

粘性土における aggregate のキ裂発生に 及ぼす乾燥処理の影響

— SEM用の試料作成に関する基礎研究(Ⅱ) —

宮内定基*, 中村忠春*, 橋本静夫*

Influence of Drying on Appearance of Cracks in Aggregate of Cohesive Soils

— The fundamental studies on preparation of cohesive

soils for scanning electron microscopy (Ⅱ)—

Sadaki MIYAUCHI, Tadaharu NAKAMURA and Shizuo HASHIMOTO

Faculty of Agriculture, Ehime University

I はじめに

前報¹⁾ではSEM用の試料作成に必須な乾燥処理として、炉乾燥、自然乾燥、凍結乾燥、臨界点乾燥の4乾燥法を採用し、それらを土試料に適用する場合の具体的手順を示すと共に、それらが粘性土の aggregate の大きさ分布に及ぼす影響について報告した。

現実にSEMで粘性土の土壌構造を数100倍から1000倍程度の倍率で観察する場合には、構造の発達程度を土粒子レベルで観察することは困難であり、観察した感じが膨軟であるか緻密で剛であるかによるいわゆる質感の相違と、分布する間隙の数とその大きさの面から構造の発達程度を判断するのが一般的な方法である。

そこで、本報告で用いた4供試土が本来保有していると考えられる間隙数と間隙面積を、後述する方法で求め、その結果(凍結乾燥処理試料)を表-1に示す。表から黒ボク土と水田表土は間隙数、間隙面積とも他の2者よりも圧倒的に多く、かつ大きいことがわかる。さらに質感も他の2者が緻密で剛なのに対し、膨軟な質感であった。これらの事実より、今回用いた4供試土のうち、黒ボク土と水田表土は他の2者に比較して、土壌構造の発達した供試土といえる。

乾燥処理に伴ってキ裂が発生し発達すると、土壌構造の指標となる質感や間隙の分布が乱され、SEMで観察しても正確な構造を把握し得なくなる。すなわち、SEM用の試料作成に必須な乾燥処理は、キ裂の発生と発達が軽微で土壌構造を乱しにくい方法であることが必要である。

そこで、本報告では、これらの4乾燥法が粘性土の土壌構造に及ぼす影響を、aggregateに発生するキ裂の個数

表-1 1視野当たり間隙数と各間隙の平均面積(凍結乾燥)

供試土	間隙数	間隙面積
黒ボク土	65.3 (個)	1.84×10^{-5} (mm ²)
水田表土	61.9	1.99×10^{-5}
水田心土	30.1	1.36×10^{-5}
粘質マサ土	53.7	1.19×10^{-5}

と面積の面から考察する。その中で、乾燥処理に伴う土壌構造の変化程度が粘性土の種類によって異なる点や、SEM写真を用いて、定量的かつ普遍的に土壌構造を把握するのに必要なサンプル数についても触れたい。さらに、前報¹⁾の結果も含めて総括的に考察し、SEM用の試料成形に適した乾燥法を提案したい。

II 供試土と実験方法

供試土は前報¹⁾と同じく、三重県安濃町の非火山灰性黒ボク土、愛媛県朝倉村の粘質マサ土、および本学附属農場から採土した水田表土と水田心土の4種類である。これらの供試土を生土の状態、土壌構造と水分の変化を最小限にするよう細心の注意を払いながら手で細かくほぐした、2~1mm粒径の aggregate を試料とした。供試土の基本的性質は前報¹⁾に示したので省略する。

これらの aggregate を前報¹⁾で詳述した4乾燥法で処理した後、直ちに両面テープでSEM用試料台に、各試料・各乾燥法ごとに36粒づつ固定し、イオンコーターで試料表面に金を蒸着した。そして、それらの各 aggregate が50倍の倍率でSEM(日立-明石製・MSM-7C型)

* 愛媛大学農学部

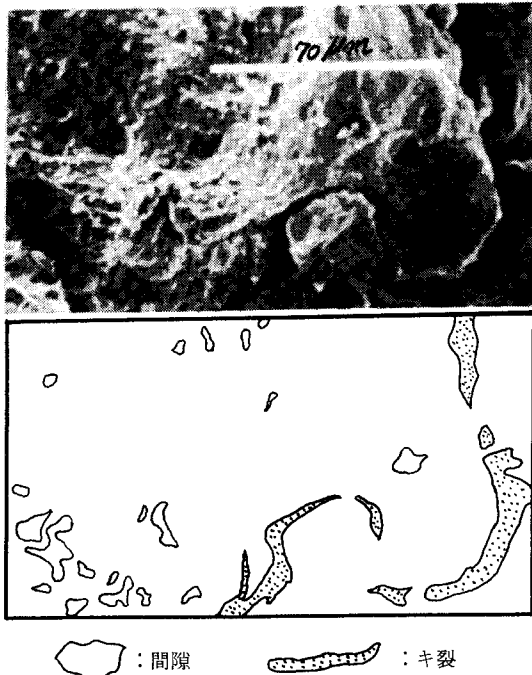


写真-1 間隙とキ裂の判定例(マサ土, 炉乾燥)

の視野に完全に入ってしまう位置に固定した。その後キ裂測定用の視野を無作為に選定するために、倍率のみを500倍に上げて得られる視野を撮影し、現像・焼付けを行った。その一例の一部分を写真-1に示す。これらの写真上で、空隙部分の形状と周辺の質感とから乾燥処理に伴って発生したキ裂部分と各供試土が本来保有している空隙とを区別し判定した。すなわち、写真-1に示すごとく形が細長く、周辺がシャープな空隙を乾燥処理に伴って発生したキ裂とし、それ以外の空隙を、各供試土が本来保有している空隙とし、それらをmm方眼紙上にトレースした。その方眼数を数えることによって各キ裂の面積を算定すると同時に、各視野ごとのキ裂数を求めた。

III 実験結果

1. キ裂個数の分布について

1) 分布特性

本節では、各視野別に求めたキ裂個数の分布、すなわち視野によるキ裂発生数の違いに関する実験結果を示す。

図-1に黒ボク土の乾燥方法別の度数分布を示す。図から、乾燥方法によって度数分布の形状には差異があり、炉乾燥の場合にはかなり高い精度で正規性の存在が窺える。それに対し、凍結乾燥や臨界点乾燥の場合にはその存在の疑わしいことがわかる。他の試料においても乾燥

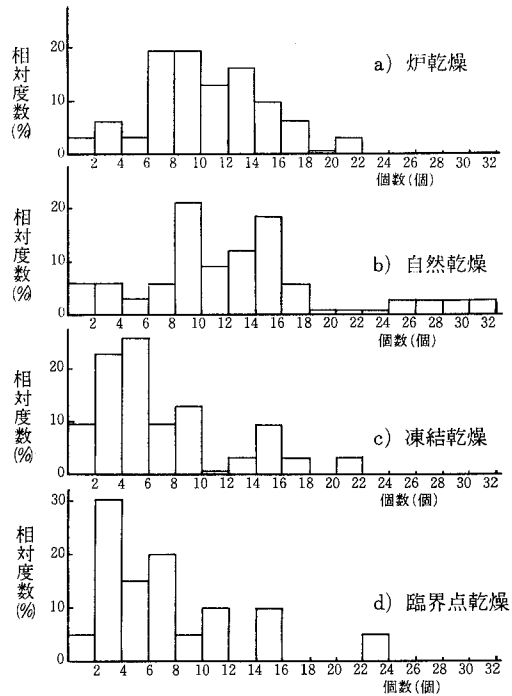


図-1 黒ボク土のキ裂個数に関する度数分布

方法によって度数分布の形状に差異が認められるので、正規性に関する χ^2 検定を行ない、その結果を表-2にまとめて示す。

表から、危険率5%の場合には16例中6例に、また危険率2%の場合には16例中9例において正規性は棄却されることがわかる。その内訳を乾燥方法別に見ると、炉乾燥と自然乾燥に正規性の存在が集中している。

同一供試土の各 aggregate における乾燥時のキ裂発生に対する抵抗力には差があり、おそらく抵抗力の分布には正規性が存在しているであろう。そのような aggregate に乾燥に伴う収縮力が作用すると、その力がある値以上になった時に抵抗力に反比例した数のキ裂が発生することになる。そして、それは恐らく正規分布するであろう。それに対し、収縮力がある値以下であると抵抗力がそれよりも小さい aggregate には比較的多数のキ裂が発生するであろうが、それ以外の aggregate にはほとんどキ裂が発生しないと考えられる。すなわち、上述の実験結果は、炉乾燥や自然乾燥が aggregate にとって抵抗力以上の収縮力を与える強烈な影響を及ぼす方法であることを示していると考えられる。

2) 平均値・バラツキの大きさと必要サンプル数

表-3に各乾燥法ならびに試料別のサンプル数(n), 平均値(\bar{x}), 標準偏差(S), 変動係数($C_v=S/\bar{x}$), 信頼度95%で平均値の区間推定を行なった結果をそれぞれ示す。

表-2 1 視野当たりのキ裂個数の分布に関する χ^2 検定結果

乾燥方法	供 試 土	n	χ^2_0	χ^2_α		正規性(○:有)	
				$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$
炉 乾 燥	黒ボク土	31 枚	4.5	15.5	18.2	○	○
	水田表土	28	6.7	12.6	15.0	○	○
	水田心土	33	2.8	12.6	15.0	○	○
	粘質マサ土	28	10.9	15.5	18.2	○	○
自然乾燥	黒ボク土	33	16.8	18.3	21.2	○	○
	水田表土	34	10.9	18.3	21.2	○	○
	水田心土	35	17.5	16.9	19.7	×	○
	粘質マサ土	31	16.5	15.5	18.2	×	○
凍結乾燥	黒ボク土	34	26.3	12.6	15.0	×	×
	水田表土	32	19.6	6.0	7.8	×	×
	水田心土	32	17.4	16.9	19.7	×	○
	粘質マサ土	34	23.8	15.5	18.2	×	×
臨界点乾燥	黒ボク土	20	20.2	11.1	13.4	×	×
	水田表土	33	31.6	9.5	11.7	×	×
	水田心土	31	74.1	6.0	7.8	×	×
	粘質マサ土	29	27.8	15.5	18.2	×	×

また、危険率(α)と誤差率(ϵ)を変化させて計算した必要サンプル数(N)も併記している。但し()内の数字は、度数分布に正規性が存在しないため、参考データとして示している。

まず、乾燥方法別の \bar{x} の平均値に着目すると、自然乾燥が10.5、炉乾燥が9.5、凍結乾燥が6.8、臨界点乾燥が6.1

個となっている。前報¹⁾で詳述したごとく、臨界点乾燥法においてはその処理中に、aggregateの表層部分がかなりはく離していることが考えられ、キ裂の発生に関しては、他の3乾燥方法とは異った部分(層)を観察している可能性が大きい。そこで、それを除外してみると、凍結乾燥において最もキ裂の発生個数の少ないことがわか

表-3 1 視野当たりのキ裂個数の平均値・バラツキと必要サンプル数

乾燥方法	供 試 土	n (枚)	\bar{x} (個)	S (個)	C_0 (%)	平均値の 信頼区間	N (枚)		
							$\alpha, \epsilon = 0.05$	0.10	0.15
炉 乾 燥	黒ボク土	31	9.6	4.4	45.8	±1.55	331	58	20
	水田表土	28	9.4	5.5	58.5	±2.04	524	92	32
	水田心土	33	9.3	4.4	47.3	±1.50	343	60	21
	粘質マサ土	28	9.6	5.5	57.3	±2.04	507	89	31
自然乾燥	黒ボク土	33	12.6	6.4	50.8	±2.18	402	71	25
	水田表土	34	11.2	6.2	55.4	±2.08	476	84	29
	水田心土	35	9.3	6.6	71.0	±2.19	773	136	47
	粘質マサ土	31	9.0	6.4	71.1	±2.25	782	137	47
凍結乾燥	(黒ボク土)	31	6.4	(5.9)	(92.2)	(±2.08)	(1341)	(235)	(81)
	(水田表土)	32	3.0	(2.7)	(90.0)	(±0.94)	(1238)	(217)	(75)
	水田心土	32	9.6	6.5	67.7	±2.25	691	121	42
	(粘質マサ土)	34	8.2	(6.7)	(81.7)	(±2.25)	(1031)	(181)	(62)
臨界点乾燥	(黒ボク土)	20	6.7	(6.0)	(89.6)	(±2.63)	(1269)	(223)	(77)
	(水田表土)	33	5.5	(5.0)	(90.9)	(±1.71)	(1259)	(221)	(76)
	(水田心土)	31	3.3	(6.7)	(203.0)	(±2.36)	(6321)	(1107)	(380)
	(粘質マサ土)	29	8.7	(6.7)	(77.0)	(±2.44)	(913)	(160)	(55)

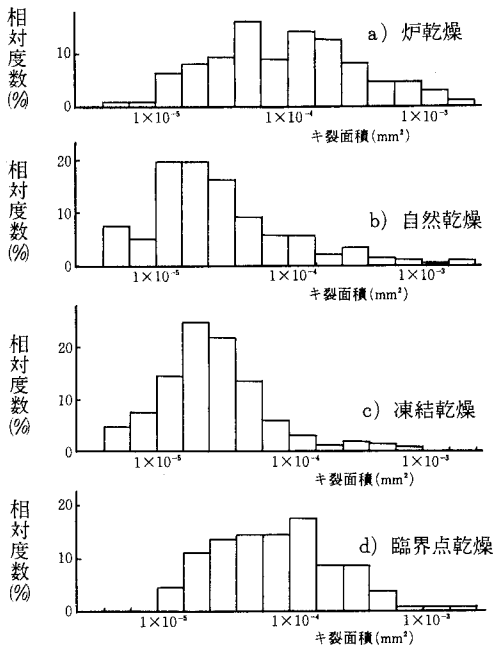


図-2 黒ボク土のキ裂面積に関する度数分布

る。続いて、試料別の凍結乾燥に対する炉乾燥や自然乾燥法のキ裂発生割合を見ると、水田表土が3.1~3.7倍で最も大きく、水田心土と粘質マサ土では1.0~1.2倍と小さく、黒ボク土は1.5~2.0倍でその中間的な値を示している。

このように、水田心土と粘質マサ土では有意な差を示さず、水田心土ではわずかながら凍結乾燥の方が大きい値さえ示している。これは前報¹⁾でも述べたごとく、これらの両試料は乾燥履歴を受けていないことに起因すると考えられる。すなわち、乾燥履歴を受けていない試料においては、乾燥処理に伴って発生するキ裂個数には乾燥方法の違いに拘わらず大差のないことを示しているものと考えられる。

次に、分布のパラッキや必要サンプル数に関しては、約半数にしか正規性が存在しないため統一的な考察ができず、また、平均値の有意差検定も統計学的意味を持たない。

いま、正規性の存在する場合について概観すると、 C_0 は46~71%とかなり大きな値を示し、 N も $\alpha \cdot \epsilon = 0.05$ で331~782枚、 $\alpha \cdot \epsilon = 0.10$ で58~137枚と多く、 $\alpha \cdot \epsilon = 0.15$ で初めて20~47枚と現実的なサンプル数になる。

2. キ裂面積の分布について

1) 分布特性

本節では、観察した各キ裂についての、1個ごとの面積に関する度数分布特性を示す。

表-4 キ裂面積の分布に関する χ^2 検定結果

乾燥方法	供試土	n	χ^2_0	χ^2_α		正規性(○:有)	
				$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$
炉乾燥	黒ボク土	297個	16.9	19.7	22.6	○	○
	水田表土	264	11.2	19.7	22.6	○	○
	水田心土	307	15.6	19.7	22.6	○	○
	粘質マサ土	270	14.8	21.0	24.1	○	○
自然乾燥	黒ボク土	410	4.9	16.9	19.7	○	○
	水田表土	362	8.5	19.7	22.6	○	○
	水田心土	319	10.9	18.3	21.2	○	○
	粘質マサ土	274	5.0	19.7	22.6	○	○
凍結乾燥	黒ボク土	189	63.8	21.0	24.1	×	×
	水田表土	94	19.2	21.0	24.1	○	○
	水田心土	302	18.7	18.3	21.2	×	○
	粘質マサ土	267	21.2	19.7	22.6	×	○
臨界点乾燥	黒ボク土	125	9.3	16.9	19.7	○	○
	水田表土	181	6.9	18.3	21.2	○	○
	水田心土	94	36.3	15.5	18.2	×	×
	粘質マサ土	242	23.4	15.5	18.2	×	×

図-2 に黒ボク土の乾燥方法別の度数分布を示す。但し、キ裂面積が3オーダーにわたって分布するため、横軸は対数で表示している。これらの図においても、キ裂個数の場合と同様に、度数分布の形状には乾燥処理によって差異が認められる。他の試料においても同様な現象が存在するため、正規性に関する χ^2 検定を行ない、その結果を表-4 にまとめて示す。

表から、危険率5%の場合には16例中11例に、また危険率2%の場合には16例中13例において正規性は棄却されることがわかる。その内訳を乾燥方法別に見ると、キ裂個数の場合と同様に炉乾燥と自然乾燥に正規性の存在が集中している。また、試料別に見ると、水田表土においてのみ、いずれの乾燥方法でも正規性が存在する特異な結果を示している。

炉乾燥と自然乾燥に正規性の存在が集中する理由は、前述のキ裂個数の場合と同じと考えられる。一方、水田表土においてはいずれの乾燥方法においても正規性が存在している。これは後でも述べるが、水田表土は乾燥履歴と共に応力履歴をも受けた状態で発達した土壤構造をもち、乾燥に伴う収縮力に対して比較的安定した状態を保ち、キ裂が著しく発達しないためと考えられる。

2) 平均値・バラツキの大きさと必要サンプル数

表-5 に表-3 の場合と同じく、 n, \bar{x}, S, C_v , 平均値の信頼区間、 N をそれぞれ示す。但し()内の数字は、度数分布に正規性が存在しないため、参考データとして示している。

まず \bar{x} について、乾燥方法別の平均値に着目すると、

炉乾燥が 1.79×10^{-4} 、臨界点乾燥が 1.57×10^{-4} 、自然乾燥が 0.89×10^{-4} 、凍結乾燥が $0.52 \times 10^{-4} \text{mm}^2$ の順に小さくなる。その中で、凍結乾燥は炉乾燥の約30%の値を示すに過ぎないことがわかる。続いて、試料別の凍結乾燥における \bar{x} に対する他の乾燥法の割合をみると、粘質マサ土が3.7~8.0倍で最も大きく、水田表土では1.3~1.7倍と小さく、黒ボク土と水田心土は1.5~6.1倍とその中間的な値を示している。

凍結乾燥におけるキ裂面積の \bar{x} と前報¹⁾のaggregate面積の \bar{x} に関する試料間の順位がほぼ一致し、水田心土や粘質マサ土ではaggregateの収縮が生じたためにキ裂面積の \bar{x} も小さくなったとも見えよう。しかしながら、そうであるならば他の乾燥法においても同様な関係が存在するはずであるが、それは認められない。従って、上述の実験結果は凍結乾燥ではキ裂が発生しても、大きくは発達しにくいことを示しているものと考えられる。

次にバラツキの程度を C_v で見よう。まず乾燥方法別の平均値に着目すると、臨界点乾燥が16.7、自然乾燥が15.3、炉乾燥が14.1、凍結乾燥が10.9%の順に小さくなっており、凍結乾燥が4乾燥方法で最もバラツキの小さいことがわかる。続いて、凍結乾燥における C_v に対する他の乾燥法の割合を試料別にみると、粘質マサ土が1.4~1.9倍で最も大きく、他の試料では1.1~1.5倍と小さいことがわかる。

統計学的に必要なサンプル数は、危険率と誤差率を5%におさめるには、炉乾燥では24~38個、自然乾燥では26~48個、凍結乾燥では14~22個、臨界点乾燥では42~

表-5 キ裂面積のバラツキと必要サンプル数

乾燥方法	供試土	n (個)	\bar{x} (10^{-4}mm^2)	S ($\times 10^{-5} \text{mm}^2$)	C_v (%)	平均値の 信頼区間 ($\times 10^{-4}$)	N (個)		
							$\alpha, \epsilon=0.05$	0.10	0.15
炉乾燥	黒ボク土	297	2.12	3.12	14.7	± 3.55	34	6	2
	水田表土	264	1.59	1.99	12.5	± 2.40	24	5	2
	水田心土	307	1.37	2.14	15.6	± 2.39	38	7	3
	粘質マサ土	270	2.07	2.84	13.7	± 3.39	29	5	2
自然乾燥	黒ボク土	410	0.85	1.47	17.3	± 1.42	47	9	3
	水田表土	362	1.27	1.71	13.5	± 1.76	28	5	2
	水田心土	319	0.50	0.65	12.9	± 0.71	26	5	2
	粘質マサ土	274	0.95	1.67	17.6	± 1.98	48	9	3
凍結乾燥	(黒ボク土)	189	0.53	(0.64)	(12.1)	(± 0.91)	(23)	(4)	(2)
	水田表土	94	0.96	1.12	11.7	± 2.26	22	4	2
	水田心土	302	0.33	0.38	11.6	± 0.43	21	4	2
	粘質マサ土	267	0.26	0.25	9.5	± 0.30	14	3	1
臨界点乾燥	黒ボク土	125	1.44	2.45	17.0	± 4.30	45	8	3
	水田表土	181	1.33	2.18	16.4	± 3.18	42	8	3
	(水田心土)	94	2.02	(3.56)	(17.6)	(± 7.20)	(48)	(9)	(3)
	(粘質マサ土)	242	1.49	(1.92)	(12.9)	(± 2.42)	(26)	(5)	(2)

表-6 キ裂面積の平均値に関する有意差検定結果 (○: 有意差が存在)

(1) 黒ボク土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	(凍結乾燥)	臨界点乾燥
炉乾燥		○	(○)	○
自然乾燥			(×)	○
(凍結乾燥)				(○)
臨界点乾燥				

(2) 水田表土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	臨界点乾燥
炉乾燥		×	○	×
自然乾燥			×	×
凍結乾燥				×
臨界点乾燥				

(3) 水田心土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	(臨界点乾燥)
炉乾燥		○	○	(×)
自然乾燥			○	(○)
凍結乾燥				(○)
(臨界点乾燥)				

(4) 粘質マサ土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	(臨界点乾燥)
炉乾燥		○	○	(○)
自然乾燥			○	(○)
凍結乾燥				(○)
(臨界点乾燥)				

45個であり、 C_0 の最も小さい凍結乾燥において N も最小となっている。危険率と誤差率を10%にまであげると、いずれの乾燥法においても10個以下と急減することがわかる。

3) キ裂面積の平均値 (\bar{x}) に関する有意差

キ裂面積の \bar{x} に関する有意差について、有意水準 5% で F・t 検定を行なった結果を表-6 に示す。但し、() 内は一方もしくは両方に正規性が存在しないため、参考データとして示している。この表から、各乾燥方法間における有意差の存在する割合を各試料について見ると、炉乾燥～自然乾燥では4例中3例で75%、炉乾燥～凍結乾燥では3例中3例で100%、炉乾燥～臨界点乾燥では2例中1例で50%、自然乾燥～凍結乾燥では3例中2例で67%、自然乾燥～臨界点乾燥では2例中1例で50%、凍結乾燥～臨界点乾燥では1例中0例で0%となり、炉乾燥～凍結乾燥の場合においてのみ100%有意、すなわちいずれの試料においても有意差の存在することが明らかである。

次に、試料別ごとに方法間の有意差の存在する割合を見ると、黒ボク土、水田心土、粘質マサ土ではいずれも3例中3例で100%であるのに対し、水田表土では6例中1例で17%にすぎないことがわかる。

VI 考察

前章で詳述した実験結果を総括し、前報¹⁾の結果も含

めながら、SEM用の試料作成に適した乾燥方法、すなわち土壌構造の変化が少ない乾燥方法について考察してみよう。

最初にキ裂個数や面積の度数分布に着目すると、正規性の存在が炉乾燥と自然乾燥に集中し、凍結乾燥や臨界点乾燥では少ない傾向が見られた。そこで、その内容を乾燥方法別に求めた非対称度 (S_u) の平均値で検討してみる。キ裂個数に関しては、炉乾燥が-0.08、自然乾燥が-0.15、凍結乾燥が-0.66、臨界点乾燥が-0.55であり、キ裂面積に関しては、炉乾燥が1.08、自然乾燥が1.16、凍結乾燥が0.99、臨界点乾燥が1.29であった。このように、凍結乾燥の場合は両者共、臨界点乾燥の場合にはキ裂個数に関する値が、炉乾燥や自然乾燥のそれよりも小さくなって、度数分布が右傾化する、すなわちキ裂個数や面積の上限が小さくなり、下限が広がる傾向のあることがわかる。特に、凍結乾燥は4乾燥法中でいずれの値も最小であり、キ裂が発生しにくく、かつ発達しにくい乾燥法であることを示している。

次に、キ裂個数や面積の \bar{x} に着目すると、キ裂個数に関しては、自然乾燥、炉乾燥、凍結乾燥、臨界点乾燥の順に少くなる。また、キ裂面積に関しては、凍結乾燥において著しく小さい値を示し、最大値を示す炉乾燥の約30%の値を示すに過ぎず、 C_0 も凍結乾燥において最小値を示す。これらの事実も、凍結乾燥が4乾燥法中ではキ裂が発生しにくく、その発達程度とそのバラツキも小さ

くて、優れた乾燥法であることを示すものである。

続いて、各乾燥方法間におけるキ裂面積の \bar{x} に関する有意差の存在する割合を各試料について見ると、炉乾燥～凍結乾燥の組み合わせの場合のみが有意水準 5% で 100% 有意であった。このことは、キ裂の発達も最も顕著な炉乾燥と統計学的にも有意な差のある優れた乾燥法は凍結乾燥であることを示している。

以上で述べたごとく、4 乾燥法中では凍結乾燥法において最もキ裂が発生しにくく（水田心土のキ裂個数の \bar{x} を除いて）、かつその発達程度とキ裂面積のバラツキも最小であることより、凍結乾燥が aggregate の内部構造に及ぼす影響は最少と考えられる。一方、aggregate の大きさより求めた、土粒子のはく離等による表面構造に及ぼす影響については、前報¹⁾ で詳述したごとく、凍結時に aggregate 表面の土粒子のはく離がわずかに認められるものの、均一性の面では凍結乾燥が最も影響が少なかった。

上述の理由から、土壌構造の変化が少なく、一般的に最も優れた乾燥方法は凍結乾燥法であると結論づけられる。

臨界点乾燥法は前報¹⁾ で詳述したごとく、土壌水をアルコールやアセトンで脱水し置換する操作中に、aggregate 表面の弱結合の土粒子がはく離してしまう欠点がある。しかし、理論的には最も優れた乾燥法と考えられるので、耐水（液）性の土壌構造や、力学的な挙動に支配的な影響を及ぼすと考えられる、aggregate の骨格構造の観察用には適用し得る乾燥方法であろう。

自然乾燥法は後述するごとく、気乾程度の乾燥履歴を受けた試料に限定すれば適用し得る乾燥方法である。

炉乾燥は土壌構造に及ぼす影響が最も劣悪であるから、SEM 用の試料作成には不適な乾燥方法である。

以上では乾燥方法別に考察してきたが、以下では、試料別にキ裂の発生とその発達について考察したい。

キ裂個数に関して、凍結乾燥における各試料ごとの \bar{x} に対する炉乾燥や自然乾燥の \bar{x} の変化割合を見ると、水田表土が最大で、水田心土や粘質マサ土が小さく、黒ボク土はそれらの中間的な値であった。

一方、キ裂面積に関しては以下のごとく実験結果を要約できる。まず度数分布に着目すると、水田表土においてのみいずれの乾燥方法においても正規性が存在する。また、凍結乾燥の各試料別における \bar{x} に対する他の乾燥法の \bar{x} の変化割合を見ると、粘質マサ土が最大で水田表土が最小である。同じく C_v の変化割合は、粘質マサ土のみが特徴的に大きくなるのに対し、他の試料はほぼ類似した値であった。最後に、 \bar{x} の各乾燥方法間における有意差の存在する割合を見ると、水田表土においては 6 組み合わせ中、炉乾燥～凍結乾燥の場合にのみ有意であるのに対し、他の試料では 100% の場合に、すなわち、い

れの組合せにおいても有意差が存在した。

以上で要約した実験事実から、凍結乾燥以外の乾燥処理に伴うキ裂の発生とその発達は、試料の構造の発達度や乾燥履歴の有無等に影響されることがわかる。すなわち、aggregate の構造が未発達で、乾燥履歴を受けていない粘質マサ土では、凍結乾燥と他の乾燥法を比較した場合に発生するキ裂個数こそ大差ないが、キ裂面積には大きな差があり、凍結乾燥以外の場合には一度発生したキ裂は発達し、キ裂面積が著しく大きくなる。それに対し、aggregate の構造が発達し、乾燥履歴と共に応力履歴をも受けている水田表土では、凍結乾燥と他の乾燥法を比較した場合に、発生するキ裂個数は凍結乾燥以外の方が多く、その発達程度が低く、キ裂面積の差異は最も小さくなる。さらには、水田表土においては、炉乾燥～凍結乾燥の組み合わせでは、他の試料と同じくキ裂面積の \bar{x} の大きさに有意差が存在するが、炉乾燥～気乾燥、気乾燥～凍結乾燥等の組合せにおいては他の試料と異なり、有意差が存在しない。このことより、水田表土のような特性を有する粘性土の SEM 観察用の乾燥法としては、統計学的には自然乾燥法も適用可能なものと考えられる。

最後に、統計学的に必要なサンプル数を見定める。キ裂個数に関しては、 $\alpha \cdot \epsilon = 0.05$ で数百枚を要するが、キ裂面積に関しては、数十個の単位となり、中でも C_v の小さい凍結乾燥が最小で 14～22 個である。いま、aggregate の構造を 500 倍の間隙の面積分布で見ると、表-1 に示すごとく黒ボク土や水田心土では 1 視野当たり 60～70 個、水田心土や粘質マサ土では 30～50 個の間隙を観察できる。したがって、1 試料当たり 2～3 視野も観察すれば、十二分に精度の高い分布特性を知ることができよう。

V ま と め

以上で述べた一連の実験結果から明らかにし得たことをまとめると、以下のごとくなる。

(1) 乾燥処理に伴って発生するキ裂個数とキ裂面積に関する度数分布を乾燥方法別に見ると、危険率 5% では前者で約 4 割に、後者では約 7 割に、また危険率 2% では前者で約 6 割に、後者では約 8 割の場合に正規性が認められる。これらの正規性は炉乾燥と自然乾燥に集中する傾向がある。これらの度数分布を S_x の面から検討すると、凍結乾燥が最も右傾化した分布となる。続いて、試料別のキ裂面積に関する度数分布に着目すると、水田表土のみがいずれの乾燥方法においても正規性が存在し、特徴的現象を呈している。

(2) キ裂個数の \bar{x} を、乾燥方法別に見ると、自然乾燥、炉乾燥、凍結乾燥、臨界点乾燥の順に少くなる。前報¹⁾ で述べた理由により臨界点乾燥を除くと、凍結乾燥が

最小になる。試料別に凍結乾燥に対する他の乾燥法の \bar{x} の変化割合を見ると、水田表土が最大で、水田心土や粘質マサ土が小さくなる。

(3) キ裂面積の \bar{x} は、乾燥方法別に見ると凍結乾燥が極端に小さく、最大値を示す炉乾燥の約3割の値を示すに過ぎない。試料別に凍結乾燥に対する他の乾燥法の \bar{x} の変化割合を見ると、粘質マサ土が最大で水田表土が最小である。

(4) キ裂面積に関する C_v を乾燥方法別に見ると、凍結乾燥が最小となり、試料別に凍結乾燥に対する他の乾燥法の C_v の変化割合を見ると、粘質マサ土において著しく大きくなるのに対して、他は類似した値を示す。

(5) キ裂面積の \bar{x} に関する有意差を、試料別に見ると、水田表土では炉乾燥～凍結乾燥の組合せの場合にのみ有意であるのに対し、他の試料ではいずれの組合せにおいても有意と判定される。

(6) これらの結果から、乾燥処理に伴う土壌構造の変化が最も少ない乾燥方法は、凍結乾燥法であることが判明した。自然乾燥法と臨界点乾燥法は限定された条件下では適用可能と考えられるが一般的ではない。炉乾燥は土壌構造の変化に対しては最も劣悪な方法である。

(7) 土壌構造を500倍程度の倍率の間隙面積の分布から究明しようとする場合には、1試料当たり2～3視野

も観察すれば十分な精度で間隙の分布特性を知ることができる。

以上、各種乾燥処理が土壌構造に及ぼす影響を、50倍¹⁾と500倍の倍率で観察する場合については明らかにした。しかし、数千倍とか数万倍で観察する場合の土壌構造の変化に対しては全く未検討であり、今後の課題である。

おわりに、本研究を進めるに当たり、SEMの使用に対してご協力を頂いた本学の宮式陸夫助教授、および実験補助とデータ整理にご尽力下さった本学の学部専攻生であった池内省吾君(現、第一重工業)、井ノ口洋君(現、久保田建設)、加藤博明君(現、浅沼組)、二宮英治君(現、愛媛建材)、ならびに長谷川千里嬢に深謝の意を表します。

なお、本研究の一部は昭和57年度(課題番号57560234)文部省科学研究費の補助を得て行なわれたものであることを附記する。

参 考 文 献

- 1) 中村 忠春, 宮内定基, 橋本静夫: 粘性土における aggregate の大きさ分布に及ぼす乾燥処理の影響, SEM用の試料作成に関する基礎研究 (I) 土壌の物理性, 52, 2~9(1985)

(1985. 4. 19受理)

Summary

To understand the effect of drying on soil structure, field-moist, 1.0—2.0mm size separates from cohesive soils were dried by various methods, and the number of cracks produced within the micro-aggregates, together with the area covered by the cracks, was determined. On each of following cohesive soils were used: so-called non-ash-derived kuroboku soil, weathered granite of clayey texture, and surface and subsurface soils from a paddy. The drying methods employed were air-drying at room temperature, oven-drying at 105 °C, freeze-drying and critical-point-drying. The results were statistically analyzed and can be summarized as follows:

1. The number of cracks produced by drying decreased in the following order for all cohesive soils examined air-drying (10.5), oven-drying (9.5), freeze-drying (6.8), critical-point-drying (6.1).

The lowest value exhibited by critical-point-drying does not necessarily mean the least effect to soil structure; it was shown in a previous study that this separated particles from the outside of aggregates, causing a decrease in particle diameter.

2. Freeze-drying yielded the smallest average area covered by cracks.

The above results indicate that, of the four methods employed, freeze-drying has the least effect on soil structure; therefore it is the most suitable means for drying soil samples for studies of microscopic soil structure.