

斜面安定解析のための低拘束圧での不攪乱まさ土の強度定数の決定法

呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫
香川大学工学部 壬生菜奈子

1. はじめに

まさ土地帯では降雨による斜面崩壊が毎年のように多数発生し、大きな被害を出している。被害を軽減するためには、降雨量による警戒・避難だけではなく、危険箇所の特定や危険度の判定を精度よく行う必要がある。そのための安定解析を精度良く行うためには、斜面を構成している土の強度定数を正確に求める必要がある。一般的に土の強度定数は三軸試験で求められることが多く、この場合は拘束圧一定で軸方向応力を増加させることでせん断応力を増加させて強度特性を求めることが多い。しかし、実際のまさ土斜面が降雨を受ける場合は、拘束圧が小さな状態で、せん断応力が一定のもとで間隙水圧が増加し、せん断抵抗が減少することによって破壊が起こっている。そこで本研究では、低拘束圧のもとで降雨に伴う間隙水圧の上昇によって有効応力が減少し、せん断抵抗が減少することによって作用せん断応力が一定のもとで破壊が起きる現象を再現する間隙水圧増加試験を実施した。その結果と通常の三軸圧縮試験によって得られる強度特性とを比較し、表層斜面の安定解析を行うための強度特性を求める試験方法について検討する。

2. 試験方法

試料は呉市休山大入地区で採取した不攪乱試料で $G_s=2.64$, $\rho_d=1.307\text{g/cm}^3$, $e=1.024$, $w=18.3\%$ である。試料採取はネイルサンプリング法¹⁾で行い、 -30 の冷凍庫で保存した。供試体作成は凍結法¹⁾で行い、供試体寸法は $5 \times h 10\text{mm}$ である。試験は、圧密排水(CD)三軸圧縮試験の他に、図1に示すような実際の斜面崩壊が起こるときの応力状態を三軸試験で再現し、せん断応力が作用した状態 ($\sigma_3 < \sigma_1$) で間隙水圧を上昇させる試験(間隙水圧増加試験)を実施した。現地の応力比は $K = \sigma_3 / \sigma_1 < K_0$ の状態にあると推定できるが、 K を小さくすると少しの応力変化によって破壊が起きて試験が難しいため、本研究では間隙水圧増加試験の試験開始時の応力比を $K = K_0 \cdot 0.5$ と仮定し、間隙水圧増加速度は $u / t = 0.05\text{kPa/min}$ とした。

3. 試験結果と考察

CD 圧縮試験における主応力差～軸ひずみ、体積ひずみ～軸ひずみ関係を図2と図3に示す。図2より、応力～ひずみ関係は拘束圧の違いに拘らずひずみ硬化型の類似した形状を示し、同じ軸ひずみにおける主応力差は拘束圧とともに大きくなっていることが分かる。なお、本試験では軸ひずみを20%以上まで

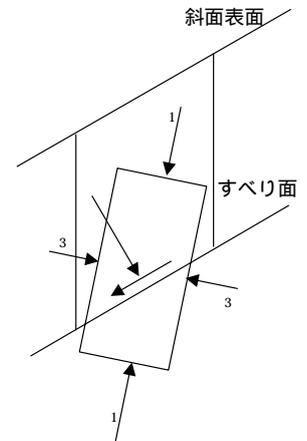


図1 斜面の応力状態

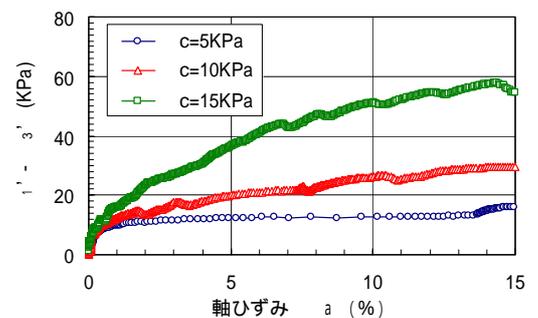


図2 主応力差～軸ひずみ関係

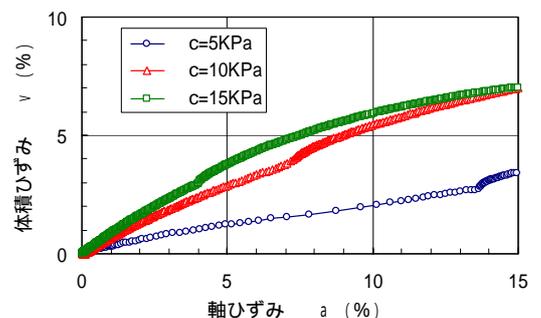


図3 体積ひずみ～軸ひずみ関係

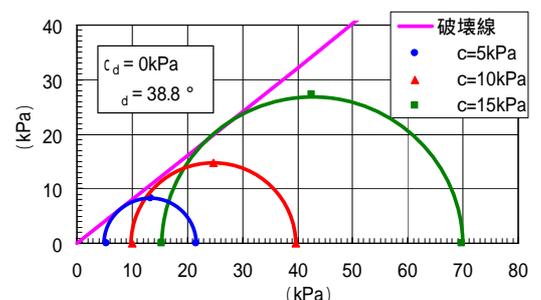


図4 CD 圧縮試験のモールの応力円

キーワード：強度定数，まさ土，斜面安定，三軸試験，低拘束圧，不攪乱試料

連絡先：呉市阿賀南2-2-11，電話・Fax：0823-73-8478

軸圧縮を行っても明確な主応力差のピークが現れなかったため、軸ひずみ 15%の時点までを破壊点とした。図 3 より、この試料では軸圧縮過程の初期から正の体積ひずみ、すなわち負のダイレイタンスが生じており、試料は比較的緩い状態であることが分かる。また、体積ひずみと軸ひずみの関係は拘束圧の違いにかかわらず、 $c = 5 \text{ kPa}$ を除いてほぼ一致していることが分かる。図 4 に破壊時のモールの応力円を示す。この図より、CD 圧縮試験による強度定数として、 $c_d = 0 \text{ kPa}$ 、 $\delta_d = 38.8^\circ$ が得られた。

間隙水圧増加試験における主応力差～軸ひずみ、体積ひずみ～軸ひずみ関係を図 5 と図 6 に示す。図 5 において主応力差が若干低下しているのは、本試験ではセル圧と軸荷重を一定としているため、軸圧縮の進行に伴って供試体の断面積が増加するため、半径方向応力が一定でも軸方向応力が減少するためである。図 6 より、間隙水圧の上昇に伴って、軸方向には圧縮するが、体積ひずみは負となり、半径方向には膨張していることが分かる。また、 $c = 5 \text{ kPa}$ を除いて拘束圧の大きさに拘らず、体積ひずみと軸ひずみの関係はほぼ一致していることが分かる。図 7 に、破壊時のモールの応力円を示す。この図より、間隙水圧増加試験による強度定数として、 $c_d = 1.2 \text{ kPa}$ 、 $\delta_d = 29.1^\circ$ が得られた。この値は、CD 圧縮試験によって得られた値（ $c_d = 0 \text{ kPa}$ 、 $\delta_d = 38.8^\circ$ ）とは一致していない。

まさ土斜面における崩壊は、層厚が 1m 前後の表層崩壊となる場合が一般的である。そこで、すべり面深度を 1m とした場合、地下水位が地表面付近まで上昇したときのすべり面付近の土要素の主応力は、5～10kPa 程度であると考えられる。図 8 は、このような応力範囲での破壊線を示したものであり、降雨による斜面崩壊を対象とする場合は、通常の CD 圧縮試験では直応力が 4kPa 程度までは強度を過小に評価し、直応力が 4kPa 程度以上では強度を過大に評価していると言える。

4. まとめ

- 1) CD 圧縮試験では、破壊時のモールの応力円より強度定数は粘着力 $c_d = 0 \text{ kPa}$ 、内部摩擦角 $\delta_d = 38.8^\circ$ となる。
- 2) 間隙水圧増加試験では、破壊時のモールの応力円より強度定数は粘着力 $c_d = 1.2 \text{ kPa}$ 、内部摩擦角 $\delta_d = 29.1^\circ$ となる。
- 3) CD 圧縮試験と間隙水圧増加試験で得られる破壊線は一致せず、間隙水圧増加試験では拘束圧が小さいときは強度を大きく評価するが、拘束圧が大きくなると強度を小さく評価する。
- 4) 間隙水圧増加試験では、CD 圧縮試験ではゼロとなった粘着力を測定できる。

以上より、表層斜面破壊に対する強度特性を求めるためには、降雨による間隙水圧の上昇を考慮した間隙水圧増加試験により強度特性を求める必要があり、本研究では斜面安定解析のための低拘束圧でのまさ土の強度定数は、粘着力 $c_d = 1.2 \text{ kPa}$ 、内部摩擦角 $\delta_d = 29.1^\circ$ と評価できる。

<参考文献>

- 1) 地盤工学会：特殊土の試験「まさ土」、土質試験の方法と解説（第 1 回改訂版），pp.762-778，2000。

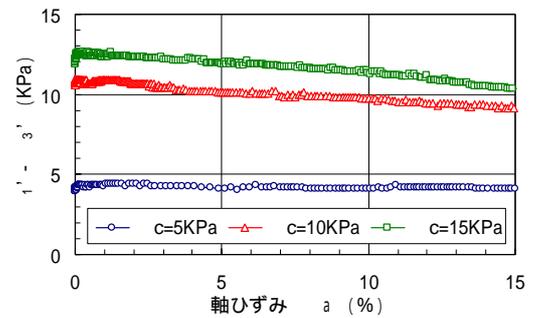


図 5 主応力差～軸ひずみ関係

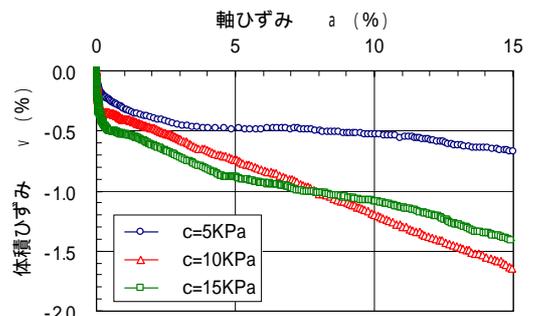


図 6 体積ひずみ～軸ひずみ関係

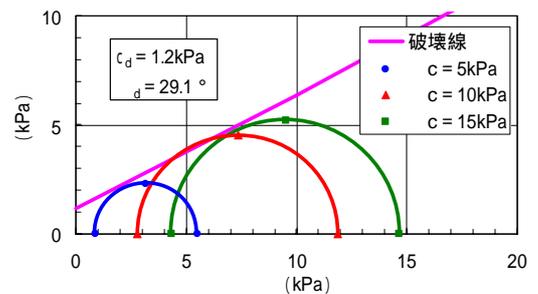


図 7 間隙水圧増加試験のモールの応力円

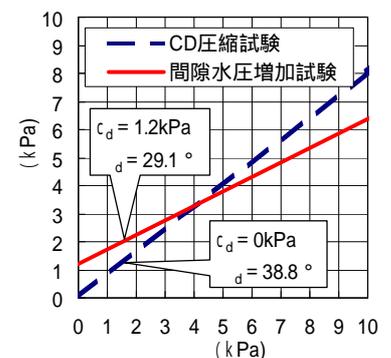


図 8 破壊線の比較