

秋田高専 正員 望月誠美
 〃 学生員 〇国塚博一

1. はじめに

近年、洪水解析においては、非線形の強い表面流出と線形性の強い地下水流出とを分けて、解析する場合があります。このことは、様々な降雨と流出との関係と、統計的処理により、単位図を計算すれば明らかとなる。また、洪水解析においては、有効雨量の推定が重要な課題であり、透透能との関連を考慮しなければならぬ。

この透透能は、表層、中間包気帯への水の充足と、それらの地層を通過して地下水帯への水の補給速度と考えられるので、地下水帯からの流出量の変化は、長期間の河川の林ん養の面ばかりでなく、洪水解析の面からも注目される。しかしながら、我が国の地質構造は複雑で、単純に流出機構をモデル化できないとの声もある。

しかし、あえて地下水帯を二次元で考え、被圧地下水帯と不被圧(自由)地下水帯に分け、高木のモデルを使い、銚田流域(約40.2 km²)に例をとって、その流出の特性を考察した。

2. 被圧、不被圧の地下水流出モデルについて

高木は、地下水帯を被圧、不被圧地下水帯に分け、それぞれ水頭値の砂層とし、ダルシーの法則が成立するものとして、図-1のモデルを提案した。ここでは、地下水帯に一定の水供給がある場合について、高木の導いた式を紹介する。

i) 被圧成分

図-1(b)の条件により、次の3つの式が得られる。

$$v = \frac{k_c h}{L_c}; \quad H_0 + \frac{1}{2g} \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 = h + \frac{v^2}{2g}; \quad F \frac{dh}{dt} = FRc - f_0$$

ここに v : 砂層内の平均流速, h : 砂層内の水頭損失

ここで、 $(\frac{dh}{dt})^2$ は微小なので、これを無視すると、上の3式から

$$Q_c(t) = FRc(1 - e^{-\delta t}) + Q_{c0} e^{-\delta t} \quad (1)$$

幅を B_c とすれば

$$Q_c(t) = FRcB_c(1 - e^{-\delta t}) + Q_{c0} e^{-\delta t} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{f}{F} \frac{1}{\frac{L_c}{k_c} + \frac{1}{f}} \doteq \alpha$$

すなわち、被圧流出成分の流量増加分、 $\Delta Q_c(t)$ は、

$$\Delta Q_c(t) = FRcB_c(1 - e^{-\alpha t}) \quad (3)$$

ii) 不被圧成分

図-1(a)の条件により、次の式が得られる。

$$\frac{\partial H_u}{\partial t} = \frac{k_u}{f_u} H_u \frac{\partial^2 H_u}{\partial x^2} + \frac{1}{f_u} Y_e \quad (4)$$

ここで

$$H_u(x, 0) = f(x), \quad \frac{\partial H_u}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad H_u(L_u, t) = h_u^0$$

の条件と

$$H_u(x, t) = H_u^0 + h(x, t), \quad H_u^0 = H_u(0, \infty) \geq h$$

の仮定のもとで、(4)式を解けば、最終的には、 Y_e による ΔQ_u の近似式は、

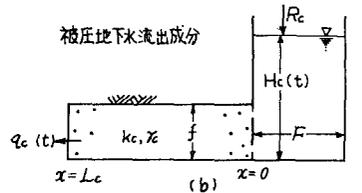
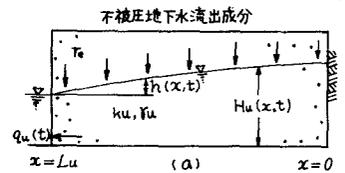


図-1

モデルの記号は、通りである。

Q_u, Q_c : 不被圧、被圧地下水帯からの

流出流量、 $Q_u = B_u q_u, Q_c = B_c q_c$

H_u : 不被圧地下水の水頭

H_c : 被圧モデル上流端における水頭

L_u, L_c : 不被圧、被圧地下水帯の長さ

k_u, k_c : 透水係数

f_u, f_c : 中間包気帯の厚み

f, F : 被圧地下水帯の上流端での単位幅当りの断面面積

Y_e, R_c : 水供給強度

$$\Delta Q_u(t) = ReB\alpha u(1 - e^{-\epsilon t}) \quad (5)$$

が得られる。

$$\epsilon = \frac{K_u}{L_u} \frac{H_0}{4L_u}$$

3. hydrograph からの地下水流出成分の抽出について。

地下水流出成分の抽出については、図-2 に例を示す。低減曲線を延長し被圧成分は、 $\Delta Q_{ctm} \approx \Delta q_{ctm}$ として、取扱われ、また、不被圧成分の方は、 $\Delta Q_{utn} \approx \Delta q_{utn}$ として、取扱われる。その際、流量を流量-時間のグラフにプロットし不被圧の低減係数を $0.00729/\text{day}$ として、直線をあてはめられた。次に、被圧の低減係数は、被圧成分をとり出して、 \log 視のグラフにプロットして求め、その値は、 $0.02/\text{day}$ と求めた。

4. 観測流域における、降雨による地下水流出の特性。

$\Delta Q_u(t) = ReB\epsilon F(1 - e^{-\epsilon t})$ において、 $ReB\epsilon F$ と平均降雨強度 R_m の使用を、図-3 に示した。この関係は、 R_m が小さいと、 $ReB\epsilon F$ も小さくなるが R_m がある程度以上になると、 $ReB\epsilon F$ は、 R_m と比例関係となることがわかる。これは、 R_m が小さいと、降雨は表層や中間包気帯への水の充足のために行きわたると考えられる。しかし、 R_m が大きくなると、その水の充足のために行きわたる割合は低下し、 R_m が真の水供給速度 R_c に近くなると考えられる。

図-4 は、各降雨における両成分の流量増加分を対応させたもので、不被圧成分の増加には、限度があるのに対して、被圧成分の方は、相当の流量増加をしていることがわかる。

また、式(5)より

$$\frac{d(\Delta Q_u)}{dt} = ReB\alpha u$$

とより、 $ReB\alpha u$ は ΔQ_u の最大値に等しいと考えられるので、 $\Delta Q_u = 6.28(1 - e^{-\epsilon t})$ として、 ϵ を求め、初期水位 H_0 は、初期流量 Q_{u0} と関連があるので、 ϵ と Q_{u0} の関係も、図-5 に示した。これにより、明らかな線形の関係がつかいず、流出機構の複雑さを示していると思われる。

5. あとがき

不被圧、被圧地下水帯のモデルを用い、地下水流出の変動を検討したが、今回の研究で得られた結果としては、

1. 被圧地下水への水供給において、 $DR_m = FR_c B\epsilon$ という関係は成立するが、この関係は、ある一定以上の R_m が存在して、はじめて成立する。
2. 被圧成分の流量増加を示す ϵ と初期流量との関係は、明確にはなりなかった。
3. 低水流出の問題では、その流域の地質構造というものが大きき影響を及ぼすと思われるので、現場での地下水位の測定が必要だと思われる。

参考文献

- 望月：無降雨期間における、河川流量の低減について（土木学会年次学術講演会概要集 p22, vol. 1, 1974）
 石原高木：A study on the Variation of Low flow (Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute vol. 1, part 2, No. 15, Nov. 1965)
 高木：低水流出の低減特性に関する研究（土木学会論文集第125号, 1966, 4）

図-2

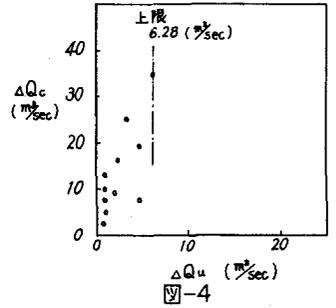
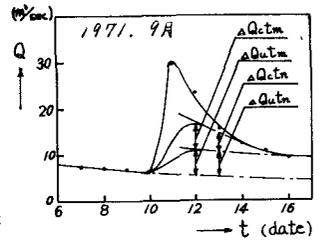


図-4

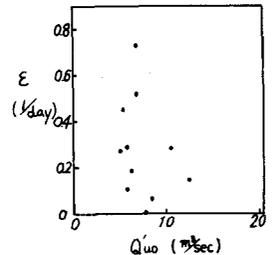


図-5

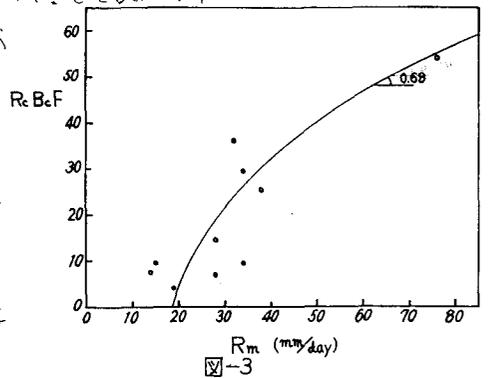


図-3