

氏 名	田 中 篤 史
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	農 博 第 1015 号
学位授与の日付	平成 10 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 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	Thermographic Studies on the “Essential Work of Fracture” of Paper (熱画像法を用いた紙の実質破壊仕事に関する研究) (主査)
論文調査委員	教授 松本孝芳 教授 増田 稔 教授 奥村正悟

論 文 内 容 の 要 旨

破壊靱性評価法の一つに「実質破壊仕事法」がある。これは、両側切り欠き試片を引張・破壊する際の全仕事量を二成分、すなわち実際に破壊が進行する際に消費される実質破壊仕事と、破壊進行部分周辺に生じる塑性変形域で消費される非実質破壊仕事とに分割し、前者から破壊靱性を求める手法である。『クラック進展前に切欠き先端間（リガメント）を直径とする円形の塑性変形域が形成される』との前提条件を考慮する必要があるが、紙への適用にあたっては、詳しい検討がされてこなかった。本研究は、まず熱画像法（サーモグラフィ）による塑性変形域の出現・成長パターンの連続観察、次いでビデオマイクロスコープを用いたクラック進展開始点の決定を行い、「実質破壊仕事法」の紙への適用の可否を検討することを目的とする。

第 1 章では、未叩解および叩解手抄き紙の両側切り欠き試片を引張破壊する際の熱挙動に関して論述した。全試験期間を通じ、試片の温度変化は主に両切り欠き先端間、特に先端近傍で顕著に見られることを明らかにした。これは、切り欠き近傍では応力が集中して塑性変形・破壊が進行する一方、両切り欠き近傍以外にかかる応力は弾性歪み相当分程度であることを意味する。また、塑性変形域半ばを過ぎた辺りから、両切り欠き先端部を中心とする比較的温度の高い部分が、その後の変形量の増加とともに中心方向に広がり、最大荷重直後に融合することを見出した。この広がりに伴い、最高温度を示す位置が試片中央側へ移動することを確認した。

第 2 章では、多種の機械抄き紙の両側切り欠き試片を引張破壊する際の塑性変形域を熱画像法で検証した。これによって塑性変形域の出現パターンが二通りあること、すなわち、リガメントにぼんやりと浮き上がるように現れるタイプと、両切り欠き先端に集中して現れるタイプがあり、それぞれ得られる破壊靱性値が異なることを見出した。いずれの紙においても、リガメントの小さい試片は前者に属し、リガメントの増大にもなって後者に移行することを確認した。前者の試片においては本法の前提条件である円形塑性変形域の形成が熱画像法的に確認され、結果として前者の試片から得られる破壊靱性値が妥当である可能性が高いとの示唆を得た。

第 3 章では、小規模降伏条件を満たす試片での塑性変形域を線形破壊力学に基づく計算から評価した。この条件を満たす剛直な紙について、計算結果と熱画像との対応が良好であることを示した。また、この対応関係に基づき、何度以上の発熱を塑性変形域として見なしうるのかという「しきい温度」を求めることで、小規模降伏を満たさない試片についても塑性変形域のサイズを評価することができた。以上のサイズ評価に基づいた補正により、リガメント長さによらない破壊靱性値を得ることができた。

第 4 章では、ビデオマイクロスコープを用いたクラック進展開始点の決定法について論述した。未晒し袋用紙の両側切り欠き試片を引張破壊する際の「クラック開口変位 (COD)」を連続測定し、COD-変位（試片全体の変位）曲線が大きく 3 つの領域からなることを見出した。二番目と三番目の領域の境界が画像観察で判断されるクラック進展開始点とほぼ一致することから、この点をクラック進展開始点と判断し、クラック進展開始点の決定法を確立した。リガメントの小さい試片

ではクラック進展開始点と最大荷重点が一致するものの、リガメントの増大にともなって最大荷重に対するクラック進展開始点荷重の比が減少することを明らかにした。リガメントの小さい試片では、いずれもクラック進展開始時には円形塑性域が形成されている（第2章）ことを確認し、塑性変形域の大きさの補正なしに「実質破壊仕事法」が適用できることを明らかにした。

また追補では、第4章の発展として、クラック先端でのCOD, すなわち「CTOD」測定について論述した。理論的には「CTOD」は「J積分」と線形関係にあるとされているが、実験的に両者が等価であることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

紙の強度に関する研究は、一貫して紙の物性研究の中心であり、最近でもクラック存在下での強度、すなわち破壊靱性に関する研究を中心に多くの研究が報告されている。本論文は、紙の破壊靱性評価法の一つである「実質破壊仕事法」を主として熱画像法を用いて解析し、破壊靱性値の決定法を開発したものであり、評価すべき点は以下の通りである。

1) 両側切り欠き試片を引張破壊する際の塑性変形域の出現・成長パターンを分類し、「実質破壊仕事法」の前提条件を詳細に検討した。切欠き先端間（リガメント）の小さい試片がこの条件を満たすことを見出し、これらの試片から得られる破壊靱性値が妥当であることを明らかにした。

2) 小規模降伏条件を満たす試片での塑性変形域を線形破壊力学に基づく計算から評価し、計算結果と熱画像との対応が良好であることを明らかにした。この対応関係に基づいて塑性変形を判断する「しきい温度」を求めることによって、小規模降伏を満たさない試片についても塑性変形域のサイズ評価ができた。以上のサイズ評価に基づいた補正により、破壊靱性値が本来一義的であることを示すとともに、今後、サイズ評価の精度を上げることにより、リガメントの大小に拘わらず、破壊靱性値が得られることを明らかにした。

3) 直径約0.1mmの微小ドットをレーザープリンタでマーキングした試片を用い、ビデオマイクロスコープで切り欠き先端付近を連続観察することによって、破壊靱性試験全般にわたる懸案であったクラック進展開始点の決定法を開発した。リガメントの小さい試片ではクラック進展開始点と最大荷重点が一致するものの、リガメントの増大にともなって最大荷重に対するクラック進展開始点荷重の比が減少することを明らかにした。従来、最大荷重点で代用していた破壊開始点の決定法を確立し、今後、本手法が種々の破壊靱性試験に役立つ可能性を示した。

4) クラック先端近傍の複数点における「クラック開口変位 (COD)」測定から、外挿によって「クラック先端開口変位 (CTOD)」を求める手法を確立した。理論的には「CTOD」は「J積分」と線形関係にあるとされているが、実験的に両者が等価であることを明らかにした。

以上のように、本論文は、紙の破壊靱性試験下での塑性変形域の出現・成長パターンを分類して「実質破壊仕事法」適用の可否を詳細に検討し、破壊靱性値の決定法を開発するとともに、クラック進展開始点の決定法及び「CTOD」測定法を確立したものであり、紙の構造並びに物性研究に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成10年6月22日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。