

# リングせん断試験を用いた地すべり面 強度定数決定のための基礎的検討(その1)

Fundamental study on shear strength of slip surface  
of landslide by ring shear test -part1-

村尾英彦\*, 飯久保巍, 北野幹夫(株式会社 村尾地研)

Hidehiko MURAO\*, Takashi IIKUBO, Mikio KITANO(Murao Chiken Co.,Ltd.)

キーワード: リングせん断試験, 残留強度定数, ボーリングコア

Keywords: ring shear test, residual shear strength, boring core

## 1. はじめに

地すべりの安定解析において,土塊のすべりに対するせん断抵抗力を決定する強度定数 $c'$ ,  $\phi'$ を正しく評価することは,重要な課題である.

今回,リングせん断試験機を導入し,試験機の基礎的検討を行ったので,以下に報告する.

なお,地すべり面の強度定数を求める試験方法としてリングせん断試験を採用した理由は

- (1)対策工を必要とする地すべり面の強度は大変形を受け,残留強度相当と考えられる.この状態を再現できるせん断試験法としてリングせん断試験が有効である.
- (2)実際の地すべり面形態は,他の多くの破壊現象同様,直接せん断的な変形構造を有する.
- (3)定圧,定体積,クリープ試験等の様々な試験条件の設定が可能である.

## 2. 試験機および供試体概要

図-1に供試体付近断面図を示す.本試験機の特徴としては

- (1)上下拘束リング間のすきまを制御可能.
- (2)側面摩擦計測用ロードセルにより,上部せん断箱側面と供試体及び載荷板との間に発生した側面摩擦を計測する事により,正確な垂直応力が計測可能.
- (3)垂直応力は空気圧制御.せん断応力は電動モータによる下部可動ひずみ制御方式で,モータの回転速度は供試体中央部で $0.005 \sim 0.5\text{mm/min}$ の制御が可能.
- (4)せん断箱の周囲に水槽を設け,供試体を拘束板ごと水没させる事により,長期に及ぶせん断中に試

料が乾燥するのを防ぐ事が可能.

- (6)せん断試験中にリング間から供試体漏れが発生する事を防ぐため,上下リングの接触面にテフロンリングを挟み,上下リング間の摩擦をカットしながら,リング間の隙間をゼロに保つ事が可能.

- (7)今後コンピュータ自動制御プログラムの開発(上載圧,せん断スピードの制御)により,現在可能な定圧試験に加えて定体積試験,クリープ試験による検討が可能.

であることが挙げられる.

図-2に供試体図を示す.供試体は外径150mm,内径100mm,高さ20mmのドーナツ型で供試体中央部の円周は392.7mmである.供試体は粒度調整を行った後,含水比200%以上で練り返し,0.2MPaで1週間以上圧密し

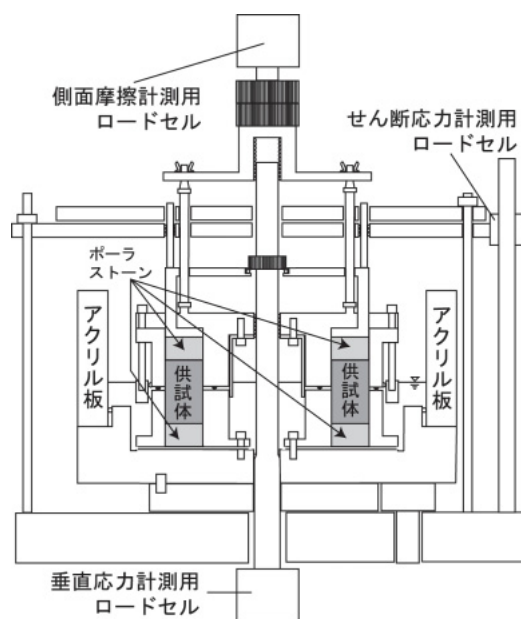


図-1 供試体付近断面図

たものを用いる。

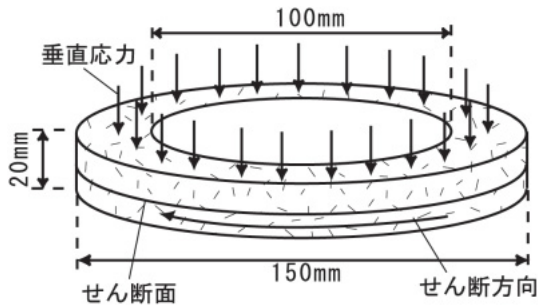


図-2 供試体図

### 3. 試験条件の基礎的検討

#### 3-1. 試料

今回試験機の検討に用いた試料は露頭した地すべり粘土と推定されるもので、 $425\ \mu\text{m}$ 以下の粒径に粒度調整を行った。試料の粒度分布を図-3に、密度及びコンシステンシー特性を表-1に示す。

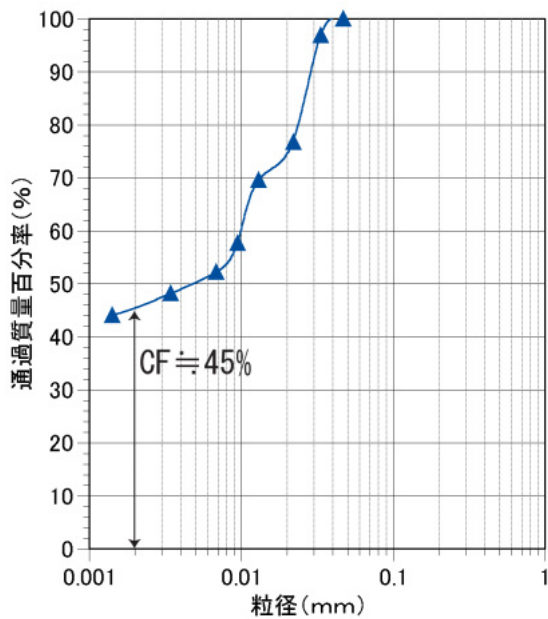


図-3 検討用地すべり粘土粒度分布

密度 $s$	液性限界 $L$ %	塑性限界 $p$ %	塑性指数 $I_p$
2.655	90.3	44.2	46.1

表-1 検討用地すべり粘土-密度, コンシステンシー特性

#### 3-2. 試験条件

0.2MPaで圧密した供試体を試験機にセットした後、載荷板との噛み合わせを確実なものとするため6時間以上の圧密を行った後、せん断を開始した。

また、定圧試験を行うにあたって、せん断応力が残留強度に収束した後に段階的に垂直荷重を除荷してい

く、段階除荷方式 (0.2MPa 0.15MPa 0.1MPa 0.05MPa) を取り、4点回帰により強度定数を求めた。

#### 3-3. 上下リング間の隙間の影響

本試験機の構造は、リング間形状を改良し、隙間をゼロに保つ事が可能な構造となっている。このリングの隙間を閉じる事により発生する摩擦の残留強度への影響を検討するために、上載圧0.2MPa、せん断速度0.01mm/minで上下リング間の隙間が0.1~0.2mmに開き続けるように制御したものと、ゼロに保った結果をせん断応力~せん断変位関係にまとめたものを図-4に示す。なお、隙間をゼロに保った時のリング間の摩擦軽減処理にはテフロンリングとグリースを用いた。

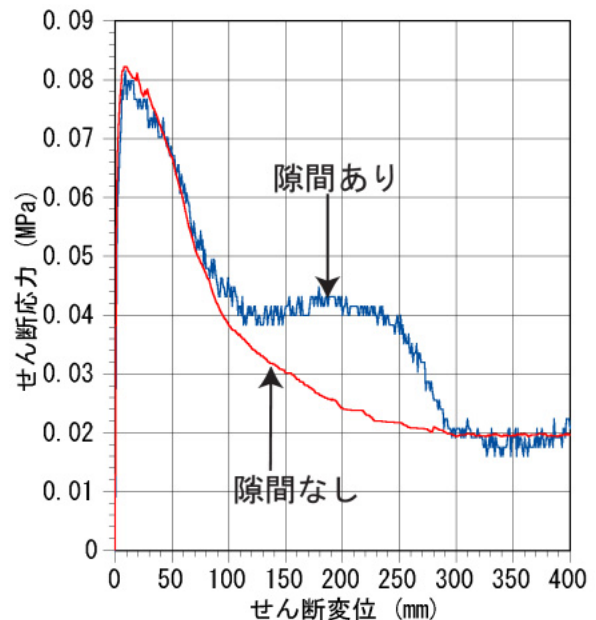


図-4 上下リング間の隙間の影響

これらと比較すると、リング間隔をゼロに保つ事による残留強度への影響はなく、摩擦がカットされている事が分かる。

また隙間を閉じたものは、ピーク後滑らかなカーブを描き残留強度に収束しているのに対して、リング間の隙間を開けたものは、せん断応力が常に上下動して安定せず、せん断初期(D=10mm時)にピークを迎えた後一度収束し、再度強度低下を起こして残留強度に収束した。この原因としては、リング間の隙間を開ける事により、せん断面の試料漏れが発生し、リング間に挟まった試料による強度増加が発生した事が考えられる。この結果より、リング間を閉じる事による摩擦の影響はなく、長期に渡る試験を行う際には上下リング間隔をゼロに保つ試験方法の方が適切である事を確認した。

### 3 - 4 . せん断速度が残留強度に及ぼす検討

定圧試験によって得られる強度定数は、有効粘着力  $c_r'$  と有効応力表示の内部摩擦角  $\phi_r'$  でなければならぬので、試験中に過剰間隙水圧を発生させない事が必要となる。さらに、せん断速度の粒子の定向配列や、試料の漏れ出しによるせん断面積の変化による強度増加の影響も考えられるため、本試験機において、間隙水圧等による強度増加を発生させないせん断速度を確定するために、0.02, 0.01mm/minのせん断速度で試験を行った。その結果得られたせん断応力～せん断変位関係図を図-5に、強度定数を表-2に示す。

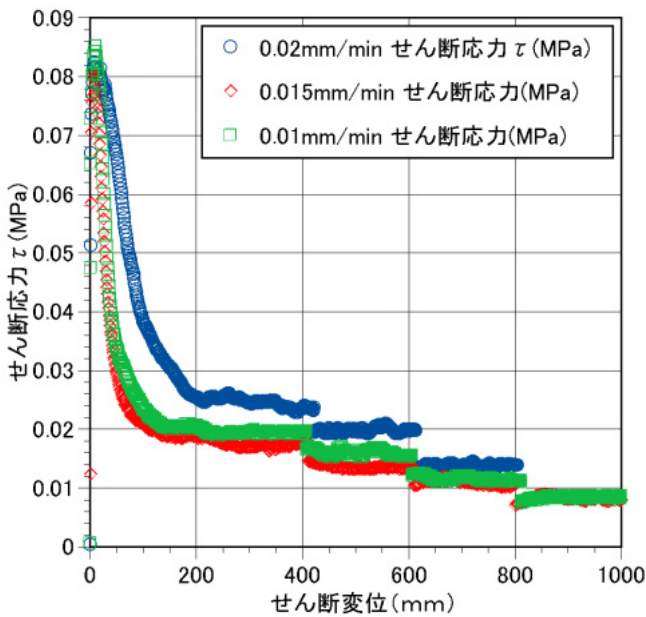


図-5 各せん断速度におけるせん断変位～せん断応力関係図

	0.01mm/min	0.015mm/min	0.02mm/min
$c_r'$ (kPa)	3.124	2.446	4.587
$\phi_r'$ (°)	4.59	4.44	5.44

表-2 各せん断速度によって得られた強度定数

0.02mm/minの方が0.01および0.015mm/minの場合より各上載圧における残留強度が大きく、 $c_r'$ 、 $\phi_r'$ も共に大きく、 $\phi_r'$ に関しては0.015mm/min時に最も小さくなるという結果になった。この事より、各せん断速度において残留強度への過剰間隙水圧の影響はみられないが、せん断速度が0.02mm/minでは試料の漏れ出しが発生するため強度増加が発生したと考えられる。以上の事より、基本的にせん断速度0.015mm/minで試験を行う事により過剰間隙水圧や試料の漏れ出し等の影響を受けない $c_r'$ 、 $\phi_r'$ が得られるであろうと考えられる。

### 4. 試料採取・供試体作成手法確立のための検討

リングせん断試験等の土質試験を用いて地すべり面の強度定数を決定する場合、試料をどのようにサンプルするかという問題がある。

本来は鏡肌、擦痕等を確認し、すべり面と断定された面から得た粘土を用いてせん断試験を行えば、実際のすべり面の強度定数が得られる事となる。

しかし、すべり面の試料採取が可能となる大規模な掘削が行われるのは、安定解析・設計が終了した後の集水井等であり、設計の修正は不可能である。

そこで、今後試験値より得られた強度定数を安定解析や設計に用いるためには、露頭したすべり面粘土からの採取か、ボーリングコアより得られた試料を用いる方法が考えられる。

実際の現場においてすべり面が露頭しているケースは少ないので、ボーリングコアから試料を採取し、供試体を作成する方法を確立する必要があると考え、検討を行った。

#### 4 - 1 . ボーリングコアからの試料採取・作成方法

今回、ボーリングコアからの試料採取、供試体作成手法確立の一環として、地すべり滑動によって孔内傾斜計が挿入不可能となり、計測不能となったボーリング孔の側近から、デニソンサンプラーを用いて試料を採取し、推定すべり面を含む約30cm区間のコアを、425  $\mu$ mのふるいを用いて粒度調整した試料を用いた。

#### 4 - 2 . 試験結果

試料の密度、コンシステンシー特性を表-3に、試験の結果得られた強度定数と逆算結果の比較を表-4に示す。また、粒度分布を図-6に、ボーリングコアより採取した試料を用いてのせん断応力～垂直応力関係を図-7に示す。

密度 $\rho_s$	液性限界 $w_L$ %	塑性限界 $w_p$ %	塑性指数 $I_p$
2.694	64.65	32.67	31.98

表-3 ボーリングコア試料

密度、コンシステンシー特性

	c (MPa)	(°)
逆算結果	0.0153	7.077
リングせん断試験結果	0.0084	14.067

表-4 リングせん断試験結果と

逆算結果との比較表

試験結果より得られる強度定数が逆算結果よりも小さくなると予想していたが、逆算結果よりも試験結果の $\phi_r'$ が約7°大きくなった。この値は試料を採取した現場の地すべり面強度定数としては大きく、安定解

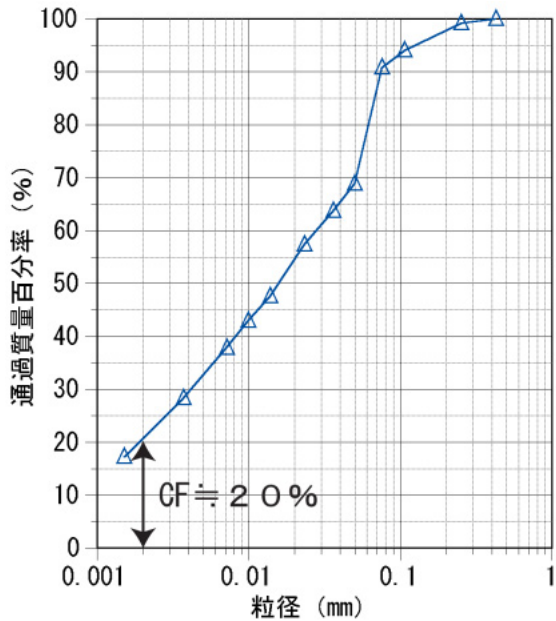


図-6 ポーリングコア試料粒度分布

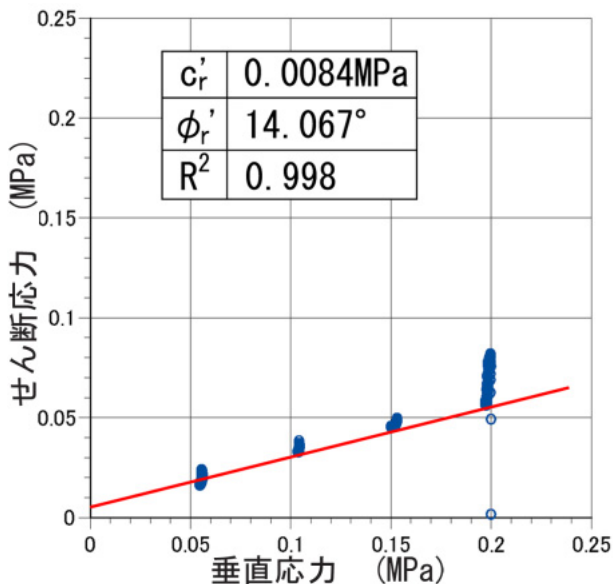


図-7 ポーリングコア試料試験結果

析に用いることが出来なかった。

この原因としては試料の粘土含有率が低かった(CF 20%)事が考えられる。今回は、図-8に示すようにすべり面を含む約30cm区間を試料とし、基盤岩の割合を多くした。しかしすべり面下部(基盤岩部分)の粘土含有率が低く、すべり面上部(風化岩部分)の粘土含有率が高かった可能性が大きい。実際のすべり面粘土はすべり面上部の風化岩が粘土化したものであったとすれば、試料としては風化岩部分のみを採用すべきであったと考えられる。

この事より、今後ポーリングコアより試料を採取する際には、単にすべり面付近を試料とするのではなく

、すべり面粘土の土質を反映する区間を試料とするよう十分な検討が必要である。

### 5. 含水比試験結果

すべり面付近の含水比変化状況を調べるために、供試体を約0.4mm間隔にスライスできる装置を開発し

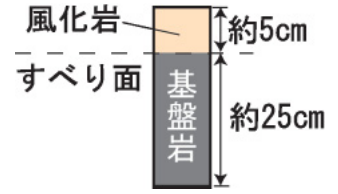


図-8 試料採取区間図

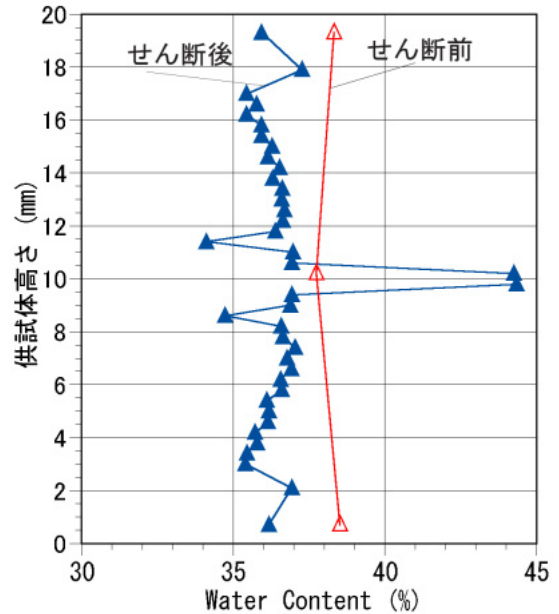


図-9 せん断後供試体含水比分布結果

、せん断後各々の面の含水比を求めた。その結果を図-9に示す。

せん断前の含水比は約38%とほぼ均一だったのに対して 試験後のせん断面の含水比は約44%と突出して高くなり、せん断面から上下面共に約1.5mm程度の位置で約34%と最も低い値を示す。またせん断後の含水比はせん断面を除いては、せん断前よりも低くなることわかった。

この結果は一面せん断試験のせん断面に関する報告<sup>1)</sup>と酷似する。今後この現象が常に発生し得るのか、また実際のすべり面の含水比もこの様な傾向を見せるのかについて検討を行う予定である。

### 6. 今後の方針

引き続き試験機の基礎的検討に加えて、ポーリングコアから採取した試料を用いての強度定数確定手法、実際のすべり面の含水比とせん断後供試体の含水比の関係についての検討を行っていく予定である。

### 参考文献

1) Scofield, A., Wroth, P.: Critical State Soil Mechanics, pp. 222-227, McGRAW-HILL, 1968