

走行車輪下の土の変形の精密計測

鹿内健志*・上野正実*・橋口公一**・能勢行則***・岡安崇史**

要 旨

軟弱地盤を走行する農機、建機などの研究において、車輪下の土の変形を解明することは走行性の向上のため重要である。そこで従来法と比較し精密に走行車輪下の土の変形を計測できるシステムの開発を行った。すなわち、土槽側壁の内側に設置したマーカの土に伴う動きを連続的に写真撮影し、平面位置検出装置により土中の変位分布を計測し、これより有限要素解析における方法を用いて土中ひずみ分布を算定する。砂地盤上で剛性車輪を供試して走行実験を行い、土中のひずみ分布を明らかにし、その特性を論じた。

〔キーワード〕 車輪、走行性、土壌変形、計測、ひずみ分布

A Precise Measurement of Soil Deformation under the Wheel

Takeshi SHIKANAI*, Masami UENO*, Koichi HASHIGUCHI**,
Yukinori NOHSE***, Takashi OKAYASU**

Abstract

It is required to clarify soil deformation under a wheel in order to improve the tractive performance of the off - the - road vehicles, e.g. farm machinery and construction machinery. A new system which is able to measure soil deformation more precisely than the existing methods is developed. A series of photographs for the displacements of the markers which are stuck inside a soil bin wall is taken. The coordinates of the positions of the markers are read from the photographs using the coordinate detecting device. To calculate the strain of soil from the coordinates of the markers, a method used in the finite element analysis is employed. The experiments for the rigid wheel were carried out on sand stratum. The measured strain distribution in the sand is discussed from the mechanical point of view.

〔Keywords〕 wheel, traveling performance, soil deformation, measurement, strain distribution

* 琉球大学農学部 (☎903-01 沖縄県西原町千原1番地 ☎098-895-2221) College of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, 903-01 Japan

** 九州大学農学部 (☎812-81 福岡市東区箱崎6-10-1 ☎092-641-1101) Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka, 812-81 Japan

*** 酒井重工業(株)技術研究所 (☎349-11 埼玉県北葛飾郡栗橋町大字高柳2626 ☎0480-52-6131) Technical Laboratory, Sakai Heavy Industries, Ltd., Kurihashi, Saitama, 349-11 Japan

I 緒 言

路外でけん引、走行を行う農業機械や建設機械の性能向上を目指すには、これらの走行部と土との相互作用の解明が不可欠である。このような観点から走行車輪下の土の変形を実測し、土の変形とけん引性能の関係を明らかにする試みがなされ

ている。カメラのシャッターを開放して写真を撮る方法¹⁾、土中の干渉縞を利用するモアレ法²⁾が報告されている。これらの方法では、土中のすべり状態や破壊パターンを定性的に把握することは可能であるが、破壊に至るまでの刻々のひずみを十分な精度で定量的に計測することは不可能である。また、土層側面に描いた石灰点マーカの連続写真撮影による方法³⁾⁴⁾では、石灰のマーカが土の変形とともに不鮮明になり正確な土の変位を読みとることはできない。土中に鉛マーカを埋め込みX線を照射する方法^{5)~7)}では装置が高価であるとともに取り扱いに特殊な技術を必要とする。また、土質工学の分野では三軸圧縮試験などで用いられるものと同じ材質のゴム製メンブレンに格子模様を印刷しフーチング下の土の2次元変位を詳細に観察することがなされている⁸⁾。しかし、メンブレンの伸縮には限度があり、車輪走行による土の大きな変位には追従できず、また、車輪の通過後の土中応力の開放に伴い、ゴムの弾性による土の変形の引き戻しを来す。

なお、土の変形と車輪走行性を関連づける数値解析方法として有限要素法が用いられている^{2)9)~14)}。しかし、土の変形の正確な計測が困難なため、接触面における境界条件を正確に入力することはできず、また、適切な実測値との比較による解析結果の妥当性の検証は行われていない。

本研究では、車輪走行性と土の変形の関係を実験的に明らかにすることおよび車輪走行現象の数値解析結果の検証方法の確立を目的に走行車輪下の土の変形解析システムを開発した。本システムでは、土槽側壁の内側に設置した多数のマーカの土に伴う動きを連続写真撮影することにより、土の変位の精密計測が可能である。計測された土の変位から有限要素法におけるのと同様の手法で土中ひずみ分布を求め、その特徴を論じた。

II 方 法

1. 走行車輪下の土の変形解析システム

本研究で開発したシステムは車輪走行装置、データ計測・集録システムおよび土の変位測定システムから構成される。

(1) 車輪走行装置

車輪走行装置は、車輪、台車および土槽で構成

されている。車輪は直径が300mm、幅412mmの剛性輪である。車輪は取り替え可能である。本実験では鋼鉄製(SS400)車輪の表面にクロロプレナムを5mm厚さでコーティングしたものを供試した(以後、ゴム被覆車輪と呼ぶ)。車輪と台車はリニアベアリングを介し連結されており、車輪走行部は自由な上下運動が可能で、接地荷重一定の条件で走行が可能である¹⁵⁾¹⁶⁾。車輪および台車はそれぞれ個別のステッピングモータにより駆動される。車輪の外周速度は0~80mm/minの範囲で任意に設定できる。台車はステッピングモータで駆動される2本のボールねじで移送され、0~80mm/minにおいて任意の速度を実現できる。すべり率は車輪の外周速度と台車の移動速度の組み合わせにより、-20~100%において任意に設定可能である。接地荷重はカウンタウェイトを調節することにより173~872Nの間で変化させることができる。

土槽の内側寸法は長さ1,888×幅414×深さ617mmで平面ひずみ状態を実現するため土槽側壁と車輪の間隙は1mm以下に設計されている。土槽深さは底上げにより任意に設定可能である。また、土槽側壁は透明アクリル板(長さ1,000×深さ617×厚さ30mm)で構成されており、土の内部の変形を観察することができる。土槽側壁は外側より鉄製の格子により強固に固定され、接地荷重800Nの車輪が走行するときの幅方向の変形を20 μ m以下に抑えている。なお、土層成形において、空中落下による均質充填のための土ホップおよび土表面の均平板が用いられる。図1は車輪走行装置の模式図である。

(2) データ計測・集録装置

各センサーで検出された力学的諸量(けん引力、接地荷重、トルク、沈下量、接地面法線・接線応力、回転角等)は、多チャンネルデータログで増幅・A/D変換し、GPIBを通してパーソナルコンピュータに転送・集録される。これらのデータは計測と同時にモニタにグラフィック表示される。車輪に作用する土の反力の水平成分(けん引力)および鉛直成分(接地荷重)は台車と車輪を連結するLビーム型力センサ¹⁷⁾(L型センサ)により計測される。車軸トルクはクロスゲージにより計測される。回転角、沈下量および進行距離はそれぞれ

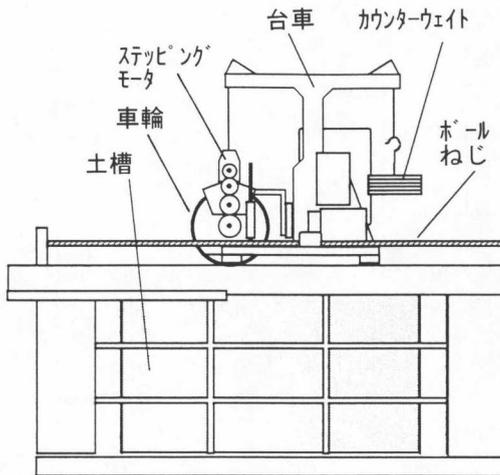


図1 車輪走行装置

Fig. 1 Experimental apparatus for traveling performance of a wheel

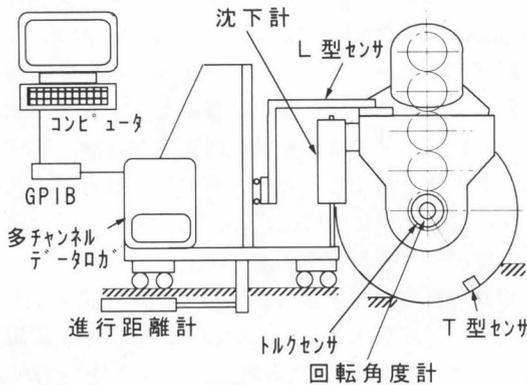


図2 データ計測・集録装置

Fig. 2 Data measuring and storing system

れ可変抵抗型ポテンシオメータにより計測される。車輪接地部の法線および接線応力は車輪表面の12mm幅の溝に埋め込まれた平行平板形力センサ¹⁸⁾(T型センサ)により計測される。データ計測・集録装置には、多くの測定項目を円滑迅速に処理できるよう、実験作業手順をコンピュータのモニタに表示する実験支援機能を付加している。図2にデータ計測・集録装置を示す。

(3) 土の変位測定システム

車輪下の土の変位検出のためにポリエステル製のマーカを用いた。マーカは厚さ25 μ mで直径5

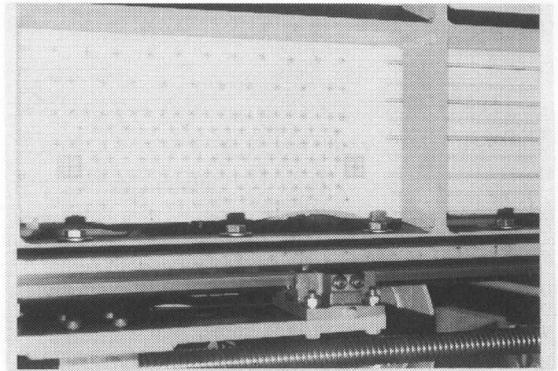


図3 土の変位測定用のマーカ

Fig. 3 Markers for measurement of soil displacement

mmの円形である。表面に十字線(線の太さは約0.5mm)が印刷してある。マーカの裏面は土粒子への追従性をよくするため砂を接着した。マーカは土槽に土を充填する前に水の付着力を利用してアクリル製内壁に貼りつける。マーカは10~20mmの間隔で、土表面から深さ約160mmまで計200~300個貼り付けた(図3)。マーカの水分が完全に乾燥してから実験を行った。まず、これらのマーカを土槽側面のアクリル板を通し無変形の初期状態で写真撮影した。なお、カメラを土槽側面から1,200mmの位置に固定し、極微粒子・黑白フィルムを用いて撮影した。次に、非回転状態で沈下させる静的沈下(初期沈下)後の状態を撮影した。それ以降の回転状態においては、車輪回転角5°毎に一連の写真撮影を行った。

写真からマーカの座標を読みとる方法として、写真を拡大しトレースする方法⁴⁾やデジタイザを利用する方法¹⁹⁾があるが、正確な座標位置は読み取れない。そこで、2組のステップモータで駆動されるX-Yテーブルとそのコントローラからなる平面位置検出装置を利用し、写真上のマーカ座標を読み取る方法を用いた。X-Yテーブルの上に写真を固定し、写真を拡大CCDカメラでモニタ画面に約60倍に拡大表示する。X-Yテーブルを移動することにより画面上の定点にマーカの十字線の交点を移動させ、X-Yテーブルの移動量からマーカの座標を読み取る。マーカ座標値はRS-232Cを通してパーソナルコンピュータに転送される。これは写真上の座標であるので、アクリル

板上に固定された3つの基準点の写真上の距離と実寸法との比より実際の座標値に変換し、データファイルとして記録する。

このシステムによる誤差としてカメラレンズによる映像のひずみ(収差), X-Y テーブルの精度およびマーカ座標読み取り時の目視による誤差が考えられるが, 座標位置が予めわかっている基準点の読み取りを行い, 土の変位計測の不確かさ解析²⁰⁾を95%包括度で行った結果, 不確かさはX軸方向で0.3522mm, Y軸方向で0.0892mmであった²¹⁾。鉛マーカを埋め込みX線を照射する方法のマーカ座標読み取りの誤差は0.203~1.04mmと報告⁶⁾されているが, 本システムにより簡易な装置で精度の高い土の変位の計測が可能であると考えられる。図4に土の変位測定システムを示す。

(4) 土の変形・ひずみ解析方法

本研究では, マーカの変位からひずみを算出するのに有限要素法で用いられる方法を採用した。土層を平面ひずみ場と仮定し, 隣接するマーカの中心点を節点とみなして, これらを結んで得られる三角形網を形成する。そこで, 車輪の進行方向および鉛直上方にとった直交座標系(x, y)を想定し, 各要素の任意の点の変位(u, v)をその座標値の一次関数で与えられるとする。つまり,

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ x \\ y \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに, 未定係数 $a_1 \sim a_6$ は三角形を形成する3節点 i, j, k の座標値および変位(いずれも添字 i, j, k を付す)により次式で与えられる。

$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix} = \frac{1}{\begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}} \times \begin{Bmatrix} x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i & 0 \\ y_j - y_k & 0 & y_k - y_i & 0 & y_i - y_j & 0 \\ x_k - x_j & 0 & x_i - x_k & 0 & x_j - x_i & 0 \\ 0 & x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i \\ 0 & y_j - y_k & 0 & y_k - y_i & 0 & y_i - y_j \\ 0 & x_k - x_j & 0 & x_i - x_k & 0 & x_j - x_i \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{Bmatrix} \quad (2)$$

また, ひずみは

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (3)$$

に式(1)を代入して,

$$\varepsilon_x = a_2, \quad \varepsilon_y = a_6, \quad \gamma_{xy} = a_3 + a_5 \quad (4)$$

で与えられる。

マーカの座標データは, 同一すべり率の実験に対して, 無変形状態, 静的沈下状態, 回転状態1, 回転状態2, ……と一連のステップのものが得られるので, これにステップ番号を付す。ある節点の変位は, 第 i ステップの座標値から無変形状態の座標値を減ずることによって得られる。これをすべての節点について求め, 第 i ステップの節点変位データを作成する。

それぞれのステップにおけるひずみは前述の手順に基づいて算出する。すなわち, 節点の座標値および変位を用いて要素内部のひずみを計算する。これをすべての要素について実施して第 i ステップの土中のひずみを求める。

(5) 土の変形結果の表示

解析結果を理解し易くするためにグラフィック表示を行った。変形状態はマーカの変位ベクトルを線素を用いて描き, その長さで変位ベクトルの大きさと方向をそれぞれ表示した。水平・鉛直方向の垂直ひずみおよびせん断ひずみの分布は等値線図で表示した。等値線は要素ひずみを平均して節点ひずみに変換し節点間を線形補間して描いた。

2. 実験方法

供試土には気乾状態の豊浦標準砂を用いた。均質な土層を形成するため, ホッパを土槽側壁に沿

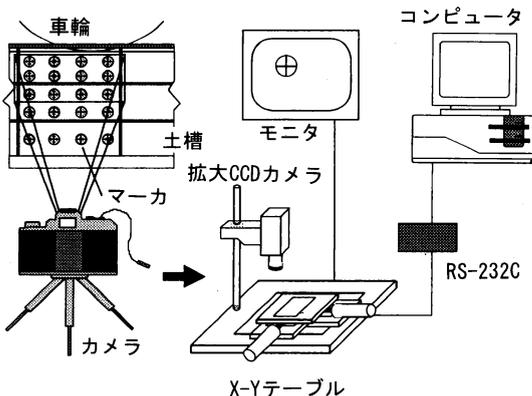


図4 土の変位測定システムの構成

Fig. 4 The measurement system for soil displacement

ってゆっくり往復させながら、砂を空中落下で撒き出す方法を用いた。充填中は、ホップの排出口と土表面の距離すなわち落下高さを800mmに維持し、間隙比がほぼ一定(平均 0.62)になるように調整した。この時の豊浦標準砂の内部摩擦角は 39.7° であった。この後、表面を擦り切って平らな走行路面に仕上げた。土層厚さは580mmとしたが、本場合、土槽底面の影響を無視し得、半無限地盤とみなし得ると考えられる。

車輪の周速度はマーカが土に追従し易いよう低速(5mm/min)に設定した。また、接地荷重を216 Nに設定した。すべり率は台車の移動速度を変化させ、3.9~90%の間を8段階に設定した。

実験では、土槽の所定の位置に車輪を非回転状態で静かに接地させ、自重沈下させた(静的沈下)。その後、車輪と台車を同時に駆動させた。

III 結果と考察

1. 土の変位ベクトル分布

図5にゴム被覆車輪の静的沈下終了時とすべり率42%で走行時(回転角 20°)の変位ベクトルの分布を示す。同図の走行時における破線の円弧は車輪の初期位置つまり回転角 0° の時の車輪の位置を示し、実線は回転角 20° の時の車輪を示す。土粒子の動きを見易くするため土の変位は10倍の尺度

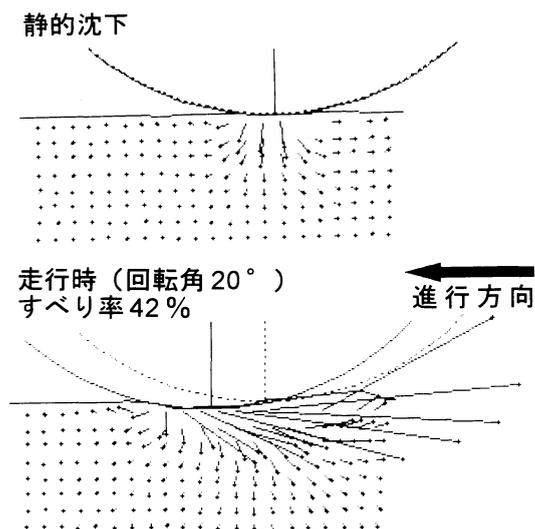


図5 変位ベクトルの分布図

Fig. 5 Distributions of displacement vectors of soil particles

で示した。

静的沈下では車輪中心を通る鉛直線を対称軸として変位ベクトルは分布する。変位ベクトルは車輪中心線の直下で鉛直下向きに最大変位量(1.81 mm)を示し、下層ほど変位量は減少する。車輪中心線の両側の変位ベクトルは地表面に近い位置で水平方向への変位が大きく車輪直下ほど鉛直方向への変位が加わり斜め下向きとなる。

車輪が回転すると、変位ベクトルは車輪前方部で、前向きの水平成分を持つものと後向きの水平成分を持つものの2つの領域に分けられる。車輪中心線より後方の車輪と接している部分では土は後方上向きに大きく動き、最大変位量(14.42mm)を示す。土の変形の様子は Wong¹⁾や Windisch et al.⁹⁾が観察したパターンと一致する。本マーカを開発する以前に、石灰点マーカやゴム製メンブレンを用いた計測を試みた。しかし、車輪走行時に大きな土の変形が生じると、石灰点マーカは拡がって不鮮明になり正確な位置が読みとれなくなる。また、ゴム製メンブレンは、伸張に限度があり変形がある程度以上大きくなると土の変位に追従できない。他方、本研究で開発した薄いポリエステル製マーカによる土の変形計測は周辺土壌への影響を与えることなく、微小変形から大変形にわたって高精度で計測が可能である。

2. 車輪下の土粒子の変位軌跡

土の経時的な動きを明らかにするため、ゴム被覆車輪下の深さ毎の土粒子の変位の軌跡を図6に示す。

Yong et al. は粘土地盤上を剛性車輪が走行したときの土の軌跡は上下方向を長径とする楕円状になると報告している⁹⁾。しかし、今回用いた密な砂地盤ではせん断変形による膨張・軟化のため車輪通過時に車輪の回転とともに後方に土が大きく変形し、路面が盛り上がる。後方で土の大きな変形を表すため、土粒子の軌跡を次の指数関数による曲線で表現することを試みた。

$$r = ae^{(b\theta^2 + c\theta)} \quad (5)$$

ここに、

$$r = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v}{u}\right) \quad (7)$$

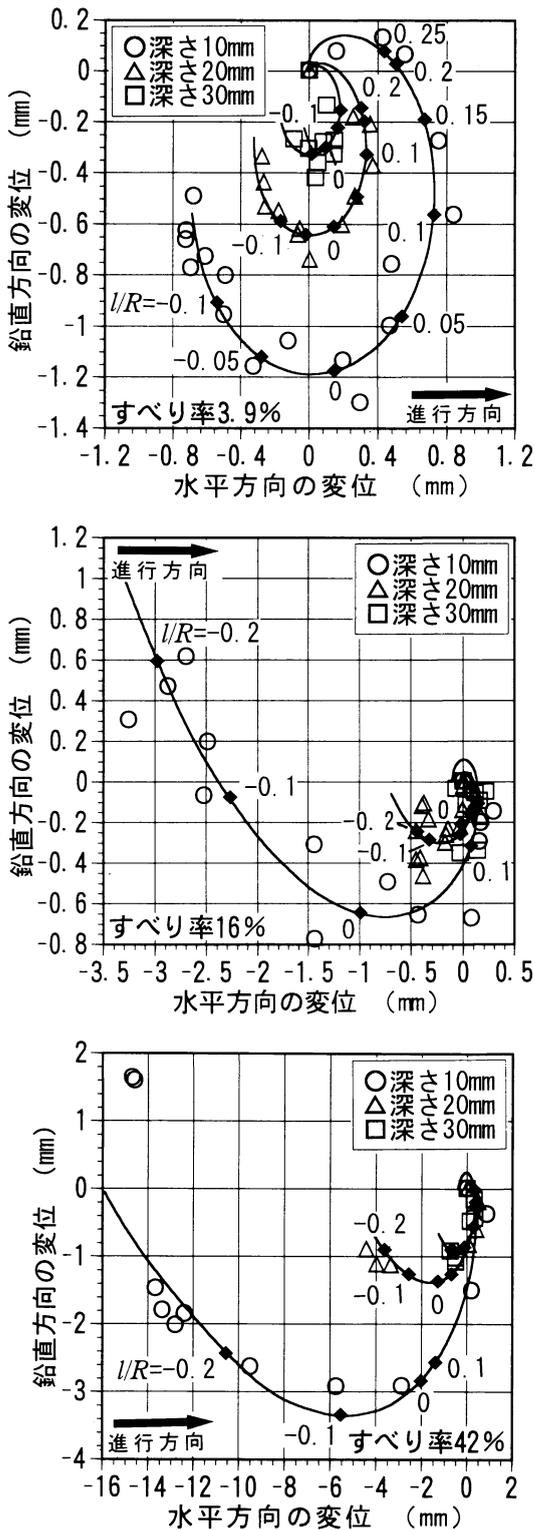


図6 土粒子の変位

Fig. 6 Trajectories of soil particles

表1 土粒子変位式(5)における各定数

Table 1 Parameters in eqn. (5) for trajectory of soil particle

	a	b	c
すべり率 3.9%			
深さ 10mm	5.3092E-01	-3.4310E-01	1.0515E+00
深さ 20mm	1.7211E-01	-5.4344E-01	1.6935E+00
深さ 30mm	1.0562E-01	-4.7653E-01	1.4683E+00
すべり率 16%			
深さ 10mm	1.0565E-01	8.1899E-02	7.3368E-01
深さ 20mm	8.5258E-02	1.3797E-02	6.4274E-01
深さ 30mm	1.3615E-01	3.6907E-02	2.0325E-01
すべり率 42%			
深さ 10mm	2.7958E-01	1.4379E-01	8.3644E-01
深さ 20mm	3.1834E-01	1.5460E-01	4.0495E-01
深さ 30mm	2.7857E-01	-5.8067E-02	7.6642E-01

a, b, c は土性, すべり率などによる定数である。求めた曲線を図中の実線で示す。すべり率, 深さ毎に得られた(5)式の定数を表1に示す。図中の l/R は土粒子の変形中の位置から車輪中心線までの水平距離 l と車輪半径 R の比を表し, l は車輪前方部に土粒子が位置するときを正とした。

すべり率3.9%の場合, 土は車輪が近づくにつれて ($l/R > 0$) 前方上向きに移動し, 車輪が接近するにつれ半円を描くように前方下向きから後方下向きへと運動の向きを変える。車輪中心線が真上に来た時 ($l/R = 0$) に土粒子は大略, 最も深いところまで移動する。その後, 車輪が通過すると ($l/R < 0$) 土粒子は後方上向きに移動し, ある深さで動きは止まる。

すべり率が大きくなると, 車輪が近づいてくるときに土粒子はほとんど前方に動かず, ほぼ真下へ動く。その後, 向きを後方下向きに変え, 車輪中心線が真上にくると, 大略, 最大深さまで動く。その後, 車輪が通過すると土粒子は後方上向きに大きな変位を示す。すべり率が大きくなるほど後方へ移動する距離は大きくなる。最終的には土が膨軟化し変形前の位置よりも上方に移動し停止する。

3. 土中ひずみの分布

ゴム被覆車輪が走行する際の土中のひずみ分布について述べる。図7にすべり率3.9%, 42%の時の土中の垂直ひずみ (鉛直方向) ϵ_y の分布を示す。

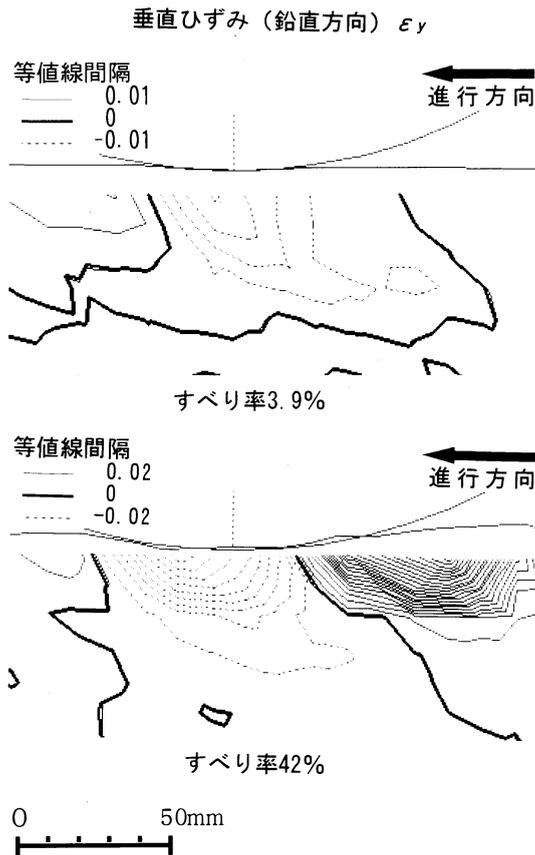


図7 鉛直方向の垂直ひずみの分布図（すべり率3.9%，42%）

Fig. 7 Contours of vertical normal strain (slippage 3.9%, 42%)

等値線図の実線は正（伸張）ひずみを破線は負（圧縮）ひずみを表す。いずれのすべり率においても車輪中心より前方に偏って大きな圧縮ひずみが生じている。これは車輪が近づいてくるときに車輪前方部で土が下向きの変位を受け圧縮されるためと考える。すべり率42%の場合は、車輪後方で大きな伸張ひずみの領域が存在する。車輪後方で土が後方上向きに変位し、地表面が上昇していることがわかる。

図8にすべり率3.9%、42%の時の土中の垂直ひずみ（水平方向） ϵ_x の分布を示す。どちらのすべり率においても車輪中心線の真下に伸張ひずみ、その前後に圧縮ひずみが生じる。すべり率が小さい場合は車輪が近づく際に土の前方への変位が大きいため車輪前方部の圧縮ひずみが多い。すべり

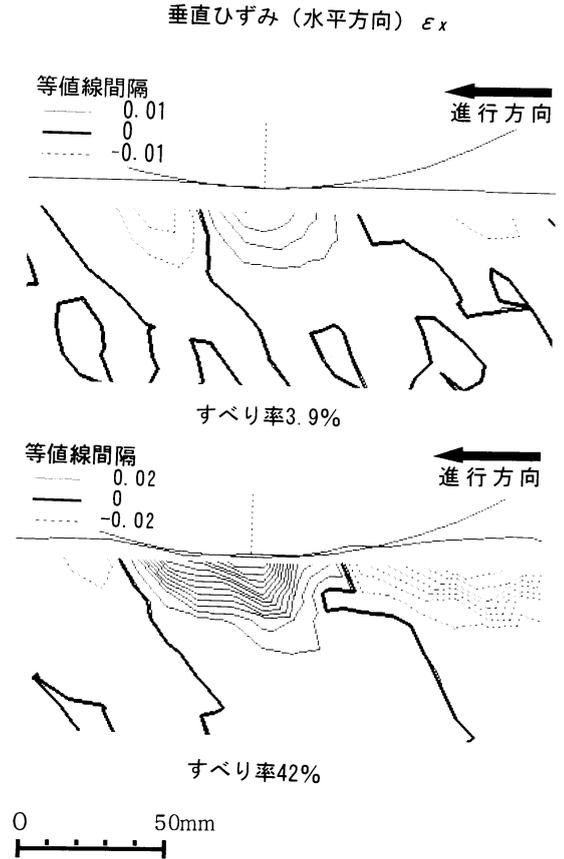


図8 水平方向の垂直ひずみの分布図（すべり率3.9%，42%）

Fig. 8 Contours of horizontal normal strain (slippage 3.9%, 42%)

率の増加に伴い、車輪前方部の圧縮ひずみは小さくなるが、車輪下の伸張ひずみは大きくなり、その後方に発生する圧縮ひずみは大きくなる。

図9にすべり率3.9%、42%の時の土中のせん断ひずみ γ_{xy} の分布を示す。すべり率3.5%の場合、車輪中心線付近を境として前方に正、後方に負のひずみが分布する。すべり率が大きくなるに従って車輪後方の負のせん断ひずみの領域が前方に拡大していき、その値も大きくなる。このひずみは残留ひずみとして残るので、車輪の進行に伴い領域は拡大していく。

IV 摘 要

車輪下の土の変形を精密に計測できるシステムを開発した。半無限地盤を想定した砂地盤におい

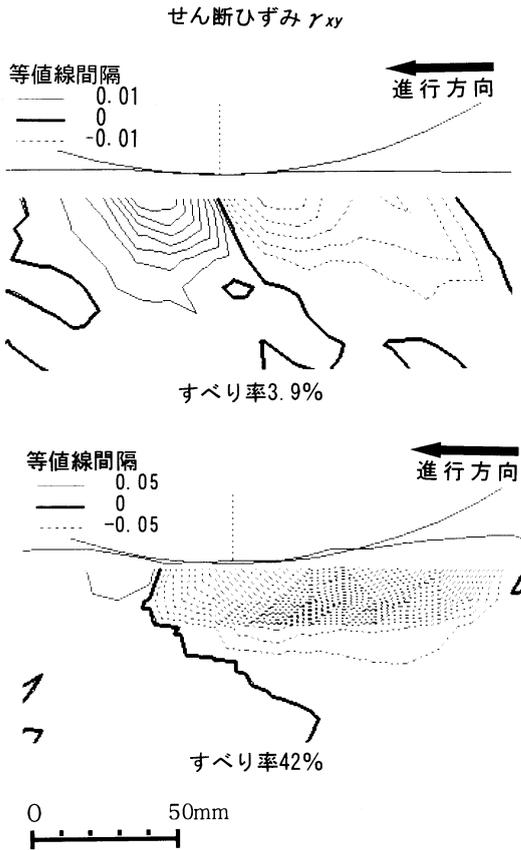


図9 せん断ひずみの分布図(すべり率 3.9%, 42%)
 Fig. 9 Contours of shear strain (slippage 3.9 %, 42%)

て剛性車輪の走行実験を行い、車輪下の土の変形挙動を解析し次の結果を得た。

- 1) 静的沈下時の微小な土の変位および車輪走行時の大きな土の変形に対して高精度で土の変位が計測できる。
- 2) 密な砂地盤上をゴム被覆車輪が走行するときの土の軌跡を定量化し指数関数を用いて表現することができた。
- 3) すべり率の変化による、車輪下の土中ひずみ分布を得ることができた。

参考文献

- 1) Wong, J. Y.: Behaviour of soil beneath rigid wheels, Journal of Agricultural Engineering Research, 12(4), 257-269, 1967
- 2) 広間達夫, 太田義信, 須山啓介: 車輪下の土壌変形の有限要素法による解析 (第1報), 農機誌, 46(2), 163-170, 1984
- 3) Abebe, A.T., Tanaka, T., Yamazaki, M.: Soil

compaction by multiple passes of a rigid wheel relevant for optimization of traffic, Journal of Terramechanics, 26(2), 139-148, 1989

- 4) 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
- 5) Windisch, E. J., Yong, R. N.: The determination of soil strain - rate behaviour beneath a moving wheel, Journal of Terramechanics, 7(1), 55-67, 1970
- 6) Boyd, C. W., Windisch, S. J.: A technique for measuring deformations within a sand under controlled wheel loads, Proceedings of the 2nd International Conference of the ISTVS, 183-197, 1966
- 7) 市場 悟, 兵頭和也, 大石善啓: X線ラジオグラフィ法を用いた可視化実験技術, テラメカニクス, 7号, 21-25, 1987
- 8) 龍岡文夫, 浜田英治: 鉄筋による砂斜面の補強法に関する室内実験 (X), 生産研究, 37(9), 18-21, 1985
- 9) Chung, T. J., Lee, J. K.: Dynamics of viscoelastoplastic soil under a moving wheel, Journal of Terramechanics, 12(1), 15-31, 1975
- 10) Yong, R. N., Fatah, E. A. T.: Prediction of wheel - soil interaction and performance using the finite element method, Journal of Terramechanics, 13(4), 27-240, 1976
- 11) 笈田 昭, 田中 孝: FEMによる土の粘弾性挙動解析 (第3報), 農機誌, 43(1), 11-17, 1981
- 12) 北野昌則, 時田宗之: 剛性輪と土の相互作用に関する研究, テラメカニクス, 5号, 48-54, 1985
- 13) 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4報), 農機誌, 52(1), 77-83, 1990
- 14) Raper, R. L., Johnson, C. E., Bailey, A. C.: Coupling normal and shearing stresses to use in finite element analysis of soil compaction, Transactions of the ASAE, 37(5), 1417-1422, 1994
- 15) Nohse, Y., Hashiguchi, K., Ueno, M., Shikanai, T., Izumi, H., Koyama, F.: A measurement of basic mechanical quantities of off - the - road traveling performance, Journal of Terramechanics, 28(4), 359-370, 1991
- 16) 橋口公一, 住吉和彦, 上野正実, 能勢行則, 内山恵一: 車輪走行性に与える耕盤深さの影響, 農機九州支部誌, 40号, 44-50, 1991
- 17) Hashiguchi, K., Hai, L. V., Iwasaki, K.: Measurement of force by strain gauges, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 23, 145-153, 1979
- 18) 谷 康弘, 畑村洋太郎, 長尾高明, 竹中規雄: 平行平板形研削動力計に関する一考察 (第1報), 精密機械, 48(6), 772-777, 1982
- 19) Ueno, M., Hashiguchi, K., Nohse, Y., Kokubu, T., Uchiyama, K., Shikanai, T.: A development of analysing system for strain and stress of soil under the wheel, Proceedings of the 10th International Conference of the ISTVS, 265-276, 1990

- 20) 日本機械学会「計測の不確かさ」出版分科会：計測の不確かさ，日本機械学会，1-28，1987
- 21) 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号，1-5，1995
 (原稿受理：1996年9月2日・質問期限：1997年5月31日)

コメント

[読者のコメント]

車輪下の土の変形挙動を精密に測定されたことに敬意を表します。実験には乾燥砂を用いられていますが，含水比が比較的高い一般の土にもこの技術が適用できますか。

[コメントに対する著者の見解]

本システムは土槽側壁の内側に設置した多数のポリエステル製マーカにより，土の変位を計測しています。マーカは水分により変化することなく，含水比が比較的高い一般の土においても，土の変位の計測が可能であると考えます。

＜新しい出版物＞

国際シンポジウム (ARBIP95)

生物生産と農産加工分野における自動化とロボット技術 論文集 (英文)

編集・発行： 農業機械学会 平成7年11月
 体裁：B5判 全942頁 (Vol.1.2.3)
 価格：1セット7500円 (送料別1500円)

本書は平成7年11月3日から同月6日まで神戸大学農学部で農業機械学会が主催して開催された国際シンポジウムに提出・採択された論文を取りまとめたもので，主たる内容はつぎのとおりです。

- a) 基調報告論文 F. Sevilla 氏 (CEMAGSEF, FRANCE) による
 - b) 一般報告論文(口頭およびポスター講演)
- 一般報告のセッション名はつぎのとおりです。

ロボット技術，車両設計，機械開発，調製加工分野の新展開，品質評価，視覚システム，計画と教師システム，移植機械，ファイトテクノロジーと自動化，収穫機械，ニューラルネットワーク，施設の自動化，酪農の新展開，バイオマス等

論文の内容は，現時点での国内の動向は勿論のこと，世界的視野での自動化技術の現状と問題点を探る情報源として価値あるものと言えます。

この論文集は国際シンポジウム用に出版したものであり，残部は僅少です。

申込は，氏名，所属，住所，連絡先電話番号，必要部数を明記し農業機械学会事務局へFAXでご連絡下さい。