

富山県農林水産総合技術センター 木材研究所研究報告

2010.3.No.2

木質廃材のエネルギー利用技術の開発

田近克司、水本克夫、 1
高橋理平

間伐材を用いた接着重ね梁の製造と性能評価

橋本 彰、中谷 浩 11

富山県農林水産総合技術センター 木材研究所

<http://www.pref.toyama.jp/branches/1661/mokuzai/index.html>

木質廃材のエネルギー利用技術の開発

田近克司、水本克夫、高橋理平

Utilization of Wood Residues as Fuel

Katsushi TAJIKA, Katsuo MIZUMOTO, Rihei TAKAHASHI

北洋材廃材の燃料利用を図るため、樹皮、鋸屑の燃料評価、製材乾燥用燃料としての利用方法やバイオマス発電用の高カロリー固形化燃料の製造およびこれらから生じる燃焼灰の利用について検討した。結果は、以下のように要約される。

- 1) 年間を通じ、高含水率で夾雑物を含む土場樹皮や高塩分の樹皮・鋸屑は、燃料利用が困難であるが、剥皮樹皮は、高含水率でも鋸屑と混合すれば利用可能と判断された。
- 2) 含水率の異なる樹皮、鋸屑を製材乾燥用燃料として利用するための利便性を考え、安定した発熱量が得られる混合量早見表を作成した。
- 3) 樹皮と廃プラスチックを混合、成型することにより、解体材チップ等の木質燃料の2倍以上の発熱量を有する高カロリー固形化燃料を製造することができた。
- 4) 樹皮、鋸屑の燃焼灰の元素組成を分析した結果、燃焼灰は、肥料や敷料・堆肥の補助材、あるいは土壌固化材としての利用が有望であることが分かった。

1. はじめに

平成17年（2005年）当時、北洋材樹皮は、パーク堆肥への需要が激減し、また、鋸屑、プレーナ屑も主用途であるきのこ資材としての需要が減少したことから、これらの木質廃材について、新規用途の開発が重要な課題となっていた。

一方、これらの木質廃材は、化石燃料に替わる再生産可能でクリーンなエネルギー資源として注目されていることから、製材工場での木材乾燥やバイオマス発電の熱源として活用すれば、木質廃材の需要の拡大につながると共に、廃棄物としての処理経費が削減でき、製材業の経営安定化、さらに地球温暖化の抑制効果が期待できる。

そこで、本研究では、北洋材の製材工場で発生する廃材をエネルギー利用するため、まず、樹皮や鋸屑等の燃料としての基本的な特性、すなわち、含水率や発熱量、塩分等を調査し、これらの燃料適性について検討した。

次に、本県での燃料利用実態から、今後の需要増加が見込まれ、かつ実用化される可能性が高い燃料用途として、製材乾燥用の燃料およびバイオマス発

電用の高カロリー固形化燃料が有望と考えられたことから、製材乾燥用の燃料については、木屑焚きボイラーの燃料として、含水率の異なる樹皮と鋸屑を利用する際、安定した発熱量を得るため、それらの混合割合を現場で迅速に算出することが可能な混合量早見表の作成について検討した。また、県内の製紙工場では、バイオマス発電用の燃料として建築廃材等の木質チップ以外に、タイヤチップやRPF（Refuse Paper&Plastic Fuelの略、古紙および廃プラスチックを原料とした高カロリー固形化燃料）等を混合することにより発熱量の向上を図っている。このRPFを製造する際に使用している古紙の代替材料として、樹皮等の木質廃材が利用できれば、高カロリー固形化燃料として、バイオマス発電用燃料への利用が可能になると考えられる。よって、バイオマス発電用の高カロリー固形化燃料については、樹皮と廃プラスチックから同燃料を製造する方法について検討した。

また、木質廃材の燃料利用により発生する燃焼灰は、特に安全性が確認されない限り、通常は産業廃棄物として処分する必要があり、発生量が多くなる

ほど、処理経費が経営を圧迫することになる。そこで、処理経費の削減を図るために、樹皮や鋸屑等の燃焼灰の元素組成を明らかにし、さまざまな用途に利用されている既存の燃焼灰の元素組成と比較、検討することにより、それらの特徴を活かした、より合理的な燃焼灰のリサイクル方法についても提案した。

2. 実験方法

2.1 樹皮および鋸屑の燃料特性の検討

北洋材アカマツ、エゾマツ、カラマツ（以下、アカマツ、エゾマツ、カラマツと略す）の剥皮樹皮および鋸屑（一部プレーナ屑を含む）は、それぞれの樹種を専門に扱う製材工場2社（計6社）で、また、原木の荷下ろし作業で発生する土場樹皮（図1）は、富山新港埠頭の貯木場2箇所それぞれ1~2kgずつ採取した。

これらの廃材の燃料特性を把握するため、平成18年5月から1年間、1ヶ月ごとに採取した試料について、含水率は、全乾法で求めた。また、発熱量は、元素分析装置（エレメンタル社製、varioEL III）により、微粉碎試料の炭素（C）、水素（H）、酸素（O）および硫黄（S）の含有率を求め、下記の（1）式¹⁾により高位発熱量（Hho）、（2）式により低位発熱量（He；水分を含んだ状態での発熱量）²⁾を求めた。

$$\text{Hho (kcal/kg)} = 81\text{C} + 342.5(\text{H} - \text{O}/8) + 22.0 \text{S} \quad \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

$$\text{He (kcal/kg)} = (\text{Hho} - 600(9\text{H}/100 + u/100)) / (1 + u/100) \quad \dots\dots\dots (2) \text{式}$$



図1 貯木場に堆積された土場樹皮

ここで、uは、乾量基準の含水率を示し、HhoおよびHeは、MJ/kgの単位に換算（MJ=238.89kcal）した。

塩分は、平成17年11月に採取した全ての試料のウイレーミル粉碎物を用いて、温水抽出-イオンクロマト法³⁾により水溶性塩素分を定量した。灰分は、同粉碎物を用いて、600℃による灰化法⁴⁾で測定した。

2.2 製材乾燥用燃料としての利用法の検討

既設の製材乾燥用ボイラーの標準的な規模である2t/hの蒸気発生量が得られる木屑焚きボイラーをモデルに、同ボイラーを定格運転するのに必要な発熱量（7,100MJ/h）を得るための樹皮および鋸屑燃料の混合量早見表を以下の方法で作成した。

含水率（以下、湿量基準で表示）が30~70%の範囲の粉碎樹皮（燃焼装置への搬送を容易にするため、剥皮樹皮を約30mm以下に粉碎したもの）500kg/hと、含水率40%のグリーン鋸屑あるいは含水率15%のKD（乾燥）鋸屑の所定量を混合使用することを想定し、ボイラーの定格運転に必要な両鋸屑の必要量（重量および容積）を次式により算出した。

$$\text{TH (MJ/kg)} = \text{BHe} \times 500 \text{ (kg/h)} + \text{SHe} \times \text{S} \quad \dots\dots\dots (3) \text{式}$$

ここで、TH：蒸気発生量2t/hボイラーの必要発熱量（7,100MJ/h）、BHe：粉碎樹皮の低位発熱量（MJ/kg）、SHe：グリーン鋸屑またはKD鋸屑の低位発熱量（MJ/kg）、S：鋸屑の必要量（kg/h）。

$$\text{V (m}^3\text{)} = \text{W} / \text{BD} \quad \dots\dots\dots (4) \text{式}$$

ここで、V：粉碎樹皮または鋸屑のかさ容積、W：粉碎樹皮または鋸屑の重量（kg）、BD：粉碎樹皮または鋸屑のかさ密度（kg/m³）。ただし、粉碎樹皮のかさ密度=3.3uw+140、鋸屑のかさ密度=1.6uw+115、uwは湿量基準の含水率（%）。

2.3 高カロリー固形化燃料の製造方法の検討

供試材料は、木質廃材としてアカマツ樹皮、エゾマツ樹皮およびアカマツ端材を用いた。アカマツ樹皮は、製材工場で入手した粉碎樹皮を風乾した後、ハンマーミルで25mm以下に再粉碎し、さらに含水率を約40%、約30%および約15%の3水準に調整した。エゾマツ樹皮は、アカマツ樹皮と同様に加工して含水率約15%に調整した。アカマツ端材は、ハンマーミルで15mm以下に粉碎した後、含水率を

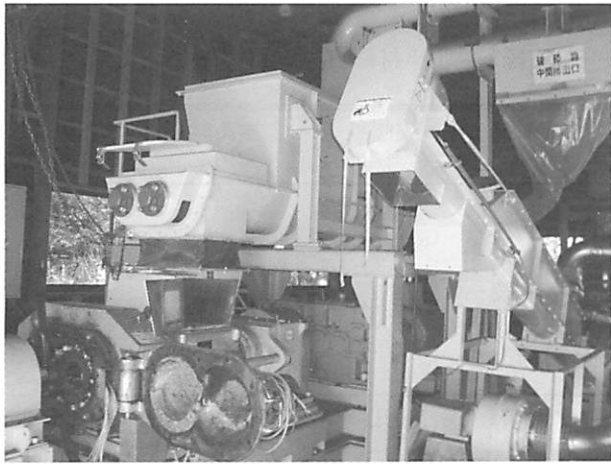


図2 スクリュー押出成型装置

約15%に調整した。これらの木質廃材（全乾重量で12kg）に対しポリエチレン主体の軟質廃プラスチックを全乾重量比で1：1の割合で混合し、図2に示すスクリュー押出成型装置（（株）小熊鉄工所製デュアルプレタイザー DP-20S型）に投入して、140℃で加熱成型を行った。

得られた固形化燃料について、①成形性（目視による状況観察）、②性状（直径、長さ、気乾比重およびかさ密度⁵⁾）、③強度性能（粉化度⁶⁾）、④減容比（混合原料の単位重量当りの容積に対する固形化物の同容積の比率）、⑤燃料特性（含水率⁷⁾、発熱量^{1,2)} および灰分⁸⁾）を測定した。ちなみに、粉化度とは、固形化燃料が輸送や積み降ろし時の振動により粉砕される割合を表し、ここでは袋に入れた試料（2kg）を4mの高さから落下させた後、目開き9.5mmの篩に試料を入れ、その通過部重量割合を求めたものであり、粉化度の数値が小さいほど固形化燃料の強度が高いと判断する。

2.4 燃焼灰の元素組成と利用方法の検討

アカマツ、エゾマツ、カラマツの剥皮樹皮および鋸屑のワイレーミル粉砕物を600℃で灰化した燃焼灰および県内の製材工場4社で採取した木屑焚きボイラーの燃焼灰の元素組成を、（株）島津製作所製エネルギー分散型微量部蛍光X線分析装置（μEDX-1300）を用いて測定した。

3. 結果と考察

3.1 樹皮および鋸屑の燃料特性の検討

アカマツ、エゾマツ、カラマツの剥皮樹皮、鋸屑および土場樹皮について、含水率の年間変動を調査

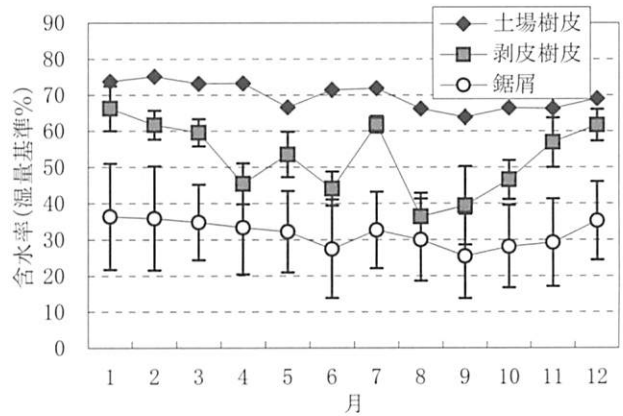


図3 採取樹皮、鋸屑の含水率年間変動

した結果を図3に示す。なお、剥皮樹皮および鋸屑の含水率は、各樹種の間で大きな違いが認められなかったため、ここでは3樹種の平均値で示した。また、土場樹皮は、2～3種の樹種が混合したものであり、採取した2箇所の試料の平均値で示した。

剥皮樹皮については、降雨で含水率が60%以上に上昇する7月の梅雨期を除けば、4月～10月の温暖期では、含水率は、36～47%の範囲で低く推移した。これに対し、11月～3月の寒冷期では、57～66%と高く推移した。一方、土場樹皮については、年間を通じ64～75%と高く推移した。

また、鋸屑については、年間を通じて26～36%と低く推移したが、どの時期においても±10～15%のばらつきがあった。このように鋸屑の含水率にばらつきが生じるのは、木材乾燥装置のない製材工場では、生材の製材により、比較的含水率の高いグリーン鋸屑が発生する一方で、乾燥装置を有する工場では、グリーン鋸屑に、乾燥材の製材で副生した乾燥鋸屑が多く混合されて含水率が低くなった、いわゆるKD鋸屑が発生することに起因すると推察される。なお、1年間における鋸屑の全含水率測定データを含水率別に出現頻度で表すと、図4に示すようになり、グリーン鋸屑は、含水率が40%前後、KD鋸屑は、含水率が15%前後のものが多く発生していることが分かる。

低位発熱量の計算結果を表1に示す。これより、剥皮樹皮は、温暖期では平均で8MJ/kgと高い値を示すが、寒冷期では約5MJ/kgまで大幅に低下すること、土場樹皮は、年間を通じて2～5MJ/kgと低い値で推移すること、鋸屑は、温暖期、寒冷期ともに約11MJ/kgとほとんど変わらないことが分かった。

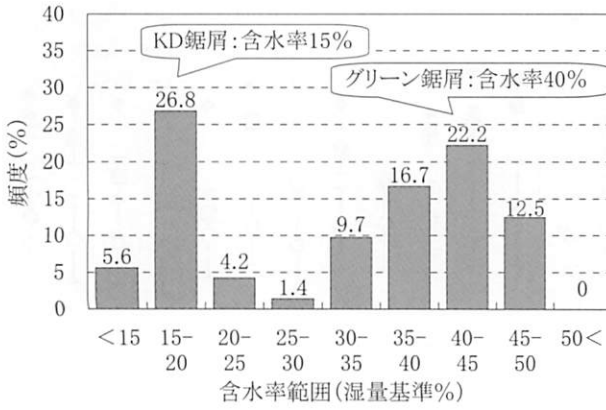


図4 鋸屑の含水率分布

なお、剥皮樹皮は、温暖期でも7月の梅雨期には含水率が60%以上となり、低位発熱量が5.0MJ/kgまで低下すること、また、鋸屑は、低位発熱量の平均値では温暖期、寒冷期による差がほとんどないが、低位発熱量の最低値と最高値の範囲は、温暖期で8.4~14.6MJ/kg、寒冷期で7.4~14.2MJ/kgと、各時期ともに低位発熱量が大きく異なるグリーン鋸屑とKD鋸屑が存在することに留意する必要がある。

燃焼炉の腐食原因となる塩分の含有率は、表2に示すように、貯木方法によって大きく異なった。すなわち、陸上貯木した木材では、樹種に関係なく剥皮樹皮、鋸屑ともに0.03%以下と極めて少なかったのに対し、海水貯木をしたアカマツ材の剥皮樹皮および鋸屑は、それぞれ2.6%および0.4%含まれていた。また、土場樹皮は、埠頭の近くに堆積されているため、塩水の飛沫が混入する可能性があるにもかかわらず、0.1%以下であった。

燃焼後に生成する灰分は、表2に示すように、海水貯木をしていたアカマツ材の剥皮樹皮および鋸屑の値がともに陸上貯木した木材のそれらに比べ、か

表1 北洋材樹皮、鋸屑の低位発熱量

廃材の種類	温暖期 (MJ/kg)	寒冷期 (MJ/kg)	年間平均 (MJ/kg)
剥皮樹皮	8.0 (5.0~10.0)	5.1 (4.1~6.0)	6.6
土場樹皮	3.8 (3.0~4.7)	2.8 (2.2~3.7)	3.3
鋸屑	11.3 (8.4~14.6)	10.5 (7.4~14.2)	10.9

注)温暖期は、4月~10月、寒冷期は、11月~3月の期間を指す。表中の値および()は、それぞれ平均値と範囲を示す。

なり高くなった。これは、本来含まれる灰分に加え、塩分が加算されたためと考えられる。陸上貯木した木材から採取した剥皮樹皮の灰分は、樹種によって若干の差があったものの、1.7~3.6%の範囲にあった。これに対し、鋸屑の灰分は、樹種による差がほとんどなく0.2~0.3%の範囲にあり、剥皮樹皮は、鋸屑に比べ灰分が6~12倍多く含まれていることが分かった。また、土場樹皮の灰分は、3.7~7.4%と剥皮樹皮の2倍以上であった。土場樹皮は、貯木場で原木の整理中に剥落した樹皮をローダー等で収集したものであり、その際に土場の土砂等が樹皮に付着したり混入したりして、灰分が高くなったと考えられる。

以上のことから、陸上貯木した木材の剥皮樹皮は、温暖期では含水率が低く、一般的な木屑焼きボイラー等でそのままの燃料利用が可能な場合もあるが、含水率が上昇する梅雨期や寒冷期で、剥皮樹皮を燃料利用するためには、含水率の低い鋸屑と混合し、含水率を低くするように調整して、低位発熱量の向上を図ることが合理的と考えられる。なお、鋸屑には、含水率の高いグリーン鋸屑と低いKD鋸屑が存

表2 北洋材樹皮、鋸屑に含まれる塩分および灰分

貯木方法	塩分(水溶性塩素分)(%)			灰分(%)		
	剥皮樹皮	土場樹皮	鋸屑	剥皮樹皮	土場樹皮	鋸屑
海水	2.6	—	0.38	5.6	—	0.8
陸上	0.02 (0.01~0.03)	0.04 (0.01~0.08)	0.01 (0.004~0.012)	2.9 (1.7~3.6)	5.6 (3.7~7.4)	0.3 (0.2~0.3)

注)海水貯木材の剥皮樹皮、鋸屑は、アカマツの値、陸上貯木材の剥皮樹皮、鋸屑は、アカマツ、エゾマツ、カラマツの3樹種の平均値と()内に範囲を示す。

在し、それぞれの低位発熱量が大きく異なるため、燃料利用の際は、これらを区別して保管し、状況に応じてそれぞれの鋸屑と含水率の高い樹皮とを適当な割合で混合することによって安定燃焼させる必要がある。それらの適正な混合割合については、3.2で詳しく述べる。

一方、土場樹皮は、年間を通じ、自燃の限界含水率とされる70%前後の高含水率⁹⁾であり、番線やプラスチック製ひも等夾雑物も多く含むため、このままでの燃料利用は極めて困難と考えられる。なお、一般に、塩分を含む廃材を高温で燃焼させると、炉内で塩化水素が発生し、金属部分を腐食する¹⁰⁾ことが知られており、石炭火力発電所では、燃料の塩分濃度は0.1%以下に規制している。したがって、高濃度で塩分を含む剥皮樹皮や鋸屑を燃焼させると、燃焼装置を傷める原因となるため、燃料利用は、避けるべきと考える。また、剥皮樹皮は鋸屑に比べ、灰分が約6~12倍多く含まれており、剥皮樹皮を燃料として多量に使えば使うほど、燃焼灰が大量に発生するため、産業廃棄物として処理する場合は処理経費が増大することになる。したがって、燃焼灰のリサイクル方法の検討は、重要な課題であるが、これについては、3.4で述べる。

3.2 製材乾燥用燃料としての利用法の検討

近年、製材工場では、石油価格の高騰に対処する

ため、製材の人工乾燥用熱源として、石油の代わりに樹皮や鋸屑を燃料に用いる木屑焚きボイラーを導入し、乾燥経費の削減を図ろうとする動きが盛んになりつつある。木屑焚きボイラーを運転する際に、現場で問題となるのは、含水率の異なる樹皮および鋸屑から安定した発熱量を得るための適正な混合割合である。

そこで、既設の製材乾燥用ボイラーの標準的規模である2t/hの蒸気発生量が得られる木屑焚きボイラーをモデルに、同ボイラーを定格運転するのに必要な発熱量(7,100MJ/h)を得るための樹皮および鋸屑の混合量早見表の作成について検討した。なお、樹皮は、燃焼装置への投入を容易にするため、剥皮樹皮をハンマーミル等で粗碎し、鋸屑は、既述のとおり、含水率が約40%のグリーン鋸屑と約15%のKD鋸屑の2種類があるため、それぞれの鋸屑を活用するものとした。含水率の異なる粉碎樹皮を1時間当たり500kg供給するとして、これに混合するグリーン鋸屑またはKD鋸屑の必要量(重量および容積)を計算してまとめたものが、それぞれ表3および表4である。

同表は、例えば、500kg/hの粉碎樹皮にグリーン鋸屑を混合する場合は、樹皮含水率が30%の時に158kg/h、50%の時に369kg/h、70%の時に580kg/hの鋸屑を、KD鋸屑を混合する場合は、そ

表3 粉碎樹皮とグリーン鋸屑を使って2 t/hボイラーを定格運転する場合の両燃料の混合早見表

粉碎樹皮				グリーン鋸屑				混合燃料		
含水率 (湿量基準%)	低位発熱量 (MJ/kg)	使用量 (kg/h)	使用量 (m ³ /h)	含水率 (湿量基準%)	低位発熱量 (MJ/kg)	使用量 ¹⁾ (kg/h)	使用量 ¹⁾ (m ³ /h)	平均発熱量 (MJ/kg)	合計重量 (kg/h)	合計熱量 ²⁾ (MJ/h)
30	11.3	500	2.1	40	9.3	158	0.9	10.8	658	7,100
35	10.3		2.0			210	1.2	10.0	710	
40	9.3		1.8			263	1.5	9.3	763	
45	8.3		1.7			316	1.8	8.7	816	
50	7.3		1.6			369	2.1	8.2	869	
55	6.3		1.6			422	2.4	7.7	922	
60	5.4		1.5			475	2.7	7.3	975	
65	4.4		1.4			527	3.0	6.9	1,027	
70	3.4		1.4			580	3.3	6.6	1,080	

1) 粉碎樹皮の投入量を500kg/hとし、その含水率が変化したときに、蒸気発生量2t/hの木屑焚きボイラーを定格運転するために必要なグリーン鋸屑(含水率40%)の使用量を表す。

2) 合計熱量の7,100MJ/hは、2t/hボイラーの蒸気を発生させるのに必要な熱量に相当する。

表4 粉碎樹皮とKD鋸屑を使って2 t/hボイラーを定格運転する場合の
両燃料の混合早見表

粉碎樹皮				KD鋸屑				混合燃料		
含水率 (湿量基準%)	低位発熱量 (MJ/kg)	使用量		含水率 (湿量基準%)	低位発熱量 (MJ/kg)	使用量 ¹⁾		平均発熱量 (MJ/kg)	合計重量 (kg/h)	合計熱量 ²⁾ (MJ/h)
		(kg/h)	(m ³ /h)			(kg/h)	(m ³ /h)			
30	11.3	500	2.1	15	14.3	102	0.6	11.8	602	7,100
35	10.3		2.0			137	0.8	11.1	637	
40	9.3		1.8			171	1.0	10.6	671	
45	8.3		1.7			206	1.2	10.1	706	
50	7.3		1.6			240	1.3	9.6	740	
55	6.3		1.6			274	1.5	9.2	774	
60	5.4		1.5			309	1.7	8.8	809	
65	4.4		1.4			343	1.9	8.4	843	
70	3.4		1.4			377	2.1	8.1	877	

1)、2)は、表3と同じ。

それぞれ102kg/h、240kg/hおよび377kg/hの鋸屑を混合すればよいことを示す。また、燃焼装置の運転現場では、各燃料をフォークリフトに装着したバケットを用いて容積比で混合する場合も想定されることから、容積換算値も合わせて各表に示した。すなわち、粉碎樹皮500kgは、含水率が30～70%の範囲で容積が2.1～1.4m³に、グリーン鋸屑は、158～580kgが0.9～3.3m³に、KD鋸屑は、102～377kgが0.6～2.1m³に換算できるので、含水率に応じてそれらの値を読み取って混合すればよいことを示す。

なお、ここでは、蒸気発生量2t/hの木屑焚きボイラーをモデルに早見表を作成したが、規模の異なるボイラーでも同様に計算して早見表を作成できるので、運転現場に応じた活用が望まれる。

3.3 高カロリー固形化燃料の製造方法の検討

県内のバイオマス発電用燃料に用いられているRPFは、含水率が15%以下の古紙や建築廃木材に廃プラスチックを混合し、加熱成型して製造されている。本研究では、古紙や建築廃木材の代わりに北洋材粉碎樹皮を用いて高カロリー固形化燃料を製造することを目的としているが、技術的にポイントとなるのは、樹皮の含水率である。前述のように樹皮の含水率は、通常で30%以上あり、このような高含水率でも廃プラスチックとの成形が可能なのか、あるいはRPFと同様に含水率を15%以下まで乾燥しなければならないのかなどについて見極める必

要がある。

そこで、含水率15、30および40%に調整したアカマツ粉碎樹皮とコントロールとして含水率15%以下に調整したアカマツ粉碎木材および含水率15%以下に調整したエゾマツ粉碎樹皮を原料に用いて、軟質廃プラスチックを乾物重量比で1：1の割合で混合し、スクリー押出成型装置で固形化燃料を製造した。

得られた固形化燃料の成形性や性状、粉化度の測定結果を表5に、含水率を15%に調整したアカマツ樹皮と廃プラスチックで製造した固形化物の外観を図5に示す。

固形化燃料の成形性については、含水率を40%に調整したアカマツ樹皮を原料に用いたAB(40)では、製造直後の固形化物は軟らかく、内部には水分が残っていたため、成形性は不良(×)であったが、その他の固形化物は良好(○)と判断された。

性状のうち、直径は、原料条件による違いは見られなかったが、長さは、AB(40)および含水率を15%以下に調整したエゾマツ樹皮を原料に用いたEB(15)は、他のものより15～18%短くなった。これは、AB(40)では成形不良が原因で、また、EB(15)では、エゾマツ樹皮が繊維質で膨軟なため、成型機の中での圧縮に時間がかかり、押出速度の低下によって短くなったものと考えられる。

気乾比重およびかさ密度は、AB(40)のみ、他の固形化物よりも11～14%低くなった。また、4m

表5 木質原料条件の違いが固形化燃料の成形性、性状、粉化度および減容比に及ぼす影響

固形化燃料の種類	原料条件		成形性	性状				粉化度 (%)	減容比
	材料	含水率 (湿量基準%)		直径 (mm)	長さ (mm)	気乾比重	かさ密度 (g/cm ³)		
AB(15)	①アカマツ樹皮	13.7	○	26.2	51.2	0.85	0.35	0.66	4.3
AB(30)	② "	29.7	○	26.3	51.2	0.81	0.35	1.74	4.3
AB(40)	③ "	41.5	×	26.7	43.8	0.72	0.30	2.74	3.8
EB(15)	④エゾマツ樹皮	13.2	○	26.9	41.8	0.82	0.34	0.91	5.0
AW(15)	⑤アカマツ端材	11.9	○	26.8	51.3	0.79	0.34	0.5	4.7
市販RPF	⑥古紙、廃木材	-	-	32.7	51.4	0.84	0.36	1.98	-



図5 アカマツ樹皮・廃プラスチック固形化燃料の外観

の高さから固形化物を落下させた時に衝撃力で破壊して粉末化する割合を示す粉化度と原料の含水率の関係をアカマツ樹皮を用いて調べたところ、含水率の上昇に従い、増加する傾向が認められた。また、含水率が30%以下のアカマツ樹皮を原料に用いた固形化物の粉化度は、1.7以下と市販のRPFの値(2.0)を下回り、耐衝撃強さは同等以上の性能を有していた。しかし、含水率が40%のAB(40)の粉化度は、2.7と耐衝撃強さがかなり劣った。

このように、粉碎樹皮の含水率を30%以下に調整することによって、成型性や耐衝撃強さに優れた固形化燃料を製造できることが分かった。また、固形化物の減容比は、4前後の値を示し、成型によって、元の原料容積が成型後には約1/4まで大きく減少するという減容効果も認められた。

表6は、固形化燃料の燃料特性を示すが、固形化燃料の低位発熱量は、原料条件にほとんど影響され

表6 固形化燃料等の燃料特性

固形化燃料の種類	気乾含水率 (湿量基準%)	低位発熱量 (MJ/kg)	灰分 (%)
AB(15)	5.4	24.2	2.3
AB(30)	6.2	24.0	2.4
AB(40)	5.3	24.1	2.7
EB(15)	5.3	23.9	3.3
AW(15)	4.3	24.5	1.8
市販RPF	8.4	24.3	4.3
一般炭	-	24.5	10.7

注)一般炭は、火力発電用の石炭を指す。

ずに約24MJ/kgと、建築廃材チップの値(約11MJ/kg)の2倍以上の値があり、市販のRPFや火力発電用石炭(一般炭)に匹敵する値であること、さらに、灰分は、市販のRPFや火力発電用一般炭に比べて3/4~1/3と少ないという利点があることも分かった。

今後は、製造コスト等の経済性について、さらに検討する必要がある。

3.4 燃焼灰の元素組成と利用方法の検討

まず、北洋材剥皮樹皮、鋸屑の燃焼灰および県内の製材工場4社で採取した木屑焚きボイラーの燃焼灰に含まれる元素の特徴を明らかにするため、蛍光X線分析により燃焼灰の元素組成を測定した。その結果を表7に示す。

剥皮樹皮、鋸屑の燃焼灰については、樹種の違いに関係なく、剥皮樹皮、鋸屑ともに最も多く含まれていた元素は、Ca(カルシウム)であり、その含

表7 北洋材樹皮、鋸屑の燃焼灰および県内の木屑焚きボイラー燃焼灰の元素組成

燃焼灰の種類	構成元素 (%)													
	Ca	Mn	K	Si	Fe	Al	P	Ba	S	Ti	Sr	Zn	Mg	
剥皮樹皮	アカマツ	75.8	2.3	5.6	3.8	2.5	5.2	3.9	0	0.6	0	0.1	0.3	0
	エゾマツ	75.6	7.3	5.6	3.1	1.7	1.3	2.1	1.8	0.5	0.1	0.2	0.7	0
	カラマツ	51.2	16.2	10.7	5.4	3.2	2.9	7.5	1.4	0.5	0.4	0.2	0.4	0
	(平均)	67.5	8.6	7.3	4.1	2.5	3.1	4.5	1.1	0.5	0.2	0.2	0.5	0
鋸屑	アカマツ	80.8	0	7.5	0.2	1.3	0	0	0	0.8	0	0.1	0.7	8.6
	エゾマツ	63.2	6.8	11.2	4.6	4.6	2.5	3.6	1.4	0.9	0.3	0.3	0.5	0
	カラマツ	49.0	14.7	14.9	4.1	3.7	0	4.2	1.8	0.6	0.3	0.3	0.2	6.2
	(平均)	64.3	7.2	11.2	3.0	3.2	0.8	2.6	1.1	0.8	0.2	0.2	0.5	4.9
県内の木屑焚きボイラー燃焼灰	76.6	5.8	5.4	3.3	2.7	2.3	1.7	0.8	0.4	0.4	0.4	0.2	0	

表8 燃焼灰の利用事例

用途区分	具体例
農業用	融雪剤、肥料、敷料・堆肥の補助材
工業用	セメント原料、陶磁器の釉薬
土木・建設工事用	土壌固化材、路盤材、コンクリート骨材
食品加工用	蒟蒻の凝固剤、灰干しワカメ、沖縄そばのかん水、味噌の種麹製造
その他	藍染め、和紙の煮熟剤、台所用洗剤

注)NEDO:バイオマスエネルギー導入ガイドブック(初版、2002年)および同(第2版、2005年)より引用。

有率は、アカマツで76～81%、エゾマツで63～76%、カラマツで49～51%であった。次いで多く含まれる元素は、K(カリウム)、Mn(マンガン)、P(リン)、Si(ケイ素)、Fe(鉄)、Ba(バリウム)、Al(アルミニウム)、Mg(マグネシウム)であった。

廃材の種類別に見ると、剥皮樹皮では、アカマツとエゾマツは、各元素組成がほぼ同じで、カラマツは、それらに比べCaが少なく、Mn、Kが多かった。また、鋸屑では、Caの含有率は、アカマツ>エゾマツ>カラマツの順となり、カラマツは、樹皮同様にMn、Kが多いという特徴が見られた。

なお、これらの燃焼灰には、カドミウムや水銀などの有害元素は検出されなかったが、高橋らは、北海道内で流通している木屑や樹皮などの木質チップ類について調査し、同様の結果を得ている¹¹⁾。

県内の製材工場4社で採取した木屑焚きボイラーの燃焼灰について分析、比較したところ、上記の剥皮樹皮および鋸屑の燃焼灰の元素組成とはほぼ類似していた。

次に、このような元素組成をもつ燃焼灰の特徴を活かしたりサイクル用途を見出すために、木質廃材の燃焼灰について、過去の利用事例を調査した。その結果を表8に示すが、大別すると、a) 農業用、b) 工業用、c) 土木・建設工事用、d) 食品加工用、e) その他に分けられ、このうち、最も多くの事例があったのは、a) 農業用の肥料とb) 工業用のセメント原料であった。

表7に示したように、木屑焚きボイラーの燃焼灰には、カルシウムが最も多く含まれ、また、カリウムやリン、マンガン、ケイ素、鉄などの植物に必要な肥効成分も含まれていることが判明した。このうち、カルシウムは、上記のa) 農業用の肥料、敷料・堆肥の補助材、b) 工業用のセメント原料、c) 土木・建設工事用の土壌固化材、路盤材、コンクリート骨材の用途に必要な元素であり、カリウム、リンなどの肥効成分は、a) 農業用の肥料および敷料・堆肥の補助材に不可欠な元素であることから、北洋材廃材の燃焼灰は、これらのいずれの用途にも適用可能と考えられる。なお、a) の敷料・堆肥の補助材とは、家畜敷料の水分調整と堆肥化する際の成分調整を目的に敷料に添加する副資材のことである。

しかし、b) 工業用のセメント原料は、近県のセ

表9 用途別各種燃焼灰の元素組成

燃焼灰の種類	構成元素 (%)													
	Ca	Mn	K	Si	Fe	Al	P	Ba	S	Ti	Sr	Zn	Mg	
肥料用 ¹⁾ (広葉樹樹皮灰)	80.5	0.4	2.2	9.6	0.8	3.3	1.4	-	-	-	-	-	1.8	
肥料・堆肥補助材用 ²⁾ (針葉樹樹皮・鋸屑灰)	79.4	6.2	7.1	1.0	1.6	-	2.0	-	0.7	-	0.4	0.4	-	
土壌固化材用 ³⁾ (ペーパースラッジ灰)	35.4	-	0.7	30.8	2.1	14.4	-	-	3.0	0.9	-	-	5.9	

1) 東京都農林水産振興財団、木質バイオマスエネルギー事業化調査報告書(2002)より引用。
 2) 富山県内で販売実績のある燃焼灰の分析値を示す。
 3) 国土交通省、新技術情報提供システム、NTIS登録番号:KT-060032の詳細説明資料より引用。

メント工場での受入れが可能であるが、逆有償であり、処理コストがかかること、c) 土木・建設工事用の路盤材、コンクリート骨材は、近県に処理工場がないこと等から、これらの用途への利用は、輸送コストを考えると、経済的に難しいと考えられる。

したがって、北洋材廃材の燃焼灰を有効利用するための適当な用途としては、ア) 肥料、イ) 敷料・堆肥の補助材、ウ) 土壌固化材の3点が有力な候補になりうるが、実際にこれらの用途に用いられている燃焼灰の成分組成(表9)と表7に示した剥皮樹皮、鋸屑の燃焼灰および本県における木屑焚きボイラーの燃焼灰の成分組成を比較すると、ア)とイ)の用途の燃焼灰は、組成がきわめて近似しており、また、ウ)についても、ケイ素とアルミニウムの割合に差があるものの、本県の木屑焚きボイラーの燃焼灰は、土壌の固化に必要なカルシウムを十分に含んでいるため、上記の3用途への利用は有望と判断される。

今後、燃焼灰を上記の用途に利用するためには、自社で発生する燃焼灰について、「土壌の汚染に係る環境基準」に基づく成分分析を実施して、基準値以内であることを保証し、さらに、ユーザーや県民に対する信頼性を高めるために、富山県認定リサイクル製品への登録を行うことが望まれる。

4. おわりに

本研究では、北洋材樹皮、鋸屑等をエネルギー利用するため、まず、これらの木質廃材の燃料適性を明らかにした。次に、今後の需要増加が見込まれ、かつ実用化される可能性が高い燃料用途として、製

材乾燥用の木屑焚きボイラーの燃料およびバイオマス発電用の高カロリー固化燃料の利用方法について検討し、前者は、蒸気発生量2t/hのボイラーを定格運転するのに必要な樹皮と鋸屑の混合量早見表を作成し、後者は、燃料を製造するための原料樹皮の適正含水率を求めた。さらに、燃料利用後に発生する燃焼灰については、成分組成の特徴を活かしたりリサイクル用途を検討し、ア) 肥料、イ) 敷料・堆肥の補助材、ウ) 土壌固化材への利用が有望であることを明らかにした。

なお、最近では、北洋材原木の入荷量が減少し、原油価格も大きく変動するなど、本研究を開始した時期とは状況が一変している。しかし、地球温暖化防止の観点から、化石燃料の代替資源としての木質廃材の需要は、ますます高まるものと見込まれ、今後は、スギ間伐材等未利用森林資源のエネルギー利用研究に取り組む必要があると考えられる。

また、木屑焚きボイラーを使用している製材工場の中には、燃焼灰が固まってできるクリンカーによって燃焼が妨げられたり、炉体を損傷するという問題が発生しているところがあり、効果的なクリンカー防止方法の開発も課題である。

文 献

- 1) 阿部房子：林試研報，No.352，22（1988）。
- 2) 筒本卓造：“木材工業の廃材とその利用”，社団法人日本木材加工技術協会，科学技術庁資源調査会編，三州社，東京，1971，p.278。
- 3) JIS Z 7302-6：“廃棄物固化燃料—第6部：全塩素分試験方法”，日本規格協会（1999）。

- 4) JIS P 8003 : “パルプ材及び製紙用パルプの灰分試験方法”, 日本規格協会 (1995).
- 5) JIS Z 7302-9 : “廃棄物固形化燃料－第9部 : かさ密度試験方法”, 日本規格協会 (2002).
- 6) JIS Z 7302-10 : “廃棄物固形化燃料－第10部 : 粉化度試験方法”, 日本規格協会 (2002).
- 7) JIS Z 7302-3 : “廃棄物固形化燃料－第3部 : 水分試験方法”, 日本規格協会 (1999).
- 8) JIS Z 7302-4 : “廃棄物固形化燃料－第4部 : 灰分試験方法”, 日本規格協会 (1999).
- 9) 小木知子 : “バイオマスハンドブック”, 社団法人日本エネルギー学会編, 株式会社オーム社, 東京, 2002, p.16.
- 10) 善本知孝, 佐藤 惺 : “木材利用の化学”, 共立出版株式会社, 東京, 1983, p.199.
- 11) 高橋 徹, 富田恵一, 若杉郷臣 : 北海道立工業試験場報告, No.37, 59-67 (2008).

Summary

In order to utilize the bark and waste wood derived from Siverian coniferous logs as fuel, studies were conducted on the estimation of the fuel values of bark and sawdust, utilization of these fuels for lumber drying, and the production of high calorific solid-fuel from bark and refuse plastics for biomass power generation, and utilization of the ashes derived from those fuels. The results are summerized as follws;

- 1) Bark peeled off from logs while stocked in wood yards could not be utilized as fuel, because this bark had a high moisture content throughout the year and in addition contained contaminants. The peeled bark or sawdust with a high salt content were not available for fuel either. However, it was judged that the peeled bark with high moisture content was available for fuel by mixing it with sawdust containing very little salts.
- 2) By considering the convenience of utilizing bark and sawdust with differant moisture content as fuel for lumber drying, the tables were designed to indicate the mixing ratios of bark and sawdust to obtain stable calorific value.
- 3) It was possible to produce a high calorific solid-fuel that had over twice as many of calories compared with waste wood tips from demolished wooden houses and others, by mixing and pressing bark and refuse plastics.
- 4) As a result of analyzing the elemental compositions of the ashes from combustion of bark and sawdust, it was suggested that those ashes could be utilized as a fertilizer, and support material for bedding of domestic animals and compost, or as a soil solidification agent.

間伐材を用いた接着重ね梁の製造と性能評価

橋本 彰、中谷 浩

Production and Performance Evaluation of Glued Built-up Timber Beams Made from Sugi Thining Wood

Akira HASHIMOTO, Hiroshi NAKATANI

県産スギ間伐材の構造用途への利用を図るため、高温セット法により乾燥した柱角材を2本積層した接着重ね梁について、強度等級区分による製造技術と各種実大強度性能試験および集成材JASの接着性能試験を行った。接着重ね梁の強度性能は高温乾燥の影響もあり、曲げ強度とめり込み強度で無等級製材の基準強度を下回る結果となったが、引張り強度、圧縮強度およびせん断強度は、無等級製材の基準強度と同等の性能が確認された。また、接着重ね梁の曲げ強度と曲げヤング率との間には、高い相関が認められたが、圧縮強度、めり込み強度および引張り強度と動的ヤング率との相関は低く、動的ヤング率を用いた機械等級区分は難しいと考えられた。一方、接着性能は、浸せきはく離試験および常態接着力であるブロックせん断試験では基準を満たしたが、厳しい劣化促進条件である煮沸はく離試験および減圧加圧はく離試験では、はく離発生率が高く、十分な接着力が得られなかった。板材を多層接着するため膨潤・収縮によって生じる応力が分散される集成材に比べて、2本の正角材を接着した重ね梁では、より大きな応力が生じることが考えられ、今後の実用化にあたっては、厳密な接着工程管理に基づく構造用集成材規格の適用、あるいは接着重ね梁という材料特性を踏まえて、新たな判定基準を設けることも妥当と思われた。

1. はじめに

県産スギ間伐材の用途展開を図るには、構造用材としての利用は不可欠と考えられる。柱や梁などの住宅用の構造材には集成材の進出が著しいが、これは集成材のもつ寸法安定性や強度信頼性が求められているためである。間伐材であっても集成材としての利用が可能であるが、小径材ではラミナの採材歩留まりが低いために集成材のコストが上昇し、利用しにくいという問題がある。本研究では、間伐小径材を住宅用構造用材として利用することを目的に、柱寸法材を2本積層接着することで、乾燥による寸法安定性と強度信頼性を付加した、集成材に替わる新しい構造材である接着重ね梁の開発を目標としている。接着重ね梁を住宅部材などに広く普及するためには、各種性能を明らかにするとともに、優良木質建材等認証（AQ認証）製品やJAS製品等の公的

認証を得ることが必要となる。

本報告では、試作製造したスギの接着重ね梁の各種強度性能と接着性能を検討した。なお本研究は、農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」（旧先端技術を活用した農林水産研究高度化事業）の「公的認証を可能とする高信頼性接着重ね梁の開発」として、長野県林業総合センターが中核機関となり、信州大学工学部、石川県林業試験場、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターおよび上伊那森林組合と共同で実施したものである。

2. 試験方法

試験は平成18年度から平成20年度の3年間実施し、接着重ね梁の製造と性能評価を行った。ここでは便宜的にH18年度に実施した材をグループ1（以

下G1)、H19年度に実施した材をグループ2 (以下G2)、H20年度に実施した材をグループ3 (以下G3) とした。接着重ね梁の部材 (エレメント) として135×135×4000mmの県産スギ正角材を供試し、95℃蒸煮後に120℃-90℃の高温セットを行い、90℃-60℃の中温度域で乾燥した。その後G1では約1ヶ月、G2、G3では2ヶ月～3ヶ月養生した。人工乾燥前後および養生後に、正角材の材長方向中央部の節などの欠点がない位置において、高周波式含水率計 (ケット科学研究所MOCO-2) を用いて4材面の含水率を測定した。養生後、縦振動法により動的ヤング率を測定し、動的ヤング率が同程度の材を組み合わせ、県内の集成材工場において接着した。試験体の接着についてはG1、G2では回転式プレス、G3は集成材工場の改変により、大断面集成材用のプレス装置を用いて圧縮した (図1)。接着剤は水性ビニルウレタン接着剤 (G1、G2ではオーシカTP111、G3ではアイカアイボンAUX-500) を用いた。接着条件については、圧縮圧は9.8kN/mm²、圧縮時間はG1、G2では45分程度、G3で24時間とした。開放堆積時間はG1、G2では10分以内であったが、G3ではプレス装置のトラブルにより30分と長時間を要した。接着後、1週間程度養生した後、重ね梁の断面寸法を120×240mmに調整した。各種強度試験に先立ちJAS構造用製材に準じて等級と動的ヤング率等を計測した。強度性能試験は曲げ試験、圧縮試験、めり込み試験、引張り試験、せん断試験をいずれも (財)日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験法」¹⁾ に準拠して行った。

曲げ試験は下部支点間距離3900mm、荷重点間距離1020mmの4点荷重方式で40体行った。

圧縮試験は長さ4mの接着重ね梁を鋸断し、めり込み試験体や接着性能試験体とともに採取した長さ720mmの短柱試験体で35体行った。

めり込み試験は長さ1440mmの試験体で、材長方向中央部に金属製加圧板を上下両面に介して加圧し35体行った (図2)。加圧しても明確な破壊が生じなかった場合は、試験体に20mmの変位が生じた時の荷重から、めり込み強度を求めた。また、荷重-変位曲線の比例部分の直線を変位の増加方向に2mmずらした直線と、同曲線との交点における荷重からめり込み降伏強度を求め、さらに、荷重-変

位曲線の比例部分における荷重と変位の比を加圧面積で除してめり込み剛性を求めた。

引張り試験は長さ3000mmの試験体をチャック間距離2160mmで (独)森林総合研究所の引張り試験機を用いて10体行った。

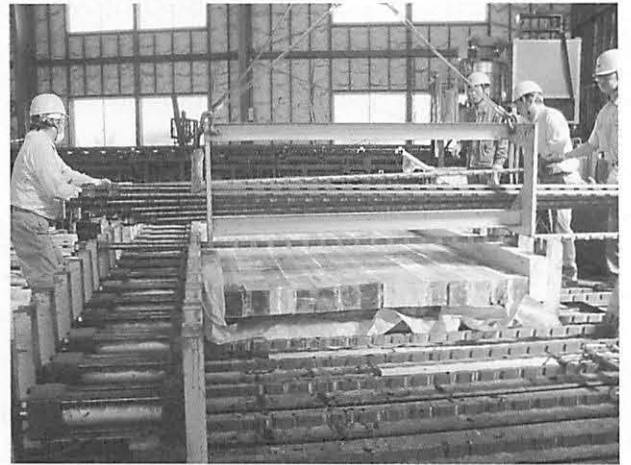


図1 大断面集成材用プレス装置による圧縮状況



図2 めり込み試験状況

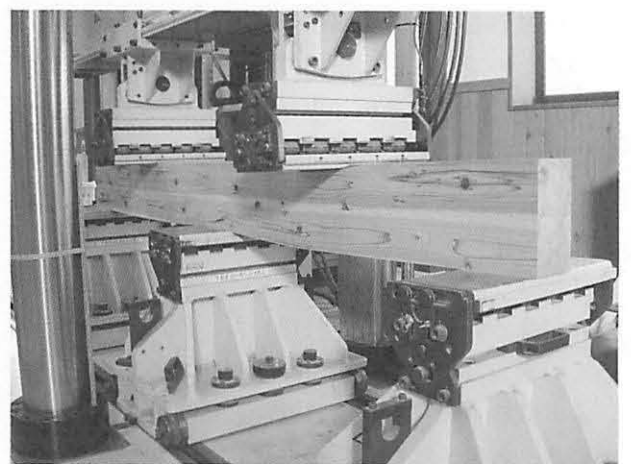


図3 5点曲げせん断試験状況

せん断試験は長さ2600mmの試験体で、せん断スパン長600mmとし、上部荷重点2カ所、下部支点3カ所の5点荷重方式で10体行った(図3)。また、実大ブロックせん断試験は、接着層がせん断面となるように、いす型に切断・調整したブロックを各接着梁から2体採取し、実大いす型せん断治具を用いて行った。ブロックせん断試験はJISの方法に準拠して、各接着梁から2体採取し、いす型せん断治具を用いて行った。各強度試験終了後、非破壊部分から含水率試験片を採取し、平均年輪幅、含水率の計測を行った。

接着性能は各接着梁から2体の接着試験体を構造用集成材JASの接着試験方法に準じて採材し、浸せきはく離試験、煮沸はく離試験、減圧加圧はく離試験、ブロックせん断試験を行った。

3. 結果と考察

3.1 接着重ね梁の強度性能

接着重ね梁の部材となるスギ正角材の含水率変化を表1に示す。G1では、試験開始が遅れたこともあり、養生時期が秋期になり、期間も約1ヶ月と十分に取れなかったため、仕上げ含水率が高く性能評価試験時で平均23%となった。一方、G2、G3では初期含水率が高くバラツキも大きかったが、養生時期が夏期で期間が2~3ヶ月取れたこともあり、性能評価試験時の含水率は15%程度に収束していた。

表1 スギ正角材の含水率変化

	生材時計器 (%)	乾燥後計器 (%)	養生後計器 (%)	試験時全乾法 (%)
平均	45.3	12.9	17.9	23.1
G1 標準偏差	14.17	10.03	5.10	7.85
最大値	77.5	51.5	33.7	55.4
最小値	20.5	2.8	9.9	12.7
平均	69.5	18.2	16.8	16.6
G2 標準偏差	16.80	6.63	4.35	5.07
最大値	119.6	39.4	31.4	36.2
最小値	44.3	9.6	10.4	9.4
平均	64.6	19.1	19.5	14.0
G3 標準偏差	20.05	6.81	4.07	3.58
最大値	127.5	38.4	27.1	26.6
最小値	34.4	10.0	12.5	8.4

※計器含水率は材長方向中央部における4材面の平均値とした。

接着重ね梁の曲げ、圧縮、めり込み強度試験結果を表2に示す。接着重ね梁の曲げ試験については、G1では仕上げ含水率が高く接着不良であったことが

表2 接着重ね梁の曲げ、圧縮、めり込み強度試験結果

	単位	平均	標準偏差	下限値	最大値	最小値
曲げ強度性能						
試験体数		35				
縦振動ヤング率	kN/mm ²	7.23	1.295		11.34	4.54
曲げヤング率	kN/mm ²	6.79	1.342		10.50	4.44
曲げ強度	N/mm ²	32.39	6.669	20.0	54.36	21.92
圧縮強度性能						
試験体数		27				
縦振動ヤング率	kN/mm ²	7.16	1.135		9.98	5.41
圧縮強度	N/mm ²	22.11	2.820	17.8	28.26	18.02
めり込み強度性能						
試験体数		35				
縦振動ヤング率	kN/mm ²	7.08	1.191		9.98	4.46
めり込み剛性	N/mm ³	2.05	0.490		2.76	0.70
めり込み降伏強度	N/mm ²	4.76	0.822		7.34	3.43
めり込み強度	N/mm ²	6.91	0.990	5.1	9.90	5.35

考えられ、5体が接着層でせん断破壊し、曲げ強度データが得られなかったため除外し、総数35体の県産スギ接着重ね梁の曲げ強度性能を得た。曲げ強度性能は、曲げヤング率の平均値6.79kN/mm²(標準偏差SD:1.342)、曲げ強度の平均値32.39N/mm²(SD:6.669)となった。これらの値は、県産スギ製材の曲げヤング率平均値6.08 (SD:1.72)、曲げ強度平均値35.1 (SD:7.1)²⁾に比べると、曲げヤング率が高めであるものの、強度性能はやや低い値であった。そのため、接着重ね梁の曲げ強度の基準強度特性値(5%下限値)は20.0N/mm²となり、無等級製材の基準強度³⁾(スギ22.2N/mm²)を下回る結果となった。

図4に接着重ね梁の曲げヤング率と曲げ強度の関係を示す。製材と同様に高い相関を有しているが、

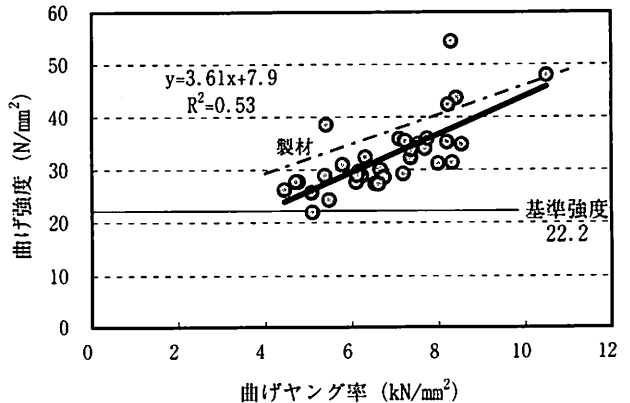


図4 曲げヤング率と曲げ強度の関係

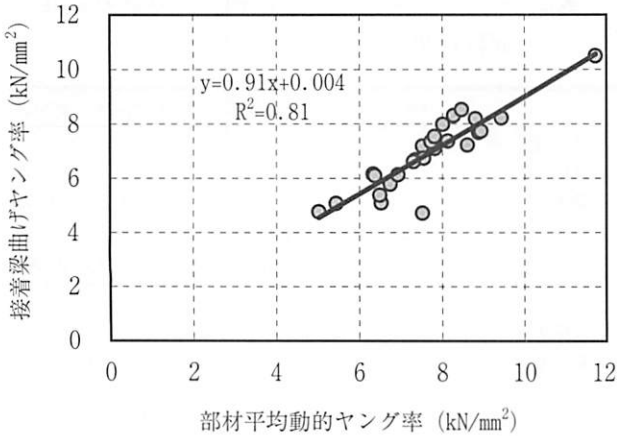


図5 部材と接着重ね梁のヤング率

製材で得られている回帰線⁴⁾からみると、やや強度低下が認められた。高温乾燥における強度への影響は既に指摘されている^{5,6)}ことから、熱劣化による強度への影響が現れたものと推測される。また、部材の動的ヤング率平均値と接着重ね梁の曲げヤング率の間には、高い相関関係が認められる(図5)ことから、部材の選択により、重ね梁の性能評価や強度を担保することが可能である。したがって、曲げ強度と曲げヤング率の関係から、動的ヤング率を用いた機械等級区分を導入することにより、基準強度を満たす信頼性のある構造部材の提供が可能になることが示された。

圧縮試験では、G1では8体に荷重点端部からの圧縮破壊が発生し、正しい圧縮強度データとは見なし得ないことから、データから除外し、総数27体の圧縮強度データを得た(表2)。圧縮強度の平均値は22.11N/mm²(SD:2.820)、圧縮強度の基準強度特

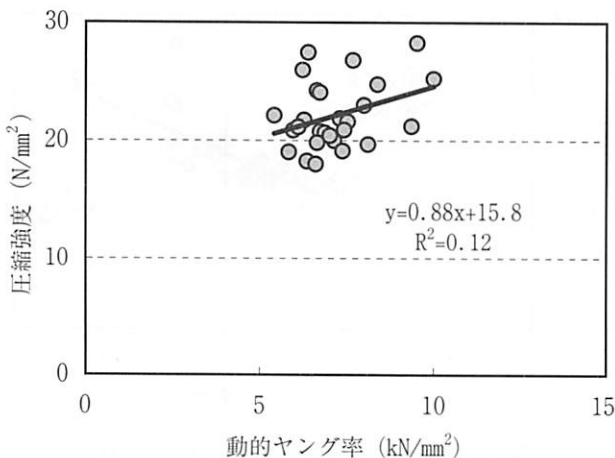


図6 圧縮強度と動的ヤング率の関係

性値(5%下限値)は、17.8N/mm²となり、無等級製材の基準強度³⁾(スギ:17.7N/mm²)を超えており、製材と同等の強度性能を持つことが確認された。動的ヤング率と圧縮強度の関係を図6に示すが、圧縮強度については、動的ヤング率との相関は小さかった。一般に製材では圧縮強度と曲げヤング率の関係は、決定係数 $R^2 = 0.59$ 程度が報告されている⁷⁾ことから、高温乾燥による強度低下の影響が現れた可能性が高いと考えられる。この結果から、圧縮強度については、動的ヤング率を用いた機械等級区分を実施するメリットは小さいと考えられる。

めりこみ強度については平均値6.91N/mm²(SD:0.990)、めり込み強度の基準強度特性値(5%下限値)は、5.1N/mm²が得られた(表2)が、これはスギのめりこみ基準強度³⁾(6.0N/mm²)を下回った。他県の結果⁸⁾でも、ヒノキ、ヒバを除き基準強度を下回っており、高温乾燥の影響を受けたものと考えられる。めり込み強度については、図7に示すように動的ヤング率や密度との相関は認められなかった。しかし、他県で行われたカラマツ、ヒバ等の樹種では

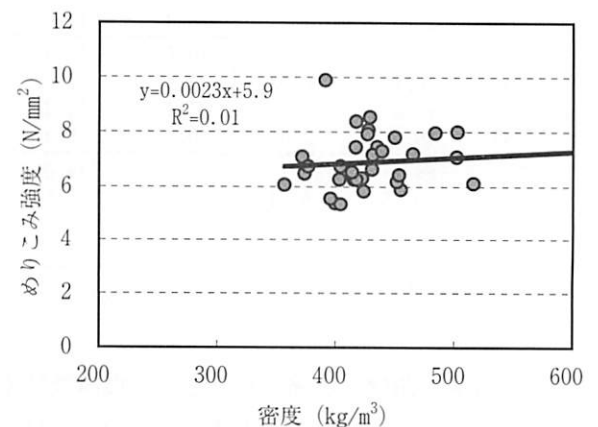
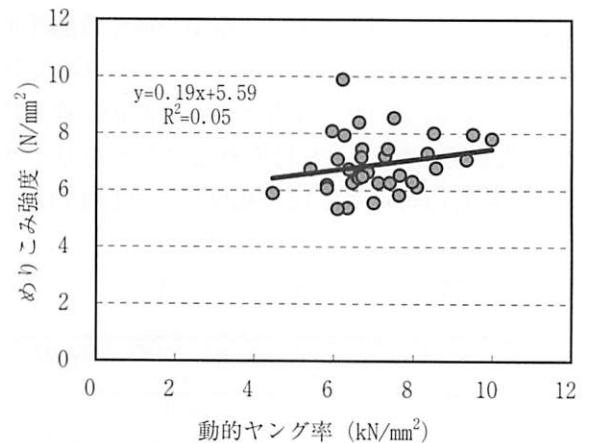


図7 動的ヤング率、密度とめり込み強度の関係

密度との相関もみられており、樹種による違いが認められた⁸⁾。

また、引張り強度は平均値20.14N/mm²が得られた(表3)。試験体数が少ないため、下限値は求めているが、いずれの試験体も無等級製材の引張り基準強度³⁾(スギ13.5N/mm²)を上回っており、実用上十分な性能を持つことが明らかとなった。また接着層が破壊に影響を及ぼしたものは認められなかった。一方、引張り強度と動的ヤング率との相関関係は低く(図8)、動的ヤング率を用いた機械等級区分には適さないことが明らかになった。

表3 接着重ね梁の引張り強度

	密度 (kg/m ³)	動的ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	引張ヤング係数 (kN/mm ²)	引張最大荷重 (kN)
G2-1	524	8.52	16.9	7.69	486.1
G2-2	490	9.62	17.6	6.95	507.6
G2-3	445	6.54	12.2	5.25	349.9
G2-4	433	7.42	30.2	8.85	869.3
G2-5	524	8.52	16.1	6.07	464.5
G3-1	431	4.99	17.4	4.61	501.3
G3-2	417	5.72	16.2	5.16	467.6
G3-3	392	6.60	20.0	6.22	574.6
G3-4	413	8.17	20.6	7.43	592.5
G3-5	507	9.33	34.2	8.72	986.1
平均	458	7.54	20.14	6.70	579.9
標準偏差	49.1	1.547	6.828	1.480	196.63

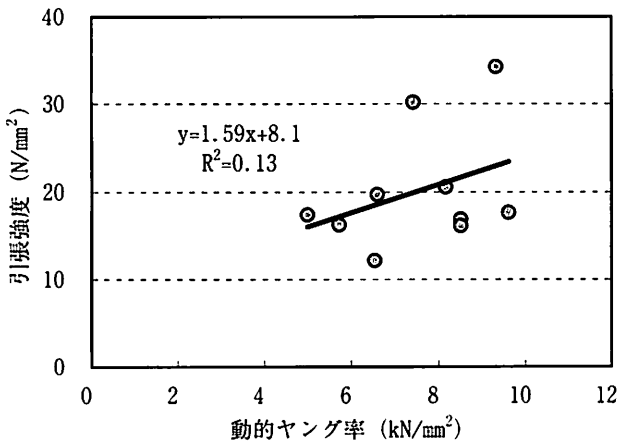


図8 動的ヤング率と引張り強度の関係

せん断強度(5点曲げ加力、実大ブロック)は、表4に示すとおり無等級材の基準せん断強度を下回るものではなく、実用上十分なせん断性能を有していることが明らかとなった。

曲げせん断試験では、約半数がせん断破壊したのみであり、曲げによる破壊も多く、せん断強度が十分には得られなかった。3種類のせん断強度を比較

表4 各種せん断強度

	縦振動 ヤング率 Efr (kN/mm ²)	5点曲げせん断		実大ブロック せん断	JISブロック せん断	
		最大荷重 (kN)	破壊形態	せん断強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)
G2-1	5.72	281.4	せん断	5.04	5.46	5.98
G2-2	8.17	228.6	せん断	4.09	5.48	6.83
G2-3	9.13	264.3	せん断	4.73	6.42	4.54
G2-4	7.47	236.0	せん断	4.23	5.24	7.08
G2-5	6.75	232.6	曲げ		4.82	5.45
G3-1	8.33	222.3	せん断	3.98	4.59	5.03
G3-2	6.55	239.4	せん断	4.29	3.62	7.52
G3-3	5.71	220.0	曲げ		4.57	6.53
G3-4	7.58	259.1	曲げ		5.68	4.69
G3-5	8.13	252.3	曲げ		3.82	4.93
平均	7.35	243.6		4.39	4.97	5.86
標準偏差	1.146	20.01		0.408	0.860	1.078

すると、JISブロックせん断強度が最も大きく平均5.86N/mm²、実大ブロックせん断強度が4.97N/mm²、曲げせん断強度が4.39N/mm²の順となった。実大ブロックせん断強度と曲げせん断強度は、ほぼ近い値を示しており、構造用材のせん断強度の基準として使用できる可能性が高いことが示された。

3.2 接着重ね梁の接着性能

接着性能試験結果を表5に示す。集成材JAS基準では、両木口面のはく離率が5%以下かつ同一接着層のはく離長さが1/4以下が合格となるが、当初2年間のG1、G2では、浸せきはく離試験および常態接着力であるブロックせん断試験では、満足のいく接着力が得られたが、厳しい劣化促進条件である煮沸はく離試験、減圧加圧はく離試験では、はく離発生率が高く十分な接着力が得られなかった。

表5 接着性能試験結果

試験体数 (本)	(合格率、単位：%)				
	浸せきはく離試験	煮沸はく離試験	減圧加圧はく離試験	ブロックせん断試験	
G1	20	90	55	75	100
G2	10	80	10	50	100
G3	5	100	0	0	100

一方、一部の県では合格率の高い結果⁹⁾もみられたため、接着剤の違いによる可能性を考え、G3では接着剤をアイカイボンAUX-500に変更した。しかし、G3での煮沸はく離試験、減圧加圧はく離試験の結果は不合格となった。G3では集成材工場においてプレス装置のトラブルが発生し、開放堆積

時間が長くなったことが、接着力に影響を及ぼしたとも考えられる。他県の結果では、接着塗布後の開放堆積時間を10分以内にしたことで合格率が著しく向上したことが報告されている¹⁰⁾。

いずれにしても、接着重ね梁では、120mm角材を接着するため、煮沸や減圧加圧などの膨張、収縮については多層の積層である集成材よりも厳しい条件におかれる可能性が高いため、煮沸はく離や減圧加圧はく離のような厳しい条件下では、集成材JASの基準を満たす接着性能が得られなかったと考えられる。

一方、他県で実施された結果¹⁰⁾を参考にすると、減圧加圧はく離試験では十分な結果が得られていないが、煮沸はく離試験では厳密な接着工程管理や接着剤の塗布量を厳守することなどにより、接着力が改善されていることから、規格条件を満足できる可能性が示された。したがって、今後の実用化にあたっては、厳密な接着工程管理に基づく構造用集成材規格の適用、あるいは接着重ね梁という材料特性をふまえて新たな判定基準を設けることも妥当と思われる。

4. おわりに

県産スギを用いた接着重ね梁を製造し、強度性能と接着性能を評価した。強度性能は、曲げ強度とめり込み強度で無等級製材の基準強度を下回る結果となったが、引張り強度、圧縮強度およびせん断強度は基準強度と同等の性能が確認された。接着性能は浸漬はく離試験およびブロックせん断試験では基準をクリアしたが、煮沸はく離試験および減圧加圧はく離試験では、十分な接着力が得られなかった。これらの接着力不足あるいは強度性能の低下等の課題を考えると、新しい材料としての品質管理、性能評価を行うのが必要と考えられる。

引用文献

- 1) 住宅資材性能規定化対策事業 地域材性能評価事業・報告書〈構造用木材の強度試験法〉, (財)日本住宅・木材技術センター, 2000
- 2) 富山県林業技術センター編: "富山県産スギの材質と強度", 富山県林業技術センター, 2000, p42.
- 3) 国土交通省編: 無等級材の基準強度, 国土交通省告示第1452号, 2000
- 4) 富山県林業技術センター編: "富山県産スギの材質と強度", 富山県林業技術センター, 2000, p44.
- 5) 池田潔彦, 吉田孝久ら: "針葉樹構造用製材の乾燥と強度性能の関連性", 木材工業Vol64, No.7, 2009, p309-311.
- 6) 山本学: "人工乾燥温度が曲げ強度に及ぼす影響", 広島県林技セ研報No.31, 1999, p33-36.
- 7) 強度性能研究会編: "製材品の強度性能に関するデータベースデータ集〈5〉", 強度性能研究会, 2001, p61.
- 8) 長野県林業総合センター編: "接着重ね梁の製造マニュアル", 長野県林業総合センター, 2009, p31-34, 38.
- 9) 池田潔彦: "公的認証取得を可能とする高信頼性接着重ね梁の開発", 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編), 2008, p93-94
- 10) 吉田孝久: 平成20年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業事後評価用報告書, 課題番号18074, "公的認証を可能とする高信頼性接着重ね梁の開発", 長野県林業総合センター, 2009, p19-20.

Summary

In order to utilize Sugi (Japanese cedar tree) thinning wood produced in our prefecture for the use of structural member materials, we developed the glued built-up timber beams layered with 2 squared timbers of Sugi by high temperature drying treatment. We investigated the production technology using the mechanical stress grading, and evaluated the strength performance of various glued built-up timber beams as well as that of JAS on gluing of glued-laminated timbers. Consequently we confirmed that the strength

performance of glued built-up timber beams was less than the standard strength of non graded lumber in bending strength and compressive strength perpendicular to the grain, and that tensile strength, compressive strength and shearing strength are equal in performance to the standard of non graded lumbers. About this, it seems that the influence of high temperature drying treatment has emerged. And a high correlation was recognized between bending strength and bending Young's Modulus on glued built-up timber beams. On the other hand, it was cleared that compressive strength, compressive strength perpendicular to the grain and tensile strength had a lower correlation to Young's Modulus, and that the mechanical grade classification using Young's Modulus was not suitable.

The gluing performance overcame the block shear test which was the normal state gluing strength, and also the immersion & exfoliation test was over the standard. But on the boiling water immersion test and the vacuum pressure test which were the degradation acceleration condition, there was much exfoliation and the standard could not be satisfied. Glued built-up timber beams glue the equilateral squared timbers. Therefore, it is thought that they have some influence when exposed to severe conditions on expansion and shrinkage compared to the glued-laminated timbers which glue the layered lumbers. In order to make it practicable from now on, it seems appropriate to establish a new decision standard considering the application of structural glued-laminated timbers' based on severe gluing process control, or the material character of the glued built-up timber beams.

富山県農林水産総合技術センター 木材研究所研究報告

2010年3月 No.2

発行日 平成22年3月23日

発行 富山県農林水産総合技術センター 木材研究所
Forest Products Research Institute,
Toyama Prefectural Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center

〒939-0311 射水市黒河新4940
4940 Kurokawashin, Imizu-shi, Toyama
939-0311, JAPAN
TEL (0766) 56-2915 FAX (0766) 56-2816

編集 富山県農林水産総合技術センター 木材研究所

印刷 大東印刷株式会社
〒930-0835 富山市上富居1丁目3番15号
TEL (076) 432-3344 FAX (076) 431-7720

Bulletin of the Forest Products Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center

No. 2 March 2010

Utilization of Wood Residues as Fuel 1

Katsushi TAJIKA, Katsuo MIZUMOTO, Rihei TAKAHASHI

Production and Performance Evaluation of Glued Built-up 11

Timber Beams Made from Sugi Thining Wood

Akira HASHIMOTO, Hiroshi NAKATANI

**Forest Products Research Institute,
Toyama Prefectural Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center**

<http://www.pref.toyama.jp/branches/1661/mokuzai/index.html>