

Relation between the Compressive and Shear Characteristics and
the Degrees of Weathering of Decomposed Granite Soils.

村田 秀一* (Hidekazu Murata)

安福 規之** (Noriyuki Yasufuku)

山本 修三*** (Osami Yamamoto)

キーワードズ：圧縮 / せん断強さ / 三軸圧縮試験 / 風化 / 物理化学的性質 / まさ土 (IGC : D6 / D5)

1. まえがき

西日本に広く分布するまさ土は、鉱物組成や風化の程度が場所によって著しく異なり、その工学的性質が複雑な土としてよく知られている。特に、土粒子がぜい弱なため、粒子の破碎現象が、その力学特性に大きな影響を及ぼしていると考えられる。近年、社会情勢を反映し、道路、空港、宅地造成などでの建設工事が、まさ土地帯に広がり、まさ土地盤の詳細な安定解析が益々要求されるようになって来た。

これまで、まさ土に関する研究は、数多くなされ、興味ある研究成果が示めされているものの、その工学的性質、特に力学特性について多種多様なまさ土を対象に、統一的な解釈を加えるまでにはいたっていないようである。とりわけ、まさ土の風化の程度に着目し、まさ土の力学特性を論じ、風化度に関連づけた定量的な解釈を試みることは、工学的に重要であり、かつ基本的な問題であるにもかかわらず、その研究例は少ない。

そこで本研究では、各地から採取した工学的性質の異なる16種類のまさ土を用いて、まず風化度を表わす指標について検討した。次に、同一の締固めエネルギーで締固めたまさ土の圧縮特性を広範な応力域において調べる圧縮特性と風化度及び破碎特性の関係について論じた。さらに、三軸圧縮試験の結果をもとに、締固めまさ土のせん断特性と風化度及び圧縮特性との相関性について考察を加えたものである。また、締固めまさ土と地山まさ土の三軸圧縮試験結果の比較も若干行なった。

2. 試料および実験方法

2.1 試料の性質

本研究で用いた試料は、主に山口県、広島県において採取したまさ土で、地山表層からの深さが0.5m~1.5mのものまでである。各試料の採取地及び物理的性質は表-1に示す通りである。No.1~No.8の試料は、一般に「鬼まさ」と称されるまさ土で、粒子形状は角ばっており、粗粒分を多く含み、色は白っぽいものが多い。No.9~No.14試料は、かなり風化の進んだまさ土で、角ばった粗粒子があまり見られず、色は褐色及び淡い赤褐色を呈している。また、No.15及びNo.16試料は、強風化したまさ土で、有機物を若干含んでおり粘土分は25%以上にもなる。色は、濃い赤褐色である。

今回実施した試験は、(1)比表面積試験、(2)吸水率試験、(3)鉱物組成試験、(4)強熱減量試験、(5)等方圧縮試験、(6)側圧一定の三軸圧縮排水せん断試験である。(1)、(2)は、土木学会規準JIS R 5201及びJIS A 1109に、(3)、(4)については、土質工学会規準に準じてそれぞれ試験¹⁾を行なった。(5)、(6)については、次節で述べる。

2.2 供試体作成方法と三軸圧縮試験

種々の締固めまさ土の圧縮・せん断特性を風化度に着目して比較検討する場合、供試体作成方法を統一する必

* 山口大学工学部建設工学科 教授, ** 同 助手, *** 同 技官

表-1 試料の性質

| No | 採取地 | 比重 G_s | 強熱減量 (%) | 吸水率 A_b (%) | 自然含水比 W_n (%) | 74 μm 以下 (%) | 有色鉱物含有量 (%) |
|----|---------|----------|----------|---------------|-----------------|-------------------|-------------|
| 1 | 広島県東広島市 | 2.866 | 1.66 | 2.34 | — | — | — |
| 2 | 広島県東広島市 | 2.866 | 2.25 | 2.78 | — | 9.7 | 16.53 |
| 3 | 山口県 宇部市 | 2.702 | 2.97 | 3.90 | — | — | 12.97 |
| 4 | 山口県 大島郡 | 2.834 | 3.85 | 4.67 | — | — | — |
| 5 | 山口県 宇部市 | 2.811 | 4.29 | 6.35 | 6.9-9.4 | 12.3 | — |
| 6 | 香川県 高松市 | 2.649 | 5.15 | — | — | — | — |
| 7 | 山口県 宇部市 | 2.817 | 5.22 | — | 6.1-11.1 | 19.2 | — |
| 8 | 山口県 宇部市 | 2.818 | 5.58 | 5.91 | 8.2-13.4 | — | — |
| 9 | 広島県東広島市 | 2.810 | 5.98 | 5.58 | 12.7-21.1 | 15.0 | — |
| 10 | 山口県 大島郡 | 2.887 | 6.28 | 6.59 | — | — | — |
| 11 | 宮城県 仙台市 | 2.701 | 6.85 | 4.72 | — | — | 5.87 |
| 12 | 山口県 宇部市 | 2.823 | 6.81 | 6.98 | 12.9-13.5 | 19.5 | 7.74 |
| 13 | 山口県 宇部市 | 2.829 | 7.67 | 9.89 | 16.1-16.4 | 18.3 | — |
| 14 | 山口県 宇部市 | 2.829 | 8.80 | 9.04 | 20.7-25.8 | 26.2 | 13.49 |
| 15 | 山口県 美祿市 | 2.708 | 9.69 | — | 33.9-37.9 | — | — |
| 16 | 山口県 美祿市 | 2.832 | 11.04 | 13.71 | 35.9-36.4 | 86.1 | — |

要がある。そこで本研究では、気乾燥試料を同一の締固めエネルギーで締固めることによって作成した供試体を実験に供することにした。また、実験はすべて 2.0 mm ふるいでふるった試料を用いて行った。図-1 は、同一の締固めエネルギーで表-1 に示した各々のまさ土を締固めた時の相対密度 D_r 及び乾燥密度 γ_d と強熱減量 L_i の関係を示したものである。この図より、締固めエネルギーを統一して供試体を作成する場合、 γ_d の値は強熱減量の大きい試料ほど小さくなる傾向にあるが、相対密度は、試料に関係なくほぼ等しい値(約 90%)を示していることがわかる。

等方圧縮試験は、等方圧力 10 kPa ~ 17 MPa の範囲で、気乾・飽和供試体について行なった。供試体寸法は、直径 5 cm, 高さ 12.5 cm であり、図-1 からわかるように相対密度は、すべての供試体で約 90% であった。圧縮方法としては、各圧力段階で体積変化が 0.1 %/hr 以下になったら次の段階に進むという方法をとった。

飽和供試体の作成は、炭酸ガスを供試体下部より注入させた後、脱気水を浸透させ所定の背圧を負荷することによって行なった。今回、背圧として 150 kPa を採用したが、飽和度はほぼ 100% であった。せん断試験は、風化度の異なる代表的な試料に対して、飽和供試体を用いて行なった。せん断時の等方圧力は、50 kPa ~ 400 kPa であり、等方圧縮した後ひずみ速度 0.2 %/mm で側圧一定の排水せん断試験を実施した。

3. 風化度を表わす指標

まさ土の風化過程においては、せい弱な長石、雲母は急速に粘土化されるが、石英は風化に対して抵抗性が強いと言われている²⁾。このような特性を示すまさ土の風化の程度を評価するための指標として、①長石比重、②みかけ比重、③比表面積、④強熱減量、⑤吸水率及び⑥pF 値等による方法が提案されている^{3)~5)}。また風化試料の非晶質物質を定量し、それを風化度と関係づけている例も最近みられる⁶⁾。いずれにしても使用する立場で考えるなら、風化度を表わす指標としては、安価な試験装置で極力簡単な手法で求まるものが望ましいと思われる。そこで本研究では、上述した風化度を表わす指標の中から結晶水や吸着水の存在量を表わす強熱減量、及び土粒子内空隙の大小を示すと思われる吸水率を風化度を判定する指標として選び、以下各指標相互の相関性および各

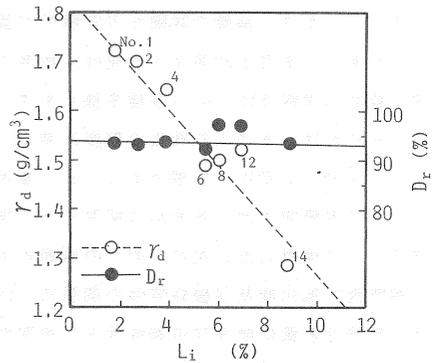


図-1 試料の乾燥密度および相対密度と強熱減量の関係

まさ土の圧縮・せん断特性と風化度の関係

指標と力学特性との関連性等について検討を加えた。

図-2(a), (b), (c)には、強熱減量と吸水率、強熱減量と74 μ m以下の細粒分含有率及び強熱減量と自然含水比の関係をそれぞれ示した。これらの図より、多少のデータのばらつきはあるものの、強熱減量の増加と共に、他の指標も増加するといったユニークな関係が存在することがわかる。特に、強熱減量と吸水率の間には、よい相関がみられ、風化の進行(強熱減量の増大)につれて、まさ土の保水性の増大を証明している。また、(b)図から風化の進行と土粒子の微細化の関係が一義的であることもわかる。図-2(d)は、有色鉱物含有量と強熱減量の関係を示しているが、強熱減量の増加に伴い有色鉱物含有量が減少する傾向にある。これは、長石、雲母といったまさ土中の主要な有色鉱物が、風化の進行に伴い粘土化(二次的鉱物に変化する)するためだと考えれば、うまく説明がつく。図-2(e), (f)には、強熱減量と真比重、地山試料の間隙比と強熱減量の関係をそれぞれ示した。地山試料の間隙比と強熱減量の間にはよい相関が見られるものの、強熱減量と真比重の間には、ユニークな関係がさほど見られない。両者の間で良い相関を見出すには、西田、青山が述べているように⁷⁾、母岩の性質を考慮した整理法が必要なのかもしれない。

まさ土の風化の進行は、土粒子の微細化及び保水性の増大を促進すると考えるのが一般的であるから、図-2の結果に基づけば、風化度の判定方法として、強熱減量、吸水率を用いるのは妥当であると思われる。以下、実験的簡便さからまさ土の風化度を表わす指標として強熱減量を考え、それと圧縮特性及びせん断特性との関連性について実験的検討を行なった。

4. 風化度に着目した圧縮・せん断特性

4.1 圧縮特性および粒子破碎特性

図-3は、風化度の異なる代表的な3試料の飽和および気乾締め供試体の $e \sim \log p$ 曲線を示している。ここで図中の試料番号は、表-1の試料番号と対応しており、 $\mathcal{M}1$ は新鮮なもの(強熱減量 $L_i = 1.66\%$)、 $\mathcal{M}9$ は風化がある程度進んだもの($L_i = 5.58\%$)、および $\mathcal{M}14$ はかなり風化の進んだもの($L_i = 8.80\%$)である。この図より風化の進んだ試料ほど、相対的に圧縮性は大きいことがわかる。また、新鮮な試料では、飽和および

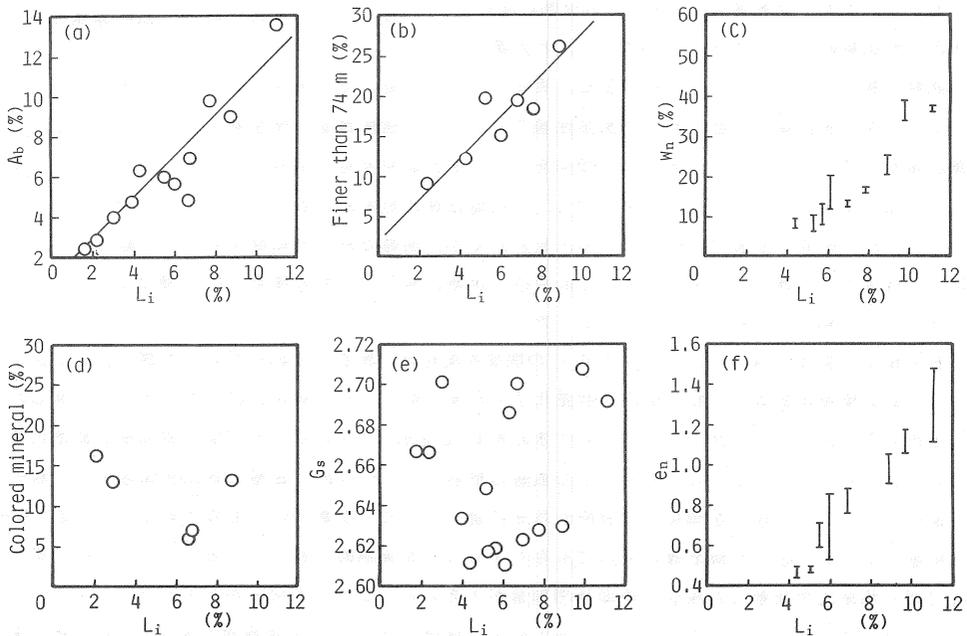


図-2 まさ土の物理化学的指数の相関性

気乾試料で $e \sim \log p$ 曲線に違いは見られないが、No. 2 のような風化の進んだ試料では、飽和試料の方が乾燥試料に比べ、特に低い応力域においてかなり圧縮性が高く、水分の影響が顕著に表われることがわかる。この理由のひとつとして、風化の進行に伴う土粒子のぜい弱化が挙げられよう。また3試料の $e \sim \log p$ 曲線は、応力レベルを広げれば、粘性土で示された結果⁹⁾と同様に、ある一定の間隙比に集まっていく傾向にあり、このような関係を式化すると、次のような関係になる。まず正規圧密領域においては、

$$e - e_0 = -C_c \cdot \log(p/p_0) \quad (1)$$

過圧密領域では、

$$e - e_0 = -C_s \cdot \log(p/p_0) \quad (2)$$

ここで、 C_c 、 C_s は、それぞれ正規圧密曲線、膨張曲線の勾配である。 (e_0, p_0) は、処女圧縮曲線上の与えられた点である。なお、図中で処女圧縮曲線上にありかつ圧密降伏応力 p_y までの応力域は、粘性土で言う過圧密の状態に対応すると現段階では考えている。また、後述するように正規圧密曲線上の応力域は、粒子破碎領域であり、膨張曲線上のそれは、非粒子破碎領域と考えられる。

図-4は、圧密降伏応力 p_y と強熱減量の関係を示している。強熱減量が大きくなるにつれて、 p_y 値が、低下する様子がよくわかる。また、強熱減量の大きな飽和試料の場合、圧密降伏応力が気乾時のそれに比べて小さい。これは風化の進んだ試料の場合、とくに土粒子の中の長石、雲母といった鉱物がぜい弱化するためだと考えられる。

図-5は、正規圧密曲線の勾配 C_c および膨張曲線の勾配 C_s と、強熱減量の関係を示している。 C_c 、 C_s の値は、強熱減量が増加するのに伴って、大きくなる傾向を示す。また試料状態に着目して、同一試料の C_c 、 C_s の値を比較すると C_c の値は気乾試料の方が大きな値を示し、 C_s の値は逆に飽和試料の方が大きいということがわかる。この理由として、粒子破碎が密接に関係していると思われるが、明確な理由を結論することは難しく、このような特性に関して今後さらに検討が必要である。なお今回、実験に供した試料の場合、 C_c の値は0.15~0.40、 C_s の値は0.02~0.04の範囲に存在することがわかった。

次に、表面積増加量 ΔS (cm²/cm³) と圧密圧力 P_i との関係は風化度の異なる2試料に対して調べたのが図-6である。ここで、表面積増加量 ΔS は、粒子破碎を数量化する尺度であり、その測定方法については、三浦らが提案した方法⁹⁾を用いた。図中には、図-3、図-4で求めた p_y 値を示しているが、この値と表面積が顕著に増加し始める応力とがよい対応を示している。また、この曲線の形状は、 $e \sim \log P_i$ 曲線の過圧密領域では、粒子破碎はそれほど進行しないが、正規圧密領域では破碎が急速に進行することを裏づけるものである。このような特性は、豊浦砂、秋穂(あいお)砂、花崗岩礫においても存在することを実験的に調べている^{10), 11)}。さらに、風化の進んだ試料ほど同じ拘束圧で比較した場合、表面積増加量が大きいということも明らかである。

図-7は、図-3および図-6を用いて描いたもので、間隙比変化 Δe と表面積増加量 ΔS (粒子破碎量と考えた) の関係を示したものである。この図は、試料や含水状態にかかわらず、表面積増加量 ΔS と間隙比変化

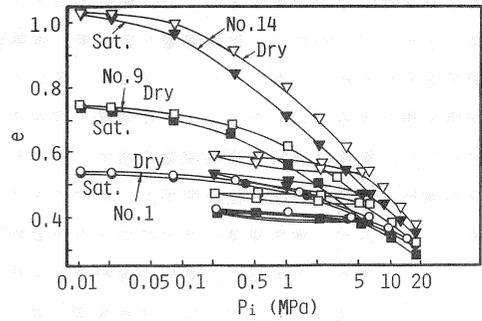


図-3 代表的な試料の等方圧縮試験結果

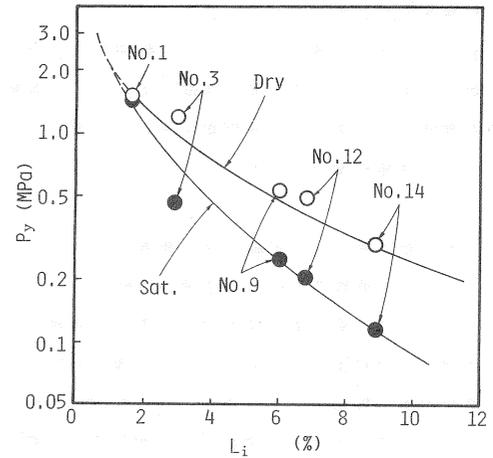


図-4 圧密降伏応力と強熱減量の関係

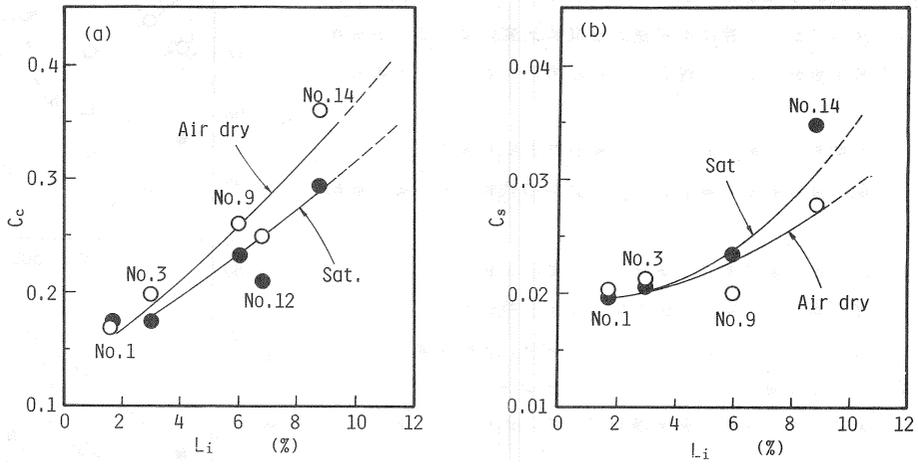


図-5 圧縮指数と強熱減量の関係

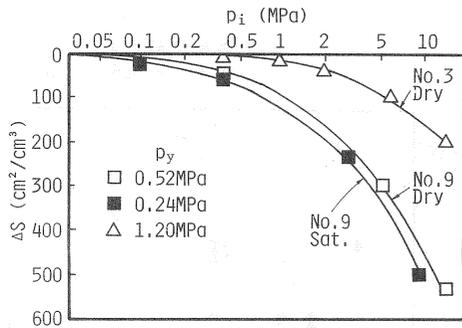


図-6 表面積増加量と圧縮応力との関係

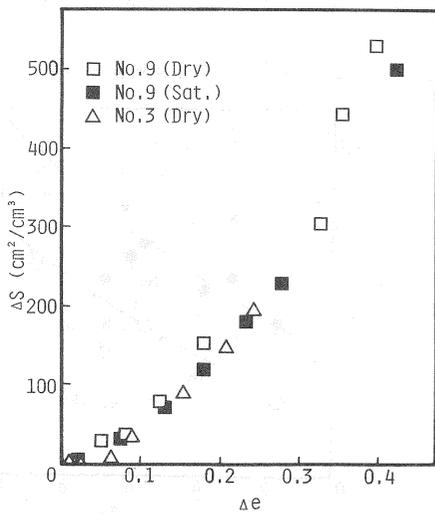


図-7 等方圧縮過程における表面積増加量と間隙比変化の関係

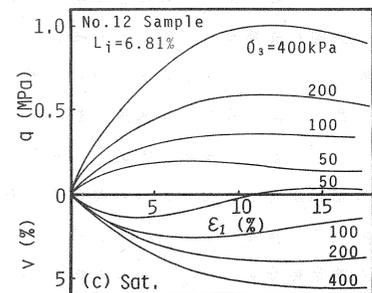
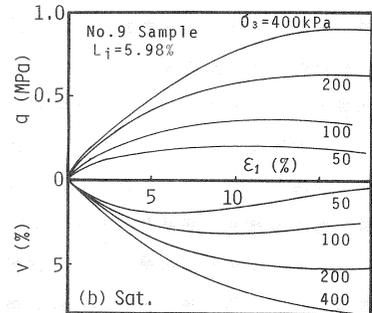
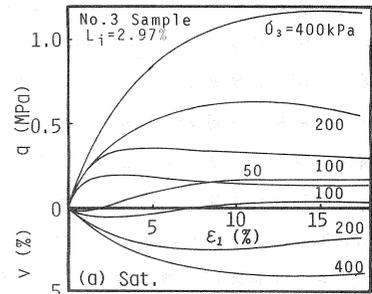


図-8 代表的なまさ土の応力ひずみ関係

Δe の間には一義的な関係が存在することを示しており、大変興味深い。図-6と図-7から、特に不可逆的な間隙比変化 Δe は、表面積増分すなわち粒子破砕によって規定されると考えてよさそうである。

4.2 セン断特性と風化度および圧縮特性との相関性

図-8は、風化度の異なる締固めまざ土試料の代表的な三軸試験結果の一例を示している。

比較的風化度の低いNo.3まざ土供試体は、他の2供試体に比べ、ひずみ硬化した後、軟化する傾向の強い応力ひずみ特性を示している。

図-9は、締固め供試体 ($D_r \approx 90\%$)の結果を、強熱減量をパラメーターに取り、初期接線勾配 E_i および主ひずみ比 ν_i と拘束圧の関係で示したものである。この図から強熱減量の小さい試料ほど、 E_i 、 ν_i 、共に大きな値を示す傾向がうかがえる。

図-10, 11は、破壊時(軸差応力最大時)の応力比 $(q/p)_f$ と強熱減量、および破壊時の軸ひずみ ϵ_f と強熱減量の関係をそれぞれ示したものである。図-10より、 $(q/p)_f$ 値は、同じ拘束圧下でせん断した場合を考えれば、強熱減量が増加するにつれて低下する傾向にあり、圧縮特性同様せん断特性($(q/p)_f$ 値)にも、強熱減量依存性が存在するものと考えられる。強熱減量依存性は、図-11からも得られており、締固め供試体の場合、 ϵ_f の値は、風化の進行と共に増大する傾向にあることがわかる。このような結果は、強熱減量の大きな試料ほど、 $(q/p)_f$ 値は小さく、またその $(q/p)_f$ 値が発揮される軸ひずみ量が大きくなることを意味し、言い換えれば供試体自身が、相対的に大きな変形を生じないと、十分なせん断抵抗を発揮することができないことを表わしている。

次に、せん断強度定数 c_d 、 ϕ_d について検討した結果を図-12および図-13に示した。図-12は、今回実験に供した風化度の異なる締固め供試体の拘束圧が400kPaまでの応力域での代表的な破壊包絡線である。強熱減量の小さい試料の破壊包絡線は、この応力域においてほぼ直線となるが、強熱減量の比較的大きなNo.9試料の破壊包絡線は、曲線を呈している。

破壊包絡線が曲線を呈するような場合、せん断強度定数の決定法が問題となる。その決定方法には色々考えられているが、今回風化度の異なる試料のせん断強度定数 c_d 、 ϕ_d を比較することに重きをおく立場から、簡単のため、拘束圧200kPa以下のモールの破壊包絡線から求まるみかけの粘着力、およびせん断抵抗角を c_{d1} 、 ϕ_{d1} とし、拘束圧200kPa以上のモールの破壊包絡線から求まるせん断定数を c_{d2} 、 ϕ_{d2} として検討した。

以上のように得られた各々のせん断定数と、強熱減量との関係を示したのが図-13である。

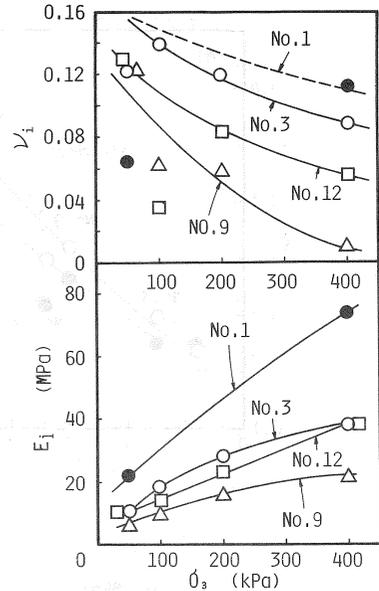


図-9 初期接線係数および主ひずみ比と拘束圧の関係

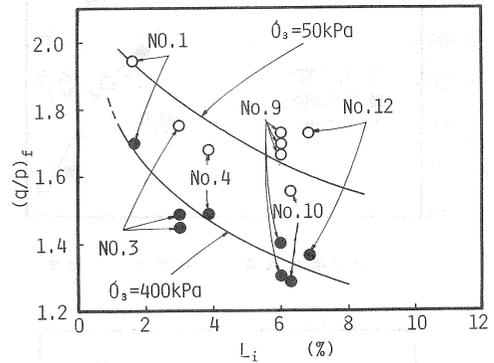


図-10 破壊時の応力比と強熱減量の関係

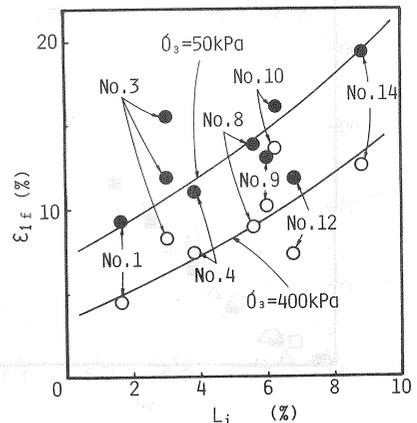


図-11 最大軸差応力時の軸ひずみと強熱減量の関係

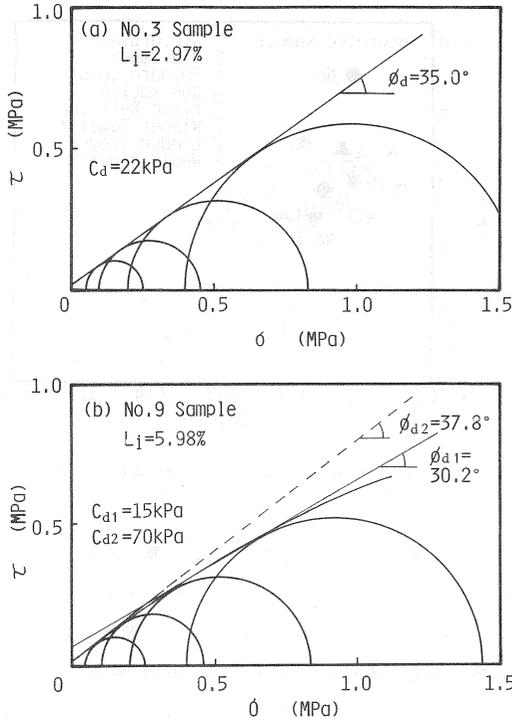


図-12 代表的な破壊包絡線

図-13から、拘束圧400kPa以下の応力域においては、強熱減量が3.0%以上において、すなわち、風化の進行に伴い、 ϕ_{d1} 、 ϕ_{d2} および c_{d1} 、 c_{d2} の差が大きくなっていることがわかる。このことは、風化の進んだ試料ほど、破壊包絡線が拘束圧の影響を受けやすいことを意味しているが、粒子破碎との関係については、現在検討中である。

以上、述べてきたように、締固めまさ土供試体の力学特性を、風化度の指標としての強熱減量をパラメーターとして整理すれば、かなりユニークな関係が得られることが明らかになった。

図-14は、風化度の異なる代表的な4種類の試料を自然含水状態で、かつ、地山での密度になるように締固めた供試体の排水三軸圧縮試験の結果を示している。拘束圧は、すべて30kPaで行なったものである。また図-15は、図-14と同様の試験を不攪乱試料に対して行なった結果である¹³⁾。なお、不攪乱供試体の作成方法については、参考文献13を参照されたい。

これらの図より、締固め供試体の応力ひずみ曲線の立上りは、不攪乱供試体のそれより一般に一段と急で、かつかなり低いひずみレベルで破壊(最大軸差応力)に至っていることで特徴づけられる。すなわち低拘束圧下において、不攪乱試料では、最大軸差応力を示す軸ひずみ量が、締固め試料の場合に比べ数倍大きくになっている。

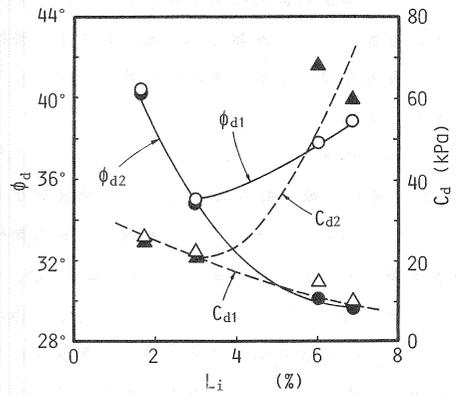


図-13 せん断強度定数と強熱減量の関係

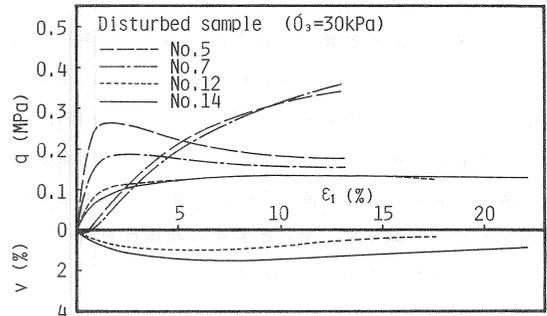


図-14 不攪乱試料と同一の密度を持つ締固め供試体の応力ひずみ曲線

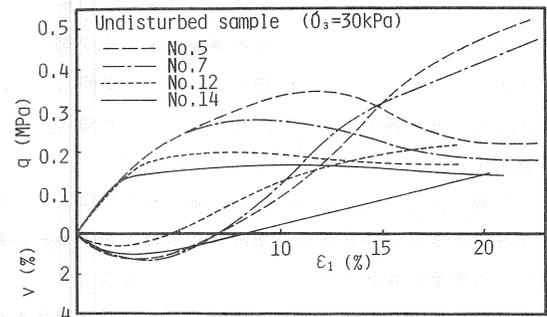


図-15 不攪乱供試体の応力ひずみ曲線

このことは、締固め試料の力学特性をもとに、不攪乱試料のそれを論じることが難しく、地山まさ土と締固めまさ土の力学特性は、別個に考える必要があることを示唆するものである。

図-16は、拘束圧400kPaでせん断を行なって得られた $(q/p)_f$ 値と圧縮定数の比 (c_s/c_c) の関係を示したものである。この図は、まさ土の圧縮特性とせん断特性との関係を調べたものであるが、 $(q/p)_f$ 値と c_s/c_c との間には、データのばらつきはあるものの (c_s/c_c) 値が大きくなると $(q/p)_f$ 値が低下するといった相関性がみられる。軽部は、粘性土における限界状態での応力比 $(q/p)_{CS}$ と (κ/λ) の値を関係づける式として次式を提案している。¹⁴⁾

$$M = 1.75 (1 - \kappa/\lambda) \quad (3)$$

ここにMは、限界状態での応力比 $(q/p)_{CS}$ であり、 c_s/c_c と κ/λ は等価である。図中には、比較のため(3)式の関係も示した。このデータから判断する限り、(3)式は κ/λ または c_s/c_c に対する応力比 $(q/p)_{CS}$ の上限値を示しているように思われる。なお、ここで示した $(q/p)_f$ 値は、すべて拘束圧400kPaでせん断した時の結果であるため、必ずしも限界状態における応力比でないことに注意をする必要がある。特にNo.1の試料は、圧密降伏応力が約1.5MPaであるため、実際の $(q/p)_{CS}$ 値より大きな値をプロットしているものと思われる。しかしながら風化度に着目しつつ圧縮特性とせん断特性の相関性を調べることは、工学的に重要であると考えられ、今後さらに検討していく必要があると思われる。

5. まとめ

まさ土の物理的、化学的性質及び締固めまさ土試料の圧縮、せん断特性を、風化度に着目して検討し、得られた結果を要約すると以下のようである。

- (1)まさ土の風化度を表わす指標として検討した細粒分含有量、強熱減量、吸水率は、互いにより相関関係があることがわかった。しかし、強熱減量と真比重の間には、よい相関がみられなかった。
- (2)まさ土の風化が保水性の増大、土粒子の微細化と対応すると考えれば、まさ土の風化度を表わす指標として比表面積、強熱減量、吸水率を用いることは妥当であり、実験方法の容易さを考慮すると、強熱減量と吸水率が最適である。
- (3)圧縮指数 c_c 、 c_s の値は、風化の進んだものほど高い値を示し、また水の影響も受けやすくなることが分った。
- (4)締固めまさ土供試体の圧密降伏応力は、粒子破砕が顕著になる応力とよい対応を示し、圧縮特性と粒子破砕特性とは密接に関係していることが明らかになった。
- (5)圧縮による試料の不可逆的な間隙比変化量と表面積増加量(粒子破砕)との間には、試料の種類や含水状態に関係なく、ユニークな関係が存在することが示された。このことより、等方圧縮による締固め供試体の不可逆的な間隙比変化量の大部分は、粒子破砕に起因すると結論づけた。
- (6)風化の進行に伴い、破壊時の軸差応力比は減少し、破壊にいたるまでの軸ひずみ量は増大する傾向にあることを示した。また、破壊時の軸差応力比と圧縮指数の間には、ユニークな関係が存在することがわかった。
- (7)締固めまさ土供試体の破壊包絡線、すなわち、せん断強度定数は、風化の進んだ試料ほど、拘束圧の影響を受けやすいことがわかった。
- (8)締固めまさ土供試体の応力ひずみ特性と地山まさ土供試体のそれが、著しく異なることを示し、締固めまさ

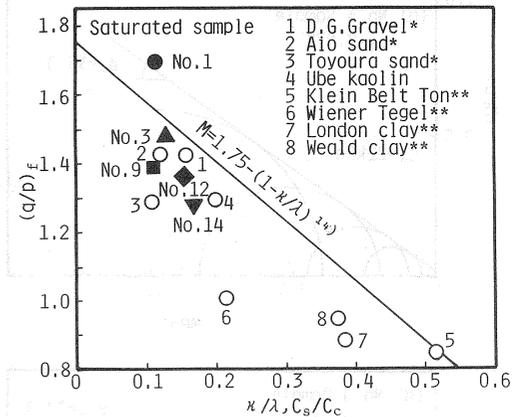


図-16 破壊時の応力比と圧縮指数比の関係

土試料の力学特性から、地山の応力ひずみ特性を論じることは難しいことを示した。

謝辞

本研究で用いた試料の一部採取で協力を受けた復建調査設計(株)の福田直三博士、および実験に協力を受けた本学大学院生、浅上洋一、近藤保徳君に深謝の意を表します。

参考文献

- 1)土質工学編(1979):「土質試験法」,第7編,第3章,pp.668-693.
- 2)松尾新一郎(1975):まさ土の特性と問題点,「土と基礎」,Vol.23,№2,pp.1-8.
- 3)土質工学編(1979):「風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用」,pp.175-183.
- 4)高橋悟,田中弥寿男(1983):まさ土の風化とその判定法について,「地盤と建設」,Vol.1,№1,pp.1-8.
- 5)高橋悟,田中弥寿男(1984):まさ土の構成鉱物の風化特徴と水分保持性の関係,「地盤と建設」,Vol.2,№1,pp.13-22.
- 6)西田一彦,佐々木清一,久保井利雄(1984):まさ土の非晶質物質とその特性について,「土質工学会論文報告集」,Vol.24,№2,pp.180-190.
- 7)西田一彦,青山千影(1984):物理特性からみた乱さないまさ土の分類,「土木学会論文集」,№352,pp.159-168.
- 8)Schofield, A. and P. Wroth.(1968):Critical State Soil Mechanics, McGraw Hill, pp.151-161.
- 9)三浦哲彦,山内豊聡(1977):砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響,「土木学会論文報告集」,№260,pp.109-118.
- 10)三浦哲彦,村田秀一,安福規之(1985):粒状土の応力ひずみ特性(その1)-材料定数の粒子破碎依存性-,「第20回土質工学研究発表会発表講演集」,pp.341-342.
- 11)三浦哲彦,村田秀一,安福規之,赤司六哉(1985):粒状材の材料定数と応力ひずみ特性,「土と基礎」,Vol.33,№6,pp.13-18.
- 12)春山元寿(1975): c と ϕ を考える,7.シラス,「土と基礎」,Vol.23,№6,pp.67-74.
- 13)村田秀一,安福規之,山本修三,浅上洋一(1985):不攪乱まさ土供試体の作成方法とその力学特性,「サンプリングに関するシンポジウム発表論文集」,pp.81-88.
- 14)蛭部大蔵(1975):規格外の三軸圧縮試験法とその問題点,「第20回土質工学シンポジウム,昭和50年度発表論文集」,pp.45-60.