

斜面崩壊の一実験

熊本大学工学部資源開発工学科 ○ 井上正康
大見美智人
高洲安

1 まえがき

雨季に、斜面切取や盛土工事中に、車の走行中にしばしば斜面崩壊の発生をみることがあり、その場合ある二り面に沿う層面二りの場合が多い。この二り面は頁岩や結晶片岩など二り易い特殊な岩石や、平滑面をもつ岩盤上に崖錐や風化土砂が堆積している特殊な地質構造や、不凝結な崖錐土砂中のある線上に生ずる場合にやけることが出来る。本実験は後者の場合を取り扱ったものである。

条件として粘着性のない河砂、碎石、人工粒状物質を用い、斜面高さ25cmに充填し、鉛直隔板を引き抜いた場合発生する崩壊くさび形成過程を観測し、くさび角に影響を及ぼす因子を検討し、発生する二り面の位置を実測し、従来斜面崩壊防止工として擁壁の設計に用いられているクーロンヤランキンの主働土圧計算のくさび角の式より求められる値と比較して著しく異なることを見出し、斜面崩壊に関してより適切な資料をえる目的で行なっている実験について述べる。

2 実験方法

実験槽は高さ40cm、長さ60cm、幅9cmの上面は開いた木箱で前面は粒子の移動がよく見えるように透明なプラスチックボードを貼ったもので、33cmの所に垂直な隔板を立てこの間に高さ25cmまで試料を詰め込む。この場合下から5cm、7.5cm、10cm……22.5cmと2.5cm間隔で着色した試料を薄く水平にしきり詰め、板を約45°後方に回転しながらすばやく引き抜く。発生する土砂崩壊による地山内部の土粒子の移動限界は、垂直隔板の最初の位置を基準にして、2.5cmの間隔でしきりめられた着色粒子の水平層および最上部表面粒子の乱れ状態から測定して崩壊くさび角 α (分)表および図参照)を決定し、崩壊斜面の傾きから息角 θ を決定した。隔板は一面は平滑面で他面は粗いサンドペーパーを貼った粗面にし、土砂と接する隔板面の性状が崩壊くさび角に及ぼす影響を調べた。

試料中No.1~4は緑川下流の河砂利で主として珪質砂よりなり、かなり丸味を帯びた粒子からなっていて、1.2~10mmの範囲のものを4区分し、No.5はセメント混入用の豊浦産標準砂、No.6は多孔質角縁の軽石、No.7は方解石の碎石で角ばった特有の6面体を呈するものが多く、No.8は凸レンズ状の径4mmのプラスチックペレット、No.9は米、No.10は小豆と形状、容積密度のことなるものを選んだ。

3. 実験結果

息角、隔板面の性状、崩壊くさび角について述べる。

3.1 息角 (= 内部まさつ角)

崩壊くさび角の計算の基礎資料(後述)となる内部まさつ角 (= 息角)の測定結果、緑川の河砂では1.2~10mmの範囲では粒子の大小には無関係で平均34.7°とほぼ一定の角度を示し、No.6の軽石はきやめて角ばった凹凸にとを粒子のため38.2°と試料中最大の息角を示し、No.7の方解石も角縁ある6面体のため36.6°と2番目に大きい値となり、プラスチックペレットおよび小豆は外周が完全に丸味をおびた粒子のため28.5°、27.8°と小さい値となっている。このように息角は容積密度や粒子の種類にはほとんど関係がなく、粒子外周表面の丸味、角縁の状態により左右される。

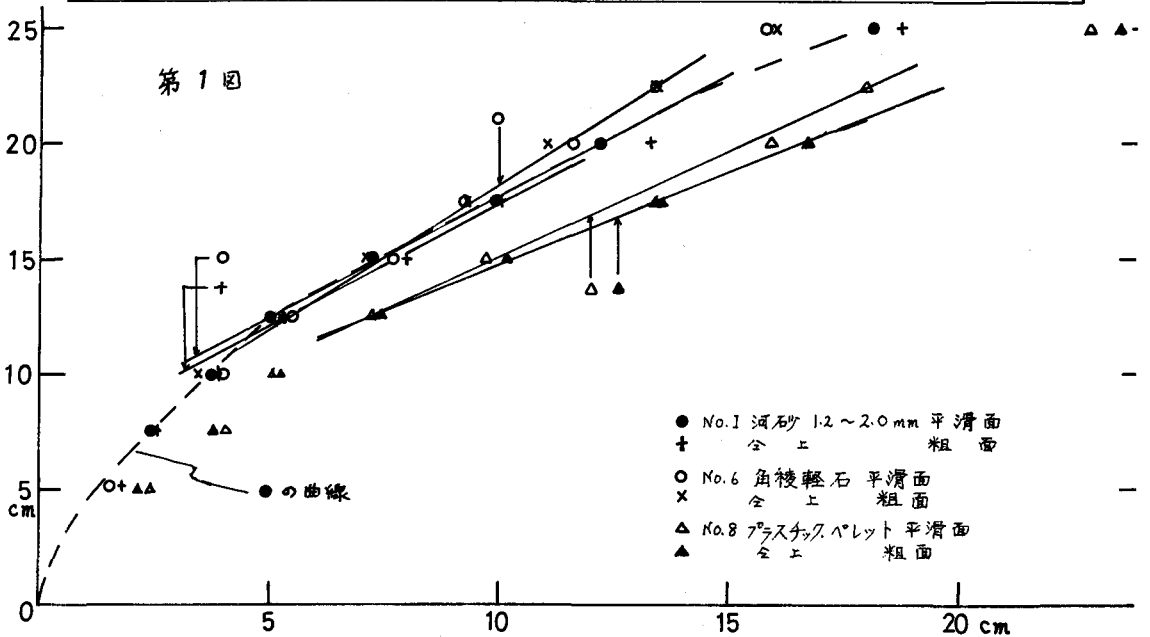
3.2 隔板面の性状の影響

隔板面の性状が土砂崩壊に影響をあたえひいては崩壊くさび角にどの程度の影響をあたえるかについて考察すると、No.1~No.9までの試料中粗面の場合のくさび角が大なる例がNo.2, 4, 6, 8, 9の5個、等しい

第1表 測定結果表

番号	試料	容積密度	息角 ϕ°	崩壊後各位置での粒子移動限界距離 cm										くさび角 d°
				25 _{cm}	22.5	20	17.5	15	12.5	10	7.5	5		
1	河砂	1.51	34.7	18.1	-	12.2	9.9	7.7	5.0	3.7	2.4	1.5	44.5	
				18.8	-	13.3	9.9	8.0	5.3	3.9	2.5	1.7	44.5	
2	砂	1.52	34.9	18.0	-	12.3	9.8	7.6	5.5	4.0	2.7	1.8	43	
				19.0	-	13.4	10.6	7.9	5.5	3.8	3.0	2.3	43.5	
3	砂	1.56	34.3	18.3	-	13.2	10.7	8.2	5.8	4.3	2.8	1.6	45	
				19.0	-	13.7	11.1	8.8	6.5	4.7	3.2	2.2	45	
4	砂	1.57	34.7	17.5	-	12.9	10.8	8.4	6.5	4.5	2.5	1.8	42	
				18.5	-	13.2	11.7	9.1	6.8	5.6	4.0	3.0	44	
5	標準砂	1.51	34.7	18.5	13.8	12.2	9.3	6.4	4.3	2.2	2.0	1.1	45	
				18.6	-	11.7	8.6	6.4	4.0	1.4	0.9	0.4	45	
6	角稜軽石	0.35	38.2	15.8	13.4	11.6	9.3	7.3	5.5	4.0	-	-	37.5	
				16.0	13.3	11.0	9.2	7.2	5.3	3.4	-	-	38	
7	方解石	1.54	36.6	16.5	14.4	11.7	9.5	7.1	4.9	4.1	-	-	41	
				16.5	14.3	11.7	9.7	7.7	5.5	3.8	-	-	41	
8	プラスチックペレット	0.58	28.5	22.8	17.9	15.9	13.3	9.7	7.2	5.1	4.0	2.4	48	
				23.5	-	16.7	13.5	10.2	7.4	5.2	3.7	2.1	50	
9	米	0.89	33.5	18.9	-	13.3	11.0	8.5	6.7	4.9	4.0	2.6	44.5	
				20.3	-	14.4	11.6	9.0	6.5	5.3	4.1	2.6	45.5	
10	小豆	0.81	27.8	23.5	-	16.5	-	9.9	-	5.5	-	2.8	53	

2~3回の平均値。崩壊くさび角の平均値。平滑面(上段)43.4°。粗面(下段)44.1°



もの No. 1, 3, 5, 7 で粗面の場合崩壊角が大きくなっている例が多いが、平均してみると第1表下部に示したようにその差 0.7° にすぎない点から特に考慮を払う必要はないと思われる。

また息角に対する隔板面の平滑、凹凸の影響は全く認められなかった。

3.3 崩壊くさび角

オ1図でわかるように崩壊による地山内部の各位置での砂粒の移動限界を結び、下部から10cm 前後までは移動が小さくその後直線で結ばれる関係がえられ、25cm の表面砂粒はまたこの直線からそれる例が多い。これは回転しながら隔板を引き抜くため上部では隔板は離れ土砂が滑落しはじめても下部では一時停止したままその後引き離されるため移動距離が小さく、25cm の表面砂粒は自由斜面を形づくる表面砂粒のなだれ滑落に引っぱられてすべり落ちる場合が生じ移動距離が大きくなり、中間部の直線で結ばれるその直線と垂線とのなす角を測定して崩壊くさび角 α とした。

本実験の場合、地表面は水平で擁壁は垂直。粘性のない土砂に関するクーロンの崩壊くさびの形成およびランキンの理論式を適用すると、ともに次式で示される。

$$P = \frac{\delta h^2}{2} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

茲に、 δ …… 土砂の容積密度、 h …… 斜面の垂直高さ、 ϕ …… 土砂内部まき角 (= 息角)

$$\alpha = \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

この α が崩壊くさび角であって斜面崩壊の範囲、ひいてはこれを防止しようとする擁壁を押し倒そうとする力は α の関数であり、この α は ϕ によって規定されてしまう。本実験よりえられた息角 ϕ を用い (2) 式から計算したくさび角 α と実測よりえられた α とを比較すると、オ2表に示されているように大きな差を生じている。この原因はクーロンやランキンの理論がまさに安定を失なう時の平衡条件を背景にしているのに反して、崩落を生じた後での地山内の粒子の移動を測定しえられた値である点で、考え方によってはむしろこのような実際の崩壊くさびを考えた方がより安全性の高い斜面崩壊防止資料となると考えられる。

筆者等は崩壊くさびと息角との関係を検討した結果、オ2図に示すように片対数グラフで直線的な関係さえ、これより次式をえた。

$$\alpha = a \phi^b = 1110 \phi^{-0.924}$$

これにより実測くさび角にかなり近い値を息角から計算することができ、その結果はオ2表に示した。

4. むすび

頻発する斜面崩壊に関する実験として地表面水平で粘着力のない土砂が支えられていた

垂直な擁壁を押し倒して落下する場合の地山内部の土砂粒子の移動を観測し次の結果をえた。

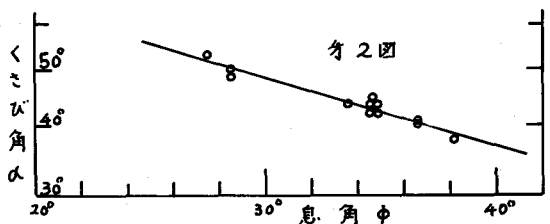
粒子の移動限界点を結んでえられる崩壊くさびの切り面は、下部10cm と地表面の部分を徐げばほぼ直線で結ぶことができ、この直線の傾きをくさび角 α とし、息角により規定され

$$\alpha = 1110 \phi^{-0.924} \text{ で示されること} \text{ が明らかになった。}$$

ϕ …… 土砂内部まき角 (= 息角)

オ2表. くさび角の実測値と計算値との比較

番号	試料	息角 ϕ°	くさび角 α°	$\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$	$1110 \phi^{-0.924}$
1	河砂	34.7	44.5	27.6	42.1
2	"	34.9	43.3	27.5	41.7
3	"	34.3	45	27.8	42.3
4	"	34.7	43	27.6	41.9
5	標準砂	34.7	45	27.6	41.9
6	角稜軽石	38.2	37.8	25.9	38.3
7	方解石	36.6	41	26.7	39.9
8	ペレット	28.5	49	30.7	50.2
9	米	33.5	45	28.2	43.3
10	小豆	27.8	53	31.1	51.9



従来擁壁設計に用いられているクーロン・ランキンの式を本実のような斜面崩壊の後の粒子移動と比較検討することは、あるいは適正を欠くとも思われるが、少なくともこの種の崩壊くさび角については

$$\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \quad \text{なる結果は再考の必要があると思われる。}$$

息角については粒子外周表面の滑りさ以外々要素はほとんど関係がなく、隔板面の粗滑は息角にもくさび角にもほとんど関係がなることが明らかになった。

今後、地表面の傾斜、擁壁の傾き、隔板移動の方法などの条件を変えながら実験をすすめるつもりである。

最後に本実験に協力いただいたブリタ青木技官、研究室の学生、赤木哲哉、吉良信輝君に謝意を表します。

Experimental Studies on Slope Rupture

Masayasu INOUE, Michito OHMI, Yasusi TAKASU
Faculty of Engineering, Kumamoto University

Slope rupture is often occurred in rainy season, and in cut and fill of ground, etc. These failures are occurred in the characteristic rocks such as shale or crystalline schist, in the characteristic geological structure such as sedimentation of debris on the foundation rock strata and in homogeneous cohesionless soil along given slide surface. This experiment is test of last case. Samples of soil are cohesionless granular material, different size, shape and bulk density, examples are river sand, crushing sand, plastic pellet, bean and rice. Height of slope is 25 cm, consisting colored 7 seams arranged at 2.5 cm distance and free surface is horizontal and vertical diaphragm is pulled up and displacement of failure wedge is observed.

Although theoretical background is different, we apply COULOMB's theory and the thrust per unit length of wall according to RANKINE is

$$p = \frac{\delta h^2}{2} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

where δ is the bulk density, h is the height of the vertical retaining wall and ϕ is the angle of internal friction (angle of repose). The active pressure is function of angle of repose and the angle of failure wedge is $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$. From our experimental data, angle of repose ranges between 27.8° and 38.2° and experimental angle of the failure wedge is clearly larger than theoretical value ($\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$) and that relation may be more precisely expressed by $\alpha = A\phi^{-n}$. The difference of smooth and rough surface of diaphragm is not almost affected failure wedge.