

28 崩壊土砂の運動距離に関する実験とシミュレーション

東京農工大学 〇郎 燧華 中村 浩之
京都府立大学 水原 邦夫

1. 序言

本研究では、崩壊の発生、崩壊土砂の移動と停止堆積に近似的に対応している実験装置を作製し、崩壊土砂の流動及び運動距離について理論的、実験的研究を行うことにした。先ず最初に、崩壊土砂の運動の力学的モデルとして間隙水圧モデルについて議論し、この二次元モデルから得られた運動速度と運動距離の理論値を水路実験によって検証する。次に、崩壊土砂の到達距離にどのような因子が強く関与しているかを実験的に調べ、それに基づき崩壊土砂の到達距離に関する予測式を誘導する。そして、三次元モデルを導入し、運動距離及びその影響因子を議論する。さらに、実際の崩壊事例として、滋賀県大津市367号国道沿いの大崩壊を対象として、上記の各モデルの適用性を調べるとともに崩壊の運動距離に影響を与える主要因子に関して検討、考察する。

2. 実験装置及び方法

実験装置は Fig.1 に示すような崩壊発生装置、急勾配水路、緩勾配水路及び水平水路の4部分によって構成され、自然斜面における崩壊の発生、崩壊土砂の移動及び停止堆積に近似的に対応している。崩壊発生装置は、車輪を付けた運動箱(20×28×54cm)を軌道に沿って下方に移動させ、水路上流端と衝突すると同時に蓋が開き、内部の充填土砂を水路内に供給する仕掛けになっている。

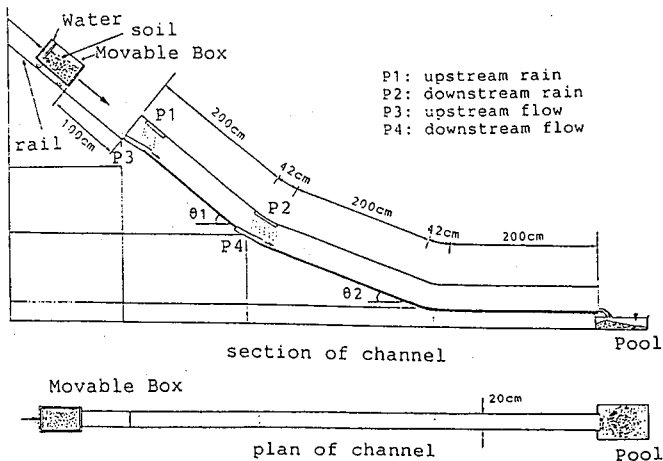


Fig.1 Experimental Flume

水路部分は幅20cm、高さ30cm、全長6mで、水路両端よりそれぞれ2mの位置にヒンジが取り付けられ、上・中・下流の3個の水路勾配が任意に変えられる。水路床の粗度変化は2種類で、粗度を有する水路床としては粒径範囲2.0~4.76mmの細礫を張り付け、粗度の無い水路床としてはペイント塗装した木製板を路床に張り付けた。

3. 実験結果及び二次元モデル

Fig.2 に示すように、部分的に飽和した崩壊土砂の内部構造モデルを考え、運動速度及び運動距離に影響を与える因子を理論的に考察する。

いま、崩壊土塊が上流水路に流れ込むときの時刻を $t = 0$ として、運動速度を初速度 u_0 とする。このときの崩壊土砂の厚さは H で、飽和層の厚さは mH とする。 m は飽和層の厚さの崩壊土塊の厚さに対する比である。

水路の底面に働くせん断応力 S は次式で表される。

$$S = [C\gamma_s + (1-C)m\gamma_w] H \sin \theta \quad \cdot\cdot(1)$$

また、垂直応力 σ は次式で表される。

$$\sigma = [C\gamma_s + (1-C)m\gamma_w] H \cos \theta \quad \cdot\cdot(2)$$

ここで、 C : 水と土砂の混合物の全体積に占める土砂粒子の体積比、 γ_s : 土砂粒子の単位体積重量、 γ_w : 水の単位体積重量、 θ : 水路勾配。

一方、せん断抵抗力は垂直応力と間隙水圧 u との差によって、次式で表される。

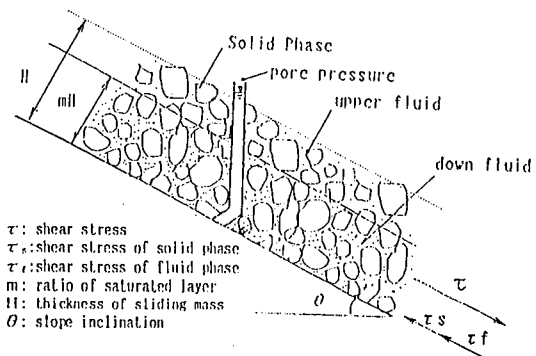


Fig.2 Slope geometry and parameters

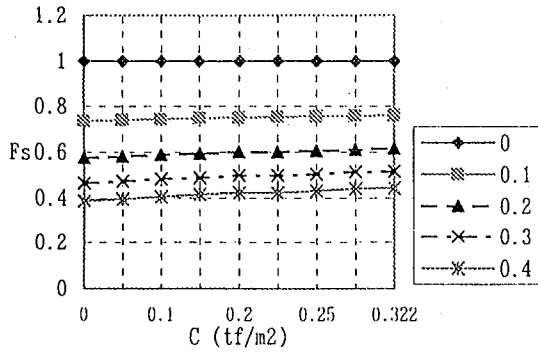


Fig. 3 土質定数による影響(C=Cmin→Cmax)
計算条件: C11, L=10m, C=Cmin→Cmax

の安全率が小さく、その低下度も大きい。

土質定数について、 ϕ が小さく、Cが大きくなるほど地震時の斜面の安全率は大きく、その低下度は少ない。Fig. 3は長さ10m、Cは最小の0から $\phi=0$ ときの最大値までのFs=1.0ときの異なるC、 ϕ の組み合わせによる安全率およびその地震による影響を示している。図に示すように、Cは大きいほど安全率は大きくなること分かる。一般に粘性土の動的強度は非排水状態での強度を示すことが考えられるが、この時、 ϕ は小さく、Cは大きくなると考えられる。

計算によると、Cを大きくすると、安全率は増加することが分かるが、今後、動的強度定数を用いた安定解析を行うことが必要と考えられる。特に、再活動型地すべりの場合は、すべり面が存在していることから、残留強度状態における動的強度定数の決定が必要と考えられる。

3.2 初生地すべり

縦横断形状から見ると、地震力による影響は凸型の斜面の安全率は一番小さく、低下度も大きい。そして、平面型さらに凹型になるにつれて、安全率は大きくなり、低下度は小さくなる。表1は同じC=1.0tf/m²、 $\phi=25$ 度で長さ10mの凸型(Q)、平面型(Z)、及び凹型(P)のC11モデル断面で計算したものである。表の上段は安全率で、下段は地震による安全率の低下度である。凸型の安全率は一番小

さく、安全率の低下度は一番大きい。地震の影響を受けやすいの順番は凸型>平面型>凹型である。次に、平面形状を見ると、平常時でも地震時でもD/L比が大きくなるほど安全率は小さくなり、影響の度合いについては、D/L比が大きくなるほど、地震による安全率の低下度は大きくなる。

表1 縦横断形状による影響
計算条件: C11, L=10m, C=1.0tf/m², $\Phi=25^\circ$

C1 $\phi 25$	0	0.1	0.2	0.3	0.4
Q10R1B0	3.020	2.262	1.796	1.482	1.255
Z10R1B0	4.573	3.443	2.75	2.281	1.942
P10R1B0	7.605	5.753	4.615	3.845	3.289
Q10R1B0	3.020	25.10%	40.53%	50.93%	58.44%
Z10R1B0	4.573	24.71%	39.86%	50.12%	57.53%
P10R1B0	7.605	24.35%	39.32%	49.44%	56.75%

Fig. 4はC12モデル断面で、長さ10m、凸型、C=0 tf/m²、 $\phi 1=30$ 度、 $\phi 2=35$ 度ときの地震係数0から0.4までのときの安全率を示している。安全率及びその地震による変化は他の因子と関係なく、 ϕ だけと関係していることが分かる。

以上により、一般に崩壊は急斜面で、比較的Cの小さい材料の斜面でまた縦横断形状が凸型の所で地震時に発生しやすいという特徴は、計算結果からもこれを裏付けることができた。

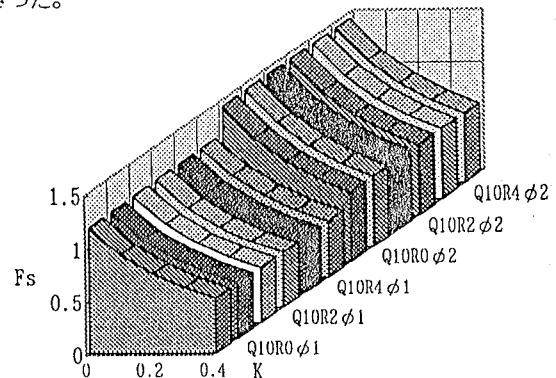


Fig. 4 C=0 ときの安全率の変化(平面形状)
計算条件: C12, L=10m, C=0, $\phi=30^\circ, 35^\circ$

地震による地すべりの三次元安全率の変化を下の表にまとめている。

要素	再活動型地すべり		地震による崩壊	
	安全率(Fs)	低下度(Fs%)	安全率(Fs)	低下度(Fs%)
縦横断形状	影響度の差はない	影響度の差はない	凸<平<凹	凸>平>凹
平面形状	丸いほどFs小さい	丸いほど大きい	丸いほどFs小さい	丸いほど大きい
斜面長さ	影響度の差はない	影響度の差はない	長いほど小さい	長いほど大きい
斜面勾配	急なほど小さい	緩いほど大きい	急なほど小さい	急なほど小さい
C、 Φ 定数	C:大→Fs大	C:大→Fs%小	Φ :大→Fs小	Φ :大→Fs%大