

## 画像処理による土の変位のオンライン計測に関する研究\*

橋口公一\*<sup>1</sup>, 岡安崇史\*<sup>1</sup>, 上野正実\*<sup>2</sup>, 鹿内健志\*<sup>2</sup>

## 要 旨

農機や建機がもたらす土の力学的挙動を解明するには、土中各部の刻々の変位の定量的な把握が不可欠である。筆者らは、先に、土槽の透明側壁に配置したマーカの動きより、土の変位を計測するシステムを開発した。このシステムでは、マーカ位置（座標値）の読取りを手作業で行うため、データ解析に膨大な時間を要し、解析可能なデータ数には自ら限界がある。この欠点を解消するため、本研究では、高密度カメラと画像処理技術を用いて、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。また、車輪走行に伴う土の変位の計測を行い、本システムの適用性を検証した。

[キーワード] 土の変位, ひずみ, オンライン計測, 画像処理, 土槽実験, 車輪走行性

## Image Processing On-line Measurement for Soil Displacement\*

Koichi HASHIGUCHI\*<sup>1</sup>, Takashi OKAYASU\*<sup>1</sup>, Masami UENO\*<sup>2</sup>, Takeshi SHIKANAI\*<sup>2</sup>

## Abstract

A measurement system for the soil displacement induced by farm machinery, construction machinery, etc. has been developed by the authors. In this system movement of markers set inside the transparent side-wall of soil bin is observed, while markers follow the displacement of soil. It takes a lot of time for data processing since positions of markers are read by manual works. On-line data processing system for measurement of soil displacement was developed by adopting the high density line-shift camera and the image processing techniques. Graphic system for demonstration of trajectories of displacement, contours of strain (increment), void ratio, etc. was also developed in this present study. It was verified by the wheel traveling performance test that the system enables us to measure the soil deformation with high efficiency and accuracy.

[Keywords] soil displacement, strain, on-line measurement, image processing, soil bin test, wheel traveling performance

## I 緒 言

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

\* 1997年4月 第56回農業機械学会年次大会(三重大学)にて一部講演

\*1 会員, 九州大学農学部(☎812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 ☎092-642-2929) Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka, 812-8581 Japan

\*2 会員, 琉球大学農学部(☎903-0129 沖縄県西原町千原1 ☎098-895-8769) College of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, 903-0129 Japan

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の計測が求められる。Wong<sup>1)</sup>はカメラのシャッターを開放させた状態で土の変位を撮影する方法により、せん断帯の発生状況を観測したが、十分な精度での定量的計測には至っていない。中嶋、田中<sup>2)</sup>は土槽側面に描いた石灰点をマーカとして用いているが、土の移動に伴い石灰点が不鮮明になり計測不能となる。Windish、Yong<sup>3)</sup>、大石<sup>4)</sup>はマーカとして小鉛球を採用し、

X線撮影による土の変位計測を行っているが、装置が高価で取り扱いに特別な技術・資格を要するなど容易ではない。また、龍岡他<sup>5)</sup>はゴム製メンブレンに描いた格子線を土槽側面に配置し、土の変形を定量化しているが、メンブレンの伸縮には限界があり、有限変形には追従できない。著者らは実験土槽の側壁を透明アクリル壁として、その内側にマーカを多数配置し、これらの変位を経時的に写真撮影することにより、土の変位の新たな計測法を開発した<sup>6)</sup>。これにより、土の経時的変位の高精度な計測が可能となった。しかし、1回の走行実験で得られる数十枚にも及ぶ写真から、マーカ位置を平面位置検出装置を用いて手作業で読取するため、実験データの処理に膨大な時間を要する。そこで本研究では、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車輪走行時における土の変位挙動を計測・分析し、その適用性について検討を行った。

## II 計測法

### 1. 土の変位計測システム

本研究で開発した土の変位計測システムは、図1に示すように、実験土槽、マーカ(コスモ企画)、撮影装置(ラインシフトカメラ:コスモシステム, LC II D-5000B)、画像処理装置(ファー

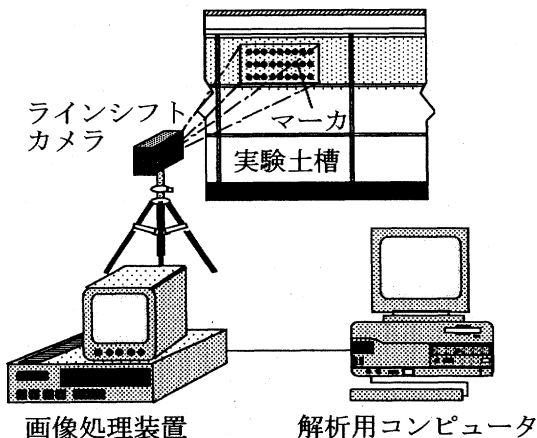


図1 計測システムの構成

Fig. 1 Composition of the measurement system

スト, CSC901b) および解析用コンピュータで構成される。実験土槽は長さ1,888×幅414×深さ617mmで、土の変位を観測するため、側壁は透明アクリル製(長さ1,000×深さ617×厚さ30mm)にしている。

#### (1) マーカの仕様と配置方法

土の変位は、土層側面と透明アクリル側壁との間に配置したマーカの位置を経時的に追跡して計測される。マーカの土槽側壁への配置状態を図2に示す。マーカは外径5mmで、その位置判別を確実にを行うため、表面は黒地で中央に白色の正方形(1×1mm)が描かれている。また、裏面には供試土を接着して土への追従性の向上を図っている。マーカは、アルコールまたは蒸留水の付着力を利用して、供試土の充填と並行しながら土槽側壁へ約10mm間隔で数百個(本走行実験の場合は約200個)を配置する。実験はおよそ24h放置して、マーカ表面のアルコールまたは蒸留水を乾燥させた後に開始する。

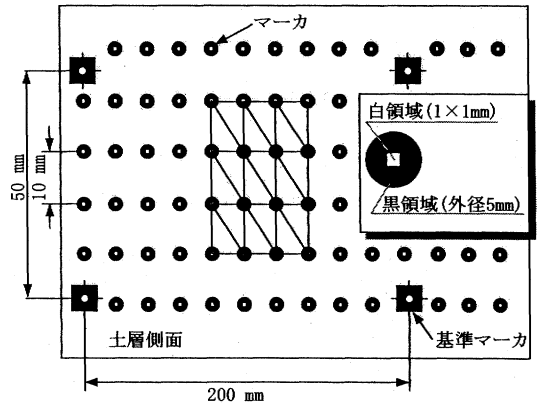


図2 マーカの配置状況

Fig. 2 Setting of the markers on the side wall of soil bin

#### (2) 撮影・画像処理装置

図3にラインシフトカメラの構造を示す。本カメラは、画像入力部に5,000個の受光素子を直列に配置したラインCCDを搭載し、精密なリニアスライド(一定速度でラインCCDを高精度に平行移動させる)機構によって、有効画素H4,000×V4,000の画像を入力する。画像処理装置は、ラインシフトカメラからの入力画像を256階

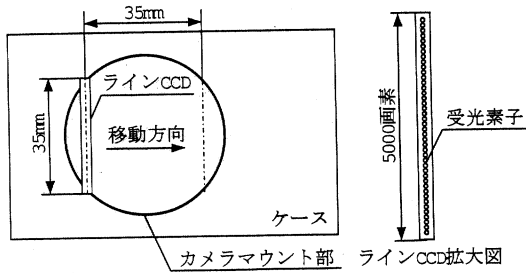


図3 ラインシフトカメラの構造

Fig. 3 Structure of the line-shift camera

調画像（以下、階調画像と略称）および白黒画像（以下、2値画像）に変換し、画像中の任意の物体に対する重心、面積、主軸の向きなどの特徴量を高速かつ高精度で算出する。なお、画像処理用のソフトウェアは、画像処理装置に付属するC言語ライブラリ<sup>7)</sup>を利用してユーザが自由に開発できる。

## 2. 土の変形解析法

図4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クと混同する場合があるので、不要な黒領域は除去する必要がある。そこで、面積フィルタを用いて、マークの大きさに近い黒領域のみを1次選抜する。これは画像中の任意の黒領域の占める画素数、すなわち、その面積がマーク面積の範囲内にあるもののみを選抜するフィルタである。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クか否かの判定を行う。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2のような和銭形状のものをマークとして認識する。白領域についても面積フィルタを用いてマークに酷似するもののみを選抜する（2次選抜）。このようにして、マークと判断された白領域（正方形領域）の重心をマークの中心座標として検出する。重心位置  $(x_g, y_g)$  は次式で与えられる<sup>8)9)</sup>。

$$x_g = \frac{\int A l_y da}{A}, \quad y_g = \frac{\int A l_x da}{A}$$

ここで、 $l_x$ ：原点からマーク内部の白画素までの  
x方向の距離

$l_y$ ：原点からマーク内部の白画素までの  
y方向の距離

$A$ ：マーク内の白領域の全面積

このような2段階の選抜処理によって、マークのみを100%に近い確度で検出できる。なお、実験中にマークの黒領域の一部が欠けても、マークの中心座標は白領域の重心位置で決定されるので検出可能である。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、マーク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。

土の変形（ひずみ）は、3個のマークを節点とする三角形要素でメッシュ化（図2参照）した後、計測した各マーク（節点）の変位量より有限要素法と同様に次式で算出される。

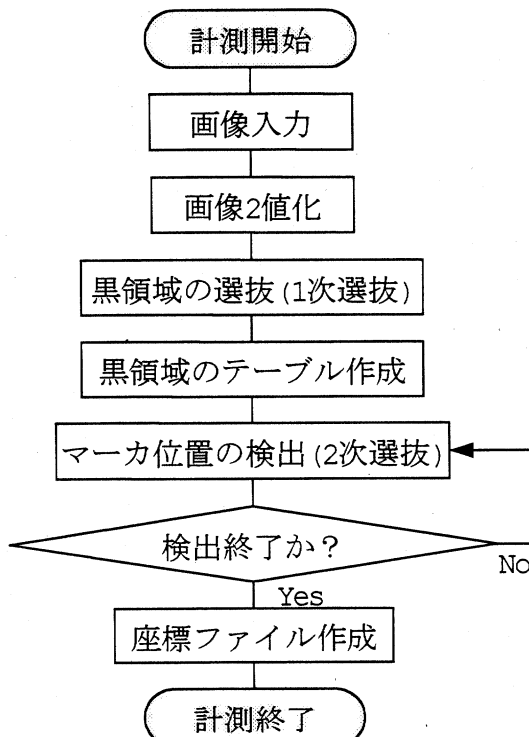


図4 計測のフローチャート

Fig. 4 Flowchart of measurement

$$\begin{cases} \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \\ \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \epsilon_v = \epsilon_x + \epsilon_y \end{cases}$$

ここで、 $\epsilon_x$ ：水平方向垂直ひずみ  
 $\epsilon_y$ ：鉛直方向垂直ひずみ  
 $\epsilon_v$ ：体積ひずみ  
 $\gamma_{xy}$ ：せん断ひずみ  
 $u$ ：マーカの水平方向変位 (mm)  
 $v$ ：マーカの鉛直方向変位 (mm)

3. 実験条件

本計測システムを用いて実施した車輪走行実験の実験条件を表1に示す。実験土層は気乾状態の豊浦砂を充填して作製した。実験では、初期荷重320Nの車輪を非回転の状態に沈下させた後、すべり率3.9%および43%で走行させた。本実験では、車輪の進行速度を0.082mm/s(実験中一定)として、回転速度を調節することにより、すべり率を設定した。

表1 実験条件  
 Table 1 Test conditions

供試土	名 称 真 比 重		豊浦砂
剛性車輪	半径(mm) 進行速度(mm/s)		150 0.082
すべり率 (%)	土層深さ (mm)	土層の平均間隙比	
3.9	177.6	0.816	
43.0	178.2	0.823	

III 結果および考察

本計測システムの精度、効率を検討するため車輪走行実験を行ったが、その結果は以下の通りである。

1. 計測精度

本計測システムでは、レンズによる映像のひずみ(収差)により誤差が生ずるため、収差を含めた計測精度について評価を行った。まず、40mmの距離間隔を期待設定値として2個のマーカを印刷した校正用定規を作製した。なお、印刷後、

マーカ間の距離をノギスを用いて厳密に20回測定したさいの平均値は40.22mmであった。この定規を計測領域300×120mmにおけるxおよびy方向の視野中心と周辺部(上下左右)に配置して、マーカ間隔をそれぞれ20回ずつ計測した。収差を生じない視野中心での計測値の平均値が、ノギスの測定値とほぼ厳密に一致したことから、周辺部のそれぞれの計測値の平均値、これらからノギスによる測定値を減じて得られる収差および、それぞれの計測値の標準誤差を、表2(a)に示している。これより、収差を含めた本計測システムの計測精度は、x方向で0.12±0.0091mm、y方向で0.05±0.0186mmと推定されるが、y方向の標準誤差が大であるのは、ラインCCDのy方向へのリニアスライドに伴って生じる誤差と考えられる。

他方、参考資料として著者等が以前開発した計測システム(以下、旧システムと称する)の計測精度<sup>10)</sup>を表2(b)に示している。旧システムでは人為的な読取り誤差が避けられないため、標準誤差が大きくなっているが、本計測システムではこの問題はなく、個人差のない安定した変位計測

表2 計測精度の評価

Table 2 Evaluation on the measuring precision

(a)本計測システムの計測精度				
	配置箇所	平均長さ (mm)	収 差 (mm)	標準誤差 (mm)
ノギス		40.22		
x	中心	40.21	-0.01	0.0074
	上	40.25	0.03	0.0074
	下	40.25	0.03	0.0063
	左	40.34	0.12	0.0091
	右	40.34	0.12	0.0054
y	中心	40.23	0.01	0.0185
	上	40.27	0.05	0.0186
	下	40.26	0.04	0.0128
	左	40.26	0.04	0.0099
	右	40.26	0.04	0.0130

(b)本計測システムの計測精度

	収 差 (mm)	標準誤差 (mm)
x	0.24	0.0568
y	0.01	0.0469

が可能である。

2. 計測速度

本計測システムでは、1回の計測に約10sを要するが、これはラインシフトカメラの画像入力機構によるもので、7sが撮影に費やされる。したがって、カメラを高速撮影用に交換すれば、計測時間を短縮できる。残りの3sは、2値画像への変換、1次選抜、2次選抜およびマーカの中心座標の算出に要する時間である。この計測所要時間についても、旧システムと比較してみる。旧システムでは、マーカの撮影からその中心座標読取りまでを手作業で行うので、約150~170個のマーカの中心座標読取りに1hないし1.5h（実験の所用時間2h、フィルム現像の所要時間は除く）を必要とする。また、読取り作業には視覚的疲労を伴うので1日2枚程度が限度であり、1実験の解析データ作成（写真50枚程度）には、およそ25日間を必要とする。一方、本計測システムではこれらの作業を自動化し、走行実験と並行してマーカの位置計測を行うので、実験終了（実験の所用時間は2h）と同時に座標データの作成が完了する。このように、本システムにより計測能率および精度の飛躍的な向上が実現された。

### 3. 土粒子の変位軌跡

土の転圧や走行性の解析において、従前より土の変位を定量化する試みがなされている。Yong, Fattah<sup>11)</sup>は、粘土地盤上で走行する剛性車輪下の土の変位軌跡が、深さ方向を長軸とする楕円形状となること示し、また、鹿内他<sup>12)</sup>は、密な砂地盤上でのゴム被覆剛性車輪下の変位軌跡が、指数関数で近似されると報告している。本研究では、比較的緩い砂地盤を対象に剛性車輪下の変位軌跡についてその特性を調べた。

図5に土粒子の変位軌跡を示す。凡例の各値は走行開始時の車輪位置に対するマーカの水平方向位置で、鉛直方向位置は深さ50~60mmの表層域にあるものである。なお、これらはすべて初期沈下による変位がなく、車輪通過後、変位が完全に停止したものを表示している。すべり率3.9%では、土粒子が車輪の接近に伴い前方へ変位し、車輪荷重の影響により徐々に下方へと向きを変え、車輪の回転に沿って後方へと変位している。すべり率3.9%の各マーカの変位軌跡はほぼ一致しており、地盤が緩く圧縮性が高いので下方への変位が大きく、深さ方向を長軸とする楕円軌跡となっ

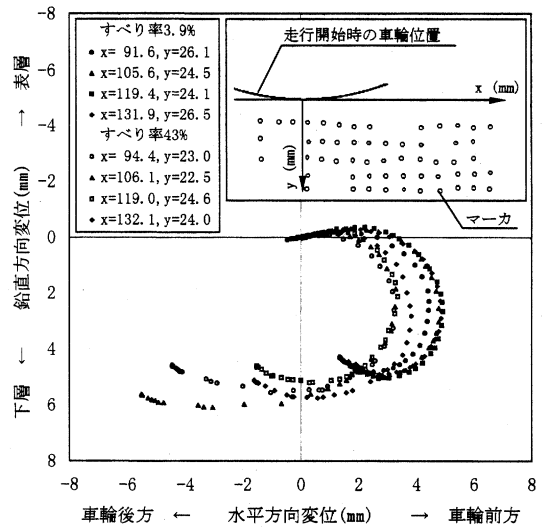


図5 土粒子の変位軌跡

Fig. 5 Displacement locus of soil particles

ている。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、逆に、車輪—土間のせん断力が大きいので、後方への変位が顕著となっている。したがって、変位軌跡は水平方向を長軸とするやや扁平な楕円形状となる。また、後方の変位軌跡にずれがあるのが特徴である。このように、変位軌跡は上記文献のものを含め、車輪の形状、材質、走行条件および地盤条件などに強く影響されていることがわかる。

### 4. 土の変形特性の解析

#### (1) ひずみ分布

図6にすべり率43%、進行距離149mmにおける土中のひずみ分布を等値線で示す。水平、鉛直

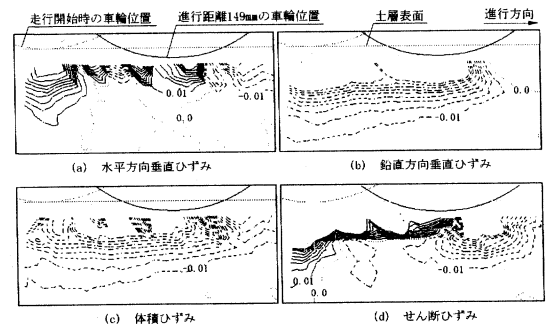


図6 走行車輪下のひずみ分布(すべり率43%)

Fig. 6 Distribution of the strain beneath the rolling wheel (slippage 43%)

方向垂直ひずみ (a), (b) および体積ひずみ (c) は, 圧縮を破線で, 伸張(膨張)を実線で表示している。せん断ひずみ (d) は, せん断変形の方法により正負が決まるが, ここでは負を破線, 正を実線で表示している。なお, 等値線は,  $-0.1 \sim 0.1$  (10%) を  $0.01$  (1%) 間隔で表示している。(a) から表層域に変形が集中する傾向を讀取れ, 車輪前方では車輪の接近で土が前方へ押出され圧縮されていることがわかる。車輪後方では, 土の変位に差があるので (図5参照), ひずみ分布にムラが見られる。(b) は, 車輪の通過に伴う下方への土の圧縮で層状の圧縮ひずみ分布が現れている。(a) と (b) の和で示される (c) は, 表層域が (a) による影響で圧縮ひずみに分布ムラがあり, 中層・下層域は (b) による層状の圧縮ひずみ分布となっている。(d) は, 車輪後方の表層域にせん断ひずみが集中しており, せん断帯が発生したことを示している。せん断帯の発生は, 主にけん引力低下の力学的要因であるので, その解明のためにも本システムが有用であると考えられる。

(2) ひずみ増分分布

図7に走行車輪下のひずみ増分の分布を示す。本図は, 車輪の進行距離145mmの状態を基準として, そこから4mm走行する間の土中のひずみ増分分布と変位増分ベクトル (図中に尺度を表示) をオーバーラップさせたものである。等値線

は,  $-0.02 \sim 0.02$  (2%) の範囲を  $0.002$  (0.2%) 間隔で表示してある。(a) では, 車輪前方での土の変位が進行方向を向いているのに対し, 車輪直下付近ではその逆向きとなるので, 車輪前方から直下付近にわたって伸張ひずみが分布している。車輪後方では, 土が車輪の回転方向に変位しているが, 車輪直下付近の変位が後方に比べ大きいため, 相対的に圧縮ひずみ分布を示している。(b) は土が車輪荷重および回転によって下方へ変位し, 圧縮ひずみが分布している。(c) では水平方向の伸張ひずみ (a) より鉛直方向の圧縮ひずみ (b) の方が大きいので, 車輪下は圧縮ひずみが分布する。(d) はゼロせん断ひずみ線 (せん断ひずみを伴わない線) が車輪前方にあり, 車輪前方側に負ひずみ, 後方側に正ひずみが分布している。従前の研究<sup>13)</sup>で, せん断ひずみ増分分布の変化とけん引力の変動との関係を報告しているものの, 実験データが少なく定量的な結論には至っていないが, 本システムにより詳細な解析が可能になると期待される。

5. 土中間隙比の分布

河原, 星加<sup>14)</sup>は, 静的転圧ローラの走行後に土をサンプリングし, その乾燥密度を計測して締固め効果を考察しているが, 経時的にそれらを解析できるまでには至っていない。

図8にすべり率3.9%および43%における土の中間隙比の分布を示す。中間隙比は初期中間隙比と体積ひずみから次式で与えられる。

$$e = (1 + e_0) \varepsilon_v + e_0 = \frac{V_v}{V_s} \left( \varepsilon_v = \frac{e - e_0}{1 + e_0} = \frac{V - V_0}{V_0} \right)$$

$$e_0 = \frac{V_{v0}}{V_{s0}}$$

ここで,  $e$  : 現在の中間隙比

$V$  : 現在の体積

$e_0$  : 中間隙比の初期値 (実測値)

$V_0$  : 体積の初期値

$V_s$  : 土粒子自身の体積

$V_v$  : 間隙の体積

$V_{s0}$  : 土粒子自身の体積の初期値 (実測値)

$V_{v0}$  : 間隙の体積の初期値 (実測値)

(体積の単位はすべて  $\text{mm}^3$ )

いずれのすべり率においても車輪の通過で土が

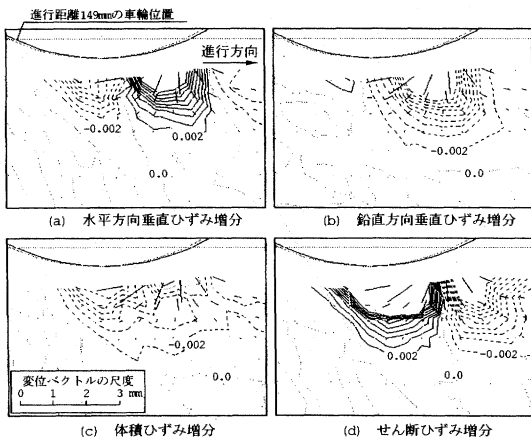


図7 走行車輪下のひずみ増分の分布(すべり率43%)  
Fig. 7 Distribution of the strain increment beneath the rolling wheel (slippage 43%)

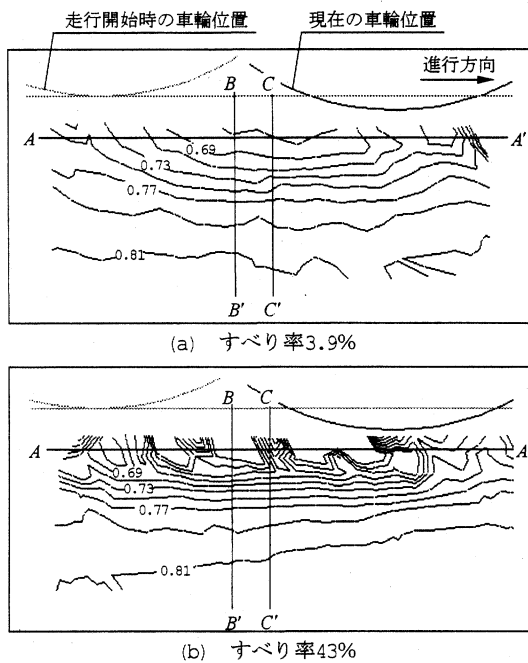


図8 走行車輪下の間隙比の分布

Fig. 8 Distribution of the void ratio beneath the rolling wheel

圧縮され、間隙の減少が見られるが、すべり率43%の方がすべり率3.9%に比べ表層域の間隙の減少が著しく、等値線間隔が非常に密で、分布ムラも見られる。両結果の中層・下層域の間隙比分布についてはほぼ一致しており、すべり率の違いによる影響は小さいと考えられる。

図9に図8における切断線A-A' (深さ33mm), B-B' (車輪位置より-123mm) およびC-C' (車輪位置より-108mm) における間隙比分布を示す。B-B', C-C'については車輪が完全に通過した後のものである。(a)において、すべり率3.9%は間隙比が比較的滑らかに分布しているが、すべり率43%では顕著な増減が見られ、転圧にムラがあることがわかる。(b)において、すべり率3.9%のB-B', C-C'の分布はほぼ一致しており、土が一様に転圧されている。すべり率43%では、深さ45mm以内でB-B'とC-C'の分布に明瞭な違いが見られ、B-B'は減少傾向、C-C'は増加傾向を示している。C-C'で増加傾向を示すのは、ダイレタンシーの発生で体積が膨張し、間隙が増加するためと考えられる。深さ60mm以上ですべり率に関係なく分布が

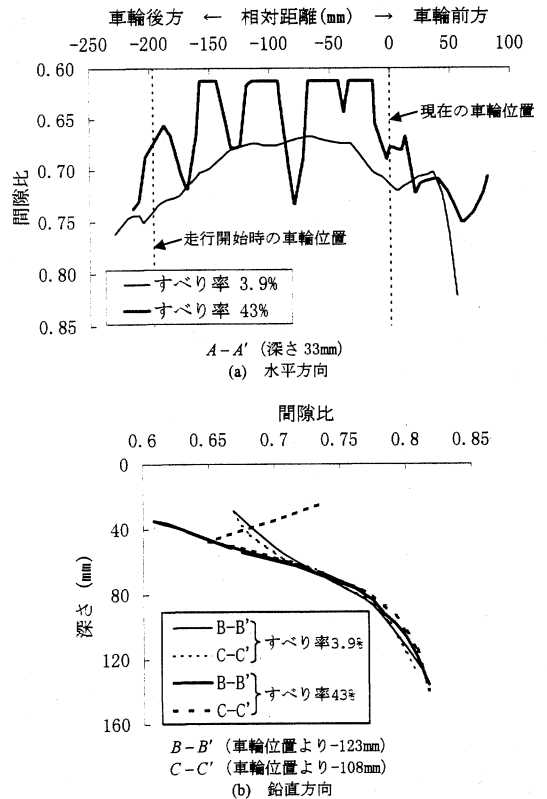


図9 間隙比の分布

Fig. 9 Distributions of the void ratio

一致する傾向があることから、すべり率による転圧特性の違いは表層域に集中すると考えられる。以上のように、本システムで経時的かつ定量的な土中各部の転圧状態を解析できることが示され、走行条件と土の転圧特性の関係の詳細な解析が可能となると考えられる。

#### IV 結 言

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、土中各部の変位を計測するシステムの高効率、高精度化を図り、以下の結果を得た。

1) 高密度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、土の変位のオンライン計測を可能にした。

2) 計測されたマーカ変位データに基づいて、土中各部の変位軌跡、変位増分ベクトルおよび垂直・せん断ひずみ分布、ひずみ増分分布、間隙比分布の等値線の表示を可能にした。

3) 車輪走行実験により、以上の計測、表示を具体的にを行い、その計測能率・精度は、既往の手法に比して飛躍的に改善されたことを実証した。また、本実験における土の変位(増分)・軌跡、ひずみ(増分)、間隙比分布等の特徴について論じた。

なお、現有のラインシフトカメラは、車輪走行実験の場合で、撮影範囲：縦200×横300mmの1回の計測に7sを要する。さらに高速度撮影用のカメラを採用することにより、高速変形現象の計測が可能となろう。この点については、マーカの高速度変位への追従性等を含めて、今後さらに改善を進める予定である。

#### 参 考 文 献

- 1) Wong, J.: Behavior of soil beneath rigid wheels, *J. Agr. Eng. Research*, 12(4), 257-269, 1967
- 2) 中嶋 洋, 田中 孝: 土-ラグ系の相互作用に関する基礎的研究(第3報), *農機誌*, 51(2), 47-55, 1989
- 3) Windish, E. J., Yong, R. N.: The determination of soil strain-rate behavior beneath a moving wheel, *J. Terramech.*, 7(1), 55-67, 1970
- 4) 大石善啓: X線ラジオグラフィ法を用いた土の切削機構の可視化, *土木学会論文集*, 454(III-20), 19-26, 1992
- 5) 龍岡文夫, 田中忠治, 谷 和夫, Siddiquee, M. S. A., 岡原美知夫, 森本励: 土質力学の境界値問題におけるひずみの局所化の意味, 地盤の破壊とひずみの局所化, *土質工学会*, 50-63, 1994
- 6) Ueno, M., Hashiguchi, K., Nohse, Y., Kokubu, T., Uchiyama, K., Shikanai, T.: A development of analyzing system for strain and stress of soil under the wheel, *Proc. 10th Int. Conf. ISTVS*, 265-276, 1990
- 7) 901シリーズ2値画像ライブラリ説明書, フェースト, 1994
- 8) 田中 弘: 画像処理応用技術, 工業調査会, 107-122, 1989
- 9) 樋渡涓二: 画像工学ハンドブック, 朝倉書店, 205-257, 1986
- 10) 鹿内健志, 上野正実, 岡安崇史, 橋口公一: 走行車輪下の土壌変形と走行性に関する研究-土壌変位の計測-, *農機九州支部誌*, 44, 1-5, 1995
- 11) Yong R. N., Fattah, E. A. : Prediction of wheel-soil interaction and performance using the finite element method, *J. Terramech.*, 13(4), 227-240, 1976
- 12) 鹿内健志, 上野正実, 橋口公一, 能勢行則, 岡安崇史: 走行車輪下の土の変形の精密計測, *農機誌*, 59(2), 3-11, 1997
- 13) Ueno, M., Shikanai, T., Okayasu, T., Hashiguchi, K., Nohse, Y., Gotoh, H., Uchiyama, K. : Soil deformation beneath a rigid wheel, *Proc. 4th Asia-Pacific Regional Conf. ISTVS*, 133-140, 1995
- 14) 河原荘一郎, 星加泰央: 転圧ローラによる砂質土の締固めと走行性との関連性, *テラメカニクス*, 13, 39-45, 1993  
(原稿受理: 1998年2月19日・質問期限: 1999年1月31日)