

Ⅲ - B 393

粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性

山口大学工学部 正 員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
 復建調査設計（株）正 員 〇小田浩司
 第一復建（株）正 員 羽場信介
 宇部興産（株）正 員 米田修

1. まえがき

固結力を有する地盤は、しらす、スコリア、カルカリアス堆積物のように堆積中の火山活動などの物理化学作用によりすでに固結力を有しているもの、また、地盤改良を目的として固化材を用いることにより固結力を有しているものが考えられる。本研究では、粒子間結合力を有する砂の圧縮特性を明らかにすることを目的として、砂にセメントを混合した試料を対象に一次元圧縮試験を実施した。ここでは特に一次元圧縮試験より得られた $e-\log \sigma_v$ 曲線を基に粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性のモデル化を行う。

2. 試料および供試体作製方法

試験に用いた試料は、珪砂であり、固化材としてセメント系固化材を、配合試料の分離を防ぐことを目的に混和材としてベントナイトを用いている。試料は、砂のみを考えた場合に相対密度 $Dr=70\%$ となる分量の砂と砂の乾燥質量に対して 4%あるいは 7%となる量のセメントを、水セメント比 (W/C) が 200%となる水、ベントナイト水比 (B/W) が 2%となるベントナイトを混合したものをを用いている。供試体はその混合した試料をモールドに入れ、プレス機により締め固めを行うことで、作製した。供試体をモールドに入れたまま 1 日間養生した後、脱型を行い乾湿の出入りがないように密封し、14 日間空气中養生を行った¹⁾。なお、セメントを添加しない試料はタンピング法により作製した。

3. 粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性

図-1 は、軸ひずみと $\log \sigma_v$ の関係を示している。以下、粒子間の結合力の大きさをセメント添加量として表現する。また、セメント添加量 0%とは粒子間に結合力を有さない砂を意味する。この図より、 $\sigma_v=10\text{MPa}$ までの領域では、セメント添加量の多いものほど、圧縮しにくく、 $\sigma_v=10\text{MPa}$ 以降の領域ではセメントを添加した試料の圧縮ひずみが砂のみの圧縮ひずみに近づく傾向があることが認められる。つまり、圧密降伏応力 σ_{vy} 以下の σ_v の変化は、粒子間の結合力により粒子の移動を起こさず、そのため固結力を持たないものと比べ圧縮量が小さくなったものと考えられる。圧密降伏応力 σ_{vy} を境とする粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性の急激な変化は、 σ_v の増大に伴い粒子間の結合力の破壊、つまり、粒子とセメントの結合による構造の降伏と共に急激な粒子の移動を示し、粒子間に結合力を有さない砂と同じ間隙比の構造に戻ろうとするためと考えられる。次に、圧縮指数 C_c を $C_{c_{max}}$ で正規化した $C_c/C_{c_{max}}$ と $\log \sigma_v$ の関係を図-2 に示す。この図より、セメント添加量が減少するにつれて最終的な $C_c/C_{c_{max}}$ の値が大きくなっていることがわかる。これは、正規圧密領域での逆ぞり傾向がセメント添加量の増加とともに大きくなっていることを示している。また、鉛直応力 σ_v の増加によって $C_c/C_{c_{max}}$ が急激に増大し始める点がセメント添加量の増加に伴い右方向にずれていることがわかる。これは、セメント添加量の増加による圧密降伏応力 σ_{vy} の増加を意味している。さらに、粒子間に結合力を有する砂の圧縮挙動が年代効果を有する粘土の圧密挙動に類似な傾向を示すこともわかる。

以下では、一次元圧縮試験より得られた $e-\log \sigma_v$ 曲線を基に、 σ_{vy} 以降の粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性のモデル化を行う。まず、図-3 に一次元圧縮試験から得られた $e-\log \sigma_v$ 曲線を示す。この図に示すように、圧密曲線の後半部分に直線部分が現れることが認められた。この圧密曲線の最終段階に現れる圧縮係数 C_c を延長して描いたものが破線 A であり以下のような式で表される。

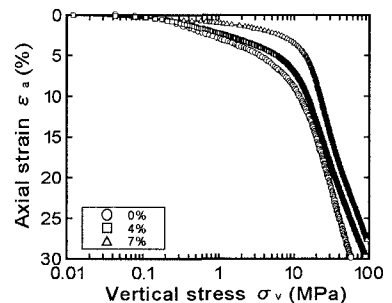


図-1 軸ひずみと $\log \sigma_v$ の関係

キーワード：粒子間に結合力を有する砂、圧密降伏応力、逆ぞり傾向、
 連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557 山口大学工学部 TEL(0836)35-9111 FAX(0836)35-9429

$$e = e_{a0} - C_c' \log_{10} \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_{va}} \right) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

破線 A と圧密降伏応力 σ_{vy} 以降の $e - \log \sigma_v$ 曲線との間に差 Δe が認められる。この Δe は、セメントを添加することによる圧密降伏応力 σ_{vy} の飛び出し、あるいは、逆ぞり傾向の程度に対応するものといえる。また、 Δe は粒子間結合力によって粒子間に存在する間隙比に対応するものであり、外力の作用によって粒子間結合力が消失するに伴い、0 に近づくものといえる。加えて、粒子間結合力の大きさに依存し、粒子間に結合力のない場合、0 になる。鉛直応力 σ_v が圧密降伏応力 σ_{vy} を越える応力域の間隙比 e の減少は、間隙比 e の減少 $= C_c'$ にそって減少する成分 + Δe が減少する成分

$$de = de + d(\Delta e) = \left(-\frac{C_c'}{2.303} \frac{1}{\sigma_v} \right) d\sigma_v + \frac{d(\Delta e)}{d\sigma_v} d\sigma_v \cdot \cdot \cdot (3)$$

と表すことが出来る。上式を完全なものにするためには、 Δe と σ_v の関係を明らかにする必要がある。図-4 に圧密降伏応力 σ_{vy} 以降の Δe と σ_v の関係を示す。ここで、 Δe_{max} は Δe の値が最大の時の値、つまり、圧密降伏応力 σ_{vy} の時の Δe である。これらの図より Δe と $\log \sigma_v$ の関係がおおむね直線関係を示すこと、また、セメント添加量が増加するにつれて Δe_{max} が増加していること、 Δe と σ_v の傾きがセメント添加量の増加とともに大きくなっていることがわかる。ここで、 Δe と $\log \sigma_v$ の関係が直線関係で表せるとすると、

$$\Delta e = \Delta e_{max} \frac{\log \left(\frac{\sigma_v}{a \sigma_{vy}} \right)}{\log \left(\frac{1}{a} \right)} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

ここで、 a は材料定数であり Δe が 0 になる σ_v の値を σ_{vy} で除したものと定義される。つまり、結合力の効果が現れる領域を示すパラメータと言える。さて、上式から式 (3) に代入するために必要な $\frac{d(\Delta e)}{d\sigma_v}$ を求めることによって、 $\sigma_{vy} < \sigma_v < a \sigma_{vy}$ の時の間隙比の変化は

$$de = \left[-\frac{C_c'}{2.303} \frac{1}{\sigma_v} + \frac{\Delta e_{max}}{2.303 \log \left(\frac{1}{a} \right)} \frac{1}{\sigma_v} \right] d\sigma_v \cdot \cdot \cdot (5)$$

で表され、 $\sigma_v > a \sigma_{vy}$ の時の間隙比の変化は

$$de = -\frac{C_c'}{2.303} \frac{1}{\sigma_v} d\sigma_v \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (6)$$

で表すことが可能となる。図-5 にこれらの式より求めた σ_{vy} 以降の間隙比 e と実験結果より得られた e の関係を示す。両者はほぼ一致し、実験結果を適切に評価できていることを示している。

4. あとがき

本研究では、粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性を明らかにするため、セメント混合砂を対象に一次元圧縮試験を行い、圧縮特性の評価を行った。その結果、粒子間に結合力を有することで現れる $e - \log \sigma_v$ 曲線の逆ぞり傾向を適切に表すことで、粒子間に結合力を有する砂の圧縮特性をモデル化することが可能となった。

【参考文献】 1) セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第2版，セメント協会1994。2) 兵動ら：年代効果を有する不攪乱海成粘土の原位置非排水繰返しせん断強度の評価，第30回土質工学研究発表会講演集，pp. 937-940, 1995

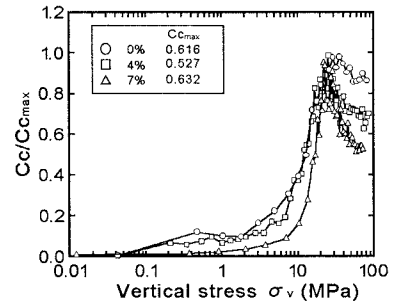


図-2 C_c/C_{cmax} と $\log \sigma_v$ の関係

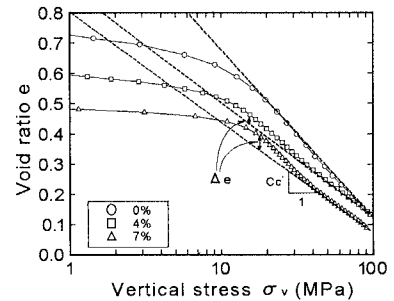


図-3 $e - \log \sigma_v$ 曲線

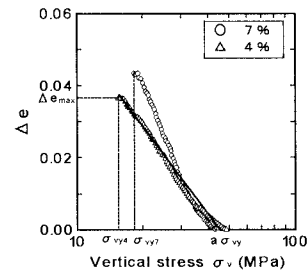


図-4 Δe と σ_v の関係

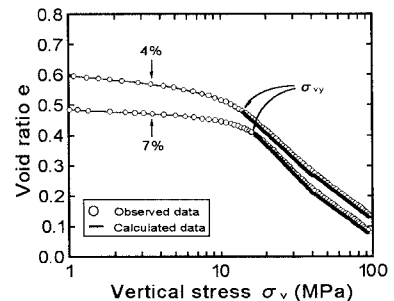


図-5 モデル化した $e - \log \sigma_v$ 関係