

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：80122

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15569

研究課題名（和文）有限要素解析と画像関連法を用いたカンバ類の構造的利用法の検討

研究課題名（英文）Study for structural utilization of Birch with FEM and DIC

研究代表者

村上 了（Murakami, Satoru）

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・研究主任

研究者番号：40718582

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：シラカンバ、ダケカンバの基礎的物性値を実験より求め、その実験結果を元に外層にシラカンバ、ダケカンバを配置した集成材の曲げ性能を有限要素解析によりシミュレートした。各方向のヤング率、強度を入力することにより、集成材の曲げ性能における降伏以降の挙動を追うことができた。集成材を実際に作製し、試験を行ったところ実験結果は解析結果と満足な一致を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでシラカンバ、ダケカンバの弾性常数は明らかでなかった。弾性常数、強度を整備し、かつそれらを利用して構造要素を弾性域を超えた非線形領域まで解析を行ったことに研究意義がある。

研究成果の概要（英文）：The physical properties of white birch and Erman's birch were determined through experiments. Finite element analysis was employed to simulate the bending performance of glued laminated timber (GLT) using white birch and Erman's birch for the outer layer. The physical properties obtained from the experiments were incorporated into the finite element analysis. By determining the Young's modulus and strength in each direction, we were able to ascertain the post-yield behavior during the bending test of the GLT. The analytical results were found to be consistent with the experimental results

研究分野：木質構造

キーワード：シラカンバ ダケカンバ 集成材 有限要素解析 弾性常数

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

北海道の森林におけるカンバ類の蓄積量はトドマツにつぐ9,274万m³を有している。流通する3種のカンバ類(マカンバ、シラカンバ、ダケカンバ)の中でもマカンバは高級家具や突板として高く取引されるが、シラカンバ、ダケカンバは、出材される原木の多くがパルプ材などの低価値利用にとどまっている。

近年ヨーロッパではシラカンバを用いたCLT、集成材の研究が進んでいるが、国内では未だ国内産シラカンバ、ダケカンバの基礎的物性値が体系的に整理されておらず、構造材等の高付加価値用途に利用できない(図1)。

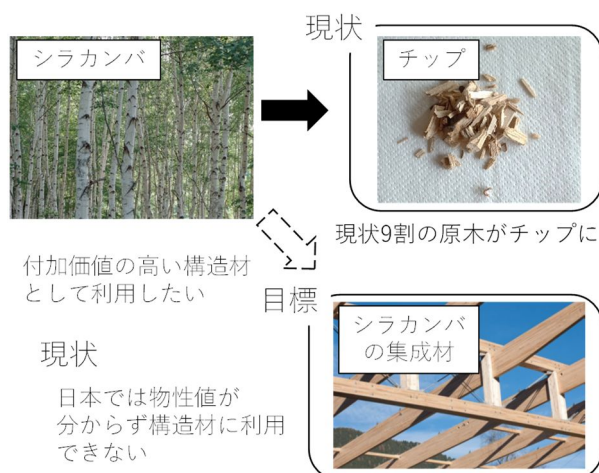


図1 カンバ類の利用の現状と将来的な目標

2. 研究の目的

シラカンバ、ダケカンバの無欠点小試験体の繊維方向、繊維直交方向の圧縮、引張試験を行い、強度、ヤング率等の基礎的物性値を求め、データとして整備すること、またそれらの値を有限要素法に入力してシラカンバ、ダケカンバを外側のラミナとして配置した集成材の曲げ性能を調べ構造用材としての可能性を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 無欠点小試験体による基礎的物性試験

シラカンバを北海道大学天塩研究林(北海道天塩郡幌延町)、ダケカンバを北海道上川郡上川町の道有林よりそれぞれ5本の立木から1番玉2.2mの原木を5本ずつ入手し、供試材とした。それぞれの原木から 繊維方向の引張試験体(シラカンバ24体、ダケカンバ33体)、 繊維方向の圧縮試験体(シラカンバ62体、ダケカンバ53体)、 半径方向の引張試験体(シラカンバ13体、ダケカンバ11体)、 半径方向の圧縮試験体(シラカンバ34体、ダケカンバ24体)をJIS(Z2101)に準拠して加工し、ヤング率及び強度を測定した。試験時の歪を測定するにあたって画像相関法を用いた(写真1~3)。

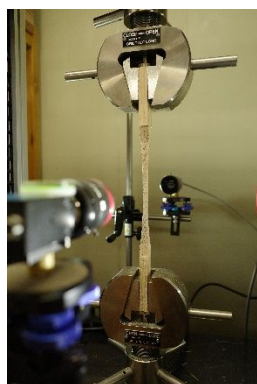


写真1 繊維方向の引張試験

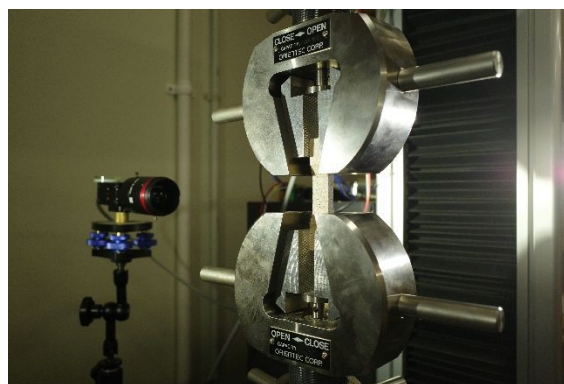


写真2 半径方向の引張試験

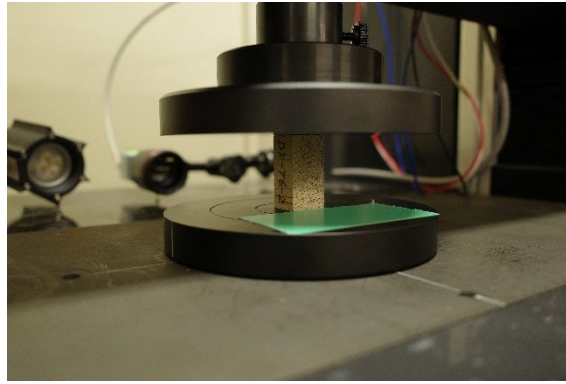


写真3 半径方向の圧縮試験

(2) 外側のラミナにシラカンバ、ダケカンバを配置した集成材の曲げ性能の解析

5層の集成材(ラミナ断面 18×90mm、集成材断面 90×90mm)を想定し、外側のラミナにシラカンバ、ダケカンバを、内側のラミナはトドマツを配置した集成材の曲げ性能を、有限要素法を用いて調べた。集成材の側面を対象に、2次元の平面ひずみ状態の解析を行った。

図2に4点曲げ試験の概要図を示す。JASに準拠した集成材の4点曲げに相当する寸法(上部支点間距離 360mm、下部支点間距離 1620mmはそれぞれ材せい90mmに対して4、18倍)で積層面に垂直方向に加力を受ける解析を行った。解析はMarc mentat 2020(MSC社)を用い、非線形領域まで計算し降伏後の挙動を得た。

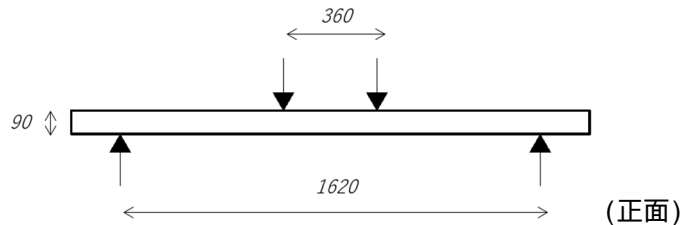


図2 4点曲げの概要図(単位: mm)

解析は(1)で求めた繊維方向の引張ヤング率、引張強度、圧縮強度、半径方向の引張ヤング率、引張強度、圧縮強度をシラカンバ、ダケカンバそれぞれ入力した。その他の弾性常数は文献値^{1,2)}に従った。表1に解析に入力した値を示す。表中赤字で示したものは今回の試験で得られたデータに基づく(髄からの距離が50mm以上のデータの平均値)。シラカンバ、ダケカンバで黒字の数値は文献値のマカンバの値を繊維方向ヤング率との比で割り返したものをを入力した。

表1 解析に入力した弾性常数と強度

	E_L	E_R	G_{LR}	L_C	L_T	R_C	R_T	LR	LR45_C
シラカンバ	11347	793	674	42.2	137	8.4	8.0	15.0	5.96
ダケカンバ	14117	1080	838	57.9	176	12.3	13.6	12.1	4.79
トドマツ	10300	1010	533	25.1	108	1.9	6.9	6.4	4.70

- 1) (独) 森林総合研究所: 改訂4版 木材工業ハンドブック、丸善株式会社、東京、2004
- 2) 山井良三郎: 木材の圧縮異方性に関する研究、林業試験場研究報告 113、57-105、1959

(3) 外側のラミナにシラカンバ、ダケカンバを配置した集成材の作製と試験

北海道大学天塩研究林にてシラカンバ、ダケカンバそれぞれ3個体を長さ2.2mで根本側より玉切りし、枝分かれの無い原木を供試材とした。トドマツは北海道上川郡美瑛産の長さ3.65m、径級24cm以上の原木24本を供試材とした(表2)。原木の集成材の接着剤に水性高分子イソシアネート系接着剤(オーシカ社製主剤ピーアイボンド、架橋剤H-50)を用いた。塗布量は250g/m²、圧縮圧力は1.2MPaとした。ラミナの配置にあたり、木表と木裏が交互になるよう接着した。圧縮時間は1時間とし、圧縮後約1日室温下で養生させた後、JASの集成材の曲げ試験法に基づき、4点曲げ試験を行った(写真4)。

表2 ラミナを作製した原木のデータ

	原木本数	末口径(cm)		動的ヤング率(kN/mm ²)	
		Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
シラカンバ	5	26.4	2.1	10.09	1.10
ダケカンバ	7	24.9	1.8	14.79	0.49
トドマツ	24	27.0	1.1	8.56	1.18

*Ave.は平均値、S.D.は標準偏差をそれぞれ表す。

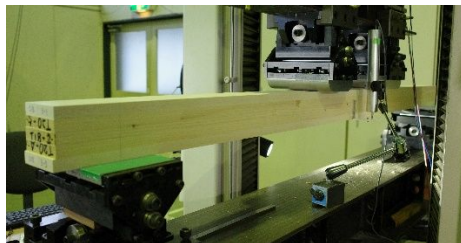


写真4 曲げ試験の様子(最外層:シラカンバ)

4. 研究成果

(1) 無欠点小試験体による基礎的物性試験

繊維方向の引張試験、繊維方向の圧縮試験、半径方向の引張試験、半径方向の圧縮試験の結果のうち、の結果で、髄からの距離を横軸にしたものを図3~6に示す。

引張方向の強度の方が圧縮試験の結果よりもバラツキが大きかった。これは、両試験における終局に至るメカニズムの違いに起因していると考えられる。いずれの条件でも髄からの距離が大きくなるにつれ、値が高くなる傾向が見られた。

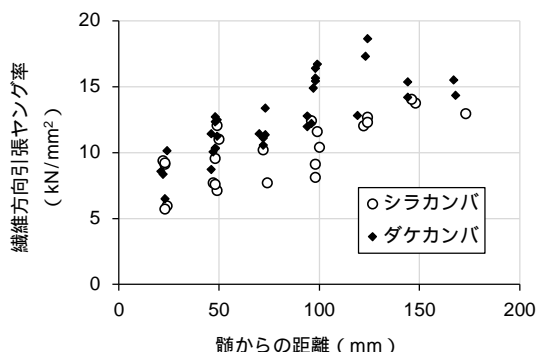


図3 繊維方向引張ヤング率の樹幹内半径方向の分布

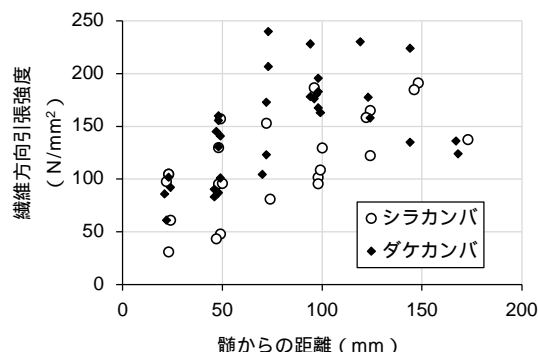


図4 繊維方向引張強度の樹幹内半径方向の分布

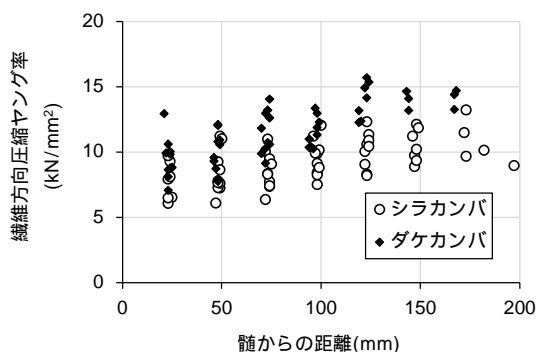


図5 繊維方向圧縮ヤング率の樹幹内半径方向の分布

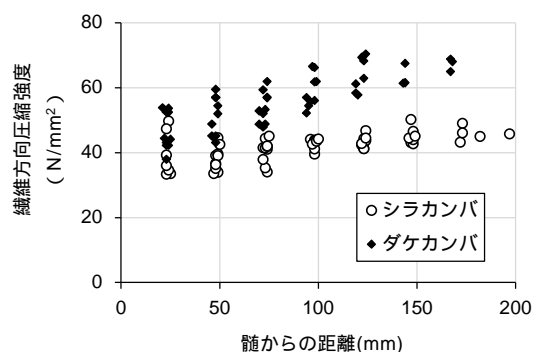


図6 繊維方向圧縮強度の樹幹内半径方向の分布

(2) 外側のラミナにシラカンバ、ダケカンバを配置した集成材の曲げ性能の解析

図7に有限要素解析の結果での荷重-変形曲線を示す。材料のヤング率、強度が高いダケカンバの方が集成材としての曲げ剛性、曲げ強度において高くなった。

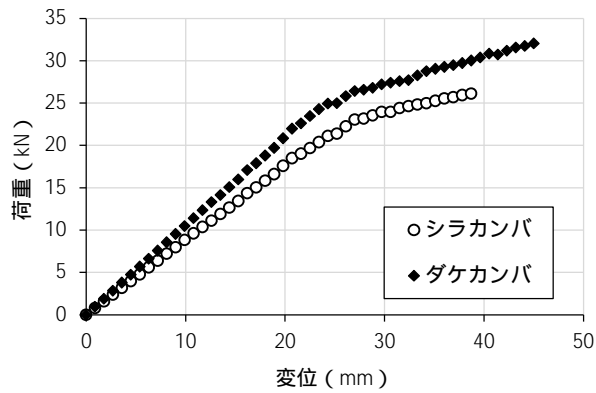


図7 有限要素解析の結果

(3) 外側のラミナにシラカンバ、ダケカンバを配置した集成材の作製と試験

図8、9にシラカンバ、ダケカンバを外側のラミナに配置した集成材の曲げ試験の荷重変位曲線 (Test) と有限要素解析 (FEA) の結果を重ねた図を示す。シラカンバとダケカンバはおよそ試験結果と解析結果が一致した。

一方で、シラカンバとダケカンバと比較して、シラカンバの方が粘り強い結果が得られた。これは表2で示したとおり、ダケカンバの方が供試した原木径が小さく、節や目切れの影響がシラカンバよりも大きく出たためと考えられる。

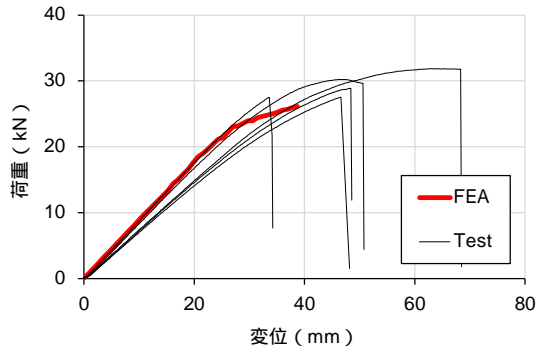


図8 シラカンバの荷重変位曲線

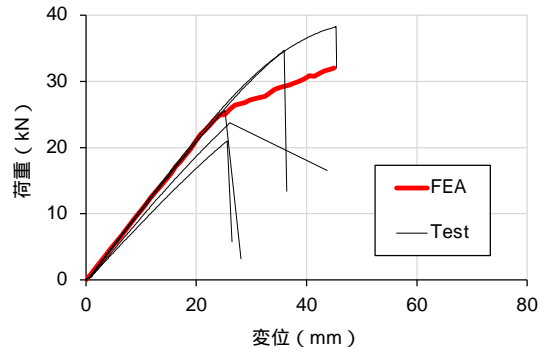


図9 ダケカンバの荷重変位曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村上了、高梨隆也、石原亘、戸田正彦
2. 発表標題 外側のラミナにカンバ類を配置した集成材の曲げ性能
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会（近畿）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------