

III-453

これれやすい粒子のせん断時の 粒子回転の測定について

摂南大学工学部 正員 〇井上 治
近畿測量専門学校 正員 小林和夫

1. はじめに

マサ土など、これれやすい土粒子をもつ土の構成式に関する研究は、従来から数多く行われているが、室内実験ではその土の風化の度合や試料の取り扱いの違いなどによって試験材料を選ぶことが難しく、一般化された試料が得られにくい。そこで、これらの材料に類似性を示す試験材料があれば、要素実験等に都合がよい。これまで、砂の代わりにアルミ丸棒を用いた研究などで砂とアルミ丸棒がある程度の類似性を示していることから、今回はこれれやすい特殊な土の代わりに強度の異なるチョーク丸棒粒子を用いたせん断時の粒子移動について報告した。今回の実験は、低圧時の粒子のこれれ方をせん断時に土粒子の隣合う粒子の表面が順次すり減って行くものとみなし、その現象の特性として、隣接粒子間の回転量に現れるものと考え、強度の異なる三種類のチョーク丸棒粒子を試料として、単純せん断試験を行った。そのせん断時にチョーク粒子がどのように回転するかを写真計測した。せん断に伴う粒子回転の結果を、回転角および移動方向角の分布で表し、粒子の回転角差 $\Delta\theta_w$ 、粒子の移動方向角 θ と τ/σ との関係を実験的に調べた。

2. 測定法

用いた測定法の原理は、これまでに報告¹⁾してきたカメロン効果を利用した写真計測法である。撮影フィルムには、赤、黄および白の三色の異なるチョーク材料を用いることから、カラーフィルムを使用した。測定の基準となる基準線(メッシュ)には、網ふるいのように外枠をもつピアノ線を格子状に張ったものを試作した。この枠をせん断箱の前面に少し離して置いた。撮影用カメラは、シャッター巻き上げ操作が自動的に行なえるContax RTSを使用した。写真は、せん断時に伴う各移動区間毎で撮影した。この写真を用いてチョーク粒子の上、下および中央にそれぞれ各粒子面にマークした標点について粒子移動量X-Y成分を測定した。図1に示すように、移動し回転した円断面の粒子にマークした中央点間の距離 l_0 と回転により変化した頂点間の距離 l_1 を測定すれば、 $\Delta\omega$ が微小であるので、 $l_1 - l_0 = Z$ となり、回転角 $\theta_w = \sin^{-1}(\pi/2 - Z/r)$ となる。ただし、 r は粒子の半径である。

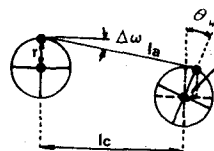


図1 回転角の測定

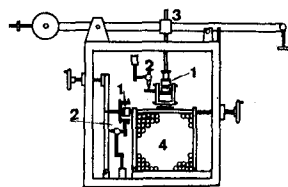


図2 実験装置の概要

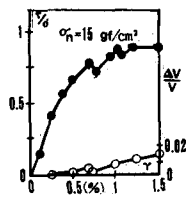


図3 $\tau/\sigma, \Delta V/V$ と r との関係

3. 実験概要

実験装置としては図2に示すような単純せん断装置を試作した。この装置のせん断箱形式は、側面摩擦の除去と粒子を直接撮影するという観点から側面板をなくし、また両側の板はピン結合とした。せん断力と垂直荷重はロードセルで、また水平および垂直変位は変位計を用いて、それぞれ自動計測した。これれやすい試験材料として三種類(直径11.1mm, 長さ63.7mm)の強さの異なるチョーク丸棒(曲げ応力 $\sigma_{red}=42.9$, $\sigma_{yellow}=40.4$, $\sigma_{white}=45.5 \text{ kg f/cm}^2$)を用いた。試料の作成は、応力分布の伝達をよくすることから、せん断箱の周辺には細いアルミの丸棒($\phi=1.2 \text{ mm}$)を約5mmほど並べて、その内側に同じ割合のチョーク丸棒(上、下、中央の3箇所にマーク)をア

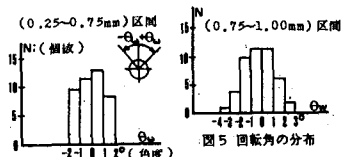


図4 回転角の分布

アランダムに積み上げた。せん断試験は垂直荷重を加えた後、せん断速度約1mm/minの一定値でせん断力を加えた。写真は、せん断箱の鉛直な側面に対しカメラ軸が直交しその箱から1.2mの近接距離にカメラを固定して、水平せん断変位0.25mm毎に撮影した。これらの写真から2枚1組を1対の実体写真として、せん断箱の側面の中央付近の45個のチョーク粒子の移動量をカメロン効果によって写真計測した。

4. 実験結果と検討

(1) τ/σ , $\Delta V/V$ および γ の関係

図3は、応力比(τ/σ)、体積変化率($\Delta V/V$)とせん断ひずみ(γ)との関係を示している。この図における τ/σ - γ 曲線をみると、 $\gamma=0.7\%$ で τ/σ が急減しているから、ここから粒子破壊が行われていることが分かる。このことはまた、 $\Delta V/V$ - γ 曲線からも、この付近が変曲していることでそれが確かめられる。

(2) 回転角の分布

粒子の移動量の測定区間は最初から0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, および1.75mmの区間とした。これらの測定結果でせん断力を加えた方向をX軸、垂直軸をY軸として、各区間の回転角の分布の一部を図示すれば、図4, 5および6である。この分布を破壊に至るまでの分布形状でみると、粒子破壊するまではほぼ左右対称な分布(図4, 5)を示している。破壊付近(図6)からその形が崩れている。この各区間の回転角の正負の差の平均値($\Delta\bar{\theta}_w$)を示せば図7のとおりである。この $\Delta\bar{\theta}_w$ の量はせん断に伴い初期の状況では正負の回転量が等しく、破壊に近づくに従って負の量が多く、また破壊後は正の量が多くなっているようである。回転角の差は粒子間摩擦力の違いによるもので、このことは粒子の破壊につながるスリヘリの現象を示す特性の一つではないかと考えられる。これまでの調べでダイランシー現象が粒子移動方向角 θ_i ($dY/dX=\tan\theta_i$)を用いることによってある程度示されることを報告した。図8, 9および10は、各区間の粒子移動方向角 θ_i の分布の一部を示したものである。 τ/σ 、粒子の平均移動方向角 $\bar{\theta}$ および平均回転角差 $\Delta\bar{\theta}_w$ の関係をみるため、これらを整理すれば図11の通りである。これらの関係をみると小さな応力のときは摩擦の影響が大きく、隣合う回転(正負)が等しいことを示し、応力がピーク近くになるとその回転角の差(負)が順次大きくなることを示している。ピークを過ぎた後は、その逆を示した。このことは、粒子間のすべりによる粒子表面のスリヘリ量が多くなることを示し、 $\tau/\sigma=\lambda \tan\bar{\theta}+\mu$ に回転の θ_w の要素が現れているように思われる。

5. おわりに

これれやすい土粒子材料にチョーク材を用いた。チョーク材が低圧時のせん断に伴い粒子表面の破壊状況を粒子の回転を測って調べた。各粒子間の回転は粒子間摩擦力が変化することで、各粒子間の粒子表面のスリヘリの違いにより変化するように考えられる。チョークのスリヘリ量を正確に調べることなど、今後の課題が多いように思われる。

1) 村山朔郎・井上治: ステレオ写真による砂のせん断時の変位測定、第13回土質工学研究発表会

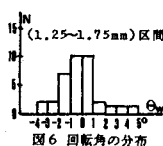


図6 回転角の分布

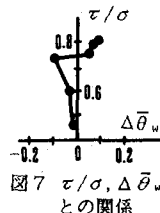


図7 τ/σ , $\Delta\bar{\theta}_w$ との関係

(0.25~0.75mm) 区間

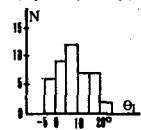


図8 移動方向角の分布

(0.75~1.25mm) 区間

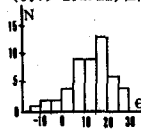


図9 移動方向角の分布

(1.25~1.75mm) 区間

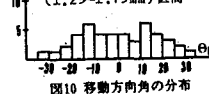


図10 移動方向角の分布

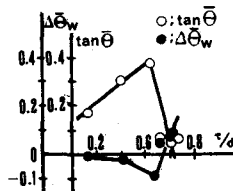


図11 $\Delta\bar{\theta}_w$, $\tan\bar{\theta}$ と τ/σ との関係