

III-100 遠心力装置を利用した粘性土の斜面安定実験

大阪市立大学工学部 正員 三笠正人

正員 望月秋利

1. 概要

筆者らは数年前から遠心力装置を利用して斜面の安定実験を行なってきた。今回は材料としてカオリンと石膏で固めて作った超鋭敏粘土^(1,2)(以後「人工粘土」と呼ぶ)を用いて、軟弱な土が斜面の底部に存在する場合の粘土斜面の安定について、斜面勾配と鉛直～1:1.5の間で変化させた実験を行なった結果と報告する。

2. 実験材料

(1)人工粘土斜面の作製法 カオリンに含水比150%になるように水を加え攪拌し、スラリーの状態になった所で所定量の石膏(次項参照)を手際良く投入し、さらに攪拌を続ける。充分混合した所で供試体容器(50×30×10cm)に流し込み、その上から雄型を押し当て固定し、16～18時間養生する。養生が終わったら型枠を取り外す。次に実験中の変形の指標となるソーメンとガラス面に接する供試体の側面に1～2cm間隔に挿入し、供試体を完成する。斜面材料の強度は、一軸用供試体(φ3.5×8cm)を斜面供試体と作る時に同時に作製し、斜面安定実験に先立ち試験して求める。

なお毎毎に材料強度の異なる斜面の作製法は、まず最下層を上述した方法で作製した後1時間後に型枠を外す。同様に強度の異なる次の層と打込む。この操作を繰り返す。全層を打込んだ後16～18時間養生して供試体と完成する。

(2)人工粘土の性質 表-1にカオリンと人工

粘土(石膏/水=0.29の場合)についての主な物理的性質を示す。図-1は一軸圧縮試験結果の一例であるが、図に示すように破壊ヒズミはほとんどが1～2%の間であった。この試料

をねり返せば液状になってしまう超鋭敏粘土である。

相対含水比(いわゆる液性指数)は178%に達する。

この材料の強度は、主として水に対する(カオリンに対するとしても同じ)石膏の割合と養生時間によって変化する。図-2(1)、(2)は σ_u ～石膏/水比、 σ_u ～養生時間の関係を示す。材料の養生時間はこのため、上述したように16～18時間とし、一定とした。また材料の強度は2～8t/m²のものが多かった。

3. 実験方法と斜面モデル

(1)装置と実験方法 遠心力実験装置は既報のように筆者らの研究室で開発、試作したもので、供試体容器

表-1 物理試験結果

	比重	γ_{sat}	含水比	飽和度	LL	PL	WR
カオリン	2.80	-	-	-	86	46	-
人工粘土(石膏/水=0.29)	3.00	1.38	105	93.4%	78.5	44.6	178%

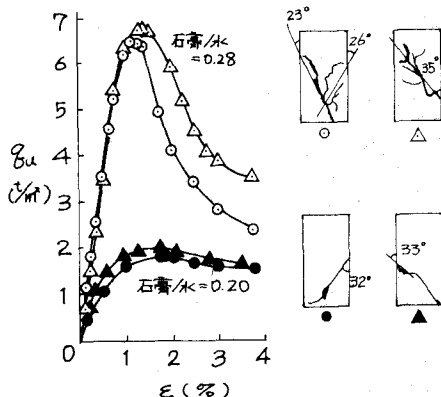


図-1 一軸圧縮試験結果

(長さ 50 cm, 深さ 30 cm, 巾 10 cm, 重量 試料共約 100 kg) を半径 1 m の回転棒の先端に取りつけて回転させ、供試体を重心力場に置くものである。最大遠心力は 200g (g: 重力加速度) まで加速することができ、また回転中に 2 本の回転棒を平行にずらす、± 0.3 までの勾配に供試体を傾けることができる。実験中の観測はストロボと回転と同調発光させ、視察および写真撮影を行なう。

実験は加速度と斜面が破壊するまで徐々に増加させる。加速度を 200g にしても斜面が破壊しない場合はその状態で +0.02 づつ斜面を傾ける。今回行なった実験のほとんどは傾けないうまま 90 ~ 150g で破壊し、破壊までの所要時間は 3 ~ 6 分であった。

(2) 斜面モデルについて 斜面モデルの勾配は鉛直、1:0.5, 1:1, 1:1.5 の 4 種類で、材料の層構成は、

- A : 一様な粘土層
- B : 軟弱層が薄く存在する
- C : 軟弱層がやや厚く存在する
- D : 軟弱層が厚く存在する

の 4 つのパターンについて、合計 14 ケの実験を行なった。表-2 に諸元を示す。

4. 実験結果と考察

(1) 実験結果 図-3 (1) ~ (4) は C, D シリーズの破壊状況の例で、破壊前後の写真を重ねて作製した。破壊の形式は、円弧スベリに近い形をしているが少し趣きと異にしており、むしろ斜面山側の部分が軟弱層中に落ち込み、それに伴って斜面谷側の部分が押し出された形と解釈できる。これは鋭敏粘土の特徴で、非常にわずかな変形で強度がピークを越えて破壊をするためと考えられ、一種の進行性破壊と生じたものと考えられる。

また破壊スベリ面の最深部は、底部破壊の場合ノリ面の中実を通る垂直線にあると見做せるものが多かった。また底部破壊といっても破壊面は軟弱層の底部でなく、いくらか上の方を横

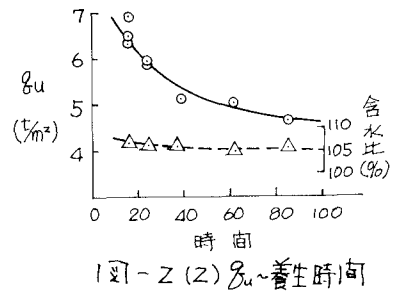
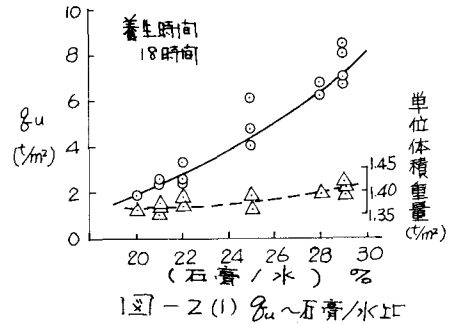


表-2 模型斜面諸元

シリーズ名	斜面勾配	鉛直	1:0.5	1:1	1:1.5
A		H_{cm}	8	8	5
		h_{cm}	1.8	1.8	1.5
		q_{uv}	4.8	5.3	2.0
		H	8	8	5
		h_1	9	9	6
		q_1	8.0	6.3	7.9
		h_2	2	2	2
		q_2	3.3	2.0	1.9
		h_3	7	7	7
		q_3	7.9	6.6	7.4
B		H_{cm}	8	8	5
		h_{cm}	1.8	1.8	1.5
		q_{uv}	4.8	5.3	2.0
		H	8	8	5
		h_1	9	9	6
		q_1	8.0	6.3	7.9
		h_2	2	2	2
		q_2	3.3	2.0	1.9
		h_3	7	7	7
		q_3	7.9	6.6	7.4
C		H_{cm}	8	8	5
		h_{cm}	1.8	1.8	1.5
		q_{uv}	4.8	5.3	2.0
		H	8	8	5
		h_1	9	9	6
		q_1	8.0	6.3	7.9
		h_2	2	2	2
		q_2	3.3	2.0	1.9
		h_3	7	7	7
		q_3	7.9	6.6	7.4
D		H_{cm}	8	8	5
		h_{cm}	1.8	1.8	1.5
		q_{uv}	4.8	5.3	2.0
		H	8	8	5
		h_1	9	9	6
		q_1	8.0	6.3	7.9
		h_2	2	2	2
		q_2	3.3	2.0	1.9
		h_3	7	7	7
		q_3	7.9	6.6	7.4

単位 H, h: cm, q_{1-3} : t/m² (軸圧縮強さ)

切るものが多かった。これは垂直力加
速度を増加させる間に軟弱層の上端部
、下端部が多少圧縮されて強度が増し
たためと考えられる。また破壊前の変
形は小さく、写真でめすかに観察され
る程度であった。破壊は急激に生じ、
視察によっても写真によってもその途
中をキャッチするのは不可能であった。

破壊加速度、破壊形式、換算ノリ高
さ(模型ノリ高さ $H \times$ 破壊加速度)と
表-3「実験」の列にまとめて示す。

(2) 斜面の安定計算 模型斜面の安定
計算は円弧スベリ法によって行なった。
表-3の「安全率」の行に結果を示す。
なお破壊した斜面の安全率は当然1で
あると考えられるが、「安全率の実験」
の列に示したのは破壊形状に近い円弧
(円弧と直線とを組合せた例もある)
を採用して計算を行なったものである。
材料の強度は両計算共に粘着力だけとし、
その値は実験中変わらないものと仮定
した。また表中の d 、 α 、 β は図-4
に示すスベリ深さ、 α 側破壊角、 β 谷側
破壊角で、破壊形状を表現する指標と
した。表中「実ノ計」の列は、実験に
よるスベリ面における値と臨界円の値
との比を示す。図-4はこれらの比の
値を斜面形状別に示したものである。

(3) 考察

今回の実験では、破壊スベリ面の安

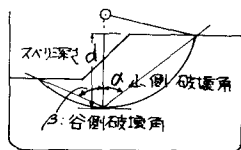
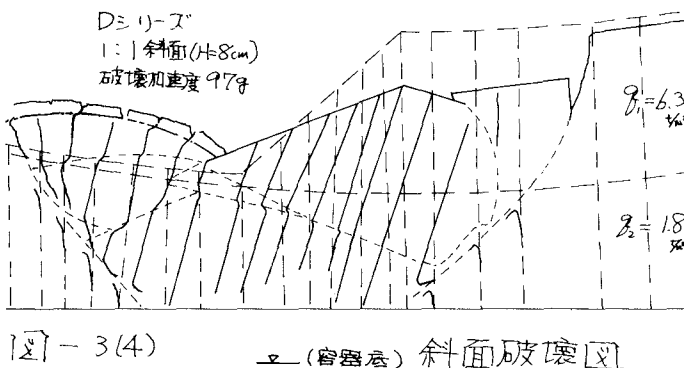
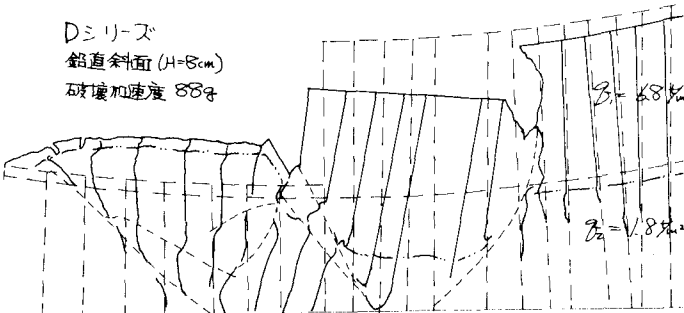
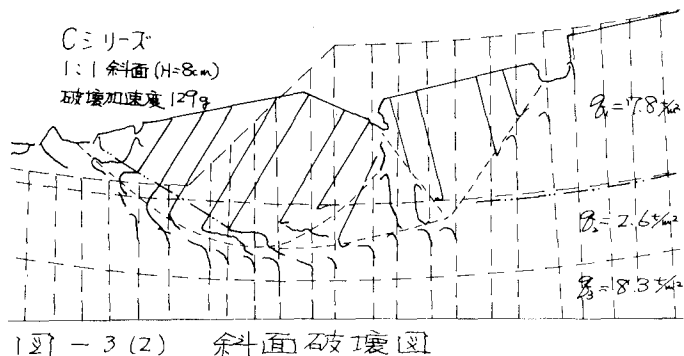
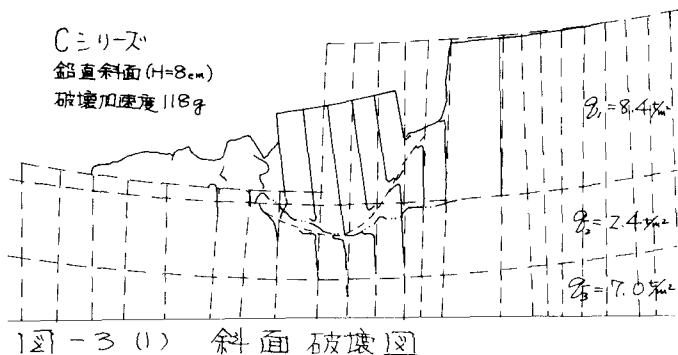


図-4 d, α, β



全率が 0.8 ~ 1.2 (平均 1.0), 臨界円の安全率は 0.6 ~ 1.0 (平均 0.8)

となったものが多かった。計算上は $F_s \leq 1.0$ となる臨界円 (ほとんどが軟弱層の下端を通る) で実際に破壊が生じなかったのは、前述したように加速度を増加させていく過程で圧密が下端で多少生み (透水性は比較的良い)、強度がいくらか増したためと考えられる。また破壊の形状は臨界円の値に比べて、スベリ深さ d は 0.8~1.0 と全般に浅く、小側破壊

表-3 破壊スベリ面と臨界円との比較

シ-ズ名	斜面 勾配	鉛 直			1:0.5			1:1			1:1.5		
		実験	計算	実計	実験	計算	実計	実験	計算	実計	実験	計算	実計
A	破壊加速度	12.9g			10.8g			12.0g			11.4g		
	破壊形式	ノリ面	ノリ面		ノリ面	底面		底面	底面		底面	底面	
	換算ノリ高さ	10.4m			8.6m			10.4m			7.0m		
	安全率	0.8	0.8	1.0	1.5	1.1	1.36	1.3	1.0	1.3	0.9	0.7	1.29
B	破壊加速度	6.5m	8.0	0.81	7.0m	9.6	0.73	8.4m	10.3	0.82	14.4m	15	0.96
	破壊形式	31°	39°	0.79	50°	56.5°	0.88	39°	48°	0.81	47.5°	50°	0.95
	換算ノリ高さ	—	—	—	—	76.5	—	72.5	71.5	1.01	62°	58°	1.07
	安全率	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	破壊加速度	14.1			15.3			15.3			18.3		
	破壊形式	ノリ面	ノリ面		底面	底面		底面	底面		底面	底面	
	換算ノリ高さ	11.3			12.3			12.3			9.2		
	安全率	1.2	1.2	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0
D	破壊加速度	7.0	8.0	0.88	9.5	10.9	0.87	9.5	10.9	0.87	10.7	15	0.71
	破壊形式	42°	39°	1.08	48.5°	48°	1.01	48.5°	48°	1.01	明	57.5°	
	換算ノリ高さ	—	—	—	73	69.5	1.05	73	69.5	1.05	70.5		
	安全率	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	破壊加速度	11.8			12.9			12.9			20.7 (400)		
	破壊形式	底面	底面		底面	底面		底面	底面		底面	底面	
	換算ノリ高さ	9.5			10.4			10.4			10.4以上		
	安全率	1.1	0.9	1.22	1.0	0.8	1.25	1.0	0.8	1.25	0.8	0.6	1.33
F	破壊加速度	10.3	12.7	0.81	11.4	13	0.88	11.4	13	0.88	9.6	10.0	0.96
	破壊形式	33°	47.5°	0.69	40°	53.5°	0.75	40°	53.5°	0.75	43°	51.5°	0.83
	換算ノリ高さ	58.5	65.5	0.89	66	68	0.97	66.5	64	1.04	66.5	64	1.04
	安全率	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G	破壊加速度	8.8			9.4			9.7			17.9		
	破壊形式	底面	底面		底面	底面		底面	底面		底面	底面	
	換算ノリ高さ	7.0			7.5			7.8			9.0		
	安全率	1.0	0.8	1.25	0.9	0.8	1.13	0.9	0.7	1.29	0.8	0.6	1.3
H	破壊加速度	17	18	0.94	18	18	1	17.1	18	0.95	10.7	15	0.71
	破壊形式	36.5°	52.5°	0.70	49.5°	55.5°	0.89	40°	53.5°	0.75	43°	53°	0.81
	換算ノリ高さ	57	63	0.90	55	65	0.85	57.5	63	0.91	62	59.5	1.04
	安全率	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(単位: Aシリーズの単位と同じ)

角は 0.7 ~ 1.0 と一般に鋭角を示した。一方谷側破壊

角は、臨界円の結果の 0.9 ~ 1.1 と全体にゆるい角度の方向に崩れた (谷部破壊斜面)。

5. まとめ

得られた主な結果をまとめて示す。

① 実験斜面の破壊形式は円弧スベリに似かよった形をしているが、一般的にいて臨界スベリ面よりスベリ深さは浅く、小側の破壊した角度は急、谷側のそれはフラットな形に破壊した。また破壊スベリ面の最深部はノリ面の中央を通る垂直線にあると見做せるものが多かった。(底部破壊斜面の場合)

② 破壊スベリ面の安全率は 0.8 ~ 1.2 で、 $\phi = 0$ の円弧スベリ面法がほぼ満足な結果を与えた。

謝辞 実験に協力された高田直俊助手、藤井昌弘氏 (大阪市港警局)、鈴木修彦君 (電気公社) に本書ながら感謝の意を表します。

参考文献
1) 三笠・高田・山田 重心力を利用した斜面安定実験 (3報) (1968) 38: 土木学会

2) 三笠・高田・望月 ロックフィルタムの安定性に関する実験 (1971) 36: 土木学会

図-5 破壊スベリ面と臨界円の比較

