

牧草栽培による干拓地の土壌構造の変化

—安来地区の事例—

福桜 盛一*・今尾 昭夫*

Change of Soil Structure in Drained Area by Grass Culture

—Study Case in YASUGI Resion—

Shigekazu FUKUSAKURA and Akio IMAO

Synopsis

In order to clarify the index of a maturation of plow layer soil of drained area by the method of civil engineering, the change of soil structure (ped and void of soil) caused by grass culture was investigated in YASUGI region of NAKAUMI drained area.

The results obtained are as follows :

1) The change of structure of soil ped by grass culture is showed in the subdivision of ped structure, namely, coarse peds (25-10 mm) are reduced and fine peds (under 5 mm) increase as compared with the soil left as it is.

2) The change of structure of void is showed in the reduction of the gross volume of void, namely, coarse void (pF 1.8-0) decreases and fine one (above pF 4.0) increases.

3) These tendency are recognized more conspicuously in fine (clayey) soil.

I はじめに

わが国においては、近年の急激な農地面積の減少への対応策として、山麓急傾斜地における農地造成とともに大規模な干拓が進められてきている。しかるにこれらの新規に開拓された農地の土壌は一般に農作に適さない貧弱なものであり、土壌改良を必要とすることが多いが、何年間かわたる農作業の結果、すぐれた圃場になって行く。

ところで、このように新しい土壌が人為的、自然的な種々の営為によって農地としてすぐれた土壌に変化していく作用、すなわちいわゆる熟畑化については、土木工学的な立場からは必ずしも明確であるとはいえず、とくに干拓地については乾燥の過程におけるいくつかの知見

¹⁾⁻⁹⁾
が報告されているのみである。

以上のことから、干拓地土壌の熟畑化を促進する要因として人為的な営為すなわち作物の栽培に着目し、植物根の作用や種々の管理作業の影響を想定して現地における調査研究を行い、熟畑化を定量的に把握する土木工学的な指標の解明を試みた。

II 方 法

1 試験地の概要

試験地は中海干拓地安来地区である。当地区は昭和51年の干陸以来10年以上を経過しているが、その大部分は芦が繁茂するままにされており、近年は土壌の乾燥の進行に伴って種々の雑草が卓越してきつつある。

ところで昭和58年より一部の圃場が一時使用され、周

* 農地工学研究室

辺の農家によって牧草が栽培されてきた。草種は主としてオーチャードグラス、イタリアンライグラス、レッドクローバーの3種混播である。Fig-1にこの状態を示した。

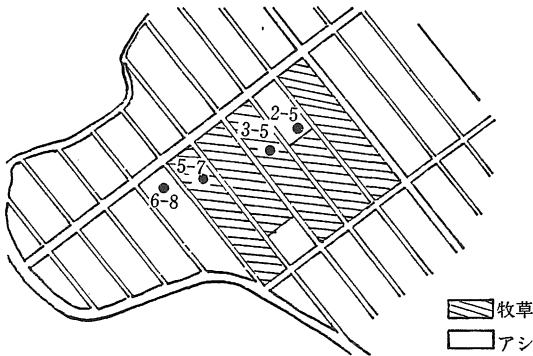


Fig-1 調査地の概要と測点

2 調査試験の方法

営農行為による土壌構造の変化を把握するために、牧草を栽培している圃場（牧草栽培区：牧草区）と自然状態で放置されてきた地区（芦区）において、同じ土壌条件の地点を選んで測点を設け、その土壌構造の違いを比較する。なお当然ながら、牧草が栽培される前の状況は両地区とも同一であったと考えることができる。

当地区において牧草の根が最も多く分布するのは深さ20cm程度までの表層であり、耕耘などの農作業の対象も殆どこの深さ程度までと考えられるのでこれが作土層にあたる。したがってここに土壌構造の違いが表れる可能性が最も高いと考えられるため、この表土を対象土層とし、落葉などの粗大な植物体が密に存在する地表部分を避けて深さ5~10cmのところからサンプリングすることとした。

試験項目としては次の二つをとりあげた。

① Ped の分布

Ped とは土壌を構成する種々の大きさの土塊や団粒のことであって、以下ではこれを用語としてなじみやすい「団粒」と呼ぶ。試験方法は次のとおりである。現地における団粒分布を把握するために採取したサンプルを風乾（日陰で乾燥すること）し、振とう機によってふるいで分別する。なお振とうの時間は振動のエネルギーによって団粒自体が破壊されることがないように十分な予備試験を行って決定し、本実験においては30秒とした。使用したふるいは25, 10, 5, 2mmの4種である。また各ふるい上において団粒をつなぐ細根を細心の注意をはらって切断し、過誤のないよう注意した。

② 間隙の分布

一定容積（100cm³）で採取したサンプルを用いて土壌水分量とそのポテンシャルエネルギーの関係を遠心法によって求め、これから土壌の間隙の分布状態を明らかにした。なお土壌水のポテンシャルエネルギーはふつう圧力単位（cmH₂O）の対数値で表され、pF 値と称する。

遠心法による pF 値は次式によって表される。

$$pF = 2\log(n) + \log(R^2 - r^2) - 5.25 \quad (1)$$

ここで $\left\{ \begin{array}{l} n: \text{回転数 (rpm)} \\ R: \text{試料末端までの回転半径 (cm)} \\ r: \text{試料代表点までの回転半径 (cm)} \end{array} \right.$

また試料代表点は、遠心力場における試料内のポテンシャルエネルギー（pF 値）分布の平均値が表れる位置とする。平均 pF 値（M）は(1)式を積分した結果を用いて次式で表され、これを(1)式に代入して所定の pF に対する r を求めることが出来る。

すなわち、

$$M = \left(\int_R^{R-h} pF dx \right) / h \quad (2)$$

ここで h：サンプルの高さ（cm）

土壌水の pF 値とその水分に対応する水分量の間には一定の関係があると考えられている。また間隙の大きさと pF 値（ポテンシャルエネルギー：保水力）の間にも同様に一定の関係が想定できるため、これらの関係を用いてある pF 値とそれに対応する水分量に相当する間隙の量（体積%）の関係を求めることができる。後者はふつう「体積含水率」と称される値であるが、ここでは間隙の量の意味を強調するために「間隙率」と呼ぶ。

間隙率 x は次式による。

$$x = (V_w / V) * 100 \\ = (W_w / W_s) * (\gamma_a / \gamma_w) * 100(\%)$$

ここで $\left\{ \begin{array}{l} V_w: \text{土壌水の体積 (cm}^3\text{)} \\ V: \text{試料の体積 (100cm}^3\text{)} \\ W_w: \text{土壌水の質量 (g)} \\ W_s: \text{土粒子の質量 (g)} \\ \gamma_a: \text{試料の乾燥密度 (g/cm}^3\text{)} \\ \gamma_w: \text{土壌水の密度 (1g/cm}^3\text{)} \end{array} \right.$

なお $[(W_w / W_s) * 100]$ は「含水比」とよばれる値である。

土壌の構造はその粒度分布によって大きく左右されるから、上述の試験は先に述べたように同一土性の測点で実施されなければならない。このために牧草区、芦区のそれぞれについて、圃場中心にそって 50m 毎のサンブ

リングを行って土性の平面的な分布状態を調べ、その結果を Fig-2 に示した。なお粒度試験はピペット法（国際土壌学会法）に準じて行った。

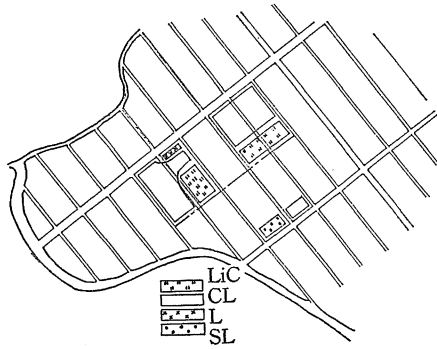


Fig-2 土性分布

干陸当初の土壤条件が悪く、かつ土壤構造の変化が顕著に表れると考えられる土性は細粒土（粘質土）であるから、調査の対象として軽粘土（LiC）と粘土ローム（CL）を選び、下記の2点を必要条件として、粒度試験の結果と現地における土性の平面分布の状況から測点を決定した。

- ① できるだけ同一の粒度分布であること。
- ② 牧草・芦両区に対応する測点が隣接すること。

選定した測点の位置を Fig-1 にあわせて示した。またこれらの測点における表土の粒度分布は Fig-3 の三角座標上に示したとおりである。

以上から明らかのように、これらの粒度分布は LiC, CL 共に極めてよく類似しており、かつ隣接した地点であって、ここから昭和61年6月から11月まで毎月一回サンプリングし、上記の試験を行った。

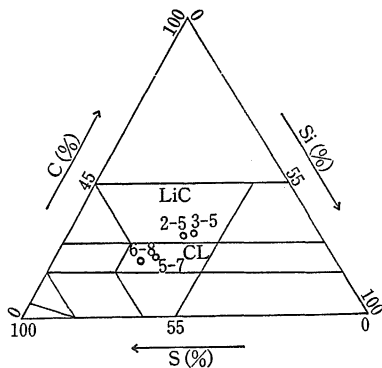


Fig-3 測点の土性

III 結果と考察

1 団粒の構造に対する牧草栽培の影響

Fig-4, 5 にふるい分けによる結果を示した。縦軸は各ふるい上の残留率で、これを団粒率と呼ぶこととする。また横軸は団粒径（ふるい目の大きさ）であって、グラフは6回の調査結果の平均をプロットしたものである。

これらの結果からわかるように、LiC, CL の両土壌とも牧草区と芦区の違いが認められ、かつ団粒の大きさ（フラクション）によってその傾向に違いがあることが明らかである。このことをより明確に把握するために各フラクション毎に統計的な分析を行った。その結果の一部を Table-1~4 に示す。

以上の結果は営農行為の有無（植生の違い）、土性の違い、サンプリング時期の違いを因子として分析したものであり、以下の点が認められた。

- ① 25mm 以上を除く各フラクションで牧草区と芦区間に有意な差が認められた。この結果は Table-5 に示したとおりである。また極めて有意（有意水

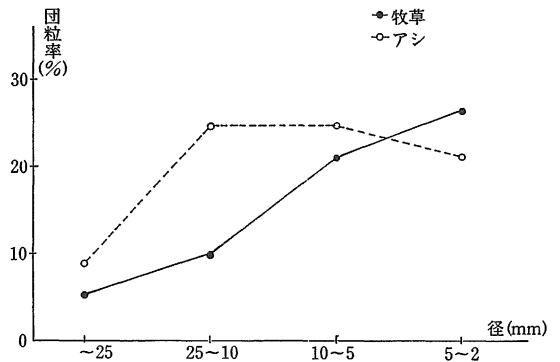


Fig-4 団粒分布 (LiC)

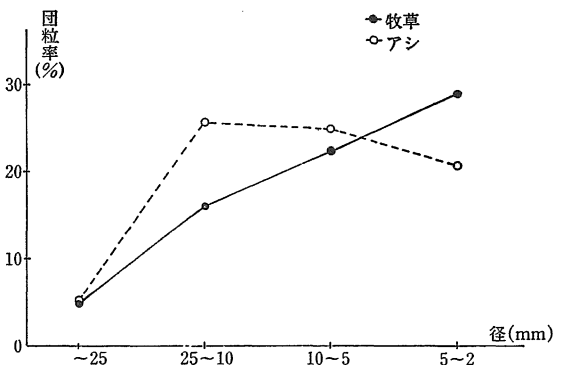


Fig-5 団粒分布 (CL)

Table-1 団粒率測定結果 (25~10mm) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	LiC	12.18	7.23	9.32	11.39	9.32	11.26
	CL	15.18	14.32	14.89	19.41	14.82	17.86
ア シ	LiC	25.32	20.92	23.49	24.88	26.33	27.19
	CL	26.36	25.88	28.42	27.01	25.33	21.27

Table-2 団粒率に関する分散分析表 (25~10mm)

要 因	平方和	自由 度	分 散	F
全 体	1080.85	23		
主 効 果				
植 生 [A]	878.70	1	878.70	183.0**
土 性 [B]	73.22	1	73.22	15.25*
時 間 [C]	28.23	5	5.647	1.176
交互作用				
A * B	36.61	1	36.61	7.621*
A * C	14.42	5	2.884	0.600
B * C	25.66	5	5.132	1.068
誤 差	24.02	5	4.803	

Table-3 団粒率測定結果 (5~7mm) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	LiC	24.31	24.82	27.86	25.43	29.18	26.38
	CL	28.12	30.34	29.78	27.42	28.31	29.46
ア シ	LiC	20.27	23.42	21.68	18.42	19.26	23.42
	CL	18.87	19.13	21.12	20.54	22.80	21.38

Table-4 団粒率に関する分散分析表 (5~2mm)

要 因	平方和	自由 度	分 散	F
全 体	351.69	23		
主 効 果				
植 生 [A]	274.05	1	274.05	45.40**
土 性 [B]	6.85	1	6.848	1.134
時 間 [C]	22.12	5	4.425	0.733
交互作用				
A * B	13.62	1	13.62	2.256
A * C	3.14	5	0.628	0.104
B * C	1.72	5	0.344	0.057
誤 差	30.18	5	6.036	

準1%) な差を示したのは 25~10mm の部分と 5 mm 以下の部分であった。これから、牧草の栽培を行うことによって粗大な団粒(土塊)が減少し、細粒化が進行するといえよう。

② 土性間の違いは大きくはないが、25~10mm の部分が CL で多くなり、また 2mm 以下の部分が LiC で多くなる傾向が認められた。すなわち牧草の栽培による土壌構造の細粒化はより粘質な土壌の方

に顕著に表れる傾向があるといえよう。

③ サンプルング時期の違いには有意差が認められなかった。

この因子は、時間経過以外にもサンプルング時における気象条件の違い、サンプルング点の多少のずれ等の変化要因を含んでいるものと考えられ、従ってこれらにマスクされて時間経過の効果が検出でき

なかったものと思われる。よってこの点の処理が今後の問題である。

以上の結果から、芦や雑草が繁茂したままの地区に比較して、牧草の栽培によって団粒の構造に明らかな違いが認められたといえる。これをより明確にするために牧草区と芦区両区間の団粒量の差を用いて分析を行い、この結果を Table-6, 7 に示した。

これらからわかるように、牧草栽培による団粒量の変化の状況はフラクションによって異なり、25~10mmの部分の顕著な減少と、5mm以下の部分の明らかな増加が認められる。また土性と団粒径のあいだに見られた交互作用の分析結果から、土壌が粘質である方がより細粒化が促進されることが認められ、前述の各フラクション毎の分析結果がよりはっきりと示されたといえる。

Table-5 団粒量に対する牧草栽培の影響

フラクション	比較の結果
25~10mm	アシ区 >> 牧草区
10~5	アシ区 > 牧草区
5~2	牧草区 >> アシ区
2~	牧草区 >> アシ区

Table-6 牧草区とアシ区の団粒量差

時間	土性	団粒量の差 (%)				
		~ 25	25 ~ 10	10 ~ 5	5 ~ 2	2 ~ mm
1	LiC	- 3.94	-13.14	- 0.51	+ 4.04	+13.55
	CL	+ 3.52	-11.18	- 4.35	+ 9.25	+ 2.76
2	LiC	- 6.10	-13.69	- 6.41	+ 1.40	+24.80
	CL	+ 1.46	-11.56	- 0.81	+11.21	- 0.30
3	LiC	- 1.22	-14.17	- 6.00	+ 6.18	+15.21
	CL	- 2.45	-13.53	- 2.20	+ 8.66	+ 9.52
4	LiC	-11.29	-13.49	+ 1.95	+ 7.01	+15.82
	CL	- 3.27	- 7.60	- 2.00	+ 6.88	+ 5.99
5	LiC	- 0.56	-17.01	- 4.55	+ 9.92	+12.20
	CL	+ 0.75	-10.51	- 0.08	+ 5.51	+ 4.33
6		+ 2.10	-15.93	- 5.31	+ 2.96	+16.18
		- 0.62	- 3.14	- 4.88	+ 8.08	+ 0.84

Table-7 団粒量差に関する分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	F
全体	4794.90	59		
主効果				
植生 [A]	0.0	5	0.00	0.00
土性 [B]	0.0	1	0.00	0.00
時間 [C]	3665.49	4	916.37	54.78**
交互作用				
A * B	0.0	5	0.00	0.00
A * C	192.18	20	9.609	0.574
B * C	602.68	4	150.67	9.007**
誤差	334.55	20	16.73	

2 土壌水の pF 値とその間隙率に対する影響

Fig-6, 7 に土壌水の pF 値とその水分に対応する間隙の体積% (間隙率) を示した。なお飽和状態を pF 0 とみなした。縦軸が間隙率, 横軸が pF 値で同様に 6 回の調査結果の平均値をプロットしている。

この結果から牧草区と芦区の間差は pF 0 の場合とそれ以外の場合とで異なった傾向が認められることがわかる。このため先と同様の分析を行い、以下の結果を

得た。Table-8~11 は各 pF 値に対応する間隙率とその分析結果を土性毎に示したものである。

以上の結果から次のことが指摘できる。

① 牧草栽培の影響は pF 値によって異なり、土性によらず Table-12 のようである。

すなわち土層内の間隙の全量は芦区の方が多いといえるのに対し、pF 1.8 以上、pF 3.0 以上、pF 4.0 以上に相当する間隙の量は牧草区の方が多いといえ

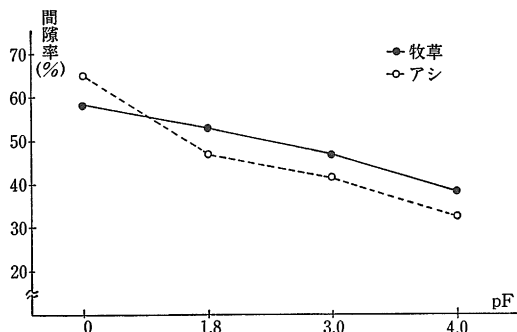


Fig-6 pF と間隙率 (LiC)

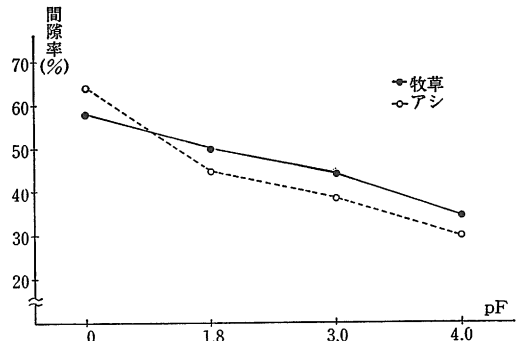


Fig-7 pF と間隙率 (CL)

Table-8 間隙率測定結果 (LiC) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	pF0.	56.35	60.06	59.60	55.41	57.93	60.59
	pF1.8	48.94	55.47	56.69	51.52	53.57	49.47
	pF3.0	43.54	48.47	51.24	45.82	48.78	43.42
	pF4.0	35.09	39.37	42.99	36.72	40.32	34.32
ア シ	pF0.	65.51	65.01	63.75	64.37	64.88	67.32
	pF1.8	43.90	47.21	49.77	47.45	46.39	45.93
	pF3.0	39.69	41.29	44.41	42.76	40.49	39.68
	pF4.0	30.64	32.51	35.72	32.85	31.29	31.83

Table-9 間隙率に関する分散分析表 (LiC)

要 因	平方和	自由度	分 散	F
全 体	5071.92	47		
主 効 果				
植 生 [A]	76.81	1	76.81	140.7**
土 性 [B]	4409.11	3	1469.7	2691.6**
時 間 [C]	124.84	5	24.97	45.73**
交 互 作 用				
A * B	349.67	3	116.56	213.46**
A * C	37.40	5	7.481	13.70**
B * C	65.88	15	4.392	8.043**
誤 差	8.19	15	0.546	

Table-10 間隙率測定結果 (CL) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	pF0.	57.98	55.94	59.50	58.34	54.77	59.72
	pF1.8	46.88	51.86	53.04	49.99	48.61	50.91
	pF3.0	41.83	44.10	46.41	44.33	42.55	44.66
	pF4.0	31.83	34.90	36.61	35.54	33.55	34.96
ア シ	pF0.	61.21	64.55	64.75	64.78	70.03	58.33
	pF1.8	42.71	51.04	51.92	40.68	39.79	42.54
	pF3.0	37.46	41.97	44.12	34.83	34.09	38.45
	pF4.0	28.60	32.07	35.02	26.48	27.24	31.19

Table-11 間隙率に関する分散分析表 (CL)

要 因	平方和	自由 度	分 散	F
全 体	5941.53	47		
主 効 果				
植 生 [A]	62.93	1	62.93	9.752**
土 性 [B]	5165.16	3	1721.7	266.8**
時 間 [C]	176.80	5	35.36	5.480**
交 互 作 用				
A * B	292.59	3	97.53	15.12**
A * C	61.98	5	12.40	1.921
B * C	85.28	15	5.686	0.881
誤 差	96.79	15	6.453	

る。

- ② 土性の違いによる差は高 pF 値の場合に有意に認められ、pF 3.0 以上、pF 4.0 以上の間隙量について、

$$LiC > CL$$

であった。

- ③ サンプルング時期の違いの影響については団粒の場合と同様に検出できなかった。

以上の結果から牧草を栽培することによる間隙構造への影響は、全間隙量の減少と小間隙の増加として表れるように思われる。これをより明確にするために下記の分析を行った。

3 間隙量の変化に対する牧草栽培の影響

間隙を粗大間隙 (pF 0~1.8 に相当する間隙)、中間隙 (pF 1.8~3.0)、小間隙 (pF 3.0~4.0)、および微小間隙 (pF 4.0 以上) の 4 つに区分し、それぞれの量 (体積%) を Table-13~16 に示した。

これらを用いて同様の分析を行ったが、煩雑さをさけるために分析表を示すことは避け、結果のみを以下に述べる。

Table-12 間隙率に対する牧草栽培の影響

pF	比 較 の 結 果
pF0.	アシ区 ≧ 牧草区
pF1.8	牧草区 ≧ アシ区
pF3.0	牧草区 ≧ アシ区
pF4.0	牧草区 ≧ アシ区

- ① 牧草を栽培した結果、粗大間隙量と微小間隙量において極めて有意な差が認められ、

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{粗大間隙: 芦区} \gg \text{牧草区} \\ \text{微小間隙: 牧草区} \gg \text{芦区} \end{array} \right.$$

であった。なお中間隙量と小間隙量においては、牧草区の方が高い傾向が認められるものの有意な差は検出できなかった。

- ② 土性の違いによる差は微小間隙量において有意な差が認められ、

$$LiC > CL$$

であった。したがって前節において明らかにした高 pF 値 (低水分域) における土壌間の差異は微小間隙量の違いによるものであると考えることができ

Table-13 粗大間隙量 (pF0.~1.8) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	LiC	7.41	4.59	2.91	3.89	4.36	11.12
	CL	11.10	4.08	6.46	8.35	6.16	8.81
ア シ	LiC	21.61	17.80	13.98	16.92	18.49	21.39
	CL	18.50	13.51	12.83	24.10	30.24	15.79

Table-14 中間隙量 (pF1.8~3.0) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	LiC	5.40	7.00	5.45	5.70	5.10	6.05
	CL	5.05	7.76	6.63	5.66	6.06	6.25
ア シ	LiC	4.21	5.92	5.36	4.69	5.90	6.25
	CL	5.25	9.07	7.80	5.85	5.70	4.09

Table-15 小間隙量 (pF3.0~4.0) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	LiC	8.45	9.10	8.25	9.10	8.15	9.10
	CL	10.00	9.20	9.80	8.79	9.00	9.70
ア シ	LiC	9.05	6.08	8.69	9.91	9.20	7.85
	CL	8.86	9.90	9.10	8.35	6.85	7.26

Table-16 微小間隙量 (pF4.0~) (%)

時 間		1	2	3	4	5	6
牧 草	LiC	35.09	39.37	42.99	36.72	40.32	34.32
	CL	31.83	34.90	36.61	35.54	33.55	34.96
ア シ	LiC	30.64	32.51	35.72	32.85	31.29	31.83
	CL	28.60	32.07	35.02	26.48	27.24	31.19

る。

- ③ サンプルング時期の違いの影響についてはこれまでと同様に検出できなかった。

以上から、牧草を栽培することによって土壌の間隙は pF 1.8 以下に相当する粗大な部分 (非毛管間隙) が減少し、pF 4.0 以上に相当する微小な部分が増加するという形で変化するという結果が得られた。またこの傾向は細粒 (粘質) な土壌の方により大きく表れることが認められた。

V ま と め

本研究は、干拓地土壌の営農による熟畑化の土木工学的な指標を得るために、中海干拓地安来地区において粗整地以後10年程度放置されて芦や雑草の繁茂している圃

場 (芦区) と牧草を3年間栽培している圃場 (牧草地) を対象とし、作土層にあたる深さ20cm程度までの表土の構造の違いを明らかにしようとしたものである。

このために団粒 (Ped) および間隙の違いに着目し、牧草区と芦区に土性が等しくかつ位置の近接した測点を設けてこれらの項目を実測した。

この結果は以下のとおりであった。

- ① 牧草栽培による土壌団粒の構造の変化は細粒化という形で表された。具体的には、直径 25~10mm の粗大な土塊が減少し、5mm 以下の微細な団粒が増加する結果となった。

- ② 牧草栽培による土壌の間隙の変化は、その総量が減少し、具体的には、粗大な間隙 (pF 1.8~0) の減少と微小な間隙 (pF 4.0 以上) の増加という形

で表れた。

- ③ 上記の傾向は細粒（粘質）な土壌の方により顕著に表れた。

以上のことから、一般に干拓地土壌の営農による熟畑化については、まずその構造の細粒化を指標とすることができ、ある特定の大きさの団粒の減少および増加として定量化できることが明らかになったといえよう。またこれと対応して土壌の間隙の質的な変化も指標とすることができ、ある特定の大きさの間隙の減少と増加として定量化できることが明らかになったといえる。

問題点として以下のことが指摘できる。

- ① 本調査研究で採用した団粒径そのもの、特に粗大団粒のそれは定量的な指標として特別の意味を持つものではなく、団粒を粗大から微小までのいくつかのフラクションに区分するために採用したふるい目の大きさであることに注意する必要がある。したがってどのような団粒径が指標として適当であるかについては今後解明しなければならない。
- ② 現地における表土（作土層）の構造をそのまま評価するために空気中において団粒のふるい分け（空中篩別）を行ったが、今後は団粒の質的な差についても考慮し、このために水中篩別による耐水性団粒による検討やスレーキング試験などによる団粒の耐水性そのものによる検討を行う必要がある。
- ③ 遠心法によって低 pF 値（多水分域）の場合の

水分量の測定を行ったのは高 pF 値（低水分域）と同一の測定方法を用いることによる結果の連続性、安定性を重視したためであるが、試料の圧縮による影響の可能性があり、よって今後土柱法や吸引法を併用して検討する必要がある。

謝 辞

本調査研究は中海干拓地区内圃場整備研究委員会の調査の一環として行ったものである。実施にあたって多大の御尽力を頂いた中海干拓事務所の各位に御礼申し上げるとともに、卒業生、専攻生諸君の御協力に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 竹中 肇・江崎 要：農土論集，43：12-18，1973.
- 2) 江崎 要：農土論集，44：34-42，1973.
- 3) 江崎 要：農土論集，44：43-48，1973.
- 4) 江崎 要・竹中 肇：農土論集，45：6-11，1973.
- 5) 江崎 要・竹中 肇：農土論集，45：12-17，1973.
- 6) 長堀金蔵・佐藤晃一：農土論集，54：1-5，1974.
- 7) 長堀金蔵・佐藤晃一：農土論集，55：9-14，1973.
- 8) 竹中 肇・江崎 要：土と基礎，24-2：19-26，1976.
- 9) 神尾 彪：農土論集，89：7-15，1980.