

【210】

氏名	鈴木 房 幸 すずき ふさ ゆき
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第78号
学位授与の日付	昭和39年12月22日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	金属材料のリラクセーションに関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 平 修二 教授 河本 実 教授 大矢根守哉

論文内容の要旨

本論文は、実用金属材料のリラクセーション（ひずみが拘束される条件下で現われる応力低下現象）特性を解明し、時間依存の基本的な強度特性であるクリープ現象との関連を求め、一定温度および応力のもとにおける基本的なクリープ試験結果よりリラクセーション強度を推定する理論解析の方法を確立することを目的とするものであって、緒論および2部9章よりなっている。

緒論においては従来の金属材料のリラクセーションに関する研究の動向について述べ、実用金属材料のリラクセーションに関する系統的研究の必要性を強調し、本研究の立場を明らかにしている。

第1部は高温における金属材料のリラクセーションについて論じたもので、第1章においては基礎的な単純引張応力下のリラクセーションの試験方法とフェライト系およびオーステナイト系各種金属材料の高温におけるリラクセーション性質について述べている。リラクセーションにおける応力減少過程は第一期と第二期の2領域よりなり、それらはひずみ速度の応力依存性により特徴づけられる。第一期リラクセーションのひずみ速度は初ひずみと応力に依存するが、第二期のひずみ速度はフェライト系材料の場合には応力にのみ依存し、オーステナイト系耐熱鋼ではひずみ速度は応力と初ひずみに関係するがその応力依存性は第一期のそれと全く異なることを述べ、各材料のリラクセーションの基礎式を示している。

さらに、リラクセーションがクリープと同様に活性化過程であり、そのひずみ速度が活性化エネルギーと湿度に依存すると考えて、上記ひずみ速度の応力依存性に説明を加えている。

第2章においては、厳密なリラクセーション試験が複雑で実施困難であることより、近似試験法を確立する意図のもとにステップダウン試験（リラクセーション試験機を用いず、クリープ試験機によって間接的にひずみを一定に保って応力低下を調べる試験方法）を実施し、これの有効性について実験的ならびに解析的に検討を加えている。これによると、ステップダウン試験における各応力段階での平均ひずみと応力の関係がリラクセーション試験の場合とよく一致し、材料のリラクセーション性質の簡易試験法として十分に役立つことを明らかにしている。

第3章では、ひずみ速度の応力依存性、クリープひずみの回復等に注目して、リラクセーションとクリープの関係につき論じている。これによると、ひずみ硬化理論による解析から、クリープ試験結果を用いて、リラクセーションを推定しても一般に正確には合わないが、応力減少に基づくひずみ回復を考慮して推定値を補正すると良好な結果が得られることを明らかにしている。しかし、このような解析は非常に複雑で実用的ではなく、むしろ簡単なステップダウン試験を行なって、ひずみ速度の応力依存性を求め、これよりリラクセーション特性を推定する解析的方法を示し、これの採用を奨めている。

第4章では締付ボルトの場合等において実用上必要な変断面棒のリラクセーションの解析を行ない、一様断面棒のリラクセーション試験結果を用いて変断面棒のリラクセーションを推定するための等価応力を定義し、これを用いて数種の変断面棒のリラクセーションの推定値と実験結果を比較し、著者の方法の妥当性を示している。

第5章ではリラクセーションに及ぼす再締付の影響を論じている。これによると、リラクセーションによって低下した応力を初応力まで高めて再びリラクセーションさせる再締付リラクセーションの特徴は、再締付時の応力増加に伴う過渡的な過剰ひずみ増加が関係し、単純リラクセーション試験結果より予想される値より応力低下が大きいことを明らかにしている。さらに、この過渡的ひずみ増加は、クリープにおける応力変動時の過渡的現象と同様であることから、これを考慮して単純リラクセーションから再締付リラクセーションを推定する方法を示している。

第6章は動リラクセーションについて述べたもので、一定の平均ひずみに周期的な繰返しひずみが重畳される動リラクセーションにおいては、単純引張リラクセーションの場合に比し応力低下が著しく促進される。この場合、動クリープ問題における等価応力の概念を適用することにより単純引張リラクセーションより動リラクセーションを推定する解析方法を示し、解析結果は実験と極めてよい一致を示すことを明らかにしている。

第7章は多軸応力下のリラクセーションを取扱ったもので、引張りと振りの組合せ応力の場合をとりあげて解析的に検討し実験結果と比較している。ここで、主応力比および、主応力軸の方向は変形中変化しない場合に限定しているが、多軸応力状態を Mises の相当応力を用いて整理するとき、リラクセーションによる相当応力の低下は単純引張リラクセーションを用いて解析的に求めることができ、実験結果とも極めてよい一致を示すことが述べられている。これの応用例としては焼はめ応力のリラクセーションによる低下を解析ならびに実験によって示している。

第2部は、常温における PC 鋼線のリラクセーションを取扱っている。第8章は室温一定のもとにおける PC 鋼線のクリープおよびリラクセーション試験の方法を示し、千時間以上の比較的長時間における PC 鋼線のクリープおよびリラクセーション特性を明らかにしている。さらにひずみ硬化理論を用いて PC 鋼線のクリープ特性よりリラクセーションを推定する方法を示し、推定値の実験結果との対応は、一般に高温クリープより高温リラクセーション推定の場合よりよく合うことを明らかにし、この理由は PC 鋼線の場合、高温の場合に比しクリープにおける除荷時のひずみ回復が極度に小さいことが関係しているとしている。この解析より PC 鋼線のリラクセーションを示す式を誘導し実用に便ならしめている。

第9章では PC 鋼線のリラクセーションに及ぼす各種処理の影響としてプレストレッチングと直線加工

をとりあげている。プレストレッチングはリラクセーションの応力低下を軽減する効果をもつが、この効果はプレストレッチング処理時に生ずる塑性変形量がある限度まで大きい程有効で、その効果は長時間後にも持続される。また供給状態において彎曲した PC 鋼線を使用時に直線加工を施すとリラクセーションが促進されると述べている。これは加工時の繰返し曲げが材料の軟化をもたらすためであるが、直線加工のリラクセーションに及ぼす影響は短時間に消滅し、長時間後の性質には影響しないものであることを実験的に明らかにしている。

## 論文審査の結果の要旨

金属材料のリラクセーションはクリープとともに時間依存の基本的強度特性であって、フランジ等の締付ボルトの締付力の低下、内部応力の応力除去焼鈍等多くの重要な工学的問題と密接な関係をもつ現象である。

実用金属材料のリラクセーションに関する研究は主として英国及び米国において行なわれてきたが、これらの研究の殆んどは個々の材料のリラクセーション性質を列挙するか、あるいは単純なクリープ変形理論に基づく解析に止まっており、系統的な研究に欠けている。本研究はこのような情勢に即して、実用金属材料の高温および常温におけるリラクセーションの基礎的特性を精密に解明し、これに基づいて複雑な条件のもとにおけるリラクセーション挙動を解析および実験によって系統的に究明したものである点が注目される。

リラクセーションはクリープ現象と表裏の関係にあり、その関連が明確になれば、各種工業材料について豊富に提供されるクリープデータを用いて、そのリラクセーションを推定しうることになり、工学的意義は大きい。著者の研究はこの点に重点をおき、高温特性としては、リラクセーション過程がクリープにおける遷移クリープおよび定常クリープに対応する二つの領域よりなることを検証し、特にひずみ速度の応力依存性ならびにクリープ回復がリラクセーションに影響を及ぼす主要な因子であることを指摘し、これを考慮してクリープデータよりリラクセーションを推定する解析的方法を与えている。さらに単純引張応力下の基礎的なリラクセーション特性に基づいて、實際上重要な変断面棒締付応力および各種多軸応力のリラクセーション挙動を推定する解析的方法を示し、実験的にその妥当性を実証している。

なお、本論文においては、常温における金属材料のリラクセーション問題として、PC 鋼線のリラクセーションを取りあげ、これの長時間試験を行なってクリープ性質とリラクセーションの関連を究明し、解析的にクリープデータよりリラクセーションを推定する方法を示し、さらに各種の処理による PC 鋼線のリラクセーション性質の変化にも触れている。

以上のように、本論文は実用金属材料の高温および室温における基礎的な単純引張リラクセーション特性を詳細に解明し、これを基礎として各種の複雑なひずみ拘束条件下のリラクセーション挙動を追求し、著者の得た金属材料のリラクセーションに関する知識を体系的に分類、集積して、工学的なリラクセーション問題処理の方法を確立したものであって、学術上また工学的に寄与するところが多く、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られる。