



目 次

間（はざま）学問のすすめ 西田 一彦	1
6月 定例理事会	3
【シリーズ：表彰論文④】 中小企業人材確保推進事業コーナー	
風化度に着目した不攪乱まさ土の不飽和透水特性 荒木 繁幸	4
ジオ・ラボネットワーク第3回技術研修会	13
土質試験見学会報告（その2）	14
行事・講習会・資格試験等のご案内	15
こんな時代だから、ちょっと心に残る良い話	16
編集後記	17

表紙説明

写真上部：厳島神社本殿（国宝・重要文化財）

推古天皇元年（593年）に、佐伯鞍職（さえきくらもと）により建てられたと考えられている。

寝殿造桧皮葺（しんでんづくりひわだぶき）という造りで、天照大神（あまてらすのおおかみ）の子である宗像（むなかた）三女神、市杵島姫命（いちきしまひめのみこと）、田心姫命（たごりひめのみこと）、湍津姫命（たきつひめのみこと）が祭られている。

原始宗教のなごりで、島全体が神の島として崇められており、陸地では畏れ多いと潮の満ち引きがするところに社が建てられたと言われている。

写真下部：大鳥居（国重要文化財）

現在の大鳥居は平安時代から8代目にあたり、明治8年（1875年）に再建されたものである。木像で、両部鳥居（四脚鳥居）であり、高さ約16.6m、棟の長さ24.2m、主柱回り9.9m、総重量は約60トン。

木部は丹塗り（光明丹）、主柱は楠の自然木、袖柱は杉の自然木が使われている。

（小山 記）



間(はざま)学問のすすめ

関西地盤環境研究センター 顧問 西田 一彦

我が国は、高度に発達した科学技術のおかげで快適で便利な生活が出来る時代を迎えているように見える。しかし、ときどき、予想を超える未曾有の災害や事故に悩まされることもある。その原因の一つは、最近の地球温暖化による気象変動や地震、火山活動の活発化などに起因するものと考えられるが、もう一つは、科学技術分野がますます高度化、細分化する一方で、専門分野間に残された谷間の問題が見落されることによるものもあると考える。このような専門分野間の分野を深く掘り下げる学問を筆者は間（はざま）学問と呼んで自分自身その分野と取り組んできた。そこで、この機会にいくつかの事例について説明し、参考に供したい。

地盤技術の関連分野は、機械、電気はもちろん、最近高度に進んだITや計測、測量技術分野や化学、生物学に至るまで多岐にわたる。

まず、身近なところでは土質力学と地質学、地形学の間の分野がある。周知のように地盤の構造はその地質学的成因によって独自の構造と性質を持っている。特に我が国では不連続、不均一、異方性などが特徴的であるが、場合によってはリスクとなり、構造物に致命的な影響を与える場合がある。

このような特徴は我が国の国土の特殊性として広く知られているが、具体的な影響については、地質、地形の異なる外国と我が国で同じタイプの構造物を比較することで把握しやすい。同じタイプの古い構造物が外国では今も残っている一方で我が国では跡形もなく崩壊していることがある。とくに、解析技術の発達した現在でも、地盤の構造や性状の把握が大切であり、それを解析に取り入れることで予測が可能になると見えるが、難しいこともある。不規則、不連続な特性は、常時ではそれほど問題にならないが、とくに地震時に致命的な損傷を与えることが阪神淡路大震災で顕在化したことは記憶に新しい。このような問題も、土質力学、解析技術と地質学の間学問の分野であり、その分野の発展が期待される場所である。

また、最近のように豪雨による地盤災害が頻発するようになって、そのメカニズムと予知、対策法の解明が重要になっている。その場合、外的作用力としての雨量の大きさと崩壊の規模が増大することは当然であるがメカニズム自身も変化することも考えねばならない。その時、地盤構造とその力学的、水理力的性質の的確な把握が不可欠となる。このような場合、土質力学と地質学の密接な協力が必要になる。それには両者の現地での徹底した調査と解析が求められる。そして、境界領域を深く掘り下げることによって全く新たな事象やメカニズムの発見に繋がることもある。具体的には、土質力学に述べる単純な斜面モデルの崩壊と異なるメカニズムで斜面が崩壊をすることもあるからである。

また、地盤の経時的変化は、圧密やクリープなどの力学的説明の可能な変化もあるが、地盤が地下水や温度変化などの環境変化の下に長年さらされると、質的な変化が生ずる。これは、千数百年経過した溜池の堤体など文化財や歴史的構造物や数十年経過した土構造物にもよく見られ、それが地震や豪雨などの外力を受けた場合大きく損傷を受ける原因になる。これらの現象は、地盤劣化現象として最近、比較的簡単に判別出来るようになった。これは、まさに地盤工学と考古学の谷間を深く掘り下げることによって得られた成果でもある。

さらに、土木事業としてのダム、道路、河川工事などの各種の大型土構造物は、それまでの自然に存在した地形、地質、地盤の上、あるいは中に、今まで経験したことのない力学的負荷を加えることになる。その目的は、短期間の視点で見れば達成可能であったとしても、100年オーダーの歴史経過の中では、便益のみならず場合によっては地盤劣化などによって短期間に機能が低下することもあると考えねばならない。たいていの大型構造物では、それ自体初めての現場実験である。このような長期の挙動を現代の地盤工学のみで予測するのには限界もあるが、その答えは、案外、古い構造物を調査することで得られることが多い。長期間厳しい自然環境に耐えて残存している古い構造物には、それを可能にした技術の遺伝子が残されている。たとえば、近世城郭石垣はその形、構造から地震と水に耐えるための先人の知恵と原理が使われている。そして、それは我が国土になじむものであり現代にも生かして利用しうるものである。そこに、間学問としての土木史あるいは地盤考古学の役割があると考ええる。

地盤は無機質、有機質などの種々の物質から構成され、それが成因に応じて構造を形成し、種々の性状を持っている。その中で、生態に不都合な物質が作用した時、ある部分は拡散、ある部分は吸着・保持して残存する。そして、地下水流や生物圏を通じて移動し、地域の地形や地質構造に応じて複雑な形態をとる。また、土そのものの果たす役割は、生物圏の基盤であるとともに環境景観を構成する重要な要素ともなる。これらの諸要素を含めて評価することは環境地盤工学では重要であると考ええる。

もともと地盤技術は、基本的に、地盤の構造、性状と設計・施工の組み合わせを最適にする間技術にほかならない。しかし、事前によく調査したとしても、結果が予想通りのこともあれば、予想に反することもある。とくに、予想に反する場合には、その原因を論理的に徹底的に解明することが大切と考える。それによって、技術者の経験がその後の仕事の役に立ち、使いものになる技術となる。これは、論理的思考を高めることによるものであり、手法としては、事例の分析による帰納と論理的思考による演繹の繰り返しによって達成される。これらの視点を深めることで最近多発する地盤災害のメカニズムの解明やトラブルの予知にも役立てることが可能となり、我が国の地盤技術の質的向上と幅の拡大につながり、我が国になじむ独自の技術の開発、発展が可能となるものと考ええる。



西田先生の著書の一部



水間寺を材題に（こんな才能も）

平成 27 年 6 月 23 日（火）15 時 00 分より、大阪キャッスルホテル会議室において、理事 9 名が出席して開催した。

定款の定めにより、高村理事長が議長に就任し議事進行を行った。

【報告事項】

- 1) 一般経過報告
5 月の会議・会合・行事について報告した。
- 2) 5 月分事業報告の件
 - ① 試験実施状況報告
試験依頼件数 157 件、受注金額は 17,620 千円、請求金額は 25,176 千円、未試験金額、24,598 千円。
 - ② 収支実績報告
入金額 36,538 千円。
- 3) 第 35 期通常総会費用精算報告の件
- 4) 平成 27 年度ジオ・ラボネットワーク経営懇談会・定例会開催報告の件
- 5) 組合規程類見直しの件
- 6) マイナンバー制度セミナー開催の件
- 7) その他の件

【審議事項】

- 1) 組合職員の夏期賞与支給検討の件
- 2) 組合職員給与改定の件
- 3) 組合員・賛助会員新規加入申し込みの件
- 4) 退職金支払いの件
- 5) その他の件
 - ① 大阪府中央会「大阪の中小企業」誌上暑中見舞い広告掲載依頼の件
 - ② 顧問・相談役委嘱の件

☆お知らせ☆

(1) 新規加入組合員

会 社 名 株式会社 メーサイ
代 表 者 代表取締役 中 野 真 治
本 社 住 所 大阪府吹田市南吹田3-13-3

(2) 新規入会賛助会員

- ① 会 社 名 株式会社 総合技術コンサルタント
代 表 者 代表取締役 山 口 芳 彦
本 社 住 所 京都市南区吉祥院前河原町壺番地
- ② 会 社 名 株式会社 池田地質
代 表 者 代表取締役 池 田 一 生
本 社 住 所 大阪市東住吉区住道6-5-7

風化度に着目した不攪乱まさ土の不飽和透水特性

荒木 繁幸¹, 澁谷 啓², 西形 達明³, 西田 一彦⁴, 佐々木 精一⁵

- 1 株式会社ダイヤコンサルタント, 神戸大学大学院工学研究科博士後期課程
- 2 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻
- 3 関西大学都市システム工学科地盤工学専攻
- 4 関西大学名誉教授
- 5 和歌山工業高等専門学校名誉教授

概 要

まさ土を用いた盛土などの土構造物への降雨の浸透や破壊問題では、乱した試料の物性値が必要であるが、自然斜面や切取斜面への降雨の浸透と崩壊を予測する場合には、乱さない試料の不飽和水理特性を知る必要がある。原地盤のまさ土は、締固めた試料と異なる土構造を有し、不飽和水理特性も大きく異なる。しかし、不攪乱状態のサンプリングや室内の試験が難しく、また、現地盤が非常に不均一であるため、難しい多くの試験を実施してもデータのばらつきが大きく、費やす労力に比して得られる成果が少ないことから、これらの研究はごく断片的にしか行われていない。本研究では、ブロックサンプリングの一種であるネイルサンプリングによって採取した、風化度の異なる乱さないまさ土の不飽和水理特性を求めるとともに、風化度および土構造との関係を明らかにする目的で一連の実験を実施した。その結果、風化度と強熱減量(Ig-loss)および不飽和水理特性の間に比較的良好な相関が認められた。このことは、不攪乱試料採取が困難なまさ土地帯で、攪乱した試料から原地盤の不飽和水理特性が推定できる可能性を示した。

キーワード：斜面崩壊, 不攪乱まさ土, 不飽和土, 透水特性

1. はじめに

乱さないまさ土の原地盤の透水係数は、同じ間隙比の乱して締固めたまさ土の透水係数とは異なり、単純な土粒子モデルから導かれた Carman-Kozeny 理論式では表現できないことが明らかにされている¹⁾。透水性の評価のためには、土粒子内部に発達した細かな間隙と土粒子と土粒子の間に発達したような比較的大きな間隙の 2 つの概念に区別する必要があり、透水性に影響を与えるのは主に土粒子間のような比較的大きな間隙と考えられる。さらに、この土粒子間の間隙比を用いると透水性が合理的に評価できることも明らかにされている²⁾。また、締固めたまさ土の場合、通常の応力レベルでは土粒子の破砕が生じ、土粒子の破砕しない粒状体に比べ大幅に透水係数が低下することが知られている³⁾。一方、不攪乱状態のまさ土の透水性については、不攪乱試料の採取が困難なことや、不均一性が大きいこと等から、過去いくつかの研究が報告されている程度であり、不明な点が多い⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。したがって、実験結果を実際問題に応用する場合の評価法についても十分解明されていない点が多かった。そこで、本論文では不攪乱まさ土の物性、土構造の影響を考慮した不飽和水理特性の測定手法とその評価法について述べるとともに簡易な試験から不飽和透水係数の概略値を推定する方法についても述べる。

2. 実験方法と試料

2.1 試料

実験に用いた試料は、大阪府交野市にある生駒山に分布する領家花崗岩の風化残積土(以降、まさ土と呼ぶ)である。当該地には約 30 年前に切取された切土斜面があり、斜面下部では弱風化の岩に近いものから、斜面上部では風化の進んだまさ土まで、深さ方向に風化度が連続的に変化している。乱さない試料の採取に先立って、当該地で実施されたボーリングコアを用い、その試料を土の強熱減量試験方法(JIS A 1226:2009)に準じて強熱減量を測定した。この強熱減量と一般的な風化度指標である間隙率との関係を図 1 に示した。この図からわかるように、概ねよい相関が認められる。ただ、強熱減量が大きくなると相関がやや低くなる。また、コア中心部の母岩の組織を残す部分を 1 cm³ の不定形ブロックに切り出し、凍結乾燥した後にポロシメータを用いて、間隙径分布の測定を行った。この装置は、水銀の表面張力が大きく、加圧しなければ土の間隙に侵入しない性質を利用して間隙分布を測定するもので、0.015 MPa~80 MPa の範囲で加圧調整できる。圧力に応じた間隙径の算出には式(1)を用いた。

$$r = -2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta / p \quad (1)$$

ここで、 r は土の間隙径、 P は水銀圧力、 σ は水銀の表面張力、 θ は水銀と非金属の接触角(度)を表す。

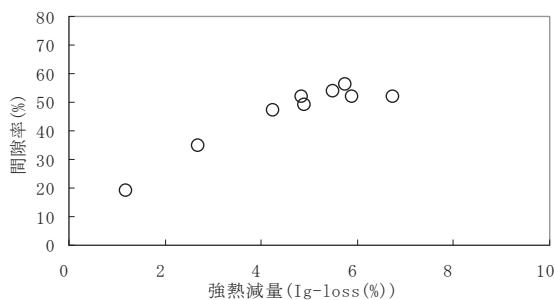


図1 間隙率と強熱減量

さらに、圧入された水銀量で間隙の量を測定する。なお、測定できる間隙径は $1 \times 10^{-3} \sim 10^{-8} \text{ m}$ の範囲である。この強熱減量の値とポロシメータで測定した $50 \mu\text{m}$ より小さい間隙量の分布を計測し、間隙率を求めたものを図2に示した。この図から強熱減量が2%以下では $50 \mu\text{m}$ 以上の間隙が全体の間隙の40%を占め、強熱減量が2%以上では $50 \mu\text{m}$ より小さい間隙が全ての間隙のうちの70~80%を占めるようになるとともに、 $0.1 \mu\text{m}$ 程度の間隙も多くなる。このように、強熱減量は風化花崗岩の間隙の分布状況と良い相関が見られ、風化程度の指標として利用できるものと考えられる。ただし、地表面付近においては、再圧縮等の別のメカニズムによる間隙分布となっていると推定され、一部の間隙が再度少なくなる傾向が見られる。一方、花崗岩の土粒子のクラック状況を見るために、風化度の異なる花崗岩の土粒子の顕微鏡写真から、間隙とその他の部分の輝度の差をより明確にする画像処理を施して、クラックをわかりやすくしたものを写真1と写真2に示した⁶⁾。写真1からわかるように弱風化の土粒子は、岩の組織もはっきりしており、土粒子内部の間隙は比較的少ない。一方、写真2の強風化の土粒子では土粒子内部に細かな行き止りの間隙が多数発達している様子がわかる。このことから、不攪乱まさ土の風化に伴う間隙の発達状況を概念的に示

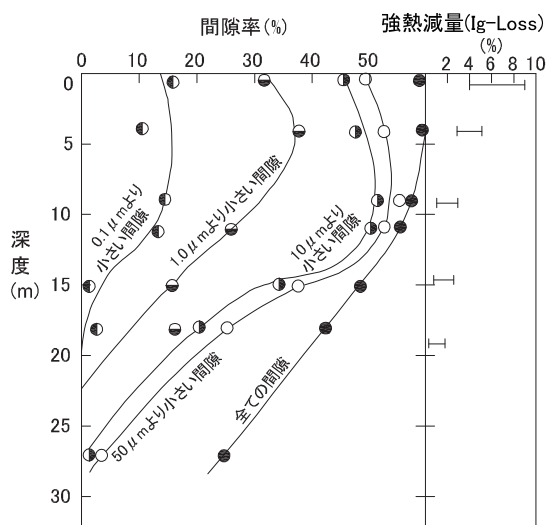


図2 深さ方向の間隙と強熱減量の変化

すと図3のように、風化が進行するとともに土粒子内部にも、より細かな間隙が発達してくる考えられる。当該地の切り取り斜面表層部において、不飽和透水試験用の不攪乱状態のまさ土の試料を、ブロックサンプリングの一種であるネイルサンプリング法を用いて採取した⁷⁾。この手法は、釘を地面にあらかじめ打ち込み、釘が試料を拘束することでサンプリングが困難な砂質土のサンプリングを可能とし、さらに、それが供試体容器を兼ねる構造で、現地で採取したサンプルをそのまま供試体利用できるようになっている。図4はネイルサンプリングによる試料採取状況とその供試体の寸法を示している。長さ86 cm、幅19 cm、奥行き16 cmに整形された供試体の上面をストレートエッジと呼ばれるカッターを用いて表面を平らに整形し、その上に下面と同様のベークライト板をみずみちができないように隙間なく密着させて固定した。両側面は水密性を保つためのエポキシ系樹脂でシールして試料を密閉すると同時に圧力計の先端部を供試体に少し埋設して固定し、不攪乱状態の供試体をそのまま透水試験に用いることができるように工夫している。試験を実施した供試体の物理的特性は表1に示すとおりである。この表において、締固め土(No.7)は不攪乱試料をときほぐし再度締固めたものであり、さらに比較のために用いた豊浦砂も示している。



写真1 弱風化花崗岩の土粒子の画像処理写真



写真2 強風化花崗岩の土粒子の画像処理写真

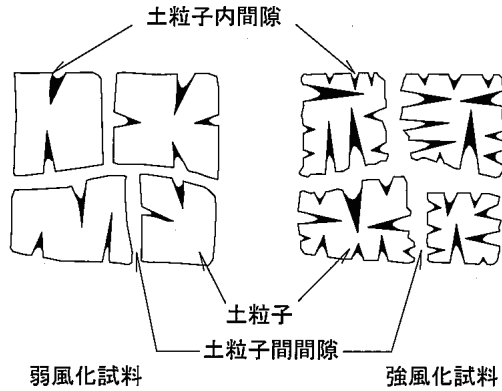


図3 不攪乱まさ土構造の概念図

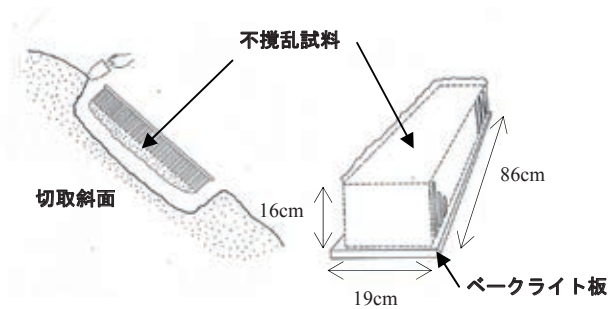


図4 試験試料の採取と供試体作製

表1 試料の物理的性質

供試体	強熱減量 lg-loss (%)	土粒子の密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)
No. 1	1.19	2.675	19
No. 2	2.69	2.705	35
No. 3	4.25	2.660	47
No. 4	4.84	2.660	52
No. 5	4.89	2.740	49
No. 6	5.49	2.738	54
No. 7	5.75	2.660	56
No. 8	5.89	2.740	52
No. 9	6.75	2.660	52
締め固め土 (No. 7)	5.75	2.660	56
豊浦砂	—	2.650	46

風化度指標としての強熱減量は、まさ土では1.19～6.75%の範囲にあり、初期の間隙率は19～56%の範囲にある。一方、土粒子の密度は強熱減量、間隙率とはほとんど無関係である。ちなみに、間隙率19%の風化層はパワーショベルで、56%のものはスコップでそれぞれ掘削が可能な程度であり、どちらもネイルサンプリングが可能な固さである。

2.2 実験方法

図5に示す不飽和透水試験装置を用いて、現地で採取した試料をそのまま供試体として、試料下部より給排水する。また、自然地盤の降雨による浸透や排水の状況の再現を想定すれば、非定常浸透過程による試験方法が妥当であると考え、非定常浸透での測定を実施した。ここで、非定

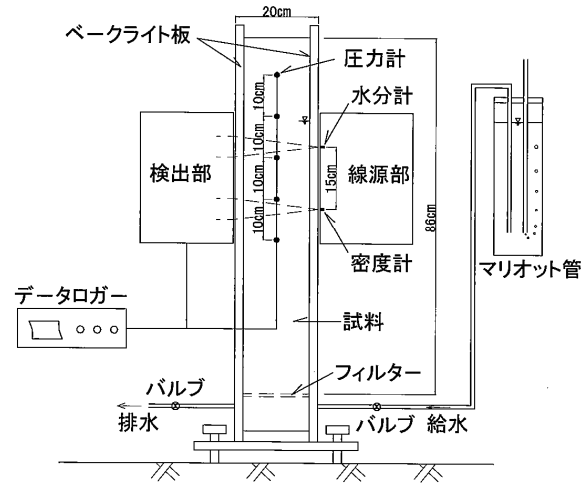


図5 不飽和透水試験装置

常浸透過程での水分とサクシジョンの変化を同時に測定するため、水分計として中性子線源(カリフォルニウム Cf_{252} , 容量 60 μCi), 密度の測定にはガンマ線(コバルト Co_{60} , 容量 100 μCi)を埋め込んでいる。一方、サクシジョンの測定には先端に素焼版(A.E.V.200 kN/m^2)を装着した圧力計先端を試料に少し埋設させて用いた。また、水分計と密度計は供試体をはさんで、上下に自由に移動できる構造となっており、任意の時間に任意の位置の測定が可能である。この試験装置による水分量と密度の計測値の計算法と精度については既に報告されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。また、本試験装置においては、豊浦砂を用いて較正試験を実施し試験機の精度を確認している。

実験の手順としては供試体下部から給水して上部から水をオーバーフローさせる給水過程と、つづいて水位を自由落下させる排水過程からなっている。そして、各時刻、位置におけるサクシジョン、含水比、密度を測定した。体積含水率の経時的な変化は土中の全領域にわたって行う必要があり、また、圧力水頭の変化は複数地点での計測が必要となるため、複数地点の計測を実施した。河野ら¹⁰⁾は同様の実験から不飽和水理特性を求めており、この考えを用いて解析した。土柱内の一次元鉛直浸透の運動式と連続の式から式(2)が導かれる。試料上端面を $z=0(\text{m})$ 、鉛直下向きを正とした基準面からの高さとする、 $z=h(\text{m})$ で給水が行われないため流速 $v=0(\text{m/s})$ として、式(3)の非定常一次元鉛直浸透の理論を用いて体積含水率とサクシジョンならびに不飽和透水係数を求めた。

$$\int \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = K(\theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) + C_1 \quad (2)$$

ここで、 θ は体積含水率、 t は時間、 $K(\theta)$ は不飽和透水係数、 ψ はサクシジョン、 C_1 は積分定数である。

$$\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = K(\theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad (3)$$

$$K(\theta) = \left\{ \int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \right\}_{z,t} / \left\{ \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\}_{z,t} \quad (4)$$

式(4)の分子は土中の各計測地点での体積含水率の時間的变化を測定し、ある任意の点 z_3 を時間 $t_1 \sim t_2$ の間に通過する流量を A とすると、式(5)で求められる。

$$\left[\int_0^{z_3} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \right]_{z_3, \frac{t_1+t_2}{2}} \equiv \frac{A}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

式(4)の分母は土中の各計測地点の圧力水頭を経時的に観測し、任意時間 $(t_2+t_1)/2$ における任意地点 z_3 の動水勾配は、 z_2, z_4 の圧力水頭 $\psi_2 - \psi_4$ を用いて近似的に式(6)で求められる。

$$\left[\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right]_{z_3, \frac{t_1+t_2}{2}} = \left(\frac{\psi_2 - \psi_4}{z_2 - z_4} \right)_{\frac{t_1+t_2}{2}} + 1 \quad (6)$$

式(5)、式(6)を式(4)に代入して不飽和透水係数が算出できる。

3. 実験結果

3.1 水分特性

給水過程及び排水過程における体積含水率とサクシヨンの関係である水分特性曲線を図 6 に示す。この図からわかるように、サクシヨン $\psi=0\text{kPa}$ ($S_r=100\%$) のとき、体積含

水率は風化度が大きい試料ほど大きくなっている。また、弱風化試料の体積含水率の変化に伴うサクシヨンの変化と、強風化試料での体積含水率の変化に伴うサクシヨンの変化の傾向はほぼ等しくなっており、体積含水率に対して水分特性曲線が平行移動している。これは強風化試料になるほど体積含水率が大きくなっていることを示し、風化が進むにつれ土粒子内部の水分が多くなり、その結果体積含水率が大きくなっていると思われる。さらには、サクシヨンの変化に比べて体積含水率の変化が小さくなる残留サクシヨンの値は風化度が異なるにもかかわらず一定の値に収束する傾向がある。このような、体積含水率とサクシヨンの関係は、土の間隙の特性に依存していると考えられる。不攪乱まき土の土構造は風化程度によって間隙の分布が異なり、図 3 の概念図のように弱風化の試料では間隙の多くが土粒子間の間隙であり連続的にネットワークを形成しているため、土粒子内部の水分はあまり多くなく、多くが流動しやすい土粒子間の間隙にあるものと推定される。一方、風化が進んだ試料では、土粒子内部に細かな間隙が発達してくることにより、水分はその土粒子内部の間隙にも入るため体積含水率が多くなっていると推定される。

ラリーノフはこのような土粒子内部の間隙を非活性間隙と呼んでいる¹¹⁾。また、風化土や団粒を形成する土では、多くの実験結果からその大きさは概ね 0.02 mm 以下としている。 0.02 mm 以下の間隙は、一般の土では十分透水し

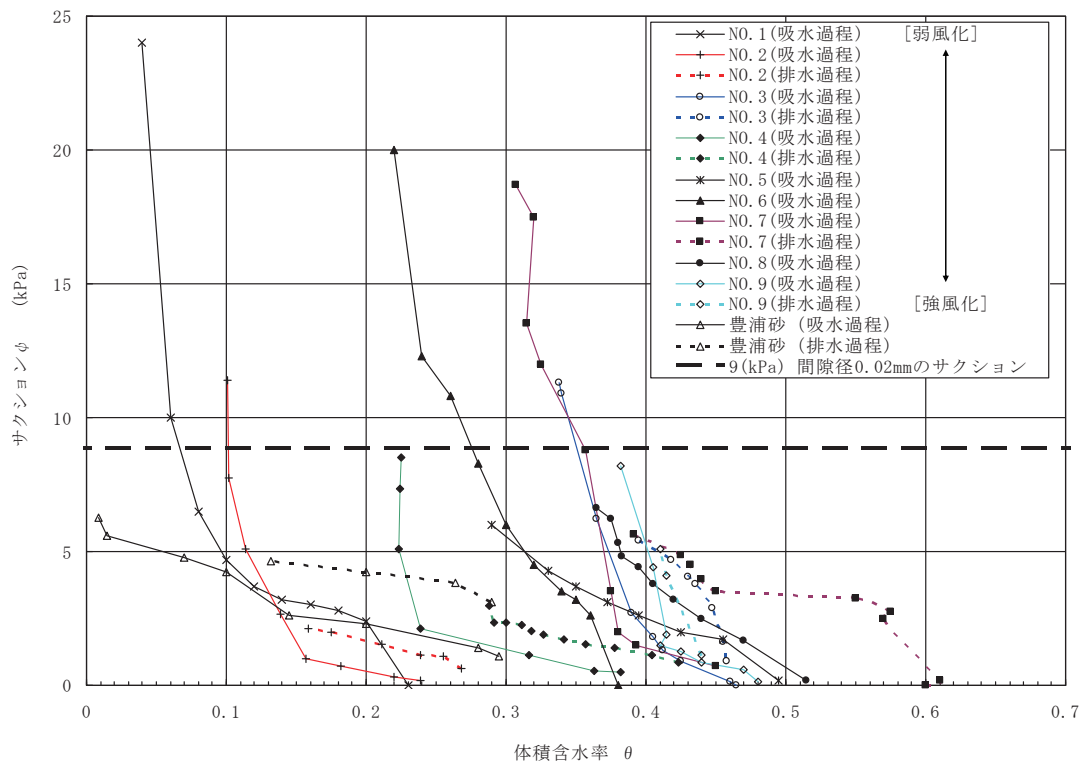


図 6 不攪乱まき土の水分特性曲線

うる間隙であるが風化土や、団粒化した土の場合、団粒内部の間隙とそれ以外の間隙の境界がこの大きさの間隙となり、 0.02 mm 以下の間隙では排水されにくくなると述べており、サクシヨンの変化に比べ体積含水率の変化が小さくなる境界の残留サクシヨンの時の体積含水率に相当すると考えられる¹¹⁾。

また、 0.02 mm の間隙に相当するサクシヨンは、ラリオノフの実験結果によると、ほぼ 9 kPa となるとされている¹¹⁾。

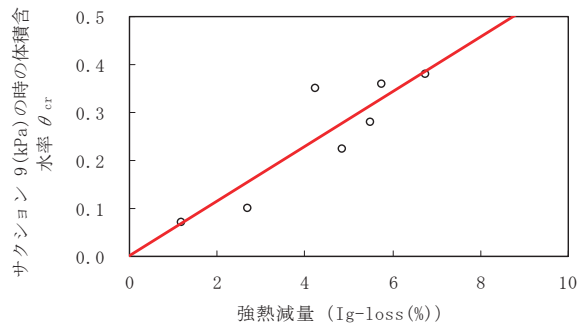


図 7 9kPa 時の体積含水率 (θ_{cr}) と強熱減量との関係

この考えをまさ土に適用してみると、図 6 の点線が 9 kPa のラインを示したものであるが、この付近を境にサクシヨンの増加するにもかかわらず体積含水率の変化が少なくなる。このことは、 9 kPa を示すときの体積含水率 θ_{cr} がまさ土においても、残留サクシヨンの時の体積含水率に近い値となっているものと推定される。

また、このサクシヨン 9 kPa 時の体積含水率と風化度を示す強熱減量との相関性を調べた。強熱減量と 9 kPa を示すときの体積含水率 θ_{cr} の関係を示したものが図 7 である。両者の間には非常に良い相関が見られる。このことから、結果として強熱減量からまさ土の残留サクシヨンの時の体積含水率 θ_{cr} を推定できる事がわかった。

3.2 不飽和透水係数

飽和透水係数と不飽和透水係数(式 3 参照)の比を比透水係数 K_r として、体積含水率 θ と比透水係数 K_r の関係を示したのが図 8 である。これを見ると、風化度の大きい供試体ほど体積含水率 θ の大きい領域に位置しており、また風化度の低い供試体は豊浦砂に近い位置に分布している。

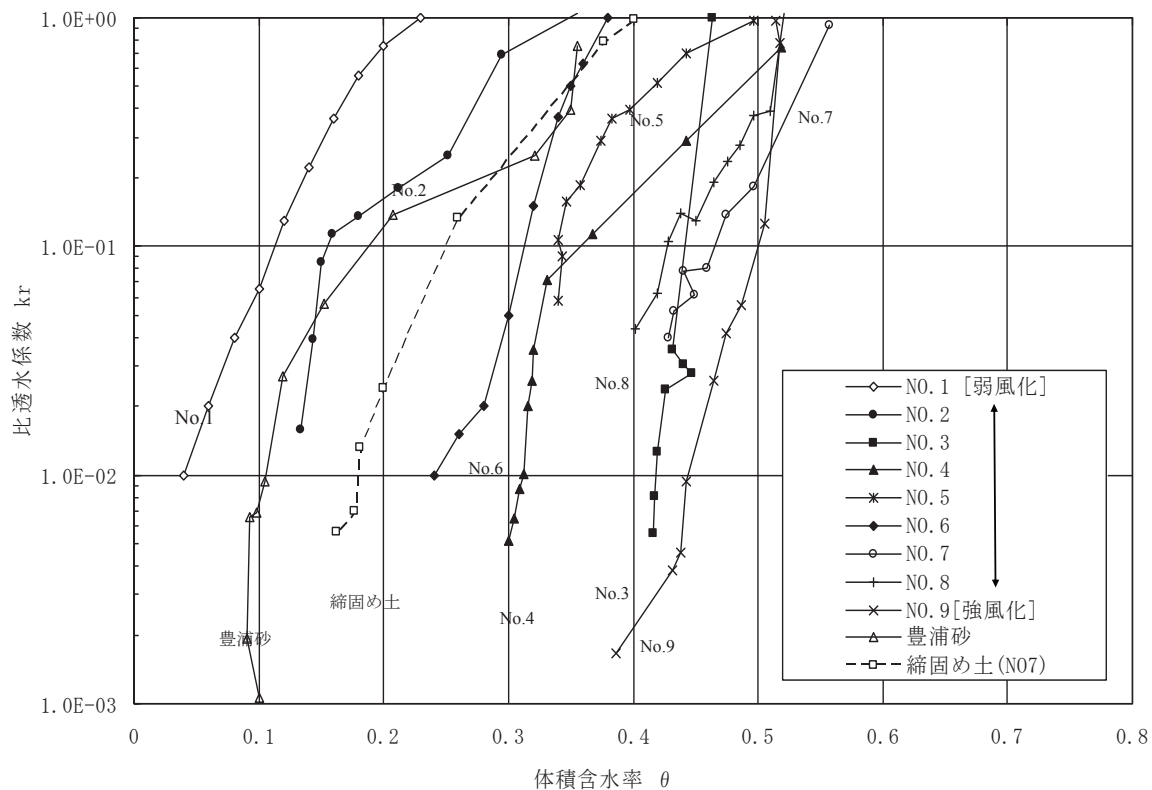


図 8 比透水係数 K_r と体積含水率 θ

4. 実験結果の解釈

これまでの実験結果から、風化度に応じて異なる不攪乱まき土の土構造と不飽和水利特性は密接な関係にあることが分かった。とりわけ、図 6 に示すように風化度に応じて体積含水率とサクシヨンの関係が体積含水率軸上を平行移動することは、風化度に応じた土構造の観点から解釈できるとと思われる。そこで、これらの不飽和水利特性を把握するため、水分特性曲線の数式表示を考える。水分特性曲線の数式表示については、van Genuchten の式（以降、VG-model と呼ぶ）がよく用いられている¹²⁾。この式のサクシヨンと有効飽和度 S_e の間には式(7)、(8)のような関係があることが明らかにされている。

$$S_e = \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \psi)^n} \right)^{1-1/n} \quad (7)$$

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) \quad (8)$$

さらに、van Genuchten は Mualem の研究である式(8)に、式(7)を代入することで不飽和透水係数を推定する式(9)を提案している。

$$Kr = S_e^{1/2} \left[\int_0^{S_e} \frac{1}{\psi(x)} dx \Big/ \int_0^1 \frac{1}{\psi(x)} dx \right]^2 \quad (9)$$

ここで、 n 、 α は定数、 θ_r は残留サクシヨン時の体積含水率、 θ_s は $S_r=100$ %のときの体積含水率、 ψ はサクシヨン、 θ は任意の体積含水率である。また、 $m=1-1/n$ として式(10)の形で表現できるとしている。

$$Kr(\theta) = S_e^{1/2} \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (10)$$

この中で、 θ_r は残留サクシヨン時の体積含水率であり、不攪乱まき土の場合、前述のように土粒子内間隙の 0.02 mm 以下の間隙量 θ_{cr} が、この残留サクシヨン時の体積含水率と同等と考えられる。この θ_{cr} の値を適用し、体積含水率とサクシヨンの関係式(7)を用いてフィティングした結果の例を図 9、図 10 に示す。このときのパラメータ α 、 n 、と θ_s 、 θ_r (θ_{cr} と等しいとする) の値を表 2 に示した。また、これらのパラメータを用いて比透水係数 Kr を計算し、実測値との比較を示したものが図 11 である。実験値と計算値が完全に一致はしないが、比透水係数 Kr の変化をある程度表現することができている。

そこで、代入した定数 α 、 n 、と θ_s を強熱減量から求めることが出来ないかと考え、両者の関係をプロットしたものが図 12、図 13、図 14 である。図中の線は最小自乗法を用いて求めたものである。これらの図から α や n は強熱減量の大きいところでは前述のような土構造の違いから相関性が低くなる傾向が認められるが、 $S_r=100$ %のときの体積含水率 θ_s は、どの供試体でも強熱減量から精度良く推定できていると判断される。このことから、不飽和

表 2 VG-model を用いて算出したパラメータ

供試体	強熱減量 Ig-loss (%)	VG-model から算出した各パラメータ			
		α (cm ⁻¹)	n	θ_r	θ_s
No. 1	1.19	29.0	5.00	0.070	0.230
No. 2	2.69	16.0	4.00	0.100	0.300
No. 3	4.25	42.0	3.80	0.350	0.465
No. 4	4.84	13.0	3.00	0.225	0.490
No. 5	4.89	27.0	4.50	0.280	0.500
No. 6	5.49	35.0	3.00	0.270	0.387
No. 7	5.75	36.0	5.00	0.340	0.600
No. 8	5.89	19.0	3.00	0.360	0.520
No. 9	6.75	2.9	1.56	0.380	0.515

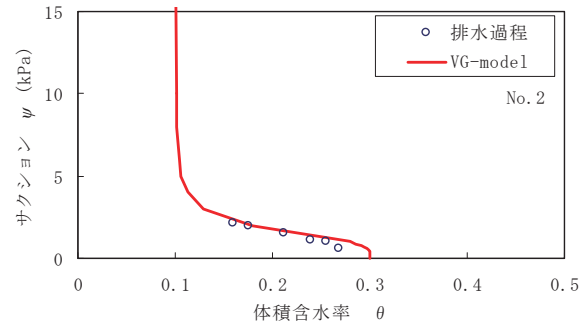


図 9 水分特性曲線 No.2(Ig-loss=2.69%)

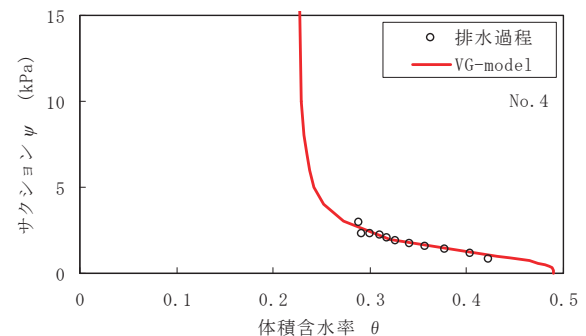


図 10 水分特性曲線 No.4(Ig-loss=4.84%)

水利特性を算出する場合、風化度の指標である強熱減量が概ね有力なパラメータとなり得る事がわかった。

すなわち、不攪乱試料を採取して実施するコストの高い室内不飽和透水試験の実施量を減らして、安価な強熱減量試験から風化土の水分特性曲線や不飽和透水係数の概略値を推定できる可能性を示唆している。ただし、表層に近い強熱減量の大きいところでは、その地層の成因から強熱減量を用いて不飽和水利特性を精度良く推定するにはまだ問題が残っている。

5. 結論

- 1) 間隙の大きさに着目した不攪乱まき土の土構造は、強熱減量と良い相関があり、風化の程度が大きい試料ほど強熱減量が大きく、小さな間隙の量が増加してくる傾向がある。

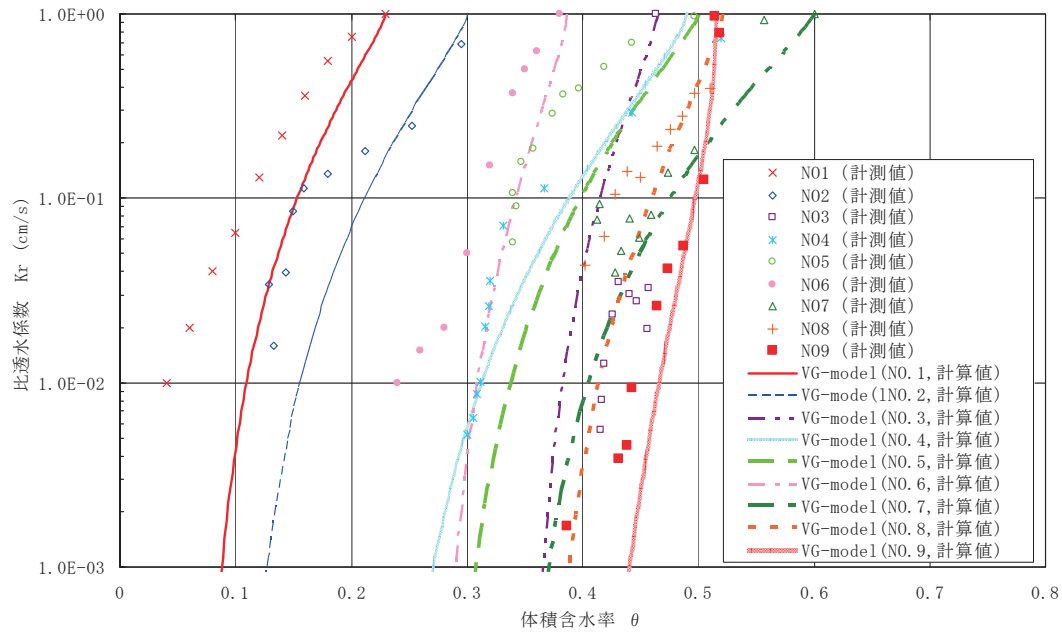
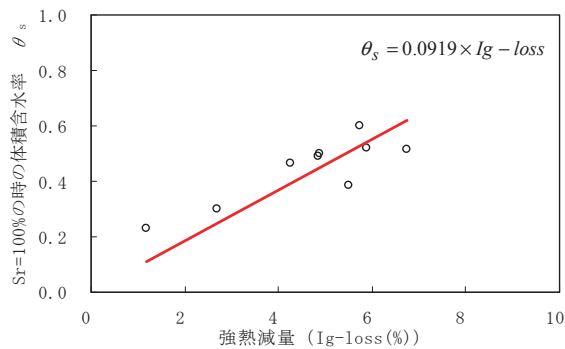
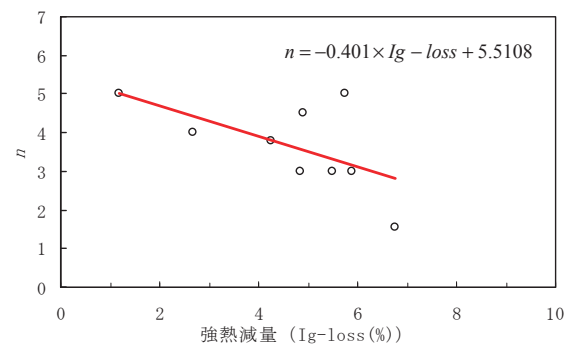
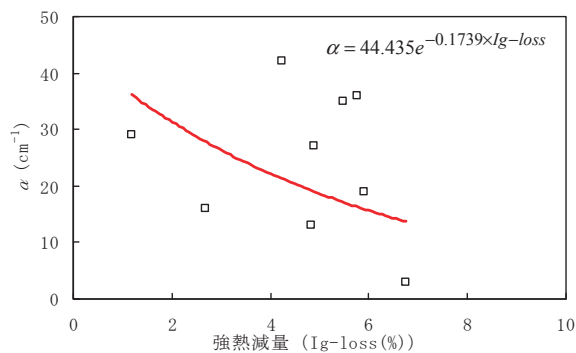


図 11 比透水係数の実測値と計算値の比較


図 12 強熱減量と θ_s の関係

図 14 強熱減量と n の関係

図 13 強熱減量と α の関係

- 2) 風化花崗岩の間隙は、土粒子間の間隙と土粒子内の間隙に区分でき、風化が進むにつれて土粒子内の間隙が増加していき、その中に水が侵入するため、残留サクシジョン時の体積含水率が増加すると考えられる。
- 3) 風化花崗岩の土粒子内の間隙径はラリオノフの提唱している 0.02 mm 程度以下と推定され、その体積含水率 θ_{cr} は残留サクシジョン時の体積含水率 θ_r と同等と見なせる。また、 0.02 mm 程度以下の体積含水率 θ_{cr} は強熱減量とよい相関があり、強熱減量から推定可能である。また、 $Sr=100\%$ のときの体積含水率 θ_s も強熱減量と良い相関がある。
- 4) van Genuchten 式を用いて、強熱減量から不飽和水利特性を推定できる可能性を示したが、地表付近の強熱減量の大きなところでは、その精度には改善の余地があり、今後のデータの蓄積を要する。

本論文では、不攪乱まさ土の不飽和水理特性を風化とそれに伴う土構造の変化から明らかにすることを試みた。その結果、現地の土層断面の不飽和水理特性を推定する場合、風化度の指標である強熱減量を用いて推定できる可能性を示した。このことは、不攪乱試料の採取が困難で、かつ不均質に風化度が深さ方向に連続的に変化するまさ土（風化花崗岩）の斜面において、代表的ないくつかの不攪乱サンプルを用いて不飽和水理特性試験を実施すれば、風化度の異なる土層の不飽和水理特性は、強熱減量を尺度として補間することが可能となり、豪雨時の斜面崩壊の安定性の検討に有効に利用できるものと考えられる。

謝辞

本論文のとりまとめに当っては株式会社ダイヤコンサルタントの鏡原聖史氏の協力を得た。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Sasaki, S., Nishida, K. and Araki, S.: Soil fabric undisturbed decomposed granite and unsaturated permeability characteristics, Proceedings of the International symposium problematic soils, pp.391-394, 1998.
- 2) Sasaki, S., Nishida, K. and Araki, S.: Seepage characteristics of decomposed granite soil slope during rainfall, Proceedings of the international symposium on slope stability, pp.423-428, 1999.
- 3) 松尾新一郎, 榎本武明: マサ土の土粒子破碎に伴う透水性低下について, 土質工学会論文報告集, Vol.17, No.4, pp.87-97, 1977.
- 4) 西田一彦, 青山千彰: 花崗岩風化層の間隙径分布と水分吸着特性について, 応用地質, Vol.20, No.1, pp.3-12, 1979.
- 5) Araki, S., Nishida, K. and Sasaki, S.: Porestructure and hydraulic conductivity characteristics of undisturbed decomposed decomposed granite soil, Pro.the 2nd Asian conf.unsaturated soil, pp.339-345, 2003.
- 6) 楠田啓, 西山孝, 西田一彦: 花崗岩の風化に伴う微小割れ目の形成と間隙の発達について, 土質工学会論文集, Vol.32, No.2, pp.169-175, 1992.
- 7) 社団法人地盤工学会: 土質試験の方法と解説 第1回改訂版, pp. 764, 2000.
- 8) 西田一彦, 青山千彰: 乱さない不飽和まさ土のせん断強度特性, 土と基礎, vol29, NO.6, pp.35-40, 1981.
- 9) Matsuo, S., Nishida, K. and Sasaki, S.: Physical properties of soil particles and their effect on hydraulic conductivity of unsaturated decomposed granite soil, Soils and Foundations, vol.21, No.4, pp.1-12, 1981.
- 10) 河野伊一郎, 西垣誠: 不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第307号, pp.59-69, 1981.
- 11) アーカー・ラリオノフ(松尾新一郎訳): 土の構造, 山海堂, pp.134-144, 270-275, 1973.
- 12) van Genuchten: A closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soil, Journal of Soil Science America, Vol.44, pp.892-898, 1980.

(2010. 7. 29 受付)

Hydraulic conductivity of unsaturated decomposed granite soil with reference to the degree of weathering

Shigeyuki ARAKI¹, Satoru SHIBUYA², Tatuaki NISHIGATA³,
Kazuhiko NISHIDA⁴ and Seiichi SASAKI⁵

- 1 Dia Consultants, Co, Ltd, also Graduate Student, Kobe University
- 2 Graduate School of Civil Engineering, Kobe University
- 3 Department of Civil and Environmental Engineering, Kansai University
- 4 Department of Civil and Environmental Engineering, Kansai University
- 5 Department of Environmental and Civil Engineering, Wakayama National College of Technology

Abstract

The hydraulic conductivity of disturbed sample is employed for engineering problems of geo-structures made of decomposed granite soil. The hydraulic conductivity of the undisturbed sample is needed for seepage and failure problems associated with natural slopes. The hydraulic conductivity of in-situ slopes differs from that of the compacted sample due mainly to the different structure. However the research into the seepage characteristics of undisturbed decomposed granite soil is scarce. In this study, a series of laboratory tests were carried out in order to manifest the suction-water characteristic curve and the hydraulic conductivity with reference to the soil structure affected by the degree of weathering.

Key words: Slope failure, Undisturbed decomposed granite soil, Unsaturated soil, Hydraulic conductivity

ジオ・ラボネットワーク第3回技術研修会

関西地盤環境研究センター

地盤技術室 三好 功季

7月2日～3日の2日間、中部土質試験協同組合にて行われた「ジオ・ラボネットワーク第3回技術研修会」の参加報告を致します。関西からは、金津職員と2名で参加しました。

今回は土粒子の密度試験と粒度フルイ試験が行われたのですが、正直なところまだしたことのない試験だったので、もしかすると恥をかうしてしまうかもしれないと関西代表としてとても不安がありました。他の組合の方々にも初めて試験をされる方が数人いらしたので、少し緊張がほぐれました。関西は土粒子の密度試験を、これまでは普段乾燥法で試験を行っていましたが、これから湿潤法に変えていく段階だったので今回の研修会で勉強になりました。粒度フルイ試験では個人差の生じない電磁法で試験をしたのですが、同じ時間で誰がしてもほとんど結果が変わらないことに驚きました。さらに機械にかかる時間を1分でも10分でも結果が変わらないことにも驚きました。

岡山水質試験組合副理事長の西垣先生や久保部長の講義では、まだ勉強した事のないお話でかなり難しかったのが本音ですが、とても興味を沸かせてくれるお話でした。もっと理解できるように勉強しようと思います。その時にまた、お話を聞かせて頂けたらなと思っております。

中部土質試験組合を訪問するのは初めてで、噂には聞いていたのですが試験室はとても広くて綺麗でした。その中で1つとても驚いたことがあります。玄関になにかニュースのようなものがテレビに映っていたのでふと見てみると、太陽光発電と書いてありました。聞いてみると、新棟の建設時に屋上に太陽光パネルを設置したそうで、地球環境や省エネに配慮されているのに感心しました。

懇親会では坪田理事長を始め、他の組合の多くの方々とお話できたことが一番貴重な時間で、とても有意義に過ごさせて頂きました。今後この研修会が続き、物理試験だけでなく、力学試験等いろんな試験の比較検証も楽しみにしております。

最後になりましたが、中部土質試験組合の皆様、参加者の皆様に変にお世話になりお礼を申し上げます。今後ともよろしくお願い致します。



土粒子の密度試験の様子



粒度フルイ試験の様子

土質試験見学会報告（その2）

～アンケート結果から～

6月18日に開催した「土質試験見学会」参加者アンケートの結果を報告いたします。参加・回答頂いた方々に感謝いたします。

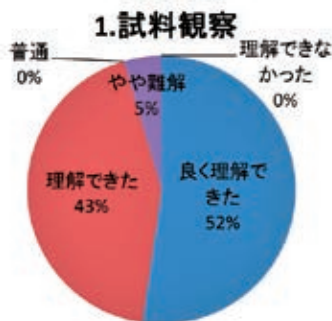
図－1は不攪乱試料の押し出し観察についての評価です。理解できたが95%でした。

図－2～4は試験種ごとの評価です。ほぼ90%以上の方が理解できたと回答頂きました。

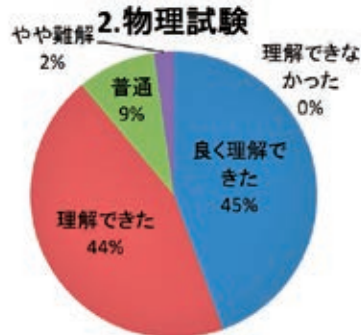
図－5は第Ⅱ部として、実際に試験を体験して頂いた方の回答です。実際に手を動かすことにより、80%の方が理解が深まったという回答でした。

全体を通した意見として①参加中、半数以上の方はセンター職員の説明を理解できたという回答がありました。反面、②試験項目が多く、時間的に物足りなさを感じられた方もおられ、今後の課題となりました。さらに、③次の開催への期待についても、ある特定の試験に特化した見学会とのご意見もありました。

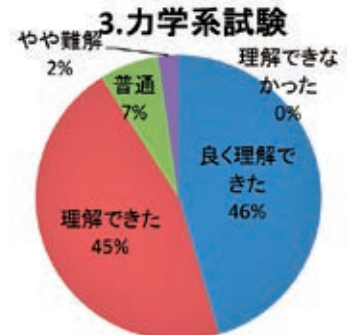
次の見学会は実技セミナー的なものを企画いたします。どうぞご期待ください。



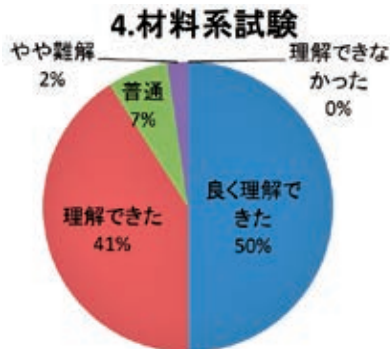
図－1 試料観察



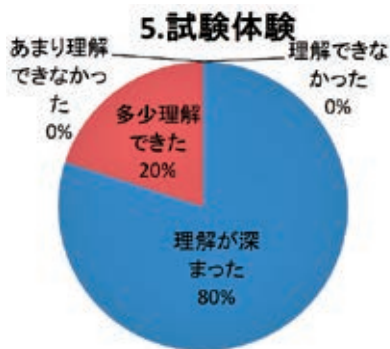
図－2 物理試験



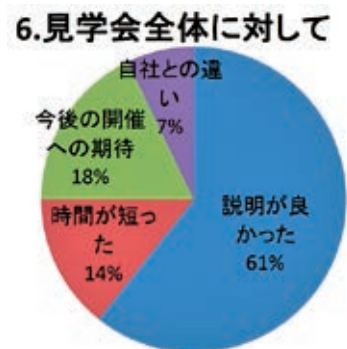
図－3 力学系試験



図－4 材料系試験



図－5 試験体験



図－6 全体を通じて

行事・講習会・資格試験等のご案内

(H27年7月23日現在)

主 催	開催日 開催地	名 称	募集内容	申込締切
関西地質調査業協会 http://www2.ocn.ne.jp/~kstisitu/		匠（優秀オペレータ）募集	募集	10月1日～3月31日
全国地質調査業協会連合会 http://www.zenchiren.or.jp/	9月17日～18日	全地連「技術フォーラム2015」名古屋	フォーラム	
地質リスク学会 http://www.georisk.jp/	11月20日	第6回地質リスクマネジメント事例 研究発表会	募集中	9月30日まで
地盤工学会関西支部 http://www.jgskb.jp/	8月5日	第57回実技セミナー「小規模建築物の 地盤調査と基礎設計」	実技 セミナー	
	11月20日	Kansai Geo-Symposium 2015	シンポジウム	
地盤工学会 https://www.jiban.or.jp/	9月1日～4日 北海道	第50回地盤工学研究発表会	発表会	
		シニア会員と若手の交流企画	講師募集	原則として 年齢60歳以上
土木学会 http://www.jsce.or.jp/	9月16日～18日 岡山	平成27年度土木学会全国大会	発表会	
	11月10日	平成27年度セミナー「土木学会による 実務者のための耐震設計入門:実践編」		
日本建築学会 http://www.aij.or.jp/	9月4日～6日 東海大学湘南 キャンパス	2015年度日本建築学会大会（関東） 学術講演会	講演会	
日本応用地質学会 http://www.jseg.or.jp/index.html	9月24日～25日	平成27年度 日本応用地質学会 研究発表会	発表会	
	9月26日～27日	第10回アジア地域応用地質学シンポジウム	シンポジウム	
公益社団法人農業農村工学会 http://www.jsidre.or.jp/	9月1日～3日 岡山大学	平成27年度 農業農村工学会 大会講演会	講演会	
建設コンサルタンツ協会近畿支部 http://www.kk.jcca.or.jp/	9月10日	第48回（平成27年度）研究発表会	発表会	
（一社）環境地盤工学研究所 http://rieg.jp/	8月29日	平成27年度総会・第8回環境地盤工学 研究会	総会	

※内容の詳細については、ホームページ等でご確認願います。

こんな時代だから、 ちょっと♡に残る良い話

今回のちょっといい話は、一度は耳にしたことがある名言だと思います。
お暇な時に一読してみてください。

(稲田 記)

【為せば成る】

為せば成る

為せねば成らぬ 何事も

成らぬは 人の為さぬなりけり

うえすぎようざん
上杉鷹山

1751～1823

米沢藩（現在の山形県南部）藩主

上杉鷹山は、かつてアメリカ大統領J・F・ケネディが
最も尊敬する日本人としてあげた人です。

鷹山は17歳で米沢藩（山形県）の藩主となり、
その後、様々な改革によって、貧窮していた藩を立て直した名君です。
鷹山は「民の父母」としての根本方針を次の「三助」としました。

- ・自らが自らを助ける、すなわち「自助」
- ・近隣社会が互いに助け合う「互助」
- ・藩政府が手を貸す「扶助」

この方針によって様々な改革を行い、
米沢藩は経済的に豊かになるだけでなく、
人々の精神も豊かになっていきました。
すなわち、病人や障害者はまわりの人たちが面倒をみて、
お年寄りを尊敬し、
飢饉のときには富裕なものが、貧しい者を助ける、
物質的にも精神的にも、美しく豊かな地域を作り出すことができたのです。

〈参考〉 <http://archive.mag2.com/0000141254/201507240700000000.html>

編集後記

「いや～本当に暑い日が続きますね～」近年は、例年よりも早い台風の発生やゲリラ豪雨等、気候変動による影響を受けている現象が多いですね。

天気予報で5月ぐらいには、今年の夏は冷夏になるであろう・・・と予想がされていましたが、“ハズレ”だったのではないかと・・・。冷夏や猛暑というのは夏が終わった後に分かる内容なので何とも言えないですが、今年も夏を乗り切れるか心配をしています。

まだ7月が終わっただけです。8月に入りまだまだ酷暑が続くと思いますが、こまめな水分補給・・・というか塩分と水分と一緒に摂ってください！水分だけでは熱中症になりますよ！今はドラッグストアに OS-1 シリーズがありますので、外での作業等では1本携帯しとくのがおススメかもしれません。

皆様、熱中症には十分に気をつけて下さい！

(山岡 記)

組合員・賛助会員名簿

【組合員名簿】

(50 音順)

会 社 名	電話番号	会 社 名	電話番号
株式会社 アスコ	(06)6282-0323	株式会社 白浜試錐	(0739)42-4728
株式会社 アテック吉村	(072)422-7032	株式会社 ソイルシステム	(06)6976-7788
株式会社 インテコ	(0742)30-5655	株式会社 ダイヤコンサルタント 関西支社	(06)6339-9141
株式会社 エイト日本技術開発 関西支社	(06)6397-3888	株式会社 タニガキ建工	(073)489-6200
株式会社 オキコ コーポレーション	(06)6881-1788	株式会社 地圏総合コンサルタント 大阪支店	(06)6223-0955
応用地質 株式会社 関西支社	(06)6885-6357	中央開発 株式会社 関西支社	(06)6386-3691
川崎地質 株式会社 西日本支社	(06)7175-7700	中央復建コンサルタンツ 株式会社	(06)6160-1121
株式会社 関西土木技術センター	(075)641-3015	株式会社 東京ソイルリサーチ 関西支店	(06)6384-5321
株式会社 関西地質調査事務所	(072)279-6770	株式会社 東建ジオテック 大阪支店	(072)265-2651
株式会社 基礎建設コンサルタント 大阪営業所	(088)642-5330	東邦地水 株式会社 大阪支社	(06)6353-7900
基礎地盤コンサルタンツ 株式会社 関西支社	(06)6536-1591	株式会社 日さく 大阪支店	(06)6318-0360
株式会社 キンキ地質センター	(075)611-5281	株式会社 日建設計シビル	(06)6203-3694
株式会社 建設技術研究所 大阪本社	(06)6206-5700	日本基礎技術 株式会社 関西支店	(06)6351-0562
興亜開発 株式会社 関西支店	(072)250-3451	日本物理探査 株式会社 関西支店	(06)6777-3517
株式会社 神戸調査設計	(078)975-3385	株式会社 阪神コンサルタンツ	(0742)36-0211
株式会社 興陽ボーリング	(06)6351-1590	阪神測建 株式会社	(078)360-8481
国際航業 株式会社 関西技術所	(06)6487-1111	復建調査設計 株式会社 大阪支社	(06)6392-7200
株式会社 国土地建	(0748)63-0680	双葉建設 株式会社	(0748)86-2616
サンコーコンサルタント 株式会社 大阪支店	(06)4803-2010	株式会社 メーサイ	(06)6190-3371
株式会社 シマダ技術コンサルタント 大阪本社	(06)6392-5171	明治コンサルタント 株式会社 大阪支店	(072)751-1659
有限会社 ジョ・ロジック	(072)429-2623	株式会社 ヨコタテック	(06)6877-2666

【賛助会員名簿】

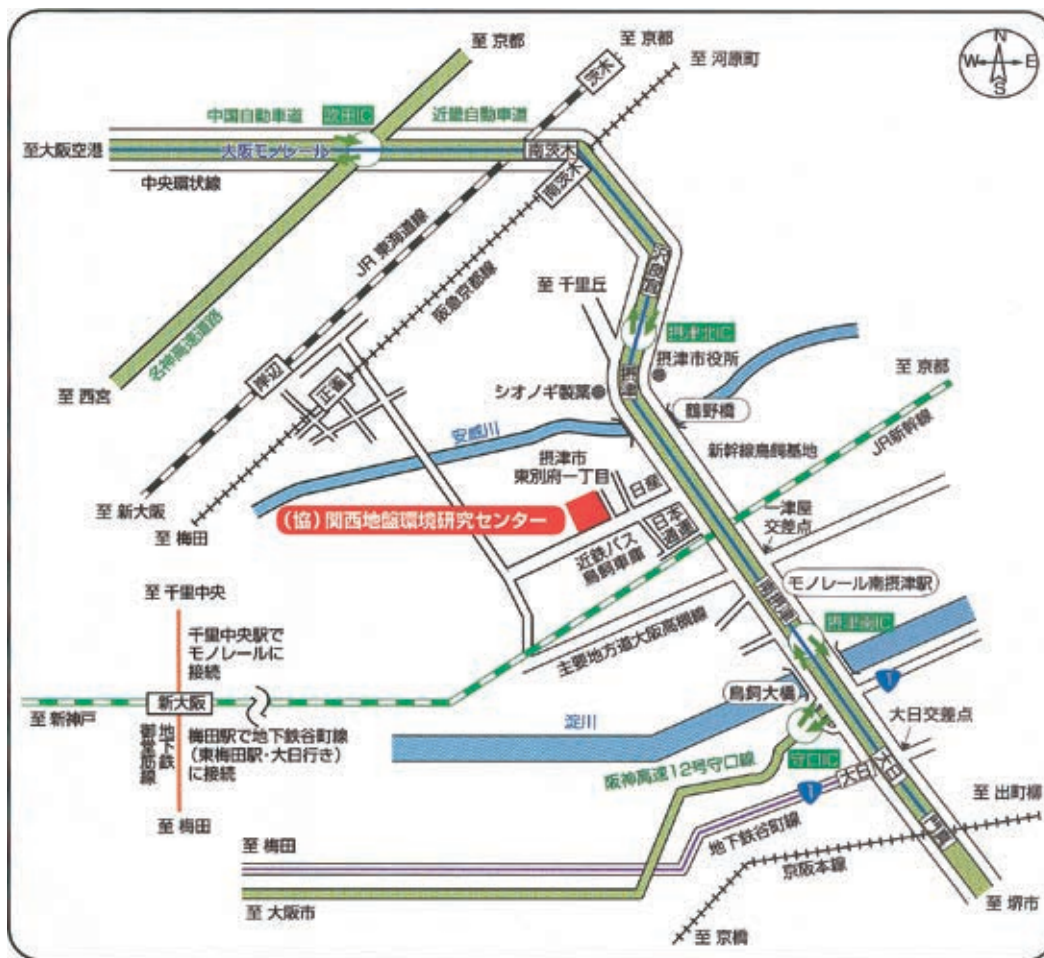
会 社 名	電話番号	会 社 名	電話番号
株式会社 アーステック東洋	(075)575-2233	株式会社 ソルブレイン	(06)6981-3330
株式会社 池田地質	(06)6797-2280	株式会社 中堀ソイルコーナー	(06)6384-9069
株式会社 創研技術	(088)652-0077	株式会社 兵庫コンサルタント	(0799)28-1074
株式会社 総合技術コンサルタント	(072)312-0653		

発 行 協同組合 関西地盤環境研究センター
〒566-0042 摂津市東別府1丁目3番3号
TEL 06-6827-8833 (代)
FAX 06-6829-2256
e-mail tech@ks-dositu.or.jp

編 集 情報化小委員会
編集責任者 中山義久
印 刷



<http://www.ks-dositu.or.jp>



モノレール南摂津駅より徒歩約15分 JR岸辺駅よりタクシーで約10分 阪急正雀駅より徒歩で約25分



JAB
Testing
RTL02160
認定範囲
M25機械・物理試験
M25.21土質試験



(登録範囲) <http://www.jtccm.or.jp/>



JAB
CM015

協同組合 関西地盤環境研究センター

〒566-0042 大阪府摂津市東別府1丁目3-3

TEL.06-6827-8833(代表)

FAX.06-6829-2256(地盤技術室)

<http://www.ks-dositu.or.jp>

ISO/IEC17025認定試験所(摂津試験所)

ISO9001認証取得

計量証明事業者登録(濃度)大阪府第10310号

環境省土壌汚染指定調査機関(環2003-1-99)