

# 県産材を使用した枠組壁工法部材の性能評価

Performance evaluation of dimension lumber using Gunma prefecture-derived timber

町田初男・工藤康夫

## I はじめに

人口の自然減や生産年齢人口の減少等から、従来の木材利用の大半を占める住宅建築の指標である住宅着工戸数は、長期低落傾向にある。県産材・国産材需要を喚起するには、外材や木材以外の材料が使用されている住宅部材の県産材・国産材への逆代替を進めることや、住宅以外の木材の用途を開発する必要性に迫られている。住宅分野においては、住宅着工戸数の75%を在来軸組工法が占め、一方で、着工戸数の20%を枠組壁工法住宅が占めている。枠組壁工法部材は価格等の問題もあり、国産材のシェアはごくわずかである（林野庁、2017）。

平成27年に枠組壁工法構造用製材の日本農林規格（以下新JAS）が改正された（農林水産省、2015）。改正前、国産樹種は外材と同一樹種群に入れられ、ヒノキ、カラマツは樹種群Hem-Tam、スギは樹種群WCedarとされていて、北米材の樹種群に国産樹種を当てはめた状況であった。そのため国産樹種の性能と規格が適合しにくい状況となっていた。しかし、この改正により、国産3樹種がJSⅠ（ヒノキその他これに類するもの）JSⅡ（スギその他これに類するもの）JSⅢ（カラマツその他これに類するもの）と規定され、それぞれに旧来とは異なる基準強度が与えられた（国土交通省、2015）。新JASにおいては、国産3樹種について年輪幅の規定が適用外となった。

また、スギ大径材の一番玉から製材した心去り正角材については、心持ち正角材に比べて節が少なくヤング係数は低めの材の出現率が多い傾向であった（佐藤ら、2014）。スギ大径材一番玉を枠組壁工法部材に使用する場合、ヤング係数が低下することが既存研究から推察されており、大径材での性能評価が必要な状況となっている。一方、大径材の場合、無節材を多く得られるメリットもあり、枠組壁工法部材として適性が増すとも考えられる。

そこで末口径32cm前後の一番玉と末口径28cm前後の二番玉から製材した204材の曲げ強度試験を行って、枠組JASの甲種構造材と乙種構造材としての適合性を検討した。また、ヒノキ、カラマツはスギよりもヤング係数が高い樹種であることから、甲種構造用材としての検討を行った。

これら、県産材を利用した枠組壁工法部材の性能評価を行ったので報告する。

## II 材料及び方法

### (1) スギ204材の性能評価試験

試験体は、末口径26~34cmの県産スギ一番玉26体と末口径24~30cmの県産スギ二番玉以降40体の4m丸太を選別し、製材を行った。木取りの例として、図-1に末口径30cmの場合を示した。製材寸法は105mm×45mmで、日本電化工機製蒸気式乾燥機DKSH-15HTにより乾球温度80℃、湿球温度70~75℃乾燥時間122hの人工乾燥の後、長さ240cmで鋸断し、89mm×38mmに仕上げた。仕上げ後、新JASの目視等級区分に準じた格付けを行った。

曲げ強度試験は、インストロン製万能強度試験機5582EX/Hを使用し、支点間21h=187cm、荷重点間7h=62cm、載荷速度20mm/minで3等分点4点曲げ試験を行った。曲げヤング係数は、全区間に対す

る中央の変位から、せん断の影響を含んだ見かけの曲げヤング係数を算出した（日本住宅・木材技術センター，2011）。

曲げ試験終了後、非破壊部分を切り出し、全乾法による含水率を求めた。曲げヤング係数及び曲げ強度が含水率の影響を受けるのを防ぐため、ASTM D2915の補正式を用いた。含水率10%以上20%以下の範囲について、下に示す補正式を用いて含水率15%時の値に調整を行った。なお、含水率が20%を超えるもの、及び10%未満のものはそれぞれ含水率20%、10%として調整を行った。

$$k_{m-f} = 1.25 / (1.75 - 0.0333M)$$

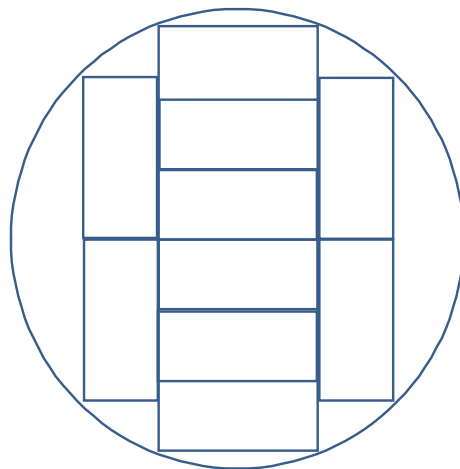
$$k_{m-E} = 1.14 / (1.44 - 0.02M)$$

$k_{m-f}$ ：曲げ強度補正係数

$k_{m-E}$ ：曲げヤング係数補正係数

図-1 末口径30cmの丸太の木取りの例

M：試験時の含水率（%）



### (2) ヒノキ208材の性能評価試験

試験体は、末口径30cm前後の東毛産ヒノキ4m丸太から、荒挽き寸法210mm×50mmで100体の製材を行った。製材後、日本電化工機製蒸気式乾燥機DKSH-15HTにより乾球温度80℃、湿球温度70～75℃乾燥時間122hの人工乾燥の後、184mm×38mmに仕上げた。仕上げ後、新JASの目視等級区分に準じた格付けを行った。

曲げ試験は、インストロン製万能強度試験機5582EX/Hを使用し、支点間20h=368cm、荷重点間6h=110.4cm、载荷速度20mm/minで4点曲げ試験を行った。曲げヤング係数は、全区間に対する中央の変位から、せん断の影響を含んだ見かけの曲げヤング係数を算出した。

曲げ試験終了後は、前項スギ204材の強度試験後と同様に行った。

### (3) カラマツ208材の性能評価試験

試験体は、県産カラマツ4m丸太から製材、人工乾燥を行って184mm×38mmの未仕上げ材60体を新JASの目視等級区分に準じた格付けを行った。また採材部位によるねじれの影響を把握するために、図-2に示す新JASのラジアータパインの髓心部の測定方法を準用し、末口側木口において、最も髓に近い年輪に半径50mmの円を重ねて円が外接した場合に髓付近の材、内接する場合を外側材と定義した。

曲げ試験以降は、前項ヒノキ208材と同様に行った。

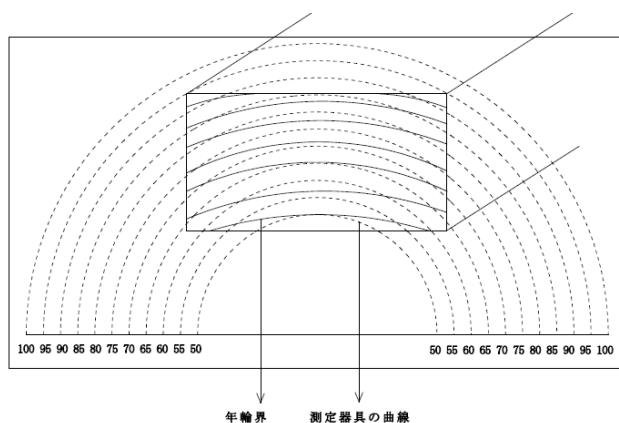


図-2 髓心部の判定方法

### Ⅲ 結果及び考察

#### (1) スギ204材の性能評価試験

図-3に甲種構造材として、図-4に乙種構造材として、目視等級区分を行った結果を示した。最上位の等級の出現率は、甲種、乙種ともに二番玉由来が有意に高かった。一方、SPF材で構造材として使用されているグレードに満たない甲種3級以下、縦枠材として使用されない乙種ユティリティ以下の出現率は、一番玉由来で甲種25.1%、乙種19.5%、二番玉由来で甲種8.1%、乙種4.0%であった。

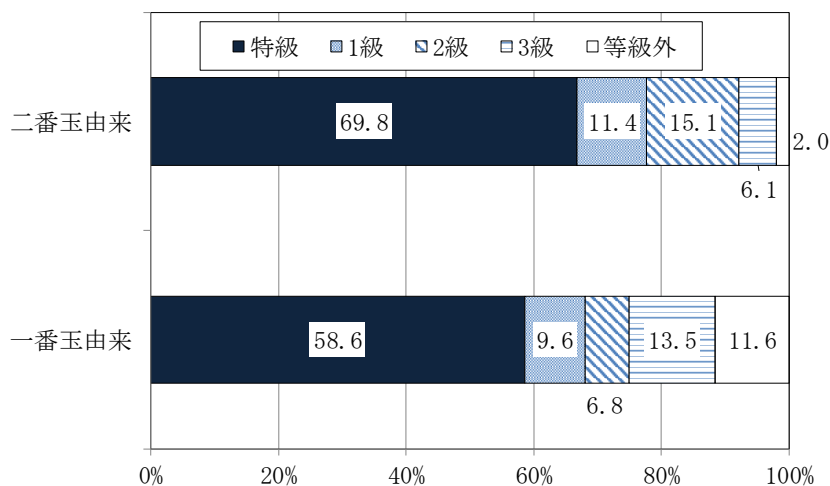


図-3 スギ204材の目視等級区分出現率 (甲種)

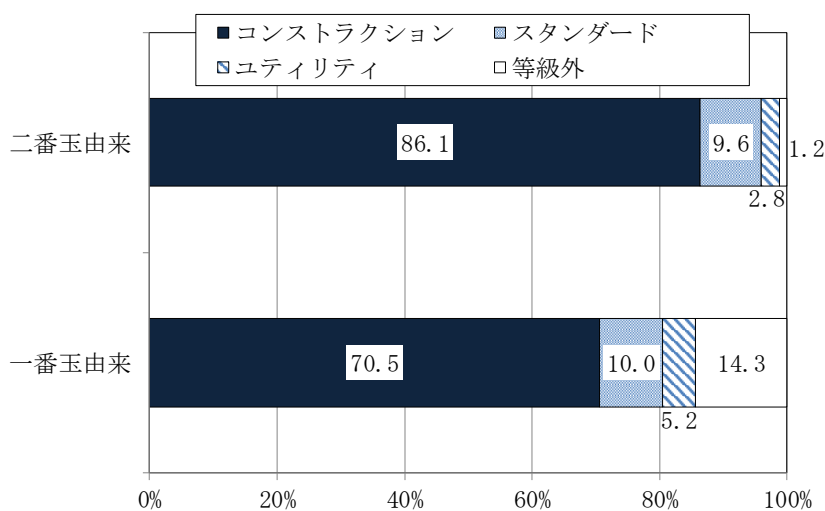


図-4 スギ204材の目視等級区分出現率 (乙種)

図-5に一番玉の、図-6に二番玉の曲げヤング係数と曲げ強度の関係を示した。一番玉と二番玉を比較すると、二番玉で曲げヤング係数、曲げ強度ともに高い材が多く出現した。また2級、3級に格付けされた試験体では、ヤング係数の割に強度の低い傾向が認められた。

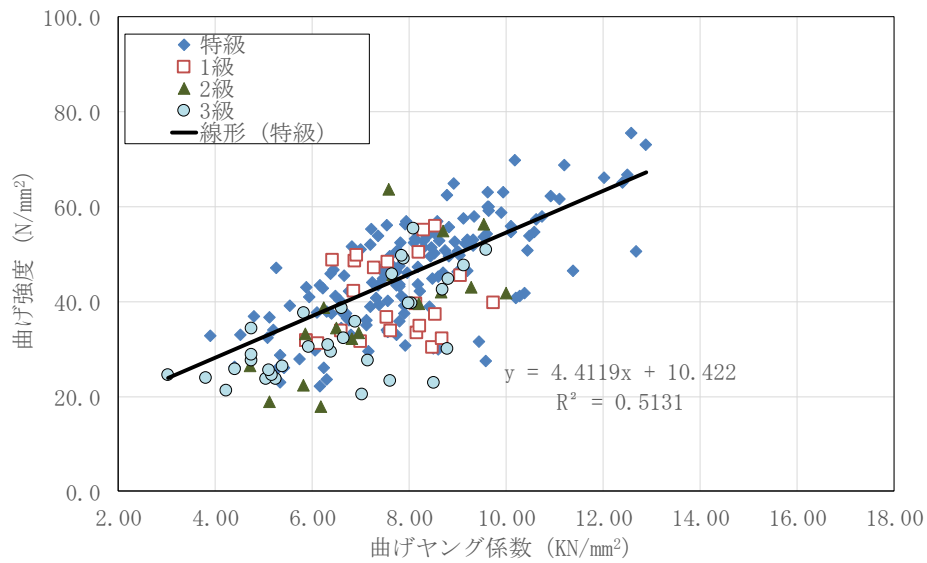


図-5 スギ204材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係（一番玉）

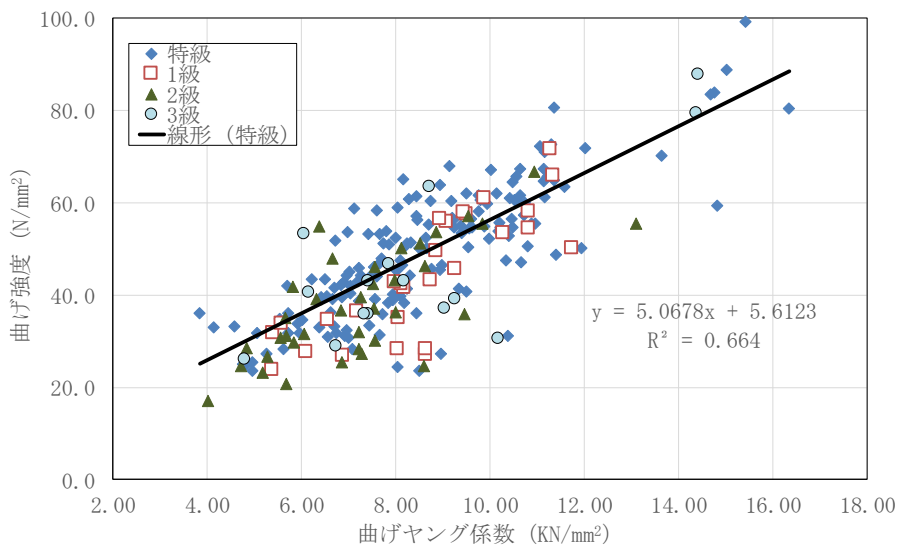


図-6 スギ204材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係（二番玉）

表-1、表-2に甲種の目視等級区分別の強度試験結果を示した。対象となる試験体数が少ないため、5%下限値を算出不可能な等級があった。算出できたものについてみると、一番玉及び二番玉由来の甲種では、5%下限値が基準強度を大きく下回るものは存在しなかった。

表－1 甲種構造材としての強度試験結果（一番玉由来）

	特級 (n=147)		1級 (n=24)		2級 (n=17)		3級 (n=34)		等級外 (n=16)	
	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )
平均	46.1	8.1	40.5	7.6	37.9	7.3	33.2	6.6	31.4	6.6
標準偏差	11.0	1.8	8.1	1.0	12.4	1.5	9.8	1.7	9.3	1.1
変動係数	23.9	22.1	20.1	13.4	32.9	21.1	29.5	25.8	29.7	16.3
最大	75.6	12.9	55.9	9.7	63.6	10.0	55.3	9.6	48.9	8.8
最小	22.2	3.9	30.4	5.9	17.8	4.7	20.2	3.0	11.8	4.9
下限値**	26.1		***		***		18.6		***	
基準強度	28.4		20.4		19.5		11.3			

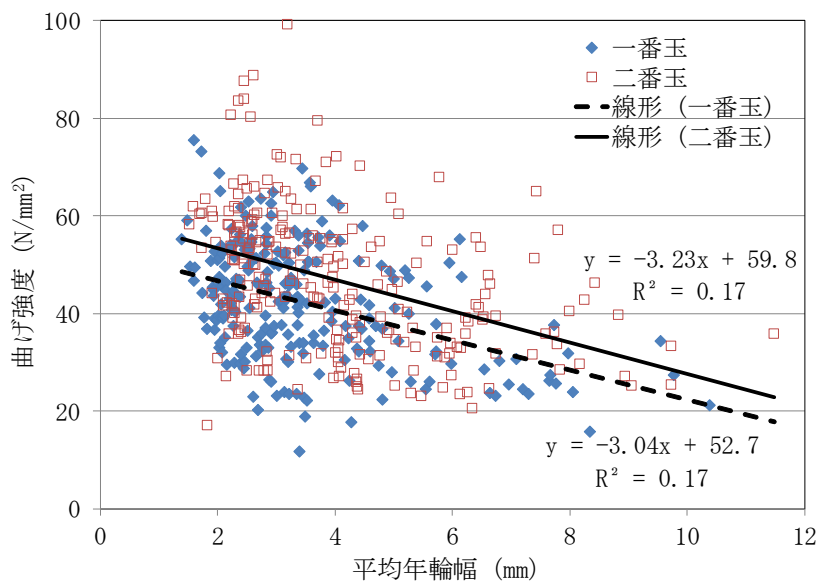
\*：MORは曲げ強度を、MOEは曲げヤング係数を示す  
 \*\*：下限値は、信頼水準75%のときの95%下側許容限界値  
 \*\*\*：試験体数が少ないため検出不可

表－2 甲種構造材としての強度試験結果（二番玉由来）

	特級 (n=160)		1級 (n=28)		2級 (n=37)		3級 (n=15)		等級外 (n=5)	
	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )	MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	MOE* (KN/mm <sup>2</sup> )
平均	49.3	8.6	44.4	8.6	37.9	7.2	46.0	8.5	50.8	8.8
標準偏差	14.2	2.3	13.2	1.8	11.8	1.8	17.4	2.7	7.2	1.2
変動係数	28.7	26.4	29.8	20.6	31.2	25.3	37.7	31.1	14.2	14.2
最大	99.2	16.3	71.6	11.7	66.7	13.1	87.7	14.4	57.7	10.7
最小	23.6	3.8	23.9	5.4	17.1	4.0	26.0	4.8	37.1	7.1
下限値*	28.1		24.0		20.3		**		**	
基準強度	28.4		20.4		19.5		11.3			

\*：MORは曲げ強度を、MOEは曲げヤング係数を示す  
 \*\*：下限値は、信頼水準75%のときの95%下側許容限界値  
 \*\*\*：試験体数が少ないため検出不可

図－7に平均年輪幅と曲げ強度の関係を示した。年輪幅と曲げ強度の相関は決定係数0.17と低く、相関は認められなかった。狭い年輪幅では、高い強度の材も出現していた。改正前の枠組壁工法構造用製材のJAS（以下旧JAS）では年輪幅6mmを超えた場合、甲種構造用3級以下に格付けされたが（農林水産省，2010）、結果からは、新JASに適合していることが確認された。



図－7 年輪幅と曲げ強度の関係（スギ）

(2) ヒノキ208材の性能評価試験

図-8に、仕上げ後の208材について、甲種構造材として目視等級区分を行った出現率と材縁部最大節径による出現率を示した。甲種特級の出現率は75.0%であった。一方、SPF材で構造部材として使用されているグレードは甲種2級であり、それ以下の甲種3級と等級外の出現率は8.0%であった。また、ヒノキにおいて目視等級区分に最も影響の大きかった材縁部の最大節径による出現率は甲種特級82.0%、甲種1級13.0%、甲種2級5.0%であった。

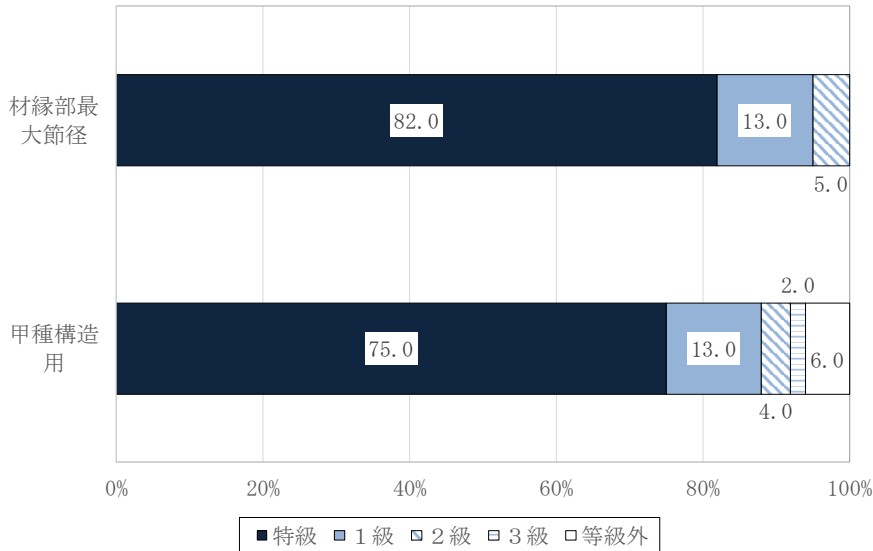


図-8 ヒノキ208材の目視等級出現率

図-9に曲げヤング係数と曲げ強度の関係を示した。1級以下に格付けされた試験体は、特級の回帰線に対して下側に位置する試験体が多く、ヤング係数の割に強度の低い傾向が認められた。

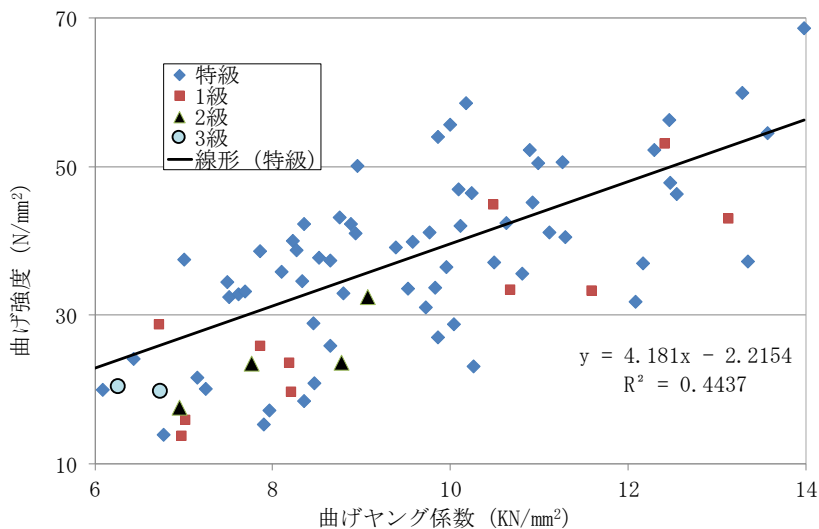


図-9 ヒノキ208材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係

図-10に、曲げ試験時の破壊形態の内訳を示した。全体の70.5%が曲げで破壊した。荷重点間の引

張り側材縁部に大きな単独節や材縁部を含む集中節が存在する場合、比較的低い荷重で破壊に至る例が多くみられ、このような試験体の曲げ強度の平均値は $31.4\text{N}/\text{mm}^2$ であった。また、引張り側材縁部が無節であった場合、最大荷重は高く、圧縮側の挫屈で破壊し、曲げ強度の平均値は $47.3\text{N}/\text{mm}^2$ であった。

枠組壁工法部材の場合、材幅が在来軸組用の構造用材に比べて小さく、節の影響が大きいことが本実験の結果から確認できた。

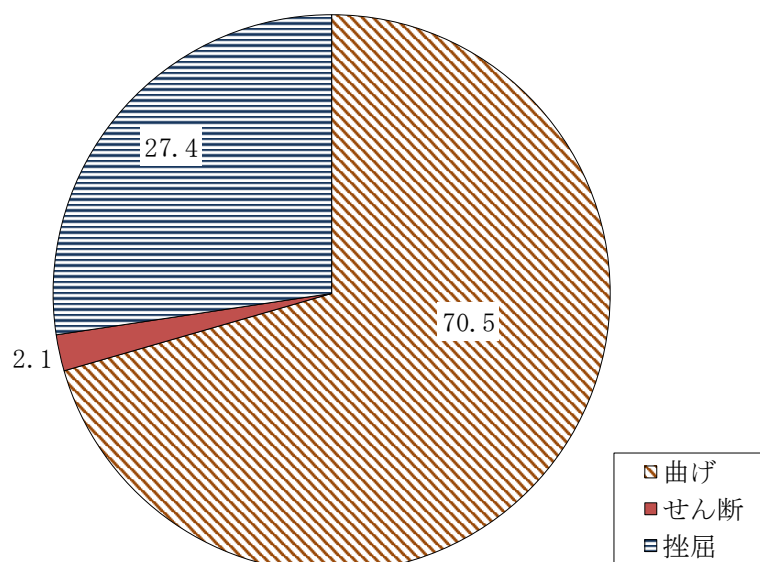


図-10 破壊形態出現率

表-3に甲種の目視等級区分別の強度試験結果を示した。無等級の曲げ強度の平均は $35.9\text{N}/\text{mm}^2$ であった。甲種特級の曲げ強度平均は $38.1\text{N}/\text{mm}^2$ 、5%下限値 $17.5\text{N}/\text{mm}^2$ であった。全体の76%を占める甲種特級であっても基準強度以下の材が43%あり、目視等級区分では十分な選別が行えないことが明らかになった。1級と2級についても、最小値から判断すると5%下限値が基準強度を満たさないことが予測される。県産ヒノキ材を甲種構造材として利用するには、ヤング係数を測定するなど強度選別を行って使用する必要があり、新JASに適合しにくい状況であった。

ヒノキ材が基準強度に至らなかった要因として、一番玉由来であることが大きいと考えられる。既報においても同様の傾向が認められており（町田，2015）、ヒノキについては強度選別に注意を要することが改めて確認された。

今後より大径化が進むことで、ヤング係数の高い二番玉から製材することが可能となり、ヒノキ材が横架材として利用できる可能性が高まると予測された。

表－3 甲種構造材としての強度試験結果（ヒノキ）

	無等級 (n=100)	特級 (n=76)	1級 (n=11)	2級 (n=4)	3級 (n=2)	等級外 (n=7)
	MOR*	MOR*	MOR*	MOR*	MOR*	MOR*
	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
平均	35.9	38.1	30.5	24.2	20.2	31.4
標準偏差	12.2	11.7	12.5	6.1	0.4	9.3
変動係数	34.1	30.7	41.1	25.3	2.1	29.7
最大	68.6	68.6	53.1	32.4	20.5	
最小	13.7	14.0	13.7	17.5	19.9	
下限値**	16.0	17.5	***	***	***	***
基準強度		33.6	23.7	22.2	12.9	

\*：MORは曲げ強度を示す

\*\*：下限値は、信頼水準75%のときの95%下側許容限界値

\*\*\*：試験体数が少ないため検出不可

### (3) カラマツ208材の性能評価試験

図-11に甲種構造材として目視等級区分を行った結果とねじれによる等級の出現率を示した。目視等級区分としては、甲種特級が59.3%、1級が18.6%、2級が22.0%であった。

ねじれによる区分では、髓付近から製材した試験体は特級が72.7%、1級が18.2%、2級が9.1%であったが、髓から離れた外側から製材した試験体は、すべてが特級となった。カラマツの旋回木理による繊維傾斜は高齢級になると少なくなり、ねじれが減少することに起因している。なお、ねじれが2級相当の材では、曲げ試験時に転倒の可能性が高く、一部の材では測定困難なものも出現した。

図-12に曲げヤング係数の出現率を示した。髓付近では、外側に比べて低ヤング係数材の比率が高くなった。また、スギやヒノキと比較して1～2等級ヤング係数が高い材の出現が傾向が多かった。今後、高齢大径化が進むことによって、高いヤング係数材が得られる外側部材の入手が容易になると予測される。

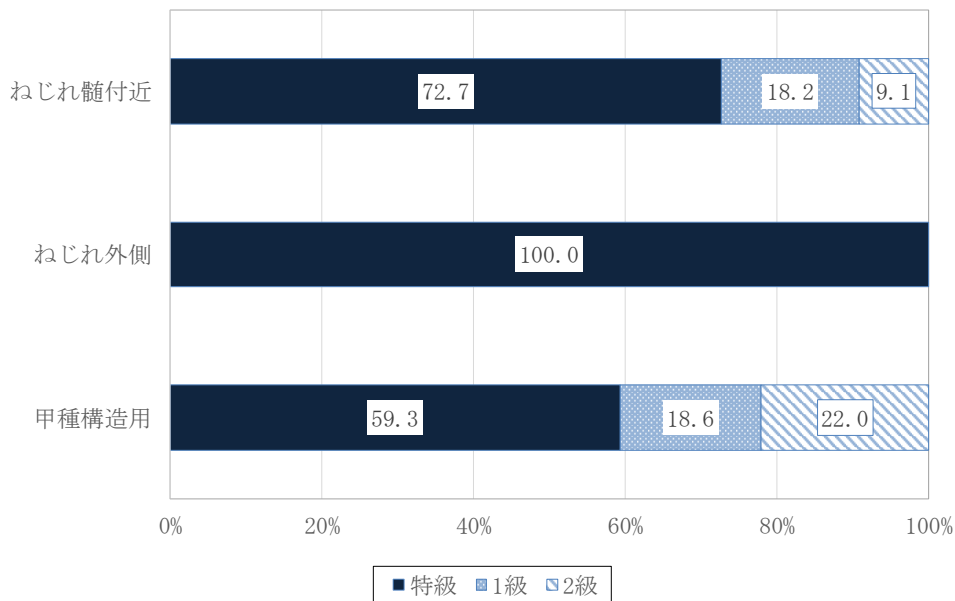


図-11 カラマツ208材の目視等級出現率



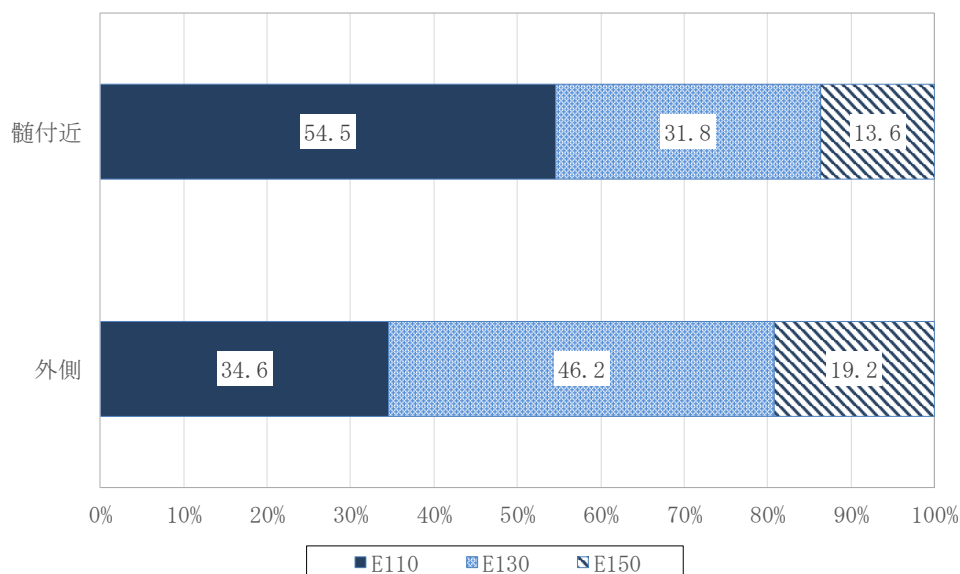


図-12 カラマツ 208材の曲げヤング係数出現率

図-13に曲げヤング係数と曲げ強度の関係を示した。表-4に甲種の目視等級区別の強度試験結果を示した。無等級の曲げヤング係数の平均は $12.1\text{KN/mm}^2$ 、曲げ強度の平均は $41.0\text{N/mm}^2$ であった。甲種特級に格付けした材の曲げヤング係数の平均は、 $12.2\text{KN/mm}^2$ 、曲げ強度平均は $42.0\text{N/mm}^2$ 、5%下限値 $25.1\text{N/mm}^2$ であった。なお、特級以外の1～3級は試験体数が少ないため、下限値の算出は不可能であった。下限値の算出できた特級は基準強度以上の値であった。

甲種目視等級区分結果から、特級の試験体はすべて基準強度以上であり、目視等級区分で十分な強度が得られることが明らかになった。

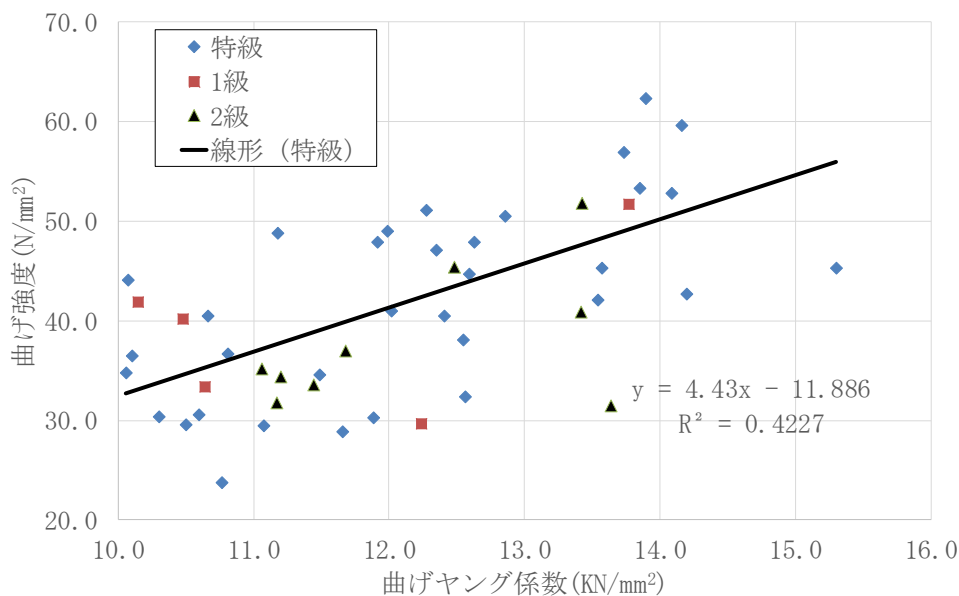


図-13 カラマツ 208材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係

表－4 甲種構造材としての強度試験結果（カラマツ）

	無等級 (n=48) MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	特級 (n=34) MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	1級 (n=5) MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	2級 (n=9) MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	3級 (n=0) MOR* (N/mm <sup>2</sup> )	等級外 (n=0) MOR* (N/mm <sup>2</sup> )
平均	41.0	42.0	39.3	37.9		
標準偏差	9.1	9.6	8.5	6.9		
変動係数	22.1	22.9	21.7	18.1		
最大	62.2	62.2	51.7	51.7		
最小	23.8	23.8	29.6	31.5		
下限値**	29.1	25.1	***	***		
基準強度		22.5	16.1	15.5	9.0	

\*：MORは曲げ強度を示す

\*\*：下限値は、信頼水準75%のときの95%下側許容限界値

\*\*\*：試験体数が少ないため検出不可能

#### IV おわりに

県産3樹種の枠組JASに対する適合性について評価した。スギは大径材の二番玉では一番玉に比して、強度の高い材を得られることが明らかになった。カラマツについては、ねじれの強い材の出現もあるが、十分な強度を持っていることが確認された。

しかし、ヒノキについては、目視等級区分のみでは的確な強度区分はできず取り扱いに注意を要することが明らかになった。

近年の状況として、県内製材工場が枠組壁工法構造用部材のJAS認定を取得し、大手ビルダーと連携する動きや、北米への外構材用スギ枠組壁工法部材を輸出する計画があるなど、県産枠組壁工法構造用製材の需要の高まりが感じられている。

このような状況において、枠組壁工法部材に関する研究課題として、未評価のスギ206材や、スギ材の釘接合部の評価など、現場で活用できる技術資料の提供が急がれるところである。

#### 引用文献

- 国土交通省（2015），木材の基準強度 $F_c$ 、 $F_t$ 、 $F_b$ 及び $F_s$ を定める件，国土交通省告示第910号（平成27年8月4日）
- 町田初男，佐藤博，工藤康夫，小黒正次（2015），群馬県産ヒノキ平角材の強度性能，群馬県林業試験場研究報告第19号，76-81
- 木構造振興株式会社（2011），曲げ強度に関するデータ（木材強度等データ及び解説，152pp，木構造振興株式会社，東京），23
- 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<http://www.howtec.or.jp/kenkyu/kyoudosiken.pdf>（参照2012-12-21）
- 農林水産省（2010），枠組壁工法構造用製材の日本農林規格
- 農林水産省（2015），枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格
- 林野庁（2016），（2）住宅分野における木材利用，平成27年度森林林業白書，154-156
- 林野庁（2017），（2）住宅分野における木材利用，平成28年度森林林業白書，160-163
- 佐藤博，小島正，町田初男，小黒正次（2014），スギ大径材の有効活用に関する研究，群馬県林業試験場研究報告第18号，62-73