

構造用集成材ラミナの生産

山 崎 亨 史

はじめに

その昔は太い木が簡単に得られ、それから大きな断面の良質な製材品を採ることができました。しかし、時がたちそのような原木は減少し、細い丸太からこれまで同様の製品を得なければならなくなってきました。そうした中、たどり着く発想が小さな断面のものをはり合わせて大きな断面にすることです。集成材はこのような発想から生まれてきたのかもしれませんが。

集成材とは

集成材は、繊維（長さ）方向を同じにした挽き板などを接着した材料で、その構成材料であるそれぞれの挽き板をラミナと呼んでいます。

集成材には造作用と構造用があります。造作用の集成材は、住宅の階段などで皆さんもよく目にしていることでしょう。これは比較的力のかからないところに化粧的な用途で使われます。

それに対し、構造用集成材は、建物を支えるなど大きな力を受けるところに利用されます。そのため、構造用集成材には造作用集成材よりも厳しい規格（JAS：日本農林規格）が存在しています。

最近、エンジニアリング・ウッドという言葉が使われるようになりましたが、構造用集成材はその代表的なもので、ばらつきの多い天然の素材から安定した品質のものに変えられ、強度などが保証されています。すなわち、構造用集成材は立派な工業製品といえます。

「木は燃える」というイメージが強い人には、

これらの集成材で建物を建てると、火災が起きた時、危険だと考えるかもしれませんが。しかし、大断面の構造用集成材の場合、火災になったとしても材の表面だけが燃え、燃焼に必要な酸素や熱が中までとどかないため、1時間の燃焼で表面から42mm程度しか燃えません。その分の燃え代を設計に盛り込めば建物が倒壊するということが無くなります¹⁾。むしろ鉄骨の場合、火災の熱により変形する可能性もあり、この点で集成材の方が優れているといえます。

最近では集成材構造の建物が各地に出来ており、当林産試験場の試験棟や倉庫、展示施設の「木と暮らしの情報館」も集成材構造です。また、3階建ての建物としては、中標津空港ターミナルビル（根室支庁管内中標津町）や帯広営林支局庁舎（帯広市）があります。ドームスタジアムも集成材を用いて建てるのが可能で、有名な出雲ドーム（出雲市）、そして北海道ではサンドームおとふけ（十勝支庁管内音更町）などがあります。

今後もこのような集成材構造の建物は増えていくと思われれます。しかし、これらの原材料の多くはペイマツなどの輸入材が使われており、北米の自然保護運動の影響による伐採量の減少で、今後原材料不足が懸念されています。

そこで、国産材を集成材に用いるという目的で、カラマツ、トドマツを使って集成材を製造する試験を行いました。今回は、その材料となるラミナの製材試験について紹介します。

ラミナの製材

製材用原木は、カラマツ人工林木とトドマツ天然林木を用いました。各原木の平均末口径は、カラマツが、本試験で27.4cm、追加試験で26.2cm、トドマツが31.5cmです。原木の等級と各種測定結果は表1のとおりです。

ラミナの各製造段階の寸法を、次のように設定しました（各寸法：厚さ×幅×長さ、単位：mm）。

カラマツ

挽き立て寸法

36×180×3800, 3650, 2730, 1820

飽削後寸法

32×155×3800, 3600, 2700, 2100, 1800, 1100

縦継ぎ後寸法

30×150×3650, 7000, 13000

トドマツ

挽き立て寸法

40×170×3650, 2730, 1820

飽削後寸法

32×155×3650, 2400, 1800, 1200

縦継ぎ後寸法

30×150×3650, 7000, 13000

実際に作製した集成材の寸法は、カラマツ、トドマツともに次のとおりです（幅×高さ×長さ、単位：mm）。

150×150×3650（カラマツ3800）

150×300×7000

150×600×13000

カラマツの追加試験については、本試験の結果削り残しが多いことから挽き立て厚さを40mmにしました。また、副材としてカラマツはパネルボード原板（16×145×3650, 2730, 1820mm）を採り、トドマツは一般建築用のぬき、たるき、どうぶち、板類を採りました。

歩留まりの算出について、原木の材積計算には、各々の丸太の末口の径級値と、材長にカラマツ3.8m、トドマツ3.65mを用いました。また、ラミナ材積の算出には、挽き立て寸法を用いました。

製材後、構造用大断面集成材の日本農林規格における挽き板（ラミナ）の品質基準に基づき、ラミナの等級調査を行いました。なお、集中節径比の算出には挽き立て寸法を用いています（カラマツ180mm、トドマツ170mm）。

試験結果

(1) 原木

原木に関する調査結果を表1～3に示します。

原木等級を決める際に用いられる欠点の一つに、四つの材面における節の存在があります。1等の原木は、隣接2材面以上が無節であることが必要です。カラマツでは、この1等の原木の割合が12.4

表1 原木の形質

測定項目	カ ラ マ ツ								ト ド マ ツ						
	本 試 験				追 加 試 験				24	26~28	30~32	34~36	38~44	全 体	
	22~24	26~28	30~36	全 体	24	26~28	30~32	全 体							
径級 (cm)	22~24	26~28	30~36	全 体	24	26~28	30~32	全 体	24	26~28	30~32	34~36	38~44	全 体	
本 数	32	54	19	105	17	12	3	32	12	44	50	21	19	146	
節 数(個)	24.8	19.7	13.9	20.2	—	—	—	—	25.4	24.7	24.0	19.5	20.7	23.3	
最大節径(mm)	—	—	—	—	—	—	—	—	39.0	39.5	41.4	47.2	52.6	43.0	
曲がり率(%)	12.5	12.5	14.1	12.8	10.1	11.9	12.4	11.0	9.2	8.6	8.5	6.9	8.2	8.3	

%, 4材面有節材が59.0%でした。トドマツでは, 無作為に抽出した30本についての測定結果ですが, 隣接2材面以上無節材が6.7%, 4材面有節材が73.3%でした。

原木等級は, カラマツ, トドマツとも径級28cm以上では2等が最も多く, 30cm以上では3等が最も多くなっています。追加原木は, 素材区分の中の素材(14~28cm)である28本は, 2等が96.4%(27本), 3等が3.6%(1本), 大の素材(30cm以上)の3本はすべて3等でした。

カラマツの等級決定要因は, 28cm以下で節が最も多く, 次に曲がりとなっています。これに対し, 30cm以上では曲がり最も多く, 節は28cm以下に比べて少なくなっています。28cm以下ではほかに腐れ, 割れ, 虫食いによるものがありました。

トドマツの等級決定要因は, 28cm以下, 30cm以上共に節が最も多く, 90%を超えていました。次いでアテ材(アテ)や曲がりが多くなっています。ほかは腐れ, 目まわりでした。

表2 有節材面数別の原木の割合 (%)

	カラマツ本試験 トドマツ抽出30本	
	カラマツ本試験	トドマツ抽出30本
4材面無節	1.0	0.0
3材面無節	3.8	0.0
隣接2材面無節	7.6	6.7
2材面無節	1.0	3.3
3材面有節	27.6	16.7
4材面有節	59.0	73.3

表3 原木のJAS等級割合

等級	素材区分					
	カラマツ本試験			トドマツ		
	中(86本)	大(19本)	全体	中(56本)	大(90本)	全体
1等	1.2	0.0	1.0	5.4	1.1	2.7
2等	94.2	5.3	78.1	89.3	8.8	39.7
3等	4.7	84.2	19.0	5.4	86.7	55.5
4等	-	10.5	1.9	-	3.3	2.1

各素材区分の径級: 中=14~28cm, 大=30cm以上

表4 径級別材積歩留まり(カラマツ)(%)

径級区分	本試験 主材	30本無作為抽出			追加試験 主材
		主材	主材+副材	副材	
22	41.6	-	-	-	-
24	42.3	53.3	62.3	9.0	56.7
26	41.6	50.6	59.1	8.5	53.5
28	50.1	51.2	58.4	7.2	54.6
30	50.3	52.4	58.5	6.2	(30~32)56.2
32 (32~34)	53.0	55.1	62.5	7.4	-
34	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-
40~44	-	-	-	-	-
全体	48.7	51.7	59.6	7.8	55.3

(2) 製材歩留まり

表4に原木径級別の材積歩留まりを示します。また, 表5は径級ごとの平均製品枚数を示しています。

カラマツ本試験の歩留まりは, 原木の段階で各径級による曲がり率の差があまりないのに対し, 径級26cm以下で平均41.9%, 28cm以上では50.7%と約10%の開きがみられます。これはラミナ幅を180mmで梓挽きした場合, 28cm以上の原木になると初期の鋸断で得られる部分(タイコ落しする際に出る背板)からも主材が採れるようになるためと考えられます。このことは, 表5で径級の26cmが4.3枚なのに対し, 28cmが6.1枚と約2枚の差になっていることからもいえます。

追加試験の歩留まりは, 本試験と比較して高くなっています。これは, 本試験では樹心を外すように製材した(側面定規により製材し樹心の部分を除外)ものが多かったのに対し, 追加試験では中心定規で製材し, 心持ちの製品も採材した違いによるためと思われる。本試験で樹心を外したのは, 等級付けの際, 樹心があるだけで最低等級の4等になることや, さらにカラマツの樹心には細かな割

表4-2 径級別材積歩留まり(トドマツ) (%)

径級区分	主材	主材+副材	副材
24	58.3	79.6	21.3
26	54.3	72.3	18.0
28	61.2	73.5	12.3
30	61.2	73.0	11.8
32	60.7	73.7	13.0
34	59.8	72.5	12.7
36	58.1	68.2	10.1
38	61.4	71.4	10.0
40~44	62.3	72.0	9.7
全 体	59.8	72.4	12.6

表5 径級別平均ラミナ枚数 (枚)

径級区分	カラマツ		トドマツ
	本試験	追加試験	
22	3.1	-	-
24	3.8	4.5	4.9
26	4.3	5.0	5.4
28	6.1	5.9	7.0
30	7.0	7.1	8.1
32	8.0	7.9	9.1
34	9.8	-	10.2
36	-	-	11.1
38	-	-	13.0
40	-	-	14.6
42	-	-	16.3
44	-	-	17.5

れが多く、格外になる恐れがあるからです。

トドマツの主材歩留まりは、径級26cmを除き、ほぼ60%となり、カラマツより高い結果となっています。平均ラミナ枚数で比較するとラミナ1枚近くの差です。挽き立てラミナの厚さは、カラマツよりトドマツの方が4mm厚いのですが、挽き立て幅は、カラマツが180mmに対しトドマツは170mmと10mm小さくしています。しかし、この主材歩留まりの差は寸法よりむしろ、木取りの違い(トドマツは中心定規)によると考えられます。カラマツ追加試験とトドマツの主材歩留まりの差は、幅以外の条件は同じなので、10mmの幅の差に起因すると考えられます。

す。この原因として、径級が大きくなるにつれて節数が減少していることが関係し、結果的に集中節径も小さくなったためと考えられます。また、4等に限っては樹心の有無に影響されるため、径級が大きくなると全製品に対して樹心を含むものの割合が低くなることも関係していると思われる。

トドマツはカラマツの結果と同様、4等、2等、3等の順ですが、径級24cm以下では2等と3等が逆転しています。また、カラマツ同様に径級が大きくなると1、2等の割合が増す傾向がみられます。これもカラマツで述べたと同様の理由によると思われる。

(3) ラミナの製品等級

表6に等級別のラミナの割合(材積比率)を示します。

カラマツは本試験、追加試験とも4等の割合が最も大きく、次いで2等、3等の順でした。また、1等はほとんど得られていません。追加試験において4等が多いのは、本試験に比べ、樹心を外すものが少なかったためと考えられます。

径級別に見ると、径級が大きくなるほど3、4等が少なくなり、1、2等が増える傾向がみられま

表6-1 ラミナの等級割合(カラマツ) (%)

径級(cm)	本 試 験				追 加 試 験			
	全 体	22~24	26~28	30~36	全 体	22~24	26~28	30~36
等級								
1 等	2.5	1.4	2.7	3.2	2.6	0.6	2.7	9.1
2 等	26.1	17.5	28.5	27.6	19.7	17.7	22.7	17.8
3 等	20.2	24.1	17.5	18.4	15.6	15.8	14.1	19.0
4 等	47.2	51.7	46.2	45.4	61.6	65.9	60.5	49.6
格 外	4.1	5.2	2.9	5.4	0.6	0.0	0.0	4.5

表6-2 ラミナの等級割合(トドマツ)(%)

径級(cm)	全体	24	26~28	30~32	34~36	38以上
等級						
1等	5.9	2.5	4.6	4.8	8.6	7.5
2等	23.9	13.1	18.0	24.4	26.4	29.5
3等	12.5	15.6	13.5	10.2	11.9	14.7
4等	53.7	62.0	61.5	55.1	48.1	46.5
格外	4.0	6.8	2.4	5.6	5.0	1.8

表7に等級格付け(2等以下)の際に最も影響した欠点の出現率(等級決定要因)を示します。ここで節以外は4等、格外の決定要因です。

このように、カラマツ、トドマツ共に等級を決定する要因として節が最も多くなりました。これは、原木の等級決定要因でも節が最も多かったことに通じています。

次に多かった要因は、カラマツでは心持ちでした。カラマツ本試験では、製材する際、樹心の入らないよう側面定規による木取りを行いました。除外となるわけではないためすべて除外するというのではなく、また、原木の曲がりや偏心などによって心がまっすぐ通っていないため、2枚の製品にまたがって存在したりすることが起こるためです。追加試験でより多いのは心の部分を除外し

なかったことによります。なお、格外は欠点により規格から外されたものですが、この原因となる欠点として最も多かったのは材面割れ、次に節で、ほかにあてや腐れでした。

トドマツの場合、あてが2番目に多く、心持ちはその次でしたが、カラマツと比較すると心持ちが少なくなっています。これは原木の曲がり率からも推測されますが、トドマツの伸長生長はカラマツに比べ通直であり、ラミナ1枚に樹心が収まったものが多かったためと考えられます。除外となったも

表7 ラミナ等級の決定要因(重複あり)(%)

要因	カラマツ		トドマツ
	本試験	追加試験	
節	74.4	62.6	52.9
心持ち	15.5	34.9	17.6
あて	10.7	16.4	26.6
割れ	7.9	7.0	4.6
やにつぼ	3.6	3.0	0.1
入り皮	1.1	1.3	4.2
腐れ	0.8	0.0	1.4
虫あな	0.6	1.7	0.4
目回り	0.2	0.0	0.1
水食い	-	-	5.9

の決定要因は割れ、腐れ、水食い、節の順でした。

(4) ラミナの最終歩留まり

表8に最終製品の歩留まりを示します。トドマツについては曲げヤング係数が85tonf/cm²未満のものを除外しています。これは全体の約5%です。

カラマツ、トドマツとも製材直後の歩留まりから20%から25%程度低くなっています。この中には乾燥および鉋削による寸法の減少、不良製品の廃棄が含まれています。トドマツにはさらにヤン

表8 最終製品歩留まり

径級	カラマツ				トドマツ	
	本試験		追加試験		鉋削後	縦継ぎ後
	鉋削後	縦継ぎ後	鉋削後	縦継ぎ後		
22	25.5	23.1	-	-	-	-
24	24.1	21.8	35.3	32.1	38.6	35.0
26	22.9	20.8	33.7	30.6	33.6	30.5
28	30.7	27.9	34.7	31.5	34.5	31.3
30	30.2	27.4	(30~32)35.0	31.8	35.6	32.3
32	(32~34)36.4	33.0	-	-	33.4	30.3
34	-	-	-	-	34.8	31.6
36	-	-	-	-	33.6	30.5
38	-	-	-	-	34.8	31.6
40~44	-	-	-	-	34.3	31.2
全体	26.8	24.3	34.8	31.6	34.7	31.5

表9 ラミナ残存率と優良率 (%)

径級 (cm)	カラマツ						トドマツ			
	本試験			追加試験			鉋削後 残存率	縦継ぎ後 残存率	優良率	
	鉋削後 残存率	縦継ぎ後 残存率	優良率	鉋削後 残存率	縦継ぎ後 残存率	優良率				
	理論値	76.5	69.4	100.0	68.9	62.5	100.0	72.9	66.2	100.0
22	61.6	55.9	80.5	—	—	—	—	—	—	—
24	56.7	51.4	75.6	62.9	57.1	91.4	66.6	60.5	91.4	—
26	55.1	50.0	72.0	63.1	57.2	91.5	62.1	56.4	85.2	—
28	61.3	55.6	80.3	63.8	57.9	92.6	55.3	50.2	75.9	—
30	60.7	55.0	79.3	(30~32) 62.4	56.6	90.6	57.8	52.5	79.3	—
32	(32~34) 68.6	62.2	90.0	—	—	—	54.6	49.6	74.9	—
34	—	—	—	—	—	—	58.0	52.6	79.6	—
36	—	—	—	—	—	—	56.6	51.4	77.6	—
38	—	—	—	—	—	—	56.7	51.4	77.7	—
40~44	—	—	—	—	—	—	54.5	49.5	74.8	—
全体	58.7	53.3	77.2	63.0	57.2	91.5	57.8	52.5	79.3	—

残存率 = 鉋削後 (縦継ぎ後) 材積 ÷ 製材直後材積 × 100
 理論値 = 鉋削後 (縦継ぎ後) 寸法 ÷ 製材直後寸法 × 100
 優良率 = 縦継ぎ後残存率 ÷ 理論値 × 100

グ係数による除外が含まれます。

カラマツの本試験と追加試験の差は製材直後の歩留まりの差だけではなく、4mmの厚さの違いによる削り残しなどの不良製品の発生に違いが起きたためと考えられます。

トドマツはカラマツと比較してやや高い値となっています。これは製材後の主材歩留まりと同様、挽き立て寸法が影響していると思われます。

次に、製材直後の材積に対する、集成材に利用可能となるラミナの材積の割合を表9に示します。

ここでの残存率は、製材直後の材積に対する最終ラミナの材積の割合です。理論値とは、製材で得られた原板がすべてラミナとして使えた場合の残存率で、製材挽き立て寸法に対する仕上がり寸法の比率です。優良率は、実際に作られたラミナ原板のうち集成材に利用できた割合を表しています。

カラマツは、この優良率を見ると追加試験が90%を超えているの

に対し、本試験は32cm以上を除いて80%程度でした。この差は、製材時の厚さ設定の違いによるもので、本試験では丸身の残りや削り残しが多いためと思われます。このほかに除外された原因としては割れ、節でした。

次に、最終製品の等級別の割合を表10に示します。ただし、格別のものを横切りして復帰させたものは除いています。

製材直後の等級別の割合と比較して、カラマツ、トドマツともに良くなった径級と悪くなった径級

表10-1 ラミナの最終等級割合 (カラマツ) (%)

径級 (cm)	本試験				追加試験			
	全体	22~24	26~28	30~36	全体	22~24	26~28	30~36
等級								
1等	3.0	1.4	3.3	3.7	2.2	1.4	2.6	3.9
2等	22.4	17.2	22.8	24.9	23.2	22.3	27.8	12.6
3等	22.0	23.0	22.3	20.7	18.0	19.0	11.5	33.7
4等	52.6	58.4	51.5	50.7	56.6	57.3	58.1	49.9

表10-2 ラミナの最終等級割合(トドマツ)(%)

径級(cm)	全体	24	26~28	30~32	34~36	38以上
等級						
1等	7.7	4.7	6.6	6.9	10.9	8.2
2等	21.9	6.5	16.1	20.6	22.4	33.9
3等	14.3	8.6	16.1	13.0	14.5	13.0
4等	56.1	70.2	61.2	59.5	52.2	45.0

があり、はっきりした傾向がみられません。良くなった原因としては、飽削によりその欠点を取り除かれたことによります。逆に悪くなった原因として、一つは、集中節径比の基準から材幅の変化で節の許容値が小さくなり、節自体は飽削により小さくなることになかったため許容値から外れたからだと考えられます。もう一つは、乾燥により割れが増加したことがあげられます。

おわりに

今回、カラマツの試験で、幅×厚さ=150×30mmの仕上げ寸法(集成材の仕上げ寸法におけるラミナ1枚当たり)に対して、製材寸法を幅については30mmの歩増しを行いました。これは曲がりなどの狂いを見込んだことによるものですが、モルダ飽削の際狂いの大きいものは横切りして通すため、実際には30mmの歩増しは歩留まりを悪くするだけとなっています。したがって、幅に対する歩増し量は20mm程度(製材幅170mm)が妥当と考え

られます。厚さについては、本試験と追加試験の結果の差から10mm(製材厚さ40mm)が妥当でしょう。トドマツについても歩増し量は同程度必要です。

心持ちは4等になるため、径級の小さいものは4等の割合が高くなります。したがって、形の小さい原木に偏ると、集成材の製造の際、必要な等級の割合に差が出る可能性が考えられます。そのために、ある程度異なる径級の原木を使用することで、必要となる等級割合に近づけることが可能となると思われます。

今回の試験は製材寸法を求めることに重点をおいているため、あまり能率を重視した製材方法とはなりません。能率を考えるのであれば、同じ寸法のものを探るのですから、ツイン帯のこ盤やクォードバンドによる梓挽きをするとういでしょう。今回は、歩留まりを上げるために副材を採りました。その結果、径の小さいものに副材歩留まりがやや高い傾向はみられましたが、全体では10%程度であり、一般製材における歩留まりより低い値を示しています。したがって、集成材ラミナの製材を考える際に、能率優先か、歩留まりも考慮するのか、検討する必要があります。

参考資料

- 1) 長井弘志：日本木材学会北海道支部第23回研究会資料(1991)

(林産試験場 製材科)