

アカマツき裂材の破壊靱性試験

林業試験場九州支場 陶山正憲

1. 木材の強度解析への破壊力学の適用について

木材は一般に、異方性の強い不均質材料であるから、その強度的性質は軸方向あるいは面性状によって著しく異なり、その破壊はきわめて複雑な過程をたどることが広く認められている。これは木材が一種の複合材料の機構を示すと共に、材質的には木理・節・心割れ・干割れなどのような、き裂または力学的なき裂と等価と見なされる欠陥（不連続部）を含む異方性材料であることが、その主たる原因の一つと考えられる。すなわち、欠陥材の強度は一般に、欠陥の形状、寸法、方向、位置、分布、相互干渉などによって変化するものと考えられるが、従来の公称応力基準では、これらの材料中の欠陥を正確には評価できない。したがって、木材の基準強度の評価には“平滑材”としての強度と共に“き裂材”としての強度を合わせ考える必要がある。平滑材の強度評価には、従来から公称応力基準が使用されているが、き裂材強度の評価には、現在、破壊力学的手法を適用するのが最も有効であると考えられる。

破壊力学は、欠陥の存在またはその発生が危惧される材料・構造物を、強度上安全に使用するための新しい工学的な方法論であり、その方法論についてはすでに詳細な解説^{1, 2)}や新しい試験法³⁾があるが、この場合は要するに強度の判定基準として、公称応力の代わりに、力学的境界条件をより多く含む応力拡大係数 K のような破壊力学的パラメータを、木材の強度評価に使用しようというのである。

筆者はすでに、セメントモルタル・コンクリート・岩石などについて、破壊力学の適用の有効性を認めたので、本報ではき裂材としての木材の強度解析への破壊力学的手法の適用性を検討するため、ぜい性材料的挙動を示すアカマツき裂材の破壊靱性試験について、若干の考察を行う。

2. 供試材の形状・寸法と破壊靱性試験の方法

木材の破壊靱性試験法はまだ確立されていないので、金属材料の平面ひずみ破壊靱性試験法³⁾を木材にも準用して、図-1に示す3点曲げ片側切欠き梁の曲げ試験を行い、その適用の可否、修正点について検討した。

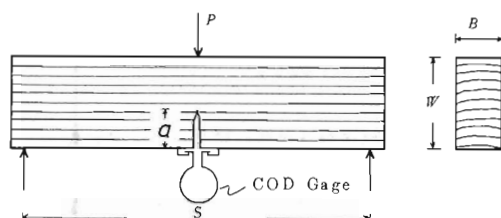


図-1 単一縁き裂をもつ曲げ試験片の形状と荷重方法（半径方向荷重；左は柱目面，右は木口面）

なお金属に対する“切欠き+疲労き裂”の代わりに木材には“人工き裂”をつけた。

供試材は、東京営林局笠間営林署管内の実生アカマツ立木（胸高直径平均42cm、樹令推定50年）を伐倒・玉切りした1m材丸太4本から木取りした心去角材である。なお乾燥方法は、平均含水率22%までは自然乾燥、その後12.2%までは人工乾燥を行った。

次に、試験片の形状・寸法についてはASTMの破壊靱性試験法³⁾に厳しく規定されている。すなわち、標準試験片の条件として、切欠き長さ a は原則として板厚 B に等しく、

$$a = B = 0.45 \sim 0.5 W \quad (1)$$

としている。これを考慮して、ここでは図-1に示す形状の試験片を、表-1の寸法で6種類作製した。

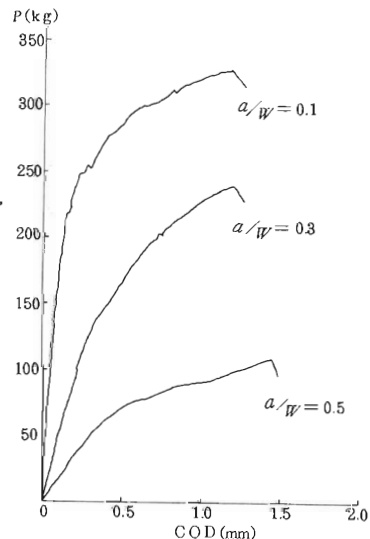


図-2 木材の荷重-き裂開口変位量曲線の一例（アカマツの $P \sim \delta$ 曲線）

表-1 曲げ試験片のタイプ別寸法 (比重平均 0.44)

試験片タイプ	記号	a(cm)	W(cm)	B(cm)	S(cm)
標準試験片	4 25	2.0	4	2	32
	6 35	3.0	6	3	24
	8 45	4.0			
標準外試験片	8 43	2.4	8	4	32
	8 41	0.8			
	8 40				
	8 40	0			

さて、破壊靱性試験では、破壊の進行に伴うき裂開口変位量 (COD) の変化を、き裂開口部で測定する必要がある。ここでは、試験片のき裂開口部両端に脱着可能なゲージ支持具を接着剤で固定し、これに特殊なリング状のき裂開口変位計を取付けた。変位計と荷重計の出力は動ひずみ測定器で増巾して X-Y レコーダに自記させた。荷重-き裂開口変位量曲線の一例を図-2 に示す。

3. 木材の破壊靱性試験の結果と K_{Ic} の計算

破壊靱性試験では通常、破壊開始時の荷重 P_0 を図-2 のような $P \sim \delta$ 曲線から決定することになっている。この方法については既報¹⁾などに詳述しているが、要するに $P \sim \delta$ 曲線のタイプ別に、有効な K 値 (K_{Ic}) を計算するのに必要な荷重 P_0 を決めるのである。この方法で P_0 が決定されたら、これを用いて K_{Ic} を次式で計算する。

$$K_{Ic} = 6 Y M \sqrt{a} / BW^2 \quad (2)$$

ここで、 M はスパン長 S のき裂部における曲げモーメントで $M = PS/4$, $Y = a/W$ 比のみで決まる無次元補正係数である。

図-3 には、3 点曲げによるアカマツ材の破壊靱性試験結果の 1 例を示す。ここで K 基準強度 $K_{I,r}$ は P 基準強度 P_f を用いて、式(2)で計算した値である。

4. 木材の破壊靱性の K 依存性に対する検討

欠陥の寸法を変えると荷重基準の木材強度 P_f は、 a/W 比にしたがって著しく変わるが、 K 基準強度 $K_{I,r}$ は a/W 比にかかわらず大きな変動が見られない。この事実から欠陥材の材料強度値としては P_f より $K_{I,r}$ の方が優れていることがわかる。

また $K_{I,r}$ を一定としたときの P_f の推定値を図-3 に曲線で示し、 P_f の実験点と比較すれば、 K 基準強度の有用性が一層明らかに認められる。ただし、き裂が特に浅い場合 ($a/W \leq 0.1$) については、さらに実験法を再検討して、 K 値の若干の低下現象の原因を追求する必要がある。

次に木材の強度に与える試験片の寸法効果の影響をみるため、寸法のみ異なる 3 種類の相似試験片について、破壊条件を P と K で整理すれば図-4 になる。結果として P_f は、当然のことながら、試験片の寸法によって大きな影響を受けるが、これに対して $K_{I,r}$ は試験片の寸法効果の影響をほとんど受けないことがわかった。試みに $K_{I,r} = 354 \text{ (kg} \cdot \text{cm}^{-3/2})$ として、試験片の代表寸法 W に対する P_f を計算し、その上に実験値を

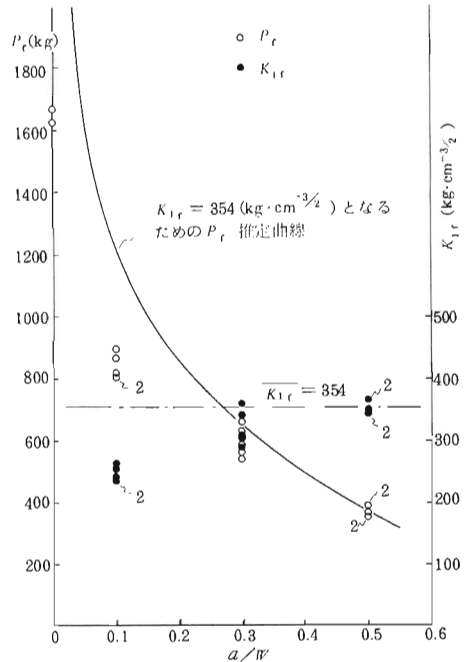


図-3 木材試験片の欠陥寸法に対する P 基準強度と K 基準強度の比較 (アカマツ試験片の 84 シリーズ使用)

プロットしてみると、図のように実用上十分な一致が得られる。したがって、 K 基準強度は寸法効果を考慮した破壊荷重の推定も可能であることが推論される。

試験片作製にあたり、助言・便宜を与えられた林試木材部山井良三郎科長、木下叙幸技官に深謝する次第である。

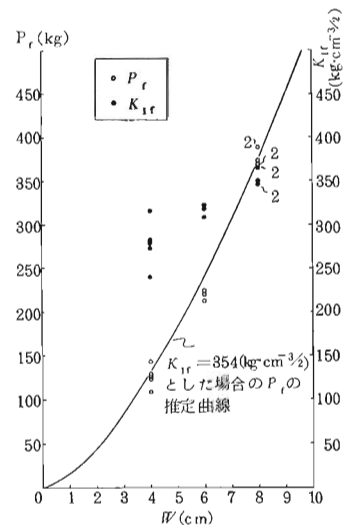


図-4 木材の破壊荷重におよぼす試験片の寸法効果 (アカマツの相似試験片による比較)

引用文献

- (1) Brown, J. W. F. et al: ASTM STP 410, 1~129. 1967
- (2) 北川英夫: 機械の研究, 24(1), 17~24. 1972
- (3) ASTM Committee: ASTM Standard, E399-74. 1974
- (4) 陶山正憲: 新砂防, No 101.9~16. 1976