

氏名(本籍)	デルフィン・スミニストラード (フィリピン)				
学位の種類	農学博士				
学位記番号	博甲第852号				
学位授与年月日	平成3年3月25日				
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当				
審査研究科	農学研究科				
学位論文題目	Development of Mathematical Models Describing the Interaction Characteristics of Soil and Moldboard Plow Bottom (土とはつ土板プラウリ体の相互作用特性を記述する数理モデルの開発)				
主査	筑波大学教授	農学博士	小中俊雄		
副査	筑波大学教授	農学博士	相原良安		
副査	筑波大学教授	工学博士	安達勤		
副査	筑波大学助教授	農学博士	小池正之		

論文の要旨

はつ土板プラウの力学的諸特性に関する研究の歴史は長く、かつ研究データの蓄積は多い。しかし、土壌条件、作業条件および体自体の設計条件、とくにはつ土板曲面形状との力学的関係については、十分に検討されているとはいえない。このような研究開発状況を勘案して、本研究は、はつ土板に沿ったれき条の軌跡とはつ土板に発生する応力分布を求める数理モデルを開発し、その実用性を検討した。さらに、はつ土板曲面部への载荷条件を実験的に決定して、エンジニアリング・ワークステーション (EWS) により有限要素法を適用して応力分布を求め、その結果をグラフィック表示した。このように本研究は、はつ土板プラウ稼働時に発生するはつ土板上のれき土の動的挙動とはつ土板の応力分布について考察し、設計過程に有用な基礎的技術情報を明らかにすることを目的として実施したものである。

本論文の主要な構成は、はつ土板に沿ったれき土の軌跡の予測、はつ土板曲面部に発生する応力の数理モデルによる解析とその実験的例証、そしてそれらの応力分布の数値解析から成っている。

各章における諸検討事項並びに研究の概要を示せば、以下のようである。

第1章では、プラウ研究の全般的現況並びに未解決の問題の抽出と各問題点に対する有効な技術的対策の有無について論議し、次いで本研究の目的、意義について述べた。

第2章では、プラウ研究について既往の研究成果を多面的角度から調べた。この分析に基づいて、本研究の実用面からの意義と学術的位置づけを明確にした。

第3章では、数理モデルにより、耕速の変化に伴ってれき条の軌跡が変動する様子を模擬し、実験

値との比較検討を行った。れき条は、微小な非圧縮性くさび形土塊の集合体と考える。進行方向を x 軸にとって、耕速に応じて接平面と水平面の交差角がれき土の速度成分の進行方向を示すように微分方程式を作成した。供試土の土性は砂壤土であり、含水比65% d. b. ,乾燥密度 $1.45\text{Mg}/\text{m}^3$ を基本設定値とした。供試プラウとして原寸の1/3モデルを採用し、浸炭鋼で仕上げた。土と金属間の見掛けの摩擦係数は0.8, 土の内部摩擦係数は0.56, 粘着力は9 kPaであった。

微分方程式から求めることができる軌跡は、有限幅をもつ微小れき条要素の外縁線で示すことが可能であり、またれき条の寸法上の変化は認められなかった。耕速の増加につれて、実験値と計算値の軌跡の差異は縮小する傾向がうかがえた。この現象は、耕速の増加につれて加速力の垂直成分が大きくなり、軌跡が曲線から直線へと変化していくためと考えられる。れき条のはつ土板に沿った移動土量は、はつ土板の右側面よりも左側面の方が少ないため、実験値と計算値の適合性の度合いは右側面の方がより良好であった。はつ土板の中心部より上部では、接平面と水平面の交差角が 90° 近くまで達するため、軌跡の推定は困難であった。この領域におけるれき土の動的挙動を高速ビデオ装置によって解析し、れき条の部分的破碎とそれに続く反転放てき現象を観察した。本解析により、れき条の軌跡推定に対して提示した数理モデルの有用性が実証できた。

第4章では、稼働中はつ土板に発生する応力の分布状態を理論的に求め、合応力を実験値と比較検討した。り体は、はつ土板部と刃先部とに別けて取扱い、それぞれの応力を求めた。数理モデルを作成するに当たり、れき条とり体の相対速度は一定であり、かつ耕速に等しいと仮定した。はつ土板部でれき条が金属面に作用する力は、接線力と垂直力の2成分力とした。刃先部では、水平（進行方向）力、側方力、垂直力の3方向成分力が作用しているとみなして解析を行い、室内実験での耕速は、 $0.10\sim 0.67\text{m}/\text{s}$ とした。耕速 $0.10\text{m}/\text{s}$ におけるはつ土板中央部の帯状に分割したれき条では、合垂直応力は刃先先端からの距離が増えるに従って増加傾向を示し、最大値に達した後は急減した。同様の変動傾向はれき条の座屈に起因する応力に対しても発生していることから、両者は固有の応力分布の生成に密接な関係を有していることが分かった。一方、接線方向の応力成分は、刃先先端から離れるに従って単調に減少する傾向をたどり、土壌の質量に起因する応力値への影響度合いは小さく、また変動も少なかった。

刃先部では、耕速の増加に伴ってはつ土板部のれき条が接線力の形で刃先部のれき条に覆いかぶさるように作用するため、作用諸力と耕速の間には逆比例の関係が認められた。刃先部に発生する応力は、り体の全応力の約60%を占めており、このデータは当該箇所の強度解析に役立てることができるものと考えられる。本解析では土のせん断抵抗を一定と仮定しているものの、耕速に対する水平方向、側方向、垂直方向の各分力は、実験値と計算値が大略類似の傾向をたどることが確認された。

第5章では、EWSに実装しているはん用有限要素解析ソフトウェアNISA IIを用いて、はつ土板に発生する応力の分布状況を解析した。まずNISA IIの適用可能性を確認するため、Timoshenko et al.が報告している片持ち梁と両端支持梁に発生する最大応力の理論解と数値解析解を比較した結果、相対誤差が $\pm 1\%$ 内外と極めて良好な結果を得た。り体全体は、肉厚に対応して5つの解析対象部分に分割した。有限要素の分割要素は四辺形薄肉シェル要素とし、はつ土板曲面部と刃先部の等高線

データから三次元解析モデルを構築した。応力の解析には、3種類の主応力値から von-Mises 等価応力を求める方式を採用している。4種類の耕速において、分割したれき条の通過曲面へ作用する垂直力と接線力は、数値モデルから求めた。この数値モデルの適用可能性は、実験結果との対比により検証した。モデルから導出した解析解は、NISA II の入力データとして用いている。供試モデルの解析では、各節点要素が6自由度をもつと仮定した。解析結果の1例を挙げると次のようである。最大変形は刃先部に発生し、最大たわみ量は 2.46×10^{-6} mであった。von-Mises 等価応力の最大値は表層、中央層、下層でそれぞれ 2.76×10^6 , 7.54×10^5 , 2.77×10^6 Paを示した。また供試材料の極限強さを 4.0×10^8 Paとした場合、安全率は150となった。はつ土板中央部と刃先部で大きな応力が観察されるが、これはフログによる固定支持位置に対応している。線形静的有限要素解析により、り体の構成材料内部における応力ひずみ挙動も、定性的かつ定量的観点から検討できた。応力集中及び大きな変形の発生が、刃先部で観察された。はつ土板外縁部の変形は、耕速の増加につれて増大する傾向がうかがえた。

第6章では、これまで考察してきた基礎的研究並びに室内実験について総括し、本研究の実用的意義について述べた。最後に解明できた研究成果をはつ土板プラウの設計・製作現場へどのようにして反映させるのか、その現実的方策について言及した。

審 査 の 要 旨

本論文は、はつ土板プラウのれき条の軌跡及びはつ土板に生起する応力分布を求める数値モデルを開発し、同時に有限要素法を適用して応力分布の数値解析を試みた研究である。れき条を非圧縮性くさび形土塊の集合体とみなして数値モデルを構築し、耕速に対応した軌跡及び応力分布の変動状況を解析しており、プラウ設計過程において有用な技術的データを提示している。本研究の接近手法は、EWSを設計手段の中核とする最新設計技法の動向を先鞭をつけるものであり、形態設計、材料設計に対しても実用的意義のある情報を与えることができることから判断して、農業機械設計技術への応用性は極めて高いと思われる。

よって、著者は農学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。