

氏 名	上 坂 鉄 うえ さか てつ
学 位 の 種 類	農 学 博 士
学 位 記 番 号	農 博 第 314 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 1 項 該 当
研 究 科・専 攻	農 学 研 究 科 林 産 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	紙の二次元力学特性に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 今 村 力 造 教 授 山 田 正 教 授 田 中 孝

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、紙の二次元力学特性の評価法を確立する目的で、2軸引張り試験機を試作すると共に、それを用いて紙の平面応力下の弾性、粘弾性および破壊じん性を研究したもので、内容は以下のように要約される。

1. 2軸引張り試験機の試作に際し、紙の場合、その平面性を高度に保持することが特に重要であると、試片の正確な装着、荷重・変形の確実な伝達、応力検出の高精度化などを工夫している。延伸方式は均等2軸および1軸拘束1軸延伸が基本的であり、機械ずき紙（直交異方性）では抄紙方向、それと直角および45°方向の試験が必要であると指摘している。次いで応力-ひずみ曲線を通常の1軸延伸の場合のそれと比較し、従来知らなかった興味深い現象のあること、および曲線の初期直線域は二次元線形弾性理論によく従い、機械ずき紙では4個、手すき紙（等方性）では2個の独立した面内弾性定数が容易に得られ、またこれらより種々の工学弾性率およびポアソン比が予測されることを示した。

2. 紙の弾性率の坪量依存性を研究して低坪量ではその関係が非直線的となることを示し、結果を紙の厚さの不均一性の観点から検討した。すなわち通常の方法で測定される紙の厚さには、厚さ変動に関する統計量の分散および最大ピーク値の平均が関与することを理論的に明らかにし、この影響を除くためには膜弾性率（膜力/ひずみ）を用うべきことを示した。さらに膜弾性率も、局所的坪量の変動による影響を受けることを統計的解析および実験によって明らかにし、総括した結果として、膜弾性率-坪量曲線の直線域のこう配を比弾性率と定義、これを採用すべきことを指摘した。なお紙の弾性に及ぼす繊維叩解の影響をこの比弾性率を用いて整理している。

3. 紙の二次元粘弾性特性を応力緩和現象につき研究した。すなわち二次元線形粘弾性構成式を導き、緩和関数テンソルおよび物質の対称性から、面内の緩和関数は機械ずき紙では5個、手すき紙では2個であることを示し、これらが1軸拘束1軸延伸応力緩和試験により得られることを明らかにした。またこのようにして得られる面内緩和関数は、紙の種類によって興味ある相違を示すことを指摘し、また面内緩和関数から緩和スペクトルを求め、繊維叩解の影響は、紙において、緩和時間の長い粘弾性要素の増加とし

て現われることを示した。

4. 紙の面内破壊じん性を開口型き裂をもつ試片につき研究している。応力拡大係数の臨界値は、紙の場合、塑性域寸法とも関連して不備な点があるが、エネルギー解放率に当るJ積分の臨界値 J_c は、試片寸法を適当にすると実用可能なことを示している。なお叩解の影響を研究し、 J_c は叩解によって増大するが、極大値をもち、欠陥を含まない強度値である裂断長の場合とはこの点で傾向を異にすることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

紙は典型的な平面材料であり、実用・学術いずれの面においても、二次元力学特性に関する知見を必要とする場合が多い。しかし紙の分野ではこの方面の研究はほとんど行われていない。本論文は、2軸引張り試験機を試作し、これを用いて紙の二次元力学特性を評価する方法を研究すると共に、その現象面を明確にしようとしたものであり、数多くの成果を収めているが、その主要な点は以下のように要約される。

1. 二次元力学特性を広く研究するには2軸引張り試験機を不可欠とするが、紙の場合の難しさを克服してこの試作を遂げている点は評価に値する。なお延伸方式を研究して基本型を規定し、手すき紙（等方性）および機械ずき紙（直交異方性）について応力-ひずみ曲線を検討、それらの特徴を明らかにした。また曲線の初期直線域は二次元線形弾性理論によく従うことを示すと共に、手すき紙では2個、機械ずき紙では4個の互いに独立した面内弾性定数が容易に求まること、さらにそれらから種々の工学弾性率およびポアソン比が予測されることを明らかにした。

2. 紙は繊維集合体であり、厚さおよび坪量は局所的に変動する。このような紙の不均一性の影響を、弾性率の坪量依存性の観点から研究した。すなわち紙の厚さの変動を理論的に解析すると共に、厚さに依存しない弾性率として膜弾性率（膜力/ひずみ）を採用し、さらに膜弾性率の坪量依存性を理論および実験によって明確にし、坪量に依存しない紙の弾性特性値として比弾性率を定義した。なお弾性に及ぼす繊維叩解の影響をこの比弾性率を用いて整理している。

3. 紙の平面応力下の粘弾性を応力緩和につき研究し、注目に値する結果を得ている。すなわち二次元粘弾性構成式を誘導すると共に、1軸拘束1軸延伸応力緩和試験により手すき紙では2個、機械ずき紙では5個の面内緩和関数の求まることを示した。また種々の紙を供試してこの方法を適用し、紙の種類によってこれらの関数が興味ある相違を示すことを明らかにした。なお緩和スペクトルを求め、叩解した紙のそれは長い緩和時間をもつ粘弾性要素を増加する方向に移動することを指摘した。

4. 紙の平面応力下の破壊じん性は実用上重要な意義をもつが、これを応力拡大係数およびエネルギー解放率にあたるJ積分の臨界値について研究し、紙の場合、より有意義なのは後者であることを示した。また欠陥のない場合の強度値である裂断長と比較し、紙の破壊じん性に及ぼす繊維叩解の影響を検討してその特徴を明らかにした。

以上のように、本論文は、紙の二次元力学特性に関し、一つの評価法を確立すると共に、数々の新知見を加えたもので、このような成果は紙パルプ工学、林産工学に貢献する所が大きい。

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。