

## 農地の造成・整備による土壌の物理性と微細構造の変化

石 渡 輝 夫

### Changes in Soil Physical Properties and micromorphology due to Farmland Reclamation and Consolidation

Teruo ISHIWATA

Civil Engineering Research Institute, Hokkaido Development Bureau  
 (1-3, Hiragishi, Toyohira-ku, Sapporo C., Japan 062-8602)

#### はじめに

新たに耕地を拓く農地造成作業あるいは、暗渠排水、心上破碎および客土等の農地整備作業では大型機械が用いられ、性状の異なる複数の土層の混合や膨軟化だけでなく、意図しない土層の圧縮等も生じる。これに伴い土壌微細構造も変化し、孔隙の形状、大きさ、量および連続性等の変化として視覚的に認識されるだけでなく、容積重や孔隙分布を主体とする個々の土壌物理性の変化として数値的にも把握される。本稿では、1) 改良山成工造成畑の表土扱い層（造成後の作土層）、2) 暗渠排水の埋戻し土、3) 耕地化された泥炭層、での土壌物理性と微細構造の調査結果を紹介し、今後の課題についても概説する。なお、本稿での微細構造には顕微鏡観察だけでなく肉眼観察によるものも含み、その用語は文献（久馬・八木沢監修、1989）によった。

#### 1. 改良山成工造成畑の作土層の性状と微細構造 (Ishiwata *et al.*, 1996)

改良山成工とは、急傾斜あるいは地形の複雑な造成地で、造成後の農作業の効率性と安全性を確保するため、標高の高い所の土を削り、低い所に移動し、緩傾斜で均一斜面の圃場を造成する工法で、近年、北海道での造成地の半分近くが本造成法によるものである（石渡・斉藤、1989）。また、北海道の改良山成工造成では、性状の良好な作土を確保するため表土扱いが行われる。この工程の中の掘削、積込み、運搬、土下ろしおよび敷均しの工程で、表土扱い層はブルドーザの排土板やバケットあるいはヤスクレーパのボウル等から大きな外力を受ける。表土戻し後、土層を膨軟にするため心上破碎が施工され、その後、耕起砕土が実施される。さらに、これら

作業機の走行のたびに表土はタイヤやキャタピラから踏圧としての外力も受ける。そこで、土壌の異なる4カ所（斜里：粗粒質な未熟火山性土、共和：細粒質なローム質褐色火山性土、北竜：中粒質な酸性褐色森林土、当麻：熔結凝灰岩を母材とする中粒質な暗色表層酸性褐色森林土）の改良山成工造成地で表土扱い層の性状変化を、表土扱い層が由来する未耕地のA層とB層（斜里では埋没腐植層を含む）を対照として調査した。また、当麻では、各土層の収縮特性と微細構造についても調べた。なお、北竜では秋の多水分時に表土扱い作業が行われた（表-1）。

#### 1) 4圃場での表土扱い層の性状変化

表土戻し直後の表土扱い層はそれが由来する未耕地のA層やB層に比べ、表-1に示すように、共和や北竜では発達強度が低下し、斜里では単粒状化、当麻ではカベ化した。層厚約40cmの表土扱い層を上部層と下部層に2分し、その容積重と孔隙分布の変化を未耕地のA層とB層の値とともに図-1に示した。中粒質あるいは細粒質な土壌からなる共和、北竜および当麻の3造成地では、表土戻し直後、表土扱い層の容積重は $1\text{Mg m}^{-3}$ 以上、粗孔隙( $pF=0\sim 1.8$ )量は $0.1\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ 以下、易有効水分孔隙( $pF=1.8\sim 3.0$ )量は $0.05\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ 以下で、それぞれのA層やB層に比べ、容積重は増加し、両孔隙量は減少し、表土扱い層は圧縮されたことを示している。北竜を除いて、最初の耕起砕土により上部層の粗孔隙量は $0.1\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ 以上に回復したが、易有効水分孔隙量はほとんど回復しなかった（図-1の造成1年目あるいは1年後の値）。当麻では造成5年後に、上部層の易有効水分孔隙量も回復したが、北竜では造成8年後でも両孔隙量は回復しなかった。一方、粗粒質な斜里では他と同様な造成法であるにもかかわらず、いずれの調査時でも容積重は1

表-1 改良山成工造成地と未耕地の土壌性状

Table 1 Soil properties of virgin sites and upland fields reclaimed with surface soil handling, cutting and banking.

地域	調査地	層位*	深さ (cm)	構造**	腐植 — ×10 <sup>2</sup> gg <sup>-1</sup> —	粘土	土性	土壌水分*** (pF)
斜里	未耕地	A	0- 9	2 msbk	14.6	3.5	SL	
		C	- 11	sn				
		II A	- 20	2 fsbk	8.1	8.0	L	
		II B	- 28	1 msbk	4.2	6.5	SL	
		III C	- 50	sn	1.0	0.2	S	
		IV A	- 55	1 mbk	10.4	13.0	L	
		IV B	- 62	1 fsbk	8.4	13.0	L	
		V A	- 79	2 fsbk	10.4	11.0	SL	
		V B	-135+	1 csbk	3.5	4.3	LS	
	造成地	Ap	0- 37	sn	5.6	4.9	SL	
共和	未耕地	A	0- 32	2 mgr	7.0	44.0	LiC	
		B	- 70	2 mbk	6.0	32.0	LiC	
		C	-155+	1 cbk	2.0	31.0	LiC	
		造成地	Ap	0- 39	1 msbk	4.5	30.8	LiC
北竜	未耕地	A	0- 18	3 fsbk	8.8	23.8	CL	
		B	- 50	2 msbk	2.7	22.1	CL	
		C	-100+	1 msbk	0.7	3.9	LS	
		造成地	Ap	0- 35	2 csbk	1.0	21.2	CL
当麻	未耕地	A	0- 20	1 m (gr+sb)	10.8	23.8	LiC	
		B	- 45	1 msbk	5.7	22.1	SCL	
		C	-100+	sn	1.1	3.9	SL	
		造成地	Ap	0- 40	ma	6.2	22.0	CL

\* Ap: 表土扱い層

\*\* 発達程度 (1: 弱, 2: 中, 3: 強), 大きさ (f: 小, m: 中, c: 大)  
形状 (gr: 粒状, sbk: 亜角塊状, bk: 塊状, ma: カベ状, sn: 単粒状)

\*\*\* 心土破砕直前の値

Mgm<sup>-3</sup> 以下, 粗孔隙量や易有効水分孔隙量は 0.1 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> 以上で膨軟な状態で推移した。

このように, 中・細粒質な土壌では表土扱いの工程で土壌は圧縮され, 粗孔隙量や易有効水分孔隙量は減少する。そして, 塑性限界付近の適度な土壌水分であれば1回の耕起砕土により粗孔隙量は回復するが, 易有効水分孔隙はその場合でも回復しない。一方, 粗粒質な土壌は表土扱い作業を受けても圧縮され難いと結論される。

2) 当麻での表土扱い層の収縮特性と構造発達係数(石渡・斉藤, 1992)

当麻の表土扱い層は未耕地のA層(容積重: 0.78 Mgm<sup>-3</sup>, 固相率: 0.30 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) から約1割, B層(容積重: 0.84 Mgm<sup>-3</sup>, 固相率: 0.32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) から約9割が由

来することが各土層の腐植含量から推定された。表土戻し直後の表土扱い層の容積重は 1.14 Mgm<sup>-3</sup> で, 由来する2土層が1.4倍に圧縮された状態にあり, 固相率も 0.44 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> と増加した。3土層についての飽水後の収縮試験では, A層およびB層は乾燥してもほとんど収縮せず, 間隙比はそれぞれ2.3および2.1でかなり大きかった。一方, これら2層よりも容積重が大きな表土扱い層は乾燥により脱水収縮し, 体積は86%に減少した。したがって, 表土扱い層はA層とB層が単に混合され圧縮されただけでなく, 表土扱いの運上の過程で土壌構造が破壊され, 乾燥にともない収縮するように変化した。このような収縮特性から判断される土壌構造の破壊は構造発達係数(未攪乱土の間隙比に対する練返し土の間隙比

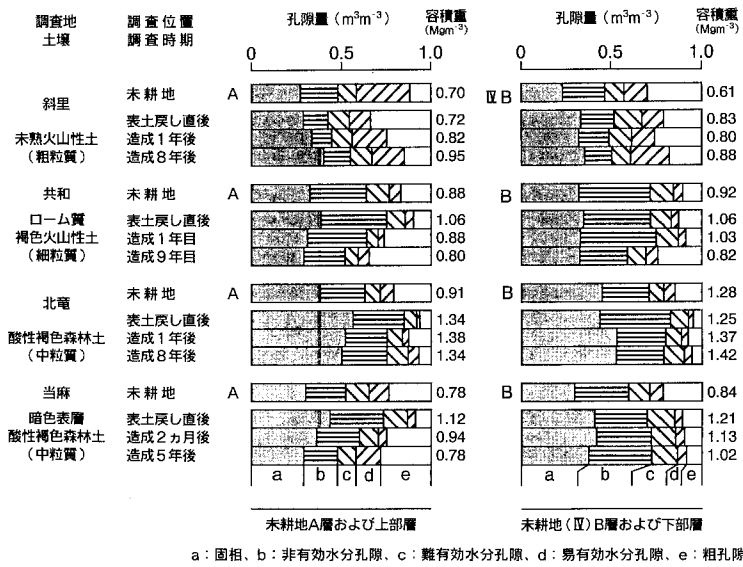


図-1 改良山成工造成地と未耕地の容積重と孔隙分布

Fig. 1 Soil bulk density and pore-size distribution of virgin fields and reclaimed fields with surface soil handling, cutting and banking.

の商(矢沢・前田, 1982))という指標によっても理解され、表-2に示すように表土扱い層のこの数値はA層やB層に比べ小さい。

3) 当麻での表土扱い層の微細構造と孔隙分布(石渡・斉藤, 1992)

当麻での造成に伴う土壌微細構造の変化を写真-1に示した。造成前のA層(写真a)やB層(写真b)あるいは隣接既耕地の作土層(Ap層:写真c)では軟粒状構造や垂角塊構造が認められ、粒団の間や内部に複雑な形の孔隙が存在し、これらが粗孔隙や易有効水分孔隙に該当すると考えられる。表土戻し直後の土層(写真d)では写真a, bあるいはcに比べ、固相物質の充填が密となり、クラック状構造による面状孔隙がわずかに認められた。

耕起砕土2ヵ月後(造成1年目)の上部層(写真e)では、表土戻し直後に比べ、クラック状構造による面状孔隙が増加し、軟粒状構造もわずかに認められたが、未耕地のA層やB層に比べ複雑な形の孔隙量は少なかった。この時の下部層の微細構造(写真f)は表土戻し直後と同様に固相物質の充填が密であり、クラック状構造による面状孔隙のみがわずかに存在した。これらは、上述のように最初の耕起砕土により上部層の粗孔隙だけが回復し、下部層の粗孔隙および上部層と下部層の易有効水分孔隙が回復しなかったことと一致し、微細構造は土壌物理性、特に孔隙分布と密接に関連していた。1度の耕起

表-2 未攪乱土および練返し土の最終間隙比と土壌構造発達係数

Table 2 Final void ratios of undisturbed and remolded soils and coefficients of soil structural development.

項目	未耕地		表土戻し直後の表土扱い層
	A層	B層	
最終間隙比	未攪乱土A 2.32	2.12	0.97
	練返し土B 1.17	1.07	0.86
構造発達係数	A/B 1.98	1.98	1.13

砕土で回復しなかった易有効水分孔隙の回復過程を微細構造の観点から解明することは、圧縮された土層の回復対策を検討するための今後の課題である。

## 2. 機能不良を呈する暗渠排水戻し土の性状(石渡ら, 1992; 石渡ら, 1993)

北海道は寒冷で農耕期間が短いため、春先の速やかな地温上昇と融雪・降雨後の適期農作業の確保が重要である。このため、水田だけでなく排水不良な畑圃場にも暗渠排水が施工される。しかし、暗渠が施工された圃場でも、融雪・降雨後に暗渠排水の直上で滞水し排水不良を呈することがある。そこで、暗渠排水機能が低下したと農家から判断された8圃場(表-3)で、暗渠排水戻し

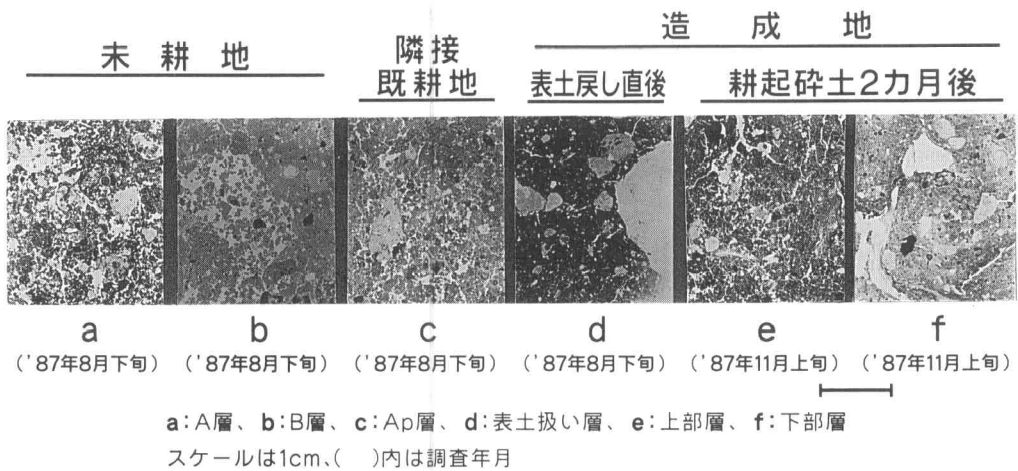


写真-1 未耕地と改良山成工造成地の土壌微細構造

Photo 1 Soil micro-morphologies of virgin field and reclaimed field.

表-3 暗渠の調査圃場の概要  
Table 3 Outlines of surveyed fields of the tube drains.

圃場 No.	利用状況	暗渠埋設後年数	掘削*機械	畑転換後年数	土 壤 名	土性(国際法)作土/下層土
1	転換畑	12	B	2	疑似グライ土	LiC/HC
2	転換畑	13	B	5	グライ台地土	LiC/LiC
3	転換畑	13	B	1	グライ台地土	LiC/LiC
4	転換畑	17	T	3	灰色低地土	HC/HC
5	水田	17	T	—	グライ低地土	HC/SiC
6	水田	13	B	—	グライ台地土	LiC/LiC
7	畑	1	B	—	疑似グライ土	LiC/LiC
8	畑	1	B	—	疑似グライ土	LiC/LiC

\* B: バックホー, T: トレンチャー

部の性状を、それに隣接し暗渠が敷設されていない未攪乱部を対照として調査した。両部の土層は模式的に図-2に示すように、圃場 No. 4 を除き、それぞれが上部と下部に2分された。

ア) 埋戻し部の物理的性状

埋戻し部の容積重と孔隙分布を未攪乱部の値とともに図-3と図-4に示した。未攪乱部の容積重は、グライ層である圃場 No. 6の最下層を除き、下層ほど大きかったが、埋戻し部では下部の容積重が上部よりも小さかった。このため、埋戻し下部の容積重は未攪乱下部よりも明らかに小さかった。水はけに寄与する粗孔隙量は埋戻し部で  $0.05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  以下と小さい傾向にあり、これらの土層で透水係数が低かったと一致する。一方、水はけに寄与しない中孔隙 (pF: 1.8-4.2) 量および細孔隙 (pF: 4.2以上) 量は埋戻し下部で未攪乱部よりも多かった。

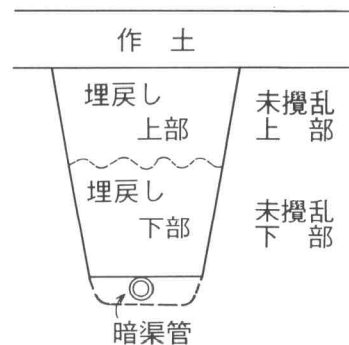


図-2 暗渠排水近傍の土層状態模式図  
Fig. 2 Schematic soil layers near the tube drainages.

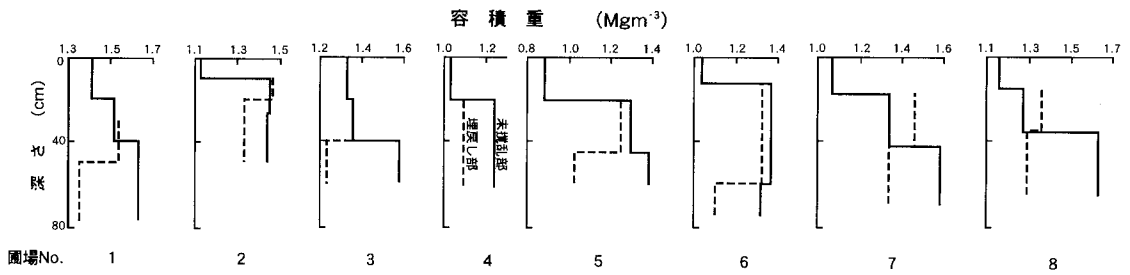


図-3 暗渠排水の未攪乱部および埋戻し部の容積重

Fig. 3 Bulk density profiles of undisturbed and backfilled parts at the tube drainages.

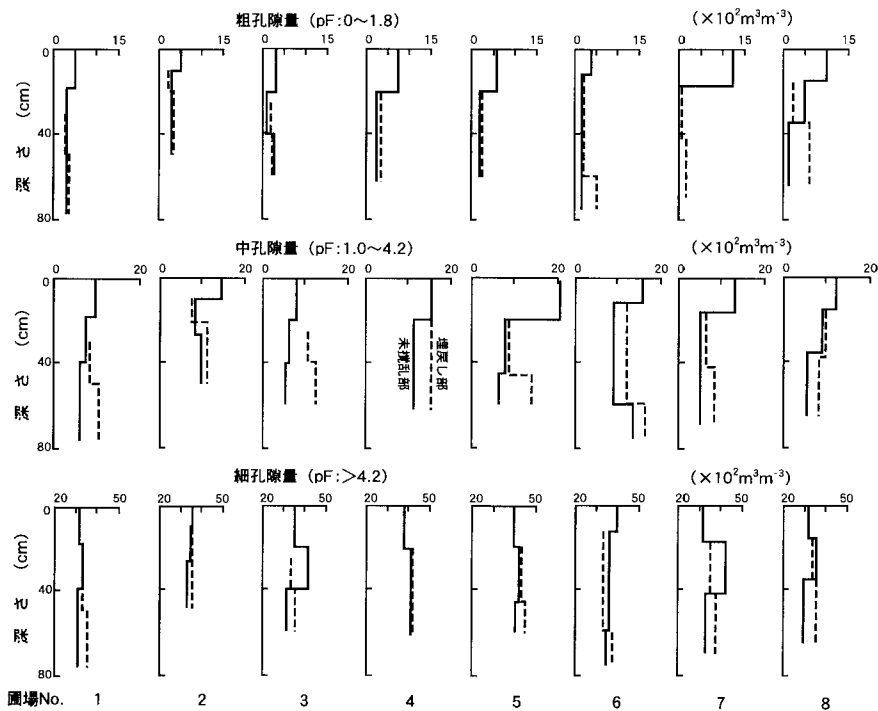


図-4 暗渠排水の未攪乱部および埋戻し部の孔隙分布

Fig. 4 Pore-size distribution profiles of undisturbed and backfilled parts at the tube drainages.

イ) 埋戻し部の活性 2 価鉄含量

No. 1~6 圃場での活性 2 価鉄含量を図-5 に示した。圃場 No. 4 を除き、未攪乱部よりも埋戻し部で、また、埋戻し上部よりも埋戻し下部で 2 価鉄含量が高かった。水が集まり、湿潤な状態にある埋戻し下部で還元・グライ化が進行したと考えられる。

ウ) 混合割合から算出した埋戻し部の容積重

埋戻し上部と埋戻し下部はそれぞれ、作土、未攪乱上部および未攪乱下部の混合物から構成される。そこで、

各々の腐植含量と粘土含量を用いて、埋戻し上部と埋戻し下部での作土、未攪乱上部および未攪乱下部の混合割合を算出し、その混合割合とそれぞれの容積重を用いて、埋戻し上部と埋戻し下部の容積重を計算し、実測値と共に表-4 に示した。8 圃場の中でばらつきはあるが、埋戻し上部の計算値と実測値がほぼ等しく、その比率はほぼ 1 であった。一方、埋戻し下部では実測値が計算値よりも小さく、その比率の平均は 0.9 であった。すなわち、埋戻し下部は作土、未攪乱上部あるいは未攪乱下部

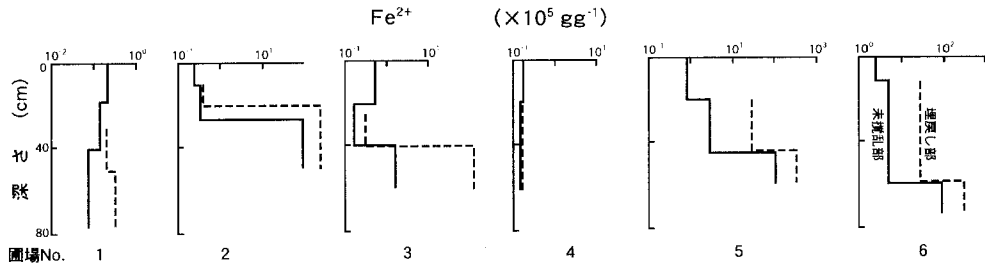


図-5 暗渠排水の未攪乱部および埋戻し部の2価鉄含量

Fig. 5 Ferrous iron content profiles of undisturbed and backfilled parts at the tube drainages.

表-4 暗渠埋戻し部の容積重の計算値と実測値 (Mg m<sup>-3</sup>)

Table 4 Measured and calculated bulk densities of backfilled part at the tube drains. (Mg m<sup>-3</sup>)

圃場 No.	埋戻し上部			埋戻し下部		
	計算値 A	実測値 B	比 B/A	計算値 C	実測値 D	比 D/C
1	1.59	1.53	0.96	1.58	1.35	0.85
2	1.40	1.47	1.05	1.41	1.34	0.95
3	1.37	1.36	0.99	1.33	1.23	0.92
4	1.16	1.09	0.94	1.16	1.09	0.94
5	1.26	1.25	0.99	1.16	1.02	0.88
6	1.31	1.33	1.02	1.22	1.10	0.90
7	1.39	1.46	1.05	1.33	1.33	1.00
8	1.37	1.37	1.00	1.52	1.30	0.86
平均	1.36	1.36	1.00	1.34	1.22	0.91

表-5 暗渠埋戻し下部の細孔隙量の実測値と計算値 (cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>)

Table 5 Measured and calculated fine-size pore volumes of lower backfilled part in tube drains. (cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>)

圃場 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
実測値	0.27	0.27	0.30	0.39	0.45	0.34	0.28	0.27
計算値	0.23	0.27	0.27	0.35	0.39	0.32	0.28	0.21

の混合物を約1割ほど膨軟にした状態にあった。

エ) 混合割合から算出した埋戻し下部の細孔隙量

圧縮あるいは耕起碎土などの物理力によって、乾土当たりの粗孔隙量や易有効水分孔隙量は変化するが、細孔隙量は殆ど変化しないものと考えられる。上記の容積重の計算値と同様に、先の混合割合を用いて埋戻し下部での乾土当たりの細孔隙量を算出し、表-5に実測値とも

表-6 埋戻し下部の土壌構造安定度指標

Table 6 Soil Structural stability indices at the lower backfilled parts of the tube drains.

圃場 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
未攪乱部	0.78	0.65	0.79	0.71	1.00	0.56	0.93	1.03
埋戻し部	0.44	0.60	0.67	0.62	0.40	0.50	0.71	0.89

に示した。全圃場で実測値が計算値よりも大きく、容積重の小さな埋戻し下部では還元・グライ化などの化学的变化とともに、土壌が膨潤し、細孔隙量が増加したと推論される。

オ) 埋戻し下部の土壌構造安定度指標

土壌硬度は土壌水分により大きく変化するが、土壌構造安定度指標(塑性限界水分量のpF 1.8水分量による商)はこの水分の影響を消去し、外部からの作用に対する構造の安定度を示すもの(久保田徹, 1983; Boekel and Peerlkamp, 1956)とされる。埋戻し下部の土壌構造安定度指標を未攪乱下部の値とともに表-6に示した。埋戻し下部の値は未攪乱下部よりも明らかに小さく、埋戻し下部は変形し易く不安定な状態にあった。

カ) 埋戻し部の性状変化の方向性

上記に基づき、排水不良を呈する暗渠埋戻し土の模式的な物理的性状を未攪乱土の性状とともに図-6に整理した。埋戻し上部は透水性の低い未攪乱上部とほぼ同じ容積重、粗孔隙量、中孔隙量および細孔隙量であり、埋戻し工事やその後の営農機械の走行によりこの部分が未攪乱部と同等に圧縮され透水不良化していた。一方、埋戻し下部は膨軟な埋戻しがなされ、埋戻し直後には埋戻し土の上塊間に多くの粗孔隙が存在した。しかし、その後の還元・グライ化や膨潤などにより、埋戻し土塊が崩壊し、水はけに寄与する粗孔隙が中孔隙や細孔隙に変化し、透水性が低下したものと考えられる。埋戻し上部および埋戻し下部の粗孔隙量はともに少なく、透水不良で

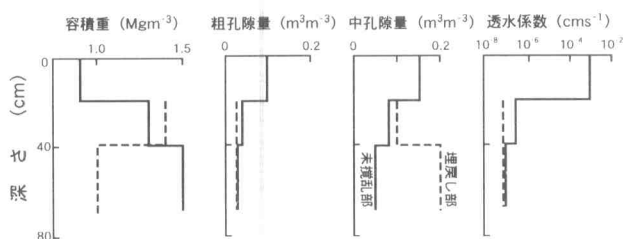


図-6 排水不良な埋戻し部の性状模式図

Fig. 6 Schematic properties of malfunctioned backfilled parts at the tube drainages.

あったが、その原因は異なった。

埋戻し土の物理的性状は、それが由来する土層とは異なったので、これらの土層の微細構造も大きく異なったものと考えられる。埋戻し部での微細構造の変化を明らかにすることは、排水機能低下の対策を検討するために重要な課題である。

### 3. 耕地化に伴う泥炭層の変化 (沖田・石渡, 1993)

北海道では石狩川流域、釧路川流域およびサロベツ川流域などに泥炭地が広く分布し、現在約9.8万haの泥炭地が耕地化されている(橋本, 1993)。地下水位が高い泥炭地を耕地とするには排水が不可欠である。しかし、排水・地下水位の低下に伴い、水中に存在した泥炭層が浮力を失うだけでなく、農地造成作業や農作業による荷重によって、泥炭層が脱水収縮し、密度の増加を伴った沈下を生じる。また、泥炭層内に空気が侵入し酸化的な環境になり、有機物からなる泥炭自体の腐朽分解も生じ、沈下が一層促進される(宮地ら, 1995)。このような泥炭地の沈下に関する知見は集積されてきた(村山, 1997)が、耕地化後の根圏となり、圃場の物質収支において重要な役割を果たす表層の泥炭層自体の理化学的变化に関する情報は少ない(近藤ら, 1997; 筒木・近藤, 1997; Silins and Rothwell, 1998)。そこで、造成3年後と16年後の中間泥炭土からなる圃場(以下、3年圃場および16年圃場という)で、泥炭層の理化学性を調査した。なお、両圃場とも鉍質土が置土されており、その層厚は3年圃場で10cm強、16年圃場で10cm弱であった。造成前の土壌調査(北海道開発局, 1972)によると、約3km離れた両地点は同一の土壌区に区分され、造成前はほぼ同一の土壌性状を有したものと推定される。

#### ア) 泥炭層の微細構造

両圃場で、客土層の直下に存在し造成による攪乱を受けていない泥炭層(O1)の水平方向と垂直方向の微細構造を写真-2に示した。3年圃場の水平断面(写真a)では

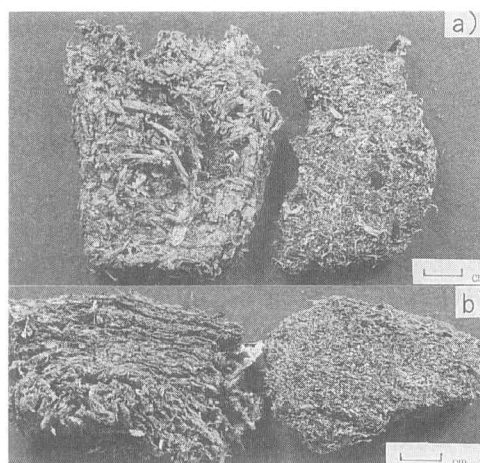


写真-2 造成後の経過年数の異なる泥炭層の水平断面(a)と垂直断面(b)  
(左:造成3年後, 右:造成16年後)

Photo 2 Horizontal (a) and vertical (b) sections of peat layer at different fields which had been reclaimed 3 years and 16 years before.  
(Left: 3 years after reclamation. Right: 16 years after reclamation)

植生の組織全体が押し潰された状態で認められるが、16年圃場では、シュロ毛の繊維のようなものが多くなり、中に黒い樹脂が認められる。3年圃場の垂直断面ではボール紙を重ねたような累層状態が認められるが、16年圃場の垂直断面では累層状態は明瞭でなく、黒い樹脂が点在している(写真b)。このように両圃場の泥炭層の構造はまったく異なり、排水による脱水収縮だけでなく、泥炭自体の腐朽・分解による有機物組成の変化も経年的に生じたと考えられる。

#### イ) 容積重と孔隙分布

O1層とその下部の泥炭層(O2層)の容積重と孔隙分布を図-7に示した。16年圃場のO1層では3年圃場の

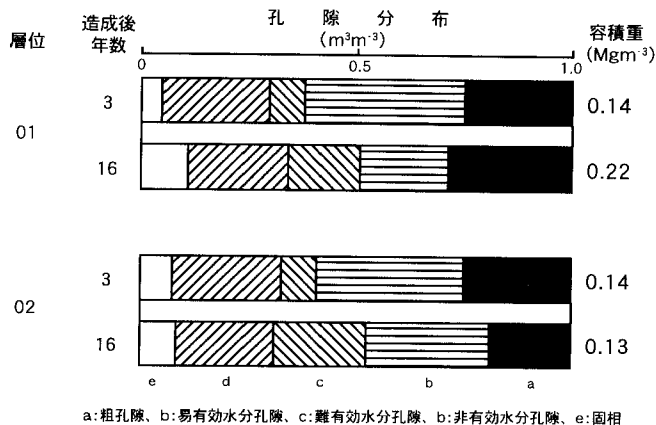


図-7 造成後の経過年数の異なる泥炭土層の容積重と孔隙分布

Fig. 7 Bulk density and pore-size distribution of peat layer at different fields which had been reclaimed 3 years and 16 years before.

ものに比べ、容積重と固相率が増加するだけでなく、粗孔隙量も増加し、易有効水分孔隙量が減少した。このような変化は泥炭層の脱水収縮とともに有機物の変質を伴った構造変化が生じたことを示唆している。しかし、このような変化の方向性とそ作物生育に及ぼす影響は明らかにされていない。したがって、泥炭耕地の持続的保全を図るためにも、地盤沈下対策だけでなく、泥炭層の物理性や微細構造の変化の方向性を体系的に解明することが必要である。

### おわりに

農地の造成・整備作業により土壌の物理性と微細構造はその時だけでなく、その後もほぼ対応した変化を受け、作物培地として不適な性状を有する場合もあった。したがって、様々な要因による土壌物理性と微細構造の変化を関連付けて解明することは、土壌の物理的劣化の未然防止あるいは劣化後の改善対策の確立にも重要と考えられ、今後に残された課題である。

### 文 献

- Boekel, P and Peerlkamp, P.K. (1956) : Soil Consistency as a factor determining the soil structure of clay soil. *Neth. J. Agric. Sci.*, 4 : 122~125.
- 橋本 均 (1993) : 北海道の耕地土壌の Q&A, 北農, 60 : 148-160.
- 北海道開発局 (1972) : 国営農地開発事業サロベツ第1地区土壌調査報告書, p. 1~80.
- 石渡輝夫・斉藤万之助 (1989) : 北海道における国営農

地造成地の土地条件と今後の課題, 農上誌, 57 : 16~26.

石渡輝夫・横濱充宏・斉藤万之助 (1992) : 重粘土地における暗渠埋戻し土の性状と埋戻し処理のあり方, 農土誌, 60 : 1~3.

石渡輝夫・斉藤万之助 (1992) : 改良山成土で造成した畑土壌の性状, 土肥誌, 63 : 669~676.

石渡輝夫・横堀 将・松田 豊・辻 修 (1993) : 暗渠排水の機能促進のための埋戻し処理について, 農業技術, 48 : 300~303.

Ishiwata, T., Okita, Y., Shishido, N. and Saito, M. (1996) : Changes in soil physical properties of four different soils during and after upland reclamation that involved grading. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42 : 573~586.

近藤錬三・筒木 潔・森 隆一 (1997) : 泥炭地の乾燥化と植生変化に伴う泥炭分解度指標の変化, 土肥誌, 68 : 527~535.

久保田徹 (1983) : 重粘土転換畑における易耕性の評価, 一塑性限界と pF 1.8-含水比の関係一, 土肥誌, 48 : 38~43.

久馬一剛・八木久義訳監修 (1989) : 土壌薄片記載ハンドブック p. 65~68. 東京, 博友社.

宮地直道・神山和則・大塚絃雄・粕淵辰昭 (1995) : 美唄泥炭地における地盤沈下, 土肥誌, 66 : 465~473.

村山重俊 (1997) : 泥炭低湿地の農業開発と土壌変化, 地表面沈下, 環境影響, 土の環境圏, p. 1357~1364. 東京, フジテクノシステム.



沖田良隆・石渡輝夫 (1993) : 置土された泥炭草地の理化学性および撥水性, 土肥学会講演要旨集, **39** : 113.

Silins, U and Rothwell, R.L.(1998) : Forest peat-land drainage and subsidence affect soil water retention and transport properties in an Alberta peat-land. Soil Sci. Soc. Am. J., **62** : 1048-1056.

筒木 潔・近藤鍊三 (1997) : 泥炭地の乾燥化と植生変

化に伴うフェノール性化合物組成の変化, 土肥誌, **68** : 536~543.

矢沢正士・前田 隆 (1982) : 非火山性土壌の不攪乱試料の収縮挙動と土壌構造の関係について, 一粘土質土壌の理工学性と土壌構造に関する研究 (I)一, 農土論集, **101** : 33~45.

受稿年月日 : 1998年 8月 24日

受理年月日 : 1999年 11月 26日