

氏 名 田 邊 裕 治

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 63 年 3 月 11 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 56 年 3 月

新潟大学大学院工学研究科機械工学専攻
修士課程修了

学 位 論 文 題 目 衝撃力に対する材料強度の研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 前川 一郎 東北大学教授 高橋 秀明
東北大学教授 阿部 博之

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

衝撃荷重が一般に静荷重より危険であることは、安全率が大きくとられるなどして、以前から経験的には知られていたことである。機械の一部に衝撃力が作用すると生じた応力波は高速度で伝播し、有限体ではその境界からの反射・透過波の重なるのために応力が高まり、静荷重の場合からは予想し難い破壊に至る可能性がある。

まず単発衝撃荷重による破壊に対しては、近年の破壊力学の急速な発展によりその手法を取り入れた研究が多数行われるようになった。そして単一パルスあるいはステップ状応力を受けるき裂部材の破壊条件が動的応力拡大係数 $K(t)$ と動的破壊靱性 K_{I_d} により評価されている。しかしながらこれらの研究では荷重条件や境界条件が単純化されており、実際の機械の使用条件下では常にそのような状況が実現されるという保証はない。特に衝撃荷重によって生じる応力波の波頭が小さい場合でも境界条件によってはその反射・重畳によって過大応力パルスが形成される可能性もあり、この点に関する検討が必要と考えられる。

次に繰り返し衝撃荷重による破壊すなわち衝撃疲労についてみると普通の疲労に関する研究が多い割にはこの主題に関する報告は非常に少ない。以前はエネルギー的考察によって議論されていたが、近年は機械の安全設計上の必要性から応力波形に基づいた研究がなされてきている。しかし、普通の疲労のような標準的な疲労試験機もなく、また衝撃強度の評価法自体が確立されておらずま

だ未知の困難な問題が多い。そして基礎となる実験データの整理法をはじめとして、実用に役立つ資料が出ていないのが現状である。さらにクリープや腐食環境との相互作用に至ってはその研究は着手されたばかりである。一方、破壊力学的手法の導入により衝撃疲労寿命特性を評価しようという試みもあるが、試験片に負荷される応力パルスは、この種の試験機の構造上、反射応力波の重畳によって形成される応力パルスを利用しておりこの点に関する検討が必要と考えられる。さらに加えて、実構造物の健全性評価の観点からは、衝撃荷重の危険性に対してき裂伝播特性に基づいてその寿命を評価すること自体への検討も必要と考えられる。

そこで本論文では衝撃力に対する材料の強度特性を明らかにすることを目的として

- (1) 反射応力波の重畳により形成される応力パルスに対する構造部材の単発衝撃破壊ならびに衝撃疲労破壊特性
- (2) (1)の応力パルスの評価法とそのパルス形成に及ぼす境界条件の影響
- (3) 衝撃疲労と腐食環境との相互作用

の課題に対して各章に分けて検討を行った。(1)(3)については実用金属材料に対して実施した単発衝撃破壊実験と衝撃疲労試験の実験的研究により明らかにした。(2)に関しては有限長棒の動的応力を一次元弾性波伝播理論に基づいて解析し、その表示式を導出して明らかにした。

第2章 衝撃力による鋼のき裂成長開始

本章では単発衝撃荷重によるき裂材の破壊強度特性について明らかにするために、b.c.c金属の実用炭素鋼のき裂付き試験片に対して静的初期荷重作用下で衝撃破壊実験を実施した結果について示し、破断強度およびき裂成長開始応力に及ぼす衝撃体の形状・寸法、試験片長さ、静的初期荷重作用時の温度の影響について述べている。そして衝撃破壊では試験片長さおよび試験片の隣接物体との接続条件がその破壊強度に大きく影響することやその破壊特性は静的初期荷重作用時の温度により異なること、また破壊力学のパラメータを用いてもこれらの影響をなくした実験結果の整理ができないことを明らかにした。そしてこれらの特性を試験片内を伝播する応力波の挙動や微視組織と関連させて説明している。

第3章 衝撃力によるアルミニウム合金のき裂成長開始

本章では第2章が材質的に荷重速度・温度に敏感なb.c.c金属の結果であることを受けて、材料特性がひずみ速度にあまり依存しないf.c.c金属の高力アルミニウム合金の衝撃破壊実験を行った結果について述べている。本金属でもき裂成長開始応力には試験片長さの影響が現われるが、試験温度によってその影響の傾向が変わることはなく、また破壊力学のパラメータを用いるとそれらの影響をなくした整理ができることを明らかにした。そしてこの破壊特性を微視的観察結果に基づいて説明している。

第4章 衝撃引張り疲労における寸法効果

第2, 3章が単発衝撃荷重による破壊であるのに対して、本章では低衝撃応力が繰り返し負荷さ

れる場合の衝撃疲労破壊特性について明らかにするために、基本的な引張り荷重のもとで実用炭素鋼切欠き試験片のき裂発生・破断寿命に及ぼす試験片長さの影響を調べた結果について述べている。き裂発生・破断寿命は試験片長さが短いほど短くなることを示すと共に、本寿命特性は一次元弾性波伝播モデルを用いた動的応力の評価から説明できることを明らかにした。また本結果から衝撃疲労において静的な応力拡大係数を使用することの危険性を指摘した。

第 5 章 衝撃ねじり疲労における寸法効果

第 4 章に続く衝撃疲労の一連の問題として本章では衝撃ねじり疲労に関する実験的研究を行い、実用炭素鋼の段付き丸棒試験片の破断寿命に及ぼす試験片長さ、段付き部の位置および荷重端の位置の影響を調べた結果について述べている。衝撃引張り疲労同様に試験片長さが短いほど破断寿命が短いこと、同じ長さの試験片では直径の細い部分が長いほどまた同部分が荷重端側にあればさらに破断寿命が長くなることを示すと共に、これらの諸特性は試験片内を伝播する応力波の挙動を考慮して説明できることを明らかにした。

第 6 章 繰り返し打撃による鋼の表面損傷

第 4, 5 章に続いて本章では衝撃接触疲労問題について取り扱った。そのために、実用炭素鋼の丸棒試験片に対して繰り返し打撃実験を実施し、打撃面上に発生する微小な剥離 (pitting) の詳細な観察に基づいて、その発生寿命 (pitting 発生寿命と呼ぶことにする。) に及ぼす試験片長さの影響について明らかにした。pitting 発生寿命は試験片長さが短いほど短い、熱処理によって試験片表面硬度を増せばその寿命を大幅に延ばすことができることを示すと共に、本寿命特性は打撃端面の応力波の反射効率を考慮した一次元弾性波伝播モデルによる動的応力の評価から説明できることを明らかにした。また pitting 発生点について打撃端面近傍の動的応力状態と関連させて考察した。

第 7 章 腐食環境下における鋼の衝撃疲労

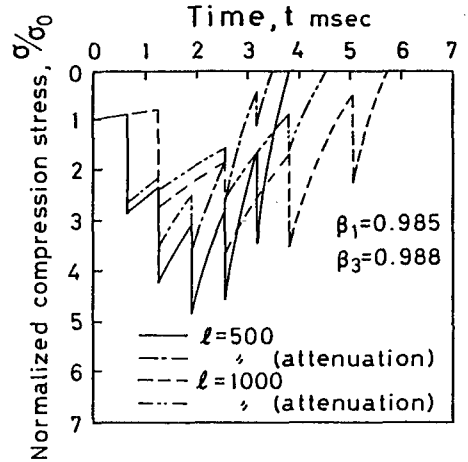
本章では従来触れられることのなかった衝撃疲労と腐食環境との相互作用の問題を取り上げた。そのために、3.5% NaCl 水溶液中の実用炭素鋼の切欠き試験片に対して衝撃引張り疲労試験を実施し、き裂発生寿命とき裂伝播寿命に及ぼす腐食環境の影響について明らかにした。腐食環境はき裂発生寿命を低下させるがき裂伝播寿命に対しては殆ど影響を及ぼさないことを示すと共に、本特性を電気化学的観点から説明した。また高応力レベルの実験データより長寿命域での腐食疲労強度を推定できることを明らかにした。さらに初期衝撃荷重により腐食疲労寿命特性を整理した場合には試験片長さの影響が現われることを示すと共に、動的応力の試験片長さ依存性が試験片両端での応力波の反射効率を考慮した一次元弾性波伝播モデルによって精度良く評価できることを明らかにした。

第8章 有限長棒の衝撃応力

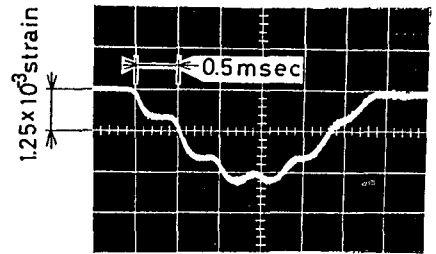
本章では前章までの衝撃疲労の各章で述べてきた一次元弾性波伝播モデルに基づく有限長試験片の動的応力の評価式を、試験片支持端における応力波の反射効率および伝播過程における減衰を考慮した、より一般的な表式に拡張した。衝撃圧縮の場合の数値例とPMMA中実丸棒試験片による実測結果とを図1(a), (b)に示す。同図(a)で反射効率と減衰を考慮した理論応力波形の最大値と図(b)の実測ひずみ波形から換算した応力の最大値は約5%の精度で一致しており、本理論式の有効性を検証することができた。

第9章 結論

本章は本研究の総括であり、各章の末尾で述べたまとめを簡潔に要約したものである。



(a) 衝撃圧縮の理論応力波形
(PMMA試験片)



(b) 衝撃圧縮ひずみ波形
(PMMA試験片, $l=500\text{mm}$)

審査結果の要旨

最近、機械の高速化に伴い、衝撃力をうけるときの材料の強度特性を明らかにすることが重要な問題となって来た。高速で複雑な材料の挙動の解明は、静荷重の場合よりもはるかに困難で多くの問題点が残されている。本論文は、衝撃力の作用下での構造材料の挙動を明らかにしたもので、全編9章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では、炭素鋼試験片に静引張りを作用させ、落錘による衝撃引張りを重畳させたとき、両者の破壊に対する等価性を論じ、特に予き裂の成長開始条件を検討して、温度、重錘形状、試験片寸法の影響を明らかにし、静引張りによる破断の場合と比べて破面附近の観察を行い、低温衝撃引張りによるき裂成長では必ずしも双晶が起因になっていないことを示している。

第3章では、アルミニウム合金の試験片を用いて、静引張りに衝撃引張りを重畳した場合のき裂成長条件の検討を行って、衝撃力にも破壊力学的パラメータを用いることにより、試験片形状によらず強度の整理ができることを示している。これは重要な知見である。

第4章では、炭素鋼試験片を用いて繰返し衝撃引張りを作用させたとき、疲労寿命に試験片長さの影響がみられることを指摘し、その理由を応力波の伝播モデルに基づいて説明している。

第5章では、炭素鋼の段付き試験片を用いて、繰返し衝撃振り下での疲労寿命に試験片長さ、段付き部の位置及び支持端の影響がみられることを明らかにし、通常疲労の場合と異なる特性につき考察を加えている。

第6章では、炭素鋼試験片表面を繰返し打撃したとき、ピッチングの発生寿命に試験片寸法の影響がみられることを確かめ、適切な熱処理によりその寿命を大幅に延ばせることを示している。これは実用上有用な成果である。

第7章では、3.5% NaCl 水溶液中で炭素鋼試験片に繰返し衝撃引張りを作用させたときのき裂の発生と伝播挙動を明らかにしている。

第8章では、各章でみられた衝撃強度の寸法効果を説明するため、有限長棒内の波動伝播特性及び支持条件を考慮した応力波形の理論的表示式を導き、P M M A 試験片による詳細な実験結果とよく合致することを示している。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、有限寸法の実用構造材料が衝撃力をうけるときの強度の基本的特性を明らかにしたもので、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。