

1. はじめに

斜面では地盤は初期せん断応力を受けており、豪雨時には、間隙水圧の上昇による有効応力の低下が生じる。これは地盤のせん断破壊や斜面崩壊の原因になる。斜面災害の防止に対して、このような初期せん断応力作用下での有効応力低下による地盤のせん断挙動について把握しておくことは有効である。そこで、本研究では、豪雨時の斜面の状態を一面せん断試験機により再現し、せん断破壊に至るメカニズムを明らかにし、変形を考慮した斜面の安全性評価について検討する。

2. 用いた試料と実験方法

本研究で用いた試料は、由良川の河口砂州で採取した砂(由良川砂: $\rho_s=2.67\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\max}=1.053$ ,  $e_{\min}=0.698$ ,  $D_{50}=0.31\text{mm}$ ,  $U_c=2.06$ )と、非塑性のシルト(DL クレー:  $\rho_s=2.65\text{g/cm}^3$ ,  $D_{50}=23\mu\text{m}$ )である。由良川砂の供試体は乾燥状態のものを用い、せん断箱内でタンピング法により、相対密度 80%を目標に作製した。DL クレーは蒸留水を加えてスラリー状態にした試料を用い、目標の圧密応力で圧密したのちせん断試験を実施した。実験は、強度定数を求めるための定圧一面せん断試験と、豪雨時の斜面の状態を再現する試験の 2 種類を行った。豪雨時の斜面の状態を再現する試験は、垂直応力、せん断応力を目標値まで载荷させ、初期せん断応力の载荷した斜面の初期状態を再現した後、せん断応力を一定に保ち垂直応力を減少させた。

3. 定圧一面せん断試験結果

図 1 に由良川砂、図 2 に DL クレーの定圧一面せん断試験により求めた、せん断変位とせん断応力の関係を示す。実験は、圧密応力 50, 100, 200(kN/m<sup>2</sup>)で行った。図より、由良川砂は、せん断変位が 1~2mm 発生する辺りでせん断強度のピークが現れ、その後残留状態になり、一定のせん断応力を保つ結果となった。また、DL クレーは、明確なピーク強度が現れず、ほぼ最大のせん断応力で残留状態に至る結果となった。そして、ピーク強度に至るまでにせん断変位が約 3mm 生じており、由良川砂に比べ、強度を発揮するまでの変形が大きい事が分かった。

4. 初期せん断応力作用下での有効応力低下によるせん断挙動

図 3 に由良川砂、図 4 に DL クレーの豪雨時の再現方法による実験結果を示す。図中には、定圧一面せん断試験の結果より求めた粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\phi$  で定義した強度線を描いている。なお、由良川砂は、ピーク強度線と残留強度線を示している。由良川砂の実験は、初期の応力状態を垂直応力  $\sigma_v=100(\text{kN/m}^2)$ 、せん断応力  $\tau=30, 40, 50(\text{kN/m}^2)$ とした。DL クレーは、同様の垂直応力  $\sigma_v$  で、せん断応力  $\tau=10, 20, 30, 40, 50(\text{kN/m}^2)$ で実験を行った。

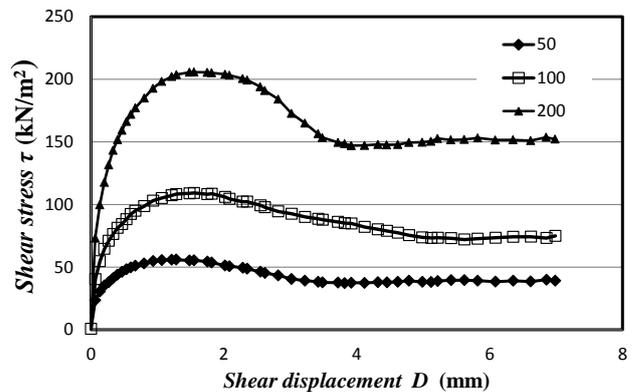


図 1 定圧一面せん断試験結果 (由良川砂)

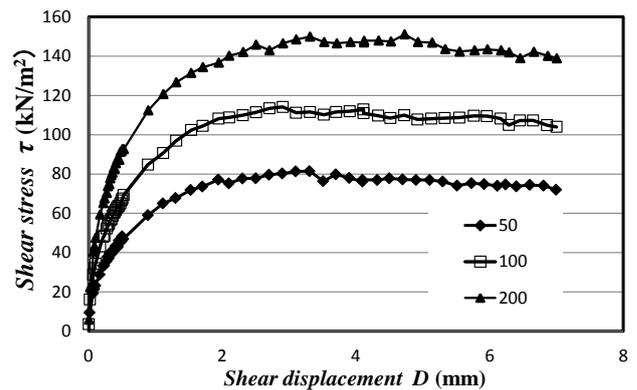


図 2 定圧一面せん断試験結果 (DL クレー)

図より、垂直応力の低下に伴うせん断応力(上)とせん断変位(下)の挙動が見て取れる。由良川砂は、ピーク強度線に到達し、せん断応力が急激に低下し、その後残留強度に沿う挙動を示す。一方、DL クレーは、強度線に至る前にせん断応力が保てなくなり、早い段階からせん断変位が生じ始めることが分かる。

次に、変形について考察する。図 3、図 4 中に、せん断変位が 1mm 生じたところを●で示した。由良川砂では、ピーク強度線と一致し、DL クレーは、せん断応力を保てなくなる辺りより、さらに右にある事が分かる。これより、DL クレーは、定圧一面せん断試験から得られる強度線に至るよりも前に、変形が大きく生じ、せん断破壊を生じている事が分かる。そこで、DL クレーのせん断変位 1mm が生じた点を連ねた線を新たな強度線と定義し、 $c$ 、 $\phi$ を求めると  $c=0$ 、 $\phi=35^\circ$  となる。

ここで、平行滑りを仮定した斜面の安全率は単位体積重量  $\gamma_b$  すべり面までの深さ  $Z$ 、斜面勾配  $\theta$  として、次式で示される。

$$F_s = \frac{c + \gamma_t \cdot Z \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{\gamma_t \cdot Z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta} \quad (1)$$

仮想斜面として  $\gamma_b=15(\text{kN/m}^3)$ 、 $Z=1(\text{m})$ と仮定し、DL クレーの実験結果から得られた強度定数  $c$ 、 $\phi$ を式(1)に適用した結果を斜面勾配  $\theta$  と、安全率  $F_s$  の関係として図 5 に示す。この結果より、定圧一面せん断試験で求めた  $c$ 、 $\phi$ による結果と、変形量 1mm が生じた点を連ねて求めた  $c$ 、 $\phi$ による結果を比較すると、 $F_s$ の差が大きく生じている。

### 5. まとめ

一面せん断試験機により、初期せん断応力作用下での有効応力低下によるせん断挙動を再現した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・由良川砂では、せん断変位 1mm が生じる応力と、定圧一面せん断試験で求めた強度線が一致する。
- ・DL クレーは、定圧一面せん断試験で求めた強度線に至るよりも前に、変形が大きく生じる。

以上より、DL クレーのように強度を発揮するまでに変形が多く生じるような土において、実際の豪雨時の斜面安定解析を行う場合、通常の定圧一面せん断試験で求められる強度定数を用いる事は、危険側の設計になるといえる。

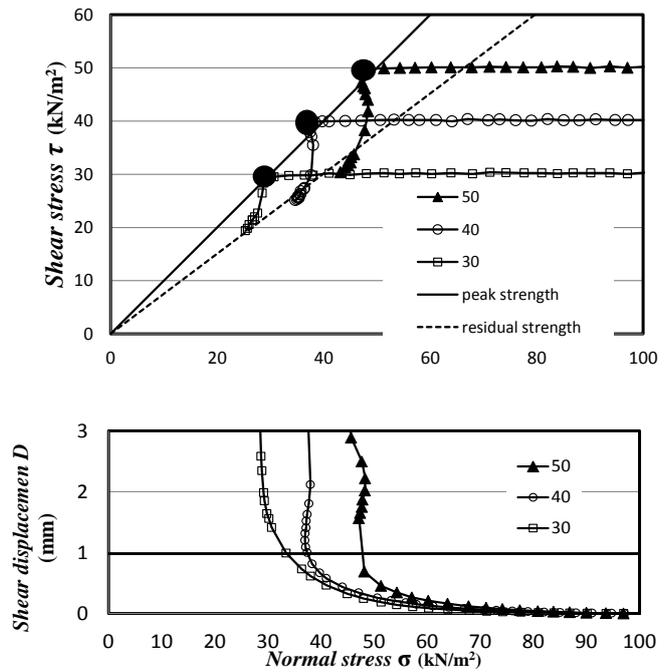


図3 垂直応力低下によるせん断挙動（由良川砂）

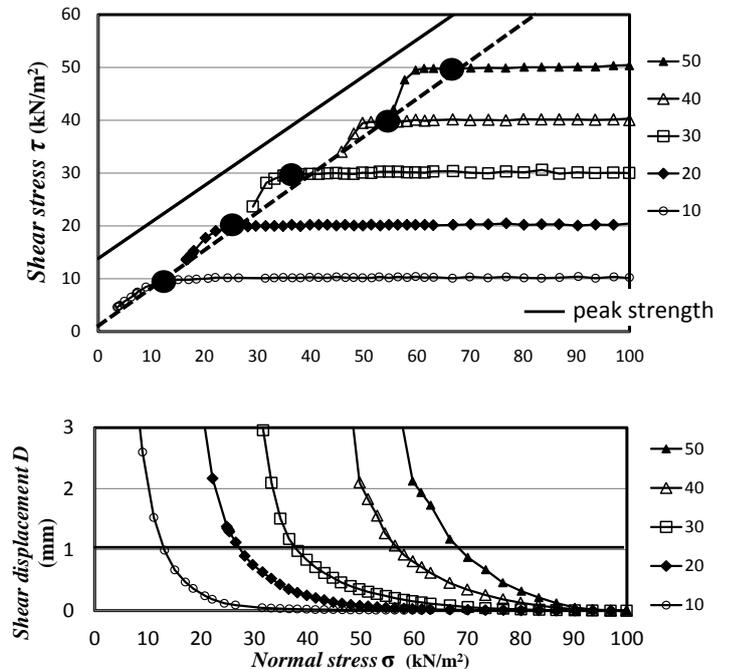


図4 垂直応力低下によるせん断挙動（DL クレー）

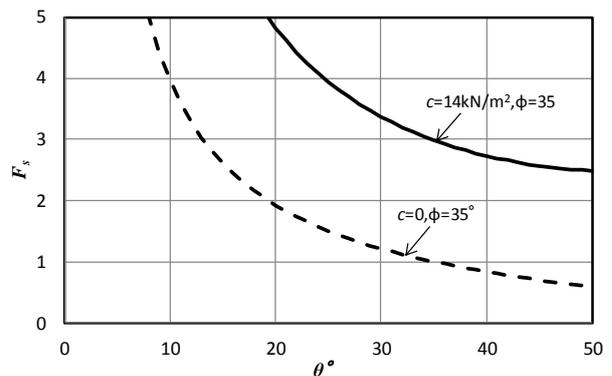


図5 斜面勾配と安全率の関係