

林産試験場報

研究記録

北海道における木質バイオマス燃焼灰の発生量と利用量の推計	(1)
折橋 健, 原田 陽, 西宮 耕栄	
北海道における木質バイオマス燃焼灰のリサイクルの可能性	(5)
折橋 健, 原田 陽, 西宮 耕栄	
農産廃棄物からのペレット製造とペレタイザーの摩耗状況	(9)
西宮 耕栄, 山田 敦	
木質構造用ねじの斜め打ちによるCLT壁-床接合部のせん断性能	(17)
富高 亮介, 今井 良, 戸田 正彦	
道産材を用いた枠組壁工法用製材および面材の強度性能評価	(21)
大橋 義徳, 古田 直之, 戸田 正彦, 藤原 拓哉, 松本 和茂	
北海道産カラマツ平角材の曲げ強度性能	(27)
藤原 拓哉	

2024

551号

地方独立行政法人

北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場

北海道における木質バイオマス燃焼灰の発生量と利用量の推計

折橋 健, 原田 陽*¹, 西宮 耕栄*²

Estimation of generated and used amounts of woody biomass combustion ash in Hokkaido

Ken ORIHASHI, Akira HARADA, Koei NISHIMIYA

キーワード：エネルギー，灰の発生量，灰の利用量，木質バイオマス，燃焼灰

北海道において、木質バイオマス燃料を用いる燃焼装置を有し、得られたエネルギーを自ら利用もしくは他者へ販売する事業者を対象に、灰の発生と利用に関する郵送アンケートを行い、道内での木質バイオマスの燃料利用に由来する灰の年間発生量や利用量を推計した。その結果、灰の年間発生量は、合計68.8千t/年（紙製造業のみで使用されるペーパースラッジ由来の灰を除く場合は32.8千t/年）であった。業種別にみると、紙製造業での発生量が最も多く、次いで発電所・熱供給業、木材関連産業、その他の産業、公共機関の順に発生量は少なくなった。また灰の年間利用量は、合計62.1千t/年（ペーパースラッジ由来分を除くと26.1千t/年）と推計され、灰の年間発生量に対する利用率は90%（ペーパースラッジ由来分を除く場合は80%）であった。業種別では紙製造業や発電所・熱供給業での利用量が多く、発生量に対する利用率も高かった。一方、木材関連産業、その他の産業、公共機関では、相対的に利用量は少なく、利用率は特に木材関連産業とその他の産業で低かった。

1. はじめに

木質バイオマスのエネルギー利用に伴い発生する燃焼灰（以下、灰とする）は、エネルギー事業の安定化、廃棄による環境負荷、資源の循環利用といった観点から有効利用が必要とされ¹⁻³⁾、木質バイオマス燃料の使用量増加とともにその重要性が増している。灰の利用を進める上では、灰の発生や利用の実態および課題を把握することや、利用技術の開発が必要であるが、灰の発生や利用に関する実態報告例は少ない。

そこで筆者らは、木質バイオマス燃料を用いる燃焼装置を有し、得られたエネルギーを自ら利用もしくは他者へ販売する北海道内の事業者（以下、事業者とする）を対象に、郵送アンケート（以下、アンケートとする）形式で灰の発生や利用の実態を調査し、既報⁴⁾では主に事業者単位の視点で、灰の発生・利用の状況や、灰利用に対する事業者の意識、課題について報告した。本報告では、視点を全道単位に移し、灰の年間発生量と利用量を推計した結果を述べる。

2. 方法

林野庁実施の木質バイオマスエネルギー利用動向調査⁵⁾で調査対象となっている道内149事業者に対し、2020年6～7月にアンケートを実施した。その中では、全事業者を対象に灰の年間発生量や利用割合、エネルギー利用に関して回答を求めた。また、灰を利用している事業者には利用方法や関連事項を、灰を利用していない事業者には未利用の理由を合わせて調査した。以上のアンケートの詳しい内容や結果は、既報⁴⁾を参照されたい。

アンケート票を送付した149事業者のうち90事業者より回答が得られたが、このうち5事業者からは灰の発生量や利用割合に関する情報が得られなかった。そこで、この5事業者を外した85事業者の回答を以下の推計に用いた。

第1表は85事業者の構成である。85事業者には、道内で木質バイオマス燃料を使用する主要な事業者がいずれも含まれていた。一方、アンケートの回答が得られなかった64事業者は、木材関連産業、その他の産業、公共機関の事業者で、関係方面への聞き

第1表 85事業者の構成

業種	事業者数
紙製造業	6
発電所・熱供給業	8
木材関連産業	25
その他の産業*	29
公共機関	17
全体	85

既報⁴⁾に掲載のデータより作成，*：内訳は宿泊施設8，医療・福祉7，洗濯業3，浴場業3，農業2，森林組合2，食料品製造業2，はん用機械器具製造業1，建設業1である

取り等から灰の発生量は小規模（合計しても全体の数%程度）と推測されたため，85事業者の回答より道内での灰の年間発生量と利用量を推計することは妥当と判断した。

85事業者が燃料源とする木質バイオマスは，枝条・伐根類，低質材，製材工場等の端材・樹皮，建築解体材およびペーパースラッジ（以下，PSとする）であった。このうち，枝条・伐根類，低質材，端材・樹皮は全ての業種で，建築解体材は公共機関以外の業種で使用され，PSは紙製造業のみで使用

されていた。これらに由来する灰の事業者あたりの発生量や利用割合（いずれも階級単位の回答）は，第2表および第3表のとおりであり，これらの結果を推計に使用した。

まず，道内の灰の年間発生量は，次のとおり推計した。各事業者の回答において，灰発生量が500 t/年未満の場合は，回答階級の中央の値（0.25，0.75，3，7.5，30，75，300 t/年）を推計に用いた。また回答が500 t/年以上の場合は，実際の発生量を聞き取るか，あるいは使用燃料量や灰分率等の情報を聞き取って発生量を算出した。以上により得られた値を合計し，道内の灰の年間発生量とした。

次に，道内の灰の年間利用量は，以下のとおり推計した。各事業者の回答において，灰発生量が500 t/年未満の場合は，回答階級の中央の値（0.25，0.75，3，7.5，30，75，300 t/年）に利用割合の中央の値（0，15，35，55，75，95%）を乗じて推計に用いた。また灰発生量が500 t/年以上の場合は，実際の利用量を聞き取るか，あるいは利用割合を聞き取って発生量に乗じた。以上により得られた値を合計し，道内の灰の年間利用量とした。

なお，以上の推計や結果と考察で取り扱う灰の発生量，利用量は，すべて生重量である。

第2表 灰の年間発生量別の事業者数

業種 [n]	灰の年間発生量 (t/年)*								
	<0.5	0.5-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	1000≤
紙製造業 [6]	0	0	0	0	0	0	1	0	5
発電所・熱供給業 [8]	0	0	1	0	0	0	2	2	3
木材関連産業 [25]	1	1	5	6	6	3	1	0	2
その他の産業 [29]	14	2	5	1	2	2	3	0	0
公共機関 [17]	10	1	5	0	1	0	0	0	0
全体 [85]	25	4	16	7	9	5	7	2	10

既報⁴⁾のTable 6より作成，[n]：事業者数，*：生重量

第3表 灰の利用割合別の事業者数

業種 [n]	灰の年間発生量に対する利用割合 (%)					
	0	10-20	30-40	50-60	70-80	90-100
紙製造業 [6]	1	0	0	0	0	5
発電所・熱供給業 [8]	2	0	1	0	1	4
木材関連産業 [25]	17	1	0	1	2	4
その他の産業 [29]	15	1	2	1	1	9
公共機関 [17]	9	0	0	0	0	8
全体 [85]	44	2	3	2	4	30

既報⁴⁾のTable 7より作成，[n]：第2表を参照

3. 結果と考察

道内での灰の年間発生量や利用量に関する推計結果を第4表に示す。PSは紙製造業のみで使用される燃料源であることから、以下ではPS由来灰を含む場合と除く場合を併記する。

道内の灰の年間発生量は、合計68.8千t/年、PS由来分を除く場合は32.8千t/年と推計された（第4表）。方法でも述べたとおり、推計はアンケートを送付した149事業者中の85事業者の回答より行ったものだが、関係方面への聞き取り等から残る64事業者の灰の年間発生量は合算しても数十～数百t（全体の数%程度）で小規模と推測されるため、推計結果が大きく変わることはないと考えられる。

業種別にみると、紙製造業での発生量が、PS由来灰の有無によらず最も多かった。PS由来灰とそれ以外の木質バイオマスに由来する灰の重量比は7:3であった。紙製造業以外では、発電所・熱供給業での発生量が多く、次いで木材関連産業、その他の産業、公共機関の順に発生量は少なくなった。

アンケート実施の前年（2019年）に道内でエネルギー源として使用された木質バイオマス（PSは含まない）の量は、概算で1,400千m³、700千t/年であり⁶⁾、文献^{7,8)}などに基づいて灰分率を3%とすると、灰の年間発生量は21.0千t/年と計算される。これに対して今回の推計値（PS灰を含まない）は32.8千t/年であり、11.8千t/年の乖離があった。これについては、枝条・伐根類や建築解体材を使用する一部の事業者で灰分率が高い事例があり（15.9千t/分）、それが影響した可能性が高い。仮に、当該事例について燃料使用量を変えずに灰分率のみ3%に補正した場合（＝灰の推計発生量×3/実際の灰分率）、本研究での推計値は9.1千t/年の23.7千t/年となり、先述の

木質バイオマス使用量から計算する値（21.0千t/年）と近い値を示す。このことから、今回の推計値は道内での灰の年間発生量として妥当と判断される。

道内の灰の年間利用量は、合計62.1千t/年、PS由来分を除くと26.1千t/年と推計された（第4表）。推計はアンケートを送付した149事業者中の85事業者の回答より行ったものだが、年間発生量の場合と同様に、残る64事業者の利用量を加えても推計値の変化は数十～数百t程度と考えられる。また、灰の年間発生量に対する利用量の率（以下、利用率とする）は、業種全体では90%、PS由来分を除いた場合でも80%と高かった。

業種別にみると、紙製造業や発電所・熱供給業での利用量が多く、発生量に対する利用率も高かった。一方、木材関連産業、その他の産業、公共機関では、相対的に利用量は少なく、利用率は特に木材関連産業とその他の産業で低かった。既報⁴⁾では、アンケートにおける各業種の回答事業者のうち灰を利用する事業者の割合について触れ、紙製造業と発電所・熱供給業でその割合が高く、他の3業種では相対的に割合が低いことを述べた。このことを合わせて考えると、紙製造業や発電所・熱供給業では灰利用に取り組む事業者の割合が高く、灰の利用率も高いのに対し、他の業種では灰利用に取り組む事業者の割合が相対的に低く、特に木材関連産業とその他の産業では灰の利用率も低いと整理される。

灰の年間発生量より利用量を差し引いて算出される未利用量は、合計6.7千t/年（PS由来分を除いた場合も同じ）であった（第4表）。また、そのうちの95%は、木材関連産業（3.2千t/年、48%）、発電所・熱供給業（2.2千t/年、33%）、その他の産業（0.92千t/年、14%）の灰であり、これらの灰が今

第4表 道内での灰の推計年間発生量、利用量、未利用量

業種	推計年間量 (t/年)*			発生量に対する%	
	発生	利用	未利用	利用	未利用
紙製造業	52,150	51,850	300	99.4	0.6
PS由来分を除く	(16,160)	(15,860)	(300)	(98.1)	(1.9)
発電所・熱供給業	12,030	9,820	2,210	81.6	18.4
木材関連産業	3,390	160	3,230	4.7	95.3
その他の産業	1,140	220	920	19.3	80.7
公共機関	50	30	20	60.0	40.0
全体	68,760	62,080	6,680	90.3	9.7
PS由来分を除く	(32,770)	(26,090)	(6,680)	(79.6)	(20.4)

*：生重量，PS：ペーパースラッジ

後利用を検討すべき主な対象となる。これに関連して、灰利用の拡大に向けては、次の2点が重要である⁴⁾。1点目として、灰の利用事業者の割合が低い木材関連産業、その他の産業、公共機関では、灰利用に関する意識や知識を持たない事業者が多いため、灰利用の意義や方法について情報提供を行うこと、また2点目は、灰利用上の支障として、重金属の含有や、クリンカ・異物の混入、利用先の確保、成分分析の手間といった問題が上記3業種や発電所・熱供給業から挙げられており、その解決を図ることである。

今回のアンケートの後、道内では新規の木質バイオマス発電所が稼働するなど、灰の発生や利用の状況は変化が続いている。今後も木質バイオマスエネルギーの利用増加が見込まれるため⁹⁾、灰の発生量も増えると予想される。現状では、灰の発生量や利用量の定期的な調査は行われていないが、今後、灰の管理が一層必要になると考えられることから、定期的かつ定量的な把握が望まれる。

謝 辞

本研究は、北海道循環資源利用促進重点課題研究開発事業費補助金により実施した。郵送アンケートは、北海道水産林務部林務局林業木材課および14の(総合)振興局産業振興部林務課のご助言、ご協力を得て実施した。調査全般にわたり、道内で木質バイオマスエネルギーを製造・利用する事業者各位に多大なご協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 古俣寛隆, 石川佳生, 本藤祐樹: 木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル環境影響と外部コストの評価. 日本LCA学会誌13(1), 73-83 (2017).
- 2) 永野正朗: 宿毛バイオマス発電所における燃焼灰の有効利用について. 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす100(1), 62-66 (2021).
- 3) 山田毅, 平井敬三: 木質バイオマス燃焼灰の現状と林地還元に向けた取り組み. 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす100(1), 55-61 (2021).
- 4) 折橋健, 原田陽, 西宮耕栄: 木質バイオマスのエネルギー利用に伴う燃焼灰の発生と利用の実態. 北海道の事例. 木材学会誌69(2), 92-101 (2023).
- 5) 農林水産省: 木質バイオマスエネルギー利用動向調査,
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/ 2023年10月17日参照.
- 6) 北海道水産林務部林務局林業木材課木質バイオマス係: 行政の窓・北海道の木質バイオマスエネルギー利用促進の取組. 林産試だより10月号, 8 (2022).
- 7) 池美乃里, 大下和徹, 高岡昌輝: 国内のFIT認定木質バイオマス発電施設における燃焼灰発生量推計. 廃棄物資源循環学会論文誌31, 169-178 (2020).
- 8) 林野庁: 木質バイオマスボイラー導入・運用にかかわる実務テキスト,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_4.html 2023年10月17日参照.
- 9) 北海道水産林務部総務課: 北海道森林づくり基本計画(令和4年(2022年)3月策定),
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/r-g/r-keikaku/top.html> 2023年10月17日参照.

— 森林研究本部企画調整部 企画課 —

— *1: 利用部 微生物グループ —

— *2: 利用部 バイオマスグループ —

(原稿受理: 23.10.17)

北海道における木質バイオマス燃焼灰のリサイクルの可能性

折橋 健, 原田 陽*¹, 西宮 耕栄*²

Recycling potential of woody biomass combustion ash in Hokkaido

Ken ORIHASHI, Akira HARADA, Koei NISHIMIYA

キーワード：エネルギー，木質バイオマス，燃焼灰，リサイクル

木質バイオマス燃焼灰のリサイクルの可能性を把握するために、農業・環境，土木，窯業，建設分野でリサイクル事業を行っている道内事業者に郵送アンケートを行った。アンケート票は39事業者に送付し，25事業者より回答を得た（回答率64%）。灰はリサイクル事業者が関心を示す素材であり，肥料や埋戻材の原料，煉瓦原料の代替など，複数の用途で活用可能性があることが判明した。また，一部のリサイクル事業者は，既に灰リサイクルの相談を受けていることや，灰をセメントや路盤材の原料として使用していることも明らかとなった。リサイクル事業者による灰の活用条件は，事業者により様々であった。大きくは，品質，供給，コストの3項目に分類され，品質面では有害成分や異物の制限，水分や成分，粒度が所定条件を満たすことなどが，供給面では安定供給や需要に応じた供給などが条件として挙げられた。今回のアンケート結果から，発生量が増加する灰の活用先としてリサイクル分野が期待される一方で，実際にこの分野で活用が進むかどうかは，リサイクル事業者の提示する多様な活用条件を灰が満たせるかどうかによって左右されると示唆された。

1. はじめに

道内では，木質バイオマスのエネルギー利用が拡大している。燃料としての木質バイオマスの使用量は，近年では年間70万dry-t前後に及び，全国でも上位の量である。このようなエネルギー利用の進展に対し，資源の循環利用などの観点から木質バイオマス燃焼灰（以下，灰とする）の有効利用が重要性を増している。そこで筆者らは，道内における灰の発生や利用の実態を調査し^{2,3)}，利用上の課題を把握するとともに，灰の性状調査⁴⁾や用途開発^{5,6)}に取り組んでいる。

灰の利用には，木質バイオマスエネルギーを製造，利用する事業者（以下，木質エネルギー製造・利用事業者とする）が自ら主動する場合と，リサイクル事業者といった他者による利用がある。このうち前者に関しては，上記の実態調査²⁾において道内の状況を把握しており，また，著者らのこれまでの用途開発^{5,6)}も前者を想定したものである。一方，後者に関しては，燃料源は異なるが石炭灰やごみ焼却灰でリサイクルが普及しており⁷⁾，木質バイオマスに由来する灰にもリサイクル分野で様々な活用可能性が予想される。ただ，その点を道内で調査した例は

なく，灰の利用拡大に向けて把握が必要である。そこで本研究では，道内のリサイクル事業者を対象に，リサイクル素材としての灰への関心度や，灰の活用可能性を確認する目的で，郵送アンケート（以下，アンケートとする）を行った。

2. 方法

灰利用の動きが進んでいる海外の事例⁸⁾を参考に，アンケートを行うリサイクル分野として農業・環境，土木，窯業，建設分野を選定した。これらの分野においてリサイクル事業を行っている道内の39事業者を公開情報から把握し，当該事業者に対して2020年11月にアンケート票を送付した。

アンケート票には，灰の性状や道内での灰の発生・利用の実態，課題に関する説明文を載せ，回答前に読んでもらうよう指示を付けた。その上で，全事業者を対象に，灰リサイクルへの関心，灰リサイクルの相談を受けた経験，灰の活用可能性について選択式で回答を求めた（第1表）。また，既に灰を活用している場合も含め，灰の活用可能性があることが回答した事業者には，活用方法や活用するための条件について追加の自由記述を求めた。

得られた回答は内容を確認し、より正確な把握のため、必要に応じて補足の聞き取り調査（書面，電話調査）を行った。

3. 結果と考察

アンケート票を送付した39事業者のうち25事業者より回答を得た（第2表）。回答率は全体で64%，分野別では回答のなかった建設分野を除いて50～71%であった。

灰リサイクルへの関心では，農業・環境と土木分野の計4事業者（25事業者のうち16%）が「関心はない」と答えた（第3表）。残る21事業者（同84%）は関心を示し，内訳をみると，農業・環境と土木分野の計12事業者が「以前より関心がある」と答え，以上の2分野と窯業分野の計9事業者が「説明を読み関心を持った」と回答した。

灰リサイクルの相談を受けた経験では，18事業者（25事業者のうち72%）が「ない」，7事業者（同28%）が「ある」と答えた（第4表）。後者のうち，5事業者は土木分野，2事業者は農業・環境分野であった。

灰の活用可能性では，農業・環境と土木分野の計8事業者（25事業者のうち32%）が「可能性はない」と答えた（第5表）。一方，「既に活用，活用できる，可能性はある」の3選択肢を計17事業者（同68%）が選んだ。内訳をみると，土木分野の2

事業者が「既に活用」と回答し，農業・環境と土木分野の計3事業者が「現在はやっていないが，活用できる」と答えた。また，12事業者が「やってみな

第1表 郵送アンケートでの設問

1. 灰リサイクルへの関心（選択式）
1) 以前から関心がある
2) 説明文を読み，関心を持った
3) 関心はない
2. 灰リサイクルの相談を受けた経験（選択式）
1) ある
2) ない
3. 灰の活用可能性（選択式）
1) 既に活用
2) 現在やってはいないが，活用できる
3) やって見ないと分からないが，可能性はある
4) 可能性はない
4. 灰の活用方法（見込みも含む）や活用条件 （設問3で1～3を選択した場合のみ自由記述式で回答を求める）

第2表 アンケート票の送付と回答の数

リサイクル分野	送付 (件)	回答 (件)	回答率 (%)
農業・環境	17	12	71
土木	16	11	69
窯業	4	2	50
建設	2	0	0
全体	39	25	64

第3表 灰リサイクルへの関心（25事業者の回答）

リサイクル分野 [n]	以前から関心がある		説明文を読み，関心を持った		関心はない	
	回答数	(%)	回答数	(%)	回答数	(%)
農業・環境 [12]	7	(58)	3	(25)	2	(17)
土木 [11]	5	(45)	4	(36)	2	(18)
窯業 [2]	0	(0)	2	(100)	0	(0)
全体 [25]	12	(48)	9	(36)	4	(16)

[n]：回答を寄せた事業者数，(%)：各選択肢を選んだ事業者数の[n]に対する%で，四捨五入値のため合計が100%にならない場合がある

第4表 灰リサイクルの相談を受けた経験（25事業者の回答）

リサイクル分野 [n]	ある		ない	
	回答数	(%)	回答数	(%)
農業・環境 [12]	2	(17)	10	(83)
土木 [11]	5	(45)	6	(55)
窯業 [2]	0	(0)	2	(100)
全体 [25]	7	(28)	18	(72)

[n], (%)：第3表を参照

いと分からないが、活用可能性がある」と回答し、これには以上の2分野に加え窯業分野の事業者も含まれた。

既に活用している場合も含めて灰の活用可能性があると回答した事業者に、活用の方法や条件の記述を求めたところ、まず灰の活用方法では、農業・環境分野や土木分野で肥料や埋戻材の原料といった複数の用途が、窯業分野では煉瓦原料の代替が挙げられた(第6表)。このうち、灰を既に活用している土木分野の2事業者の回答は、路盤材およびセメントの原料であった。

次に、灰の活用条件は、ほとんどが農業・環境と土木分野から挙げられ、窯業分野から出た条件はわずかであった(第7表)。その内容は業者により様々であったが、大きく品質、供給、コストの3項目に分類された。回答数が最も多かったのは品質で、その内容は「有害成分の含有量や溶出量の制限」

「クリンカや燃え殻の混入制限」「水分や成分が所定条件を満たすこと」「主灰と飛灰の分別・受入制限」「粒度が所定条件を満たすこと」「使用燃料源の制限」と多様であった。また、供給に関する内容は、「安定供給」「発生元での在庫管理・供給量調整」「まとまった量での供給」であった。

以上のように、灰はリサイクル事業者が関心を示す素材であり、活用可能性があると判明した(第3～5表)。また、一部のリサイクル事業者は、既に灰リサイクルの相談を受けていることや、リサイクル原料として使用していることも明らかとなった。

灰の活用方法では、複数の用途が挙げられた(第6表)。一方、灰の活用可能性に関する設問では、「やってみないと分からないが、活用可能性はある」との回答が最も多かった(第5表)。このため用途の実現には、リサイクル事業者による試行を働きかけ、これを支援する仕組みがあれば望ましい。

第5表 灰の活用可能性(25事業者の回答)

リサイクル分野 [n]	既に活用		現在やっていないが、活用できる		やってみないと分からないが、可能性はある		可能性はない	
	回答数	(%)	回答数	(%)	回答数	(%)	回答数	(%)
農業・環境 [12]	0	(0)	2	(17)	6	(50)	4	(33)
土木 [11]	2	(18)	1	(9)	4	(36)	4	(36)
窯業 [2]	0	(0)	0	(0)	2	(100)	0	(0)
全体 [25]	2	(8)	3	(12)	12	(48)	8	(32)

[n], (%) : 第3表を参照

第6表 灰の活用方法(17事業者の回答)

分野 [n]	内訳と回答数*
農業・環境 [8]	原料(肥料4, 土壌改良材3, 培土2, 緑化基盤材2, 融雪資材1)
土木 [7]	原料(埋戻材4, 路盤材2, セメント1, コンクリート1, 覆土材1, 盛土材1)
窯業 [2]	煉瓦原料の代替2

[n] : 第3表を参照, * : 同一事業者による複数回答があるため合計は[n]とは合致しない

第7表 灰の活用条件(17事業者による回答)

リサイクル分野 [n]	内訳と回答数*									コスト
	品質						供給			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
農業・環境 [8]	4	2	5	1	3	1	2	2	1	3
土木 [7]	4	2	0	2	0	1	2	1	1	1
窯業 [2]	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
全体 [17]	8	5	5	3	3	2	4	3	2	5

a : 有害成分の含有量や溶出量の制限, b : クリンカや燃え殻の混入制限, c : 水分や成分が所定条件を満たすこと, d : 主灰と飛灰の分別・受入制限, e : 粒度が所定条件を満たすこと, f : 使用燃料源の制限, g : 安定供給, h : 発生元での在庫管理・供給量調整, i : まとまった量での供給, [n] : 第3表を参照, * : 同一事業者による複数回答があり, 合計は[n]とは合致しない

リサイクル事業者による灰の活用条件は、業者により様々であった（第7表）。このため、一括りにまとめるのは難しいが、幅広く捉えると、灰の排出者である木質エネルギー製造・利用事業者は、品質面では有害成分や異物の制限をはじめ、水分や成分、粒度等が所定条件を満たすことを、供給面では安定供給や需要に応じた供給などをリサイクル事業者より求められる可能性があり、その上でコスト面の条件も示される可能性がある。

近年著者らは、道内の木質エネルギー製造・利用事業者を対象に、灰の利用実態を調査した^{2,3)}。その結果より、未利用灰の量が多い、あるいは灰を未利用の事業者割合が高いといった点から、灰の利用を進めるべき業種として発電所・熱供給業、木材関連産業、公共機関と（以上の業種や紙製造業を除く）その他の産業が挙げられる。このうち発電所・熱供給業では、事業者あたりの灰の発生量が多いため²⁾、各事業者の灰がリサイクル事業者の求める供給やコストの条件、さらには品質条件を満たす可能性が十分にあり、リサイクルに期待が持てる。一方、残りの3業種では、多くの場合、事業者あたりの灰の発生規模が小さいため²⁾、特に供給面で個々の灰が越えるべきハードルが高く、その分リサイクルの可能性は低いと予想される。このため、木材関連産業等3業種の灰をリサイクルするためには、複数事業者の灰をまとめた上でリサイクル事業者に供給する（例えば、灰の発生規模が大きい事業者を拠点として、周辺事業者の灰をまとめ、リサイクル事業者に供給する）といった仕組みを検討する必要がある。

道内では、今後も木質バイオマスエネルギーの利用が増加すると見込まれる⁹⁾。それに伴って、灰の発生量も増え、その有効利用の重要性がさらに高まると予想されるが、上記のとおり、増加する灰の行先としてリサイクル分野が期待される。ただし、この分野で灰の活用が進むかどうかは、リサイクル事業者の提示する多様な活用条件を灰が満たせるかどうかにか左右されると示唆されたことから、今後の灰リサイクルの検討ではこの課題への対処が求められる。また、今回のアンケートにより道内での灰利用の課題を初めて知ったというリサイクル事業者も少なからず確認された（第3表）。このため、引き続き灰の発生や利用の実態について情報を発信していくことも、灰リサイクルの普及に重要である。

謝 辞

本研究は、北海道循環資源利用促進重点課題研究開発事業費補助金により実施した。郵送アンケートと補足の調査では、道内のリサイクル事業者各位に多大なご協力をいただいた。記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 農林水産省：木質バイオマスエネルギー利用動向調査, https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/ 2023年10月17日参照.
- 2) 折橋健, 原田陽, 西宮耕栄：木質バイオマスのエネルギー利用に伴う燃焼灰の発生と利用の実態. 木材学会誌69(2), 92-101 (2023).
- 3) 折橋健, 原田陽, 西宮耕栄：北海道における木質バイオマス燃焼灰の発生量と利用量の推計. 林産試験場報551, 1-4 (2024).
- 4) 折橋健, 原田陽, 安久津久：小～中型木質専焼ボイラーより採取したチップもしくは薪由来の燃焼灰の性状. 木材学会誌67(1), 33-43 (2021).
- 5) 折橋健, 原田陽, 安久津久：木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討（5）灰の明度と融雪効果. 林産試験場報549, 15-18 (2022).
- 6) 折橋健, 原田陽, 安久津久：木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討（6）酸性土壌に対するpH矯正力. 林産試験場報549, 19-24 (2022).
- 7) 高岡昌輝, 池美乃里：我が国におけるごみ焼却残渣及び木質バイオマス燃焼灰の発生量. 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす100(1), 40-47 (2021).
- 8) IEA Bioenergy : Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing, <http://task32.ieabioenergy.com/iea-publications/> 2023年10月17日参照.
- 9) 北海道水産林務部総務課：北海道森林づくり基本計画（令和4年(2022年)3月策定）, <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/r-g/r-keikaku/top.html> 2023年10月17日参照.

— 森林研究本部企画調整部 企画課 —
 — *1：利用部 微生物グループ —
 — *2：利用部 バイオマスグループ —
 （原稿受理：23.10.17）

農産廃棄物からのペレット製造とペレタイザーの摩耗状況

西宮 耕栄, 山田 敦

Pellet production from agricultural residue and wear condition of pelletizer

Koei NISHIMIYA, Atsushi YAMADA

キーワード：農産廃棄物，ペレット，摩耗，小豆殻，廃プラスチック

1. はじめに

北海道芽室町は、「小豆」や「長いも」の全道有数の産地である。栽培の過程に伴って、小豆殻や、長いも育成用のポリエチレンネット（以下廃プラネット）などの農産廃棄物が大量に発生する。現時点では、産業廃棄物としてそのまま廃棄され、膨大な廃棄処理費用が生産者の負担となっているため、その利用方法の開発が急務である。

北海道の循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業（2010年度～2014年度）において、プラスチックを含む廃プラネットの利用についてマテリアル利用とエネルギー利用の両面で検討したが、その検討結果を踏まえて、循環資源利用促進重点課題研究開発事業（2015年度～2019年度）では、エネルギー利用に重点を置き、小豆殻ペレットの製造と、廃プラネット混合により発熱量を向上させたペレット燃料の製造について検討した。また、土砂の付着量の増加により、ペレタイザーの摩耗が早くなると想定されるため、ペレタイザーのダイス等の摩耗状況についても調査した。本稿ではこれらの結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 ペレット製造

小豆殻あるいは廃プラネットを原料としたペレット製造と燃料利用において、ペレタイザーの摩耗や、ボイラーの使用上問題となるクリンカー発生要因としてあげられる土砂について、ふるい分けによる分離を行い、灰分の減少効果について検討した。また、廃プラネット混合によるペレット燃料の発熱量向上効果についても検討した。

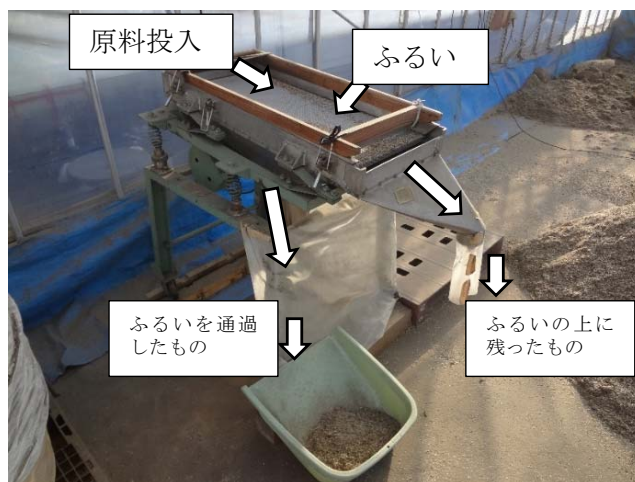
2.1.1 小豆殻ペレット製造方法

芽室町で発生した小豆殻をペレット原料として用いた。前処理として、第1図に示す自動振動ふるい装置を用いて、目開き1.0 mmのふるいを用いて小豆殻からの土砂分離を行った。

小豆殻ペレットの製造は、2015年12月から2016年1月に、一般社団法人めむろシニアワークセンター所有のフラットダイ型ペレタイザー（(株)土佐テック製）により行った。小豆殻ペレットの製造量は6.1 t（1m³フレコンバック12袋分）、小豆殻使用量8.8 t、ペレタイザー稼働時間183時間であった。単位時間あたりのペレット製造量は33.3 kg/hとなり、ペレタイザーのカタログ上の製造能力（30 kg/h）と同等であった。

2.1.2 廃プラネット混合ペレット製造方法

芽室町で発生した小豆殻および廃プラネット粉砕物をペレット原料として用いた。小豆殻は2.1.1で用いた原料と同一であり、廃プラネットの粉碎は、



第1図 自動振動ふるい装置

(株) ウィンクリン（帯広市）所有の粉碎機により行った。

廃プラネットにも土砂が付着している可能性があるため、ふるい分けによる土砂分離の効果が期待される。ただし、粉碎物の状態によっては、廃プラネット中の粒度の小さいプラスチック成分が、ふるいを通過した場合は、発熱量に影響を与える可能性がある。そのため、ふるい分けにより、廃プラネットを粒径により分画し、得られた画分の発熱量と灰分を測定し、小豆殻と廃プラネットの混合割合を決定した。その結果を基に、一般社団法人めむろシニアワークセンター所有のフラットダイ型ペレタイザーにより廃プラネット混合ペレットを製造した。

製造試験は、予備試験を2016年5月、本試験を2016年6月および11月に行った。予備試験は、小豆殻120 kg、廃プラネット24 kg（目開き0.5 mmのふるいの上に残ったもの）を混合し、水分20%に調整したものをペレット製造原料として行った。製造量は112 kgで、単位時間あたりの製造量は37 kg/hであった。また、本試験時の製造量は1.3 t（6月）、3.3 t（11月）であった。

2.2 ペレット原料およびペレット燃料品質評価

2.2.1 小豆殻ペレット評価方法

原料の小豆殻、ふるいで分離した小豆殻、製造したペレット燃料の灰分、総発熱量をJIS法¹⁾に従い、ペレット燃料の機械的耐久性については木質ペレット品質規格²⁾に従い測定してペレット燃料の品質評価を行い、ふるい分けの効果を確認した。

2.2.2 廃プラネット混合ペレット評価方法

廃プラネット粉碎物を2.0 mm～0.25 mmまでのふるいにより5つに分画し、その各画分について、JIS法に従い、灰分、総発熱量の測定を行った。また製造したペレットについても2.2.1と同様に燃料品質の評価を行った。

2.3 ペレタイザーの摩耗状況

本研究でペレット原料として用いている小豆殻や廃プラネットは、木質系ペレット原料より土砂の付着量が多い。そのため、ペレタイザーのダイスやローラーの摩耗が早くなり、それらのメンテナンス作業回数が多くなると想定される。メンテナンス作業の増加はコストアップにもつながるため、ダイスやローラーの摩耗状況を把握することは極めて重要

である。そのための基礎資料として、小豆殻や廃プラネット混合ペレットなど各種ペレット製造後のペレタイザーの摩耗状況を確認し、ダイスについては摩耗量の測定を行った。

2.3.1 小豆殻ペレット製造後の評価方法

小豆殻ペレット製造後（前項2.1.1の試験製造後、製造量6.1 t）のペレタイザーの摩耗を評価するため、ペレタイザーのダイスおよびローラーの摩耗状況を目視により確認した。

ダイスの摩耗については、林産試験場所有のレーザー変位計を用いた測定装置³⁾、およびデプスマーターにより計測した。レーザー変位計による測定の様子を第2図に示す。測定台の上にダイスをのせ、レーザー変位計をダイスの中心から外周部に移動させてダイス表面の変位を測定した。測定はダイスを45度ずつ回転させて8回測定した。測定方向および測定例を第3図に示す。レーザー光の乱反射により、ダイス孔の部分の測定は困難であるため、ローラーが接触する部分の端の方での摩耗量の評価を行った。デプスマーターによる測定の様子を第4図に示す。ダイスの摩耗していない部分に平滑なステンレス棒を渡して、基準として深さ測定を行った。測定位置はレーザー変位計による測定と同じ位置とした。

2.3.2 廃プラネット混合ペレット製造後の評価方法

廃プラネット混合ペレット製造後（前項2.1.2の試験製造後）のペレタイザーの摩耗を評価するため、ペレタイザーのダイスの摩耗状況を計測した。また、比較として木質系のペレット製造に使用したダイスについても測定を行った。



第2図 レーザー変位計によるダイスの摩耗測定の様子

ダイスの摩耗の測定は、工業試験場所有の（株）ミットヨ製三次元座標測定機H503を使用して行った。摩耗量の測定は、基準を設定し、基準からの摩耗量を円周方向に沿って30度間隔で測定し、ダイスの中心からの距離を変えて測定を行った。測定は、ダイスの表面、裏面ともに行った。測定の様子を第5図に示す。

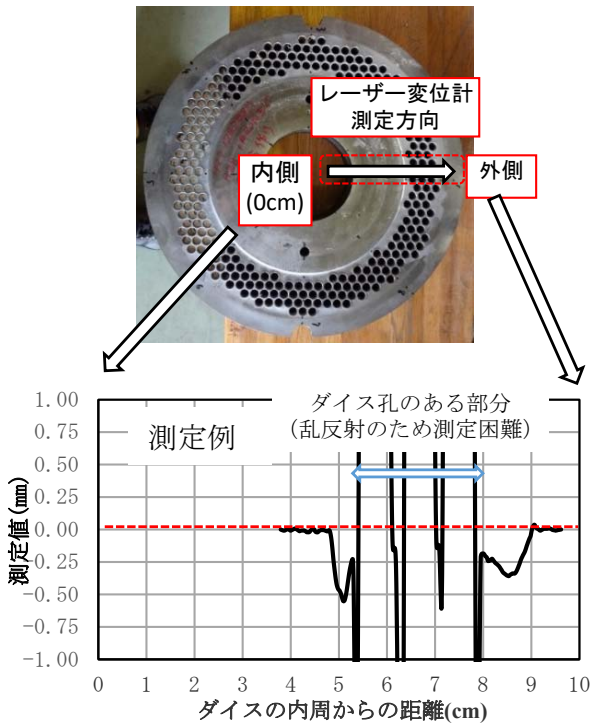
測定に供したダイスの使用状況は以下のとおりである。

ダイスA：2016～2017年にかけて木質系ペレット製造に使用したもの（製造量5 t）

ダイスB：同時期に、小豆殻ペレットおよび廃プラネット混合ペレットの成型に使用したもの（小豆殻

ペレット4.7 t、廃プラネット混合ペレット3.3 t製造）。研磨加工の履歴がある。

ダイスについては表層を研磨し平滑にして再利用することがあるが、研磨工程がダイスの材質に影響するか確認するため、研磨前後で、ダイス厚さ、研磨量とショア硬さの測定を行った。ショア硬さについては、第6図に示す工業試験場所有のショア硬さ試験機（株）東京試験機製SH-D）を用いて測定した。測定原理はダイヤモンドのハンマを試料に対して垂直に落とし、その跳ね返りの高さを測定して材料の硬さを評価するもので、跳ね返りの高さが高いほど固い材料と評価される。



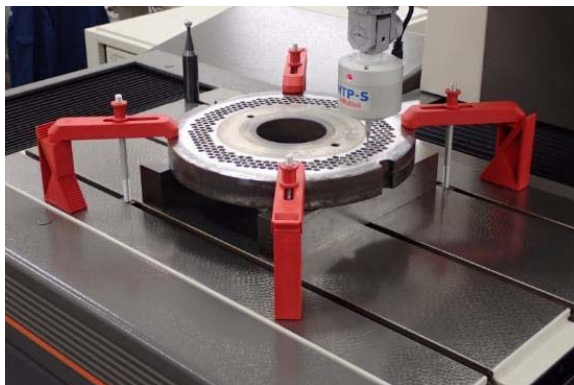
第3図 レーザー変位計による測定時の測定方向(上)と測定結果の例(下)



第4図 デプスマーターによるダイスの摩耗測定の様子



第6図 ショア硬さ試験機



第5図 三次元測定器によるダイスの摩耗測定の様子

3. 試験結果

3.1 小豆殻ペレットの燃料品質

3.1.1 小豆殻のふるい分け効果

第1表に原料の小豆殻および目開き1.0 mmのふるいを用いて分画した画分の水分、灰分、総発熱量を示した。ふるいを通じた画分の灰分が20%を超え、原料の4倍近い値となっていることから、ふるい分けによる土砂分離はペレット燃料の品質向上に有効と考えられるが、ふるいの上に残った画分の灰分は原料と同程度であり、その効果は限定的と考えられる。

3.1.2 小豆殻ペレットの燃料品質

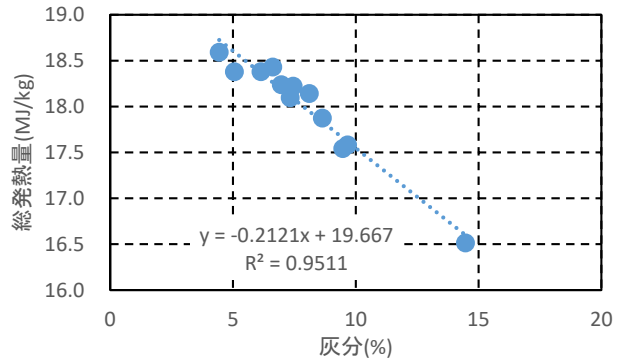
フレコンバックごとのペレット燃料品質を第2表、ペレットの灰分と発熱量の関係を第7図、ペレットの水分と発熱量の関係を第8図に示した。ペレットの灰分や水分が極端に大きいもの（No9,12）は総発熱量が小さいという傾向が見られた。これらは他のロットと比較して水分や灰分の多い品質が劣る原料を用いたため、ふるい分けを行ったとしても、ペレットの燃料品質改善効果が小さくなったものと考えられる。なお、機械的耐久性は概ね木質ペレットの品質規格を満たしていた。

第1表 小豆殻のふるい分けによる土砂分離効果

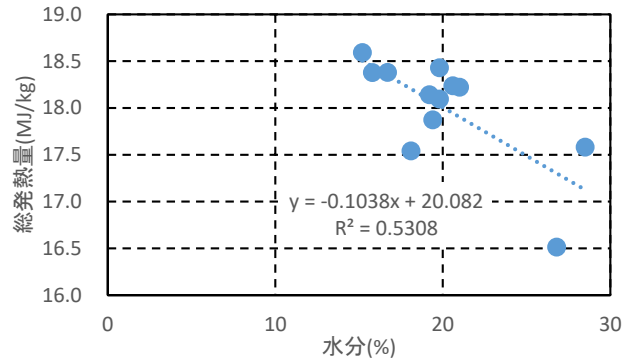
区分	水分 (%)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)
未ふるい	20.5	5.5	18.3
<1.0 mm	21.5	22.6	15.3
≥1.0 mm	23.4	5.2	18.6

第2表 小豆殻ペレットのフレコンバックごとの燃料品質

フレコンバックNo	かさ密度 (kg/m ³)	機械的耐久性 (%)	水分 (%)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)
1	587	99.0	19.4	8.6	17.9
2	548	98.6	19.8	6.6	18.4
3	636	99.0	19.8	7.3	18.1
4	597	98.9	19.2	8.1	18.1
5	602	98.6	16.7	6.1	18.4
6	666	99.1	21.0	7.5	18.2
7	695	98.7	15.2	4.4	18.6
8	596	98.8	20.6	7.0	18.2
9	522	98.1	26.8	14.5	16.5
10	633	98.6	15.8	5.1	18.4
11	610	98.9	18.1	9.5	17.5
12	534	97.4	28.5	9.7	17.6
平均	602	98.6	20.1	7.9	18.0
基準 ²⁾	650~750	≥97.5	≤10	≤0.5	≥18.0



第7図 小豆殻ペレットの総発熱量と灰分の関係



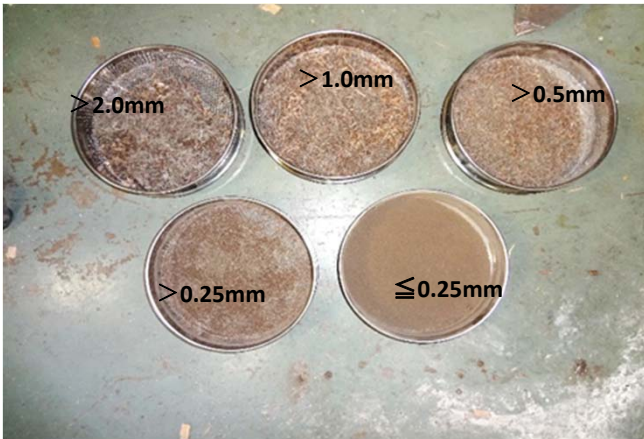
第8図 小豆殻ペレットの総発熱量と水分の関係

3.2 廃プラネット混合ペレットの燃料品質

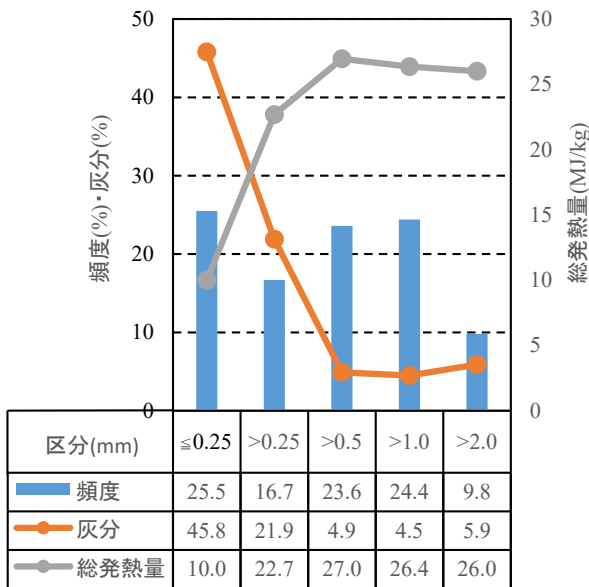
3.2.1 廃プラネットのふるい分け効果

分画した廃プラネットの写真を第9図に、灰分、総発熱量の測定結果を第10図に示す。灰分については目開き0.5 mm以上の画分において5.0%程度であり、それ未満の画分では増加した。総発熱量についても0.5 mm以上の画分では27 MJ/kg程度であり、それ未満の画分では低下する傾向が認められた。0.5 mm以上の画分の割合は、原料の60%程度であるが、灰分、総発熱量や歩留まりなどを考慮すると、廃プラネットのふるい分けには、目開き0.5 mmのふるいを用い、その上に残存したものを使用するのが望ましいと考えられる。

この結果を踏まえて、廃プラネットの原料および0.5 mmのふるいで分離した画分の灰分、総発熱量からプラスチック含有率を推定した結果を第3表に示した。また、この値を用い廃プラネットの混合比を変えた場合のペレット燃料品質を推定した結果を第4表に示した。2010~14年度に検討した結果⁴⁾から想定される発熱量および成形性を考慮して、今回は小豆殻と廃プラネットの混合割合を100/20として製造試験を行うこととした。この場合、ペレット燃料全体としてのプラスチック含有率は7%程度と予想され（第4表）、成形性に大きな影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。



第9図 ふるい分け後の廃プラネット



第10図 廃プラネットのふるい分けによる土砂分離効果

第3表 廃プラネットの燃料品質とプラスチック含有率の推定

区分	頻度 (%)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)	プラスチック含有率 (%)
未ふるい	100	12.7	19.2	16.0
≤0.5 mm	42.3	36.3	15.0	16.2
>0.5 mm	57.7	4.9	26.5	42.8

※試料中の灰分以外の部分は、廃プラネット中のプラスチック成分と、バイオマス成分（廃プラネットに付着した長いも茎葉など）から成り立っていると仮定し、プラスチック成分の総発熱量40MJ/kg、バイオマス成分の総発熱量を18MJ/kgとして、プラスチック含有率を計算

第4表 廃プラネット混合ペレットの燃料品質推定

配合割合 (小豆殻/廃プラネット)	灰分 (%)	総発熱量 (MJ/kg)	プラスチック含有率 (%)
100/5	5.2	19.0	2.0
100/10	5.2	19.3	3.9
100/20	5.1	19.9	7.1
100/25	5.1	20.2	8.6
100/30	5.1	20.4	9.9
100/40	5.1	20.9	12.2
100/50	5.1	21.2	14.3

3.2.2 廃プラネット混合ペレットの燃料品質

予備試験において用いた原料と製造したペレットの燃料品質を第5表に示す。発熱量および灰分の実測値は、第3表、第4表に示した予測値と近い結果となった。第6表に本製造試験の結果を示す。11月製造分については他の原料と比較して、ペレット燃料の水分が高めで、かさ密度が大きくなっているが、機械的耐久性や総発熱量については品質規格を満たしており、実用に耐えうる品質の廃プラネット混合ペレット燃料の製造が可能であると考えられる。

第5表 原料およびペレット燃料の品質(予備試験)

単位	水分 %	(実測値)		(予測値)	
		総発熱量 MJ/kg	灰分 %	総発熱量 MJ/kg	灰分 %
小豆殻	12.7	18.4	4.4		
廃プラネット≤0.5 mm	11.1	10.6	44.1	15.0**	36.3**
廃プラネット>0.5 mm	11.7	26.3	4.2	26.5**	4.9**
小豆殻+廃プラネット*	21.7	20.5	4.6		
ペレット	16.4	19.6	4.9	19.9***	5.1***

*: ペレット製造用に、廃プラネットを混合し、水分調整を行った原料の値

** : 第3表記載の値

*** : 第4表記載の値

第6表 小豆殻ペレットの品質(本試験)

	水分 (%)	かさ密度 (kg/m ³)	灰分 (%)	機械的耐久性 (%)	総発熱量 (MJ/kg)
予備	16.4	561	4.9	98.7	19.6
6月製造分	14.9	593	7.1	98.8	19.2
11月製造分	19.2	615	7.0	99.0	19.7
基準 ²⁾	≤ 10	650~750	≤ 0.5	≥ 97.5	≥ 18.0

3.3 ペレタイザーの摩耗状況

3.3.1 小豆殻ペレット製造後の摩耗状況

小豆殻ペレット6.1 t製造後（稼働時間183時間）のダイスの摩耗状況を第11図に、ローラーの摩耗状況を第12図に示す。目視の段階でも明らかにダイスに関してはローラーと接触する箇所へのへこみが観察され、ローラーについても摩耗している状況が確認された。

ダイスの摩耗量測定結果を第7表に示す。レーザー変位計の測定については、測定位置ごとに、ダイスの内側および外側それぞれの最大値と平均値（摩耗していない箇所からダイス孔まで）を記載し、デプスマーターの測定では、測定位置ごとに、内側および外側と中央部（ダイス孔がある場合はその付近で測定可能な箇所）について記載した。ダイスの摩耗量は、平均してダイスの内側で0.459 mm程度、外側で0.213 mm程度確認され、摩耗率（＝摩耗量/稼働時間）としては内側で2.51 μm/h、外側で1.16 μm/hと算出された。後述するように木質系ペレット製造時の摩耗率は1.02 μm/hであったため、小豆殻ペレットの製造では、よりダイスの摩耗が進行していることが確認された。



第11図 ダイスの摩耗の様子



第12図 ローラーの摩耗の様子

第7表 ダイスの摩耗量測定結果

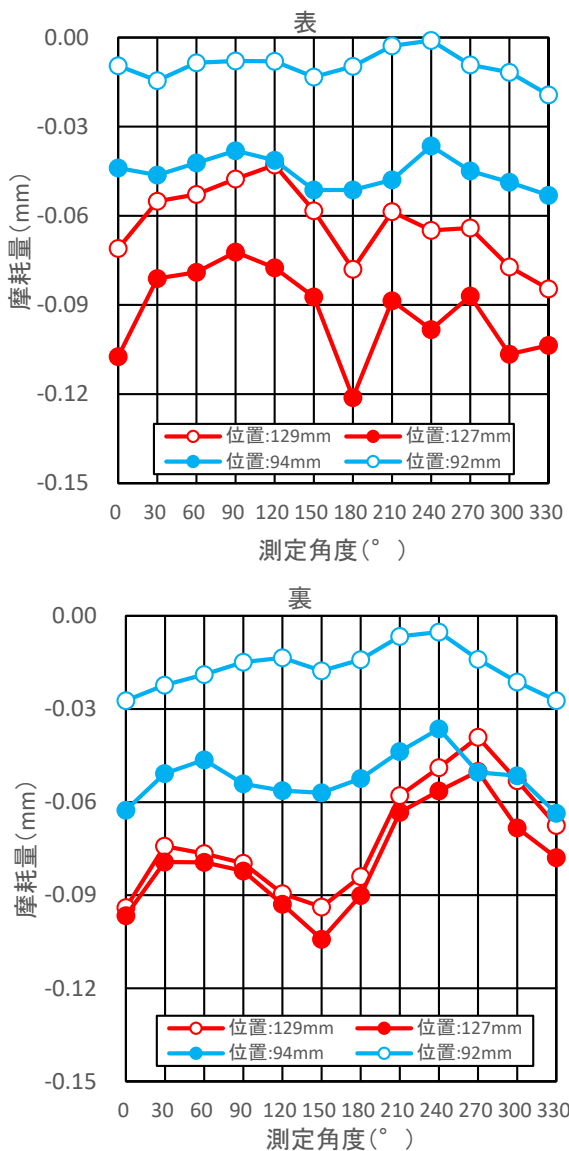
単位	測定位置*	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	平均	標準偏差	摩耗率**
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
デプスマーター	内側	0.45	0.64	0.55	0.39	0.32	0.33	0.74	0.32	0.47	0.16	2.57
	中央	0.13	0.15	0.12	0.07	0.08	0.11	0.11	0.10	0.11	0.03	0.60
	外側	0.32	0.34	0.04	0.23	0.20	0.17	0.09	0.14	0.19	0.11	1.03
レーザー変位計	内側	0.465	0.503	0.478	0.347	0.372	0.428	0.676	0.404	0.459	0.103	2.51
	外側	0.342	0.366	0.116	0.211	0.186	0.198	0.084	0.202	0.213	0.098	1.16
レーザー変位計(最大値)	内側	0.553	0.681	0.491	0.454	0.385	0.504	0.746	0.427	0.530	0.125	2.90
	外側	0.359	0.386	0.120	0.251	0.223	0.224	0.097	0.256	0.240	0.101	1.31

* : 測定位置はダイスの回転角度を表示 ** : 摩耗率＝摩耗量/稼働時間

3.3.2 廃プラネット混合ペレット製造後のダイスの摩耗状況

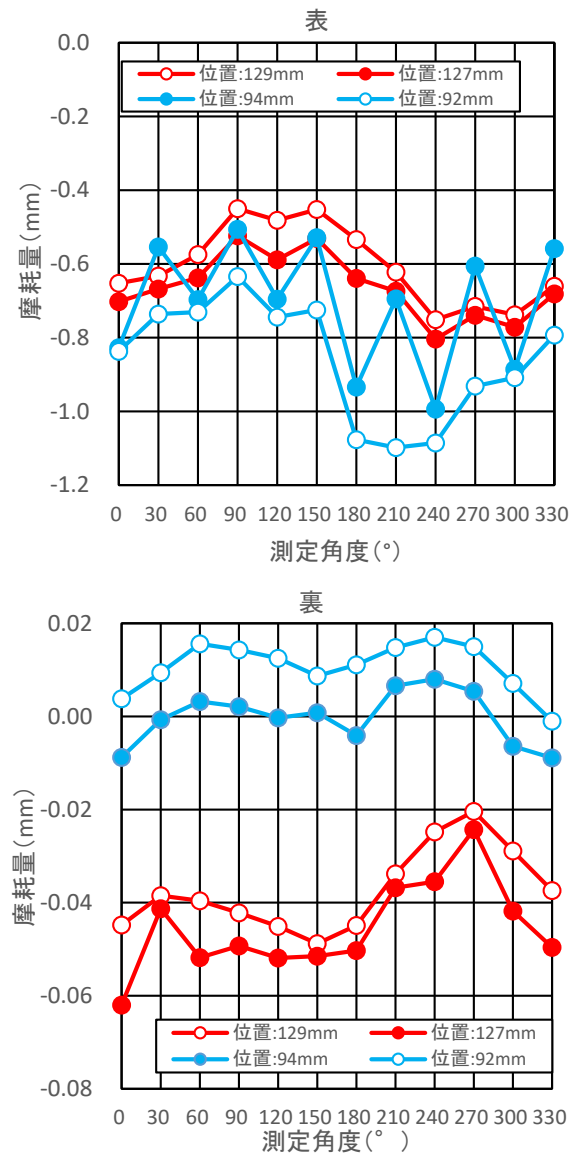
木質ペレット製造後のダイスAの摩耗量測定結果を第13図に示す。ダイスの中心から92 mm, 94 mm, 127 mm, 129 mmの位置の円周に沿って測定した。測定結果から、ローラーが接触している範囲は94~127 mmと推定される。摩耗量は、表面と裏面の値を合計したものとしたが、木質ペレット製造の場合の摩耗量は0.1~0.2 mm程度と推定された。

小豆殻ペレットおよび廃プラ混合ペレット製造後



第13図 ダイスAの摩耗状況 (木質ペレット製造)

のダイスBの測定結果を第14図に示す。この場合の摩耗量は0.6~0.8 mmとかなり摩耗している状況が確認された。ペレット製造速度を30 kg/hとして、ペレット製造量から稼働時間を算出し、ダイスの摩耗量を稼働時間で割ることにより算出した摩耗率を第8表に示す。木質ペレット製造時の摩耗率が、最大1.02 $\mu\text{m}/\text{h}$ 、小豆殻および廃プラネット混合ペレット製造時の摩耗率は最大3.17 $\mu\text{m}/\text{h}$ と算出され、ダイスの摩耗が木質ペレット製造時と比較すると早くなったことが確認された。



第14図 ダイスBの摩耗状況 (小豆殻ペレットおよび廃プラネット混合ペレット)

研磨前後のダイス厚さと研磨量を第9表に示す。ダイスBについては、研磨の履歴があり、今回が2回目の研磨であるため、すでにダイスの厚さが1mm程度薄くなっており、平滑にするための研磨量も多くなっている。第10表にダイスの研磨前と後のショア硬さを示す。研磨履歴のあるダイスBについては、研磨前ですでにショア硬さが小さく、研磨によりさらに値が低下していることが確認された。ダイスAについては、研磨量が少ないこともあり、ショア硬さの変化は小さかった。ペレタイザーのメーカーにヒアリングしたところ、現状のダイスの材質はSCM鋼、浸炭焼き入れを表層付近にのみ行っており、その理由としては、ペレット製造時にダイスに圧力がかかるため、表面の硬さを確保し、ダイス自体の靱性を持たせるためとの回答であった。そのため、研磨を繰り返した場合のショア硬さの低下は、焼き入れ深さの関係で、焼き入れしていない箇所まで研磨したためと考えられる。ダイスの材質もメンテナンスの頻度を考えると重要であるが、コストに跳ね返る部分でもあり、ペレタイザーの選定時には慎重に検討する必要がある。

第8表 ダイスの摩耗量と摩耗率

測定位置 (中心からの 距離:mm)	内側		外側	
		92	94	127
ダイスA 表	0.010	0.045	0.092	0.063
ダイスA 裏	0.017	0.052	0.078	0.072
摩耗率* μm/h	0.16	0.58	1.02	0.81
ダイスB 表	0.858	0.707	0.663	0.605
ダイスB 裏	-0.011	0.000	0.046	0.037
摩耗率* μm/h	3.17	2.65	2.66	2.40

*摩耗率=摩耗量/稼働時間

第9表 再研磨量とダイス厚さ

単位	研磨前	研磨後	研磨量	研磨量
	厚さ mm	厚さ mm	表 mm	裏 mm
ダイスA	34.99	34.67	0.19	0.13
ダイスB	33.53	32.25	1.18	0.10

第10表 ダイスの再研磨によるショア硬さの変化

		研磨前	研磨後
		ダイスA 表	74
ダイスA 裏	75	74	
ダイスB 表	48	37	
ダイスB 裏	39	37	

4. おわりに

芽室町で発生する小豆殻や廃プラネットを原料としてペレット燃料を製造し、その燃料品質と、ペレタイザーの摩耗状況を明らかにした。

廃プラネット混合ペレットについては、廃プラネットの混合割合を適切に設定することにより、一定品質のペレット燃料製造が可能となった。今回検討したペレット燃料は、木質ペレットよりも灰分は高いが、循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業において開発した高灰分燃料に対応した燃焼機器を用いることにより、地域で発生する廃プラスチックを資源として有効利用することが可能と考えられる。

ペレタイザーの摩耗状況を調査した結果、木質ペレット製造時よりも、農産廃棄物を用いた場合は摩耗が進んでいたため、ダイスなどのメンテナンス間隔を短縮する必要性が高いことが示された。なお、ダイスの材質あるいは焼き入れなどの処理については、メンテナンス間隔に影響する可能性はあるので、その点については留意する必要がある。

引用文献

- 1) JIS Z 7302：廃棄物固形化燃料，日本規格協会（1999）.
- 2) （一社）日本木質ペレット協会：木質ペレット品質規格（平成29(2017)年2月27日改正版）.
- 3) 松本久美子：木材の表面形状を測る，林産試だより2月号，4-5(2012).
- 4) 循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業報告書「農業用廃プラスチックの再利用に関する研究」平成27年3月，18-22（2015）.
- 5) 循環資源利用促進特定課題研究開発基金事業報告書「農業用廃プラスチックの再利用に関する研究」平成27年3月，23-35(2015).

ー利用部 バイオマスグループ
(原稿受理：2023.11.27)

木質構造用ねじの斜め打ちによるCLT壁-床接合部のせん断性能

富高 亮介, 今井 良*¹, 戸田 正彦*¹

Shear performance of CLT wall-floor joints with inclined screws

Ryosuke TOMITAKA, Makoto IMAI, Masahiko TODA

キーワード：CLTパネル工法，木質構造用ねじ，せん断，引き抜き

本研究では、CLTパネル工法の壁-床接合に用いる木質構造用ねじによる斜め打ち接合部についてせん断試験を実施した。その結果、壁パネルに対して水平方向で直角にネジを打ち込む仕様と比較して、水平方向について45°の角度を与えると、ねじの引き抜きが卓越する加力方向では、高い剛性と耐力を発揮することを確認した。また、水平方向に45°傾斜させる仕様では、変形が進むとねじの引き抜きでねじ山の掛かり距離が急減し、急激に耐力を失う脆性的な挙動となるため、異なる抵抗機構の要素を併用し、靱性を補完することが有効であることが示唆された。

1. はじめに

サステナブルな建築を目指す現代社会において、「環境負荷」「短工期」「軽さ」等のメリットを持つCLT (Cross Laminated Timber, 日本農林規格 (JAS) では「直交集成板」) は社会的ニーズに合った建築材料といえる。このCLTを、壁、床、屋根等に使用して建築物を建てる工法をCLTパネル工法というが、欧米のCLTパネル工法では、木質構造用ねじ (第1図) を用いてCLT相互を直接接合する方法が主流である。この接合方法は、接合金物が外部に露出しない、仕口にプレカットを必要としない、施工が比較的容易であるなど、優れた特徴を有する。一方で、国内においては、このようなタイプの接合

部に関するデータの蓄積が十分ではない。CLTを用いた建築物の普及を目指すには、多様な接合方法について、さらなるデータ拡充が不可欠である。

本研究では、木質構造用ねじの斜め打ちによるCLT壁-床接合部についてせん断試験を行い、その構造性能データを収集した。また本接合の異なる仕様を併用した場合の性能推定について検討した結果を報告する。

なお本研究の一部は、2018年度日本木材加工技術協会第36回年次大会¹⁾および2022年度日本木材学会大会 (名古屋・岐阜)²⁾で発表した。

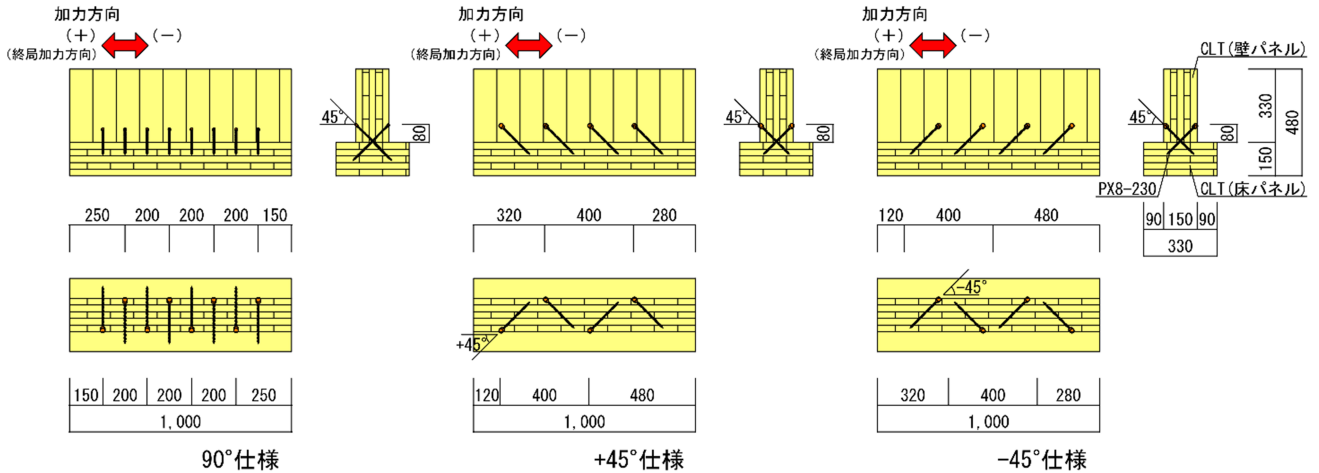
2. 試験体と試験方法

2.1 試験体

試験体は、カラマツCLT (JAS等級Mx90相当, 平均気乾密度 $480 \pm 8 \text{ kg/m}^3$, 平均含水率 $9.05 \pm 0.93\%$) およびトドマツCLT (JAS等級Mx90相当, 平均気乾密度 $377 \pm 7 \text{ kg/m}^3$, 平均含水率 $9.38 \pm 0.62\%$) を用いた。層構成は5層5プライドで、構成するラミナの断面寸法は、厚さ30mm, 幅105mmとし、幅はぎ接着は施していない。接合具は、径8mm, 長さ230mmの全ねじ仕様の木質構造用ねじを用いた (シネジック株式会社製PX8-230, 第1図*で示すねじ)。



第1図 木質構造用ねじの例



第2図 試験体の仕様(単位:mm)

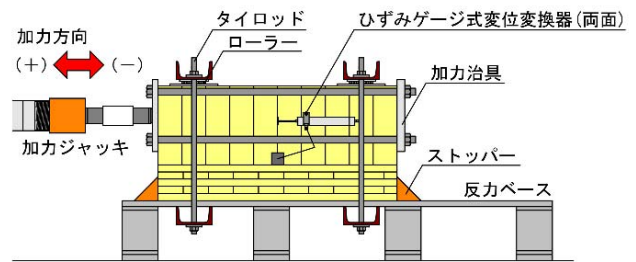
試験体の仕様を第2図、試験体の製作状況を第3図に示す。接合部の仕様について、垂直方向のねじ傾斜角は、床パネル面から45°とした。水平方向のねじ傾斜角は、壁パネルに対して90°の場合と、加力方向にねじ頭部を+45°もしくは-45°回転させる場合の計3条件とした(以下、90°仕様、+45°仕様、-45°仕様)。なお、水平方向の角度は、終局加力方向を正とした。ねじを打ち込む位置には、直径25mm、深さ15mmの先穴を設け、先穴底の入隅部にねじ先を当ててねじを打ち込んだ。また、ねじ打ち込み時には、角度を一定に保つ治具を用い施工した。CLTの向きは、壁パネルと床パネルともに強軸とした(壁パネル:最外層ラミナの向きが鉛直、床パネル:最外層ラミナの向きが加力方向に平行)。ねじの本数は90°仕様が8本、+45°仕様および-45°仕様が4本とした。試験体数は90°仕様が6体、+45°仕様および-45°仕様が各3体とした。

2.2 試験方法

試験は、「CLTを用いた建物の設計施工マニュアル」に記載の方法³⁾に則り、繰り返し荷重試験機を用いて実施した。荷重と変位はそれぞれロードセル(容量200kN)およびひずみゲージ式変位変換器(容量100mm)を用いて計測した。加力速度は毎分10mmとし、正負交番繰り返し方式により最大荷重の80%以下に荷重が低下するか、変位が50mmに達するまで加力を続けた。制御に用いる変位は、壁パネルと床パネルの相対変位(両面2箇所)の平均)とした。繰り返し履歴は、基準変位の0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16倍を目標変位とした。なお、基準変位は過去の知見から2mmと設定した。試験実施方法を第4図、試験実施状況の例を第5図に示す。



第3図 試験体製作状況



第4図 試験方法



第5図 試験実施状況

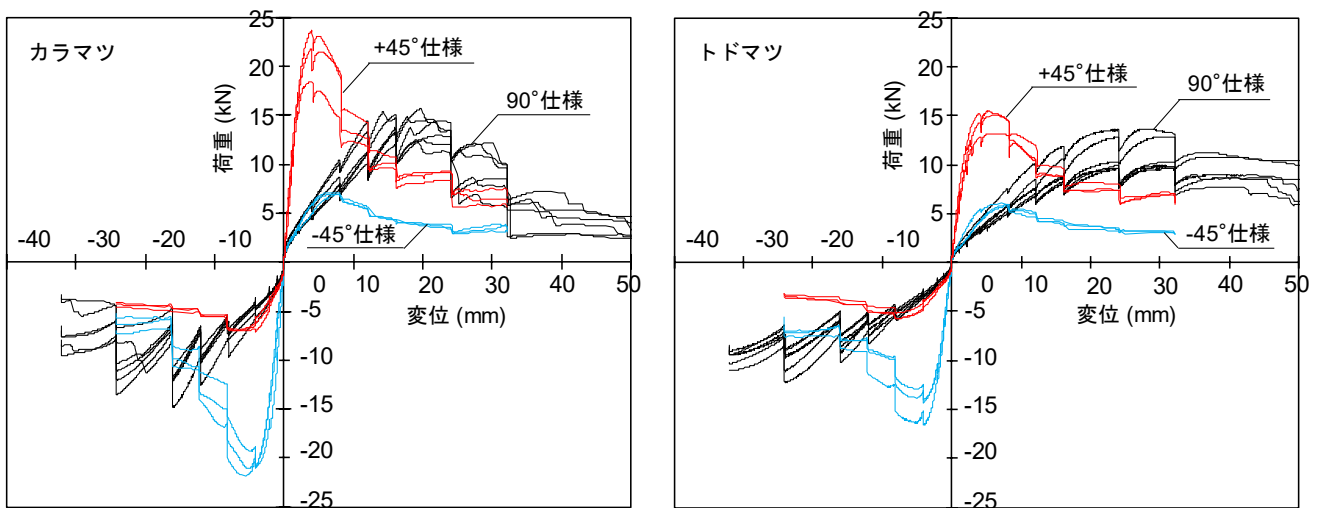
3. 結果と考察

3.1 破壊性状と荷重変位関係

ねじ1本当たりの荷重と変位の関係曲線（包絡処理後）を第6図に示す。90°仕様では、ねじの曲げおよび壁・床パネルへのねじのめり込みにより変形が進み、変位20mm程度で最大荷重を示した。最大荷重到達後、床パネルからのねじの引き抜け、壁パネルからのねじ頭部のパンチングアウトおよびねじの曲げより変形が進行し、荷重が低下した。加力方向正側にねじ頭部が向く配置の+45°仕様では、加力方向正側（荷重変位関係曲線における第1象限）でねじの引き抜きが卓越し、変位5mm程度で最大荷重に達した後、ビスの引き抜けにより急激に荷重が低下した。-45°仕様では、+45°仕様とねじ頭部が逆向きとなり、+45°仕様と正負反転させたような応答を示した。加力方向正側から繰り返し加力を

始めたため、+45°仕様と-45°仕様で接合部、特にねじ打ち込み部分において初めて経験する変形が異なるが、この影響は明確には確認されなかった。

加力方向正側について、最大荷重の10, 40, 90%の点を用いる完全弾塑性化モデル⁴⁾により評価した耐力および剛性を第1表に示す。樹種で比較すると、各仕様の耐力および剛性はカラマツがトドマツを上回り、終局変位についてはトドマツがカラマツを上回った。水平角度で比較すると、+45°仕様が90°仕様および-45°仕様の各耐力、初期剛性を上回った。終局変位は+45°仕様が最小となった。これは、+45°仕様では、変形初期からねじの引き抜き抵抗により高い剛性と耐力が発揮され、かつ、変形が進行するとねじ山部分の掛かりが急速に減少し、耐力が急減するという靱性に乏しい挙動を示したためと考えられる。

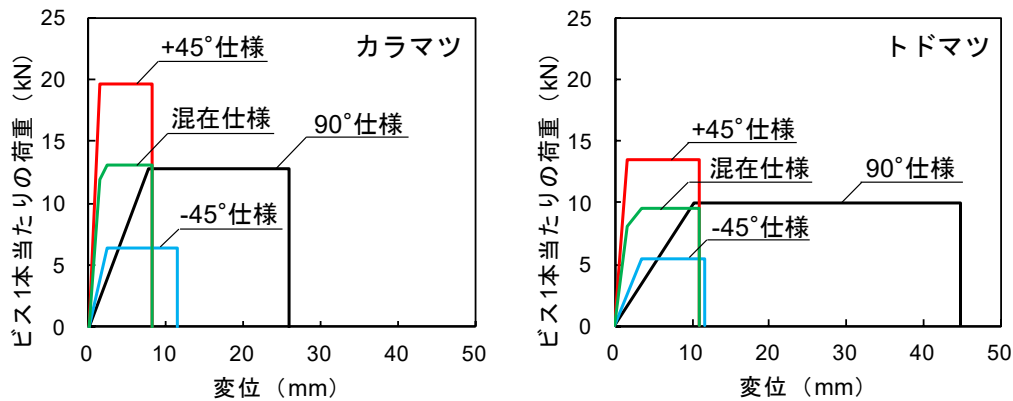


第6図 ねじ1本当たりの荷重変位関係曲線（包絡処理後）

第1表 試験結果

樹種	ねじ 垂直角度	ねじ 水平角度	最大耐力 P_{max} (kN)		降伏耐力 P_y (kN)		終局耐力 P_u (kN)		初期剛性 K (kN/mm)		終局変位 δ_u (mm)		塑性率 μ (-)	
			Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD
カラマツ	45°	90°	14.09	1.15	8.22	1.14	12.80	1.29	1.10	0.20	25.87	2.83	2.24	0.47
		+45°	21.31	2.71	13.08	2.67	19.65	2.60	8.93	0.41	8.11	0.09	3.73	0.55
		-45°	6.99	0.13	3.86	0.74	6.36	0.30	1.70	0.07	11.48	0.75	3.09	0.46
トドマツ	45°	90°	11.08	1.70	7.01	1.79	9.96	1.50	0.68	0.11	44.77	7.37	3.07	0.49
		+45°	14.52	1.21	8.80	1.23	13.48	1.10	5.65	0.88	10.87	1.67	4.51	0.45
		-45°	5.90	0.13	3.96	0.27	5.50	0.06	1.23	0.33	11.63	1.13	2.56	0.37

※Av.: 平均, SD: 標準偏差



第7図 ねじ打ち込み角度が混在する仕様の性能推定

3.2 混在仕様の性能推定

壁一床接合部に本接合を用いる場合、外力が作用する水平方向は両方向（本試験における加力正負方向）を前提とする必要があり、ねじ打ち込み水平角度が $+45^\circ$ 仕様のみの接合で接合部を構成することは推奨されない。そこで、接合部を構成するねじの構成について、 $+45^\circ$ 仕様と -45° 仕様が1:1で構成される接合部（以下、混在仕様）の性能推定を行った。性能推定の結果を第7図に示す。まず、 $+45^\circ$ 仕様および -45° 仕様の初期剛性、終局耐力、終局変位から各仕様のバイリニアモデルを作成した。次に、混在仕様のトリリニアモデルについて、トリリニアモデルの荷重を $+45^\circ$ 仕様と -45° 仕様のバイリニアモデルの平均、トリリニアモデルの終局変位を各仕様の終局変位の最小値として作成した。この結果、終局耐力は 90° 仕様と混在仕様で同等となったが、初期剛性は、混在仕様が 90° 仕様に対して、カラマツは4.8倍、トドマツは5.2倍と高い剛性を示した。これより、本接合において水平方向にねじ打ち込みの角度を与えることで、剛性を向上させる効果を見込めることが示唆された。一方、抵抗機構がねじの引き抜きに大きく依存した脆性的な接合であるため、 90° 仕様を併用する等の靱性の補完が有効と考えられる。

4. おわりに

CLTパネル工法の壁一床接合に用いる木質構造用ねじによる斜め打ちせん断接合部についてせん断試験を行った。その結果、ねじ打ち込み水平角度を、加力方向に対してねじが引き抜ける方向に角度を与えることで、高い剛性と耐力を発揮することが確認できた。また、ねじ打ち込み水平角度が異なる仕様の剛性および耐力から、それらの仕様を1:1で混在させた場合の性能を推定した結果、壁パネルに対して直角に打ち込む仕様のみとする場合と比較して、混在させた仕様を用いる方がより高い剛性を発揮することが示唆された。

引用文献

- 1) 富高亮介, 戸田正彦: 長ビスを用いた道産CLT壁一床接合部のせん断性能. 木材加工技術協会年次大会要旨集, 東京(2018).
- 2) 富高亮介, 戸田正彦: 水平方向に角度を与えた長ビス斜め打ちCLT壁一床接合の接合性能の評価. 日本木材学会大会研究発表要旨集, 名古屋・岐阜(2022).
- 3) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター: 2016年版CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル, 146-163(2016).
- 4) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説一許容応力度・許容耐力設計法一, 日本建築学会, 371(2006).

—企業支援部 研究調整グループ—
(原稿受理: 2023.11.20)

道産材を用いた枠組壁工法用製材および面材の強度性能評価

大橋義徳, 古田直之, 戸田正彦*¹, 藤原拓哉*¹, 松本和茂*²

Evaluation of mechanical properties of lumber and plywood for wood frame construction with Hokkaido plantation timber

Yoshinori OHASHI, Naoyuki FURUTA, Masahiko TODA,
Takuya FUJIWARA, Kazushige MATSUMOTO

キーワード：枠組壁工法用製材, 構造用合板, 強度性能

1. はじめに

これまで輸入材を主体に供給されてきた枠組壁工法(2×4工法)においても, 国産材利用の機運が高まっている。全国で最も2×4工法が普及している北海道では, 1990年代後半に全国に先駆けて道産材による2×4用製材の生産がスタートしたが, 輸入材との価格差が大きい時代が続き, 構造材のほとんどを輸入材に依存してきた。道内建築業界においても, 部材供給のリスクを軽減するために地域材による同工法用製材の供給を要望されるようになった。

しかしながら, 2×4用製材の日本農林規格(JAS)については, 2×4工法が昭和40年代に北米から日本へ導入された際に, 北米産製材を主体に作られたものであり, 樹種グループはD Fir-L(ダグラスファー, ウェスタンラーチ等), Hem-Tam(イースタンヘムロック, タマラック等), Hem-Fir(ツガ, グランドファー等), S-P-F(ブラックスプルース, ジャックパイン, アルパインファー等), W Cedar(ウェスタンレッドシーダー等)に分けられていた。JASが2015年に改正されるまで, 日本の樹種も各グループに便宜的に当てはめられ, トドマツは輸入製材の主力であるS-P-Fに含まれていたが, カラマツは基準強度が総じて低いHem-Tamに含まれ, カラマツの強度特性が的確に反映されていなかった。さらにHem-Tamでは, 平均年輪幅が6mm以上のものは甲種3級となる規定があり, 樹心付近の未成熟材部を含む木取りで製材すると, 多くの材が平均年輪幅6mm以上となり, カラマツ

製材の使用部位の制限と基準強度の低減が余儀なくされた。

また, 輸入SPF材と道産製材, 輸入面材と道産面材との材質差を懸念する声も多く, 製材や面材, それらを組み合わせた接合部材の強度性能に関するデータも求められていた。さらに, 面材の種類によっては施工時の雨濡れなどによる水分作用の影響についてもデータが求められ, 製材や面材についての総合的なデータ整備が必要であった。

そこで, 本研究では, 道産2×4用製材および構造用面材の材料強度試験を行うとともに, 道産製材と道産面材を組み合わせた釘接合部の強度試験を行い, 枠組壁工法建築物で道産製材や道産合板を適切に利用するための強度データを収集することとした。

2. 実験方法

2.1 製材の強度試験

2×4用製材については, 道内製材工場製材, 人工乾燥, 加工されたカラマツ製材(寸法型式204: 厚さ38×幅89mm)を用いた。試験体数は曲げ試験体は475体, 引張試験体は482体, 圧縮試験体は495体とした。

曲げ試験については, 強軸方向に破壊するように材幅が鉛直方向となるように加力した。加力は油圧式強度試験機(東京衡機製造所, 曲げ容量200kN)を用いて行い, ロードセル(容量200kN)で荷重を計測した。荷重方式は3等分点4点荷重とした。試験スパンは材幅(89mm)の21倍(1869 mm)とした。

荷重点および支点の支持長さはいずれも200mmとした。

引張試験については、実大引張試験機（岩崎、最大容量1000kN、油圧式チャック）を用いて行い、荷重計測には容量500kNのロードセルを使用した。片側把持部の長さは800mmとし、チャック間距離は材幅（89mm）の9倍（801mm）とした。破壊した試験体のうち、チャック内で破断した試験体はデータから除外した。

圧縮試験については、油圧式強度試験機（東京衡機製造所、圧縮容量1000kN）を用いて行い、ロードセル（容量1000kN）で荷重を計測した。試験体長さは材幅（89mm）の3倍（267mm）とした。加圧部分の鋼板はピン支承とし、強軸方向に破壊するように鋼板の回転方向が試験体の材幅と平行になるように加力した。

いずれの試験においても、加力開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で1分以上であった。また、強度試験後に未破壊部分から試験片を採取して全乾法により含水率を測定した。平均含水率は曲げ試験体で12.5%、引張試験体で12.3%、圧縮試験体で12.1%であった。

2.2 面材の強度試験

面材のうち合板については、道内合板工場で生産されたカラマツ合板およびトドマツ合板（3プライで厚さ9mmおよび4プライで12mm、JAS特類2級）を用いた。比較用のOSBはカナダ産の製品（厚さ9mmおよび12mm、JAS3級）を用いた。すべての面材について、910×1820mmの寸法の原板を10枚ずつ用意した。これらの原板1枚から曲げ試験体を強軸方向（表層単板の繊維方向と試験体の長さ方向が平行となる方向）に各5体ずつ採取した。試験体の寸法は、幅50×長さ290mm（厚さ9mm）、あるいは幅50×320mm（厚さ12mm）とした。

面材の曲げ試験は、枠組壁工法建築物構造計算指針¹⁾（以下、枠組指針）に従い、スパンは面材厚さの10倍に150mmを加えた長さとし、荷重点間距離150mmの4点荷重方式とした。加力速度は2mm/minとした。曲げ試験は、一般的な温湿度環境で調湿した試験体（常態）のほかに、高湿度環境を想定した吸湿処理、施工時の雨濡れを想定した吸水処理を行った試験体を対象とした。なお、劣化処理後の曲げヤング係数と曲げ強さの算出には、常態時の断面

寸法を用いた。それぞれの処理は枠組指針²⁾に従い、以下のとおり行った。

◇高湿度処理：試験体を20℃相対湿度85%の恒温恒湿器内で重量が恒量に達するまで養生した後、20℃相対湿度65%の恒温恒湿室内で重量が恒量に達するまで養生する。

◇事故的水掛かり処理：試験体を常温の水中に72時間浸せきした後、20℃相対湿度65%の恒温恒湿室内で重量が恒量に達するまで養生する。

2.3 釘接合部の強度試験

釘接合部の強度試験として、実際の枠組壁工法建築物の構造体で重要となる、製材相互の釘接合および製材と面材の釘接合の二通りの試験を行った。試験体の仕様および試験方法は枠組指針³⁾に準じた。試験に用いた製材は、カラマツ、トドマツ、スギ、輸入SPFの204材（38×89mm）、面材はカラマツ合板、トドマツ合板の厚さ9mmおよび厚さ12mmとした。それぞれの試験状況を第1図に示す。製材相互の釘接合試験においては、204材3本をI形形状に組んだ上で枠組壁工法用釘（CN釘）4本で留め付けたモデル試験体を作製した。CN釘はCN75（釘長さ75mm）またはCN90（釘長さ90mm）の2種類を用いた。製材と面材の釘接合試験においては、204材1本に面材2枚を釘4本で留め付けたモデル試験体を作製した。なお、釘を打ち込む際には釘頭がめり込まないように注意した。加力は単調加力とし、圧縮型とした。試験体中央の主材の204材の上部から鉛直方向に加力し、釘接合部に一面せん断力を加えた。



第1図 釘接合部の強度試験
（左図：製材と製材、右図：製材と面材）

主材の幅面の両面に変位計を2個取り付けて、側材との変位差を計測し、平均値を変位量とした。試験体数は各6体とした。

3. 結果と考察

3.1 製材の強度試験

カラマツ204材の強度試験結果を第1表に示す。なお、実験値はASTM D1990-07に従って含水率15%に補正した。統計的下限値は木材の強度評価で多用される対数正規分布仮定による5%下限値を用いた。まず、強度の平均値を見ると、曲げ、引張、圧縮のいずれにおいても甲種等級が特級から3級へ下がるにつれて強度が低くなり、目視等級による選別の有効性が示された。変動係数を見ると、曲げ、引張は30%前後で強度のばらつきが大きいものに対して、圧縮は20%未満と小さく、圧縮強度に及ぼす節の影響が小さいこと、圧縮試験体長さが曲げや引張よりも短く、欠点が含まれる確率が小さくなるためと考えられた。次に、統計的下限値を見ると、平均値と同様に甲種等級が下がるにつれて低くなっており、ばらつきの大きな曲げや引張では圧縮よりも平均値に対して低い値となった。また、JASの樹種群に与えられる基準強度と比較すると、2015年以前のJASに

おいてカラマツが属していた樹種群「Hem-Tam」に対しては、特級の曲げ強さを除き、カラマツの下限値が上回った。また、枠組壁工法用製材の主流である樹種群「SPF」に対しては、カラマツ204の曲げ強さは総じて下回るものの、その他はカラマツの下限値が上回った。基準強度は母集団から採取された適切なサンプリングと数多くの実験データから導出されるものであり、本実験データの試験体数やサンプリングは限定的であるが、カラマツはHem-Tamとは異なる樹種群に設定することが妥当と考えられた。

次に、カラマツの年輪幅規定による影響を検討するため、甲種3級のなかで平均年輪幅が6mm以上の試験体を抜粋して「年輪3級」とし、さらに、甲種2級に年輪3級を加えて「2級+」として第1表に併記した。その結果、2級+の下限値は、2級に対して、引張強さではやや低い値となったものの、曲げや圧縮では若干の低下にとどまった。建築基準法では甲種3級の使用部位が制限されるため、枠組壁工法用製材としては甲種2級以上に区分されることに実用的な意義があるため、SPFやHem-Firのように年輪幅規定が除外されることが望ましいと考えられた。

第1表 カラマツ204材の強度試験結果と基準強度

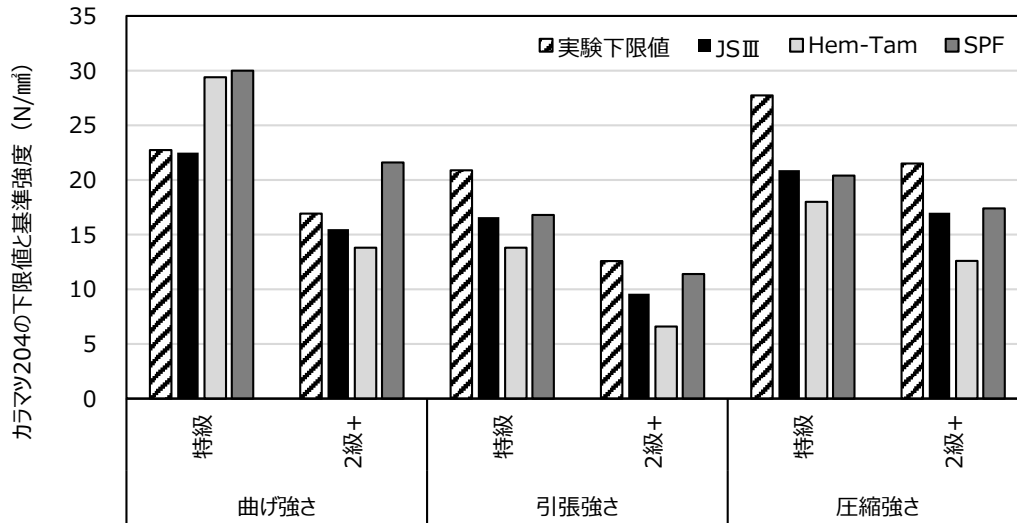
強度	甲種等級	実験データ						基準強度		
		試験体数	最大値	平均値	最小値	変動係数	下限値	Hem-Tam	SPF	JSIII
曲げ 強さ (N/mm ²)	特級	104	77.4	41.6	18.8	30.9%	22.7	29.4	30.0	22.5
	1級	100	71.2	38.6	19.9	29.1%	22.8	18.0	22.2	16.1
	2級	113	69.3	34.9	15.1	35.9%	17.7	13.8	21.6	15.5
	3級	145	63.6	30.0	7.7	32.9%	16.4	8.4	12.6	9.0
	年輪3級	110	63.6	30.0	9.4	32.4%	16.2			
	2級+	223	69.3	32.5	9.4	35.3%	16.9			
引張 強さ (N/mm ²)	特級	101	64.3	35.3	16.2	27.8%	20.9	13.8	16.8	16.6
	1級	103	55.4	29.3	12.7	31.2%	16.2	8.4	12.0	11.1
	2級	108	46.1	26.6	11.0	28.1%	15.6	6.6	11.4	9.6
	3級	149	46.1	21.1	5.3	35.9%	10.1	3.6	6.6	5.6
	年輪3級	98	46.1	21.5	5.3	34.7%	10.6			
	2級+	206	46.1	24.1	5.3	32.6%	12.6			
圧縮 強さ (N/mm ²)	特級	106	49.6	36.3	24.4	14.5%	27.7	18.0	20.4	20.9
	1級	106	47.8	32.7	20.0	16.9%	23.9	15.0	18.0	18.3
	2級	107	48.5	31.2	19.8	18.7%	22.4	12.6	17.4	17.0
	3級	156	49.5	28.2	17.3	15.5%	21.4	7.2	10.2	9.8
	年輪3級	106	39.5	27.9	17.3	15.1%	21.1			
	2級+	213	48.5	29.6	17.3	18.1%	21.5			

※年輪3級：年輪幅で3級と判定されるものの他の欠点は2級に相当する材

※2級+：甲種2級に年輪3級を加えた等級

※下限値：対数正規分布仮定による5%下限値

※基準強度：JSIIIはカラマツが属する現行JASの樹種群（2015年のJAS改正で新設）



第2図 カラマツ204の下限値と基準強度

本データをもとに2015年にJASが改正され、カラマツは新設された樹種群「JSIII」に属することとなり、年輪幅規定も撤廃された。JSIIIの基準強度を第1表に併記するとともに、実験下限値や他樹種の基準強度とともに第2図に示す。基準強度の設定においては、1級と3級は特級と2級をもとに計算で算出することになっており、第2図では特級と平均年輪幅が6mm以上の材を含む2級+を示している。実験下限値に対してJSIIIの基準強度は欠点を考慮して低く設定されており、枠組壁工法で多用されるSPFの基準強度に対して、曲げや引張の一部では低く設定されているが、圧縮では同程度に設定されている。道産製材で供給しやすい204材や206材の利用部位としては圧縮強度が重要な壁組部材が想定されることから、これまで利用されてきた北米産製材と同等に施工可能であると考えられる。

3.2 面材の強度試験

曲げ試験体の含水率を第2表に示す。高湿度処理では、常態と比較して針葉樹合板は約5%、OSBは約7%程度含水率が増加した。事故的水掛かり処理では、処理後に20°C相対湿度65%で調湿したものの、ヒステリシスの影響により常態よりも3~4%程度含水率が高くなった。

次に、曲げ強度試験の結果を第3表に示す。常態時の曲げ性能について、いずれの厚さにおいてもカラマツ合板はOSBよりも曲げヤング係数、曲げ強さが高かった。トドマツ合板は9mm厚さではOSBとほ

ぼ同等であり、12mm厚さではOSBよりも高い値を示した。

次に、使用環境を想定した劣化処理による強度試験結果を第4表に示す。ヤング係数の残存率（常態の平均値に対する劣化処理の平均値の比）は、高湿度処理と事故的水掛かり処理で大きな差は見られず、面材の種類による違いについても明確ではなかった。曲げ強さの残存率は、いずれの処理方法においても、針葉樹合板が約0.8~0.9、OSBが約0.7~0.8となり、水分作用による強度変化は針葉樹合板よりOSBのほうが大きい結果となった。なお、処理による面材の厚さ膨張率は、針葉樹合板が2%未満であったが、OSBは高湿度処理で約7%、事故的水掛かり処理で約14%であった。以上の結果から、道産合板はOSBと同等以上の曲げ性能であり、吸湿や吸水に対しても寸法変化や強度低下の面で優位となることが明らかとなった。

第2表 面材の曲げ試験体の含水率（平均値）

厚さ	面材	常態 (%)	高湿度 (%)	水掛かり (%)
	樹種			
9mm	カラマツ合板	9.7	14.9	13.1
	トドマツ合板	9.8	15.3	12.9
	OSB	8.6	15.6	12.9
12mm	カラマツ合板	10.5	15.2	14.1
	トドマツ合板	10.7	15.6	13.4
	OSB	8.8	15.4	12.8

第3表 常態時の面材の強度試験結果

面材		密度 (g/cm ³)		曲げヤング係数 (kN/mm ²)		曲げ強さ (N/mm ²)	
厚さ	種類	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
9mm	カラマツ合板	0.56	0.04	10.0	2.1	55.6	13.0
	トドマツ合板	0.41	0.02	7.7	1.2	39.9	10.9
	OSB	0.66	0.03	7.7	0.8	37.5	8.1
12mm	カラマツ合板	0.59	0.02	8.4	1.1	39.4	11.4
	トドマツ合板	0.44	0.01	7.7	0.6	41.2	7.6
	OSB	0.65	0.02	6.7	0.6	30.7	3.5

第4表 使用環境を想定した劣化処理による面材の強度試験結果

面材		曲げヤング係数(kN/mm ²)						曲げ強さ(N/mm ²)					
		高湿度			水掛かり			高湿度			水掛かり		
厚さ	種類	平均値	標準偏差	残存率	平均値	標準偏差	残存率	平均値	標準偏差	残存率	平均値	標準偏差	残存率
9mm	カラマツ合板	9.0	1.8	0.89	8.7	2.3	0.86	51.4	17.8	0.93	48.6	12.6	0.88
	トドマツ合板	7.1	1.3	0.92	6.7	0.9	0.87	38.3	7.8	0.96	36.5	9.8	0.91
	OSB	6.5	1.1	0.85	6.4	0.9	0.84	27.1	7.1	0.72	28.4	4.1	0.76
12mm	カラマツ合板	7.4	1.0	0.88	7.5	1.0	0.89	36.0	8.9	0.91	38.0	7.1	0.97
	トドマツ合板	6.6	0.7	0.85	6.9	0.6	0.89	33.9	4.4	0.82	35.9	5.3	0.87
	OSB	6.2	0.7	0.92	6.3	0.6	0.93	25.3	2.9	0.82	25.4	3.0	0.83

※残存率=劣化処理の平均値/常態の平均値 (第3表)

3.3 釘接合部の強度試験

製材相互の釘接合部試験の結果を第5表に示す。釘1本あたりの降伏耐力の平均値を比較すると、CN75およびCN90ともにトドマツとSPFが同等であり、カラマツはそれらよりも高かった。以上より、道産製材相互を釘で留め付けたときの強度性能は輸入SPFと同等以上であることが確かめられた。

次に、製材と面材の釘接合部試験の結果を第6表に示す。破壊形態については、面材がトドマツ9mm合板の場合、いずれの製材でもパンチングアウトが多く見られた。また、カラマツ合板9mmでも、カラマツ製材の場合には面材のパンチングアウトが見られた。その他の条件では、破壊形態は釘の引抜けであった。釘1本あたりの降伏耐力の平均値を比較すると、いずれの仕様においても、カラマツ製材はトドマツ製材より高かった。

SPF製材と比べると、カラマツ製材のみならずトドマツ製材も同等以上となり、道産製材と面材を釘で留め付けたときの強度性能が優位となる可能性が示された。

第5表 製材相互の釘接合部の強度試験結果 (試験体数=各6体)

釘	製材	釘1本あたりの降伏耐力 (kN)	
		平均値	標準偏差
CN75	カラマツ	1.21	0.14
	トドマツ	0.99	0.09
	SPF	1.00	0.05
CN90	カラマツ	1.46	0.17
	トドマツ	1.27	0.06
	SPF	1.20	0.08

第6表 面材と製材の釘接合部の強度試験結果（試験体数＝各6体）

釘	面材		製材	釘1本あたりの降伏耐力 (kN)	
	厚さ	樹種		平均値	標準偏差
CN50	9mm	カラマツ合板	カラマツ	0.84	0.12
			トドマツ	0.60	0.05
			SPF	0.62	0.16
		トドマツ合板	カラマツ	0.72	0.13
			トドマツ	0.56	0.10
			SPF	0.53	0.08
	12mm	カラマツ合板	カラマツ	0.88	0.09
			トドマツ	0.64	0.07
			SPF	0.62	0.08
		トドマツ合板	カラマツ	0.75	0.10
			トドマツ	0.59	0.06
			SPF	0.55	0.18
CN65	15mm	カラマツ合板	カラマツ	1.45	0.17
			トドマツ	0.95	0.09
			SPF	0.87	0.06
		トドマツ合板	カラマツ	1.05	0.20
			トドマツ	0.88	0.10
			SPF	0.73	0.15

4. まとめ

道産樹種を用いた2×4用製材および構造用面材の材料強度試験、釘接合部の強度試験を行い、以下の知見を得た。

カラマツ204材の各種強度試験を行った結果、曲げ、引張、圧縮のいずれにおいても甲種等級が特級から3級へ下がるにつれて強度が低くなり、目視等級による選別の有効性が示された。統計的下限值については、2015年以前のJASにおいてカラマツが属していた樹種群「Hem-Tam」に対して、特級の曲げ強さを除き、カラマツが上回り、Hem-Tamとは異なる樹種群に設定すべきであると考えられた。また、甲種3級のなかで平均年輪幅が6mm以上の試験体を甲種2級に加えて検討した結果、その下限値は、単独の甲種2級に対して、引張強さではやや低い値となったものの、曲げや圧縮では若干の低下にとどまった。建築基準法では甲種3級の使用部位が制限されるため、枠組壁工法用製材としては甲種2級以上に区分されることに実用的な意義があり、曲げ・圧縮部材として利用する上では、年輪幅規定を除外しても実用上の支障が少ないと考えられた。

カラマツ・トドマツ合板の曲げ強度試験を行った結果、常態時の曲げ性能においては、輸入OSBに対してトドマツ合板は同等以上、カラマツ合板は高い値を示した。また、使用環境を想定した吸水・吸湿処理後の面材強度試験を行ったところ、道産合板は

輸入OSBより吸湿や吸水に対しても寸法変化や強度低下の面で優位となることが明らかとなった。

製材相互の釘接合部の強度試験を行った結果、カラマツ、トドマツともに輸入SPFと同等以上の釘接合性能であることが確かめられた。また、製材と面材による釘接合部の強度試験を行った結果、いずれの仕様においても、SPF製材と比べて、カラマツ製材のみならずトドマツ製材も同等以上となり、道産製材と面材を釘で留め付けたときの強度性能が優位となる可能性が示された。

以上より、枠組壁工法建築物で道産製材や道産合板を適切に利用するための強度データに関する知見が得られた。

引用文献

- 1) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針，丸善，東京，266-269(2018).
- 2) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針，丸善，東京，271-279(2018).
- 3) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針，丸善，東京，279-281(2018).

—技術部 生産技術グループ—
 —*1：性能部 構造・環境グループ—
 —*2：性能部長—
 (原稿受理：2023.12.14)

北海道産カラマツ平角材の曲げ強度性能

藤原 拓哉

Bending Strength Properties of Karamatsu (*Larix kaempferi*) Flat Square Timber Grown in Hokkaido

Takuya FUJIWARA

キーワード：カラマツ平角材，天然乾燥，曲げ強さ，ヤング係数

天然乾燥したカラマツ平角材の曲げ強度試験を行った。乾燥により著しい材面割れが発生したが、目視等級区分における曲げ強さは基準強度を上回った。機械等級区分でも曲げ強さは概ね基準強度を上回っており、十分な強度性能を有していることが確認できた。

1. はじめに

カラマツでは樹心に近づくにつれて、強度性能が著しく低下することが知られている。これは樹心近くの材が未成熟材であるなどで材質が劣ることによるものであるが、高樹齢化、大径化に伴い、新たに形成される成熟材が多くなり、未成熟材の割合は低下する。カラマツを大きな断面の梁として使った場合、未成熟材を曲げ応力の負担が小さい中央部に封じ込めることができるため、未成熟材の影響を低減できる。従って、平角材はカラマツに適した利用形態であると考えられる。なお、平角材等の無垢材では乾燥に伴う割れ（干割れ）が発生する可能性が高い。干割れの程度が強度に影響しないことは荒武²⁾以降、多数報告されているが、無垢材を選択するようなこだわりを持ったユーザーは現しでの使用を嗜好するため、割れは美観上、大きな問題となる。干割れの抑制には高温セット処理が有効であるが、熱劣化による強度低下の問題が生じるため、その折り合いをつけなければならない。

平成4年に公布された構造用製材の許容応力度はそれまでの無欠点小試験体の強度データからの誘導ではなく、実大材の強度試験結果をベースとしたものであるが、昭和63年作成の強度データリスト³⁾にあるカラマツ実大材のデータのうち、人工乾燥であることが確認できたものはなく、大部分を占める北海道産カラマツ正角材の強度データ⁴⁻⁷⁾はすべて天

然乾燥である。従って、北海道産のカラマツ平角材についても天然乾燥した場合の強度を整理しておく必要があると考えられたため、天然乾燥に限定してカラマツ平角材の強度を確認した。

2. 実験方法

供試原木は美瑛町産のカラマツ材であり、最終製品の断面寸法として105×240mm、および105×210mmを設定した。供試原木の概要を第1表に示す。105×240は挽き立て寸法を129×260×4,000mmとして製材し、105×210は挽き立て寸法を131×232×3,600mmとして製材した。製材後、6月中旬から天然乾燥に供したが、11月中旬以降は気温も低く、乾燥の進行が期待できないため、5月中旬までソーラーハウス内で乾燥した。その意味では厳密には天然乾燥とは言えないが、11月中旬から5月中旬のソーラーハウス利用期間では熱劣化を生じている可能性は低いと考えられた。乾燥終了後、最終的な寸法に鉋削した後、節等の欠点を記録した。

第1表 供試原木の概要

最終製品	末口径 (cm)	材長 (m)	打撃音ヤング 係数(kN/mm ²)
105×240	31.8~38.2	4.2	10.40
105×210	27.9~33.2	3.7	10.68

製材の日本農林規格⁸⁾の機械等級区分構造用製材に関して、曲げヤング係数を測定する曲げ試験の方法が示されており、フラットワイズ加力となっている。破壊試験はエッジワイズで行うため、これとは別に製材の日本農林規格に従った曲げ試験を行い、フラットワイズ加力による曲げヤング係数を測定した。試験には東京衡機製造所製木材実大強度試験機 WU-1000 (曲げ容量200kN) を使用し、加力条件はスパンを 3,600mm (105×240) , ないし 3,150mm (105×210) とした3等分点4点曲げとした。スパンの木口の短辺に対する比が18以上であるため、算出した曲げヤング係数に0.967 (105×240) , ないし 0.972 (105×210) を乗じた値を曲げヤング係数とした。

破壊試験は東京衡機製造所製木材実大強度試験機 WU-1000 (曲げ容量200kN) を使用し、加力条件はスパンを 3,600mm (105×240) , ないし 3,150mm (105×210) とした3等分点4点曲げとした。スパンの木口の長辺に対する比はどちらも15であるが、国内の標準的な強度試験法⁹⁾ の許容範囲内である。破壊後、破壊箇所近傍から節を避けて厚さ約2cmの試験片を採取し、全乾法によって含水率を測定した。ヤング係数は含水率1%あたりの変化率を2%とする EN384の方法で含水率15%時の値に調整するとともに、次式の係数を乗じて標準加力条件の値に調整した。

$$k = \frac{1 + 2.4 \frac{d^2}{3L^2 - 4a^2} \left(\frac{E}{G}\right)}{1 + 2.4 \frac{d_0^2}{3L_0^2 - 4a_0^2} \left(\frac{E}{G}\right)}$$

ここで、 E/G : 真のヤング係数と剪断弾性係数の比

(=15)

d, L, a : 試験条件における梁せい, 荷重スパン, 荷重点-支点間距離,

d_0, L_0, a_0 : 標準条件における梁せい, 荷重スパン (=18 d_0) , 荷重点-支点間距離 (=6 d_0) 。

曲げ強さは次式により標準加力条件の値に調整した。

$$f_m = \left[\frac{d(S + 0.2L)}{d_0(S_0 + 0.2L_0)} \right]^{0.2}$$

ここで、 f_m : 標準条件における曲げ強さ,

f_b : 実験条件における曲げ強さ測定値,

d, S, L : 試験条件における梁せい, 荷重点間距離, 荷重スパン,

d_0, S_0, L_0 : 標準条件における上記の値

3. 結果

3.1 破壊試験

破壊試験の結果を第2表に示す。乾燥後の含水率のバラツキは極めて小さく、76体中70体がJIS Z2101で標準状態としている(12±1.5%)の範囲にあった。近年では曲げ強さを含水率で個別に調整しない処理が趨勢であるが、今回のように良好な乾燥結果の下では含水率調整の必要性は小さい。天然乾燥で懸念される材面割れの発生は顕著であり(第1図), 材面割れ以外から始まった破壊が進展する際に材面割れに繋がることは多かったが(第2図), 材面割れから始まったせん断破壊が決定的となることは少なかった。さらにせん断破壊(第3図)を生じたときの曲げ強さは低いとは限らず、50N/mm²以上となるものもみられた(第4図)。このように材面割れは必ずしも強度低下の要因とはならなかった。

第2表 曲げ破壊試験の結果

断面	105×240		105×210		全体	
	Ave.	s.d.	Ave.	s.d.	Ave.	s.d.
含水率(%)	12.2	0.4	13.0	0.7	12.6	0.7
含水率 15%時密度(kg/m ³)	503	38	539	33	522	39
フラットワイズ曲げヤング係数(kN/mm ²)	10.20	1.25	9.87	1.22	-	-
エッジワイズ曲げヤング係数(kN/mm ²)	10.74	1.25	9.97	1.22	-	-
曲げ強さ(N/mm ²)	46.9	8.9	37.5	8.1	-	-
調整済みエッジワイズ曲げヤング係数(kN/mm ²)	10.33	1.23	9.75	1.21	10.03	1.25
調整済み曲げ強さ(N/mm ²)	63.0	12.0	47.7	10.3	54.9	1.35



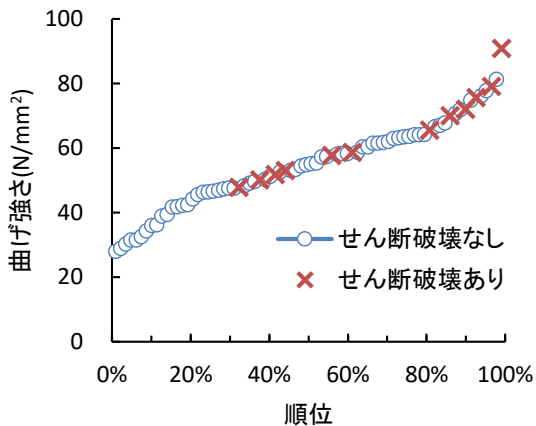
第1図 材面割れの例



第2図 破壊の進展の例



第3図 せん断破壊の例



第4図 曲げ強さとせん断破壊

3.2 目視等級区分

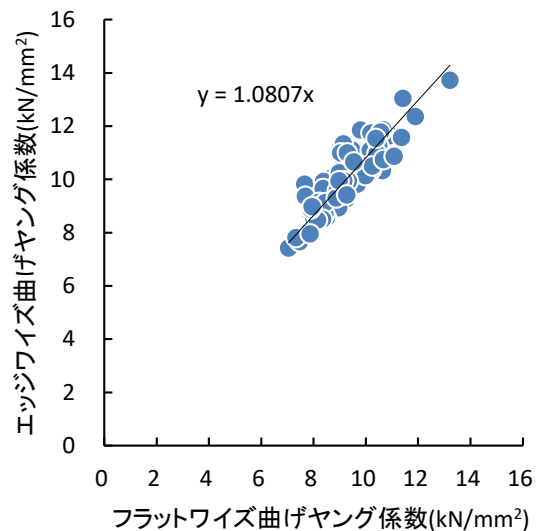
主に節と年輪幅を用いて、目視等級区分を行った。目視等級別強度を第3表に示す。2級以上が8割以上を占めたが、年輪に沿った割れが著しい2体を格外とした。曲げ強さの5%点は各等級とも基準曲げ強度を上回っていたことから、カラマツ平角材に基準曲げ強度を適用することに問題はない。出現数の多かった2級について下限値（信頼水準75%における95%下側許容限界）を算出した。曲げ強さの分布形を正規分布、対数正規分布、ワイブル分布とした場合の赤池情報量基準の値を求めたところ、正規分布での値が対数正規分布、ワイブル分布よりも小さかったため、正規分布を採用した。このときの2級材の下限値は34.2N/mm²となり、カラマツ甲種構造材2級の基準曲げ強度25.8N/mm²の1.26倍であった。

3.3 機械等級区分

製材の日本農林規格の機械等級区分構造用製材に対する曲げ試験方法において、フラットワイズで測定した曲げヤング係数に乗じる係数は、スパンの試験製材の木口の短辺に対する比が18であるときの値に調整するためのものであると考えられる。

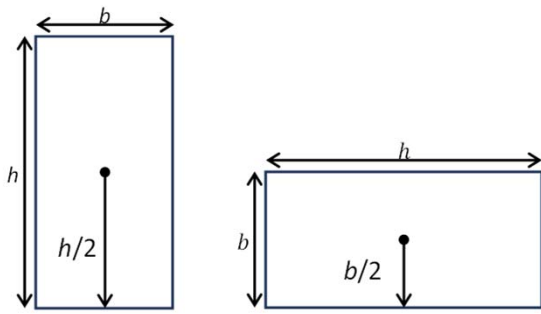
第3表 目視等級別強度

目視等級	1級	2級	3級
出現数(体)	6	59	10
曲げヤング係数 Ave. (kN/mm ²)	11.14	10.03	9.52
s.d.	1.62	1.16	1.21
曲げ強さ Ave. (N/mm ²)	66.8	55.3	48.4
s.d.	11.4	12.8	12.8
5%ile	48.0	34.2	27.4
下限値		32.4	
基準強度	29.4	25.8	23.4



第5図 フラットワイズ曲げヤング係数とエッジワイズ曲げヤング係数の関係

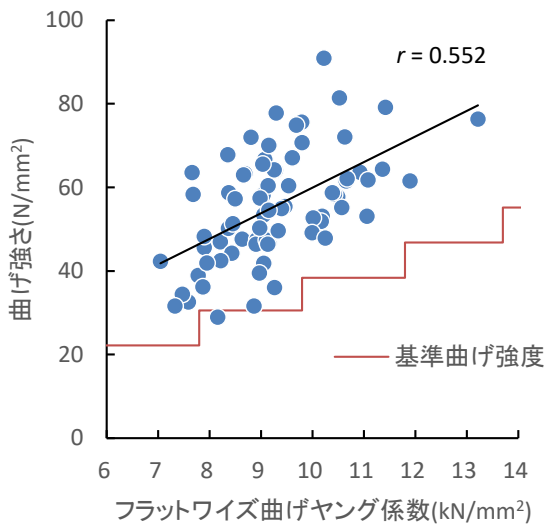
一方、破壊試験の際に得られたエッジワイズのヤング係数も同様の調整を行っており、比較が可能である。エッジワイズのヤング係数がフラットワイズのヤング係数よりも大きく、その比は平均で1.08であった（第5図）。これは樹心が断面中心にあるとき、エッジワイズの樹心—最外繊維間距離は最小で長辺/2（105, ないし120mm）であるが、フラットワイズでは最小で短辺/2（52.5mm）となるため、樹心に近づくにつれてヤング係数が低下する傾向がカラマツでは著しいことの影響であると推察される（第6図）。



第6図 加力方向と断面中心最外繊維間の最小距離

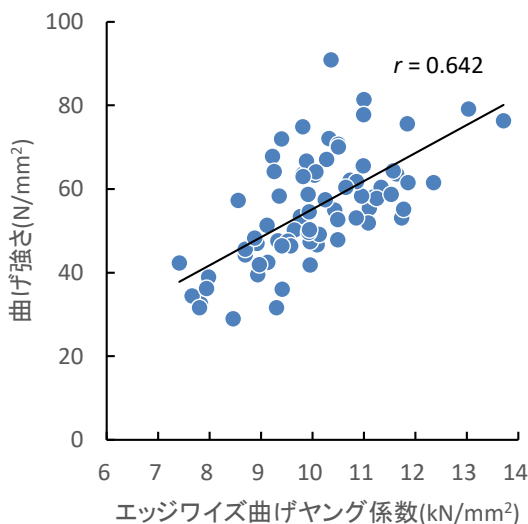
第4表 機械等級別曲げ強さ(N/mm²)

機械等級	E70	E90	E110	E130	E150
出現数	2	26	41	4	1
平均値	38.4	46.4	60.4	69.5	76.3
標準偏差	5.6	11.1	10.0	9.2	
5%ile	34.4	29.0	41.8	61.6	76.3
下限値		30.0	45.9		
基準強度	22.2	30.6	38.4	48.6	55.2



第7図 フラットワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの関係

今回の結果でエッジワイズのヤング係数で格付けした場合、30体が1階級上、2体が2階級上に格付けされることとなった。機械等級区分を適用したときに最も出現が多かった等級はE110で半数以上を占め、次いでE90が多かった(第4表)。正規分布、対数正規分布、ワイブル分布の中からE90とE110の曲げ強さの分布として対数正規分布を赤池情報量基準の値により選択した。曲げ強さの5%ileはE90では基準強度を若干下回ったが、E110では基準強度以上であった。E90の下限値は30.0で基準曲げ強度30.6をわずかに下回ったが、E110の下限値は基準曲げ強度38.4 N/mm²の約1.2倍の45.9N/mm²であった。E90の1体のみが対応する基準曲げ強度を下回った(第7図)。なお、エッジワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの相関係数は0.642でフラットワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの相関係数0.552よりも大きかった(第8図)。



第8図 エッジワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの関係

4. まとめ

カラマツ平角材を天然乾燥と見なしうる条件下で乾燥し、曲げ破壊試験を行ったところ、目視等級区分の2級材では基準強度の1.26倍の強度が得られ、強度的には十分な性能を有していることが確認できた。しかしながら、天然乾燥では材面の割れの発生が甚だしく、商品価値は低くなるであろう。割れの抑制には高温セット処理が効果的であるが、熱劣化による強度低下のリスクが高まるという問題がある。今回、カラマツ平角材は基準強度に対して余裕を持っていることが確認され、若干の強度低下は許容できることが明らかとなった。したがって、基準強度をキープし、かつ割れの少ないカラマツ平角材が生産可能であることが示された。

引用文献

- 1) 重松頼生：カラマツ造林木の材質. とくに生長と関連して(I)-カラマツ造林木の材質形成-, 木材工業, 45(10), 445-451(1990).
- 2) 荒武志朗：構造材の干割れと力学的性質. 木材工業, 51(11), 508-511(1996).
- 3) 木材強度・木質構造研究全編：構造用木材-強度データの収集と分析, 日本木材学会木材強度・木質構造研究会シンポジウム資料(1988).
- 4) 小泉章夫, 上田恒司, 片寄藤：カラマツ間伐材の力学的性質. 北海道大學農學部 演習林研究報告, 44(1), 327-354(1987).
- 5) 川口信隆, 高橋政治, 大久保勲：幾寅産カラマツ人工林材の材質. 林産試情報, 1(7), 1-12(1987).
- 6) 高橋政治, 川口信隆, 大久保勲：浦幌産カラマツ人工林材の材質. 林産試月報, 402(7), 5-10(1985).
- 7) 高橋政治, 川口信隆, 大久保勲：北見産カラマツ間伐材の材質. 林産試月報, 411(4), 12-17(1986).
- 8) JAS 1083：製材. 農林水産省(2019).
- 9) (公財) 日本住宅・木材技術センタ編：構造用木材の強度試験マニュアル(2011).

－性能部 構造・環境グループ－
(原稿受理：2023.12.22)

林 産 試 験 場 報
(林産試験場月報からの通巻551号)

編集人 林産試験場刊行物編集委員会
発行人 地方独立行政法人北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場
〒071-0198 旭川市西神楽1線10号
電話 0166-75-4233(代表)
FAX 0166-75-3621
HP <http://www.hro.or.jp/fpri.html>

令和6年2月29日 発行

令和6年3月 Web公開

JOURNAL OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE

NO.551, 2024

Research Notes

- Estimation of generated and used amounts of woody biomass combustion ash in Hokkaido (1)
Ken ORIHASHI, Akira HARADA, Koei NISHIMIYA
- Recycling potential of woody biomass combustion ash in Hokkaido (5)
Ken ORIHASHI, Akira HARADA, Koei NISHIMIYA
- Pellet production from agricultural residue and wear condition of pelletizer (9)
Koei NISHIMIYA, Atsushi YAMADA
- Shear performance of CLT wall-floor joints with inclined screws (17)
Ryosuke TOMITAKA, Makoto IMAI, Masahiko TODA
- Evaluation of mechanical properties of lumber and plywood for wood frame construction with Hokkaido
plantation timber (21)
Yoshinori OHASHI, Naoyuki FURUTA, Masahiko TODA,
Takuya FUJIWARA, Kazushige MATSUMOTO
- Bending Strength Properties of Karamatsu (*Larix kaempferi*) Flat Square Timber Grown in Hokkaido (27)
Takuya FUJIWARA

FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE
FOREST RESEARCH DEPARTMENT
HOKKAIDO RESEARCH ORGANIZATION

Nishikagura 1-10, Asahikawa
HOKKAIDO, 071-0198, JAPAN