

(資料)

スギ大径材から製材された土台のめり込み強度特性
谷内 博規Strength property of compression perpendicular to grain of the sill made from
large-diameter Sugi lumber.
Hironori TANIUCHI

要 旨

スギ大径材の土台利用を想定し、めり込み強さの特性を把握するため、丸太の縦振動ヤング係数、樹体内の未成熟、成熟部位の容積密度、曲げヤング係数を測定した後、部分圧縮試験を実施した。また、心持ち、心去り正角材を調製し、めり込み試験を実施した。

その結果、部分圧縮強さは、容積密度と相関関係にあり、成熟部に比べ、未成熟部で部分圧縮強さが高いのは容積密度が高いためであった。また、正角材のめり込み強さは、部分圧縮強さと同様に、容積密度と高い相関関係にあり、心去り、心持ち正角材のめり込み強さを比較すると、未成熟部を多く含む心持ち正角材の方が高い値を示した。さらに、スギ正角材のめり込み強さについて、建築基準法や日本建築学会の特性値として示される基準強度を満たすためには、含水率5%以下の正角材において、容積密度 $360\text{kg}/\text{m}^3$ 以上が目安と考えられた。

キーワード：スギ，大径材，容積密度，部分圧縮試験，めり込み試験

目 次

はじめに	16	2 結果と考察	17
1 実験方法	16	2.1 部分圧縮試験	17
1.1 供試材料	16	2.1.1 試験結果の概要	17
1.2 部分圧縮試験	16	2.1.2 諸因子と5%部分圧縮強さの関係	17
1.2.1 試験片の曲げ試験	16	2.2 めり込み試験	18
1.2.2 部分圧縮試験	17	2.2.1 試験結果の概要	18
1.3 めり込み試験	17	2.2.2 諸因子とめり込み強さの関係	18
1.3.1 正角材のEfrの測定	17	まとめ	20
1.3.2 めり込み試験	17	引用文献	20

はじめに

岩手県内で造林された針葉樹は成熟期を迎え、製材、合板、製紙、燃料用の素材として生産されている。特にスギ林では、径級が30cmを超える丸太（以下、大径材）も生産されるが、販路が限定されることや径級の大きさが価格に反映されないことなどが課題となっている。また、木材加工事業体では、径級16~28cmの丸太の需要は高いものの、大径材については、製材コストが高くなることや強度などの材質が不明なため、積極的な利用は行われていない状況にある。

一方、本県の主なスギの製材品目は下地材などの板類⁴⁾や集成材用ラミナであり、国内において、梁材や土台は、これまで、外国産材が市場の多くを占めていた⁸⁾。しかし、近年、外国産土台の輸入量が減少傾向にあり、スギの土台利用に関する研究ニーズが高まっている。仮に、スギ大径材から土台が製材されれば、用途の拡大や高齢級スギ林などの収益性の向上が期待される。しかし、県産のスギ大径材から製材された土台の性能については、明らかとなっていない。

土台に必要な性能として、耐久性、めり込み強さが挙げられる。耐久性について、スギは、防腐処理が必要な樹種に区分されており、その処理基準が製材 JAS⁶⁾に規定されている。また、めり込み強さについては、平成13年国土交通省告示第1024号「特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件」により、スギの基準強度は6.0N/mm²とされている。さらに、めり込み強さの試験方法として、実大材については、構造用木材の強度試験マニュアル⁵⁾に示され、小試験片については、部分圧縮試験として JIS Z 2101 木材の試験方法¹⁾に示されている。

土台への利用を想定した実大スギ材のめり込み強さについては、他県でも研究が行われているが、基準強度を満たさない場合もあることが報告されている^{2,11)}。この現象は、スギ樹体内の未成熟部位や成熟部位など材質の不均質性に由来すると考えられるため、樹体内の部位別の密度、強度等と実大材のめり込み強さの関係を把握する必要があると考える。

今回は、スギ大径材のめり込み特性を把握するため、あらかじめ、スギ丸太の縦振動ヤング係数、樹体内の未成熟、成熟部位の容積密度、曲げヤング係数を測定した後、部分圧縮試験を実施するとともに、心持ち、心去り正角材のめり込み試験を行い、相互の関係を比較した。

1 実験方法

1.1 供試材料

岩手県紫波郡紫波町産スギ丸太 18 本（径級32~40cm、長さ2m）を供試し、寸法と重量を測定し、容積密度を算出の後、FFT アナライザーを用い、縦振動法⁵⁾により縦振動ヤング係数（以下、Efr）を測定した（表1）。その内6本は図1に示すとおり、髓付近、未成熟部、成熟部心材、辺材から断面40×40mm×2mのスティック状の試験片を採材し、さらに断面120×120mm×2mの心去り正角材を採材した。また、残り12本の丸太からは断面120×120mm×2mの心持ち正角材を採材した。

採材した試験片、正角材は屋内で棧積し、含水率15%以下となるよう乾燥した。その後、試験片は断面30×30mm、長さ600mmに、正角材は断面105×105mm、長さ2mに調製した。

表1 供試丸太の概要（長さ2m）

試験項目	n	直径 (cm)		年輪幅 (mm)		容積密度 (kg/m ³)		Efr (GPa)	
		平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
部分圧縮試験 めり込み試験 (心去り正角材)	6	38	2.8	6.7	0.6	718	45	8.1	1.5
めり込み試験 (心持ち正角材)	12	38	2.4	7.0	1.0	739	66	7.7	0.9

注) S.D.:標準偏差

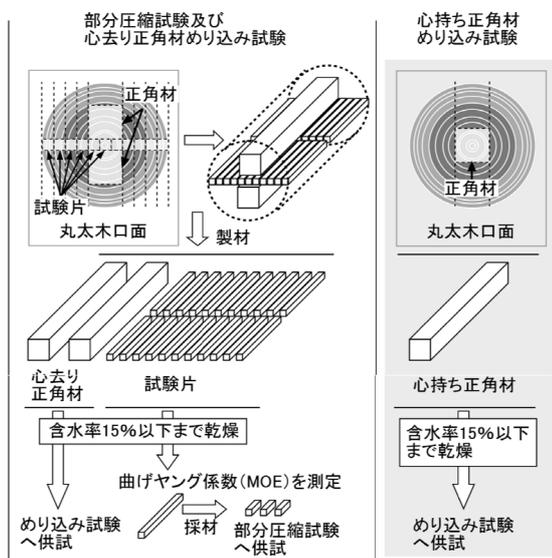


図1 供試材料の調製

1.2 部分圧縮試験

1.2.1 試験片の曲げ試験

丸太ごとに髓付近、未成熟部心材、成熟部心材、辺材から調製した断面30×30mm、長さ600mmのスティック状の試験片は、JIS Z 2101 木材の試験方法¹⁾に準拠して曲げ試験を行った。試験には島津社製オートグラフを用い、試験条件はスパン540mm、中央集中荷重とし、第1荷重は

0.15kN, 第2荷重は0.5kNとし, 曲げヤング係数(以下, MOE)を算出した。なお, 試験は非破壊とし, 荷重は比例限度内とした。曲げ試験後, 各試験片から長さ90mmの部分圧縮試験体を2~4体切り出して試験に供した。

1.2.2 部分圧縮試験

長さ90mm, 幅30mm, 高さ30mmに調製された試験体は, JIS Z 210木材の試験方法¹⁾に準拠して, 部分圧縮試験を実施し, 辺長の5%部分圧縮強さを算出した。

1.3 めり込み試験

1.3.1 正角材のEfrの測定

断面105×105mm, 長さ2mに調製した心持ち, 心去り正角材は, 縦振動法⁵⁾により, Efrを測定した。測定後, 各正角材から長さ630mmの試験体を2体切り出し, めり込み試験に供した。

1.3.2 めり込み試験

長さ630mm, 幅105mm, 高さ105mmに調製された試験体は, 構造用木材の強度試験マニュアル⁵⁾に準拠して, めり込み試験を実施した。めり込み試験は材中間部, 材端部で実施し, めり込み強さ($f_c, 90$), めり込み降伏強さ($f_c, 90, y$), めり込み剛性($Kc, 90$)を算出した。

2 結果と考察

2.1 部分圧縮試験

2.1.1 試験結果の概要

図2に採材部位とMOE, 5%部分圧縮強さ, 容積密度の関係(平均値)を丸太ごとに示す。併せて, 表2に丸太, 採材部位別のMOE, 5%部分圧縮強さ, 容積密度の平均値を示す。試験体MOEは, 採材部位が樹皮側に近いほど高い傾向を示し, その傾向は丸太Efrが高いほど顕著であった。

一方, 5%部分圧縮強さは, 採材部位に関して, MOEとは逆に, 髓付近で高い値を示し, 辺材部では低い値を示した。また, 5%部分圧縮強さと, 丸太Efr, 試験体のMOEとの関係はよくわからなかった。さらに, 5%部分圧縮強さは, 容積密度と正の相関があるように見えるが, 丸太ごとのバラつきもあり, 更なる解析が必要と考える。

2.1.2 諸因子と5%部分圧縮強さの関係

丸太Efr, 試験片MOE, 容積密度の諸因子が5%部分圧縮強さへ与える影響を評価するため, 表3に単相関係数を示す。5%部分圧縮強さと丸太Efr, 試験片MOE, 容積密度との間に相関関係が認められたが, 特に, 5%部分圧縮強さと容積密度の間には相関係数0.6を超える相関が認められた。そこで, 容積密度が5%部分圧縮強さへ与える影響について採材部位別に解析を行った。

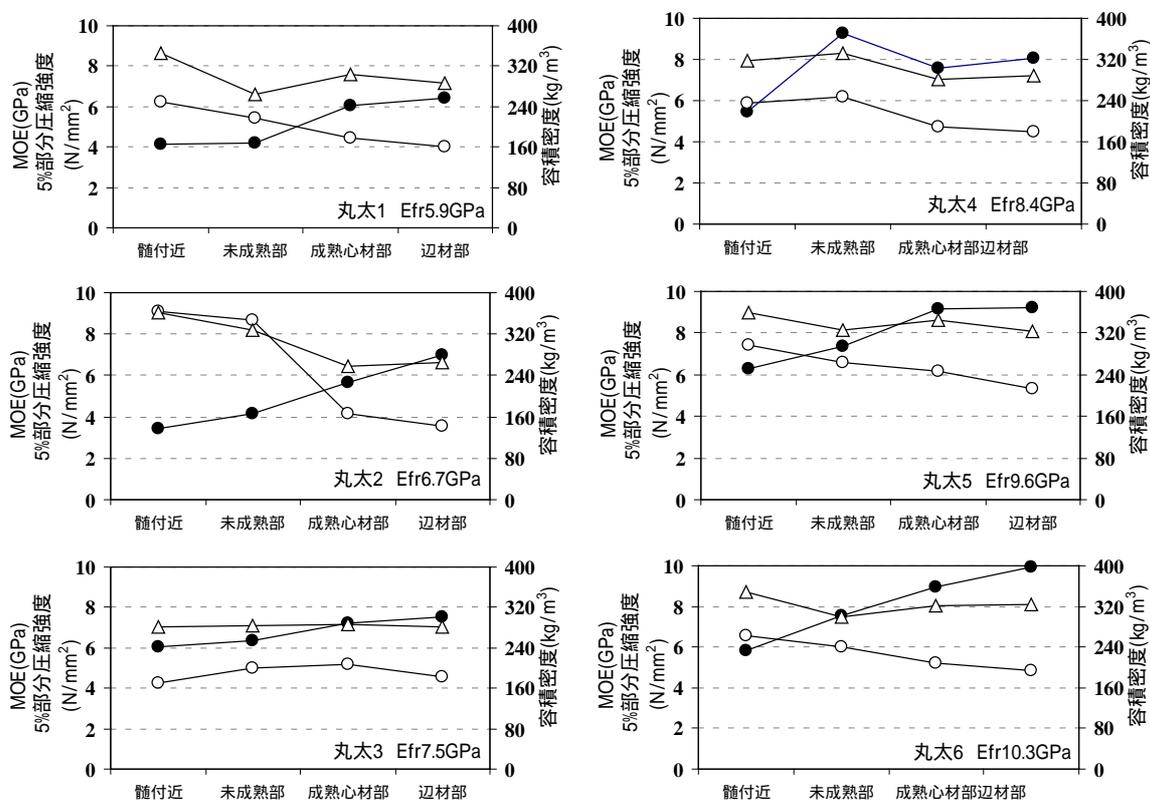


図2 採材部位とMOE, 5%部分圧縮強さ, 容積密度の関係(平均値)

採材部位と5%部分圧縮強さの関係を図3に示す。髓付近、未成熟部、成熟心材部、辺材部の5%部分圧縮強さの平均は、それぞれ6.6、6.3、4.9、4.4 N/mm²を示した。このことから、成熟部である成熟心材部、辺材部に比べ、未成熟部である髓付近、未成熟部の5%部分圧縮強さが高い傾向を示した。

次に、図4に容積密度と5%部分圧縮強さの関係を示す。5%部分圧縮強さは、容積密度の増加に伴い、増加し、正の相関(r=0.669)を示した。

スギ樹体内の容積密度については、三城ら⁷⁾が、髓付近の未成熟部の容積密度は成熟部より高い値を示すことを報告している。また、密度とめり込み強さの関係については、山裾ら¹¹⁾が、スギ正角材のめり込み試験を行い、密度とめり込み強さには高い相関関係が認められたことを報告している。これらの報告は、今回の実験結果を支持する。したがって、大径材においても、スギ樹体内の5%部分圧縮強さは、成熟部に比べ、未成熟部で高く、その理由は未成熟部の容積密度が高いためであることが検証された。

2.2 めり込み試験

2.2.1 試験結果の概要

表4にめり込み試験の結果を示す。材中間部のめり込み強さ $f_{c,90}$ について、心去り材と心持ち材を比較すると、心持ち材のめり込み強さ $f_{c,90}$ が高い傾向を示し、めり込み強さが高いほど容積密度も高くなる傾向となった。

一方、丸太 Efr、平均年輪幅、正角材 Efr の諸因子とめり込み強さの関係については、パラツキが大きく、それらは、めり込み強さを判断する因子にはならないと考えられた。この傾向は材端部のめり込み強さにおいても同様であった。

2.2.2 諸因子とめり込み強さの関係

丸太 Efr、平均年輪幅、正角材 Efr、容積密度の諸因子とめり込み強さの関係について、加力部(材中間部、材端部)別に表5に単相関係数を示す。相関係数は、めり込み強さと容積密度の間で、材中間部0.782、材端部0.790を示し、高い相関が得られた。また、めり込み強さと丸太 Efr、正角材 Efr、平均年輪幅の諸因子間に相関は認められなかった。

岩崎ら³⁾はスギ正角材のめり込み試験を実施し、密度とめり込み強さの相関は高いが、めり込み強さと縦振動ヤング係数、平均年輪幅の相関は低く、めり込み強さを推定する指標として有効でないと報告しており、今回の結果と一致している。次に、図5に容積密度と材中間部

表2 丸太、採材部位別の MOE, 5%部分圧縮強さ, 容積密度の平均値

丸太番号	Efr (Gpa)	採材部位	試験体				
			n	MOE (Mpa)	5%部分圧縮強さ n (N/mm ²)	容積密度 (kg/m ³)	
1	5.9	髓付近	2	4.1	6	6.2	345
		未成熟部	4	4.2	12	5.4	264
		成熟心材部	8	6.1	24	4.5	304
		辺材部	7	6.4	21	4.0	287
2	6.7	髓付近	2	3.4	5	9.1	361
		未成熟部	4	4.1	12	8.7	328
		成熟心材部	6	5.7	18	4.2	257
		辺材部	6	7.0	18	3.6	264
3	7.5	髓付近	1	6.0	4	4.3	280
		未成熟部	4	6.4	12	5.0	285
		成熟心材部	4	7.2	12	5.2	286
		辺材部	4	7.6	12	4.6	282
4	8.4	髓付近	2	5.5	4	5.9	318
		未成熟部	4	9.3	12	6.2	332
		成熟心材部	4	7.6	12	4.7	280
		辺材部	4	8.1	12	4.5	288
5	9.6	髓付近	2	6.3	4	7.4	358
		未成熟部	4	7.4	12	6.6	326
		成熟心材部	4	9.1	12	6.2	344
		辺材部	4	9.2	12	5.4	323
6	10.3	髓付近	2	5.9	6	6.6	348
		未成熟部	4	7.5	9	6.0	301
		成熟心材部	4	8.9	12	5.2	321
		辺材部	4	10.0	12	4.9	325

表3 5%部分圧縮強さ, 丸太 Efr, 試験片 MOE, 容積密度間の単相関係数

	N=275	5%部分圧縮強さ	丸太 Efr	試験片 MOE
5%部分圧縮強さ				
丸太 Efr		0.247		
試験片 MOE		-0.200	0.670	
容積密度		0.669	0.470	0.193

○:危険率5%、△:危険率1%

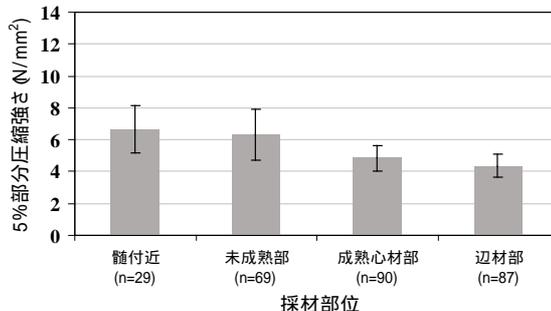


図3 採材部位と5%部分圧縮強さの関係 (注)バーは標準偏差

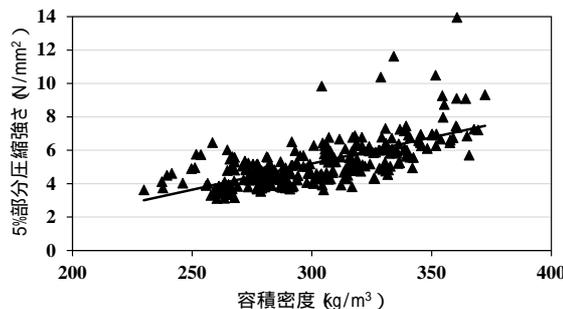


図4 容積密度と5%部分圧縮強さの関係 (n=275)

表 4 めり込み試験の結果

木取り	丸太		正角材									
	Efr (GPa)	平均 年輪幅 (mm)	材中間部めり込み試験				材端部めり込み試験					
			Efr (GPa)	容積 密度 (kg/m ³)	強さ f _{c,90} (N/mm ²)	降伏強さ f _{c,90,y} (N/mm ²)	剛性 K _{c,90} (N/mm ³)	容積 密度 (kg/m ³)	強さ f _{c,90} (N/mm ²)	降伏強さ f _{c,90,y} (N/mm ²)	剛性 K _{c,90} (N/mm ³)	
	5.86	6.3	7.18 6.53	351 347	6.02 6.59	6.11 4.90	3.95 4.25	290 354	4.46 5.14	5.62 3.80	3.27 3.88	
	6.74	7.7	7.02 6.63	344 377	6.44 7.23	5.35 4.68	3.59 3.97	343 357	4.50 4.73	4.66 3.27	3.16 2.99	
	7.52	7.4	7.88 8.68	340 361	6.73 6.02	3.89 3.31	4.30 3.60	332 358	4.55 4.51	3.39 2.28	3.18 3.00	
心去り材	8.37	6.4	10.34 9.16	381 365	6.90 6.68	3.09 3.52	4.18 4.00	369 370	5.64 4.99	3.33 3.89	3.92 3.25	
	9.55	6.4	9.96 10.73	433 428	6.70 8.16	4.68 2.75	4.36 5.42	429 411	5.81 5.85	6.87 4.59	4.08 4.09	
	10.30	6.0	10.00 10.67	399 386	6.95 7.47	4.55 5.38	4.60 4.61	410 388	5.80 5.43	5.30 4.19	4.20 3.79	
			平均値 標準偏差	8.73 1.55	376 30	6.82 0.57	4.35 0.99	4.24 0.48	368 37	5.12 0.54	4.26 1.19	3.57 0.45
	5.98	8.1	欠測	423	8.43	6.10	4.23	446	6.76	4.98	3.50	
	6.66	7.7	欠測	440	10.32	6.21	4.46	430	8.43	6.31	4.75	
	7.07	8.5	7.67	445	9.08	6.48	4.49	443	7.47	5.39	2.31	
	7.20	5.8	欠測	384 388	8.23 7.98	5.03 4.66	5.16 3.24	377 -	5.36 -	3.69 -	2.49 -	
	7.31	7.6	7.49	375	6.21	4.05	3.14	373	4.96	3.55	1.96	
	7.66	7.2	6.13	337	5.78	4.19	3.40	355	5.30	4.07	2.59	
心持ち材	7.75	7.1	6.88	414	7.42	4.71	3.92	400	5.80	4.22	2.50	
	7.88	8.4	6.62	427	7.84	7.84	4.15	423	6.75	4.46	2.64	
	8.05	5.9	7.55	400	7.39	4.64	3.87	391	5.45	3.81	2.26	
	8.63	6.2	欠測	447	8.67	5.39	3.87	450	5.86	4.21	1.92	
	9.11	6.2	7.35	380	6.85	4.60	3.25	378	5.48	4.02	3.14	
	9.42	5.9	8.27	384	6.52	4.37	3.46	386	5.03	3.59	2.17	
			平均値 標準偏差	7.25 0.63	404 31	7.75 1.20	5.25 1.06	3.90 0.58	404 31	6.05 1.03	4.36 0.79	2.69 0.76

めり込み強さの関係を、図6に容積密度と材端部めり込み強さの関係を示す。図5の材中間部めり込み強さは5.7~10.3N/mm²に分布し、図6の材端部めり込み強さは4.4~8.4N/mm²に分布した。図5,6ともに、容積密度の増加に伴い、めり込み強さは高くなる傾向を示したが、心去り材に比べ、心持ち材の容積密度が高く、めり込み強さも高い傾向となった。

心去り材と心持ち材のめり込み強さについて、鈴木ら¹⁰⁾は、大径材の心去り材は容積密度の高い未成熟材の割合が小さくなるため、めり込み性能では不利であることを報告している。このことについては、2.1.2で前述した部分圧縮試験の結果からも、スギ樹体内の5%部分圧縮強さは成熟部に比べ、未成熟部で高く、その理由として、未成熟部の容積密度が高いことが検証されている。したがって、スギ大径材から土台を製材する場合、容積密度の高い未成熟部が多く含まれるように製材することが、めり込み性能に有利と考えられる。

「はじめに」で前述したスギの基準強度6.0N/mm²は、材中間部のめり込み試験の基準であり、材端部については、日本建築学会により針葉樹類の特性値として、普通構造材の基

表 5 加力部(材中間部,材端部)別の丸太 Efr,平均年輪幅,正角材 Efr,容積密度,めり込み強さの単相関係数

【材中間部】					
	N=25	丸太 Efr	平均 年輪幅	正角材 Efr	容積 密度
丸太Efr	-	-	-	-	-
平均年輪幅	-0.484	-	-	-	-
正角材Efr	0.748	-0.492	-	-	-
容積密度	0.253	0.145	0.340	-	-
めり込み強さ	-0.087	0.194	0.197	0.782	-
【材端部】					
	N=23	丸太 Efr	平均 年輪幅	正角材 Efr	容積 密度
丸太Efr	-	-	-	-	-
平均年輪幅	-0.531	-	-	-	-
正角材Efr	0.748	-0.492	-	-	-
容積密度	0.313	0.173	0.339	-	-
めり込み強さ	-0.022	0.363	0.126	0.790	-

:危険率5%、 :危険率1%

準材料強度4.8N/mm²が示されている⁹⁾。今回、サンプル数が少ないため、75%信頼区間、5%下限値で基準強度は算出できなかったが、実験の結果から、基準強度を満たす容積密度(含水率

15%以下)は,加力部位別に材中間部(図5)では $340\text{kg}/\text{m}^3$ 以上,材端部(図6)では $360\text{kg}/\text{m}^3$ 以上になると考えられる。

まとめ

スギ大径材の土台利用を想定し,めり込み強さの特性を把握するため,丸太の縦振動ヤング係数,樹体内の未成熟,成熟部位の容積密度,曲げヤング係数を測定した後,部分圧縮試験を実施した。また,心持ち,心去り正角材を調製し,めり込み試験を実施した。結果は以下のとおり。

- (1) スギ樹体内の部分圧縮強さは,容積密度と高い相関関係にあり,部分圧縮強さが成熟部に比べ,未成熟部で高いのは容積密度が高いためであった。
- (2) 正角材のめり込み強さは,容積密度と高い相関関係にあったが,丸太や正角材の縦振動ヤング係数,平均年輪幅との相関は低く,これら因子はめり込み強さを推定する指標とはならないと考えられる。
- (3) 心去り,心持ち正角材のめり込み強さを比較すると,未成熟部を多く含む心持ち正角材の方が高い値を示した。
- (4) したがって,スギ大径材から土台を製材する場合,容積密度の高い未成熟部が多く含まれるように製材することが,めり込み性能に有利と考えられる。
- (5) 今回の結果から,スギ正角材のめり込み強さについて,建築基準法や日本建築学会の特性値として示される基準強度を満たすためには,含水率15%以下の正角材において,容積密度 $360\text{kg}/\text{m}^3$ 以上が目安と考えられる。

引用文献

- 1) 一般社団法人日本規格協会 (2009) JIS Z2101 木材の試験方法(最終改正:2019年10月21日)。
- 2) 石田洋二,松元浩,小倉光貴,滝本裕美 (2015) 県産スギ平角材のせん断およびめり込み強度とその影響因子.石川県林試研報 47,17-21。
- 3) 岩崎昌一,菅原弥寿夫,青木孝宏 (2006) 新潟県産スギ材の強度特性()。新潟県森林研究所研究報告 47,35-42。
- 4) 岩手県農林水産部林業振興課 (2021) 岩手県の木材需給と木材工業の現況(令和元年度実績)。
- 5) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル。
- 6) 農林水産省 (2007) 製材の日本農林規格(最

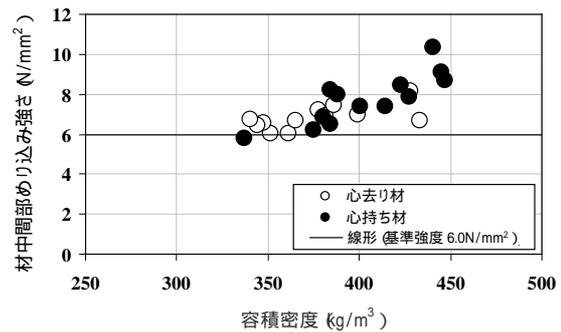


図5 容積密度と材中間部めり込み強さの関係

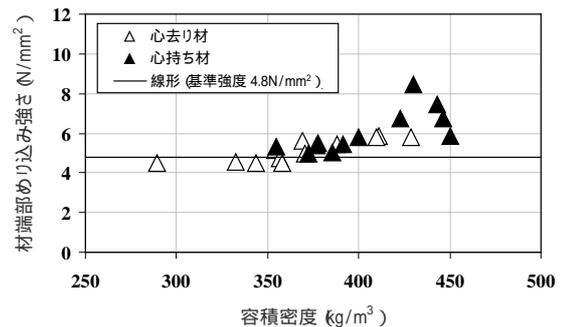


図6 容積密度と材端部めり込み強さの関係

終改正:平成25年6月12日農林水産省告示第1920号)。

- 7) 三城昭義,英治直樹 (1997) 新潟県産スギ造林木の材質.新潟大学演習林研究報告 30,43-62。
- 8) 林野庁木材産業課・木材利用課(2007) 木材をめぐる現状(平成19年2月). <https://www.rinya.maff.go.jp/puresu/h19-2gatu/0227mokusai-s3.pdf> (2022年1月7日閲覧)。
- 9) 社団法人日本建築学会 (2002) 木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-,340pp。
- 10) 鈴木祥二,大林育志 (2021) スギ大径材の利用に関する研究.愛知県森林・林業技術センター報告 No.58(令和3年度作成). <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/396101.pdf> (2021年12月8日閲覧)。
- 11) 山裾伸浩,岸本勇樹 (2013) 和歌山県産スギ,ヒノキのせん断強度およびめり込み強度.和歌山農林水研報 1,131-142。