

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

浸透流に関する具体的な研究は、いわゆる Darcy の法則に始まることは周知のとおりであり、以来、多数の成果が累積されて、定常状態における流れの特性はほぼ究明されているといえよう。しかしながら、時系列解析を要する地下水流機構や時間的変動が問題となる浸透流の水理機構などは、現象の生起場である土の組成・形状・成層等の複雑さとも関連して、まだ十分に解明されているとはいえず、近年再び地下水流および浸透流に関する研究が活発化してきた。このことは、水循環系における地下水が、われわれの社会生活において大きな比重を占めていることが再認識されるとともに、利用可能水量としての地下水の時間的・空間的な変動の詳細な把握を必要とするようになってきたからである。すなわち、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の両面にわたっているといえよう。したがって、いづ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素の詳細な分析と評価を行なうこと、さらにその挙動をより正しくしかもより簡単に表わしうる数理モデルを確立することが基礎的な課題である。これらの目的と課題のもとに、すでに多くの解析が多方面でなされている。¹⁾²⁾

低平地自由地下水の挙動に影響を及ぼす要素をすべて抽出して、それらの影響度を定量的に正しく把握するためには、対象流域内での地下水と河川水との応答、対象流域内外の地下水の応答といった横方向の応答と、流域内での直接降雨および蒸発散、人為的な揚・排水による地下水の応答といった縦方向の応答との両者を考慮した、いわゆる流域内水収支に関する総合的な解析が必要かつ有効であることはいうまでもない。著者らも他方でこのような見地からも考察を進めているが、³⁾本研究は、まず、応答量が大きいと考えられる水平応答に限って、その非定常性の評価を、地下水位変動量と流動量の両者の変化特性にもとづいて考察しようとするものである。すなわち、種々の境界条件下にある砂層モデルを用いた実験結果から、水位変動量と流動量に影響を及ぼす諸要素の時間的・場所的な影響度を検討する。さらに、非定常浸透流を表現する数理モデルの組立てとその数理モデルに含まれる非定常性の検討を砂層モデルによる実験結果と対比させて行なう。

2 準一次元浸透流としてのモデル化と実験

外水位変動の滞水層内における伝播速度に影響する要素として、1) 外水位変動量、2) 初期水位、3) 初期水面こう配、4) 底こう配、5) 透水係数および有効間げき率を考え、現象としては浸透過程と排水過程を考える。3) は外水位変動に応じて浸透流が生じる場合に、初期条件として定常流が存在しているか否かの相違を検討しようとするものであって、従来あまり考慮されていなかったものである。また、1)～4) の条件が与えられたとしても 5) に挙げた透水係数および有効間げき率は、滞水層構成土粒子が非均質であることによる相異に加えて、間げき中を流動していく水の運動状態の相異によっても変化するであろうから、非定常時におけるこれらの値を直接的に決定することは実際上きわめて困難である。したがって、影響要素であることにはまちがいないが、むしろ未知量として、その変化特性を検討し、妥当な値を決定することがまず第一の問題であろう。

図-1 (a), (b) に示すような滞水層モデルを考える。すなわち、初期滞水層厚に比して外水位変動量(η)が小さく、かつ η に比して滞水層の長さ(ℓ)が十分に大きくて準一次元流の取り扱いができるものとする。使用する記号は図中に示すとおりであって、初期水面こう配(α)がない静水状態から上流端に外水位ステップ上昇変動量(η)を与えるものを TYPE-I、ある水面こう配をもつ定常流が存在する初期状態から上流端にステップ上昇変動を与えるものを TYPE-II、初期水面こう配がない静水状態から下流端に外水位ステッ

ブ降下変動量を与えるものをTYPE-III, ある水面こう配をもつ定常流が存在する初期状態から下流端にステップ降下変動を与えるものをTYPE-IVとする。以上4つのタイプについて η_0, H_0, α, i などの条件を種々変化させて実験を行なった。実験諸元を表-1に示す。

実験装置は、両端に水頭制御装置を管路で連結した長さ4m, 幅0.6m, 高さ0.9mの前面アクリライト張りの可動こう配水路であり、その中に300×60×70(cm)の砂層模型を作製している。実験砂の物理諸量は、比重2.65, 有効径 $D_{10}=0.35\text{mm}$, 均等係数 $C_u=2.03$, 透水係数 $k_s=0.089\text{cm/sec}$, 間げき率 $\lambda_s=0.38$ である。

前述の実験モデルにおいて、水路底こう配(i)を、0, 1/100, 1/50の3種に設定した後、所定の初期条件を与えて実験を開始し、各測点における水位測定と上・下流端に連結された水頭制御装置からの越流量測定を行なう。水位測定には、変動端近傍の6測点(測点間隔20cm)に圧力計(共和PG-200GD)を用いてビジグラフに記録させるとともにマノメータ(28測点, 測点間隔10cm)に現われる水位を写真によって記録させる方法をとった。流量測定は、上・下流端における越流量を1分間毎に計測し、上下流端での流入・流出量の差がなくなるまで測定を続ける。

3 実験結果とその考察

3-1 水位変動量に及ぼす影響度の検討

1) 初期水位(H_0)の相異による影響

TYPE-I ~ IVのいずれの実験結果からも図2-(a), (b)に示されるような傾向が認められる。すなわち、同一時刻、同一測点における変動水位(η)は、初期水位が相対的に大きいほど大きく、また、 H_0 の相異による現象の相違は、時間的には実験初期ほど、場所的には変動端より遠いほど大きい。しかし、時間の経過とともに η の比は一定値に収束して場所的な相違もなくなるようで、定常時における水面形はほぼ同じになる。一方、図の(a), (b)を比較すれば明らかな相違が認められる。すなわち、底こう配がある場合には、 H_0 の相異による現象の相違が短時間で消失してしまい、以後は場所的にも時間的にもほぼ同一の水面形変化をすることになる。

2) 外水位変動量(η_0)の相異による影響

外水位変動量(η_0)に対する各測点、各時刻における水位変動量(η)の比(η/η_0)の変化を比較して検討した。その一例を図-3に示したが、TYPE-II, TYPE-IVの実験系列がこのような特性を示し、TYPE-I, TYPE-IIIの実験系列では、ここに示した図とは逆に実験初期の値が1より小さく時間の経過とともに1に近づく特性を示す。このことは初期流れがあるかないかによって、非定常時における外水位変動の伝播の様相が異なることであり、これをさらに明確にするために表-2および図-4を示した。

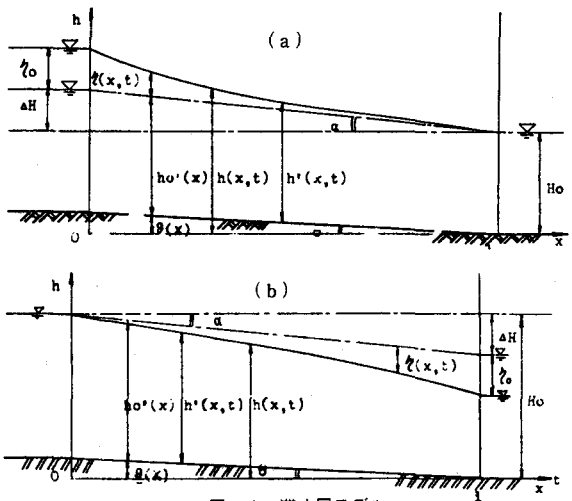


図-1 滞水層モデル

TYPE I						TYPE II					
No	i	H_0	ΔH	η_0		No	i	H_0	ΔH	η_0	
1	0	30	0	30		1	0	30	20	10	V
2	0	30	0	20	V	2	0	30	10	10	V
3	0	30	0	10	V	3	0	30	10	20	V
4	0	20	0	30		4	0	20	20	10	V
5	0	20	0	20	V	5	0	20	10	10	V
6	0	20	0	10	V	6	0	20	10	20	V
7	1/100	30	0	30		7	1/100	30	20	10	V
8	1/100	30	0	20	V	8	1/100	30	10	10	V
9	1/100	30	0	10	V	9	1/100	30	10	20	V
10	1/100	20	0	30		10	1/100	20	20	10	V
11	1/100	20	0	20	V	11	1/100	20	10	10	V
12	1/100	20	0	10	V	12	1/100	20	10	20	V
13	1/50	30	0	30		13	1/50	30	20	10	V
14	1/50	30	0	20	V	14	1/50	30	10	10	V
15	1/50	30	0	10	V	15	1/50	30	10	20	V
16	1/50	20	0	30		16	1/50	20	20	10	V
17	1/50	20	0	20	V	17	1/50	20	10	10	V
18	1/50	20	0	10	V	18	1/50	20	10	20	V

TYPE III						TYPE IV					
No	i	H_0	ΔH	η_0		No	i	H_0	ΔH	η_0	
1	0	60	0	20	V	1	0	60	20	10	V
2	0	60	0	10	V	2	0	50	10	10	V
3	0	60	0	20	V	3	0	50	10	20	V
4	0	50	0	10	V	4	0	50	20	10	V
5	0	40	0	20	V	5	0	40	10	10	V
6	0	40	0	10	V	6	0	40	10	20	V
7	1/100	60	0	20	V	7	1/100	60	20	10	V
8	1/100	60	0	10	V	8	1/100	50	10	10	V
9	1/100	50	0	20	V	9	1/100	50	10	20	V
10	1/100	50	0	10	V	10	1/100	50	20	10	V
11	1/100	40	0	20	V	11	1/100	40	10	10	V
12	1/100	40	0	10	V	12	1/100	40	10	20	V
13	1/50	60	0	20	V	13	1/50	60	20	10	V
14	1/50	60	0	10	V	14	1/50	50	10	10	V
15	1/50	50	0	20	V	15	1/50	50	10	20	V
16	1/50	50	0	10	V	16	1/50	50	20	10	V
17	1/50	40	0	20	V	17	1/50	40	10	10	V
18	1/50	40	0	10	V	18	1/50	40	10	20	V

表-1 実験諸元

表-2は、各測点における水位変動量 η の定常状態での値 η_s に対する比 (η/η_s) を各時刻について示したものであり、図-4はこれらの比の値の比較を $(\eta/\eta_s)_{\eta=20}/(\eta/\eta_s)_{\eta=10}$ として示したものである。これらの結果から、初期流れの無いTYPE-Iでは、各測点における定常状態への移行速度(変動の伝播速度)は外水位変動量が小さいほど大きく、初期流れ(初期水面こう配 α)のあるTYPE-IIでは、逆に外水位変動量が大いほど大きいこと、さらには他の実験条件が同じであるTYPE-IとIIを比べれば、Iの方がIIよりもいずれも早く定常状態に達することがわかる。しかし、 η_s の相異による場所的な影響度の相違が無くなるまでにIでは外水位変動を与えた時刻より約10~15分を要しているのに比して、IIでは約5~7分である。このことは η_s の相異による定常状態への移行の様相の違いは、変動の伝播速度が遅いにもかかわらず初期流れのあるIIの方が早く消失してしまうことがわかる。

3) 底こう配(4)の相異による影響

排水過程であるTYPE-III, Nの実験結果の解析の一例を表-3および図-5に示した。表-3は表-2と同様に (η/η_s) の値を示したものであり、

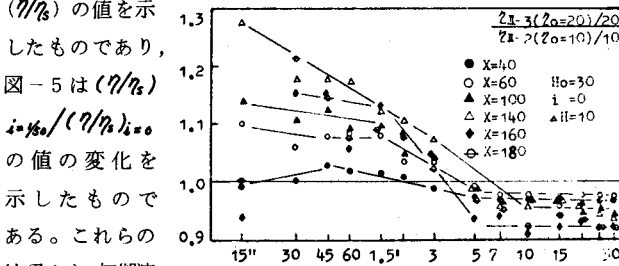


図-3 外水位変動量の影響

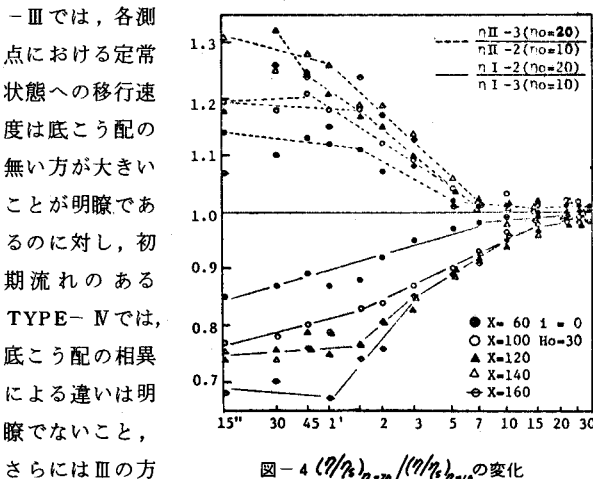


図-4 $(\eta/\eta_s)_{\eta=20}/(\eta/\eta_s)_{\eta=10}$ の変化

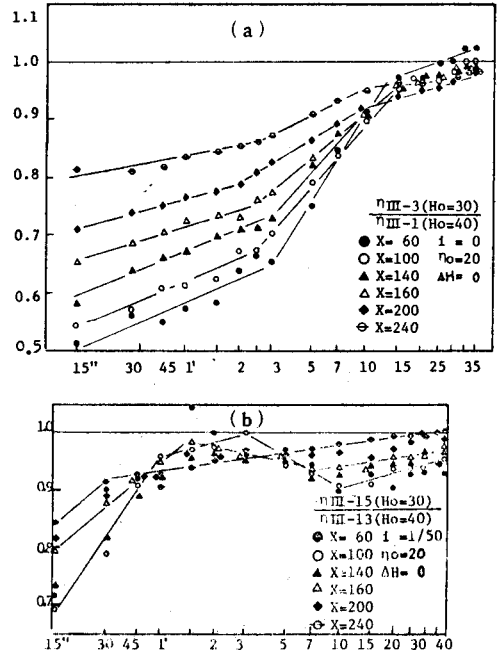


図-2 初期水位の影響

TYPE I-3	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=60	0.61	0.70	0.79	0.88	0.95	0.99	1.00	1.00
X=100	0.39	0.54	0.68	0.81	0.94	0.99	1.00	1.00
X=120	0.34	0.49	0.62	0.80	0.93	0.98	1.00	1.00
X=140	0.29	0.46	0.61	0.75	0.93	0.96	1.00	1.00
TYPE I-2	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=60	0.52	0.61	0.69	0.81	0.92	0.94	0.99	1.00
X=100	0.30	0.42	0.54	0.68	0.85	0.95	0.98	1.00
X=120	0.25	0.37	0.49	0.65	0.84	0.92	0.98	0.99
X=140	0.22	0.34	0.46	0.61	0.83	0.94	0.99	1.00
TYPE II-2	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=60	0.43	0.51	0.60	0.72	0.87	0.95	0.99	1.00
X=100	0.25	0.33	0.44	0.58	0.79	0.90	0.97	1.00
X=120	0.17	0.25	0.38	0.52	0.77	0.91	0.98	1.00
X=140	0.16	0.24	0.34	0.48	0.72	0.90	0.98	1.00
TYPE II-3	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=60	0.49	0.56	0.67	0.77	0.89	0.96	1.00	1.00
X=100	0.30	0.39	0.52	0.65	0.82	0.93	0.99	1.00
X=120	0.20	0.33	0.46	0.60	0.80	0.92	0.98	1.00
X=140	0.21	0.30	0.43	0.57	0.76	0.91	1.00	1.00

表-2 η/η_s の値

TYPE III-1	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=240	0.68	0.74	0.78	0.83	0.92	0.96	0.99	1.00
X=200	0.54	0.62	0.68	0.77	0.88	0.95	0.99	1.00
X=160	0.43	0.52	0.61	0.72	0.84	0.93	0.97	1.00
X=140	0.40	0.50	0.59	0.69	0.83	0.92	0.98	1.00
TYPE III-13	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=240	0.62	0.66	0.73	0.77	0.89	0.96	0.99	0.99
X=200	0.45	0.51	0.58	0.65	0.82	0.93	0.98	0.98
X=160	0.33	0.39	0.47	0.60	0.79	0.92	0.99	1.00
X=140	0.28	0.36	0.43	0.57	0.76	0.91	0.98	0.99
TYPE N-3	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=240	0.47	0.52	0.58	0.69	0.83	0.92	0.97	0.99
X=200	0.31	0.37	0.46	0.61	0.76	0.88	0.96	0.99
X=160	0.18	0.28	0.38	0.52	0.71	0.86	0.97	0.99
X=140	0.14	0.23	0.35	0.52	0.70	0.83	0.95	0.97
TYPE N-5	15"	30"	1'	2'	5'	10'	20'	30'
X=240	0.44	0.52	0.59	0.66	0.83	0.91	0.98	0.99
X=200	0.27	0.35	0.45	0.53	0.76	0.87	0.95	0.98
X=160	0.17	0.28	0.38	0.47	0.71	0.85	0.96	0.99
X=140	0.15	0.24	0.36	0.45	0.69	0.82	0.94	0.98

表-3 η/η_s の値

がⅣより早く定常状態に達することがわかる。しかし、図-5より明らかなように、 i の相異による定常状態への移行の様相の場所的な違いが無くなるまでに、Ⅲでは約5～7分、Ⅳでは約3～5分である。したがって、 i の相異による現象の非定常性は、変動の伝播速度が遅いにもかかわらず、相対的に i が大きいほど短時間で消失することがわかる。

さらに、初期流れがある上に、底こう配がある場合(Ⅳ)にはそれぞれの効果が相乗的に効いて、単一の影響よりも早く境界条件の相異による非定常性が消失することが図-4および図-5の結果の定常到達時間の短縮からも推察されよう。

3-2 流動量に及ぼす影響度の検討

流動量に及ぼす影響を考察するために、一分毎に計測した上流端流入流量(Q_{in})と下流端流出流量(Q_{out})の定常流量(Q_0)に対する比を縦軸に、時間を対数尺の横軸にとって、その変化特性を調べた。

1) 底こう配(i)の相異による影響

浸透過程であるTYPE-IIの6と18の実験結果の比較を示したのが図-6である。Ⅱ-6およびⅡ-18における定常流量は、表-4に示したとおり、それぞれ30.1($cm^3/min/cm$)、30.0($cm^3/min/cm$)であって、両者はほぼ等しい。しかし、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。表-4で対比した実験は上段が $i=0$ 、下段が $i=1/50$ であって、これらの結果から定常流量の値に対する i の相異による影響はほとんどないように思われる。したがって、 i の相異による影響は定常状態に至る流量変化の様相に強く現われるといえる。すなわち、 Q_{in}/Q_0 の変化曲線は両者がよく一致していることから流入量に対する i の影響はほとんどないといえるのに対し、 Q_{out}/Q_0 の変化曲線に相違があることから流出量に対して i の相異による影響が現われ、Ⅱ-6の方がⅡ-18よりも早く定常状態へ移行するといえる。このことは、流入量の時間変化に差がないのであるから、砂層内での流動状態の相違、換言すれば水面形(水位変動量)変化の様相の相違ということになり3-1で考察した結果と当然一致する。

2) 初期水位(H_0)の相異による影響

TYPE-I～Ⅳのいずれの実験結果からも図-7にみられるように同時刻における Q_{in}/Q_0 あるいは Q_{out}/Q_0 の値は、 H_0 が相対的に大きいほど1に近く、常に定常状態により近い状態にあるといえる。

つぎに、図-7に示した実験の一分毎に計測した流量の絶対値で両者を非較してみると、流入量では非定常性の強い実験初期で13～20%，定常時で22～35%，流出量ではそれぞれ70～80%，20～35%と、いずれも H_0 が大きい場合が多い。したがって、流量に及ぼす初期水位の相異による影響は定常時においてもかなり大きいことを認識すると同時に、非定常性の強い実験初期においては、水面形(水位変動量)変化の様相と合わせて検討しなければならないといえよう。

他の影響要素についても考察を行なっているが、ここでは割愛する。ただ、流動量に関しては、各要素の影響度の分析が水面形のそれに対するよりも困難であり、結果的には水面形変動によって非定常性を考察する方が容易であるように思われる。

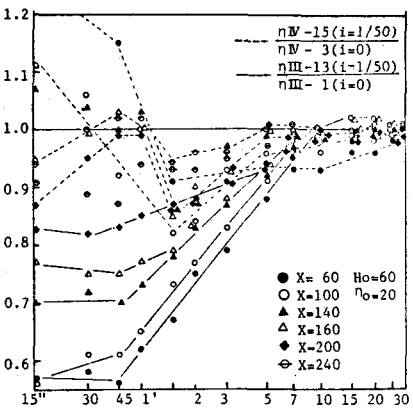


図-5 $(Q/Q_0)_{i=1/50} / (Q/Q_0)_{i=0}$ の変化

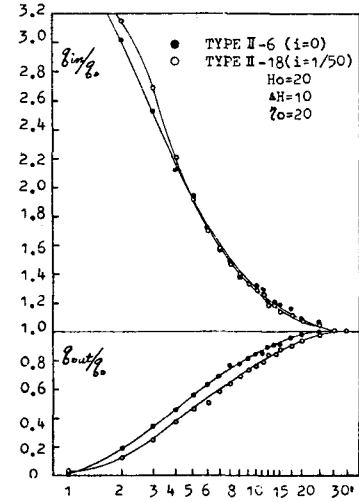


図-6 底こう配の影響

TYPE	Q ₀	TYPE	Q ₀	TYPE	Q ₀	TYPE	Q ₀
I-2	38.8	I-4	16.1	III-3	36.6	IV-1	14.3
I-14	31.5	I-16	13.5	III-13	33.1	IV-13	14.8
I-3	19.3	I-5	15.3	III-2	17.9	IV-2	15.1
I-15	12.8	I-17	14.4	III-14	16.9	IV-14	14.8
I-5	29.6	I-6	30.1	III-3	31.6	IV-3	24.8
I-17	24.4	I-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

表-4 定常流量の比較

4 数値モデルによる非定常性の評価

4-1 準一次元浸透流としての理論解析

図-1(a), (b)に示した滞水層モデルにおいて、砂層の透水係数を $k(x, t)$ 、有効間げき率を $\lambda(t)$ 、単位幅流量を $g(x, t)$ 、とし、不透水層こう配を一様こう配 i 、初期水面こう配を一様こう配 α と仮定して、それぞれの場合に対する水位変動量に関する基礎式を求めればつぎのようである。

$$\text{運動方程式: } g(x, t) = -k(x, t) \{ h(x, t) - g(x) \} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} \quad (1)$$

$$\text{連続の式: } \frac{\partial g(x, t)}{\partial x} = -\lambda(t) \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} \quad (2)$$

(1), (2)式より次式が導びかれる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} = & \frac{k(x, t)}{\lambda(t)} \left\{ \{ h(x, t) - g(x) \} \frac{\partial^2 h(x, t)}{\partial x^2} + \left\{ \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} \right\}^2 - \frac{dg(x)}{dx} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} \right\} \\ & + \frac{1}{\lambda(t)} \frac{\partial k(x, t)}{\partial x} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} \{ h(x, t) - g(x) \} \end{aligned} \quad (3)$$

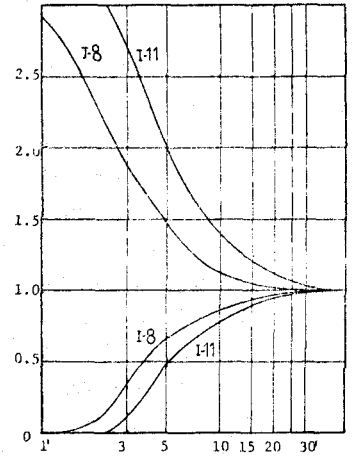


図-7 初期水位の影響

ここで、 $g(x) = (l-x)i$ 、 $k(x, t)/\lambda(t) = \beta(x, t)$ とすれば、TYPE-I, II (図-1-a) の場合、 $h(x, t) = H_0 + \eta(x, t) + (l-x)\alpha$ であるから、(3)式よりつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} = & \beta \left\{ \{ H_0 + \eta + l(\alpha - i) - x(\alpha - i) \} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + (i - 2\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \alpha(\alpha - i) \right\} \\ & + \frac{\partial \beta}{\partial x} \{ H_0 + \eta + l(\alpha - i) - x(\alpha - i) \} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} - \alpha \right) \end{aligned} \quad (4)$$

TYPE-III, IV (図-1-b) の場合、 $h(x, t) = H_0 - \eta(x, t) - \alpha x$ であるから、同じく(3)式よりつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} = & \beta \left\{ \{ H_0 - \eta - li - x(\alpha - i) \} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - (i - 2\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \alpha(\alpha - i) \right\} \\ & - \frac{\partial \beta}{\partial x} \{ H_0 - \eta - li - x(\alpha - i) \} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} + \alpha \right) \end{aligned} \quad (5)$$

(4), (5)式のように誘導された基礎式は非線形であるので、これらを直接解くことは困難である。したがって、つぎに示すような実験結果に基づく方程式中の各項のオーダーと場所的、時間的変化を検討して、線形近似を行なうことを試みた。

4-2 解析式の項別評価と非定常性の評価

各項の計算には、 $\partial \eta / \partial x = \{ \eta(x + \Delta x, t) - \eta(x, t) \} / \Delta x$ 、 $\partial^2 \eta / \partial x^2 = \{ \eta(x + 2\Delta x, t) - 2\eta(x + \Delta x, t) + \eta(x, t) \} / \Delta x^2$ 、 $\partial \eta / \partial t = \{ \eta(x, t) - \eta(x, t - \Delta t) \} / \Delta t$ の差分を用い、 $\Delta x = 20 \text{ cm}$ 、 Δt は実験開始後 1 分までは 15 秒、1～3 分では 1 分、3～5 分では 2 分、5～35 分では 5 分としている。

計算結果の一例を図-8、図-9に示した。全体的にみれば、全項の総和(Σ)は $(H_0 \cdot \partial^2 \eta / \partial x^2)$ の変化の様相とよく一致しているようであるが、変動端に近いところほど $(H_0 \cdot \partial^2 \eta / \partial x^2)$ 以外の各項のオーダーも大きくなり、その変動幅も大きくなる傾向があって、とくに $(\eta \cdot \partial^2 \eta / \partial x^2)$ 、 $(\partial \eta / \partial x)^2$ の変動の様相を無視しえない。また、図-8と図-9を比較すると、(Σ)、 $(H_0 \cdot \partial^2 \eta / \partial x^2)$ の項はほぼ同様のオーダーと変化の様相を示しているといえようが、 $(\{ i(x-l) - \alpha x \} \partial \eta / \partial x)$ の項のオーダーが異なっていることがわかる。これは TYPE-IV の場合、初期水面こう配 (α) があることによる影響が他項に比して大きく、無視しえないといえる。ところで $(\eta \cdot \partial^2 \eta / \partial x^2)$ 、 $(\partial \eta / \partial x)^2$ 、 $(\{ i(x-l) - \alpha x \} \partial \eta / \partial x)$ の非線形項の変動の様相が $(H_0 \cdot \partial^2 \eta / \partial x^2)$ のそれとよく一致していることを考慮して、(4)式、(5)式をそれぞれつぎのような線形近似を行なってみた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = K \left\{ \{ H_0 + l(\alpha - i) \} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + (i - 2\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x} \right\} \quad (6) \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} = K \left\{ \{ H_0 - li \} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - (i - 2\alpha) \frac{\partial \eta}{\partial x} \right\} \quad (7)$$

(6), (7)式は, (4), (5)式の右辺第2カッコ ($\partial\phi/\partial x$ の項) の $\partial\phi/\partial x$ の評価が直接的にできないためとりあえず無視した第1近似である。(5)式の第1カッコ内の値と(7)式のカッコ内の値との比を図-8に示したTYPE-III-15の実験について示せば表-5のようである。すなわち, (5)式の第1カッコ内の他項を無視する影響が表-5のような値として評価されたものと考えられる。

$\beta(x, t)$ の値は, 流通計測にもとづく fitting 法あるいは水位計測より実験的に求められるが, 定常時の β の値との関連性が十分に把握できず, 式中の K を適確に与えるまでには至っていない。実験から求められる定常時の β の値およびその値に表-5に示されるような線形近似の誤差を割り増した値を K 値 (定数) として (6), (7)式を解いた水面形曲線の一例を示したのが図-10である。この結果をみれば, 非定常性の強い実験初期ほど解析解と実験値との違いが著しい。しかし, 3で考察したように各影響要素の影響度を(6), (7)式によって行なった結果, 定性的には実験結果にもとづいて明らかにされたこととまったく同様の結果がえられた。したがって, ($\partial\phi/\partial x$) の項を無視した影響は微小であるとみなしてよいと考える。以上の2つの結果から, 定量的な評価は K 値の評価という今後の問題に帰されるが, 定性的には(6)あるいは(7)式に基づく検討でも十分有用であると思う。

5 あとがき

本論文は, 低平地自由地下水の外水位変動に伴う水位変動および流動量変化の非定常性を砂層モデルによる実験と, 準一次元浸透流としての理論解析によって考察したものである。その結果を要約すればつぎのようである。

1) 実験によって, 非定常時における水位変動量・流動量の変化に及ぼす各要素の影響度の場所的, 時間的な相違を詳細に考察して, 変動の伝播速度と定常状態への移行速度に対する影響の相違を明確に示した。

2) 実験モデルに対応した数理モデルにおいて, 現象を表わす基礎式を誘導し, 非線形項の取り扱い方を検討して, 線形近似を行なう一方法を示した。しかし, 滞水層定数の決定法が不十分であって, まだ定量的な精度は満足できるまでに至っていない。

今後, 滞水層定数の適正な値を求めることを課題として, 両端の複雑な変動をも考慮した地下水変動について検討を進めていきたい。

参考文献: 1) Pogge, C. E.: Mechanics of Bank Seepage during Flood Flows, University of Iowa, Hydrology, 1966.

2) 宇野 尚 雄: 土中の非定常浸透と地下水位変動に関する研究
京都大学博士論文, 1970.

3) 尾島・兼島: 吉野川下流域の地下水変動について, 第27回年講Ⅱ-243, 1972.

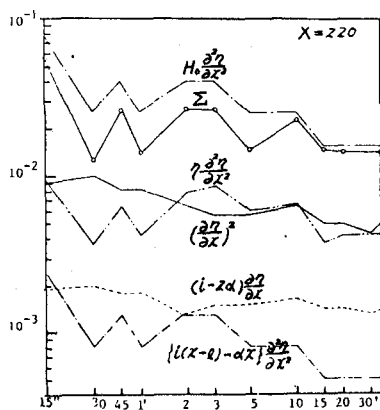


図-8 項別比較 (TYPE-III-15)

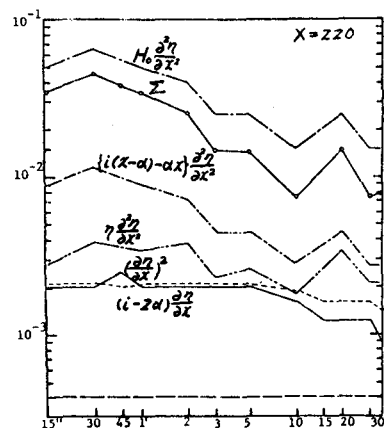


図-9 項別比較 (TYPE-N-14)

X/T	15"	30"	45"	1'	2'	3'	5'	10'	20'	30'	35'	Ave.
100	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8
200	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6
220	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
240	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6
Ave.	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	-

表-5 TYPE-III-15における省略項の評価

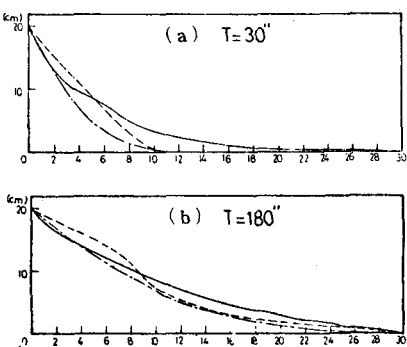


図-10 水面形曲線