

砂の異方圧縮時の粒子移動の測定

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. まえがき

地盤は通常K.圧密を受けているものと考えられ、地盤の変形問題を取り扱う場合には、K.圧密に関する応力変形問題が重要な課題となる。砂の構成特性は砂粒子の挙動に支配されるので、砂の構成式の解明には砂粒子の微視的な挙動を測ることが必要となる。前報¹⁾では砂のせん断時の砂粒子の移動状況を測定し、せん断垂直応力比(τ/σ)と砂粒子の移動方向角(θ)の関係について、砂の塑性状態にあるときの $\tau/\sigma - \tan \theta$ の一義的な関係を見出している。引き続き本研究は、砂の異方圧縮を受けたときのせん断ひずみに注目した。そのため透明板をもつ両側が拘束された圧縮箱を用いて、圧縮試験を行ったときの砂の移動状況を連続撮影し、カメロン効果による測定法で砂粒子の移動量の測定を行い、その移動方向角を算出した。この結果に基づき、圧縮応力(σ)と砂の移動特性を検討した。

2. カメロン効果による測定

この測定法は一つの地点にすえ付けたカメラにより砂の移動状況を連続撮影して、得られた写真しとよによる1対の実体写真を用いて測定するものである。つまり写真しでは、ある砂粒子Aが像点 a に写り、写真よでは粒子Aが A' に移動して像点 a' にあるとすれば、これを実体測定することによって、図-1に示すように粒子Aは A'' に見える。この現象の利用により、砂粒子の移動量を測定した。砂粒子は任意の方向に動くことから、撮影に先だて観測面となるその透明板上に、水平鉛直の方向(X,Y)軸を 10^{mm} 間隔に刻み、その基準格子線の交点を移動しない砂粒子に対応させた。砂の移動量はX,Y成分に分け、X方向の移動量を δx_i , Y方向の移動量を δy_i とすれば、 $\delta x_i = m R_{xi}$, $\delta y_i = m R_{yi}$ から求められる。ここで、 m は写真縮尺(1:1), R_{xi} , R_{yi} は粒子 i のX,Y方向の視差である。また、視差測定は反射式実体鏡と視差測定かんで行った。

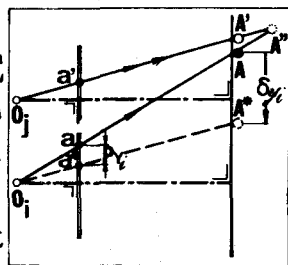


図-1 カメロン効果による砂粒子移動量の測定

3. 実験方法の概要

圧縮装置は側面が透明板の一面せん断機(せん断箱寸法 $10^{cm} \times 10 \times 6$)で、上下の箱を固定できるようにし、また載荷除荷は荷重載荷用レバーを上昇下降の操作ができるよう製作した。試料は川砂で、これをフルイ分け乾燥砂とした。このときの粒度分布は図-2に示すとおりで比重は2.636であった。砂の圧縮試験は砂を自由落下方式で箱に填充した後、標準圧密試験に準じて0.4, 0.8, 1.6, 3.2 Kgf/cm^2 の各段階で行った。圧縮荷重の各載荷方法は載荷除荷をくり返し、圧縮沈下量が一定値に達するまで行った。この状況に達した時点で写真撮影を行った。

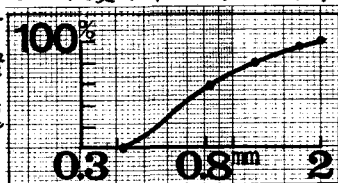


図-2 実験砂の粒度曲線

Osamu INOUE, Kazuo KOBAYASHI

4. 実験結果と考察

(1) $e-\log p$ 曲線: 図-3は各載荷時において各0.4, 0.8, 1.6, 3.2 kgf/cm^2 毎に圧縮沈下量が一定値に達するまで載荷・除荷をくり返したときの砂の間隙比 e と p との関係を示したものである。正規圧密粘土と同じ傾向を示している。

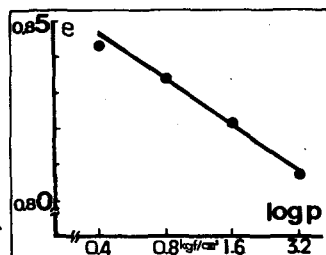


図-3 $e-\log p$ 曲線

(2) 粒子の移動方向角 θ : 砂の圧縮時の粒子方向角 θ は砂のダイレタンシーに対応すると考えられるから、ここでは θ を、図-4に示すように $\theta_i = \pm \tan^{-1}(\delta x_i / \delta y_i)$ により求め、以下 $\theta_j = \pm \tan^{-1}\{(\delta x_i + \delta x_j) / (\delta y_i + \delta y_j)\}$ で表すことができるとする。つまり $\delta x_i, \delta y_i, \delta x_j, \delta y_j$ は各砂粒子移動量のX, Y方向の成分である。

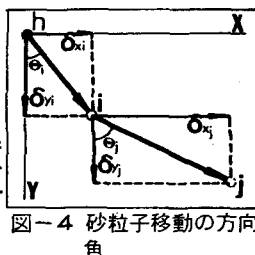


図-4 砂粒子移動の方向角

(3) 砂粒子の測定区間: 側面 $10 \times 6 \text{ cm}$ の全面について 10 mm 方眼状の配列で測定区間を選定し、移動量の成分を測定した。箱の両端面付近では側壁の影響が顕著なため、この付近を除き中央から左右に3 cmの間の砂粒子24個を選び測定した。

(4) 砂粒子の移動方向角の分布: 図-5は各砂粒子の移動方向角 θ の分布状況を示す。各荷重の段階をみると θ の正負の方向角の度数は対称な傾向が認められ、荷重の増加に従って絶対値とした方向角の平均値 $\bar{\theta}_h$ は大きくなっている。図-6は $\bar{\theta}_h$ と p との関係を示す。この $\bar{\theta}_h$ と p とは線形性を示し、これらは一義的な関係が認められる。砂のせん断時において τ/σ と $\bar{\theta}$ との関係は前報¹⁾で、 $\tau/\sigma = \mu + \tan \bar{\theta}_h$ が成り立つことを示した。このことにより、異方圧密応力は等方圧密応力およびせん断応力とに分けることができるとすれば、圧縮沈下にもなう砂の強度増加の原因の一つには、 p の増加にともなう $\bar{\theta}_h$ が大きくなることが考えられる。すなわち、これはダイレタンシーによる強度増加に対応している。

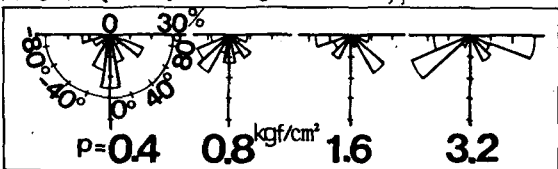


図-5 砂粒子移動方向角の分布

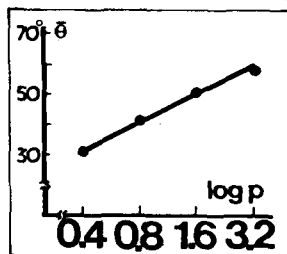


図-6 $\bar{\theta}-\log p$ 曲線

5. おわりに

圧縮箱で拘束状態にある砂は異方圧縮を受けている。このときの砂の状態は $e-\log p$ を直線近似できるような圧縮応力の状態で載荷・除荷をくり返し、沈下量を一定に拘束した状態にした。圧縮応力の各段階で砂粒子の移動量とその方向角を測定した。この結果から、異方圧縮応力を受ける砂の強度増加の原因の一つは、砂粒子の移動方向角 $\bar{\theta}_h$ が増大することによるものといえる。

参考文献

- 1) 村山朔郎・井上治: 砂のせん断時における砂粒子の移動特性, 土木学会論文報告集才 309号, 1981年5月, pp 79~89