

山岳地帯における粘性土の強度特性

Strength Characteristics of Cohesive Soils in Mountainous Area

八木則男 Norio YAGI (愛媛大学工学部)



山岳地帯に存在する粘性土は、海底や平野の粘性土とは異なった堆積環境にある。特に、応力履歴が不明で従来からいわれている正規圧密状態とか過圧密状態の概念がそのまま適用されない。そこで、山岳地帯の粘性土の強度特性を研究するにあたり、一度圧密した粘性土を練り返すことにより応力履歴を消去し、再圧密した正規圧密状態および過圧密状態にある土の強度特性を究明した。この結果、破壊時に発生する間隙水圧が応力履歴に大きく影響されることを明らかにした。このような概念のもとに、破碎帯地すべり地の粘性土の強度特性を、リングせん断試験による残留強度特性も含め明らかにした。

キーワード：粘性土、強度、間隙水圧係数、地すべり (IGC : D-6, E-6)

1. まえがき

粘性土の強度については古くから多くの研究がなされていて、もう研究の余地がないほどである。そして、この方面の研究は平地や海底に堆積した粘性土を中心に行われてきた。しかし、山岳地帯にも地すべり地のすべり層に存在する粘性土をはじめとして種々の状態で存在していて、地盤工学上の問題となっている。山岳地帯の粘性土は平地や海底に堆積した粘性土とは堆積環境や生成過程が異なっている。従来の粘性土の力学特性に関する研究では、 $e \sim \log p$ 曲線において正規圧密線よりも小さな間隙比を有する状態を過圧密といい、その量的表現として過圧密比が用いられてきた。本来、過圧密状態とは、過去に現状で有している有効応力よりも大きな有効応力で圧密された状態である。それでは、現状の有効応力が過去に受けた最大有効応力であって、正規圧密線よりも小さな間隙比を有する状態は存在しないのだろうか。例えば、ある粘性土が練り返せん断応力を受けて正の間隙水圧が発生し、それが消散して粘性土が圧縮した場合や練り返し再圧密によって、いわゆる過圧密状態ではなくても、正規圧密線よりも小さな間隙比を有する状態が存在するのではなかろうか。山岳地帯の粘性土はこのような状態で存在することが多いように思われる。砂質土では正規圧密状態とか過圧密状態とかは粘性土のように問題にされることは少ないが、初期間隙比の異なる種々の正規圧密線がある。粘性土に対して上記の考え方をすると、砂質土と同様に幾つもの正規圧密線が存在すると考えられる。そして、従来からいわれている正規圧密線はある圧密圧力の下で最も大きな間隙比を示す線であるといえる。ただし、粘性土の粒子構造骨格が特殊で非常に大きな間隙比で存在する場合は別に考えることにする。このように考えると、粘性土も砂質土も同様の立場で力学特性を扱うことが可能ではないかと思う。

それでは、粘性土と砂質土の違いは何であろうか。ま

ず、砂質土には真の粘着力が存在しない。しかし、粘性土でも真の粘着力を有さないものがあり、筆者の経験ではわが国の粘性土ではむしろ真の粘着力を有さないものの方が多いようである。真の粘着力を有さない粘性土と砂質土の違いは透水係数である。ゆえに、安定解析においては、粘性土では非排水強度を砂質土では排水強度を考えるのである。したがって、安定解析を考慮して強度の立場から土を分類すると、次のようになる。

A 真の粘着力を有する土・・・粘性土

B 真の粘着力を有さない土

(a) 透水係数の小さな土・・・粘性土

(b) 透水係数の中間的な土・・・シルト質土

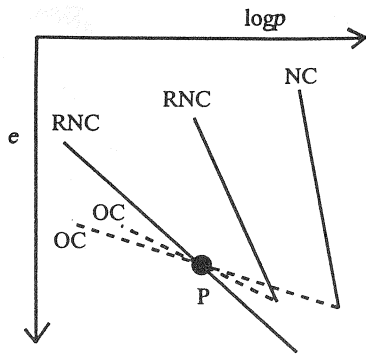
(c) 透水係数の大きな土・・・砂質土

山岳地帯（特に四国地方では）の粘性土が真の粘着力を有することは少なく、また、わが国全体的にも多くはないと思われるので、ここでは、真の粘着力を有さない粘性土の強度に関する一般的な特性を述べたのち、山岳地帯での代表的な粘性土である地すべり地のすべり層に存在する粘性土（以後、地すべり粘性土という）の強度特性について記述する。

2. 真の粘着力を有さない粘性土の強度特性

飽和粘性土が真の粘着力を有さないということは、有効応力に関する強度定数で粘着力 c' がゼロであり、せん断抵抗角 ϕ' は正規圧密状態であっても過圧密状態であっても同じであるということである。すなわち、飽和粘性土の非排水試験から得られる有効応力に関する破壊強度線は原点を通り、一つの粘性土に対し一つしか存在しないことを意味している。そして、同じ圧密圧力を有する正規圧密状態と過圧密状態の供試体の強度の差は破壊（ピーク強度）時に発生する間隙水圧の差により破壊時の有効応力の違いから生じる。

破壊時に発生する間隙水圧は、圧密圧力が同じであれ

図-1 $e \sim \log p$ 関係の概念図

ば、供試体の間隙比 e (飽和の場合は含水比 w でも同じ) に影響される。すなわち、同じ圧密圧力では正規圧密状態の方が過圧密状態よりも間隙比が大きいから、破壊時の発生間隙水圧は大きく、過圧密状態よりも強度が小さくなる。同じ圧密圧力の下では、過圧密比が大きいほど間隙比は小さくなるから、過圧密比により強度が決定されるとされてきた。一方、 $e \sim \log p$ 関係図上でも、先行圧縮荷重と過圧密比により任意の一点が示され、粘性土の圧密状態が決定されるといわれてきた。しかし、「まえがき」でも述べたように、繰り返し再圧密状態も考えると、 $e \sim \log p$ 関係図上の一点で種々の状態の供試体が存在することになる。すなわち、繰り返し再圧密状態も、最初の圧密では、応力履歴が消失されているから正規圧密状態と考えると、 $e \sim \log p$ 関係図上の一点の状態は、繰り返し時の間隙比、先行圧縮荷重、過圧密比により決定される。このことは従来の概念とは異なるところで、それを示したのが図-1 である。図中の記号で、NC は非常に高含水比から圧密した正規圧密状態 (従来からいわれている)、OC は NC に対する過圧密状態、RNC は任意の含水比 (一度圧密された試料を繰り返した時の) から圧密した状態、ROC は RNC に対する過圧密状態である。図-1 の P 点では一つの OC 状態、一つの RNC 状態、圧密開始時の含水比が異なる RNC に対する幾つもの ROC

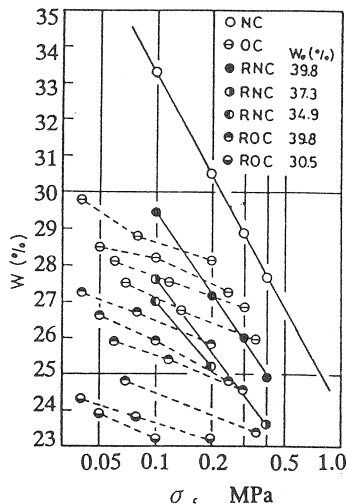
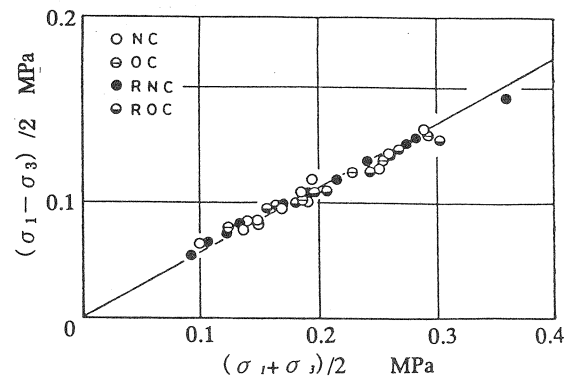
図-2 粘性土試料の $w \sim \log p$ 関係

図-3 種々の状態での粘性土破壊強度線

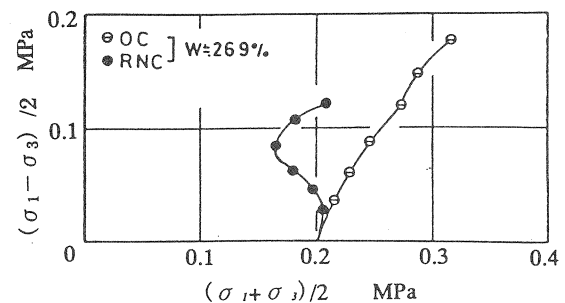


図-4 せん断時の有効応力経路

状態が存在する。このような状態の飽和した真の粘着力を有さない粘性土に対する圧密非排水三軸圧縮試験結果を示そう¹⁾。

使用した粘性土は粘土分 (5 μ 以下) を 30% あまり含んでおり、シルト分と合わせると 95% 以上の細粒分を有している。強度試験を行った供試体の圧密圧力 σ_c と含水比 w の関係を示したのが図-2 である。図中の w_0 は繰り返し時の含水比である。繰り返しによって応力履歴が消失するとして、繰り返し再圧密の供試体はすべて正規圧密状態と考えてもよいのではなかろうか。これは種々の初期間隙比から圧縮した砂質土の正規圧密状態と同様である。次に、破壊時の有効垂直応力 $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ と $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ の関係を図-3 に示す。すべての点が原点を通る直線上にあることが分かる。このことは、真の粘着力がゼロであり、有効応力に関するせん断抵抗角 ϕ' は、供試体の状態に関わらず一定であることを示している。 ϕ' が供試体の状態に関わらず同じであることは、等方圧密状態のみならず、 K_0 圧密を含む任意の圧密状態に対しても同じである²⁾。

圧密圧力と強度定数が同じであっても、非排水強度は異なることはすでに述べた。それは破壊時の発生間隙水圧によるもので、発生間隙水圧は供試体の間隙比によることも述べたが、繰り返し再圧密粘性土も含めて間隙比が同じであれば、発生間隙水圧が同じであることを検証する。そのために、同じ圧密圧力と同じ間隙比 (含水比) を有する過圧密状態と繰り返し正規圧密状態のせん断時の有効応力経路を図-4 に示す。両者は明らかに有効応力

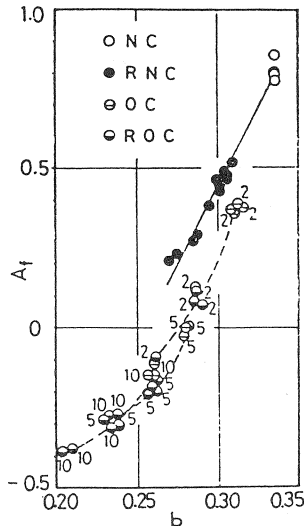


図-5 b 値と間隙水圧係数の関係

径路は異なるし、破壊時の有効応力、すなわち、発生間隙水圧も異なる。したがって、圧密圧力と間隙比が同じであっても破壊時に発生する間隙水圧は異なり、せん断強度に差が生じることが分かる。このことは破壊時の発生間隙水圧には応力履歴が影響することを示しており、有効応力径路の違いから応力・変形関係にも、ただ単に間隙比が異なるからという理由だけでなく、応力履歴が非常に影響してくることが分かる。応力履歴が影響するメカニズムについては詳しくは不明であり、曖昧な言い方かもしれないが、応力履歴による粒子構造の違いによるものと推察される。

それでは、間隙比の違いや応力履歴の違いが破壊時に発生する間隙水圧にどのように影響しているかをさらに詳しく調べる。

破壊時の間隙水圧を定量的に表現するものとして、三軸圧縮試験では Skempton の間隙水圧係数 A_f がある。 A_f は土のダイレイタンス特性を反映しており、粘性土の正規圧密状態では圧密圧力にかかわらず一定であることは知られている。すなわち、圧密圧力の増大に伴うダイレイタンスによる圧縮の増大と間隙比の減少に伴うダイレイタンスによる膨張の増大とが正規圧密線上でバランスしているといえる。このことは砂質土に対しても同様の傾向があるが、粘性土の正規圧密線のように、ダイレイタンス特性が同じになる基準線のようなものが $e \sim \log p$ または $e \sim p$ 関係図で見いだせない。砂質土でもこの関係が見いだすことができれば、粘性土の力学特性のように洗練された論理展開が可能になるかもしれない。

さて、正規圧密線上 (N C 線) では A_f が一定になることに注目して、繰り返し再圧密粘性土も $e \sim \log p$ 関係図上で N C 線に平行な線上では A_f が一定になるのではなかろうかと予測して、次のような整理を行った。N C 線は含水比 w と $\log p$ 関係でも直線となり、 $w = a \log p + b$ の関係で表される。したがって、N C 線に平行となる一つの線

は、係数 a はすべての平行線で同じであるから係数 b で特徴づけられる。そこで、 $w \sim \log p$ 図上の任意の一点に対する b 値とその点での三軸圧縮試験から得られた A_f との関係を示したのが図-5 である。図中の各点に付けられた数字は過圧密比を表している。ここで、 b 値は $w \sim \log p$ 関係図上で対象となる点から N C 線に平行線を引き、この線と $p=1$ の交点の含水比の値として求められた。図-5 によると、 $A_f \sim b$ 関係は、繰り返し時の含水比に関わらず、正規圧密状態では一つの直線で示されており、明らかに過圧密状態の関係とは異なることが分かる。すでに述べたように、繰り返し再圧密状態は再度先行圧縮荷重を与えない限り、同じ圧密圧力に対して N C 線よりも低い含水比状態にあっても正規圧密状態と考えてもよいであろう。

上述の繰り返し再圧密状態は、ある含水比の供試体をビニールの袋に入れて完全に繰り返したのち成形して圧密したものである。それでは、どの程度繰り返したり乱して再圧密すれば応力履歴が消失するかは興味あるところである。例えば、非排水せん断を受けて発生した間隙水圧が消散して圧縮した場合とか、地震や砂杭の施工による繰り返しせん断、すなわち、乱れを受けた場合などが挙げられる。そして、これらの状態も $e \sim \log p$ 図上の一点として存在する。

上記のことを検証するために、前述の試料とは別の粘性土 (粒土構成はほぼ同じで、同じ圧密圧力に対する含水比は大きい) を使用して、繰り返しせん断を与えて発生した間隙水圧を消散させ、圧縮した供試体に対する三軸せん断試験を行った。この試料では不かく乱試料が得られたので、前述の結果を不かく乱試料に対しても検討する³⁾。まず、図-3 と同様な関係を図-6 に示す。この図から不かく乱試料も含め、真の粘着力はゼロで、有効応力に関するせん断抵抗角は状態に関わらず同じであることが分かる。次に、図-5 と同じ関係図を正規圧密状態に対して示すと図-7 のようになり、この場合も不かく乱試料も含め両者の関係は、図-5 と同様に、直線関係となる。

次に、同じ圧密圧力と含水比を有する正規圧密状態、過圧密状態、正規圧密状態の供試体に繰り返しせん断を与え間隙水圧を消散させた状態 (C N C) に対するせん断時の有効応力径路を図-8 に示す。図より明らかに、C N C は正規圧密と過圧密状態の中間の有効応力径

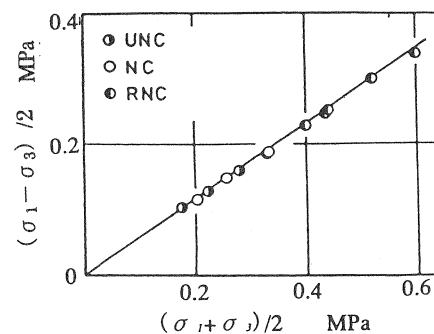


図-6 不攪乱試料も含めた試料の破壊強度線

路を示し、破壊強度よりも小さな応力で繰り返しせん断を与えても完全には応力履歴が消失しないことが分かる。また、繰り返し応力と回数を変えて同じ量の間隙水圧を発生させ、その後消散させた供試体の有効応力径路を示すと図-9 ようになる。この図から、発生間隙水圧が同じであれば、せん断時の有効応力径路もほぼ同じになることが分かる。このことを更に詳しく調べるために、図-5と同様の $A_f \sim b$ 関係を示すと図-10 ようになる。この図からも、不かく乱試料も含め正規圧密状態では一つの線上にあり、繰り返しせん断を与えた供試体は正規圧密と過圧密状態の間にあることが分かる。したがって、繰り返しせん断を与えた供試体の A_f が正規と過圧密の間のどの位置にあるかを定量的に示すことができれば、乱れの程度を表現する手法として有用であるが、現状ではそこまではできていない。

ここでは、海底に堆積した粘性土とは異なり、履歴が不明瞭な山岳地帯の粘性土の特性を検討するために繰り返し再圧密粘性土の強度特性について検討してきた。この結果から、山岳地帯の粘性土の強度特性を把握するには乱れた試料でもよいから採取して、現状の含水比を測定して正規圧密と過圧密に対するせん断試験を行うことが肝心である。また、別の状態である締め固めた粘性土が飽和したときの力学特性への適用も可能である⁴⁾。また、以上の結果は、粘性土と砂質土を同様な立場で検討できることを示すものであろう。すなわち、砂質土の初期間隙比に対応するものとして、繰り返し時の含水比を考えればよい。ただ、砂質土のように相対密度の概念が適用できるまでには至っていない。

3. 山岳地帯の粘性土（地すべり地粘性土）の強度特性

既に述べたように山岳地帯の粘性土は、海底や平地での堆積粘性土とは異なり、生成過程が明確ではない。ここでは、山岳地帯で問題となる地すべり地のすべり層に存在する粘性土（地すべり粘性土）の強度特性について述べる。対象は主に四国に存在する破碎帯地すべり粘性土とする。筆者はここ 15 年あまり破碎帯地すべり粘性土の強度特性について研究してきたが、それ以前はこの方面の研究は非常に少なかったように思える。その理由として、次のことが挙げられよう⁹⁾。

①破碎帯地すべり地のすべり層から不かく乱状態の試料を採取することが困難で、不かく乱試料でないと実用的に有用でないと考えられてきた。

②破碎帯のすべり層には粘性土だけでなく、比較的粒径の大きい礫が含まれており室内試験により強度および強度定数を求めることが困難とされてきた。

③すべり層が非常に薄い場合があり、強度試験に十分な試料の採取が困難であった。

④したがって、強度定数が逆解析から算定されることが多く、これで十分であると考えられてきた。

逆解析で強度定数を算定する場合、諸々の要因が得ら

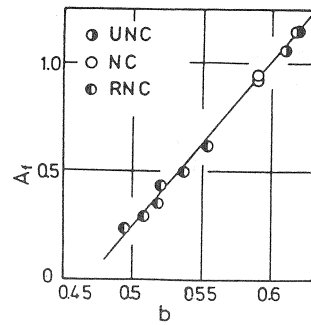


図-7 b 値と間隙水圧係数の関係

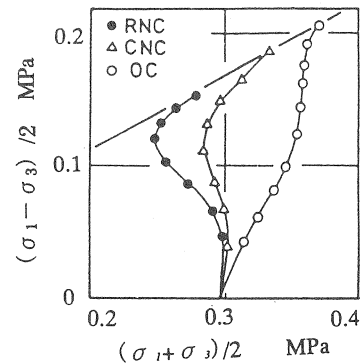


図-8 各種状態の有効応力径路の比較

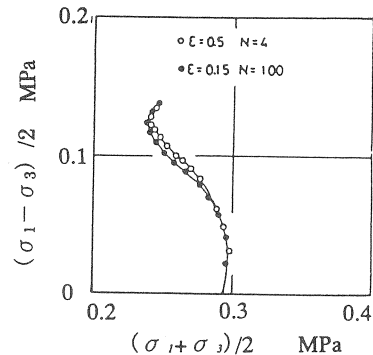


図-9 繰り返しせん断後の有効応力径路

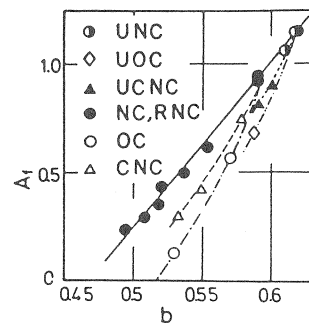
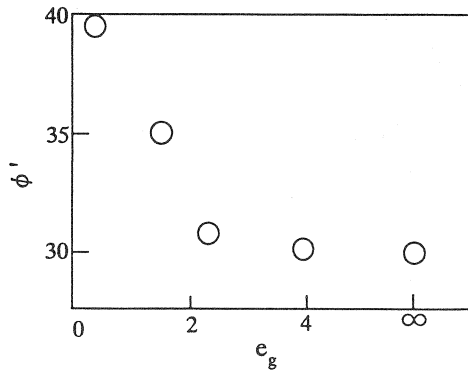


図-10 b 値と間隙水圧の関係

れる結果に影響を与える。例えば、すべり面の位置、地下水位、粘着力に対する仮定、使用する解析方法などが挙げられる。

①に対しては、前述のようにかく乱試料でも不かく乱試料でも同じ有効応力に関するせん断抵抗角 ϕ' が得ら


図-11 礫混入割合と ϕ' の関係

れることが分かっているし、破碎帯における粘性土の大部分は真の粘着力を有していないことが後に示す資料でも明らかである。したがって、かく乱再圧密試料に対する試験結果でも十分に実用的である。また、②については、含まれている礫の大きさと量が問題になるが、それらを除いた試料に対してせん断試験を行えば ϕ' が得られ、それについて検討すればよい。礫分を除いた試料に対する強度定数は安全側となる。礫の含有分が強度定数に与える影響を示したのが図-11である。この図で e_g は礫間隙率（細粒分粒子と水の体積／礫粒子の体積）である。この結果から、礫同士が接触せずに細粒分に浮いた状態、すなわち、 e_g が2よりやや大きい状態であれば、細粒分だけの強度定数に近い値となる。

次に、得られたせん断抵抗角の有用性について述べる。崩壊が生じる直前は別として、地すべりは非常に緩慢なせん断変形現象である。したがって、この変形が排水状態であるか非排水状態であるかが問題となる。これはすべり層の厚さや透水係数が影響するが、十分に排水されずせん断に伴う間隙水圧の一部が残留することもある。このような場合では、安定解析に必要な強度をいかにして求めるかが問題となる。これに答えるために、すべり層から採取した粘性土の三軸非排水せん断試験から得られた有効応力経路を図-12に示す。地すべり斜面の安全率は1に近いと考えられるから、すべり層内の応力状態は、破壊線に近い図-12のN点付近にあるであろう。N点から破壊線に至る有効応力経路はほぼ排水状態

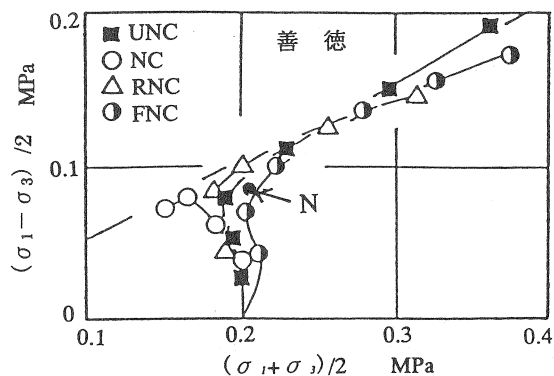


図-12 地すべり粘性土の有効応力経路

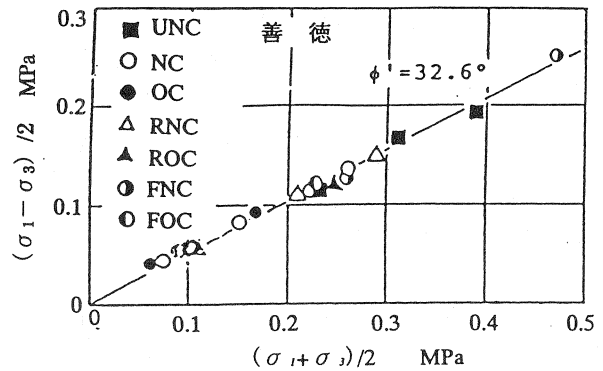


図-13 破碎帯粘性土の強度破壊線

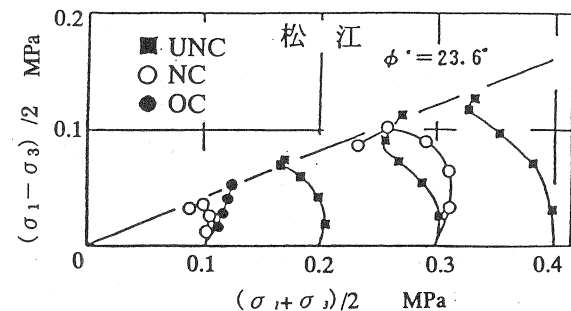


図-14 第三紀層粘性土の有効応力経路

応力経路に等しく、このことから考えると地すべりが排水状態でも非排水状態でも関係がなくなる。例えば、有効応力経路が排水状態のそれと少々異なっている、すでに破壊線に近い状態にあるので、強度の大きさに与える影響は少ない。そして、粘性土では ϕ' と排水状態でのせん断抵抗角 ϕ'_d はほぼ等しくなることが知られている。以上のことを考えると、破碎帯における地すべり斜面の安定解析では、地下水位による間隙水圧だけを考慮して ϕ' を使用して行うことが許されるであろう。

さて、破碎帯地すべりのすべり層から採取した粘性土の有効応力に関する破壊線を図-13に示す。破碎帯の地すべり粘性土の強度も状態には無関係に真の粘着力はゼロで、同じ ϕ' を有する一つの直線上にある。ここでは示さないが、他の破碎帯地すべり地の粘性土も同様である^{3),6)}。図中のFNCやFOCは地すべり粘性土の状態を考えて、正規圧密状態と過圧密状態の粘性土に大せん断変形を与えた後、発生した間隙水圧を排水により消散させた供試体に対して再度非排水せん断を行ったものである。次に、第三紀層地すべりのすべり層の粘性土に対する非排水三軸圧縮試験によるせん断試験の結果を図-14に示す。第三紀層の粘性土も破碎帯のと同様に真の粘着力がゼロで状態に関わらず同じ ϕ' となっている。他の第三紀層の粘性土もこのような結果になることが多いようである。ただ、一般的に、破碎帯よりも第三紀層の粘性土の方が ϕ' がわずかに小さいようであり、これが第三紀層の地すべり地斜面の方が破碎帯のそれよりも傾斜角度が緩くなっている原因と考えられる。

地すべりのすべり層は過去に大きなせん断変形を受けていると考えられる。したがって、粘性土の状態は残留

強度の状態にある場合がある。残留強度は大きなせん断ひずみを与え、ひずみに対してせん断抵抗が変化しないときの強度であるとされている。三軸圧縮試験では、与えられるせん断ひずみが40%程度であり、一応の残留強度が得られるようである。しかし、すべり層のせん断ひずみは非常に大きく数100%以上に達していることもあり得る。このような状態を再現できる試験法の一つにリングせん断試験がある。そこで、三軸圧縮試験では得られないような大せん断変形を与えたときの強度を検討するために、二種類のリングせん断試験機を試作した。一つは一面せん断型であり、他の一つは単純せん断型である。図-15に一面せん断型のリングせん断試験機を示す。単純せん断型もほぼ同様であるが、供試体の容器が前者では上下に分離されているのに対し、後者では容器が一つで供試体全体にわたりせん断されるようになっている。

図-16にここで示したリングせん断試験機を使用して得られたピーク強度線および残留強度線を示す。同時に三軸圧縮試験結果や大変形を与えることができる種々の試験機による結果も合わせて示されている。この図における垂直応力は有効応力であるが、リングせん断試験のように間隙水圧が測定できない場合では、残留応力状態

では十分に時間をかけてせん断を行っているので、残留間隙水圧はないとしている。また、このことは予め確かめている⁷⁾。図-16から、せん断抵抗角が最も大きくなるのが、三軸圧縮試験のピーク強度に対応するものであり、最も小さくなるのが一面せん断型リングせん断試験の残留強度に対応するものである。ここでは、地すべりのすべり層を考え、残留強度について検討すると、同じ残留強度でも試験法によって異なることが分かる。前述のように一面せん断型のリングせん断試験でのせん断抵抗角 ϕ_r が最も小さく、単純せん断型のリングせん断試験からの結果がそれにつづき小さい。残留強度は各試験法で最もせん断抵抗が小さくなった時点での強度である。真の残留強度に至るにはどれだけのせん断ひずみを与えなければならないかは不明であるが、少なくとも両リングせん断では非常に大きなせん断ひずみが与えられている。しかし、残留強度が異なるのは、面に近い状態でせん断されているのと、ある層厚でせん断されているのでは、せん断のメカニズムが違っているのではないと思われる。実際のすべり層内でも、面に近いすべりとある層厚でのすべりとが考えられ、前者である場合では非常にせん断抵抗角が小さくなる可能性があり、安定解析上で注目せねばならない。

せん断抵抗角は粘性土の塑性指数と相関関係があるといわれている⁸⁾。そこで、破碎帯地すべり地の粘性土のピーク強度（三軸圧縮試験による）と残留強度（一面せん断型リングせん断試験による）に対するせん断抵抗角 ϕ' および ϕ_r と塑性指数 I_p の関係を示したのが図-17である。破碎帯における地すべり地粘性土は I_p の範囲が小さいからかもしれないが、両者の関係から I_p によりせん断抵抗角を推定できるほどよい相関関係ではない。したがって、現状では各種せん断試験を行うのは難しい問題ではないので、前述したようにすべり層から乱れた粘性土を採取してせん断試験により強度定数を求めるべきであろう。ただ、図-17から分かることは破碎帯地すべり地粘性土に対する ϕ' 、 ϕ_r ともかなりの差があるということである。 ϕ' では 20° から 30° 、 ϕ_r では小さくなると 10° 以下のこともある。また、表-1には同じ地すべり地のすべり層から採取された粘性土の ϕ' と ϕ_r が示

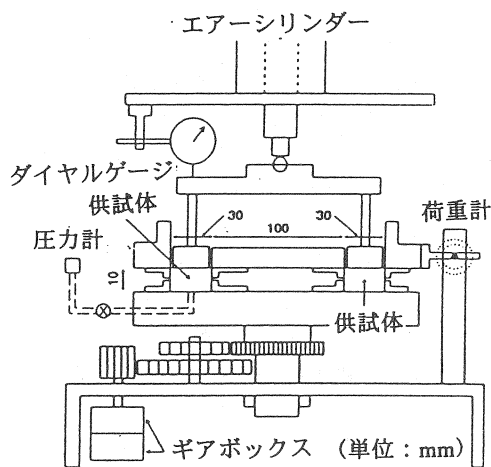


図-15 一面型リングせん断試験装置

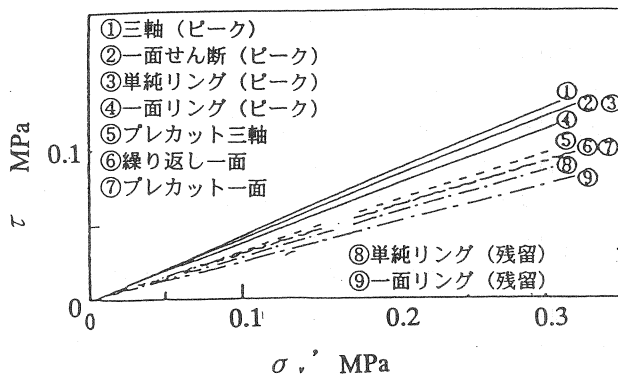


図-16 種々の試験機による強度破壊線

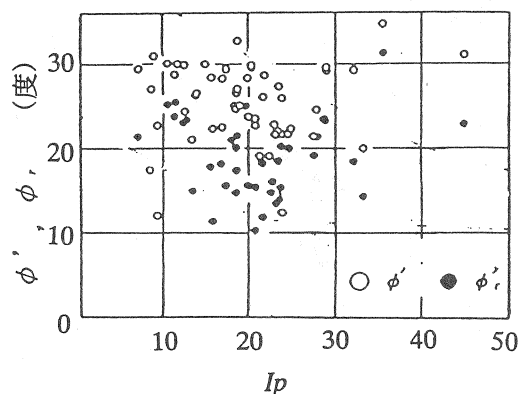


図-17 せん断抵抗角と塑性指数の関係

表-1 すべり層内の ϕ' 、 ϕ_r のばらつき

地すべり地	IP	ϕ'	ϕ_r
沢渡 1	19.8	28.3	25.2
2	27.9	21.7	19.4
3	33.4	20.5	14.4
4	32.2	29.7	18.8
5	28.9	29.3	23.3
6	23.6	27.4	19.4
7	28.2	24.8	21.4

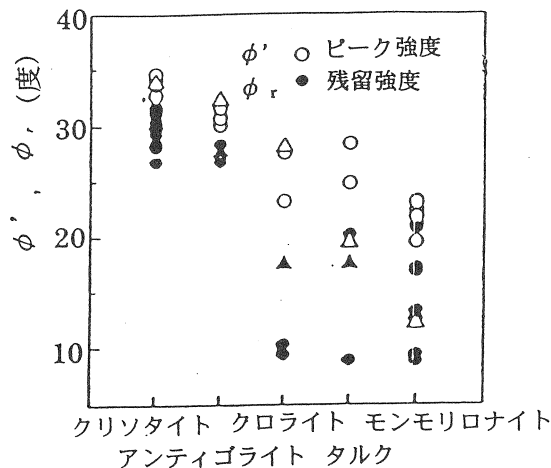


図-18 せん断抵抗角に与える鉱物の影響

されているが、かなりのばらつきがみられる。この理由については不明である。

粘性土のせん断抵抗角は種々の要因の影響を受ける。その一つとして含有される粘土鉱物の影響が挙げられる。前述のように、破碎帯の各地すべり地における粘性土のせん断抵抗角が大きく変わる原因の一つが粘土鉱物によることも考えられる。そこで、各地の地すべり地から採取した粘性土に含まれる主粘土鉱物とせん断抵抗角 ϕ' 、 ϕ_r の関係を示したのが図-18 である⁹⁾。この図からモンモリロナイトのような鉱物が主鉱物である場合は、 ϕ' 、 ϕ_r が小さくなるのは一般的にいわれており理解できる。更に、タルクやクロライトが主鉱物の場合も ϕ' 、特に ϕ_r は小さくなる。このことから主鉱物が膨張性であれば、せん断抵抗角は小さくなるのが分かる。しかし、粘性土全体に含まれる粘土成分が多くて 30 % 程度で少ないときは 10 % 程度で、主鉱物の含有量はさらに少ないにもかかわらず、せん断抵抗角には大きく影響を与える。そのメカニズムについて十分に説明することはできない。このような事実から地すべり地の粘性土に含まれる粘土鉱物の分析を行うことは、力学試験と合わせて地すべり斜面の安定性の検討や対策に重要である。

4. あとがき

以下に本論文の結論をまとめる。

1) 真の粘着力を有さない粘性土の有効応力に関する

せん断抵抗角 ϕ' は、正規状態や過圧密状態さらに繰り返し再圧密状態も含めて、供試体の状態に関わらず一定となる。

2) 同じ圧密圧力と同じ間隙比を有する過圧密粘性土と繰り返し再圧密の正規圧密粘性土では破壊時に発生する間隙水圧は異なり、したがって、非排水せん断強度も異なる。また、繰り返しせん断などにより発生した間隙水圧を消散した後の供試体の非排水強度は上述の二つの状態の間にある。

3) 2) で述べたことを検証するために、 $w \sim \log p$ 関係図上で求めた係数 b と破壊時の間隙水圧係数 A_f の関係を示すと、正規圧密（繰り返しも含む）状態、過圧密状態、繰り返しせん断状態の各供試体でそれぞれ異なった関係を示す。

4) 破碎帯地すべりのすべり層粘性土も真の粘着力はゼロで、いかなる状態でも ϕ' は同じである。

5) 残留強度に対するせん断抵抗角 ϕ_r を求める種々の試験法の内、一面せん断型のリングせん断試験機により求めた ϕ_r が最も小さくなる。

6) ϕ' や ϕ_r は粘性土に含有される粘土鉱物の影響を受け、モンモリロナイトをはじめとする膨張性鉱物が含まれるとせん断抵抗角は小さくなる。

参考文献

- 1) 八木則男、矢田部龍一、松村真一郎：繰り返し含水比の異なる再圧密土の力学特性、土木学会論文報告集、第 330 号、pp.99-106、1983。
- 2) 八木則男、矢田部龍一、向谷光彦：有効応力規準による粘性土の強度特性について、土木学会論文集、No.575/Ⅲ-40、pp.1-8、1997。
- 3) 八木則男、矢田部龍一：乱れを受けた飽和粘性土の力学特性、土木学会論文集、第 352 号/Ⅲ-2、pp.179-186、1984。
- 4) 八木則男、矢田部龍一、相原宏：不飽和土の圧縮と強度特性、愛媛大学紀要第 3 部工学、第 9 巻、第 4 号、pp.441-449、1981。
- 5) 矢田部龍一、八木則男、榎明潔：破碎帯地すべり粘土の力学特性、土木学会論文集、第 406 号/Ⅲ-11、pp.43-51、1989。
- 6) 矢田部龍一、八木則男、榎明潔：乱さない地すべり粘土のせん断特性、地すべり、第 26 巻、第 4 号、pp.3-9、1990。
- 7) 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、No.436/Ⅲ-16、pp.93-101、1991。
- 8) 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, 1981。
- 9) 横田公忠、矢田部龍一、八木則男：蛇紋岩地帯の地すべりの発生に及ぼす粘土鉱物と梅檀強度の影響、土木学会論文集、No.568/Ⅲ-39、pp.125-132、1997。