

木材木口面の近赤外分光分析による材質評価

松本 和茂

Evaluation of wood mechanical properties by near infrared spectroscopy of butt end surface.

Kazushige MATSUMOTO

Keywords : 近赤外分光法, 木口面, 曲げヤング係数, 曲げ強さ, カラマツ

カラマツを対象として、原木樹幹内で樹心から外周部まで連続して隣り合った小試験体を採取し、曲げヤング係数、曲げ強度、密度の実測値と、近赤外分光法による木口面及び柾目面のスペクトルとの回帰分析を行った結果、いずれの形質についても、柾目面よりも木口面から得たスペクトルを用いた方が高い推定精度が得られる傾向が認められた。

1. はじめに

林木の成長過程や施業履歴の違いによる横断面内の材質変動が把握できれば、樹齢や施業履歴等に基づく材質予測が可能となる。カラマツのような樹齢や成長量の違いによる材質の変動が大きい樹種において、建築用材に適した材を安定的に得るためには、このような材質予測が重要である。

近赤外分光法は、迅速な非破壊・非接触分析が可能であることから、すでに食品、薬品、化学工業などの分野においては製造ラインに組み込む成分分析装置として実用化されている。また近年の研究から、同法によって木材の諸性質を精度良く推定できることが示されている^{2,4)}。これらの研究では、測定対象が製材の場合、木材の縦断面(柾目面又は板目面)において分析を行っているものがほとんどであり、特に横断面(木口面)における分析の推定精度に焦点を絞った事例はみられない。木材横断面の近赤外分光分析によって強度や密度などの材質が精度良く推定できれば、原木段階あるいは採取した木口円板で、断面内の部位ごとの材質を推定できる可能性がある。

そこで本研究では、カラマツを対象として、原木樹幹内で樹心から外周部まで連続して隣り合った小試験体を採取し、曲げヤング係数、曲げ強度、密度の実測値と、近赤外分光法による木口面及び柾目面のスペクトルとの回帰分析を行い、これらの材質の

推定精度を検証した。

2. 試験方法

2.1 試料原木

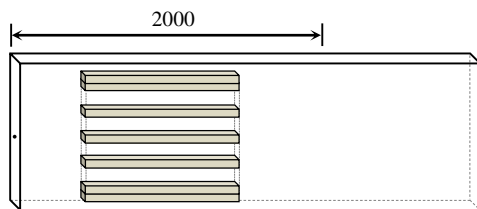
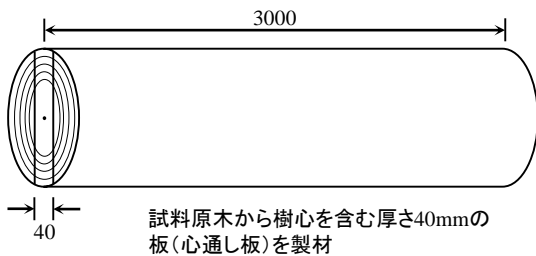
試料原木として、佐呂間町字中園のカラマツ人工林(佐呂間町有林48林班3小班, 55年生)から60個体の原木の1番玉(材長3m)を採取した。試料原木を選ぶ際には、林分の胸高直径の毎木データに基づき、試料原木の胸高直径の分布が林分の胸高直径の分布と近くなるよう配慮した。試料原木の末口径の平均値は28.7cm, 最小値は16.8cm, 最大値は41.1cmであった。試料原木の寸法、重量、木口面打撃音の固有振動数を測定し、動的ヤング係数(E_{fr})を算出した。試料原木の概要を第1表に示す。

2.2 無欠点小試験体の作製

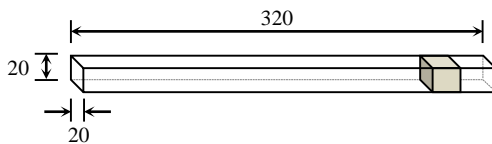
試料原木からの試験体作製の流れを第1図に示す。まず、試料原木から厚さ40mmの心通し板を製材し、人工乾燥後に板厚を20mmに仕上げ、板の末口寄りの2m区間から、節が入らないように長さ360mm程度の部位を切り出した。次に、樹心から20mm区切りで外周部まで連続した断面20×20mm, 長さ 試料原木から樹心を含む厚さ40mmの板(心通し板)を製材320mmの曲げ試験用試験体を可能な限り採取した。得られた小試験体の総数は464個であり、原木1本あたりからの小試験体の採取個数は平均7.7個(最小5個, 最大17個)であった。

第1表 試料原木の概要

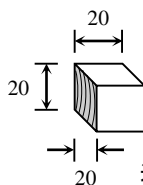
	末口径 (cm)	元口径 (cm)	密度 (kg/m ³)	E _{fr} (kN/mm ²)
平均 (最大～最小)	28.7 (16.8～41.1)	32.4 (17.8～47.5)	660 (563～971)	9.66 (7.00～12.08)
標準偏差	5.9	7.1	60	1.22



曲げ試験体



曲げ試験終了後の試験体の非破壊部から長さ20mmのブロックを採取



(単位:mm)

近赤外分光分析用試験片

第1図 試験体作製の流れ

2.3 無欠点小試験体による曲げ試験

曲げ試験は、JIS Z 2101木材の試験方法に準拠して、スパンを辺長の14倍の280mmとした中央集中荷重方式で行った。試験にはインストロン型強度試験機 (ORIENTEC 製 RTD-2410, 曲げ試験容量 50kN) を用い、加力ヘッドの移動量を1mm/分として試験した。荷重は容量10kNのロードセルで計測した。変位はレーザー変位センサ (KEYENCE IL-065, 分解能1/500mm) を用いてスパン中央の試験体下面の変位を計測した。最大荷重から曲げ強さを、比例域における荷重とスパン中央たわみの関係から曲げヤング係数を算出した。曲げ試験終了後の試験体から、近赤外分光分析用のブロックを採取し、残りの部分を用いて全乾重量法により含水率を測定した。

2.4 近赤外スペクトル測定とデータ解析

近赤外分光分析用ブロックの寸法、重量を計測して密度を算出した後、木口面と柁目面の近赤外スペクトルを計測した。

近赤外スペクトル計測は、Bruker Optics社製のMATRIX-Fを使用し、拡散反射スペクトルを測定し

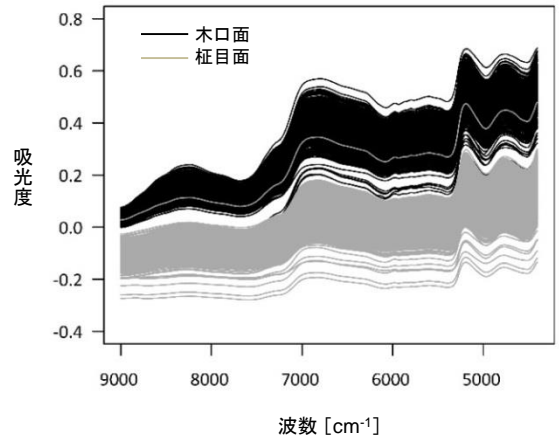


第2図 近赤外スペクトル計測の様子

第2表 曲げ試験の結果

	MOR (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
平均	74.2	10.8	484
最小	18.0	3.6	318
最大	143.8	21.1	721
標準偏差	28.6	4.3	90
変動係数	38.6 %	40.0 %	18.6 %

MOR: 曲げ強さ, MOE: 曲げヤング係数



第3図 計測した近赤外スペクトル

第3表 回帰分析の結果

形質	測定面	スペクトル処理	最適主成分数	R ²	RMSEP
MOR (N/mm ²)	木口面	Original	12	0.79	13.23
		2nd der.	4	0.83	11.94
		SNV	12	0.81	12.64
	柁目面	Original	16	0.76	14.08
		2nd der.	4	0.68	16.26
		SNV	13	0.78	13.43
MOE (kN/mm ²)	木口面	Original	15	0.93	1.17
		2nd der.	8	0.91	1.31
		SNV	16	0.92	1.21
	柁目面	Original	15	0.82	1.83
		2nd der.	6	0.76	2.10
		SNV	13	0.83	1.79
密度 (kg/m ²)	木口面	Original	7	0.88	30.77
		2nd der.	4	0.88	31.64
		SNV	4	0.88	31.19
	柁目面	Original	15	0.82	38.30
		2nd der.	7	0.72	47.72
		SNV	13	0.81	38.82

MOR: 曲げ強さ, MOE: 曲げヤング係数, R²: 決定係数, RMSEP: 予測標準偏差
 スペクトル処理 (Original: 無処理, 2nd der.: 二次微分処理, SNV: 正規化処理)

た。測定条件は、波数域12000~4000 cm⁻¹、分解能8 cm⁻¹、スキャン回数16とした。計測の様子を第2図に示す。

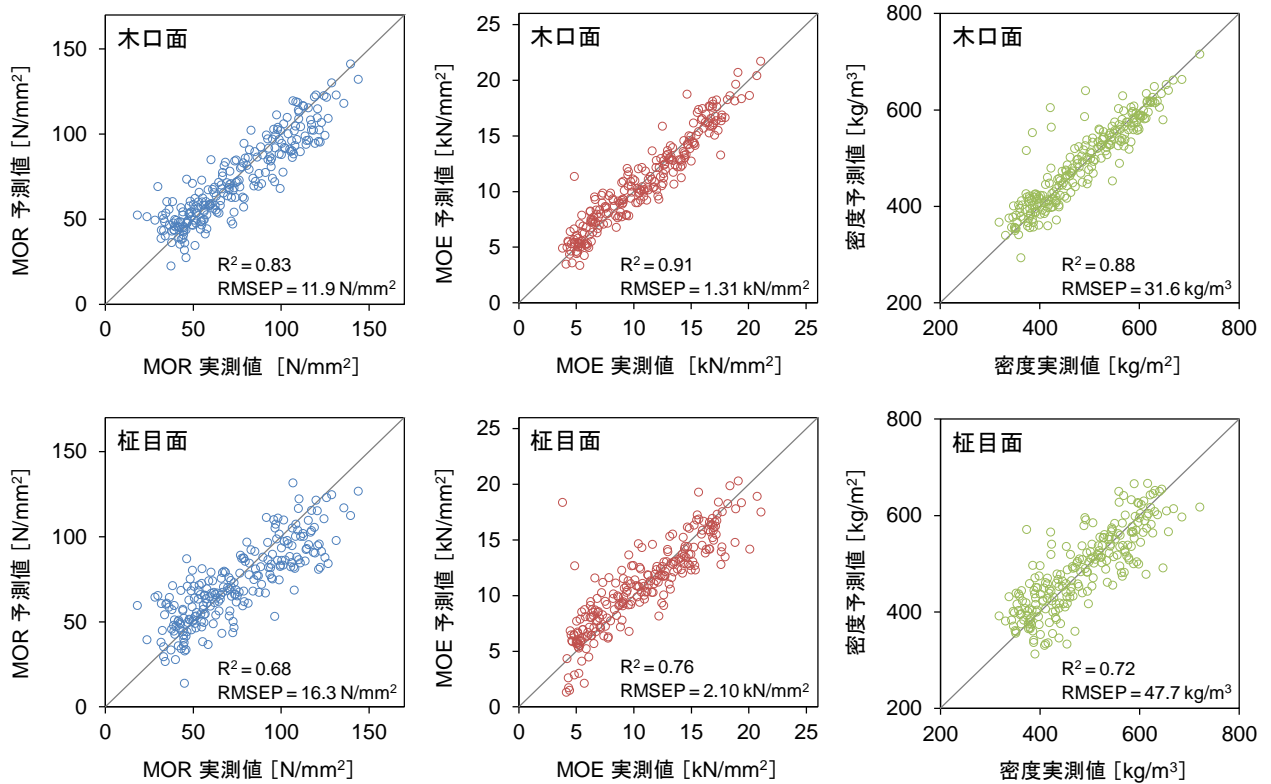
得られたスペクトルデータを説明変数と考え、曲げ強さ、曲げヤング係数及び密度の推定を行った。上記測定条件で得られたスペクトルデータは約1200次元の高次元データになることから、推定モデル構築にはPLS回帰法を適用した。スペクトル処理の影響を検討するため、無処理データと併せ、2次微分(21ウインドウ幅、2次関数近似)及び正規化処理を施したデータについても解析を実施し、それぞれの推定精度の比較を行った。得られたサンプルの総数

は464個であったが、そのうちのランダムに選んだ半数を推定モデル作成用で使用し、残りの半数を得られた推定モデルの評価のための未知試料として用いた。

3. 試験結果

3.1 無欠点小試験体による曲げ試験

曲げ試験の結果を第2表に示す。未成熟材部である樹心部から成熟材部である外周部まで連続した部位から試験体を採取したことにより、曲げ強さ、曲げヤング係数、密度のいずれの形質においても、最小から最大までの幅が広い回帰分析に適したサンプル



第4図 回帰分析の結果(二次微分処理データによる実測値と予測値の回帰)

リングを行うことができた。

3.2 近赤外スペクトル解析

木口面及び柁目面より収集した近赤外スペクトルを第3図に示す。図から明らかなように、木口面から得たスペクトルの吸光度の方が柁目面から得たスペクトルよりも高い値を示した。これは木材の組織構造に起因すると考えられる。

回帰分析の結果を第3表及び第4図に示す。いずれの形質についても、柁目面よりも木口面から得たスペクトルを用いた方が良好な推定結果が得られる傾向が認められた。例えば、曲げヤング係数推定において、柁目面スペクトルでは決定係数0.76~0.83、予測標準誤差1.79~2.10 GPaであったのに対し、木口面スペクトルでは決定係数0.91~0.93、予測標準誤差1.17~1.31 GPaであった。スペクトルの処理条件については、2次微分したものが最適主成分数の大幅な減少が認められ、無処理や正規化処理した場合よりも少ない説明変数で推定できる結果となった。これは、2次微分処理したスペクトルから得られた推定モデルの汎化性能が高いことを示唆している。

4. まとめ

カラマツを対象として、原木樹幹内で樹心から外周部まで連続して隣り合った小試験体を採取し、曲げヤング係数、曲げ強度、密度の実測値と、近赤外分光法による木口面及び柁目面のスペクトルとの回帰分析を行った結果、いずれの形質についても、柁目面よりも木口面から得たスペクトルを用いた方が良好な推定結果が得られる傾向が認められた。

木口面の近赤外スペクトル測定によって精度の高い材質の推定が可能であれば、原木の段階で木口断面の部位ごとの材質推定への応用が期待できる。この技術の実用化に向けては、チェーンソー切断による凹凸のある粗い木口面への適用可能性や、原木の伐倒、運搬時に付着する土や泥などによる汚染の影響等についての検討が必要と考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、鳥取大学農学部生物資源環境学科 藤本高明准教授から、試験方法、データ解析について多大なるご指導をいただきまし

た。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 岩本睦夫, 河野澄夫, 魚住純: 近赤外分光法入門, 幸書房, (2002).
- 2) Tsuchikawa, S., Hayashi, K., Tsutsumi, S.: Mokuzai Gakkaishi 37, 58-760 (1991).
- 3) Fujimoto, T., Yamamoto, H., Tsuchikawa, S.: Applied Spectroscopy 61, 882-888 (2007).

- 4) Fujimoto, T., Kurata Y., Matsumoto, K., Tsuchikawa, S., :Journal of Near Infrared Spectroscopy 16, 529-537 (2008).

—技術部 生産技術グループ—
(原稿受理: 17.3.2)