

粘土質転換畑における地下灌漑の適用性

福本 昌人*1・深山 一弥*2・小川 茂男*1

Applicability of subirrigation in clayey paddy fields converted to upland fields.

Masato FUKUMOTO*1, Kazuya MIYAMA*2 and Shigeo OGAWA*1

*1Hokkaido National Agricultural Experiment Station

*2National Research Institute of Agricultural Engineering

Summary

To determine the applicability of subirrigation in clayey paddy fields converted to upland fields, water movement during subirrigation and the effect of subirrigation on wheat yields were investigated in field tests. Subirrigation supplies water to drain pipes by gravity from the irrigation canals. The results were :

① Where the subsoil had well-formed cracks, irrigation water flowed laterally in the subsoil through the cracks, and penetrated the plowed layer by gravity from the subsoil near the drain pipes after the cracks in the subsoil were filled.

② When supplying irrigation water up to the plowed in this manner, it was necessary to pay attention to the ability of crop to endure wet conditions as the plowed was extremely wet for some time even when drainage took place after irrigation. Supplying water only to subsoil with roots growing in cracks, not up to the plowed layer, was found to be suitable for wheat.

③ Little leakage of irrigation water and high permeability in the subsoil by well-formed cracks were necessary to use subirrigation. However, it is difficult to establish objective criteria that will determine fields which satisfy these requirements.

Key words : subirrigation, drain pipe, water movement, clayey soil, crack

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 11-20, 1992)

I. はじめに

粘土質転換畑は過湿、過乾になりやすいため、排水と灌漑の両面から土壌水分管理を行う必要がある。暗渠を利用した地下灌漑はこの一つの技術¹⁾であり、近年、大区画水田や水稻直播栽培の水管理方法としても注目され、技術の指針化が強く要望されている。

地下灌漑は海外では古くから原理、特徴、適用条件等が体系的に整理²⁾され、その後、実証的、解析的に研究^{3),4)}が進められている。しかし、海外での研究の多くは、暗渠に給水して地下水位を制御し、毛管上昇で根群域に灌水する方法であるため、わが国の水田に見られるような、

不飽和時の透水性が不良な粘質土壌に対しては適用が難しい。このため粘質土壌では、亀裂等の大孔隙を通じた正圧下の水移動で灌水する方式が有効^{5),6),7)}と言われているが、水移動の実態や適用上の問題点について十分に検討されているとは言えない。そこで、粘土質転換畑における地下灌漑の適用性を明らかにするため、地下灌漑の実証試験を行い、地下灌漑時の水移動の実態や麦に対する灌水効果を調査した。

II. 試験圃場の概要

試験圃場は北海道深川市の北西部、石狩川右岸の低平地水田地帯（標高45~46m）に位置する。試験圃場の区画は短辺25.5m、長辺144m、面積36.7aで、両長辺側には水稻圃場と育苗用ハウス地（下流側長辺の半分）が隣

*1北海道農業試験場 〒062 札幌市豊平区羊が丘1番地

*2農業工学研究所 〒305 つくば市観鈴2丁目1-2

キーワード：地下灌漑，暗渠，水移動，粘質土壌，亀裂

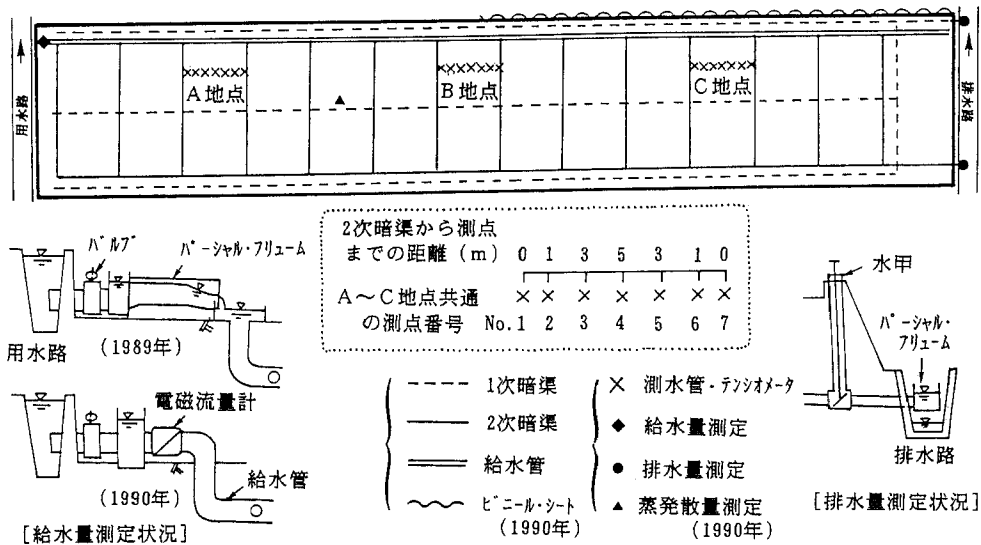


図-1 試験圃場と観測位置の概要
Outline of test field and observing points

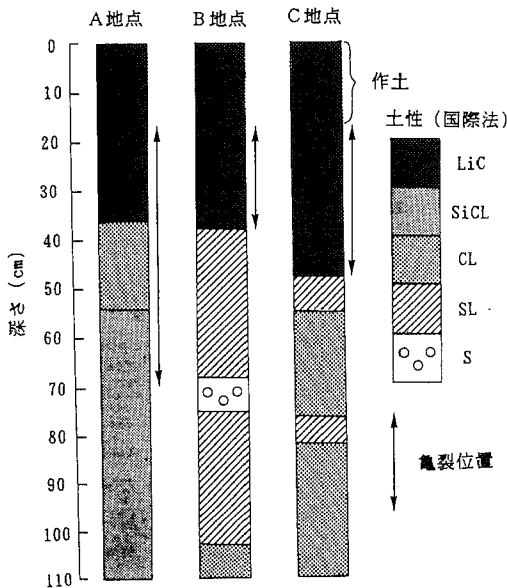


図-2 試験圃場の土壌断面
Soil profiles in the test fields

接している。畑転換は1987年に行われ、2年間小豆、続く2年間秋播小麦が作付けられた。試験圃場の位置する深川市では、秋播小麦(以下、麦と略す)の作期は9月～翌年7月末である。

試験圃場には、図-1に示すように1次暗渠(1968年施工)と2次暗渠(1987年秋施工)が埋設されている。

1次、2次の呼称は暗渠施工年次に応じて便宜上用いた。1次暗渠の吸水渠は、φ6cmの素焼土管を深さ80cmに敷設後、掘削土を埋め戻した構造で、11m間隔で長辺方向に埋設されている。2次暗渠の吸水渠は、φ5cmの合成樹脂管を深さ60cmに敷設後、モミガラを土まで充填した構造で、10m間隔で短辺方向(集水渠は長辺方向で、全体としてくし型配置)に埋設されている。

Ⅲ. 試験圃場の土壌特性

1. 土壌断面と土壌の物理性

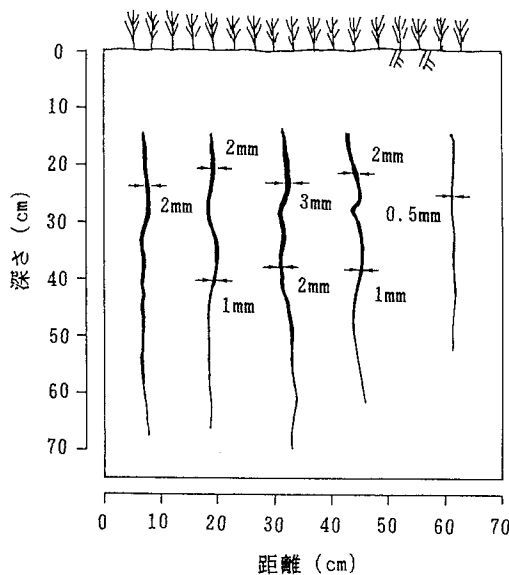
土壌は暗色表層灰色低地土(細粒質)に分類される。図-1のA, B, C地点における土壌断面を図-2に示す。成層状態は過去の河川氾濫や基盤整備時の切盛りの影響で地点間でかなり異なり、A地点では全体が軽植土(LiC)～植壤土(CL)の粘土層であったが、B, C地点では粘土層の間に砂壤土(SL)～砂土(S)の層が見られた。作土の厚さは17cmであった。

代表的な層の土壌の物理的性質を表-1に示す。作土とA地点の心土の粘土層は、固相率は比較的高く、粗孔隙量と有効水分量(pF1.5～3)はともに小さかった。また、飽和透水係数は作土で 10^{-4} cm/s オーダ、心土の粘土層で 10^{-7} cm/s オーダ(土壌のマトリックス部分)、不飽和透水係数(pF1.8時)は両者とも 10^{-7} cm/s オーダであった。B, C地点の砂壤土の層は、固相率は高く、粗孔隙量、有効水分量(pF1.5～3)はともに小さく、飽和透水係数は 10^{-4} ～ 10^{-5} cm/s オーダであった。

表一 1 試験圃場の土壌の物理的性質
Physical properties of soil in the test fields

土層	土性	粒径組成			土色	測定位置	固相率 Vol. %	粗孔隙量 pF0-1.5 Vol. %	有効水分量		透水係数		
		砂 %	シルト %	粘土 %					pF1.5-3 Vol. %	1.5-4.2 Vol. %	飽和 cm/s	pF1.8 cm/s	
作土	0~17cm	LiC	18.6	44.6	36.7	黒 褐	10cm	47.0	3.6	9.8	24.8	2.2×10^{-4}	2.2×10^{-7}
A地点	17~36cm	LiC	34.8	32.7	32.5	黒 褐	25cm	43.9	0.5	5.1	16.6	3.4×10^{-7}	3.0×10^{-7}
B地点	38~68cm	SL	73.4	13.9	12.7	暗 灰 色	50cm	58.6	2.9	6.6		2.3×10^{-4}	
	68~75cm	S	92.1	4.9	3.1	灰オリーブ	70cm	59.0	10.7	9.3		1.2×10^{-2}	
C地点	48~55cm	SL	73.9	15.3	10.9	灰オリーブ	50cm	60.4	4.3	6.0		4.8×10^{-5}	

* 粒径組成はピベット法, 土性分類は国際法
有効水分量の pF1.5は砂柱法, pF3 と pF4.2は加圧板法, pF1.8透水係数は吸引定常法



* A地点の土壌の垂直断面

図一 3 心土の亀裂の発達状況
Cracks in the subsoil of the test field

A地点の心土の粘土層には図一3に示すように幅1~3mmの亀裂が10~20cm間隔で縦方向に、深さ70cmまで発達していた。B、C地点の心土の粘土層でもA地点とほぼ同様の亀裂が観察されたが、その到達深は砂壤土の層に制限され、それぞれの深さ38cmと48cmであった。

2. 毛管上昇浸潤の特性

(1) 実験方法

A地点から深さ0~33cmの土壌をφ30cmの鉄製円筒に不攪乱状態で採取し、次のような室内実験を行った。土壌の下端にマリOTT給水装置で地下水位(深さ32cm)を設定し、その後60時間の給水量(電子天秤で測定)、水分張力(テンシオメータ、深さ、5、10、15、20、25、30cm)、水分率(熱伝導率法⁸⁾、深さ2、5、10、15cm)

の変化を測定した。実験は土壌面からの蒸発がない条件で、恒温室内で行った。実験直前の水分張力は深さ5~25cmで pF2.8~2.9、深さ30cmで pF2.3であった。なお、土壌の物理性は前述(表一1の作土とA地点のデータ)したとおりである。

(2) 結果

毛管上昇浸潤による60時間後の水分到達は深さ25cm(この位置の水分張力は pF2.5まで低下)までで、作土の水分張力(深さ5~15cm位置)と水分率(深さ2~15cm位置)には変化が見られなかった。マリOTT給水量は、2.3~3.4mm/dであった。この結果から、地下灌漑で地下水位を心土上部(深さ32cm)まで上昇させ一定に保持しても、毛管上昇浸潤の速度が遅いため作土まで灌水できないことが確認された。

IV. 地下灌漑時の水移動

1. 地下灌漑試験の概要

(1) 方法

1989年と1990年の麦作付け時に次のような地下灌漑試験を行った。1次、2次の両暗渠の水甲を閉じ、2次暗渠に日中のみ1~2日間給水して地下灌漑を行い、その後直ちに水甲を開放(1989年は両暗渠、1990年は2次暗渠のみ)して暗渠排水を行った。2次暗渠への給水は、図一1のように用水路から給水管を通じて自然流下で行った。給水管はφ10cmの塩ビパイプで、既設の2次暗渠の各吸水管先端と接続して埋設(両端は地上に立ち上げ)したものである。給水時は用水路にせき板をはめ、用水路水位を田面上43cmまで上げた。

観測項目は、給水量(1989年はパーシャル・フリューム、1990年は電磁流量計で測定)、排水量(パーシャル・フリューム)、地下水位(測水管)、水分張力(テンシオメータ)、および蒸発散量(1990年のみ、熱収支法)であり、観測位置を図一1に示す。

測水管は、φ15cm、深さ1mのオーガ孔にφ3cmの塩

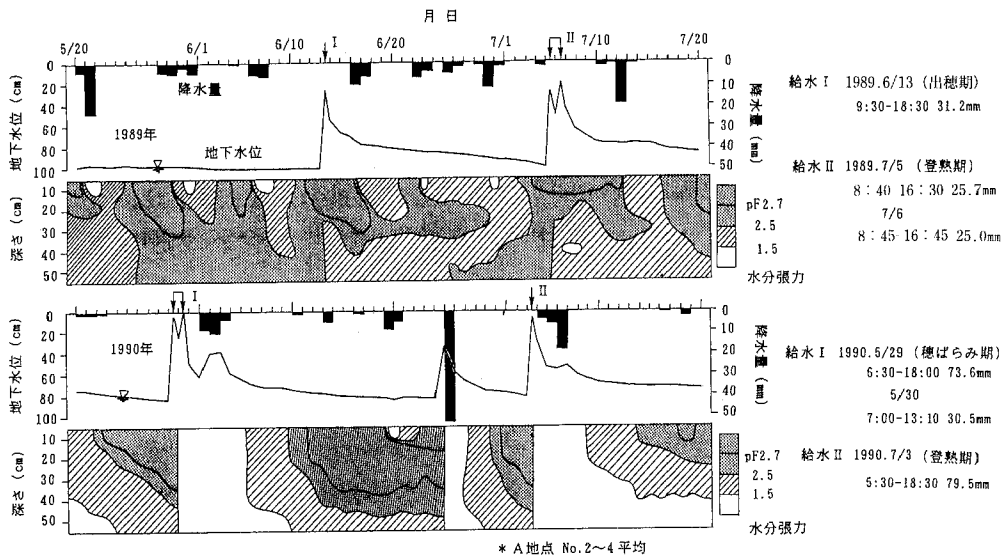


図-4 麦生育後半の地下水位と水分張力の推移 (1989年, 1990年)
Changes of the groundwater level and the soil moisture suction during the latter growing of wheat (1989, 1990)

ビパイプ (下部60cmが有孔) を立て、底から深さ40cmまで砂利を充填後、掘削土を埋め戻した構造で、A, B, C地点の各測点 (No.1~7) に設置した。測点は2次暗渠近傍 (暗渠モミガラ部と測水管砂利部の間は約5cm) および2次暗渠間 (2次暗渠から1m, 3m, 5mの位置) である。なお、各測点は1次暗渠からは5m、給水管からは4m離れている。測水管に現れた水位を便宜上、地下水位と表現し、田面 (標高は各測点ともほぼ同じ) からの深さで示す。

テンシオメータは測水管と同じ測点 (1990年はNo.1と7を除く) に設置した。設置深は、1989年がNo.1~4で10, 20cm (A地点はさらに30, 40, 50cm), No.5~7で10cm, 1990年が各測点 (A~C地点のNo.2~6) とも10, 20, 30, 40, 50, 70cmである。

1990年の試験では、弾丸暗渠施工 (1989年8月) および隣接のハウス地への漏水対策 (1990年5月) を行った。弾丸暗渠施工 (φ5cm, 無材, 深さ35cm) は2次暗渠埋設以来初めてであり、2.5m間隔で長辺方向 (測点近くでは各測点から1mの位置) に行った。また、漏水対策として、隣接のハウス地への横方向の漏水防止を目的に、試験圃場とハウス地の境界の畦畔の内側 (図-1参照, 深さ40cmから1m以深まで砂層あり) にビニールシートを深さ70cmまで埋設した。

(2) 結果の概要

1989年と1990年の麦生育後半 (幼穂形成期~成熟期)

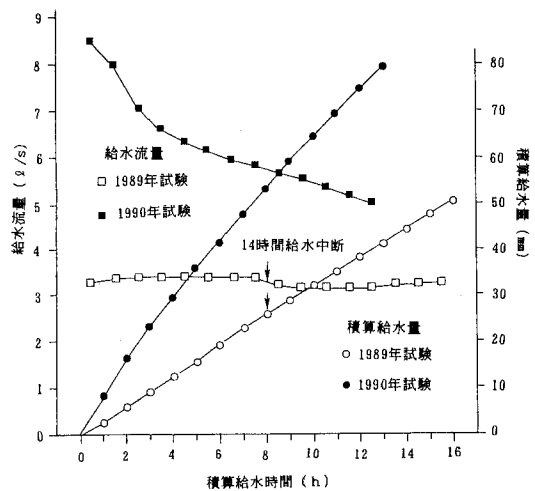
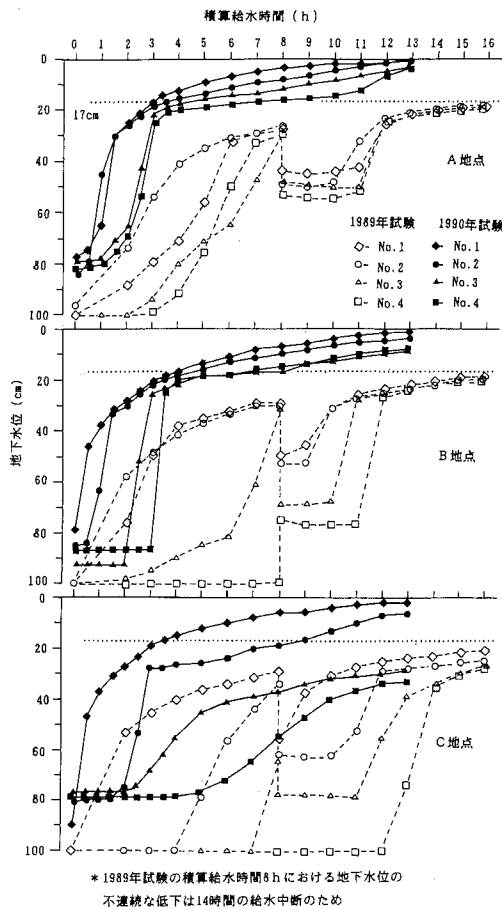


図-5 給水流量と積算給水量の変化 (1989年試験, 1990年試験)
Changes of the flowrate and cumulative volume of subirrigation water (1989test, 1990test)

の地下水位と水分張力の推移 (A地点のNo.2~4平均) を降水量とともに図-4に示す。地下灌漑試験はこの期間に各年2回行った。

1989年は地下灌漑で土まで灌水できなかつた。この



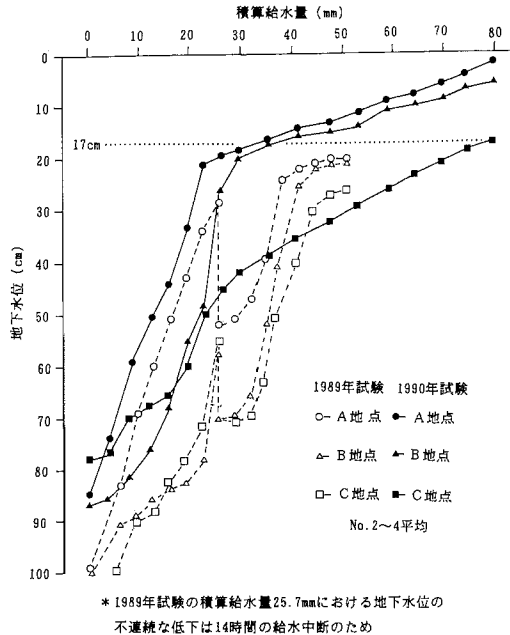
図一六 給水時の地下水水位の変化 (1989年試験, 1990年試験)
Changes of the groundwater level during subirrigation (1989test, 1990test)

ため、心土は灌漑後 pF1.5~2.5の適湿状態に保たれたが、作土は灌漑による変化はなく、降雨に対応して pF1.5~2.5の適湿状態と pF2.5以上の乾燥状態を繰り返した。

1990年は地下灌漑で作土まで灌水できた。しかし、灌漑後にすぐ降雨があったことも影響し、作土、心土とも灌漑後しばらく pF1.5以下の過湿状態が続いた。また、2回の灌漑の間は、干天が続いたため作土、心土とも pF2.5以上の乾燥状態となった。

以下、両年の2回目の地下灌漑試験をそれぞれ1989年試験, 1990年試験と呼ぶことにする。

1989年試験では、7月5日8時40分~16時30分と7月6日8時45分~16時45分に計16時間、50.7mmの給水を行い、翌日の7月7日10時10分に暗渠排水を開始した。



図一七 積算給水量と地下水水位の関係(1989年試験, 1990年試験)
Relationship between cumulative water volume and the groundwater level (1989test, 1990test)

1990年試験では、7月3日5時30分~18時30分に13時間、79.5mmの給水を行い、翌日の7月4日9時30分に暗渠排水を開始した。

給水流量と積算給水量の変化を図一五に示す。1989年試験では、給水口にパーシャル・フリュームを設置(図一1参照)した影響で給水流量は小さかった。1990年試験では、これを電磁流量計に変更し、用水路から水槽を介して直接給水(図一1参照)した結果、十分な給水流量が得られ、また、給水水圧も高く保てた(水槽内の水位は田面上15~22cm)。

以下、1989年試験と1990年試験における地下水水位の水分張力の測定結果の詳細を述べ、地下灌漑時の地下水水位と土壌水分の動態を考察する。

2. 地下水位の動態

(1) 地下水位の測定結果

給水時の地下水水位 (No. 1~4) の変化を図一六に示す。2次暗渠近傍 (No. 1) の地下水水位の上昇は地点間に差がほとんど見られなかったが、2次暗渠間 (No. 2~4) の地下水水位の上昇は地点間で異なった。すなわち、2次暗渠間の地下水水位は、A地点と(1990年試験の) B地点では、給水後数時間のうちに2次暗渠に近い測点から順次

急速に上昇し、2次暗渠近傍の地下水位に近づいたが、C地点では、2次暗渠から離れた測点で水位上昇がかなり遅れた。全体的に見ると地下水位は、1989年試験では上昇が遅く、深さ約20cmで頭打ちになったが、1990年試験では速く、田面近くまで上昇した。

排水直前の地下水位は、1989年試験では各地点の各測点とも深さ50cm前後、1990年試験では各地点の各測点とも深さ30cm前後であった。すなわち両年の試験とも給水停止後15~17時間で25~30cm程度の地下水位の低下が見られた。

(2) 給水・漏水条件と地下水位の上昇

積算給水量と2次暗渠間 (No.2~6平均) の地下水位の関係を図-7に示す。A, B地点の地下水位が深さ20cmに達するには、1989年試験では16時間、50.7mmの給水を要したが、1990年試験では4時間、29.4mmの給水で十分であった。給水直前の土壌水分状態は、両年の試験ともほぼ同じ (深さ40cmまででほぼpF2.7以上) であったことから、この違いは給水条件と漏水条件の違いに起因したと考えられる。すなわち、1989年試験 (給水流量が小さく、14時間の給水中断あり) では、給水量に対して給水時間が長かったことと漏水対策が行われていなかったことに起因して、給水量に対する漏水量の割合が大きくなり、この結果、1990年試験に比べて多くの給水量を要したと考えられる。

(3) 土壌構造と地下水位の上昇

井上⁹⁾は、亀裂の発達した粘土質転換畑では心土中の水移動のほとんど全てが亀裂等の大孔隙を通じて行われ、この時の水の流れやすさは大きな不攪乱土壌ブロックを用いた実験によると飽和透水係数にして 10^{-2} cm/sオーダーで砂と同程度であったと報告している。試験圃場の地下灌漑時も、試坑を掘ったところ亀裂の下端部から湧水を観察し、水移動が心土の亀裂を通じて行われていたことを確認した。このような水移動の状況下では、地下水位と表現した測水管内の水位は亀裂内の灌漑水の自由水面の水位を示していると考えられる (ただし、水位が亀裂の位置する深さにある時)。そこで、給水時の2次暗渠間の地下水位の変化が図-6のように地点間で異なった原因を心土の亀裂の発達の面から推察する。

A, B地点では、給水時に2時暗渠間の地下水位が急速に上昇したが、これはおそらく心土の透水性が井上の報告のように高く、灌漑水が心土中を迅速に移動したためと考えられる。なお、B地点では、1989年試験に2次暗渠から離れた測点で地下水位の上昇が遅れた。この原因は、2次暗渠近傍の水位上昇が遅かったことと亀裂が浅かったこと (図-2参照) に起因して、灌漑水の心土中での移動が遅かったためと考えられる。

C地点では、両年の試験とも2次暗渠から離れた測点で地下水位上昇の遅れが大きかった。この原因は、A, B地点に比べて、心土の亀裂の発達不良で、(1990年試験では弾丸暗渠を施工したにもかかわらず) 心土の透水性が低かったこと (推察) に起因して、灌漑水の心土中での移動が遅かったためと考えられる。なお、収穫後に水平断面上の亀裂の状況から地点間の心土の亀裂の発達の差を定量的に把握しようとしたが、各地点とも心土に注入した白色ペイントが、亀裂内にうまく浸透せず (作土を剥ぐ時に亀裂の入口を潰してしまったことが原因と考えられる。)、亀裂の位置確認ができなかったため調査できなかった。しかし、C地点は基盤整備時の切土部にあたり心土が緻密であったこと (深さ30cmの乾燥密度は、A, B, C地点それぞれ1.41, 1.26, 1.51g/cm³) から、A, B, C地点に比べて亀裂の発達 (幅, 間隔, 連続性) が不良であったと推察した。

3. 土壌水分の動態

(1) 水分張力の測定結果

地下灌漑による作土の水分張力 (深さ10cm位置) の変化は、地下水位の上昇に対応して両年の試験で異なった。

1989年試験では、地下水位の到達が心土上部 (深さ18~28cm) までであったことに対応し、作土の水分張力 (深さ10cm位置, pF2.6~2.9) は各地点の観測点とも地下灌漑による変化は見られなかった。なお、心土上部の水分張力 (深さ20cm位置, pF2.6~2.9) も一部の測点を除くと同様であった。

1990年試験の給水前後の2次暗渠間の地下水位と水分張力分布を図-8に示す。1990年試験では、地下水位が田面近くまで上昇し、作土の水分張力 (深さ10cm位置, pF2.8~2.9) は、C地点の2次暗渠から5mの測点 (No.4) を除くと、各地点の各測点とも地下灌漑によりpF1.5以下まで低下した。A, B地点では、この水分張力の低下は、図-9に示すように、給水中に2次暗渠に近い測点から順次、地下水位が深さ10cm前後に達した時点で急速に低下するという形で見られた。C地点では、2次暗渠から3mと5mの測点 (No.3と4) で、地下水位の上昇が遅れ、これに対して水分張力の低下は給水中に見られなかった。なお、A, B地点では、心土の水分張力 (深さ20~40cm位置, pF2.6~2.9) は作土の水分張力に対して一部で低下が遅れた (図-8のc)。これは心土では亀裂による部分的な水移動が主体であったことが原因と考えられ、心土の土壌のマトリックス部分では水分張力の低下が遅れることを示している。

(2) 作土への灌漑水の浸透過程

地下灌漑で作土まで灌水するには1990年試験のように地下水位を作土まで上昇させる必要があることが明らか

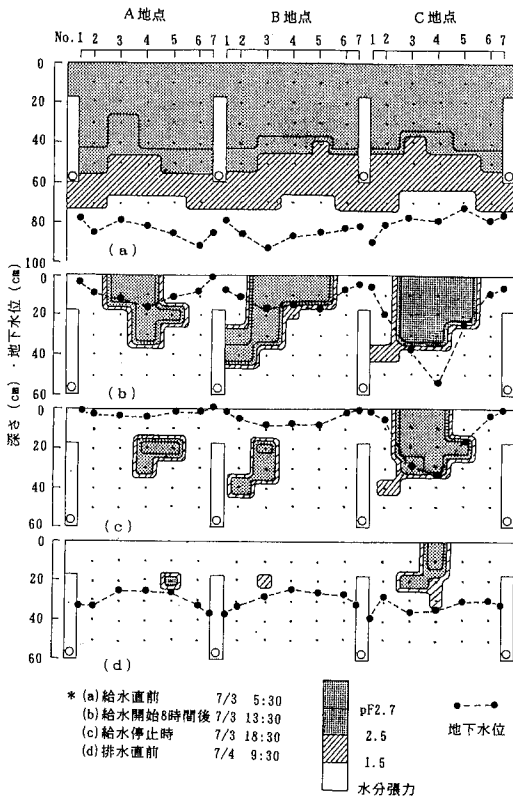


図-8 給水前後の2次暗渠間の地下水位と水分張力分布 (1990年試験)
Distributions of the groundwater level and soil moisture suction between drains before and after subirrigation (1990test)

表一 2 給水量の内訳
Expenditure of subirrigation water volume

給水量 I	79.5mm		
暗渠部	7.5mm (9%)	給水管	0.3mm
貯留量 D		1次暗渠	1.1mm
		2次暗渠	5.4mm
		弾丸暗渠	0.7mm
土壌間隙	45.8mm (58%)	作土	18.3mm
内貯留量 S		心土	20.4mm
		心土亀裂	7.1mm
蒸発散量 ET	4.5mm (6%)		
漏水量 L	21.7mm (27%)	L=I-(D+S+ET)	

*1990年7月3日5:30~18:30の給水中の収支

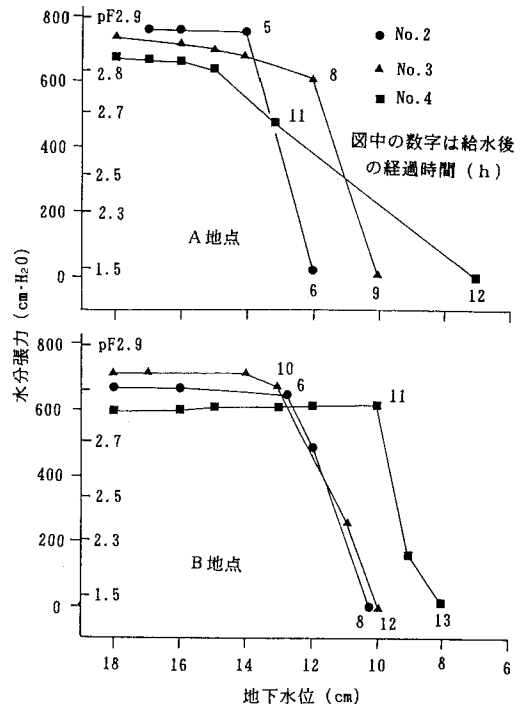


図-9 給水時の地下水位の上昇に伴う作土の水分張力 (深さ10cm) の変化 (1990年試験)
Changes of soil moisture (10cm deep) of the plowed soil following the groundwater level rise during subirrigation (1990test)

となった。これは前述の室内土壌実験で確認したように、心土内の毛管上昇浸潤の速度が遅いためである。

1990年試験における作土への灌漑は、A, B地点では、灌漑水が2次暗渠間全域の心土の亀裂を満たした(自由水面を2次暗渠間の作土直下にほぼ水平に形成)後、2次暗渠に近い側から順に心土から作土へと正圧状態で浸透(自由水面が勾配を持ちながら上昇)して達成されたと考えられる。また、C地点では、心土中での水移動が遅いため灌漑水が先行的に2次暗渠上部の作土に浸透し、この部分から作土中を主として正圧状態で横浸透して達成されたと考えられる。

2次暗渠間全域の作土へ灌水できたのはA, B地点の場合であり、心土に亀裂が良好に発達し、心土の透水性が高い土壌条件が必要であることがわかる。

(3) 給水量の収支と内訳

排水後24時間の暗渠排水量は1989年試験, 1990年試験それぞれ9.1mm(給水量の18%)と11.6mm(給水量の15%)であった。

1990年試験の給水量の内訳を表一2に示す。暗渠部貯留量は給水管、暗渠管および暗渠埋戻し部の間隙量の和で、1次暗渠の埋戻し部(土壌)の間隙率を10%、2次暗渠の埋戻し部(モミガラ)の間隙率を70%と仮定して計算した。土壌間隙内貯留量は作土、心土(深さ75cmまでを対象)の土壌マトリックス部および心土の亀裂部の水分増加量の和で、図一8の(a)~(c)の水分張力(水分率に換算)と地下水位(亀裂内水深に換算、亀裂の容積率を2%と仮定)の変化から計算した。漏水量は給水量から暗渠貯留量、土層貯留量、および蒸発散量を差し引いた値である。給水量の内訳の中で最も大きい割合を占めたのは土層貯留量で給水量の58%、次に漏水量で給水量の27%であった。

V. 地下灌漑後の排水問題

1990年試験のように作土まで灌水した場合、土層全体が過湿状態になるため、灌漑後の暗渠排水で過剰水を迅速に排除する必要がある。1990年試験では、排水後に3日間連続して降雨があったためこの排水過程を把握することができなかった。このため1990年の麦収穫後に次のような排水試験を行った。

1. 排水試験の概要

(1) 方法

地下灌漑で圃場を灌水(3cm)させた後、翌日に2次暗渠の水甲を開放して暗渠排水を行った。観測方法は地下灌漑試験と同様である。暗渠排水は1990年7月26日に開始した。降雨は排水後3日目に1.5mmあった。

(2) 結果

排水後の2次暗渠間(No.2~4平均)の地下水位と作土の水分張力(深さ10cm)の変化を図一10に示す。また、図一10には、1990年6月25日(麦登熟期)にあった52.5mmの降雨後の変化も同時に示す。地下水位は特にA地点で低下が速く、排水後、降雨後とも1日で深さ57cmまで低下した。しかし、作土の水分張力は各地点とも上昇が遅く、pF1.5以上まで上昇するのに排水後、降雨後ともに2~3日要した。

なお、排水試験の排水後24時間の暗渠排水量は23.5mm、排水後2日間の蒸発量は2.4~3.1mm/dであった。52.5mmの降雨後3日間の蒸発散量は3.5~6.1mm/dであった。

2. 地下灌漑後の排水問題

排水試験および多降雨後の観測における地下水位と水分張力の測定結果から、A地点のように地下水位の低下が速く、亀裂主体の地下排水が良好¹⁰⁾であっても、作土中の過剰水は迅速な排除されないことが明らかとなった。これは不飽和水移動が主体の内部排水が不良¹⁰⁾なためと

考えられる。

したがって、地下灌漑で作土まで灌水した場合(根群域が浅い時は必然的に作土までの灌水が必要)、灌漑後すぐ暗渠排水を行ってもしばらく過湿状態が続くため、作物の耐湿性に注意する必要がある。

VI. 麦に対する灌水効果

1. 収量調査の概要

(1) 方法

地下灌漑試験を行った1989年と1990年の試験圃場の麦の収量を一筆からの収穫量より求めた。また、比較のため対照圃場(試験圃場と同じ暗渠条件、作付け歴の圃場)と地区平均(試験圃場の属する農協管内)の収量も求めた。1990年は対照圃場を選定できなかった。

(2) 結果

収量調査の結果を表一3に示す。1989年の麦の収量は626kg/10aで、対照圃場の1.21倍、地区平均の1.77倍であった。1990年の収量は、連作の影響もあって(麦2作目、地下灌漑前から生育不良)450kg/10aと低く、地区平均と同等であった。なお、1990年の試験圃場の近くの表1作目圃場の収量は687kg/10aであった。

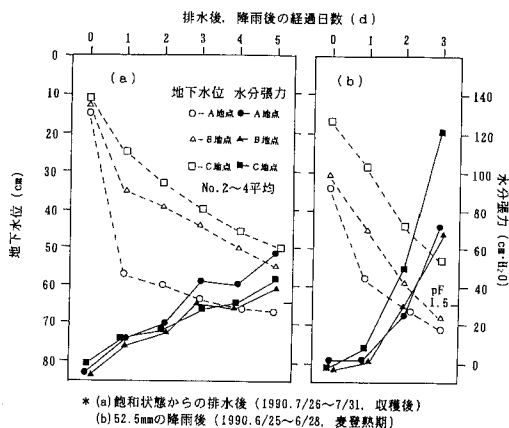
2. 灌水方法と灌水効果

作土まで灌水した1990年は収量に灌水効果は見られなかった。この理由は一概には判断できないが、一つには、灌漑後連続的に降雨があって過湿状態が長引いたため、麦の耐湿性の面で影響が出たのではないかと考えられる。

灌水位置が心土までで、作土まで及ばなかった1989年は収量に高い灌水効果が見られた。麦の根は、量的には少ないが、心土の亀裂を通じて深層まで伸長していた。麦は、作土が乾燥状態であっても過湿状態の心土内の根を通じて適度に吸水し、水分ストレスが小さかったため適正に生育したと考えられる。収量結果のみから判断すると、麦に対しては1989年のように心土のみに灌水する方法が適していると考えられる。

VII. 地下灌漑の適用条件の検討と今後の課題

地下灌漑を適用するためには、灌漑水の深層および隣接圃場への漏水が小さく、かつ、心土に亀裂が良好に発達し、心土の透水性が高い土壌条件⁹⁾が必要であると言われている。このことは本試験でも確認された。しかし、地区内および一筆圃場内で土壌の成層状態や亀裂発達にばらつきが大きい場合、対象とする圃場がこれらの土壌条件を満たしているかどうかを判定するには難しい面がある。試験圃場から130m離れた位置にある圃場でも小豆に対



図一〇 排水後および降雨後の地下水位と作土の水分張力(深さcm)の変化
Changes of the groundwater level and the soil moisture suction (10cm deep) of the plowed soil after drainage and after rainfall

表一三 秋播小麦の収量結果
Result of the investigation of the wheat yield

	試験圃場	対照圃場	地区平均
1989年	626kg/10 (121) [177]	518kg/10 (100)	354kg/10 (100)
1990年	450kg/10 [106]		426kg/10 [100]

* 試験圃場と対照圃場は品種はチホク，1等級
()，[]内の数値はそれぞれ対照圃場，地区平均を基準とした収量比

象に同様の地下灌漑試験を行った。この圃場(中粒質灰色低地土)は作土直下に砂壤土～砂土の砂質土層があり，亀裂はほとんど発達していなかった。この作土直下の層が砂土であった地点では，この層を通じて灌漑水が迅速に移動し，2次暗渠間ほぼ全域の作土に灌水できたが，砂壤土であった地点では，灌漑水の移動が遅く，2次暗渠間中間部まで灌水できなかった。

試験圃場が位置するような河川近くの沖積地では，過去の河川氾濫で堆積した砂質土層が浅い位置に薄く分布している場合がある。この層の存在は，心土の亀裂深を制限し，また，灌漑水の深層および隣接圃場への漏水の原因ともなりうる。隣接圃場への漏水が予想される場合にはビニールシート等で漏水対策を行う必要がある。また，このような砂質土層は河川との位置関係や基盤整備時の切盛りの影響で複雑に分布しているため，土壤調

査を綿密に行う必要がある。

心土の亀裂の発達は，成層状態，弾丸暗渠施工，畑利用年数，作目，排水条件，気象条件等の違いで圃場ごとに異なり¹¹⁾，また，同じ一筆圃場内でも，試験圃場のように成層状態や切盛りの影響でばらつく場合がある。このため亀裂の発達(深さ，間隔，幅，連続性)に関わる心土の透水性を綿密に調査する必要がある。試験圃場の心土の透水係数は，前述のように井上の報告データを参考にして $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s オーダであると推察した。しかし，オーガホール法($\phi 10$ cm孔に深さ20～50 cmに注水)とシリンドーインテーク法($\phi 30$ cm円筒を深さ30 cmまで打込み)により現場透水試験を行ったが，現場透水係数が10点平均 1.4×10^{-4} cm/s，ベイシックインテークレートが2点平均 2.1×10^{-4} cm/s でこのようや大きな値は得られず，心土の実際の透水性を評価することができなかった。亀裂を含めた心土の透水性の簡易な評価方法の開発が望まれる。

前述の小豆を対象に試験を行った圃場では，初期生育が対照圃場より明らかに不良であったが，作土が過乾燥になった開花期に1回作土～作土近くまで灌水しただけで対照圃場の1.3倍の収量(345 kg/10 a)が得られた。地下灌漑による最適な灌水方法は根の分布特性，吸水特性および耐湿性等の違いで対象作物によって異なる。灌水方法について作物の水分生理の面から検討する必要がある。

Ⅶ. ま と め

粘土質転換畑における地下灌漑の適用性を明らかにするため，地下灌漑の実証試験を行い，地下灌漑時の水移動の実態や麦に対する灌漑効果を調査した。地下灌漑は用水路から自然流下で暗渠に給水して行った。結果は以下のとおりであった。

①心土に亀裂が良好に発達している地点では，灌漑水はこの亀裂を通じて迅速に心土中を横方向に移動し，暗渠間全域の心土の亀裂を満たした後，暗渠に近い側から順に心土から作土へと正圧状態で浸透した。

②しかし，このように作土まで灌水した場合，灌漑後すぐ排水を行っても作土はしばらく過湿状態が続くため作物の耐湿性に注意する必要がある。麦に対する灌水方法としては，作土まで灌水せず，亀裂を通じて根が伸長している心土のみに灌水する方法が適した。

③地下灌漑を適用するためには，灌漑水の漏水が小さく，かつ，亀裂が良好に発達していて心土の透水性が高い土壌条件が必要である。しかし，対象とする圃場がこれらの条件を満たしているかどうかを判定することは難しく，この調査手法について今後検討していく必要がある。

謝 辞

本研究は北海道開発局からの依頼調査(石狩川水系広域農業開発調査)の中で行ったものである。北海道開発局の富田和正氏, 中橋 修氏, 北海道農業近代化コンサルタントの菅原敏明氏, 南部雄二氏, 深川土地改良区の相場弘之氏にお世話になりました。ここに厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 農林水産省構造改善局資源課 1990: 地下かんがいの手引, 1-126.
- 2) Wayne, D. C. and Cornelis, K. 1967: Subirrigation systems. Irrigation of Agricultural Land, Amer. Soc. Agro., USA, 905-921.
- 3) Skaggs, R. W. 1981: Water movement factors important to the design and operation of subirrigation system. TRANSACTIONS of the ASAE, 1553-1561.
- 4) Skaggs, R. W. 1982: Field evaluation of a water management simulation model. TRANSACTIONS of the ASAE, 666-674.
- 5) Hanson, B. R. and Carlton, A. B. 1985: Water and salt movement during subirrigation of organic soils of the sacramento-san joaquin delta. TRANSACTIONS of the ASAE, 815-818.
- 6) 松原利文ほか 1985: 地下灌漑時の土層中の水移動. 土壌の物理性, 52, 18-24.
- 7) 置塩康之ほか 1985: 転換畑における地下かんがい技術の開発(第1報). 兵庫県農総セ研報, 33, 9-16.
- 8) 粕淵辰昭 1987: 圃場における熱および水の移動とその測定法. 移動現象, 博友社, 83-107.
- 9) 井上久義 1989: 亀裂が発達した粘土質圃場における水移動現象のモデル化. 土壌の物理性, 59, 35-51.
- 10) 長谷川周一 1986: 転換畑土壌中の水分移動. 土壌の物理性, 53, 13-19.
- 11) 長田 昇 1979: 汎用耕地化と土壌構造. 汎用耕地化のための技術指針, 農業土木学会, 55-81.
- 12) 福本昌人 1991: 平成2年度地下かんがい調査総括報告書, 北海道開発局, 北海道農業試験場, 1-33.

(受理年月日1991年3月9日)