

繰返し一面せん断試験によるセメンテーションを有する土の残留強度の検討

山口大学大学院

学○都築俊輔

山口大学工学部

正 鈴木素之 山本哲朗

復建調査設計(株)

中森克己

1. はじめに 地すべり粘土も年代効果を受けた土の一つといえる。

図-1にセメンテーション(固結力)を有する土が残留状態に至るまでのせん断挙動の概念図を示す。固結構造を有する土がせん断を受けることにより、従来から説明されている扁平な粘土粒子のせん断方向への再配列現象の他に、セメンテーションの消失も重要な現象として残留強度の概念は拡張される。しかし、これまでに自然状態でセメンテーションを有する土の残留強度特性はほとんど検討されていない。本研究では3種類の不攪乱地すべり土、繰返しカオリンおよび人工的にセメンテーションを与えたカオリンに対して繰返し一面せん断試験を実施し、垂直応力およびせん断変位速度の影響について検討した。

2. 繰返し一面せん断試験 本研究では中森¹⁾が開発した在来型の繰返し一面せん断試験機を一部改良したものを用いた。供試体は直径60 mm、高さ20 mmの円板状である。せん断箱は上部固定・下部可動であり、下部せん断箱に高剛性ロードセルを取り付け反力板側での垂直力を測定している。土試料は地すべり土A、BおよびC、カオリンの計4種類である。地すべり土は地すべり地から不攪乱状態で採取したものである。また、年代効果を再現する方法にセメント物質を添加するものがあり²⁾、本研究では、カオリンに人工的にセメンテーションを与えるために普通ポルトランドセメントを添加した。

3. 試験結果と考察 セメント添加量 Q_c を変化したカオリンに対して段階载荷による圧密試験を実施した。図-2に養生時間 $t_c=28$ daysの条件下で養生した供試体の圧密試験から得られた $e-\log p'$ 曲線を示す。 Q_c は10, 30, 50 kg/m³の3通りで変化させている。比較のためにセメント無添加のカオリン(初期含水比 $w_0=65.3\%$)の結果も示している。供試体は大気圧下で湿潤養生したものであるが、

見掛け上の圧密降伏応力 p_c が生じている。また、 Q_c の大きいものほど p_c が大きくなっていることが分かる。 $Q_c=30$ および 50 kg/m³ の場合、セメンテーションによる飛び出し現象は明確であるが、添加量の少ない $Q_c=10$ kg/m³ の場合は顕著ではない。図-3に t_c とピークおよび残留状態における応力比 $(\tau/\sigma_N)_p$ および $(\tau/\sigma_N)_r$ と圧密降伏応力 p_c の関係を示す。 t_c が増加するにつれて、 $(\tau/\sigma_N)_p$ および p_c が高くなる結果が得られた。これは養生日数の増加に伴い、セメント水和物が土粒子間に架橋されて、セメンテーションが発達したためと考えられる。一方、 t_c の増加に対して $(\tau/\sigma_N)_r$ はほぼ一定である結果が得られた。図-4に $Q_c=50$ kg/m³、 $t_c=28$ daysであるセメンテーションを与えた試料、セメンテーションを与えた後に繰返した試料およびセメンテーションを与えていない試

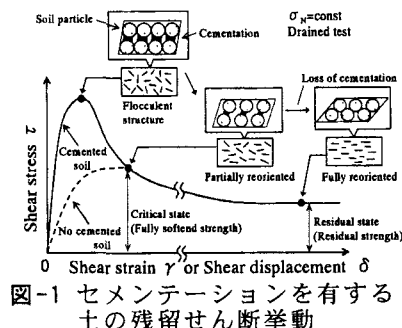


図-1 セメンテーションを有する土の残留せん断挙動

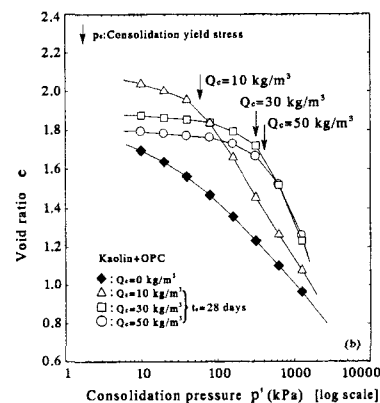


図-2 圧密圧力と間隙比の関係

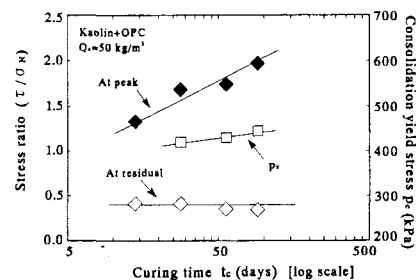


図-3 養生時間と応力比および圧密降伏応力の関係

料の垂直応力 σ_N と残留強度 τ_r の関係を示す。3 試料ともに残留強度はほぼ同じになる結果が得られた。図-5 に地すべり土 A ~ C の不攪乱および練返し試料における σ_N と τ_r の関係を示す。地すべり土 A の残留強度定数は不攪乱試料(記号:●)および練返し試料(記号:○)ともに同じ値が得られ、 $\phi_r=35.5^\circ$ および $c_r=20$ kPa である。地すべり土 B の残留強度定数は不攪乱試料(記号:■)および練返し試料(記号:□)ともに $\phi_r=15.4^\circ$ および $c_r=0$ kPa が得られ、地すべり土 A と同様に両試料の間に強度差はみられない。本研究では、練返し試料は不攪乱試料と同じ含水比で練返した後、原粒度の状態で供試体を作製している。このことは、試料の物理特性が変化していない不攪乱試料と練返し試料の残留強度は本質的には同じ値になるという Skempton の示唆³⁾を裏付けている。一方、地すべり土 C の残留強度定数は不攪乱試料(記号:▲)では $\phi_{rU}=31.2^\circ$ および $c_{rU}=0$ kPa、練返し試料(記号:△)では $\phi_{rR}=20.8^\circ$ および $c_{rR}=0$ kPa となり、練返し試料は 425 μm 篩を通過させる粒度調整過程により c_r はゼロのまま ϕ_r が約 10.4° 低下している。このことにより、残留強度を求める際に試料の粒度を人為的に調整すると、残留強度を過小評価する可能性があるため、試料準備時の粒度調整には極力注意が必要である。図-6 に初期間隙比 e_0 と $(\tau/\sigma_N)_r$ の関係を示す。図中のデータは図-5 で示したものに对应している。多少のばらつきはあるものの、 e_0 によらず $(\tau/\sigma_N)_r$ はほぼ一定である。図-7 に地すべり土 B およびカオリンのせん断変位速度 R_D と $(\tau/\sigma_N)_r$ の関係を示す。複数個の供試体に対して異なる R_D の下で試験を実施した。 R_D が大きくなるにつれて、 $(\tau/\sigma_N)_r$ は直線的に大きくなる傾向にある。地すべり土 B の場合 1 個の供試体に対して残留状態で連続的に R_D を変化させた結果も示しているが、 R_D の増加に対する $(\tau/\sigma_N)_r$ の増加傾向は、複数個の供試体を用いた試験結果と異なる。なお、カオリンの場合のみ、リングせん断試験の結果を併記しているが、試験機の種類によらず同様な傾向を示している。

4. 結論 (1)人工的にセメンテーションを与えた試料と与えていない試料の残留状態の内部摩擦角はほぼ同じであり、粘着力はゼロとなる。(2)不攪乱および練返し試料の残留強度は同じ値になる。しかし、粒度調整すると当然のことながら残留状態における内部摩擦角が低下する。(3)せん断変位速度が大きくなるにつれて、残留状態における応力比は大きくなる。この傾向はリングせん断試験と同様であるが、速度変化の方法によって若干異なる。

参考文献 1)中森克己:第三紀層地すべり粘土のせん断強度特性および地すべり機構に関する実証的研究,大阪府立大学学位請求論文,1996. 2)上 俊二:擬似過圧密粘土の力学的性質に関する研究,山口大学学位請求論文,1997. 3)Skempton, A.W.: Long-term stability of clay slopes, Geotechnique, Vol.14, No.2, pp.77-102, 1964.

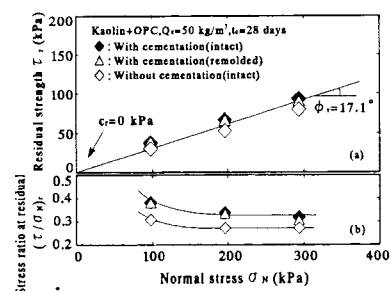


図-4 垂直応力と残留強度の関係

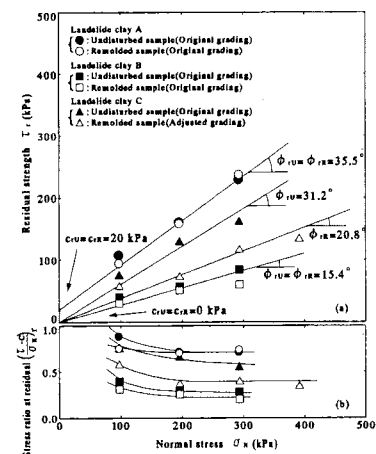


図-5 垂直応力と残留強度の関係

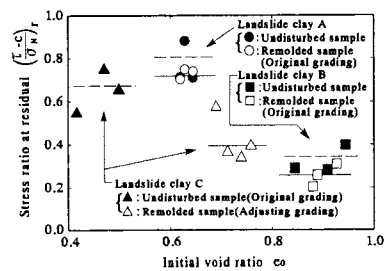


図-6 初期間隙比と残留状態における応力比の関係

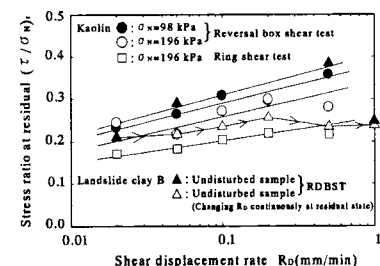


図-7 せん断変位速度と残留状態における応力比の関係