

サクシオンに起因する粘着成分の微視的考察

鹿児島大学大学院 学生員 山田満秀
 鹿児島大学工学部 正会員 北村良介

1. まえがき

1993 年鹿児島豪雨災害において、しらす斜面、あるいは、しらす以外の火山性堆積物からなる斜面の崩壊が数多く発生した。それらのほとんどが表層すべり型崩壊¹⁾であった。表層すべり型崩壊は、サクシオンに起因するせん断強度パラメータである粘着成分が雨水の浸透によって低下するために発生することが定性的には明らかにされてきているが、土粒子レベルでの粘着成分の定量的評価法やその成果を取り入れた斜面崩壊予知の手法は未だ確立されていない。本報告は、土粒子レベルでの考察によって土粒子間に作用する粒子間結合力から粘着成分を評価し、従来の土質力学で用いられている見かけの粘着力との関係について若干の考察を加えた。

2. 粒子間結合力 F_i の算定

間隙水による粒子間結合力 F_i は、表面張力の効果とサクシオンの効果を考慮して次式で表される。

$$F_i = 2\pi r' T_s + \pi r'^2 S_u \quad \dots (1)$$

ここで、 T_s :表面張力、 S_u :サクシオン ($=u_a - u_w$)、 r' :メニスカスの曲率半径。

(1)式の右辺第2項にサクシオン S_u が含まれていることから、土が保持している含水量とサクシオンの関係を得るために、その土の水分保持特性を知る必要がある。そこで北村らが提案している間隙モデルでは、Fig. 1(a)のような土粒子数個を含む程度の一要素を考え、これをFig. 1(b)に示すような土粒子のまわりの間隙部分を管径 D 、傾き θ の円管に、土粒子実質部分が円管以外の不透水性の固体に分けた素体積と呼ばれる要素に置き換え、確率論的手法を援用して、数値計算により水分保持特性を得ることができる。

$$W_v = \frac{V_{psat}}{V_e} = \frac{\int_0^d \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} V_p \cdot P_d(D) \cdot P_c(\theta) d\theta dD}{\int_0^\infty \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} V_e \cdot P_d(D) \cdot P_c(\theta) d\theta dD} \quad \dots (2)$$

$$S_u = \gamma_w \cdot h_c = \frac{4 \cdot T_s \cdot \cos \alpha}{d} \quad \dots (3)$$

ここで、 W_v :体積含水率、 V_p :円管の体積、 V_e :素体積の体積、 $P_d(D)$:管径 D の確率密度関数、

$P_c(\theta)$:傾き θ の確率密度関数、 T_s :水の表面張力、 α :管と水の接触角、

γ_w :水の単位体積重量、 d :間隙水を保持する最大管径

(4)式で得られたサクシオンを(1)式に代入することによって、1接点当たりの粒子間結合力 F_i を求めることができる。

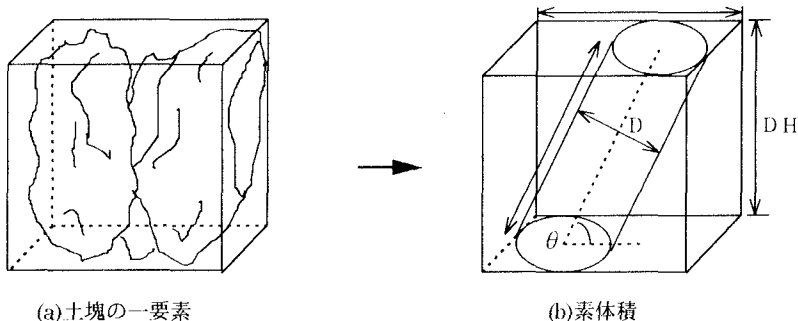


Fig. 1 間隙とモデル化

3. 粘着成分の算定

Fig. 2に示した断面（せん断面を想定）での単位面積当たりの粒子数を N_p とすると次式が成り立つ。

$$N_p = \frac{1}{1+e} \cdot \frac{3}{2\pi r^2} \quad \cdots(4)$$

1粒子の接触点数を K とすると、 K は間隙比との関係により得られる。Fig. 2に示した断面での単位面積当たりの粒子接点数を N_c とし、 N_c と N_p の最適な関係を次式のように仮定した。

$$N_c = N_p \cdot (K - 4) / 2 \quad \cdots(5)$$

Fig. 3はFig. 2に示された粒子の内の1つを示したものである。ここで、粒子接点密度を $D(\eta)$ とすると、単位接面当たりの（帯状部分の）接点数 dN は次式になる。

$$dN = N_c \cdot D(\eta) \cdot \cos\eta \cdot d\eta \quad \cdots(6)$$

Fig. 3を参照して、ある1粒子すべての接点に作用している力の平均的な合力の水平成分、鉛直成分をそれぞれ H 、 V とし、水平方向、鉛直方向に関してつりあい式を求め、その両辺をそれぞれ割ると次式が得られる。

$$\frac{\bar{H}}{\bar{V} + 2 \sum \bar{F}_i \cdot \sin\eta} = \frac{2 \sum \bar{M}\bar{F} \cdot \sin\eta}{2 \sum \bar{F} \cdot \sin\eta} = \tan\delta \quad \cdots(7)$$

ここで、 $\bar{M}\bar{F}$:粒子接触面に平行に働く摩擦力（ $\bar{M}\bar{F} = \bar{F} \cdot \tan\delta$ ）、 δ :仮の摩擦角、 $\bar{F}$:粒子接触面に垂直に働く力

(7)式の左辺の分母、分子を単位面積当たりに換算し、変形すると次式になる。

$$\tau = 2 \sum \bar{F}_i \cdot \sin\eta \cdot \tan\delta + \sigma \cdot \tan\delta \quad \cdots(8)$$

ここで、 τ :せん断応力、 σ :垂直応力

(8)式を従来のモール・クーロンの破壊基準式と比較すると、

$$\phi = \delta \quad \cdots(9)$$

$$c = 2 \sum \bar{F}_i \cdot \sin\eta \cdot \tan\phi \quad \cdots(10)$$

が得られ、粘着成分 c については、(1)、(6)式と内部摩擦角 ϕ を使用して次のようにして求められる。

$$c = \int_0^{\pi} (2 \cdot \bar{F}_i \cdot \sin\eta \cdot \tan\phi) dN \quad \cdots(11)$$

この手法から得られるサクションと粘着成分の関係の一例をFig. 4に示している。

4. あとがき

サクションに起因する粘着成分に着目し、粒子間に働く力を定量的に評価する一手法の提案を試みた。しらす斜面の安定解析に用いられている粘着成分は重要なパラメータであり、 c の僅かな差異が安全率を大きく変化させる。この手法を斜面安定解析に組込むことによって、降雨による斜面崩壊の予知に有用と考える。

謝辞：本研究に対し、（日本）米盛誠心育成会より研究助成をいただいた。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

1) 春山元寿：豪雨による南九州しらすの斜面崩壊、自然災害資料解析、1、PP.80～88、1974

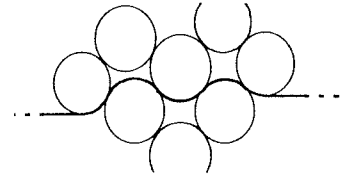


Fig. 2 仮想せん断面

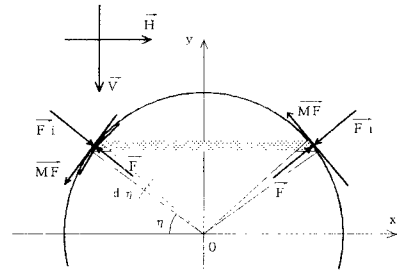


Fig. 3 セン断時の力のつりあい

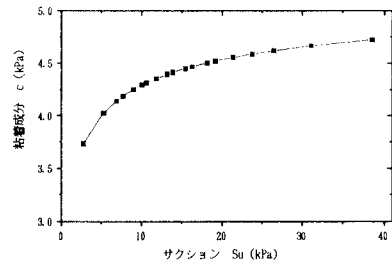


Fig. 4 サクションー粘着成分関係