

## 畑作物生育のための地下水位制御

— 傾斜地転換畑の地下水位制御の事例 —

永 石 義 隆\*

Control of Ground Water Level Using Underdrainage System Terraced Paddy Fields

Yoshitaka NAGAIHI

Land Utilization Division, Shikoku National Agricultural Experiment Station

## 1. まえがき

水田の基盤条件は本来、水をためて利用するように整備されている。しかしながら、最近では水田再編対策に伴って水田の畑作利用が進められ、水田を畑として利用する場面が多くなっている。そのため、これからの水田基盤は水田と畑の両方に使用できる条件、すなわち汎用的な性質を持った水田基盤に整備する必要がある。傾斜地における汎用化水田では、地下伏流水による湧水の処理が不可欠な整備作業の一つである。この湧水処理には、一般に暗渠排水が利用されている。

暗渠排水は土壌中の水を吸水管によって吸水・排除し、地下水位を下げ、圃場を乾燥させ、農作業を容易にすると同時に、作物の生育・収量を向上させる。しかし、傾斜地水田では一般的に圃場の山側及び道路側の地下水位が高く谷側及び排水路側が低くなるなど、圃場全体の土壌条件は著しく不均一を呈する。また、谷側及び排水路

側は地下水位が低く、土壌がよく乾燥するので、土壌構造がよく発達する反面水田復元時には、漏水の原因になったり、また豪雨時にはあぜ崩壊などの災害発生が懸念される。

本研究では、暗渠を効果的に利用し圃場の地下水位を制御することにより、作物の生育に好適な土壌条件を維持すると同時に、あぜ部の土壌構造の発達を抑制し、各種あぜの崩壊等の災害を未然に防止しようとするものである。

## 2. 試験方法

試験場所は香川県三豊郡三野町大見地区で、1981年度に圃場整備が施工された。地区面積は約12haで、平均傾斜は1/30である。地区の上方に国道11号線が走り、その上にため池があり、地区の下方にもため池がある。

試験圃場の平面と暗渠の配置を図-1に示した。圃場

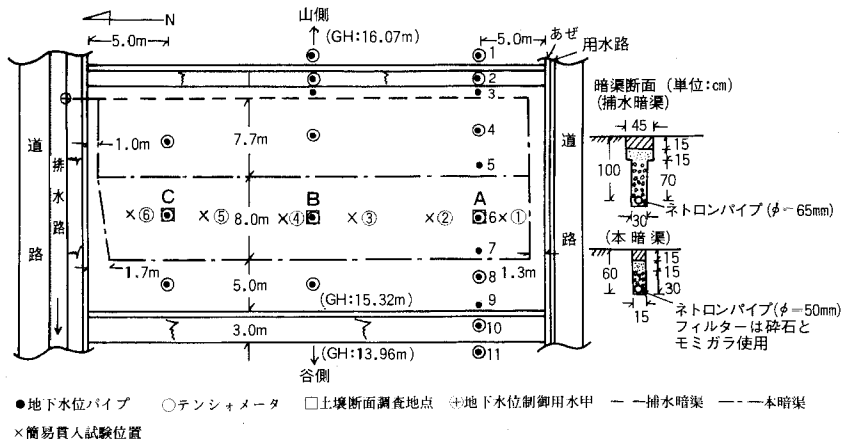


図-1 試験圃場平面図

\* 四国農試土地基盤研究室

## 畑作物生育のための地下水位制御

は、長辺が45m、短辺が25mの面積11.3haの圃場である。圃場の標高差は山側で0.75m、谷側で1.36mであり、平均勾配は1/25である。

山側の湧水処理用の本暗渠は、圃場整備時に施工したものを補修して使用した。圃場内の本暗渠は施工間隔約8m、深さ約60cmで施工し、本暗渠はすべて周囲を連結した。暗渠構造は本暗渠がモミガラと碎石を組合わせたものであり、また補助暗渠はパイプロドレーナーによって（セン孔体径65mm）、間隔1.5m、深さ30cmで、本暗渠と直角に施工した。暗渠排水口には、図-2に示した様に地下水位制御用の水甲を設置した。地下水位は田面より30cm、45cm、60cm、112cmの4段階に調節可能とした。

圃場の排水管理及び作物の栽培は農家への委託管理とした。なお、圃場の物理性、地下水位、土壤水分並びに収量調査については筆者らが測定した。

栽培作物は夏秋キュウリ（青力5号）を用い、施肥及び防除は香川県の栽培基準に準じて実施した。試験圃場の栽培条件を図-3に示した。

栽培密度は畦幅150cm、株間45cmとし、10a当たり1481株植した。なお、畦高は21~24cmの範囲であった。作畦様式については株元を中心に両サイド37cmをビニールマルチで被覆した。地下水位は畦高の中間位置から30cm下に制御した。

水分補給は畦間灌漑と地下水からの供給によった。なお、土壤水分の土面蒸発はビニール被覆を併用したことから圃場面積のおよそ半分から行われる。この例で、キュウリ1本当たりの土壤容積を概算すると、およそ80ℓとなり（図中点線部分）、上床栽培の13倍、隔離栽培の3倍強となる。

該当地域の一般的な作付体系は水稻とキュウリの1年ごとの輪換栽培であるが、試験圃場は2年連続してキュウリを栽培し、翌年水稻、次年度にキュウリを栽培した。

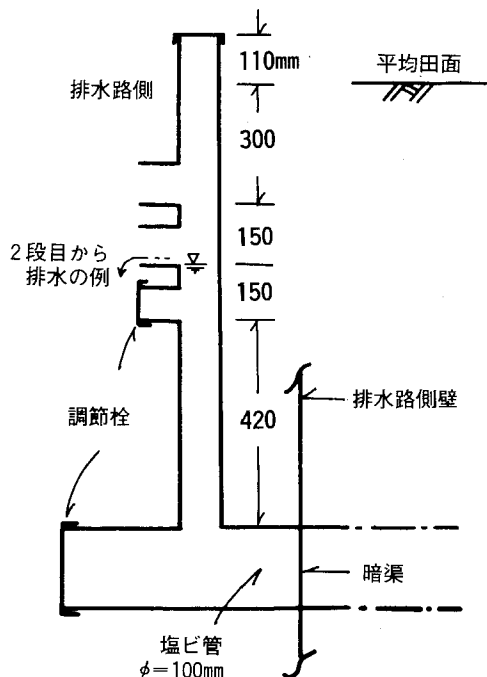


図-2 地下水位制御用水甲

水稻栽培時の代かきは2~3回行い、暗渠を利用して除塩を実施している。

地下水位の測定は直径50mm、長さ1.5mの塩ビ管を用い、土壤水分はテンシオメータを深さ10cmと25cmに埋設して測定した。測定位置は図-1に示したとおりである。

キュウリの収量は農家が農協へ出荷した箱数から算出し、標準収量は農協で算出した地区の平均収量を使用した。

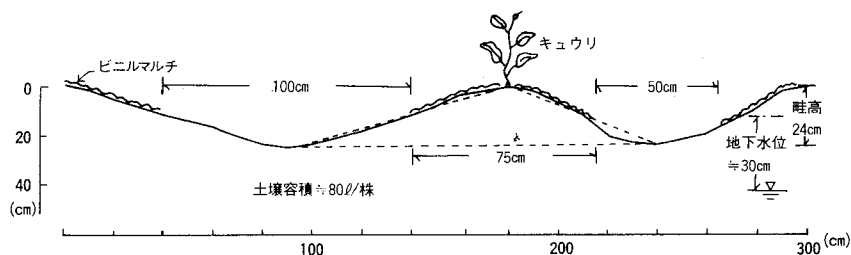


図-3 栽培圃場の断面図

3. 試験結果

(1) 土壤の物理性

試験圃場の土壤断面を図-4に、土壤の物理性を表-1に示した。

土壤断面は道路側(A)は切り土されており、排水路側(C)は大きく盛り土され、構造が非常に複雑で、よく締まっていた。

土性は重粘土(HC)であり下層土の固相は55%以上で、排水に寄与する粗孔隙は極めてわずかであった。また、すき床層以下の飽和透水係数は $10^{-6}$ cm/secオーダー以下で、全くの不透過層となっている。

(2) 土層改良の効果

図-5に、土層改良後における土壤き裂の状態を示し

た。

図示した様に、細かい土壤き裂は少なかったが、連続した大きなき裂は確実にできていた。

土層改良後、1年経過した土壤き裂の状態は図-6のとおりで弾丸暗渠の中間部ではき裂の発生が少なかったが、施工位置ではき裂がよく発達していた。

表-2は土層改良による土壤物理性の変化を調べた結果である。

破碎後の粗孔隙は、破碎前に比べ約4倍程度増加した。このため飽和透水係数は $10^{-2}$ cm/secのオーダー(約100倍)増加した。

以上の結果から、粘質土壤では工学的手法による土層改良によって土壤き裂の発生を促すことが必要であることが指摘された。

測点 深さ (Cm)	A				B				C			
	土性	土色	ち密度 mm	記事	土性	土色	ち密度 mm	記事	土性	土色	ち密度 mm	記事
10	SiC	7.5YR 4/2	24.9	作土部	SiC	10YR 3/3	8.3 18.1	作土部	SiC	7.5YR 4/2	24.2	作土部
20	〃	〃	26.1	この層まで表土扱い部分	〃	2.5Y 3/3	23.4	この層まで盛土部かなり密酸化斑多し	〃	10YR 4/3	25.2	酸化斑多し石礫混る
30	〃	10YR 5/3	24.2	酸化斑多し石礫混る	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
40	〃	〃	〃	〃	〃	7.5Y 5/1	20.9	マンガン斑が存在するが、土色は青色がかる	〃	5Y 4/2	18.3	グレイ斑が存在この層まで盛土部
50	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
60	〃	5Y 4/2	25.9	酸化斑多し石礫やや少ない	〃	〃	〃	〃	〃	2.5Y 3/1 または 5Y 3/1	—	この層以下旧水田基盤
70	〃	〃	〃	〃	SiL	5Y 5/3	26.3	非常に締っている	〃	〃	〃	〃

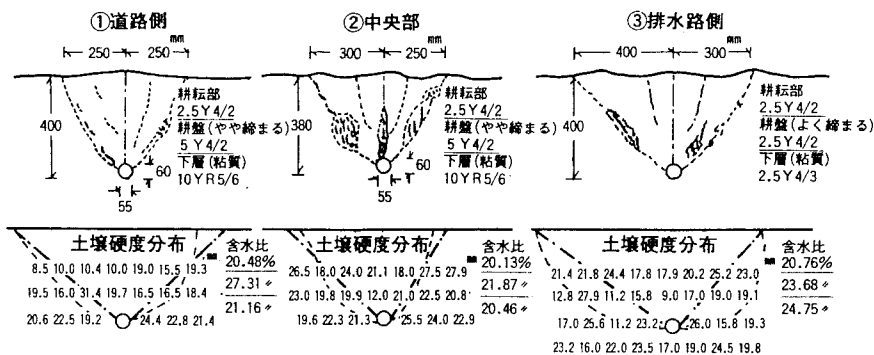
注: 1) A及びCは1982年7月調査、Bは同年4月調査  
2) 波線は土壌の移動境界

図-4 土壤断面図

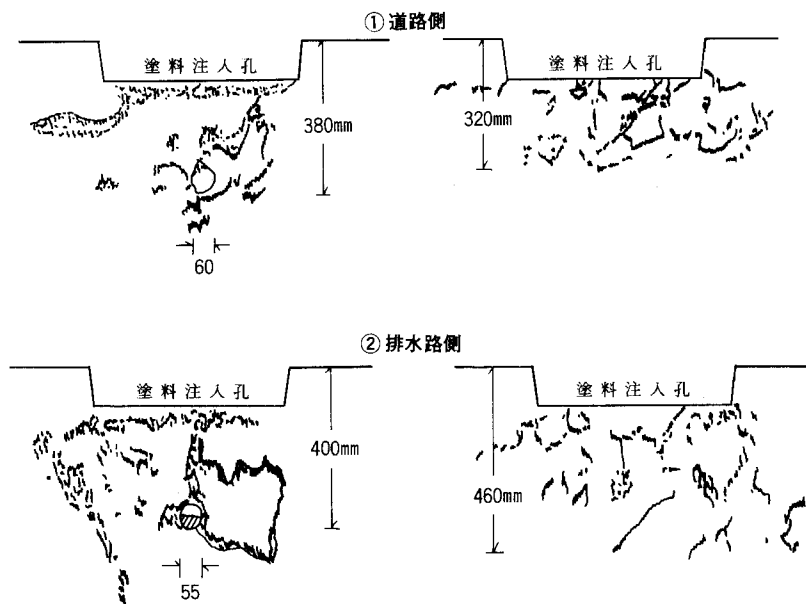
表-1 土壤の物理的性質一覧

測点	深さ (cm)	粒度分布(%)				土性	真比重	仮比重 (g/cm <sup>3</sup> )	3相分布(%)			粗孔隙 (%)	コンシステンシー(%)			飽和透水係 (cm/sec)
		礫 2mm 以上	砂 2.0 ~ 0.074	シルト 0.074 ~ 0.005	粘土 0.005 以下				固相	液相	気相		液性	塑性	指数	
A	0~13	7.3	35.4	21.0	36.3	粘土	2.59	1.49	57.5	29.1	13.4	5.6	41.1	22.0	19.1	$1.30 \times 10^{-4}$
	13~26	4.5	35.6	23.6	36.3	〃	2.59	1.68	64.7	33.2	2.0	0.4	41.1	22.2	18.9	$4.15 \times 10^{-7}$
	26~45	15.0	30.2	13.9	40.9	〃	2.64	1.53	58.0	39.8	2.2	0.7	55.6	20.1	35.5	$1.47 \times 10^{-6}$
B	0~15	3.9	35.6	21.5	39.0	〃	2.63	1.12	42.4	21.7	35.9	2.6	42.0	24.5	17.5	$3.53 \times 10^{-3}$
	15~33	0.0	7.1	20.9	72.0	〃	2.69	1.53	56.8	41.9	1.3	0.0	66.6	21.8	44.8	$9.69 \times 10^{-7}$
	33~63	0.3	19.3	21.2	59.2	〃	2.68	1.57	58.5	39.4	2.1	0.5	56.9	20.4	36.5	$8.11 \times 10^{-7}$
C	0~15	4.7	34.5	25.6	35.2	〃	2.59	1.58	60.8	36.1	3.1	0.9	41.0	24.4	16.6	$1.83 \times 10^{-3}$
	15~30	6.8	36.5	21.0	35.7	〃	2.63	1.66	63.0	35.3	1.7	0.5	42.8	20.2	22.6	$8.39 \times 10^{-7}$
	30~55	4.8	32.7	20.4	42.1	〃	2.64	1.60	60.4	39.3	0.3	1.1	49.1	17.9	31.2	$2.37 \times 10^{-6}$

畑作物生育のための地下水位制御



図一 5 白色塗料による土壤き裂 (1983年施工時調査)



図一 6 土層改良後1年経過した土壤き裂 (1984年11月調査)

表一 2 破砕による土壤物理性の変化

部位	項目	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	平均
破砕部	固相 (%)	48.76	42.41	48.92	56.65	56.95	57.43	59.94	52.72
	液相 (%)	34.51	36.29	33.94	40.38	38.50	32.48	34.36	35.07
	気相 (%)	16.73	26.30	17.14	4.97	4.55	10.09	5.70	12.21
	粗孔隙 (%)	10.09	19.04	12.11	2.71	2.65	4.72	3.48	7.83
	飽和透水係数 (cm/sec)	$2.18 \times 10^{-3}$	$1.32 \times 10^{-3}$	$6.45 \times 10^{-5}$	$7.06 \times 10^{-5}$	$7.06 \times 10^{-5}$	$5.30 \times 10^{-3}$	$1.18 \times 10^{-5}$	$2.99 \times 10^{-3}$
非破砕部	固相 (%)	55.98	49.72	62.36	60.23	61.11			57.88
	液相 (%)	38.83	36.86	35.57	35.65	34.89			36.36
	気相 (%)	5.19	13.42	2.07	4.12	4.00			5.76
	粗孔隙 (%)	3.58	0.00	2.01	2.05	2.01			1.93
	飽和透水係数 (cm/sec)	$5.96 \times 10^{-5}$	$8.39 \times 10^{-8}$	$2.54 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-7}$	$5.09 \times 10^{-8}$			$1.71 \times 10^{-5}$

(3) 地下水位の変化

図-7に、キュウリ栽培期間における地下水位の変化を示した。

土層改良前の地下水位は山側から谷側に向かって漸次

低下したが、土層改良後はあぜ部を除き、圃場全体の地下水位はほぼ均一化した。また、道路側から排水路の方でも同様な傾向が認められた(図-8)。

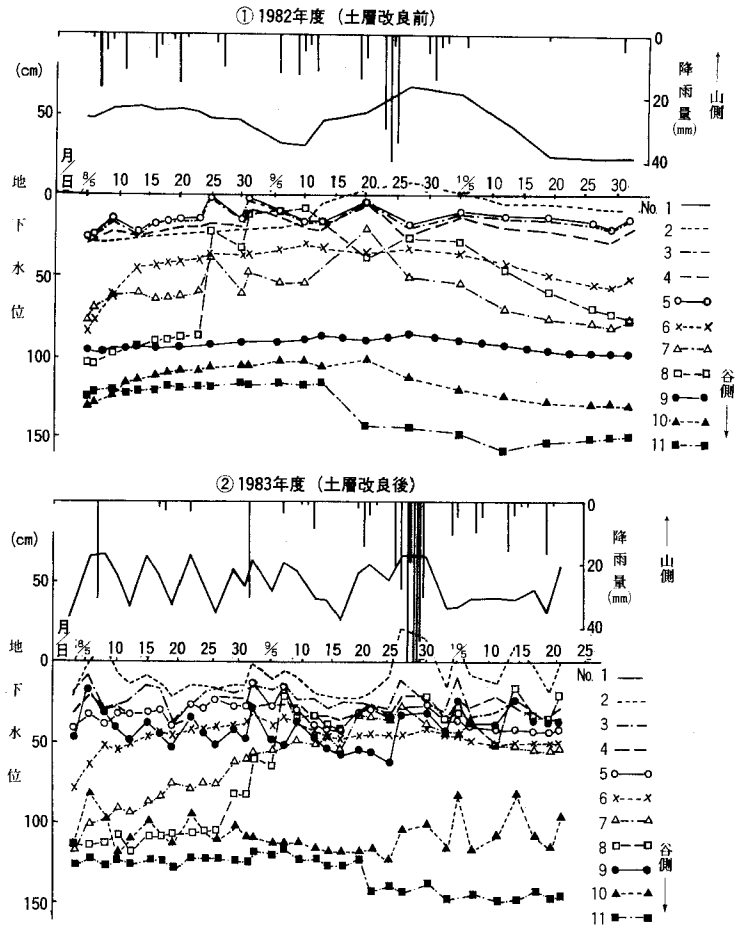


図-7 地下水位の経時変化

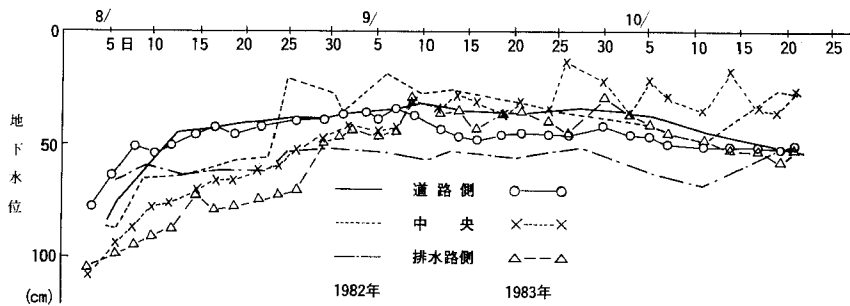


図-8 道路側から排水路側方向の地下水位の経時変化

(4) 土壌水分の変化

図-9並びに10に、キュウリ栽培期間中の土壌水分の変化を示した。

測定深さ10cmの水分張力は土層改良前では、山側ほど小さく、谷側は大きく、山側が湿り、谷側が乾燥することを示唆している。土層改良後は圃場全体の水分張力の差が縮まり、特に深さ25cmではほぼ圃場全体の土壌水分

変化が均一化することが認められた(図-10)。

(5) キュウリの収量

表-3に、キュウリの収量を示す。

試験圃場のキュウリの収量は標準収量に対して、24~63%の範囲で増収した。ちなみに、1985年度は試験農家が管内農協で最優秀賞を獲得しており、本方式の有利性を立証した。

[測定深さ10cm]

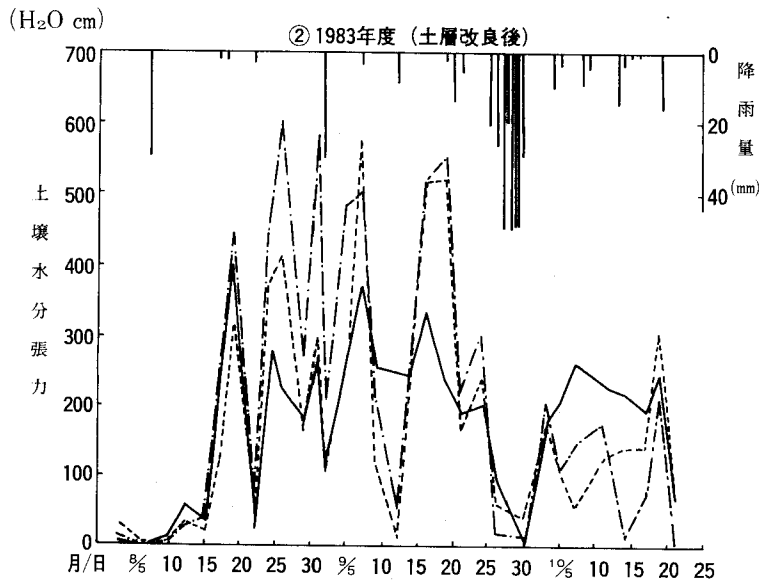
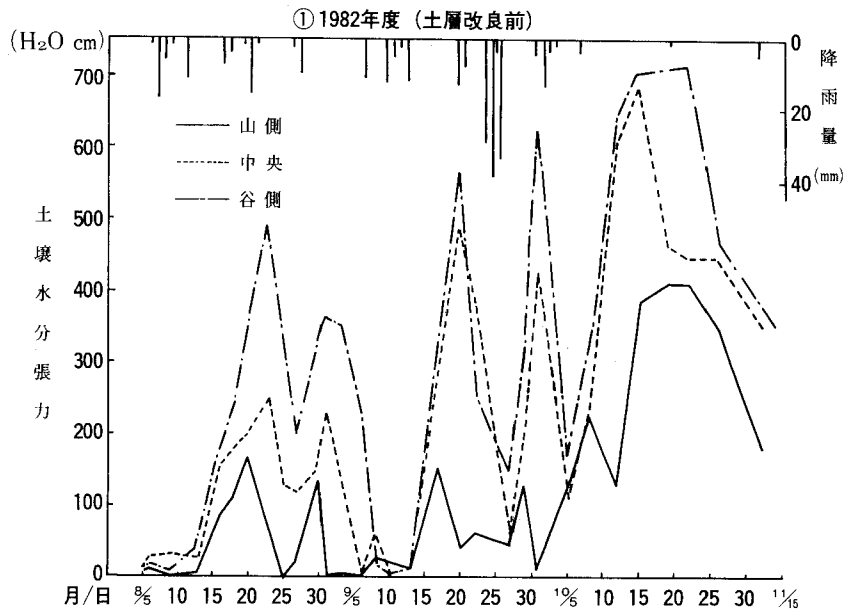


図-9 土壌水分の経時変化

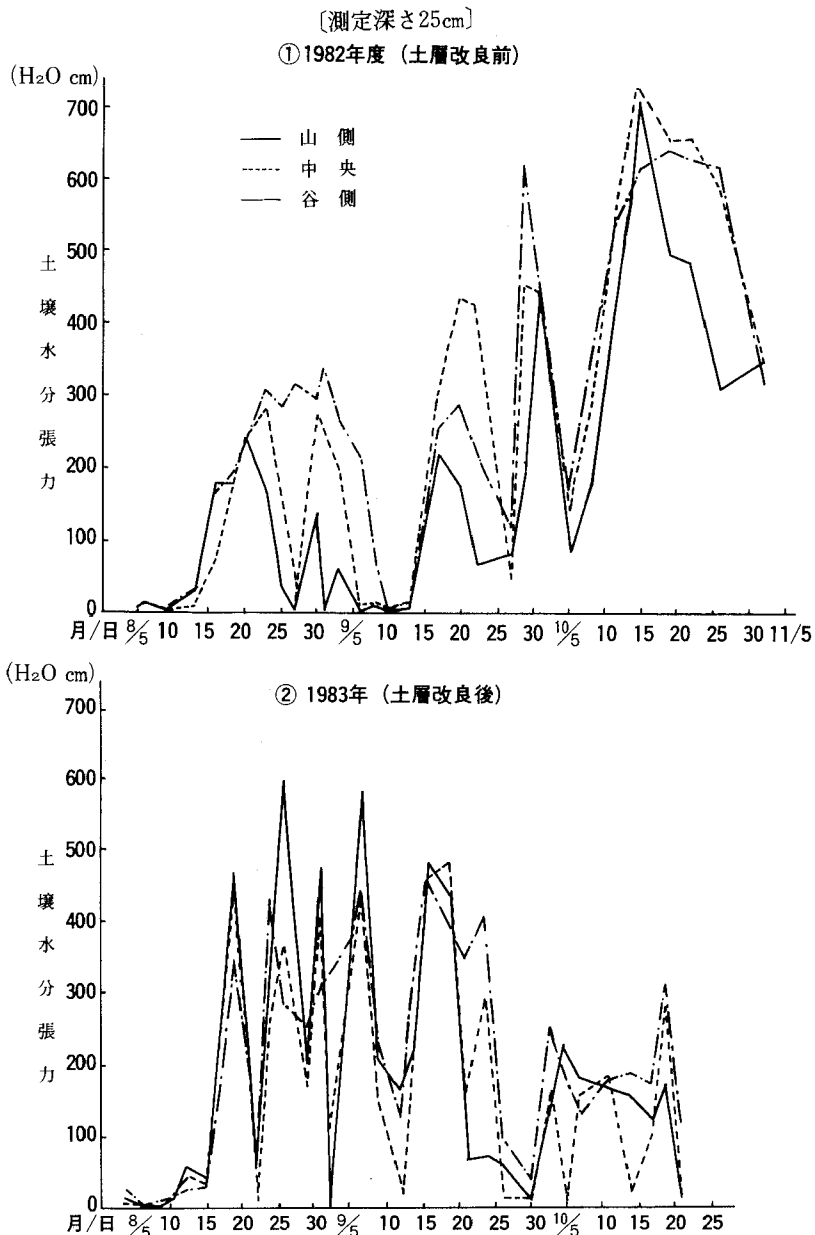


図-10 土壌水分の経時変化

表-3 キュウリの収量

年 度	1982	1983	1985	備 考
試 験 圃 収 量	6,500	6,000	7,250	10 a 当たり
標 準 収 量	4,000	4,850 *	5,000	の換算値 (kg)
比 率	1.63	1.24	1.45	

注) \*印は近くの輪換畑で調査した値

畑作物生育のための地下水位制御

4. 考 察

地下水位の定義は農業土木標準用語事典によれば<sup>2)</sup>、地下水位とは大気圧と等しい圧力をもち、大気に接している地下水面の位置とされている。排水不良圃場の地下水位は一般に、土層の比較的浅い所に不透水層があり、圃場面に降った雨、あるいは圃場に流れこんだ水が下層へぬけきれないで不透水層上に滞留して水面を形成する場が多い。これを擬似の地下水位ともいい、不透水層を破碎することによって著しく変化する。すなわち、不透水層がうすく、地下水面が低い場合は擬似地下水面は消滅する。一方、不透水層が厚い場合は破碎しても大きな変化はない。地下水位の制御は一般的には、後者のような条件で考えるのが妥当であろう。

本例の場合は伏流水が山側から圃場面に湧出し、下層土が不透水性であるため、圃場面に滞留して排水不良となっている。そして、不透水層が比較厚いため、破碎しても下層への水の流入損失はなく、地下水位の制御が容易な条件である。このような条件下では、水補給が十分であれば、地下水位制御が可能であることを実証したものと見える。したがって、地下水位制御を目的とした基盤整備も十分現実的なものとして考慮されてよいと考えられる。

地下水位の適正值は各作物によって異なる。図-11は茨城県農試で行われた各種作物の好適地下水位のまとめである<sup>3)</sup>。この値は地下水面を一定としたときのものである。

地下水位の最低値はサトイモの20cmで、最高値は夏まき6条オオムギの85cmであり、大方の作物は30~60cmの範囲である。この結果から、地下水位を一定に制御できる条件下では、地下水位は田面下50cm程度であれば、大方の作物は栽培可能であると考えられる。したがって、汎用化水田の地下水位は田面下50cmに制御できる条件に整備するればよいことになる。

5. 地下水位制御からみた問題点

(1) 作物根の緩衝能と地下水位

作物は一定の地下水位で栽培すると、比較的浅い水位でもよく生育する。しかし、一たん降雨があり地下水位が上昇し、ある時間湛水すると生育障害を起こす。この生育障害は湛水に対する作物根の抵抗性の強弱によって決まる。これを作物根の緩衝能とすれば、緩衝能は作物の種類によって異なるが、気温、あるいは地温などの環境条件も影響するのであろう。この緩衝能が解明される

ならば、地下水位制御技術は大きく前進するものと考えられる。

また、作物の有効土層は深いほどよいといわれるが、経済効果から考えても限界を示す必要がある。そこで、作物根のおかれている環境条件、いわゆる根圏環境を急変させないような地下水位制御を考えるとよいと思われる。したがって、有効土層は最小限の厚さにして、地下水位を制御することによって根圏環境を整える技術が要求される。

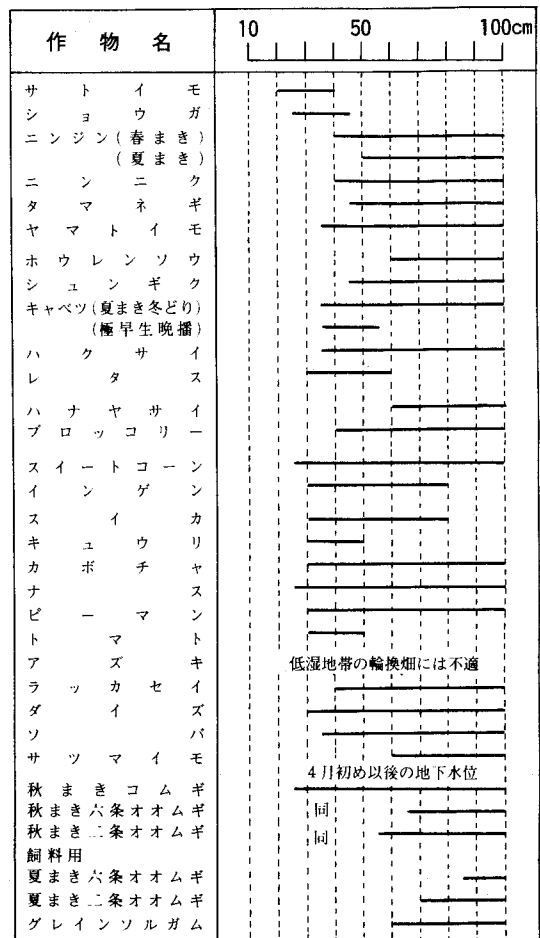


図-11 作物の好適地下水位(茨城農試)

(2) 不耕起栽培と地下水位

圃場は作土と下層土の2層からなる。図-12は本試験圃場の作土と下層土のP F~水分曲線の例である。このように、作土と下層土は水分保持特性並びに水分の移動特性は著しく異なる。これを地下水位制御技術の方から考えると、可能な限り両者の性質を近似させる方が有利である。したがって、作土は耕耘せずに下層土との連続



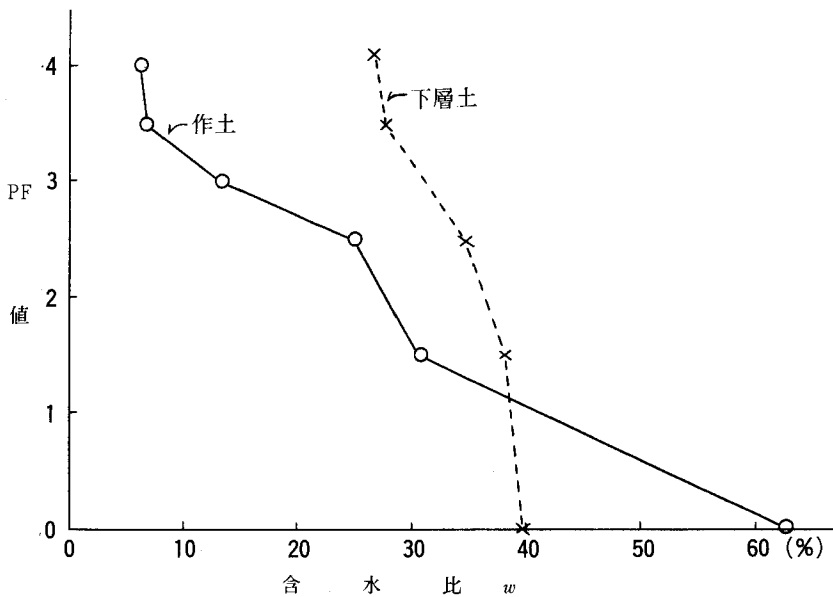


図-12 pH～含水比曲線図

性をもたせ、土壤水の移動をスムーズにする必要がある。

作物の生育・収量からは不耕起栽培は不利とされているが、現実には26年間も不耕起穴まきで、稲、麦の連続栽培を実施している例も認められている。

表-4 は不耕起穴まきと耕起栽培の収量比較、表-5 は土壤3相の比較である<sup>1)</sup>。

水稻は不耕起栽培をはじめて5年程度までは耕起栽培よりやや増収するが、6年以降は漸減する。しかし、その差は3～4%の範囲であり、生産費等を考慮すれば問

題にならない数字である。麦は不耕起栽培が耕起栽培より10～20%の範囲で増収となっている。

土壤の気相は不耕起栽培の初期においては、耕起栽培より少ないが、開始3年後からは逆転し、不耕起栽培が多くなっている。とくに、下層土での増加が著しい。このことが、作物生育へ好影響を与えているのであろう。

以上のことから、地域の土壤条件並びに水利条件によっても異なるが、不耕起栽培が解決されれば、地下水位制御技術も大幅に前進するものと思われる。

表-4 不耕起栽培と耕起栽培の稲・麦の収量比較

種 別	1964 年		1965 年		1966 年		1967 年		1968 年		1969 年		1970 年	
	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦
稲・麦共耕起	450.5	375.0	545.1	350.0	585.9	430.0	608.7	450.0	609.6	544.0	613.0	245.0	560.0	
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
麦不耕起、稲耕起	483.0	403.0	590.8	434.0	586.6	467.0	592.6	451.0	609.0	538.0	605.0	259.0	568.0	
	107	107	108	124	100	109	97	100	100	99	99	105	101	
稲・麦共不耕起	516.0	432.0	552.9	416.0	601.7	475.0	621.6	523.0	584.2	599.0	594.0	265.0	540.0	
	115	110	102	119	103	110	102	116	96	110	97	108	96	

注) ① 不耕起栽培の開始は1962年である

② 香川農試；不耕起栽培が土地生産力に及ぼす影響試験成績より抜粋

## 畑作物生育のための地下水位制御

表-5 3相分布の比較

種別 深さ (cm)	1964年			1965年			1966年			1969年			
	固相	液相	気相	固相	液相	気相	固相	液相	気相	固相	液相	気相	
耕起	0~6	31.6	44.5	23.9	34.0	42.3	23.7	36.1	48.3	15.6	37.8	53.0	9.2
	6~12	37.6	44.0	18.4	34.7	44.5	20.8	34.8	55.9	9.3	37.0	56.7	6.3
	12~18	42.0	42.0	16.1	41.1	43.3	15.6	44.7	51.0	4.3	46.0	48.8	5.2
不耕起	0~6	39.6	42.0	18.5	39.2	40.0	20.8	37.3	47.2	15.5	34.0	47.7	18.3
	6~12	37.0	47.0	16.0	42.2	38.5	19.3	44.3	43.5	12.2	44.1	43.8	12.1
	12~18	43.4	41.0	12.2	42.1	41.0	16.9	44.2	43.0	12.8	45.9	44.0	10.1

## 6. まとめ

以上、畑作物生育のための地下水位制御について、現地試験例を中心に述べた。その結果をまとめるとつぎのようになる。

(1) 立地条件さえ整えば、暗渠による地下水位の制御は十分に可能であり、土壌水分は圃場全体にほぼ均一化され、本技術の実用性が実証された。

(2) キュウリの収量は標準に対して、24~63%の範囲で増収し、作物栽培の上からも本技術の有利性が立証された。

以上の結果、立地条件を整備すれば、水資源の有効利用の面からみても本技術の有利性が認められる。なお、

地下水位制御の方から栽培面に向けての問題の幾つかを提起した。

## 引用文献

- 1) 永石義隆・原川暢朗；暗渠を利用した傾斜地輪換畑の地下水位制御について、四国農試報告，48，50~64（1987）
- 2) 農業土木学会；改訂農業土木標準用語事典，92（1974）
- 3) 幸田浩後；野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究，第1報，茨城県農試研報，22，25~63（1982）
- 4) 香川県農試；不耕起栽培が土地生産力に及ぼす影響，昭和39，40，41，42，43，44，45各年度夏作・冬作試験成績書（1964~1970）

## Summary

In this report, experiments on the control of ground water in terraced paddy fields were carried out. The results obtained were as follows :

1. If the location of the paddy fields is favorable, the underdrainage system can be used to control the ground water level. The effectiveness of this technique was verified experimentally by field tests.

2. The effect of the underdrainage system on the control of ground water was studied in relation to the adjustment of soil moisture.

3. The yield of cucumber increased from 25 to 60%, confirming the effectiveness of this technique. The cultivation problems associated with the control of the ground water were also discussed.