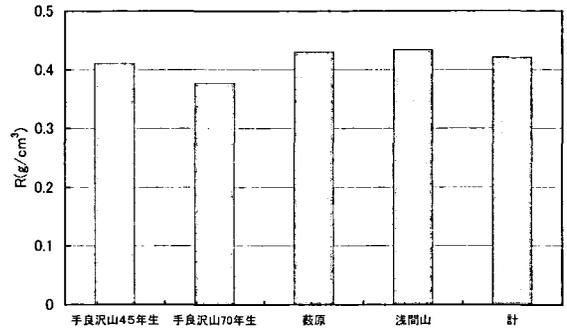


図9 容積密度(R)の試験材の採取地別比較

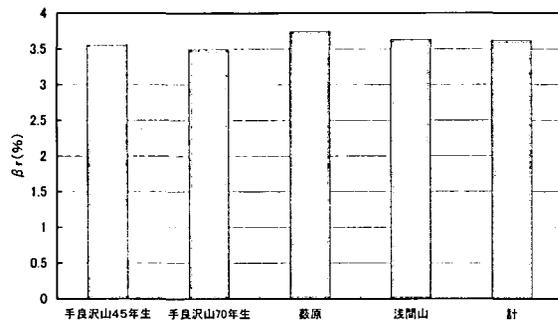


図10 半径方向全収縮率(βr)の試験材の採取地別比較

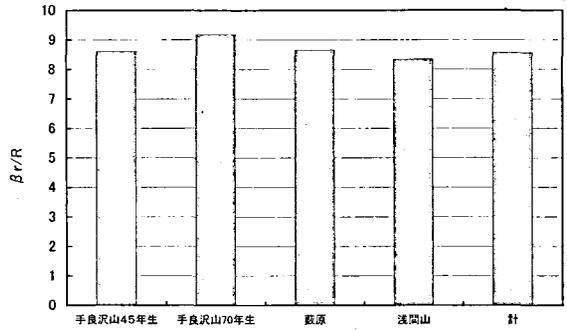


図11 比半径方向収縮率(βr/R)の試験材の採取地別比較

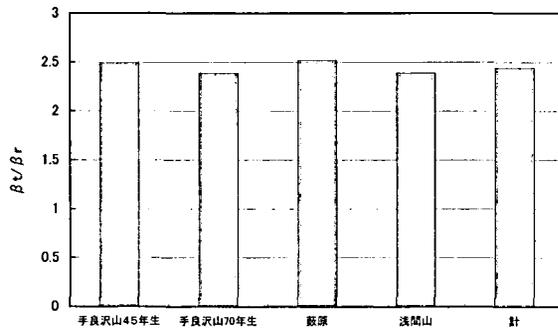


図12 収縮異方度(βt/βr)の試験材の採取地別比較

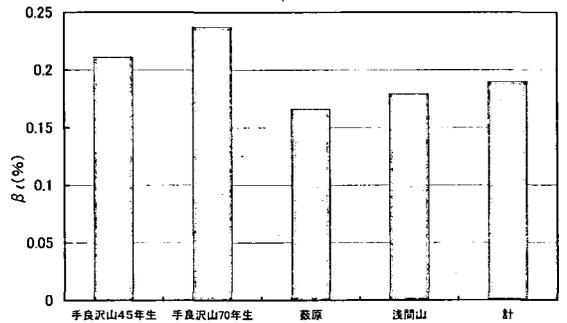


図13 繊維方向全収縮率(βt)の試験材の採取地別比較

はごく小さく、 β_t に影響を及ぼす要因として、アテのほかフィブリル傾角と繊維傾斜角が考えられるが、前述のようにアテや繊維傾斜角の著しいものは除いているので、この図に見られる β_t の大きな分散は軽度なアテや繊維傾斜度、それにフィブリル傾角の影響によるものと考えられる。

3.4 収縮率一覧表

前項までのような整理を行ったデータについて、試験材の採取地別に、接線、半径、繊維の各方向及び容積の収縮率として、含水率1%あたりの収縮率(平均収縮率)(δ)、生材から気乾までの収縮率(気乾収縮率)(β_{15})及び生材から全乾までの収縮率(全収縮率)(β)、また、密度として、容積密度、全乾密度(ρ_0)及び気乾密度(ρ_{15})、また年輪幅、水1gあたりの容積収縮量($\Delta v/\Delta w$)、容積収縮

率と容積密度の比(比容積収縮率)(β_v/R)、収縮率から求めた繊維飽和点(F.S.P.)、収縮異方度(β_t/β_r)及び半径方向の収縮率と容積密度との比(比半径方向収縮率)(β_r/R)について、平均値、最大値、最小値、標準偏差及び変動係数をもとめ、表2に示す。

この平均値を用いて、試験材の採取地別に年輪幅、容積密度及び幾つかの収縮値を比較すると図8~13のとおりである。

図8によると、年輪幅は藪原、浅間山でやや小さく、両手良沢山でやや大きい。これとは逆に、図9によると、Rは両手良沢山でやや小さく、藪原、浅間山でやや大きい。一方、図10の β_r 、図11の β_r/R 、図12の β_t/β_r などの横断面に係わる収縮値は試験材の採取地による差は少ない。これらに対し、図13の

β_t は両手良沢山でやや大きく、藪原、浅間山でやや小さかった。この原因は明らかでないが、前述のように、軽度なアテや繊維傾斜度、それにフィブリル傾角などが関連しているものと推測できる。

4. 結 び

カラマツ造林木の材質調査を進めているが、今回、長野県内の造林木のなかでも、比較的高樹齢木が入手できたので、これらを対象に用材品質、年輪構造、各種強度試験などを行っている。その一環として、収縮率について検討した結果、次のようなことが判った。

カラマツは過酷な気象条件で育つことや、その成長習性から繊維のねじれやアテなどの欠点を含んでいる。このような欠点を含んでいる材は収縮率にも特異な値を与えるので、棄却することが必要で、その値として、 β_t が0.4%以上と β_t/R が7未満を棄却することが妥当なことを提案した。

次に、カラマツの晩材と早材は細胞構造が著しく異なり、晩材の接線方向収縮率が早材のそれに比べ著しく大きい。年輪幅が広くなると両者の差が顕著

に表れ、無視することはできない。このようなカラマツ材独特の収縮特性を考慮しながら成長と収縮の関係を検討した。

半径方向の全収縮率は年輪幅の増加に伴い曲線的に減少するが、これは容積密度との関連によるものと考えられた。事実、密度の影響を無くした半径方向の比収縮率は年輪幅の増加に伴いわずかに減少するにとどまった。また収縮異方度は、年輪幅が広くなると、接線方向の収縮を早材で測るか晩材で測るかによって異なってくる。さらに、繊維方向の収縮率は欠点材を除けば年輪幅とほとんど関連性は認められなかった。

アテや繊維傾斜度など特異な収縮値を与えるデータを棄却した後、試験材の採取地別の収縮率表を作成した。これらの値は、今後、カラマツ無欠点材の収縮に関する基準値となるものとして、提案したい。

謝 辞

本試験材の調整には森林総合研究所材質研究室、平川泰彦室長の労を煩わせた。心からお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 中野達夫, 朱 建軍: カラマツ造林木の収縮率, 日本木材学会大会研究発表要旨集, pp44, 京都 (2000)
- 2) Zhu, J., Nakano, T., Hirakawa, Y.: Effect of growth on wood properties for Japanese larch (*Larix kaempferi*): differences of annual ring structure between corewood and outerwood, *J wood Sci.* 44, 392~396 (1998)
- 3) 中野達夫, 朱 建軍, 徳本守彦, 武田孝志: カラマツの成長と材質 一手良沢山演習林産材の年輪構造, 収縮率, 曲げ強度一, 信大演報35, 101~110 (1999)
- 4) 中野達夫: カラマツの成長と材質, 木材工業55, 396~399 (2000)

要 旨

長野県内のいくつかの林分から得られたカラマツ人工林材の材質に関して、これまで一連の研究を進めてきた。本報告では、収縮率を測定した結果を示す。

カラマツ林の多くは厳しい環境にあるため、ねじれやアテなどの欠点が含まれているものが多い。そこで、 $\beta_t > 0.4\%$ および $\beta_t/R < 7$ の収縮率データは検討対象から除いた。

年輪幅の増加に伴って、放射方向の収縮率は低下した。この傾向は容積密度数に起因している。また、年輪幅の増加に伴って収縮異方性は変化し、これは、早材若しくは晩材で測定した接線方向の収縮率に依存している。

さらに、欠点をもつ材の値を除く各林分よりの収縮率のデータ表を作成した。この表は、収縮に関する研究に役立つものと考えている。

キーワード: 接線方向収縮率; 半径方向収縮率; 繊維方向収縮率; 収縮異方性

Shrinkage of wood from planted trees of Japanese larch (*Larix kaempferi*, Carrière)

Tatsuo NAKANO, Jianjun ZHU,
Takashi TAKEDA, Morihiko TOKUMOTO

Summary

In order to study the wood quality of Japanese larch trees, we harvested varying aged planted trees from several areas in Nagano prefecture, and engaged in a series of studies on wood quality. Among them, we examined the shrinkage of wood from planted trees, and obtained the following results.

The wood of Japanese larch contained some defects such as twist and reaction wood, owing to severe environments in which Japanese larch trees were planted. We dealt with shrinkage data excluding specimens with $\beta_t > 0.4\%$ and $\beta_r/R < 7$.

With the increase of ring width, the radial shrinkage decreased and this tendency was caused by basic density. And with the increase of ring width, the anisotropic shrinkage varied depending on the tangential shrinkage measured from earlywood or latewood. The longitudinal shrinkage had no correlation with ring width.

In addition, we made the table of shrinkage values from different areas by excluding the values of defect wood, and we expected that the table would be helpful and useful for shrinkage research.

key word : tangential shrinkage ; radial shrinkage ; longitudinal shrinkage ; anisotropic shrinkage