

東京大学大学院 学生員 北内 幸司
東京大学工学部 正員 玉井 信行

1. はじめに

時間的に流量が大きく変動する河川水を地下水として貯留し、利用しようとする機運が高まっている。こうした候補地の一つと考えられる扇状地に対して、その貯留機能を調べた。

2. 重層モデル

図-1に示すような、不圧帯水層・難透水層・被圧帯水層からなる扇状地モデルを設定し、これを変分法による有限要素法を用いて解析した。粘土層が広く一様に分布している事はまれであると考えられるので、粘土層にあたる難透水層には、ところどころに、粘土層の切れ目の部分にあたる、透水係数の大きな部分を設けた。

3. 基礎方程式と計算スキーム

不圧帯水層においては、準一様流の仮定が成立するものとする。また、難透水層においては、鉛直方向の流速のみ存在するものとする。すると、不圧帯水層に対する基礎方程式は、

$$\theta \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (T_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T_y \frac{\partial h}{\partial y}) + W - \beta (h - h') \text{-----(1)}$$

となる。ここに、 h は不圧帯水層の水頭、 θ は有効空隙率、 t は時間、 x と y は水平座標軸、 T_x と T_y は x と y 方向の透水係数、 W は涵養量、 $\beta = \frac{k_z}{l}$ で k_z は難透水層の鉛直方向の透水係数、 l は層厚、 h' は被圧帯水層の水頭を表わす。

被圧帯水層に対する基礎方程式は、

$$S \frac{\partial h'}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (T'_x \frac{\partial h'}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T'_y \frac{\partial h'}{\partial y}) + W' - \beta (h' - h) \text{-----(2)}$$

となる。ここに、 S は貯留係数、 T'_x と T'_y は被圧帯水層の x 方向と y 方向の透水係数、 W' は被圧帯水層への涵養量を表わす。

式(1)、(2)をEuler方程式とする汎関数 χ は、

$$\chi = \int \left[\frac{1}{2} \left\{ T_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + T_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 \right\} + \left(\theta \frac{\partial h}{\partial t} - W \right) h + \frac{1}{2} \left\{ T'_x \left(\frac{\partial h'}{\partial x} \right)^2 + T'_y \left(\frac{\partial h'}{\partial y} \right)^2 \right\} + \left(S \frac{\partial h'}{\partial t} - W' \right) h' + \beta (h - h')^2 \right] dx dy \text{---(3)}$$

となる。 $\frac{\partial \chi}{\partial h} = 0$ 、 $\frac{\partial \chi}{\partial h'} = 0$ を解けば、求める解が得られる。

計算スキームの検証は、水収支の平衡度、不圧帯水層に対するブーネスクの問題における厳密解との比較、被圧帯水層に対する熱伝導型方程式の厳密解との比較により良好な結果を得た。

4. 水理条件およびシミュレーション結果

図-2に不圧帯水層の諸条件を示す。BCに沿っては、湧水帯あるいは用水路を想定し、固定水位境界を与える。河川勾配を $\frac{1}{300}$ 、各層の勾配を $\frac{1}{600}$ とする。図-

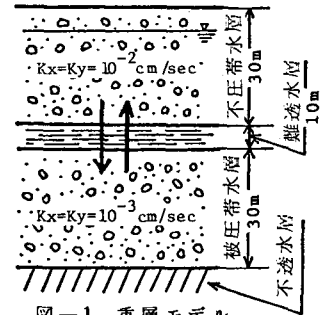


図-1 重層モデル

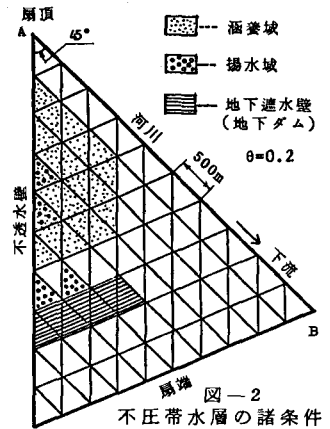


図-2 不圧帯水層の諸条件

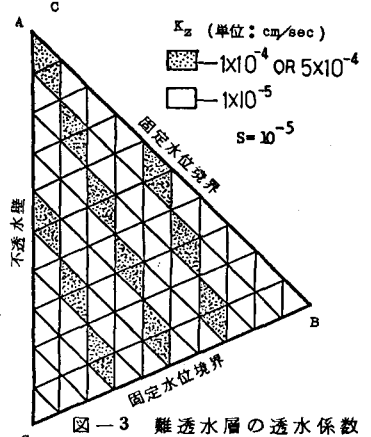


図-3 難透水層の透水係数

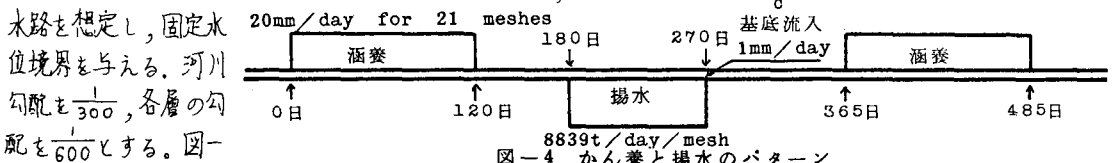


図-4 かん養と揚水のパターン

3) 不透水層の条件を示す。図-4に涵養と揚水のパターンを示す。基底流入(自然涵養)は、すべての要素について行なう。まず、基底流入のみが存在する場合について定常計算を行い、その結果を初期条件とした。非定常計算は、毎年同じ涵養と揚水のパターンが繰り返されるものとして、周期的な状態になるまで計算した。表-1に計算を行なったケースを示した。

図-5に不圧帯水層に貯留される地下水量の時間変動を示した。不透水層の透水係数が大きいほど、貯留量の変化は小さい。また、ケース1とケース2の比較より、地下ダムの効果が小さい事がわかる。ケース5とケース6(単層モデル)を比較すると、重層モデルによる貯留量の変動は、単層モデルのそれに比し、約1/2である事がわかる。表-2に示したのは、不透水層を通しての水の移動量を表す。ケース1, 2, 5, 6および他の

計算結果から、移動量は、粘土層の割れ目の位置と、その部分の透水係数に大きく影響される事がわかった。図-6~図-9に不圧層の水頭分布を示す。1730日は揚水終了時点で、周期的状態に入っている。図-7で、地下ダムの直上流部で水位低下の著しい場所がある。この部分は水位回復も遅い。これは、地下ダムが、下流側から水位低下域へと流れ込む地下水流を阻止してしまう為である。ケース5とケース6(単層モデル)を比べると、ケース5の方が水位低下は小さい。これは、水位低下域では、被圧層から不圧層へと水が移動する為、不圧層の水頭低下が緩和されるからであろう。

5. 結論

①今回の計算の範囲内では、地下ダムが地下水貯留量に及ぼす効果は小さく、涵養の影響の方が大きい。また、一年以内であれば、地下水の水平方向の移動量は小さく、涵養域付近で揚水する方が良い。②水位の許容低下量を与えて現在の賦存量を利用する方か地下水の特性に一致すると考えられる。③被圧帯水層の水頭分布の変化は、不圧帯水層の水頭分布の変化に比較的敏感に反応する。④不圧帯水層の水頭分布の変化を定性的に知りたい場合には、単層モデルによる計算で十分である。しかし、涵養による地下水貯留量の増加量等の定量的なものを推定する場合には、重層モデルの方が望ましい。

表-1 計算を行ったケース

ケース	地下ダム	不透水層のKz
1	なし	7
2	あり	7
5	なし	1
6	なし	0

ア) 図3において不透水層の切れ目で $Kz=10^{-4}$ cm/sec, それ以外で 10^{-5} cm/sec. イ) 切れ目で $Kz=5 \times 10^{-6}$ cm/sec, それ以外で 10^{-5} cm/sec. ウ) 不透水層全体で $Kz=0$ cm/sec.

表-2 不圧帯水層から被圧帯水層への水の移動量の最大値

ケース	(+)	(-)
1	5	3
2	5	3
5	1	8
6	0	0

(-)は被圧層から不圧層への水の移動を表す。(単位: $10^3 \text{ m}^3/\text{日}$)

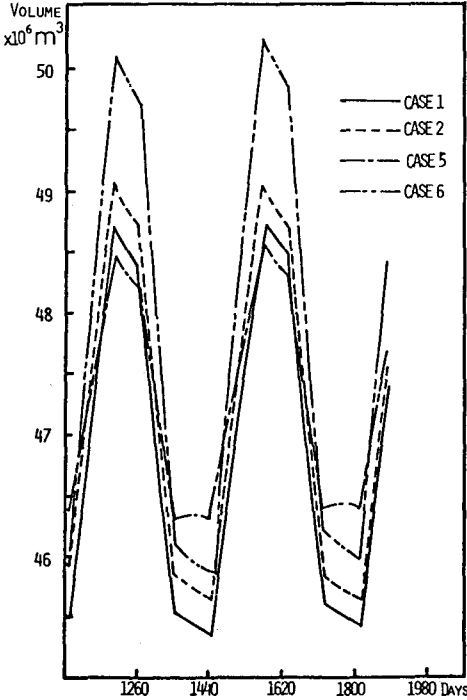


図-5 地下水貯留量の変動

