

氏名	大谷隆一 おおたにりゆういち
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第159号
学位授与の日付	昭和44年3月24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	CREEP AND CREEP FRACTURE OF METALLIC MATERIALS UNDER MULTIAXIAL STRESS AT ELEVATED TEMPERATURES (金属材料の高温における多軸応力下のクリープおよびクリープ破壊)
論文調査委員	(主査) 教授 平 修二 教授 河本 実 教授 遠藤吉郎

論文内容の要旨

ボイラ、タービン其の他高温用機器の設計にはその作動状態における温度および応力の分布に関する情報が基本的に要求される。これに対応してクリープまたはクリープ被断試験により得られる使用材料の基本高温強度値より定まる許容応力値を導入してそれら機器の請元が決定される。特にこれら機器は作動状態において一般に多軸応力が作用する条件下にあり、これに対し、軸応力による上記試験結果に基く設計条件の選択については多くの議論があり、これら機器の性能向上の要求から、クリープおよびクリープ破壊に関する一軸応力と多軸応力状態の関係について格段と厳密な検討が必要となっている。本論文はクリープ変形における一般的法則を検討して著者の見解を明らかにし、多軸応力下のクリープに関する問題をクリープ力学の立場から理論的ならびに実験的に検討を加え、高温用機器のクリープ設計に対してより信頼ある情報を提供することを目的としたもので、一軸引張りクリープ強度と多軸応力クリープ強度の関係、多軸クリープおよびクリープ破壊の特徴およびその力学的法則、種々の高温圧力管のクリープ強度および設計基準式の検討などについて論じており、序、総括を含めて8章よりなっている。

第1章の序において本研究の歴史的背景ならびに目的について述べている。

第2章は多軸クリープの基礎的な法則を明らかにするため、0.14% C鋼および18—8—Nbステンレス鋼の薄肉筒に高温において、種々の大きさの引張り応力と捩り応力、あるいは引張り応力と内圧を組合わせて負荷した場合のクリープおよびクリープ破壊についての実験を行ない、一軸クリープとの関連において多軸クリープの特徴を明らかにし、塑性力学の理論を拡張したクリープ力学の理論の妥当性を検討している。その結果、クリープ変形については von Mises の塑性条件が妥当であることを示し、これから外れる場合には材料の異方性の影響によることが多いことを指摘している。クリープ破壊については、クラックの進展に関する顕微鏡観察などから最大主応力が破壊の支配的因子であることを明らかにしているが、破壊寿命の推定という点では必ずしも最大主応力説がよいとは限らない。すなわち、クリープ破壊の法則はクラックの発生時期、進展速度、破壊の様式（粒内または粒界破壊）、材料の延性などに依存するもの

であって、一般にはクラックの進展期間が全寿命に比べて短かく延性破壊の様相を呈する場合には von Mises の条件がよい結果を示し、その逆に脆性破壊の様相を呈する場合には最大主応力説が妥当であることを示している。

第3章では内圧と軸荷重が作用する厚肉円筒の変形と破壊について論じている。厚肉円筒においては応力、ひずみともに三次元的に分布し、そのクリープ変形や破壊寿命の理論的推定にはかなり複雑な解析を必要とする。本論文では歪硬化説を採用した有限変形理論に基く解析方法を提唱し、電子計算機による数値計算結果を示し0.14% C鋼厚肉円筒に関する実験結果との対応によって、著者の理論が一軸引張りクリープ破断データより多軸応力クリープ破壊寿命を推定するのに妥当なものであることを示している。

第4章においては、多軸クリープおよびクリープ破壊に関する以上の基礎的研究の結果に基づいて、内圧管のクリープおよびクリープ破壊につき理論および実験により詳細に検討した結果を述べている。クリープ変形過程を順次に非定常応力理論、定常応力理論および有限変形理論により取扱い、クリープ変形過程における応力分布の変化を論じている。一方、0.19% C鋼および2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼の薄肉および厚肉管について内圧クリープ試験を行ない、クリープ過程にある管の除荷時の残留応力を Sach 法およびX線応力測定法によって求め、これより負荷時の応力分布を求めることにより応力分布の変化を実験的に求めて理論との比較を試み、著者の提唱する理論の妥当性を示している。さらに有限変形理論によるクリープ破壊寿命の推定を試み、種々の材料に対する破壊の criterion を検討し、その結果、圧力管の寸法、材料の種類、使用温度および圧力の大小にかかわらず、平均径の式

$$\delta = P \left(\frac{1}{2} \frac{D}{t} - 0.5 \right)$$

(ただしPは内圧、Dは管の外径、tは管壁厚さ)が一軸引張りクリープ破断データから内圧管のクリープ破壊強度を推定するのに最も適していることを明らかにしている。

第5章では内面と外面で温度の異なる内圧厚肉管のクリープを取扱っている。この場合の変形は、形変理論において内外壁の温度差を導入することにより等価温度を定義し、この温度のもとにおける変形と同等であることを示し、0.19% C鋼の外径約51mm、内外径比2の厚肉管の外壁温度450~500°C、内外壁温度差25°C内圧1000Kg/cm²の場合について実験を行ない、理論変形値との比較を試みてこの解析が数十度の温度差のある場合には充分適用できることを示している。

第6章においては変動内圧クリープを実験的に取扱った結果を述べている。0.19% C鋼および2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼の外径50.5mm、内外径比2の厚肉管をそれぞれ500°Cおよび50°Cにおいて、それぞれ800および1200kg/cm²の圧力を24時間負荷、続く24時間除荷を繰返し、負荷時の変形の和を一定内圧負荷の場合の変形と比較した。その結果、圧力を除くとそれに続く除荷期間に組織回復が生じ再負荷時にクリープ速度の遷移的な増加がみられ、この繰返しによって変形が増加し、一定内圧負荷の場合に比して圧力変動の場合には負荷時間に対する変形は大きくなる。この現象は一軸引張りクリープにおいて認められたものと同等であると述べている。

第7章では周辺固定の薄い円板の一面に等分布荷重が作用する場合の曲げクリープを取扱っている。これは内圧円管とは異なった多軸クリープ問題であり、これに著者の理論を適用してその変形を論じ、実験

との対応によって理論の適用の妥当性を実証している。

第8章は総括として本論文の研究結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

各種原動機や化学反応装置の主要部である高温用機器においては、その作動状態において複雑な温度および応力分布のもとにあり、その正確な情報がこれら機器設計に基本的に要求される。これに対して使用材料のクリープまたはクリープ破断試験により得られる基本高温強度値より定まる許容応力値を導入することによりそれら機器の諸元が定まる。従って、それら高温用機器の性能向上のためには、クリープおよびクリープ破壊に関する一軸応力と多軸応力状態との関係について格段と厳密な検討が必要となる。本論文はこの目的のために、多軸応力のもとにおける変形の一般的法則の検討から出発して、多軸応力クリープの問題をクリープ力学の立場から理論的ならびに実験的に取り扱っている。

まず、多軸クリープの基礎的な法則性を明らかにするために低炭素鋼および 18—8—Nb ステンレス鋼の薄肉円筒に高温下で種々の大きさの引張りと捩り応力、あるいは引張り応力と内圧を組合せて負荷した場合のクリープおよびクリープ破壊の実験を行ない、基本的には塑性力学の理論を形式的に拡張したところのクリープ力学における変形を検討し変形に関しては von Mises の変形則が最も妥当であり、破壊の際の亀裂進展には最大主応力が支配的因子となるが、破壊寿命推定の立場からすると、延性破壊の様相を呈する場合には von Mises、脆性破壊の形態の場合には最大主応力説が妥当であることを明らかにしている。

次に上の考察に基づいて応力、ひずみともに三次元的に分布する内圧と軸荷重が作用する厚肉円筒のクリープ変形と破壊の問題を取り扱い、進んだ段階におけるクリープ変形の推定および破壊寿命の推定には歪硬化説に基く有限変形理論の採用を提唱し、理論計算と低炭素鋼厚肉円筒による実験結果との良好な対応を示し、殊に一軸引張りクリープ破断データより多軸応力クリープ破壊寿命を推定するための信頼しうる新しい解析的手法を提案している。

一方、内圧管のクリープ過程における応力分布の変化について考察を加え、クリープ変形の過程に従って順次に非定常応力理論、定常応力理論さらに有限変形理論を用いて各段階における応力分布を求める方法を示し、低炭素鋼およびクロムモリブデン鋼の薄肉および厚肉管の高温内圧試験を実施し、除荷時の残留応力を求めることにより、負荷時の応力分布を推定し、これと理論計算による応力分布の良好な対応より著者の応力分布の解析方法の妥当性を示している。

ボイラー管等の高温内圧管の壁厚決定にはクリープ破壊寿命を基準にして設計応力が論議されるが、著者はこの際用いられる各種の設計式について理論的根拠に基づいて検討を加え、平均径の式が最も適当であることを証明し、従来経験的に用いられていた平均径の式の採用に理論的な裏付けを行なっている。

著者は以上の考察に基づいて、内外面に温度差をもった内圧管のクリープ変形の問題、さらに周辺固定、等分布荷重をうける薄い円板の曲げクリープの問題を取り扱い、著者の解析方法による変形の理論値と実験値との良好な対応を示している。

高温内圧円筒において、内圧が周期的に負荷と除荷が繰返される場合の変形問題は実際的に重要であるが、著者はこの問題についても実験的検討を加え、多軸クリープの場合も引張りクリープにおいて周期的

除荷の際に見られるごとく、連続負荷の場合よりも負荷時間に対応する変形は周期的除荷の場合が大きくなる傾向のあることを示し、その理由について考察を加えている。

以上を要するに、本論文は高温内圧円筒を主とする多軸クリープの変形および破壊寿命推定問題をクリープ力学の観点より理論的ならびに実験的検討を加え、高温用機器の設計法に新しい解析的手法を提供するとともにクリープ力学の分野に新しい視野を加えるもので、工業上、学術上貢献するところが極めて大きい。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。