

積雪寒冷地における排水改良の現状と今後の展開

北川 巖*

A New Turn and Present State of Drainage Improvement in Snowy Cold Region

Iwao KITAGAWA*

* Hokkaido Pref. Central Agric. Exp. Stn, Kita 15 Higashi 6 Sen Naganuma-cho
Hokkaido 069-1395, Japan

1. はじめに

南北に長い我が国では、気候や土壌、地形に応じた農業を展開している。積雪寒冷地である北海道には農業利用に不利な湿性土壌が広く分布しており、農地の42%は融雪期や降雨時に過湿条件となりやすく排水改良を必要としている(橋本・志賀, 1993)。さらに、近年の圃場の大区画化と大型機械化農業の進展に伴い、多くの農地では人為による土壌物理性の悪化が進み、排水性が低下している。

これまででも、排水性に劣る農地には、暗渠排水や心土破碎による改良が施されてきた。農業者はこれらの排水改良に対して作物の増収と農作業性の向上、さらには冷湿害条件下での生産性の安定化などを期待している。それとともに、排水改良は導入作物の多様化や機械作業の体系化を支援する技術としての役割が大きい。そのため、より高い効果の排水改良が必要との方針(農林水産省, 2000a)が示されている。

北海道では、排水不良による生産性の低下を回避するための対応策として土地改良事業により導入しやすい暗渠排水による改良に偏りがちである。しかしながら、排水不良の原因となる土壌物理性を考慮したとき、効果的とされる改良が、土層改良を組合わせた暗渠の場合も想定される。

このような、暗渠排水単独での改良が多い背景には、組合わせ暗渠などで事業制度の運用が難しい点、組合わせによる改良法の情報が農業者や技術者での検討段階に伝達されていないことが挙げられる。そのため、今後の排水改良に向けて、土壌や地形を考慮した暗渠排水と土層改良を組合わせた技術を提示していくことが必要である。

本報では、農地の土地生産力を増強するための排水改良の知見から、近年の施工技術を用いた土壌や地形、地目を考慮した具体的な排水改良技術について北海道での取り組みを中心に紹介すると共に、今後、求められる排水改良に係る技術開発の展開方向について述べる。

2. 排水改良と生産性

積雪寒冷地では気象変動への対応が農業生産にとって重要である。北海道では5年に1度の頻度で冷害や湿害による農業被害が発生している。30~100年に1度の厳しい低温かつ大雨年といわれた1994年や1996年には北海道東部の畑作地帯で多大な農業被害となった。

気象変動への対応としては、土壌物理性の改善、とりわけ暗渠排水などによる農地の排水性の維持が重要である。ここでは、暗渠排水の農業生産上の効果である、冷湿害時の農業生産性を安定化する効果を図1に示す。畑作の主要な作物で、湿害に弱いテンサイとアズキ、収穫前の多雨で腐敗し品質が低下するバレイショについては、冷湿害年の1996年と平常年の1997年の収量から暗渠排水の効果を見る。また、乾燥地での栽培が好ましいコムギについては平常年の1998年と1999年の収量から暗渠排水の有無の影響を見る。

冷湿害年の1996年の暗渠未設置圃場の平均収量はテンサイで39.8 Mg ha⁻¹、バレイショで31.9 Mg ha⁻¹、アズキで1.54 Mg ha⁻¹と同年の本地域の平均収量であるテンサイ44.8 Mg ha⁻¹、バレイショ35.0 Mg ha⁻¹、アズキ2.16 Mg ha⁻¹を大きく下回った。一方、暗渠圃場の平均収量はテンサイ54.4 Mg ha⁻¹、バレイショ41.0 Mg ha⁻¹、アズキ3.11 Mg ha⁻¹と暗渠未設置圃場の平均収量より高く、収量の変動も小さかった。このことから、暗渠排水による排水改良は冷湿害年において畑作物の生産

* 北海道立中央農業試験場, 夕張郡長沼町東6線北15号
 キーワード: 排水改良, 暗渠排水, 土層改良, 土壌分類, 生産性

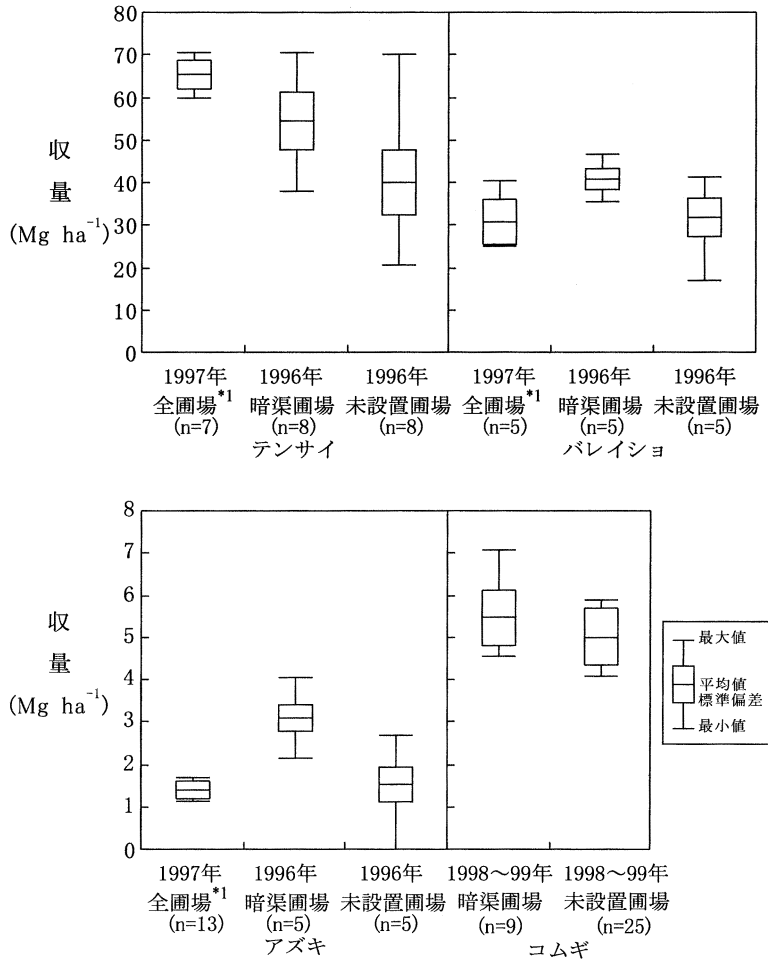


図-1 暗渠排水の有無が作物収量に与える影響

*1 全圃場とは暗渠圃場と未設置圃場の両方を合わせて示したもの。

注1) 暗渠圃場と未設置圃場は隣接し、同一作物を農家慣行で栽培した。

注2) 調査年の気象条件は、1996年が異常年、1997年が平常年(やや低温)、1998年と1999年が平常年である。

性を安定化する効果が大きいと判断して良い。

一方、平常年の1997年には暗渠圃場と未設置圃場の収量に差やばらつきが小さかった。乾燥地での栽培が好ましいコムギでも平常年では乾燥傾向に推移する暗渠圃場で収量が微増する程度であった。

排水改良は、畑作物の湿害による収量低下を回避する効果が高く農業経営上のメリットが明確であるため、現在も農業者から根強い要望があり、今後もより高水準の効果の改良が求められている。

3. 排水改良技術の進展

3.1 暗渠排水の機能低下の原因

これまでも圃場の排水性は、明渠排水や暗渠排水、心土破碎、火山灰客土、さらには営農による耕耘管理や有機物投入により改善されてきた。暗渠排水はこれら排水改良の中で土壤中の余剰水を排除する最も有効な手段である。しかし、農業者からは暗渠排水に期待する効果が発揮されない機能不良や機能低下があるといわれている。暗渠排水の機能低下の原因については、暗渠管の閉塞(日下ら, 1993; Dent, 1986; Ishiwata *et al*, 1998; 佐々木ら, 2003; Kitagawa and Takeuchi, 2004)や暗

渠管の不陸、汎用田での耕盤の形成や疎水材の投入量不足（村島・荻野，1992），埋戻した土壌の物理性悪化（石渡ら，1992），などが指摘されていたが，各原因の発生頻度が不明であった。

ここでは，北海道における暗渠排水の機能低下の発生割合について表1に示す。この暗渠排水の機能低下の原因調査では，道内253カ所の暗渠排水の施工圃場を掘削し，断面調査や暗渠排水の掘削溝横と埋め戻し部，渠間

の土壌の土壌物理性，疎水材や暗渠管の埋設深や状態などを調査した。

暗渠排水が十分に機能しない原因は，①暗渠排水に疎水材を使用していない，若しくは疎水材の使用量が不足している，②暗渠排水の埋戻し部の透水性が低く，暗渠管まで水が達していない，③耕盤層などの人為による透水性不良土層が生成しているが，④このような透水性不良土層を心土破砕などの営農による排水対策で改善して

表-1 北海道における暗渠排水*1の機能低下の原因とその発生割合（北川ら，2000より，一部改変）

項目	機能不良及び管理項目	地目又は資材	発生割合(%)	調査項目の対象数(圃場数など)	機能不良などの原因又は機能の評価基準等	改善対策例
疎水材の使用量	吸水渠	水田	71.9	96	深さ25~30cmに達してない。(未使用含む)	疎水材の投入量の管理。 複数の疎水材による低コスト化。
		畑地	94.6	74	深さ30~40cmに達してない。(未使用含む)	
	集水渠*2	水田	53.3	15	深さ25~30cmに達してない。(未使用含む)	地域発生資源の利活用。 細溝トレンチ構造の導入。
		畑地	75.0	16	深さ30~40cmに達してない。(未使用含む)	
埋戻し	透水性の低下	水田	65.4	26	埋戻し部の透水係数 10^{-6}ms^{-1} 以下，かつ粗孔隙が減少。	掘削・埋戻し時の土壌水分管理や季節を利用した施工管理。 低圧縮性の疎水材による，暗渠直上の機械走行性の不安解消。
		畑地	73.3	45	埋戻し時期と機械での転圧強度に問題がある。	
営農管理	耕盤層の生成状況	水田	71.3	129	山中式土壌硬度計指示値 0.72MPa以上	営農による排水管理の徹底。 作土の排水条件が悪くなると暗きょ排水も機能しなくなる。
		畑地	52.6	38		
被覆材	排水管理実施率*3(心土破砕/溝きり)	水田	23.0/32.0	平均値	市町村で排水対策に差がある(空知地方市町村2000年調査)	腐朽の進行 稲藁 麦稈
		転換畑	54.3/13.3			
管へ付着(通水阻害)	腐朽の進行	稲藁	68.2	85	C/Nが20以下かつ，触診と目視で腐朽進行を確認。	暗渠管へのワラ系被覆材は腐朽しやすく，かつ高水分の膜状付着が発生する。稲ワラは使用しない。
		麦稈	52.4	42		
暗渠管の浅層化	管へ付着(通水阻害)	稲藁	36.5	85	水田：腐朽と高水分で付着する。 畑地：腐朽で細粒化，未付着。	地下水調整で過乾燥を防ぐ。間隔等の調整可能な無材暗渠の活用。
		麦稈	0.0	42		
吸水渠の構造	逆勾配	泥炭土	4.7mm/年(平均値)	60(全100地点)	現地実測と設計図の施工深度から変化量を推定。	2003年使用率は85%まで向上。 モミガラさえ未使用の地域あり。利用可能な資材が少ない。 大経営規模で費用抑制。
		全地目	43.4	63,131ha		
管のズレ	管内の沈積物(5mm以上の発生率)	水田	61.1	15,976ha	泥炭土や酸性土，湿地で酸化鉄が，シルト土壌で泥土が沈積。	閉塞物質に対応した各種の閉塞防止対策の導入。
		畑	41.8	41,652ha		
管の破損	管のズレ	草	4.1	5,503ha	土管敷設時に発生する。	施工・敷設方法や掘削形状改善。
		全管種	13.5	253		
掘削	管の破損	土管	6.5	155	合成樹脂管に変形・巻き癖。	資材点検と施工管理。
		全管種	0.4	253	崩落性の高い土壌で発生。	土壌に応じた施工計画の変更。
落水口	過剰な掘削	全地目	7.6	184	草刈時や排水路の管理不足。	年1度の点検と補修。
		全地目	5.2	194	排水路の状況を未考慮。	地域による排水路管理
水閘	破損	全地目	5.2	194	排水路の状況を未考慮。	地域による排水路管理
		水没	5.2	194	排水路の状況を未考慮。	地域による排水路管理
水閘	破損及び機能不良	水田	5.2	96	草刈りや営農，積雪圧で破損。	積雪地対応の設置位置の改善。

*1 本調査の対象とした暗渠排水は1965~1997年に施工した暗渠である。

*2 集水渠への疎水材の使用は道営事業で水田と畑地で行われている。畑地では谷部に集水渠が配置されているため吸水機能を持たせるよう疎水材を投入している。一般的には吸水渠に扱われるが，ここでは集水渠として区分した。ただし，通水するだけの末端の集水渠には疎水材は投入されていない。

*3 1998年の北海道空知地方の全市町村における実施率の平均値（北海道農政部調べ）。

*4 1971~1997年までの道営事業で内容が明確な256地区の暗渠排水63,131haが対象である。

いない、場合が多いことが分かった。一方で、⑤以前から暗渠排水の機能低下の原因と指摘されている暗渠管の閉塞や不陸、管の曲がりやズレの発生割合は、土壌物理性に起因する排水性低下の発生割合より低かった。また、暗渠管の閉塞や浅層化、過剰な掘削は、特定の土壌条件で発生することも明らかになってきている。さらに、暗渠排水の排水口である落水部や水閘が破損しているなど、維持管理上の問題も確認された。

3.2 暗渠排水技術の進展

暗渠排水の機能を向上させるには、まず、通水性促進のための疎水材を使用するとともに適切な使用量を確保することが必要である。以前の北海道では水田地帯でモミガラが、畑地でピリ砂利が疎水材として使用されていたものの、疎水材の使用カ所の比率は低く、かつ、使用量も十分でなかった。そのため、疎水材を使用した場合でも暗渠直上には埋戻し部が厚く存在していた。この傾向は畑地と草地で顕著であった。

疎水材として広く利用されているモミガラについては疎水材への活用と耐久性(永石, 1977, 吉田ら, 2005)が検討されている。しかし、水田や畑地、草地が広大な地域毎に分かれている北海道では、畑地と草地で疎水材として使用できるモミガラなどの資材が少ない。そのため、疎水材を多量に使用するには、各地域において疎水材として利用可能な地域資源の利用開発が必要であった。

現在、北海道で使用可能な疎水材は表2に示すように多くのものがある。北海道暗渠排水設計指針(案)(北海道農政部, 1998)が示されて以降、北海道の主要樹種であるカラマツの木材チップ(北川ら, 1996)をはじめ、各地の火山噴出物や伐採根チップの木材系廃棄物の有効活用(北川ら, 2000), ホタテ貝殻(穴戸ら, 2002), ロックウール(Kitagawa and Takeuchi, 2004)などの資材活用が進んでいる。

暗渠排水の機能向上には、次に、埋戻し部の透水性の低下を回避するため、適切な施工管理の検討を進める必要がある。

暗渠排水の埋戻し部は、その作業により圧縮され暗渠排水の効果を低下する事がある(石渡ら, 1992)。そのため、埋戻し作業ではこのような圧縮をさける必要がある。暗渠排水の施工や埋戻し作業などは土壌が乾燥する春に行うことが望ましいが、一般的な暗渠排水の施工は収穫後の秋から初冬に集中する。この時期は降水量が多く、表土や掘削土が高水分であるため、機械作業で練返されて透水性が低下しやすく、暗渠排水の機能を低下させてしまう。一方、乾燥条件となる春の施工期間は、融雪後から施肥や耕耘作業が始まるまでの短期間であるため、大面積での施工を対象としにくい。

暗渠排水の施工において埋戻しの作業を適正に行うための取り組みとしては、北海道の積雪寒冷地の特徴を生かした冬季雪上での暗渠排水の施工により、表土の練返

表-2 北海道で利用可能な疎水材(北川ら, 2000より一部追加)

資材名	容積重 (Mg m^{-3})	飽和透水 係数 (m s^{-1})	粒径 (mm)	圧縮率*1 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	疎水材の 使用割合 面積(%)*2	主要な成分 (含有率 kg kg^{-1})	北海道 における 耐用年数
モミガラ	0.121	7.8×10^{-4}	2~5	50.4	21	セルロース(0.30) ケイ酸(0.15)	10年程度
針葉樹木材チップ	0.367	2.6×10^{-3}	10~40	20.1	6 (試験)	セルロース(0.50) リグニン(0.28)	15~20年
樹皮付きチップ	0.380	3.0×10^{-3}	10~40	19.2		セルロース(0.55) リグニン(0.28)	15~20年
混交林伐根チップ	0.303	1.6×10^{-2}	75~125	35.0		セルロース(0.45) リグニン(0.25)	10~20年
火山礫	恵庭降下軽石堆積物	0.720	9.6×10^{-3}	2~27	1.6	—	長期
	支笏降下軽石堆積物	0.830	1.1×10^{-3}	5~38	1.3		
	樽前降下軽石堆積物	1.070	4.5×10^{-2}	10~53	0.9		
	摩周降下軽石堆積物	0.710	3.7×10^{-2}	20~75	0.9		
	駒ヶ岳降下軽石堆積物	0.825	8.0×10^{-2}	20~80	1.0		
火山灰	屈斜路火砕流堆積物	1.010	4.8×10^{-5}	細砂~粗砂	2.5	—	長期
	屈足火砕流堆積物	1.210	1.3×10^{-5}	シルト~粗砂	4.2		
砂利	0.810	5.1×10^{-3}	0~25	1.0	29	—	長期
ホタテ貝殻	0.480	5.6×10^{-2}	20~50	0.2	5	CaO(0.55) C (0.10)	30年以上
ロックウール	0.300	3.0×10^{-3}	綿状	17.5	0	CaO(0.45) SiO_2 (0.35)	30年以上
粗粒石炭焼却物	0.950	2.3×10^{-4}	2~10	2.1	(試験)	SiO_2 (0.55) Al_2O_3 (0.30)	長期

*1 圧縮率は埋戻し土のかぶり土圧を想定した 5.02 kPa により 24 時間の静的締固めによる体積減少率とした。

*2 2003 年に道営事業で使用した疎水材の推定面積から算出した割合。なお、疎水材の使用率は全暗渠排水の 85% である。

し防止や春の乾燥時期に埋戻し作業を行う方法が導入されている（山品，2002）。このような雪上で施工することで土壌の物理性の悪化を回避する施工方法は，すでに心土破碎でも行われており（橋本，1987），積雪寒冷地の施工管理技術となっている。

3.3 土層改良技術の進展

暗渠排水だけで圃場の排水性を維持していくことは難しい。排水性が低下する原因は，疎水材直上を含む土層中へ耕盤などの不透水層が形成される（村島・荻野，1992），重粘土のように元々土壌が堅密で不透水性である（横井ら，2001 a），営農による表土の練返しでの透水性が低下する，など多様である。これらの対応策としては，強制的に暗渠排水までの通水経路を確保する補助暗渠がある（表 3）。代表的な水田の補助暗渠であるモミガラ心破（大垣，1980）の施工方法にはトレンチャーで掘削した渠溝に疎水材を投入する方法，心土改良耕（北海道農業開発公社，1990）やレイヤー工法のように土を押し広げて作った渠溝に疎水材を投入する方法がある。し

かしながら，現在，モミガラ心破による補助暗渠はモミガラ収集や施工労力確保の面から営農管理としてあまり行われていない。

一方，畑地での排水改良は，地域の目標収量の高まりと多様な野菜作の増加など排水性に対する要求度が高くなり，長期的な改善効果も期待されている。このことから心土を破碎しながら，完熟バーク堆肥や火山灰を溝状に下層土に投入し渠溝を構築する，補助暗渠の機能と下層土の肥沃度向上を併せた改良である有材心土改良耕（横井ら，2001 b；東田・北川，2002；北川ら，2001）が畑地で導入されている。

他方，資材を用いない低コストな改良としては，重粘土などで硬盤を破碎するパンブレーカーによる心土破碎，泥炭土や重粘土に対する弾丸暗渠がある。心土破碎には土壌物理性の改良によって農作業性や作物生産性を向上させるとともに，排水改良の補助的工法として排水性を改善する効果がある。北海道における心土破碎は，緊急開拓事業を背景に広く実施され，機械の開発も進ん

表-3 排水改良として用いられる補助暗渠工法の種類と特徴

工 宅	対象地目	施工方法の特徴	主な使用資材
有	畑地	60 cm 間隔にオブナーと呼ばれる梨体で心土破碎をしながら表土直下に幅 10 cm・高さ 25~30 cm の資材を充填した渠溝を構築する。	完熟バーク堆肥，火山灰
材	畑地	表土直下に資材を投入し，ヘビークルチで下層土を耕耘破碎しながら資材を混和し，表土直下に厚さ 10~15 cm の資材入りの膨軟土層を面的に構築する。	完熟バーク堆肥，火山灰
	水田	トレンチャーにより幅 7~15 cm の縦溝を掘削し，掘削した溝に資材を充填して渠溝を構築する。渠溝の間隔と深さは自由に設定できる。	完熟バーク堆肥，火山灰，火山礫，モミガラ，木材チップ，貝殻
	畑地	土壌の物理性により適した掘削刃の形状が異なる。トレンチャーの掘削刃はカップ刃が一般的で，堅密な土壌ではカッター刃が適している。複合刃もある。	
	水田	梨体で土を押し広げた幅 4~10 cm の溝に資材を充填した渠溝を構築。渠溝の間隔は自由に設定できる。	モミガラ，木材チップ
	水田	1 m 間隔に梨体で心土破碎をしながら表土直下に幅 10 cm・高さ 25~30 cm の資材を充填した渠溝を構築する。	モミガラ，木材チップ，火山礫，貝殻
	畑地 草地	破碎爪と爪の最下部に接続したウイングを土中に引き込むことで下層土を破碎する。	—
	全地目	梨体と梨体最下部に接続した円錐状の抵抗体を土中に引き込むことで，円形空洞を成型する。	—
無	畑地 草地	トレンチャーにより幅 5~10 cm の縦溝を掘削し，表土以下で溝の中央部分で横の土を寄せて土蓋をして空洞の渠溝を構築する。渠溝の間隔と深さは自由に設定できる。	—
材	畑地 草地	切断刃梨体と排土板により縦長の土塊を切り抜きながら持ち上げ，下層に幅 10 cm の縦溝を掘削し，溝横の土を寄せるなどして持ち上げた土塊を固定し，空洞の渠溝を構築する。渠溝の間隔と深さは自由に設定できる。	—

だ。現在の直装三連（深さ 0.45~0.60 m, 間隔 0.9 m）のパンブレーカーは 1960 年代に完成している。また、営農管理に欠かせないサブソイラーによる心土破碎については、心土の破碎効果をより高めるため破碎爪に幅が広い抵抗板を付けた改良型心土破碎の効果が明らかにされる（丹羽ら, 1999）など、機械開発が進展している。

資材を用いない排水改良である弾丸暗渠は 1960 年代の泥炭地開発で広く普及したが、資材を用いた暗渠排水の一般化により行われなくなった。低コストな排水改良であった弾丸暗渠は、耐久性に劣るため、今となっては事業での実施はない。弾丸暗渠の耐久性の問題を改善した無材暗渠は、トレンチャーや切断刃で溝を掘削し、溝の横の土を使った土蓋で溝を塞ぎ、土中に空洞を成型するものである。この無材暗渠は暗渠管や疎水材などの資材を用いないことを特徴とし、低コストで緊急的な対応が可能な排水改良である（北川ら, 2004）。無材暗渠の適用土壌は泥炭土と粘質な低地土で、施工費用が心土破碎の 1.5 倍程度と低コストであり、大規模畑作および草地酪農地域での活用が想定される。

また、排水改良の要求は大規模野菜作の進展により高まってきており、表土の排水性も改良対象となっている。表土の透水性や保水性を短期間で抜本的に改善することは暗渠排水や補助暗渠では難しいが、砂質な火山灰客土では容易である（竹内ら, 1994, 横井ら, 1998）。これら火山灰客土による表土の排水性改善は、畑作地帯で急速に普及している点から効果的であることがうかがえる。

さらに、花きなどの施設園芸栽培では細やかな土壌水分管理が求められ、土壌の改良の必要性も高い。そのため、粘質な低地土では、表土の透水性改善として火山灰客土と粗大な有機物施用が必要である。また、ハウス内の下層土に対しては、暗渠排水による排水改良と完熟

バーク堆肥を投入した渠溝を作る有材心土改良耕により根域の拡大と補助暗渠の機能を持たせる土層改良が求められる。このような総合的な圃場改善の取り組み（北川ら, 1998）が転換畑で始められている。

4. 排水不良地の特徴と排水改良の組み合わせ技術

4.1 排水改良が必要な土壌の実態

我が国では年間に 2~4 万 ha の暗渠排水を施工している。多くは土地改良事業として行われている。暗渠排水の施工は積雪寒冷地である北海道・東北・北陸で多く、北海道は全国の約 30% を占めている。脇坂・小林（1981）の全国調査でも積雪寒冷地ほど暗渠排水の施工面積が広い。図 2 には北海道において 1971 年から 1997 年に施工した暗渠排水で、詳細が明らかな 256 地区について地目別に対象土壌の面積を集計した結果を示す。

水田の暗渠排水は、融雪期と落水後の早期乾燥化が主目的で、地下水位が高い、若しくは表土が粘質で透水性が悪い、泥炭土やグライ土で多く施工された。

畑地では根圏域を酸化的に保つため、停滞水や過湿な土層の余剰水を早急に排除することが重要となる。そのため、排水改良は、地下水位が低く、強粘質、堅密、あるいは粗孔隙が少なく排水性の劣悪な土壌でも必要である。これらのことから畑地の暗渠排水は、灰色台地土や灰色低地土の重粘土、高水分条件となる多湿黒ボク土で多い。さらに、非湿性土壌である褐色森林土や褐色低地土においても、機械作業での不透水層の形成による透水性の低下（丹羽ら, 1999）が指摘され、これを裏付けるように暗渠排水が施工されている。

草地では圧倒的に泥炭土と灰色台地土や灰色低地土で暗渠排水の施工面積が広い（図 2）。

4.2 排水不良土壌の物理性

我が国の排水改良は水田および転換畑での知見が多い

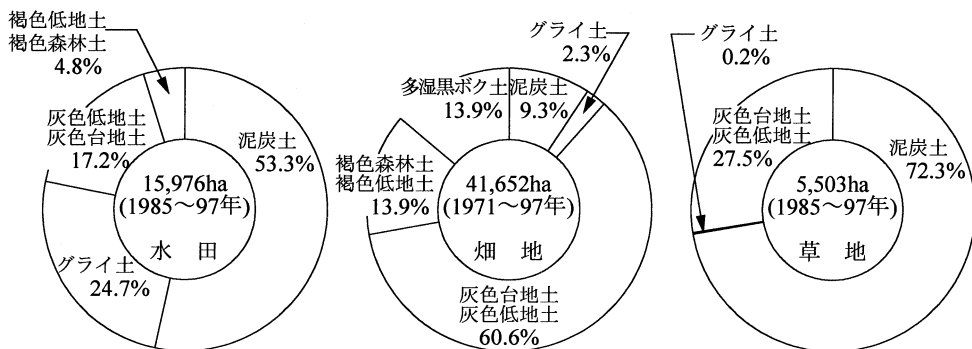


図-2 北海道における暗渠が施工された農地の土壌別の割合（北川ら, 2000 より）
（1971 年～1997 年までの道営事業で内容が明確な 256 地区の暗渠排水 63,131 ha が対象）

ものの、畑地の土壌物理性を考慮した暗渠排水の構造や工法の適否、整備水準の検討が少ない。北海道は畑地と草地の面積率が高く、かつ、1978～2001年の暗渠排水施工面積 224,000 ha の57%が畑地および草地を対象（北海道農政部，2003）としている。そのため、北海道において畑地の暗渠排水は重要な問題である。ここでは畑地を中心に述べる。

従来の暗渠排水では土壌によって必ずしも十分な効果が得られない場合があった。そこで、土壌に応じた排水改良を進めるため、代表的な排水不良土壌であるグライ土（下層有機質）、多湿黒ボク土、灰色台地土の畑地での土壌水分環境を図3に示し、排水改良の必要性と改善策について整理する。なお、図3は暗渠の間隔が10～12mの圃場で、地下水位、土壌水分吸引圧、暗渠排水量（5～6m間隔の高密度区についても表示）を計測した結果である。

4.2.1 グライ土

グライ土では地下水位が1m内外の浅い位置にある。地下水位は、降雨直後に急激に上昇し、長雨により暗渠間中央だけでなく、暗渠の脇2m地点でも高まる。地表の排水が進み乾燥してきても、地下水位は降雨直後に60～80cmまで上昇した後、緩慢に低下する。乾燥過程の土壌水分吸引圧は、下層ほど地表よりも遅れて低下するため、地表と下層で土壌水分吸引圧の差が広がり、下層ほど乾燥しにくい。このため、低湿地に分布するグライ土では、浅い深さに存在する地下水と降雨による余剰水を排除する必要がある。グライ土の暗渠排水は地下水位の上昇を抑制し、作物の根圏域を深くまで確保することから、農業生産にとって効果的である。

4.2.2 多湿黒ボク土

多湿黒ボク土では連続した降雨期における多雨時以外に、1m以浅に地下水が存在することはない。多湿黒ボク土は火山灰を母材とすることから飽和透水係数は高いものの、深さ50cmまでの土層全体の易有効水分孔隙量が多い（石渡ら，1993）。季節的に降水量が増加する時期では、土層全体の土壌水分が高く推移するとともに、易有効水分の過多に起因する気相率の減少により通気性を阻害し湿害を誘発しやすい（保井ら，2000）。

多湿黒ボク土では長雨時に土層全体が過湿となるが、停滞水が発生した僅かなときしか暗渠排水は余剰水を排除しない。そのため、多湿黒ボク土では過湿条件下でも粗孔隙を確保して通気性を維持することが必要と考え、作土直下に透水性と通気性の高い疎水材を投入した縦溝を構築する有材土改良耕（東田・北川，2002）を組合わせた改良が作物生育にとって望ましい。また、多湿黒ボク土は緩傾斜地に分布しており、地形による不規則な

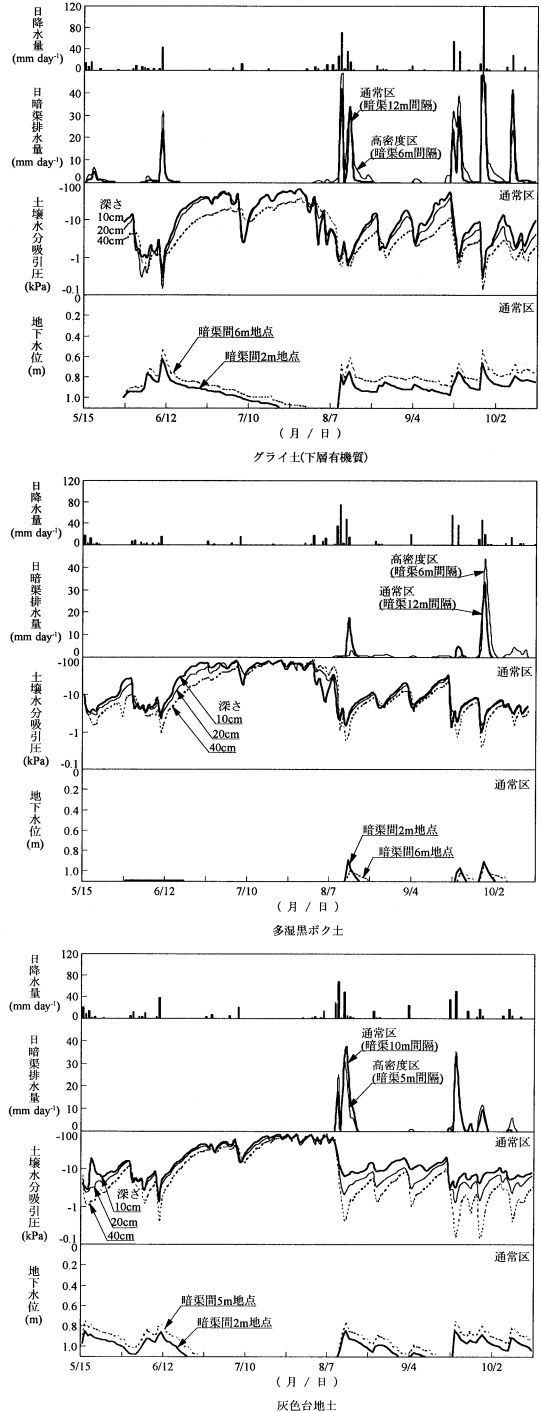


図-3 代表的な排水不良土壌の土壌水分環境と暗渠排水の効果（1997）

湿潤箇所が発生するため、このような改良を補助暗渠と組合わせた暗渠排水の有効性は高い。

4.2.3 灰色台地土

灰色台地土は細粒な表土と30~40 cm以深に堅密でかつ不透水性な下層土が出現し、根域となりえる有効土層が浅く、保水性も小さい。また、台地上にあるため降雨以外に1 m以浅に地下水面を形成する水供給がない場合が多い。土壌水分は乾燥期に下層でも低くなり、土層全体が乾燥傾向となる。一方、長雨が続くと余剰水は表土以下の不透水層に停滞する。その後、不透水層の停滞水は徐々に消失していく。排水による乾燥過程では、下層からの地下水の供給がないため、地表から深部まで土壌水分吸引圧が地表の値に近づき、土層全体が乾燥に向かう。

灰色台地土の暗渠排水は不透水層の停滞水が土層中を通じて集水し排水するが、粗孔隙の少ないことと透水係数が小さいことから土壌中への浸透水量も少なく、排水機能が十分に機能しない。そのため、灰色台地土では暗渠排水の間隔を狭くしても効果的でない。暗渠排水の効果を高めるには、土壌の粗孔隙を増加させて透水性を高め浸透水量を増やす心土破砕や有材心土改良耕(横井ら, 2001b)などの組合わせが必要とされる。

4.3 地形と排水性

畑地の排水改良は土壌物理性のほかに、地形により余剰水が傾斜下部に集中する(Kirkby, 1978)ことから、地形への考慮も重要となる。

傾斜が50分の1未満の圃場では、暗渠の間隔を地形に合わせて配置しにくいいため、有材心土改良耕などの補助暗渠を必要な部分に追加して対応する。一方、傾斜が50分の1以上になると余剰水の移動量も大きく、斜面下部の排水能力を高めるため暗渠そのものの間隔を地形に合わせて配置する必要がある。地域によっては、地形による斜面下部での伏流水に対応するため斜面下部の暗渠の間隔を狭くしている。

5. 排水改良の問題点と今後の展望

5.1 これまでの排水改良の問題点とその対応

これからの排水改良には、土壌や土地条件への対応が不可欠で、現場により多様な対応策が必要と考える。そこで、地域の特性に対応した排水改良の効果を発揮するため、農耕地土壌分類第2次案改訂版(農業技術研究所, 1983)による土壌の特性評価を基に、土壌に対応した排水改良対策を表4に示す。ここでは、新たな暗渠排水を整備するときの適当な暗渠の間隔と、暗渠排水の機能が十分発揮されない場合、若しくは機能が低下した場合に対応すべき土層改良の組合わせを示した。ここで使用し

た土壌分類の農耕地土壌分類第2次案改訂版は地力保全基本調査により全国を網羅した農耕地の土壌図の統一的な土壌区分である。この土壌図には土壌管理から排水改良まで必要な改良方針が示され土地改良事業での使用も想定されている。この地力保全土壌図は地理情報システムで使用する土壌情報データベース(日本土壌協会, 2002)となっている。

また、これまでの排水改良は暗渠排水の単独施工が多く、15年程度の短期間で暗渠排水を再整備することが当然のように行われてきた。しかし、表1に示すように、暗渠排水の機能低下の原因は、土壌物理性が悪化した場合や疎水材が未使用である場合が多い。これらを考慮すると、今後の排水改良は既存の暗渠排水を生しながら、前述の表4ような組合わせにより排水機能を強化・回復することが効果的と考えられる。しかし、排水改良は公共事業として行われる場合が多いため、事業の種類や目的によって、組合わせが可能な土層改良などが制限され、暗渠排水単独による改良が多くなる。そのため、今後は農業生産地の状況をふまえ、効果的な排水改良が行えるよう関係者が連携して計画することが大切である。

5.2 今後の技術開発の展開方向

積雪寒冷地で湿性土壌が多い北海道では、排水改良の効果が冷湿害条件下における収量維持など直接的な農業への効果として現れているため、今後も農業者からの排水改良に対する期待は大きい。このような背景から、排水改良技術の進展で望まれる点としては、次のことが考えられる。

農業生産に直接関係する面からは、①排水改良の機能向上や回復技術、低コスト化、耐久性の向上、適正な施工管理法など、これまでの取り組みの継続と、②排水不良地での野菜作や施設園芸の導入への対応など、多様な作物栽培を考慮した改良法が必要である。例としては、これまで排水不良地で生産されなかったナガイモやゴボウなどの根菜類への対応が不十分な点が挙げられる。一方で、③農地排水から排出される汚濁物質の流出を防止する環境対策は必要不可欠となるため実用化と普及が早急に望まれる。

排水改良の計画の面からは、画一的な傾向にある排水改良に対して、④土壌や土地条件に対応した排水改良の推進が必要となる。そのための農地の評価手法として、⑤リモートセンシングなどによる排水不良評価を用いた排水計画・設計・導入技術の選定手法の運用が望まれる。

また、土壌物理性の研究の知見は生産現場における排水改良効果や対応策の有効性などの科学的な説明に必要である。これまでの土壌物理性の知見は⑥数値解析に

表-4 農耕地土壌分類第2次案改訂版に基づく排水改良対策

大まかな土壌区分	土壌群	土壌統群	暗渠の間隔 ^{*1}	土壌改良 ^{*2}	
				下層	表土
黒ボク土	黒ボク土(03)	厚層多腐植質(03A), 厚層腐植質(03B) 表層多腐植質(03C), 表層腐植質(03D), 淡色(03E)	—	(CST)	—
	多湿黒ボク土(04)	厚層多腐植質(04A), 厚層腐植質(04B) 表層多腐植質(04C), 表層腐植質(04D), 淡色(04E)	10~12 m	OST・TDU(・SS)	VSDS
	黒ボクグライ土(05)	多腐植質(05A), 腐植質(05B), 淡色(05C)	10 m	OST・TDU・MD・TMD・CMD	—
台地土	岩屑土(01)	岩屑土(01A)	—	—	—
	褐色森林土(06)	細粒(06A), 中粗粒(06B), 礫質(06C)	(10~14 m)	(CST・OST・TDU)	(VSDS)
	灰色台地土(07)	細粒(07A), 中粗粒(07B), 礫質(07C), 石灰質(07D)	10 m	OST・TDU・ST・SS・MD・ CMD	VSDS
	グライ台地土(08)	細粒(08A), 中粗粒(08B), 礫質(08C)	8~10 m	TDU・TDP・RD・MD・TMD・ CMD	VSDS
	赤色土(09)	細粒(09A), 中粗粒(09B), 礫質(09C)	—	—	—
	黄色土(10) ^{*3}	細粒(10A), 中粗粒(10B), 礫質(10C)	—	—	—
		細粒(10D), 中粗粒(10E), 礫質(10F)・ 斑紋あり	(10~14 m)	—	—
暗赤色土(11)	細粒(11A), 礫質(HB)	(10~14 m)	OST・TDU・SS	(VSDS)	
低地土	褐色低地土(12)	細粒(12A), 中粗粒(12B), 礫質(12C)・ 斑紋なし	—	(SS)	—
		細粒(12D), 中粗粒(12E), 礫質(12F)・ 斑紋あり	(10~14 m)	TDP・RD・SS	(VSDS)
	灰色低地土(13)	細粒・灰色系(12A), 細粒・灰褐色系(12D), 下層有機質(13H)	10 m	TDU・TDP・RD・ST・MD・ TMD・CMD	—
		中粗粒・灰色系(12B), 礫質・灰色系(12C), 中粗粒・灰褐色系(12E), 礫質・灰褐色系(13F), 下層黒ボク土(13G), 斑紋なし(13I)	10~14 m	RD・ST・SS	—
	グライ土(14)	細粒強(14A), 細粒(14D), 下層有機質(14G)	8~10 m	TDU・TDP・RD・ST・MD・ TMD・CMD	—
中粗粒強(14B), 礫質強(14C), 中粗粒(14E), 下層黒ボク(14F)		10 m	TDU・TDP・RD・ST・SS	—	
砂丘未熟土(02)	砂丘未熟土(02A)	—	—	—	
泥炭土	黒泥土(15) 泥炭土(16)	黒泥土(15A) 泥炭土(16A)	10~14 m	TDU・TDP・TMD(・RD・MD・ CMD), 埋木のある場合RD・ MD・CMDは不適。	VSDS
造成土	造成台地土(17)	造成台地土(17A)	10 m~14 m	OST・CST・TDU・TDP・ST・ SS・MD・CMD	(VSDS)
	造成低地土(18)	造成低地土(18A)	8~14 m	TDU・TDP・RD・ST・MD・ TMD・CMD	(VSDS)

^{*1} 暗渠排水は北海道内の地力保全基本調査-土壌図・対策図-記載の間隔と代表的な農業生産地域での土壌物理性の障害性を参考に、北海道暗渠排水設計指針(2002)で対応可能な間隔の範囲に変更して示す。()内は土壌の状態により暗渠排水が必要である場合の間隔と土層改良工法。

^{*2} 下層の土層改良の工法は表3の工法の()内に記載されている略記号とした。また、表土の改良である火山灰客土は(VSDS)とした。

^{*3} 黄色土(10)は北海道に存在しない。一般的に排水の良い土壌とされているが斑紋の有無で暗渠排水の必要性を区分をした。

よるシミュレーションがコンピューターのハード面の進歩により活用が容易となっていることから、コンピューターシミュレーションを用いた排水計画など、数値解析の研究分野の進展と施工面での利活用が望まれる。

引用文献

- Dent, D. (1986): Acid sulfate soils, A baseline for research and development. ILRI publication, 39, p. 37, Wageningen, Netherlands.
- 橋本 均 (1987): 心土破砕の雪上施工, 土壌の物理性, **54**: 43-48.
- 橋本 均・志賀弘行 (1993): 北海道土壌区一覧, 北海道立農業試験場資料, 21.
- 東田修司・北川 巖 (2002): 十勝地方の多湿黒ボク土に対するパーク堆肥充填有材心土改良耕の効果, 北海道集報, **83**: 51-54.
- 北海道農業開発公社 (1990): 籾殻投入心土改良耕, 農用地整備用機械便覧, 財団法人北海道農業開発公社編: 24-25.
- 北海道農政部 (1998): 北海道暗渠排水設計指針 (案), 北海道農政部設計課編.
- 北海道農政部 (2002): 北海道暗渠排水設計指針, 北海道農政部設計課編.
- 北海道農政部 (2003): 農用地等建設業統計 北海道 (1978~2001年).
- 石渡輝夫・横濱充宏・斉藤萬之助 (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): 1-6.
- 石渡輝夫・小林信也・斉藤萬之助 (1993): 北海道の農耕地土壌の孔隙分布特性とその分布図, 日土肥誌, **64** (6): 685-689.
- Ishiwata, T., Takamiya, N., Oya, T. and Yokobori, M. (1998): Properties and components of deposit which occurred inside a drainage tube, Soil Sci. Plant Nutr., **42**: 573-586.
- Kirkby, M.J. (1978): Hillslope Hydrology, 新しい水文学, 日野幹雄 訳, 朝倉書店.
- 北川 巖・横井義雄・津田真由美 (1996): カラマツ木材チップの暗渠疎水材への利用, 水と土, **105**: 54-62.
- 北川 巖・後藤英次・横井義雄・稲津 脩 (1998): 転換畑における花き導入のための土層改良, 土肥誌, **69** (5): 527-530.
- 北川 巖・竹内晴信・横井義雄 (2000): 北海道における暗渠排水の実態と機能向上対策, 平成11年度新しい研究成果—北海道地域—, 北海道農業試験研究推進会議, 農林水産省北海道農業試験場, 20-29.
- 北川 巖・横井義雄・後藤英次・相馬尅之 (2001): パーク資材混合カルチタイン式心土改良耕による北海道上川地方の堅密固結性土壌の改良, 土肥誌, **72** (3): 439-443.
- 北川 巖・竹内晴信・横井義雄 (2004): 無材暗渠による低コスト排水改良技術, 土肥誌, **75** (4): 483-486.
- Kitagawa, I. and Takeuchi, H. (2004): The Mechanism and countermeasure for a clogged underdrain pipe in a low pH area consisting of mud flow from Mt.Tokachi-dake. The 6th International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, (Sendai, Japan): pp. 330-331.
- 日下達朗・深田三夫・大野利博・ロイ キンシュック (1993): 長期間埋設された土管暗渠の管内堆積土壌の状況と吸排水効果の持続性について—暗渠の排水機構と耐用性 (I)—, 農土論集, **168**: 97-104.
- 村島和男・荻野芳彦 (1992): 汎用化水田の暗渠排水の機能とその維持管理, 農土誌, **60** (1): 13-18.
- 永石義隆 (1977): 暗きょ疎水材としてのモミガラ耐用性について, 農土誌, **45** (6): 387-390.
- 日本土壤協会 (2002): 地力保全基本調査による土壤情報データベース, 土壤環境評価システム開発事業, 財団法人日本土壤協会.
- 丹羽勝久・辻 修・大淵清志 (1999): 細粒質褐色低地土に生成した耕盤層が土壤水分変動およびテンサイ根系発達に及ぼす影響, ベドロジスト, **43** (1): 7-15.
- 農業技術研究所 (1983): 農耕地土壌の分類—土壌統の設定基準および土壌統一覧表—第2次案改訂版, 農業技術研究所化学部土壌第3科.
- 農林水産省 (2000a): 水田を中心とした土地利用型農業活性化のための技術資料集.
- 農林水産省構造改善局 (2000b): 土地改良事業計画設計基準「暗渠排水」, 農業土木学会編.
- 大垣昭一 (1980): 北海道における汎用耕地の問題点, 農土誌, **48** (7): 479-484.
- 佐々木長市・角野三好・加藤 幸・高松英明 (2003): 砂丘畑の暗渠機能低下原因と対策, 農土誌, **71** (9): 811-814.
- 穴戸信貞・石渡輝夫・森川俊次・中村和正 (2002): ホタテ貝殻の暗渠排水疎水材としての効果と性状変化, 土肥誌, **73** (1): 11-15.
- 竹内晴信・大山 毅・宮脇 忠・菊地晃二 (1994): 北海道網走地域の畑地に対する軽石流堆積物客土の効果と問題点, 土壌の物理性, **70**: 55-66.

- 脇阪銃三・小林宏康（1981）：最近における暗渠排水の傾向について，農土誌，**49**（12）：1025-1032.
- 山品正志（2002）：雪上施工，農土誌，**70**（4）：339.
- 保井聖一・丹羽勝久・大淵清志・菊地晃二（2000）：十勝管内における湿性畑土壌の物理的特徴と作物生育，第1報 多湿黒ボク土の物理性とテンサイ根系，土壌の物理性，**85**：31-40.
- 横井義雄・長谷川進・坂本宣崇（1998）：北海道上川地方の堅密固結性土壌に対する砂質火砕流堆積物の客土効果，土肥誌，**69**：644-648.
- 横井義雄・北川 巖・菊地晃二（2001a）：十勝岳火砕流堆積物を母材とする美瑛丘陵地の土壌生成，ペドロジスト，**45**（2）：105-111.
- 横井義雄・北川 巖・後藤英次・田丸浩幸（2001b）：北海道上川地方の堅密固結性土壌に対するオープン式有材心土改良耕の効果，土壌の物理性，**88**：37-44.
- 吉田修一郎・足立一日出・関 光夫（2005）：重粘土水田における暗渠疎水材もみ殻の劣化と渠溝の空洞，農土論集，**73**（1），25-33.

要 約

積雪寒冷地の暗渠排水を基軸とした排水改良について、北海道での取り組みを解説する。暗渠排水の農業生産上の役割としては、畑作物の冷湿害による収量低下を回避する効果が高いことが示された。排水改良技術の進展については、従来から指摘のある暗渠排水の機能低下の原因を含め、実態調査から各原因の発生割合とその要因を明らかにした。この対応策としては、暗渠排水について地域資源の疎水材への利用や積雪寒冷地の施工管理を、土層改良について排水不良土壌に対する各種改良工法の進展を示した。

暗渠排水の施工実態からは、地目と排水改良が必要な土壌の特徴を明らかにしている。排水不良土壌の特徴を考慮した暗渠排水と土層改良を組合わせた排水改良は農地の排水機能を強化・回復できる。本報ではその組合わせを提案している。

受稿年月日：2005年4月26日
受理年月日：2005年5月23日