

崩壊形態に着目した岩盤斜面の動的遠心力模型実験

電力中央研究所 正会員 ○石丸 真
電力中央研究所 正会員 河井 正

1. はじめに

近年，新潟県中越地震をはじめとして，大地震の際の岩盤斜面の崩壊挙動が注目されている．これに関して，地震時の岩盤斜面崩壊およびそれに起因する崩土到達距離の評価に関する研究が進められている（例えば¹⁾）．

本研究では，岩盤斜面が崩壊する加速度レベルおよびその崩壊形態を精度よく予測する解析手法の構築を目的としており，その一環として，破壊メカニズムの解明あるいは解析手法の検証を目的とした遠心力模型実験を実施している．ここでは，岩盤斜面の崩壊形態に着目し，実際の岩盤の地質条件を模擬して作製した斜面模型²⁾について，特に遠心場振動模型実験での崩壊形態に着目して述べる．

2. 平面すべり崩壊と円弧すべり崩壊³⁾

ここでは，岩盤斜面の崩壊形態のうち，図-1に示す平面すべり崩壊と円弧すべり崩壊に着目する．平面すべり崩壊は，節理，層理，片理等の連続的な構造的弱面，断層のような大きな地質的不連続面に沿って斜面が崩壊する現象である．特に，不連続面の傾斜が斜面の傾斜と同じ方向にある“流れ盤”の場合には，平面すべり崩壊のみの単一形態で崩壊する場合が多く，その崩壊の規模・形態には斜面と不連続面の走向・傾斜の関係が大きく影響する．

一方，円弧すべり崩壊は斜面が円弧に沿って回転崩壊を行う現象であり，土や軟弱な岩盤，あるいは亀裂が無数に発達している岩盤等によく見られる．また，そのすべり面は斜面先を通る場合が多い．

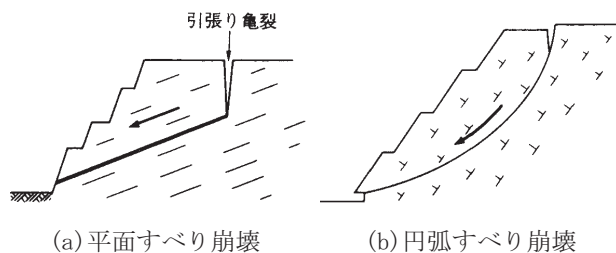


図-1 着目した岩盤斜面の崩壊形態³⁾

3. 実験条件

実験に用いた岩盤斜面模型（遠心加速度 50G）を図-2に示す．模型では石膏を主な材料とし，不連続面を有する流れ盤と明確な構造的弱面がない岩盤の2パターンの斜面²⁾を想定した．流れ盤斜面については，セメントを主な材料とする模型も作製し，不連続面の数を石膏材料模型より増やした．なお，ここでの模型は実物に対する相似性よりも，できるだけ岩盤の脆性的な破壊を模擬し，かつ遠心载荷試験装置の振動加振能力で破壊が可能な強度を有することを重視した．表-1，2に，実験後の模型からサンプリングした試料による物性を示す（石膏材料は不連続面なしの模型からサンプリング）．流れ盤斜面の不連続面としては，模型材料との摩擦が少ないテフロンシートを，加振直角方向に模型全長にわたって設置することにより模擬した．加振実験は，振幅を順に大きくした実物換算 1.2Hz（石膏）と 3.3Hz（セメント）の正弦波 20 波による段階加振を実施した．

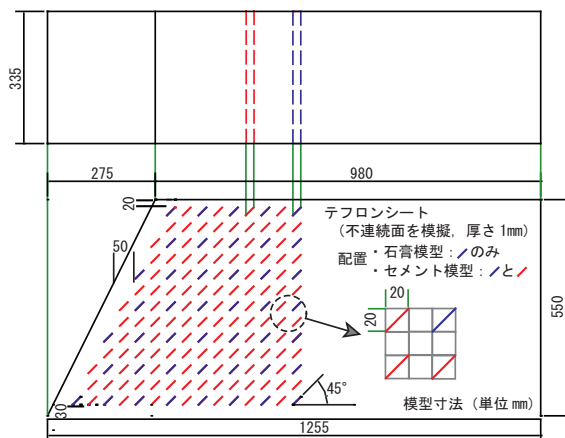


図-2 模型図

表-1 サンプリングした試料の物性（石膏材料）

	模型からのサンプリング位置			
	上部	上部	中部	下部
湿潤密度 (g/cm^3)	1.396	1.405	1.371	1.393
S波速度 (m/sec)	619	797	649	654
P波速度 (m/sec)	1048	1332	1114	1081
動的ポアソン比	0.232	0.221	0.243	0.211
動的弾性係数 ($\times 10^6 \text{ kN}/\text{m}^2$)	1.31	2.18	1.43	1.44
せん断抵抗	$c_d=84.0 \text{ kN}/\text{m}^2$, $\phi_d=28.0^\circ$			

キーワード 遠心力模型実験，斜面，地震，崩壊，流れ盤

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 Tel: 04-7182-1181

4. 実験結果

石膏材料の不連続面なしの模型は、実物換算の加速度振幅約 650gal 入力時に、円弧状のすべり面を形成して崩壊に至った。実験後、土槽から取り出した模型の状態を図-3 に、崩壊土塊を取り除いて計測したすべり面の平均的なラインを図-4 にそれぞれ示す。なお、すべり面はほぼ 2 次元的に形成されていた。

石膏材料の流れ盤模型は、実物換算の加速度振幅約 150gal 入力時に崩壊に至った。加振中に土槽側面から CCD カメラによって捉えた模型の状態を図-3 に、その映像から読み取ったすべり面形状を図-4 にそれぞれ示す。石膏材料の流れ盤模型では、すべり面の形成に不連続面が関与しているものの、斜面中腹に引張クラックが発生した状態で崩壊に至っている。これについては、均一な物性をもつ模型を作製することが非常に困難であることから、模型上部が局部的に強くなっていた可能性も考えられる。

一方、セメント材料の流れ盤模型は、実物換算の加速度振幅約 400gal 入力時に崩壊に至った。実験直後の崩壊状態と崩土を取り除いた後の模型の様子を図-5 に、崩土を取り除いた後に計測したすべり面形状を図-6 にそれぞれ示す。これらより、すべり面はほぼ 2 次元的に形成され、その形状に不連続面が大きく関与していることがわかる。

5. まとめ

不連続面を有する流れ盤と、明確な構造的弱面がない岩盤の 2 パターンの斜面模型を用いて、遠心力振動実験を行い、斜面模型が崩壊する加速度レベルとその崩壊形態を調べた。その結果、不連続面を有する流れ盤模型は平面すべりで崩壊し、明確な構造的弱面がない岩盤模型は円弧すべりで崩壊した。これらは、実現象において見られる傾向と一致している。謝辞: 本検討を進めるに際して、株式会社大林組の稲川雄宣氏および市川英治氏をはじめ関係者に多大なるご協力を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木猛, 萩原育夫, 佐々木勝司, 堀川滋雄, 吉中龍之進, 大西有三. 不連続変形法による斜面崩落モデルの地震応答解析. 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 87-92, 2006.
- 2) 石丸真, 河井正. 遠心場振動破壊実験に用いる亀裂性岩盤斜面模型の試作. 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 231-234, 2007.
- 3) 土木学会岩盤力学委員会(編). 岩盤斜面の安定解析と計測. 土木学会, 1994.

表-2 サンプリングした試料の物性(セメント材料)

	模型からのサンプリング位置			
	上部	上部	中部	下部
湿潤密度 (g/cm ³)	1.574	1.606	1.583	1.593
S波速度 (m/sec)	439	389	317	281
P波速度 (m/sec)	732	646	601	444
動的ポアソン比	0.219	0.215	0.306	0.168
動的弾性係数 ($\times 10^6$ kN/m ²)	0.74	0.59	0.41	0.29
せん断抵抗	$c_d=25.2$ kN/m ² , $\phi_d=38.5^\circ$			



図-3 石膏材料模型の崩壊状況(左:不連続面なし-実験後,右:流れ盤-加振中)

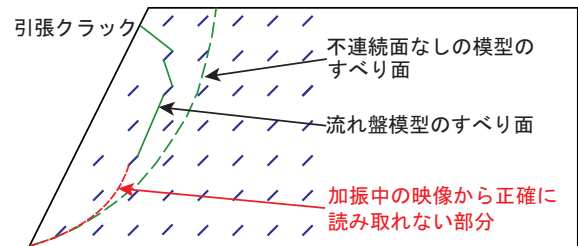


図-4 石膏材料模型の崩壊形態



図-5 セメント材料模型の崩壊状況(左:実験直後の崩壊の様子,右:崩土除去後)

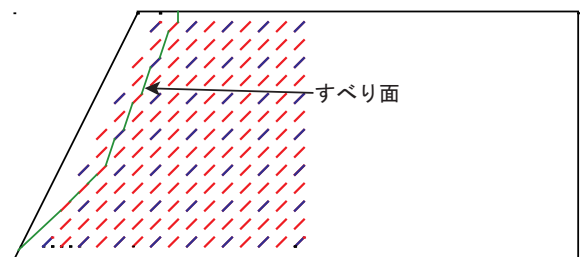


図-6 セメント材料模型の崩壊形態