砂の吸水性能に与える土粒子形状の影響に関する検討

九州大学大学院　学○河野皓治
九州大学大学院　正　安福規之　正　大嶺聖　正　小林泰三
九州大学大学院　学　石川裕司

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 km^2（四国と九州を併せた面積）もの地域で砂漠化が進行していると言われている [1)]。近年では中国内陸部においても砂漠化が急速に進行しており、日本にも黄砂の飛来などの影響が及んでいる。

そのため砂漠化の対策は急務となっているのであるが、砂漠を緑化す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において簡易的な地盤の現地調査を行った。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砂漠地の緑化につながるのではないかと考えた。本研究では地下水を利用するための要素技術として、吸水性と周囲の地盤へ水分を供給する性能を併せ持つ「サクションドレーン材」の開発を目指す。

2. サクションドレーン材に求める機能

ここでいうサクションドレーン材とは、「対象地盤よりも優れた吸水機能で地下水を吸い上げ、さらに吸い上げた水分を周囲の地盤に供給する機能を持つ素材」と定義する。このことを満たすためにサクションドレーン材に求める機能としては 1）適度な吸水機能 2）周囲の地盤への水分供給機能の 2 つが挙げられる。

まず 1）適度な吸水機能についてであるが、地下水の吸水量が少なすぎると地盤に十分な水分が供給できず、逆に吸水量が多すぎると地下水位の低下や地表面での塩分集積などの問題が生じる可能性がある。そのため「適度な」吸水力が求められる。

写真 1　試験の様子

次に 2）周囲の地盤への水分供給機能とは、吸い上げた地下水を周囲の地盤に供給する機能である。これは周囲の地盤の吸水性にも関係するので、まず地盤の水分特性を調査し、その特性に適合するサクションドレーン材を選択するというシステムの確立を目指す。

本研究では以上のような機能を持つサクションドレーン材の開発を目標とし、その吸水性能の考察に関する取り組みとして、土粒子形状が毛管作用に与える影響について実験的に検討した。

3. 土粒子形状が毛管作用に与える影響の検討

3.1 これまでの取り組みと方向性

本研究ではこれまでサクションドレーン材の開発に向けて、まずその吸水性というものに着目して研究を進めてきた。その結果、粒状材料が他の人工素材に比べサクションドレーン材として適切な吸水機能を有していることを示した [2)]。この結果をふまえ粒状材料に焦点をしぼり、その吸水特性についてさらに検討を行った。

表 1　試料の特性

	シラス	k-7
10%粒径D_{10}(μm)	90.9	97.4
土粒子密度ρ_s(g/cm^3)	2.377	2.640
均等係数Uc	4.0	2.5
曲率係数Uc'	1.1	1.1
凹凸係数FU	0.444	0.670

ここで砂の毛管作用については、メニスカス半径を r、表面張力を T とすると、その水の上昇量 h は

$h = 2T/\gamma_w r$ (cm)　で表される。この式を間隙比 e、10%粒径 D_{10} の砂に適用すると、水の上昇量 h は近似的に

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

で与えられる [3)]。上式では毛管作用による水分上昇高さに影響を与えるパラメータは間隙比と 10%粒径のみである。本研究ではさらに土粒子形状も毛管作用に影響を与えるのではないかと考えた。土粒子形状は試料ごとにさまざまであり、例えばシラスのような多孔質で軽量な土粒子形状を有するも

のは、水分吸着性に優れていることが推察される。

3.2 試験方法

試験の様子を写真 1 に示す。まず試料はシラスと硅砂 7 号(以下 k-7 と称す)という土粒子形状の大きく異なる 2 種類の試料を用いた。それぞれの試料の特性を表 1 に、粒子形状を写真 2 に、粒度分布を図 1 にそれぞれ示す。ここで凹凸係数 FU とは、粒子の凹凸の度合いを示すパラメータの一つである [4]。FU は粒子の投影断面の面積を A、外周長を L として

$$FU = 4\pi A / L^2 \qquad (2)$$

で表され、完全球の場合を 1.0 として凹凸の度合いが激しくなるほど 0 に近づく。今回は土粒子形状のみをパラメータとするため、試料は同程度の粒度になるよう調整した。また試料は気乾状態のものを用いた。

次に試験方法は、まず各試料をアクリルパイプに詰め、高さ 100cm の供試体を作成する。これを、水を張った水槽の中に設置し所定の日数放置した後、各高さの含水比を測定した。また試験中は目視による吸水高さの測定も併せて行った。試料は間隙比が各試料で一定(e=1.0)となるように詰めた。

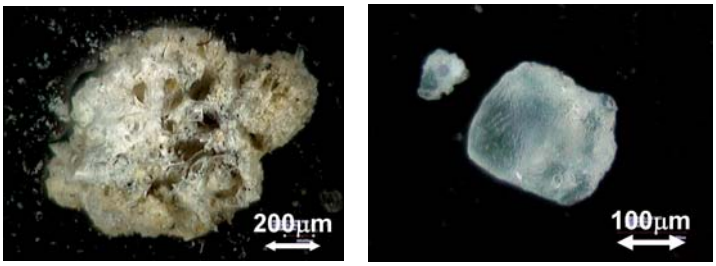

写真 2　シラス(左)と k-7(右)の粒子形状

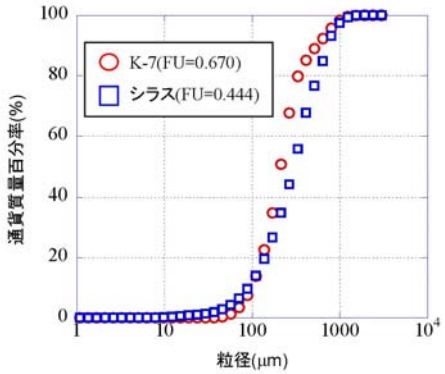

図 1　各試料の粒度分布

3.2 試験結果と考察

試験結果を図 2、3 に示す。まず吸水高さはシラスの方が k-7 に比べ約 1.5 倍ほど高い結果となった。若干の粒度の違いによる影響もあると思われるが、誤差の範囲内に収められるほどの小さな影響と考えられるため、この結果は土粒子形状の違いが影響していることによるものと考えられる。ここで各試料の凹凸係数 FU の値に着目してみると、シラスの FU の値は k-7 の値のおよそ 1.5 倍になっている。このことから毛管作用による吸水高さは FU の値と大きく関連性があることが推察される。また平衡状態に達した後の試料の各高さにおける体積含水率の分布を見てみても、シラスの方が試料高さの高い位置において高い体積含水率を有している傾向が見られる。以上の結果から、定性的ではあるがシラスのような多孔質な土粒子形状を有する試料の方が毛管作用による吸水性に富んでおり、また水分吸着性にも優れていると言える。

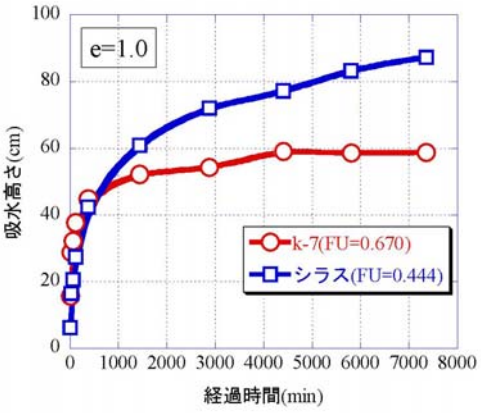

図 2　試験結果 1（吸水高さの比較）

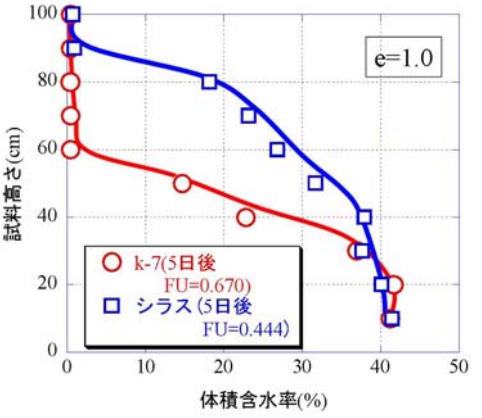

図 3　試験結果 2（体積含水率の比較）

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ョンドレーン材の開発に向けて、土粒子形状をパラメータとし、それらが毛管作用に与える影響を検討した。その結果、毛管作用による水分上昇高さは凹凸係数 FU の値と反比例の関係にある傾向が示唆された。この結果から、今後はさらに FU と水分上昇高さの関連性を明らかにしていくとともに、土粒子形状の数値化に用いるパラメータの検討を行っていく。

【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) 河野皓治・落合英俊・安福規之・大嶺聖・小林泰三：『サクションドレーン材』としての各種材料の吸水性能に関する基礎的検討　土木学会西部支部　Ⅲ-86 pp.503-504, 2008.3 3) 技報堂出版　1969 年発行　山口柏樹 著「土質力学」4) 京都大学学術出版会　松岡元 著 「地盤工学の新しいアプローチ」

本研究は科学研究費（萌芽研究：19656119)、九州大学・玄海町薬草 PJ、九州大学 P&P 研究の支援を得て行われた。