

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

石田洋二・松元 浩・小倉光貴^{*1}・滝本裕美^{*2}

要旨: 県内各地より調達したスギ心持ち平角材のせん断強度およびめり込み強度を測定した。その結果、せん断強度の平均値、5%下限値はそれぞれ 4.4N/mm²、3.4N/mm²、めり込み強度の平均値、5%下限値はそれぞれ 7.16N/mm²、5.26N/mm²であった。せん断強度は、材下面の節径比と平均年輪幅との間に弱い負の相関関係が見られた。またせん断強度とめり込み強度ともに、材のみかけの密度と縦振動ヤング係数とは比較的高い水準で正の相関関係が認められたことから、これらの因子は強度性能の高い材の選別に有効であると考えられた。一方、材の表面割れは、せん断強度およびめり込み強度に影響しなかった。材の含水率とせん断強度およびめり込み強度には負の相関関係が認められ、スギ心持ち平角材を適切に乾燥するための乾燥技術の確立が必要と考えられた。

キーワード: スギ、心持ち平角材、横架材、せん断強度、めり込み強度

I はじめに

石川県のスギ丸太は資源の充実や長伐期化に伴い、中目材から大径材へと移行しつつあり、スギ大径材の有効利用が重要な課題となっている。本県ではこれまで、スギ大径材から得られる心持ち平角材の強度性能データの蓄積を目的とし、各種強度性能(曲げ、引張り、せん断、めり込み)について試験を実施してきている。

本報告では、県産スギ心持ち平角材のせん断強度およびめり込み強度試験結果について報告するとともに、非破壊で材の強度を予測することを目的に、材のいくつかの因子(目視確認できる形態因子および比較的簡便に測定できる物理量)が強度に及ぼす影響について調査したので報告する。

II 試験方法

1. 材料

供試材は、石川県5市3町(珠洲市、輪島市、金沢市、小松市、加賀市、能登町、穴水町、津幡町)より伐採された末口直径30cm以上、長級4mのスギ丸太150本とした。全ての丸太について、末口と元口の年輪数、末口径と元口径、長さ、重量、密度および縦振動法による動的ヤング係数(以下、縦振動ヤング係数)を測定した。丸太から断面寸法135mm×255mmの心持ち平角材を一丁取りし、乾球温度70℃一定で約1か月間人工乾燥を行った後、断面寸法120mm×240mmにモルダー掛けした。この4mの製材1本あたり、長さ1,440mmのせん断及びめり込み試験体を1本ずつ採材した。それぞれの試験体について、製材のJAS(甲種構造用II)に基づく目視等級区分を行った後、表面

割れ面積、寸法、重量(みかけの密度)、および縦振動ヤング係数を測定した。表面割れ面積は、割れの長さとその最大幅の積とし、木口面を除く4面ごとに全ての表面割れ面積を測定した。供試丸太および強度試験体の概要を表-1に示す。

2. せん断試験

せん断試験は、「構造用木材の強度試験マニュアル」(日本住宅・木材技術センター, 2011, 以下「強度試験マニュアル」)に基づき、材幅120mm、材せい240mm、材長1,440mmの試験体に対し、実大試験機(島津製作所製、UH-1000kNXR)を用いて、せん断スパン480mm(材せいの2倍)、荷重点の移動速度を8または10mm/min.に設定して中央集中荷重法により行った。試験より得られた最大荷重よりせん断強度を算出した。

試験終了後、材の破壊部近傍より厚さ約20mmの試験片を採材し、平均年輪幅を測定後、全乾法により含水率を測定した。

3. めり込み試験

めり込み試験は、強度試験マニュアルに基づき、材幅120mm、材せい240mm、材長1,440mmの試験体の中間部に対し加圧する材中間部めり込み試験を行った。試験には万能試験機(島津製作所製、UH-200kNXR)を用い、荷重点の移動速度を4mm/min.とした。試験より得られた荷重-変形曲線から、めり込み強度、めり込み降伏強度およびめり込み剛性を算出した。

試験終了後、材の破壊部近傍より厚さ約20mmの試験片を採材し、平均年輪幅を測定後、全乾法により含水率を測定した。

^{*1}石川県石川農林総合事務所、^{*2}石川県南加賀農林総合事務所

Ⅲ 結果および考察

1 せん断強度

せん断試験結果の概要を表-2に示す。せん断強度は、旧 ASTM D 2915 に準じて含水率 15% 時の値に補正している。順位統計法によるせん断強度の 5% 下限値は 3.4N/mm^2 であり、国土交通省告示のすぎせん断基準強度 1.8N/mm^2 を大きく上回っていた。なお、150 体の試験体のうち、破壊形態が水平せん断破壊または水平せん断と曲げの複合破壊となったのは 33 体であり、22% を占めた。

JAS 目視等級別のせん断強度を表-3に示す。等級の出現頻度は 2 級が最も多く 55%、次いで 1 級 (33%)、3 級 (9%)、等級外 (2%) と続いた。統計的に明確な相関関係は認められなかったが、等級が低くなるほどせん断強度の平均値が小さくなる傾向が見られた。

せん断試験体と後述のめり込み試験体ともに共通して、目視等級の判定項目のうち節径比と平均年輪幅が、等級を決定する主な要因となっていた。そこで、それぞれのせん断強度との関係を検討した。

図-1 に広い面 (木口面以外の加力方向に平行な 2 面) の中央部と材縁部それぞれの最大単節径比および最大集中節径比とせん断強度の関係を、図-2 に狭い面 (加力方向に垂直な 2 面) の上面と下面それぞれの最大単節径比と最大集中節径比とせん断強度の関係を示す。なお、中央部、材縁部や最大単節径比、最大集中節径比の定義は製材の JAS に基づく。また広い面の各種節径比は当該 2 面の平均値とした。広い面においては、中央部、材縁部また最大単節径比、最大集中節径比のどの組み合わせともせん断強度と相関は見られなかった。一方、狭い面においては、下面の最大単節径比および最大集中節径比とせん断強度に弱い負の相関がみられた (それぞれ、 $R^2=0.056$ および $R^2=0.068$)。曲げの破壊形態が多かったため、引張力が働く下面に現れた節が強度低下に影響したと考えられる。

平均年輪幅とせん断強度の関係を図-3に示す。弱い負の相関がみられた ($R^2=0.044$)。一年輪は早材と晩材で構成されるが、年輪幅が広がると相対的に早材部分の割合が大きくなる。早材部分の細胞は細胞壁が薄く強度が小さいため、材全体のせん断強度が小さくなったと推測される。

試験体の木口面を除く面について、単位面積

(cm^2) 当たりに現れた表面割れ面積とせん断強度の関係を図-4に示す。なお、図では広い面については 2 面の平均値、狭い面については上面、下面に分けて示している。いずれの場合も割れ面積とせん断強度には相関は認められなかった。心持ち正角材を用いた研究では、密度が大きい材ほど乾燥による収縮が大きいいため、表面割れが曲げ強度の低下要因とはならず、むしろ強度性能が高いと報告されている (森林総合研究所, 2004)。今回の結果も概ねこの考え方に当てはまり、表面割れが多いほどせん断強度が大きいとまでは言えないが、少なくとも表面割れがせん断強度を低下させる要因とは言えない。

図-5 および図-6 に、試験体のみかけの密度および縦振動ヤング係数とせん断強度との関係を示す。みかけの密度とせん断強度には正の相関 ($R^2=0.190$)、縦振動ヤング係数とせん断強度には弱い正の相関 ($R^2=0.142$) が認められた。これらの因子は、前述までの外観で測定できる形態因子と比べて高い水準の決定係数を示し、材のせん断強度をある程度予測する上で参考になると考えられる。

試験体の含水率とせん断強度との関係を図-7に示す。図中のせん断強度は、上記の含水率補正を行っていない値を使用している。含水率とせん断強度の間には負の相関がみられ ($R^2=0.228$)、含水率が高いほどせん断強度が低下する傾向が認められた。今回の試験では SD20 を目標に乾球温度 70°C 一定で約 1 か月間に渡って中温乾燥したが、含水率 20% を超えていた試験体は 19% あった。平角材は正角材より断面積が大きく、乾燥速度の異なる心材・辺材が混在する機会が多いため、平角材を確実に目標含水率以下まで人工乾燥するための技術開発が重要と考えられる。

2 めり込み強度

めり込み試験結果の概要を表-4に示す。順位統計法によるめり込み強度の 5% 下限値は 5.26N/mm^2 であった。国土交通省告示のすぎめり込み基準強度は 6.0N/mm^2 であり、本試験結果の 5% 下限値はこれより下回る結果であった。ところで、国土交通省告示のめり込み基準強度の値がどのように決定されたかは明らかではないが、「現行のめり込み基準強度は無欠点小試験体による部分圧縮試験で得られた比例限度応力の平均値を 1.5 倍 (最大応力に対する比例限度応力の比を $2/3$ とし

た場合の係数)した値と考えられる」(青木, 2015)との指摘もあることから、基準強度との大小比較を行う際は、試験結果の5%下限値ではなく平均値で比較するほうが妥当と考えられる。これに基づき比較すれば、試験結果のめり込み強度の平均値は7.16N/mm²であり、告示の基準強度を上回っていた。

JAS 目視等級別のめり込み強度の概要を表-5に示す。等級の出現頻度は2級が最も多く63%、次いで1級(24%)、3級(10%)、等級外(3%)と続いた。また、等級によりめり込み強度が増減するような関係は見られなかった。

せん断強度の項と同様に、図-8に広い面の中央部と材縁部それぞれの最大単独節径比および最大集中節径比とめり込み強度の関係を、図-9に狭い面における最大単独節径比と最大集中節径比とめり込み強度の関係を示す。各図において、それぞれの節径比は広い2面、狭い2面の平均値で示している。全ての場合において節径比とめり込み強度との間には相関は見られなかった。めり込み強度は、節の存在により増大すると言われている(日本住宅・木材技術センター, 2011)。今回の試験は、強度試験マニュアルに準じ加圧板から一定範囲内の材表面には節を含まないよう試験体を採材したため、節径比が大きいほどめり込み強度が大きくなる傾向は認められなかった。

平均年輪幅とめり込み強度には、相関関係が認められなかったが($R^2=0.022$)、せん断強度の場合とは異なり正の傾きが見受けられた(図-10)。細胞壁が薄く細胞空げきの大きい早材部分の影響から、平均年輪幅とめり込み強度には負の相関関係を予想したが、逆の結果であった。個々の細胞壁の厚さや細胞空げきとは別の何らかの因子がめり込み強度に影響している可能性がある。

試験体の木口面を除く面について、単位面積(cm²)当たりに現れた表面割れ面積とめり込み強度の関係を図-11に示す。なお、図の表面割れ面積は、広い2面、狭い2面の平均値で示している。広い面も狭い面も割れ面積とめり込み強度には相関は認められなかった。せん断強度の場合と同様、表面割れがめり込み強度を低下させる要因とは言えない。

図-12および図-13に、試験体のみかけの密度および縦振動ヤング係数とめり込み強度との関係を示す。みかけの密度とせん断強度には弱い正の

相関($R^2=0.115$)が、縦振動ヤング係数とせん断強度にも弱い正の相関($R^2=0.075$)が認められた。これらの因子は、せん断強度の場合と同様、上述の他の因子より高い水準の決定係数を示し、材のめり込み強度をある程度予測する上で参考になると考えられる。

試験体の含水率とめり込み強度との関係を図-14に示す。含水率とめり込み強度の間には負の相関がみられた($R^2=0.238$)。せん断強度と同様、含水率が高いほどめり込み強度が低下する傾向が見られたことから、適切な乾燥処理が重要と考えられた。なお、めり込み試験体の含水率20%を超えていた試験体は28%であった。

IV まとめ

県産スギ心持ち平角材のせん断強度の平均値、5%下限値はそれぞれ4.4N/mm²、3.4N/mm²、めり込み強度の平均値、5%下限値はそれぞれ7.16N/mm²、5.26N/mm²であった。いずれの強度も国土交通省告示の基準強度の水準を上回った(せん断は5%下限値、めり込みは平均値で比較)。目視確認できる形態因子として、節、平均年輪幅および表面割れと両強度との関係を調べた。節とせん断強度との関係においては、材下面の節径比とせん断強度に弱い負の相関関係が見られた。また、平均年輪幅とせん断強度との間に弱い負の相関関係が見られた。目視判断で極端に大きな節や広い年輪幅が見受けられる材は、大きなせん断耐力を要求する部材としては使用を避ける方が無難と考えられた。一方、節および平均年輪幅とめり込み強度との間には相関関係が認められなかった。材の表面割れは、せん断強度およびめり込み強度に影響しなかった。目視確認できない因子として、材のみかけの密度および縦振動ヤング係数と両強度との関係を調べた。両強度ともに、材のみかけの密度や縦振動ヤング係数とは比較的高い水準で正の相関関係が認められたことから、これら因子の測定環境が整っている現場では、強度性能の高い材の選別に有効であると考えられた。材の含水率と両強度との間にはいずれも比較的高い水準で負の相関関係が見られ、スギ心持ち平角材を目標含水率まで確実に乾燥するための乾燥技術の確立が必要と考えられた。

引用文献

(財) 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。
 (独) 森林総合研究所監修 (2004) 改訂4版木材

工業ハンドブック : p. 576.
 青木謙治 (2015) 構造用材料としての木材・木質材料の現状と今後の課題. 木材学会誌 61 : 169-173.

表—1 供試丸太および強度試験体の概要

項目	丸太				せん断試験体				めり込み試験体			
	末口直径 (cm)	末口年輪数	みかけの密度 (kg/m ³)	丸太のE _t (kN/mm ²)	平均年輪幅 (mm)	みかけの密度 (kg/m ³)	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)	みかけの密度 (kg/m ³)	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	含水率 (%)
試験体数	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
平均値	32.5	57.4	708	7.0	5.1	414	7.3	17.2	5.2	415	7.2	18.0
変動係数 (%)	8.3	33.3	15.9	22.7	26.6	9.5	21.2	32.5	27.4	9.4	22.3	29.9
最小値	30	23	419	3.0	2.8	333	3.5	9.8	2.8	336	3.4	10.4
最大値	40	116	1039	10.4	9.8	517	11.0	40.4	9.5	525	10.7	37.4

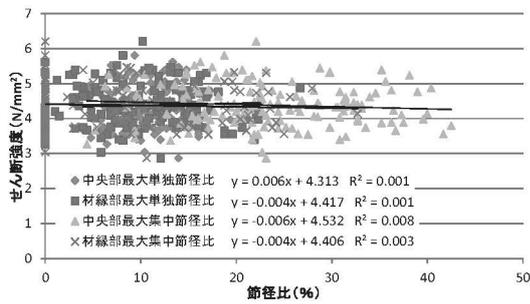
※丸太の末口直径は公称径、みかけの密度および縦振動ヤング係数は樹皮を含む。

表—2 せん断試験結果

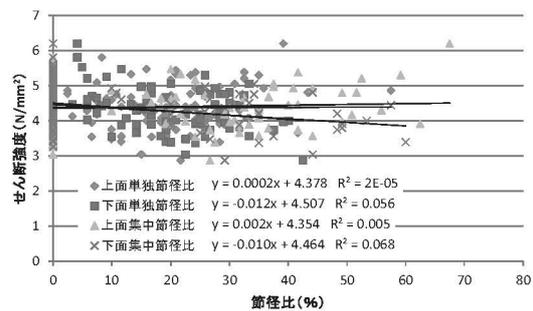
項目	せん断強度 (N/mm ²)
試験体数	150
平均値	4.4
変動係数 (%)	13.8
最小値	2.9
最大値	6.2
5%下限値	3.4

表—3 JAS 目視等級別のせん断強度

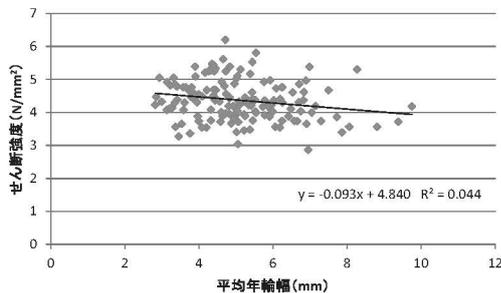
項目	JAS 目視等級区分別のせん断強度 (N/mm ²)			
	1級	2級	3級	等級外
出現頻度 (%)	33	55	9	2
平均値	4.6	4.3	4.2	4.1
変動係数 (%)	13.6	12.1	20.5	4.9
最小値	3.3	3.0	2.9	3.9
最大値	5.8	5.4	6.2	4.3



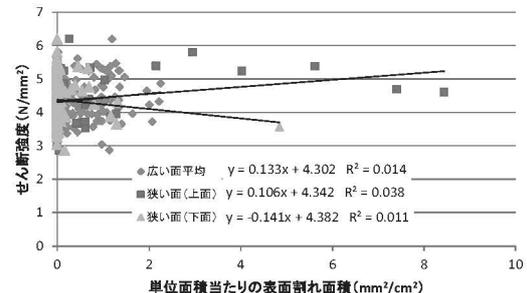
図—1 広い面の各種節径比とせん断強度の関係



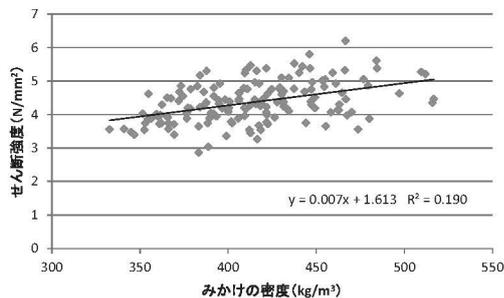
図—2 狭い面の各種節径比とせん断強度の関係



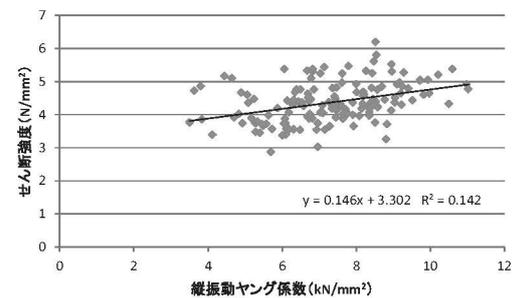
図—3 平均年輪幅とせん断強度の関係



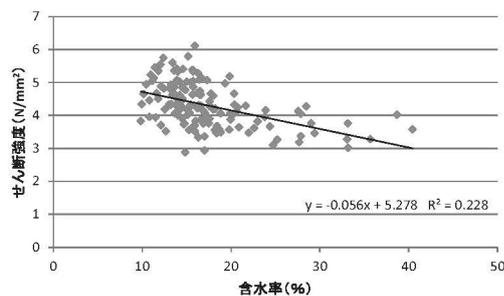
図—4 表面割れとせん断強度の関係



図—5 みかけの密度とせん断強度の関係



図—6 縦振動ヤング係数とせん断強度の関係



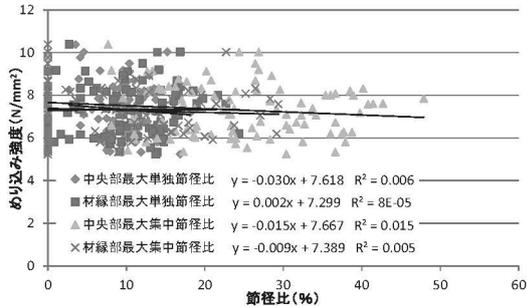
図—7 含水率とせん断強度の関係

表—4 めり込み試験結果

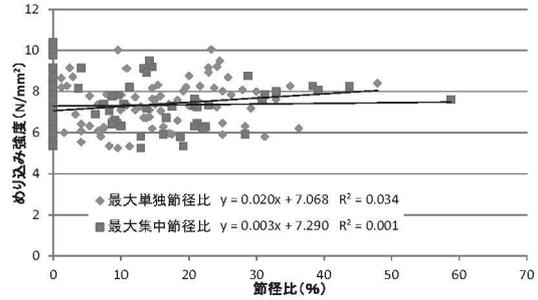
項目	めり込み強度 (N/mm ²)	めり込み降伏強度 (N/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)
試験体数	150	150	150.0
平均値	7.16	4.65	3.20
変動係数(%)	17.49	17.39	16.69
最小値	4.53	2.61	1.80
最大値	10.76	6.58	4.60
5%下限値	5.26	-	-

表—5 JAS目視等級別のめり込み強度

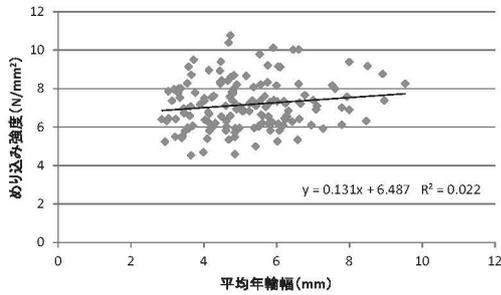
項目	JAS目視等級区分別のめり込み強度(N/mm ²)			
	1級	2級	3級	等級外
出現頻度(%)	24	63	10	3
平均値	7.26	7.25	7.74	7.75
変動係数(%)	20.45	15.10	14.44	7.70
最小値	5.24	5.33	6.20	7.23
最大値	10.39	10.03	9.16	8.40



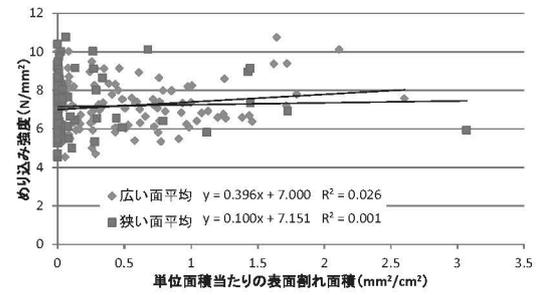
図—8 広い面の各種繊維比とめり込み強度の関係



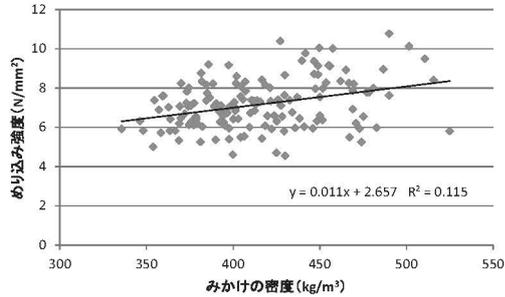
図—9 狭い面の各種繊維比とめり込み強度の関係



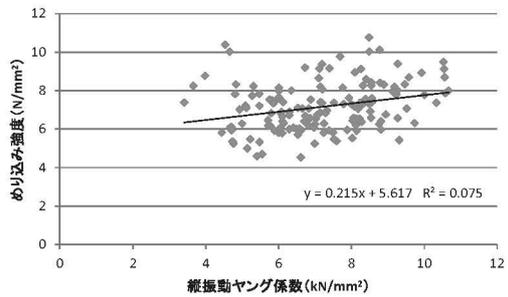
図—10 平均年輪幅とめり込み強度の関係



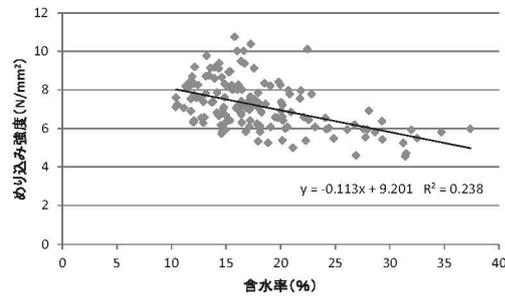
図—11 表面割れとめり込み強度の関係



図—12 みかけの密度とめり込み強度の関係



図—13 縦振動ヤング係数とめり込み強度の関係



図—14 縦振動ヤング係数とめり込み強度の関係