

笠岡湾干拓ヘドロ層の経年にもなう物理性の変化

長堀金造・高橋 強・天谷孝夫

(農地整備学研究室)

Received July 1, 1974

The Yearly Changes of Physical Properties of the Sea Bottom Mud Soil in KASAOKA Bay Polder

Kinzo NAGAHORI, Tsuyoshi TAKAHASHI and Takao AMAYA

(Laboratory of Land Reclamation)

The yearly changes of physical properties of the sea bottom mud soil in KASAOKA Bay Polder three to five years after land draining is discussed using the experimental data obtained by the lysimeter test.

The results are as follows :

(1) The yearly changes of dry density and porosity after land draining are shown in Fig. 1. The dry density, which was $0.5-0.7 \text{ g/cm}^3$ before land draining, increased in 1.0 g/cm^3 in $0-10 \text{ cm}$ layer and 0.9 g/cm^3 in $10-20 \text{ cm}$ layer after three years. After five years, it increased in 1.2 g/cm^3 and 1.05 g/cm^3 respectively, and it increased to some extent in the layer 20 cm below the soil surface, while the porosity decreased by $12-13 \%$ in $0-10 \text{ cm}$ layer and about 10% in $10-20 \text{ cm}$ layer.

(2) Liquid limit, plastic limit and shrinkage limit in Table 2 have all declined with time by the effect of the repeated process of drying and wetting. Also from the plasticity chart of Fig. 2, showing the consistency characteristics of the soil five years after land draining, it was found that the surface soil layer ($0-20 \text{ cm}$) has been dried sufficiently.

(3) In Fig. 3, which indicates the pF-moisture content relation after four years, the curves of $0-10 \text{ cm}$ and $10-20 \text{ cm}$ layers are the same shape and are shifted those of the dry side as compared with the original soil. From the above results, it is concluded that the surface soil layer ($0-20 \text{ cm}$) has been dried sufficiently and changed to an arable soil layer.

(4) The yearly changes of corn bearing index are indicated in Fig. 4. The index of surface soil layer ($0-20 \text{ cm}$) has increased from $2-5 \text{ kg/cm}^2$ to $4-7 \text{ kg/cm}^2$ during four years. Therefore it was made clear that large-sized farm machines can sufficiently be used.

緒

言

笠岡湾干拓地は、わが国として初めて干陸直後から畑地としての利用が計画されているが、この場合重要な課題は海底に厚く堆積しているヘドロを、干陸後できる限り短期間のうちに機械化営農が展開されうるような、しかも生産性の高い立派な農地に造成することであろう。そのためには、普通畑と同様な熟化した作土をできるだけ深く形成させることと、除塩対策が十分講じられていて、しかも機械化がいつでも行なえるような地耐力を保障すること等が必要で

ある。その早期実現をはかる技術的手段としては、高含水状態の干拓地の排水を良好にさせることが肝要と考え、海底ヘドロを充てんしたモデルライシメータを用いて、昭和44年度より一連の暗キヨ排水試験を行ってきた。また昭和48年度からは畑作物の栽培試験を実施している。

この間ヘドロは乾湿の履歴をうけることにより、キレッツの発生と深化、土壤中の過剰水分の排除、塩分濃度の低下等にもなう作土化が進行し、土壌の物理性が大きく変化した。

これらの試験結果の一部はすでに報告したとおりであるが¹⁾、本報告はとくに昭和47～49年度の試験結果をもとに、干陸予定地ヘドロの経年にもなう物理性の変化について検討と考察を加え若干の知見を得たので報告するものである。

試 験 方 法

供試土壌が充てんされたライシメータは、幅4m、長さ10m、深さ1.5mの鉄筋コンクリート製6連の構造で、土壌表面下30、40、50、70cmの各深さに暗キヨを埋設した5連と、無暗キヨ区から成っている。各種試験の経過を述べると次のようである。

まず昭和44年5月にヘドロの充てんと暗キヨの埋設を行ない、以後直ちにタン水、代かき、整地を行なって約2か月間タン水状態にしておき、昭和44年7月から排水を開始した。その後47年度中まで耕うん、代かき、タン水、散水、排水等をくり返し、暗キヨ排水機能調査を中心に試験が続けられた。そして土壌中の塩分濃度が十分低下した48年度からは飼料作物の栽培試験が行なわれている。

このような排水、乾燥作用やそれにもなう塩分濃度の低下はヘドロ層の物理性に大きな影響を与えると考えられるので、昭和47～49年の3か年にわたる経年変化を次に示す各項目について調査した。

i) 三相分布……………100ccの採土円筒を用いて、地表面から10cm毎に50cm深まで、計5層にわたってサンプリングし、全ライシメータにおける三相分布、含水比、乾燥密度の変化を測定した。

ii) コンシステンシー……………原則として地表面から10cm毎に5層にわたって採土し、生土（採土したままの含水状態）と風乾土（一度風乾した後粉碎し調整した状態）における液性限界、塑性限界、収縮限界の各値の変化を測定した。

iii) pF-含水比関係……………前と同様に5層から100ccの採土円筒でサンプリングした試料を用いて、吸引法と遠心法によりpF値と含水比との関係を測定した。

iv) 地耐力……………土壌物理性の変化にもなう地耐力の変化を先端角30°、底面積6.45cm²のコーンペネトロメータにより測定した。

なお、この笠岡湾干拓ヘドロの土性はlight clay（国際土壌学会法）、真比重は2.689であることが知られている¹⁾。

試験結果および考察

(1) 三 相 分 布

ライシメータの排水開始後（以下便宜上干陸後と称する）における乾燥密度と間ゲキ率の深さ方向の変動について、干陸初年度（昭和44年）の値を参考に、3年後（昭和47年）と5年後（昭和49年）の変化を図示するとFig. 1のとおりである。

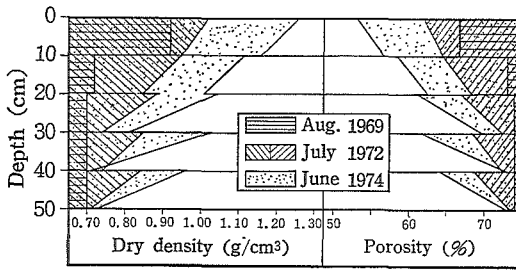


Fig. 1. Yearly changes of dry density and porosity after land draining (1969)

すなわち自然状態におけるヘドロの乾燥密度は $0.5 \sim 0.7 \text{ g/cm}^3$ であったが、干陸後 1 週間では表層 10 cm は $0.9 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ となり、1 か月後には地表下 20 cm までの層にかなりの増加がみられた。しかしその後はほとんど変化がなく、3 年後においても 20 cm 以深の層では 0.8 g/cm^3 前後であり、とくに 40 cm 以深の層では乾燥密度の増加はみられない。これに対して飼料作物の栽培により乾燥状態が強化された 4 年後

からは次第に深層での増加が進み、5 年後では 20~30 cm 層でも $1.0 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ 、30 cm 以深の層でも 1.0 g/cm^3 前後を示す区も現われた。特徴的なこととしては、同じ深さにおける変動幅の拡大傾向がみられることであり、20 cm 以深の層で比較すると 3 年後で $0.1 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ であったものが、5 年後で $0.2 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ となった。

このような傾向は Fig. 1 の間ゲキ率の変化状況からもうかがえ、干陸初年度において表層 10 cm のみが 65% で 10 cm 以深が 74% 前後と大きかったが、表層から次第に減少し始め、5 年後における深層の変動幅拡大現象は乾燥密度と同様である。これは間ゲキ率中に大きな比重を占める液相率、つまり土壌水分の変動によるものである。すなわち干陸後 3 年までは、30 cm 以深の層では 70~100% の高含水状態で乾燥の進行がおそかったが、乾燥化が強められた 4 年目からは、最大含水比に変化はないが最小含水比は 20 cm 以深で毎年 10% 程度減少する傾向がみられ、乾燥密度の変化とあわせ深部への乾燥が着実に進行し作土化が進んでいることが示された。

このように乾燥密度が増加し、間ゲキ率が減少していく過程で、同じ深さにおける変動幅が拡大していく原因を考察すると、乾燥密度が大で間ゲキ率が小なる状況は、暗キヨ埋設深が深く排水が容易な、さらにかん水量が少なく土壌の乾燥化が進んだ所でみられるが、このことから干拓ヘドロの土層改善における過剰水分の早期排除の重要性がうかがえる。

以上の現象を三相分布の面から検討するため初年度および 3 年後から 5 年後までの変化を示すと Table 1 のとおりである。Table 1 は最も乾燥化の進んだものであり、3 年後と 5 年後の表層 0~20 cm における固相率は 10% 前後も増大し、20 cm 以深の層でも 7~8% の増加を

Table 1. Yearly Changes of three phases distribution

Depth (cm)	The time elapsed after land draining											
	1 week (Aug., 1969)			3 years (July, 1972)			4 years (May, 1973)			5 years (June, 1974)		
	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Vapor phase (%)	S. p. (%)	L. p. (%)	V. p. (%)	S. p. (%)	L. p. (%)	V. p. (%)	S. p. (%)	L. p. (%)	V. p. (%)
0—10	34.2	64.4	1.4	35.4	40.8	23.8	40.1	30.5	29.4	46.8	34.4	18.8
10—20	26.8	72.4	0.8	32.4	61.8	5.8	41.3	46.6	12.1	41.5	38.4	20.1
20—30	26.0	72.8	1.2	31.3	65.9	2.8	31.6	65.2	3.2	38.8	60.0	1.2
30—40	26.0	74.0	0	31.6	68.3	0.1	32.0	64.7	3.3	38.3	61.7	0
40—50	26.0	74.0	0	27.9	71.0	1.1	29.4	70.3	0.3	35.8	63.1	1.1

示した。それにともない液相率ならびに間ゲキ率の減少も全層にわたって進行し、これは干陸後3年間の変化と比較すると顕著なものといえ、ヘドロの作土化の進行に対する乾燥化が重要であることがうかがえる。

(2) コンシステンシー

ライシメータに充てんされたヘドロが、干陸後排水、乾燥作用を受けることにより土壤水分、乾燥密度および三相分布がどのように変化したかをみたが、それにともないヘドロの物理性の受けた変化の程度を明らかにするため、地表面から10 cm 毎に5層の深さから試料を採取して、液性限界、ソ性限界および収縮限界の試験を行なった。干陸後3年以降の結果を干陸前の結果と比較して示せば Table 2 のとおりである。

Table 2. Yearly changes of consistency

The time elapsed after land draining	Depth (cm)	Liquid limit(%)		Plastic limit (%)		Plasticity index (%)		Shrinkage limit (%)	
		Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil	Fresh soil	Air-dried soil
Original soil	—	120.9	75.6	33.3	30.1	87.6	45.5	25.6	23.1
3 years (1972)	0 — 10	62.6	—	27.4	—	35.2	—	20.9	—
	10 — 20	68.8	—	27.4	—	41.4	—	23.5	—
	20 — 30	81.0	—	29.5	—	51.5	—	24.1	—
	30 — 40	101.2	—	30.3	—	70.9	—	26.9	—
	40 — 50	106.7	—	32.1	—	74.6	—	25.4	—
4 years (1973)	0 — 10	60.3	58.5	27.3	26.4	33.0	32.1	22.3	20.4
	20 — 30	92.7	—	29.3	—	63.4	—	23.1	21.6
	40 — 50	95.5	75.1	30.6	29.1	64.4	46.0	29.0	24.6
5 years (1974)	0 — 10	60.1	58.8	28.9	25.8	31.2	33.0	20.4	19.9
	10 — 20	78.6	66.1	28.4	26.4	50.2	39.7	20.6	20.3
	20 — 30	93.4	69.3	29.3	27.7	64.1	41.6	20.5	20.5
	30 — 40	103.3	76.7	30.5	29.3	72.8	47.4	22.0	20.4
	40 — 50	103.1	76.6	30.7	28.4	72.4	48.2	22.9	—

この表から液性限界、ソ性限界、ソ性指数、収縮限界ともいずれも深くなるにしたがって増大していることがわかるが、干陸前の状態と比較してみると、まず液性限界については、表層20 cm までの生土は風乾土の場合よりも小さくなっており、十分に乾燥作用を受けていることがわかるが、30 cm 以深の層では干陸前とあまり変化しておらず、3年後から5年後までの低下は明らかではない。一方ソ性限界も変化は小さいが、3年後の生土で30 cm までは干陸前の風乾土の場合より小さく、以後も徐々に低下する傾向にある。しかしソ性指数は液性限界の影響で30 cm 以深はなお70% 以上を示している。さらに収縮限界については、生土、風乾土とも年次的にかなり低下し、特に5年後の生土は50 cm まで干陸前の風乾土より小さくなり、この結果からは乾燥作用が徐々にではあるが深部におよびつつあるといえよう。

以上のコンシステンシー変化において、CASAGRANDE のソ性図に干陸前と5年後の液性限界とソ性指数をプロットしてみると Fig. 2 のように直線にのり高い相関を示す。そしてすべてA線より上方に、B線の液性限界50% より右方に存在し、試験に供した笠岡湾干拓ヘドロ

は重粘質で高ソ性の土であることが示された。しかし5年後の生土と風乾土の変化から一度乾燥されて吸着水段階の土壤水分が除去されると著しくその物理性が変化し、しかも容易にはもとに戻らないという特性をもっていることが明らかとなった。

(3) pF ～ 含水比の関係

干陸4年後および自然状態のpF～含水比関係をFig. 3に示す。これより5 cm と15 cm はほとんど同じ形をしており、十分乾燥し作土化された結果0～20 cm 層はほぼ同一層と考えることができる。初年度の値は自然状態の土壤を再成型して求めたもので、現地採土のものより低含水比を示しており実際は4年後の45 cm と重なるかより右方の高含水域へ移動するものと考えられる。これより4年後の全体の傾向と比較すると、45 cm では低pF域での水分は減少したが、高pFでの保有水分に変化が少ない形となり、浅くなるに従い同一pF値に対して保持される水分が少なくなる方向へ平行移動するような曲線群を示した。よって干陸4年後においても下層へいくほどヘドロの特性を強く残している結果から、その改善になお努力が必要であろう。

(4) 地耐力

干陸初期におけるヘドロ地盤の地耐力の増大は非常に困難であり、例えば干陸後約50日を経過して深さ10 cm で3 kg/cm² 前後、深さ30 cm でようやく1 kg/cm² 程度にまで増加する状況であった。これに対して干陸3年後においては地耐力増加の程度は非常に早くなり、タン水によりコーン指数が全層で1 kg/cm² 以下に低下しても表層10 cm では排水後1週間でも2～4 kg/cm²、10日で4～8 kg/cm² にまで急激に増加した。これは乾燥とキ裂の発生による蒸発の促進の結果と考えられるが、30 cm 以深の層では依然として1 kg/cm² 以下の軟弱なヘドロ層のままであった。

一方、畑地栽培が行なわれた4年後は、地耐力増加の程度はさらに強化され、30 cm 深で1～2 kg/cm²、それ以深でも大むね1 kg/cm² 強と若干増大傾向を示した。干陸直後ならびに

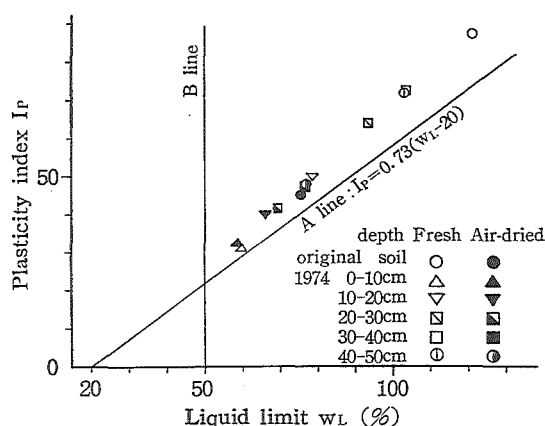


Fig. 2. Plasticity chart of the soil five years after land draining as compared with the original soil

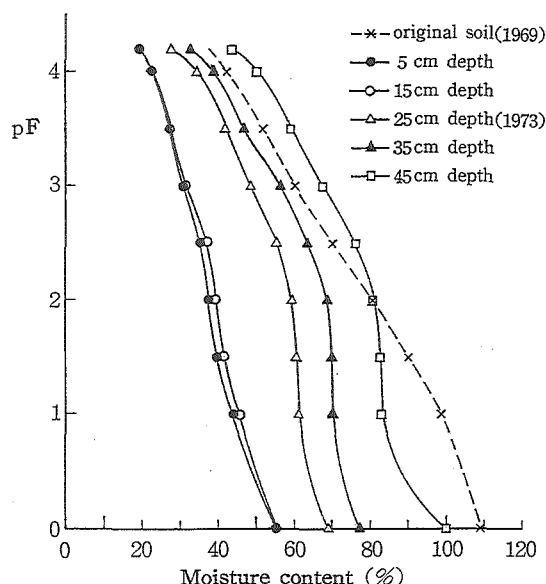


Fig. 3. Comparison of pF-moisture content relations between original soil and soil layer four years after land draining

3年後と4年後における地耐力の深さ方向の変化を Fig. 4 に示す。Fig. 4 は1週間程度乾燥が続いた時の測定結果で、これより経年的に乾燥密度の増加と共に地耐力が増加していく過程が明らかである。

以上の結果より表層部の地耐力はかなり増加したが、20～30 cm 以深ではせいぜい1～2 kg/cm^2 程度と非常に軟弱なままであることがわかる。このことから、表層部分における大型機械の支持は可能であるが、くり返し走行によって土がこね返され下層部分が露出してくると、干陸後3～4年程度を経た時点でも大型機械の走行は困難になり沈下する危険があることを物語っている。

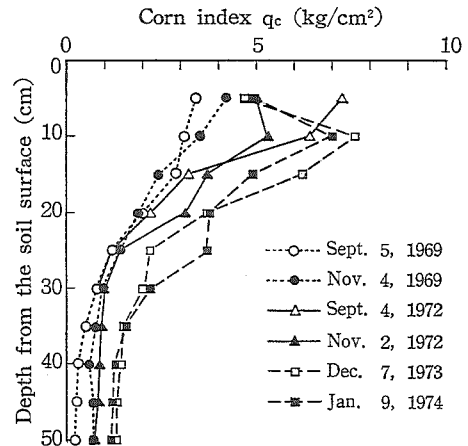


Fig. 4. Yearly changes of corn bearing index after land draining

摘 要

笠岡湾干拓ヘドロの経年にもなう土壤物理性の変化について、干陸後3年目以降の3年間に於ける試験結果をもとに検討を加えた。ここに得た結果を要約すると次のようである。

i) 乾燥密度と間ゲキ率の干陸後の経年変化は Fig. 1 で明らかにしたように、乾燥密度については干陸前 $0.5 \sim 0.7 \text{ g}/\text{cm}^3$ であったものが、干陸後乾燥作用をうけることにより次第に増加し、3年後には $0 \sim 10 \text{ cm}$ で $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ で $0.9 \text{ g}/\text{cm}^3$ まで増加したが、20 cm 以深の層における変化は小さかった。しかし5年後においては3年後より $0 \sim 10 \text{ cm}$ で $1.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ で $1.05 \text{ g}/\text{cm}^3$ にまで増え、20 cm 以深においても大きな値を示す場合が多くなった。また、間ゲキ率については3年後から5年後に、 $0 \sim 10 \text{ cm}$ で $12 \sim 13 \%$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ で 10% 近く減少していることから、作土化が進んでいることがうかがわれる。

ii) ヘドロ層のコンシステンシーは、乾湿のくり返しをうけることにより、液性・ソ性・収縮各限界値とも次第に低下した。そして Fig. 2 のソ性図から、干陸後5年経過すると $0 \sim 10 \text{ cm}$ で生土と風乾土は同じ値で、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ でもその差は小さく十分に風乾作用をうけたことがわかった。この $0 \sim 20 \text{ cm}$ 層の作土化の傾向は $pF \sim$ 含水比関係からもうかがわれる。また 20 cm 以深でも生土と風乾土の差が縮まりつつあることから、作土化の進行が明らかである。

iii) $pF \sim$ 含水比関係において、原土と4年後とを比較すると、表層 20 cm までは十分乾燥し経年的には同一 pF 値を示していることから、作土化されたものと考えられる。またそれ以下の層でも低 pF 領域から次第に脱水が進みつつあるが、なおヘドロ特性の強いことがうかがわれる。

iv) 地耐力については、干陸後3年で表層 $0 \sim 20 \text{ cm}$ は約 $2 \sim 5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ のものが、4年後では約 $4 \sim 7 \text{ kg}/\text{cm}^2$ となり大型機械の走行には十分耐えうることが明らかとなった。なお 20 cm 以下の層でも干陸後4年では約 50% の地耐力の増加を示していることがわかった。

文 献

- 1) 長堀金造・佐藤晃一：岡山大学農学報 (35), 81—87 (1970)