

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 三浦 鴻太郎
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博 (工) 第 488 号
 学位授与の日付 平成 31 年 3 月 25 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 三次元弾性論に基づいた積層材料の理論応力解析に関する研究

論文審査委員 主査 教授・田邊 裕治
 副査 教授・新田 勇
 副査 教授・鳴海 敬倫
 副査 教授・坂本 信 (新潟大学大学院保健学研究科)
 副査 助教・プラムディタ ジョナス アディティヤ

博士論文の要旨

積層材料の弾性接触問題は広く行われている押し込み試験の理論的基礎を与えるものであり、これまでも多くの理論解析が行われてきた。しかしながら、得られた数値結果の信頼性については十分議論されていない。本論文では、**Boussinesq** に始まる弾性接触問題について新たな解法を提案し、数値結果および数値計算精度について考究している。すなわち、問題解析において生じる双積分方程式の応力もしくは変位成分を直交多項式で級数展開することによって無限連立一次方程式の解法問題に帰着させる解析手法を提案している。この手法はき裂問題へ適用できることや粘弾性問題への拡張も容易など、応用範囲が広く、数値計算精度についても、係数解の収束性より容易に確認することができるという利点を有している。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、本研究の背景、意義および目的について述べている。

第 2 章では、物体の応力状態を線形弾性論に基づいて解析するために必要となる三次元弾性問題の基礎式を誘導している。

第 3 章では、弾性基礎上に密着した弾性層を剛体円柱状および球状圧子で押し込む軸対称弾性接触問題を厳密に理論解析している。そして、剛体圧子と弾性層の接触面における垂直応力、弾性層表面の垂直変位等の数値結果を示すとともに、これらに及ぼす弾性層の厚さや弾性層と弾性基礎の力学的特性の影響について明らかにしている。

第 4 章では、異材に挟まれた弾性層内部に存在する円形き裂 (**Penny-shaped crack**) の問題を理論解析している。そして、弾性層と異材界面の接触状況 (完全固着と摩擦の無い状態) が、き裂開口変位、き裂面の垂直応力および応力拡大係数に及ぼす影響を、弾性層の厚さと材料特性をパラメタとして明らかにしている。

第 5 章では、多層材の押し込み試験を想定し、材料特性の異なる弾性層が弾性基礎上に複数積層された材料の軸対称弾性接触問題を理論解析している。そして、**Hard-coating system** と **Soft-coating system** の構造に対して、剛体圧子と弾性層の接触面における垂直応力、弾性層表面の垂直変位についての数値結果を得ている。

第 6 章では、有限厚さの線形粘弾性層に関する剛体円柱状圧子による緩和押込み問題の解析解を導出している。そして、実際に工業材料（シリコンゴムとエコーパッド）および生体組織（ウシ大腿骨頭軟骨）を対象とした実験を行って、その解の有用性を検証している。特に、軟骨の実験結果では、変形性関節症による軟骨の変性を捉えられる可能性が示唆され、バイオメカニクス分野で有益な成果を得ている。

第 7 章は、本論文の結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上、本論文では新たな弾性接触問題の解析手法の提案し、そのき裂問題と多層材への応用、さらには粘弾性材の材料特性の同定問題に拡張して、学術的に新たな知見と工学的に有用な結果を得ている。

審査結果の要旨

本論文は材料試験として広く用いられている押込み試験について、その数学的困難さ故に議論されてこなかった材料内の応力分布と変位分布、そして押込み力を三次元弾性論に基づいて厳密に解析している。その独創性は、問題解析において生じる双積分方程式の応力もしくは変位成分を直交多項式で級数展開することによって無限連立一次方程式の解法問題に帰着させるところにある。また、本解法は異材に挟まれた弾性層中のき裂（Penny-shaped crack）問題にも容易に適用可能なことから、本論文ではその応力特異性を論じており、この結果は異材接合部の強度評価に応用できる。さらに本論文では、粘弾性材料についても弾性解に対応原理を用いれば、押込み試験によってその材料特性が同定できることを示しており、実際に実験を行って検証、この結果は変形性関節症の早期診断といったバイオメカニクス分野への適用が期待される。

以上のように、本論文は、材料の力学的特性（弾性的性質）を評価するための押込み試験について、三次元弾性論により厳密に解析し、その理論的基礎を与えている。また、粘弾性体にも容易に拡張できることを示し、実際に実験を行ってその妥当性を検証している。すなわち、得られた成果は工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。