

地すべり面粘土の強度回復特性(その1)

残留強さ, 地すべり, 破壊規準

株式会社 村尾地研 国際会員 村尾英彦
株式会社 村尾地研 正会員 飯久保 龍
株式会社 村尾地研 正会員 笹井 隆

1. はじめに

日本国内の地すべりは、停止と再滑動を繰り返す「再滑動型地すべり」に分類されるものが非常に多い。再滑動型地すべりにおいては、滑動停止後の残留状態となった、地すべり面粘土の再圧密効果により、せん断強度がわずかに回復すると考えられる¹⁾²⁾。しかし、地すべり再滑動時の強度回復メカニズムは解明されておらず、強度の回復を予測し、安定解析に適用することは困難である。

本報では、地すべり滑動から停止までの、間隙水圧の増減による有効垂直応力変化および、再圧密の影響を考慮した、地すべり面粘土の強度回復特性について検討を行なったので報告する。

2. 地すべり再滑動のメカニズムについて

地すべりの再滑動は、外力に変化が生じる場合を除いて、間隙水圧の上昇 u により発生する。安定解析を行なう際には、間隙水圧を直接計測することは困難であるため、地すべりブロック内に設けた水位観測孔の孔内水位(以下、孔内水位と記す)からすべり面までの距離から、間隙水圧パラメーター u の値を決定する場合はほとんどである。

- 孔内水位と地すべり変位の間には、図 1 に示すように
- 1) 降雨・融雪等により孔内水位が急激に上昇し、限界孔内水位に達すると再滑動が発生
 - 2) 再滑動に伴い、孔内水位が低下
 - 3) 孔内水位の低下に伴い慣性的な滑動が持続した後、停止

という関係がある。1) は、間隙水圧の急激な増加に伴い有効垂直応力が減少し、せん断強度が低減することにより滑動が発生すること、2) は再滑動に伴い間隙水圧が減少すること、3) は間隙水圧の減少に伴い、せん断強度が回復し滑動停止することに対応する。

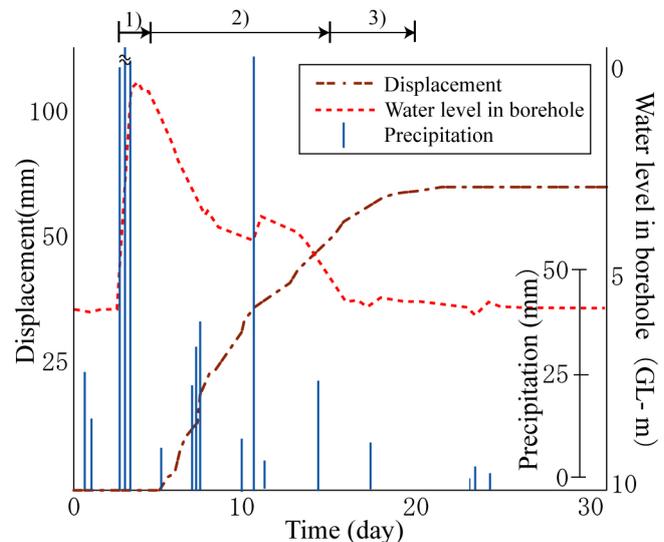


図 1 地すべり変位・孔内水位・降雨量～時間関係図

3. 試験機および試料

試験機は Bishop 型試験機に改良を加え、新たに製作したリングせん断試験機を用いた³⁾。試験方法としてリングせん断試験を採用したのは、供試体形状により、せん断方向に無限の長さを持つこととなり、ひずみの一様性が期待でき、大変形の下での試験が可能であることが主な理由である。

試料は滑動中の地すべり地の集水井内の地すべり面粘土より採取した。地すべり地周辺に分布する地質は、中生代に堆積した礫岩・砂岩・砂岩泥岩互層である。試料の物理的性質を表 1 に示す。試料の特徴としては、 $2 \mu\text{m}$ 粒径以下の粘土含有率 P_c が 56.2% と高く、高塑性であることが挙げられる。また、XRD 結果より、主要粘土鉱物はイライトであることが判明している。

表 1 試料の物理的性質

w	ps	wl (%)	wp (%)	Ip (%)
22.41	2.61	102.4	41.8	60.6
Grain size distribution				
Pc (%)		clay (%)	silt (%)	sand (%)
56.2		62.4	98	2

4. 試験条件

せん断速度は 0.015 mm/min と超緩速なため、過剰間隙水圧の発生しない排水試験となる³⁾。よって所定の垂直応力は有効垂直応力 σ' となる。

地すべり滑動時における間隙水圧の変化を σ' の変化で置き換えると図 2 のようになる。試験は、1000mm 以上のせん断変位を経て、せん断応力 σ' が完全に残留強度に収束した状態の供試体を用い、以下の手順で行なった。

- 1) 強度回復を検討する σ' でせん断し、 σ' が一定となった時点で、段階的に(一段階 0.01 MPa) $\sigma' = 0.2 \text{ MPa}$ まで増加(再活動後の間隙水圧の低下を再現)
- 2) 圧密圧力 0.2 MPa で再圧密(滑動停止時を再現)
- 3) 強度回復を検討する σ' でせん断(再滑動時を再現)
- 4) 1) ~ 3) の手順を繰り返す

Strength recovery characteristics of slip surface clay in the landslide (1)

Hidehiko MURAO, Takashi IIKUBO, Takashi SASAI (Murao Chiken Co., Ltd.)

強度回復を検討する際の有効垂直応力は、 $\sigma' = 0.15, 0.16, 0.17, 0.18, 0.19\text{MPa}$ とした。ここで、 σ' の減少幅を最大 0.05MPa とした理由は、 $+5.0\text{m}$ の孔内水位の上昇により地すべり滑動が発生する場合は、間隙水圧が約 0.05MPa 増加（ σ' が約 0.05MPa 減少）することによる。

また、再圧密時の圧密応力を 0.2MPa としたのは、すべり面上位土塊の平均単位体積重量を $\gamma = 17(\text{kN}/\text{m}^3)$ とし、すべり面深度が約 12m 程度の地すべりを仮定したことによる。

5. 試験結果・考察

試験結果を、せん断応力・有効垂直応力～せん断変位関係にまとめたものを図 3に示す。

この結果より、有効垂直応力の減少幅が大きいものほど強度回復が大きいことがわかる。これより地すべりにおいて、地下水排除工により孔内水位が大きく低下した結果、地すべり滑動が停止し、地すべり面粘土が再圧密を受けた場合は、再活動時の強度回復が見込めるが、孔内水位低下量が小さく、 $F_s=1.0$ をわずかに上回る程度で滑動が停止している場合は、再滑動時の強度回復が見込めないと考えられる。

また、再圧密を行なう前に、段階的に垂直応力を増加させなかった場合は、せん断開始と同時に残留強度に収束し、強度回復は発生しなかった。このことは、残留強度に収束した地すべり面粘土の強度回復は、再圧密前の応力経路に依存する可能性があると考えられる。

強度回復が生ずる場合には、せん断変位 $D=0.05\text{mm}$ 程度でピーク強度となり、 $D=0.1\text{mm}$ 程度で強度回復効果は失われ残留強度に収束する。残留強度に収束するまでのせん断変位は微小であるが、地すべり滑動は、滑動力が最大せん断抵抗力を上回った際に発生するので、再滑動を検討する際に、強度回復を考慮することは可能であると考えられる。

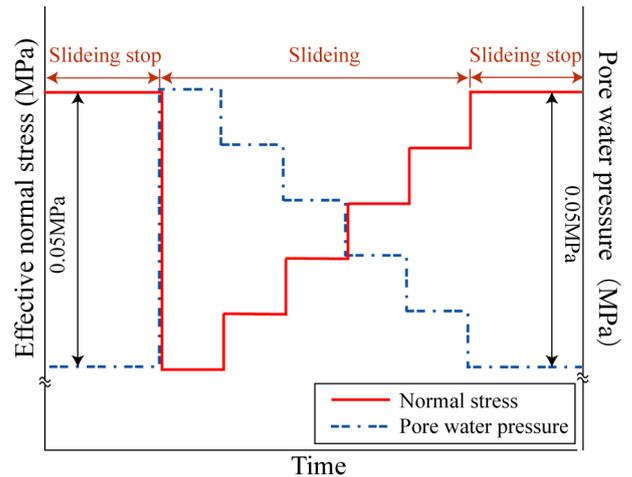


図 2 垂直応力・間隙水圧～時間関係図

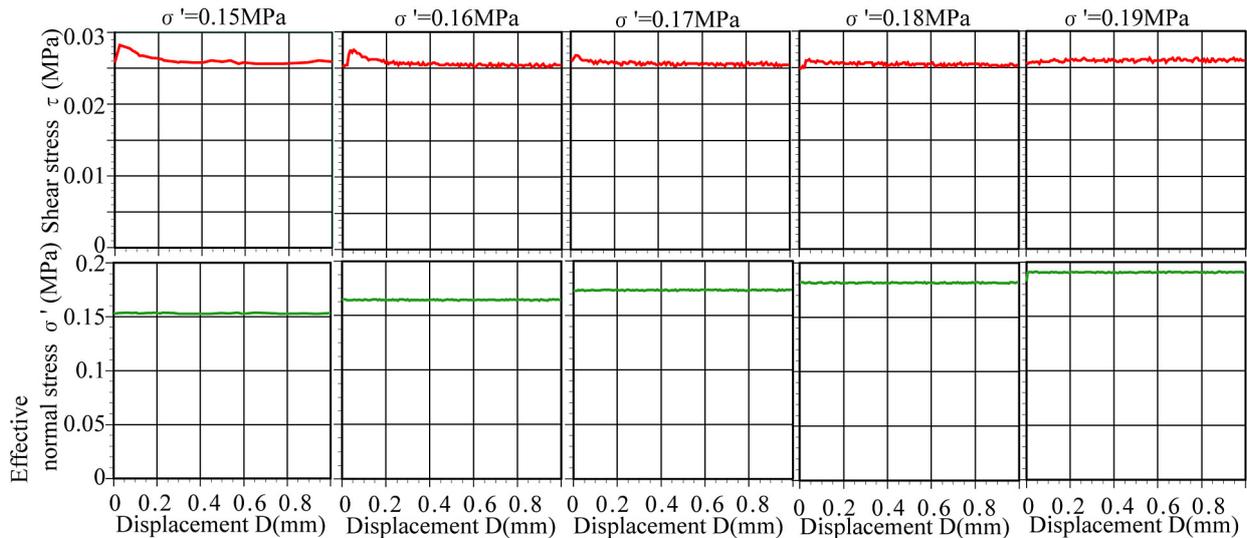


図 3 せん断応力・有効垂直応力～せん断変位関係

6. まとめ

以上のことより、

- 1) 残留強度に収束した粘土を用い、地すべりの滑動～停止までの有効垂直応力変化を再現し、再圧密した後せん断を行なった場合は、有効垂直応力の減少幅が大きいほど強度回復が大きい
 - 2) 残留強度に収束したすべり面粘土の強度回復は、再圧密前の応力経路に依存する可能性がある
 - 3) 再滑動を検討する際に、強度回復を考慮することは可能である
- ことが示唆された。今後は、残留強度に収束した粘土の強度回復メカニズム、試料の物理的性質と強度回復の関係性および、強度回復特性を安定解析に適用する際の、破壊規準作成に関する検討を行なう。

参考文献

- 1) Chandler, R.J.: Back analysis techniques for slope stabilization works : a case record, Geotechnique, Vol.27, No4, pp.479-495,1977
- 2) 中村真也, 宜保清一: 地すべり土の回復強度と垂直応力の影響, 地すべり, Vol.37, No.3, pp.18-24,2000
- 3) 村尾英彦, 澁谷達也: リングせん断試験による地すべり面強度定数決定のための試験条件に関する検討, 第38回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.227-228, 2003