

(資 料)

アカマツ材のCLT利用適性評価*

後藤 幸広 **, 谷内 博規

Evaluation of the suitability of Akamatsu for CLT use

Yukihiro GOTO, Hironori TANIUCHI

要 旨

アカマツをCLTへ利用するため、アカマツ丸太及び製材されたラミナについて、動的ヤング係数、曲げヤング係数を測定し、直交集成板の日本農林規格へのラミナ材質の適合性を評価するとともに、節の出現が歩留まりに及ぼす影響を評価した。

その結果、直交集成板の日本農林規格に規定されるラミナの等級区分を行うと、M90以上の高い強度性能を持つラミナは9割程度となり、ラミナ等級が高ければ、節径、節の数は減少することが明らかとなった。また、節除去基準の異なるCLT、集成材では、節除去に係る材積損失はCLTの方が少なかった。したがって、アカマツをCLTへ利用する場合、強度面では高い強度等級のCLTが製造可能であり、材積損失の面では、集成材より有利となるため、その利用適性は高いと考えられる。

キーワード：アカマツ、CLT、ラミナ、MOE、歩留まり

目 次

はじめに	28
1 実験方法	28
1.1 供試材料	28
1.2 アカマツ丸太の動的ヤング係数	28
1.3 アカマツラミナの動的ヤング係数	28
1.4 アカマツラミナの曲げヤング係数	29
1.5 ラミナに出現する節径の測定	29
1.6 製材、ラミナ利用歩留まりの試算	29
2 結果と考察	29
2.1 アカマツ丸太の材質	29
2.2 アカマツラミナの材質	30
2.3 ラミナ MOE と材縁部の節の出現	30
2.4 製材、ラミナ利用歩留まりの試算	31
まとめ	32
引用文献	33

* 本研究の一部は、農林水産業・食品産業科学技術推進事業「薬剤使用の制約に対応する松くい虫対策技術の刷新」(平成27～29年度、課題番号27020C)により実施した。

** 現岩手県農林水産部森林整備課

はじめに

岩手県の民有林森林面積の樹種別割合²⁾は、広葉樹 48.3%，スギ 18.7%，アカマツ 19.4%，カラマツ 7.9% となり、アカマツは針葉樹林のうち最も多く、スギは同程度でそれに次ぐ。一方、平成 30 年木材統計³⁾によれば、本県の樹種別の素材生産量はスギ 750 千³m³、アカマツ 230 千³m³ となり、アカマツは資源量の割に利用が進んでいない状況である。さらに、素材生産量を用途別にみると、スギでは製材用 378 千³m³ (50.4%)、合板用 309 千³m³ (41.2%)、木材チップ用 63 千³m³ (13.4%) であるのに比べ、アカマツでは製材用 31 千³m³ (13.4%)、合板用 120 千³m³ (52.1%)、木材チップ用 79 千³m³ (34.3%) となっており、アカマツはスギに比べ、価格の高い製材用丸太の利用が進んでいない。そのため、アカマツは、他の樹種に比べ、収益性が低いという課題があり、資源の有効活用、松くい虫被害対策の観点から、製材用丸太の需要拡大が急務となっている。

製材用丸太の需要拡大の一方策として、CLT への利用が挙げられる。CLT とは Cross Laminated Timber の略称で、ラミナを幅方向に並べ、繊維方向が直交するように積層接着した厚重なパネルであり、すでに欧米を中心にマンションや商業施設などの壁や床として普及しており、国内においても CLT を活用した中高層建築物等の木造化などの建築事例が有るなど新たな木材需要創出の取組みが進められている。国内における CLT の研究では、主にスギが対象とされ、強度性能⁶⁾に関する事例が報告されているが、アカマツ CLT の強度性能等に関する報告はない。アカマツを CLT へ利用するためには、アカマツラミナやアカマツ CLT の強度性能等が日本農林規格直交集成板 (以下、JAS) の基準へ適合するかを評価する必要がある。

今回は、アカマツ丸太および製材されたラミナについて、動的ヤング係数、曲げヤング係数を測定し、ラミナ材質の JAS 基準への適合性を評価するとともに、節の出現が歩留まりに及ぼす影響を評価した。

1 実験方法

1.1 供試材料

2014～2017 年にかけて、岩手県内の久慈市、奥州市、洋野町産のアカマツ丸太を表 1 のとおり 137 本 (長さ 2m および 4m, 末口径 23～38cm, 元口年輪数 36～77) を供試した。

表 1 供試丸太

調査年 (年)	伐採地	n	材長 (m)	末口径 (cm)	元口年輪数
2014	久慈市	52	4	23 ~ 27	40 ~ 56
2015	奥州市	65	2	25 ~ 38	36 ~ 48
2016	洋野町	30	4	24 ~ 34	39 ~ 77
2017	洋野町	21	4	27 ~ 35	40 ~ 58

表 2 供試ラミナ

調査年 (年)	伐採地	n	長さ (m)	幅 (mm)	厚さ (mm)
2014	久慈市	360	4	125	37
2015	奥州市	397	2	123	35
2016	洋野町	183	4	131	40
2017	洋野町	159	4	134	41

表 3 ラミナ調製工程

番号	工程	内容
1	製材	丸太からラミナを製材
2	乾燥	80°C 中温乾燥
3	切削・グレーディング	グレーディングに必要な平滑面を得る切削
4	木口割れ除去	FJ加工*に影響する木口割れの除去
5	節除去	JASを満たさない節の除去
6	FJ加工・切削	FJ加工*および材面の接着剤、凹凸の除去
7	仕上げ切削	積層接着直前の表面切削

*フィンガージョイント加工

1.2 アカマツ丸太の動的ヤング係数

丸太は、長さ、元口、末口の直径および年輪数を測定し、クレーンスケール (A & D 社製 FJ-500) で重量を測定した後、容積密度を算出した。その後、FFT アナライザー (小野測器社製 CF-4220Z) を用い、固有振動数を測定し、縦振動法⁴⁾により、丸太の動的ヤング係数 (以下、Efr) を以下のとおり算出した。

$$\text{動的ヤング係数 Efr (GPa)} = (2fl)^2 \rho$$

f: 固有振動数 (Hz), l: 材長 (m), ρ : 密度 (g/cm³)

1.3 アカマツラミナの動的ヤング係数

測定した丸太を製材・乾燥し、表 2 のとおり、1099 枚のアカマツラミナ (幅 123～134mm, 厚さ 35～41mm, 目標含水率 12%) を調製した。ラミナは寸法・重量を測定した後、1.2 と同様の方法で固有振動数を測定し、ラミナの Efr を算出した。また、測定の際、ラミナの髓の有無も調査した。

1.4 アカマツラミナの曲げヤング係数

ラミナはモルダールを用い、幅 125～128mm, 厚さ 35～37mm の条件で切削した。その後、グレーディングマシン (飯田工業社製 MGN101) を用い、曲

表4 供試丸太の材質

調査年 (年)	伐採地	n	材長 (m)	末口径		元口径		年輪幅 ^{***}		年輪数 ^{***}		容積重		Efr	
				平均値 (mm)	C.V. ^{**} (%)	平均値 (mm)	C.V. ^{**} (%)	平均値 (mm)	C.V. ^{**} (%)	平均値 (%)	C.V. ^{**} (%)	平均値 (kg/m ³)	C.V. ^{**} (%)	平均値 (GPa)	C.V. ^{**} (%)
2014	久慈市	52	4	266	5.0	293	7.0	6.0	9.8	49	9.1	835.6	7.9	10.3	13.2
2015	奥州市	65	2	306	9.8	400	8.4	8.6	5.9	43	6.9	861.3	8.4	9.4	12.8
2016	洋野町	30	4	278	7.9	317	10.2	6.2	18.8	54	18.6	-	-	-	-
2017	洋野町	21	4	305	8.5	338	8.9	3.5	9.6	49	9.0	862.7	6.2	10.4	8.1

^{**}C.V.は変動係数、^{***}年輪幅は末口と元口の平均、なお平成26年は元口のみ測定、^{****}年輪数は元口を測定

表5 アカマツ乾燥ラミナの材質

調査年 (年)	伐採地	n	長さ (m)	幅 (mm)	厚さ (mm)	容積重		Efr		n	長さ (m)	MOE	
						平均値 (kg/m ³)	C.V. ^{**} (%)	平均値 (GPa)	C.V. ^{**} (%)			平均値 (GPa)	C.V. ^{**} (%)
2014	久慈市	360	4	125	37	467	9.7	10.8	22.4	-	-	-	-
2015	奥州市	397	2	123	35	473	7.7	10.6	19.1	397	2	10.5	20.1
2016	洋野町	183	4	131	40	486	9.0	11.3	19.1	363	2	10.6	21.5
2017	洋野町	159	4	134	41	480	6.5	11.4	18.6	159	4	11.1	20.0

^{**}C.V.は変動係数

げヤング係数（以下、MOE）を測定した。

1.5 ラミナに出現する節径の測定

JASに準拠し、ラミナ幅面の材縁部の節径を測定した。また、ラミナ木表、木裏の節径を全て積算し、ラミナの長さで除すことにより材縁部積算節径とした。

材縁部積算節径 (cm/m) = ラミナ木表・木裏の節径の合計値 (cm) / ラミナ長さ (m)

1.6 製材、ラミナ利用歩留まりの試算

CLT ラミナの調整は表3の工程としている。各工程におけるアカマツラミナの長さ、幅、厚さを測定し、材積を算出し、歩留まりの試算を行った。

2 結果と考察

2.1 アカマツ丸太の材質

表4に供試丸太の形質を示す。なお、2016年は丸太の容積重、Efrを測定していない。2014～2017年に供試した丸太の末口径の平均値は266～306mm、年輪数の平均は43～54を示した。県内で一般的に流通する製材用アカマツ丸太は、50～80年生、径級26cm上、30cm下の中目材が主流となっている。今回、供した丸太の末口径、元口の年輪数が同様であったことから一般的な製材用アカマツ丸太と考える。

2014, 2015, 2017年のアカマツ丸太のEfr分布を図1に示す。Efrは6～13GPaに分布し、9～11GPaにピークを持つ分布形を示した。

東野ら¹⁾は、40～50年生前後で採材位置の異なるアカマツ丸太についてEfrの測定を行っており、九

戸村、石鳥谷町産で末口径平均20.9mm(120～287mm)の丸太50本のEfr分布は6～14GPaに分布し、8～10GPaにピークを持つ形であった。東野らの報告と今回の結果を比較すると、今回の丸太のEfrは1GPa程度高強度側へシフトしている。その理由は、単に供試丸太の年輪数が多く、末口径が大きいためと考えられる。丸太の強度が高ければ、より強度の高いラミナを得ることが期待されるため、必要となる性能のラミナを効率よく製材できる丸太の径級、年輪数を把握することは今後の課題と考える。

2.2 アカマツラミナの材質

表5にアカマツラミナの材質を示す。ラミナの容積重の平均値は467～486kg/m³、Efrの平均値は10.6～11.4GPaを示した。また、MOEの平均値は10.5～11.1GPaとなり、ほぼ同様の値を示した。

次に、図2にアカマツラミナのEfrをMOEの分布を図3に示す。Efrは6～18GPa、MOEは5～

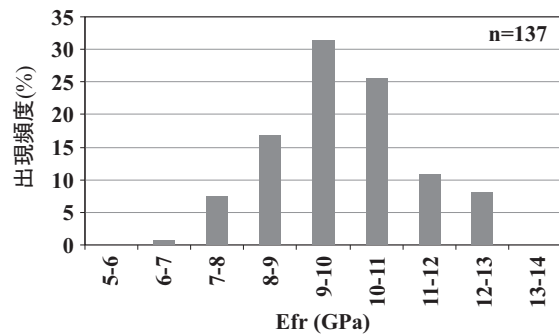


図1 アカマツ丸太のEfr分布

19GPa に分布し、双方とも 9～13GPa にピークを持ち、分布形は類似した。一般的に、MOE は Efr の平均値より若干低い値を示すといわれている⁴⁾が、今回の結果はそれと異なった。この理由として、2016年のラミナに限り、4m で Efr を測定した後、2m に採材して MOE を測定したことが要因として考えられる。

JAS ではラミナの強度について、M120, 90, 60, 30 と区分しており、その MOE の下限値を 10.0, 7.5, 5.0, 2.5GPa と規定している。今回の結果では、全てのラミナの MOE は 5.0GPa 以上となり、さらに 10.0GPa 以上のラミナは過半を占めた。このことから、アカマツ CLT は高い強度等級で製造できることが期待される。

そこで、2015～2017 年に調製したラミナの MOE を用いて、JAS に規定されるラミナの等級区分を行った。区分には、JAS のラミナ品質に係る「表 8 A 種構成に用いる等級区分機による区分ラミナの強度性能の基準」の下限値を用いた。

等級区分別ラミナ割合を図 4 に示す。2015～2017 年に調製したラミナの等級区分 M120, M90, M60 のラミナ割合はそれぞれ 58.4～69.2%, 30.0～33.5%, 0～8.8% となり、3 ヶ年とも等級区分ごとのラミナの割合は同様の傾向を示した。スギ CLT に関する研究事例⁵⁾ではラミナが M30～60 に区分され、試作されたスギ CLT の強度等級は S60-5-5, Mx60-5-5 などとなっている。したがって、ラミナの多くが M90～120 に区分されるアカマツでは、強度等級 S90-5-5, S120-5-5 など、スギより高強度な CLT の製造が可能であると考えられる。

2.3 ラミナ MOE と材縁部の節の出現

アカマツは輪生枝であるため、製材面に節が集中する性質を示す。製材品の材面への節出現は断面欠損となり強度低下を引き起こす。また、製材品の材縁部に節があると目切れを生じ、破壊の起点となりやすい。したがって、JAS では、一定の節径以上のものは切除することとされている。高い強度のアカマツラミナが得られても、節の切除が多ければ、歩留まりの低下を引き起こすことが懸念される。そこで、ラミナの MOE と節の出現傾向について解析を行った。なお、解析には 2015 年のラミナから、強度等級 Mx90-5-5 の CLT 製造するために抽出した 186 枚を用いた。

図 5 にラミナ MOE 別の材縁部積算節径 (cm/m) の分布を示す。ラミナの MOE が 7.0GPa 以下のとき、

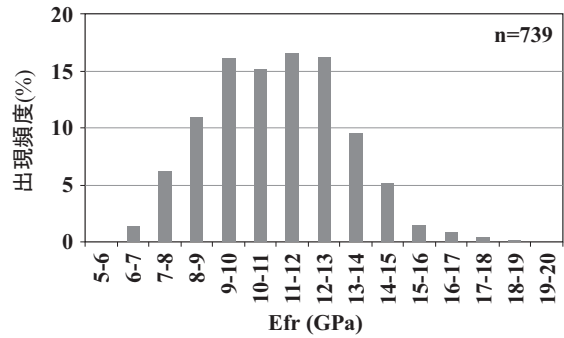


図2 アカマツラミナのEfr分布

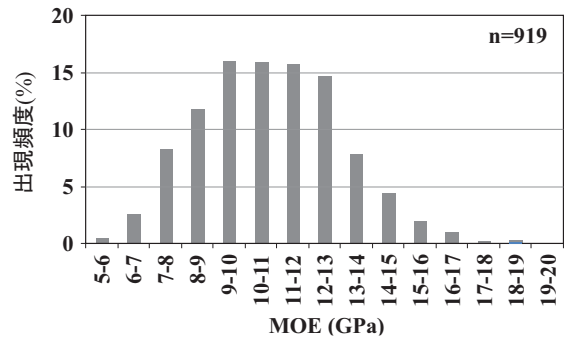


図3 アカマツラミナのMOE分布

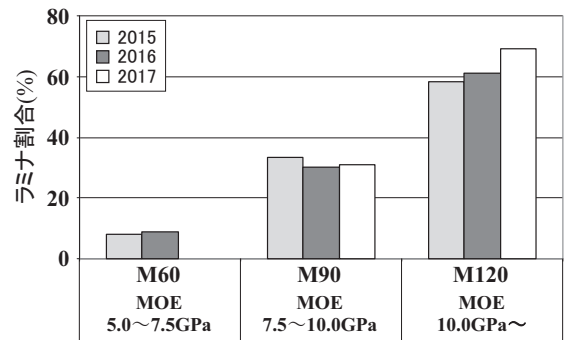


図4 等級区分別ラミナ割合

図4 等級区分別ラミナ割合

材縁部積算節径は、3～15cm/m に分布し、9～12 cm/m にピークを持つが、ラミナの MOE が増加すると、材縁部積算節径の分布は、減少方向にシフトし、MOE が 10.0～11.0GPa のとき材縁部積算節径のピークは 0～3cm/m となった。このことから、ラミナ MOE が高ければ、節の数は少なく、節径は小さくなることが推測される。

JAS では、同一等級構成で CLT を製造する場合の全ラミナおよび異等級構成で CLT を製造する場合の外層に用いるラミナについて、材縁部に係る節の切除基準は幅面の 33%, 異等級構成の内層ラミナで

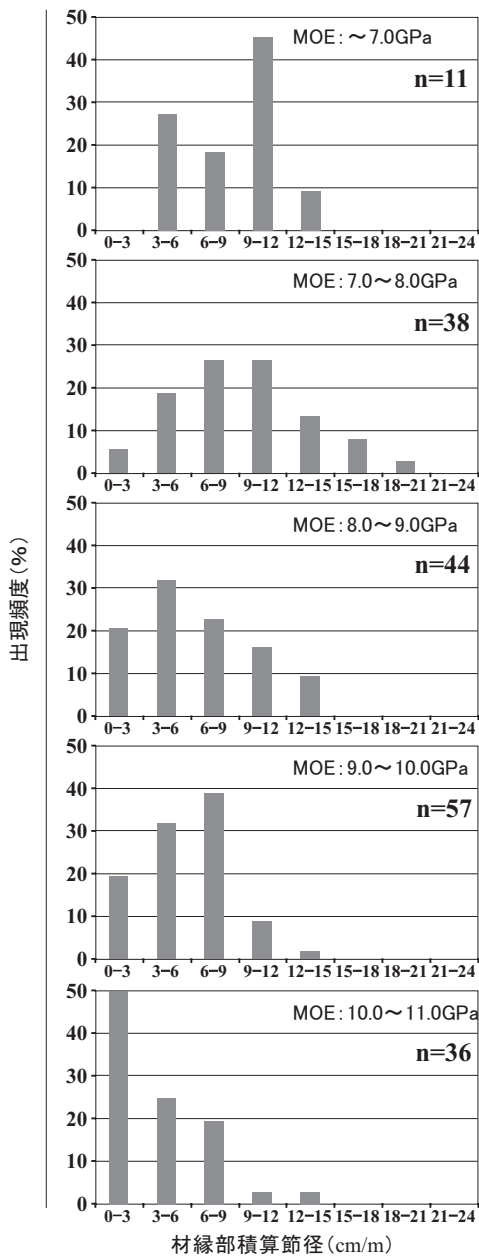


図5 MOE別の材縁部積算節径の出現頻度

は50%と規定されている。そこで、図6に強度等級別ラミナ2m当たりの節切除数の分布を示す。なお、節切除基準は節径比33%とした。

ラミナの等級区分がM60, M90, M120と上昇するに応じて、節切除しないラミナの頻度は29.6, 42.3, 75.0%と増加した。一方、節切除3回となるラミナの頻度は、等級区分の上昇に伴い22.2, 6.5, 2.8%となった。このことから、ラミナの強度等級が上昇すれば、節径は小さくなり、節の数も少なくなることが明らかとなった。大橋ら³⁾は集成材ラミナについて、等級が上がると材縁の節径比の平均値は減少す

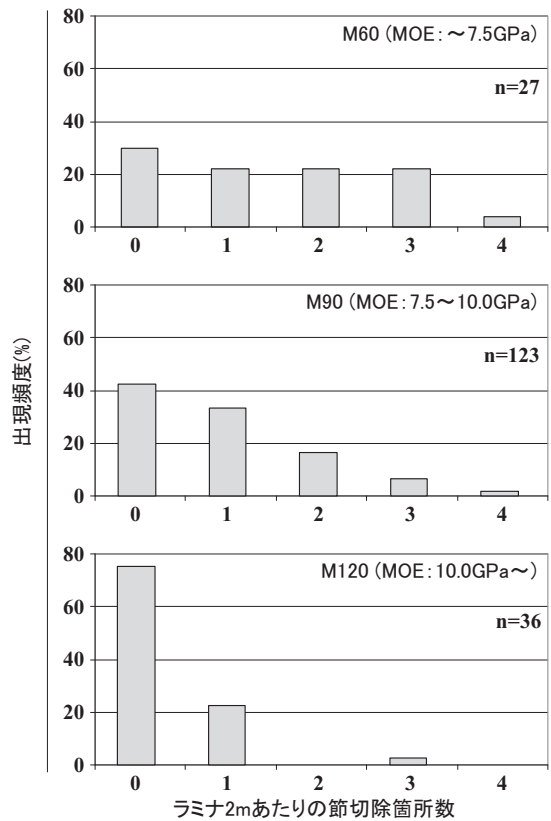


図6 等級区分別の節切除箇数の分布

ることを報告しており、今回の結果は大橋らの報告と同様となった。前述の図4に示すとおり、等級区分M120のラミナ割合は60~70%を示し、今回製材されたラミナの過半は節径比33%未満で節切除の少ないラミナといえる。

一方、集成材の日本農林規格において、対象異等級構成集成材の場合、等級区分機により区分されたラミナの節切除基準は、最外層、外層では節径比17%、中間層では25%、内層では33%とされている。このことから、CLT用ラミナは集成材用ラミナに比べ、節切除に係る材積損失が少ないことは明らかである。したがって、輪生節を有するアカマツラミナは集成材よりCLTへ利用する方が有利であるといえる。

2.4 製材, ラミナ利用歩留まりの試算

アカマツCLTを製造する際の参考とするため、表6にアカマツラミナ調製に係る材積、断面寸法、ラミナ総延長、材積比、歩留まりを示す。材積比は各工程の前後における材積の比を示し、歩留まりは丸太材積を100とした場合の材積割合を示す。なお、歩留まりの算出には2017年のアカマツラミナのデータを用いた。以下に各工程の歩留まり、材積比について説明する。

表6 アカマツラミナ調整に係る材積, 断面寸法, ラミナ総延長, 材積比, 歩留まり

項目/工程	丸太	製材	乾燥	切削・グレー ディング	木口割れ 除去	節除去	FJ加工 ・切削	仕上げ 切削
材積(m ³)	6.99	3.88	3.57	3.07	2.74	2.67	1.96	1.78
断面寸法								
ラミナ幅(mm)		140	134	128	128	128	110	110
ラミナ厚(mm)		42	41	37	37	37	33	30
ラミナ総延長(m)		648.5	647.6	647.6	578.5	563.2	539.6	539.6
材積比	1.00	0.56	0.92	0.86	0.89	0.97	0.73	0.91
歩留まり(%)	100	56	51	44	39	38	28	25

製材の工程の歩留まりは56%となったが、一般的な末口径24cm上をツインバンドソーで製材すると製材歩留まりは50%前後となる。今回歩留まりが高かった理由は、末口径30cm前後の丸太をシングルバンドソーにより製材したためと考える。

切削・グレーディングの工程では材積比が0.86となった。この理由は、乾燥後のアカマツラミナに出現する輪生節を起点として曲がり、ねじれが発生するため、グレーディングの載荷と変位計測に支障があると考え、モルダーによる切削加工を行ったからである。

木口割れ除去の工程は、FJ加工に支障となるラミナの貫通割れを切除するものであるが、材積比0.89と節除去0.97より損失が大きくなった。これは、ラミナの木口面付近の貫通割れが多いこと、CLTの技術基準により直径5mm以上の節はフィンガー部からその直径の3倍以上離して配置するよう規定されていることが理由である。割れについては、髓付近の貫通割れ、貯木丸太の木口割れが乾燥工程でさらに広がったものが観察された。したがって、伐採後なるべく短期間で製材乾燥を行えば、材積の損失は軽減されると考える。

節除去工程では、材積比0.97と他の工程より材積の損失は少ない結果となった。これは、前の工程で一部の節は除去されたこと、CLTのJASの節除去基準が集成材のものより簡素化・緩和されていることが要因である。しかし、アカマツの輪生節は、強度的な断面欠損や破壊の起点となるほか、ラミナの曲がり、ねじれなど変形とも密接な関係を有することが推測されるため、今後検討が必要となる。

FJ加工・切削工程では、材積比が0.73と最小を示した。これは、FJ加工設備の最小ラミナ長が影響しており、今回の最小ラミナ長は30cmであったため、節除去したラミナ長が30cm未満となると利用できな

いことが理由である。

仕上げ切削の工程の歩留まりは25%となった。今回は、ラミナの積層接着加工を外部で行うために仕上げ切削が必要であったが、積層接着設備を有していれば、FJ加工・切削の後、積層接着が可能となり、最終的な歩留まりは前の工程の28%程度になると想定される。

以上のことから、CLT製造に係る歩留まりは28%程度と想定されるが、丸太の貯木期間、製材する丸太の径級、等級区分の方法、FJ加工の最小ラミナ長に配慮すれば、更なる歩留まり向上が期待できると考える。

まとめ

岩手県産アカマツのCLT利用適性評価として、アカマツ丸太、製材されたラミナについて、動的ヤング係数、曲げヤング係数を測定し、JAS基準へのラミナ強度の適合性を評価するとともに、節の出現が歩留まりに及ぼす影響を評価した。以下に結果を示す。

- (1) 実験に供したアカマツ丸太は末口径23~38cm、元口年輪数36~77で、丸太の動的ヤング係数の分布は6~13GPaに分布し、9~11GPaにピークを持つ形であった。
- (2) アカマツラミナの曲げヤング係数は9~13Gpaにピークを持ち、5~19Gpaに分布した。
- (3) JASに規定されるラミナの等級区分を行うと、M90以上の高い強度性能を持つラミナは9割程度となり、アカマツはスギより強いCLTの製造が可能であることが示唆された。
- (4) 節出現について、ラミナの等級区分が高ければ、節径は小さくなり、節の数も少なくなることが明らかとなった。また、節除去基準の異なるCLT、集成材では、節除去に係る材積損失はCLTの方が

少なかった。

- (5) CLT 製造に係る歩留まりは 28 %程度と想定されたが、丸太の貯木期間、製材する丸太の径級、等級区分の方法、FJ 加工の最小ラミナ長に配慮すれば、更なる歩留まり向上が期待できる。

これらのことから、アカマツを CLT へ利用する場合、強度面ではスギより優れ、材積損失の面では、集成材より有利となるため、その利用適性は高いと考えられる。

引用文献

- 1) 東野 正, 高橋忠幸 (1997) 枝打ちされたアカマツ材の強度性能, 岩手県林業技術センター研究報告第 7 号 : p.15-17.
- 2) 岩手県農林水産部 (2019) 平成 29 年度版岩手県林業の指標 .
- 3) 大橋一雄, 東野 正 (2007) 節除去基準が機械等級区分されたアカマツラミナの採材長と縦継ぎ数に及ぼす影響, 岩手県林業技術センター研究報告第 15 号 : p.27-31.
- 4) 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 : p59-63.
- 5) 日本 CLT 協会 (2014) 平成 25 年度地域木材産業等連携支援事業 CLT の普及のための総合的データの収集・蓄積及び検討成果報告書 : p.72-73.
- 6) 日本 CLT 協会 (2013) 平成 24 年度木材利用技術整備等支援事業 CLT の木材利用技術整備成果報告書 : p.1-101.
- 7) 農林水産省大臣官房統計部 (2019) 平成 30 年木材統計 .