

# Ⅲ-24

## 地すべり粘土の残留強度発現機構に関する基礎的研究

岩手大学工学部 正会員 ○大河原文  
岩手大学大学院 学生員 棚田 真

### 1. はじめに

地すべりの安定問題を考える上で、すべり面でのせん断強度は安定計算の根幹をなすなど基本的に重要である。一般に地すべりは、その移動量が大きく、すべり面には粘土が存在していることが多いので、すべり面でのせん断強度は、粘土の残留強度またはそれに近いと考えられている<sup>1)</sup>。残留強度とは、すべり面に沿って粘土粒子が配向した状態で発揮される強度で<sup>2), 3)</sup>、主として粘土粒子間の物理的・化学的作用などにより発現しているものと考えられる。従来、粘土の残留強度発現機構の解明に取り組んだ例は少なく、今回、トライボロジーと粘土サスペンションでの化学的特性から粘土(≒地すべり粘土)の残留強度発現機構に関わる基本概念を整理したので報告する。

### 2. 接 触

残留状態に至ったすべり面でのせん断現象は、その面を境とする上部土塊と下部基盤との二つ固体表面の接触による摩擦現象と理解される。この摩擦現象では「固体間の接触」がまず問題になる。せん断面には様々なスケールでの凹凸があり、この表面の接触に対して「見かけの接触面積」と「真実接触面積」を区別しなくてはならない。そして重要となるのは、表面の凸部同士の接触による真実接触点(微小接触点)の総和である。粘土などの塑性接触では、真実接触面積は荷重に比例する<sup>4)</sup>。

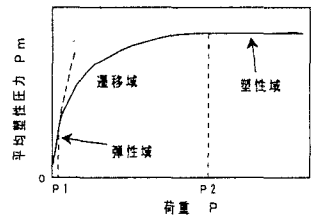


図 1. 弾性変形から塑性変形の遷移(木村・貞部, 1982)

### 3. 摩 擦

トライボロジーでは、真実接触面積は固体表面間の状態に依存するとしている。固体表面間の状態は、その接触面間に存在する①潤滑媒の特性、②荷重、③せん断速度に応じて特有の現象を生じ、次の3領域に整理されている<sup>5)</sup>。

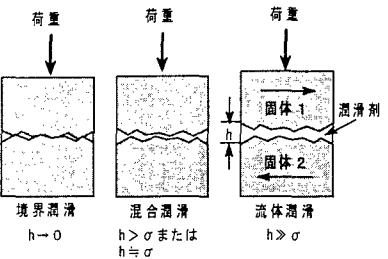


図 2. 各潤滑状態における摩擦形態<sup>5)</sup>

領域Ⅰは、二つの固体表面が潤滑媒で完全に分離されている状態で流体潤滑と呼ばれる。ここでの摩擦特性は液体の内部摩擦によって支配される。領域Ⅱは潤滑媒は薄くなり、固体の表面凸部の一部は接触を起こしている状態で混合潤滑と呼ばれる。ここでの摩擦特性は、潤滑媒の膜のせん断と表面凸部間の相互作用力によって生じる。領域Ⅲは、さらに潤滑媒が薄くなり分子レベルでの存在となるため固体間の接触に近い状態にあり境界潤滑と呼ばれる。ここでの摩擦特性は、固体間接触の相互作用と固体-潤滑媒間の相互作用、とくに潤滑媒の界面化学的作用や化学反応性が重要となる。

以上から、摩擦形態はそれぞれの潤滑状態に応じたものとなり、地すべり現象を想定した場合、そのせん断面は水を潤滑媒とした混合潤滑状態あるいは境界潤滑状態にあり、よって、そこで発揮されている残留強度は混合摩擦あるいは境界摩擦に類似すると考えられる。

以上から、摩擦形態はそれぞれの潤滑状態に応じたものとなり、地すべり現象を想定した場合、そのせん断面は水を潤滑媒とした混合潤滑状態あるいは境界潤滑状態にあり、よって、そこで発揮されている残留強度は混合摩擦あるいは境界摩擦に類似すると考えられる。

### 4. 凝 着

凝着とは、固体凸部が互いに接触することにより、それぞれの固体に分布する原子間力や分子間力が引力圏内に入る部分ができ、結果として両者間に強い凝着力が発生する現象である<sup>6)</sup>。真実接触部分では、この凝着力により表面凸部同士の結合が生じている。

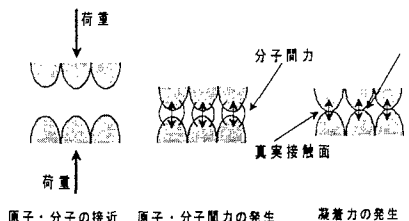


図 3. 凝着の概念

したがって、前述の混合摩擦と境界摩擦(固体摩擦)での固体間接触部分(真実接触部分)では、凝着力をせん断する力が作用している。また、せん断面の非凝着部の空間は常に水で満たされていると考えると、そのせん断に要する力を考えるとき、凝着部に吸着している固体的挙動を示す吸着水層の影響も考慮しなければならない。

## 5. 粘性理論

凝着では、粒界の両側にある原子や分子の配位は凝着部が切断されるまでは固定していて流動しない固体の状態を想定している。しかし、実際にはせん断に伴って粘土粒子には粘性による抵抗が生じているため、粘性の概念が必要となる。このような粘土粒子の粘性については、“絶対反応速度論”から導かれる粘性理論(凝着部がせん断破壊された状態に到った後の破壊状態にあるときのみ)が適用されるものとする。この粘性理論<sup>7)</sup>は、アイリングにより導入された理論で、原子と原子(または分子と分子)が空孔(hole)を介してある体積(自由体積と称す)内では自由に位置交換をしている分子を前提とし、絶対反応速度理論の誘導から導き出されたもので、自由エネルギーの熱力学表現として示されている。そして柴田<sup>8)</sup>は分子のかわりに粘土の粘性に寄与する単位として流動単位を導入し、せん断力によって位置交換をするのは、この微視的な流動単位であるとした。

## 6. 粘土サスペンションからのアプローチ

粘土サスペンションとは、懸濁液中に粘土粒子が分散した状態(コロイド状態)をさす。この状態での粘土の微視的挙動には、引力と反発力の相反する力が作用しており、引力としてはファンデルワールス引力( $U_A$ )が、反発力としては拡散電気二重層反発力( $U_R$ )が主に作用している。ファンデルワールス引力とは、二つの固体の原子や分子の中で電荷分布が変動するために起きる力であり、拡散二重層反発力とは粘土粒子表面が負に帯電し、それに吸着する電解質溶液中の対イオン同士の反発で起きる力である。

これら2つの力は、同時に作用しているためそのエネルギーの和は $U=U_A+U_R$ となる。これをコロイド化学ではDLVO力<sup>9)</sup>というが、2つの表面または粒子を互いに2~3 nm以内に接近させる、つまり拘束すると、それらの間の相互作用をファンデルワールス引力および電気二重層反発力の連続体理論で説明できないことが多い。なぜなら、これらの連続体理論の一方または両方が小さい距離では破綻するか、あるいは、他の非DLVO力<sup>9)</sup>が作用しはじめるからである。

すべり面粘土の残留強度発現時の状態は、混合潤滑または境界潤滑状態に類似していると想定されるため、固体間接触が生じており、これは両端を拘束した状態とも見なされるので、前述のDLVO理論では説明することはできず、今後、非DLVO理論の構築が必要となる。

### <参考文献>

- 1) 古谷保：残留強度の性質とその測定法について、地すべり、Vol.20, No.1, p.21, 1983
- 2) 宜保：粘土の残留強度の決定に関する研究、琉球大学農学部学術報告、Vol.26, pp.183-272, 1979
- 3) 大河原ほか：繰返し一面せん断試験後の粘土および軟岩のせん断面のSEM観察、土木学会講演概要集、III-192, 1995
- 4) 田中久一郎：摩擦のおぼなし、日本規格協会、p.39, 1995
- 5) 桜井俊男・広中清一郎：トライボロジー(摩擦・潤滑・摩耗)、共立出版、pp.38-40, 1984.
- 6) 村山朗朗：土の力学挙動の理論、技報堂出版、pp.390-392, 1992
- 7) Eyring, H(長谷川繁夫・平井西夫・後藤春雄訳)：絶対反応速度論(下)、吉岡書店、pp.500-514, 1966.
- 8) 柴田徹・村山朗朗：粘土のレオロジー的特性について、土木学会論文集、No.40, pp.1-31
- 9) J.N.イスラエルアチヴィルリ：分子間力と表面力(近藤保/大島広行訳)、朝倉書店、1996.

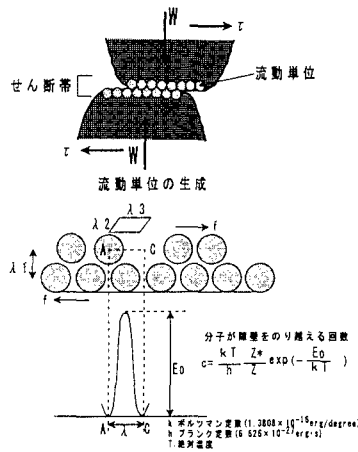


図4. 分子級粒子間距離と空孔の関係<sup>7)</sup>

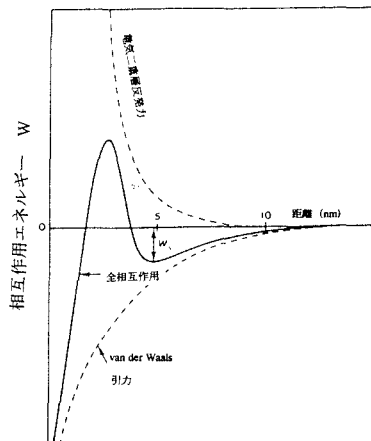


図5. DLVO相互作用のエネルギー対距離プロファイルの模式図<sup>9)</sup>