

ゼオライト混入による砂丘 砂の水分保持特性の変化

安田 裕*・田熊勝利*・水田徳子**・西出浩幸***

平成7年6月23日受付

Water Retention Variety of Dune Sand Due to Zeolite Addition

Hiroshi YASUDA*, Katsutoshi TAKUMA*, Noriko MIZUTA**,

and Hiroyuki NISHIDE***

Low water retention capacity of dune sand often hampers the agricultural development of the sand dune areas. For the agricultural activities in sand dune areas, it is desirable to keep high soil water content at the available moisture zone (pF1.5-3.0). In this study, to increase the water storage capacity, zeolite is added to the sand and the change of soil water retention characteristics due to the addition was considered. To evaluate the soil water variety of dune sand due to the zeolite addition, the hydraulic conductivity test, the Swedish type fall cone test and the pF test were carried out. While the results of pF test indicated the apparant increase of soil water content for the available moisture zone, the decrease of hydraulic conductivity of dune sand proportional to the zeolite addition was also indicated. A classification by the fit of the van Genuchten model to the soil water retention curves showed that the zeolite addition gives characteristics of clay to dune sand.

緒 言

砂丘地を農地として利用する場合の問題点は、砂丘砂の物理性として保水性が小さく、透水性が大きいという性質をいかにバランスよく取り扱うかということにある^{1,2)}。

本研究では、ゼオライトの保水性に着目して、砂丘砂の物理性の改良、特に保水力の増加を目的として、ゼオライトを土壌改良剤として砂丘砂に混入することにより、砂丘砂の保水機能がどのように変化していくかを考察している。保水性を定量的に評価するために、不飽和浸透

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

* *Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University*

** (株)エイト・コンサルタント

** *Eight Consultants Co. Ltd.*

*** サンスイ・コンサルタント(株)

*** *Sansui Consultants Co. Ltd.*

特性 (pF曲線) の関数モデル (van Genuchten model) を用いる^{2,4)}。そのため、砂丘砂と各種のゼオライトを均等に混ぜ合わせ、各試料についてpF試験、簡易型透水試験、スウェーデン式フォールコーン試験を行った。pF試験結果については、van Genuchten modelにより評価し、他の実験例と比較している^{2,6)}。

ゼオライトの特性

現在、ゼオライトは天然・人工・合成と多種あるが、本研究では安価で加工できる天然・人工ゼオライトを合成ゼオライトと比較しながら適正量の相違を検討するとともに、砂丘砂の保水性の向上による物理性改良を目的とする。

ゼオライトは、主成分がSiO₂、Al₂O₃、Na₂O、H₂O、CaOの結晶性アルミノケイ酸塩である。この結晶水は、加熱により水蒸気を放出するため、沸石と呼ばれており、高い陽イオン交換容量 (CEC) を示し、交換性陽イオン含量に優れアンモニウムイオンを選択的に吸着する性質をもつ。また吸着能・分子ふるい能・触媒能に優れているので、脱臭・脱水・物質改良・成分保持など、農業分野でも効果を期待できる。

解析理論

関数モデルの選択

pF試験法には問題点が多く、pF値は計測しにくいものとなっているが、この計測しにくいpFの値を何らかの関係式によって補えれば便利である。

今回はVan Genuchtenのモデル(以下VGモデルと記す)を選択し、算定用のモデルとした。このモデルが選択された理由として次のようなものがある。

- 1) 土質に対する適用範囲が広い。
- 2) 水分特性曲線の全領域に適用できる。
- 3) 比較的簡便であり、実用上十分な精度を持つ。
- 4) 妥当性に対する検討が過去多くなされ、パラメータによる分類を行うための比較材料が多くある。

VGモデル

VGモデルは以下の式で定義される有効飽和度Seを圧力水頭hの関数として表すものである²⁾。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad [1]$$

$$Se = \{1 + ah^n\}^{-m} \quad (m = 1 - 1/n) \quad [2]$$

ここに、Se：有効飽和度、h：圧力水頭、 θ ：体積含水率、 θ_r ：最小体積含水率、 θ_s ：飽和体積含水率、a、n：水分特性曲線の形状より決定されるパラメーター

このように、水分特性曲線に関するVGモデルは4つの独立したパラメーター (a, n, θ_r , θ_s) によって構成されている。

VGモデルの構成要素

ここではVGモデルを構成する要素のうち、最小体積含水率、飽和体積含水率、有効飽和度について、その物理的な意味および決定方法について述べる。

(1)最小体積含水率 (θ_r)

上記の他に最小含水量、残留含水率、あるいは界面水の量と種々の呼び名がある。

体積含水率の値が最小体積含水率の値と等しくなると、もはやそれ以上の排水が行われないと考える。すなわち最小体積含水率とは土の吸着水などのように浸透によって液状では移動し得ない体積含水率の値ということになる。

最小体積含水率の値は、その呼び名と同様に様々な規定の方法がある。たとえば、Breslerは θ_r を簡単に風乾状態での体積含水率と規定している。他にlog Se-log hの直線性から求める方法がBrooksらやMualem、西垣によって提案されている⁴⁾。またRogowskiは θ_r の代わりに θ_{15} を導入した。これは15気圧のサクションでの体積含水率の値であり、主に粘性土についての実験結果との比較においてよい結果を得ている。

今回は簡便化のため、これらの方法によらず、同定前の水分特性曲線から θ_r の値を推定し、その θ_r による曲線と測定値とのフィッティングをみて、修正の必要があると思われれば、修正、再試行するといった試行錯誤によって θ_r を決定した。

(2)飽和体積含水率 (θ_s)

これは土が飽和状態にあるときの体積含水率であり、理論的には本来、土の間隙率と等しい値をとるべきである。しかし実際に土を湿潤させて飽和させても、エントラプト・エアが空隙中に残るために、飽和体積含水率の値は、間隙率の80~90%になる。しかも、この割合も湿潤前の試料の初期含水比によって変化するために、加圧透水試験等による測定が必要であるとされている。しかし、今回は単純に大気圧下で試料が飽和したときの体積含

水率を飽和体積含水率とした。

(3)有効飽和度 (Se)

有効飽和度は式形を見ればわかるように これまでに述べたような含水比や体積含水率と違った無次元数である。

これは解析の対象を水分の移動が可能な範囲、つまり最小体積含水率から飽和体積含水率までの水分量とし、測定された体積含水率とその水分量の何%を占めるかを表すことで、モデルを境界領域に漸近させることができ、意味のない領域外の解析の実行や考慮を省略することができる。水分特性曲線の解析への導入として、なくてはならない概念である。

未知パラメータの推定手法

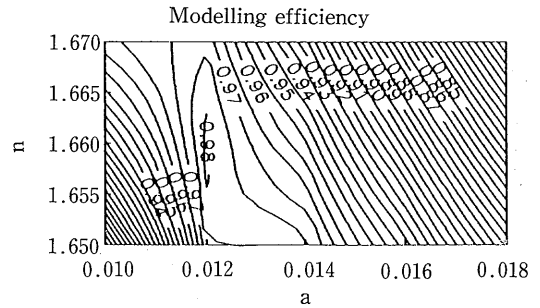
VGモデルに含まれる未知パラメータには、 θ_r , θ_s , a , n の4種類があるが、そのうち θ_r と θ_s は前節で触れたように既知のものとして扱うこととするので、ここで推定すべきパラメータは a と n ということになる。これらのパラメータの推定手法として、以下に示すModelling efficiencyにより最適化を行う。これは実測値とモデルの自乗誤差が最小となるパラメータを最適パラメータとして採用するものである。

手順としては、まず決定された θ_r と θ_s の値より有効飽和度を算出する。次に任意の a と n をパラメータの初期値とし、それぞれについてモデルと実測値の相関Modelling efficiencyを計算する。つまり、それぞれの実測値(h_{obs})において、次に示す式で計算値(h_{cal})との適合性(Modelling efficiency)が計算される。

$$J = \frac{\sum_{j=1}^n (h_{obs}^j - \bar{h})^2 - \sum_{j=1}^n (h_{cal}^j - h_{obs}^j)^2}{\sum_{j=1}^n (h_{obs}^j - \bar{h})^2} \quad [3]$$

ここに、 \bar{h} ：平均値

この計算を全測定点について行い、Modelling efficiencyが最大となるパラメータを選択する。最大値はModelling efficiencyのコンターマップにより判定される。その一例を第1図に示す。図の曲線はModelling efficiencyの等高線であり、0.98の点が最大値であり、その点に対応するパラメータ、 $a=0.012$, $n=1.660$ がこの試料に対する最適値として採用される。



第1図 Modelling efficiencyのコンターマップの例
砂丘砂へのVGモデルの適応。 $a=0.012$, $n=1.660$ のとき、Modelling efficiency 0.98で最大。

実験法

実験に使用した試料

(1)供試土

供試土は、鳥取大学乾燥地研究センター内で採取した砂丘砂である。実験に使用した試料は採取した状態より、空気乾燥して用いた。

(2)天然ゼオライト (Natural Zeolite)

天然ゼオライトは、もともと古くから知られている鉱物であり、採掘費も低廉なので資源的として有利である。今回は天然ゼオライトとして、イワミライト、イズカライトを使用した。イワミライトは、太田市の石見鉱山で産出されたゼオライトを加工したものである。イズカライトは、島根県彦摩郡の仁万鉱山より産出されたゼオライトを加工したものである。

(3)人工ゼオライト (Artificial Zeolite)

人工ゼオライトは石炭灰をゼオライト化してできたものであり、廃棄物処理の観点から環境保全にも役立つ。また石炭灰のゼオライト化は低コストですむなど、天然ゼオライトと変わらない条件でより有効な結果を期待できる。人工ゼオライトは成分の違いによりCa型・Na型に分けられる。

(4)合成ゼオライト (Synthetic Zeolite)

合成ゼオライトは、工業的に生産されたものである。天然・人工ゼオライトに比べると純粋であるが、生成するのにコストがかかるため、大量に使用するのには経済的

に困難である。

(5)混合土

各供試土に天然・人工・合成ゼオライトを混入した。供試土は風乾状態のものを使用し、均等になるように十分混ぜ合わせた。ここでこの実験における混合比は次式のとおりである。

$$M = W_r / W_s \times 100 \quad [4]$$

M：混合比(%), W_r ：ゼオライトの風乾量(g), W_s ：砂丘砂の全乾量(g)

実験法

実験は砂丘砂と天然・人工・合成ゼオライトの混合土について簡易型透水試験、フォールコーン試験、pF試験を実施した。実験内容及び使用した試験器、並びに試験法は次の通りである。

(1)透水試験

本研究では、飽和状態における透水係数を求めることを目的として、締固めた試料を対象に簡易型変水位透水試験を行なった(JIS A 1218 T-1979)。

(2)フォールコーン試験

含水比の変化による土の状態変化を知るために、液性限界、塑性限界試験を行なう。しかし今回使用する砂丘砂は粘性を示さないため、液性限界、塑性限界の値を測定するのは不可能である。

フォールコーン試験はこのような欠点を改良しようとして提案されている液性限界測定法である。この試験においては先端角60度、コーン部分とその軸部を合計した落下自重が60gのコーンを土の試料表面からその自重で貫入させ、貫入量がちょうど10mmの時の含水比をファイネナンバー(F)とすると、ほぼその土の液性限界と対応することが分かっている。本研究では粘性を示さない砂丘砂を試料として用いるため、フォールコーン試験を行った。

この試験は、スウェーデン式フォールコーン試験法に基づき行なう。使用した試験器はフォールコーン式液性限界測定器DIK-5700である。

(3)pF試験

i) 水分特性曲線の作成

重力に逆らって、土が毛管力によって保持する水分を考えると、土中の毛細管を立ち上がる水のエネルギー、つまり毛管ポテンシャルは水柱の高さ(cmH₂O)で表すことができる。これはふつう圧力水頭h(cm)として表現されるが、この数値は大きくなって不便なため、Schofieldの提案により $pF = \log |h|$ と圧力水頭の絶対値の常用対数で表されるようになった。水分特性曲線はこの圧力水頭を縦軸にとり、それぞれの圧力水頭を試料に作用させたときの水分量を横軸にとったグラフ上に測定値をプロットし、その点間をつないでつくられる。ふつうこの水分量には体積含水率が使われることが多い。

$$\text{体積含水率} = \frac{\text{水分体積}}{\text{試料土の体積}} \quad [5]$$

したがって、体積含水率と含水比の間には次式の関係がある。

$$\text{体積含水率} = \text{含水比} \times \frac{\text{土の乾燥密度}}{\text{水の密度}} \quad [6]$$

このような水分特性曲線の作成に必要な測定値を求める試験がpF試験法である。

土の工学的性質は含水比に左右される。pFは水の移動の理論を確立するために提案され、土の構造やコンシステンシーなど、土の保水能力や保水機構の違い、あるいはその変化などの状態を説明するために利用されるようになった。

ii) 測定の基本原則

なお、水分特性曲線は測定時の水分移動が排水過程であるか吸水過程であるかに依存して、ヒステリシスを有することが知られているが、pF試験法においては排水過程の計測の方が容易であることからヒステリシスを無視した一価関数として扱うこととする。

iii) 試験法

pF試験には飽和から不飽和状態に至るまでの含水状態を通じて統一された試験法が確立されていない。したがって測定範囲に応じて複数の試験法が用いられている。今回は減圧法と加圧膜法の二つの試験法により試験を行った。今回、試験に使用した機器は減圧法についてはDIK土壌pF測定装置縦型吸引法DIK-4型、また、加圧膜法についてはDIK土壌圧膜測定器DIK-320型を用いた。

iv) 実験計画

本研究においては、JIS A 1207-1978に規定された吸引法、加圧法の2種類を行なった。試料は100cc採土円筒に鉄製の突き固め棒で締固め、円筒下部より徐々に飽和させた後、24時間以上放置しておいたものを使用した。土壤水分測定は各試料についてpF値が 0.0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.2の8段階で実施した。

実験結果と考察

(1) 透水試験

透水試験の結果は第1～3表、第2図に示す。透水試験で求める透水係数は自由水の通り易さを示す指標であり、土の重要な性質の一つである。合成ゼオライトには

大きな変化が見られなかったが、人工ゼオライトは除々に透水係数が低くなった。しかしここで透水性が低くなったということは、水をためこんでいるからであり、ゼオライトに保水効果があったことがいえる。また天然ゼオライトは混合率20%で透水係数が激減している。しかし天然ゼオライトは人工ゼオライトと違って透水性が著しく低くなるため、これでは砂丘砂の利点をいかすことが難しい。

天然ゼオライトを砂丘砂に混入した場合、透水性が低くなったのは、もともと排水性に優れた砂丘砂が粉状かつ多量のゼオライトにより形成されていた粗間隙が埋められたからである。粉状のゼオライトで実験を行えばまた違った結果を得ることができたであろう。

第1表 天然ゼオライト混入による透水係数の変化 (cm/sec)

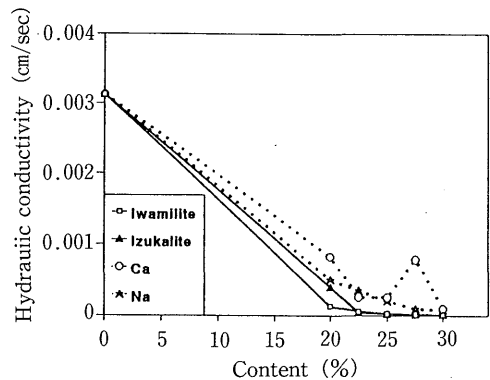
content(%)	0.0	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
Iwamilite	3.13×10^{-3}	1.34×10^{-4}	6.26×10^{-5}	3.21×10^{-5}	2.53×10^{-5}	1.42×10^{-5}
Izukalite	3.13×10^{-3}	3.99×10^{-4}	4.97×10^{-5}	2.95×10^{-5}	2.37×10^{-5}	1.79×10^{-5}

第2表 人工ゼオライト混入による透水係数の変化 (cm/sec)

content(%)	0.0	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
Ca type	3.13×10^{-3}	8.23×10^{-4}	2.61×10^{-4}	2.59×10^{-4}	7.86×10^{-4}	1.02×10^{-4}
Na type	3.13×10^{-3}	5.02×10^{-4}	3.54×10^{-4}	2.02×10^{-4}	9.94×10^{-5}	8.63×10^{-5}

第3表 合成ゼオライト混入による透水係数の変化 (cm/sec)

content(%)	0.0	1.0	1.5	2.0
Hydraulic conductivity	3.13×10^{-3}	1.26×10^{-3}	1.04×10^{-3}	4.47×10^{-3}



第2図 ゼオライト混入による透水係数の変化

(2) フォールコーン試験

合成ゼオライトにおいては変化は見られなかった。イワミライトにおいてはファイネスナンバー (F) は混合率 20% で急激に減少した後大きな変化はみられなかった。イズカライトにおいては混合率の増加に伴う値の変化は一定ではなかった。

透水試験の結果より天然ゼオライトを使用すると、透水性は低くなり水を保っているのではないかと考えられたが、ファイネスナンバー (F) の減少により粘性が増したとはいえなくなった。

人工ゼオライトにおいて、Na型はあまり効果が期待できないがCa型は混合率30%でファイネスナンバー (F) が増加している。他のゼオライトと比べると透水性がやや低くなっても保水性の効果が期待できるのではないだろうか。フォールコーン試験はどのような性質の土にも適用できるという利点をもつ。土の塑性・非塑性が判定できにくい土に対し、ファイネスナンバー (F) はある種の指標となる。ファイネスナンバー (F) が増加し、透水係数が小さくなればその土は粘土質へと変化していると考えられるが、天然ゼオライトの場合、矛盾した結果がでたのは使用した量が多すぎたため、いったん、水を吸いこみ何らかの構造の変化があったものの、それが粘性を増したかどうかは断定できないからである。

(3) pF試験

pF試験の結果につき、pF—水分特性曲線並びに有効水分 (pF1.5-3.0) と混合率の関係を以下に示す。

pF試験の結果より土の有効水分率を知ることができる。有効水分率とはpF1.5と3.0における体積含水率の差をいう。一般的にpF3.0は生長阻害水分点を意味し、pF1.5以下は灌漑水を土壤に与えたのち土壤中の水が下へ移動し

ている状態に相当するのでpF1.5-3.0の間で灌水後の植物が十分に利用できる状態の水分量を有効水分量 (Available moisture) とした。

まず、砂丘砂についてのpF試験結果について得られた土壌水分特性曲線及びVGモデルによる最適パラメータによる曲線を第3図に示す。第1図による相関性 (Modelling efficiency) 最大により得られた最適パラメーター、 $a=0.012$, $n=1.66$, $\theta_s=0.52$, $\theta_r=0.02$ に対し、相関性 (Modelling efficiency) は0.98であった。有効水分域である圧力水頭-100~-1,000cm (pF1.5-3) 近傍で急激に土壌水分が低下しており、典型的な砂の土壌水分曲線のパターンを示している。

有効水分域で水分量が顕著に高くなったのは、イワミライトであった。砂の物理性の改良で最も効果が期待される有効水分域 (pF1.5-3.0) において10%以上の体積含水率の上昇が見られた。また、イズカライトについても、体積含水率数%の上昇が見られる。イワミライト、イズカライト双方とも、圧力水頭-1,000cm (pF3.0) 近傍においては特に体積含水率の上昇が大きく、イワミライトについては20%程の増加が見られる。

これらの結果からゼオライトの混入が有効水分域において、水分保持能力を高めることは明らかである。

同定されたモデルについて検討すると、同定されたモデルと実測値の間にはかなり良いフィットがみられ、VGモデルは従来から言われているように土質に対して広い適用範囲を有していることが再確認された。グラフではpF3.0 (-1,000cm) の付近において、多少実測値とのずれが大きいのに見えるが、これは体積含水率の算出に問題があるためだと考えるのが妥当である。

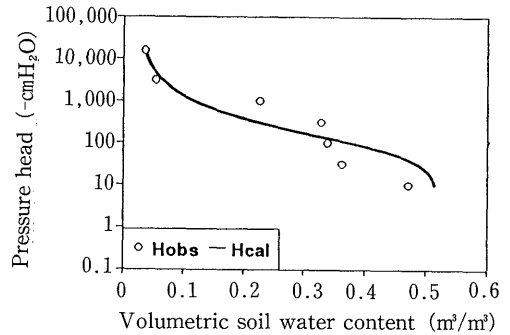
上述Modelling efficiencyの最大化によって同定された最適パラメーターはイズカライトとイワミライトそれぞれについて第5, 6表のようになる。イズカライトについては、定数 a の値は無添加の砂に対する最適パラメーターが0.012であるのに対して、0.0035から0.0070と1オーダー小さくなっている。

第6, 7図に示されたゼオライト添加による土壌水分の増加効果において、イワミライトとイズカライトを比較するとイワミライトがイズカライトに勝っているが、パラメーター a の変化の観点から見ると、イワミライトの方がイズカライトよりも減少が大きくなっている。図には他研究で得られたローム (Guelph Loam, Silt loam G.E.3), 粘土 (Beit Nefta Clay), クロニガ, アカホヤに対する同定パラメーターが示してある^{2,6)}。砂丘砂は a 値ではGuelph Clayやアカホヤとほぼ同レベルにあるが、

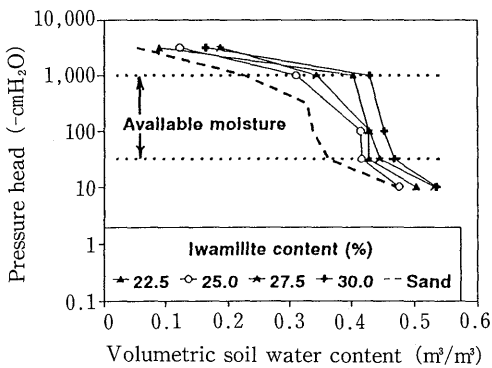
第4表 スウェーデン式フォールコーン試験結果 (F%)

content(%)	0.0	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
Iwamillite	25.2	20.2	20.4	19.6	21.9	20.5
Izukalite	25.2	20.9	23.2	21.5	23.9	24.3
content(%)	0.0	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0
Ca type	25.2	22.0	21.8	25.3	23.7	30.0
Na type	25.2	21.7	20.3	23.6	22.1	24.3
content(%)	0.0	1.0	1.5	2.0		
Synthetic	25.2	23.6	25.8	25.3		

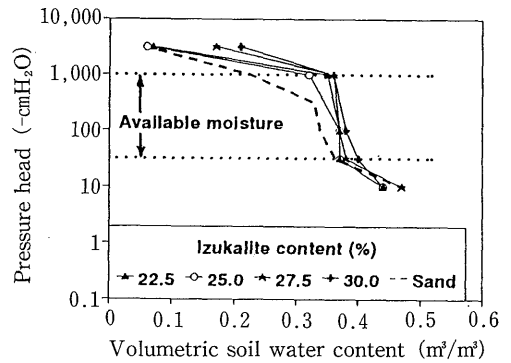
イワミライトの添加により、 a 値が減少し Silt loam G. E.3 のレベルに至る。また、イワミライトの添加によりさらに a 値が減少し、Beit Nefta Clay のレベルにまで低下する。すなわち、ゼオライトの混入は砂丘砂にシルト・ロームや粘土の性質を与えることになる。また、同一の混入率では、イワミライトの方がイズカライトより土壤水分の増加、すなわち保水性の増加の効果は大きい。



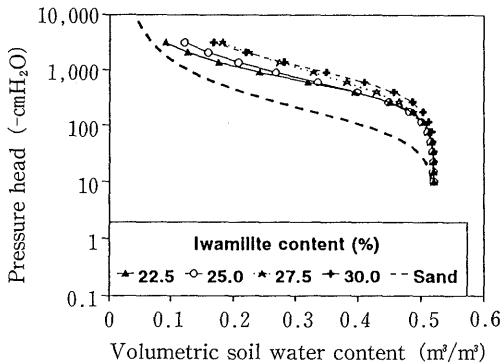
第3図 砂丘砂に対するpF試験結果とVGモデルの適合 ($a=0.012$, $n=1.66$, $\theta_s=0.52$, $\theta_r=0.02$)



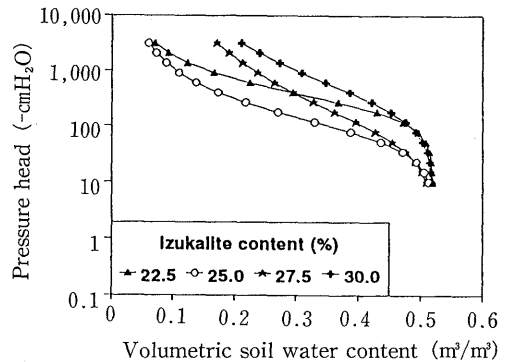
第4図 pF試験結果 (イワミライト)



第5図 pF試験結果 (イズカライト)



第6図 pF試験結果とVGモデルの適合 (イワミライト)



第7図 pF試験結果とVGモデルの適合 (イズカライト)

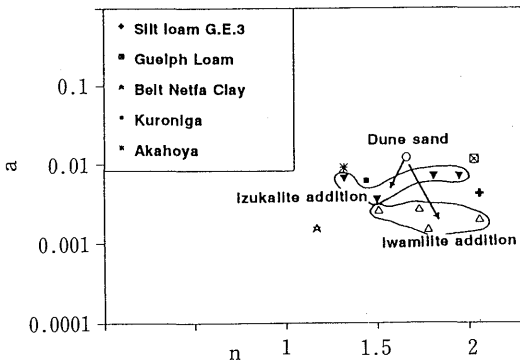
第5表 イズカライト混入に対する
VGモデル最適パラメーター

Content(%)	a	n
0	0.0120	1.66
22.5	0.0035	1.95
25.0	0.0070	1.81
27.5	0.0070	1.39
30.0	0.0065	1.32

第6表 イワミライト混入に対する
VGモデル最適パラメーター

Content(%)	a	n
0	0.0120	1.66
22.5	0.0020	2.06
25.0	0.0027	1.73
27.5	0.0026	1.51
30.0	0.0015	1.78

これらの同定されたVGモデルのパラメーターをnを横軸に、aを縦軸にプロットして第8図を得る。今回の実験ではイズカライト、イワミライトの混合は、パラメーターaの減少により示されている。



第8図 ゼオライト混入によるVGモデルパラメーターの変化(実験結果とvan Genuchten²⁾及び竹下ら⁶⁾の報告による)

結 論

ゼオライト混入は砂丘砂の土壤改良、有効水分域での土壤水分増加に効果がある。一方で、天然ゼオライトは保水性が増したが、透水係数の低下も顕著であるため、砂丘砂の排水性をいかにするためには混入の割合を少なくす

べきである。

鳥取砂丘の砂について、不飽和浸透特性のうち水分特性曲線に関する数値解析を、VGモデルによって行い、異なる物理性を有する土においても良い一致を得ることができることを再確認した。ゼオライト混入はVGモデルのパラメータのa値の低下として示され、砂丘砂がシルトや粘土の性質に近づいて行くことが示された。

加圧膜法による試験で測定された値は、同定された曲線との隔たりが大きかった。これは試料の圧縮変形があるために、体積含水率への変換の際に土の密度測定が不可能であったことに加え、pF試験が2段階で行われたことが大きな要因であると思われる。

今後は、それぞれのゼオライトが最も有効に活用できる混合率を見つけることが必要である。

参 考 文 献

- 1) A. Gullberg and H. Persson : Two-dimensional unsaturated tracer experiments in a semi-arid clayey soil. Master's Degree Thesis, Department of Water Resources Engineering Lund Institute of Technology. Lund, Sweden. (1993)
- 2) M. Th. van Genuchten : A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 44 892-898 (1980)
- 3) 西垣 誠, 竹下祐二, 河野伊一郎: 室内試験による不飽和浸透特性の非定常算定方法. *土木学会論文集* 454-20 103-112 (1992)
- 4) 西垣 誠: 飽和・不飽和領域内の土中水の浸透特性に関する2, 3の考察. *土質工学会論文報告集* 23 165-177 (1983)
- 5) 田熊勝利: 砂丘地土壤への赤色土混合による物理性改良. *日本砂丘学会誌* 41(1) 1-7 (1994)
- 6) 竹下祐二, 西垣 誠, 河野伊一郎: 不圧帯水層での揚水試験結果による不飽和浸透特性の算定方法. *土質工学会論文報告集* 30 199-210 (1990)
- 7) H. Yasuda, R. Berndtsson, A. Bahri, and K. Jinno. : Plot-scale transport in a semi-arid agricultural soil. *Soil Science Society of America Journal*. 58 1052-1060 (1994)
- 8) 安田 裕, 能富貫一, 神野健二, 田熊勝利, Ronny Berndtsson: 砂漠砂丘斜面における土壤水分の移動. *水工学論文集* 39 285-290 (1995)