

# 琉球大学学術リポジトリ

安山岩風化土の盛土材料への適用について：  
国頭マージ特殊土の工学的性質 (I) (生産環境学科)

|       |   |
|-------|---|
| メタデータ | 言語:<br>出版者: 琉球大学農学部<br>公開日: 2008-02-14<br>キーワード (Ja): 締固め, 圧密特性, 透水係数, 練返し, 変形係数<br>キーワード (En): Compaction, Consolidation, Permeability, Remoulding, Modulus of deformation<br>作成者: 宮城, 調勝, 新城, 俊也, 小宮, 康明, Miyagi, Norikatsu, Sinjyo, Tosiya, Komiya, Yasuaki<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3771">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3771</a>   |

# 安山岩風化土の盛土材料への適用について

## — 国頭マージ特殊土の理工学的性質 (I) —

宮城調勝\*・新城俊也\*・小宮康明\*

Norikatsu MIYAGI, Tosiya SINJYO and Yasuaki KOMIYA On the application to fill material of unusual Kunigami Maaji soils

**キーワード** : 締固め、圧密特性、透水係数、練返し、変形係数

**Key words** : Compaction, Consolidation, Permeability, Remoulding, Modulus of deformation.

### Summary

Kunigami Maaji, which can be found in the Ryukyu Islands, is principally a red residual soil, frequently used as fill material in this area.

In this rocal soil, kumejima soil which is residual soil of andesite, has a different physical and engineering properties comparatively with usual kunigami Maaji.

In this report, the characteristics of compacted Kumejima soil and their application to the fill material were investigated. The results obtained are as follows.

1. The soil belongs to clay, and includes the clay perticles of 75 percent.
2. Values of the specific gravity are relatively small in Kunigami Maaji.
3. Maximum dry density is low in degree of  $1.25 \text{ g/cm}^3$ , and even if the compaction energy increase, it increases a little in dry density.
4. Optimum moisture content is high about 40% and natural moisture content is higher 5-10% than optimum moisture content.
5. Compression index is large, there fore its soil structure may be compressibility.

### 緒 論

特殊土とは、設計施工が、普通の土質工学の知識だけでは処理できない土と定義されているが<sup>11)</sup>、最近では特殊土という言葉に変わってローカルソイルという用語が使われるようになってきた<sup>12)</sup>。国頭マージも当然特殊土またはローカル土であるが、国頭マージの中にもまた普通の国頭マージの知識だけでは処理できない、一般的な国頭マージとは異なる特殊な土がある。ここではこれらを国頭マージの特殊土として位置づけて報告する。

---

\*琉球大学農学部

国頭マージは多岐にわたる母岩を持つ風化残積土であり、その物理的性質および力学的性質の一部についてはすでに報告した<sup>9,10</sup>。土色は赤色から黄色にまたがるが、その物理性および力学性の違いは、見かけでは全く判断がつかないのが特徴である。その理由としては、母岩が異なること、風化の過程が異なることおよび地下水の影響などが考えられる。この国頭マージの中で最も広い範囲に分布するのは、片岩系の風化物であり、国頭マージの物性値を比較する際の基準によく使用される。

ここでは土質材料として使用することを前提として、多くの国頭マージの中で他と比べて特殊な性質を示す久米島土の物理性と力学性について、千枚岩風化土と比較しながら検討した結果を報告する。

## 試料土および実験方法

### 1 試料土

試料土は、久米島における安山岩風化土を使用している。また、比較のために代表的国頭マージである千枚岩風化土の試験結果を取り扱っている。久米島土は、地質的に中新性から鮮新世にかけての火山活動による安山岩、安山岩熔岩などの風化土である。一方読谷土は、中生代に属する名護層群千枚岩の風化土である<sup>2)</sup>。

Table 1 Physical properties of sample

|                  | Yomitani | Kumejima |
|------------------|----------|----------|
| Specific gravity | 2.748    | 2.850    |
| Clay             | 47.5%    | 75.0%    |
| Silt             | 35.5%    | 19.0%    |
| Sand             | 17.0%    | 7.5%     |
| Liquid limit     | 57.0%    | 93.0%    |
| Plastic limit    | 31.7%    | 47.4%    |
| Plasticity index | 25.3%    | 45.6%    |

これらの採取試料を、試料調整機で2mm以下に調整して使用したが、久米島土は元来粒径2mm以上の粒子はほとんど含まないので、団粒破碎を行ったことになるが、読谷土の場合、千枚岩中の石英脈に由来する石英粒子をわずかに含んでいたため、これらは排除している。

実験に使用した久米島土および読谷土の物理的性質は Table 1 に示すとおりである。

### 2 実験方法

物理試験および締固め試験は JIS 試験法にしたがって行った。一軸圧縮強度および圧密試験における試料の練り返しとは、風乾した試料に加水して含水比調整をする際に、ミキサーで攪拌したものをいい、非練り返しとは加水をスプレーで均一になるように少しずつ行い、手で練り返しの操作を一切行っていないものをいう。これらの試料と、実験によっては必要に応じて風乾土を使用している。圧密試験は圧密リングに直接試料を詰め込み、また、一軸圧縮試験は、直径5cm、高さ10cmの塩化ビニール製の容器で供試体を作成している。一軸圧縮供試体は、試料を詰め込む際に、供試体内の密度に不均一を生じやすいので<sup>7)</sup>、供試体一つ分の試料を四等分し、容器内を2.5cmの高さずつ締固めることによって密度が均一になるように努めている。

透水係数は、変水位透水試験法によって行い、圧密試験の途中で各荷重載荷の終了時に、そのまま圧密箱にセットした状態で、試料の下方から上方に水を通して測定している。

## 結果および考察

### 1 締固め特性

Fig. 1は、久米島土の粒径加積曲線である。一般的国頭マージの粘土分(0.005mm以下粒子)が40%程度であるのに対して、久米島土は75%にも及ぶ粘土粒子を有している。このことが、国頭マージの中でも特殊土として取り扱われる原因であると考えられる。他の国頭マージと比較すると、粘土分が多いただけに液性限界ははるかに高く、比表面積も大きい。活性度  $A_c$  は、 $A_c = 1.25 \sim 0.5$  で、沖積粘土のそれ

より低く、普通または活性度が低い土である。土粒子の比重は国頭マージの中では僅かに小さい。また土質材料として使用する場合もっとも問題になる土の自然含水比が40～50%と、残積土としては高い。

締固め試験の結果は施工管理基準はもちろんのこと、土質構造物の強度、安定性など力学性の基準密度の決定に必要である。この試料の締固め曲線は Fig.2 に示す通りである。最大乾燥密度をはじめ乾燥密度は各含水比に対して非常に低い値を示して、最適含水比も高い。また含水比の変化に対する乾燥密度の変化は非常に小さい。

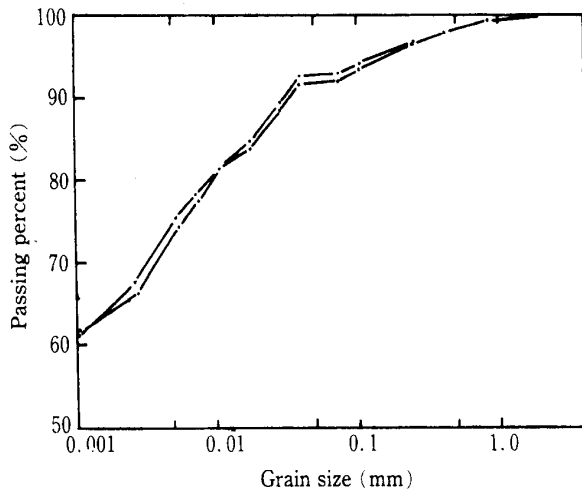


Fig. 1 Grain size distribution of Kumejima soils

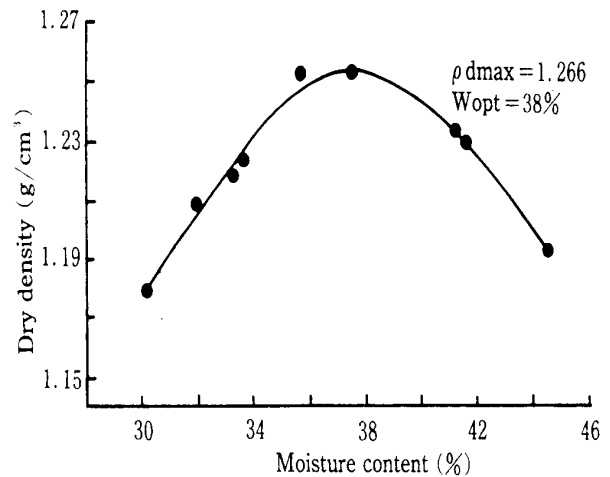


Fig. 2 Compaction curve of Kujima soil

普通の国頭マージの締固め密度は、 $P_a = 1.35 \sim 1.60 \text{ g/cm}^3$ 程度が得られるが<sup>10)</sup>、それに比べてこの土の乾燥密度は、それだけを他の土と比べると、盛土材料として使用するには低すぎる。そのため締固めエネルギーを増加させた場合の乾燥密度の変化を調べて Fig.3 に示した。締固めエネルギーは、Proctor の式により、 $5.6 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{kgf/cm}^3$ を100%として、突固め回数を変化させて400%まで増加させた。この結果から、締固めエネルギーを2, 3, 4倍と増しても、締固め効果は低いことが分かる。実際に乾燥密度に $0.1 \text{ g/cm}^3$ 程度の増加はあるにしても、最適含水比が5%も乾燥側へ移行すると、現場での材料含水比の対応は困難である。また、施工機械と Proctor の締固めエネルギーの関係が明らかでないこともあって、エネルギーを定めて転圧することも困難である。問題は、この締固め土から得られる乾燥密度で、どの程度の剪断強さを示し、変形に対してはどのような特性を持つかということであろう。

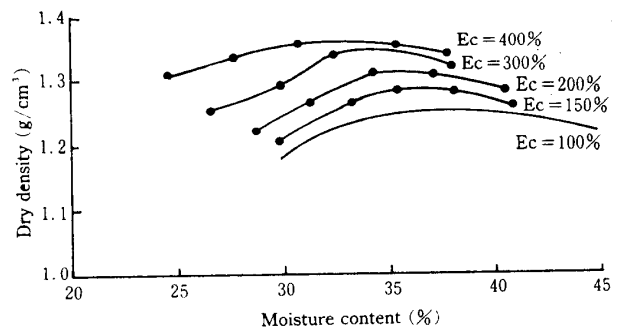


Fig. 3 Compaction curve for increase of compaction energy ( $E_c$ : Compaction energy,  $E_c = 100\% = 5.6 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{kgf/m}^3$ )

## 2 圧密特性

Fig.4は久米島土の最適含水比で締固めた試料と、十分に練り返した土を圧密リングに詰めて圧密試験を行った結果の  $e \sim \log p$  曲線を示している。比較のために行った練り返し土の場合は、正規圧密領域にあるためほとんど直線の変化をしているが、締固め土の圧縮指数  $C_c$  は各荷重段階で変化し、先行荷重以上の部分で  $C_c$  は0.34程度を示している。計画設計基準<sup>5)</sup>によると、この土は圧縮性ということになる。この実験の場合、圧密荷重を  $p = 51.2 \text{ kgf/cm}^2$ までかけているが、圧密荷重の最大値によって  $C_c$  の値が変化する。このようなことは締固め土の場合によくあり、圧密降伏応力が大きいものほど  $C_c$  の

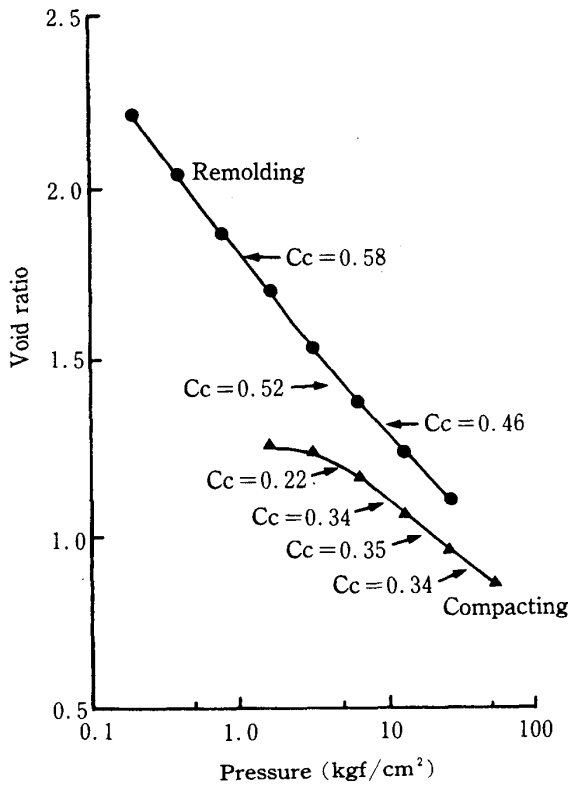


Fig. 4 Pressure-void ratio curve (Cc : Compression index)

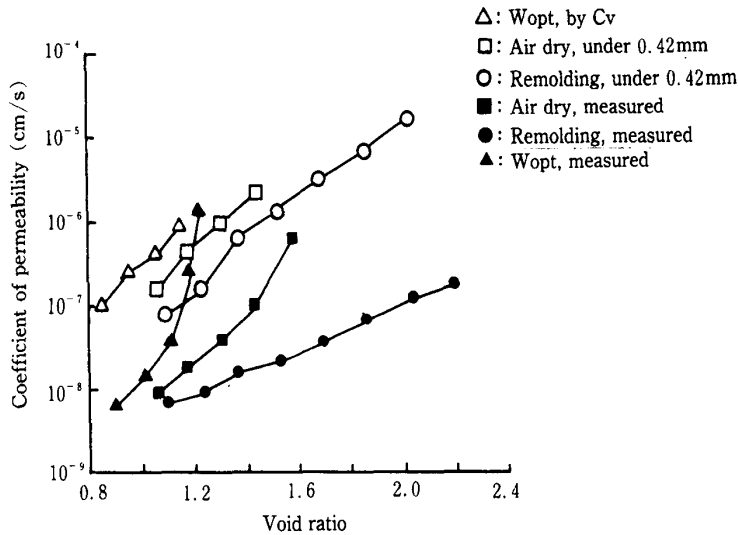


Fig. 5 Coefficient of permeability versus void ratio

値はあいまいとなる。したがって圧縮指数は  $e \sim \log p$  曲線の直線部の勾配をとるのではなく、構造物の上載荷重に相当する圧密応力点の接線の勾配として圧縮性を論ずることを提案している<sup>8)</sup>。

3 透水性

透水係数を測定するために試料の条件を変化させて実験を行っている。粘性土においては、間隙比と透水係数は直線的関係にあるといわれる<sup>4)</sup>。ここでは試料の条件を、最適含水比で締固めた場合 (2mm以下) と、0.42mm以下の風乾試料、および0.42mm以下繰り返し試料について、それぞれ圧密試験を行い、圧密係数から算出した透水係数と、圧密試験の過程で各圧密荷重終了時に測定した透水係数を、実測透水係数として表している。その結果、締固めた久米島土の透水係数は  $10^{-8}$  から  $10^{-9}$  cm/S のオーダーにあって非常に小さく、遮水性については問題はないと判断される。

粘質土の透水係数は一般に非常に小さいため、圧密試験の結果から算出することが合理的とも言われる。これは土の一つの間隙比に対して一つの透水係数しか存在しないという考え方であるが、Fig.5に示すように、供試体の初期条件によってすべて大きく変化することが分かる。間隙比は等しくても透水係数が異なるということは、供試体の空隙径の大きさの分布が異なることを意味する。すなわち、2mm以下に団粒が破碎された土であるが、圧密試験の過程で  $51.2 \text{ kgf/cm}^3$  の大きな荷重をかけても団粒構造が破壊されないことになる。このことは Fig.4の空隙の分布が均一と思われる繰り返し試料と非繰り返し試料の  $e \sim \log p$  曲線の差として現れている。

4 一軸圧縮強度

一軸圧縮強さは粘着性を有し、透水性の低い粘性土を対象とする非圧密非排水剪断試験の一つであり、安定解析の  $\phi_u = 0$  法としてよく使われ、またその強さは変形係数とともにその土の状態を知る上で指数となる。久米島土は粘土分には富むが沖積粘土とは異なり、残積土であるため、その締固め土は  $\phi_u = 0$  ではない。

国頭マージの一軸圧縮強さ  $q_u$  は、土の種類によって異なるが、締固めの最適含水比  $W_{opt}$  状態で、読

谷土 ( $W_{opt} = 24\%$ ,  $P_d = 1.45\text{g/cm}^3$ ) が  $q_u = 1.70\text{kgf/cm}^2$ , 羽地土 ( $W_{opt} = 31\%$ ,  $P_d = 1.26\text{g/cm}^3$ ) の場合は  $q_u = 5.0\text{kgf/cm}^2$ , であるのに対して, 久米島土は繰り返し供試体 ( $W_{opt} = 38\%$ ,  $P_d = 1.26\text{g/cm}^3$ ) で  $q_u = 3.6\text{kgf/cm}^2$  である<sup>3)</sup>。それぞれに最適含水比および供試体の乾燥密度も異なるが, その値は大きく異なる。このことは母岩の異なる国頭マージの特徴である。

Fig.6は, 久米島土試料について, 含水比調整をソイルミキサーで攪伴しながら行った供試体のひずみ～応力曲線であり, また Fig.7は, 風乾土にスプレーを使用して噴霧状に加水し, 繰り返しの操作をいっさい避けた供試体のひずみ～応力曲線である。一般に粘性土は, ソイルミキサーを使って含水比調整をする程度の攪伴で, 一軸圧縮強さおよび三軸圧縮試験による剪断抵抗角は低下するものである。しかしこの場合は, 双方の供試体に含水比の違いはあるが, 全体としては繰り返しによる強度の低下はみられない。また, 最適含水比の少し乾燥側で最大値が得られ, 最適含水比の湿潤側では含水比の増加と共に強度の低下が著しい。

試料の繰り返しは, 室内試験における含水比調整の際によく用いられることであるが, 実際の施工時においては土質材料は自然含水比の状態での締固めが行われることが多い。したがって室内試験の強度との間に, 土によっては大きな差異が生ずることがあるので, 安全側ではあるが, 留意は必要である。三

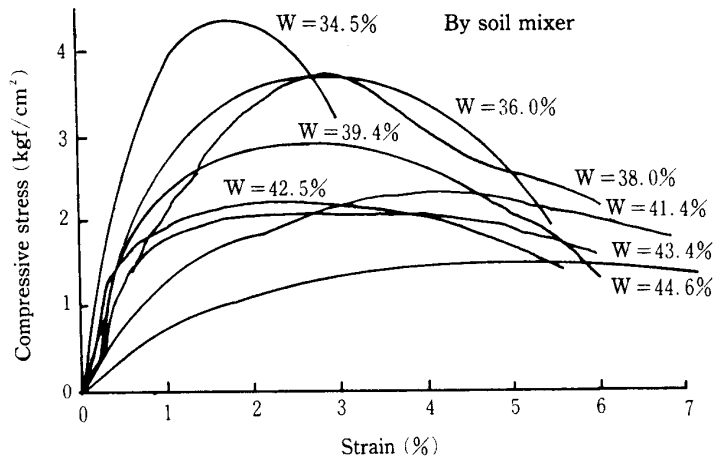


Fig. 6 stress-strain curve of unconfined compression test

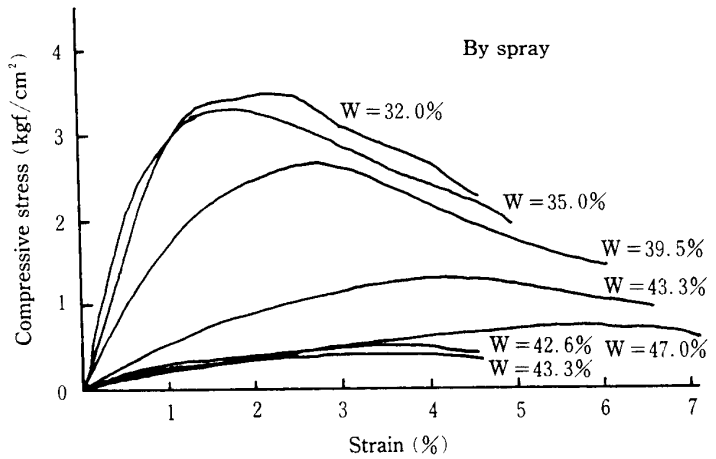


Fig. 7 Stress-strain curve of unconfined compression test (W : moisture content of sample)

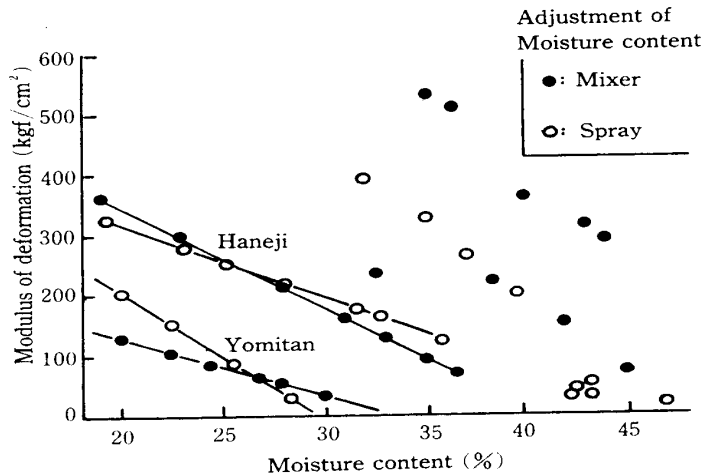


Fig. 8 Modulus of deformation for moisture content of sample

軸圧縮試験の供試体の場合も同様である。

Fig.8は, 一軸圧縮試験から得られる変形係数  $E_{50}$  を, 繰り返しと非繰り返しの両方について, 供試体作成時の土の含水比別に表している。変形係数  $E_{50}$  は  $1/2q_u$  ( $q_u$ : 一軸圧縮強さ) における割線変形係数で表され, 荷重を受けた地盤の変形量を簡単に線形弾性論によって求める場合に, 弾性体のヤング係数に相当するものとして用いられる<sup>1)</sup>。

久米島土の変形係数  $E_{50}$  は, 供試体作成時の含水比によって異なるが, 最適含

水比状態で210程度であった。この値は読谷土の  $E_{50} = 100$  および羽地土の  $E_{50} = 150$  と比べると、高含水比、低密度にもかかわらず大きな値である。

5 三軸圧縮試験における  $C_u$ ,  $\phi_u$

三軸試験の  $C_u$ ,  $\phi_u$  は、土の種類、供試体の含水比、乾燥密度によって大きく異なるため単純に比較はできないが、築堤土の場合は、施工性を考慮して、その土の最大乾燥密度の湿潤側95%密度 ( $D_{95}$ ) が供試体の条件として採用されることが多い。したがってその条件を基準に各地の国頭マージの  $C_u$ ,  $\phi_u$  を表すと、Fig.9, Fig.10 のようになる<sup>6)</sup>。Fig.9は締固め土の最適含水比と  $D_{95}$  の両者の  $C_u$  を表示しているが、供試体の含水比に関係なく、 $C_u = 0.5 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^3$  を示し、その中で久米島土は僅かに高い値を示している。

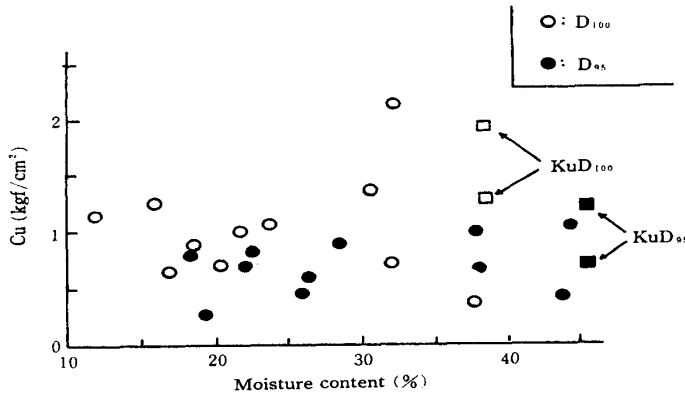


Fig. 9  $C_u$  of Kunigami Maaji versus moisture content of samples (Ku : kumejima soils)

を示している。

$\phi_u$  は、供試体の乾燥密度によって大きく異なり、また Fig.10 に示すように概して乾燥密度の増加と共に大きくなる傾向にあるが、全体のバラツキは大きい。また  $D_{95}$  の場合は、最大乾燥密度状態の  $\phi_u$  に比較して、各試料とも大きく低下して、その低下率は Fig.11 に示すように最大乾燥密度時の90%から20%にも及ぶ。久米島土の場合は最大乾燥密度時の20%で、他の国頭マージと比較してもっとも低下することが分かる。

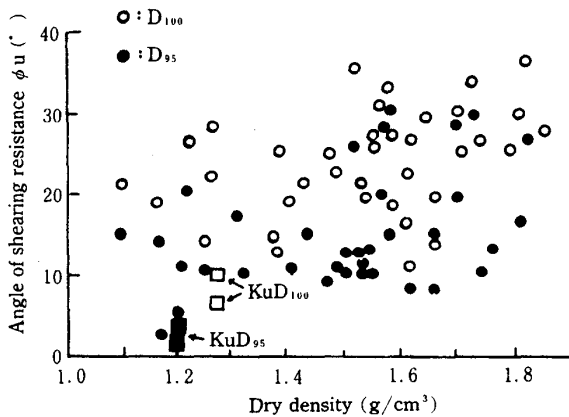


Fig. 10 Relation between and dry density of Kunigami Maaji

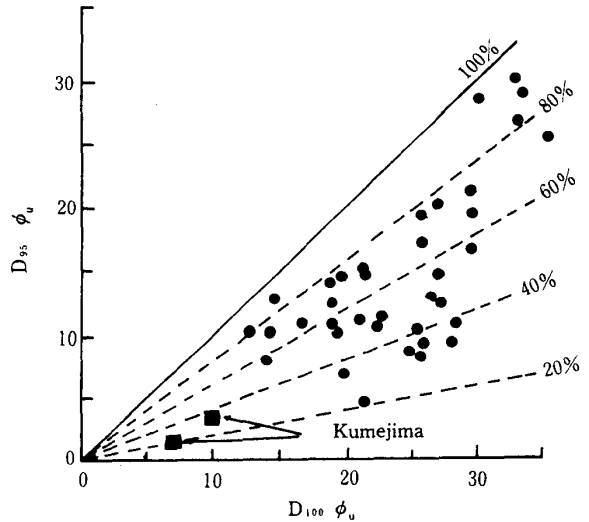


Fig. 11 Relation between  $\phi_u$  of  $D_{100}$  and  $D_{95}$

結 論

安山岩類の風化残積土である久米島土の土質材料としての適応性について、いくつかの性質を他の国頭マージと比較しながら検討してきた。これらのことから、次のことが結論づけられる。

1. 久米島土は、国頭マージの中でも最も粘土粒子を多く含む (0.005mm 以下粒子75%) 土である。
2. 標準締固め試験で得られる乾燥密度は、 $P_{dmax} = 1.26 \text{ g/cm}^3$  程度で非常に低く、締固めエネルギー

を増してもその効果は薄い。また最適含水比も40%に近く、高い値である。

3. 圧縮指数は0.34程度で圧縮性の土と云える。
4. 遮水性には富むが、団粒構造の結合が強く、圧密荷重51.2kgf/cm<sup>3</sup>までかけても、団粒は破壊せず、透水係数はばらつく。
5. 締固め土の密度は低い、一軸圧縮強さは普通程度の値が得られ、変形係数も大きい。しかし、 $D_{95}$ の $\phi_0$ の値が最適含水比と比べて極端に低下する。

以上の他に、地山の自然含水比が高く、現場での含水比の調整が困難であるなどいくつかの問題はあるが、低ダムの築堤用土としては十分に適合するといえる。

## 引用文献

- 1) 土質工学会 1985 土質工学用語辞典土質工学会
- 2) 古川博恭 1981 九州・沖縄の地下水九州大学出版会
- 3) 川畑洋美・宮城調勝 1991 国頭マージの一軸圧縮強度について 卒業論文
- 4) 近藤 武・宮城調勝 1970 透水係数に関する一考察 三重大学農報 **39** 103~116
- 5) 農林水産省構造改善局 1981 土地改良計画設計基準設計ダム
- 6) 宮城調勝 1991 国頭マージの締固め特性と土質改良 九州・沖縄のローカルソイルの特性と土質改良(科研費総合A, 代表者:高山昌照)
- 7) 宮城調勝・前原光博 1991 国頭マージ締固め土の透水係数の異方性について 琉大農報 **38** 195~201
- 8) 宮城調勝・親泊安次 1991 国頭マージ土の圧縮特性について 琉大農報 **38** 183~194
- 9) 宮城調勝・近藤 武 1990 国頭マージの物理的性質について 一 国頭マージの理工学的性質に関する研究(I) 農土学会論文集 **149** 39~44
- 10) 宮城調勝・近藤 武 1991 沖縄地方の残積土の締固め特性と盛土材料への適用性について 一 国頭マージの理工学的性質に関する研究(II) 農土学会論文集 **155** 11~17
- 11) 山内豊聡 1978 世界の特殊土の展望, 土と基礎 **26** No.11 9~17
- 12) 山内豊聡 1983 日本のローカル土について土と基礎 **31** No.1 5~8