

第 II 部門

地震時の斜面崩壊に関する研究

京都大学防災研究所 正会員 高橋 保 京都大学防災研究所 正会員 中川 一

京都大学防災研究所 正会員 里深好文

日本道路公団 正会員 〇辰巳正人

1.はじめに 兵庫県南部地震で見られたように、地震時には山腹斜面の崩壊がしばしば発生する。本研究では斜面の表層や基岩の地形条件が崩壊現象に及ぼす影響を明らかにするために、斜面模型を用いた振動実験を行った。振動台上に設置された斜面模型に浸透流を発生させた後、地震外力を与え、斜面崩壊に関する検討を行った。さらに、斜面模型の再現計算を試みた。

2.地震外力を考慮した斜面崩壊に関する実験 実験は図-1 に示すような全長 3.5m、幅 50cm、深さ 50cm の矩形断面水路を振動台に設置して行った。勾配は 20 度である。また、水路底面に図-2 に示すような台を設けて、基岩形状に局所的な変化を与えた。斜面模型には、珪砂 4 号(平均粒径 0.82mm、密度 2.65g/cm³)を用い、斜面の平均的な間隙率が 0.44 になるように形成した。斜面形状を図-3 に示す。まず、斜面に浸透流を与え、浸透流が定常状態になったあと、所定の加速度を順に与え、斜面崩壊が発生した段階で終了とした。与えた加速度はサイン波で、加振方向は水平である。振動周波数は相似則から 4Hz とした。なお、加振時間は 15 秒で、前後 2.5 秒間はテーパーをかけてある。

3.実験結果と考察 従来の研究¹⁾で明らかのように、斜面内の応答加速度は底層から表層に伝搬するに従って増幅する傾向が見られるが、本実験では水路底面に設置した台によって、さらにその傾向は顕著なものとなった。これは、入力加速度が台の凸部を通過する際に、増幅されたものと考えられる。

また、斜面の崩壊については、図-4 に示すように、斜面の表層と、斜面内の飽和部分と不飽和部分の境界付近の 2 ヶ所ですべりが同時に発生した。また、すべりによる土砂の移動は水路上流側で発生し、下流では水路下流端による拘束のためほとんど見られなかった。

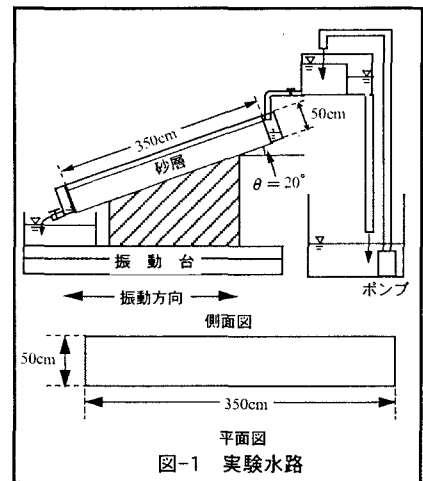


図-1 実験水路

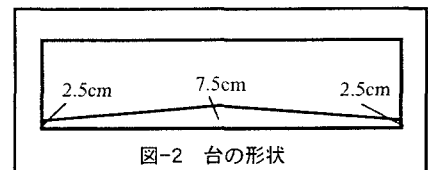


図-2 台の形状

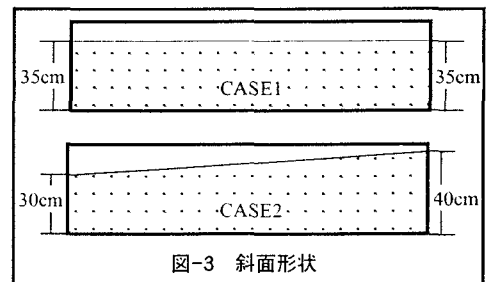


図-3 斜面形状

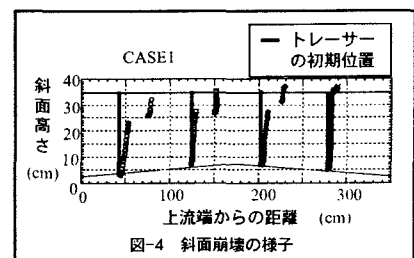


図-4 斜面崩壊の様子

4.再現計算の支配方程式 2、3.で述べた実験に対し、有限要素法による飽和-不飽和浸透流解析と地震応答解析による再現計算を行った。飽和-不飽和浸透流の支配方程式は、定常状態を考えた次の Richards の式(1)を用いている。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right\} = 0 \quad (1)$$

ここに、 K ：透水係数、 θ ：体積含水率、 ϕ ：全水頭である。

今回の解析では、等方性の地盤で、透水係数は 2.5cm/s と仮定し、また不飽和領域の圧力水頭(毛管ポテンシャル)と透水係数、体積含水率に対し、図-5 に示す関係が成立するものと仮定した。

地震応答解析では、次のような運動方程式を用いている。

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = \{f\} \quad (2)$$

ここに、 $[M]$ ：質量マトリックス、 $[C]$ ：減衰マトリックス、 $[K]$ ：剛性マトリックス、 $\{\delta\}$ ：節点変位ベクトル、 $\{f\}$ ：接点外力ベクトルである。

5.再現計算の結果 図-6 に浸透流解析で得られた斜面内の体積含水率の分布を示す。体積含水率と内部摩擦角、粘着力といった材料定数との間に図-7 のような関係を仮定し、地震応答解析を行った。その他の材料定数は表-1 に示す。図-8 に地震応答解析の結果を示す。これを見ると、底面付近と上流側の表面付近の要素が破壊されていることが分かるが、これは、実験結果と少し異なる結果となっている。しかし、実験斜面の上流側の方が破壊し、崩壊する危険性があることは再現できた。また、底面付近の破壊については、与えた材料定数を過小評価したためと考えられる。

6.最後に 本研究では、基岩形状の局所的な変化が地震による斜面崩壊に影響を及ぼすことが実験により確認できた。また、再現計算では、斜面の危険度についてある程度再現できたものと考えられる。今後、再現計算をより精度の高いものにしていく必要がある。

参考文献 1) 高橋 保他：地震外力を考慮した斜面崩壊に関する実験的検討、京都大学防災研究所年報、第 40 号 B-2 別刷、平成 9 年 4 月

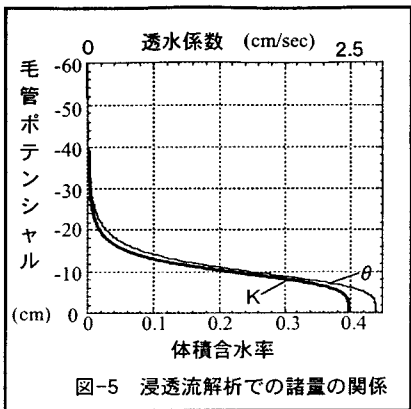


図-5 浸透流解析での諸量の関係

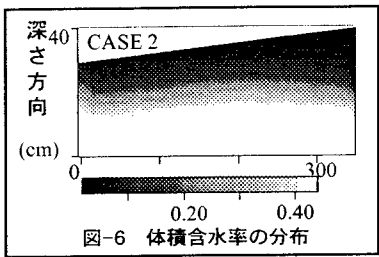


図-6 体積含水率の分布

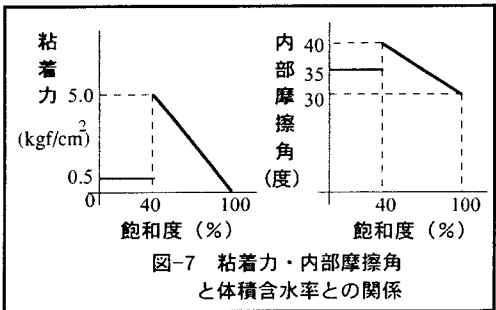


図-7 粘着力・内部摩擦角と体積含水率との関係

表-1 材料定数			
砂層	弾性波速度(m/s)	ポアソン比	
	150.0	0.30	
	バネ定数(kg/m³)	バネ定数(kg/m³)	粘着力(kg/m³)
ジョイント要素	3.0×10⁴	1.0×10⁴	1.0×10⁴
			内部摩擦角(度)
			20.0

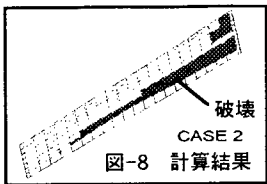


図-8 計算結果