

斜面の浸出点近傍の砂の動き

神戸大学 正 田中 茂
 神戸大学 正〇梅田 眞三郎
 鉄建建設k.k 正 山崎 多賀一

1 はじめに

豪雨による斜面崩壊の発生機構について各専門分野の諸氏がいろいろ研究しているが、雨水の表面流や浸透流及び地下水流がその現象に複雑に関与しているので、個々の現象に關する研究は進んでいるが崩壊発生機構に關してはまだ不明な点が多い。

そこで、今回砂質模型斜面を用いて表面流と浸透流が存在する浸出点近傍の砂の動きに着目して実験を行ない、それらの流れが斜面崩壊にどのような意義を持っているかについて若干の考察を行なった。

2 斜面上の流れと砂粒の動きについて

従来の研究から砂質斜面の崩壊に至るまでの斜面上の流れと砂粒の動きについては次のように考えられる。降雨強度と浸透能の関係によって砂質斜面でも降雨開始当初からも表面流が生じるが、それ以外は降雨による浸透水の不透水層到達後に生じる上昇浸透流が地表近くに来たとき、地表面の浸透能が小さくなり表面流が生じる。斜面上に表面流が生じると流れによるせん断力が斜面上に働き、その流体力によって砂粒が動く。その砂粒の剝離によって侵食が進み、流路が形成される。もちろん、雨滴の衝撃力が大きければ、その力によって砂粒が動かされる場合も考えられる。次に、上昇浸透流が地表面に浸出してくると、このときまでの表面流によって動かされなかった砂粒は、表面流と浸透流の両方の流れによって動かされることが考えられる。すなわち、その砂粒は表面の掃流力と浸透力によって動かされる。この場合、浸出水による piping 現象によって、砂粒の流亡を生じ崩壊が進行すると考えられる。

そこで、以上の現象を実験で把握するにあたって浸出点における単一粒子の力学的つりあいを考えてみる。図-1 に示すような力を考える。浸出点近傍の浸出線は非常に複雑であるが、浸透力 P は図のような向きにとり、以下のように平均圧力勾配 i_p を用いて表示する。単一粒子の限界状態でのつりあい式は次のようになる。

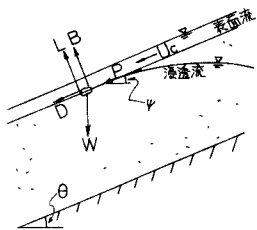


図-1 単一粒子の力学的つりあい

$$D + W \sin \theta + P \cos(\theta - \psi) = \{W \cos \theta - B - L - P \sin(\theta - \psi)\} \tan \varphi \quad (1)$$

いま、表面流の圧力勾配によるものを無視すれば、それぞれの力は

$$\text{抗力 } D = C_D k_1 d^2 \rho u_c^2 / 2 \quad (2) \quad \text{浮力 } B = \rho g k_3 d^3 \cos \theta \quad (5)$$

$$\text{揚力 } L = C_L k_2 d^2 \rho u_c^2 / 2 \quad (3) \quad \text{浸透力 } P = \rho g k_3 d^3 i_p \quad (6)$$

$$\text{自重 } W = \sigma g k_3 d^3 \quad (4)$$

ここに C_D , C_L はそれぞれ抗力、揚力係数、 k_1 , k_2 は面積をあらわすための、 k_3 は体積をあらわすための定数、 ρ , σ はそれぞれ粒子の密度と粒径、 ρ は水の密度、 g は重力である。限界摩擦速度 u_{*c} を用いて ($u_c = \sigma u_{*c}$)、(1) 式に (2) - (6) 式を代入して整理すると、

$$\frac{U_{sc}}{(S-1)gd} \frac{1}{\cos\theta \tan\psi - \frac{S}{S-1} \sin\theta - \frac{1}{S-1} k_1 \cos(\theta-\psi) [1 + \tan(\theta-\psi) \tan\psi]} = \frac{2k_2}{C^2(k_1 C_0 + k_2 C_L \tan\psi)} = \frac{4}{3} \frac{1}{C_0 \varepsilon (1 + \frac{1}{C_0} \tan\psi)} \frac{1}{\varepsilon} \quad (7)$$

ただし、 $S=\sigma_p$ 、 $\alpha=k_1/k_2$ 、 ε は遮蔽係数である。

3 実験の概要

幅30cm、長さ100cmのアクリル板水槽に20cmの肉工層厚で実験を行なう(図-2)。実験に使用した砂の種類を表-1に示す。降雨強度は値の違った動水勾配ができるように 60 mm/hr ~ 140 mm/hr の範囲内の値を与えた。斜面下流端前面では土層内の空気の影響を除去するためと、適当な浸出水が斜面下流部に出るように一部透水にした。表面流の流速の測定は表面流出水を下流端で受け、そのときの溜込を測定して求める。もちろん、浸出水のある場合は差し引く。ただし水深は今回非常に小さかったので標準砂、細砂、粗砂それぞれ 1 mm 、 1.3 mm 、 1.5 mm にとって計算を行なった。動水勾配は水槽側面に設けたマンノメーターによる平均圧力勾配をとった。

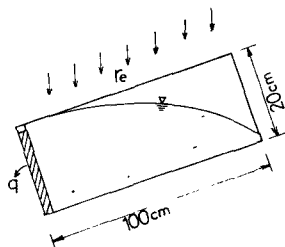


図-2 実験モデル

	平均粒径 d_{50}	比重 γ_s
標準砂	0.105 mm	2.65
細砂	0.185	2.70
粗砂	0.240	2.70

表-1. 実験に使用した砂の種類

4 実験結果とその考察

実験結果から動水勾配と急勾配のShieldsのパラメーターとの関係を図-3に示す。ただし、流速は測定流速 u を用いて表示している。図-3及び実験観察から次のことが言える。

- (1) 標準砂のような細粒子及び 30° のような急勾配の斜面では表面流による侵食破壊が先行しやすい。
- (2) 20° 、 25° の細砂や粗砂の粗粒子になると表面流と浸透流の両方の影響を受けて破壊が生じることが考えられる。すなわち(1)式の成り立ちモデルは十分考えられる。
- (3) (1)及び(2)の破壊時には地下水面の存在が大きい関与している。破壊は地下水面をすべり面として進行し、piping 崩壊となる。

以上のような結果となるが、今後粗粒粗度は十分考慮しなければならぬ荒い砂粒を用いて、実験条件を多く変えて検討する必要がある。

(参考文献)

野田 他2名：斜面侵食に関する実験的研究

急勾配流れの抵抗と境界層流に関する研究

京大工学研究年報、第16号

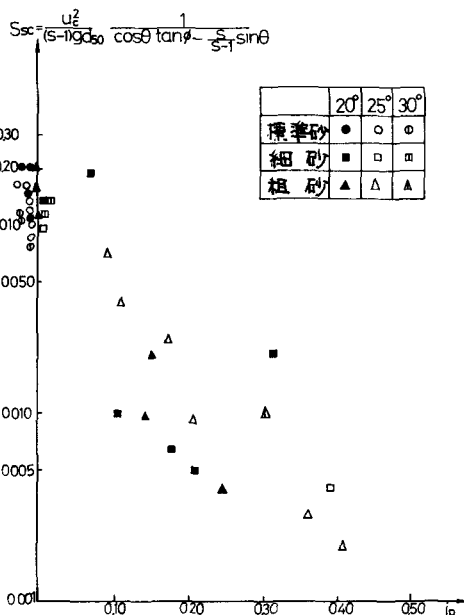


図-3 動水勾配と修正shieldsのパラメーターとの関係