

まさ土の風化とその判定方法について

On the Weathering of granite Soil and its decision method

高 橋 悟 * (Satoru Takahasi)

田 中 弥寿男 ** (Yasuo Tanaka)

キ-ワ-ズ：特殊土／まさ土／風化／鉱物／土中水（IGC：D-1）

1. ま え が き

浸蝕、崩壊などによりしばしば起きるまさ土地帯の災害はまさ土の風化の程度と水分保持状態とのかかわり合いが重要な因子と考えられる。

しかしながらまさ土の水分保持については、まさ土が砂質土に分類されるため一般的砂質土と同一視されほとんど追求されていないのが現状である。まさ土が特異な風化を示す特殊土としてとりあげられる一方で、まさ土

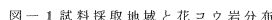
表 1 供 試 土 の 基 本 的 性 質

	NO	採 取 地	土 色 (湿)	土 性 名	比 重		NO	採 取 地	土 色 (湿)	土 性 名	比 重
ま	1	島根県加茂町	2.5Y 6/4C 黄	SL	2.654	ま	3 2	島根県大東町	10YR7/3に黄	S	2.651
	2	" "	10YR6/4に黄	S	2.642		3 3	" "	2.5Y8/3黄	S L	2.654
	3	" "	10YR5/6黄とう	SL	2.642		3 4	" "	10YR7/4に黄	SL	2.663 6
	4	" "	10YR6/3に黄	SL	2.639		3 5	" 松江市	10YR6/4 "	S	2.683
	5	" "	5Y 7/8 浅 黄	SL	2.687		3 6	" "	10YR6/4 "	S	2.686
	6	" "	10YR5/4に黄	SL	2.675		3 7	" "	2.5Y7/4 浅 黄	S	2.682
	7	" "	10YR6/6明黄かつ	S	2.654		3 8	" "	2.5Y7/4 "	S	2.683
	8	" "	10YR5/4に黄	SL	2.680		3 9	" 広せ町	7.5YR4/4 褐	SL	2.656
	9	" "	2.5Y4/4 オリーブ 褐	SL	2.503		4 0	" "	7.5YR4/6 "	L	2.648
	1 0	" "	2.5Y5/4 黄 褐	SL	2.679	さ	4 1	" "	7.5YR4/6 "	SL	2.609
さ	1 1	" "	2.5Y8/3 淡 黄	SL	2.697		4 2	" "	2.5Y6/4に黄	S	2.584
	1 2	" "	2.5Y8/3 淡 黄	S	2.691		4 3	" "	7.5YR4/6 褐	SL	2.616
	1 3	" "	10YR5/6 黄 褐	S	2.673		4 4	" 三刀屋町	10YR8/4黄とう	SL	2.625
	1 4	" 玉湯町	10YR7/4に黄	S	2.656		4 5	" "	10YR8/4 灰 白	SL	2.625
	1 5	" "	10YR6/3に黄	S	2.710		4 6	" "	10YR6/6明黄褐	SL	2.672
	1 6	" "	10YR6/3に黄	S	2.704		4 7	" "	10YR6/3に黄	SL	2.656
	1 7	" 大東町	10YR5/4に黄	S	2.682		4 8	" "	10YR7/4に黄	SL	2.661
	1 8	" "	10YR6/6 明黄褐	SL	2.630		4 9	" "	10YR5/4に黄	SL	2.679
	1 9	" "	10YR6/4に黄	S	2.699	土	5 0	" "	10YR5/6 黄 褐	S	2.668
	2 0	" "	10YR5/4に黄	SL	2.652		5 1	" 掛合町	10YR6/4に黄	SL	2.669
土	2 1	" "	10YR6/8 明黄褐	SL	2.644		5 2	" "	2.5Y5/3 黄 褐	S	2.691
	2 2	" "	10YR4/6 褐	SL	2.681		5 3	" "	10YR6/4に黄	S	2.663
	2 3	" "	10YR4/6 褐	SL	2.653		5 4	" "	10YR6/4に黄	S	2.673
	2 4	" "	10YR5/4に黄	SL	2.644		5 5	" "	10YR5/3に黄	S	2.688
	2 5	" "	10YR5/4に黄	SL	2.686		5 6	山口県 豊浦	10YR6/4に黄	S	2.600
	2 6	" "	10YR5/6 黄 褐	SL	2.631		5 7	島根県 湖陵町	10YR5/3に黄	S	2.642
	2 7	" "	10YR7/4に黄	SL	2.654		5 8	" 江津市	10YR4/4 褐	S	2.665
	2 8	" "	10YR5/4に黄	SL	2.695		5 9	" 湖陵町	2.5Y6/6 明黄褐	S	2.651
	2 9	" "	10YR6/6 明黄褐	SL	2.658		6 0	" 松江市	2.5Y4/2 暗灰黄	SL	2.677
	3 0	" "	7.5YR8/3黄	SL	2.638	まさ土以外の 鉱質土	6 1	神奈川県 川崎	10YR4/4 褐	SL	2.594
	3 1	" "	10YR8/3 灰 白	S	2.668		6 2	島根県 玉造町	7.5YR5/6明黄褐	SL	2.701

* 東京農業大学農薬工学科 助手,

** 東京農業大学農薬工学科 教授

そこで風化が進めば土粒子の微細化が生じ、微細化による比表面積の増加を風化進行の尺度と規定し、島根県東部に分布するまさ土を用い、比表面積と水分特性を測定した。また併せてまさ土以外の鈹質土についても同様な測定を行ない、まさ土と対比させ、まさ土の比表面積増加からみた風化の進行と水分保持特性の関係を検討した。さらにこの風化の進行にともなう水分特性をふまえ、吸水量を用いたまさ土の風化度測定法を提案し、従来の判定法と対比し、その有用性が認められたので報告する。



1. 供試土と調整

2. 実験方法

(1) 比表面積

(2) 粒 度

(3) pF 水分量

(4) 吸水量

(5) みかけ比重

(6) 強熱減量

土質工学会基準に準じて行なった。

1. 実験方法

- 2 -

2. 結果及び考察

(1) まさ土の基本的性質

まさ土及びまさ土以外の鉱質土の比表面積と土性の関係を表-2に示す。まさ土及びまさ土以外の鉱質土とも比表面積の増加にともない土性は細粒土性を示し、まさ土は砂→砂質ローム、まさ土以外の鉱質土は砂→シルト質ロームに変化している。このことから、比表面積は風化の進行をよくあらわす尺度であるといえる。比表面積の増大によりまさ土の土性がまさ土以外の鉱質土と異なり砂→砂質ロームと変化するのは、“まさ土の風化過程においてぜい弱な長石、雲母は急速に粘土化され、風化に対して強い石英はもとの粒径をたもっている。”^{3) 4)}と言われていることから、シルト分がぬけた不連続粒度分布を示したためと推察される。シル

ト分の欠損を裏付けるため、比表面積と粘土分の関係を示したのが図-2である。まさ土は比表面積と粘土分の間に高い正の相関が認められるが、まさ土以外の鉱質土は相関が十分認められない。まさ土は砂+粘土というシルト分が少ない粒度分布を示すため、粘土分が少なくても比表面積に大きく影響し、比表面積と粘土分の間に相関が認められ、まさ土以外の鉱質土は粘土分の他にシルト分の影響をうけるため相関が小さくなったものと考えられる。このように風化の進行にともないまさ土はまさ土以外の鉱質土と異なる粒度分布を示す。

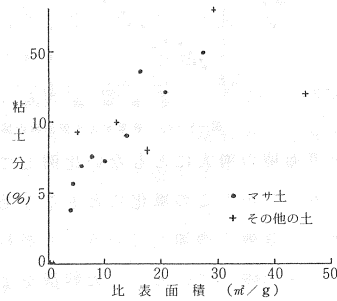


図-2 粘土分と比表面積の関係

(2) pF 水分曲線

まさ土及びまさ土以外の鉱質土の比表面積増加にともなうpF水分曲線変化を示したのが図-3(a)(b)である。まさ土及びまさ土以外の鉱質土のpF水分曲線とも比表面積の増加にともない保水性が増大しており、風化の進行にともない保水性が増大することをあらわしている。風化の進行におけるまさ土とまさ土以外の鉱質土のpF水分曲線を比較するため、ほぼ同一な比表面積を有する土のpF水分曲線を比較したのが図-4である。比表面積が小さい状態でほぼ同じような保水性を示すが、比表面積が大きくなるとまさ土がまさ土以外の鉱質土に比較してやや低い保水性を示す。風化の初期はまさ土及びまさ土以外の鉱質土ともあまり粒径組成に変化がないと考えられるが、風化の進行とともにまさ土はまさ土特有のシルト分の少ない不連続な粒径分布となり、粒径組成

表-2 比表面積と土性の関係

No	マ サ 土		No	そ の 他 の 土	
	比表面積	土 性		比表面積	土 性
19	3.7	砂質ローム	56	0.2	砂
17	4.6	砂	57	1.1	砂
2	6.0	砂	58	5.3	砂
7	7.7	砂	59	12.2	砂
20	10.2	砂質ローム	60	17.5	シルト質ローム
27	13.9	砂質ローム	61	29.3	シルト質ローム
39	16.4	砂質ローム	62	45.6	シルト質ローム
40	20.7	ローム			
23	27.2	砂質ローム			

比表面積 (m²/g)

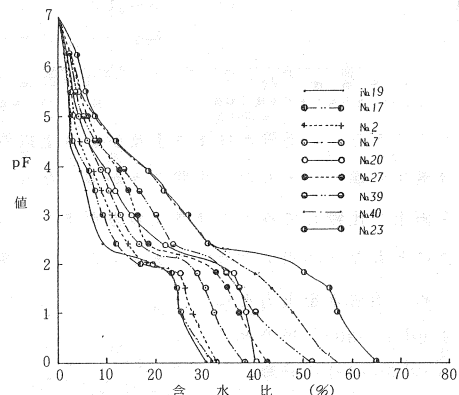


図-3(a) マサ土のpF水分曲線

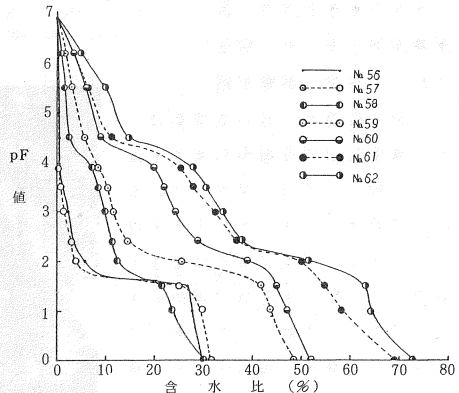


図-3(b) その他の土のpF水分曲線

によって形成される間ゲキの発達が悪く、そのためにまさ土以外の鉱質土に比較してやや低い保水性を示すようになると推察される。

(3) 風化と土水中の検討

風化の進行にともなう各土中水の特性を検討するため表-3に示す土中水の一般

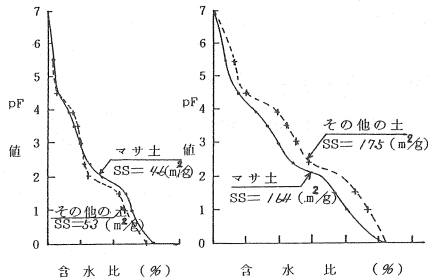


図-4 マサ土とその他の土のpF水分曲線比較

表-3 土中水の分類

土中水	重力水	毛管水	吸着水
pF	0	1.5	4.2
水分恒数	最大含水量	持容量	水久しおれ点
		毛管切断含水比	

分的分類にしたがいpF水分曲線より各土中水に分け、比表面積との関係を求めたのが図-5(a)(b)(c)である。重力水はまさ土、まさ土以外の鉱質土とも比表面積の大小にかかわらず大部分5~10%にありほぼ一定している。重力水は、間ゲキの中でも粗間ゲキの状態に左右されると言われていること、そしてまさ土及びまさ土以外の鉱質土とも砂分が相当量あることから、この砂分が粗間ゲキ形成に大きく作用し、風化度にあまり関係なくほぼ一定

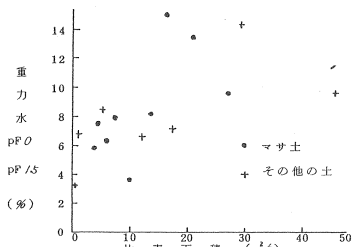


図-5 (a) 重力水と比表面積の関係

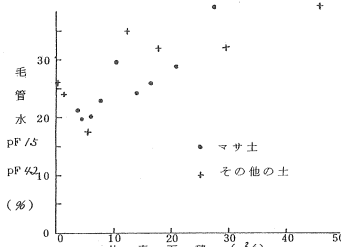


図-5 (b) 毛管水と比表面積の関係

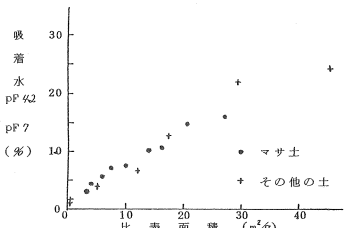


図-5 (c) 吸着水と比表面積の関係

になったものであろう。毛管水はまさ土及びまさ土以外の鉱質土とも比表面積の増大にともない比例して多くなる。これは風化の進行にともない小間ゲキが多くなることを意味している。しかしこの風化にともなう毛管水の増大割合を両土で比較してみるとまさ土の方がまさ土以外の鉱質土に比べて急激に増加していることがわかる。よって風化にともない小間ゲキ形成がまさ土の方で急激に生じていることを示唆している。この特徴をよりくわ

しく知るため、毛管水を重力水に近い毛管水 (pF 1.5~3.0)、吸着水に近い毛管水 (pF 3.0~4.2) に分離し、比表面積との関係で求めたのが、図-6(a)(b)である。重力水に近い毛管水は、まさ土まさ土以外の鉱質土とも比表面積と重力水の関係と類似しており、風化の影響が顕著でない。しかし吸着水に近い毛管水は、まさ土の方が風化の初期段階からまさ土以外の鉱質土に比較して多量に保有している。吸着水に近い毛管水で、まさ土とまさ土以外の鉱質土で大きな差が生じるのはまさ土の風化の特殊性の1つである急速風化の進行にともない長石、有色鉱物である雲母等の土粒子内空ゲキの発達に原因すると推察される。この推察をうらづけるため、風化のあまり進んでいないNo.19、風化が進

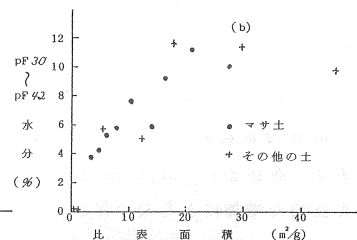
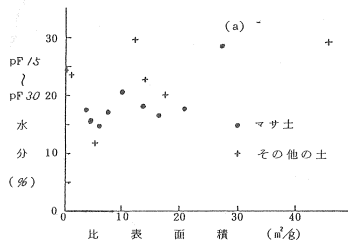


図-6 各エネルギー状態の毛管水と風化度の関係

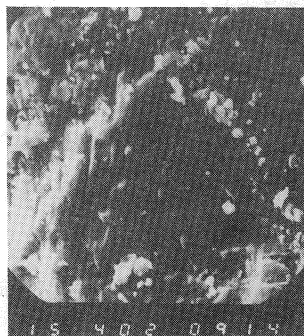


写真-1 (a) No. 19 長石 (×4000)

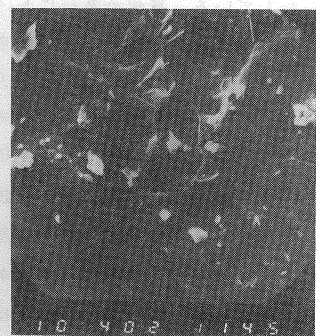


写真-1 (b) No. 19 雲母 (×4000)

行しているNo.21の長石、雲母をとり出し電子顕微鏡写真観察をしたものが写真1-(a)(b)、2-(a)(b)である。No.19の風化のあまり進んでいない状態において、長石は結晶に基づくへき開及びクラックが見られ、雲母はへき開が認められる。No.21の風化が進行した状態になると、長石はクラックが大きく口を開き、クラック周辺部も細粒子の集合体状態を示し、雲母はへき開面にそったクラック状の空ゲキが認められる。

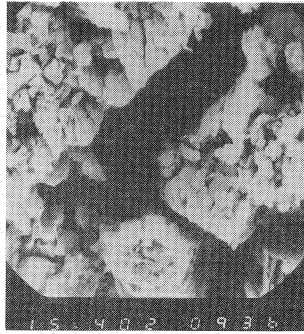


写真-2(a) No.21長石(×4000)



写真-2(b) No.21雲母(×4000)

したがってこれらの電子顕微鏡観察から風化にともなうまさ土構成一次鉱物に土粒子内空ゲキの発達があきらかであり、又このような空ゲキは大部分土粒子外部に開口しており、水の浸入も容易であると見られることからまさ土の方がまさ土以外の鉱質土に比べて吸着水に近い毛管水が多いことが理解できる。次に高いpFでの水分である吸着水をみてみよう。吸着水は、まさ土及びまさ土以外の鉱質土とも比表面積の増大にともない比例して大きくなり、各風化度における吸着水量は両土ではほぼ同じである。吸着水は土粒子表面に物理化学的作用によって吸着されている水分であり、その量は土粒子表面の変質程度により異なることが知られていることから、風化の進行と吸着水の間に関係が認められたものと理解できる。さらに各風化段階で、まさ土及びまさ土以外の鉱質土ともほぼ同じ量の吸着水を保持するのは、まさ土の二次的生成物の形成が長石、有色鉱物である雲母の変質によって生じるものであり、長石類はカリオナイト、雲母類は加水雲母あるいは緑でい石に変化し、まさ土以外の鉱質土の二次的生成物に近いものになるためと推察される。まさ土の風化の特徴をまさ土以外の鉱質土と対比しながら保水性から検討してみると微妙な点で異なることが明らかになった。これらの相違的は、まさ土の母岩である花崗岩類の風化に対して抵抗力の弱い長石、雲母類の風化欠損および風化にともなうそれら鉱物の粒子内空ゲキの形成による影響が大きいと言える。

Ⅳ. 風化度判定法

乱したまさ土の風化度を知る方法として、現在①長石比重、②みかけ比重、③強熱減量法、④pF値による方法が提案されているが、それぞれの方法とも一長一短があり、十分に普及していない。一方まさ土の風化過程において土粒子と水とのかわり合いは、まさ土構成鉱物の粒子内空ゲキが重要な役割を示していることが明らかになった。まさ土地帯の災害は水とのかわり合いが強いことから、まさ土の風化度を判定する場合、土粒子内空ゲキ量をもっとも適格に示す値を用いることが重要と言える。この条件を満足にする値としては、みかけ比重を求める過程で必要となる吸水量を用いることが考えられる。吸水量法は、JISA1201の細骨材の吸水量試験に準じた手法により土粒子内空ゲキ中に存在する水量を求めるものであり、十分な測定装置、技巧及び手間を必要としないことから利用価値は大きいと推察される。風化度を現在もっとも正確にあらわす土粒子の比表面積を基準尺度と規定し、これまでのまさ土の風化度判定法として利用されている「みかけ比重」「強熱減量法」と対比させて吸水量を検討した。

1. 実験方法

さきの水分特性からみたまさ土の風化において使用したまさ土を含め全まさ土試料55試料を用いて、比表面積、吸水量、みかけ比重、強熱減量試験を行なった。

2. 実験結果及び考察

(1) まさ土の比表面積

供試まさ土55試料の比表面積を示したのが表-4である。供試まさ土の比表面積は $2.1 \sim 27.2 \text{ m}^2/\text{g}$ まで変化しており、風化度が広範囲に異なるまさ土を用いたことがうかがわれる。又、他の風化度判定法は非常に狭い範囲の値の変化により風化度を判定しなければならないのに対して、比表面積による風化度判定は今回用いた供試土の比表面積値の範囲からみてもわかるように非常に広範囲で判定できることから、現在もっとも正確に風化度をあらわす方法とみて妥当と考える。

表-4 まさ土の比表面積

No.	比表面積	No.	比表面積	No.	比表面積	No.	比表面積	No.	比表面積
1	6.4	11	5.09	21	10.2	31	2.21	41	15.6
2	6.0	12	3.84	22	19.2	32	3.82	42	3.0
3	12.9	13	11.64	23	27.2	33	7.70	43	15.1
4	7.5	14	11.90	24	5.2	34	9.78	44	5.40
5	4.4	15	2.98	25	9.8	35	3.11	45	3.31
6	11.0	16	4.72	26	5.4	36	4.92	46	11.31
7	7.7	17	4.6	27	13.9	37	3.42	47	6.68
8	5.7	18	2.9	28	4.2	38	4.02	48	8.23
9	4.5	19	3.7	29	7.1	39	16.4	49	9.02
10	6.5	20	3.9	30	4.38	40	20.7	50	5.84

比表面積 (m^2/g)

(2) 比表面積と現在の風化度判定法の関係

まさ土の基準風化度である比表面積と現在用いられている風化度判定方法を比較するため比表面積とみかけ比重の関係を図-7に、比表面積と強熱減量の関係を図-8に示した。比表面積とみかけ比重、比表面積と強熱減量の間には高い相関がみられる。その回帰式及び相関係数を示したのが表-5である。みかけ比重強熱減量がまさ土の風化土判定法として利用されているのは相関係数 $r=0.91$ から判定して妥当と考えられる。

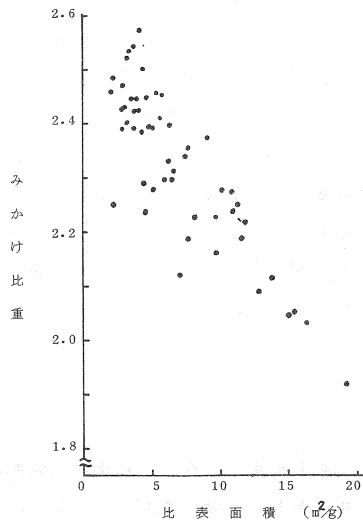


図-7 みかけ比重と比表面積の関係

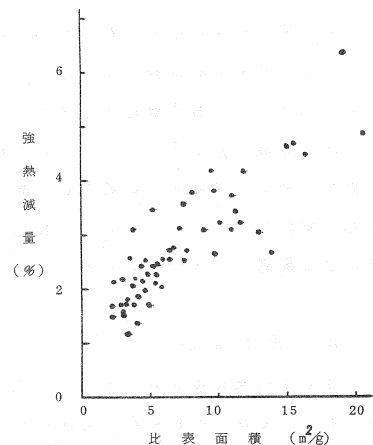


図-8 強熱減量と比表面積の関係

表-5 比表面積とみかけ比重・強熱減量の関係

X	Y	回帰直線	相関係数
比表面積 (m^2/g)	みかけ比重	$Y = 0.030 X + 2.54$	0.91
比表面積 (m^2/g)	強熱減量 (%)	$Y = 0.20 X + 1.26$	0.91

(3) 比表面積と吸水量の関係

現在用いられている風化度判定法に対して、吸水量法がどのような正確さを持っているか、風化基準尺度である比表面積との関係でみたのが図-9である。現在の風化度判定法と同様に、比表面積と吸水量の間には高い相関がみられ、両者の関係の回帰式は表-6で示される。比表面積と吸水量の間の相関係数は現在の風化度判定法であるみかけ比重、強熱減量と比表面積の関係よりも高い $r=0.94$ を示す。これは吸水量法が風化度判定法として現在の方法よりもすぐれていることを示唆している。吸水量法が比表面積との関係で高い相関を示すのは、吸水量は土粒子内空ゲキ中に存在する水量を表わし、土粒子内空ゲキの多少を示すもので、まさ土の風化過程における特性とが的確に一致した結果と推察される。一方、みかけ比重法、強熱減量法が吸水量法に比較しておとる原因を考察してみる。みかけ比重はまさ土の風化特性をおさえた方法ではあるが、吸水量の他に真比重値を必要

表-6 比表面積と吸水量の関係

X	Y	回帰直線	相関係数
比表面積 (m^2/g)	吸水量 (%)	$Y = 0.45 X + 0.86$	0.94

として、結果として誤差を吸水量法に比較して多く含むと言える。強熱減量法は風化の進行にともなって結晶水を含む粘土鉱物が多くなることから、この結晶水を測定して風化度を判定しようとする方法である。まさ土は鉱物組成が複雑であることから同一の強熱減量でも風化度も異なるため吸水量法に比較して精度が低いものと思われる。吸水量とみかけ比重、吸水量と強熱減量の関係を示したものが図-10、図-11である。吸水量はみかけ比重、強熱減量と良い相関を示し、それらの関係は表-7で示される。現在の風化度判定法との結びつきから見ても吸水量法が妥当な方法であると理解できる。吸水量を精度的に検討してきたが、試験の簡単さ、手間からみても吸水量法はフローコンと突き棒という器具、含水比測定という簡単な器具、操作及び手間しか必要とせず、他の方法に比べて迅速かつ精度よく行なうことが出来ると思われる。

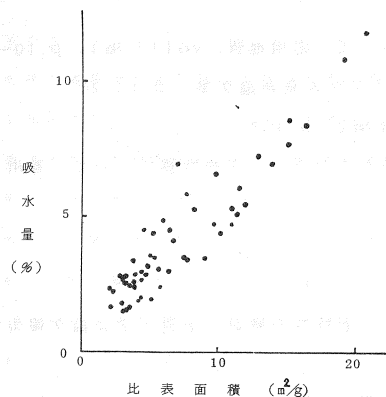


図-9 吸水量と比表面積の関係

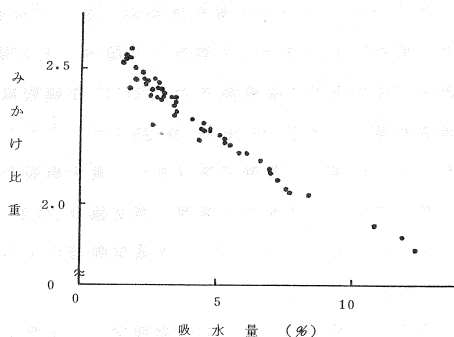


図-10 みかけ比重と吸水量の関係

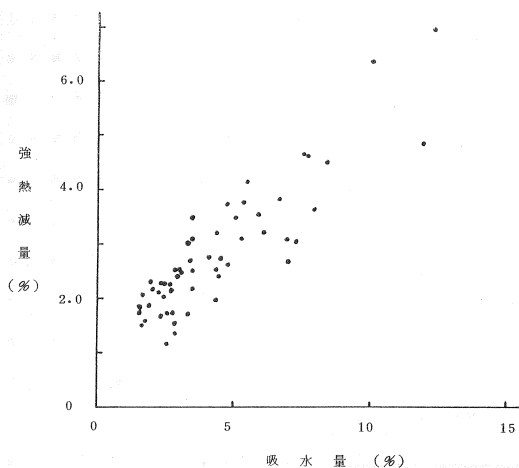


図-11 強熱減量と吸水量の関係

表-7 吸水量とみかけ比重・強熱減量の関係

X	Y	回帰直線	相関係数
吸水量 (%)	みかけ 比重	$Y = -0.067 + 2.60X$	0.98
吸水量 (%)	強熱 減量 (%)	$Y = 0.41 + 1.04X$	0.89

V. ま と め

まさ土の風化とその判定法を明らかにするための一端として風化の異なるまさ土を用い土粒子と水とのかかわり合いを示す水分保持性からまさ土以外の鉱質土を対比させ検討した結果次のことが明らかになった。

- (1) まさ土の風化が母岩→砂+粘土というまさ土以外の鉱質土と異なる風化過程をとるため、まさ土の比表面積は粘土分に強く影響される。
- (2) まさ土の保水性は風化の進行により増大するが、吸着水に近い毛管水をまさ土以外の鉱質土に比べて多量に保持する。

(3) まさ土が吸着水に近い毛管水を多量に保持するのは、まさ土構成物の急速な風化にともなう土粒子内空ゲキの発達に原因する。

(4) まさ土の風化度判定法としての吸水量法は、まさ土の風化の過程の特徴をよくとらえた方法であり、精度的にも満足のいく風化度判定方法である。

参 考 文 献

- 1) 三浦清(1976)：花崗岩類風化物から造られた細骨材の性質について，応用地質，vol.17 №1，p.10~19
- 2) 西田一彦(1973)：まさ土の風化度判定，第18回土質工学シンポジウム発表論文集 p.13~20
- 3) 松尾新一郎(1975)：まさ土の特性と問題点，土と基礎 vol.23 №2 p.1~8
- 4) 青柳省吾，石井秀明，横瀬廣司(1974)：花崗岩風化残積土の基本的性質と二次的性質について，香川大学農学部学術報告，vol.26 №1 p.25~36
- 5) 山崎不二夫(1971)：農地工学（下），東大出版会
- 6) 菅野一郎(1964)：日本の土壌型，農文協p.272~279
- 7) 西田一彦，佐々木清一(1975)：水蒸気吸着によるまさ土粒子の表面特性の検討，土質工学会論文報告集 vol.15 №2
- 8) 土壌物理研究会編(1979)：土の物理学 — 土質工学の基礎 — 森北出版，p.211~214