

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 材料の動的破壊じん性の測定法に関する研究  |
| Author(s)    | 中野, 元博  |
| Citation     | 大阪大学, 1990, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/518">https://hdl.handle.net/11094/518</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

|         |                      |          |          |         |
|---------|----------------------|----------|----------|---------|
| 氏名・（本籍） | なか<br>中              | の<br>野   | もと<br>元  | ひろ<br>博 |
| 学位の種類   | 工                    | 学        | 博        | 士       |
| 学位記番号   | 第                    | 9 2 9 5  | 号        |         |
| 学位授与の日付 | 平成 2 年               | 8 月      | 3 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  | 材料の動的破壊じん性の測定法に関する研究 |          |          |         |
| 論文審査委員  | (主査)<br>教授 岸辺 敬三     |          |          |         |
|         | 教授 川辺 秀昭             | 教授 片岡 俊彦 | 教授 梅野 正隆 |         |
|         | 教授 大路 清嗣             |          |          |         |

## 論文内容の要旨

近年、機械の高速化・軽量化に伴って、衝撃荷重が作用する場合の安全性を問われる機会が多くなり、破壊の動力学の早急な確立が望まれている。破壊の動力学に関する研究は、(1)動的な破壊力学パラメータの解析と、(2)材料の動的破壊じん性の測定の2つに大別される。本研究は後者の方であるが、予き裂試験片に衝撃荷重が作用する場合の破壊力学パラメータとして動的応力拡大係数の解析は不可欠なものである。本論文は、その動的応力拡大係数を正しく簡便に解析する手法を提案するとともに、この手法に基づいた衝撃破壊試験方法の開発を行って、実際の材料の動的破壊じん性を測定し、その負荷速度依存性について考察したものであり、次の6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の目的と意義を示すとともに、衝撃破壊に関する研究の現状について記述している。そして、材料の動的破壊じん性を正しく測定するためには、次の3つの基本事項、すなわち、

- (1) 試験片に加わる衝撃荷重、あるいは、き裂に作用する応力波の測定
- (2) き裂先端の特異応力場の強さを表す動的応力拡大係数の解析
- (3) 動的応力拡大係数が動的破壊じん性に達し、破壊を開始する時刻の決定

を満たす衝撃破壊試験法が必要であることを述べている。

第2章では、本研究で提案しているステップ応答関数を用いた動的応力拡大係数の解析方法について述べている。ステップ応答関数とは、破壊じん性試験片にステップ衝撃荷重が作用した場合の動的な効果を表す時間の関数であり、その重ね合わせにより任意の衝撃荷重を受ける試験片の動的応力拡大係数を簡便に解析できることを示している。ステップ応答関数は、単位のステップ衝撃荷重に対する動的応力拡大係

数と静的応力拡大係数の比で定義され、これを有限要素法を用いて求めている。一般に、応力拡大係数の高精度な数値解を得るためには、特異要素の導入など特別な工夫が必要であるが、ステップ応答関数を求める場合には、同一モデルで動的と静的の解析を行って両者の比をとることにより、その離散化の影響が相殺され、特異要素を用いなくとも高精度な解を得ることが可能であると考え、これに基づいた計算方法で、無限板中のき裂に対するステップ応答関数を求め、その解析解と比較した結果、比較的粗い要素分割でも高い精度で計算できることを明らかにしている。

第3章では、円周切欠丸棒、三点曲げ、コンパクト引張の3種類の破壊じん性試験片に衝撃荷重が作用する際の動的応力拡大係数をステップ応答関数により解析して、比較検討している。円周切欠丸棒は、3種類の試験片の中で最も速いステップ応答関数の立ち上がりを示し、高い負荷速度の下で材料の動的破壊じん性を測定するのに適した試験片形状であることを明らかにしている。

第4章では、前章の比較検討結果に基づいて、円周切欠丸棒を用いた新しい衝撃破壊試験方法の開発を行い、7075アルミニウム合金と炭素鋼S45Cの動的破壊じん性を測定した結果について述べている。

この試験方法の特長は、

- (1) 丸棒の縦衝撃により発生させた圧縮波を試験片の自由端で反射させて引張波とし、円周予き裂に入射させる負荷方式を用いたことによる試験装置の単純化、および、入射・透過応力波の正画な計画
- (2) 入射応力の実測波形に対する動的応力拡大係数の正しい解析
- (3) 透過応力の実測波形と、き裂の進展しない場合の透過応力を予測計算した波形とが、き裂の進展により差を生じることに着目した高精度な破壊開始時刻の決定

にあり、衝撃荷重下における動的破壊じん性を正しく測定できることを実証している。そして、高い負荷速度の下において、7075アルミニウム合金の動的破壊じん性は静的破壊じん性より増大するが、炭素鋼S45Cの動的破壊じん性は静的な値より低下することを明らかにしている。

第5章では、第4章の測定データとこれまでの結果をもとに、材料の破壊じん性の負荷速度依存性について述べ、衝撃荷重下における脆性破壊の機構に関して考察している。特に、7075アルミニウム合金の破壊じん性が、極低温下において高負荷速度下と同様に増大することから、破壊の微視的機構が何らかの熱活性化過程により支配されているものと考えられることを示している。

第6章は総括であり、本研究の成果を要約して述べている。

## 論文審査の結果の要旨

材料の動的破壊じん性は衝撃荷重を受ける機械や構造物の安全設計に不可欠のものであるにも拘らず、その測定法は未だ確立されていない。本論文は、動力学的立場から見て、その測定法が具備すべき条件を明らかにし、それを完全に満足する測定法を開発すると共に、実際の材料の動的破壊じん性を測定し、その負荷速度依存性について考察したものである。その主な成果を要約すると次のとおりである。

- (1) き裂を含む試験片に単位のステップ荷重が作用したときの動的な効果を表すステップ応答関数を定義

し、任意の衝撃荷重に対する動的応力拡大係数はそのたたみ込み積分により解析するという新しい方法を提案している。

- (2) ステップ応答関数をき裂先端の開口変位の静的と動的の比として同一モデルで求めることにより、通常の有限要素法でも高い精度で計算できることを明らかにしている。
- (3) 高い負荷速度の下での材料の動的破壊じん性を測定するための試験として、円周切欠丸棒の自由端での反射で生じる引張応力波により破壊させる縦衝撃試験法を開発して、従来の試験より1桁高い負荷速度を実現している。
- (4) 破壊開始時刻は透過応力の実測波形とき裂の進展がない場合の予測波形に差が生じ始める点であると考えことができ、実際の衝撃試験においてこれを精度よく決定できることを明らかにしている。
- (5) 7075アルミニウム合金と炭素鋼S45Cの動的破壊じん性を測定し、炭素鋼S45Cでは動的破壊じん性が静的なものに比べて低下するが、7075アルミニウム合金では負荷速度が非常に高い領域になると破壊じん性が上昇することを明らかにしている。
- (6) 破壊じん性の負荷速度依存性がき裂先端での破壊開始のメカニズムを解明する上で重要な手掛かりを与えることを示し、温度依存性との対応関係から、破壊の微視的機構には何らかの熱活性化過程が関与するのではないかと示唆を与えている。

以上のように、本論文は材料の衝撃荷重に対する動的破壊じん性の正しい測定法の開発を行ったものであり、その成果は材料力学ならびに材料強度学の発展に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。