

4 県産スギ横架材の強度性能に関する研究（県単：H28～30）

林崎 泰、蛭子 雄太

1. 目的

佐賀県内の人工林は、長引く木材価格の低迷により立木伐採が見送られ、齢級構成のピークが9齢級から10齢級へと移行しており、住宅や大規模木造建築物の梁・桁等として利用出来る大径木が数多く存在している。そのため、県産スギ材の強度性能を明らかにすることで、大径材の木造建築物の構造材としての利用促進並びに県産材の需要増加が期待される場所である。

そこで今回、本研究において構造材として使用される県産スギ大径材の強度性能を明らかにし、県産スギ横架材のスパン表を作成することで一般住宅や木造建築物への利用拡大を図ることを目的とした。

2. 試験の概要

県産スギ心持ち平角材(255mm×135mm×4,000mm)を40本製材所より購入し、人工乾燥+天然乾燥後、モルダ―掛けを行い、材せい240mm、材幅120mmの寸法に仕上げたものを用いた。

人工乾燥については、本試験場内の高温蒸気式乾燥機(写真-1 玄海テック製 容量4m³)を用いて、乾燥後の目標含水率を20%以下とし、人工乾燥と天然乾燥を組み合わせた乾燥を行った。なお、天然乾燥は鉄パイプ等の代用として竹を用いたビニールハウス内(写真-2)で行った。人工乾燥条件及び乾燥工程については表-1に示す。

なお、試験体40本のうち7本については、重量判別等から初期含水率が100%を超え、目標の含水率20%以下にすることは難しいと考えられたため、高温乾燥60時間のスケジュールで行うこととした。

天然乾燥後、県内製材所でモルダ―掛けを行い、陸路で茨城県つくば市の国立研究開発法人森林総合研究所へ運送し、実大強度試験を行うこととした。

森林総研での調査項目として、

動的ヤング係数

目視等級

曲げ強度及び曲げヤング係数

含水率

の4つについて調査を行った。



写真 - 1 高温蒸気式乾燥機



写真 - 2 竹で作成したビニールハウス

表 - 1 試験材乾燥条件

	初期蒸煮	高温乾燥	天然乾燥
乾球温度	85℃	120℃	
湿球温度	85℃	85℃	2～3ヶ月
乾燥時間	9 (うち昇温1時間)	31or61 (うち昇温1時間)	

3 . 試験方法及び調査結果

3 - 1 佐賀県産スギ平角材の動的ヤング係数の測定及び欠点調査

3 - 1 - 1 試験体寸法計測及び動的ヤング係数測定

試験体 40 本について材長、材せい、材幅（材せい及び材幅は試験体中央部で計測）の計測を行った。なお、計測の際に材表面（4 材面）に A、B、C、D を記入し、寸法計測後の欠点調査での作業を効率的に行えるようにした。（写真 - 3） また、材せい材幅の計測にはデジタルノギスで計測したデータが自動でパソコンに出力される機器を利用した。

寸法計測後、FFTアナライザ（小野測器製）を用いて縦振動法により動的ヤング係数を測定した。縦振動法では木口面に打撃音をひろうマイクを設置し、もう片方の木口面をハンマーで打撃することで固有振動数を測定した。本試験場から R I O N 社製 FFT アナライザを持ち込んだが、森林総研で使用されている FFT アナライザと同等の値が得られた。



写真 - 3 材面に A ~ D を記入

3 - 1 - 2 欠点調査

今回の試験体は J A S 針葉樹構造材の甲種構造材（構造用）にあたり、製材の日本農林規格で定められている目視等級区分を明らかにするため、試験値の欠点調査を行うこととした。一人で行って、50分/本程度時間を要した。欠点調査については次の段取りで行った。

センターライン（C.L.）荷重点及び支点ラインを書く（写真 - 4）

節の位置と最大集中節と材縁集中節を調査用紙に記入（写真 - 5）

- 4 材面調査後 -

水系で曲がり測定（写真 - 6）

繊維傾斜測定（写真 - 7）

材芯位置を調査用紙に記入

調査終了

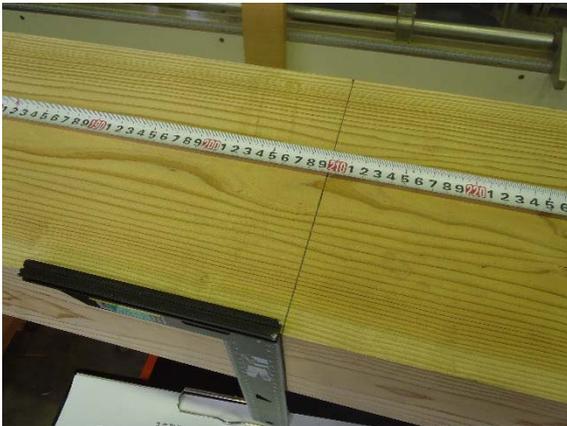


写真 - 4 直角定規を用いてライン記入



写真 - 5 4材面の節の位置を調査



写真 - 6 水系で材面の曲がりを調査



写真 7 繊維傾斜を調査

3 - 2 実大曲げ破壊試験

株式会社 東京衡機製造所製実大曲げ試験機を用いて実大曲げ破壊試験を行った。曲げ破壊試験については、構造用木材の強度試験マニュアルに準じて行うこととし、支点間距離 3,900mm(梁せいの 16 倍) 荷重点間距離 1,200mm(梁せいの 5 倍) 荷重点から支点間距離 1,350mm (梁せいの 5.5 倍) の 3 等分点 4 点荷重方式により、A 材面へ最大荷重に達するまで荷重をかけた。(写真 8、9) 荷重点間における真の曲げヤング係数を測定するため、800mm のヨークを用いてモーメント一定区間のたわみを測定した。また、せん断を含んだみかけの曲げヤング係数を測定するため、中央部に変位計 (東京測器製 SDP-200D) を設置した。(写真 10) 破壊した試験体については、荷重点間における写真をとり、欠点調査を行った野帳に破壊状況を記録した。(写真 - 11) また、非破壊部から 2cm の試験片を 2 枚切り出し、一つは全体の試験体の含水率推定用とし、もう一つは試験片を写真 - 12 のように 5 分割し、箇所別での含水率推定用として全乾法を行った。(写真 - 13)



写真 - 8 実大曲げ試験機



写真 - 9 実大試験機による載荷状況



写真 - 10 変位計設置状況



写真 - 11 破壊状況

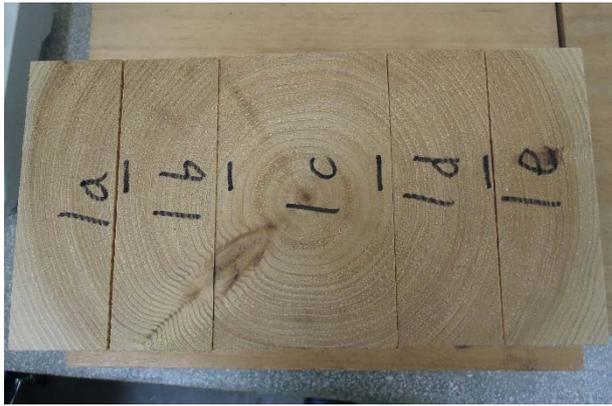


写真 - 12 箇所別での試験体採取



写真 - 13 乾燥機により全乾状態まで乾燥

4 . 結果と考察

4 - 1 欠点調査結果

欠点調査結果を表 - 2 に示す。

試験体は目視等級 1 級あるいは 2 級のものであり、3 級以下はなかった。

2 級に格付けされたものの多くが、単独節によるものであった。

表 - 2 欠点調査による目視等級区分付け

	試験体数	割合(%)
1級	27	67.5
2級	13	32.5
3級	0	0
格外	0	0
合計	40	100

4 - 2 含水率分布について

4 - 2 - 1 全体含水率

試験体の含水率について高温乾燥 30 時間と 60 時間のものに分けて表 - 3 及び図 - 1 に示す。

高温乾燥 30 時間では含水率の最大値が 30% 近いものも見られたが、平均値は 20% 以下で、分布をみると含水率 20% 以下のものが 25 本、含水率 20% 以上のものが 8 本であった。高温乾燥 60 時間では、含水率の平均値が 19.9% で、分布をみると含水率 20% 以下のものが 5 本、20% 以上のものが 2 本であった。

表 - 3 高温乾燥時間別試験体含水率

	高温乾燥 30時間	高温乾燥 60時間
試験体数	33	7
平均値	18.7	19.9
最小値	13.2	16.5
最大値	28.5	26.1
標準偏差	3.3	2.9
変動係数(%)	17.8	14.6

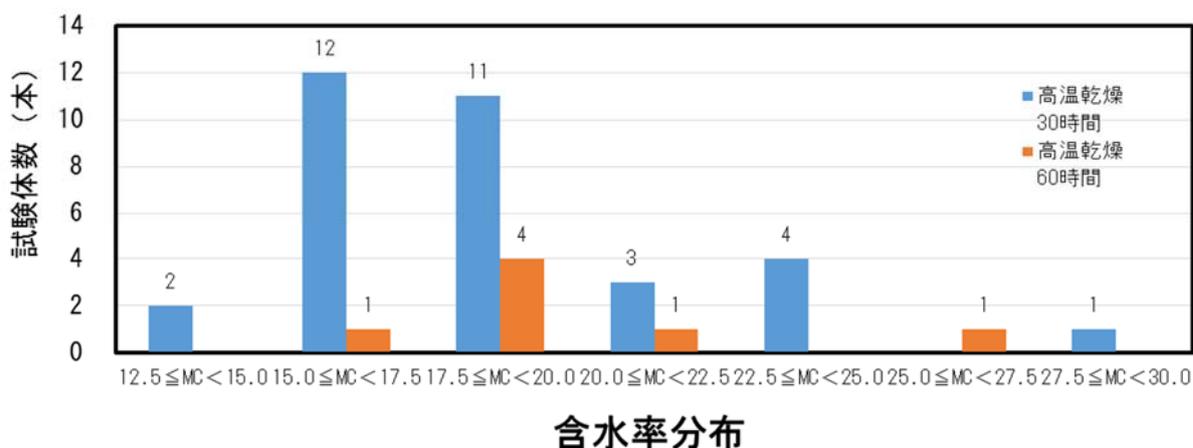


図 - 1 試験体含水率分布

4 - 2 - 2 採取箇所別含水率

試験体から採取した a~e の箇所別の含水率について、高温乾燥 30 時間と 60 時間の試験体に分けて表 - 4 及び図 - 2、3、4 に示す。

含水率の平均値をみると、高温乾燥 30 時間では 5 箇所全て含水率 20% 以下であったのに対し、高温乾燥 60 時間では辺材部に近い a、e のみ含水率 20% 以下であった。このことから、材表面のみ乾いていると考えられた。試験体毎の含水率傾斜図をみても、箇所によって含水率のかたよりのあることが覗える。高温乾燥 30 時間と高温乾燥 60 時間の箇所別の平均含水率を比較すると、よりその違いは鮮明となった。

そのため、材内部の乾燥が十分でないことと、試験体の箇所別での含水率のばらつきが見られることから、高温乾燥 60 時間で行った材について、曲げヤング係数及び曲げ強度の分析から除外することとした。

なお、平均含水率把握用に採取した切片と、箇所別含水率把握用に採取した切片については、図 - 5 から有意な相関があることを確認した。

表 - 4 採取箇所別含水率

高温乾燥時間	採取箇所	平均値	最小値	最大値	標準偏差	変動係数
30時間	a	15.26	12.88	21.22	1.84	12.05
	b	18.85	14.29	27.45	3.24	17.18
	c	19.53	13.75	30.06	3.72	19.04
	d	18.87	15.24	31.26	3.60	19.08
	e	15.35	12.28	23.32	2.67	17.39
60時間	a	14.29	9.87	22.26	3.72	26.03
	b	20.74	14.89	27.60	3.74	18.04
	c	22.12	18.84	28.39	2.84	12.84
	d	20.69	18.22	27.34	2.98	14.41
	e	14.29	10.46	20.61	3.24	22.67

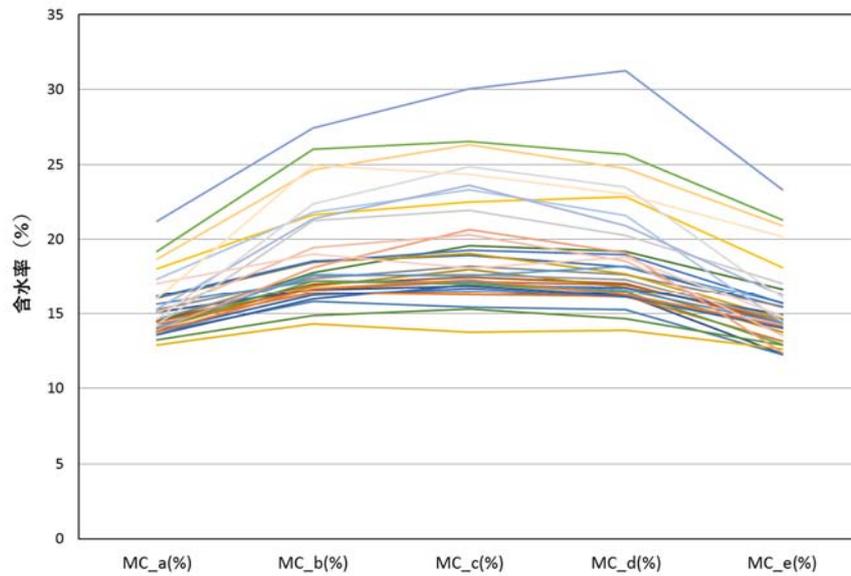


図 - 2 試験体別含水率傾斜 (高温乾燥 30 時間)

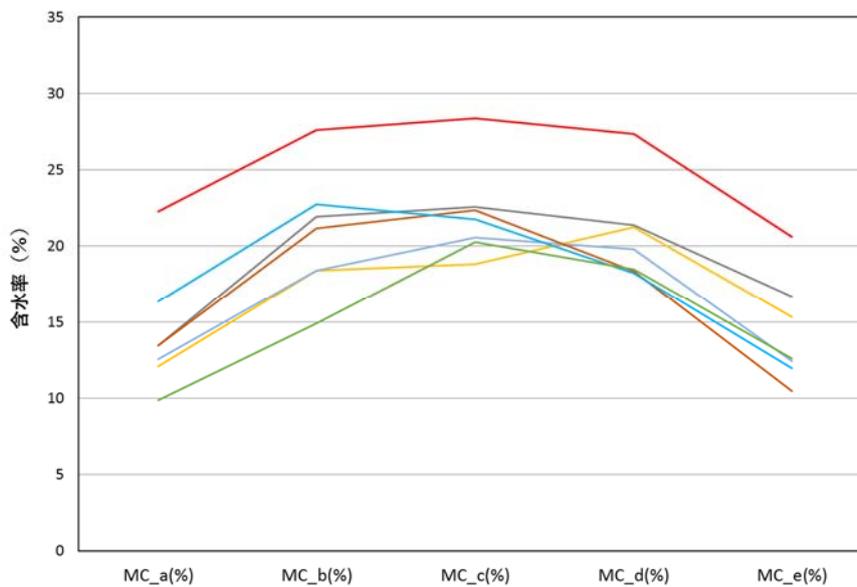


図 - 3 試験体別含水率傾斜 (高温乾燥 60 時間)

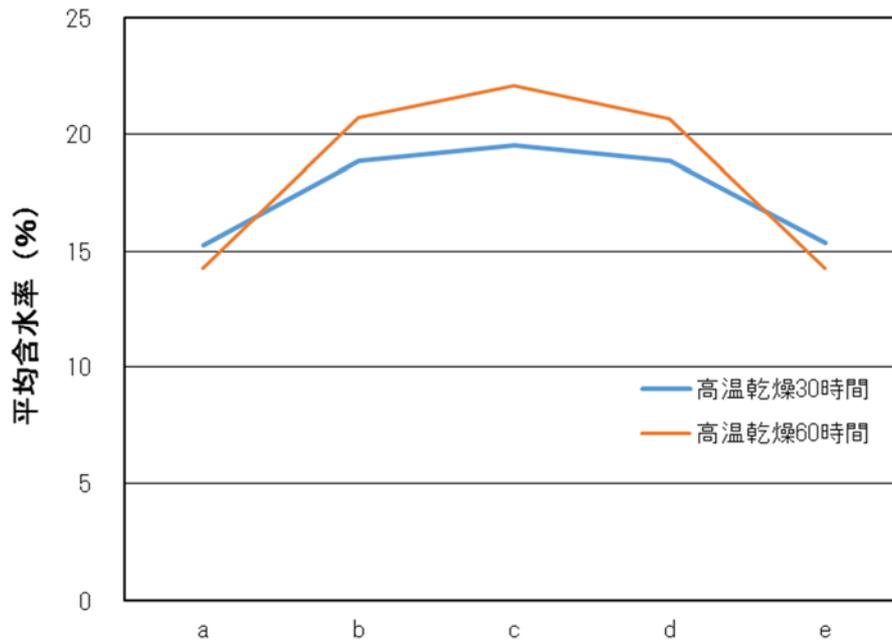


図 - 4 採取箇所別含水率傾斜

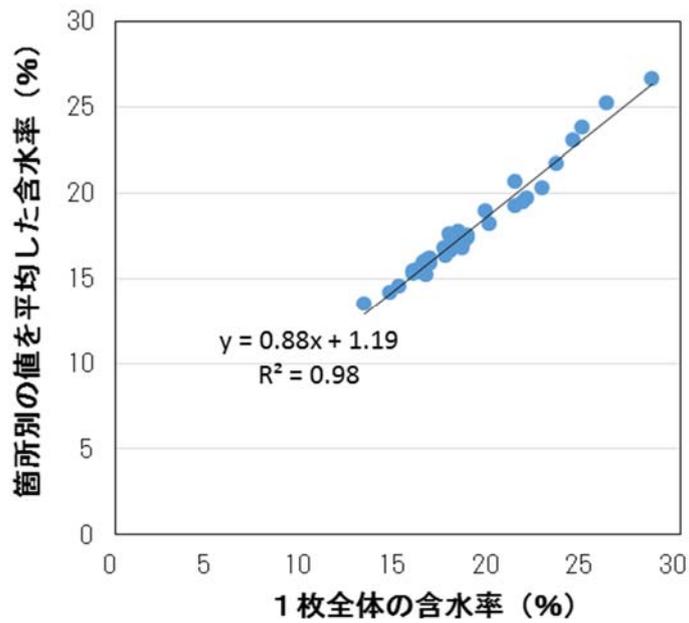


図 - 5 採取箇所別平均含水率と1枚全体の含水率との関係

4 - 3 曲げ強度とヤング係数の関係

曲げ強度とヤング係数の調査結果について表 - 5 及び図 - 6、7、8 に示す。

なお、今回使用した試験体について、すべて気乾状態（含水率 15%）への含水率補正を行うこととした。

また、試験体 33 本のうち 1 本にせん断破壊がみられたため、除外することとした。(写真 - 14) 破壊試験前の欠点調査で木口における貫通割れが確認されていたことがせん断破壊の原因だと考えられた。

曲げ強度とみかけの曲げヤング係数、動的ヤング係数の間に明確な関係は認められなかった。動的ヤング係数とみかけの曲げヤング係数の関係をみると、正の相関がみられた。



写真 - 14 せん断破壊状況

表 - 5 試験体調査結果

	Densi-15 (kg/m ³)	E-app (kN/mm ²)	E-true (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)
試験体数	32	32	27	32
平均値	420	6.66	7.71	36.6
最小値	366	4.84	5.09	28.7
最大値	473	8.96	10.96	45.8
標準偏差	36	1.01	1.38	3.6
変動係数	8.6	15.2	17.9	9.9

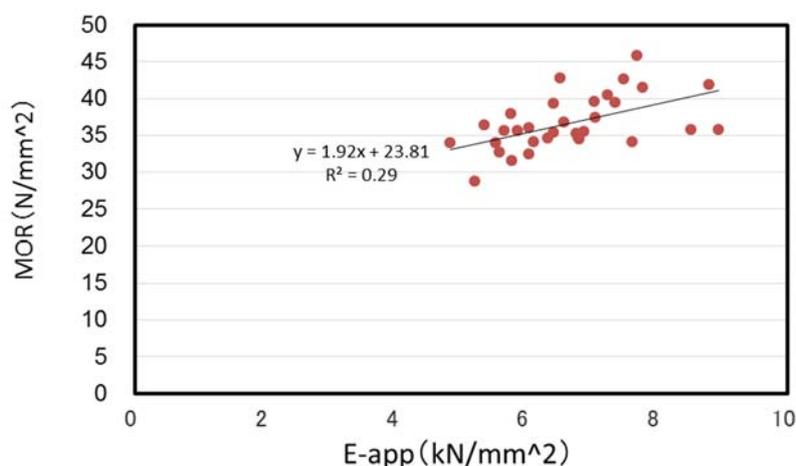


図 - 6 曲げ強度と曲げヤング係数との関係

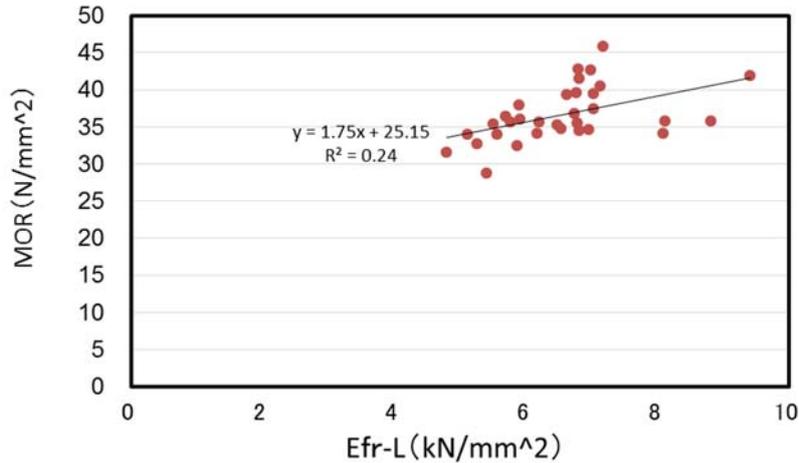


図 - 7 曲げ強度と曲げヤング係数との関係

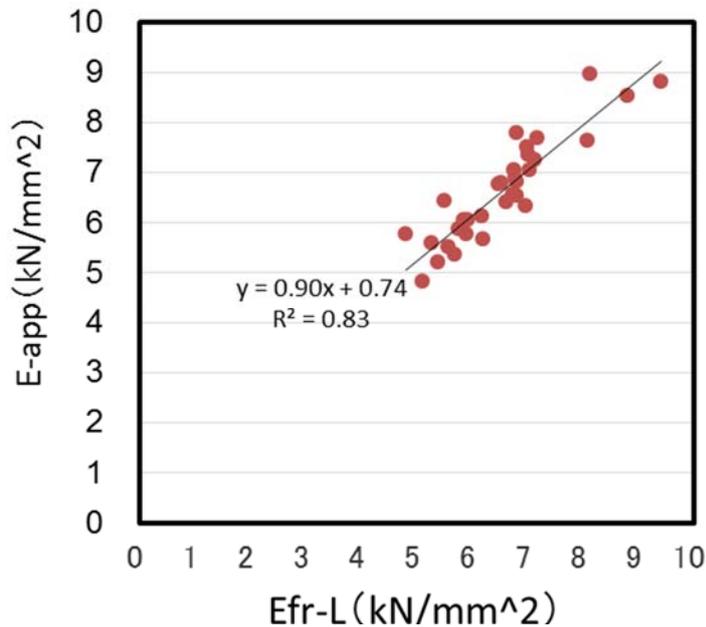


図 - 8 動的ヤング係数と曲げヤング係数との関係

4 - 4 曲げ強度及びヤング係数の補正について

今回の試験体について「構造用木材の強度試験マニュアル」P90の含水率補正式及び「製材品の強度性能に関するデータベース」P5 4.2.4 荷重条件による曲げヤング係数の補正及び P6 4.2.5 荷重条件による曲げ強度の補正により、含水率及び荷重条件による強度特性値の補正(3等分点4点荷重方式の標準荷重条件への補正)を行い、補正前後における曲げヤング係数と曲げ強度の比較を行った。なお、今回の試験結果については、構造用木材の強度試験マニュアル P90に記載されている含水率補正式を用いた。

○補正内容

含水率 平均含水率 18.7% → 含水率 10%以上 18%未満の試験体は気乾状態含水率 15%へ補正
含水率 18%以上の試験体は気乾状態含水率 18%に補正

荷重条件 支点間距離 3,900mm → 4,320mm へ補正
荷重点間距離 1,200mm → 1,440mm へ補正
荷重点から支点間距離 1,350mm → 1,440mm へ補正

含水率及び荷重条件補正による強度特性値の変動について、表 - 6 及び表 - 7 に示す。

曲げヤング係数（みかけ）については、含水率補正においては、密度以外の強度特性値が増加していた。荷重条件による補正では、みかけの曲げヤング係数は増加していたが、曲げ強度は減少した。

表 - 6 強度特性値の含水率による補正

	密度		E-app		E-true		MOR	
	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後
試験体数	32	32	32	32	27	27	32	32
平均値	433	420	6.27	6.66	7.29	7.71	33.3	36.6
最小値	371	366	4.19	4.84	4.41	5.09	25.1	28.7
最大値	490	473	8.38	8.96	10.25	10.96	44.9	45.8

表 - 7 曲げ強度及び曲げヤング係数の荷重条件による補正

	E-app		MOR	
	補正前	補正後	補正前	補正後
試験体数	32	32	32	32
平均値	6.27	6.41	33.3	33.0
最小値	4.19	4.28	25.1	24.9
最大値	8.38	8.57	44.9	44.4

5. 試験結果まとめ

本試験において、佐賀県産スギ平角材 33 本（うち 1 本はせん断破壊により強度データから除外）の動的ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ強度の試験及び調査を行ったが、そのとりまとめデータのみかけの曲げヤング係数より日本農林規格に定められた機械等級区分に基づき評価した結果を表 - 8 に示す。

その結果、規格外のものは無く、全ての試験体で E-50 以上の性能を期待できることが明らかとなった。

佐賀県産のスギは強度がないと言われることも多いが、少なくとも今回の試験においては JAS に規定された基準強度性能を有していることが確認された。

表 - 8 本試験結果に基づく機械等級区分評価

機械等級区分	試験体数(本)
規格外	0
E-50	10
E-70	19
E-90	3
E-110以上	0

6. 今後の計画と課題

今回の試験では、含水率が 20% を超える試験体もあり、含水率補正幅も大きくなった。そのため、補正を行うとしても、できるだけ最小限の補正で抑えられるような試験体の準備（乾燥）が必要だと思われる。

また、人工乾燥条件の違い（高温乾燥時間の長短）による材強度の影響が考えられたため、今後の強度試験については高温乾燥 30 時間のスケジュールを適用し、試験を行いたい。

参考資料

高温乾燥時間別での強度性能

今回の試験は人工乾燥における高温乾燥時間を、30 時間と 60 時間の 2 パターン行っている。しかし、採取箇所別の含水率変動が大きかったこと、高温乾燥 60 時間は 7 本と試験体数が少なかったことから、強度性能値の分析から除外することとした。参考ではあるがその 2 パターンについて表 9 に示す。

ヤング係数及び曲げ強度において、高温乾燥 60 時間であっても、JAS に規定された基準強度内の値はでていないが、高温乾燥 30 時間が高温乾燥 60 時間の平均値を全て上回っていた。最大値についても同様の結果となった。

そのため、高温乾燥時間と材強度の関係については、追加試験及び調査が必要だと思われる。

表 - 9 高温乾燥時間別での強度性能値

高温乾燥時間		Efr-L (kN/mm ²)	E-app (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)
30時間	試験体数	32	32	32
	平均値	6.57	6.66	36.6
	最小値	5.11	4.84	31.6
	最大値	9.41	8.96	45.8
	標準偏差	1.05	1.09	4.4
	変動係数	16.1	16.3	12.1
60時間	試験体数	7	7	7
	平均値	6.15	6.08	32.6
	最小値	5.71	5.29	27.7
	最大値	7.05	7.34	38.7
	標準偏差	0.42	0.60	3.8
	変動係数	6.8	9.9	11.8