

氏名	MD. AREFIN KOWSER
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記号番号	博理工甲第 811 号
学位授与年月日	平成 22 年 9 月 17 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Asymptotic Analysis of Stress Fields around Elastic/Elastic-Plastic Interface Edge of Dissimilar Materials Joints (弾性 / 弾塑性異材接合端部近傍の応力場の漸近解析)
論文審査委員	委員長 教授 荒居 善雄 委員 教授 加藤 寛 委員 教授 堀尾健一郎 委員 准教授 荒木 稚子

論文の内容の要旨

Considering the stress and displacement fields around an interface edge of an elastic and a power-law hardening materials joint, one single separable form solution of stress on the interface, $\sigma_{ij} \propto r^{\lambda-1} f_{if}(\theta)_{\theta=0}$, gives stress continuity where σ_{if} denotes stress components, r and θ are polar coordinates, λ is the eigenvalue and $f_{if}(\theta)$ is the angular function. However, the displacement on the interface in the power-law material is $u_i \propto r^{\lambda+n(\lambda-1)} g_i(\theta)_{\theta=0}$, and in the elastic material is $u_i \propto r^{\lambda} h_i(\theta)_{\theta=0}$, where u_i is the displacement component, n is power-law hardening exponent, $g_i(\theta)$ and $h_i(\theta)$ are angular functions. Due to the dissimilarity of power of r the displacement does not become continuous. The theoretical study on singularity around an interface free edge of elastic/power-law hardening materials joint has not solved yet. This thesis solved the singular stress fields around an interface edge of elastic/elastic-plastic materials joint. The objective of this thesis is to present an iteration method to determine the stress and displacement fields around an interface edge of a joint in which materials behaves as an elastic and a power-law hardening material. J_2 -deformation plasticity theory under plane strain condition is assumed for the power-law hardening material. Both the balance of force and the continuity of displacements are satisfied on the interface iteratively. The stress fields are found to be singular with the type of r^{λ_i-1} singularity from the i -th order approximation, where r is the radial distance from the interface. Due to the increase of iteration, the discrepancy of the r dependence of the fields along the interface is decreased. The power of r in the stress equation depends on the hardening exponent n . $(i+1)$ or more singular terms exist in the i -th order approximation for $n < (i+1)/i$. As is increased the absolute value of the i -th order of singularity, $|\lambda_i - 1|$, tends to be decreased to zero when $\lambda_i - 1 < 0$.

An asymptotic analysis for singular stress fields around an interface-edge of dissimilar power-law hardening materials joint has also been presented. Both the balance of force and the continuity of displacement are satisfied on the interface for two dissimilar power-law hardening materials joint having different power-law hardening exponent. In the higher order approximation, nonlinear effective stress term was expanded by Taylor series. Our analyses show the order of stress singularity has a dependency with the combination of hardening exponents. Multiple stress singular

terms exist for $(n_1 - n_2) < 1$ in the higher order approximation. The order of stress singularity has a dependency with the combination of hardening exponents, n_1 and n_2 .

論文の審査結果の要旨

本論文の審査委員会は平成 22 年 8 月 5 日に論文発表会を開催し、論文内容の発表及びそれに引き続いた質疑応答、論文内容の審査を行った。審査結果の要旨は以下のとおりである。

本学位論文は、セラミックスと金属の接合継ぎ手等の強度予測法の基礎的理論として、弾性 / 弾塑性異材接合体の界面端部近傍の応力場の特性、特に応力特異性について、漸近展開法を用いて解析する方法を開発し、その応力特異性の材料組み合わせ依存性を明らかにすることを目的として実施された研究成果をまとめている。以下に各章の内容について概要を述べる。

本論文は 4 章からなっており、第 1 章「緒言」では、弾性 / 弾塑性異材接合端部近傍の応力場の漸近解析に関する研究背景および本研究の目的について述べている。弾性体および弾塑性体の接合体界面自由端に発生する特異応力場に関して従来行われている研究成果について、材料の構成方程式、接合体形状に着目してまとめ、単一の変数分離型の応力特異解の存在が知られている弾塑性体 / 剛体界面端部の場合と比較して、弾性体 / 弾塑性体界面端部の場合には界面における変位の連続性と力の釣合いを、単一の変数分離型解で満足させることは出来ないという問題点を指摘している。そして、本研究の目的として、反復法を用いて弾性体 / 弾塑性体界面端部の特異応力場を解析する方法を開発すること、及びその方法を用いて弾性体 / 弾塑性体界面端部の特異応力場の材料組み合わせ依存性を明らかにすることを述べている。

第 2 章「弾性 / べき乗硬化材接合界面端部の特異応力場」では、本問題の解法に用いる基礎方程式をまとめ、その境界条件を示すとともに、提案する反復解法を図示することによって概念的に説明している。さらに、ゼロ次および一次近似において接合されたそれぞれの材料における解法を例として取り上げ、逐次近似における境界条件、相当応力に関わる非線形項のテイラー展開による線形化、歪の適合条件式から導出される角度関数の微分方程式の係数項、変位に関する境界条件の具体的な表現式、二点境界値問題の解法に用いたシューティング法の詳細、解の基準化と応力特異性の強さの定義等について、その式展開を詳細に示している。そして、ゼロ次および一次近似において具体的に示した式から、一般的な逐次近似解を得るための諸式を示している。特に、逐次近似の境界条件から特異性の指数に関する漸化式を導き出し、そのべき乗硬化指数依存性を明らかにしている。具体的には、異なる特異性の指数を持つ複数の特異項が表れること、その特異項の数はべき乗硬化指数に依存することを指摘している。さらに、応力特異性の強さに関する逐次近似式を導き出し、角度関数とべき乗硬化指数を用いて計算する方法を示している。以上で導き出した諸式を用いて、応力特異性の指数のべき乗硬化指数依存性、逐次近似解の次数と応力および変位場の増分の関係、半径方向および角度方向応力分布特性の近似次数依存性について具体的に、その材料組み合わせ依存性に注目して、検討している。具体的には、反復解法の近似次数を高めていくに伴い、界面における変位の連続性と力の釣合いを同時に精度良く満足することを、複数のべき乗硬化指数の場合について示している。

第 3 章「べき乗硬化異材接合界面端部の特異応力場」では、第 2 章で開発した反復解法をべき乗硬化異材接合界面端部の特異応力場の解析に応用する方法と、べき乗硬化異材接合界面端部の特異応力場に及ぼす材料組み合わせの影響について述べている。すなわち、べき乗硬化異材接合界面問題の解法に用いる基礎方程式をまとめ、その境界条件を示すとともに、適用する反復解法を図示することによって弾性 / べき乗硬化異材接合界面の場合との比較結果を説明している。さらに、ゼロ次および一次近似において接合されたそれぞ

れの材料における解法を例として取り上げ、両材料の構成方程式に非線形性がある場合に特有な点に注目しつつ、逐次近似における境界条件、相当応力に関わる非線形項のテイラー展開による線形化、歪の適合条件式から導出される角度関数の微分方程式の係数項、変位に関する境界条件の具体的な表現式、二点境界値問題の解法に用いたシューティング法の詳細、解の基準化と応力特異性の強さの定義等について、その式展開を詳細に示している。そして、ゼロ次および一次近似において具体的に示した式から、一般的な逐次近似解を得るための諸式を示し、弾性/べき乗硬化異材接合界面の場合の結果と比較しつつ説明している。特に、逐次近似の境界条件から特異性の指数に関する漸化式を導き出し、そのべき乗硬化指数依存性を明らかにするとともに、一方の材料のべき乗硬化指数が1に近づくに伴い、得られる結果が弾性/べき乗硬化異材接合界面の場合の結果に近づくことを示している。そして、べき乗硬化異材接合界面端部の場合にも異なる特異性の指数を持つ複数の特異項が表れること、その特異項の数は両材料のべき乗硬化指数に依存することを指摘している。さらに、応力特異性の強さに関する逐次近似式を導き出し、角度関数とべき乗硬化指数を用いて計算する方法がべき乗硬化異材接合界面端部の場合においても有効であることを示している。以上で導き出した諸式を用いて、応力特異性の指数の二つのべき乗硬化指数依存性（特に二つのべき乗硬化指数の差に対する依存性）、逐次近似解の次数と応力および変位場の増分の関係、半径方向および角度方向応力分布特性の近似次数依存性について具体的に、その材料組み合わせ依存性に注目して、検討している。

第4章「結言および今後の課題」では、本研究で得られた結果をまとめるとともに、本研究課題の周辺問題における今後の課題について述べている。

これらの研究成果については、すでに、2編の原著論文として国際的な学術雑誌 (Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Key Engineering Materials) に発表および掲載可とされるとともに、2編が国際会議論文として発表されている。

学位論文審査委員会としては、本論文が博士（学術）の学位を授与するに十分値するもとの判断し、合格と判定した。