

(独) 防災科学技術研究所○石澤友浩
 高知大学 笹原克夫
 (独) 防災科学技術研究所 酒井直樹
 (独) 防災科学技術研究所 福岡輝旗

1 はじめに

近年、降雨時の土砂災害警戒情報は、広域な範囲での警戒情報が発せられる。一般的に、降雨時の斜面を不安定化させる原因は、降雨により地下水水位が形成され、その後地下水が上昇し崩壊に至る場合が考えられる。しかし、地下水水位が形成されない不飽和状態において、飽和度上昇に伴い斜面変形が進行して崩壊する場合も存在する¹⁾。今後、局所的な斜面の危険性を客観的な情報で知らせる土砂災害発生予測支援システムの開発が望まれているため、これらのメカニズムを把握することは重要である。これらのメカニズムを把握するため、単純化した模型斜面を用いた降雨実験をおこなった。本稿では、湿潤線降下に伴う斜面の変形挙動について着目し、繰返し降雨履歴を与えた実験に基づいた基礎的な検討をした。

2. 実験概要

図-1 は当研究所が所有する模型斜面の概要図を示している。模型斜面の形状は、斜面長 6.0m、幅 1.5m、深さ 0.55m、斜面傾斜角 30° の傾斜部と、長さ 3.0m、幅 1.5m、深さ 0.5m の平坦部である。また、この斜面は底面、側面は鋼製で、片側面は斜面変形が観察できるガラス製であり、斜面下端には排水のできる仕切り板を設置した。試験試料はまさ土（茨城県笠間産）を用いており、物理特性を表-1 に示している。模型斜面の作成方法は、乾燥密度 $\rho_d=1.6g/cm^3$ となるように層厚 20 cm 毎に湿潤密度 ρ_{sat} 、含水比 ω を確認しながら、人力による締め固めで作成した。また、計測機器の設置は、上記作業と同時におこなった。

この実験での計測は、表-2 に示す計測機器を図-1 に示す位置に設置した。

この実験における降雨条件は同一模型斜面に約 40 日間の自然の降雨履歴を与えた実験の後、計 10 回の人工降雨履歴を与えた実験をおこなった(表-1 参照)。

3. 実験結果

本稿では、自然降雨後の繰返し人工降雨実験における斜面中腹部の模型地盤内の浸透挙動、変形挙動を把握するため、体積含水率 θ 、圧縮ひずみ ϵ 、せん断ひずみ τ に着目した。そのため、体積含水率 θ は FDR 式土壤水分計 (SW04~08)、斜面内部の圧縮ひずみ ϵ は斜面内に設置した鉛直変位計²⁾ (VD01~05)、せん断ひずみ τ は 6 連結式傾斜計 (IC01~06) より得た計測結果を分析した。

図-2 は、斜面中腹部に設置した設置深度の異なる土壤水分計 (SW04-08) より得られた体積含水率の経時変化を示している。

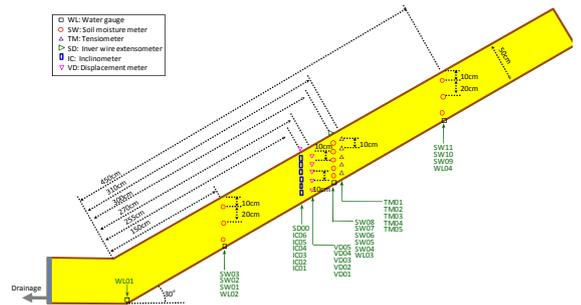


図-1 模型実験の概要図

表-1 試験条件

試験試料	期間	備考
まさ土 (茨城県笠間産) $D_{10}=0.3mm$ $D_{50}=1.2mm$ $\rho_d=2.643g/cm^3$ $K_{15}=5.0 \times 10^{-3} cm/s$ $w_0=7.1\%$ $\rho_s=1.601g/cm^3$	自然降雨期間NR 2010/6/21,15時~ 7/29,10時10分	模型斜面に自然降雨を与えた期間
	防護期間(7/29,10時10分~9/10,13時17分)	防護シートを設置し、降雨影響はない。
	人工降雨期間AR 2010/9/10,13時17分~ 10/18,16時55分	人工降雨:計10回 降雨履歴01~09: (時間降雨量30mm/h,2時間:計9回) 降雨履歴10 (時間降雨量50mm/h,変形が生じるまで散水した.:計1回)

表-2 計測機器

計測機器	記号	設置力所	設置場所
水圧式水位計	WL01~04	4力所	土槽底面上
テンシオメータ	TM01~05	5力所	5深度(10cm毎)(斜面下から約3.0m)
伸縮計	SD01	1力所	斜面上(斜面下から約3.0m)
地表面変位計	VD00	1力所	斜面上(斜面下から約3.0m)
鉛直変位計	VD01~05	5力所	5深度(10cm毎)(斜面下から約3.0m)
連結式傾斜計	IC01~06	6連	盛土内(9.2cm毎)(斜面下から約3.0m)
土壌水分計	SW01~11	11力所	上段3深度(地表面から10cm,30cm,50cm) 中段5深度(10cm毎)(斜面下から約3.0m) 下段3深度(地表面から10cm,30cm,50cm)
雨量計	RG01	1力所	土槽脇

注)計測期間中、停電などの影響で、欠測機器や欠測期間がある。

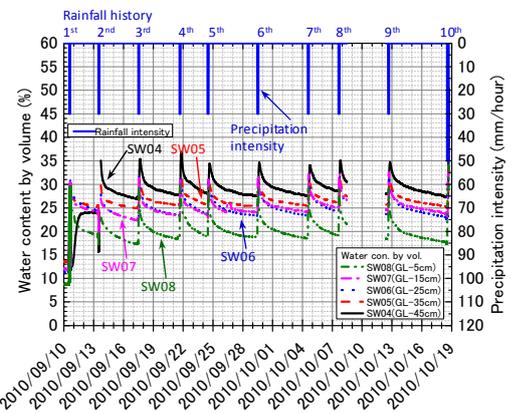


図-2 体積含水率の経時変化と降雨履歴

同図より、降雨を与えることに応じて、体積含水率が上昇し、降雨が終わると体積含水率は減少することが明瞭である。また、降雨開始時の初期体積含水率 θ_{ini} に着目すると、この θ_{ini} がほぼ同様な値を示しており、降雨履歴 1 を除いて、斜面内の初期水分状態がほぼ同様な条件下で実験を行えたことがわかる。

結果の一例として、図-3は、降雨履歴 04 における体積含水率、圧縮ひずみ、せん断ひずみ θ , ϵ , τ の経時変化を示している。同図には計測結果を 10cm 毎の計測深度域に分類し、また、これらの平均値 ϵ_{ave} , τ_{ave} を同図に示している。図-3(a)は体積含水率 θ の経時変化を示しているが、表層 (GL.0~10cm) では、体積含水率 θ が降雨の散水開始より上昇が始まり、散水が終わるとともに減少している。また、深度が深くなるほど、 θ の急激な上昇、下降する時刻が遅くなることより、湿潤線が降下する過程が推察できる。そこで、この急激に θ が上昇した時点に湿潤線が到達した時刻と仮定し、同図に穴ぬき記号で示している。この到達した時刻に着目すると、隣接する点との時刻差はほぼ同様なため、湿潤線の降下速度 (浸透速度) は同様な値となることから、模型斜面が均質な層であることがわかる。

次に、図-3 (b), (c) は、圧縮ひずみ、せん断ひずみ ϵ , τ の経時変化を示している。同図より、土槽底面付近 (GL.30~50 cm) の変化は小さいが、表層付近 (GL.0~30 cm) では降雨開始からの ϵ , τ は増加しており、降雨後の排水過程においても変形が進行していることがわかる。

ここで、湿潤線の降下に伴う変形挙動を把握するため、前述した湿潤線が当該深度に到達した時点と下方の隣接深度で θ が上昇した時点 (同図に塗り潰し記号で示している) での差を、体積含水率、圧縮ひずみ、せん断ひずみの変化量 $\delta\theta$, $\delta\epsilon$, $\delta\tau$ として整理した (図-3 参照)。

図-4 は、同条件でおこなった降雨履歴 02~09 の結果より、上記の体積含水率、圧縮ひずみ、せん断ひずみの変化量を示している。なお、圧縮ひずみ、せん断ひずみの最小精度は、それぞれ 10^{-4} である。同図よりばらつきが見られるが、体積含水率の変化量 $\delta\theta$ が増加するほど、圧縮ひずみ、せん断ひずみの変化量 $\delta\epsilon$, $\delta\tau$ は増加する傾向が見える。これより、湿潤線低下に伴う吸水過程中の不飽和状態でも変形が進行することがわかった。

4. まとめ

繰り返し降雨履歴を与えた模型実験より、湿潤線降下に伴う変形挙動に着目した結果、湿潤線低下に伴う吸水過程中の不飽和状態でも、斜面変形が進行することがわかった。その変形挙動は、体積含水率の変化量が増加するほど、圧縮ひずみ、せん断ひずみの変化量も増加する傾向がわかった。

[参考文献]

- (1) 笹原克夫, 海老原和重, 綱木亮介: 急勾配斜面の発生機構に関する実験的研究, 地すべり, Vol.32, No.4, pp.1-8.
- (2) 笹原 克夫, 山口純平, 酒井直樹, 植竹政輝: 降雨浸透に伴う砂質斜面の吸水・排水過程における圧縮・せん断変形, 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.1, pp.129-140, 2011.

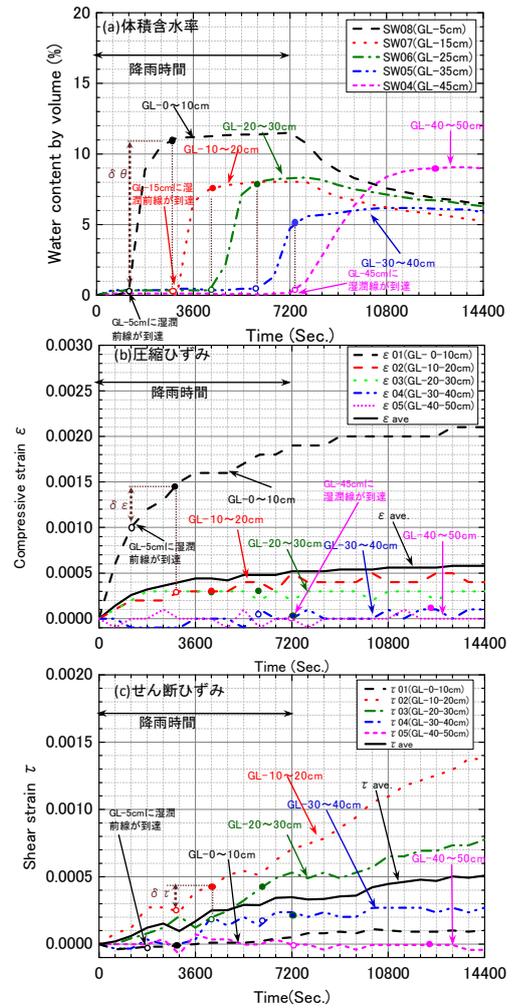


図-3 体積含水率、圧縮ひずみ、せん断ひずみの経時変化

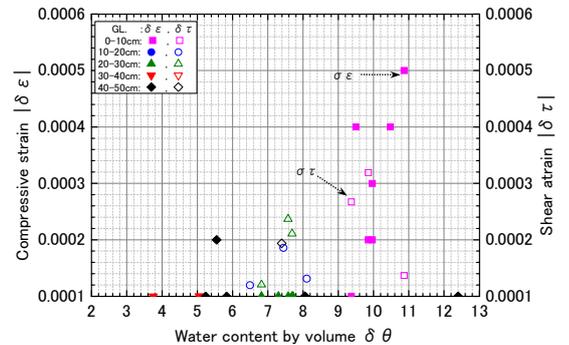


図-4 体積含水率と圧縮ひずみおよびせん断ひずみの変化量