

九州大学 橋口公一, ○岡安崇史, 三原弘生, 篠田正憲
琉球大学 上野正実, 鹿内健志

【keyword】土の変位, ひずみ, オンライン計測, 画像処理, 土槽実験

I はじめに

農機や建機によってもたらされる土の力学的挙動は, 機械-土系の力学的相互作用に関する問題として捉えることができる. 本問題を合理的に解明するには, 機械の運動に伴って生ずる土の経時的な変位計測が求められる. 本研究では高密度カメラ(ラインシフトカメラ)と画像処理装置を組み合わせることにより, 土の変位を高精度かつ高速で自動計測するオンラインシステムを開発した. さらに, 本計測システムを用いて剛性車輪走行時における土の変形挙動を計測・分析し, その適用性について検討した.

II 実験方法

1. 計測システム

図 1 に本研究で開発した土の変位計測システムの構成を示す. 本システムは, 実験土槽, マーカ, ラインシフトカメラ, 画像処理装置および解析用コンピュータで構成される. 本カメラは $H4,000 \times V4,000$ 画素の高密度画像を入力可能である. 画像処理装置は入力画像を 256 階調画像および 2 値画像に変換し, 画像中の任意の物体の重心, 面積, 主軸の向きなどの特徴量を高速かつ高精度で算出できる.

2. 土の変形解析の方法

図 2 に土中変位のオンライン計測のフローチャートを示す. 計測開始と同時に土層断面の静止画像がラインシフトカメラから画像処理装置へ入力される. 入力画像は階調画像に一旦変換された後, 予め設定した 2 値化閾値によって 2 値画像へ変換される. このような 2 値化のプロセスにおいて, 黒色に近い土粒子や土槽枠の影などは黒領域として認識され, マーカと混同する場合があるので除去する必要がある. そこで, 面積フィルタを用いてマーカの大きさに近い黒領域のみを 1 次選抜する. このようにして選抜された黒領域の種々の特徴量は, 検索テーブル(特徴量を検出順に整理して格納するメモリ)に順次保管される. 次に検索テーブルの先頭データより, それぞれの黒領域がマーカか否かの判定を行う(2 次選抜). この判定では黒領域の内部に白領域のあるもの, すなわち, 図のような和銭形状のものをマーカとして認識する. このような 2 段階の選抜処理により, マーカのみを 100%に近い確度で検出可能である. 以上の処理を検索テーブルの全てにわたって繰り返すことにより, マーカの中心座標と基準点の座標データファイルが作成され, 1 回の計測が終了する.

3. 実験条件

実験土層は気乾状態の豊浦砂を充填して深さ 220mm で作製した. 実験は初期荷重 320N の車輪を非回転の状態で沈下させた後, 設定したすべり率で走行させた. すべり率は車輪の進行速度を 4mm/min 一定として, 回転速度を調節して設定した.

III 結果および考察

1. 土粒子の変位軌跡

図 3 にすべり率 3.9%および 43%の土粒子の変位軌跡を示す. すべり率 3.9%において土粒子は車輪の走行に伴って進行方向へ変位し, 徐々に車輪の回転による排土作用により後方へ変位し, 土粒子の変位軌跡は真円に近い楕円軌跡となる. 一方, すべり率 43%では前方への変位がすべり率 3.9%に比して小さく, 後方への変位が大きくなるため, 土粒子の変位軌跡はやや偏平な楕円軌跡となる. このように, 本計測システムはすべり率の違いによる土粒子の変位特性の詳細な分析が可能である.

2. 土中間隙比の分布

図 4 にすべり率 3.9%およびすべり率 43%における土の空隙比(土粒子の体積と空隙のそれとの比)の分布を示す. 本図より表層付近の土が車輪の走行によって圧縮され, 空隙が減少する様子が明瞭に読みとれ, また, すべり率によって圧縮特性が異なり, すべり率が高いほど表層部が強く圧縮される傾向が見られる. さらに, すべり率が高いと表層付近の空隙比は

一様ではなく分布ムラが生ずる。しかし、ある深さ以上のところでは両者は一致する傾向が見られる。このように、本システムにより経時的な土中各部の圧縮状態を解析できることから、走行条件と土の転圧現象との関係を解析可能である。

IV おわりに

本研究では土槽の透明側壁の内側に配置した土に追従して動く多数のマーカの観察により、土中各部の変位を高精度かつ高能率に計測できるシステムを開発した。土の変位は走行条件により異なり、とくに表層部の土の圧縮特性に明瞭の差があることを示した。

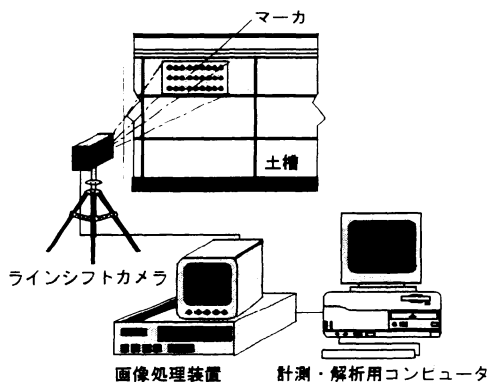


図1 計測システムの構成

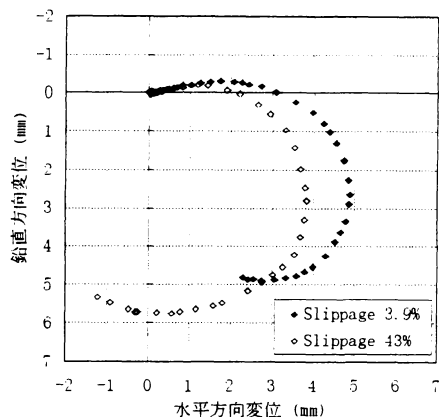


図3 土粒子の変位軌跡

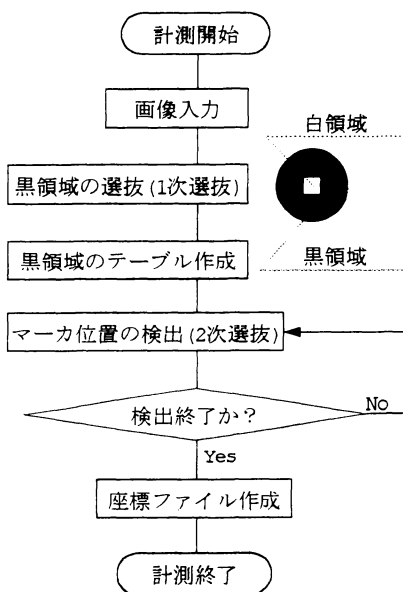


図2 計測のフローチャート

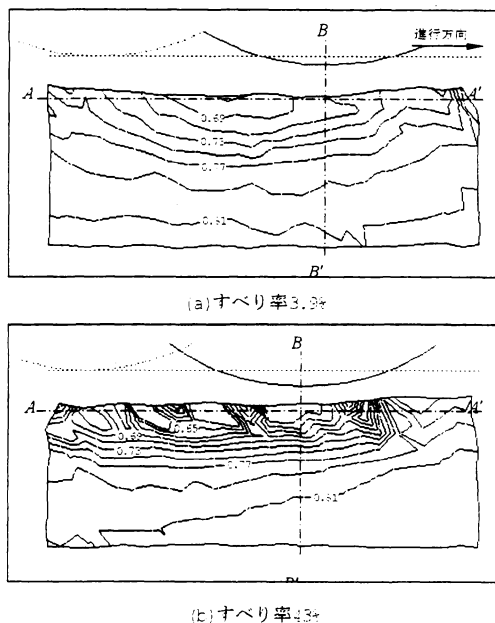


図4 走行車輪下の間隙比の分布