木工加工における強度測定方法の教材開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 広瀬, 幸雄, 黒瀬, 雅詞, 村田, 昭治 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/23372

木材加工における強度測定方法の教材開発

広瀬幸雄，黒瀬雅詞*，村田昭治

The Study of Teaching Materials of Strength Measuring Method in Wood Working.

Yukio HIROSE, Masashi KUROSE and Shoji MURATA

はじめに

中学校学習指導要領の改訂にしたがって，指導目標や指導内容が変更された。なかでも技術・家庭科は特に大きな訂正がなされた科目と言える。大きくは男女の共通履修科目となったことと，従来の教科の領域が整理統合され必修4領域と選択7領域になったことの二点があげられる。さらに，技術・家庭科の各領域だけでなく「学年や教科間でも相互の関連性を考え，系統的，発展的指導ができるように配慮すること」[1]が明記されたことは重要視すべき課題であると考える。

そのためには技術・家庭科という工学・農学系（自然科学）科目の視点を培っていくことが重要であると考え，より科学的に，または社会性を考慮した単元を構成していかなければならないと考える。近年の理工学系離れが問題とされている点でも急務の問題である。

技術教育の目標は「生活に必要な知識と技術の習得を通して，家庭生活や社会的技術との関わりについて理解を深め，進んで工夫し想像する能力と実践的な態度を育てる」[1]と記されている。故に，日常生活に関係する機器または器具類を用いて事象の原理や仕組みについて理解し，これらを使用する技能を高めるための教科になるべきと考える。

本研究では，加工する「技能」を身につける木材加工領域に着目した。中学校技術科の木材加工領域における教材は主に加工を目的とした手工具の技能習得が中心である。木材を加工する教材はこれまでにも組立ユニットなどが多種多様に製作され，生徒の興味を引く題材が指導者によって選択されている。木材加工では簡単な組立を含んだ工作物を製作できるようになることに主眼がおかれている。

一方で，ただ単に組み立てる技術を身につけるだけでなく，構造や強度を理解して製作できるようになることが望ましいとの考えもある。しかしながら，木材を建築材料，道具としての強度を評価する教材は比較的少なく，工学や現実社会における強度に関する問題を理解する上でも強度評価に関する教材を設けることが必要と考える。現在の社会問題ともなってる耐震性や強度に関する知見を深めるためにも，強度評価に関する題材を技術科教育において学習することは他教科においても派及効果は大きいであろう。また，限られた時間内において材料加工を学ぶためには，木材加工における学習を金属やプラスチック，複合材料などに転移し，幅広い技術的能力を深め，材料強度についての基本的な学習が大切である。

材料に対する強度に関する知識を養う上で，材料強度学的な観点からの教材はほかにもいくらか提案されている。そこで，今回は切り欠きを導入した材料における破壊力学的[2]な観点より教材化を試みた。ほぞ加工などで切り込み過

*金沢大学教育学部非常勤講師

ぎによって切り欠きを導入した場合など，材料の強度にどのように影響するか理解を深めることによって，加工における切削技能や注意力を養うためにも有効であると考える。この概念は木材加工のみではなく，金属加工領域も含めた材料加工として広範囲に適用できるため，複合教材[3]としての役割を担っている。

題材はコースティックス法[4][5]と呼ばれる光学的手法を用い，外力とき裂先端にかかる応力の大きさを直接観察する方法である。コースティックス像の大きさを測定し，き裂欠陥を把握することの重要性について理解を深めることを目的とする。この手法は光学的技法を用いているので，破壊実験の中でも安全性が高く，中学における破壊実験として適していると考える。

ただし，応力や破壊力学の概念は中学校の学習領域から逸脱しているため，「力」などの平易な言葉に置き換え，理論そのものには言及しない。本論中においても，理論については概略を示し，深く解説しないことを付記しておく。

１．木材の強度向上

強度評価にふれる前に，木材の強度向上に関する木質先端材料[6]の開発について概略を述べる。

一般に教材として用いる材料は加工が容易な基礎的な木材（杉，ラワンなど）である。しかしながら，現代科学は材料革命の真最中であり，新素材の開発が日進月歩のごとく行われている[6]。よって，基礎的材料だけでなく新素材に目を向け新しい知識を学習することも生徒にとって興味を持ちやすく有益と考える。

材料は金属をはじめ，高分子，セラミックス，複合材，電子，木質，医療用と多岐にわたり，それぞれニーズに適した材料が用いられる。今回注目する木質材料も近年著しい発展を遂げており，化学的処理が施され従来の概念を打ち破る木材も開発されている。例えば，寸法安定性の高い熱処理木材やエーテル化木材やエステル化木材，強度的性質の優れたフェノール樹脂処理木材，熱流動性を持つプラッスチック化木材などがある。これらの材料を用いた構造物は金属材料などを用いて作られた構造物とほぼ同等の強度を示すことになる。

一方，組み継ぎなどの構成による補強の手法は数多く，学習すべき点は多い。木材加工などで製作される工作物の強度は材料力学的な知識から強度計算などが可能であり，机上実験として他の教科でも扱える題材とも考えられる。しかしながら，現実社会では予期せぬ事故が発生することによって多くの犠牲が生じる。これは多くの場合，材料中にある欠陥を起点としてき裂が進展し，破壊にいたるためである[7]。ほぞ加工や釘打ちなども材料中に欠陥を導入しているとも考えられる。このことからも，材料中の切り欠きや介在物などの欠陥が破壊に関与する現象を理解するため，き裂を有する材料を用いた破壊力学実験的な強度評価を教材化することが望ましいと考える[2]。

２．コースティックス理論および実験方法

実験はコースティックス法で行うが，一般的には扱われていない題材であるため，以下に基礎理論，および測定方法について述べる。

２．１基礎理論の概要

コースティックス法の基本原理は以下のようになる。図１の模式図に示すようにき裂を導入したアクリル材などの高分子材料に引張などの負荷をした状態でき裂先端近傍に光を照射すると，き裂近傍における応力集中によって屈折率の変化が生じる。そのために入射した光の光路程が変化し，光の方向が曲げられることによっ

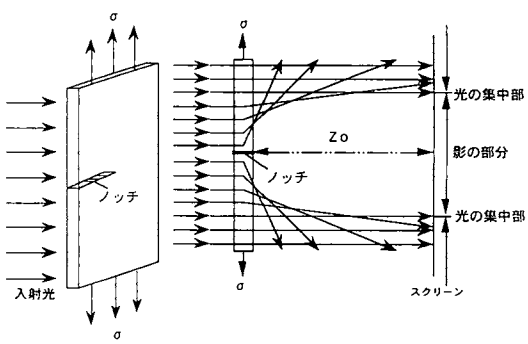
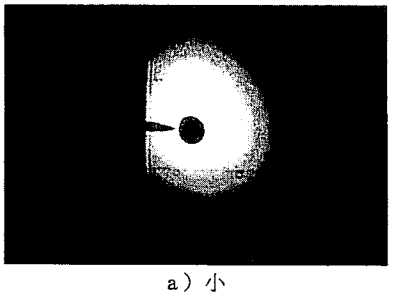
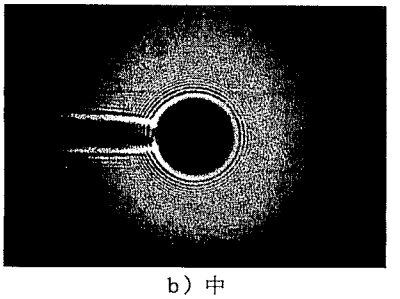


図１　コースティックス像形成の概略図

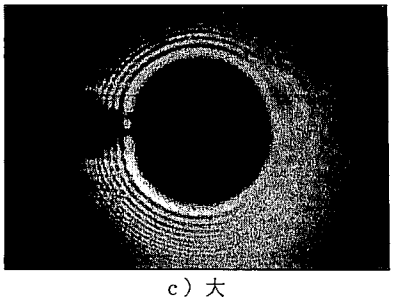
てスクリーンに光のこない領域が生じる。光がこない部分の像の大きさあるいは形状などから応力拡大係数などの破壊力学パラメータを知ることができる[5]。



a）小



b）中



c）大

図2　外力(荷重)の異なる場合のコースティック像

図2はコースティックス像の一例である。光の集中部がコースティックスカーブと呼ばれ，スクリーン上のこの像をコースティックス像と呼んでいる。き裂先端にかかる応力が大きいほど像は大きくなる。この関係から像の大きさを測定すれば式(1)より応力拡大係数の値を求めることができる。ただし，前述のように授業で解説する必要性はないと考える。

$$K_I=\frac{1.671}{\varepsilon z0d\,|c0|}\times\left(\frac{1}{\lambda m^{3/2}}\right)\times\left(\frac{D_t}{3.16}\right)^{5/2} \quad (1)$$

ここでK_Iはき裂開口型の応力拡大係数，D_tはコースティックス像の大きさ，ε,z0,d,$|c0|$は定数であり，$\lambda m^{3/2}$は応力特異性のオーダーである。また，切り欠きの角度が開いたり，切り欠きの角度が斜めになると(1)式も変化することを付記し，詳細については省略する。

2．2実験方法

先述したように木質材料は大きく改善され，他の金属材料と同等の強度を持つものも現れている。もともと重量に対する比強度で比較した場合は一般の炭素鋼よりも木材の方が勝っている[8]。一般の木材は繊維方向に強度が高く異方性を有した材料である。この異方性こそ，木質材料の特徴でもあるが，プラスチック化などの特殊加工によって異方性を緩和し，均質な強度を有するものも開発されつつある[6]。

技術の題材として，ここではき裂を有する材料の強度認識を目的とするため，実験に使用する試料は無色透明なアクリル材を用いることが望ましいと考える。加工性も容易で切り欠きの形状を任意に工夫することができる点からも試料として最適と言える。

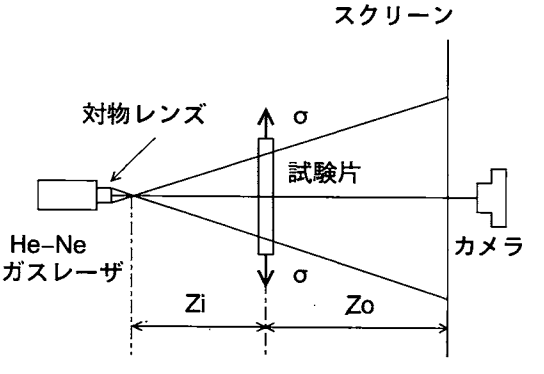
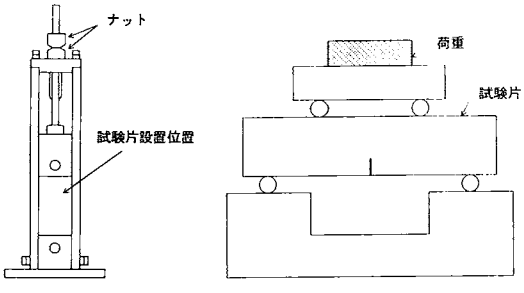


図3　コースティックス実験装置の概略図

図3に示すように光源とスクリーンがあれば実験できるため，正確な距離を決めて固定しておけばよい。光源が発散光や平行光などによって応力を導く基礎式は異なるが，教材化を考慮すると白熱灯にカバーを掛け，一方向にのみ光が照射するように工夫する程度でもよい。ヘリウムネオンレーザなどがあれば必要に応じて見本実験として演示することもできる。この場合，スクリーンまでの距離が長すぎるとコースティックス像が不明瞭になるため，適切な距離が設定できるよう予め指示しておくことが必要である。スクリーンはコースティックス像の大

きさを計測しやすいように，目盛りを予め描いておくとよい。

負荷方法は図４に示すような簡単なジグを製作しておくことで，正確な外力を検出することができる。その前に，自らの手で負荷をかけて予備実験をすることが望ましい。機械的な操作によって外力を変化させる前に，どれくらいの力によってどの程度の応力がき裂先端にかかるかをまず認識しておきたい。参考にバネばかりなどの計測器を用いて外力を計測しておくとよいであろう。



a）引張りジグ　　b）四点曲げジグ

図４　コースティックス実験の外力（荷重）負荷装置の概略図

一般に，破壊力学ではき裂先端の応力状態を応力拡大係数Ｋで表している[7]。これは(2)式のようにき裂の長さに影響するパラメータとなる。

$$K = \sigma\sqrt{\pi a} \qquad (2)$$

ここで，σは応力，ａはき裂長さである。

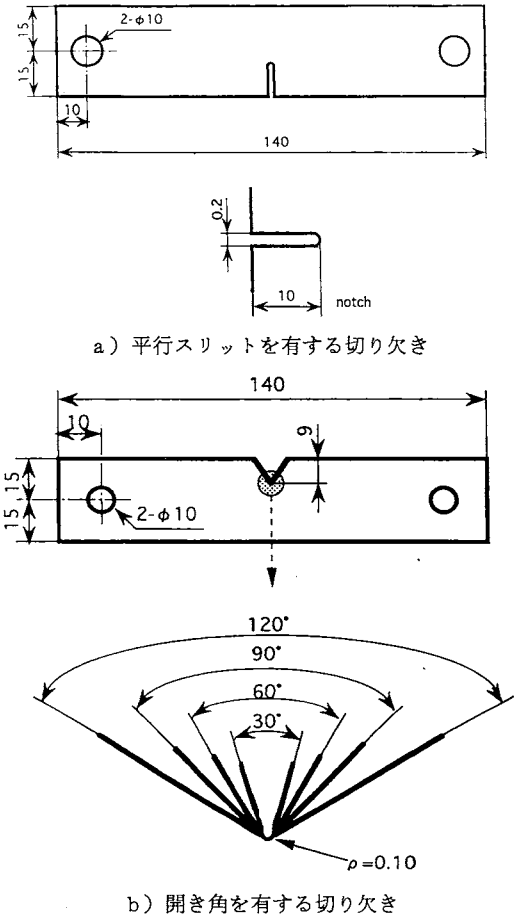
このことより試料には，き裂を導入しておく必要がある。き裂はのこぎりなどを用いて導入してき裂先端の形状を小刀などで加工し，研磨紙などを用いて整えさせればよい。このときき裂長さを個別に変えることによってＫの大きさを変えることができるため，き裂長さによる影響を認識する上でも，授業ではき裂長さを変えた試料を製作して，実験に供することが望ましい。ただし，破壊力学を理解させることが目的ではなく，理論上き裂長さを変化させると応力状態がどのように変化するかを認識することが重要であるため，実験結果を重視し，応力拡大係数についての説明は必ずしも必要ない。

応力負荷ジグは図４に示すような引張り負荷ジグ(a)や曲げ負荷ジグ(b)などが安全性を考えた上でも，中学生に対し適したジグと考える。これらのジグは原理的には簡単であるため，中学生が製作することもできるであろう。

試験片形状はジグに適した寸法をあらかじめ準備しておいたほうがよい。生徒には切り欠きを導入させる作業から行わせたい。この場合，き裂形状が問題となるが，今回の実験では図５のように次の２通りの方法が考えられる。

①平行スリットを有する切り欠き(図５a)

②開き角を有する切り欠き(図５b)



a）平行スリットを有する切り欠き

b）開き角を有する切り欠き

図５　試験片形状

①では切り欠きの角度によってもき裂先端にかかる応力の影響が異なるために，長手方向に対して垂直方向にき裂を導入する。②は①の切り欠きの開き角度を変えて図５b)に示すような試験片を用意させる。このとき生徒にはのこぎりなどを用いて切り欠きの長さや大きさを変えて

試験片を製作させる。その他のき裂形状は授業時間を考慮し，生徒らに自ら計画させることもよいであろう。

3．実験結果

以下にコースティックス実験の結果を示す。ただし，光源はヘリウムネオンレーザを用いている。スクリーンにはコースティックス像の大きさの目安として10㎜間隔ごとに寸法線が引いてある。試験片は図5に示したように板厚t＝2.0㎜とし，き裂先端を研磨紙で最終加工してある。使用しているアクリル材の機械的性質はヤング率E＝91.5MPa，ポアソン比ν＝0.37である。

以下の写真に示すようにき裂先端を中心に光がこない部分が形成されて円状のコースティックス像ができる。このときに計測する像の大きさは光がこない部分ではなく明るい包絡線[5]の形成している部分であることを教示しておくことが重要である。ただし，明確な包絡線が形成されない場合は影部分の外側の境界を計測させるよう指示する。

測定方法は図1および図3にしたがい，光源と試験片の距離は395㎜，試験片からスクリーンの距離は2500㎜として，透過法によりコースティックス像を得る。

3．1平行スリットを有する切り欠き

先に示した図2は無色透明なアクリル樹脂材に片側に応力軸に対して垂直に0.2㎜の平行スリットを導入し引張り負荷をかけた像である。

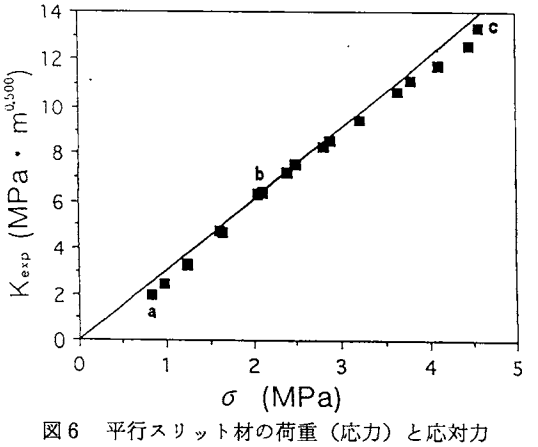


図6　平行スリット材の荷重（応力）と応対力拡大係数の関係（a，b，cは図2のa，b，cに対応）

図2a）～c）に示すように負荷応力値に対してコースティックス像は大きくなることが分かる。その結果，図6に示すように応力拡大係数はほぼ比例関係を有しており，アクリル材を用いた実験結果の精度の良さをうかがわせる。図中の実線は理論値を示しており，工学的にも有効な手法であることが分かる。

3．2開き角を有する切り欠き

図7～9に開き角を有する試料について外力を変化させたときのコースティックス像の結果を示す。どの開き角を有する場合も応力が大きくなるほどコースティックス像は大きくなり，良好な比例関係が現れる。（図10～12参照）ただし，応力値の小さい場合には比較的誤差を生じているが，中学生の実験実習としては問題に至らない大きさであろう。

また、開き角が大きくなるとき裂先端の応力集中係数[7]，つまり，き裂先端に対する応力の集中度は小さくなるためコースティックス像もやや小さくなる傾向がある。

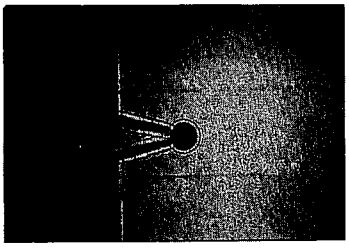
工学的にも開き角度や板厚に対する影響については解明され始めた段階であり，研究レベルとしても比較的高い位置づけであることも指導しておくと学習意欲が高まるであろう。

4．考察

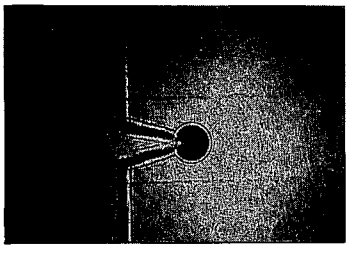
木材加工で扱う題材はアクリルのような無色透明ではなく不透明な木材である。実験結果で示したようなアクリル材での実験は切り欠きに関する知識を得るためには非常に有益な方法である。しかしながら，不透明な木材には利用することができないため，さらに汎用性を広めて木材での実験を試みることができないか疑問が生じる。

ここでは，木材への適用性と教材化について考察する。

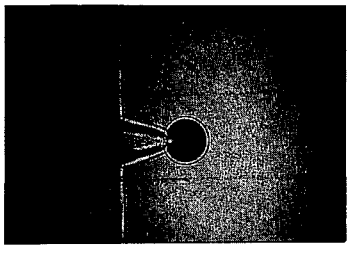
コースティックス法は透過法の他に試料の表面反射を利用した方法がある。図13に示すように試料表面反射型と試料裏面反射型である。木材の場合試料内部を光が貫通することは不可能



a）

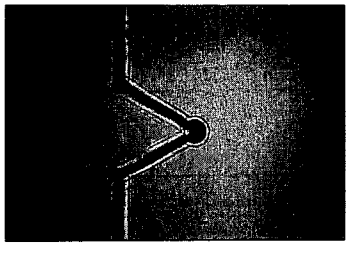


b）

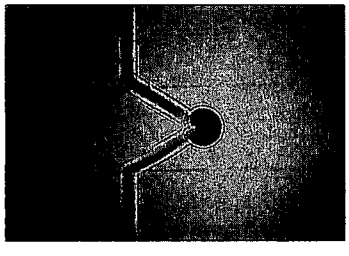


c）

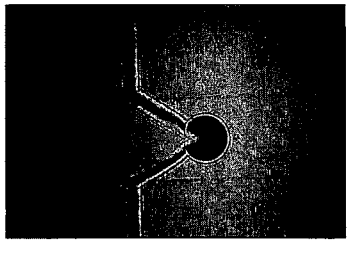
図７　切り欠き30度の像



a）

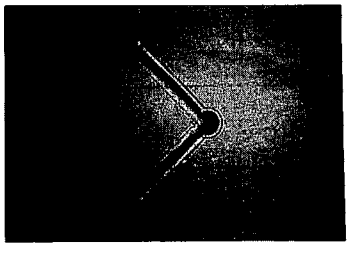


b）

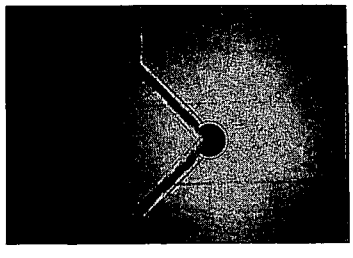


c）

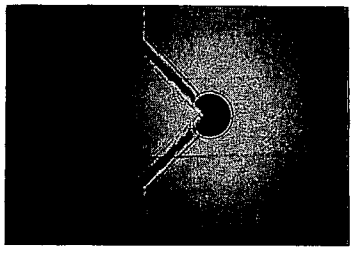
図８　切り欠き60度の像



a）



b）



c）

図９　切り欠き90度の像

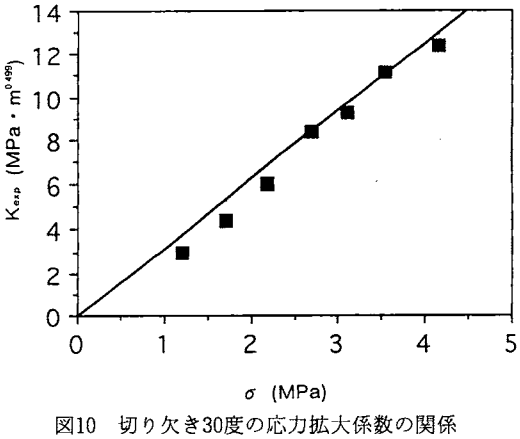


図10　切り欠き30度の応力拡大係数の関係

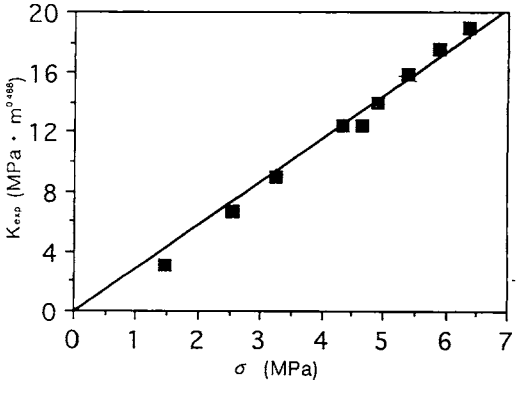


図11　切り欠き60度の応力拡大係数の関係

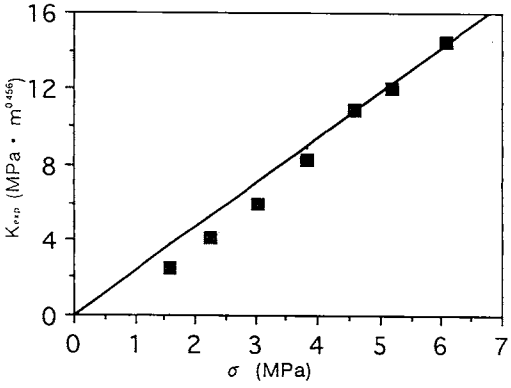
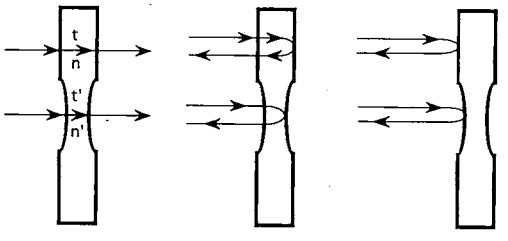


図12　切り欠き90度の応力拡大係数の関係



a）透過法　b）裏面反射法　c）表面反射法

図13　コースティックス実験方法と反射位置

であるため，表面反射型による測定方法が考えられる。試料表面を反射させる方法はいくつか方法があるが，試料表面に反射する物質を付着させなければならない。精密に試料の光路程の変化を調べるためには，密着性に優れ，より薄い膜であることが必要条件である。

方法の一つとして，蒸着法が考えられる。蒸着方法は物理的蒸着法（PVD）と化学的蒸着法（CVD）がある。この場合には，試料に変化を生じさせないためにも，PVDが有効と考える。これは真空中で金や銀の金属ターゲット電子を当てて金属イオンを放出させ，試料に付着させる方法である。

反射法による試験方法は透過法とほぼ同様であるが，スクリーンを透過法とは反対に反射する方向に設置する。

実験の一例として図14に斜めに平行スリットを有する切り欠きを導入したアクリル材で実験した結果を示す。透過法と同様なコースティックス像が得られ，試料が不透明な場合においても充分実験が可能である。これによりアクリル材から各種木材への応用性も明らかである。試験片作りや実験実習などを通しての教材化も大いに可能であると考えられる。

ただし，き裂先端における応力拡大係数の概念を伝えることは材料力学を理解していない生徒にとって混乱を招くのみであるため，メカニズムに関する授業は簡便である必要がある。

前節の実験例で述べたように，簡単な装置と安全な実験によってこれまで目にしたことのない現象を目の当たりにすることは，向学心を駆り立たすことができると考える。また，電流計などの計測器の目盛りが変化したり，一定量の物体が増減することの変化を調べるような理科的な実習ではなく，道具を使って全く関係ない現象を導くことができるため，生徒自身が関心をもって実験に取り組むことができるであろう。

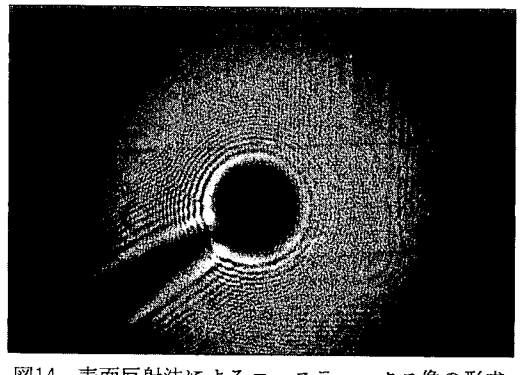


図14　表面反射法によるコースティックス像の形成（アクリル材に金蒸着した斜め切り欠き材）

き裂形状やき裂長さを容易に変化させることができるため，グループごとにテーマを計画して結果を発表し合うことも学習意欲を活発化させることができると思われる。

本研究段階では，授業実践を仮定して教材化への検討を行ったが，以上のような実験結果や考察をふまえ，今後実際に授業を通して検討していく予定である。

まとめ

本研究は中学校技術・家庭科の木材加工領域において，き裂を有する材料の強度評価に関する知識を養うこと，およびき裂による危険性の認識を深めるための教材を開発することについ

て検討したものである。安全性を考慮し光学的な方法を利用したコースティックス法について教材化を試みた結果，以下のようにまとめることができた。

(1)　木材加工分野または金属加工分野での材料のき裂に対する強度の影響を生徒に理解させる教材に適していることが分かった。

(2)　中学生を対象とした破壊力学実験として，安全性が高く，試験器や試験片を自ら製作することも可能であると考える。

(3)　試験片形状に切り欠きを導入することが容易であるため，様々な実験結果を得られることが予想され，自主的な実験に取り組む姿勢を養うことができると考えられた。

謝辞

本研究の実験について金沢大学大学院自然科学研究科生水雅之氏，金沢大学大学院教育学研究科川岸雄一君に協力いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1)文部省：中学校指導書技術・家庭科編，開隆堂(1989)。

2)國尾　武，中沢　一，林　邦彦，岡村弘之，破壊力学実験法，朝倉書店(1990)。

3)津田政明，広坂由美，広瀬幸雄，産業技術学会誌，第34巻４号，229-236(1992)。

4)生水雅之，川岸雄一，佐々木敏彦，広瀬幸雄，日本材料学会第30回Ｘ線材料強度に関するシンポジウム講演論文集，58-63(1994)。

5)清水紘二，高橋　賞，機械の研究，37-4，485-490(1985)。

6)日本材料学会，先端材料の基礎知識(1991)。

7)成澤郁夫，プラスチックの破壊靱性，シグマ出版(1993)。

8)北原覚一，木材物理，森北出版(1971)。