

(20) ナイジェリア・カドナ地方における花崗岩の風化と風化残積土の諸特性

大成建設技術研究所 正会員 金子誠二

正会員。末岡 徹

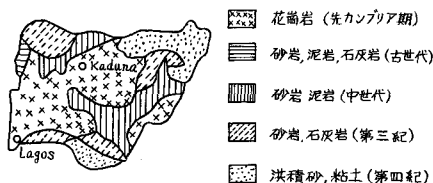
安 伸二

1. はじめに

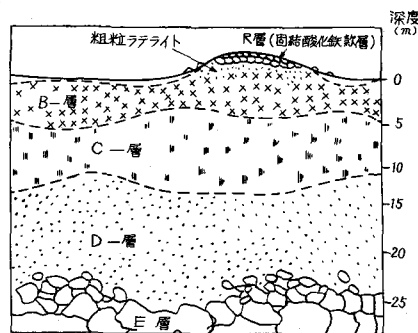
日本におけるマサ土や風化花崗岩の研究にみられるように、岩石の風化の中でも、花崗岩の風化については、日本でもかなり研究が行われているようである¹⁾。筆者は、1977年10月より、約3年間、ナイジェリア・カドナ地方の花崗岩および、その風化残積土地盤において、地盤調査等を行う機会に恵まれた。ここでは、ナイジェリア・カドナ地方の花崗岩の風化と、風化生成物である風化残積土の諸特性を、日本におけるマサ土と比較し、その相違点、類似点を調べたので報告する。

2. カドナ地方の地質、地形、気象

カドナ地方は、ナイジェリアの北部地域に位置し、母岩は先カンブリア期の古い花崗岩からなっている(図-1)。地形は、ほとんど勾配のない平坦なものとなっており、局部的に未風化の花崗岩の岩山が露出しているのが観察される。地盤は、ラテライトと呼ばれる赤色土からなっており、部分的に(図-2)に示すような、高さ5~10mの頂部が水平な丘陵が存在する。この丘陵の地表は、固結した酸化鉄殻層でおおわれており、酸化鉄殻層は、ローカルな建設材料として、路盤材等の建設用材料として使用されている。



(図-1) ナイジェリアの地質



(図-2) カドナ地方の地盤区分

カドナ地方の気候は、5月から10月までの雨期と、11月から4月までの乾期に、明確に二分され、雨期には、1300mmを越える雨量が測定される。²⁾

3. カドナ地方の地盤区分

カドナ地方の地盤を工学的、簡易的に区分すると(図-2)のように模式的に表現でき、各土層は以下のような特徴を持っている。

A層 (黒色) GL 0~0.3m

B層 (赤黄色) GL 0.3~5m

R層 (黒~茶色) GL 0~1m

C層 (紫~白色) GL 5~12m

カドナ地方の地表に分布し、黒色の有機物を含む土層である。雨水による運搬作用を受けており、他の土層と比較して、二酸化ケイ素 SiO_2 成分が多いのが特徴である。

A層の下に存在し、ラテライトと呼ばれる赤黄色粘土層である。部分的に未風化の石英粒が存在するが、粒度分布は下層のC層より、細粒分が多いのが特徴である。粒子の粗粒部分は、石英粒子と固結した土粒子の両方からなっており、固結土粒子は石英粒子と比較すると強度は弱い。

カドナ地方において、5~10mの丘陵地帯の地表付近に、局部的に存在し、表面は黒色であるが、内部は赤茶色の固結土層である。大小さまざまな空洞が存在し、微視的に観察すると土が再固結してできた様子がうかがえる。

紫色と白色の斑状粘土層であることが多いが、場所により、紫色のみ、または、白色のみの粘土層である場合もある。白色粘土部分に

- のみ、直径 $0.2 \sim 0.4 \text{ m}$ 程度の微細な空洞が存在していることが観察される。
- D層 (灰白色) GL $12 \sim 25 \text{ m}$ いる。未風化の長石、雲母粒子も存在していることが、他の土層と異なるところである。
- E層 (風化母岩) GL $25 \text{ m} \sim$ (地表から $20 \sim 40 \text{ m}$ 、平均 25 m 付近から存在する。現地では、深度のみ確認できた。
- F層 (新鮮な母岩) (E層の下に存在する。本文では、付近の栗石山から採取した試料を、もって、新鮮な母岩とした。

4. 風化に伴う土の物理的性質の変化

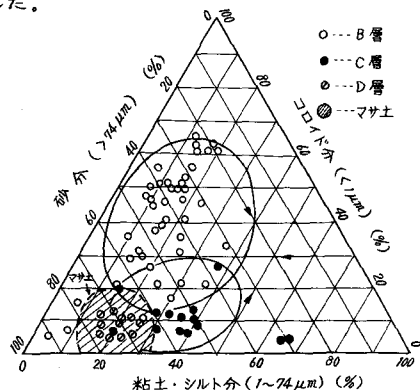
カドナ地方の調査地盤の粒度分布の変化を調べてみると、(図-3) のようになる。D層からC層への粒度分布の変化は、砂分²⁾→シルト・粘土分の変化が特徴的であり、C層からB層への粒度分布の変化は、シルト・粘土分→コロイド分への粒度分布変化が特徴的である。また、地表に近いB層程、粒度分布のバラッキが大きくなっているのも特徴である。ちなみに、日本におけるマサ土の粒度分布も合わせて示すと、カドナ地方の場合のD層に近い粒度分布であることがわかる。

風化が進行するに伴い、間げき率がどのように変化しているかを調べるため、深度毎に間げき率を測定すると、(図-4)の結果を得る。カドナ地方の風化残積土の場合、地表から 10 m 付近のC層で間げき率が最大になっており、上層のB層では若干、間げき率が減少している。一方、日本における花崗岩の風化残積土の場合、間げき率は、地表に近づくに従い、増加するのが一般的傾向であり³⁾、間げき率が、地表付近の層で、減少する傾向は見られない。また、カドナ地方の風化残積土の方が、深度 15 m 付近まで、全般的に間げき率は、小さいものとなっている。

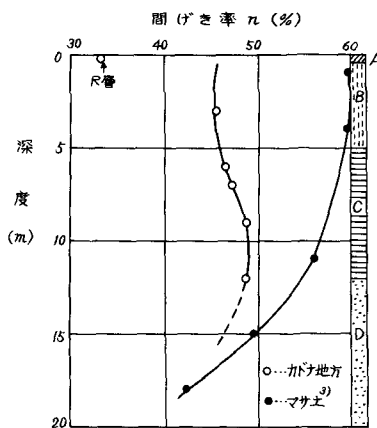
粒度分布は、(図-3) に示すように、カドナ地方試料の場合、地表に近いB層試料の方が、細粒分が多いのが一般的傾向であり、乾期、雨期のくり返しによる土の収縮により、土の体積が減少し、しかも、風化作用による粒子の細粒化において、粒度分布が、締め固めにおける理想的粒度分布 (Talbot曲線) に近づいているためと考えられる。B, C, D層の代表的粒度分布を示すと、(図-5) のようになり、B層試料は、 $74 \mu\text{m}$ 以上の粗粒分と $5 \mu\text{m}$ 以下の粘土コロイド分がバランス良く分布しているのに対しC層試料は、むしろ、 $5 \sim 74 \mu\text{m}$ のシルト分が多く、Talbot曲線 ($D = 5 \text{ mm}$, $n = 0.25$ の場合) から、かけ離れていることがわかる。

5. 風化に伴う土の化学的性質の変化

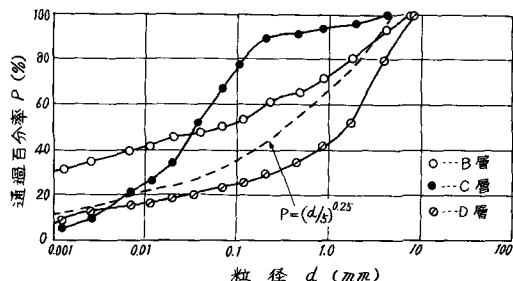
岩石および土の化学成分を調べることで、風化程度



(図-3) 各土層の粒度分布の変化



(図-4) 深度による間げき率の変化 (地盤区分はカドナ地方試料のみ適用)



(図-5) 各土層の代表的粒度分布

を表現しようと試みが種々、提案されているが、本論では、三浦の提唱している絶対的の化学的新鮮度を利用してみる。絶対的の化学的新鮮度 (A. D. F.) は以下の定義で表される。

$$A.D.F. = \frac{\frac{FeO + MnO + MgO + CaO + Na_2O + K_2O}{Al_2O_3 + Fe_2O_3 + H_2O (+)} \text{ (風化岩)}}{\frac{FeO + MnO + MgO + CaO + Na_2O + K_2O}{Al_2O_3 + Fe_2O_3 + H_2O (+)} \text{ (新鮮岩)}} \times 100 (\%)$$

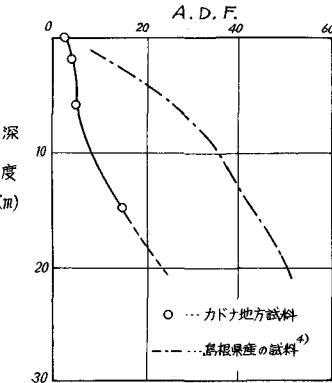
なお、新鮮岩の定義が、ややあいまいであるので、試料を電子顕微鏡で観察し、キレツや微少な風化痕跡のないものを、新鮮岩と定義することにする。カドナ地方における各層試料の化学組成を示すと (表-1) のようになる。ただし、新鮮岩としては、3. の F 層試料を使用し、風化最終生成物として、R 層試料を考えている。

(表-1) カドナ地方の調査地盤における各土層の化学成分

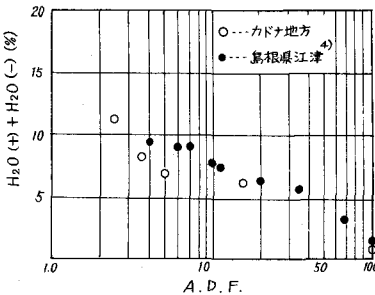
試料	深度(m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O(+)	H ₂ O(-)	CEC ^(mg)	I _g -Loss	単位(%)
R層	0.0	38.5	27.0	21.2	0.22	0.79	0.023	0.087	0.36	0.031	10.2	0.80	—	—	
B層	2.0	55.5	18.30	14.60	0.37	0.14	0.042	0.15	0.44	0.14	6.54	1.67	8.23	7.74	
C層	6.0	61.4	22.70	5.30	0.33	0.92	0.0048	0.025	0.34	0.039	5.33	1.51	5.87	7.05	
D層	15.0	62.7	15.20	8.31	0.91	0.20	0.073	1.615	1.66	0.070	5.55	0.72	—	5.44	
F層	—	63.7	15.40	0.05	5.78	3.06	2.61	1.854	3.82	0.093	0.52	0.08	—	—	

各土層に対し、絶対的の化学的新鮮度 (A. D. F.) がどのように変化しているかを調べると (図-6) のようになる。カドナ地方試料とともに、日本の島根県産の試料について⁴⁾も合わせて示す。ナイジェリア・カドナ地方試料の方が、全般的に化学的風化度が進んでいるのは、明らかであるが、三浦らの研究した島根県産の花崗岩質赤色風化殻の場合のように、温暖な気候状態で風化を受け、さらにその地層が保存されるなら A. D. F. は、5~10 と化学的風化がかなり進行することがわかる。日本におけるマサ土は一般的には、地形浸食の影響をまぬがれず、A. D. F. が5以下になることはまれである。西田らの研究したマサ土最上層³⁾試料について調べると、A. D. F. ≒ 10 程度となっており、これらの結果から、日本における言わゆるマサ土の場合、A. D. F. = 10~40 となるものが多いことがわかる。ちなみに、カドナ地方の場合、D層 (GL-15m) 試料で、A. D. F. = 15 程度であり、(図-3) の粒度分布の点からもマサ土との類似が著しい。

一方、試料の強熱減量または H₂O (+) + H₂O (-) の量と A. D. F. の関係を調べてみると、(図-7) のようになる。強熱減量等と対数で表示した A. D. F. の関係は、ほぼ、直線的に変化していることがわかる。日本における花崗岩風化土の方が、強熱減量等の値が同じ A. D. F. に対しても、若干多くなっているが、粘土鉱物や腐植の量の差も理由の一つと考えられる。強熱減量と間げき率の関係を調べてみると、(図-8) のようになる。⁵⁾小野寺らの研究したマサ土の場合、風化の進行に伴い (強熱減量の増加に伴い) 間げき率が増加しているが、カドナ地方の場合、C層で間げき率は最大であり、地表に近づくに従い、風化は進行するが、間げき率は、若干減少していることがわかる。この傾向は4. で述べたと同じ理由によるものと考えられる。



(図-6) 深度とA.D.F.の関係



(図-7) A.D.F.とH₂O (+) + H₂O (-)の関係

6. 風化に伴う土の力学的性質の変化

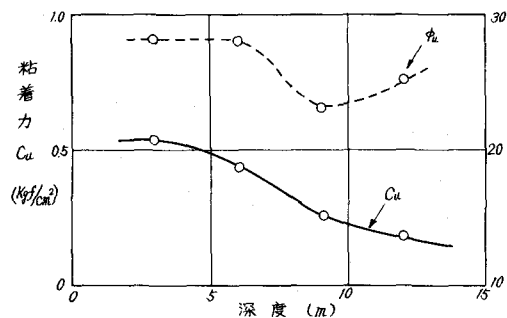
カドナ地方において、行なわれた多くの標準貫入試験結果の平均的な値を図示すると(図-9)のようになる。間げき率の大きな土層であるC層(GL-5~12m)で、N値は15~20と最低値を示し、上層のB層では20以上の値となっている。なお参考までに日本において、マサ土地帯で測定されたN値の例も合わせて図示する。マサ土の場合のN値は地表に近づくに従い単純減少の傾向を持っており、カドナ地方のように地表付近で大きな値とはなっていない。

三軸圧密せん断試験(UU試験)によつて、せん断摩擦角 ϕ_u と粘着力 C_u の値を求め深度別の変化を調べてみると(図-10)のようになる。ただし、側圧の範囲は $0.5 \sim 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、試料の飽和度は70~90%である。見かけの粘着力 C_u は、B層(GL-0.3~5m)で 0.5 kgf/cm^2 前後あり、C層下部になると減少する。一方、せん断摩擦角 ϕ_u も同様にB層で大きくGL-8m付近のC層で最少値となる傾向を示している。土の間げき率とみかけの粘着力 C_u 、せん断摩擦角 ϕ_u の関係を図示すると(図-11)のようになり、側圧 $0.5 \sim 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲における粘着力 C_u と間げき率にはかなりの相関があることがわかる。

7. あとがき

以上、ナイジェリア・カドナ地方の地盤を、花崗岩の風化という見地に立ちながら、物理的、化学的、力学的手法を使って解明してきた。

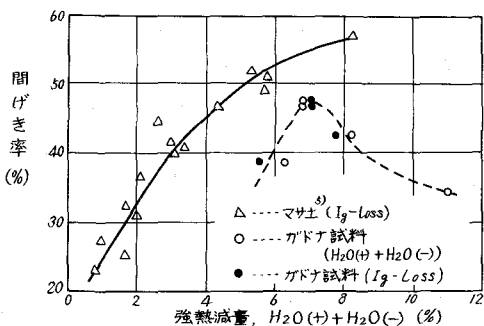
今後は、粘土鉱物等の情報を加えながら、各手法相互間の関連に考察を加え、総合的に熱帯地方の地盤を把握するつもりである。



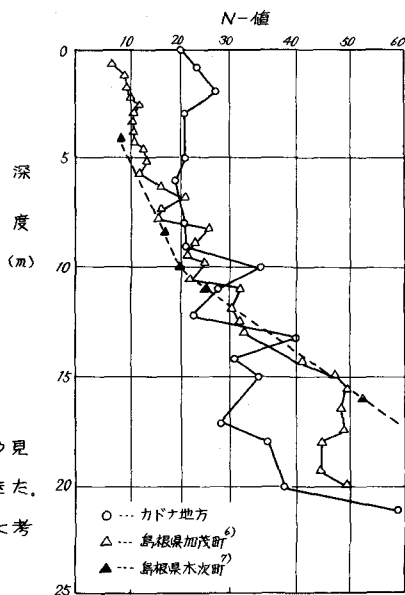
(図-10) 深度による C_u -値、 ϕ_u -値の変化

参考文献

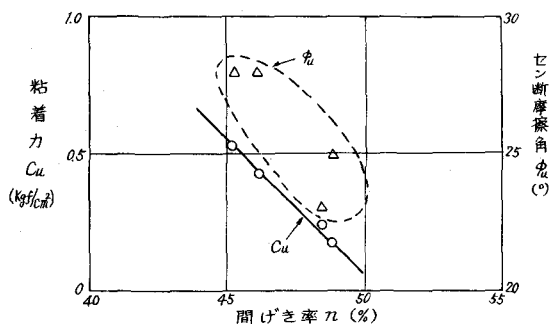
- 1) 土質工学会編 風化花崗岩とマサ土の工学的性質 昭54.2
- 2) 高田, 門田, 末岡. 熱帯風化残積土の土質工学的特性と路盤材としての利用, 土と基礎 1981, 12 P27~P32
- 3) 西田, 青山. 花崗岩風化層の間げき径分布と水分吸着特性について, 応用地質 20巻1号 1979, P3~P12
- 4) 三浦. 深層岩類の風化に関する研究(第1報) 応用地質 第14巻3号 昭48.9 P1~P16
- 5) 小野寺, 吉中, 小田. 花崗岩の風化に伴う強度低下 第10回岩盤力学に関するシンポジウム 1976. 2 P71~P75
- 6) 三浦. 島根県加茂町付近の花崗岩類とその崩壊について(I) 岩石鉱物鉱床学会誌 56巻6号 1966. P273
- 7) 三浦. 軟岩をめぐる諸問題—花崗岩の風化とその力学特性 土と基礎 1980. 7 P16



(図-8) 土の間げき率と強熱減量等の関係



(図-9) N-値の深度による変化



(図-11) 間げき率と C_u -値、 ϕ_u -値の関係

(20) Weathering of the granite in Kaduna district,
Nigeria and its geotechnical properties

S.Kaneko, T.Sueoka, S.Yasu Tech. Res. Inst. Taisei Corp.

The ground in Kaduna district, Nigeria has been investigated from the view point of weathering of the granite and compared with Masado which is the decomposed granite soil in Japan.

The following conclusions have been obtained.

- (1) The ground in Kaduna district, Nigeria can be classified to seven kinds soil layers from geotechnical engineering view point.
- (2) With decrease of the depth in the ground, fines content increases as shown in (Fig.-3). Compared with Masado in Japan, the particle size distribution of D-layer samples in the district is similar to the one of Masado.
- (3) The soil porosity of the ground varies with depth. The largest porosity value exists in C-layer and the value decreases with the decrease of the depth as shown in (Fig.-4), however the same trend cannot be seen in Masado in Japan.
- (4) The particle size distribution of the soils in the district varies with depth, and the third layer (C-layer) particle size distribution is not suitable for the compactibility as shown in (Fig.-5).
- (5) The relationship between ignition-loss or $H_2O(+)$ + $H_2O(-)$ value and the soil porosity in the district has different trend from the one of Masado as shown in (Fig.-8).
- (6) Mechanical properties of the ground has a little different trend from Masado in Japan as shown in (Fig.-9), especially in upper soil layers (B, C-layers) in the district. The cohesion component C_u in the triaxial test (UU-test) depends on its soil porosity as shown in (Fig.-11) in case of the degree of saturation $S_r = 70 \sim 90\%$ and the confining pressure $\sigma_3 = 0.5 \sim 1.5 \text{ kgf/cm}^2$.