

氏 名	吉 村 達 彦
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 63 年 2 月 10 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 43 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学第二専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	自動車構成部材の疲労に対する強度設計と評価法に関する研究
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

自動車は量産規模の大きな輸送機械であるので、同じ用途の車でもユーザーの使い方の差は非常に大きい。従って、自動車部品の疲労に対する強度設計・評価を行う場合、まず第一にユーザーの使用条件、特に車両にかかる負荷をできる限り正確に把握する必要がある。

車両にかかる負荷情報としては、イ) 負荷の大きさ、ロ) 負荷の頻度、ハ) 疲労被害等がある。これ等の中で最も有効な情報はハ)の疲労被害である。回収した部品に存在する機能に障害を与えないような微細な不具合の徴候（例えば、微細なきれつ、塗装のわれ等、以下“故障”と呼ぶ）を解析することにより、その部品が受けた疲労被害を求め、それから、その部品の使われ方の厳しさを知ることができる。しかし、これ等の情報は通常、故障が存在するか否かのON-OFF情報であり、その故障がいつ発生したのかわからない。このために、これ等の情報を統計解析して故障発生の確率分布を求めることが出来なかった。本論文第5-1節では、回収した部品の故障の有無から統計的な解析により故障発生の確率分布を求める手法を研究した。その結果、上記問題を解消する手法を3種類提案し、その中で、‘故障順位数を用いる方法’が実用的な解析手法であることを示した（図1 METHODⅡ）。

しかし、このような微細な不具合の徴候すら発見出来ない場合は、上記イ)又はロ)、又はそれ等の組み合わせからユーザーの使用負荷条件を把握しなければならない。イ)の負荷（応力）の大きさの把握方法としては、ひずみゲージによる応力測定、銅メッキ法による応力測定等があるが、い

ずれも、計測しようとする部品に対しひずみゲージを貼付する等の事前の準備を必要とするため、大量のデータ入手が出来ない欠点があった。もし、事前の準備を必要としない方法で負荷の大きさを把握することができれば、飛躍的に大量のデータが入手できるようになるはずである。本論文第3-1節では、「部材より発生するアコースティックエミッション（以下‘AE’と呼ぶ）波は過去に受けた負荷以上の負荷がかかるまで発生しない」というAEのカイザー効果に着目して、回収した部品に再び負荷をかけた時のAEを計測することにより、その部品が過去

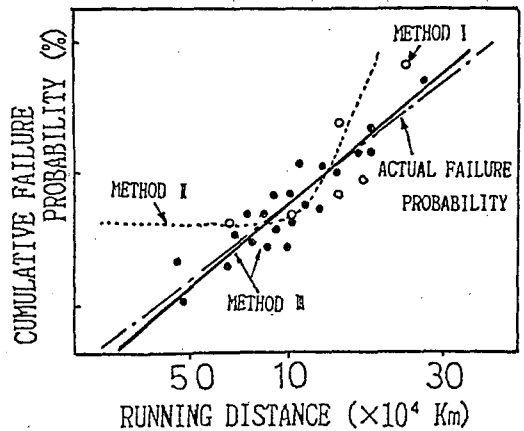


図1 シミュレーションによる検証結果の一例

に受けた最大負荷を検出する手法を研究した。まず、自動車部品に使われる代表的材料として、機械構造用鋼S30C焼ならし材及び焼入焼戻材、ダイカスト用アルミ合金ADT4材、球状黒鉛鋳鉄FCD40焼なまし材を選び、これ等の材料についてカイザー効果の存在を確認した。さらに、自動車用のアップコントロールアーム、のびボルトについてカイザー効果による過去に受けた最大負荷検出の可能性を検討し、この手法が有効であることを確認した。

このようにして得られた負荷のもとで、部品の疲労に対する強度設計・評価を行う場合、部品の性格により、二つの種類の設計・評価法を用いる。即ち、有限寿命設計と無限寿命設計である。自動車は耐久消費材であるので、その耐用期間中に破損しないように目標寿命を定めて行う有限寿命設計が一般的であるが、回転部品のように短期間に $10^7 \sim 10^8$ 回の負荷を受ける一部の部品では無限寿命設計が行われている。

有限寿命設計を行う場合の基本は、負荷（応力）の頻度分布とS-N曲線に累積被害則を用いて行う寿命推定であるが、どのような頻度計数法を用い、どのような累積被害則を用いるのが適当かは、従来諸説があった。本論文第4-1節では、鋼板及び構造用炭素鋼試験片を用い、自動車部品にかかるランダム荷重下で疲労試験を行い、頻度計数法として最大値頻度法、レンジペア頻度法、累積疲労被害則としてマイナー則、修正マイナー則の適用可能性を検討した。その結果、修正マイナー則はき裂伝播寿命が過半数を占める部材の寿命を推定するのに適していること、及び、修正マイナー則を用いる場合、最大値頻度法に比べ、レンジペア頻度法を用いるメリットは特になく、実用上は簡便な最大値頻度法が良いことを示した。また、ここで用いた頻度分布は負荷のユーザー内変動に相当するが、さらに、負荷のユーザー間変動、製品強度のロット内、ロット間変動を考慮したディスクホイール寿命分布推定方法を本論文第5-2節に示した。

このようにして寿命推定を行う際の応力は、当然き裂発生部を代表する応力でなければならぬが、スポット溶接部のように、き裂発生部の応力が ∞ になるような部位では、その部位の応力を用いることは出来ないため、周辺部の応力で代用している。このため寿命推定の精度は良くなく、スポット溶接継手の型、負荷の形式、板厚等により、異なるS-N線図を用いなければならない

た。本論文第2-1節ではスポット溶接部をきれつと考慮して、破壊力学を適用することにより、これ等を統一的に表すための検討を行った。即ち、自動車ボデー骨格構造として多く用いられているL型継手とT型継手の疲労試験を行い、モードⅢの応力拡大係数も考慮するため、エネルギー解放率最大になる応力拡大係数 k_{gmax} をクライテリアとする手法を検討し、図2に示すように両継手の疲労試験結果がほぼ一本のK-N線図で表わせることを示した。

さらに、寿命推定の精度を上げるため、シミュレーション試験を行う場合もあるが、従来提案されているブロックプログラム法、レベルアップ法等は、適用できる条件がかなり限定されていた。これ等の問題点を解消するため、本論文4-2節では、4種類の試験片を用いて、実働ランダム波及び、これより疲労寿命に影響を与えないと思われる小振巾を除去したプログラムランダム波（有効波）による疲労試験を行ない、この試験結果から、無効振巾除去基準を定量化し、それを骨子とした有効波による加速疲労試験方法を提案した。

一方、疲労限度を基準にした無限寿命評価を行う場合、Prot法等を用いて部品の疲労限度を求めるが、疲労限度付近で数個の部品について疲労試験を行わなければならない、非常に長時間を要した。本論文第3-2節では繰返し漸増荷重下での動的比例限度が疲れ限度に対応するということと、材料内のすべり発生とAEの間に関係があることに着目して、一本の供試品で、その疲れ限度を決定する方法を検討した。即ち、構造用炭素鋼S25C焼ならし材、SCM4焼入焼戻材、及び球状黒鉛鋳鉄FCD40焼なまし材で製作した試験片に漸増繰返し荷重をかけながらAEを観測し、AEの発生点、急増点と疲労限度の関係を調査し、図3に示すようにAE急増点（急増を示さないものはAE発生点）が疲労限度に一致することを示した。

これにより、試験を行った部品の疲労限度は迅速に求めることができるようになったが、試験を行った部品には存在しない欠陥により、大量生産される部品の強度がどれ位低下するかは予測できなかった。このような強度低下量を正確に見積って下限強度を決定することは重要であるが、これまで、鋳物係数等の経験により決められた定数を用いてきた。本論文第2-1節では破壊力学を用いることにより、鋳造欠陥による疲労限度低下割合を合理的に決定する方法について検討した。即ち、鋳造欠陥をきれつに置換えて破壊力学の手法を適用し、三次元物体内での欠陥位置によるKの補正、欠陥の開閉の影響、微小欠陥の大きさの補正、欠陥先端半径の影響によるK値の補正を導入し、種

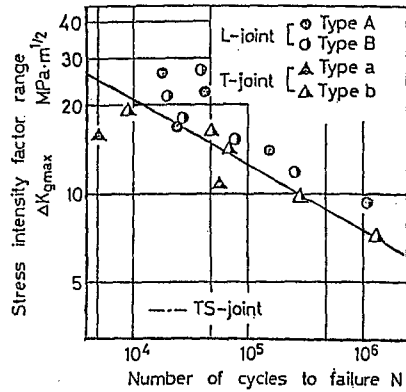


図2 k_{gmax} で整理した試験結果

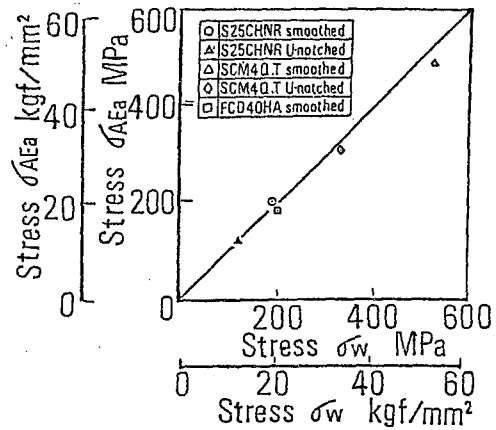


図3 AE急増応力と疲労限度の関係

多岐にわたる欠陥の影響、微小欠陥の大きさの補正、欠陥先端半径の影響によるK値の補正を導入し、種

種の形状の欠陥を含む部材に対し、その疲労限度を精度良く推定出来ることを示した。

上述の本研究のフローと本論文の章、節の対応を示すと図4のようになる。

最後に、第6章で、本論文第2章～第5章の研究結果を自動車構成部材の疲労に対する強度設計と評価に適用する手法を示した。

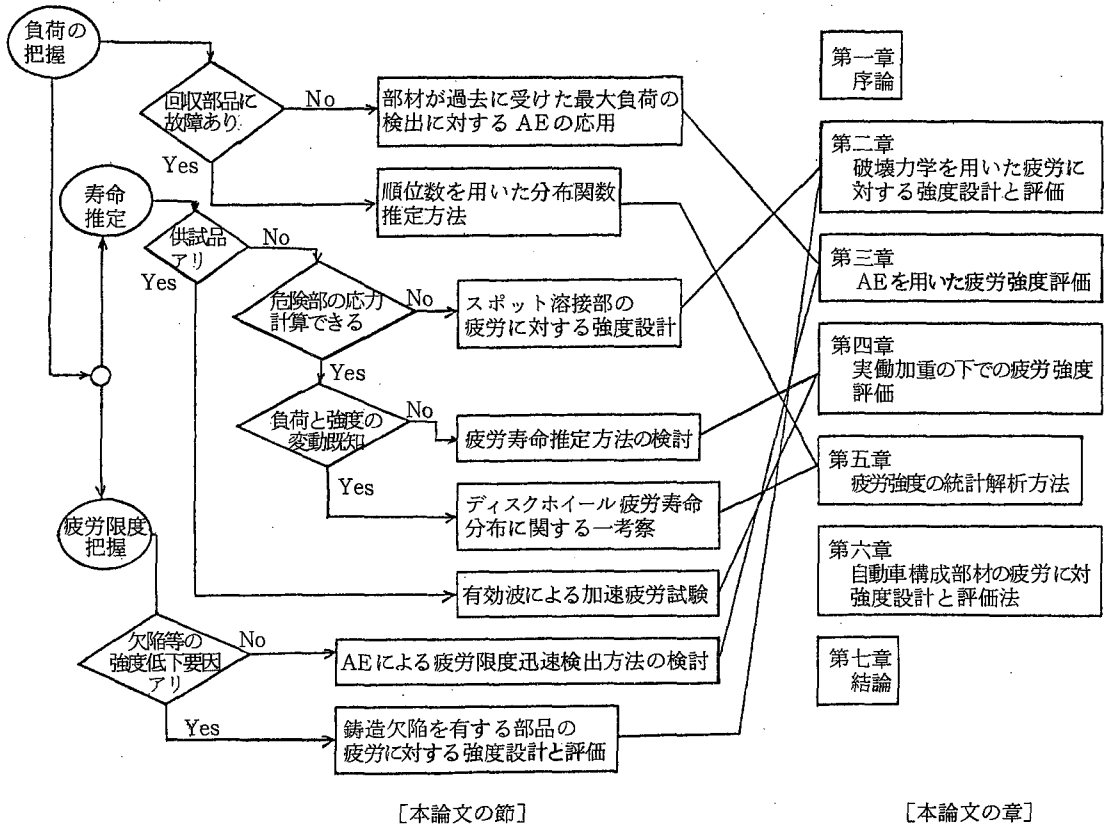


図4 本研究のフロー

審査結果の要旨

自動車の利用者の増加に伴い、使用実態を把握した基礎資料にもとづき、長期間にわたって安全性の高い設計を行うことが一層重要となってきた。本論文は、荷重経歴の推定にアコースティックエミッション（AE）の特性を応用し、構造部材の有限寿命設計には破壊力学の有効性を確かめ、無限寿命設計には疲労試験の効果的短縮法の有用性を示し、故障発生確率の検討を行って、安全性の高い強度設計の手法としてまとめたもので、全編7章より成る。

第1章は序論である。

第2章ではL形とT形部材継手のスポット溶接部に破壊力学を適用して疲労試験結果を部材形状によらず統一的に整理できることを示し、鋳造欠陥には形状補正を考慮して適用することにより疲労強度を精度よく推定できることを検証している。

第3章では、AEのカイザー効果がS30C鋼、アルミニウム合金ADT4、球状黒鉛鋳鉄FCD40にみられることを確かめ、部材の経験した最大荷重の推定に用いることの有効性を示している。また、AEの発生、急増点と疲労強度との間に明確な対応関係があり、実用上疲労限の迅速評価法として役立つことを明らかにしている。これらは設計資料を得る上で重要な成果である。

第4章では、三種類の鋼試験片のランダム荷重疲労試験を行い、無効振幅除去基準を定量化することにより有効波によって加速疲労試験が可能になることを提案し、従来の方法と比較して実用性が高いことを確かめている。これは実用荷重下での疲労強度評価に有力な手法を加えたものと言える。

第5章では、設計資料として市場回収品の故障確率分布を解析するため、三種の手法を提案し、故障順位数を用いる方法が有用なことを示し、こうして得られた目標耐用寿命に対して、製造工程、実用状態等の変動要因を考慮したディスクホイールの設計法を述べている。

第6章では、以上の成果に基づき、自動車構成部材の疲労に対する強度設計と評価の手法の体系をまとめて示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、自動車の強度設計に対して、破壊の基礎データの測定、疲労試験の精度向上と迅速化並びに強度の統計的評価に関する研究成果をまとめて新手法として提示したもので、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。