

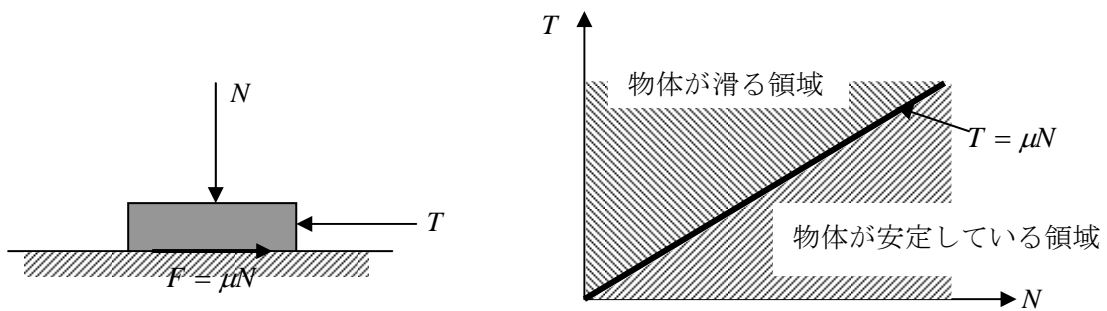
【土の破壊基準 (垂直応力とせん断応力の重要性)】

応力の座標変換を説明した時に、応力ベクトルは作用している面に対して垂直成分 (垂直応力) と平行成分 (せん断応力) を知ることが重要であると述べた。なぜ、それが重要なのかを土の破壊特性と関連づけて説明する。

(1) 摩擦性材料としての土

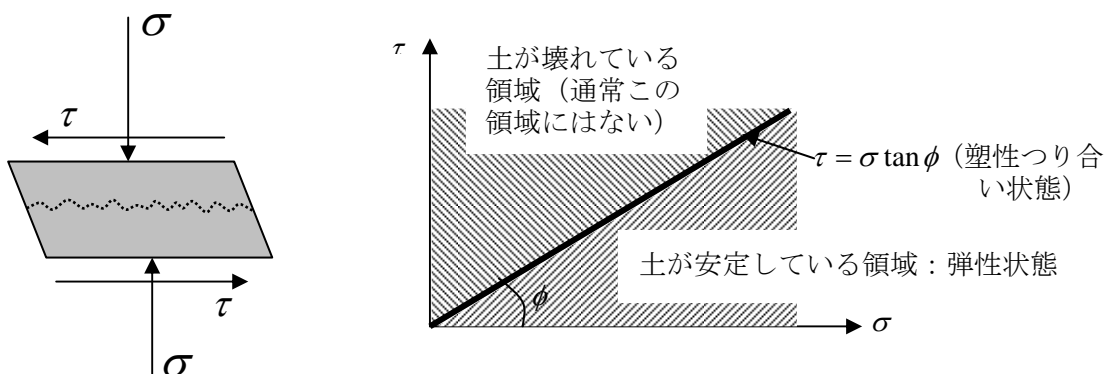
復習: 摩擦力

摩擦力 F は、垂直抗力 N に比例して大きくなる。摩擦係数 μ を用いれば $F = \mu N$ と表される。下図のように摩擦のある水平な台の上に、物体が置いてあり、その物体を上から N の力で押しつけているとする。今、横から T という水平力を与えてこの物体を滑らそうとするとき、 $T \geq F$ となったときに、物体は台上をすべり始める。すなわち、右のグラフ上で考えると、摩擦力を表す直線の下側では物体は安定しており、上側では物体は滑ることになる。



以上の摩擦力の概念を、土に当てはめてみる。

垂直応力 σ だけを考えれば、 σ をいくら大きくしても土は通常は壊れることはないが、せん断応力 τ が加わることによって、土はせん断変形し始める。土にも「摩擦則」が成立し、垂直応力 σ に比例したせん断抵抗力 r が発揮される。物体の外部から加わる外力の状態により、物体内部に発生するせん断応力 τ が、このせん断抵抗力 r と同じ大きさに達すると、せん断変形は急激に大きくなり、やがて下図のように土は破壊する。破壊が目に見えて観察できる場合の典型例は、図のように不連続面が発生する場合であり、この不連続面のことを「すべり面」と呼ぶ。



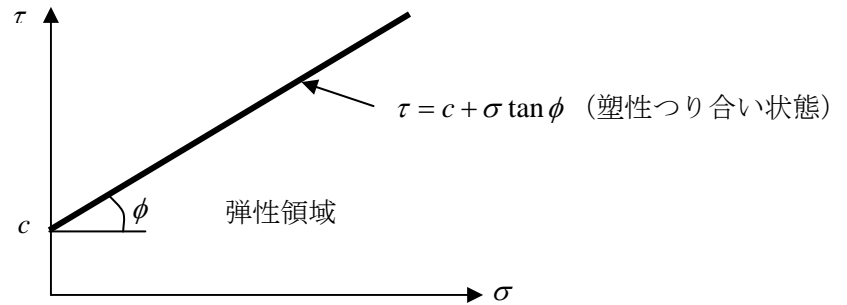
土の摩擦則では、比例定数である摩擦係数は用いず、せん断抵抗角 (内部摩擦角) ϕ を用いて表す。

(2) クーロン (Coulomb) の破壊基準

クーロンは土の垂直応力とせん断応力には右図のような関係が成り立つと仮定した。

$\tau < c + \sigma \tan \phi$ の領域：土は弾性領域（可逆的な変形をする領域）にあり、変形は小さい。

$\tau = c + \sigma \tan \phi$ の状態：土は塑性つり合い状態（非可逆的な変形をする状態）になり、大きな変形をしてやがて壊れる。



粘着力 c ：粒状体である土は、つぶつぶ同士を拘束する圧力（拘束圧）がなければバラバラになってしまう。そのため、(1)の図で示したように σ がゼロならば τ もゼロとなる。しかし、実際の土は、場合によっては拘束圧がゼロの状態でも幾分かのせん断抵抗応力を持つ。これを粘着力 c 呼ぶ。呼び名は「粘着力」だが、次元（単位）は応力なので注意する。

粘着力の原因：粘性土の場合には、化学的な作用によりセメンテーションが発達して、土粒子同士がくっつき粘着力が発生する。過圧密粘土の場合にも粘着力が発揮される（理由はあとで）。砂の場合、密詰め砂では砂粒子間の結合力が大きいため粘着力が発揮される（これは、過圧密粘土が粘着力を発揮するのと同じ理由）。また、砂や粘土に限らず、不飽和土の場合には、サクションの作用により粘着力が発生する。

せん断抵抗角（内部摩擦角） ϕ ：垂直応力が増えればせん断応力も大きくなるという「摩擦モデル」は、砂の場合では粒径の大きいザラザラの砂粒を想像すれば比較的イメージしやすい。しかし、非常に土粒子が小さい粘土でも、「摩擦モデル」を同じようにイメージできるだろうか？
実は、粘土の場合には、同じように摩擦則が成り立っていても、砂とはかなり異なるメカニズムでせん断応力が増加している。粘土は、垂直応力が加えられると圧密して間隙比が小さくなる。そのため、垂直応力が大きいほど、間隙比は小さくなり、せん断抵抗力（せん断強度）は大きくなっていく。粘土の「せん断強度」は間隙比と1対1の関係にある（非常に重要）。したがって、粘土の場合、クーロンの破壊基準は1本の直線で表されているが、その線上のひとつひとつの点は、実は間隙比の異なる粘土のそれぞれのせん断強度がプロットされていることになる。

(3) モールの応力円と破壊基準の関係

モールの応力円は物体内のあらゆる作用面にたいする応力状態（垂直応力とせん断応力の組合せ）をプロットしたものであった。したがって、図の外側の円のように、モールの応力円が破壊基準の直線に接していたら、その時点でその接点の応力状態は破壊状態（塑性つり合い状態）にあることになる。別の作用面での応力状態が、破壊基準の直線よりも下回っていても、作用面を回転させて見ると、実は破壊基準に達していると言う場合が生じる。図の内側の円のように、モールの応力円を描いてみて、破壊基準に接しなければ、あらゆる作用面に対してその土は弾性領域にあることを示している。

