

大阪市立大学工学部 正員 三笠正人

高田直俊

名古屋大学工学部 " 〇山田孝治

この論文は遠心力を利用した一連の斜面安定実験のうち、ロックフィルダムの模型実験について報告するものである。

実験装置の概要と実験方法

実験装置はオ1報、オ2報で報告したものと同一のものである。概略は図-1に示す通りで2個の供試体容器を2本の回転軸の先に対称に取り付け、無段変速機を介して5HPのモーターで回転させる。完全加速度は部材強度から最大200gである。供試体容器は回転中に図-1に示した傾斜機構で±45°までの任意の傾斜を連続的に与えることができる。供試体容器は図-2に示すように両側は強化ガラス張りで大密構造になっている。容器の下部はボックス構造を利用した水槽で、中空回転軸を通して外部から送られる圧縮空気が水槽中の水を供試体部に入れ、供試体水位を自由に与えられるようになっている。観測はストロボを用い、ストロボの発光周期を供試体の回転と同調させて供試体を一見静止状態にして観察、写真撮影を行なった。

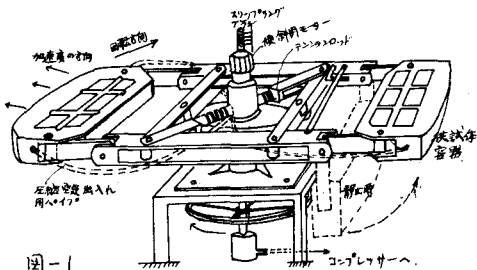


図-1

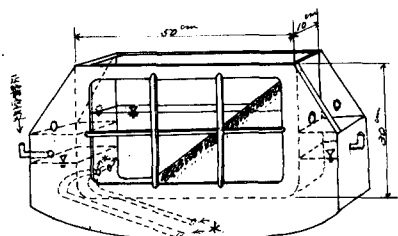


図-2

実験は図-3の実際のダム断面を基準にして次の2通りの実験を行なった。

① 水平加速度による破壊実験。模型材料は木材料であるため鉛直加速度を増しただけでは斜面を破壊させることはできないので供試体容器を傾斜

させ、斜面に地震力相当の静的な水平加速度を与えて破壊に至らしめ、安定性を検討する。

② 水位急降下によるダム堤体の安定。水位降下時間は同ゲキ比を実物と同じにすれば水理学的相似則から次の式で表わされる。

$$t_m = \frac{m}{\alpha} \frac{h_p}{t_m} \cdot t_p$$

ここで、 t_p : 降下所要時間、 h_p : 透水係数、 m : 縮尺、 α : 加速度比、添字 m, p はそれぞれ模型、実物を示す。

実験は表-3の水位降下速度を行なった。

模型ダム断面は図-3をもとにして1/200の縮尺模型とした。これに重力加速度の200倍の加速度を加えれば実際と同じ応力状態になるはずである。図のハッチ部が模型に対応する部分である。実物はロック部、フィルター部、コア部を有するが、模型ではフィルター部とコア部をまとめてコア部とし

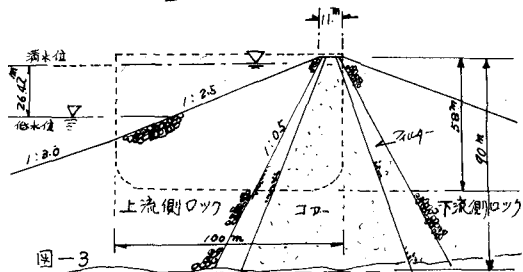


図-3

た。またロック材のみで作った模型斜面について実験を行なった。ノリこう配はダム模型については 1:2.5, 1:2.0, 1:1.5, 1:1.25, 1:1.0 の 5 通り、ロック材のみの斜面については

は 1:1.5, 1:1.25, 1:1.0, 1:0.5, 1:0.3 の 5 通りとし、ノリ形状は直線、および回転軸を中心とする対数ラ線（加速度の方向に対して一定こう配となる）を用い、加速度は 1~200g の向で実験を行なった。傾斜実験はダムに水がある場合（水中状態とよび）、ない場合（空気中状態とよび）の両方について行なった。

模型のロック材はロック I~IV の 4 種で、ロック I は実際のダムのロック材を相似な粒度分布で粒径を $1/200$ になるように砕いて配合したものである。ロック II はロック I の 0.075 mm 以下のものを、ロック III, IV はそれぞれ 0.42, 0.85 mm 以下のものを。コア材は砂岩の風化した実際のコア材の 98 mm 以下の通過分をそのまま用いた。粒度分布を図-4 に、三軸試験結果を表-2 に示す。

模型の作製は表-1 に示す密度を得るようにあらかじめ調整、計量した材料を 2.3 cm づつ水平な層に木ヅチでたたきながら締め固めて作った。水中状態で実験する場合には供試体容器に水を満たしコア部に吸引チューブを挿入して真空ポンプで空気を吸引出し、一晩吸水させておけるだけ飽和するようにした（図-5）。飽和度は平均 95% 程度であった。

実験結果と考察

実験結果について定量的に求めるものは破壊時ノリ角度だけであるが、そのほか観察から得られた事柄ともまとめて述べる。

1. 斜面の破壊型式-----写真 1~4 に示すように破壊型式はすべて表面すべりであってコア部や下流部を含む模型の場合でも斜面内部を通る破壊面は見られなかった。破壊の様子は空気中の場合と水中の場合とは異なり、傾斜（震度）を増していくと空気中の場合はある傾斜で一気に表面の滑落が起こるが、水中の場合には限界傾斜角に達してのち傾斜とともに少しずつ滑落を生じる。ダム模型の場合コア部は自重により圧縮されて天端で最大 1 cm の沈下が見られたが、このことが破壊に影響したとは思われない。

2. 水位降下の影響-----水位降下実験を表-3 に示す時間で行なったが、全く破壊を生じる気配はなかった。そこでまず模型を破壊直前の傾斜に置いておいて、可能な限り短時間（約 8 秒）で水位を下げるが、それでも破壊は生じなかった（写真 5・6）。この結果から実物の透水係数が上の仮定値よりも著しく小さくなければ堤体内の残留水位はわずかであり、斜面の安定に対する水位降下の影響はないといえてよい。

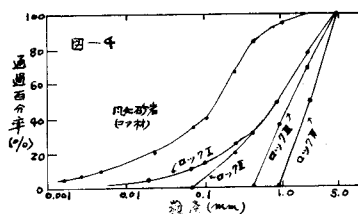


表-1 締め固め密度、含水比

	ρ_s t/m ³	W %	Sr %	G _s
ロック I	1.41	7	45.1	2.731
× 1.89	"	"	43.6	
1.97	"	"	42.1	
ロック II ×	1.80	7	37.4	
ロック III ×	1.59	7	"	
ロック IV ×	1.63	7	"	
砂質土コア材	1.60	11.5	46.4	2.650

※印は同一エネルギーで締め固めたときの ρ_d

表-2 三軸試験結果（排水試験）

	ρ_{sat}	e	含水比	D/H	C %	ϕ°
ロック I	1.91	0.42	飽和	5/12	8	38
ロック II	1.80	0.51	飽和	5/12	4	39.5
"	"	"	7 %	"	10	40
コア材	1.60	0.65	飽和	5/10	0	35.5

表-3 水位降下時間

	縮尺	加速度	透水係数	所需時間	水位降下量
実物	V1	1g	1 cm/sec	6 時間	26 cm
模型	1/200	200g	3.3×10^{-4}	2.7 分	13 cm
ロック II	1/200	200g	5×10^{-3}	1.8 分	

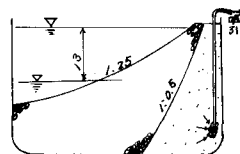


図-5

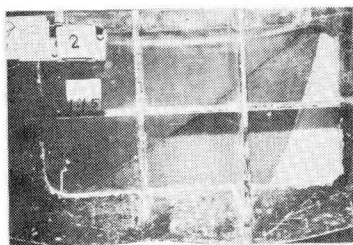


写真-1 傾斜実験 200g
 ロックII
 $1:1.5$
 $H=280\text{mm}$
 水中
 $k=0$

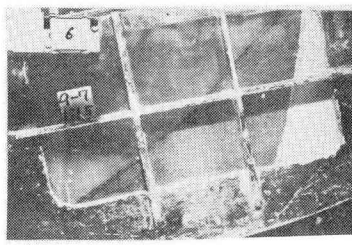


写真-2 200g 表面が滑落している。
 $k=0.14$

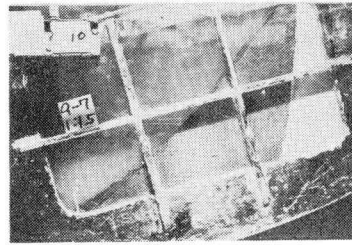


写真-3 200g
 $k=0.20$

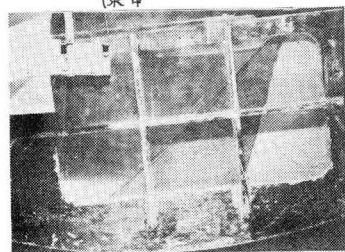


写真-4 水位降下直前 200g
 ロックI
 $1:1.25$
 $H=280\text{mm}$
 $k=0.1$

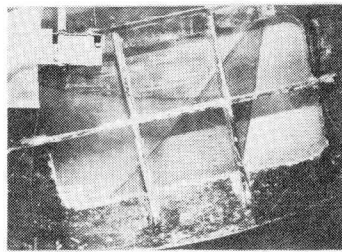


写真-5 水位降下直後 200g
 $k=0.1$

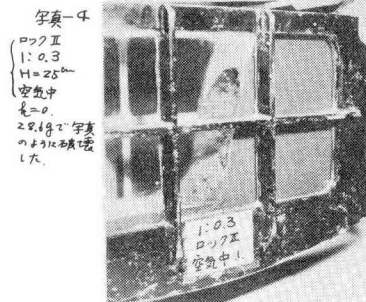


写真-6
 ロックII
 $1:0.3$
 $H=280\text{mm}$
 空気中
 $k=0$
 2.8倍で写真のように破壊した。

3. 破壊ノリ角度に影響を与える因子について ----- この一連の実験では破壊型式が表面すべりだけであるので、実験条件によって破壊ノリ角度がどのように変化するかを調べる。破壊ノリ角度とはノリ面が滑落したときの加速度方向に対する垂直な面からの角度、直線ノリ形状の場合には場所によってかなり異なるので一番大きいノリ先端の値と採った。

④水中、空気中の違い : 水中、空気中の差を見るために行なった実験結果を材料別に整理して図-6に示す。ロックI, IIは空気中では見かけの粘着力が強いが、水中ではそれがなくなってしまう。ロックII, IVは細粒分を多く含むので水中、空気中とほぼ同じ破壊ノリ角度を得られる。

⑤加速度について : 完全な中材料では加速度(すなわち応力)にかかわらず一定の破壊ノリ角度を有するはずであるが、見かけ上にも有する材料もあり、タイルイタニ等は応力によって異なるので加速度の大きさが破壊にどう影響するかを調べた。図-7は加速度の大きさをノリ高さに換算してこれと破壊ノリ角度との関係を示したものである。水中状態では加速度の大きさによる差は見えないが、空中状態ではかなり差があり、ノリ高さすなわち加速度が大きくなれば破壊ノリ角度が小さくなっていく。これは④で述べた見かけのこの影響であらう。破壊はやはり水も表面すべりで表面付近の応力はあまり大きくなり、タイルイタニ等のせん断特性を考慮したうえで至っていないようである。

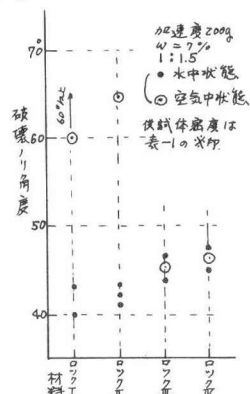


図-6

⑥ノリ形状について : 図-8はノリこう配と破壊ノリ角度の関係を示したものである。ノリこう配が小さくなるにつれて、いずれの材料についても破壊ノリこう配が小さくなる傾向がみられる。この原因としてノリの上下の部分で破壊時に異なる傾きをもつための応力状態の差が原因と考えられる。図-7によれば直線ノリ形の方が対数ラ線のものに比較して大きな破壊ノリ角になっている。

れは破壊が加速度に対して最もクセウ配の大きいノリ先から発生するが、この部分は底面の拘束を受けるためであろう。

斜面安定計算との比較

図-9・10の代表的なダム断面について、震度0と実験による破壊震度（それぞれ $k=0.14$, $k=0.06$ ）に連した場合について図の円弧に対して安全率を求めた。*中ではCは期待できないので $C=0$ とし、 ϕ は表-2

の値を用いた。計算方法はスライス間力を考えない通常の方割法とBishop法によった。結果を表-5・6に示す。これらの方法はいずれも近似的なものであるが、いずれも表面に近いほど安全率は小さくなって実験結果と予想は近い。表面すべりに対する安全率を半無限斜面の安全率として考えると両方とも1.0を下まわっている。これは三軸試験による ϕ が小さいに出ると考えて、破壊ノリ角度を ϕ として計算すると()内の値となる。

まとめ

以上の実験結果をまとめれば次のようになる。

- ①破壊は表面に沿うすべり破壊で内部を通るものはなかった。
- ②一般に行なわれている計算法で実験結果とある程度説明できる。
- ③この実験で用いたロック材は含水状態によってはせん断試験では説明できないと有する。
- ④実験によれば、与えられた条件の下では水位降下による斜面の破壊は生じなかった。

あとがき

今回はロックファイルダムというはつきりした目標をもった実験を行なった。応力状態については実際と等しくするととめてきたが、材料の相似性については、今回は相似粒度にするという点けにとどまった。この今今後の課題としたい。

最後にこの研究は関西電力の援助を受けた。また実験には本学大学院望月君、住宅公団川端君の協力を受けた。

参考文献 三笠、吉田、山田、遠心力を利用した斜面安定実験 第1報 第2回工芸学研究発表会 1967
三笠、吉田、山田、第2報 第3回 “ ” 1968
永井茂七郎 水理学、

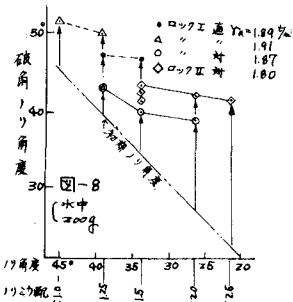
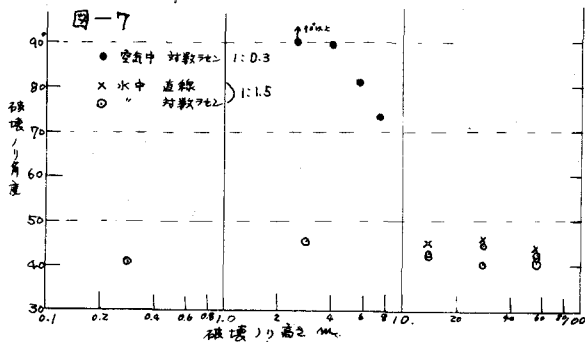


図-9

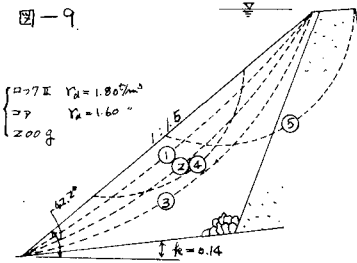


図-10

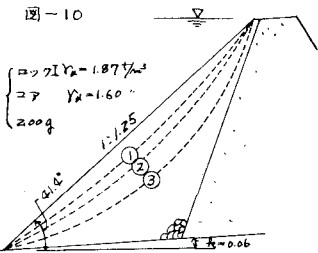


表-4 スリ内の安全率

円弧	方割法 $k=0.14$	$k=0$	Bishopの方法 $k=0.14$	$k=0$
表面	0.945 (1.000)	1.258 (1.371)	0.945	1.26
①	0.95 (1.005)	1.316 (1.393)	0.98	1.34
②	0.993 (1.051)	1.350 (1.566)	1.05	1.42
③	1.059 (1.121)	1.424 (1.632)	1.17	1.57
④	1.158 (1.225)	1.576 (1.828)	1.50	1.70
⑤	1.177 (1.239)	1.905	1.72	2.25

表-5

円弧	方割法 $k=0.06$	$k=0$	Bishopの方法 $k=0.06$	$k=0$
表面	0.863 (1.00)	1.049 (1.103)	0.851	1.049
①	0.894 (1.037)	0.983 (1.140)	0.92	1.00
②	0.939 (1.089)	1.024 (1.188)	1.00	1.07
③	0.962 (1.116)	1.075 (1.297)	1.07	1.17

表面は半無限斜面にて計算した。

飽和度 < ロック部 100%
コア部 95%