

徳島大学工学部

正員 尾島 勝

徳島大学大学院

学生員 ○荒木一郎

1 まえがき

最近、ふたたび地下水および浸透流に関する研究が活発化してきた。その目的は、水資源を地下水に求めることと地下水の変動に起因する災害の防止とに大別される。いずれにしても、地下水流あるいは浸透流の挙動に影響を及ぼす要因の詳細な分析・評価とその挙動をより合理的に表現しうるモデルの確立が基礎的な研究課題である。われわれは、多種の影響要因をもち複雑な挙動を示す低平地自由地下水を対象として、その非定常性の評価と地下水位変動量と流量の時間的変化特性にもとづいて行なおうとするものである。すなわち、砂層モデルを用いた実験結果より、水位変動量と流量に影響を及ぼす諸要因の場所的・時間的影響について検討することとに、数値モデルにおいて問題とされる透水層定数についてその決定法を検討する。

2 地下水の挙動に影響する諸要因

影響要因として、1)外水位変動量、2)初期水位、3)初期水面こう配、4)不透水層こう配、5)透水係数および有効間隙率を考え、現象としては図-1(a),(b)に示されるような浸透過程と排水過程について検討する。

ここに挙げた1)~3)は降水、朝夕などの気象条件と揚水、ダム放流などの人為的条件の変化に呼応するものであり、4)および5)は現象生起場の地形条件と地質条件に関連するものである。しかし、1)~4)の条件が与えられたとしても5)にあげた透水係数および有効間隙率は、層構成・粒子の粒径・粒度分布・粗度、層の非均質性などの相違に加えて、水の運動の相違によって変化するものであるから、非定常時におけるこれらの値を直接的に測定し決定することは実際上きわめて困難である。したがって、これらの変動量であると考えれば、影響要因として挙げるよりもむしろ未知量として、その変化特性を検討することのみが一つの課題であるかもしれない。

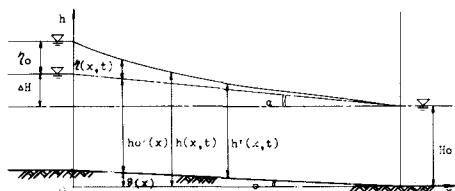


図-1(a) 外水位ステップ上昇のモデル

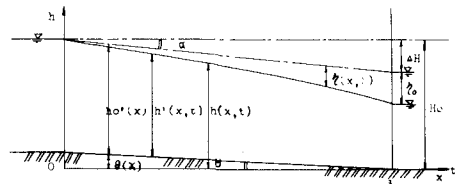


図-1(b) 外水位ステップ降下のモデル

3 非定常性の評価

次に挙げた1)~4)の影響要因が、非定常時における水位変動および流量に及ぼす影響を検討したものである。実験装置および実験方法は前報に示した。モデル砂層の物理諸量ならびに定水位試験による定常時の透水係数は表-1に示すとおりである。実験は図-1(a),(b)の異なる型式に対し、[I]初期水面こう配(α)が0の静水状態から上流端に外水位のステップ上昇を与えるもの、[II]αを有する定常流小があるところにステップ上昇を与えるもの、[III]αが0の静水状態から下流端に外水位のステップ降下を与えるもの、[IV]αを有する定常流小があるところにステップ降下を与えるもの、の4種について、外水位変動量 h_0 、下流端初期水位 H_0 、不透水層こう配などの条件を変えて行なわれた。

表-1 試料砂の物理特性

比重 G_s	2.65
有効粒径 $D_{10}(\text{mm})$	0.35
均等係数 C_u	2.03
透水係数 $k(\text{cm/s})$	0.89
間隙率	0.38

3.1 実験結果の考察

砂層の長さ3mであるが10cm間隔に水頭測定用のマノメータを設置しており、これらの水頭測定記録から各測点における各時刻の水位変動量 $z(x, t)$ を読み取り基本データとする。同時に上流端および下流端で実験開始後一分毎の流入・流出流量の測定を行ない、これらも基本データとする。

1) 水位変動量に及ぼす不透水層の配分の影響

(I), (II), (III), (IV)のいずれの実験結果においても図-2にみられるような傾向が認められる。すなわち、 η が存在することによる影響は、実験初期ほど大きい。また、定常状態に達してみると実験の終期においても η の比が完全に1に収束してないことから η の相違による影響が残るといえる。したがって、定常時においても水面形はそれぞれ異なる。

さらに、場所的には外水位変動端より近い測点ほど、 η の相違が大きいことがわかる。これは、今回考察した他の影響要因に対しても同様であって、結果的には変動端において与えられる変動の増幅における伝播速度の相違ということに集約され、その内部機構は動水こう配、伝達係数(透水係数)、貯留係数(有効間隙率)などの変化によって支配されるものと考えられる。仮りに他の要素を固定して考えるならば、動水こう配が大きければ伝播速度も大きくなるから、 η が存在するならばそれだけ動水こう配の減少になり、伝播速度も小さくなる。したがって、同一時刻での η を比較した場合、変動端から近い測点ほど相違が大きくなることは当然であろう。しかし、各測点における η のこの時間変化曲線の変化の様相がそれぞれ異なることから、単純に動水こう配の相違だけでは説明できず、2で指摘したように非定常時における透水係数や有効間隙率の変化と結びつけて解明しなければならぬと思ふ。

図-2の(a), (b)を比較すれば浸透過程と排水過程における η の影響の違いが明らかである。すなわち、定常状態における η の比が、浸透過程においては1より小さく、排水過程においては1より大きい。この現象の説明も未解決であり、さらに検討していった。

2) 水位変動量に及ぼす初期水深 H_0 の影響

(I), (II), (III), (IV)のいずれの実験結果も図-3に示されるような傾向が認められる。すなわち、 H_0 の相違による影響は、実験初期ほど大きく、同一時刻における η は H_0 が大きいほど大きい。定常状態に至ると η の比はほぼ一定値に収束し、場所的相違もなくなるようで、定常時における水面形は同じである。さらに η の絶対値について比較すれば、図-3に示したTYPE I-2とTYPE I-5の場合、図-4のようである。これらの結果より H_0 が相対的に大きいほど変動の伝播速度が速いことがわかる。

3) 流量に及ぼす影響

図-2(a)で検討したII-6およびII-18の実験における1分間毎の上流端流入流量 Q_{in} と下流端流出流量 Q_{out} の定常流量比に対する η を縦軸に、時間を横軸にとってその変化特性を示したのが図-5である。

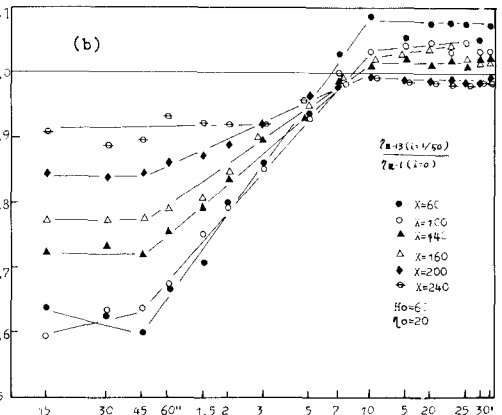
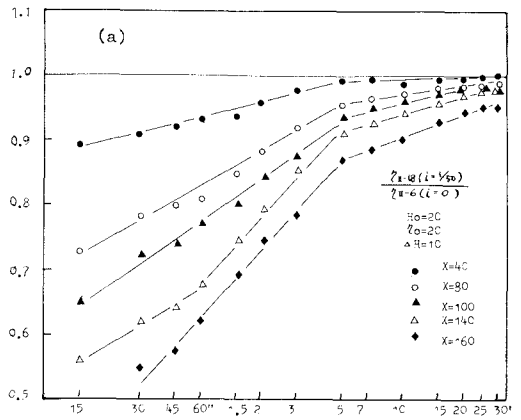


図-2 不透水層の配分の影響

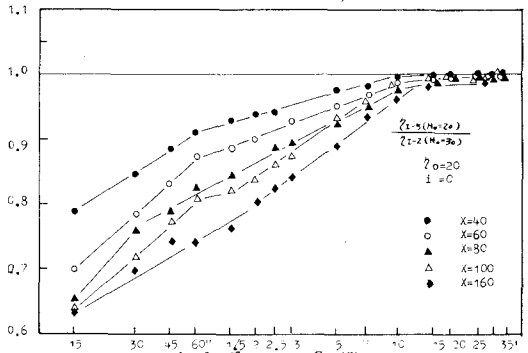


図-3 初期水深 H_0 の影響

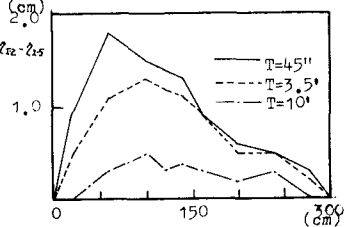


図-4 水位変動量の差

II-6 および II-18 の実験における定常流量は、それぞれ $30.1 (\text{cm}^3/\text{min}/\text{cm})$, $30.0 (\text{cm}^3/\text{min}/\text{cm})$ であり、両者はほぼ等しいが、定常到達時間は II-6 ($i=0$) の方が II-18 ($i=1/50$) よりも 5 分程度短いことがわかる。その他の実験における定常流量を比較表示したのが表-2 である。対比した実験において上段が $i=0$ 、下段が $i=1/50$ である。これらの結果より、定常流量に対する i の相違による影響は小さく、 i の相違による影響は非定常時における流量変化の様相に強く影響を及ぼすといえる。すなわち、 $\partial q/\partial t$ の変化曲線は両実験ともよく一致しているのに対し、 $q_{\text{定常}}$ の変化曲線には明らかな相違が認められる。II-6 の方が II-18 よりも早く定常状態に移行する様子が明らかであり、これを考察した水位変動に及ぼす i の影響とよく対応するものである。

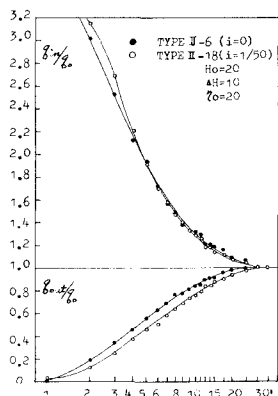


図-5 流量変化曲線

表-2 定常流量

TYPE	q_0 ($\text{cm}^3/\text{min}/\text{cm}$)	TYPE	q_0	TYPE	q_0	TYPE	q_0
I-2	38.8	II-4	16.1	III-1	36.6	IV-1	14.3
I-14	31.5	II-16	13.5	III-13	33.1	IV-13	14.8
I-3	19.3	II-5	15.3	III-2	17.9	IV-2	15.1
I-15	12.8	II-17	14.4	III-14	16.9	IV-14	14.8
I-5	29.6	II-6	30.1	III-3	31.6	IV-3	24.8
I-17	24.4	II-18	30.0	III-15	31.9	IV-15	27.1
I-6	14.1			III-4	15.8	IV-4	11.4
I-18	12.3			III-16	16.1	IV-16	12.5

3.2 数値モデルにおける薄水層定数の考察

図-1 (a), (b) に示すモデルに対する非定常浸透流の運動を、表に基礎式はつぎのようである。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \beta(\alpha, t) \left\{ \left[H_0 \pm \eta + (x-l)(i-\alpha) \right] \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + 2(i-\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x} \pm \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 \pm (i-\alpha)^2 \right\} \\ + \frac{\partial \beta}{\partial x} \left\{ H_0 \pm \eta + (x-l)(i-\alpha) \right\} \left\{ \frac{\partial \eta}{\partial x} \pm (i-\alpha) \right\}$$

ここで、 β は、複号の + は (a)、- は (b) のモデルに对应する。 β は $\beta(\alpha, t) = k(\alpha, t)/\lambda(\alpha, t)$ であり、 $k(\alpha, t)$ は透水係数、 $\lambda(\alpha, t)$ は初期開け率である。

ここで、この式は直接解析解を求めることは不可能であるから、何らかの近似を試みなければならぬ。まず、右辺の才 1 カッコ (0 の項) を無視して、右辺の才 1 カッコに含まれる各項の場所的、時間的変化の様子を調べるとともに、その変動のオーダーを調べた。その一例を図-6 に示してある。このような項別比較より、定常時における各項の値は、場所的にはほぼ一定値をとることもわかるとともに、非定常時における各項の値は変動端に近いくことは定常時の値よりも大きく、遠いくことは定常時の値よりも小さくなることもわかった。

また、才 1 カッコに含まれる各項の総和と $[H_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + 2(i-\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x}]$ の値の比について調べた結果が表-3 のようである。したがって、基礎式の右辺を $\beta(\alpha, t) [H_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + 2(i-\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x}]$ のように近似した場合、他項を無視する影響を表-3 のような結果として評価されることになる。

$\beta(\alpha, t)$ の変化と実験結果から求めることができたが、その値と i の定常時の β の値との関係性がよくは明らかでなく、十分な考察に至っていない。今後の検討に当たって講演時に発表できれば幸いである。

1) 非定常浸透流に関する実験：昭和 48 年度年度学術講演会講演集 (II-178)、82 頁 10。

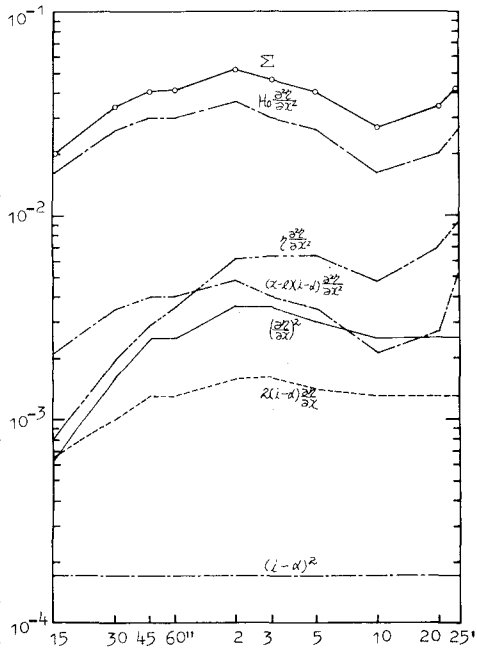


図-6 項別比較 (TYPE II-17, $z=100$)

表-3

L	t	15"	30"	45"	1'	2'	3'	5'	10'	20'	25'
60	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	
100	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	
200	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	