

土の残留強度に与える試験法ならびに すべり面の拘束条件の影響

矢田部 龍一¹・八木 則男²・向谷 光彦³・榎明 潔⁴

¹正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科
(〒790-77 愛媛県松山市文京町3番)

²フェロー会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科

³正会員 工博 (財)大阪土質試験所 (〒550 大阪市西区立売堀4-3-2)

⁴正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科
(〒680 鳥取県鳥取市湖山町南4-10)

本論文では、土の残留強度測定に与える各種試験法の影響を調べ、また一面タイプおよび単純せん断タイプのリングせん断試験機によりすべり面に対する拘束条件の影響を調べた。その結果、最も小さなせん断強度を与えるという意味ではリングせん断タイプの試験機が残留強度測定に適していること、また、すべり面の拘束条件の影響は非常に大きいことなどが明らかになった。

Key Words : residual strength, clay, ring shear test, landslide

1. まえがき

土に大変形を与えると体積変化は生じず、また、せん断強度も一定値を示すいわゆる残留状態に達する。一般の地盤安定問題では最大せん断強度を使用して解析を行うため、残留強度は特に注目されていない。土の残留強度特性に関してはSkempton¹⁾の先駆的研究に始まって多くの研究がなされてきており、残留強度の機構に関してもかなり解明されてきている。

土が大変形を受ける事例としては地すべり地のすべり面が挙げられる。地すべり地のすべり面の土は長期間に渡ってせん断変形を受けており、残留強度を用いた安定性の検討も必要であり、また、機構の解明に充分利用できる。日本でも第3紀層の泥岩地帯の地すべりのすべり面粘土を対象として残留強度に関する多くの研究がなされている²⁾。また、著者等は複雑な地質構造を呈している破碎帯地すべり地でも地すべり機構の解明のために残留強度を用いた検討が有効であることを示している^{3), 4)}。土の残留強度を求める試験機としては、Bishopらによって開発されたタイプのリングせん断試験機⁵⁾が多く用いられているが、地すべり粘性土を対象としては繰返し一面せん断試験機^{6), 7)}も用いられている。一面せん断試験機を用いているのはかく乱試料に対する試験が比較的容易であり、また、試料も少な

くて済むという利点があるからである。この利点を生かして現場ですべり面の土の残留強度を比較的平易に求めることが可能な繰返し一面せん断試験機も開発されている⁸⁾。しかし、せん断方向を繰返し反転することにより大変形状態を再現しようとしている繰返し一面せん断試験により得られる残留強度の位置づけは十分なされていない。また、Bishopタイプのリングせん断試験機は大変形を与えるという点では問題ないが、すべり面に対する拘束条件が強く、強制的にすべり面が定められるという欠点がある。同じリングせん断試験機でも単純せん断タイプの試験機はすべり面の拘束条件が一面タイプと比べて緩い。

そこで、本報告ではまず、一面および単純せん断タイプのリングせん断試験と繰返し一面せん断試験およびプレカットした供試体を用いた一面せん断試験ならびに三軸試験という各種の方法を用いて粘性土の残留強度を求め、残留強度に与える試験法の影響を検討した。また、単純せん断タイプと一面せん断タイプのリングせん断試験機により、残留強度に与えるすべり面の拘束条件の影響と礫分含有量の影響の検討を行った。

2. 各種せん断試験機による土の残留強度

(1) 試験に用いた各種せん断試験機, 試験方法, および試料

残留強度を求めるために用いた試験機は, ①一面せん断型のリングせん断試験機, ②単純せん断型のリングせん断試験機, ③繰り返し一面せん断試験機である。また, 一部, 一面せん断試験機と三軸試験機を用いてプレカットした供試体に対するせん断試験により残留強度を求めることも行っている。

土の大変形後の残留強度は, 主に一面せん断型リングせん断試験機により調べられてきた。これはリングせん断試験機が一方向に無限の変位を土に与えることが可能だからである。土の残留強度をある上載圧下で最も小さいせん断強度と定義すれば, 一面せん断型のリングせん断試験機が残留強度測定に最も適している。それは次の理由による。残留強度発現のメカニズムは次のように考えられる。土が十分せん断変形を受けると, すべり面付近の土粒子はせん断方向に配向する。配向の進展の確認は走査型電子顕微鏡やX線回折により確認されている^{9), 10)}。すべり面に沿って粒子が完全に配向すれば, せん断変形に伴う体積変化もなくなり, 粒子間摩擦だけが発揮され, 残留強度を示す。したがって, 粒子配向が最も進みやすい試験機が残留強度測定に適していることになる。しかし, 実際の地すべり地のすべり面等では一面せん断試験機ほどすべり面は限定されていないと思われる。実際の地すべり地のすべり面の残留強度を検討するためには, 一面せん断試験機よりもすべり面に対する拘束が緩い試験機による残留強度も求める必要がある。例えば, 原地盤のすべり層の幅を考えて見ると, 崩積土やすべり層付近が厚く碎破されたような場合は, 孔内傾斜計等の観測結果からすべり層が数mのオーダーであると判断されるものがある。また, 原地盤の変形量を考えてみると, 変形の卓越したすべり層では数cm/月といった移動速度で地すべりのブロックが滑動しているものもあり, 残留強度を求めることは重要なことである。

一方向に無限の変位を与えることができる利点を持ったリングせん断試験機で, すべり面の拘束条件が一面せん断試験機よりも緩いものとして単純せん断型のリングせん断試験機が考えられる。単純せん断タイプのリングせん断試験機により土の残留強度を求めた例は今までにない。今回, 単純せん断型のリングせん断試験機を試作し, すべり面の拘束条件の違いが残留強度に与える影響を検討した。

繰り返し一面せん断試験機による残留強度測定の

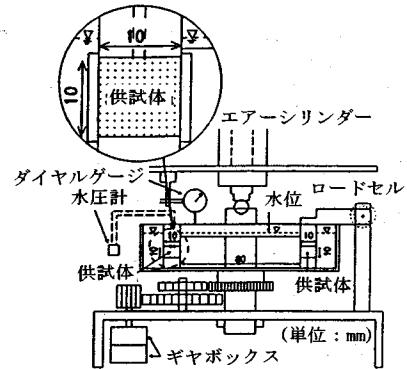


図-1 単純せん断型リングせん断試験機の概略図

適否を検討したのは, 残留強度を求める試験機として使用可能であれば, かく乱試料の試験が比較的容易等の利点があり, 実務的に有意義だからである。

また, プレカットした供試体を用いて一面せん断および三軸試験により土の残留強度を求める試験は, 特殊な試験機を用いずに簡便に残留強度を求める方法として検討されたことがある。今回, 他の試験結果との比較のために一部の試料に対してプレカット三軸試験を行った。

各試験機の概要は, 次のようである。

一面せん断型のリングせん断試験機¹¹⁾のリングは外径16cm, 内径10cmで, 供試体の高さは1cmである。上載圧は空圧シリンダーにより与えられ, せん断は下部のリングを回転させることにより行われる。せん断速度はピーク強度に達するまでは供試体の中心(中心軸から6.5cmの位置)で0.035mm/minとした。ピーク後は0.35mm/minとした。残留強度は体積変化がなくなり, せん断応力が一定値に達した時点での値をとった。今回行った試験では何れの試料でも1回転するまでに残留状態に達していた。各圧密圧力下におけるせん断応力は, ロードセルによって測定されたせん断力にレバー比(約1.9倍)を乗じ, 断面積で除した値を用いた。

単純せん断型のリングせん断試験機の概略を図-1に示す¹²⁾。リングの外径は10cm, 内径8cmで, 供試体高さは1cmである。リングはステンレス製である。供試体の内側と外側は摩擦軽減のためにテフロンを塗布したカラーを設置して試料の内方向および外方向への変形を防止している。上載荷重は空圧シリンダーにより与えられ, せん断試験は下部リングを回転させることにより行われる。せん断速度はピーク強度に達するまでは供試体の中心(中心軸から6.5cmの位置)で0.035mm/minとした。ピーク後は

0.35mm/minとした。残留強度は体積変化がなくなり、せん断応力が一定値に達した時点での値を採用した。各圧密圧力下におけるせん断応力の算定法は、一面せん断型リングせん断試験と同様である。

ここで、単純せん断型と一面せん断型によって得られた残留強度を比較すると、供試体断面やせん断層のせん断ひずみの定義が異なることが問題となる。供試体断面については、極力内径が大きく内径と外径の比が1に近い供試体を用いたリングせん断試験を行う方がより精度の高い実験結果を得られるが、試験機の操作が煩雑になったり、地すべり地のすべり層の量的にも少ない試料でせん断試験を行わなければならないという制約条件を維持することが困難になったりすることが挙げられる。したがって、著者らは、現状では少ない試料を用いて残留強度を調べることが出来る単純せん断型リングせん断試験機を開発した。

一面せん断型リングせん断試験機ではせん断面のひずみは定義できないが、単純せん断型ではせん断ひずみを定義することが可能である。しかし、単純せん断型のリングが1回転以上回転した条件下におけるすべり層のせん断ひずみを詳細に測定することは困難であるし、またそのような大変形状態ではひずみは定義できない。単純せん断型のリングせん断試験機でも、応力とひずみといった関係よりもすべり面に卓越したすべり面がいつ形成されるのか、どのような種類の試料にすべり面が形成されやすいのか、いかなる応力条件下でも同様にすべり面が形成されるのかといったことの方が実際問題としては重要である。

繰り返し一面せん断試験機は在来型の一面せん断試験機を繰り返し一面せん断試験が行えるように改良したものである¹³⁾。せん断箱の大きさは直径が6cmで、試料の高さは1cmとした。せん断速度は、0.015mm/minとした。繰り返し一面せん断試験では10回の繰り返し載荷(累積変位は24cm)を行い、残留強度とした。せん断試験中は、載荷板の回転が起こっていないか目視によって観察した。また、上下せん断箱にはギャップを設けていないので、せん断試験によって得られたせん断強度から空押しによる上下面の最大摩擦力を差し引いてある。また、せん断箱の摩擦は1kgf以下であり、今回著者らが用いた圧密圧力のレベルから得られるせん断強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。なお、一面せん断型の試験機ではせん断箱側面の摩擦の影響やその他避けて通れない問題が幾つかあり¹⁴⁾、試験結果に影響していることはいうまでもない。

供試体のプレカットはワイヤソーで行った。三軸

表-1 試料の物性値

試料	w _L (%)	w _p (%)	I _p	G _s	粒径 (%)		
					<2 μ m	2-20 μ m	20 μ m<
名取	48.6	38.9	9.7	2.84	3.0	83.2	23.8
美川	33.6	17.7	15.8	2.85	9.4	73.5	17.1
松江	93.6	25.2	68.4	2.71	36.0	24.0	40.0
砥部	50.0	24.6	25.4	2.61	9.5	70.0	20.5

試験の供試体は45°+φ./2の角度でプレカットしている。ここで、φ.はHvorslev規準の真のせん断抵抗角である。ここで、真の粘着力c.とφ.について簡単に触れておく。これらは、Hvorslevによって示された破壊規準におけるパラメーターであり、飽和粘性土では同一含水比を有していれば、c., φ.は等しい値を有することから導かれた。そして、c' = c.ならばφ' = φ.である。また、プレカットの角度を45°+φ./2に設定したのはMohr-Coulombの破壊規準からみた供試体のせん断面の角度と考えられるためである。そして、理論的に供試体に発生すると予想されるようなせん断面に近い角度でプレカットを行い、強度特性を調べた。

試料としては地すべり地の粘性土として愛媛県の名取地すべり地粘性土(母岩は三波川帯の黒色片岩)愛媛県的美川地すべり地粘性土(母岩は御荷鉾帯の御荷鉾緑色岩)、島根県の松江地すべり地粘性土(母岩は第三紀層の泥岩)も用いた。また、陶土として使われている砥部粘性土を用いた。各試料の物理的性質を表-1に示す。

供試体は、何れも420μmの篩を通して繰り返しした後、予圧密して作成した。

(2) 試験結果と考察

図-2, 3, 4, 5に各々名取, 美川, 松江それと砥部粘性土の強度線を示す。全ての試料でc' とc.それとc.はゼロである。

ピーク強度に関するせん断抵抗角に関しては試験機による違いはあまり大きくない。これから試作した単純せん断型リングせん断試験機は土のピーク強度に関する強度定数を求める試験機として十分実用に耐えるものと思われる。残留状態でのせん断抵抗角φ.は試験法によってかなり異なる。全体的傾向としては、プレカット三軸試験>繰り返し一面せん断試験>プレカット一面せん断試験≧単純せん断型リングせん断試験>一面せん断型リングせん断試験の順である。繰り返し一面せん断試験は不かく乱試料に対する試験が容易である等の利点はあるが、残留強度を求める試験としては十分注意して使用する

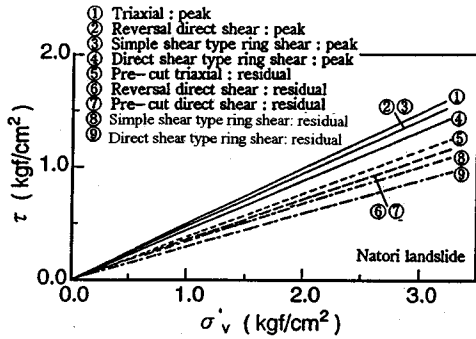


図-2 幾つかのせん断試験によるピークおよび残留強度に関する破壊線（名取地すべり地粘性土）

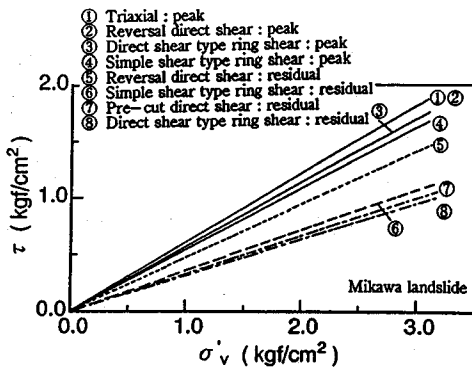


図-3 幾つかのせん断試験によるピークおよび残留強度に関する破壊線（美川地すべり地粘性土）

必要があることがわかる。実際の地すべりのすべり層の土要素を考えると一方向にせん断されており、繰り返し一面せん断試験とはメカニズムが異なることが挙げられる。残留強度を土の持つ最も小さな強度とすれば、プレカットした供試体を用いる三軸試験や繰り返し一面せん断試験は残留強度を求める試験法としてはふさわしくない。なお、プレカット供試体に対する一面せん断試験機によるせん断試験では比較的小さな残留強度を求めることが可能である。これは一面せん断試験機の機構上、プレカット面でせん断されるので粒子配向が生じやすいからであると思われる。

単純せん断型リングせん断試験と一面せん断型リングせん断試験を比べると上述したように何れも単純せん断型の方が大きい ϕ_r が得られているが、松江粘性土では ϕ_r が特に大きく異なる。これは、別途調べた松江粘性土のX線回折結果により、かなり多くのモンモリロナイトを含んでいることが明らか

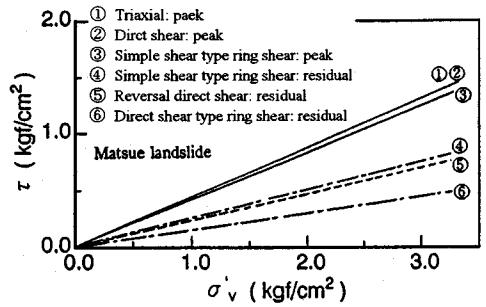


図-4 幾つかのせん断試験によるピークおよび残留強度に関する破壊線（松江地すべり地粘性土）

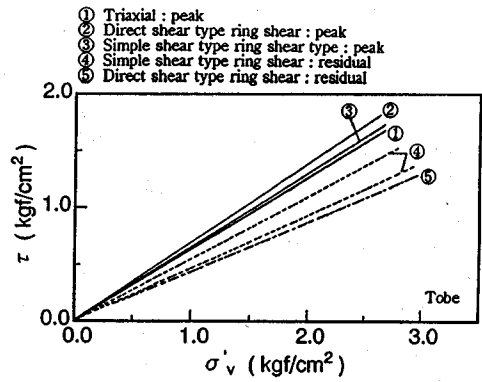


図-5 幾つかのせん断試験によるピークおよび残留強度に関する破壊線（砥部粘性土）

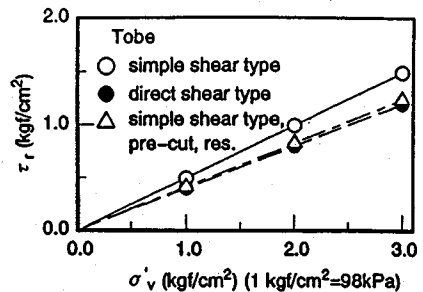


図-6 一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験による残留強度の関する破壊線（砥部粘性土）

になっており、そのモンモリロナイト粒子配向のし易さが影響していると考えられる。 ϕ_r の違いは、せん断時の分離面の形成が影響している。すなわち、単純せん断型では粒子配向が不十分で分離面が出来にくいのに対して、一面せん断型では大概の供試体に分離面が形成されていた。なお、分離面の形成と

表-2 カオリンとモンモリロナイト混合物の物性値

カオリン 含有率 (%)	モンモリ ロナイト含有 率(%)	w _L (%)	I _p	粒径 (%)		
				<2 μ m	2-20 μ m	20 μ m<
100	0	41.3	28.0	28.7	63.0	8.3
95	5	47.7	31.7	32.3	59.9	7.8
90	10	54.2	35.5	35.9	56.7	7.4
80	20	67.0	42.9	43.0	50.4	6.6
70	30	79.9	50.4	50.2	44.1	5.7

はせん断終了後、すべり面で供試体を非常に容易に上下に分離できる状態となっていることを意味している。地すべり地のすべり面では鏡肌状のすべり面として明確な分離面が形成されているものも見られる。ここで、分離面の形成と残留強度について調べた結果を示す。

図-6は陶土に用いられている愛媛県産の砥部粘性土 (w_L=50.0%, w_F=24.6%, G_s=2.61) を用いて、一面せん断型と単純せん断型による残留強度を調べた結果である。これから単純せん断型リングせん断試験機による残留状態でのせん断抵抗角 ϕ_r は一面せん断型リングせん断試験機によるそれよりも5°程度大きいことが分かる。この違いは分離面の形成の違いによると思われる。即ち、せん断試験終了後の供試体観察により一面せん断型では明瞭な分離面の形成が確認されたのに対して、単純せん断型では分離面は確認されなかった。

ところで、分離面が形成された場合には単純せん断型と一面せん断型ともにほぼ等しい値を示すことが予想される。そこで、分離面が形成されやすいように、あらかじめ供試体をワイヤーソーでプレカットした供試体を用いて単純せん断型のリングせん断試験を行った。図-6にせん断試験結果を併記してある。これから、砥部粘性土の一事例についてはあるが、プレカットした供試体を用いると単純せん断型でも一面せん断型とほぼ等しい残留強度を求める可能性があることが分かる。

なお、プレカット供試体を用いた単純せん断型リングせん断試験でせん断試験終了後の供試体観察により明瞭な分離面が形成されていることは確かめている。

以上のことから、分離面の形成は残留強度に大きく影響を与えると予想される。

3. 残留強度に与えるすべり面の拘束条件の影響

一面せん断型と単純せん断型のリングせん断試験で試料によっては ϕ_r が大きく異なることがあることが明らかになった。一面タイプと単純せん断タイプ

の大きな違いはすべり面の拘束条件の違いにある。すなわち、一面せん断タイプではすべり面が強制的に決められているので面でせん断され、分離面が形成されやすい。それに対して単純せん断タイプではすべり面の自由度が高く、面でせん断されにくく、分離面が形成されにくい。分離面が形成され面でせん断されれば粒子の配向が起りやすく、小さな残留強度を示すようになる。

ところで、粒子の配向はモンモリロナイトのような扁平な粘土粒子で特に起きやすいことが確認されている。そこで、モンモリロナイトの含有率を種々変えた試料を用いて、分離面の形成(粒子の配向)と残留強度の関係について調べた。

(1) 試料, 試験方法

試料には市販のカオリンとモンモリロナイトを用いて、種々の割合で混合して人工の粘性土を作成した。表-2に人工粘性土の物性を示す。せん断速度は前述したとおりである。

(2) 試験結果と考察

図-7, 8は一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験による残留強度線の内、カオリン100%試料とカオリン80%+モンモリロナイト20%試料について示したものである。図-7よりカオリン100%試料では一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験機による ϕ_r の違いは2°であり、ほぼ等しいと考えられる。また、せん断試験終了後の供試体観察により、一面せん断型と単純せん断型ともに明瞭な分離面は確認されなかった。したがって、一面せん断タイプにおいてもせん断面で十分に粘土粒子の配向が進んでおらず、単純せん断タイプとほぼ同様の残留強度となったと考えられる。

しかし、図-8では一面せん断型と単純せん断型の残留強度線は大きく異なっている。せん断試験終了後の供試体観察により、一面せん断型では明瞭な分離面が形成されていたのに対して、単純せん断型では分離面は形成されていなかったことが確認されている。モンモリロナイトは扁平な粒子であり、粒子配向し易い。しかし、20%の含有率では一面せん断タイプではすべり面が限定されているために分離面が形成されたのに対して、単純せん断タイプでは粒子配向が進まなかったと考えられる。

図-9に他の含有率の試料に対する試験結果も併せて ϕ_r とモンモリロナイト含有率の関係を示す。これより、モンモリロナイト含有率が50%および100%では一面せん断型と単純せん断型とで ϕ_r は殆ど変わらない。50%と100%では何れの試験機でも

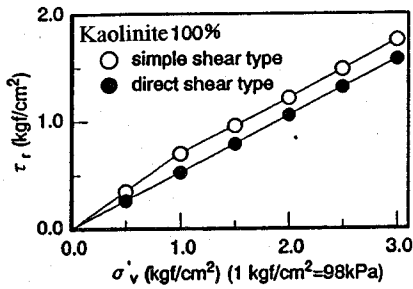


図-7 一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験による残留強度の関する破壊線
(カオリン100%試料)

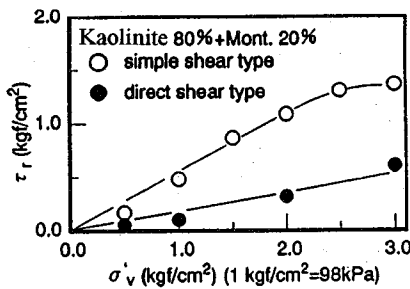


図-8 一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験による残留強度の関する破壊線
(カオリン80%+モンモリロナイト20%試料)

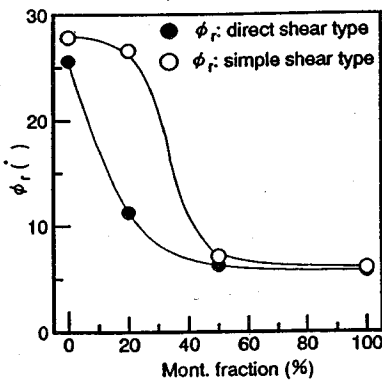


図-9 一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験による残留強度定数φrとモンモリロナイト含有率の関係

明瞭な分離面が確認された。但し、モンモリロナイトを含む粘性土は、試料の調整および圧密等が困難であるため十分なデータ量であるとは言えない。し

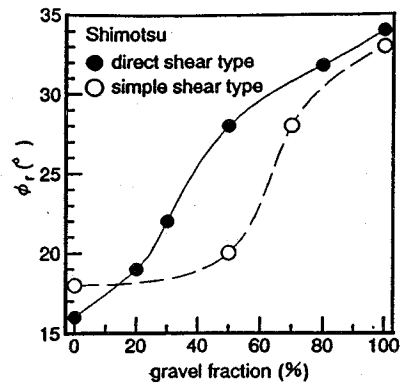


図-10 一面せん断型と単純せん断型リングせん断試験による残留強度定数φrと礫分含有率の関係

たがって、より一層データの充実を行う必要がある。以上のことから、分離面の形成と残留強度は密接な関係があること、分離面の形成はすべり面の拘束条件ならびに粘土鉱物の影響を大きく受けることがわかった。

4. すべり面の拘束条件と礫分含有率に関する一考察

礫分を含む試料では一面せん断型リングせん断と単純せん断型リングせん断とは分離面の形成とは違う理由により残留強度が異なると思われる。即ち、一面せん断型リングせん断試験ではせん断面付近に礫が存在している場合、礫が移動可能であれば比較的小さな残留強度になるが、移動できなければせん断面は礫粒子を強制的に回避しなければならず、残留強度が大きくなると思われる。それに対して単純せん断型では礫分含有量の増加により残留強度が増加するのは当然であるが、増加の仕方は一面せん断型とは異なる。単純せん断型の場合、せん断面の自由度が高く、礫が含まれていたとしても、それを避けながらせん断面が形成される。したがって、ある礫含有率では一面せん断型の方が単純せん断型より残留強度が大きくなると思われる。

図-10に一面せん断型と単純せん断型により得られた礫分含有率と残留強度の関係を示す。用いた試料は三波川帯に貫入した蛇紋岩を主成分とする下津地すべり地の粘性土 ($w_L=28.3\%$, $w_P=16.4\%$, $G_s=2.83$) である。ただし、礫分は不かく乱試料からふるい分けられたものを用いた。礫の粒径は2~5mm

mの細礫分である。

これより、礫分含有率が0%では単純せん断型の方が残留強度が若干大きく、100%では両者の結果はほぼ等しい。礫分の増加に伴う残留強度の増加の傾向を比較すると両者の試験機で少し異なる。即ち、一面せん断型では比較的単調に増加しているのに対して、単純せん断型では50%を越えて顕著な増加が見られる。これはすべり面の拘束条件の違いが影響している。一面せん断型ではすべり面が限定されているため潜在すべり面上(上箱と下箱のすり合わせ面)に礫が位置していれば残留強度が大きくなるのに対して、単純せん断型では礫含有率が小さい内は礫を避けてすべり面が形成されることにより残留強度の増加はあまりみられない。

以上のことから、礫を含んでいる場合には礫分含有率とすべり面の拘束条件により残留強度はかなり異なることが明らかになった。

地すべり地のすべり面の土は、カオリンやスメクタイト、クロライト等々種々の粘土鉱物から形成されている。また粒度分布は礫分含有も含めて、種々異なっている。そして、すべり層の厚さも岩盤中のシームのようなものから粘性土地すべりにみられるような数m厚さのものまでである。したがって、地すべり地のすべり面の土が残留強度に達している場合が多いとしても様々な条件下での値であり、一概に室内実験で再現できるものではない。

今後、地すべり地のすべり面の土の残留強度の研究には、室内実験だけでなく、実際のすべり面の不かく乱状態での原位置せん断試験^{8)・15)}との併用も考えなければならないと思われる。

5. 結論

今回、各種せん断試験機を用いて土の残留強度を求めた。また、残留強度に与えるすべり面の拘束条件ならびに礫分含有率の影響を検討した。得られた結論は次のようである。

- 1)各種試験法により土の残留強度を求めた結果、全体的傾向としては、プレカット三軸試験>繰り返し一面せん断試験>プレカット一面せん断試験≧単純せん断型リングせん断試験>一面せん断型リングせん断試験の順となった。
- 2)単純せん断型リングせん断試験による残留強度は一面せん断型リングせん断試験によるそれよりもかなり大きくなる可能性がある。この相違は分離面が形成されたか否かにより、分離面の形成はすべり面の拘束条件の影響を受ける。
- 3)礫分含有率が残留強度に与える影響は一面せん断

型と単純せん断型とはかなり異なる。これは一面せん断型リングせん断ではすべり面が固定されているため礫の影響を大きく受けて残留強度が大きくなるのに対して、単純せん断型では一面せん断型よりすべり面の拘束が弱いので礫分含有率が小さい内は残留強度がかなり小さくなる。

本研究を行うに当たり、試験機の試作と改良は愛媛大学工学部機械実習工場で行った。リングせん断試験機的设计は愛媛大学工学部技官の二神治氏による。また、試験に用いた試料の採取に関しては行政機関ならびにコンサルタントの方々にお世話になり、試験の多くは愛媛大学工学部土木海洋工学科の卒業生諸氏による。ご協力いただいた関係機関、諸氏に対し感謝致します。

なお、本研究は一部(財)砂防・地すべり技術センターの研究開発助成金と(社)土木学会中国四国支部の研究助成金を使用した。

参考文献

- 1)Skempton, A. W. : Long-term stability of clay slopes, *Geotechnique*, Vol. 14, No. 2, pp. 77-102, 1964.
- 2)例えば、建設省土木研究所地すべり研究室：地すべり粘土の力学的強度特性，土木研究所資料，No. 2570, 1988.
- 3)八木則男，矢田部龍一，石井朋紀，榎明潔：強度定数のばらつきを考慮した地すべり地の安定性の検討，土木学会論文集，No. 523/III-32, pp. 59-67, 1995.
- 4)八木則男，矢田部龍一，石井朋紀：土の残留強度からみた地すべり地の安定性の検討，土質工学会，直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集，pp. 291-296, 1995.
- 5)Bishop, A. W. : A new ring shear apparatus and its application to the measurement of residual strength, *Geotechnique*, Vol. 21, No. 4, pp. 273-328, 1971.
- 6)中森克己：地すべり粘土の強度測定，土質工学会四国支部，地質と斜面崩壊に関するシンポジウム発表論文集，pp. 119-122, 1990.
- 7)佐野彰，三田地利之，澁谷啓：地すべり面強度定数決定のための軟岩用繰り返し一面せん断試験機の開発，地すべり，第31巻，第2号，pp. 41-45, 1994.
- 8)真弓孝之，山崎孝成，須藤充：くり返し一面せん断試験による土質定数の評価，第34回地すべり学会研究発表講演集，pp. 355-358, 1995.
- 9)Lupini, J. F., Skinner, A. E. and Vaughan, P. R.

- : The drained residual strength of cohesive soils, *Geotechnique*, Vol. 31, No. 2, pp. 181-213, 1971.
- 10) Gibo, S., Egashira, A. E. and Ohtsubo, M. : Residual strength of smectite-dominated soils from the Kamenose landslide in Japan, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 24, No. 3, pp. 671-674, 1987.
- 11) 矢田部龍一, 八木則男, 榎明潔: 破碎帯地すべり地の粘性土のリングせん断特性, 土木学会論文集, 第436号/Ⅲ-16, pp. 93-101, 1991.
- 12) 八木則男, 矢田部龍一, 向谷光彦: 粘性土の残留強度に及ぼすすべり面の拘束条件の影響, 土質工学会, 直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp. 263-268, 1995.
- 13) 八木則男, 矢田部龍一, 二神治, 榎明潔, 石井朋紀, 向谷光彦, 萩田高秀: 粘性土の残留強度特性, 第45回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp. 466-467, 1993.
- 14) アラガンテジ, 本郷隆夫, 水上純一: 土の一面せん断試験に関する検討課題, 土質工学会, 直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp. 12-21, 1995.
- 15) 勇野喜正裕, 連保政英, 鷹野雅博, 八木沢孝哉: 直接リングせん断試験法の破断面近傍における間隙水圧挙動の検証結果について, 土質工学会, 直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp. 283-290, 1995.

(1995.11.27受付)

INFLUENCE OF SHEAR TEST METHOD AND RESTRAINT CONDITION ON RESIDUAL STRENGTH OF SOIL

Ryuichi YATABE, Norio YAGI, Mitsuhiro MUKAITANI and Meiketsu ENOKI

The testing method on the residual strength is not established. The residual strength of soils was obtained using the several shear test apparatus. The residual strength became smaller in the order of pre-cut triaxial test, reversal direct shear test, pre-cut direct shear test, simple shear type ring shear test and direct shear type ring shear test. The influences of restraint conditions and gravel fraction on residual strength were investigated. The residual strength of clayey soils by the simple shear type ring shear test was bigger than one by the direct shear type ring shear test. But the residual strength of the soil containing gravel showed the reverse tendency. This is due to the difference of the restraint condition of a slip surface.