

### III-179 こわれやすい粒子の圧縮時の 粒子移動の測定について

摂南大学 工学部 正 井上 治  
近畿測量専門学校 正 小林和夫

#### 1. はじめに

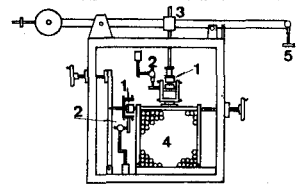
マサ土など、こわれやすい土粒子をもつ土の圧縮沈下に伴う粒子破壊の研究は、これまで圧縮試験による圧縮応力と沈下の関係を巨視的な面からみたものが多い。しかし、粒子レベルの微視的な面からの研究は、まだ少ないようである。そこで、圧縮応力による粒状体の粒子破損の進行に伴う圧縮現象を粒子移動の挙動から調べることにした。これまでに報告<sup>1)</sup>した、せん断時における粒子移動の試験に続いて、本研究では、圧縮時の各粒子の破壊前と後の粒子移動に注目して圧縮力による沈下時の隣接粒子が順次すべりと回転を生じ、表面が破損していくものとみなした。その現象の特性として粒子の移動方向と回転に変化が現れるものと考え、二次元モデルによる圧縮試験を行うことにした。実験は強度の異なる3種類のチョーク丸棒粒子を材料として、圧縮応力を順次増加させて粒子が破損するまで行った。このときの粒子の移動状況をカメロン効果の得られる方法で35mmスライド用フィルムを用いて写真撮影し、小型解析図化機で粒子の写真座標を計測し、その移動と回転角を算出した。この結果から、圧縮応力と方向角、回転角などの関係を調べた。

2. 解析図化機による計測：計測に用いた解析図化機は、ADAM社のMPS-2である。圧縮時の丸棒粒子の移動は一点に固定したカメラで35mmスライド用フィルムに連続写真として順次記録した。各圧縮段階の粒子移動量と回転量は、それらの連続写真から選んだ2枚1組の立体写真上の粒子座標を解析図化機で測定して求めた。非測定用カメラを利用することから、粒子の測定に先立ってカメラレンズの収差を求め、写真座標の補正を施した。粒子の移動方向角 $\theta_i$ は移動距離の水平( $\Delta X$ )と鉛直成分( $\Delta Y$ )を用いて、 $\theta_i = \tan^{-1}(\Delta X / \Delta Y)$ から、回転量 $\omega_i$ は丸棒粒子のマークを座標測定して算出した。

3. 実験概要：実験装置は、図-1に示す。この装置では二次元せん断箱の両側の板の可動部を固定し、側面板を除いた圧縮箱とした。また、垂直荷重の載荷はアームの先に取り付けた荷重で行った。圧縮応力の計測はロードセルで、沈下量は垂直変位計で自動計測し、X-Yレコーダーにより記録した。試験材料には3種類(直径11mm、長さ63mm、曲げ応力： $\sigma_{white}=45$ 、 $\sigma_{red}=42$ 、及び $\sigma_{yellow}=40 \text{ kgf/cm}^2$ )の強さの異なるチョーク丸棒粒子(上、下、及び中央の3箇所マークを付けた)を用い、それぞれ同じ比率で混合し、ランダムに積み上げて供試体とした。圧縮試験は0.10、0.15、0.20、0.25、0.30及び0.35 $\text{kgf/cm}^2$ の6段階に分けて順次載荷して行った。載荷方法は各段階でそれぞれ載荷・除荷を繰り返し、沈下量が一定になるまで行った。その各時点においてContax RTS35mmカメラで連続的に撮影した。計測用フィルムには、35mmスライドフィルム(ISO-400)を使用した。

#### 4. 実験結果と検討

(1) 圧縮応力と沈下量との関係：図-2は圧縮応力( $\sigma_n$ )と沈下量( $\delta$ )との関係を示している。この図はこう配の異なる2つの直線を表し、↓印で示す $\sigma_n=0.25 \text{ kgf/cm}^2$ 付近から粒子の表面破損が生じているもの



1:ロードセル 2:変位計 3:調整装置  
4:チョーク丸棒粒子 5:載荷装置  
図-1 実験装置の概要  
( $\sigma_n$ : $\text{kgf/cm}^2$ )

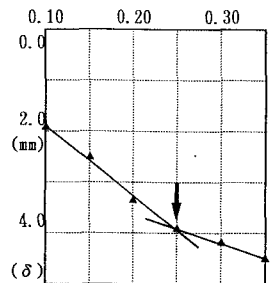
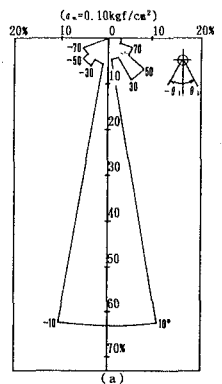


図-2 圧縮応力( $\sigma_n$ )と沈下量( $\delta$ )との関係



と推定される。

(2) 移動方向角の頻度分布: 粒子移動方向角 ( $\theta_i$ ) は、6段階の圧縮時の状況を連続撮影したスライドフィルムから粒子の移動前・後を表す2枚の写真を選んで、せん断箱の両側の板の影響が少ないと思われる中央部の63個の粒子について、解析図化機で計測して求めた。図-3(a)、(b)及び(c)は、各粒子の移動方向角 ( $\theta_i$ ) の頻度分布を示した一例である。初期の圧縮応力が小さい時には、 $\theta_i$ は $-10^\circ \sim +10^\circ$  のものが多く、ほぼ対称形となっている。しかし、応力が増加するに従い、 $\theta_i$ の分散度は拡張し、 $\sigma_n=0.35\text{kgf/cm}^2$  では変形した分布になっている。そこで、圧縮応力 ( $\sigma_n$ ) と各粒子の方向角の絶対値の平均値 ( $\bar{\theta}_i$ ) との関係を示すと図-4のとおりとなる。圧縮応力が増加するに従い粒子の移動方向角は大きくなり、その状況は折れ線を描いている。このことから、↓印で示す折れ線の交点 ( $\sigma_n=0.25\text{kgf/cm}^2$ ) の位置から直線の上方向に向かって粒子破損が生じたと推定される。

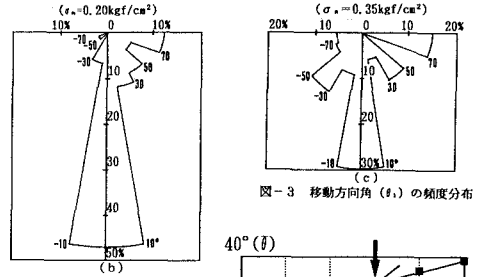


図-3 移動方向角 ( $\theta_i$ ) の頻度分布

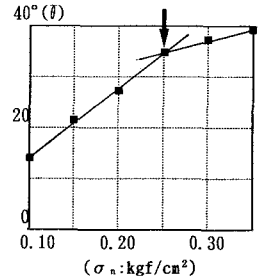
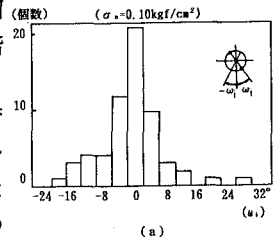
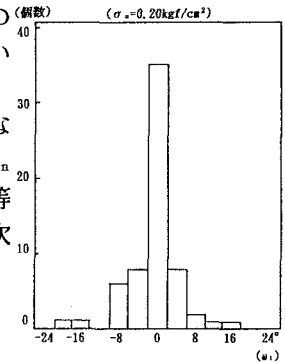


図-4 圧縮応力 ( $\sigma_n$ ) と平均移動方向角 ( $\bar{\theta}$ ) との関係

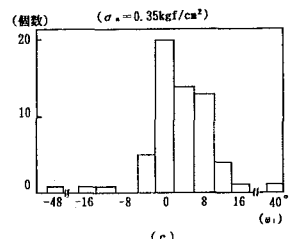
(3) 粒子の回転角の頻度分布: 粒子回転角 ( $\omega_i$ ) の測定は、前述した移動方向角の算出に用いた63個の粒子を6段階の各圧縮の時点について行った。各段階の粒子回転角の頻度分布の一部を図示すると図-5(a) [ $\sigma_n=0.10$ ], (b) [ $\sigma_n=0.20$ ]及び(c) [ $\sigma_n=0.35\text{kgf/cm}^2$ ] となる。それらの分布状況を見ると、図-5(a)ではやや左側に偏った形を成し、(b)ではほぼ左右対称形で $\omega_i$ が中央部の $-2^\circ \sim +2^\circ$ の区間に特に集中している。そして、(c)では、 $\omega_i$ は分散し右側に偏った形をしている。したがって、各粒子の回転角の平均値 ( $\bar{\omega}$ ) と圧縮応力 ( $\sigma_n$ ) との関係を表すと図-6になる。この図を見ると、初期の $\sigma_n=0.10\text{kgf/cm}^2$ では負の方に偏っているが、 $\sigma_n=0.15 \sim 0.25\text{kgf/cm}^2$ では正負ほぼ同じ回転角を示している。また、 $\sigma_n=0.30 \sim 0.35\text{kgf/cm}^2$ では、負から正へと大きく変化している。以上のことから、初期の区間での回転角の差は、粒子間の接点状況が不十分な粒子構造のため、粒子間摩擦に差が生じたことによると考えられる。また、 $\sigma_n=0.15 \sim 0.25\text{kgf/cm}^2$ の区間では粒子構造が低位になり、粒子摩擦角がほぼ等しくなることを示す。さらに、 $\sigma_n=0.25 \sim 0.35\text{kgf/cm}^2$ 区間では粒子破損が順次行われ、粒子配列の変化に伴い粒子間摩擦角に差が生じたものと推論される。



(a)



(b)



(c)

図-5 回転角 ( $\omega_i$ ) の頻度分布

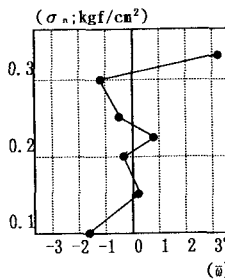


図-6 平均回転角 ( $\bar{\omega}$ ) と圧縮応力 ( $\sigma_n$ ) との関係

5. おわりに: 圧縮応力の増加による粒子の沈下に伴う粒子破損の進行現象において、粒子の破損前と後では、粒子の移動方向と回転に明確な相違が認められた。また、圧縮試験は等方圧縮(K<sub>0</sub>)に準じたものであるが、等方圧縮でも粒子の移動、回転特性は類似の傾向を示すものと思われる。しかし、チョーク材は湿度などの影響を受けやすく、スベリや破損を調べるにはなお課題が多いように思われる。[謝辞]: 本研究にあたり、実験に協力された永森淳史(奥村組)、直井克己(大阪府)の両君と解析図化機を提供された川惣電機工業(株)ADAM事業部には謝意を表す。[参考文献] 1)井上、小林:こわれやすい粒子のせん断時の粒子回転の測定について、土木学会全国大会学術講演概要集、1989年