

非晶質成分量によるまさ土の風化度の判定

富田武満*・田辺和康**・山本克巳***

まさ土の風化度の判定を非晶質成分に着目し、Segalen法の酸-アルカリ交互溶解法を基礎として、200°C加熱減量法によるまさ土の風化度の判定の適用性について検討を行った。その結果、200°C加熱減量法と酸-アルカリ交互溶解法によって求めたまさ土の非晶質成分の含有量とは一次の相関関係が認められた。よって、200°C加熱減量法からまさ土の風化度を簡易的に判別定量できることを確認した。

Key Words: special soil, soil science, weathering, decomposed granite soil, physico-chemical properties

1. まえがき

花崗岩質岩石の風化によってできた砂状のまさ土は広く西日本に分布し、おもに近畿、中国地方に多くみられる。このまさ土は、岩石に近いものから細粒土まで多様な性質の土を形成する。そして、同じ砂質土でも、風化程度や鉱物組成に基づいて土の特性を異にし、重粘土、火山灰土とともにわが国の特殊土として、その取扱いが注意されている¹⁾。土木材料として用いる場合には、風化の程度が工学的性質に大きな影響を及ぼす。例えば地盤改良や地盤災害などの分野に深い係わりがある。従って、このような材料を取り扱う時には、風化度の判別が重要視されている。この判別には、一次鉱物、二次鉱物、化学組成、工学的性質等について数多くの研究例がある。この中で二次鉱物中の非晶質成分に着目した研究は、まさ土に関しては西田・佐々木・久保井²⁾によって報告されている程度である。風化の進行にともなって非晶質成分は増加する傾向にある。この性質はまさ土の風化度を解明するための手段として適用できるものと考えられる。非晶質成分は結晶質成分に比較して、酸やアルカリ等の化学試薬に対して不安定で溶解しやすい性質を有している。非晶質成分の定量法についてはいくつかの方法が提案されているが、Segalen³⁾の方法に準じた酸-アルカリ交互溶解法より得られるSiO₂、Al₂O₃およびFe₂O₃等の溶出量に基づく方法が最も良好である。しかし、実際に土質調査への適用場面を想定すると、より簡易的な方法が望まれる。

このような観点より、本研究では、まさ土の風化度の判定を非晶質成分量に着目して行った。また、分析法と

して可能な限り簡単で、しかもある程度正確に定量できる北川³⁾の提唱した200°C加熱減量法による適用性について検討を行った。

2. 従来の研究

まさ土の風化度はその性質を規定する最も基本的な要素の一つである。そのため多数の研究者によって各種の方法で風化度指標が提案されている。

工学的特性では、西田・青山⁵⁾らが乱さないまさ土の単位体積重量と空隙比の関係より検討を行っている。また、三軸試験や一面せん断試験を用いて、圧縮・せん断特性と風化度との関係に着目した研究も数多くなされている⁶⁾⁻¹¹⁾。これらの研究成果の多くは、西田¹²⁾、風化残積土地盤の物理力学的性質研究会¹³⁾にまとめられている。

鉱物特性に関する研究では、楠田¹⁴⁾らが一次鉱物から二次鉱物への変化について検討している。永田・鈴木¹⁵⁾らは岩石の風化過程での陽イオン交換容量の変化を置換基別に調べている。粘土鉱物に関しては、その粘土鉱物の生成や土中における変化について研究がなされている¹⁶⁾⁻¹⁸⁾。また、化学的性質と鉱物組成の関係についても検討がなされている¹⁹⁾⁻²²⁾。

アロフェンなどの非晶質成分を定量する分析方法としては次のような研究がなされている。Aomine & Jackson²³⁾はアルカリ処理と酸処理によって得られるCECデルタ値からアロフェンの含量を求めた。Hashimoto & Jackson²⁴⁾は0.5 N NaOHで煮沸してアロフェンを溶解する方法を提唱した。また、Higasi & Ikeda²⁵⁾はTamm法に準じた方法で、酸性シュウ酸塩溶液を用いてアロフェンの溶解量を求めた。北川⁴⁾は火山灰土中のアロフェンおよび非晶質無機成分の定量をSegalen法³⁾に準じた方法で、溶解成分(SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃等)の質量減量値より求めている。そして、簡易迅速法とし

* 正会員 工博 福山大学教授 工学部土木工学科
(〒729-02 広島県福山市学園町1番地三蔵)

** 正会員 福山大学助手 工学部土木工学科

*** 農博 農林水産省 草地試験場



図-1 白亜紀～古第三紀花崗岩類の分布と試料採取地点

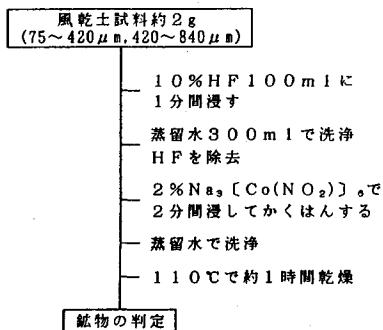


図-2 着色識別法の手順

て 200°C 加熱減量法の適用性について検討がなされている。これらの分析方法の中で、Segalen の 8N HCl-0.5N NaOH 交互溶解法は、非晶質成分のものほど溶解が速く初期に急激に溶解され、その後は反復処理回数が増えるに従い結晶質成分が一定速度で溶解する。従って、溶解曲線より非晶質成分量と結晶質成分量の判別が明確にでき、定量性がすぐれている利点を有している。しかし、これらの適用土は重粘土に対する検討がほとんどで、まさ土の非晶質成分に関しては西田・佐々木・久保井²⁾が 8N HCl の洗浄により検討している程度でほとんど調べられていないのが実状である。

3. 試料および実験方法

(1) 対象試料

図-1 には西日本における白亜紀～古代三紀花崗岩類の分布(村上, 1974)²⁶⁾と採取地名を示した。領家帯は西の岩国付近から瀬戸内海の伯方島～北木島～小豆島～淡路島を横切って近畿地方へ抜けている。また、中国地方に分布する花崗岩は岡山県北部から島根県西部へ東西を境として、南側が山陽帯で北側が山陰帯に分けられる。

実験には、領家帯花崗岩類と山陽帯花崗岩類および山陰帯花崗岩類を使用した。採取場所は、領家帯が大阪府四条畷市の北生駒山系中の土取場から、山陽帯は広島県福山市東村町内から、そして山陰帯は鳥取県鳥取市宮谷市内のものを採取した。また、試料はいずれも表層部か

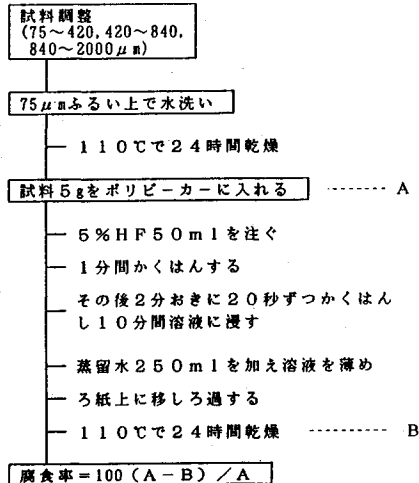


図-3 ふっ化水素酸腐食試験の手順

ら約 3.5 m の範囲のもので、上層部 (0.5 m～1.0 m) と中層部 (1.5 m～2.0 m) および下層部 (2.5 m～3.5 m) のものを使用した。

(2) 試料の理化学的試験

土質試験の方法と解説²⁷⁾に従って土粒子の比重試験、粒度試験、pH 試験を行った。腐食含有量は、柳本製作所(株)製の炭素・窒素分析計により分析を行い、全炭素に係数 1.724 を乗じた値を腐食含有量とした。分析に用いた試料は 420 μm 未満のものを使用した。

元素分析にはセイコー電子工業(株)の卓上型蛍光 X 線分析計 SEA 2001 型を使用した。測定条件は、照射径が 3.0 mm で 15 kV の 220 μA、電極はロジウム (Rh)、雰囲気は真空中でエネルギー分散方式の分離定量法による。試料調製は、75 μm 通過試料を恒温恒室 (20°C で 50% の条件 → pF 6.0) で 7 日間静置後の粉末試料 (<75 μm) 1 g を油圧プレス (500 kgf/cm² で 2 分間ホールド) にて錠剤成形後に分析に供した。

(3) 着色識別法とふっ化水素酸腐食試験

土質試験法²⁸⁾の特殊土の試験(第 3 章)に準じて行った。着色識別法とふっ化水素酸腐食試験の流れの詳細を図-2 と図-3 に示した。

(4) X 線回折および示差熱分析

X 線回折は理学電機(株)製、モノクロメータを装備したガイガーフレックス RAD-II C 型を用いた。測定条件は、線源 Cu-K α 線 (40 kV, 20 mA)、スリット系 DS=1°, SS=1°, RS=0.3 mm、スキャンニングスピード 2°/min である。

示差熱分析 (DTA) と熱重量測定 (TG) が同時に実施できるセイコー電子工業(株)の TG/DTA 320 型を使用した。測定は窒素の雰囲気中 (200 ml/min) で、昇温速度; 10°C/min、基準物質; α-アルミナ粉末、試料質量; 15 mg を白金の試料セルに充てんして行った。

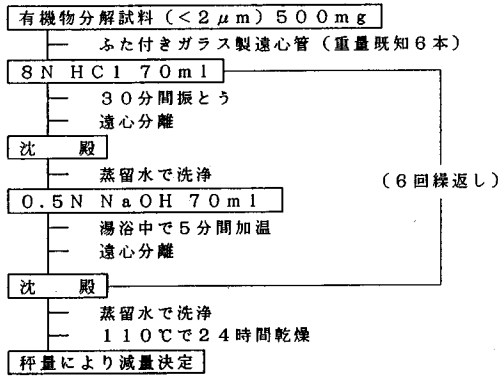


図-4 酸-アルカリ交互溶解法の手順

用いた試料はいずれも 2 μm 以下の粘土フラクションである。

(5) 酸-アルカリ交互溶解法

Segalen 法に準じて、溶解成分 (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 等) の質量減量値より非晶質成分量を求めた。その操作手順を図-4 に示した。まず有機物分解試料 (<2 μm) をデシケータ (シリカゲル) 内で 4 日以上放置した後に 500 mg を採取する。そして、質量既知のガラス製ふた付き遠心管に入れ、8 N HCl を 70 ml 加えて 30 分間振とうする。次に、遠心分離 (2000 rpm, 約 5 分間) して上澄みを捨てる。そして蒸留水を入れて遠心分離で洗浄する。次に、0.5 N NaOH を 70 ml 加え 60°C の湯浴中に遠心管ごと 5 分間浸漬した後、水中で常温になるまで冷却する。そして、遠心分離して上澄みを捨てる。以上の処理を、必要回数繰り返す。最後に、0.5 N NaOH 処理試料に蒸留水を加えて遠心分離により洗浄し、110°C の加熱で 24 時間乾燥した後に秤量して質量減量値を求めて非晶質成分量とした。

(6) 200°C 加熱減量法

図-5 に示す操作手順に従って非晶質成分量を求めた。すなわち、有機物分解除去試料 (<2 μm) 約 2 g を恒量化した 10 ml の磁性ルツポに入れる。初期質量を測定した後にマッフル炉 I 型 (KOYO 製, 温度制御制度 ±2°C) 内で 110°C の加熱により 24 時間炉乾燥後に秤量する。この時の試料質量を A とする。次に、200°C の加熱で 24 時間後の試料質量を B とし、次式によって 200°C 加熱減量 (W₂₀₀) を求めた。

$$W_{200} = 100(A-B)/A$$

なお、測定誤差を小さくするため、純度の高い非晶質粘土鉱物試料を同時に測定して補正する必要があった。このことについては 4. (2) で詳しく述べる。

4. 実験結果および考察

(1) まさ土の風化特性の検討

a) 試料の理化学性に基づく風化度の判定

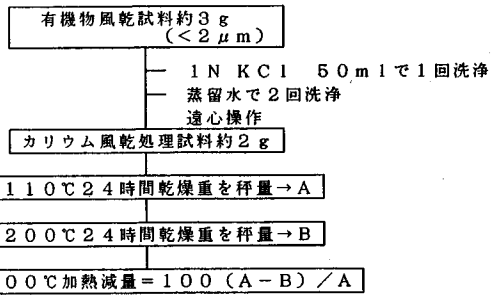


図-5 200°C 加熱減量法の手順

表-1 物理化学的性質

試料	深さ	比重 Gs	粘土分 (%)	シルト分 (%)	砂分 (%)	pH	腐蝕含量 (%)
崖	上層	2.71	18.0	13.4	68.6	5.67	0.21
崖	中層	2.74	5.0	9.4	85.6	7.33	0.02
崖	下層	2.75	4.0	7.2	88.8	7.84	0.00
陽	上層	2.58	22.0	16.9	61.1	6.14	0.28
陽	中層	2.62	16.0	11.6	72.4	7.25	0.07
陽	下層	2.62	4.0	8.2	87.8	7.65	0.02
山	上層	2.61	9.0	4.7	86.3	4.98	0.56
陰	中層	2.61	5.8	4.2	90.0	5.37	0.09
陰	下層	2.62	6.0	4.0	90.0	5.21	0.09

表-2 元素分析結果

試料	深さ	化 学 組 成									
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	HgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
崖	上層	53.75	0.56	30.63	7.08	0.08	2.43	1.72	0.00	0.55	3.19
崖	中層	55.39	0.54	28.66	6.37	0.09	2.01	3.36	0.00	0.56	2.02
崖	下層	56.32	0.49	28.82	5.65	0.11	2.09	3.62	0.86	0.55	1.43
陽	上層	62.32	0.40	27.48	3.55	0.02	1.63	0.01	0.00	2.37	3.07
陽	中層	54.45	0.22	34.21	4.43	0.02	1.99	0.25	0.00	1.02	1.64
陽	下層	56.01	0.11	32.55	3.13	0.06	1.41	0.37	0.00	0.89	1.91
山	上層	56.27	0.17	30.91	2.73	0.04	2.03	0.05	0.00	2.29	2.21
陰	中層	61.75	0.13	32.14	1.61	0.05	1.22	0.29	0.00	2.36	3.41
陰	下層	59.55	0.13	30.36	1.48	0.04	0.00	0.22	2.12	2.41	2.88

表-1 および表-2 には対象試料の物理化学的性質と元素分析結果を示した。表-1 の物理化学的性質について検討を行う。まさ土は粒子破碎が著しいために、JSFT 101(5. b) に基づき試料調製を行った試料を用いた。粒度試験結果より、粘土分含有量は、全体的な傾向として上層部の試料ほど含有量が高く、逆に石英質鉱物を多く含むと考えられる砂分は下層部ほど高い結果が得られた。土粒子比重は、色が白くて透明に近いもの (石英) ほど比重が小さく、色が黒くて不透明なもの (黒雲母) ほど比重は大きいことが知られている。そこで粒度試験結果のシルト・砂分に着目して、その含有量を石英として見ると、下層部から上層部にかけて比重は小さくなり、逆な傾向を示した。また、粘土含有量と比重の関係においても同様な結果となった。pH 試験結果によると、山陰帯の試料は特に溶脱作用を受けていることを予想させる。全体を概観すると上層部試料のものほど酸性化傾向を示していることが認められた。腐蝕含有量の結果によると、各試料ともに上層部のものほど含有量が高く、有機物が集積していることが判明した。

表-2 に試料の化学組成を示した。岩石の風化に伴い、大部分の元素は溶出されるが、TiO₂ は移動しにくいために、TiO₂ の見かけの含有量は増加することになる。したがって試料中の TiO₂ の含有量から判断して、各試料において下層から上層に風化が進行しているといえる。

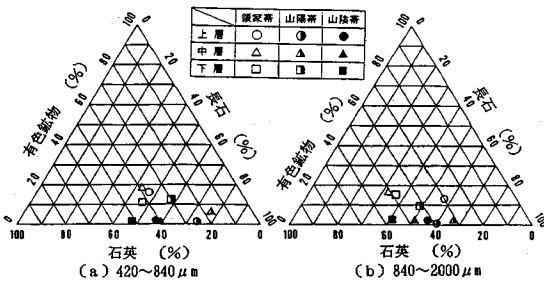


図-6 石英-長石-有色鉱物の三角座標

表-3 腐食試験結果

試料名	層	腐食率 (%)		
		75~420 μm	420~840 μm	840~2000 μm
領家帯	上層	46.46	34.86	26.60
	中層	39.07	36.87	25.73
	下層	34.14	31.21	25.30
山陽帯	上層	50.29	24.40	14.69
	中層	57.14	38.79	24.38
	下層	44.62	30.06	17.86
山陰帯	上層	30.22	20.15	17.63
	中層	22.95	17.00	17.57
	下層	24.19	16.07	17.52

上記の物理化学分析結果より、各試料の全体的な傾向としては下層部から上層部方向へと風化が促進していることをつかむことができた。

b) 着色識別法とふっ化水素酸腐食試験による一次鉱物の風化度の検討

着色識別法により一次鉱物の石英、長石、有色鉱物（雲母）を分類した結果を図-6 (a), (b) の三角座標に整理して示した。石英は20~70%で長石が30~80%そして有色鉱物が0~20%の範囲内で変化を示しているが変化幅はわずかである。試料別に概観すると領家帯は有色鉱物の含有量が高く、山陽帯では長石を多く含んでいることが特徴的である。また、420 μm~840 μm 試料と840 μm~2000 μm 試料の粒度範囲においては一次鉱物組成に著しい変化は見受けられない。石英、長石、有色鉱物（雲母）の三成分より風化程度をみると、山陽帯≧領家帯>山陰帯の順に風化を受けやすいといえる、ふっ化水素酸腐食試験により腐食率を求めた結果を表-3に示した。粒径範囲別に見ると、山陰帯をのぞく全ての試料が細粒のものほど腐食率が高くなり風化作用を受けやすいことを裏付けている。

c) X線回折による粘土鉱物の同定

脱鉄処理を施したNa⁺飽和粘土を通常の粉末法により求めた。そのX線回折結果を図-7に示す。領家帯試料においては、全層に7.5Å, 4.5Å, 3.6Å, 3.4Åの回折ピークを示し、4.5Å(020)の回折ピークは少量のケイ酸塩鉱物を含有していることを表している。1.491Åの回折ピークは2-八面体鉱物の(060)反射に基因するものと思われる。上層部試料は14Å鉱物が認められる。山陽帯試料においては、3.4Åに回折ピークを示してい

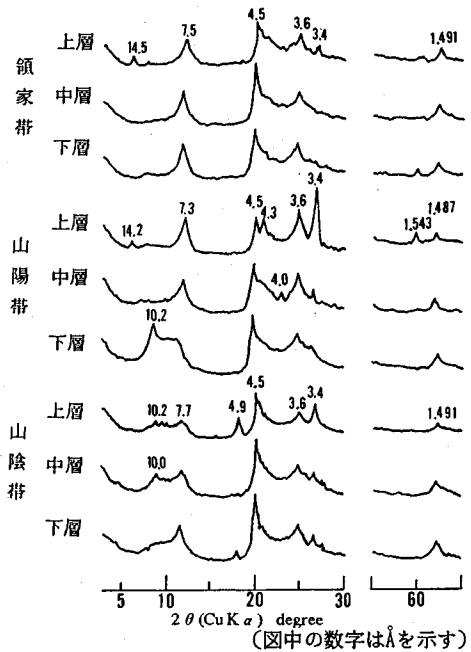


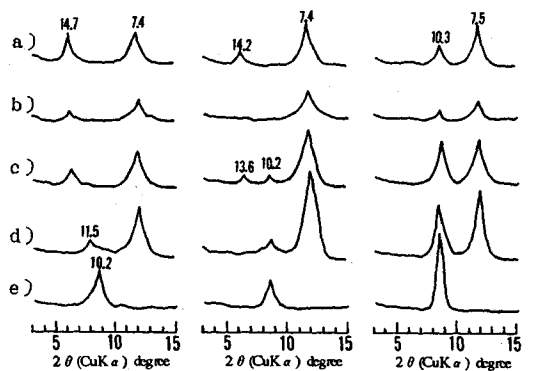
図-7 まさ土の粉末法によるX線回折図

る。上層部試料は(060)面に1.543Åと1.487Åの回折ピークが認められる。下層部試料では新たに10.2Å鉱物が認められる。山陰帯試料は山陽帯の下層部試料の回折結果と類似した回折ピークを示している。

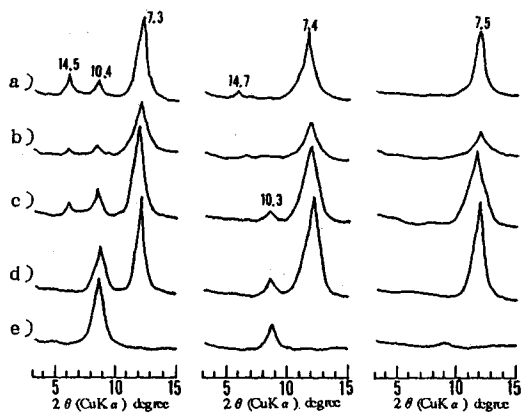
定方位試料のX線回折結果を図-8 (a), (b), (c)に示す。各処理を施した試料を概観してみると次のようになる。Mg²⁺飽和处理では、14Å付近に回折ピークを示したが、Mg²⁺飽和グリセロール処理ではピークの移動を示さない。もし、層間格子が膨潤をきたしピークの移動を示すと、モンモリロナイトの存在が予測される。しかしその傾向は全試料に見られない。よってモンモリロナイトが含まれないことが認められる。7Åの回折ピークはカオリン鉱物で10Åの回折ピークはマイカを予想させる。K⁺飽和粘土の14~15Åの回折ピークが300°C加熱および600°C加熱により10~11Åに移動するが、これはパーミキュライトの存在を予想させる。この種の回折ピークは領家帯の上層と中層部、山陽帯と山陰帯の上層部に見られる。7Å付近の回折ピークが600°C加熱で構造破壊が起こり消滅しているものがカオリン鉱物であるが、これは全試料に確認された。また、10Å付近の回折ピークが加熱処理に対しても変化を示さないことからマイカと認められる。このマイカは領家帯の中層と下層部、山陽帯の上層と中層部、山陰帯の上層部に認められた。山陽帯の下層部はカオリン鉱物のみであることも確認された。

d) 示差熱分析による粘土鉱物の同定

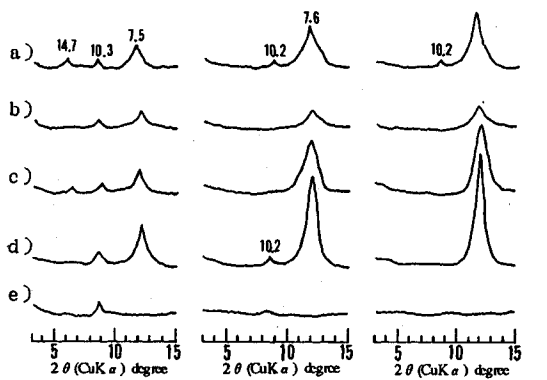
図-9に示す熱分析より各鉱物を同定すると以下のよ



(a) 領家帯



(b) 山陽帯



(c) 山陽帯 (図中の数字はÅを表す)

a) Mg²⁺飽和 b) Mg²⁺飽和, グリセロール処理 c) K⁺飽和
d) K⁺飽和, 300°C加熱 e) K⁺飽和, 600°C加熱

図-8 まさ土のX線回折図 (定方位試料)

うな結果が得られた. 領家帯試料は 80°C 付近と 510°C 付近に吸熱ピークがあり, 940°C 付近に発熱ピークを示し, カオリン鉱物 (ハロサイトを含む) の特徴を表している. また, 上層部と中層部試料の 273°C の吸熱ピークはギブサイトの存在を予測させる. 山陽帯試料は, 各試料ともカオリン鉱物 (ハロサイトを含む) の優勢な存在を示している. 山陰帯試料は領家帯の上層部と中層

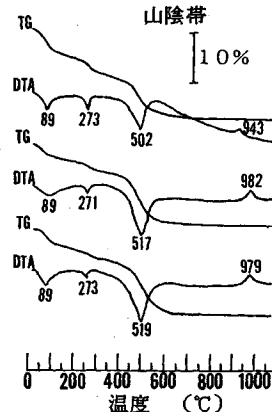
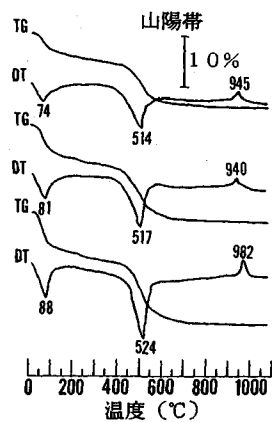
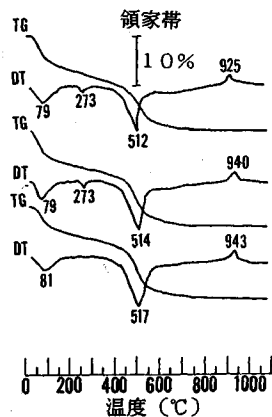


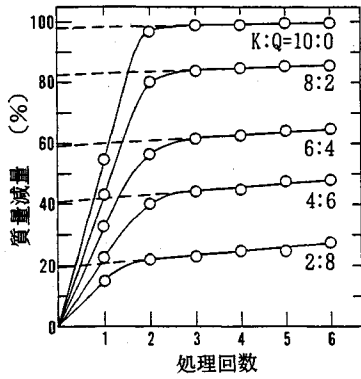
図-9 まさ土のTG-DTA曲線

部試料とはほぼ同様な傾向を示していることからカオリン鉱物の中でもハロサイトを含むことが 80°C 付近の吸熱ピークから予想される.

X線回折ならびに示差熱分析より得られた結果を整理すると以下ようになる.

領家帯試料

上層部 (パーミキュライト, カオリン鉱物, ギブサイト)



図—10 標準試料の酸-アルカリ交互溶解曲線

中層部 (パーミキュライト, マイカ, カオリン鉱物, ギブサイト)

下層部 (マイカ, カオリン鉱物)

山陽帯試料

上層部 (パーミキュライト, マイカ, カオリン鉱物)

中層部 (マイカ, カオリン鉱物)

下層部 (カオリン鉱物)

山陰帯試料

上層部 (パーミキュライト, マイカ, カオリン鉱物, ギブサイト)

中層部と下層部 (カオリン鉱物, ギブサイト)

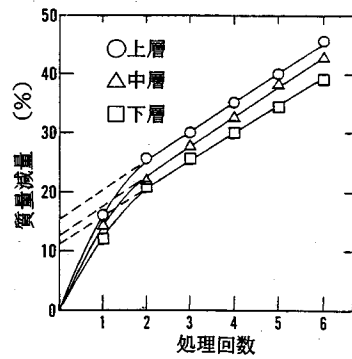
花崗岩の構成鉱物である長石の風化過程ではカオリン鉱物が、黒雲母の風化過程においてはパーミキュライト等が生成されることが知られており、ここで同定された粘土鉱物組成は斜長石、正長石、雲母等の風化生成物であると予想される。全試料の主要鉱物はカオリン鉱物であることを確認した。

(2) まさ土中の非晶質成分量と風化度の関係

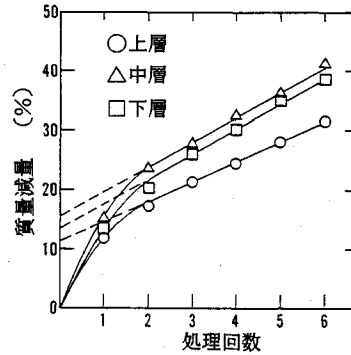
岩石が風化される過程で粘土鉱物が生成されるが、風化の進行とともに非晶質成分も増加し、主として、結晶性粘土鉱物の被覆物質、あるいは固着剤としての働きを有するようになる。風化の最終段階においては、非晶質成分が単独で存在することも認められている。ここでは、まさ土中の非晶質成分とは、北川⁴⁾の定義に従い、アロフェン類似のケイ酸塩、X線に対してアモルファスであるシリカ、アルミナ、酸化鉄などの風化無機ゲル、さらに低結晶のゲータイトなどの鉄鉱物とする。

a) 酸-アルカリ交互溶解法による検討

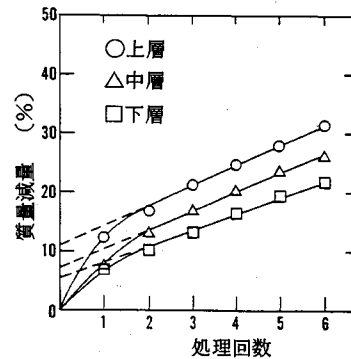
まさ土の非晶質成分をもとめる先立ち、標準試料として非晶質成分(アロフェン)からなる鹿沼土(K, <2 μm)と結晶質な石英砂(Q, <75 μm)を用いて検討した。その結果を図-10に示した。縦軸は酸-アルカリ処理にともなう試料の質量減量百分率を、横軸にはその処理回数を示した。図中の曲線は鹿沼土と石英砂を各割合で配合調製した試料の溶解曲線を示したものである。溶解バ



(a) 領家帯



(b) 山陽帯

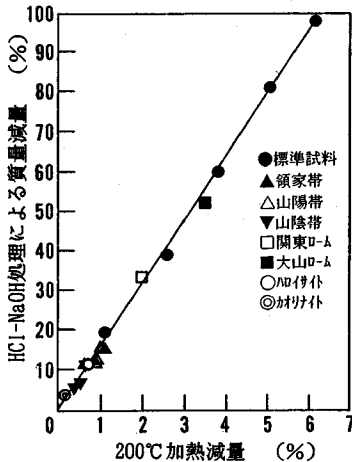


(c) 山陰帯

図—11 まさ土の酸-アルカリ交互溶解曲線

ターンを示す曲線の直線部分を延長してY軸との交点を質量減量率として求めた。溶解曲線の勾配は、非晶質成分の溶出により最初は急激な減量増加を示しているが処理の繰り返し回数が2回以後になると減量の変化は落ち着いてほぼ直線的減量傾向を示した。そして、鹿沼土の配合割合と質量減量率との関係について見ると近似値が得られた。これらの結果より鹿沼土は標準試料として使用でき、非晶質成分の溶出による質量減量率を非晶質成分量として定量できることが確認された。

次に、供試試料の異なるまさ土の風化度を非晶質成分



図—12 酸-アルカリ交互溶解法による質量減量値と200°C加熱減量値の関係

表—4 酸-アルカリ交互溶解法と200°C加熱減量地の結果

試料名	8N HCl-0.5N NaOH処理による減量 (%)						8N HCl-0.5N NaOH処理による非晶質成分 (%)	200°C加熱減量法 (%)		
	①	②	③	④	⑤	⑥		含水比	非晶質成分量	
領家帯	上層	15.92	25.74	30.01	35.20	39.94	45.71	15.33	1.03	17.11
	中層	14.48	21.57	27.68	32.62	38.23	42.69	12.38	0.78	13.10
	下層	11.90	20.79	25.57	29.98	33.83	39.00	10.87	0.67	11.33
山陽帯	上層	11.88	17.10	21.30	25.50	29.90	31.41	11.28	0.83	13.90
	中層	15.41	23.75	27.79	32.76	36.30	41.49	15.50	0.98	16.31
山陰帯	上層	13.43	20.17	25.92	30.15	35.04	38.63	12.58	0.86	14.38
	中層	12.21	16.83	21.97	24.65	27.76	32.46	10.76	0.71	11.97
山陽帯	上層	7.64	12.87	16.03	20.44	23.48	26.00	7.25	0.53	9.09
	中層	7.04	10.09	13.17	17.04	19.34	21.67	5.37	0.38	6.68

表—5 まさ土試料の風化特性の一覧

試料	pH	腐蝕含有量 (%)	粘土含有量 (%)	非晶質成分量 (%)	土壌中の非晶質成分量 (%)	粘土鉱物組成	
領家帯	上層	5.67	0.21	18.0	17.11	3.08	V K G
	中層	7.33	0.02	5.0	13.10	0.66	V K Mi G
	下層	7.84	0.00	4.0	11.33	0.45	Mi K
山陽帯	上層	6.14	0.28	22.0	13.90	3.06	V Mi K
	中層	7.25	0.07	16.0	16.31	2.61	Mi K
山陰帯	上層	7.65	0.02	4.0	14.38	0.58	K
	中層	4.98	0.56	9.0	11.97	1.08	V K Mi G
山陽帯	上層	5.37	0.09	5.8	9.09	0.53	K G
	下層	5.21	0.09	6.0	6.68	0.40	K G

*1 200°C加熱減量法で求めた非晶質成分量と土壌中の粘土含有量より算出した。

*2 V:パーミキュライト, K:カオリン鉱物, Mi:マイカ, G:ギブサイト

により検討を行った。まさ土試料 (<2 μm) で得られた結果を図—11 (a), (b), (c) に示した。非晶質成分量は、山陽帯の上層部試料を除く全ての試料が、上層部のものほど質量減量値の高い傾向を示した。領家帯で11.3~17.1%, 山陽帯で13.9~16.3%, 山陰帯は6.7~12.0%の結果が得られた。

b) 200°C加熱減量法と酸-アルカリ交互溶解法の関係

酸-アルカリ交互溶解法に準じた方法より求めた非晶質成分量と200°C加熱減量法による質量減量値の関係を図—12に示した。X軸に200°C加熱減量値を、Y軸には酸-アルカリ交互溶解法による非晶質成分量をとった。標準試料として用いた鹿沼土の各種配合割合に対する両者の関係を整理すると、 $Y(\%) = 16.05 \cdot W_{200} + 0.58$ ($r^2 = 0.97$) が得られた。北川¹⁾の導いた実験式 ($Y = 12.0X - 1.3$) とは若干異なっているが、一次の直線関係が成り立つことが認められた。非晶質成分の微細形態などの詳細は不明であるが、四角印の火山灰土や丸印の結晶質な粘土および三角印のまさ土試料の結果を、酸-アルカリ交互溶解法による非晶質成分量と200°C加熱減量値との関係でプロットすると非常に類似した傾向を示し、含有鉱物が結晶質鉱物から非晶質鉱物(火山灰土)に至るに従い、一次の回帰直線上に分布していることがわかる。まさ土試料を整理すると、 $Y(\%) = 15.72 \cdot W_{200} - 0.57$ ($r^2 = 0.95$) の実験式が成り立つ。標準試料の検量線を用いてまさ土試料の非晶質成分量を求めたときの誤差は1.0%程度にすぎないことが認められた。

実験式 $Y = 16.05 \cdot W_{200} + 0.58$ は、標準試料として用いた鹿沼土 (<2 μm) を各種実験条件の基で得られた

結果である。実験定数の16.05は、標準試料の非晶質成分量(98%)を200°C加熱減量値(%)で除したものである。Y切片の定数項0.58は、実験方法の条件等の影響によるものと考えられるが、定数項が原点近くにあり直線勾配に著しい影響は与えないものと考えられる。また、まさ土試料に対しても1.0%程度の誤差範囲であり、Y切片の定数項を除去して $Y = 16.05 \cdot W_{200}$ の実験式により非晶質成分量の定量を行った。表—4にはまさ土の結果を整理して示した。200°C加熱減量法より得られた結果と酸-アルカリ交互溶解法により求めた結果の非晶質成分量は近似値を示し、200°C加熱減量法の適用性が認められた。

c) 各種試験による風化指標と非晶質成分量との関係
表—5には、各種試験による風化指標と200°C加熱減量法による非晶質成分量の結果を取りまとめた。各地域のまさ土は風化作用を受けて、pH試験では溶脱作用により上層部は酸性化傾向を示した。また、腐食試験では有機物の集積の影響により、粒度試験では土粒子の細粒化が粘土含有量に現れている。各試料とも下層から上層に向かって含有量が増加傾向を示した。上層部の粘土鉱物はパーミキュライトの存在が認められた。そして、土壌中の非晶質成分量を200°C加熱減量法で求めた非晶質成分量と土壌中の粘土含有量より求めると、各種試験による風化指標の結果と同様な傾向が得られた。よって、土壌中の非晶質成分量が風化指標になり得ることが認められた。

上記の結果より、全ての試料が上層部のものほど風化強く受けていることが判明した。

5. 結 論

まさ土の風化特性を非晶質成分に着目し、Segalen法の酸-アルカリ交互溶解法を基礎として、加熱減量法によるまさ土の風化度の判別の適用性について検討を行った。得られた結果を要約して以下に示す。

- 1) まさ土中の主要粘土鉱物はカオリン鉱物である。風化の促進には変質しやすい有色鉱物と長石が関与している。
- 2) Segalen法に準じた酸とアルカリ溶液で反復処理すると、結晶質鉱物に比較して非晶質鉱物のほうが溶解速度が早く、その結果が質量減量値に現れていることが認められた。
- 3) Segalen法に準じた酸とアルカリ交互溶解法による減量値と、200°C加熱減量法の減量値が一次式で示された。
- 4) 生成年代の異なるまさ土を対象に、物理化学的試験および鉱物組成分析試験を実施した結果、まさ土の風化特性は、風化に対して抵抗性に強い石英の含有量と長石および雲母の変質の程度が主因となる。そして、その変質によって生成される非晶質鉱物のシリカ、アルミナ、酸化鉄などの風化無機ゲル等が加熱減量試験より得られる脱水量に影響を与えているものと考えられる。なお、まさ土の風化現象は分布している地域により鉱物の組合せが異なり、一次鉱物と二次鉱物が重要なかわりを持っているので厳密に評価する必要がある。
- 5) 非晶質成分量は各種理化学試験による風化指標の結果と同様の傾向を示し、非晶質成分量が試料の風化指標の一つになり得ることを明らかにした。
- 6) 非晶質成分を定量するための簡易法として、200°C加熱減量法は一度に多量の試料を処理する流れ作業的な分析には最適であると考えられた。

参 考 文 献

- 1) 長沢敬之助・佐藤晃一：粘土の事典，朝倉書店，1985。
- 2) 西田・佐々木・久保井：まさ土の非晶質物質とその特性について，土質工学会論文集，Vol.24，No.2，pp.180～190，1984。
- 3) Segalen：Note sur une method de determination des produits mineraux amorphes dans certains sols a hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, Ser. Pedologie, 6, pp.105～126, 1968。
- 4) 北川靖夫：土壌のアロフェン及び非晶質無機成分の定量に関する研究，農技研報告，B29，pp.1～48，1977。
- 5) 西田一彦・青山千彰：物理強度特性からみた乱さないまさ土の分類，土木学会論文報告集，第352号，pp.159～168，1984。
- 6) 庄野久人・佐々木清・藤原茂範：乱さない風化花こう岩試料の特性について，土と基礎，Vol.23，No.2，pp.19～24，1975。
- 7) Onodera, T., Oda, M. and Minami, K. : Shear Strength of Undisturbed Sample of Decomposed Granite soil, Soils and Foundations, Vol.16, No.1, pp.17～26, 1976。
- 8) 三浦 清：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，Vol.28，No.7，pp.11～20，1980。
- 9) 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，Vol.29，No.6，pp.35～40，1981。
- 10) 八木則男・矢田部龍一：不攪乱まさ土のせん断特性と微視的考察，土木学会論文報告集，第364号，pp.133～141，1985。
- 11) 村田秀一・兵動正幸・安福規之：風化度に着目した乱さないまさ土の圧縮・せん断特性，土木学会論文報告集，第387号，pp.131～140，1987。
- 12) 西田一彦：風化残積土の工学的性質，鹿島出版会，1988。
- 13) 風化残積土地盤の物理力学的性質研究委員会：風化残積土に関するシンポジウム，土質工学会，1988。
- 14) 楠田 啓・西山 孝・日下部吉彦・沖村 孝：花崗閃緑岩中のカリ長石の風化について，風化残積土に関するシンポジウム，pp.85～88，1988。
- 15) 永田武雄・鈴木健治郎：置換基の種別に関する研究（第6報）—岩石の風化初期の置換基の変化，日本土壤肥料学会誌，第40巻，第1号，pp.8～10，1969。
- 16) 加藤芳郎：花崗岩の風化（I）—風化物の粘土鉱物組成（要旨），地学雑誌，67，1961。
- 17) 弘法健三・大羽 裕・大石啓子：火山灰土壌の粘土鉱物組成と土壌の風化度・母材型および粘土の分散性との関係，日本土壤肥料学会誌，第45巻，第1号，pp.8～11，1974。
- 18) 山本克巳・渡辺 裕：愛媛県大野ヶ原台地の秩父古生層に由来する土壌の粘土鉱物，日本土壤肥料学会誌，第48巻，第4号，pp.115～123，1977。
- 19) 弘法健三・大羽 裕・大石啓子：火山灰土壌の非晶質態アルミニウムおよび遊離鉄含量と土壌の風化度・母材型との関係，日本土壤肥料学会誌，第45巻，第4号，pp.181～186，1974。
- 20) 若月利之・片山幸士・石田紀郎・松尾嘉郎：沖積および洪積土壌の風化過程における諸元素の挙動（第1報），日本土壤肥料学会誌，第49巻，第1号，pp.32～38，1978。
- 21) 若月利之・片山幸士・石田紀郎・松尾嘉郎：沖積および洪積土壌の風化過程における諸元素の挙動（第2報），日本土壤肥料学会誌，第49巻，第1号，pp.39～45，1978。
- 22) 末岡 徹：化学的風化指標を使った花崗岩質風化残積土の判別・分類，風化残積土に関するシンポジウム，pp.89～94，1988。
- 23) Aomine, S. and Jackson, M.L. : Allophane determination in Ando soils by cation exchange capacity delta value. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23 : pp.210～214, 1959。
- 24) Hashimoto, I. and Jackson, M.L. : Rapid dissolution of Allophane and kaolinite-Halloysite after dehydration. Proc. 7th Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals., : pp.102～113, 1960。
- 25) Higashi, T. and Ikeda, H. : Dissolution of allophane by acid oxalate solution. Clay Sci., 4 : pp.205～211, 1974。
- 26) 村上 英：西南日本内帯における後期中性代～古第三紀酸性火成岩類の進入と構造との関係—とくに西中国を例にして，地函研専報，(18)，pp.9～31，1974。

27) 土質試験の方法と解説：土質工学会，1990.

(1992. 10. 28 受付)

28) 土質試験法：土質工学会，pp. 668～673，1981.

DETERMINING THE DEGREE OF WEATHERING OF DECOMPOSED GRANITIC SOILS THROUGH AMORPHOUS MATERIALS

Takemitsu TOMITA, Kazuyasu TANABE and Katsumi YAMAMOTO

This study investigated the feasibility of determining the degree of weathering in decomposed granitic soils by the amount of amorphous materials contained therein. The Segalen acid-alkali alternate dissolution method, as well as a 200°C ignition loss method based thereon, was used to test the samples. The results of the experiments are as follows :

- 1) The main clay mineral in the decomposed granitic soil was kaolin. Strongly metamorphic colored minerals and feldspar helped to accelerate the weathering process.
 - 2) Results from the acid-alkali (HCl-NaOH) alternate dissolution method (corresponding to the Segalen Method) conformed that dissolution of non-crystalline minerals was faster than of the crystalline minerals resulting in a decrease in mass.
 - 3) Values obtained for mass reduction using the Segalen Method indicated a linear relationship with values derived from the 200°C ignition loss method.
-