

氏 名	もも づ まさ とし 桃 津 正 敏
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1570 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	個別要素法による高速変形時の土の挙動解析

論文調査委員 (主 査) 教 授 笈 田 昭 教 授 梅 田 幹 雄 教 授 青 山 咸 康

論 文 内 容 の 要 旨

農業機械の設計において、農業機械と土の動力学的な相互作用の理解は重要である。この相互作用においては、土がある一定以上の速度を持って変形するために、土内部の力学的釣り合い状態を元に理論を構築することは不適切である。しかし、土の挙動が分離を伴うなどして複雑であることもあいまって、農業機械の設計において実用に耐えうるような基本理論の構築に至っていないのが現状である。

ところで昨今のコンピュータ性能の向上に伴って様々な数値シミュレーション手法が提案されている。そのような手法の中で、解析対象の粒子性に着目した個別要素法の土の動力学的挙動解析への適用を図り、さらにその運用方法について検討し、個別要素法の適用性を向上させることが本研究の目的である。

第1章では、土の動力学的な挙動解析の基本理論としてのテラメカニックスの重要性を述べるとともに、数多く存在するシミュレーション手法のうち個別要素法を取り上げた理由について述べている。

第2章では、個別要素法の基本原理を示している。また、計算時間短縮のために従来より行われている工夫を紹介している。

第3章では、月面土壌を模したシミュラントを用いた一面せん断試験と一面せん断試験の個別要素法によるシミュレーションについて述べた。通常の土質試験として行われる一面せん断試験は毎分1mm前後のせん断速度で実施されるが、動力学的挙動を見るためにせん断速度は毎秒1mm前後まで高めて実施した。シミュラントの実験では、せん断速度よりも材料のかさ密度が内部摩擦角への影響が大きいことがわかった。これを踏まえて、せん断速度を一定としたシミュレーションを実施したが、要素の大きさの影響は内部構造の変化の再現性に影響を与えるものの、内部摩擦係数には影響が小さいことがわかった。ただし、個別要素法のシミュレーションで入力する摩擦係数を直接的にシミュレーションでの内部摩擦係数に反映させた。つまり、土を解析対象としたシミュレーションに個別要素法を適用する場合、摩擦係数やバネ定数などの値を適切に選べば、土の物性を再現する可能性はあるが、内部構造の変化を再現するには粒径の寄与が高いことを示唆する。

第4章では、振子型切削装置を用いた土の切削実験とその個別要素法によるシミュレーションについて述べた。この装置は、ロータリー耕うんにおける耕うん爪と同様の切削速度で土塊を切削できるように設計されたものである。実験は幾つかの土を供試して行ったが、切削に要するエネルギーと粘土分の相関が高いことがわかった。シミュレーションでは、要素間に付着力が作用するようなモデルを提案した。その結果、要素の付着性と切削に要するエネルギーの相関が高くなることがわかった。要素の挙動についても、土粒子の付着性が高い土の挙動を十分に再現していると判断できる結果が得られた。これらは提案モデルの有効性を示すとともに、個別要素法の土の動力学的挙動解析に対する適用性を高めたことを示唆するものである。

第5章では、本論文の総括として本研究で明らかとなったことをまとめている。

論文審査の結果の要旨

農業機械の設計において農業機械と土の接触問題を明らかにすることは、農業機械の性能向上だけでなく、農業における環境負荷の低減や作物の健全な生育および安定した収量を得ることに寄与する重要な課題といえる。この問題を明らかにするためには、農業機械による土の様々な変形形態を表現しうるシミュレーション手法の確立が急務であった。

本研究はそのシミュレーション手法として個別要素法を取り上げて、幾つかの現象において高速に変形する土の挙動をシミュレートした研究であり、評価すべき点は以下に示すとおりである。

- (1)連続体力学に基づく計算手法では再現が困難な、特に土塊が分離する現象を再現することに対して個別要素法が有用であることを示した。
- (2)個別要素法における要素の重なりを Hertz の接触理論を用いて要素の変形として評価することで、要素数が解析対象に含まれる粒子数よりも少なくても十分な精度で土の挙動を解析できることを示した。
- (3)水分や粘土分に起因する土粒子の付着性に着目し、要素間に作用する接触力を計算するための新たな力学モデルを提案した。このモデルを用いた土の挙動のシミュレーション結果は実験結果と比較的良く一致し、個別要素法の土への適用範囲が広がったことを示した。

以上のように、本論文は、個別要素法が土の動力的挙動の解析に有用であることを示すとともに、その適用性を高めたという点で、農業システム工学、フィールドロボティクス、農業施設機能工学の今後の発展、および農業機械や農業施設の設計指針の確立に寄与するところが大い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成18年2月10日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。