

農地造成と土壌物理性の変化

齋藤 万之助*
石渡 輝夫*

Influence of farmland establishment on soil physical properties

Mannosuke SAITOH and Teruo ISHIWATA

Civil Engineering Research Institute
Hokkaido Development Bureau

はじめに

山林や原野を畑に改造する農地造成では、前植生の処理作業に始まり、均平作業、耕起・砕土作業など各種の営力が土壌に加えられ、土壌の理化学性は大きく変化する。造成工程における土壌の変化は、造成後の土壌の生産力だけでなく、管理作業にも影響を及ぼす。このため、造成対象地の自然立地（地形、土壌および植生）に則した合理的な造成作業が望まれる。そこで、

1. 障害物処理作業による土壌の変化
2. 即地破碎工法の検討
3. 改良山成工造成畑における土壌の性状
4. 抜排根時における土壌の受食性

について考察する。

1. 障害物処理作業による土壌の変化¹⁾

農地造成は面的作業であるが、造成による土壌の変化は点の調査から追求せざるを得ないので、調査結果を統計的に評価しなければならない。北海道の代表的土壌である重粘土（酸性褐色森林土）、細粒火山灰土（厚層黒色火山性土）および粗粒火山灰土（火山放出物未熟土）地帯に試験圃を設け、造成の前後における土壌の理化学性を比較した。未耕地状態での土層厚と表層 15 cm の土壌の pH と腐植含量は正規分布をなし、変動係数（CV）は、pH では 5% 以下であるが、腐植含量および土層厚では 10~38% であった。このため、母集団推定のための最少必要試料数は、pH の場合、危険率 5%、目標精度 3% で 10 以下の値となる。腐植含量および土層厚の場合、危険率 10~15%、目標精度 5% でほぼ 10~15 で

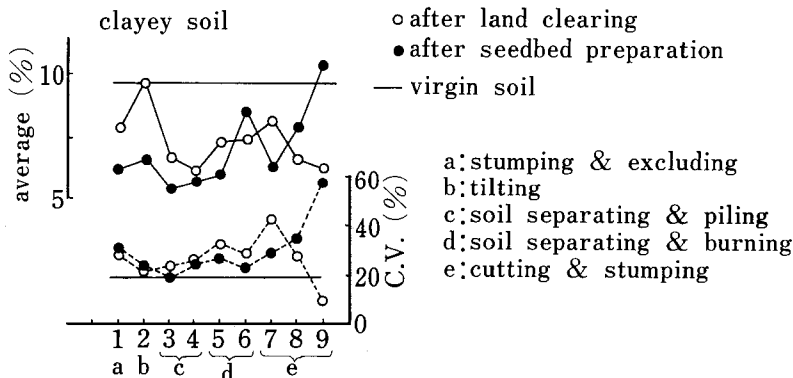


Fig. 1 Changes in humus content by land reclamation.

*北海道開発局土木試験所

あった。このように母集団推定のための最少必要試料数は測定項目によって異なる。

酸性褐色森林土での、各種障害物処理および耕起・砕土（播種床造成）後の腐植含量は Fig. 1 のようである。チルト抜根後地際排根した2区を除き、障害物処理により腐植含量は減少し、腐植含量の高い表土が圃場外へ排除されたことを示している。腐植含量は耕起・砕土作業により、さらに減少する傾向にある。これは、表土が薄い事に加えて、腐植含量の低い下層土も耕起・砕土作業により作土化されたためである。ブラッシュブレーカで反転耕起している1~4区でその傾向が強い。

腐植含量の変動係数は、障害物処理作業により、未耕地土壤に比べ増大し、耕起・砕土作業により減少する傾向にある。このことは、障害物処理作業が土層の不均一化をもたらすが、耕起・砕土作業はこれを是正し、土層を均一化する傾向にあることを示している。抜根跡や原地形の不陸の修正（均平作業）は土層一層のかく乱、不均一化をもたらす。なお、9区では他区と異なり、播種床造成により腐植含量は増加し、その変動係数も増大し

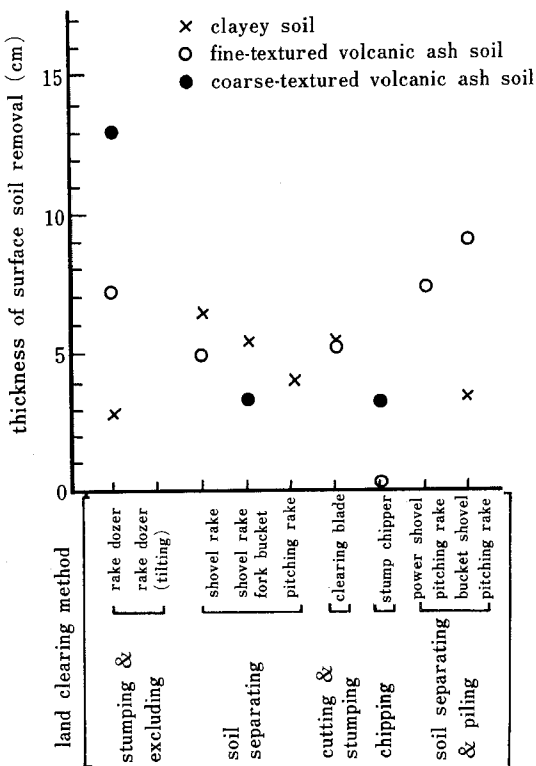


Fig. 2 The thickness of surface soil removed by land clearing.

ているが、その理由は明らかではない。

酸性褐色森林土では、腐植含量の変化量より、厚層黒色火山性土および火山放出物未熟土では積層する火山灰を鍵層として、その層厚の減少量より、障害物処理作業による表土移動量を推定したのが Fig. 2 である。ササの密生していた酸性褐色森林土および厚層黒色火山性土ではチルト抜根法および切削粉砕法を除き、4~10 cm の表土移動が認められるが、土砂分離などの効果は現われていない。一方、ササの少ない火山放出物未熟土では、レーキドーザによる抜根法での表土移動量は13 cm であるが、フォークバスケットによる土砂分離法やスタンプチップパによる切削粉砕法では3 cm 程度となっている。これは土壤の相違によるだけでなく、ササの地下茎を主体とするルートマットの存在も大きく影響しているようである。

改良山成工では表土扱いに先行して、抜根作業が行なわれる。この過程でも、根株に付着する土やルートマットの保持する土が圃場外へ搬出され表土移動が生ずる。

北海道の山林・原野の90%、すなわち、農地開発対象地の大部分はササが林床植生の優先種となっている²⁾。つまり、点の存在である樹木の根株より、面的な広がりをもって分布しているササの方が、農地造成の障害となっている場合が多い。ササは地表下10~20 cm 以内に多量の地下茎と根を張り巡らし、その間に土壤を保持したルートマットを形成している。このため、ササ密生地でのレーキドーザによる慣行的な抜根法による農地造成では、ササの地上部を排除しようとする、多少ともルートマットを剥ぎ取る傾向にある。ルートマットに保持される土壤は、腐植含量が高く、耐水性の構造が発達し³⁾、浸透能は大きく⁴⁾、作土として適しているが、実際の農地造成ではこの表土のかなりの部分が抜根時に圃場外へ排除されている。作業能率、精度ならびにササの性状（特にルートマットの性状）から、多少の表土移動は避けられない面もある。ササ地帯における適切な障害物処理法は農地造成の今後の検討課題である。

2. 表土移動抑制工法としての即地破砕工法⁵⁾

シュレッダを用いた即地破砕工法は切削粉砕法の一つで、カッターにより、立木、根株、ササなどの障害物を圃場内で切削粉砕するものである。このため、表土移動の抑制や抜根線の軽減に有効であるが、同時に多量の植物の切削片を耕土内に残留させる。そこで、火山放出物未熟土に試験圃を設け、レーキドーザによる抜根法（慣行区、R-plot）を対照として、シュレッダによる

Table 1 Grass germination and yield of each plot

Land clearing method	Grass germination (number/m ²)	Dry matter yield (g/m ²)				
		1975	1976	1977	1979	
R-plot	1978	225	240	542	535	
S-plot	Trees remained	2045 (103)	254 (113)	320 (133)	640 (118)	631 (118)
	Trees excluded	2978 (151)	325 (144)	392 (163)	734 (135)	668 (125)

Ratio of S-plot to R-plot are shown in parenthesis

Table 2 Some physical and chemical properties of soil examined

Soil	Humus content (%)	Phosphate absorption coefficient (mg/100 g)	CEC (m.e./100 g)	Pore distribution (%)			
				pF<1.0	pF 1.0~1.8	pF 1.8~3.0	pF 3.0~3.8
Virgin							
Surface soil	9.9	700	21.7	23.0	14.7	12.4	4.2
Subsoil	0.6	320	3.0	39.4	4.7	4.6	2.3
Grassland							
Plowed soil of S-plot	11.3	690	23.0	9.1	18.4	13.5	5.1
Plowed soil of R-plot	3.8	420	8.7	16.4	14.9	9.3	2.7

即地破碎工法（破碎区，S-plot）で草地を造成し，牧草収量を調査するとともに，土壤の理化学性を比較した。

牧草の発芽数および造成後5カ年の牧草収量は破碎区で慣行区を上回っており，特に立木を搬出し，耕土内の残留植物切片片量の減少をはかった処理区で良好であった（Table 1）。土壤の性状を比較すると，破碎区の耕土の腐植，リン酸吸収係数およびCECは未耕地の表土とほぼ等しく，破碎区の耕土は未耕地の表土に由来している（Table 2）。一方，慣行区の耕土では，その70%が未耕地の心土に由来している。有効水分孔隙は破碎区で慣行区より多く，重力水孔隙は慣行区で多い。さらに，シュレツダにより軽石が破碎されたため，破碎区耕土の粒径組成は慣行区耕土あるいは未耕地表土より細粒であった。このように，破碎区耕土の性状は慣行区より，肥沃度が高く，保水力も大きく，良好であり，このことが両区の発芽や収量差に反映されたものと考えられる。なお，破碎区の耕土内に混入した前植生の切片片は急速に分解，消失しており，牧草生育に悪影響はなかったようである。以上のように，表土が薄く，下層土が不良な土壤では即地破碎工法は有効な草地造成法といえよう。

3. 改良山成工造成畑の土壤の性状^{6,7)}

近年，北海道においても，農地造成対象地の地形は複雑化，急傾斜地化し，一方，大型機械による営農等のため，平坦で大区画の圃場の要望が高まっている。このため，最近の農地造成では改良山成工造成の比率が急速に高まっている。改良山成工では，障害物処理作業や播種床造成作業だけでなく，表土扱いの運土工程や切盛土による基盤造成にも大型機械が用いられるため，土壤は圧縮や練り返しを受け，土壤構造は破壊される。このため，表土戻し後には，下層土を膨軟にするため，心土破碎が施工される。そこで，酸性褐色森林土，褐色火山性土および未熟火山性土の改良山成工による造成地で深さ約1mまでの土壤の性状を隣接の未耕地を対象として調査した。

造成直後の作土層の容積重の断面分布を未耕地土壤と比較すると，作土層では造成直後の容積重は未耕地土壤より大きく作土層は表土扱いの運土により圧縮されたことを示している（Fig. 3）。作土層より下部の切土層と盛土層を比較すると，酸性褐色森林土および褐色火山性土では，盛土層の容積重は切土層より大きく，盛土層はより圧縮された⁸⁾ことを示している。一方，切盛土の対

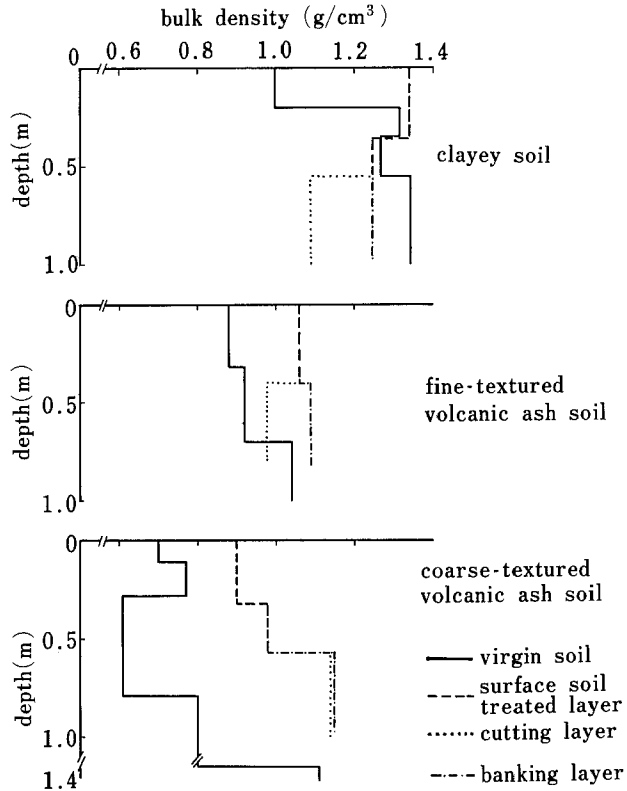


Fig. 3 Bulk density profile for virgin soil and reclaimed soil.

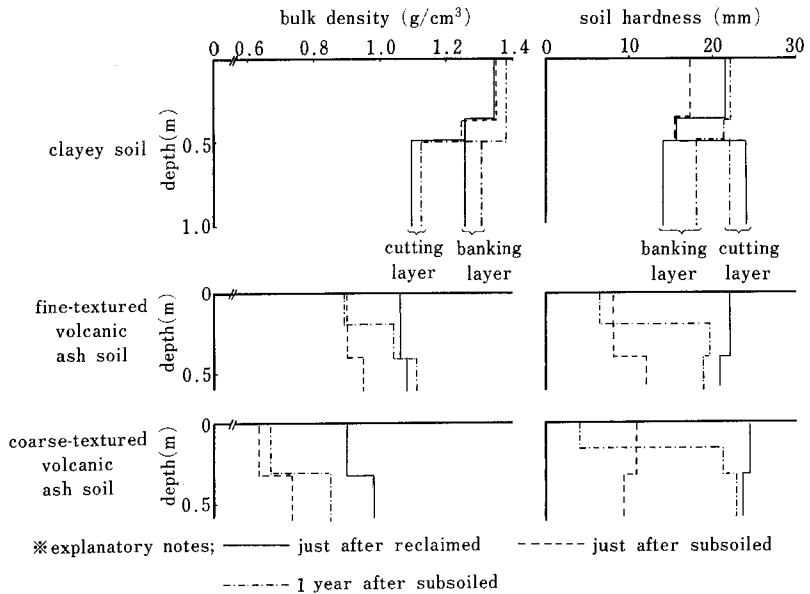


Fig. 4 Changes in bulk density and soil hardness profiles for three soils after reclamation.

農地造成と土壤物理性の変化

象が粗粒火山灰りなる未熟火山性土では、切土層と盛土層の容積重はほぼ等しい。

造成後の土壤物理性の経時変化を Fig. 4 に示す。酸性褐色森林土での造成時、多量の降水があった。このため、造成後の土壤は湿潤で、前植生の植物遺体が混入する部位は強還元状態を呈していた。また、盛土層では高水分下での運土時の繰り返しによりカベ状を呈する所もあった。造成直後（表土戻し直後で、心土破碎前）、盛土層は切土層に比べ、容積重が大きいにもかかわらず、土壤硬度は小さい。この状態で施工された心土破碎では、チゼル通過跡が塑性変形しただけで土層の効果的破碎は行なわれず、容積重はほとんど変化していない。造成1年後でもグライ斑や鉄斑が土壤に残存し、地耐力不足のため、営農機械の走行に支障をきたす場所もあった。心土破碎深までの土層は造成直後に比べ、容積重と土壤硬度が増大し、心土破碎深より下の盛土層は脱水収縮が進行していた。

一方、褐色火山性土および未熟火山性土では、心土破碎により、土壤は膨軟化（容積重の減少と土壤硬度の低下）する。未熟火山性土では密充填の粗粒火山灰が心土破碎により粗充填になる変化であり、褐色火山性土では塑性限界付近の水分状態で施工された心土破碎のため、本来の心土破碎の効果が発現した。1年後、両土壤での

作土直下から心土破碎深までの土層の容積重および土壤硬度は造成直後（心土破碎前）の値までほぼ増大した。チゼル通過跡は未熟火山性土では不明瞭であったが、褐色火山性土では水みちとして機能していた。なお造成時に構造破壊が生じているため、水みちとしての機能の持続性はそれほど期待できないかもしれない。

以上のように、改良山成工による土壤の性状変化は、土壤の種類や造成時の土壤水分に影響されるので、造成工事はこれらの点に留意する必要がある。

4. 抜根状態における土壤の受食性⁹⁾

耕起法による農地造成では、土壤表面が裸地となり、受食性が増大し、土壤侵食が問題となる¹⁰⁾。そこで、傾斜8度の褐色火山性土地において、抜根状態（抜根区、ST-plot）と排根整地状態（排根整地区、EX-plot）でスプリンクラーによる人工散水を4段階の散水強度で行ない、土壤の受食性を検討した。

約55mm/hrと70mm/hrの散水強度で流出開始後1時間を経過するまで散水を行なった時の流出強度と流出水中の土量の推移を Fig. 5 に示す。両者は成長曲線的に増加した後（抜根区の70mm/hrの散水強度では流出水中の土量は流出開始後、瞬時に増大して、その後漸減する）ほぼ一定値に近づく。この一定となった流出を定常

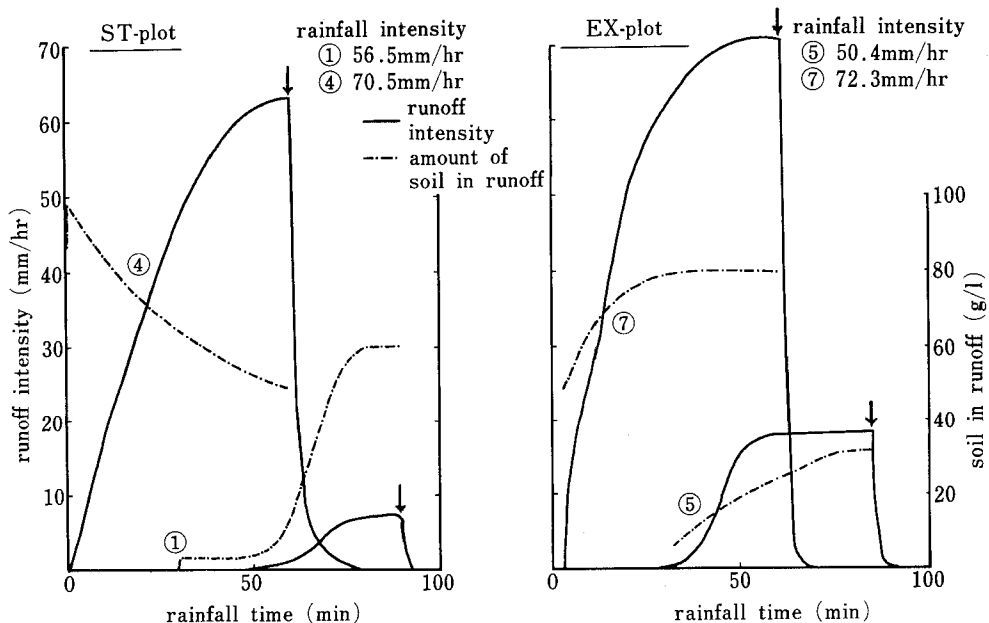


Fig. 5 Relation of rainfall intensity to runoff intensity and amount of eroded soil in ST-plot and Ex-plot (↓: rainfall was terminated).

Table 3 Amount of water and soil in steady state runoff

Plot	Test No	Rainfall intensity (mm/hr)	Steady runoff intensity (mm/hr)	Steady runoff ratio		Amount of eroded soil in steady runoff (g/l)		Amount of eroded soil in steady runoff (Kg/hr-m ²)		Bulk density (g/cm ³)
				(%)	ratio	ratio	ratio			
Stumped	(1)	56.5	7.1	12.6	(1)/(5) 0.35	60.7	(1)/(5) 1.92	0.43	(1)/(5) 0.75	0.59
	(2)	36.3	7.7	21.2	(2)/(6) 0.31	80.4	(2)/(6) 1.36	0.62	(2)/(6) 0.46	
	(3)	15.5	2.2	14.2	(3)/(8) 0.21	45.3	(3)/(8) 3.06	0.10	(3)/(8) 0.38	
	(4)	70.5	63.0	89.4	(4)/(7) 0.91	48.7	(4)/(7) 0.61	3.07	(4)/(7) 0.55	
Stump excluded and leveled	(5)	50.4	18.2	36.1	—	31.6	—	0.58	—	0.74
	(6)	33.6	22.8	67.9	—	59.3	—	1.35	—	
	(7)	72.3	70.7	97.8	—	79.3	—	5.61	—	
	(8)	26.1	17.4	66.7	—	14.8	—	0.26	—	

流出、定常流出水中の土量を定常流出水中土量と定義すると、排根整地区の定常流出は抜根区より大きく、一方、定常流出水中土量は 50 mm/hr の散水強度では、抜根区で排根整地区より多い。

定常流出における流出水量と流出土量を Table 3 に各散水強度別に示した。約 20, 35 および 55 mm/hr の散水強度で抜根区の定常流出率は排根整地区の 21~35% と小さく、抜根区は浸透能が大きいことを示している。この時の定常流出水中土量は抜根区で排根整地区の 1.4~

3.1 倍である。定常流出土量は定常流出強度と定常流出水中土量の積で表わされるが、これは排根整地区で抜根区より多い。約 70 mm/hr の散水強度では、定常流出率だけでなく、定常流出水中土量も排根整地区で抜根区より多い。このように、いずれの散水強度でも流出土量は排根整地区で抜根区より多い。これは、排根整地区の容積重は抜根区より大きく、排根整地時の土壌の圧縮あるいは土壌構造の破壊により浸透能が低下したことによる^{11,12)}ものと考えられる。さらに、整地時のキャタピラ跡が縦ウネ状になっていることの影響もあろう。土壌侵食防止の観点から、排根整地後の長期間の裸地状態での放置は極力回避すべきであろう。また、心土破碎により浸透能を高めることは、侵食防止に有効であろう。

なお、強雨時には土壌が膨軟な程、土壌侵食が大きく、ガリ発生の原因になる場合もある¹⁴⁾。

流出に伴い流出土も質的变化をしている¹⁵⁾。排根整地区の流出土の腐植含量と粒径中央値の変化を図—6 に示す。1 回目の No. 5 の散水試験では、流出に伴い、流出土の腐植含量は急速に高まるとともに粒径は細粒化し、流出開始 15 分後に極値を示す。2 回目以降の散水では、このような極値はみられないが、流出に伴い、腐植含量は減少し、粒径は粗粒化する傾向にある。このことから、流出しないで残った土壌は腐植含量は低下し、粗粒になると考えられる。これは侵食が進行するに伴い、肥沃度の低い土壌になることを示すもので、造成時の侵食防止は、地力の面からも望まれる。

まとめ

農地造成は面的作業であるが、農地造成による土壌の変化は多くの場合、点の調査から追求しなければならない。土壌の性状は不均一であり、また性状毎に不均一性が異なる。このため、母集団としての土壌の性状を推定するには、多数の調査点数が必要とされる。この点にこの種の調査での困難性がある。

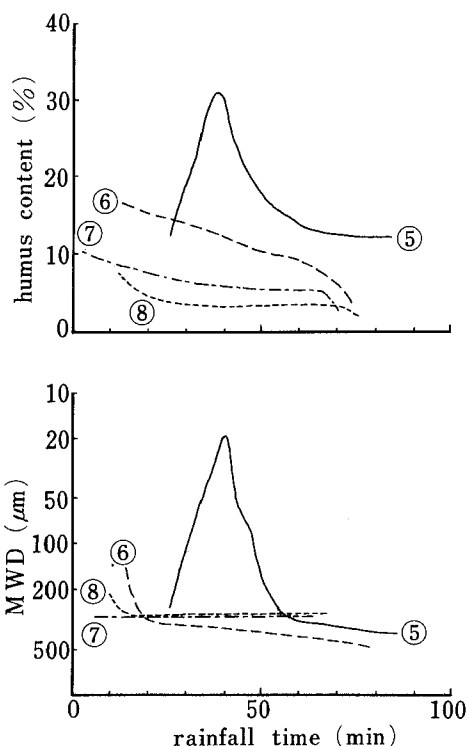


Fig. 6 Changes in humus content and MWD of eroded soils by intensity and time of rainfall (see the legends for symbols in Table 3).

農地造成では抜排根作業による表土移動や客土などにより、また、大型造成機械の走行や運土作業での圧縮や練り返しにより、土壤の性状は変化する。ここでは、土壤の構造的な変化が、保水性、透水性、耐食性あるいはコンシステンシーなどの土壤の性状変化に影響する主因と考えられる。この構造的な変化は降雨の流出率や土壤侵食に大きな影響を及ぼすものと思われる。このような農地造成による土壤の変化を、土壤の量的変化と質的变化との関連で、定量的に解明する必要がある。近年、大規模な開発が進められているアマゾン地域でも造成時の土壤の変化について検討がなされ、抜排根法による造成土壤の理化学的欠陥が指摘されている¹⁶⁾。土壤の化学性の改良に比べ、物理性の改良（特に下層土）は困難である。優良農地造成のためには、造成に伴う土壤の劣悪化とその改善策の解明は造成後の土壤の経年的な構造の再編成、いわゆる熟畑化の解明と共に今後の検討課題であろう。

参考文献

- 1) 齊藤万之助・吉田亨・赤沢伝・沖田良隆・宍戸信貞：農用地造成に伴う土壤理化学性の変化（第1報）—障害物処理ならびに播種床造成作業による土壤の不均一化—、土木試験所報告，65，1～68（1976）
- 2) 林業試験場北海道支場：北海道ササ分布図概説 p 22（1983）
- 3) 小川和夫・岩間秀矩・渡辺治郎：沸化作用程度の測定法の検討と二・三の測定結果について、北海道農試研報，124，81～94（1979）
- 4) 梅田安治・長沢徹明・水谷環：ササ地の草地化と降雨の浸入——傾斜草地に関する農業土学的研究Ⅰ——北大農学部附属牧場研究報告，12，15～32（1985）
- 5) 石渡輝夫・赤沢伝：シュレッダで造成した草地土壤の理化学性と耕土内に残留した粗大有機物の消長，土肥誌，52，297～304（1981）
- 6) 宍戸信貞・石渡輝夫・沖田良隆・立花松夫・月居誠・八巻崇・中駄良男：改良山成工と土壤の物理性，第28回北海道開発局技研論集，1239～1246（1985）
- 7) 沖田良隆・石渡輝夫・宍戸信貞・柿下哲・中駄良男・清田靖成・鈴木一弘：改良山成工で造成した畑土壤の理化学性，第29回北海道開発局技研論集，1545～1548（1985）
- 8) 徳永光一・馬場秀和・古賀潔・石川武男・向井田善朗・佐藤照男：普通畑造成における耕土流出防止の計画例——改良山成畑工法について（Ⅰ）——，農土誌，53，869～876（1985）
- 9) 石渡輝夫・宍戸信貞・高宮信章・矢野義治：農用地造成時における土壤侵食——人工雨による検討事例，北海道開発局土木試験所月報，388，1～13（1985）
- 10) 北海道開発局農業調査課・土壤保全研究室：昭和53年度農用地開発防災計画樹立最妥当法策定調査報告書（1979）
- 11) C. B. JOHNSON, J. V. MANNERING and W. C. MOLDENHAVER: Influence of Surface Roughness and Clod Size and Stability of Soil and Water Losses. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 43, 772～777（1979）
- 12) 村井宏・岩崎勇作：林地の水および土壤保全機能に関する研究（第1報）—森林状態の差異が地表流下，浸透および侵食に及ぼす影響—林業試験場研究報告，274，23～84（1975）
- 13) 古谷将・松田豊：土壤侵食防止工法に関する研究（第2報）草地幅と心土破碎の土壤侵食に及ぼす影響，6，143～153（1969）
- 14) 西潟高一：北海道における土壤侵食発現基盤とその防止に関する研究，北海道農業試験場研究報告，62，1～194（1963）
- 15) N. L. STOLTENBERG and J. L. WHITE: Selective Loss of Plant Nutrients by Erosion. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 17, 406～410（1953）
- 16) 例えば J. C. ALEGRE, D. K. CASSEL and D. E. BANDY: Effects of Land Clearing and Subsequent Management on Soil Physical Properties. Soil Sci. Soc. Amer. J., 50, 1379～1384（1986）

Summary

The processes of farmland establishment, such as land clearing, seedbed preparation, change the soil physical and chemical properties and affect the fertility of soil as well as field management. Therefore it is essential that farmland establishment must be adapted to the natural conditions (topography, soil type and vegetation). The influence of farmland establishment on the soil physical properties is discussed.

1 Land clearing and seedbed preparation

Land clearing creates considerable soil disturbances. The removal of surface soil from the field leads to the reduction of the humus content of Ap horizon reclaimed (Fig. 1, 2). The surface soil was removed during the removal of the rootmat of Sasa, a common undergrowth plant in Hokkaido, which has a dense root system tightly adhering to the soil mass. Seedbed preparation homogenized the disturbed soil, though not to the level of the virgin soil.

2 Comparison of two land clearing methods for grassland establishment

Some soil properties and yield of grassland were compared after land clearing using a shredding machine (S-plot) or a conventional rake dozer (R-plot) in a volcanogenic Regosol region. Humus content, the values of CEC and available moisture of the Ap horizon of the "S-plot" were similar to those of the A1 horizon of the virgin soil (Table 2) while the corresponding values of these parameters were markedly reduced in the Ap horizon of the "R-plot" due to the removal of the surface soil. Grass yield in the "S-plot" was higher than that in the "R-plot" during the five year period of examination after the grassland had been established (Table 1).

3 Flat farmland reclamation by backslope cutting and foreslope banking

The cutting and banking operations caused severe soil compaction and destruction of the soil structure (Fig. 3). Subsoiling loosened the compacted soil but its effect depended on the soil types and soil moisture conditions (Fig. 4).

4 Water erosion during land reclamation process (artificial rainfall experiment)

For similar rainfall intensities, the runoff intensity of the field where the excavated stumps were left (ST-plot) was lower than that of the field where the ground surface was leveled after the excavated stumps had been excluded (EX-plot). The amount of eroded soil per unit volume of runoff water in the "ST-plot" was larger than that in the "EX-plot" while the total amount of eroded soil showed a reverse pattern (Fig. 5, Table 3). Due to the continuous runoff the particles of eroded soil became gradually coarser and the humus content decreased (Fig. 6).