

# 粉粒体の 3 次元流れの計測 (I)

## —排土板まわりの流れ—

Measurements of Three Dimensional Flow of Granular Media (I)

浦 環\*・坂 巻 隆\*

Tamaki URA and Takashi SAKAMAKI

### 1. は じ め に

地盤土壤などを削り取り、掘り起こす土木用機械（ブルドーザー、スクレーパー、パワーシャベルなど）や農耕機械の動作する部分（排土板）に作用する力は土の大変形をとめない、非常に複雑である。2 次元的な実験や解析は、これまで試みられているが、盛り上がった土中の土砂の流れや、排土板の面近くの 3 次元流れの定量的な検討は困難な面が多く、推測の域を出なかった。土のような粉粒体の大変形挙動は、高密度の粉粒体の流れとして一般化することができる。サイロの中の穀物の流れや、土砂の流れも粉粒体の流れである。このような密度の高い粉粒体の流れのパターンの様相の一般的な研究も、計測の困難さから、2 次元的なものに限られている。本研究では、密度の高い粉粒体の流れを計測する方法として、浸透法を用い、粉粒体のマーカーをテレビカメラで追跡し、3 次元的な流れの検討を行う。

### 2. 実 験

#### (1) 透明な粉粒体の作製

浸透法の原理は、透明な粒子と粒子と同じ屈折率をもつ溶液の中に浸すことにより、粉粒体の粒子表面での光の反射・屈折が起こらないようにすることにある。溶液と粒子の屈折率を等しくすれば、透明な粉粒体をつくるのが原理的にはできる。しかし、一般にまったく一致させることは困難であり、粒子内のキズなどの欠陥、粒子成分のばらつきなどにより、「透明」とすることのできる限界はある。ここでは実験の便を考慮して、パイレックスガラスの粉をモデルとして選んだ。パイレックスガラス（屈折率  $n=1.47$ ）を粉砕し、洗浄、乾燥、ふるい分けした 0.45 mm から 0.80 mm の粒径のものをを用いた。ガラス粉の真比重量は  $\gamma=2.23(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、最大間隙比は  $e_{\max}=1.10$ 、最小間隙比は  $e_{\min}=0.76$ 、安息角は  $\phi=33.0^\circ$  である。浸透溶液は、テレピン油（屈折率  $n=1.46$  から

\* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

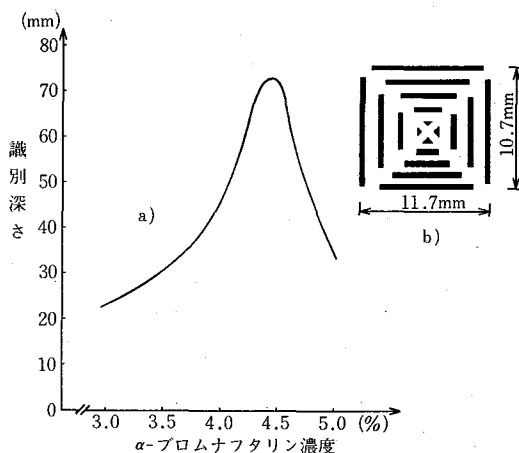


図 1  $\alpha$ -ブロムナフタリンの最適濃度と識別できる深さの関係、および識別パターン

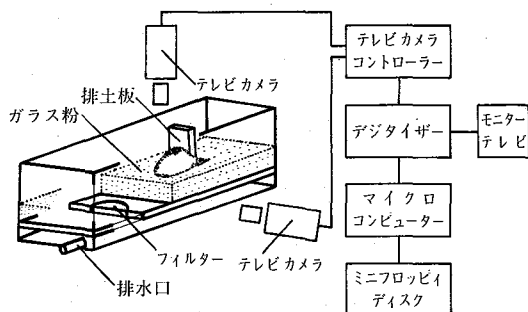


図 2 実験装置の概観図

1.47) と  $\alpha$ -ブロムナフタリン（屈折率  $n=1.657$  から 1.660）の混合液を用いた。最適混合率は、混合する溶液と粒子の屈折率が知れば計算することができるが、わずかな条件の違いで微妙に変化する。マーカーを追跡することを考えて、図 1-b に示すパターンをガラス粉の中に入れ、混合率を変えて、パターンの線が確認できる深さを調べた。図 1-a は横軸に  $\alpha$ -ブロムナフタリンの濃

## 研 究 速 報

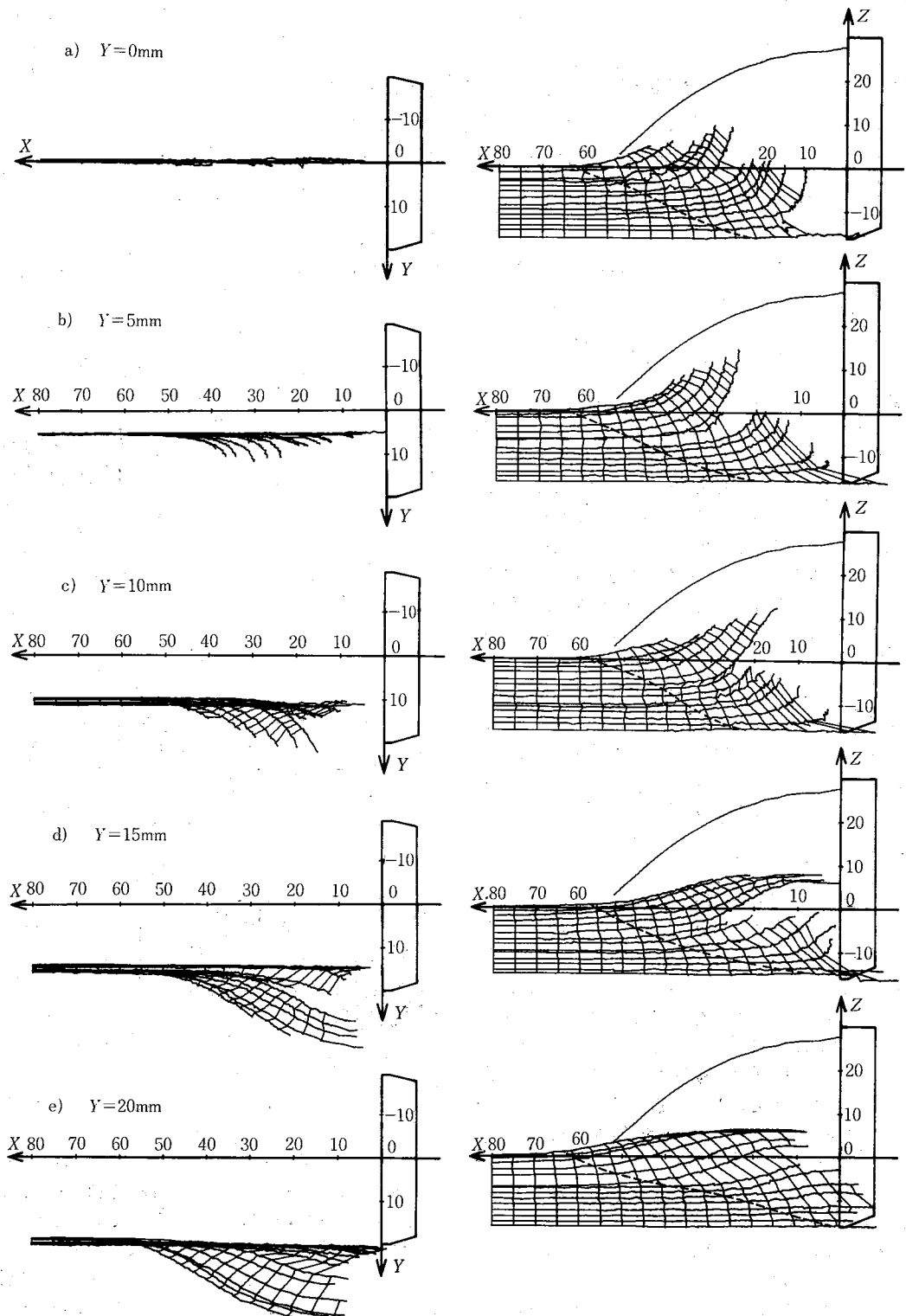


図 3 マーカの軌跡のXY, XZ 平面への投影図

度、縦軸に解像できる限界深さをプロットしたものである。この図より、 $\alpha$ -ブロムナフタリン濃度で4.3%から4.5%の範囲が最も適当であることがわかる。この範囲では、粒子にして約100個以上先を見通せることになる。マーカーはガラス粉と同粒径、同比重量で、ガラス粉中でコントラストが強く出るものが望ましい。そこで、使用しているパイレックスガラス粉を高温焼き付けして、濃茶色に着色したものを用いた。

## (2) 実 験 装 置

ここでは粉粒体の水平なベッド中を一定の深さを保ちながら前進する平板の前方の3次元変形を計測する。透視できる距離を考慮して、平板を幅40mmの長方形板とし、初期粉体表面より貫入深さを16mmとした。実験装置の概観を図2に示す。進行方向をX軸、側方にY軸、鉛直上方にZ軸をとる。乱されないベッドの表面上に、X軸をとり、原点は板の対称線上にとり、移動座標で表すこととする。X方向に移動する排土板に影響されるマーカーを、上方および側方の2台のビジコンカメラで撮影し、マーカーの座標と排土板の変位を測定する。マーカーの逐次位置はモニター・テレビの画面上で追跡し、出力結果をマイクロ・コンピュータで処理した後、外部記憶装置（ミニフロッピーディスク）に記憶した。

ガラス粉中に他の物質が混ざると、透明度が非常に落ち、またマーカーの識別が困難になるので、排土板や油槽の内壁やフィルターなどもパイレックスガラスを使用している。また、屈折率は温度の影響を受けるので槽は、恒温槽になっており、温度を28°Cに保っている。

## (3) 実 験

マーカーは、鉛直方向に14点、水平方向に5点、合計でYZ平面上、排土板の半幅内に70点設置し、一度の実験で6点ずつ計測した。排土板の中心位置は、観測の窓より50mm離れた。これは排土板の前方に盛り上がった粒子が左右に崩れ、その端が壁まで至らないためである。<sup>1)</sup> 排土板が前進すると、前方に粒子が盛り上がる。この盛り上がりが定常状態になったところから測定を始めた。X方向に、1.3mm/secで断続的に排土板を動かし、静止させたときのマーカーと排土板の変位を測定した。

図3と図4に3次元流れの様相を示す。それぞれ、排土板の影響のない十分前方で、排土板の中心線上およびその側方5mm、10mm、15mm、20mmの位置の深さに

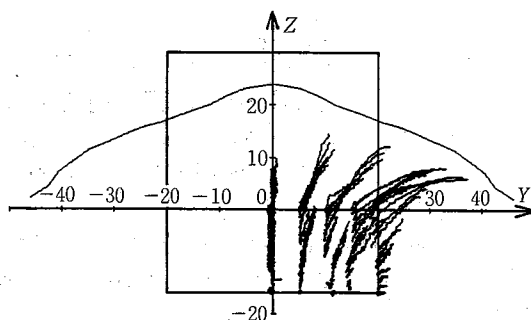


図4 マーカーの軌跡のYZ平面への投影図

よる流線の変化をXY, XZ, YZ平面への投影図で示している。XZ平面の投影図には歪が見えるように、排土板の十分前方で同じX座標にある点を5mmおきに結んである。中心線から10mm、15mm、20mmの位置の図3のc), d), e)では、XY平面への投影図にも同じ線を加えてある。粒子の一樣流れが排土板により乱されてゆく様子が示されている。

これらの図により、排土板前方の粒子の流れの様相ならびに3次元な滑り面の形状が定量的に決定される。滑り面の断面を図3に鎖線で示す。滑り面は粒子の速度に変化の生じる点を示している。また、対称面から離れると、比較的早い時期から、側方への移動が顕著になることが示されている。

## 3. お わ り に

今回の実験では、滑り面の近くのマーカーが一樣流の状態から動き始める部分について測定した。粒子の大きさを考えると、かなり良い精度で流れの様子が計測されたと考える。

本研究を行うにあたり、本研究所第4部安井研究室、第3部高木研究室にご協力、ご助言を賜った。また、(株)浜松テレビにご協力を賜った。ここに深く感謝いたします。なお、本研究は本所56年度選定研究費を用いて行ったものである。

(1982年11月17日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 浦 環・能勢義昭: “排土板に作用する力の解析” 生産研究, 第31巻4号(1979.4) 8~10