

II-4 小流出試験地（室蘭）の流出解析 地下水流動について

苫小牧工業高等専門学校 正員 嵯峨 浩

室蘭工業大学 正員 藤間 聡

" 学生員 中田 朋樹

1. はじめに

著者らは降雨－流出系の物理機構を解明することを目的として、室蘭工大近郊の山腹斜面に小流出試験地を設け、一連の水文データを観測し続けてきた。本格的に観測を始めたのは、今年度からであり十分なデータの蓄積はまだないが、流域の流出特性と小流域ゆえに発生すると思われる特異な流出現象の観測結果とその原因について調査・考察を行ったのでここに報告する。

2. 流出解析

流域の概要及び観測システムについては、同時発表の「丘陵試験地における雨水の流出機構」を参照してもらうことにして、ここではデータ解析の結果を述べることにする。

減水曲線から流域固有のタンク時定数を求める方法はいくつか提案されているが、本研究では(1)式で示される直列2段タンクモデル（線形貯水池法）を採用した¹⁾。(1)式の解は(2)式で表わされ、減水特性から定数が決定される。

$$K_1 K_2 \frac{d^2 q}{dt^2} + (K_1 + K_2) \frac{dq}{dt} + q = 0 \quad (1)$$

$$q = C_1 \exp(-\lambda_1 t) - C_2 \exp(-\lambda_2 t) \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{r_0 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \{1 - \exp(-\lambda_1 t_r)\}$$

$$C_2 = \frac{r_0 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \{1 - \exp(-\lambda_2 t_r)\}$$

ただし、解析解を得るために降雨強度 r_0 、継続時間 t_r の矩形降雨とした。(2)式において λ_i は K_i の逆数であり、減水曲線の減水率を表わしている。図-1 は片対数上に q をプロットしたもので C_i と λ_i ($i=1,2$) を求めたものである。ただし、時間軸はハイドログラフ・ピーク時を $t=0$ としてある。この出水は1988年6月9日の降雨によるもので、総雨量172mmであり、得られた観測値の内では一番大きな出水である。なお、直接流出量はハイドログラフ立ち上がり時刻と減水部第二析曲点を直線で結ぶ分離法を採用し、有効降雨は、ハイドログラフ立ち上がり時刻以降の降雨に一率に流出率 f を乗じて求めた。ここで $f=0.338$ である。流出の再現計算を図-2に示す。線形計算では流出を再現できないようである。

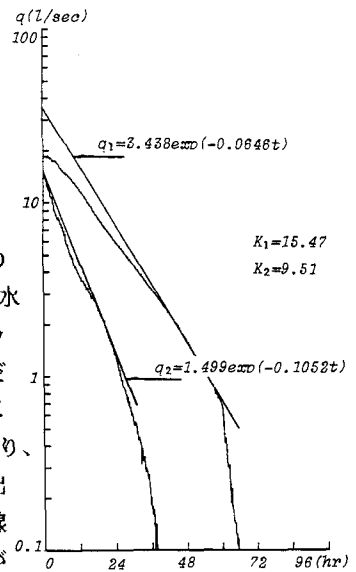


図-1 減水曲線

次に、非線形効果を期待できる木村の貯留関数法により計算を行った。

$$S_L = K Q_L^P \quad \frac{dS}{dt} = r - Q_L \quad Q_L(t) = Q(t + T_L) \quad (3)$$

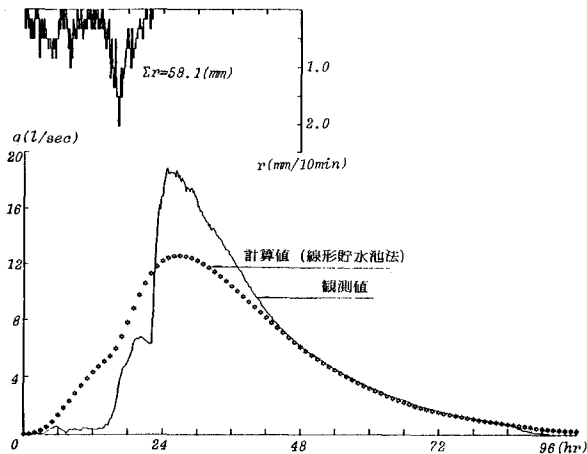


図-2 流出計算

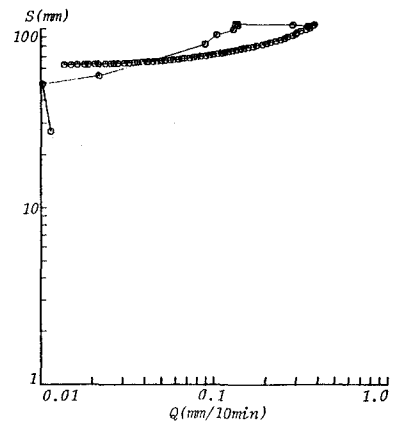


図-3 貯留特性

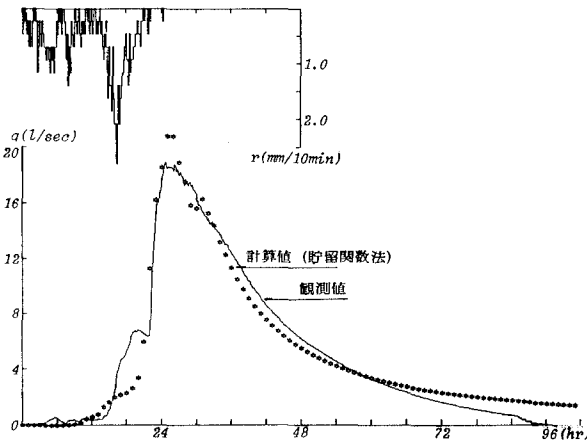


図-5 流出計算

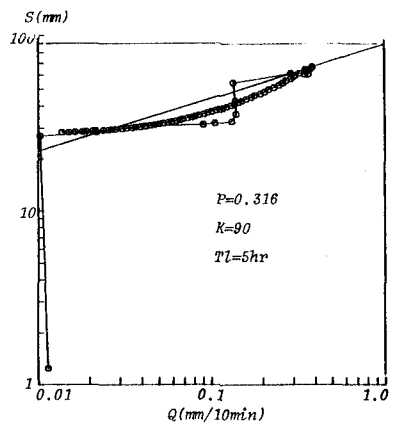


図-4 貯留関数の決定

ここに、 S_1 は見かけの貯留量、 Q_1 は遅れ時間 T_1 を考慮した流量、 K 、 P は定数である。直接流出量は先述の方法で求め、有効降雨は平均流入係数法による方法を採用した。図-3は遅れ時間 T_1 が0の場合、すなわち貯留特性を示している。図-4は、 $S-Q$ カーブのループが解消されるように T_1 を決定したもので、 $P=0.316$ 、 $K=90$ 、 $T_1=5\text{hr}$ である。

図-4により決定された貯留関数により流出を再現したものを図-5に示す。図-2に比較して観測値と計算値の合致精度が向上しているのがわかる。以上、2つのオーソドックスな線形流出解析手法と非線形流出解析手法により、この流域の流出特性を把握することができる。

3. 流出率からみた流出特性

流出率は水文学における基本的かつ重要な問題である。ここでは流出試験地で得られた7つの出水例について、流出率 f と因果関係を有すると考えられる因子について関係を求めた。

流出率は降雨開始時の流域の土壤水分状態に影響を受けることは疑いの無いことであろう。この流域の湿潤度を表す因子として出水直前流量 q_a を採用した。又流域への入力として降雨の状態、すなわち総雨量 Σr と、平均降雨量 r_{mean} を流出率に影響を及ぼす因子として考えた。したがって、流出率は次のように書かれる。

$$f = \text{func}(q_A, \Sigma r, r_{\text{mean}}) \quad (4)$$

表 - 1

No	流出率 f	初期流量 q _A	総雨量 Σ r	平均雨量 r _{mean}	月 日
		l/sec	mm	mm/hr	
1	0.118	0.43	79.0	2.6	5/12
2	0.342	0.21	172.0	6.4	6/9
3	0.038	0.02	144.5	4.8	7/8
4	0.171	0.85	37.0	2.2	7/10
5	0.195	0.66	66.0	1.9	7/15
6	0.322	0.39	79.5	7.8	9/11
7	0.050	0.06	80.0	5.7	10/6

採用した降雨を表 - 1 に示す。なお、直接流出量は先述の方法で行い、流出率の計算にはプランメーターにより面積測定を行った。図 - 6 は f と Σ r の関係をプロットしたものである。f と Σ r に相関はみられない。図 - 7 は f と r_{mean} をプロットしたものでこの図においても相関はみられない。図 - 8 は f と q_A をプロットしたものであり、直線から外れる点が 2 点存在するが、他の 5 点はかなりの相関関係があることがわかる。日野・長谷部ら²⁾は、神流川 (A=373.6km²)、梓川 (A=0.396km²)、相模川 (A=1201.3km²) の流出データにより湿潤度指標としての洪水直前流量と流出率の関係を求め次式のように定式化している。

$$f = 1 - \frac{A}{P} \exp(-B \cdot q_A) \quad (5)$$

P: 平均降雨量 A, B: 定数

本試験地は流域面積 A=0.029km² と非常に小さく、(5)式を適用できなかったが、流出率 f と洪水直前流量には明らかに相関があり、今後データの蓄積を図れば、小流域の流出率の総合化も可能であると思われる。

4. 流出特性と地下水流動

本流出試験地の本格的な観測は昭和 63 年度からであるが、観測された数少ない流出例の中で、総雨量 70-80mm 以内の場合、ハイドログラフの形状は、最初の小さなピークに続いて主要なピークが現れる。その典型的なハイト・ハイドログラフが図 - 9 であり、この時の総雨量は 79.5mm である。降雨の内、早い流出に含まれるものは一般に小部分であり、流出の大部分は降雨が終了した相当後まで遅れることは、降雨流出系が単純に地表流によって引き起こされているのではないことを示している。また、この最初の小さなピークの原因を追求することは、降雨流出系の物理機構の解明にも役立つものと考え、地下水位観測を行った。井戸を河道近辺に 2 つ掘り、観測は人の手により行った。井戸の平面的位置を図 - 10 に示す。場所の選定は掘削可能な場所を、試行錯誤的に地表面の傾斜から水脈の通じていそうな場所を基準にして決定した。上流側井戸と下流側井戸の土質柱状図を図 - 11 に示す。A₀ 層はいわゆる黒ボクであり、下流側井戸の場合 80cm、上流側井戸では 45cm であった。A₁ 層はシルト混じりの赤粘土状で、地下水面が出現した深さはいずれ

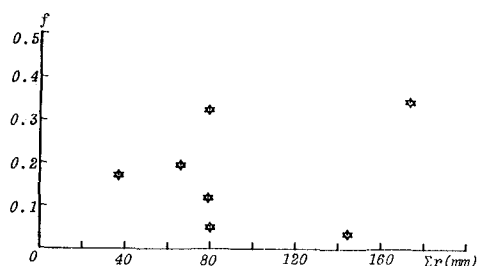


図 - 6 f と Σ r

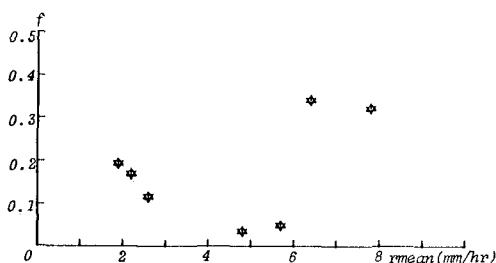


図 - 7 f と r mean

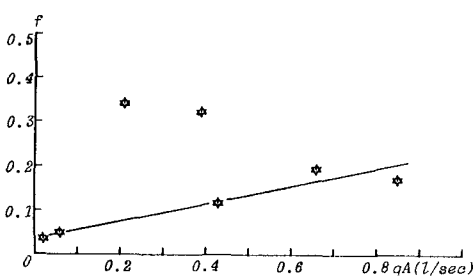


図 - 8 f と q_A

また、この最初の小さなピークの原因を追求することは、降雨流出系の物理機構の解明にも役立つものと考え、地下水位観測を行った。井戸を河道近辺に 2 つ掘り、観測は人の手により行った。井戸の平面的位置を図 - 10 に示す。場所の選定は掘削可能な場所を、試行錯誤的に地表面の傾斜から水脈の通じていそうな場所を基準にして決定した。上流側井戸と下流側井戸の土質柱状図を図 - 11 に示す。A₀ 層はいわゆる黒ボクであり、下流側井戸の場合 80cm、上流側井戸では 45cm であった。A₁ 層はシルト混じりの赤粘土状で、地下水面が出現した深さはいずれ

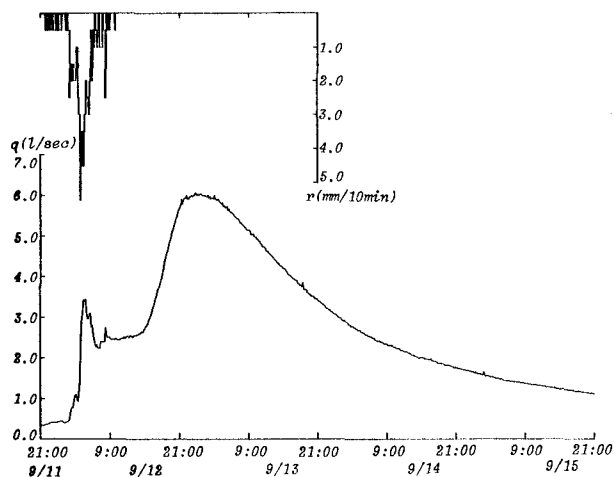


図-9 ハイドログラフ

も、手のにぎりこぶし大の礫が出現してからであった。手で触れた感じでは非常にポーラスな状態であると思われる。図-12は降雨開始後2時間毎に地下水位を観測した結果である。図では上流側井戸の最初の方の水位が描かれていないが、これは井戸が枯れていたためである。図-12の中央のハイドログラフピークが先に記した最初の小さなピークに対応しており、図では示していないがその後主要なハイドログラフピークが出現している。なお、この時の総雨量は80mmである。図によると下流側井戸の水位ピークとハイドログラフピークは時間的に一致しているが、上流側井戸の地下水位ピークは遅れて出現している。このことは河道のごく近辺に降った降雨だけが速やかに流れ、しかも地表流だけでなく、一度降雨が地中に浸透していることを示している。この流域に関していえば地表流の発生は非常に少ないと思われる。結果として、ハイドログラフの最初の小さなピークは、ポーラスな流域土壌と河道近辺の土壌構成により出現することがわかった。なお、この後に出現する主要なハイドログラフピークに合わせて地下水位が上昇していることを付記する。

最後に、本研究の現地観測と資料整理に協力いただいた室蘭工業大学・河海講座学部に生に深謝します。なお、本研究は昭和63年度文部省科学研究費奨励研究(No.63750539)の補助により行われたことを付記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 嵯峨：周波数応答法による流出解析 土木学会論文集393/II・1988
- 2) 日野・長谷部：流出率と湿潤指標としての洪水直前流量 土木学会論文集328/II・1982
- 3) 嵯峨・藤間：室蘭流出試験地の流出特性について 北海道支部論文報告集44・1988

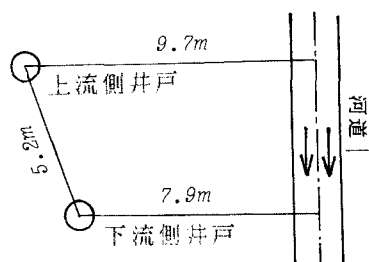


図-10 井戸の配置

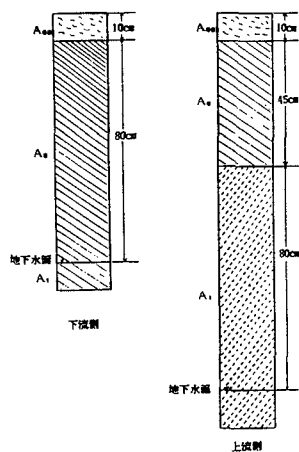


図-11 井戸の土質柱状図

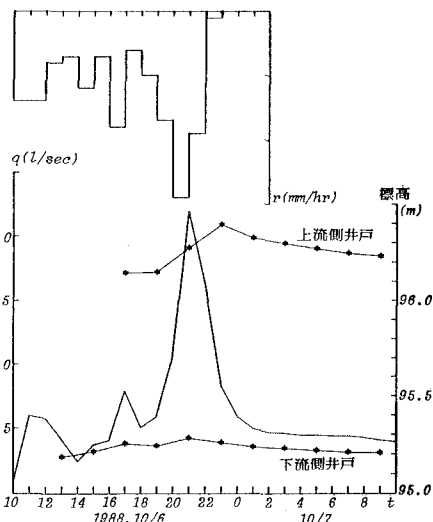


図-12 流出と地下水位の変動