

砂の変形に関する写真計測の応用について

○ 東北大学工学部 学生員 小沢 真一
東北大学工学部 正 員 藤田 善雄

はじめに Coulombの土圧論に代表される様に、土は連続体として取り扱いされてきた。しかし、土は種々の粒子の集合体であり、その変形及び破壊のメカニズムを探ろうとする場合には、個々の粒子の挙動というものを知る必要がある。この報告は、斜面下にある砂粒子の動きを、砂自身をマーカーとして写真により測定し、変位・ひずみ分布を算定することにより砂の挙動について若干の考察を試みようとするものである。

測定原理はButterfield et al.⁽¹⁾に詳しく報告されているもので、写真測量的な原理に基づき変位も測定するものである。村山・加藤も同じ方法で実験を行っており、原理についても詳しく説明してある。

1. 実験装置・測定方法

装置を図1に示す。長さ120cm、高さ・幅30cmのタンクで、底面傾斜角(α)は0°~35°までスムーズに変化させることができる。壁は底面に回転の中心があるものと上部に中心があるものとの2種類があり、角度(β)を自由に定めることができる。側壁は透明ガラス板で、砂層とガラス板の間に1cm間隔にメッシュを刻んだ厚さ0.3mmのアクリル板を押し込み変位測定の基準とした。

基準長さの間で変位は連続的であると考える。図2の様に4つの測定点を利用して4点の中心位置におけるひずみを定義する。

フィルムと側壁、ネガと印刷紙が平行でないことから起こる誤差は、図3より、変位量には大きな影響が出るが、ひずみを算入すると消去できることがわかった。

メッシュの間隔を決定するために基準長さという変え、同じ点のひずみを測定して比較した。その結果破壊面近くの変位差が大きいため以外では、基準線長さ2cmまでは同じ結果が得られることがわかった。そこで今回の実験では、メッシュ間隔を1cmとし、変位変化の程度に応じて変位測定の密度を変えることにした。

実験に使用した砂の物理的指標は、 $G_r = 2.66$, $e_{max} = 0.90$, $e_{min} = 0.70$, 粒径 $2.0 \sim 0.84 \text{mm}$, 安息角 $= 37^\circ$ のもので、粒子形状はsubangularである。

2. 実験結果・考察

表1は今回行った実験の諸元、観測されたベリ線の水平方向の角度、受働状態(45°±)主動状態(45°±)から逆算した内部摩擦角をまとめたものである。eが同じであれば底面の角度(α)の違いによるベリ線の角度の違いは見られな。

図4は実験9における特徴的failureの分布と5°までの累積ロ断ひずみの分布図である。表面近くの一部と回転軸の少し上の所から表面に向う1つの線に集中してひずみが集中しているのがわかる。

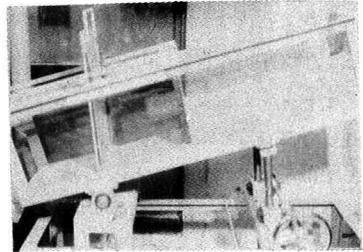


図1. 実験装置

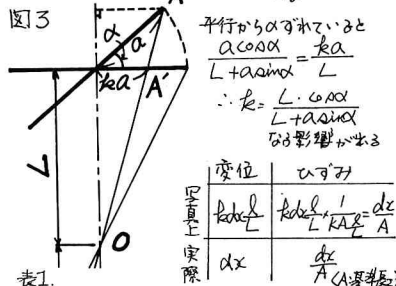
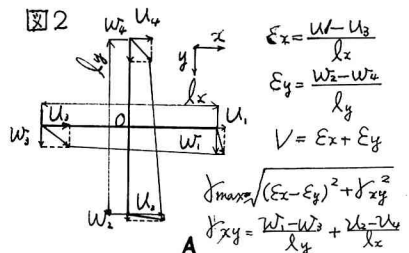


表1.

	e	Dr(%)	α	Passive Active	ベリ線 傾斜角	計算 摩擦角
1	0.844	25.7	0	P	39	12
2	0.844	25.7	0	A	50	10
3	0.788	22.9	0	A	55	20
4	0.788	22.9	10	A	55	20
5	0.788	22.9	20	A	55	20
6	0.731	25.4	0	A	64	38
7	0.731	25.4	10	A	64	38
8	0.731	25.4	20	A	64	38
9	0.731	25.4	30	A	68	42

コンターが混んでいる所は変位変化が急なことを意味し、砂粒子は不連続に変位してゐる。

すべり線の既数は β/α のときに出来上がり、ており、この時セン断ひすみは3%である。セン断ひすみ10%のコンターがすべり線に沿ってつながると破壊面はほぼ完成し($\beta=3^\circ$)それ以後はコンター内部のひすみが増大するだけである。一般にセン断力のピークを与える時のセン断ひすみが8%前後であると、ピークを起した後はセン断力が一定となりほぼじめのセン断ひすみが10%付近であることと考えるとこれらのことは理解できる。

変位0の線は $\beta=5^\circ$ 以後は変わらない。この時点で破壊面が完成したといえる。

図5は、 β の増加に従って変位変化の勾配が急になっていくことを表している。

これまでの実験で壁の回転部の底部にあるもので行なつてきたので、底部の変位が拘束され、 α をいくら大きくしても底部で滑動することはない。そこで底部の変位を拘束しない様に上ヒンジの壁を設けて実験を行つた、これが図6である。(a)は $\beta=0 \rightarrow 3^\circ$ 、(b)は $3 \rightarrow 5^\circ$ まで壁を動かした時の砂の変位線を表わしたものである。これでわかる様に α の大きい不安定状態にある砂は、すべり線が伝播して流動するのではなく、受働材内部のすべり線(4)が出来た直後底部と通る大きなすべり線が(4)の全体がmax流動する様である。

これらの実験から得られたひすみ分布を基に斜面下砂粒子の流動問題に關する解析への応用を急いでいるので、当日その結果を報告したい。

実験で得られたひすみ分布は Bransby⁽⁴⁾が行なつた X-Ray を用いた研究の結果との類似性が高く、機具及び測定が簡便さを考えるとその有用性は高いものと考えられる。またマーカーを入れたり、彩色した砂層を作り変位を調べる方法と比較すると変位の微小にわたって変位を定量的に測定できるところが、(b)

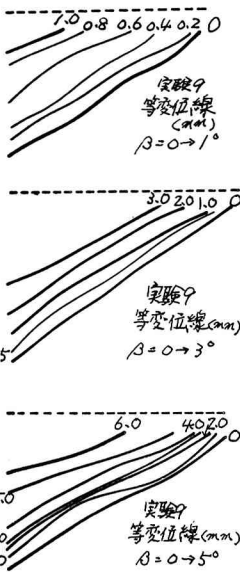
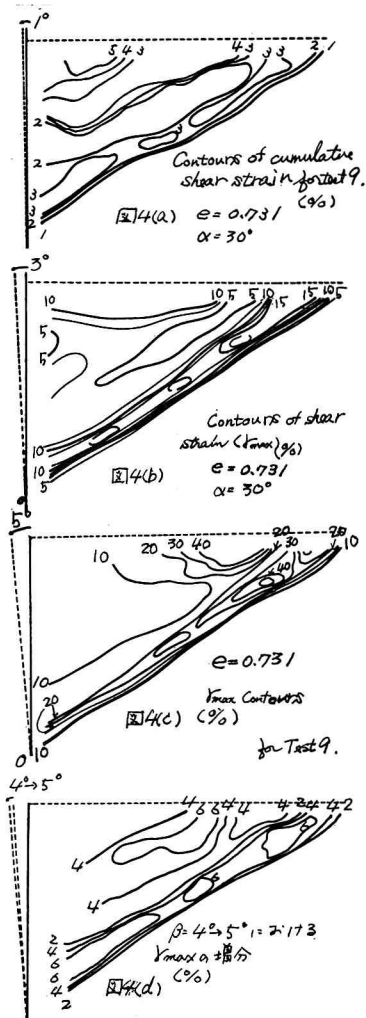


図5 斜面方向の等変位線



↑ 図4. 実験9. セン断ひすみの分布.

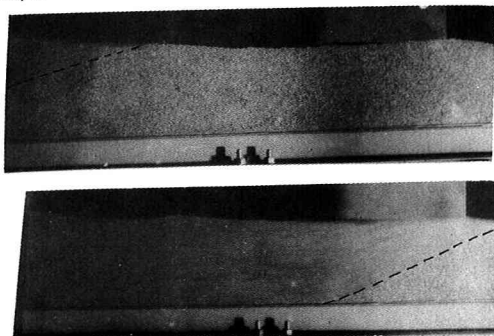


図6. $\alpha=34^\circ$ (a) $\beta=0 \rightarrow 3^\circ$ (b) $\beta=3 \rightarrow 5^\circ$ (上ヒンジ) (図中の破線はすべり線)

参考文献 (1) A STEREO-PHOTOGRAMMETRIC METHOD FOR MEASURING DISPLACEMENT FIELDS」 Burtonfield

Arch. Géotechnique 20 (2)「ステレオ写真による砂のせん断時の変位測定」 村上朝郎 昭和5年度土木学会発表講演録 (3)「写真計測法の地盤の変形への応用について」 四野元雄 昭和5年度土木学会講演録抄

(4) Combined active and passive rotational failure of a retaining wall in sand」 Bransby et al. Géotechnique 26 No.3