

氏名	古川郁夫 ふるかわいくお
学位の種類	農学博士
学位記番号	論農博第829号
学位授与の日付	昭和55年1月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	針葉樹材の縦引張破壊のフラクトグラフィ的研究

論文調査委員 (主査) 教授 原田 浩 教授 中戸 莞二 教授 山田 正

論文内容の要旨

本論文は、針葉樹材の縦引張による細胞壁の破壊を、主として走査電子顕微鏡 (SEM) を用いてフラクトグラフィ的に研究し、その結果を3章にとりまとめたものである。

第1章では、単一仮道管における破壊について述べている。まず、SEMによる観察方法を確立し、スギの早・晩材仮道管を試料として動的観察法によって破壊過程を、またスギほか9樹種について静的観察法によって破壊先端の形態を調べ、次のことを明らかにした。破壊過程についてみると、破壊はほとんど放射組織との交差域の R-T 壁孔で始まり、次いで S_2 のマイクロフィブリルの切断を主とする切断破壊、さらに S_2 のマイクロフィブリル間の裂けを主とする裂け破壊が続いて起こる。仮道管壁の最厚層 S_2 の破壊形態は基本的には6つに類別できる。これらの破壊形態は S_2 中での亀裂の先端に支配的に作用する応力の種類と作用方向によって決まる切断および裂けそれぞれの I~III 型、計6つの破壊様式に対応して生じると推定される。しかし S_2 全体の破断面は、これら複数の破壊様式によることが多いため、これを切断破壊優先型、裂け破壊優先型、混合型の3つに分類し得た。仮道管壁からリグニンやヘミセルロースを除去すると S_2 の破断面は切断破壊優先型となるのに対し、 S_2 のマイクロフィブリル傾角が比較的大きい場合や湿潤状態では S_2 は裂け破壊優先型の破断面を呈する傾向がある。なお、リグニンを除去した S_2 の破断面上に同心円状模様が現れることから、 S_2 には潜在的にラメラ構造が存在することが推定される。

第2章では木材の縦断切片における破壊について述べている。厚さ 60~120 μm のスギの早・中間・晩各材を試料とし、ノッチ付き切片を用いて重複細胞壁の破壊の過程と形態を調べ、次のことを明らかにした。破壊過程についてみると、亀裂は必ずノッチの先端に発生し、この亀裂ははじめは緩徐に伝播 (SCP 破壊) し、次いで急速に伝播 (RCP 破壊) して切片は2つに破断する。SCP 破壊は比較的仮道管壁の厚い中間材切片に最も明瞭に見られ、薄壁の早材切片では RCP 破壊が顕著である。重複細胞壁中における亀裂の伝播様式は、早材切片では両細胞壁を同時に主として切断破壊によって、中間材切片では片側の組胞壁中を進む亀裂がその先端で隣接壁の S_2 に裂け破壊を引き起こすことによって、それぞれ進行する。また晩材切片では亀裂が隣接壁へ伝播する途中で両細胞壁間に剝離破壊を生じる。切片の破壊線の形状は、

亀裂伝播速度が大きいほど直線状となり、仮道管壁が厚いほど波状もしくは階段状となる。SCP 破壊では S_2 の裂け破壊と S_1 近くでの剝離破壊が存在する。RCP 破壊では S_2 の裂け破壊と切断破壊の両者が存在し、破断面上に特徴のあるひだ状模様が見られる。なお、このひだの方向は壁中での亀裂の伝播方向を示唆するものと推定される。

第3章では、仮道管の有縁壁孔の構造と破壊について述べている。R-T 壁孔の壁孔縁の構造を調べるとともに、T-T 壁孔（仮道管間の壁孔）と R-T 壁孔での縦引張破壊に対する寄与を壁孔縁の構造と関連させて検討し、次のことを明らかにした。R-T 壁孔の壁孔縁における S_1 と S_2 は、それぞれのマイクロフィブリルの配列方向と直角方向において壁孔の開口部を狭めるように堆積し、なかでも S_2 の堆積が孔口の形状決定に大きく寄与している点で、T-T 壁孔の壁孔縁の構造とかなり異なる。その結果、T-T 壁孔と R-T 壁孔とでは破壊に対する寄与を異にする。すなわち、R-T 壁孔は壁孔中央部で切断破壊されることが多いのに対し、T-T 壁孔は破壊に対して抵抗性が大きい。これは R-T 壁孔の壁孔縁はほとんど S_2 から成りしかも張り出しが不均等なため強度的に弱い構造であるのにくらべ、T-T 壁孔の壁孔縁が均等に張り出ししかも厚い S_1 とこれを裏打ちする BT（ボーダーシッキング）によって構成され破壊しにくい構造であることが原因と推定される。

論文審査の結果の要旨

木材の縦引張破壊特性には木材を構成する種々の微視的ならびに巨視的構造単位の幾何学的配列が密接に関与するため、細胞壁レベルでの破壊機構を組織構造的見地から研究することは極めて重要である。それにもかかわらずこの方面の研究がこれまでほとんどなされなかったのは、現象を直接可視化して検討する手段が確立されなかったことによるものである。フラクトグラフィーは、破断面の観察から材料の破壊に関する情報を得る新しい解析方法であるが、この方法を木材の破壊の研究に応用した例は少ない。

本論文は、針葉樹材の縦引張による仮道管壁の破壊挙動を、主として走査電子顕微鏡を用いてフラクトグラフィー的に研究し、木材の破壊機構について幾多の新知見を得ている。内容のうち高く評価できるのは次の3点である。

1. 木材の縦引張破壊挙動を木材組織構造と関連させて研究するために次の点を考慮している。すなわち、まず材から取り出した単一の仮道管を用いることによって、隣接細胞からの拘束の影響を受けない状態での壁の破壊を観察し、さらに縦断切片を用いて材中で重複細胞壁の状態にある壁の破壊を観察した。これらの観察を可能にするため、単一仮道管をその構造を保持したまま材から取り出すにあたって、脱リグニン処理のような化学処理を伴わない物理的解繊法を考案したこと、また木材切片の縦引張ひずみが小さく極めて短時間に破壊が生起し、破壊過程の観察が困難なことにかんがみ、切片にノッチを入れて破壊の生起を規制する方法を考え出していることなどは、とくに注目に価する。

2. R-T 壁孔は単一仮道管では破壊の始点となり、また切片の破壊では亀裂の伝播と密接な関係があることを、引張破壊において見いだした。一方今まで外力に対して応力が集中しやすい欠陥部と見られがちであった T-T 壁孔は、単一仮道管および切片において、ともに破壊の始点となることがほとんどなく、むしろ亀裂の拡大を阻止する働きがあることを認めた。さらにこれら2つのタイプの有縁壁孔の破壊に対

する寄与の相違が、それぞれの壁孔縁の壁構造に起因するものと考えて検討した結果、R-T 壁孔では壁孔縁がほとんど S_2 を主体としていて強度的に弱い構造であるのに対し、T-T 壁孔では S_2 のほかに厚い S_1 とこれを補強する BT をもち、破壊に対する抵抗性が大きい構造であることを明らかにした。

3. ノッチ付き切片の破壊過程における亀裂の伝播の特徴として、緩徐伝播と急速伝播の2段階の存在を明らかにし、とくに後者の段階における破壊では破断面上に独特なひだ状模様存在を認められた。これについて詳細に検討し、急速伝播による破壊部では裂け破壊と切断破壊の両者が存在し、個々の仮道管壁では破壊の進行方向に対して手前側で裂け破壊がそれに続いて切断破壊が生じること、さらにひだは上から見て、裂けの上端の破断面上では反時計まわり方向に、また裂けの下端に生じる破断面上では時計まわり方向に、それぞれ並ぶことを明らかにした。このことから、これらのひだの方向は壁中における亀裂の伝播方向を示唆するものとしている。

以上のように、本論文は、フラクトグラフィ的研究によって針葉樹材の縦引張破壊機構に関して幾多の新知見を加えたもので、木材構造学、木材工学および木材物理学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は農学博士の学位論文として価値あるものと認める。