

細粒分に着目した粒状素材における吸水性能と水分上昇高さの簡易評価

九州大学大学院 学 河野皓治 学 安藤伸晃

九州大学大学院 正 安福規之 正 大嶺聖 正 小林泰三

(株)九州電力 池田博嗣

1.はじめに

現在地球上の約4分の1の地域が砂漠化に直面しており、毎年約6万km²もの地域で砂漠化が進行していると言われている¹⁾。そのため砂漠化の対策は急務となっているのだが、砂漠化を抑制し植生を回復させるには適度な地盤内水分の確保が必要である。しかし砂漠化地域は降雨量が非常に少なく、別の場所から水分を運ぶのにも莫大な労力とコストが必要となり、簡易で低コスト、かつ環境に低負荷な地盤内水分確保の技術が求められている。

筆者らは砂漠化の対象地帯として想定した中国内陸部で地盤の簡易的な現地調査を行った。その結果、地表面は乾燥状態にあるが、地下水が地下5～10mの位置に存在することが確認されている。そこで地盤工学的な考え方としてこの地下水を利用して地盤内の水分特性を調整できれば、無灌水での植生回復につながるのではないかと考えた。本研究では土中水分調整技術の開発に向け、そのための要素技術として自身の吸水性能により地下水を利用し土中水分量を調整する役割を持つ「サクシンドレーン材」の開発を目指した取り組みを行っている。

2.毛管作用のメカニズム

前述の通り我々の対象とする乾燥地では地下水位が地下5～10mの位置にあるため、この地下水を利用して土中水分量を調整するためにサクシンドレーン材には優れた吸水性能が求められる。ここで吸水の原理である毛管作用について検討する。水を張った水槽に設置した半径 r の細い管の中を水が上昇する場合を考えると、その水の上昇高さ h は $h = 2T/\gamma_w r$ (cm) で表される。ここで T は表面張力、 γ_w は水の単位体積重量である。この式を間隙比 e 、10%粒径 D_{10} の粒状体に適用すると、水の上昇高さ h は近似的に

$$h = \alpha/eD_{10} \text{ (cm)} \quad \alpha=0.1\sim0.5 \quad (1)$$

で与えられる²⁾。つまり素材の間隙が小さいほど毛管作用による水の上昇高さは高くなり、特に粒状体においては粒径の小さい粒子が多くより間隙を小さくするような粒度分布を持つ素材ほど水の上昇高さが高くなるということが言える。このことから細粒分に着目し、粒度の異なる粒状素材を用いた吸水試験により粒状素材の吸水性能を実験的に検討する。

表1 吸水試験条件

3.各種吸水性素材の吸水試験

3.1 試験条件

今回フライアッシュ2種(FA2)、珪砂8号(k-8)、珪砂7号(k-7)という粒度の異なる3種類の粒状素材を用いて吸水試験を行った。各素材は気乾状態のものを用いた。試験条件を表1に、各素材の

素材	パイプ径(cm)	パイプ高さ(cm)	ρ_d (g/cm ³)	e	D_{10} (μ m)	α/eD_{10} の比	均等係数	曲率係数
FA2	10	380	1.22	0.89	1.65	48	7.7	1.5
k-8			1.60	0.68	2.75	37	17.4	1.9
k-7		150	1.50	0.78	89.30	1	2.6	1.2

粒度分布図を図1に示す。試験方法は、透明な塩化ビニールパイプに所定の乾燥密度で各粒状素材を詰めたものを水を張った水槽に設置し吸水させ、吸水高さの経時変化を計測する。この際素材はそれぞれできる限り密になるように詰めてあるため素材によって異なる乾燥密度となっている。また式(1)より各素材の水分上昇高さを予測したところ、表1のようにFA2が最も高く吸水することが示唆された。

3.2 試験結果

試験結果を図2に示す。図2より各素材とも曲線の傾きからさらに水分を吸い上げる傾向が読み取れるため、まだ吸水途中であることがわかる。それぞれの素材に注目してみると、FA2が最も高く水分を吸い上げ、次いでk-8、k-7の順に水分上昇高さが高くなっており、式(1)により求めた各素材の水分上昇高さの予測通りの順となった。つまり細粒分を多く含む素

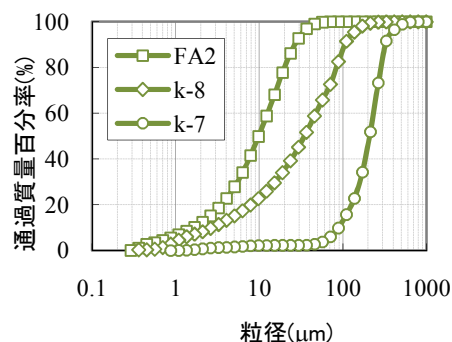


図1 各試料の粒度分布

材ほど水分上昇高さが高くなるということが証明できたと言える。

4.水分上昇高さの収束値の予測

ここで k-7 についてはほぼ水分上昇が収束しているが、FA2、k-8 についてはまだ吸水過程の途中であるため、今回の結果からは各素材の水分上昇高さの収束値を明らかにすることはできない。そこで簡易的に水分上昇高さの収束値を予測する方法を2つ提案し、各方法による予測値を比較する。

4.1 差分法

この方法はある時間間隔ごとの水分上昇高さの値を求め、ある時点とその直前の値が等しくなったときの値を水分上昇高さの収束値とする方法である。まず図2より水分上昇の傾きがほぼ一定になる時間を $t=0$ と定め、それ以降のデータから最小二乗法により近似曲線を導出する。次に時間 t_j における水分上昇高さ $W_h(t_j)$ と $W_h(t_{j-1})$ を求める。ここで ΔT を時間間隔、 $j=1,2,\dots$ とすると $t_j=\Delta T \times j$ で表される。最後に求めた $W_h(t_j)$ を縦軸、 $W_h(t_{j-1})$ を横軸にとり図3のような曲線を描く。そしてこれらの曲線と $W_h(t_j)=W_h(t_{j-1})$ の直線の交点が水分上昇高さの収束値と予測できる。この方法で各素材の水分上昇高さの収束値を予測したところ、FA2 で約 500cm、k-8 で約 300cm、k-7 で約 100cm という結果となった。この方法ではどのような素材でも適用できるという利点があるが、図形的に収束値を予測するため、概略値でしか予測できないことが欠点である。

4.2 双曲線法

この方法は、時間 t における水分上昇高さを $W_h(t)$ とすると、水分上昇の平均速度 $W_h(t)/t$ は $W_h(t)/t=1/(a+bt)$ で表される、つまり双曲線的に減少するという仮定に基づく方法である。ここで a, b は係数である。まず水分上昇高さの実測値について $t/W_h(t)$ を求め、次に縦軸に $t/W_h(t)$ 、横軸に t をとり図4のようにプロットし係数 a, b を求める。水分上昇高さの収束値 W_{hr} は $t=\infty$ としたときの極限值となり $W_{hr}=1/b$ で求まる。この方法で各素材の水分上昇高さの収束値を予測したところ、FA2 で 500cm、k-8 で 303cm、k-7 で 93cm という結果となった。この方法では収束値を計算式により求めることができるという利点があるが、水分上昇の平均速度が双曲線的に減少するという仮定が成り立たない素材には適用できないことが欠点である。

2つの予測手法の結果どちらもほぼ等しい収束値であったため、今回試験に用いた素材では各手法とも同等の精度で収束値を予測でき、これらの収束値は確からしい値であると言える。

4.まとめ

本研究では砂漠緑化を目的とした無灌水緑化技術の要素技術であるサクシンドレイン材の開発に向けて、粒度の異なる粒状素材を用いた吸水試験を行いその吸水性能の検討を行った。その結果細粒分を多く含む素材ほど水分上昇高さが高くなることを実験的に証明できた。また実験の途中経過から水分上昇高さの収束値を簡易的に予測する手法を提案し、それぞれの予測値の比較から各手法とも同等の精度で収束値を予測できることがわかった。今後は細粒分を加えて粒度調整することにより、水分上昇高さをコントロールする技術の開発を目指す。

【参考文献】

- 1) 岩波ジュニア新書 根本正之 著「砂漠化ってなんだろう」
- 2) 技報堂出版 1969年発行 山口柏樹 著「土質力学」

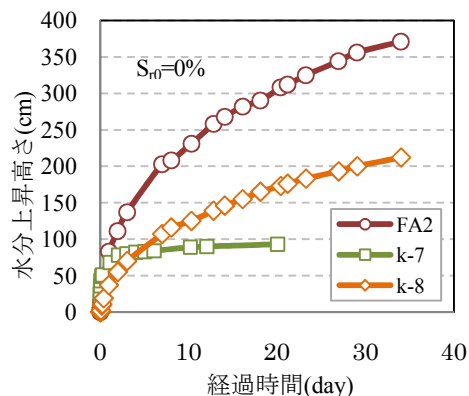


図2 水分上昇の経時変化

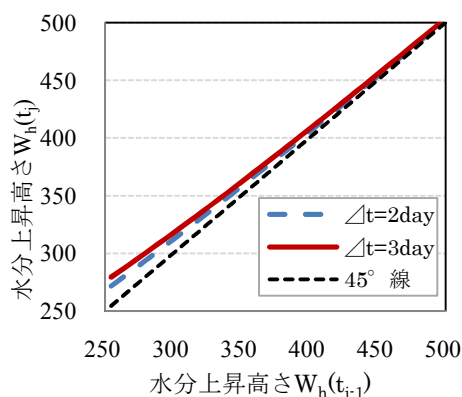


図3 最終水分上昇高さの予測(差分法)

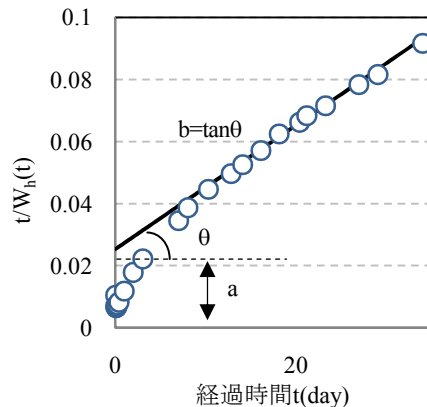


図4 双曲線法における係数 a, b の求め方