

風化花崗岩土の工学的性質と風化度区分について

島 重 章*

(平成6年9月30日受理)

The Weathering Classifications of Decomposed Granite Soils and their Engineering Properties

Shigenori SHIMA

(Received Sept. 30, 1994)

Abstract

Decomposed granite soils are the residual soils which derive mainly from granitic rocks and which have remained in situ. They are called "Masa-do" in Japanese and are widely distributed in south-western part of Japan.

The area which is covered by these soils is a problem area in that changes in the density of the soil have been brought about by cutting and banking and, furthermore, slope failures caused by rainfall. As a result, there is an increasing number of slope failures in the area.

Accordingly, investigations and experiments were carried out on weathered surface soils at construction sites and the engineering properties of these soils was measured. This report is based on the data obtained and examines the quantitative correlation between the degree of weathering and the engineering properties of the soils.

Key Words: weathering, granite soils, quantitative correlation, engineering properties.

1. はじめに

瀬戸内地方の代表的な土質は、花崗岩の風化した風化残積土および風化崩積土が広く分布し、まさ土と称して地域の土木工事に大きな影響を与えている。地質岩石学的観点からみると、西日本に分布する花崗岩類は2つのグループに分けられる。1つは領家型花崗岩類であり、他の1つは白亜紀型花崗岩類である。前者は近畿地方に主として分布し、後者は中国地方に主として広く分布する。ここに取り扱う広島型花崗岩土とは、白亜紀型花崗岩類の風化したもので、正長石を主として石英、黒雲母が多く、粘着力が少なく透水性は大きい、表面侵食を受け易い土質材料である¹⁾。

これらは一般にまさ土と称し、他の土質とは異なった種々の工学的性質を示す。その理由は、土粒子が風

化途中のもので、物理的、化学的および力学的に不安定である上に、母岩の性質を反映して鉱物組成の上でもかなりの差異があるためである。現在、まさ土の性質については数々の実験が行われ、まさ土の工学的性質、とりわけ、風化土からみた土質工学的性質が明らかにされてきた²⁾。

まさ土に覆われた地域において、切土や盛土による密度の変化や、降雨による斜面の土砂流出など、多くの土砂災害の発生がみられる。これらはまさ土が風化進行性の材料であることから、災害発生の各種要因は風化の程度に左右されるため、風化度の定量化を必要とする地盤工学上の問題点が考えられるが、現状は経験的基準に従って決めていくにすぎない³⁾⁴⁾。

そこで本報告は、造成工事中のまさ土掘削断面において、各種調査および試験を実施して工学的性質を計

* 広島工業大学工学部土木工学科

測し、それぞれの有意性の検定による相関分析から相関性の高い測定値を選定し、風化度区分の定量化を検討したものである。

2. 地域特性と風化の程度

広島県は中国山地南斜面の中央部を占め、そのほとんどが山地から構成されている。北部では江川の本・支流に、南部では太田川、芦田川、沼田川などの流域にわずかに平野を有するにすぎない。その山地は、早くから隆起準平原面と考えられる侵食平坦な山地が広く発達することや、わが国の中で最も密に並走している直線上の構造谷群の発達していることが、広島県の地形に関する2つの大きな特質である。これらは水系の発達を規制し、また、都市や集落の分布、産業、交通の発達に影響するところがきわめて大きい⁵⁾。

県下の山地の特徴は、中国山地と呼ばれる脊梁面と中位の吉備高原面、および低位侵食面の瀬戸内面の三段の侵食面からなる段階山地に位置づけられる。脊梁面は吉備高原面から急傾斜面または比較的緩斜面で区分され、広島県西部では吉和の冠山を主峰とする冠山山地を形成し、高度 1000~1300 m の山頂部に緩斜平坦面を残している。吉備高原面は、岡山から広島にかけて広く発達した高度 300~500 m 以上の広い緩斜平坦面で、県下に存在する一般的な山地の多くがこれである。さらに、瀬戸内面は沿岸近くの高度約 100 m から海底に続く地形で、小起伏老年山地に位置する緩斜平坦面である⁶⁾。

新第三紀中新世以前に陸化した地域は、侵食、削剥が行われ、風化体の一部が既に形成されていた。中国

地方のかなりの部分が隆起準平原面から成り、基盤褶曲運動や、これに伴う断層運動の結果形成されたもので、風化帯を内包する準平原地域の地盤をいっそう脆弱化した。このことは深層風化帯の存在からも実証され、準平原内に位置する花崗岩地帯の河谷は、未だに下方侵食、側方侵食が盛んに行われている⁷⁾。

準平原地形を示す中国地方は、古い風化帯に環境が変化し、新しい風化作用が重複して加わったため風化構造を複雑にし、厚い風化帯を形成している。広島花崗岩の風化土であるまき土に関して、風化の程度を述べる場合、いかに地域に適合するかが重要である。風化度の判定は、物理的、化学的および力学的なものなど種々の手法が考案されている。しかし、それらの判定法は対象物の適用範囲に限界があり、また結果の利用目的によっても、とるべき手法が異なることは言うまでもない。そこで、表層地質図に示された風化度区分について、工学的観点から測定上の簡便性と、工学

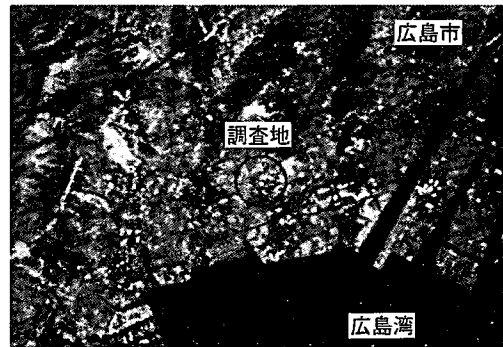


写真 3-1 調査位置とその周辺⁸⁾

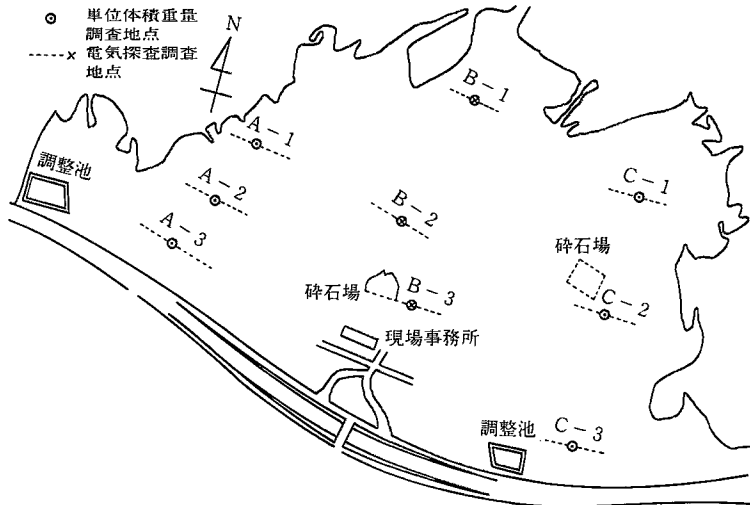


図 3-1 現地調査地点位置図

的に直結するデータを明らかにする必要性があると考えられる。

3. 調査対象地

調査地点は、広島市西区井口町井口団地造成地内である。写真3-1に位置を、図3-1に概略平面図を示す。

この造成地は山体部の切り取り施工および盛土施工を実施し、宅地造成が行われた。地質は白亜紀後期に形成された広島花崗岩で、瀬戸内一帯に広く分布する深成岩帯であり、表層部分は風化土であるまさ土により覆われ、土質構成は中～粗粒の桃色の正長石を特徴的に含んでいる。この場所において、現地調査を実施したもので、その位置は標高50mから170mの比高を有し、表3-1に示すように、風化層の異なる位置の調査箇所を選定することができた。

4. 調査および試験方法

現地調査として実施した項目は

- (1) 大地比抵抗による地層探査
- (2) 現場における単位体積重量

室内試験として実施した項目は

- (1) 物理的性質試験
 - 土の含水比試験
 - 土粒子の比重試験
 - 土の単位体積重量試験
 - 土の粒度試験
- (2) 化学的性質試験
 - pH試験
 - 強熱減量試験
- (3) 力学的性質試験

表3-1 調査地点の視察状況

測点	視察状況
A-1	+1m程度の盛土部分
A-2	+15m程度の盛土部分
A-3	+20m程度の盛土部分
B-1	-10m程度の切土部分
B-2	±0mの原位置、植生あり
B-3	-3m程度の切土部分
C-1	-20m程度の切土、岩露出
C-2	-13m程度の切土、岩露出
C-3	-16m程度の切土、まさ土

• 一面せん断試験

ここでは現場調査の方法について概説する。

(1) 大地比抵抗による地層探査⁹⁾

一般に電気探査と称し、岩石の構造、間隙水の比抵抗分布を調査して地層構造を求める方法である。比抵抗法は Wenner 法による垂直探査法を採用し、見掛け比抵抗値を求めるものである。装置の概要は図4-1に示す。

図示の2点間の電位差は

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{(r-r_1)} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{(r-r_2)} \right\} \dots (4.1)$$

故に、比抵抗 ρ は

$$\rho = 2\pi \frac{1}{C} \frac{V}{I} \dots (4.2)$$

ここに、

$$C = \frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \dots (4.3)$$

Wenner 法の電極配列によって、測定される見掛け比抵抗値を算出するには、上式において電極間隔を a とすれば、

$$C = \frac{1}{a} \dots (4.4)$$

となる。したがって、

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \dots (4.5)$$

で与えられる。

(2) 現場における単位体積重量測定

現場における単位体積重量を測定する方法としては、砂置換法および単位体積測定器を用いて測定する方法などがある。ここに用いた測定値は、最も簡単に現位置における単位体積重量を測定することのできるもので、打設によるモールド部分の土中打ち込みによってモールド中の土塊を測定するものである。その結果は、次式によって求められる。

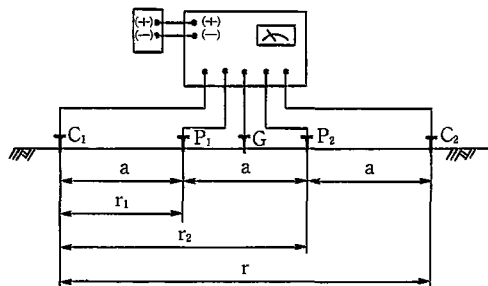


図4-1 電気探査測定概要図

$$\rho_t = \frac{m}{V} \quad \dots\dots(4.6)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \omega/100} \quad \dots\dots(4.7)$$

5. 結果および考察

(1) 現場含水比測定

ハンドオーガーボーリングによって、現場において採取した土試料から得られた結果を図5-1に示す。採取深さは、切土施工後の現位置において、もとの地山からの深さで示す。結果は、深さ方向に含水比の減少傾向がみられるが、バラツキも示された。一般に乱さないまさ土の自然含水比分布は一次の直線傾向を示すことから、ここに得られた結果はまさ土の風化を表す指標になるものと考えられる。

この現場含水比測定は、測定地点が同一地点ではないこと、地表面下 20 cm 程度の土試料採取に限られたこと等の問題点を含んでいるが、現場における切土面の視察判定は、広島型花崗岩土の風化層の露出が全体的に見られたことから、深さ方向に風化状況の伴う含水比の変化する現場であると判断できる。

(2) 大地比抵抗による地層判定

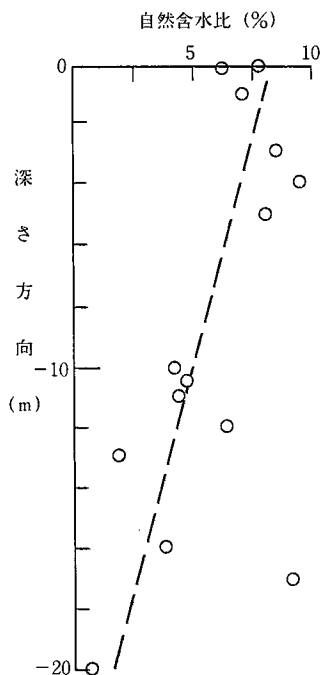


図5-1 現地含水比測定結果

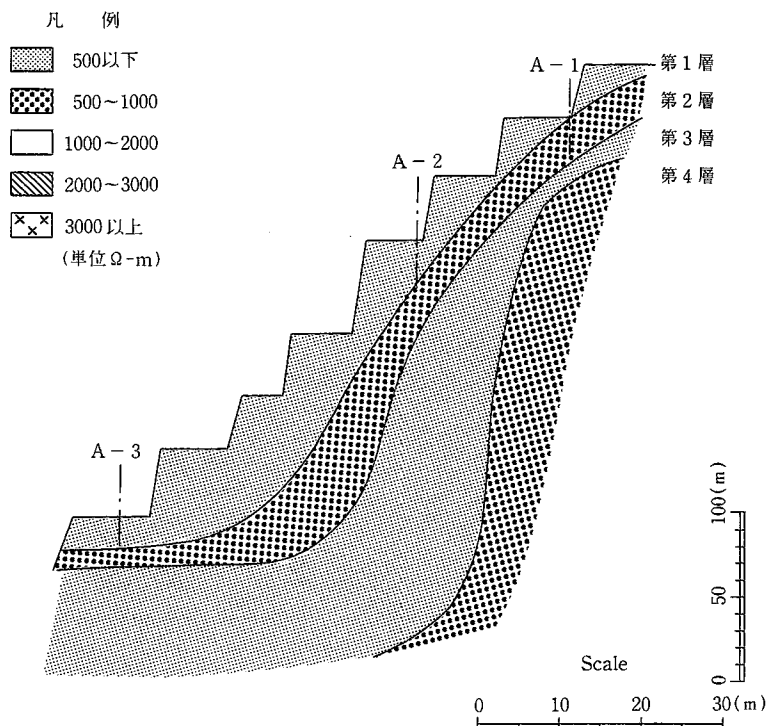
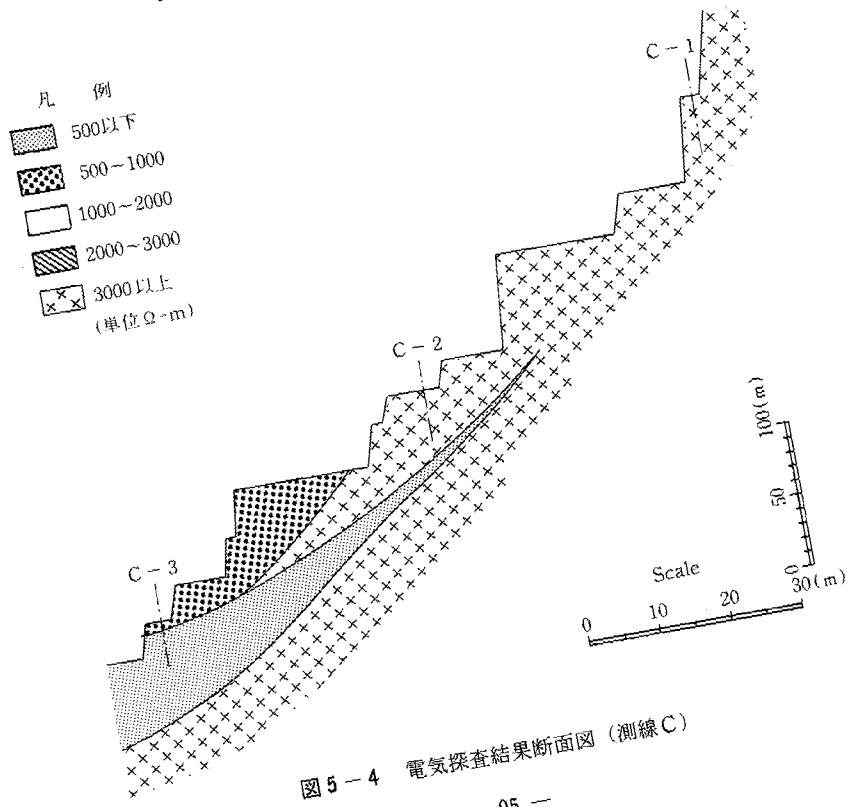
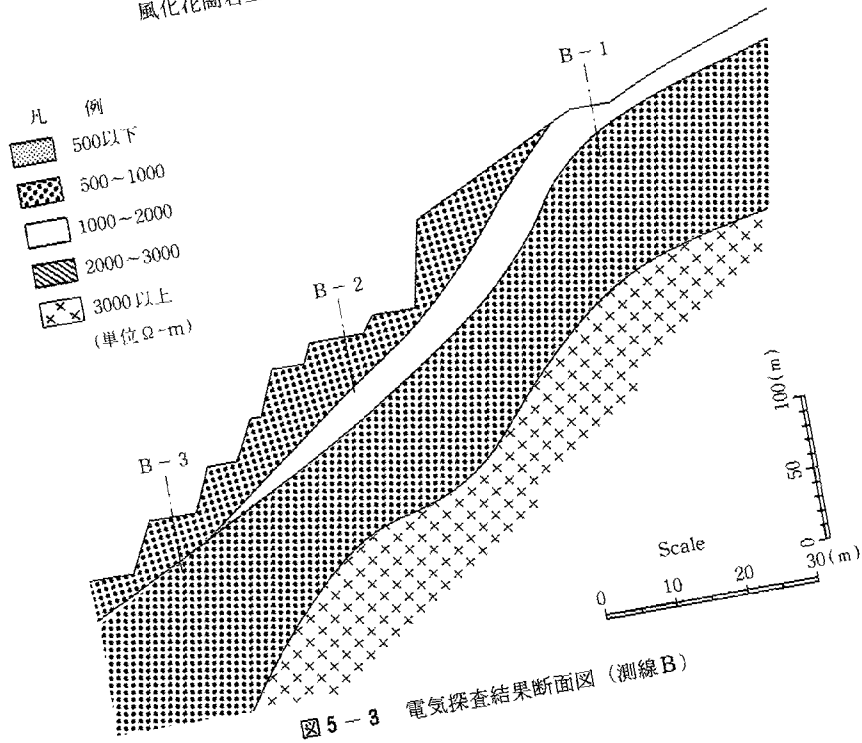


図5-2 電気探査結果断面図 (測線A)

風化花崗岩土の工学的性質と風化度区分について



電気探査測定による見掛け比抵抗値の解析結果から、地層を判定するものである。測定は調査地において3測線の結果を得た。それらを図5-2~図5-4に示す。結果は風化層がかなり深層におよぶこと、および風化層が複雑に混在していることが予測された。

図5-2のA測線は表面がまさ土の盛土によって構成されている。その第2層以深は500Ω-m以上の比抵抗値を示し、深層風化層の存在することを示す。B測線は全体的に切土面であり、表層から比較的高い比抵抗値を示す。さらに第4層は5,000Ω-m以上を示し、岩盤を示すものと考えられる。C測線は上方に岩盤の露出がみられる場所であり、その比抵抗値が5,000Ω-m以上の数値を示す。下方には比抵抗値の低い層が現れ、地下水の帯水層が考えられる。

(3) 土の物理的性質試験結果

1) 土粒子の比重試験結果

結果は図5-5に示す。全体的には深さ方向に変化せず、切土および盛土の差も見られない。まさ土粒子は風化にともない、一次鉱物の長石および有色鉱物の変質することにより、比重の変化量となることが予想されるが、ここにはその変化がみられない。これは、長石や有色鉱物が風化にともない分離するが、安定な石英長石が残存しているために土粒子の変化が小さくなるものと考えられる。

2) 土の単位体積重量試験結果

現位置の採取地点において得られた土試料から、表土の湿潤単位体積重量および乾燥単位体積重量を求めた。結果を図5-6に示す。

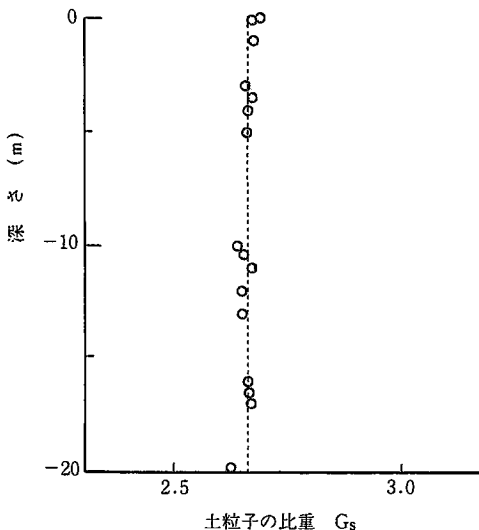


図5-5 比重試験測定結果

単位体積重量は、深度方向に二次的な増加を示し、風化の差を示す傾向を示した。同様に、間隙率も次式から深度方向に二次的な減少傾向を示す。

$$e = \frac{\rho_w}{\rho_d} G_s - 1$$

このことは、採取試料が乱さないまさ土の物理的性質と同様の傾向を示したことにより、まさ土の風化との相関性が示されると考えられる。

3) 土の粒度試験結果

まさ土は一般に沖積砂とは異なり、ふるい分け作用を受けていないため、粗粒から細粒のものまで広い粒度分布を示す。それは、風化の程度によって粗い砂から砂質ロームまで大幅に変化する。採取深さの違いによる粒径加積曲線を図5-7に示す。表層に存在する試料ほど細粒分の含有量の多いことが示されている。この曲線から、有効径および D_{30} 、 D_{60} の粒径を判読し、得られた均等係数および曲率係数によって深さ分布を示すと、図5-8および図5-9である。ここに、均等係数 U_c とは

$$U_c = D_{60} / D_{30}$$

であり、曲率係数 U_c' とは

$$U_c' = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60}$$

である。

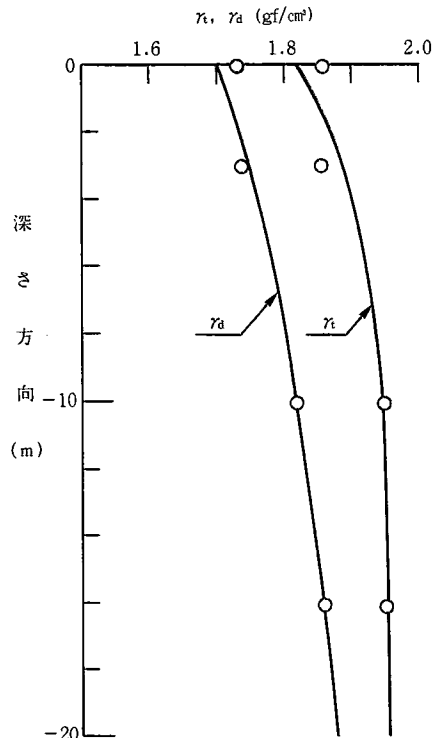


図5-6 湿潤、乾燥密度測定結果

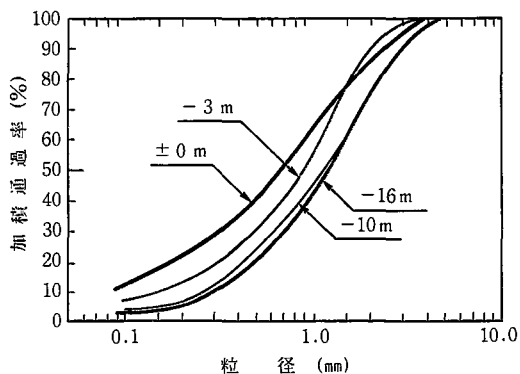


図 5-7 粒径加積曲線

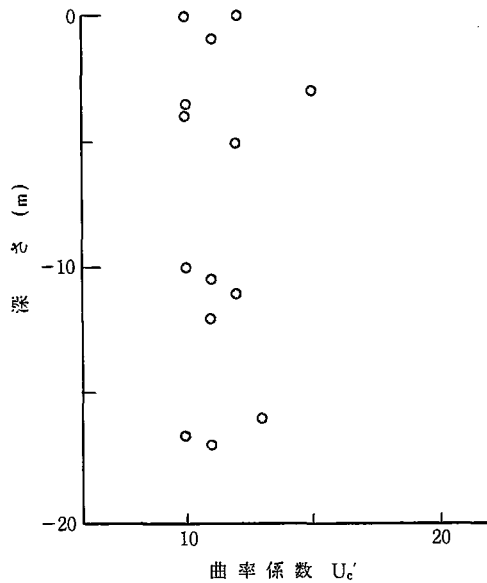


図 5-9 粒度試験結果

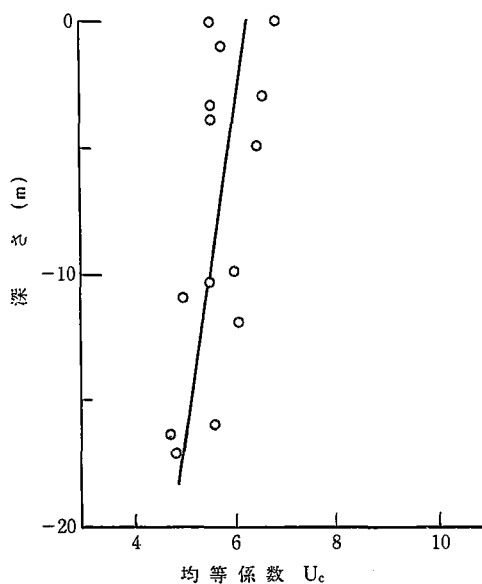


図 5-8 粒度試験結果

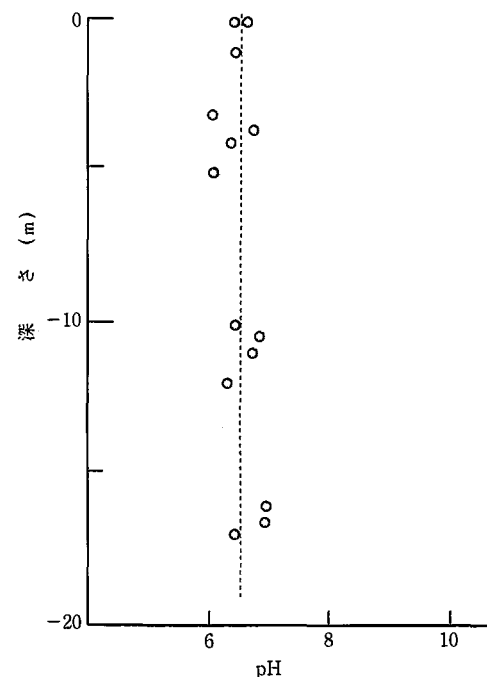


図 5-10 化学的性質試験結果

(4) 土の化学的性質試験結果¹⁰⁾

1) 土の pH 試験結果

花崗岩からまさ土への変化は、土粒子の細粒化と同時に化学的、鉱物学的に変化する。特に、一次鉱物の変化の中で長石と雲母は顕著である。ここでは採取した土試料を、蒸留水に懸濁させたときの懸濁液の pH を測定したものである。結果は図 5-10 に示すように、深さ方向の変化がみられない。これは、風化にともない長石の粘土化が進行してカリウムを分離するが、粗い土粒子の表面は K イオンが離脱するためであると考えられ、このことから、土試料の表面は pH=7 程度になったものと考えられる。

2) 強熱減量試験結果

まさ土は砂質土に分類されるが、風化の進行したもののほど結晶水を多く含む粘土鉱物が増加する。この結

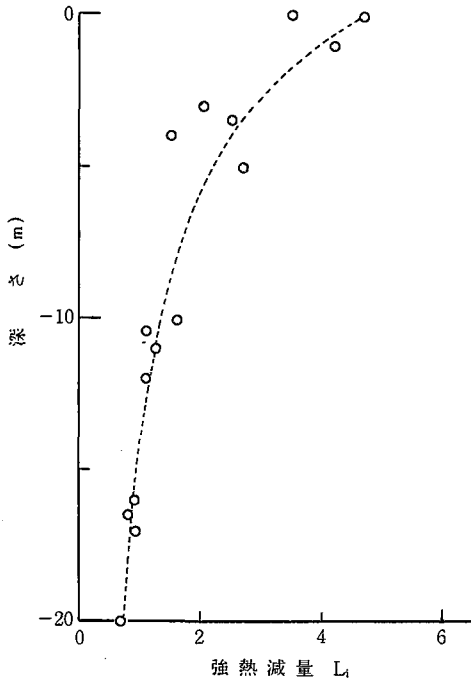


図 5-11 化学的性質試験結果

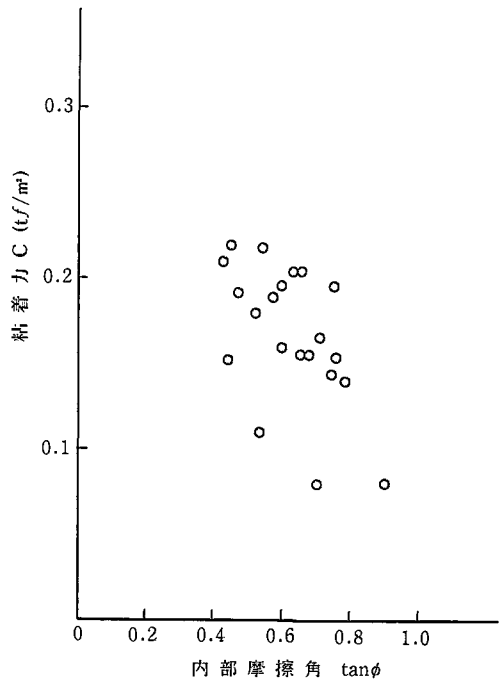


図 5-12 C-φの関係図

晶水を含む粘土鉱物の多少を強熱減量試験から求めることにより、風化の程度を判定できると考えられる。ここでは土試料の試験結果を図 5-11 に示す。強熱減量値は深さ方向に二次的変化を示している。このことは、表土に近い風化進行性のまさ土ほど粘土鉱物の含有量の多いことを示し、この試験結果から、風化度の判定に有効であると考えられる。

(5) 土の一面せん断試験結果⁽¹⁾

まさ土のせん断強度は風化の程度によって異なる。このことは、風化度の異なるまさ土の比較試験から、拘束圧の小さい範囲では風化度の大きいもののほどせん断強度は大きくなるが、拘束圧以上になると逆転して風化度の小さいものが大きいせん断強度を示す。これは、まさ土粒子が堆積土などに比して破碎しやすいことに起因していると考えられる。ここでは、乱した不飽和まさ土のせん断強さを求めた結果を図 5-12 に示す。せん断試験は一面せん断試験器を用い、非圧密、非排水の条件下で行ったものである。結果は、図より粘着力が $C=0.14\sim 0.22 \text{ tf/m}^2$ 、内部摩擦角が $\tan\phi=0.4\sim 0.8$ の間に分布している。深度方向との関係は、図 5-13 に示すように、粘着力は 2 次的減少傾向を示す。間隙率と粘着力の関係は、図 5-14 に示すように、一次直線の増加を示す。内部摩擦角と深さ方向

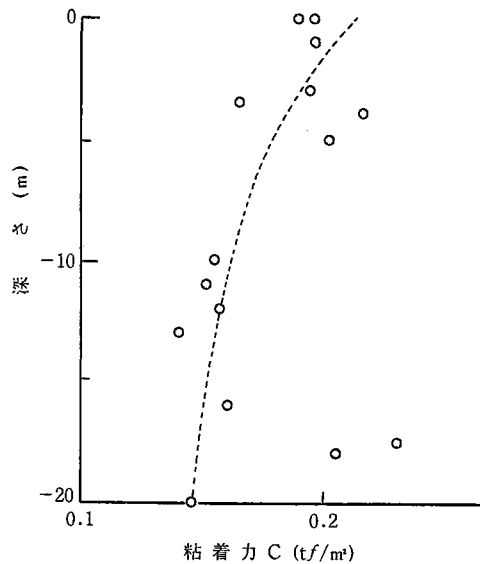


図 5-13 粘着力の深さ分布図

の分布はバラツキが大きく、その傾向を見いだすことが不可能であった。従って、風化度の判定には、粘着力による判定が有効と考えられる。

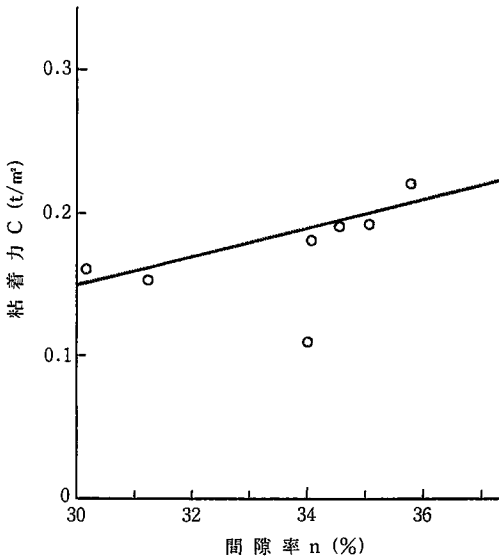


図 5-14 粘着力と間隙率の関係

6. 風化度の定量的判定

(1) 相関分析結果

前節に示した試験結果をもとに、各データと深さ分布の相関性を分散分析法によって求める¹²⁾¹³⁾。

ここでは、回帰推定値の帰無仮説に相関関係がないという条件を設定する。従って、対立仮説には相関関

係があると考えらるもので、そのための検定には r 分布、t 分布および F 分布を検討項目とする。その結果は表 6-1 に示すが、有意性の認められるものについては以下に示すようである¹⁴⁾。

1) 均等係数

図 5-8 より、相関係数 $r_0 = -0.634$

データ数 $n = 14$

従って、均等係数と深さの関係は、危険率 5%

(*) ~ 1% の間において有意性が認められ、

相関性を見いだすことができる。

2) 強熱減量

図 5-11 より、相関係数 $r_0 = 0.869$

データ数 $n = 16$

従って、強熱減量と深さの関係は、危険率 1%

(**) において有意性が認められるので、高い

相関性を見いだすことができる。

3) pH

図 5-10 より、相関係数 $r_0 = 0.512$

データ数 $n = 16$

従って、pH と深さの関係は、危険率 5% ~ 1%

% の間において有意性が認められ、相関性を見

いだすことができる。

4) 粘着力

図 5-13 より、相関係数 $r_0 = 0.795$

データ数 $n = 14$

従って、粘着力と深さの関係は、危険率 1% に

表 6-1 測定値の深さ方向分布についての相関分析結果

深さ分布	データ数	相関係数	r 検定		t 検定		F 検定		相関性
	n	r_0	帰無	対立	帰無	対立	帰無	対立	有意性
比重	22	0.427	○		○		○		ns
浸潤密度	4	0.924	○		○		○		ns
乾燥密度	4	0.990	○		○		○		ns
間隙率	4	0.982	○		○		○		ns
均等係数	14	-0.634		*		*		*	*
曲率係数	14	-0.046	○		○		○		ns
強熱減量	16	0.869		**		**		**	**
pH	16	0.278		*		*		*	*
粘着力	14	0.795		**		**		**	**

ここに、** 危険率 1% において有意性あり

* 危険率 5% において有意性あり

ns 相関性なし

において有意性が認められるので、高い相関性を見いだすことができる。

更に、上記項目以外については、現地調査の一般的データとして得られる土の含水比および土の密度について、ここで採取されたデータについて検討した結果、相関性は高いものの、データ数の不足によりt分布およびF分布に結果を見いだすことができなかった。

従って、ここでは上記項目についての風化度指標の検討を行うものである。

(2) 風化の定量化

相関分析の結果から、強熱減量と深さの関係、および粘着力と深さの関係の間にはそれぞれ高い有意性が認められる。そこで風化度の定量化を検討するに当たり、強熱減量と粘着力の関係を検定すると、

相関係数 $r_0=0.805$

データ数 $n=14$

a) r 検定

$|r_0| > r(12, 0.01) = 0.655$

∴ 危険率 1%において対立仮説を採択する。

b) t 検定

$t_0=4.700$

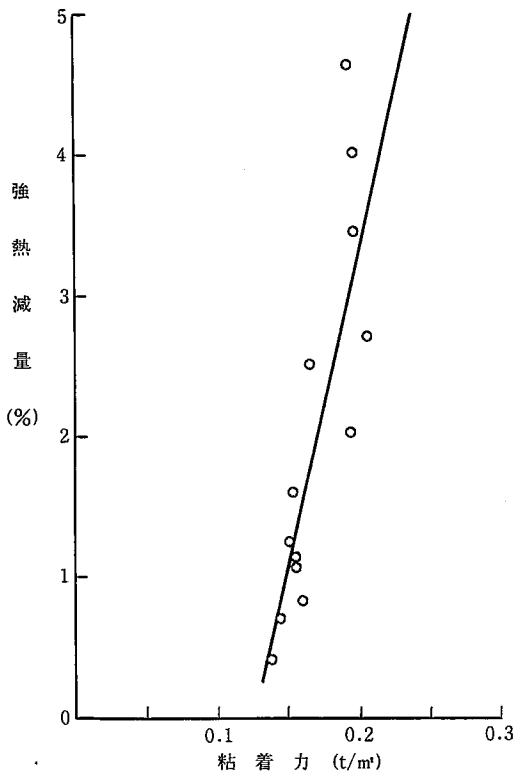


図 6-1 強熱減量と粘着力の相関図

$|t_0| > t(12, 0.01) = 3.055$ **

∴ 対立仮説を採択する。

c) F 検定

$F_0=22.093$

$|F_0| > F(1, 12, 0.01) = 9.330$ **

∴ 対立仮説を採択する。

ここに、強熱減量と粘着力の間には高い相関性があると認められる。それを図示すると図 6-1 のように示すことができる。従って、この両者を変数とする深さ方向の定量化を検討する¹⁵⁾。

強熱減量と粘着力を変数とする深さ方向の定量化は、風化量 = (強熱減量) × (粘着力) とする指標と深さ方向について検定すると、

相関係数 $r_0=-0.892$

データ数 $n=13$

a) r 検定

$|r_0| > r(11, 0.01) = 0.688$ **

∴ 危険率 1%において対立仮説を採択する。

b) t 検定

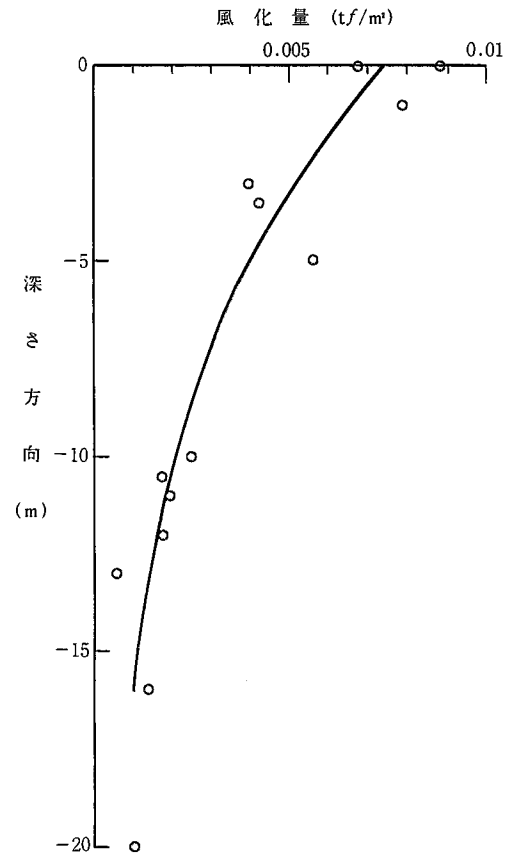


図 6-2 風化量の深さ方向分布図

表 6-2 風化量に基づく風化度指標の定量化

風化度	深さ (m)	風化量 (tf/m ²)	現 地 状 況
α	3 以下	0.005-0.007	全体が一様に風化して砂状を呈する。長石、黒雲母はかなり粘土化し、軽く手で掘れる。
β	3-10	0.002-0.005	スコップで掘れる程度のまさ土である。粘土分は少なく、塊にはなりにくい。
γ	10以上	0.002以下	長石は白濁するが岩盤組織を残し、節理面も見られる。ハンマーで砂状に割れる軟岩。

表 6-3 風化度区分表示⁷⁾

風化殻の深度	α: 浅い (約 3 m 以浅)
Depth of weathered crust	β: 中程度 (10 m 以残)
	γ: 深い (約 10 m 以深)

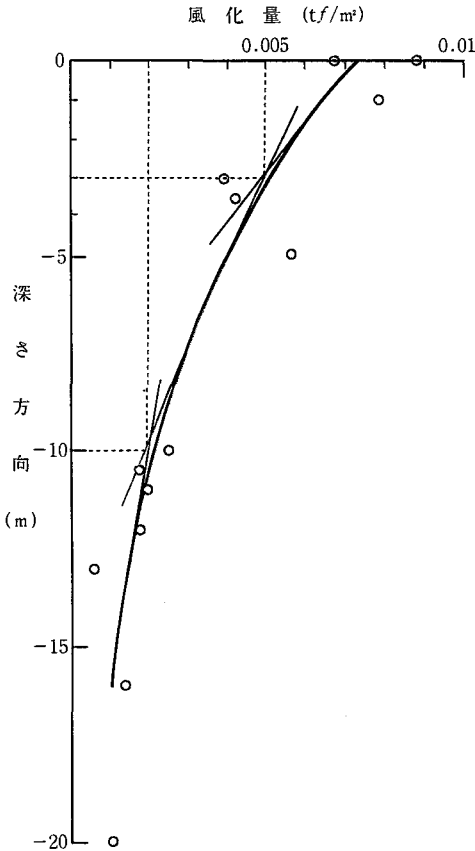


図 6-3 風化量と深さ方向の関係図

$$t_0 = 6.540$$

$$|t_0| > t(11, 0.01) = 3.106 \quad **$$

∴ 対立仮説を採択する。

c) F 検定

$$F_0 = 42.833$$

$$|F_0| > F(1, 11, 0.01) = 9.650 \quad **$$

∴ 対立仮説を採択する。

ここに、(強熱減量)×(粘着力)と深さ方向の関係は高い相関性があると考えられる。以上の関係は図 6-2 に示す。

強熱減量値と深さの関係は回帰分析の結果から、

$$y = 0.00892z^2 + 0.32915z + 3.69835 \quad \dots \text{式 (6.1)}$$

ここに、y: 強熱減量値 (%)

z: 深さ (m)

粘着力と深さとの関係は、同様に回帰分析の結果から、

$$x = 0.00014z^2 + 0.00552z + 0.20074 \quad \dots \text{式 (6.2)}$$

ここに、x: 粘着力 (tf/m²)

z: 深さ (m)

以上の両者には相関性が高い事から、図 6-1 に示す関係を回帰分析による回帰式に示すと、式 (6.1) および式 (6.2) から得られる式に近似して、次式を得る。

$$y = 46.1x - 5.80 \quad \dots \text{式 (6.3)}$$

次いで、以上に示した強熱減量および粘着力の相関性を深さとの関係で示すと、図 6-2 に示す曲線回帰となり、その回帰式を示すと、

$$Y = 30.375X^2 - 48.516X + 19.707 \quad \dots \text{式 (6.4)}$$

ここに、Y: (強熱減量)×(粘着力)

X: 深さ (m)

以上の関係をもとに、まさ土の風化度を示す計測結果について検討すると、強熱減量および粘着力をパラメータとする風化度の定量化が可能となる。それは図 6-3 において、曲率変化に着目すると、深さ 0~3 m までの変化を風化度 α、3~10 m までの緩やかな変化を風化度 β、およびそれ以降を風化度 γ と区分することができる。従って、その深さ位置に対応する風化

量を(強熱減量)×(粘着力)とするその区分は、表6-2に示す結果のようになる。この区分は、地質分野に示す風化度表示(表6-3)中の風化殻の深度にほぼ一致すると考えられ、調査地域におけるまさ土の風化が深層風化地域であることが明らかとなった。

7. おわりに

広島型花崗岩土であるまさ土に覆われた切土盛土工事現場において、現地調査計測および土質試験を行い、まさ土層の深さ位置における風化度を調査した。得られた結果を要約すると以下のようである。

- (1) 土質調査結果から、比抵抗測定によるまさ土層断面を求めて深層風化層の存在を検討した結果、10 m以上の深層風化層の存在を確認した。
- (2) 土質試験結果から、土の粒度を示す均等係数、化学的性質のpHと強熱減量値、および一面せん断試験の粘着力が深さ方向に相関性の高いデータの分布を示した。
- (3) なかでも、強熱減量と粘着力の関係は高い相関性を示し、深さ方向にも風化に起因すると考えられる違いのあることを示した。
- (4) ここでは風化度の指標として、(強熱減量)×(粘着力)の値に着目して深さ方向における定量化を検討した結果、3段階の風化度に区分されることが判明した。
- (5) この風化度指標区分は、表層地質中の風化度指標として示される弱風化(α)、中風化(β)および強風化(γ)に類似した結果となり、この地域における深層風化の区分を裏付ける結果であると考えられる。
- (6) ここに得られた各値は、施工現場における測定値のみに基づいているため、試料の乱れが生じていること、および風化深度は、現場の掘削施工後を対象としているため、深層風化層の各断面特性が得にくかったこと等、今後の検討要因が考えられる。

要旨:

西日本における代表的な土質は、花崗岩の風化した土が広く分布し、まさ土と称して他の土質とは異なった種々の工学的性質を示し、地域の土木工事に大きな影響を与えている。

まさ土に覆われた地域において、切土や盛土による風化層の密度変化や、降雨による斜面の土砂流出など、多くの土砂災害の発生を引き起こしている。

そこで本報告は、造成工事中のまさ土掘削断面において、各種調査および試験を実施して工学的性質を計測し、その測定値の相関分析から相関性の高い測定値を選定し、風化度区分の定量化を検討したものである。

なお、本研究を遂行するにあたり、現場調査にご配慮頂いた間組・青木建設共同企業体の関係諸氏、および卒業研究生として調査実験に従事していただいた本学土木工学科の諸氏に対し、紙上をお借りして謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 松尾新一郎: DEPOSITS IN JAPAN, General Report in the 5th Asian Regional Conf. of S. M. F. E. (1975).
- 2) 西田一彦: 風化残積土の特性と工学的問題, 土と基礎, Vol. 39, No. 6, (1991).
- 3) 宮島圭司, 南嶋義幸: 広島県の地盤特性, 土と基礎, Vol. 38, No. 3, (1990).
- 4) 村田秀一, 森脇健夫: 中国地方の地盤災害, 土と基礎, Vol. 38, No. 3 (1990).
- 5) 宮原健二: 中国地方におけるローカルな土, 土と基礎, Vol. 31, No. 1, (1983).
- 6) 低引洋隆: 中国地方の地形, 地質, 土と基礎, Vol. 38, No. 3 (1990).
- 7) 広島県地質調査会編: 広島県地質図説明書. 広島県 (1964).
- 8) 島 重章: 衛星データを用いた風化残積土の広域計測, 土質工学研究発表会 (1993).
- 9) 志村 肇: 電気探査法, 昭晃堂 (1965).
- 10) 土質工学会編: 土の試験実習書, 土質工学会 (1991).
- 11) 土質試験法編集委員会編: 土質試験法, 土質工学会 (1985).
- 12) 河口至商: 多変量解析入門II, 森北出版 (1988).
- 13) 福井三郎, 山岡昭美, 岡田文夫, 折井正規: 推計学入門演習, 産業図書, (1978).
- 14) 竹内 啓: 数理統計学, 東洋経済新報社 (1980).
- 15) 島 重章: 広島型花崗岩の風化度評価について. 土木学会中国四国支部年講 (1982).