

琉球大学農学部 上野正実・鹿内健志  
九州大学農学部 橋口公一  
酒井重工業（株） 能勢行則

## 【はじめに】

圃場機械の踏圧による土壌硬化は、畑作地帯においては深刻な問題を引き起こすことも少なくない。このため多くの研究者が、主として実験的な手法によりこの問題にアプローチしている。しかしながら、土壌条件や機械の使用条件の多様さのために、踏圧現象の全容を解明するには至っていない。踏圧現象は、土壌と機械の相互作用の一問題と見なすことができ、この分野においても有限要素法を利用した解析が注目されている。車輪の走行状態を適切にシミュレートするには、いくつかの問題も残されているが、次第に成果もあがりつつある。

土壌に関する有限要素法では使用する構成式が第一義的に重要な意味をもつ。従来、弾性構成式や粘弾性構成式を利用した解析が行われてきたが、これらは走行装置下の土中の応力分布を知るにはある程度有効であるものの、わだちなど残留ひずみに関しては全く表現できない。土壌硬化はこの残留ひずみが主要な役割をはたすので、これは大きな欠点であると言える。

本研究では、踏圧現象へのアプローチにおいても適用可能な弾塑性有限要素法の開発を試みた。

## 【方 法】

剛性車輪の走行に伴う踏圧現象を解明するために、弾塑性有限要素法を適用し、すべり率を数段階変化させて解析を行った。有限要素法に用いた土の弾塑性構成式は次の特徴をもつ下負荷面モデル（橋口）である。

- （１）弾性変形から塑性変形への滑らかな遷移を表現できる。
- （２）等方的な硬軟化だけでなく、移動硬化を表現できる。
- （３）繰返し载荷におけるヒステリシスを表現できる。

解析では、車軸荷重に相当する所定の接地反力を生ずる深さまで車輪をまず沈下させ、その後、一定速度で回転させた。前者を初期沈下ステージ、後者を回転ステージと呼ぶ。回転ステージではすべり率を数水準設定して解析を行った。初期沈下ステージは1回のみ計算し、そのデータを用いて回転ステージの計算を行った。

回転ステージでは、すべり率にみあう強制変位をまず与え、クーロンの摩擦条件による接地荷重の垂直・接線成分のチェックを行って必要に応じて増分解を修正した。接地荷重の鉛直成分は一定に保つように制御した。

今回の解析ではこれは200Nに設定したが、この条件は十分に満足された。解析領域は60×370mmである。解析に用いた土の材料定数（パラメータ）は豊浦

標準砂のものを用いた。また、解析と同等の条件で車輪走行実験を行い、解析結果との比較を行った。

### 【結果と考察】

#### 1. すべり率と走行性

車輪の回転に伴って、けん引力が増加してピークに達する傾向は実験結果と同様の結果を得た。すべり率が増加すると、回転角に対してけん引力の増加する割合は高くなった。また、ピークけん引力は同じ条件で行った実験結果とほぼ同じで、すべり率との関係にも同様の傾向がみられた。実験結果と比べて、解析によるピークの出現角は全般に早く表れた。車輪の接地面における法線ならびに接線応力は、実験結果と同様に、ピークが車輪中心より前方に偏位する分布を得た。これらの応力値も実験結果に近い値を示した。このように、実験結果にかなり近い解析が可能になったが、計算機の容量の制限もあり、定常状態の解析には至っていない。

#### 2. 土壌の変形状態

踏圧に直接関連する土壌の変形は沈下として表れる。車輪が回転していない状態での沈下すなわち初期沈下については、解析および実験ともほぼ同じ結果であった。一般に、沈下量の大小は、踏圧現象だけでなくけん引性能などにも大きな影響を与える。車輪の回転に伴う沈下量の変化はすべり沈下と呼ばれているが、すべり率が大きいほど沈下量は増大する傾向が表れている。また、回転に伴って沈下量の変化は次第に小さくなり、ある値に漸近していく過程が表現されている。これらの傾向は実験結果と類似のものであった。

踏圧現象は土壌中のひずみの変化としてとらえることができる。特に、体積ひずみが重要であり、その中でも塑性体積ひずみの大きさと分布が本質的な役割を果たす。有限要素法の利点の一つはこのようなひずみの分布を定性的に、あるいは、定量的に分析できる点にある。実験では車輪下のひずみを写真法を用いて解析しているが、有限要素法で得た結果と定性的には近い傾向がみられる。

これらの分析結果についてはポスターで詳細に述べたい。

### 【む す び】

走行車輪下の踏圧現象すなわち土壌の変形現象を有限要素法を用いて一部解析できたが、定常走行時の解析に至っていないので、計算効率の改善に務めていきたい。