

不飽和砂質斜面模型実験による飽和度と変位関係に基づく降雨時の崩壊予測の検討

(独)土木研究所 ○酒井直樹, 栗原淳一
基礎地盤コンサルタンツ (株) 黄永男, 阪上最一

1. はじめに

降雨に伴う、斜面の表層崩壊を予測するために、現地モニタリング¹⁾や解析手法の検討²⁾を行っている。そこでは、主な崩壊要因として、降雨浸透による地盤強度の低下を考慮している。その解析手法の発展に伴い、崩壊前兆現象をどう合理的に捉え得ることができるか検討している。本報告では、基本的な検討として、模型実験を実施し、降雨の初期条件の違いによる崩壊現象を、詳細に計測したものである。

2. 試験法の概要

2.1 試料と試験装置

試料には、市販の佐原砂を用い、その粒度特性を表-2に示す、揃った粒径の砂である。乾燥密度を 1.34g/cm^3 とし(最大乾燥密度: 1.571g/cm^3 ;最小乾燥密度: 1.240g/cm^3)、飽和透水係数は、 $2.0 \times 10^{-2}(\text{cm/sec})$ 程度である。

表-2 佐原砂の粒度試験結果

石分	(%)	0
礫分	(%)	0
砂分	(%)	96.9
細粒分	(%)	3.1
最大粒径	(mm)	2
粒径 D50	(mm)	0.211
粒径 D10	(mm)	0.123
均等係数		1.946

用いた土槽は、幅90cm、高さ60cm、奥行き200cmであり(図-1)、崩壊挙動を観測できるように、側壁に厚さ15mmの亚克力板を用いた。土槽の上部には、水の供給、また、下部には、排水できるように、アルミ多孔版を設置した。降雨は散水ノズルを用いて斜面均等に与えた。斜面地盤は、水平状態の土槽内に作成し、計測装置を設置後、傾斜(45°)させた。締め固めは、所定の含水比で、人力により1層10cm毎に行った。各種計器の配置を図-1に示す。土壌水分計(ADR型、上層から5, 17.5, 30cmの3点)、と間隙水圧計(基盤上)と、水位計(ピエゾメータ型、20cm間隔、10箇所;基盤上側面)を設置し、地盤内への水の浸透の経時変化を観測した。さらに、地表面変位を、レーザ変位計(L)と変位計(D)を用い、地盤内の変形挙動(すべり線)を把握するために、土中ひずみ計を作製し10cm毎4箇所(表層から10, 20, 30, 40cm)に設置した。

表-1 試験ケース

	乾燥密度(g/cm^3)	降雨(mm/h)	地下水設定
CASE-1	1.34	150	無し
CASE-2	1.34	150	有り

2.2 試験方法と実験ケース

表-1に示すように、降雨に伴う土砂崩壊に及ぼす初期浸透の有無の影響を調べた。作製直後の試料の飽和度は、

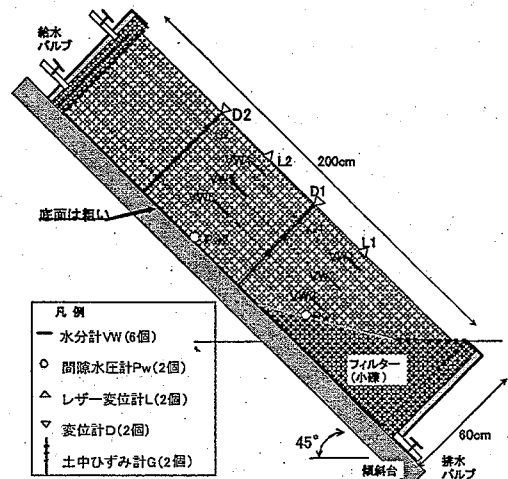


図-1 実験土槽

約30%である。CASE-1は、この状態を初期含水状態(図-5(a))とし、また、CASE-2では、上部からある一定量の水を供給し、降雨前に、地盤内に浸透流れ(地下水位はピエゾメータにより計測)を発生させた(図-3, 0~9000秒)。その結果生じた飽和度を初期条件の指標とし(図-6(a))、そして、降雨を与えた。

3. 実験結果と考察

<CASE-1: 降雨だけの場合> 降雨の浸透状況をみると、飽和度 S_r の上昇に伴い、3段階の挙動が観測された(図-2(a))。第1段階(0~4,000sec)は、降雨開始10分後に地表から急激に増加し、 $S_r \approx 70\%$ に収束する。第2段階(4,000~9,700s)は、逆に深部から上昇し、 $S_r \approx 90\%$ に至る。この過程では、間隙水圧の上昇を伴うことから、地中に水位が形成されて、生じたことが分かる。第3段階(9,700~)で、表層と中深度が完全飽和に向かう。変位は、飽和度が増すにつれ、徐々に増加していたが、 $t=9800\text{s}$ で急激な変位増加が観測された。この変形の間、間隙水圧には明瞭なピークは確認されなかった。第1, 3段階の観測されたすべり面と地下水面形状を示す(図-3)。変形過程(図-2(b))は、表層から30cmに位置するSW6が飽和し、10cm程度の飽和層が変形を起こしている。また斜面上方のすべり線は、層を伴わず線状に入っていることから、地下水位が発生していないため、ここでの第一段階程度の不飽和状態でのせん断挙動が起きたと考えられる。

<CASE-2: 降雨前に地盤内に浸透流れを発生させた場合> 浸透挙動は、降雨開始後 $t=350\text{s}$ ほどから、表層

(SW1)の飽和度及び間隙水圧も上昇し始め、わずかに遅れて変位が発生し始めた。ピークを迎え急激な減少に向かう、地盤の軟化現象が観測された。変位は、水圧上昇とともに急激な変位の増加を向かせ、十数 cm の変位を伴い崩壊に至り、明らかに、同じ降雨強度を与えた、CASE-1とは異なる現象が観測された(図-3(b))。初期と破壊後の観測されたすべり面と地下水面形状を示す(図-5)。崩壊後の写真を示す(図-6)。全層にわたってせん断層を伴い変形が進んだのがわかる。

4. まとめ

① 降雨前の初期浸透の有無の違いにより、2つの崩壊パターンの違いを確認した。同じ降雨でも、直前の降雨状況、つまり初期飽和度の分布の違いにより異なる崩壊形態が示唆される。また、地盤の飽和～不飽和特性と斜面勾配が、崩壊前兆現象の予測に重要であることが示唆

される。

② 崩壊は飽和度と間隙水圧が上昇後に発生している。特に飽和度は、すべり面付近がほぼ飽和 ($S_r > 90$) することが一つの要因であると考えられる。

③ 最終的に斜面が崩壊に至るのは、地盤がサクシオンを完全に消失し、完全飽和し、さらに、地盤が軟化した場合ではないかと考えられる。

これらの結果を踏まえ、さらに降雨に伴う斜面の崩壊を予測に必要な計測項目やモニタリング手法を検討したい。

参考文献

- 1) 酒井ほか, 風化花崗岩山地における降雨による斜面変位応答特性とそのモデル化, 砂防学会研究発表会, 和歌山, pp.128-129, 2006.
- 2) 笹原ほか, 降雨に伴う斜面の崩壊の2次元 FEM 解析手法の提案, 第42回地盤工学会研究発表会, 鹿児島, pp.2191-2192, 2006.

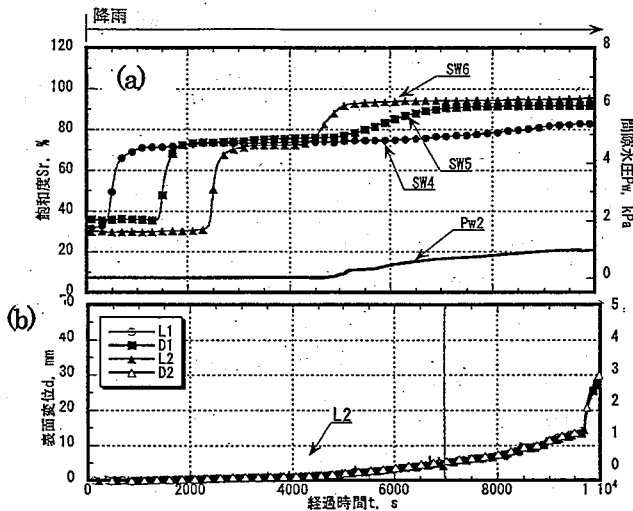


図-2 ケース1時系列変化(a)飽和度と間隙水圧(b)表面変位

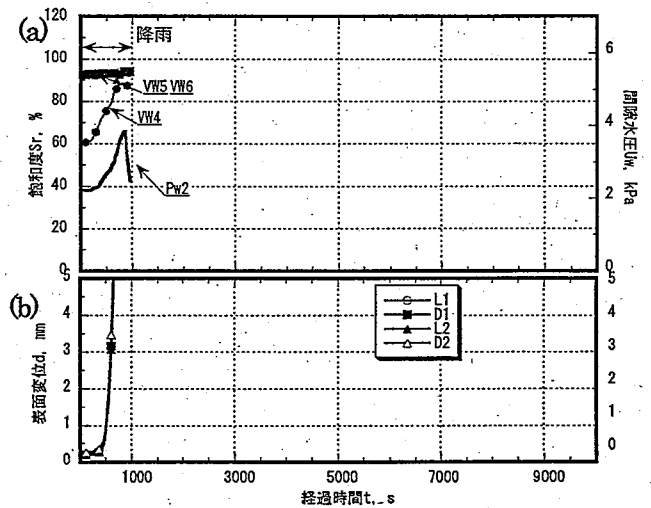


図-3 ケース2時系列変化(a)飽和度と間隙水圧(b)表面変位

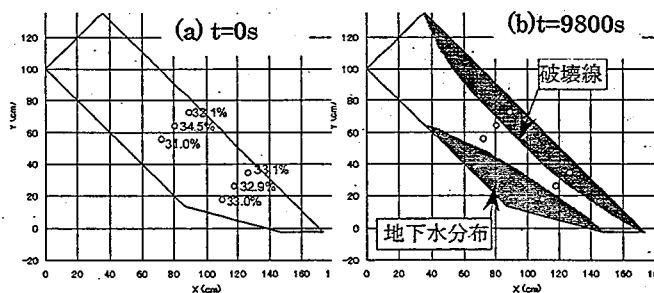


図-4 ケース1(a)初期飽和度分布(b)破壊時の破壊線と水位分布

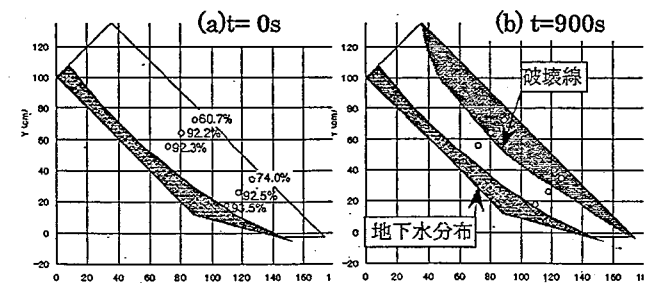


図-5 ケース2(a)初期飽和度分布(b)破壊時の破壊線と水位分布

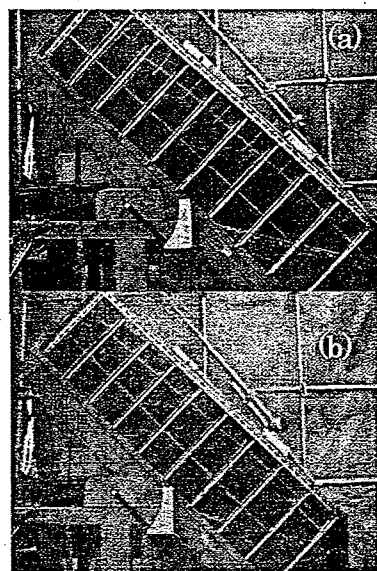


図-6 崩壊時の写真 (a)ケース1, (b)ケース2