

## 牧草栽培による干拓地の土壌構造の変化 (Ⅱ)

——安来地区の事例——

福桜 盛一\*・今尾 昭夫\*・木原 康孝\*

Change of Soil Structure in Drained Area by Grass Culture (II)

——Study Case in YASUGI Resion——

Shigekazu FUKUSAKURA, Akio IMAO and Yasutaka KIHARA

### Synopsis

Following the our previous report, this time also, 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) In the case of continuation of grass culture, namely case A, soil peds were restructured and coarse peds (10 mm or more) increased. On the other hand, in case of soil left as it is, case B, it was progressing to break a clod into fine pineces.

2) The above mentioned tendency was more obvious in the case of wet seave method, i. e., water resistance aggregates were formed in case A, otherwise, in case B, a clod was broken to fine grains of diameter less than 1 mm.

3) In case of A, a clod was very stable to slaking and crumbled scarcely in water, but in case of B, a clod broke down easily.

4) By grass culture, coarce pores (corresponding pF 1.8 or less) decreased, while available pores (pF 1.8~3.0) and fine pores (pF 4.0 or more) increased.

### 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に対応するために山麓傾斜地における農地造成と共に大規模な干拓が進められて来たが、これらの新規造成農地の土壌はそのままでは農耕に適さず、土壌改良を必要とするものが多い。

一方、このような新しい干拓地土壌が人為的あるいは自然的働きかけによって農耕に適した土壌に変化する過程、いわゆる熟畑化については、土木工学的には必ずしも明らかにされているとはいえず、その乾燥過程につい

ていくつかの知見が得られているのみである。<sup>1)-9)</sup>

我々は、以上の観点から干拓地土壌の熟畑化に関する要因として農作業すなわち作物の栽培を想定し、種々の管理作業や作物の根の影響による土壌構造<sup>10)</sup>の変化を現地調査し、その結果について先に報告したが、その後も牧草栽培による土壌構造の変化がより顕著に現れる細粒土(粘土ローム:CL)の圃場において調査を継続し、いくつかの知見を得たので報告する。

### II 方法

#### 1 試験地の概要

\* 農村工学講座

対象とした試験地は中海干拓地安来地区内の圃場である。この地区は昭和51年3月の干陸から10年以上が経過しており、この間、水切工・粗整地・圃場排水工を経て暗渠排水工が昭和59年度に完了している。また干拓地内においては中海干拓地区内農地整備研究委員会と中海干拓事務所によって経年的に定点調査が行われ、土壤の乾燥過程が報告されている<sup>11)-13)</sup>。この結果は測定項目と測定地点によって一様ではないが、表層 30 cm 程度についてみると粗整地～圃場排水工の時期に相当する干陸後4年程度でほぼ安定し、乾燥密度は  $0.7\sim 0.9\text{ g/cm}^3$ 、含水比は60%以下、地耐力は  $4\sim 8\text{ kg/cm}^2$ 、pH は3程度、沈下量は  $15\sim 30\text{ cm}$  となっている。よってこのことから圃場の乾燥過程は現在ではほぼ終了しているものと考えてよいであろう。これらの圃場は上述の工事を行ったままで放置されていたため、最初の数年間は芦が密生していたが、近年は表層の乾燥に伴っていわゆる雑草（セイタカアワダチソウ、ススキ等<sup>14)</sup>）が発生しつつある。

一方、昭和58年11月15日前後から一部の圃区（No.15～19）が安来市酪農農業協同組合によって牧草畑として試用され、ライムの散布による土壤改良を行った後イタリアンライグラス、オーチャードグラス、レッドクローバーの3種混播と施肥がなされた。現在はこれらにアルファルファ、ケンタッキーライグラス等が追播されている。Fig-1 に調査地の概要を示した。

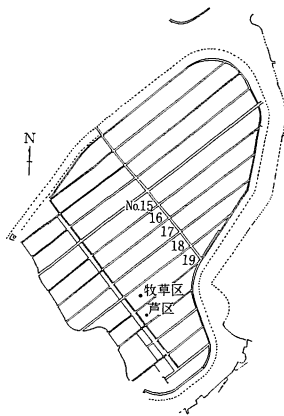


Fig-1 調査地の概要と測点

## 2 調査の方法

Photo-1, 2 に示したように、現地圃場を実際に見てみると、それまでは同一条件であったにもかかわらず、牧草の栽培によって作土層の土壤構造が放置されてきた地区のそれと比較して明らかに良好なものに変化していることがわかる。

このことを工学的な立場から定量化するために、牧草

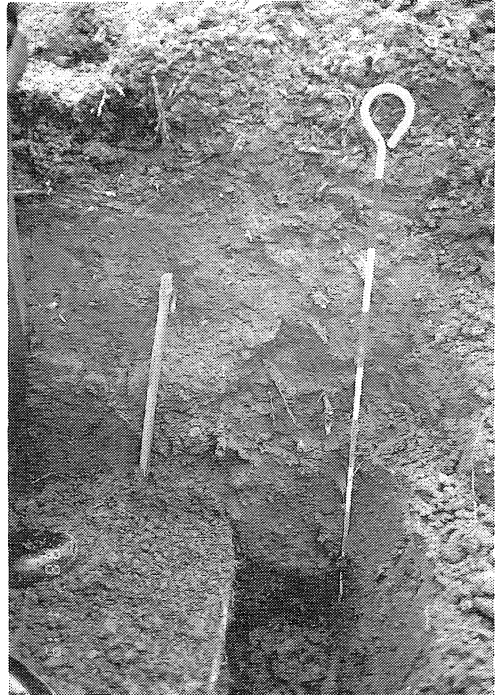


写真-1 牧草区土壤断面



写真-2 芦区土壤断面

栽培地区（以下〔牧草区〕と称する）と放置地区（以下〔芦区〕と称する）において近接しかつ同一土性（細粒土）の測点を設け、ここから試料を採取して比較検討することとした。

対象とすべき土層の深さについて検討した結果は次のとおりである。Table-1 に昭和59年11月における各圃区内の牧草の根の平均長さを示した。

Table-1 牧草の根の深さ

圃場 No.	根の深さ (cm)
15	20
16	25
17	25
19	18

さらに耕耘などの農作業の対象も殆どこの程度までであるので、牧草圃場の根群域の深さすなわち作土層はほぼ 20 cm であると考えることができる。一方前述の乾燥過程に関する報告を総合すると、芦区において亜角塊状～屑粒状という形で土壌化（細粒化）しているのはたかだか 30 cm 程度までと考えられ、これらのことから熟畑化・構造化の進行に対する牧草栽培の効果を把握するためにはほぼ 20 cm 程度までの表層を対象とすれば充分であると判断した。また圃場中心線に沿って 50 m 毎に表層（深さ 10 cm から採土）の土性を国際土壌学会法に準じて調べ、前述の諸条件を考慮してそれぞれの測点を定めた。これら 2 点の土性は共に CL である。Fig-2 にその粒径加積曲線を示し、またその位置を Fig-1 にあわせて示した。

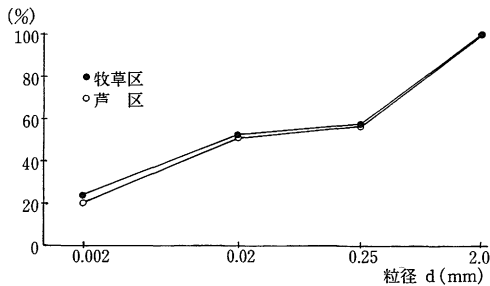


Fig-2 測点表土の粒径加積曲線

また調査は昭和62年6月から11月までの毎月一回、中旬の晴天の日を選び、これらの測点の深さ 10 cm のところから現場の構造を壊さないように注意してサンプリングし、下記の項目について測定を行った。

① 現地状態の土層構造（乾式団粒分析）

現地状態における土層の構造の違いを定量化するために、換気の良い室内においてほぼ恒量になるまで7

～10日間乾燥した風乾試料約 50 g を用いて空中シ別する。すなわち振とう機によって 25, 10, 5, 2 mm の4種のふるいを使用して一定時間振とう・ふるい分けした後、さらに各ふるい毎に Ped（土塊、団粒）間をつなぐ細根を細心の注意をはらって切断して手でふるい分けし、各ふるい上の残留割合をその大きさの団粒率とした。なお振とう時間（30秒）は振動のエネルギーによって Ped 自体が破壊されることのないよう事前に充分な予備実験を行って決定した。

② Ped の安定性

前述のように芦区の表土も既に土壌化（細粒化）が進んでいるが、一般的な意味での熟畑化とはいえないと思われる。すなわち形成されている Ped の質的な違いに着目すべきであると考え、このために以下の試験を行った。

a. 湿式団粒分析

安定な Ped, すなわち耐水性団粒の量の違いを見るために、Yoder 式の分析装置を用い、約 50 g の試料を同様の組ふるいを用いて1時間水中シ別し、それぞれの団粒率を求めた。また試験前の試料の飽和には十分に注意し、1時間真空吸引した後減圧条件下で静かに給水して飽和させた。

b. スレーキング（沸化）試験

急激な吸水によって Ped が破壊されることをスレーキング（沸化）といい、Ped の安定性の違いを示すもう一つの性質である。このために、風乾状態の大きい土塊（25 mm ふるいに乗る大きさ、およそ 30 g）を水中の上記組ふるい上に静置し、5日後に各ふるい上の残留量を秤量してこれからその通過率を求め、これをその網目からの崩落率とした。すなわち  $n$  番目のふるいの崩落率 ( $X_n$ ) は次式によって求められる。

$$X_n = 100 - \sum a_i (\%)$$

ここで ( $a_i : i = 1, 2, \dots, n$ ) は各ふるいの残留率である。この値は土壌構造の弱さを示す指標であるといえる。

c. 水中安定性試験

Ped の水中における安定性（耐水性）、すなわち Ped を結合しているセメント物質の耐水性の違いを見るために行う。したがって、これによって牧草栽培の有無による Ped の質的な違いがより明確に把握できるものと思われる。試験には上記と同じ程度の大きさの土塊を用いるが、急激な吸水は行わず、湿式団粒分析の場合に準じて充分飽和させた後、同様に崩落率を求めた。

③ 間隙の分布

Table-2 乾式団粒分析による団粒率（%）〔牧草区〕

フラクシ ョン mm	採 取 時 期					
	6 月	7	8	9	10	11
25以上	—	—	—	44.3	37.9	40.6
25~10	38.6	35.5	58.6	31.3	15.4	27.5
10~ 5	15.0	18.2	21.0	11.7	27.9	17.1
5~ 2	19.3	27.7	11.3	8.4	12.2	10.1
2~ 1	14.4	12.4	6.5	3.9	2.8	4.2
1以下	12.8	6.3	2.6	0.4	3.8	0.4

土壌の間隙は土壤構造のネガであると考えられることから、土壤構造の違いは間隙分布の違いとして表れるものと思われるため、この面から牧草栽培の影響を把握しようとするものである。このために土壤水分のポテンシャルエネルギーと間隙の大きさの関係を利用し、以下の試験によって間隙の量を求めた。なおポテンシャルエネルギー（cmH<sub>2</sub>O 単位）はふつう対数値で表し、pF 値と呼ばれる。また試料は7月から100 cc サンプラーを用いて不攪乱状態で採取した。

a. 土柱法（砂柱法）

pF 1.8 における測定を行う。この値はいわゆる有効水分量の上限と考えられ、粗大な間隙の量に対応する。方法は次のとおりである。すなわち直径 13 cm のアクリルパイプに豊浦標準砂（粒径 0.1~0.3 mm）を充分な水を加えて密に充填し、この上に飽和した試料を乗せて所定の水位差（試料中心から 63 cm）を与え、24時間静置後の水分を求める。

b. 遠心法

pF 3.0, 4.0 における測定を遠心法によって行った。すなわち飽和した試料に所定の遠心力を1時間加え、平衡時の水分を求めるものである。これらはそれぞれ有効水分量、難利用水分量の下限と考えてよい値であって、有効間隙量、微細間隙量に対応する。

III 結果と考察

1 現地土壤構造の変化

Table-2 に乾式団粒分析の結果の一例を示した。

これからわかるように 25 mm 以上の部分のバラツキが極めて大きい。これはサンプリング時の水分が多いと風乾する時に再結合するためではないかと推定されたので、以下においてはこれを 10~25 mm の部分と合わせて考察することとし、Fig-3 に結果を示した。

ここで縦軸は団粒率（%）、横軸は団粒の大きさの範囲（フラクシ ョン）である。これから明らかなように、牧

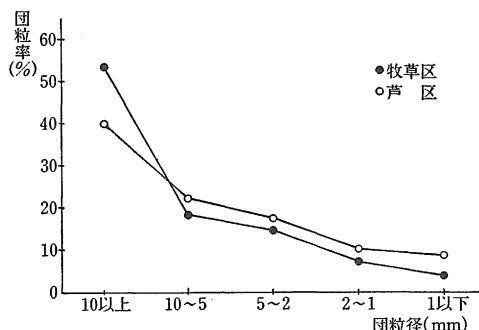


Fig-3 乾式団粒分析の結果

草区と芦区の間には団粒量に差があり、かつフラクシ ョンによってその傾向に違いが認められる。この点を明確にするために次の分析を行った。

Table-3 は上記の結果に対する分散分析表である。これから明らかなように牧草栽培の有無とフラクシ ョンの違いの間の交互作用が有意である。すなわち団粒のフラクシ ョンによって牧草区と芦区の間で団粒量に違いがあるといえ、これを解明するために最小有意差を用いる q 検定を行った。結果は次のとおりである。

- ① 10 mm 以上の Ped は 1% の有意水準で牧草区の方が多く〔牧草区 ≧ 芦区〕であった。
- ② これ以外のフラクシ ョンでは有意差が認められないが、芦区の方が多い傾向がある。

この結果は前報とは異なっているが、これは芦区では土壤構造の細粒化（土壌化）が進行しているのに対し、牧草区では根の発達による再構造化、すなわち根の作用によるセメント物質や根そのものによる粗団粒の結合（二次、三次団粒の生成）が進んでいるためであると考えられる。

2 Ped の安定性の変化

a 耐水性団粒

Fig-4 に湿式団粒分析の結果を示した。Fig-3 と同様に縦軸は団粒率（%）、横軸はフラクシ ョンである。

Table-3 乾式団粒分析の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	F
全体	18835.32	59		
主効果				
植生 A	5.19	1	5.19	—
時期 B	24.13	5	4.83	—
フラクシオン C	14240.0	4	3560.0	62.25**
交互作用				
A * B	24.06	5	4.83	—
A * C	962.16	4	240.54	4.21*
B * C	2436.02	20	121.80	2.12
誤差	1143.78	20	57.19	

この場合も同様に 25 mm 以上のフラクシオンを 10~25 mm の部分と合わせて示してある。この図から明らかのように、耐水性団粒の場合においても牧草区と芦区の間には差があり、フラクシオンによってその傾向に違いが認められる。乾式団粒分析と同様に分散分析を行った結果、耐水性団粒の場合も牧草栽培の有無とフラクシオンの間の交互作用が極めて有意であって、団粒の大きさによって牧草区と芦区の間には違いがあると言える。また最小有意差による検定を行った結果は次のとおりである。

- ① 10 mm 以上の Ped の差は極めて有意であり（有意水準 1%）〔牧草区>>芦区〕であった。
- ② 1 mm 以下の Ped の場合も極めて有意であり、〔芦区>>牧草区〕であった。
- ③ これ以外のフラクシオンでは有意差が認められない。

以上の結果から、牧草区に形成された土壌の構造は耐水性であって、非常に安定な“団粒”と呼ぶべき Ped となっているのに対し、芦区の Ped 不安定であって水浸によって 1 mm 以下のものに分解されているものと考えられる。

b スレーキング試験

Fig-5 にスレーキング試験の結果を示した。横軸はふるいの網目の大きさ (mm)、縦軸はその崩落率(%)である。

これから明らかのように、どの網目においても芦区の土塊の崩落率が牧草区より大きい。これまでと同様に分散分析を行った結果は次の通りであった。すなわち、

- ① 崩落率の差は極めて有意であって、ふるいの目の大きさによらず〔芦区>>牧草区〕である。

よって芦区の土壌構造が急激な水浸に対して弱く、降雨等によって泥状になる可能性が高いのに対し、牧草を

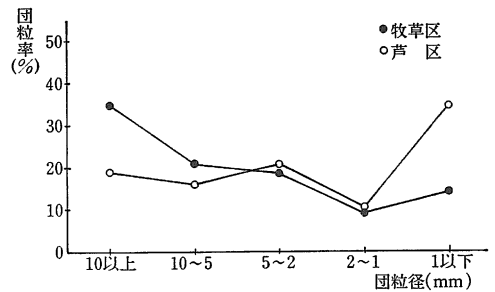


Fig-4 湿式団粒分析の結果

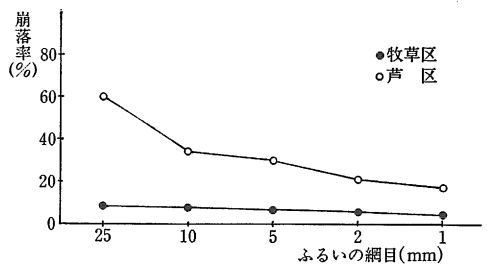


Fig-5 スレーキング試験の結果

栽培した圃場の土壌構造は耐水性が高く、容易には破壊されないことがわかる。

c 水中安定性試験

Fig-6 に水中安定性試験の結果を示した。上記と同様に横軸はふるいの網目 (mm)、縦軸はその崩落率(%)である。

Fig-6 から明らかのように、この場合も芦区の土塊の崩落率はどの網目においても牧草区より大きい。同様に分散分析を行った結果も同様であった。すなわち、

- ① ふるい目 25 mm から 2 mm までの崩落率の差

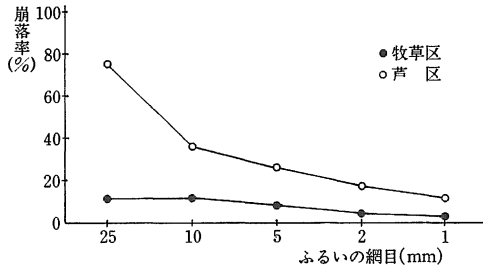


Fig-6 水中安定試験の結果

は極めて有意であって〔芦区>牧草区〕である。

② ふるい目 1 mm の場合も有意（5%水準）であり，〔芦区>牧草区〕である。

すなわち牧草区の Ped の結合は非常に耐水性の強いものであって水浸によって殆ど破壊されないのに対し，芦区の場合は 25 mm 以上の大きい土塊が水中で極めて容易に崩・分解し，この構造の結合が非常に弱いものであることを示している。

### 3 間隙分布の変化

Fig-7 に pF-水分曲線を示した。縦軸は含水比(%), 横軸は pF 値である。

ここで含水比は土壌粒子（骨格）の質量に対する土壌水の質量の割合であって，異なった土壌間の間隙量を比較する指標としては不適當である。したがってこれを変形して体積含水率とし，土壌の一定体積に対する土壌水の体積の割合で表現する必要がある。体積含水率  $\theta$  は含水比  $w$  と仮比重  $\gamma_d$  から次式によって求められる。

$$\theta = w \cdot \gamma_d$$

本報ではこの体積含水率を間隙の量を表すものであることを強調する意味で，その pF 値に対応する〔間隙率〕と呼ぶこととした。

一方 pF 値を用いて間隙を分類することができる。よって pF 1.8 以下（粗大間隙），pF 1.8~3.0（有効間隙），

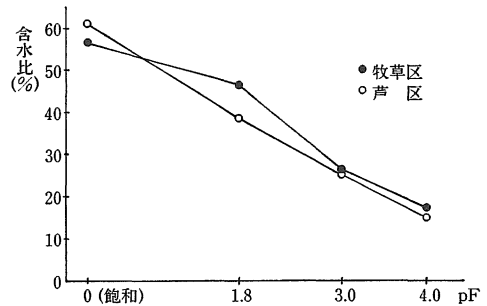


Fig-7 pF-水分曲線

pF 3.0~4.0（小間隙），pF 4.0 以上（微小間隙）のように区分し，これらに相当する間隙の量すなわち上述の〔間隙率〕を求め Table-4 に示した。

これに対してもこれまでと同様に分散分析を行い，次の結果を得た。すなわち，

- ① pF1.8 以下の粗大間隙量の差は極めて有意であって〔芦区>牧草区〕である。
- ② pF1.8~3.0 の有効間隙量も極めて有意な差を示し〔牧草区>芦区〕であった。
- ③ pF3.0~4.0 の小間隙には有意差は認められなかった。
- ④ pF4.0 以上の微小間隙量の差も 5%水準で有意であって〔牧草区>芦区〕である。

以上の分析結果から，芦区には保水に対して無効であるとされている粗大な間隙が多いのに対し，牧草区では営農行為によって粗大な間隙が減少して有効間隙以下の小さな間隙が増加する，いわゆる土壌の物理性の改善が進んでいることがわかる。

Table-4 pF 値と間隙率（間隙量）（%）

採取時期		7 月	8	9	10	11
牧草区	粗大間隙	15.1	11.2	12.4	9.4	3.8
	有効間隙	17.7	15.8	19.2	20.5	24.6
	小間隙	9.8	9.0	9.2	7.1	8.5
	微小間隙	16.8	15.2	18.7	17.4	17.9
芦区	粗大間隙	22.5	26.3	19.9	22.7	20.6
	有効間隙	13.1	9.2	13.5	12.6	16.7
	小間隙	10.1	9.4	7.3	8.7	9.6
	微小間隙	14.3	13.3	15.7	13.0	14.4

## IV ま と め

本報は、干拓地土壌の営農による熟化の土木工学的な指標を得るために、昭和51年に干陸された中海干拓地安来地区において、干陸以後10年以上放置されて芦や雑草の繁茂している圃場（芦区）と昭和58年11月から牧草を栽培している圃場（牧草区）における作土層にあたる深さ 20 cm 程度までの表土を対象とし、農作業すなわち種々の管理作業や作物の根の影響による土壌の構造の変化を明らかにしようとする調査研究の結果を、前報に続いて明らかにしようとするものである。

このために団粒（Ped）および間隙に着目し、牧草区と芦区に土性が等しく（CL）かつ位置の近接した測点を設け、現地の土壌構造、Ped の安定性、間隙の分布の各項目について調査を行った。

得られた結果は以下のとおりである。

- ① 風乾状態でふるい分けを行った結果、芦区の表層土壌が細粒化に向かっているのに対し、牧草区の土壌には小さい団粒が互いにしっかりと再結合した 10 mm 以上の粗大な土塊が形成されていることが認められた。
- ② この傾向は水中におけるふるい分けではもっと顕著であって、牧草区の構造が耐水性の団粒と呼ぶうる安定なものであるのに対して、芦区の場合は 1mm 以下の微細な粒子に分解した。
- ③ 牧草区の土塊はスレーキングに対しても極めて安定で殆ど崩落しないのに対し、芦区の土塊は容易に崩壊した。またその耐水性にも顕著な差がみられ、牧草区の土壌構造は水中に静置しても殆ど壊れないのに対し、芦区のそれは容易に崩壊した。
- ④ 牧草栽培による土壌の間隙の変化は、粗大な間隙（ $pF1.8$  以下）の減少と有効間隙（ $pF1.8\sim 3.0$ ）及び微小間隙（ $pF4.0$  以上）の増加という形で表れた。

すなわち特別な人為的作用が加えられていない芦区の表層土壌は歪角塊状ないし屑粒状であって、時間と共に細粒化に向かっているように思われるのに対し、牧草栽培による土壌構造の変化は、さらに進んで小さい団粒が互いにしっかりと再結合した 10 mm 以上の粗大な土塊の形成という形で表れており、かつこれらは極めて安定な耐水性の構造となっている。またこのことはブロック間の粗大な間隙の減少と団粒内の毛管間隙の増加としても表れているといえる。

以上のことから、一般に干拓地土壌の営農による熟化については、まずその構造の安定化（耐水性の増加）を指標とすることができ、水中におけるふるい分け、あるいは特定の大きさの団粒（土塊）のスレーキングの程

度、または水中崩壊の程度の違いとして定量化できることが明らかになったといえよう。またこれに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、非毛管間隙の減少と毛管間隙の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。

さらに牧草の栽培が干拓地土壌を熟化する方法として非常に有効であることが認められたと考えられる。コスト、工法、活着率等の問題はあがあるが、早期に営農を開始出来るようにするための方法として検討してみる価値があるものと思われる。

問題点として以下のことが指摘できる。

- ① スレーキング試験や水中崩壊試験の方法については確立されたものはなく、今後検討を行う必要がある。また  $pF$  値の測定についても今後吸引法を含めて妥当な方法を検討する必要がある。
- ② このような調査は営農開始の時点から経年的に行うのが理想であるが、諸般の事情により実施出来なかった。よって今後ポット等による経時変化の観測を行う必要があろう。またより深い土層に対する影響も明らかにしていく必要があると考えられる。

## 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。委員長の岡山大学長堀金造教授を始め委員各位、及び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皆様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。

## 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) 長堀金造, 佐藤晃一: 農土論集, 54: 1-5, 1974.
- 7) 長堀金造, 佐藤晃一: 農土論集, 55: 9-14, 1975.
- 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.
- 10) 福桜盛一, 今尾昭夫: 島大農研報, 22: 106-114, 1988.
- 11) 江崎 要, 足立忠司, 竹中 肇, 石川重雄: 中海干拓地区内農地整備研究委員会中間報告書, 農土学会, 同委員会, 5-46, 1984.
- 12) 中海干拓地区内農地整備研究委員会: 昭和58年度同委員会報告書, 農業土木学会, 5-11, 1984.
- 13) 同上: 昭和59年度同委員会報告書, 農土学会, 1-9, 1985.
- 14) 同上: 昭和61年度同委員会報告書, 農土学会, 29-53, 1987.