

呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫
呉工業高等専門学校専攻科 学生会員 〇上本 雄也
佐藤建設工業株式会社 非会員 小野 佳苗

1. はじめに

中国・近畿地方には、まさ土（風化花崗岩）が広く分布している．まさ土は降雨時の強度低下が著しいため、まさ土斜面が特に多く存在する広島県では斜面崩壊などの土砂災害が多く発生してきた．斜面崩壊の発生要因としては、

- 1) 雨水浸透により飽和度が上昇し、サクションが低下することによって強度が低下して崩壊が発生するもの
- 2) 雨水浸透により湿潤面が形成され、間隙水圧が上昇することによって強度が低下して崩壊が発生するものが考えられている¹⁾．以上より、斜面災害の被害を軽減させることにおいて、降雨時の飽和度と間隙水圧の変化を適切に予測することが重要であると言える．また、飽和度と間隙水圧の変化は、地盤の浸透特性や降雨強度などに影響される．そこで、本研究では降雨浸透実験装置を作成し、降水量、土中の水圧、土中水分量を調査し、地盤の浸透特性を調べた．また、本研究は将来的に現地でのモニタリングを視野に入れており、今回はその基礎研究として室内で模型実験を行ったものである．

2. 実験概要

2.1 試料概要

本研究では、宇部珪砂 6 号と呉市大入地区で採取したまさ土を用いて実験を行った．まさ土については 4.75mm のふるいを通過したものを使用した．試料の平均的な物性値は宇部珪砂が粒径 0.6 ～ 0.07mm, $G_s=2.600$ であり、まさ土は、平均粒径 0.2mm, $G_s=2.602$ である．

2.2 実験装置概要

図 1 に降雨浸透実験装置の概略図を示した．模型地盤はアクリル製の円筒で内径 $\phi=260\text{mm}$ 、高さ $h=270\text{mm}$ のものが 3 個、内径 $\phi=260\text{mm}$ 、高さ $h=260\text{mm}$ （最上部）のものが 1 個の計 4 個の円筒が連結されており、模型地盤の最終的な高さは 1090mm である．底面には $\phi 14\text{mm}$ の孔が 9 個あり排水コックで排水が調節できるようになっている．模型地盤内には、土中の水圧、土壌水分を測定するため、深度の異なる 4 箇所（地表面から深度 25cm, 50cm, 75cm, 100cm）にテンシオメーター、土壌水分計を 1 セットとして埋設した．降雨発生装置は、円筒容器の中心で上端から 78cm 上方に噴霧器用一口ノズルが取り付けられている．ノズルと水の供給源である水道の間に流量計が設置され 10mm/h ～ 100mm/h の間で降雨量の制御が可能である．

2.3 設置方法

計 4 回に分けて試料投入、計測器埋設を行う．試料詰めを行いながら所定の埋設深度に計測器を埋設していく．1 槽完成するごとに次の円筒を連結させ、試料投入、計測器埋設を繰り返す．図 1 に計測器の埋設終了後の土槽内状況を示した．図 1 には 2 箇所（深

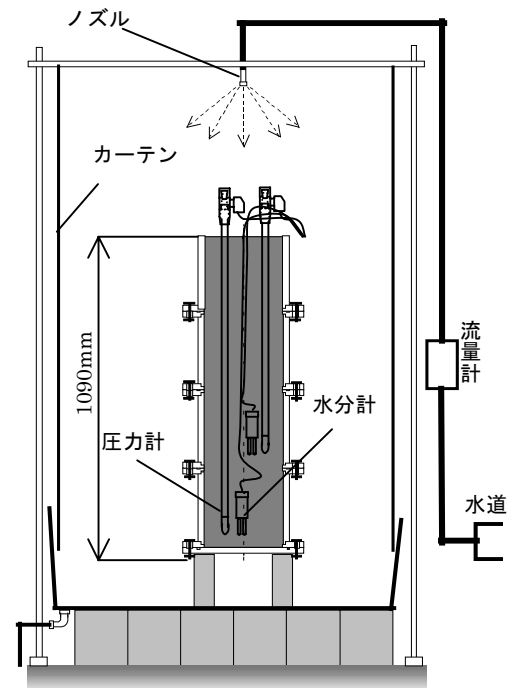


図 1 降雨浸透実験装置

表 1 試験条件一覧

		実験日(月/日)					
		9/3	9/5	9/16	9/18	10/1	10/3
試験条件	試料種類	○	○	○	○	○	○
	降雨強度(mm/h)	10	10	20	20	10	10
	降雨時間(時間)	10	10	5	5	10	10
	底面排水	△	△	△	△	▲	▲
珪砂:○ まさ土:● 排水あり:△ 排水なし:▲		11/26	11/28	1/20	1/22	2/5	2/7
		○	○	●	●	●	●
		20	20	10	10	20	20
		5	5	10	10	5	5
		▲	▲	△	△	△	△

度 100cm, 75cm) のみの埋設例を示したが, 実際には図の例と同じように深度 50cm, 25cm にも埋設した.

2.4 実験条件

実験日ごとの実験条件 (降雨強度, 降雨時間, 底面排水, 試料の種類) を表 1 に示した. 9 月 3 日から 1 月 19 日は珪砂を用いた予備実験である. また, 珪砂の試料詰めを行った時点での物理量は, $w=0\%$, $\rho_t=\rho_d=1.361\text{g/cm}^3$, $e=0.911$ である. 1 月 20 日からまさ土を用いて本実験を行った. 試料詰めを行った時点での物理量は, $w=17.90\%$, $\rho_t=1.552\text{g/cm}^3$, $\rho_d=1.317\text{g/cm}^3$, $e=0.976$ である.

3. 結果及び考察

3.1 浸透実験結果 (珪砂)

図 2 に 9 月 3 日実験における飽和度および負圧の時間経過による変化を示す. 飽和度, 負圧ともに測定深度 75cm 以深は, 降雨開始 34 日前の先行降雨 (降雨強度 10mm/h, 降雨時間 92 時間) の影響で初期値が高く, 大きな変化は見られない. 次に, 変化の大きな深度 25cm のデータに注目する. 降雨開始から約 50 分後に飽和度が上昇を始め, 一定の時間均衡を保った後, 150 分後からさらに上昇し 2 段階の変化が見られる. このような 2 段階の変化は負圧でも確認できた. 第 1 段階の変化は降雨の浸透により飽和度が上昇し, それに伴い負圧が低下したものだと考えられる. 第 2 段階の変化は雨水が模型地盤底部に到達し模型地盤底部から飽和度が上昇することで, 負圧が急激に低下しているものと考えられる. したがって, 降雨による浸透のみでは飽和度は完全に上昇せず, 負圧は完全に低下しないと言える.

3.2 降雨強度, 底面排水の影響 (珪砂)

図 3 に 9 月 16 日実験における飽和度および負圧の時間経過による変化を示す. 深度 25cm 以深では先行降雨の影響で飽和度の初期値が高く大きな変化は見られなかったが, 負圧は大きく変化した. 深度 25cm では, 飽和度と負圧ともに降雨強度 10mm/h の実験 (図 1) より変化を始める時間が早く降雨強度が強いほど浸透速度が速くなることから分かる. 以上より, 雨水の浸透速度は, 地盤条件だけでなく降雨強度にも依存し, 降雨強度が強くなると浸透速度が速くなり負圧がほぼ完全に低下するまでの時間も短いことが分かる.

図 4 に 10 月 1 日の実験 (非排水) における飽和度および負圧の時間経過による変化を示す. 排水条件の図 2 と比較すると飽和度においては, 上昇を始める時間が早

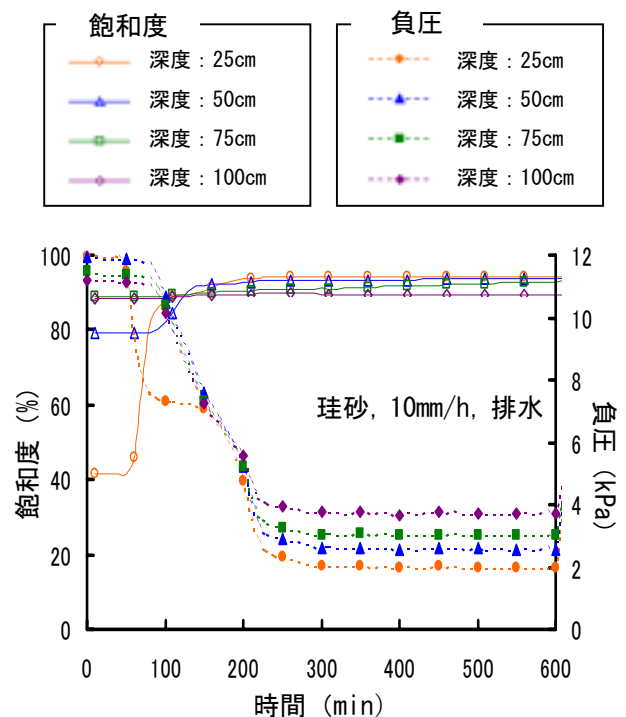


図 2 飽和度・負圧-時間関係

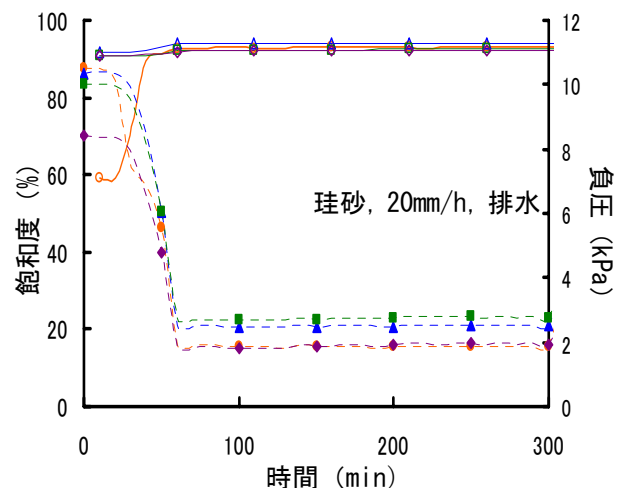


図 3 飽和度・負圧-時間関係

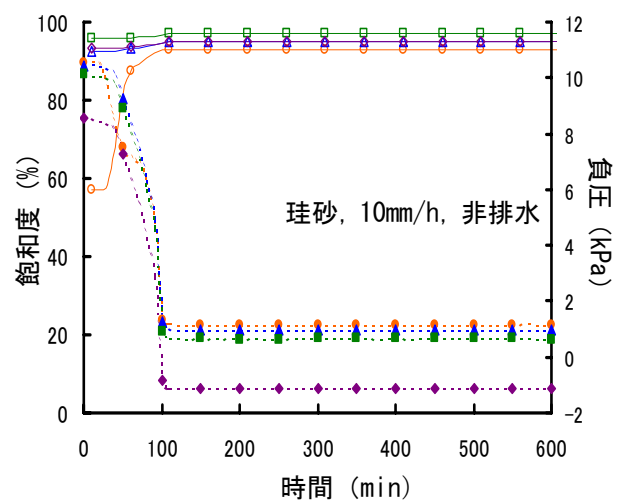


図 4 飽和度・負圧-時間関係

く、飽和度が上昇し変化が無くなったときの値は非排水条件である図 4 の方が高いことが分かる。これより、底面の排水条件の有無は飽和度の値に影響していると言える。負圧においては、深度 100cm では降雨開始から 100 分後にはサクションが 0 になり正の間隙水圧が発生している。その他の深度でも負圧は 0~1kPa の間まで低下しほぼゼロになる。それに対して、排水条件の図 2 では負圧が 2~4kPa の間を保っている。以上のことより、底面排水の有無は飽和度と負圧の値に影響することがわかる。

3.3 浸透実験結果（まさ土）

図 5 に 10 月 1 日の実験における飽和度および負圧の時間経過による変化を示す。図より、飽和度の変化は珪砂と比べ緩やかに変化していることが分かる。値が大きく変化している深度 25cm のデータに注目すると、最終的に飽和度は最も低いにも関わらず、負圧は最も低い値を示した。以上より、飽和度の低いところでの負圧の変化は大きい、飽和度と負圧の関係は一對一でないことが分かった。この原因は、今回の実験で説明することが出来なかったため、今後この原因を説明する必要がある。

3.4 降雨強度の影響（まさ土）

図 6 に 2 月 5 日の実験（降雨強度 20mm/h）における飽和度および負圧の時間経過による変化を示す。降雨強度が弱い 3.3 の実験に比べてある一定の飽和度まで上昇する時間が早いことが分かる。これより、まさ土において雨水の浸透速度は、降雨強度にも依存し、降雨強度が強くなると浸透速度が速くなると言える。

3.5 浸透速度の影響因子

図 7 に降雨開始から飽和度に変化が見られるまでの時間（以下に変化開始時間）とそのときの飽和度の関係を示す。図より、珪砂では飽和度が低いほど変化開始時間が長い。すなわち、飽和度が高いほど浸透速度が速くなると言える。一方、まさ土では飽和度が変化開始時間に与える影響は少ない。

図 8 に飽和度の変化開始時間とそのときの負圧の関係を示す。珪砂では、負圧が低いほど変化開始時間が短い。すなわち、負圧が低いほど浸透速度が速くなると言える。一方、まさ土では負圧が高いほど変化開始時間が短い傾向がある。すなわち、負圧が高いほど浸透速度が速くなる傾向があると言える。以上より、珪砂では飽和度（透水性）、まさ土では負圧（吸引力）が雨水の浸透速度に影響を与える因子として考えられる。このように浸透速度が異なる因子は試料によって異なると言える。

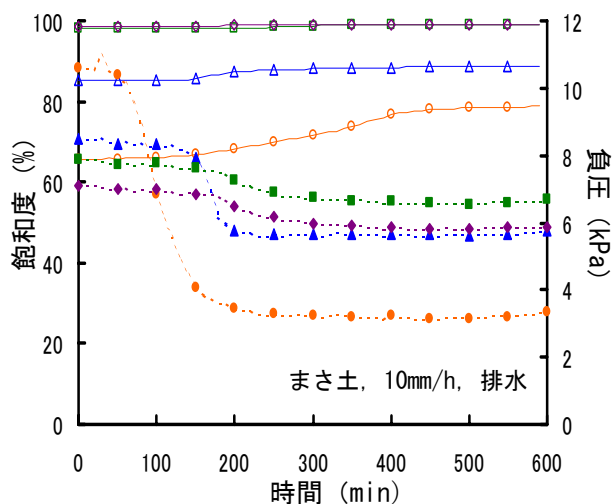


図 5 飽和度・負圧-時間関係

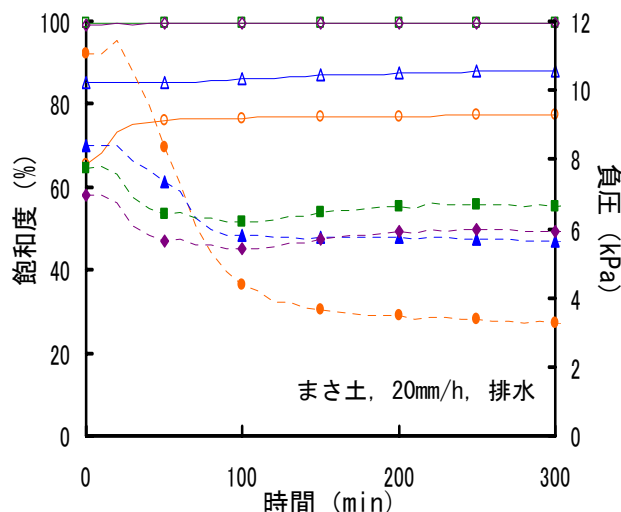


図 6 飽和度・負圧-時間関係

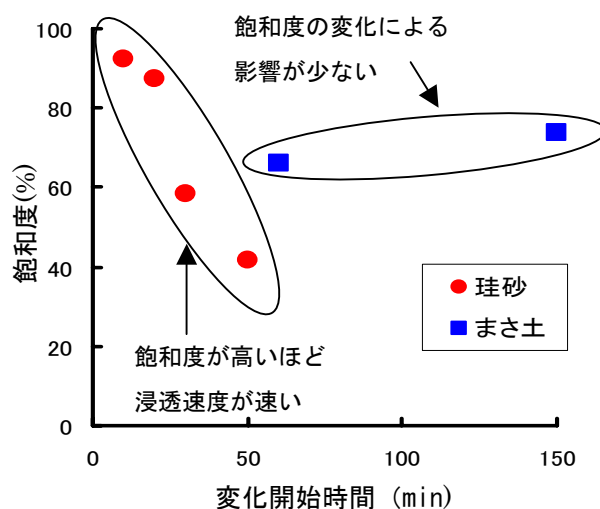


図 7 変化開始時間-飽和度関係図

3.6 水分特性曲線

図 9 に珪砂の実験で得られた代表的な水分特性曲線を示す。図より吸水過程では、水分量の上昇に伴い負圧が低下し、体積含水率約 43%を過ぎた辺りから急激に負圧が減少している。また、脱水過程は、吸水過程とほぼ同じ経路であった。すなわち、珪砂では吸水過程と脱水過程で、ある負圧に対する土の保持する水の量は、ほぼ同じであるということである。今回の実験で得た水分特性曲線に従来いわれているようなヒステリシスは見られなかった。これは、珪砂のような粒径が比較的大きく透水性の良い土ではインクボトル効果（間隙と毛管現象による効果）²⁾の影響が少ないためだと考えられる。

図 10 にまさ土の実験で得られた代表的な水分特性曲線を示す。図より吸水過程では水分量の上昇に伴い負圧が低下し、脱水過程では水分特性曲線が吸水過程より外側にある。すなわち、ある負圧に対する土の保持する水の量は、脱水過程のほうが多いということである。これは、まさ土の細粒分によりインクボトル効果が現れ、水分特性曲線に従来言われているようなヒステリシスが現れたためである。

4. 結論

- 1) 珪砂では、飽和度、負圧ともに 2 段階の変化が認められる。すなわち、降雨浸透のみでは飽和度は完全には上昇せず、負圧も完全に低下しない。その後、底部からの飽和度上昇により負圧が完全に低下する。
- 2) 雨水の浸透速度は、試料の種類にだけでなく、降雨強度にも依存し、降雨強度が強いほど浸透速度は速くなる。
- 3) 底面排水の有無は飽和度と負圧の値に影響し、非排水条件のほうが飽和度の値は高く、負圧は低くなる。
- 4) 珪砂の水分特性曲線では、ヒステリシスが見られないことに対し、まさ土では従来言われているようなヒステリシス現象が見られた。

【参考文献】

- 1) まさ土地帯の風化及び降雨浸透特性と斜面災害に関する研究委員会：まさ土地帯の風化及び降雨浸透特性と斜面災害に関する研究報告書、(社)地盤工学会, p.17, 2003.
- 2) Thi Ha：まさ土斜面におけるサクシオンおよび土壌水分量の降雨時変動に関する研究、広島大学 大学院工学研究科, 修士論文, pp.118-130, 2002.

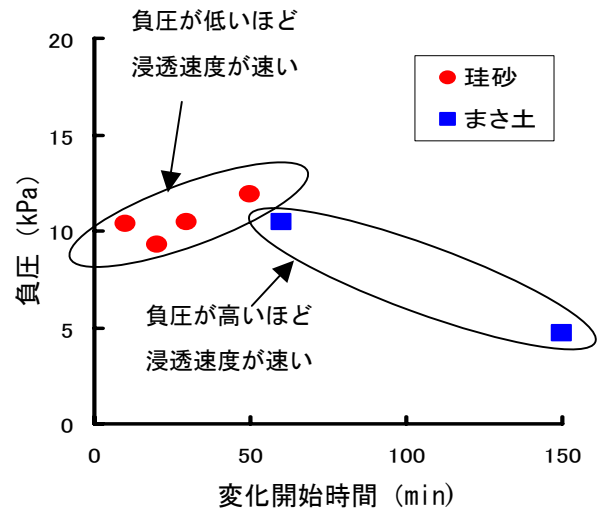


図 8 変化開始時間-負圧関係図

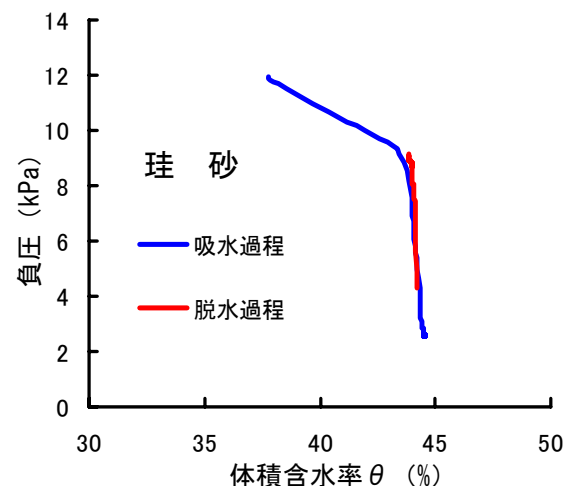


図 9 水分特性曲線（珪砂）

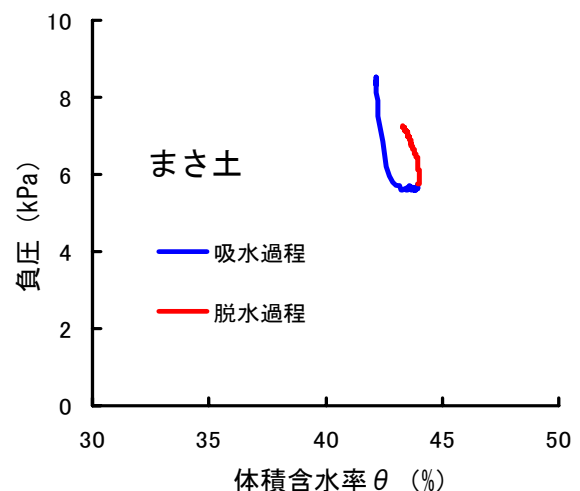


図 10 水分特性曲線（まさ土）