

氏 名	青 山 咸 恒 あお やま しげ つね
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 200 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 3 月 23 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	自動車構造用鋼の強度特性評価に関する研究

論文調査委員 (主 査)
教 授 平 修 二 教 授 遠 藤 吉 郎 教 授 大 矢 根 守 哉

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は自動車構造に使用される鋼材の使用条件のもとで要求される強度特性を、生産過程における材質管理との関連において正しく評価する方式の確立を目的とする研究を纏めたもので5章よりなっている。

第1章は序論で、第1、2節で硬さに基いて自動車構造部材の強度を評価する考え方の沿革を述べ本研究の意義を明らかにし、自動車構造用鋼を分類し、その用途および構造部材の製造工程を述べている。第3節では強度評価の尺度となる押し込み硬さ測定上の基本的問題につき述べている。押し込み硬さに対応する強度特性はかなり大変形後の加工硬化域での変形抵抗であることを圧痕近傍の硬さ分布より推論し、さらにX線回折線の幅および抗磁力と硬さの関係を調べ、これらが硬さとよい対応を示すことを明らかにしている。硬さの測定値に影響する因子として、測定場所に存在する巨視的残留応力、表面あらさの影響および金属組織と硬さ測定に適した圧痕の大きさの関係等を検討し、強度特性評価のための硬さ測定上の基本的な考え方を示した。第4節では構造用鋼の熱処理に伴う金属組織および機械的性質の変化を詳細に調べ、その結果、構造用鋼を材質種別ではなく熱処理後最終的に到達する使用時の金属組織の種類により層別すると、押し込み硬さによって構造部材の強度評価が合理的に行なえるとしている。すなわち、引張りおよび捩り強さ、引張り降伏点または耐力および捩り耐力は組織別に硬さ(Hv)に比例して高くなり、シャルピー衝撃値は硬さの増加と共に低下するが、各組織ごとのこれらの実験値の分散は少なく、各組織間には明確な差のあることを示している。第5節では試験片と実用部品の強度の関係を論じ、一般に両者は必ずしも一致せず、その大きな原因として製造上の寸法効果を挙げている。特に熱処理材では部品の形状、寸法に対して鋼種と熱処理条件の選択が重要であって、金属組織と硬さが同等であるならば鋼種や熱処理条件に拘らず強度特性は同等であることを、炭素鋼と低合金鋼の場合について示している。第6節は総括で金属組織の層別に基づく硬さによる強度特性評価の意義を強調している。

第2章は焼入れ焼もどし中炭素鋼および低合金鋼の硬さと諸強度特性の関係を述べたもので、第1節で

はこれらの材料が主として自動車の懸架、駆動および操向等の強度の要求が多く而も耐久性を要する部品に用いられ、主として疲労破壊および動的負荷による変形が強度評価の対象になることを述べ、第2節では7種の中炭素構造用鋼を焼入れ状態から 400°C~650°C の各温度に焼もどした場合の諸強度特性と硬さの関係を示している。動的強度として平滑材の回転曲げおよび両振り曲げ疲労強度（耐久限度、 10^5 および 10^6 時間強度）、両振り振り疲労強度（同上）、静的強度として引張降伏点または耐力、引張り強さ、真破断力、振り耐力、振り強さおよびシャルピー衝撃値について多数の実験を行ない、これを組織別に硬さとの関連で整理して前章の考え方の妥当性を実証すると共に、硬さ（Hv）値よりこれらの諸強度値を評価する実験式を与えている。さらに直応力 σ により表わされる強度値と剪断応力 τ により示される強度値の相関、応力勾配をもつ曲げおよび振りにおける耐力と引張特性との関係について上記の実験結果に基づいて考察を加えている。

第3章は中炭素構造用鋼の焼入れ焼もどし材における切欠と表面脱炭の諸強度特性に及ぼす影響について述べている。第1節はまえがきで、第2節では実用部品に多く見られる種々の形状の切欠をもつ構造用鋼焼入れ焼もどし材の回転曲げ、両振り振りおよび両振り引張り圧縮の疲労強度、引張りおよび振りの静的強度を平滑材のそれらとの対比として示している。これより切欠係数（平滑材疲労強度／切欠材疲労強度）は破断繰返数の増大に伴って大きくなる傾向が明瞭に示されている。第3節では上記の実験結果に基づき、切欠材の疲労強度を材質同等の平滑材疲労強度より評価する方法を導いている。切欠係数を無限寿命の切欠係数（耐久限度比）と有限寿命のそれとに分け、形状係数と応力勾配を考慮して無限寿命の切欠係数を求める手法を示している。この際、有効応力を表面から 0.02~0.03 mm の位置の応力とすると計算値は実験値と極めてよく一致すると述べている。また有限寿命の切欠係数は無限寿命のそれと両対数グラフで直線関係にあることをも示している。第4節では実用部品に多い鍛造、圧延、熱処理による黒皮脱炭や仕上面の脱炭による疲労強度の低下を検討している。これらの脱炭は製造時かなり吟味した工程を経ても起り易く、静的強度には影響せず疲労強度を著しく低下させる点を強調し、著者は切欠係数に対して表面係数（平滑材疲労強度／表面脱炭材疲労強度）を定義している。各種材料の各種応力条件のもとにおける表面係数の値を与え、表面係数は切欠係数と同様に破断繰返数の増大に伴って大きくなることを明らかにしている。なお、脱炭による疲労強度低下の防止策として、ボールラビングやショットピーニング等表面加工の効果を検討している。第5節では黒皮脱炭材およびその表面加工材の疲労強度を、内部の硬さと表面層の特性に基いて評価する方法を示している。まず中炭素鋼について脱炭深さと回転または両振り曲げ耐久限度の関係を詳細に検討し、鋼種と熱処理条件が与えられたとき、表面近傍の硬さ分布を基にして耐久限度を評価する方式を提案し、さらに有限寿命の表面係数と無限寿命のそれとの関係を用いて、平滑材の疲労寿命から表面脱炭材のそれを推定する方法を与えている。

第4章では焼入れ焼もどし中炭素構造用鋼およびはね鋼部品の耐久限度線図を硬さに基いて作製する方法につき述べている。自動車部品にかかる応力は一般に静荷重に変動荷重が重畳したもので、これらの強度設計には時間強度を含めた疲労強度線図と、使用中生ずる有害変形を制限する目的で定める変形限度線図を併せた耐久限度線図を各種応力について与える必要がある。第2節ではこれに関連して回転曲げと両振り曲げ疲れの関係を検討し、丸棒材では両者の疲労強度は同等であるが、板材ではエッジ効果のために

両振り曲げ疲労強度は同材回転曲げのその80%程度になることを指摘している。第3節では SCM4 丸棒材の場合について耐久限度線図を定める具体的方法を示し、疲労強度線図、変形限度線図の特性を吟味し、さらに硬さから評価した基準疲労強度に基く疲労強度線図の作製の基本概念を示している。第4節では焼入れ焼もどし SVP6 平板材について前節と同様な試みを行ない著者の方法の妥当性を確かめ、さらに黒皮脱炭材の変形限度線図の特異性を指摘している。第5節では変形限度線図に関連して曲げおよび振りにおける見かけの耐力評価の方法を検討し、加工効果を考慮した著者の方法を提案している。第6節では第2章第3章で論じた基本強度値の硬度に基く評価の方法を総括し、これに基いて、鋼種、形状、熱処理条件を考慮して各種応力に対する耐久限度線図の作製方法を述べている。

第5章は熱処理構造用鋼部材の強度特性評価における衝撃曲げの適用について述べている。第1節では衝撃値と硬さの関係の一般的傾向について述べ、組織別に整理すると衝撃値は硬さの大きいものほど低く片対数で直線関係にあることを示している。第2節では著者の考案した衝撃曲げ試験における荷重変化、試料のたわみ変化検出のための変換器の構造、検定ならびにこれを用いての荷重一時間一たわみの関係を求める方法をのべ、荷重一時間一たわみの関係から求めた力積や吸収エネルギーと振子の動きから求めたこれらの関係を吟味し、S55C、SCM4、SVJ2 等の鋼種について実験を行ない両者は極めてよい対応を示すと述べている。第3節では常温Uノッチシャルピー試験において破断までの荷重一たわみ関係を求めることにより、衝撃値におよぼす荷重速度の影響、材料繊維方向の影響および組織の相違によるこれらの変化を検討し、併せて切欠底におけるクラック発生時期を調べた結果も述べている。すなわち、硬さ同等で衝撃値に差のある場合は、クラック発生までの吸収エネルギーに差のある場合と、これは同等であるがクラック伝播過程での吸収エネルギーに差のある場合があることを明らかにし、両者は破断面の様相の違いとして肉眼および電顕観察によって明瞭に識別しうることを示している。第4節では前記の硬さ同等で衝撃値に差のある場合について疲労強度の比較を行なっている。硬さを同じくするばね鋼圧延方向材と直角方向材とではクラック発生までの吸収エネルギーが異なり衝撃値に差があるが、それに対応して疲労強度に大きな差が認められる。これに反し S55C 焼ならし材と焼戻し材で硬さ同等の場合、クラック伝播過程の吸収エネルギーの差に基く衝撃値の差が認められ、この場合両者の間で疲労強度には差が認められない。このように硬さ基準の強度評価において衝撃値の併用の必要性和その意義を明確にしている。第5節では中炭素機械構造用焼入れ焼もどし材についてUノッチシャルピー衝撃試験を -50°C ~ 200°C の温度範囲で行ない、延性一脆性の遷移について検討している。一般にこの遷移は吸収エネルギーの顕著な変化で判定されるが、著者は低温側での遷移は主としてクラック形成までの吸収エネルギーの変化として、高温側での遷移はクラック伝播過程における吸収エネルギーの変化として表われることを系統的な実験の結果として結論している。第6節では前節と同じ材料を用い、衝撃曲げ試験片の切欠形状の吸収エネルギーに及ぼす影響につき検討し、慣用のUノッチとVノッチとではクラック発生までの吸収エネルギーには非常に大きい差が認められるが、クラック伝播過程での吸収エネルギーには大差ないことを明かにしている。さらに遷移温度領域におけるUノッチとVノッチ試験片における吸収エネルギーの関係について多くの実験を行なって詳細な検討を行なっている。第7節では著者の考案した丸棒試験片による衝撃曲げ試験について述べている。打撃刃の損傷をさけるためアイゾット試験の方式を採用し、温度別試験を容易にするための特別の工夫を施してい

る。本試験の結果は正規のシャルピー試験の結果と極めて良好な対応を示し、機械部品強度評価の基礎試験として推奨しうると述べている。第8節は本章の総括で、強度特性評価における衝撃試験の意義をとり纏めている。

論文審査の結果の要旨

機械構造物の強度設計においては、使用材料の試験片による材料試験により求められた各種基本材料強度値をもとにして構造部材の諸元が定められるのであるが、一般に試験片により求めた材料強度値が果して機械構造部材の強度を正しく評価するに適当なものか否かについていまだに多くの議論がなされている。本論文は自動車構造に使用される各種鋼材の使用条件のもとで要求される強度特性を検討し、生産過程における品質管理との関連において、材料試験による基本強度に基いて機械構造部材の強度を正しく評価する方法の確立を目的として行なった研究を取り纏めたもので5章よりなっている。

従来自動車構造部材の強度の評価は主として押し込み硬さに基いて行なわれる。第1章において著者は強度評価の尺度となる押し込み硬さ測定上の基本的問題として測定場所に存在する巨視的残留応力、表面あらさの影響および金属組織と硬さ測定に適した圧痕の大きさの関係等を詳細に検討し、硬さが材料のかなり大変形時の加工硬化域における変形抵抗に対応する材料特性であるとの見解を述べ、本研究に対する著者の立場を明らかにしている。自動車構造には熱処理鋼材が多く用いられるが、著者は各種鋼材の焼入れ焼もどし材について熱処理条件と金属組織および機械的性質の変化を詳細に調べ、その結果、構造用鋼を材質種別、熱処理別ではなく、熱処理後最終的に到達する使用時の金属組織の種類により層別すると、各種機械的強度は押し込み硬さに対応し、各組織ごとの強度の実験値を硬さで整理すると分散は少なくかつ各組織の間には明確な区別のあることを示し、熱処理鋼材部品の強度評価に関する著者の基本的考え方を明らかにしている。殊に試験片と実用部材の強度の関係の検討において、部品の形状、寸法に対して鋼種と熱処理条件の選択が重要であり、試験片と部品の金属組織と硬さが同等であるならば鋼種や熱処理条件に拘らず強度特性は同等であることを、多くの場合について実証している。

第2章第3章において、著者は以上のような観点に立って、7種の中炭素構造用鋼熱処理材を用いて各種応力に対する静的強度および疲労強度について系統的な実験を行ない、鋼種、熱処理に関連して組織別に硬さとの関係で各種強度値を整理し、硬さよりこれら諸強度値を評価する方法を示している。これに関連して部材設計に避けられない切欠、さらに製造時の熱処理に伴う表面脱炭のこれら諸強度におよぼす影響を検討し、特に疲労において切欠のための強度低下の程度を示す切欠係数や、脱炭のための強度低下の程度を示す表面係数（著者の定義による）の疲労応力の種類および大きさとの関係を詳細に調べ、切欠係数と表面係数がともに破断繰返数が多い程大きくなる傾向のあることを指摘するとともに、表面脱炭による疲労強度低下防止のための表面加工の方法ならびに効果についても検討を行なっている。

第4章は前記鋼材の基本強度値をもとにして、自動車構造部材のうける静荷重に変動荷重が重畳する場合についての部材強度の評価の方法を論じている。かかる部材の強度設計の基準として時間強度を含めた疲労強度線図と、使用中生ずる有害変形を制限する目的で定める変形限度線図を併せた耐久限度線図を必要とするが、著者は組織別に硬さ基準で定められる基準疲労強度をもとにして疲労強度線図を作製する具

体的方法を示すと共に、熱処理構造用鋼の静荷重に変動荷重の重畳する場合の部材の永久変形挙動を組織別に調べ、変形限度線図の作製方法を述べている。なお、同等材の丸棒と板材における曲げ疲労強度の関係、変形限度線図に関連する曲げおよび振りの見かけ耐力の評価の方法について著者の考え方を示すと共に、黒皮脱炭材の変形限度線図の特異性を指摘している。

第5章は熱処理構造用鋼の強度特性評価における衝撃曲げ試験の適用について述べたものである。衝撃値も組織別に整理すると硬さと良好な対応がある。著者は衝撃曲げ試験において、振子の動きより計算される吸収エネルギーの内容を検討するために衝撃曲げ試験における荷重変化、試料のたわみ変化検出のための装置を試作し、これを用いて荷重一時間一たわみの関係を求め、これより力積や吸収エネルギーを算出する方法を試みている。数種の鋼種についてUノッチ、Vノッチの衝撃曲げ試験を多数実施し、衝撃値によらず荷重速度の影響、材料繊維方向の影響および組織の相違によるこれらの変化を検討すると共に、切欠底におけるクラック発生時期を正確に検出することにより、衝撃破断時の全吸収エネルギーをクラック発生までとクラック伝播過程におけるものとに分けて求めることに成功した。その結果、硬さ同等の鋼材でも衝撃値に差のある場合、クラック発生までの吸収エネルギーに差のあるものと、これは同等であるが、クラック伝播過程の吸収エネルギーが異なる場合とがあることを見出し、この区別は破面の肉眼または電顕観察で明瞭になしうと述べている。この場合、前者の系統の材料では疲労強度に顕著な差があり、後者の場合にはその差が認められないことを明らかにし、組織別硬さ基準の強度評価の方式に衝撃値の併用がその信頼性を高めるものであることを示している。

これを要するに本論文は機械構造物の強度設計において、構造部材の強度特性を基準材料強度値より評価するに際して、金属組織の層別に基く硬さ基準の評価方法を提案し、これの有用性を実証したもので、学術上工業上、貢献するところが多い。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。