

模型実験に基づく植生による降雨浸透挙動の制御機構

新潟大学大学院 非会員 ○藤野 隼輔
新潟大学 正会員 金澤 伸一
正会員 大塚 悟
非会員 鈴木 聡恵

1. はじめに

近年、土砂災害対策の強化が求められる中で、低コストで環境負荷の少ない施工手法として、植物を活用した斜面安定化技術である植生工が注目を集めている。この手法は、斜面崩壊や表面侵食を防止することを目的に、生物的要素（植物）と力学的要素（土構造物）を組み合わせるものである。生物的要素としては、植物の成長に伴う土壌形成効果に加え、根による吸水・蒸散作用があり、この生命活動が地盤の水分状態に影響を及ぼす。一方、力学的要素としては、根系による土の補強効果や、地表被覆による雨滴衝撃の緩和などが挙げられる。また、コンクリート使用を抑えた自然共生型防災技術として、植生工の重要性は今後さらに高まると考えられる。しかしながら、根系の複雑な形状や成長に伴う分布の変化、植物種による根系発達パターンの違い、根系分布や補強効果の直接的な測定の困難性など、植生工の性能評価には多くの不確定要因が存在する。そのため、植生工の適用範囲や限界を明確化し、合理的な設計・維持管理を行うための客観的・定量的評価手法は未だ十分に確立されていない。

そこで本研究では、植生工の有無が斜面内の降雨浸透挙動に与える影響を明らかにすることを目的とする。具体的には、植生工の効果を評価するための指標を設定し、それらを計測するための模型実験を実施して、降雨時における植生の水理的機能の定量的評価を試みる。

2. 研究方法

まず、植生工の効果を評価するための指標として、

表 1 植生工の評価指標

指標	概要
1	根系からの吸水
2	根系の地盤固定
3	葉の降雨浸透抑制

表 1 に示す 3 項目を設定する。このうち、指標 1 については既往研究により計測¹⁾および数理モデル化²⁾が行われているが、指標 2 および指標 3 に関しては、計測ならびに数理モデル化の検討が十分に進んでいない。そこで本研究では、植生工を模擬した模型斜面（以下、植生工斜面）と、植生工を施さない裸地斜面を構築し、模型実験によりこれらの指標に関わるデータを収集する。

指標 2 に関して、根系の地盤固定によるせん断抵抗力の増加は、有効応力の増加とみなすことができる。ここで不飽和土の有効応力式を式(1)に示す。

$$\sigma' = \sigma^N + p_s \mathbf{1} \quad (1)$$

$$p_s = s S_e \quad (2)$$

ここで、 σ' :有効応力、 σ^N :ネット応力、 p_s :サクシオン応力、 $\mathbf{1}$: 2 階の単位テンソル、 s :サクシオン、 S_e :有効飽和度、 S_r :飽和度である。

したがって、式(1)をもとにネット応力が時間変化しないと仮定した場合の有効応力の変化量を考えると、式(3)に示されるように、サクシオンの変化量と有効飽和度の変化量の積で表される。

$$\Delta \sigma' = \Delta s \Delta S_e \quad (3)$$

$$\Delta s = s_v - s_b, \quad \Delta S_e = S_{eb} - S_{ev} \quad (4)$$

ここで、 $\Delta \sigma'$:有効応力の変化量、 Δs :サクシオンの変化量、 ΔS_e :有効飽和度の変化量、 s_v :植生工斜面のサクシオン、 s_b :裸地斜面のサクシオン、 S_{eb} :裸地斜面の有効飽和度、 S_{ev} :植生工斜面の有効飽和度である。

すなわち、サクシオンの変化量と有効飽和度の変化量がわかれば有効応力の変化量を算出することができる。そのため、本実験から裸地斜面に対する植生工斜面の飽和度の変化割合を求めることとした。

指標 3 については、地盤内に浸透せずに斜面を流れ下った降雨（以下、表流水）の量を計測することで、植生工斜面の降雨浸透の低減割合を求める。

3. 実験条件

図1に実験装置を示す. 実験は, 降雨強度 30mm/h の Case 1 と 100mm/h の Case 2 の2パターンの降雨条件とし, 異なる降雨強度での裸地斜面と植生工斜面の降雨浸透挙動の比較を行う.

実験中は, 土壌水分計 (EC-5) による飽和度の計測と, 流出孔から土槽外部の容器に流れる表流水の計測を行う. また, 土質材料には淡路島産真砂土を用い, 植生工材料には高麗芝 (国分グリーンファーム社製) を用いる. 斜面構築時における, 斜面の各種物性値のおおよその値は, 含水比 $w=10\%$, 乾燥密度 $\rho_d=1.5\text{g/cm}^3$, 飽和度 $S_r=35\%$ である.

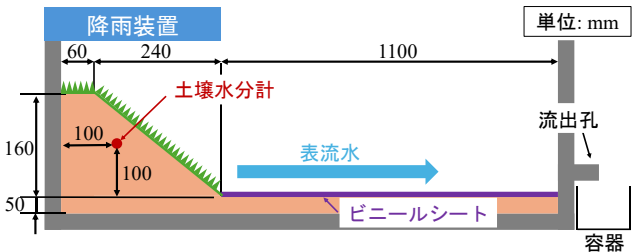


図1 実験装置図 (植生工斜面)

4. 実験結果および考察

図2, 3に飽和度計測から得られた相対飽和度の経時変化を, 表2に Case 1 および Case 2 の表流水計測の結果を示す. ここでは, 裸地斜面に対する植生工斜面の飽和度の変化割合を, 式(5)に示す相対飽和度によって定義する.

$$S_r' = \frac{S_{rv}}{S_{rb}} \tag{5}$$

ここで, S_r' :相対飽和度(%), S_{rv} :植生工斜面の飽和度(%), S_{rb} :裸地斜面の飽和度(%)である. この値が小さいほど, 植生工斜面の含水量が少ないことを意味し, Case 1 では 72.5%, Case 2 では 78.0%と, おおよそ同じ値となった. つまり, 降雨強度による差はほとんどないことがうかがえる結果となった.

また表2から両ケースにおいて, 斜面に植生工が施されることにより, 降雨の浸透が低減されることが確認できた. さらに, 低減割合を式(6)に示す式によって定義する.

$$R = \frac{V_1}{V_2} \times 100 \tag{6}$$

ここで, R : 降雨浸透低減率(%), V_1 :表流量(L), V_2 :降雨量(L)である. この式に基づいて降雨浸透低

減率を算出したところ, Case 1 では 19.3%, Case 2 では 49.3%となり, 浸透抑制の観点については, 降雨量が多い方が植生工の遮水効果も大きくなることが確認できた.

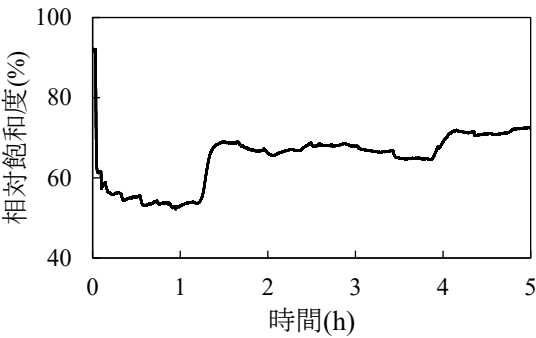


図2 Case 1での相対飽和度の経時変化

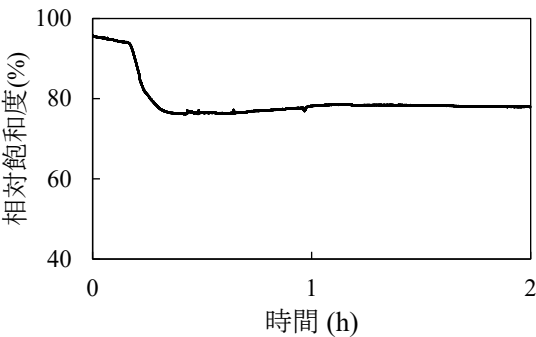


図3 Case 2での相対飽和度の経時変化

表2 表流水計測結果		
	Case 1	Case 2
表流量 (L)	2.3	13.8
降雨量(L)	11.9	28.0

5. まとめ

本研究では, 2種類の降雨強度を設定して浸透挙動の制御機構の解明を試みた. その結果, 降雨強度の違いによる飽和度変化の差は小さいものの, 降雨強度が大きい場合には浸透抑制効果がより顕著に現れることが確認された. 今後は実規模の屋外実験を実施し, さらなる詳細な知見の獲得を目指す.

参考文献

1)東博紀, 岡太郎: 植物の成長と茎内流量を考慮した蒸発散特性と土壌水分流動に関する研究, 水工学論文集, Vol. 46, pp. 55-60, 2002. 2
2)河井克之, 飯塚敦, 霜永勝之, 橘伸也: 植生の吸水作用が地盤に及ぼす効果, 応用力学論文集, Vol. 10, pp. 375-381, 2007. 8