

18 植生による土壌乾燥と安定解析に関する試算

JR 東日本 ○外狩麻子
 鉄道総研 杉山友康 村石尚

1. はじめに

のり面植生工の目的は、表層土の浸食防止であると設計上認識されており、その経済性と施工性の利点からのり面改良の工種として植生工を採用されることが多い。こののり面植生工の降雨に対する耐性(すなわち、耐雨性)には、主に、(a)のり面表面流による浸食を防止する、(b)植生の根系が土粒子を拘束する、(c)のり面上の植被によって雨水が遮断される、(d)植生の蒸発散によって、土中水が消失し土壌が乾燥する、が挙げられる¹⁾。このうち、(b)²⁾(c)³⁾及び(d)⁴⁾についてはそれぞれ植生を用いた崩壊実験及び散水実験を実施し報告している。

これら散水実験及びその後の屋外観測で得た雨水遮断:(c)と土壌乾燥:(d)の効果と考えられる土中水分の変動に関するデータを基に、土中水分分布状態を垂直方向に試算を行った。この試算によって算出した1次元分布を盛土モデル断面という2次元に拡張し、湿潤状態と土のせん断強さの関係を設定して、斜面安定解析の実施を試みた。ここでは、上記(b)及び(c)の植生の効果による耐雨性を、安定解析を経て安全率という数値での表現を試みている。

表 1. 散水実験ケースの主な概要

case	パターン (植生の有無/種類)	実験前の設定と その状況	初期水分分布状態での圧力水頭値	
			上部: 15cm 深	下部: 35cm 深
32	32-c2: 裸地	無	-141.4cmH ₂ O	-109.7cmH ₂ O
	32-c3: K31F	無	-162.7cmH ₂ O	-163.8cmH ₂ O
33	33-c1: YHG	12時間前に 52.8mmの散水	-78.4cmH ₂ O	-384.2cmH ₂ O
34	34-c1: YHG	無	-883.0cmH ₂ O	-431.8cmH ₂ O
35	35-c4: YHG+K31F	無	-185.8cmH ₂ O	-137.3cmH ₂ O
36	36-c1: YHG	内部水位の上昇	-752.6cmH ₂ O	-89.8cmH ₂ O

2. 散水実験及び観測概要

小型土槽(50cm×50cm×60cm 深)4基のうち3基の地表面に、ヤマハギ:YHG 及びカタッキ-317エス:K31F を播種・育成し、散水実験を実施した。散水強度及び散水量の実績は各ケースによって

若干異なるが、約30mm/hで7時間程度であった。各ケースの地表面の状態(植生の有無、植生の種類等)及び、設定条件や初期水分分布状態を表1に示す。また、散水実験後屋外に移動し、新たな雨水の侵入を許さずに約15日間引き続き測定を継続している。

3. 土中水分分布の算定

実験結果として得られた圧力水頭値を水分量に換算する必要があり、ここでは水分量として体積含水率に注目し、土壌水分特性($\theta \sim \psi$ 特性)の近似式を用いる。予め実験に使用した土試料について pF 試験を実施し、Brook & Corey 提案式;

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left\{ \frac{\psi_{cr}}{\psi} \right\}^\lambda + \theta_r \quad (1)$$

を適用する。ここで、 θ :体積含水率、 θ_s :飽和体積含水率、 θ_r :最小体積含水率、 ψ :圧力水頭(cm)、 ψ_{cr} :限界吸引圧力水頭(cm)、 λ :パラメータ(曲率係数)である。設定したパラメータを表2に示す。

測定によって得られた時系列のデータからキータイムとなる時間をピックアップし、土中水分の算定を行う。キータイムを散水開始時刻,停止時,散水開始から3,6,10,15日経過時とし、表2のパラメータを

表 2. パラメータ

飽和体積含水率: θ_s	0.577
最小体積含水率: θ_r	0.1434
限界吸引圧力水頭: ψ_{cr}	-4.642cm
λ wetting	0.62
λ drying	0.42

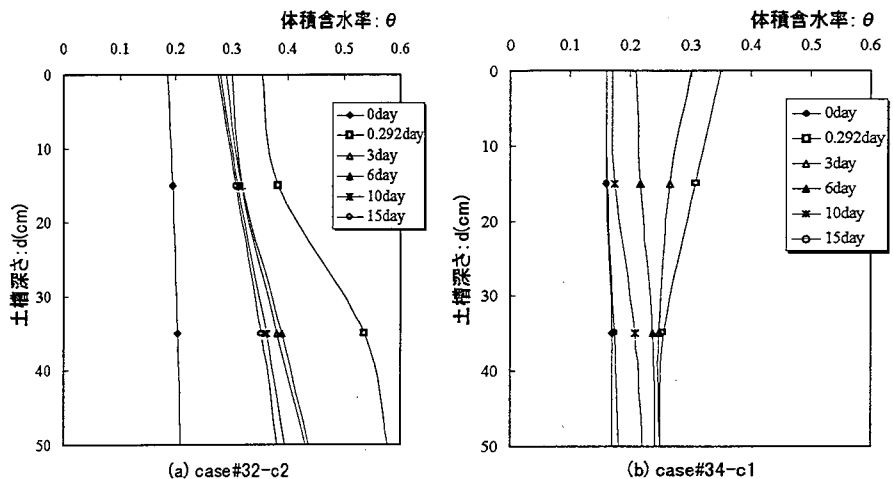


図 1. 土中水分分布

測定によって得られた時系列のデータからキータイムとなる時間をピックアップし、土中水分の算定を行う。キータイムを散水開始時刻,停止時,散水開始から3,6,10,15日経過時とし、表2のパラメータを

導入した式(1)より、土中水分の深さ方向(1次元)分布が得られる。結果の一部を図1に示す。

4. 安定解析

散水実験に使用した土試料については、各小型土槽への締固め時に採取したサンプルを用いて密度試験及び、三軸試験を実施している。図1に示すような土中水分分布が算出されると、その体積含水率より深さごとに土の単位体積重量が算出される。土のせん断強度については、内部摩擦角: ϕ を含水量に関わらず一定とみなし、CD試験結果を採用して $\phi=32.3^\circ$ に設定する。粘着力: c については、通常、土の湿潤状態の範囲においては土中水が増加するとその粘着力は低下する傾向が確認されているため、CD試験(飽和状態)での $c=0.0$ を採用して、図2のように設定する。

図1に示すような土中水分分布を2次元盛土モデルに拡張するが、これは、“散水実験で取り扱った小型土槽という単位の要素が盛土地表面付近に連続して存在している”という仮定に相当する。各ケースの各キータムにおいて、土中水分分布を拡張反映させた盛土モデルを構築し、極限平衡法の簡易ヤンプ法により斜面安定解析を実施した。

5. 植生の効果による安全率の推移

表1に記したように、ケースによって初期の水分分布状態は異なっているため、算出された安全率を初期状態($t=0$)での安全率を基準とした相対安全率: $RF_s = F_s(t)/F_s(0)$ に変換する。各ケースでの相対安全率の算出結果を図3に示す。散水によって低下した安全性は、散水停止と共に順次回復の傾向を示す。いずれの植生のケースも、裸地のケース(case #32-c2)よりも明らかに良好な回復傾向を示している。初期条件の影響もあるが、植生による雨水(散水)遮断及び蒸発散による土壌乾燥の効果が現れていると判断される。

屋外での観測でのウエイグ・ライミータ機能を用いたデータより、蒸発(E)及び蒸発散速度(ET)の算出を行った。 E 及び ET と安全率の比較を図4に示す。case#33-c1の10日経過後に ET 速度は低下するが、安全率の数値は引き続き回復していく。すなわち、安全性は土中水の量のみならず、分布状態によっても大いに影響を受けるため、図4に示したような、 E 及び ET の強弱がタイムリーに安全性に影響を及ぼすわけではないことが判る。

6. おわりに

今回取り扱ったデータは基本的な実験に基づくものであり、植生による総合的な耐雨性効果の把握や実務的な数値の決定には、データの蓄積と詳細な検討を未だ必要であると思われる。

[文献] 1) Gray, D., H., and Leiser, A., T.: Biotechnical slope protection and erosion control, van Nostrand Reinhold co., 1982, 2) 外狩ら: 植生工の土中水分に及ぼす影響に関する基礎実験, 平成8年度砂防研究発表概要集, 1996. 3) 外狩ら: のり面植生工の耐雨性に関する実験的検証, 平成9年度砂防研究発表概要集, 1997. 4) 外狩ら: 植生工の water-uptake 効果に関する実験的研究, 第32回地盤工学会研究発表会講演集, 1997. 5) 外狩ら: 盛土モデルによる斜面安定性と雨量指標の解析的検討, 平成10年度砂防研究発表概要集, 1998.

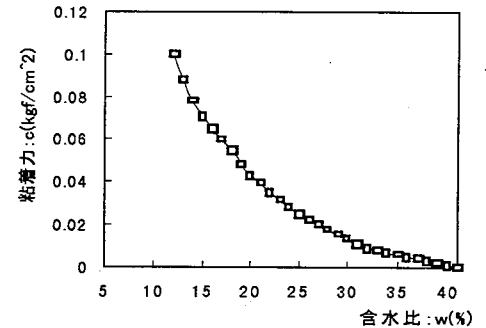


図2 含水比と粘着力の関係

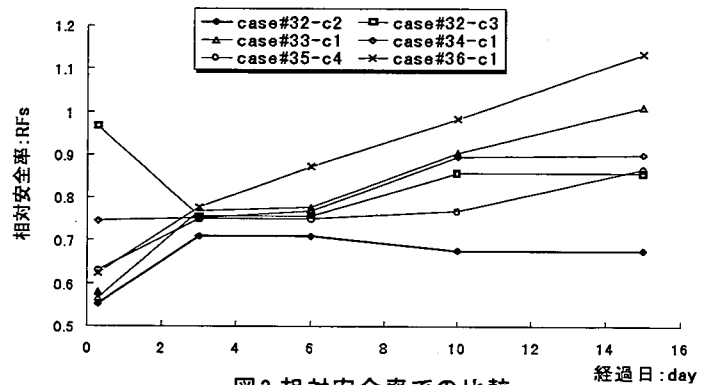
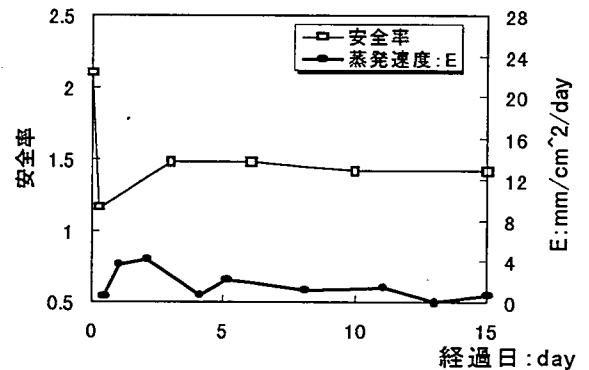
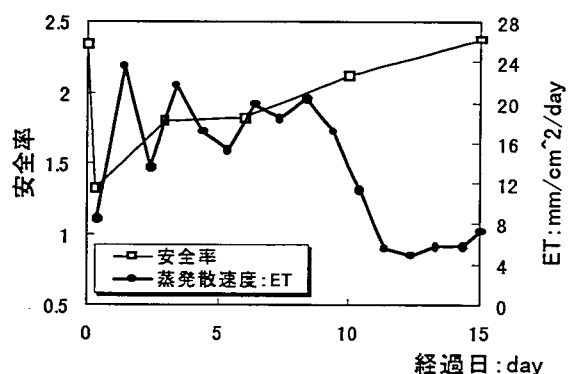


図3 相対安全率での比較



(a) case#32-c2



(b) case#33-c1

図4.安全率と E/ET 速度の推移