

泥炭地の Specific Yield に関する研究

吉 田 隆 輝*

A Study on the Specific Yield at Peaty Bog

Takaki YOSHIDA

要 旨

specific yield は厳密には地下水位と時間の関数であるが、その測定は困難をきわめる。不十分なが $f(h)$, $f'(h)$ を定義し、排水理論式における equivalent specific yield について述べた。

Synopsis

The true specific yield is a function of the water table and time, but its measurement is very difficult. Less precise definitions of the concept-specific yield $f(h)$, equivalent specific yield $f'(h)$ —are defined. The use of the equivalent specific yield in drawdown equation is discussed.

I ま え が き

暗キヨ間隔を求めるための非定常暗キヨ排水の理論式として、Dupuit-Forchheimer の仮説を用いた Glover 式や、たくみな数値解析から得られた Kirkham 式等があるが、現地の地下水位の低下を充分的確にとらえているとはいえない。その原因として、式導入の際にたてた仮説が実際の土壌水の運動を正確にとらえていない事や、土粒子と水との相互関係が複雑なために土壌水の運動に不明な点が多い事等があげられ、そのために解析が非常に困難となっている。

本研究では非定常の排水問題を解くにあたり、1つの因子となる specific yield について実験を行ない考察をした。この specific yield を暗キヨ未施行ホ場から実測により求めることははなはだ困難であり、従って室内実験又はそれにかわる簡単な方法によって求められなければならない。本研究は室内でその値を求めるときの実験方法を確立するための初歩的な一つの試みである。

II 土壌水と specific yield

土壌水は様々な状態で土壌中に存在している。その分類の方法には種々の説があるが、ここでは大きく、1) 毛管水 2) 重力水 3) その他の水の3つに分類

し考察を進めていくことにする。その他の水の中には吸着水、化学的結合水、結晶水、固体状、気体状の水等が含まれるが specific yield にほとんど影響を及ぼさないのここでは考察の対象とはしない。

毛管水は地下水と接続し、地下水面より上の毛管中に存在している。水が毛管中を上昇するのは、メニスカスの引張力及び鉱物粒子の表面と水との間の電気的な相互作用によるもので、上昇する水の高さは一般に砂で20cm、粘土で1.5mといわれている。土粒子粒径が小さければ負圧は大きいので毛管の成長は大きく、粒径が大きければ負圧は小さいので毛管の成長は制限される。

重力水とは一般に自由水といわれているもので、粒子表面への分子引力や表面張力の影響をうけずに重力によって移動する水である。地下水面下の重力水を地下水と呼び、地下水面以上の重力水は重力によって下方に移動し地下水となる。

specific yield とは地表面において降雨や蒸発等の水の移動がない状態で、地下水位が単位距離低下したとき飽和土壌水から解放された単位体積あたりの排水量で定義される。この解放された水が重力水に相当する。ある土層の最大排水量は土壌の最大容水量と最小容水量との差に等しい。つまり地下水面がこの層から充分下にあり地下水の影響を全く受けない状態で、しかも充分時間が経過し水の移動が停止した場合に最大排水量がえられる。一般的に排水量は次のように示さ

* 助手 土木工学科

れる。

$$(\text{排水量}) = (\text{最大容水量}) - (\text{毛管水量})$$

毛管水量は地下水位に影響され、一つの上層が地下水面に近接していればその上層の排水量は小さく、地下水面が低下するほど、次第に最大排水量に近づいていく。

このように地下水面が低下しつつある場合には、specific yield は一定ではなく、地下水位 h 、低下時間 t 、さらにその形等によって絶えず変動しているものと考えられる。従って specific yield は $f(h, t)$ で表わされなければならないが、その測定はきわめて困難である。そこで時間の要素を除き、地下水位 h のみの関数 $f(h)$ で specific yield を表わす。

$$f(h) = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{A \cdot (h_n - h_{n-1})} \times 100$$

ここで、 A は土壌断面積、 Q_n 、 Q_{n-1} は地下水位が h_n 、 h_{n-1} での最大排水量を示す。この $f(h)$ は地下水位が h_n にある時の h_{n-1} と h_n の厚さにおける平均した specific yield を意味する。このようにして求めた specific yield $f(h)$ は、ある層の有効間ゲキに含まれる重力水が全て排除された時に得られる値であって、有効間ゲキ水であっても重力により簡単に移動する水もあれば粒子間引力や毛管等に抵抗され移動速度の遅い水もあるので、排水時間が重要な因子となる理論的に $f(h)$ をそのまま使用することはできない。そこで時間の経過を全く無視し、地下水位と排水量のみに注目して表わした。これを equivalent specific yield $f'(h)$ と呼ぶ。

$$f'(h) = \frac{Q'_n - Q'_{n-1}}{A \cdot (h_n - h_{n-1})} \times 100$$

ここで、 Q'_n 、 Q'_{n-1} は地下水位が h_n 、 h_{n-1} になったときのそれぞれの排水量である。

各種排水理論式は、透水係数、specific yield その他の係数を与えて、初期地下水位からある地下水位まで t 時間で低下させるときの暗キヨ間隔を求める式である。重力水が排除されその結果地下水位が低下するのだから、各式の specific yield f は $f'(h)$ と同じものである。前述のように排水中の土壌水の移動は一度に行なわれるのではなく、土一水系に存在する種々の力に影響を及ぼされない水から順次排水され、最終的には長時間かかって有効間ゲキ中にある全ての重力水が排水される。以上地下水位の低下及び土壌水の移動からみると排水問題をよりの確に解決するには equivalent specific yield は有効な方法と考えられる。

III 実験材料、実験装置及び実験方法

実験に使用した試料は幌延町ウブシ地区の試験ホ場の泥炭で、I ホ場（暗キヨ間隔 10m）、II ホ場（暗キヨ間隔 15m）の泥炭を表層 10cm 取り除き、その面より下方に約 35cm の深さで採取した。採取後、 $20 \times 20 \times 33$ cm に整形し実験に用いた。これとは別に内径 11.9cm、高さ 10cm のコアで表層 10cm より下に 10cm ごとに 3 層を採取した。ホ場の深さごとに I₁₀、I₂₀、I₃₀、II₁₀、II₂₀、II₃₀ と名づける（例えば I₂₀ とは I ホ場の地下表面より 30cm から 40cm の深さにある泥炭という意味である）。

実験装置の概略は Fig-1 に示した。本体は $20 \times 20 \times 50$ の鉄製直方体でこれに給水槽、水位管、排水管を取りつけ、又本体底面より 10cm の高さにフィルターを挿入し、この上に試料を設置し実験を行なった。コアを用いた装置もこの装置と類似したものである。

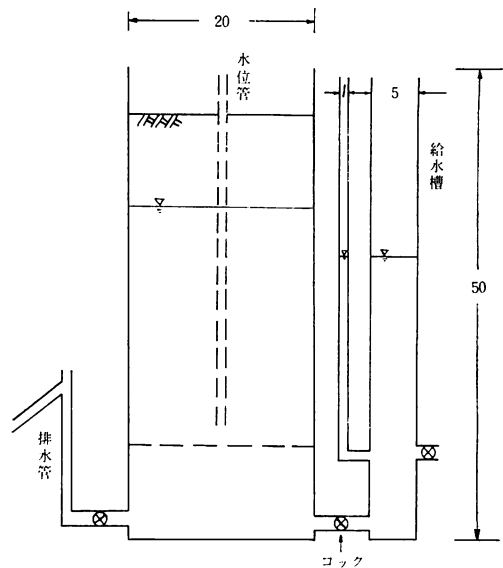


Fig-1 実験装置概略図

実験方法は試料下方より徐々に給水し、地表面まで完全に飽和した後排水を行ない、排水量と地下水位の変化を時間ごとに読みとった。コア実験の給水方法は他に地表面で人工雨降（降雨強度 0.05～0.25mm/min の並雨）により給水しながら、一方下方から排水して徐々に地下水位を上昇させ、地表面まで飽和した後排水を行なった。又、排水する際に試料底面が空気と接している場合、水と接している場合の境界条件が異なる 2 通りについて、排水量に及ぼす影響を調べた。

Ⅳ 実験結果及び考察

試料底面が空気と接している場合、水と接している場合及び人工降雨を与えた場合の夫々の排水量を Q_a , Q_w , Q_r として、排水時間ごとの排水量を図と表で示した (Fig-2, 3, Table-1)。 Q_w についてだけ図で表わしたが、 Q_a , Q_r についても同じことがいえる。 Fig-3 は高さ 30cm の泥炭柱での排水量と地下水位の変化の対比である。図から、比較的短時間に地下水位がある一定の深さにおちつくのに対し、排水は長時間続くことがわかる。排水が停止するまでには 1～2 週間を要する。最も特徴的なことは、排水開始初期に多量の水が排水され、その後の減少は著しい。地下水位の低下についても同様のことがいえる。 Q_w と Q_a において飽和条件が同じなのに排水量が異なるのは次の理由によると考えられる。排水面が空気と接している場合は、そこに液—気界面が存在するので負圧が生ずる。この力が土壌水の動きを緩慢にし、この負圧にうちかてない水が泥炭中に保持される。一方排水面が絶えず水と接している場合には液—気界面は存在せず負圧は働かない。排水最終時間をみると液—気界面が存在する時の方が長い時間かかっている。これも排水面に抵

Table-1 排水量と $f(h)$, $f'(h)$

ホ場 深さ	$\frac{\text{min}}{Q}$	5	10	30	60	$\infty(\text{time})$	$f(h)$	$f'(h)$
I ₁₀	Q_w	9	9	10	11	11 (45)	1.0	0.7
	Q_a	20	22	24	25	25 (60)	2.3	
	Q_r	3	4	6	6	6 (30)	0.5	1.5
I ₂₀	Q_w	22	28	34	37	40(180)	3.6	2.9
	Q_a	20	25	32	35	40(360)	3.6	
	Q_r	18	21	28	34	36(120)	3.3	2.3
I ₃₀	Q_w	15	22	26	28	30(280)	2.7	2.5
	Q_a	8	10	20	22	28(325)	2.5	
	Q_r	13	17	22	24	24 (60)	2.2	2.2
II ₁₀	Q_w	18	21	22	23	23 (60)	2.1	2.1
	Q_a	15	16	22	24	29(420)	2.6	
	Q_r	15	16	19	20	20 (40)	1.8	1.7
II ₂₀	Q_w	17	26	35	35	36 (70)	3.3	7.1
	Q_a	8	14	18	18	20(150)	1.8	
	Q_r	23	25	28	28	29(120)	2.6	4.4
II ₃₀	Q_w	11	18	29	38	40(140)	3.6	5.0
	Q_a	11	23	25	28	34(480)	3.1	
	Q_r	4	6	10	13	14(240)	1.3	4.3

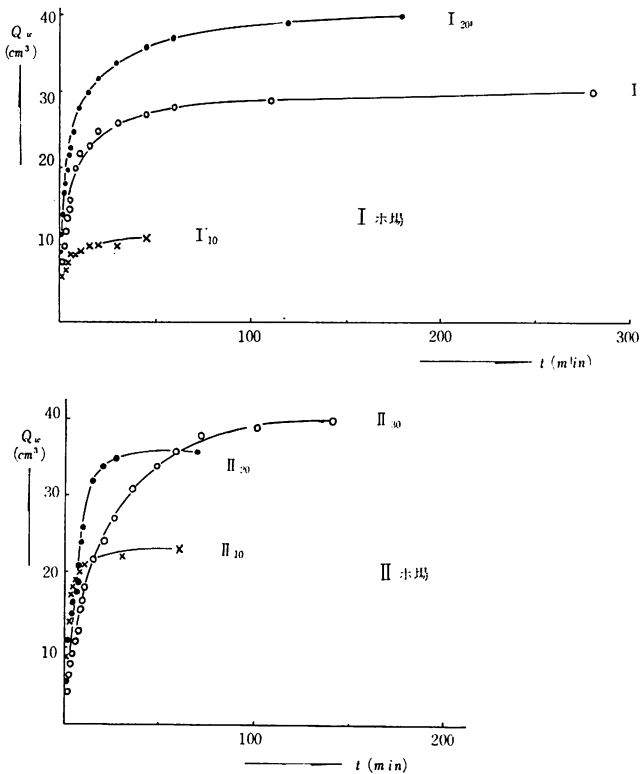


Fig-2 排水量と時間 (10cm 泥炭柱)

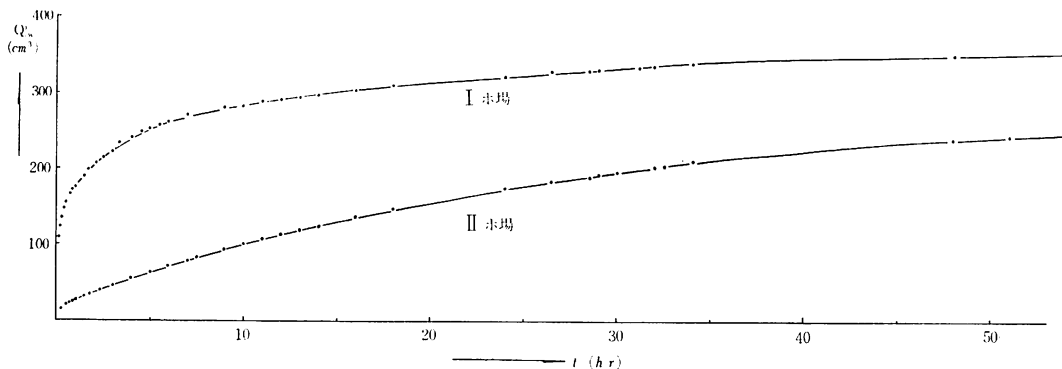


Fig-3-1 排水量と時間 (30cm 泥炭柱)

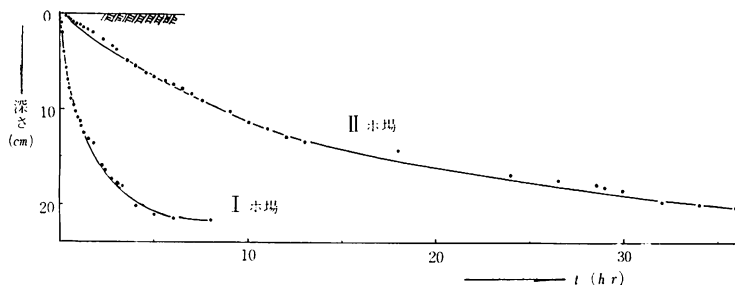


Fig-3-2 地下水位と時間 (30cm 泥炭柱)

抗があるために多くの時間が必要なのだと考えられる。以上のことから一般に $Q_w > Q_a$ の傾向がある。しかし泥炭は植物繊維体の集りで多孔質であるので間ゲキも大きい。従って曲率半径も大きく、負圧が生じてもその値は小さく Q_w と Q_a の差も小さいものと考えられる。なお I_{10} , II_{10} で $Q_a > Q_w$ となったが、サンプリングミスか実験ミスと思われる。次に降雨を与えた場合、泥炭中に多くの空気が閉じこめられたままに地下水位が上昇するので飽和度は低い。そのため排水量 Q_r も少ない。実験した泥炭において Q_w と Q_a の間に大きな差は認められないが、一般的に $Q_w > Q_a$, $Q_w > Q_r$ がいえ、できるだけ Q_w を求めて specific yield を考えていく方が望ましいであろう。

次に深さごとによる排水量の違いをみてみると、下層になるにつれ排水量は大きくなる傾向がみられる。これは地表面に近いほど空気と接する機会が多く、従って分解が進み間ゲキは密になっている。一方下層なほど分解度は小さく繊維の形態をとどめているため上層に比べ間ゲキは粗である。従って各層ごとに排水量を求めると上層に比べ下層の方が大きな値を示すと考えられる。

排水時間ごとの排水量 Q_w と地表面から地下水面までの距離 h との関係を図に示した (Fig-4)。その結果、 Q_w と h との間にはほぼ直線関係が存在すると思われる。この直線のコウ配と $f'(h)$ は同値である。

コア実験において各深さごとの排水量の違いは前述してある。 $f'(h)$ について上層の方が下層より小さな値を示したが、層の違いによる傾向はこの実験から見出しできなかった。ただ表層に近ければ泥炭の分解が進んでいるため小さい値を示すと考えられる。30cm 泥炭柱では I ホ場では直線関係が、II ホ場では途中で段ができた。 $f'(h)$ は直線の勾配によって求められるから、II ホ場の二つの直線のコウ配はほぼ等しく $f'(h)$ を求めることができた。この段はこの部分に大間ゲキ又はサンプリング時に亀裂が生じた結果と思われる。一般に排水されている間、specific yield は一定ではなくて地下水位や降水時間等々によって変動し、正確には $f(h, t)$ で表示されなければならないことは前述のとおりである。しかし、図に示されたように Q_w と h との間に直線関係が存在すれば、equivalent specific yield は排水時間や地下水の深さに無関係に求められるであろう。

排水初期及び後期において、 $f'(h)$ は大きな値を示した。いずれも地下水位の変化率に比べ排水量の変化率が大きいためである (Fig-3)。初期では地表面での境界条件によって生じたもので境界条件をかえてやれば小さい値を示すと思われる。後期では地下水位が低下しても排水が続いていることから当然の現象である。又真の地下水面の上部には毛管帯が存在しており、それが土壌水の運動に対し抵抗として作用する。地下水

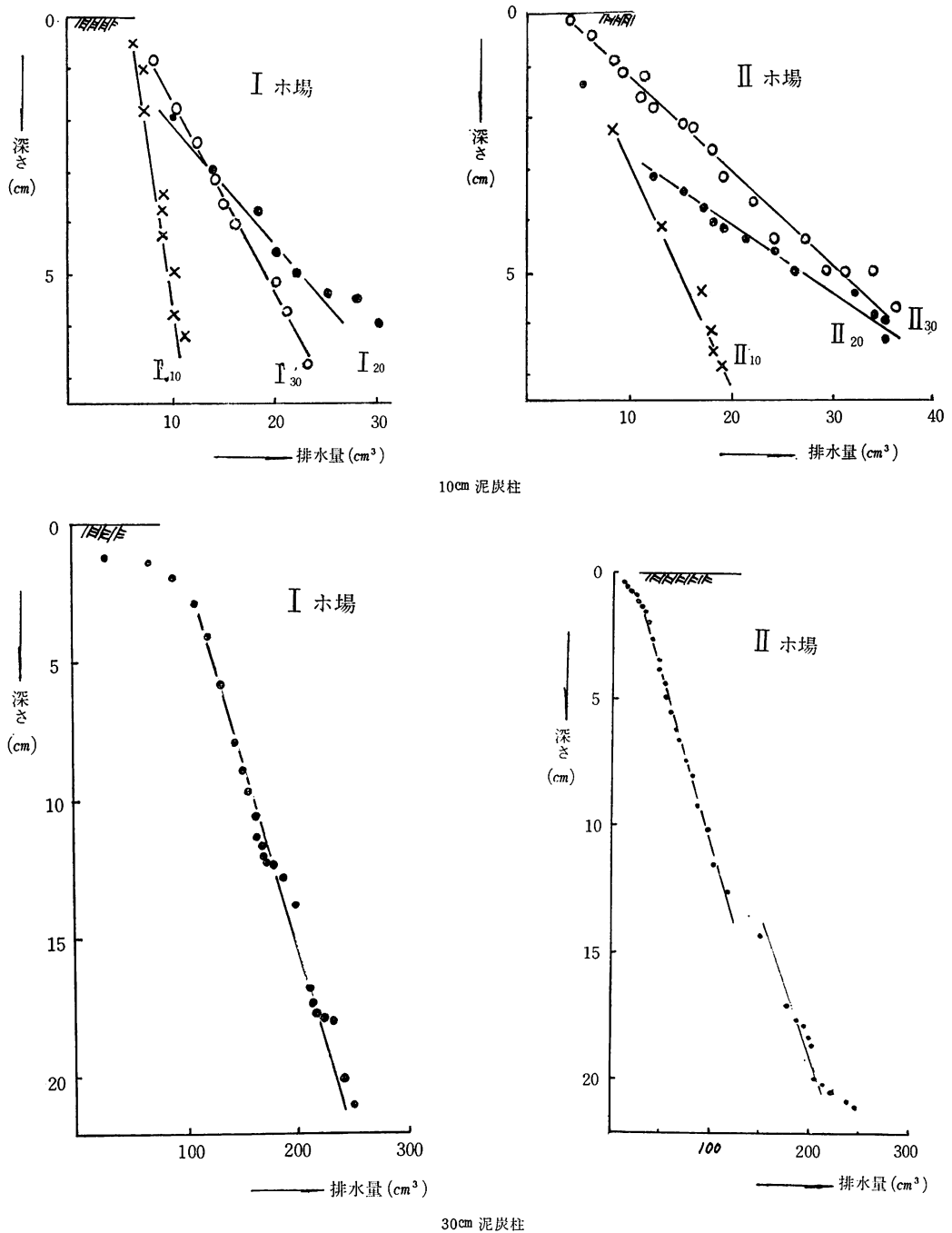


Fig-4 排水量と地下水位

位が低下し排水面に接近するにつれその抵抗が大きいことも原因となっている。従ってこれらの影響を受ける所では Q と h の直線関係はくずれ、実用的な $f'(h)$ を求めることはできないので、この点に注意を払う必要がある。30cm 泥炭柱より求めた $f'(h)$ は I, II ホ場各々 1.0%, 2.0% となった。 $f(h)$ は各々 3.0~3.5

%, 2.5~3.0% となり、コア II を除いては $f(h) > f'(h)$ と予想された結果となった。コア II では、コア壁に沿って水が早く移動したため時間ごとの排水量が多くなった結果と考えられる。このことから横浸透性の強い泥炭のサンプリング実験には細心の注意を払わなければならない。

昭和45年6～10月のホ場観測料質の実測値から specific yield を求めた (Fig-5)。地下水位は暗キヨから水平に異なった距離で測定し、排水量は三角ゼキの水位を自記水位計により観測した。この値は浸透、蒸発を無視した概算により求めたもので両ホ場とも1

～4%の間に分布し、2～3%の所に集中している。これは室内実験より求めた $f'(h)$ より1～2%大きな値となったが、これらの関係は今後の研究をまたなければならぬ。

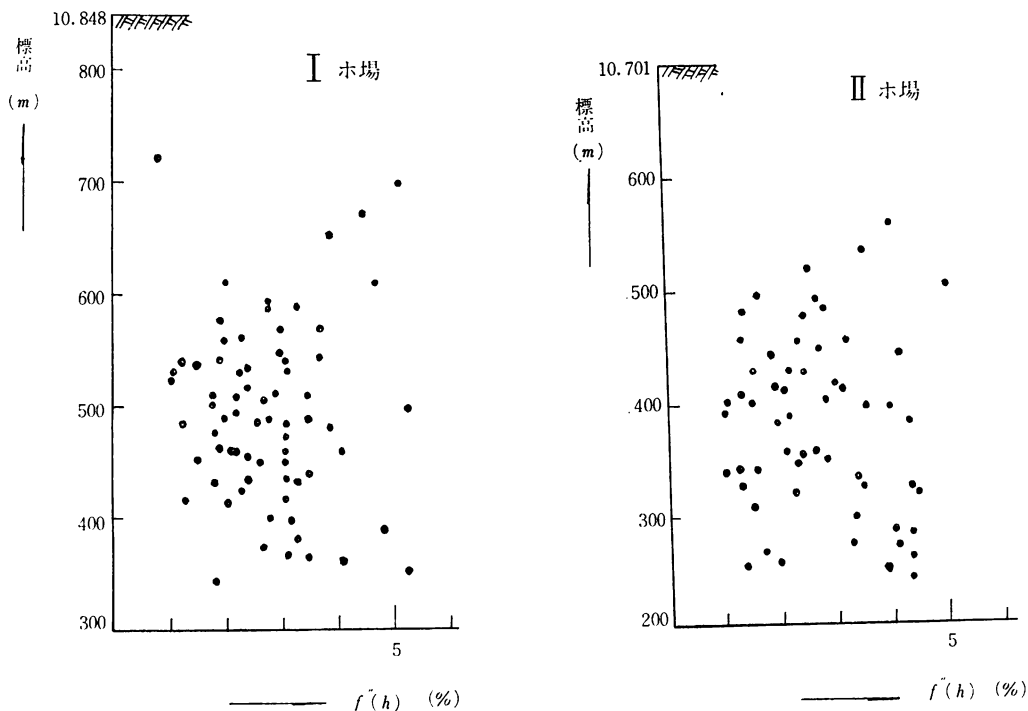
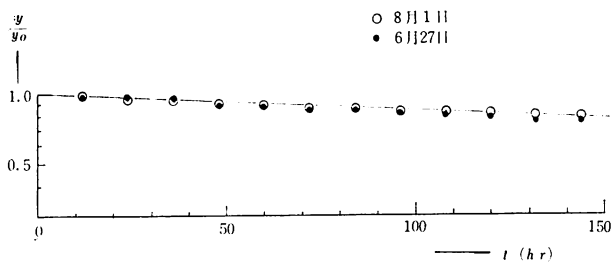
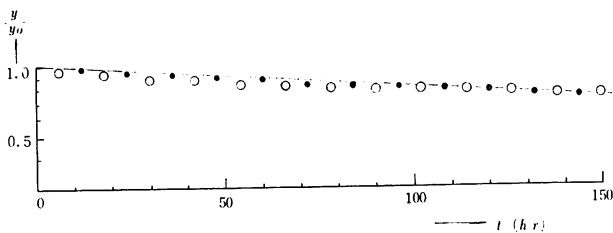


Fig-5 ホ場実測 $f'(h)$ と深さとの関係図



I ホ場の場合



II ホ場の場合

Fig-6 地下水位の低下と時間

今までに多くの人々が暗キヨ排水の理論式を発表している。それらは定常状態の場合と非定常状態の場合に大きく分類されるが、実際ホ場で起る現象を表現する式は、後者の理論式の方が一般的である。非定常状態の暗キヨ間隔を求める代表的な理論式に Glover 式, Kirkham 式がある。

$$\text{Glover 式} : \frac{y}{y_0} = \frac{4}{\pi} \exp \left[-\frac{k\pi^2 D_a}{f S^2} t \right]$$

$$D_a = h + \frac{1}{2} y_0$$

$$\text{Kirkham 式} : \frac{y}{y_0} = \exp \left[-\frac{k}{f S F} t \right]$$

ここで、 y_0 は $t=0$ の時の暗キヨ間中央における地下水位、 y は t 時間たった時の地下水位、 k は透水係数、 S は暗キヨ間隔、 t は時間、 f は specific yield、 F は境界条件により定まる係数、 h は不透水層深を表わす。ホ場で実測した地下水位のうち6月27日と9月1日からの地下水位の変化について、初期地下水位 y_0 で各低下時間の地下水位 y を割った y/y_0 を縦軸の対数目盛に、横軸に時間をとり図に示した (Fig-6)。その結果 $\ln y/y_0$ と t との間にほぼ直線関係が存在する。この直線関係は全ての降雨に対してみられる現象である。Glover, Kirkham 両式の両辺の対数をとれば、 k/f が一定であるならば t と y/y_0 の間に指数関係がある。これは実測より得られた t と $\ln y/y_0$ の直線関係と一致するものである。室内実験から $f'(h)$ はほぼ一定の値を示すことが得られ、又、 k も飽和透水係数

にほぼ近い値でその変動は小さいものと予想される。これらのことから各理論式の適合性を検討することは有効であり、さらにより現地を満足させる式を見出すのに一つの有力な手がかりとなるであろう。

V 結 語

暗キヨ排水を考えるにあたり、最も基礎的でありながら今まであまり重要な問題として取り扱われていなかった specific yield について、室内実験、ホ場実測よりその値を得た。排水を考えるとき、重力水の移動の点からみると equivalent specific yield は有効な方法と考えられ、排水時間ごとの排水量と地下水位との間にはほぼ一定の直線関係が得られることにより簡単にこの値がえられた。又、透水係数との間にいかなる関係があるかを見出すことは大きな問題であり、今後研究を進めていく一つの課題とするものである。

なお、本研究の概要は昭和46年5月農業土木学会大会講演会及び昭和46年9月同北海道支部研究発表講演会において発表したものである。

参 考 文 献

- 1) G. S. Taylor : Drainable Porosity Evaluation from Outflow Measurements and its use in Draw-down Equations, Soil Sci., 90, P 338~343 (1960)
- 2) A. G. Dos Santos Júnior & E. G. Youngs : A Study of the Specific Yield in Land-drainage Situations, Jour. of Hydrology 8 P59~81 (1969)

(昭和47年1月10日受理)

