

揚水井戸影響圏の地下水流動解析について

熊本工業大学 正奥 武上成比古

はじめに 前回発表したコンピューターグラフィックの手法¹⁾を用い、揚水井戸の影響圏における地下水流動を計算し、その結果を地下水位等高線で表わした。

計算の対象となる揚水井の種類については、上下を不透水層にはさまれた被圧状態での地下水流動が考えられる掘抜井戸の場合とした。一般に揚水井の深浅を問わずその影響圏が問題となるのは数十米から数百米の広範囲についてであり、その井戸の揚水試験で観測される毎時の汲出し水量に対応した地下水低下の広がり速度から、薄い帯水層の広がりの中における(下の地層におけるよりは)相当速い地下水流動が想定されるからである。すなわち、揚水井戸における影響圏の広がりとは井戸内の揚水による急速な水位低下と、それに対応した地下水勾配の発生による周囲からの地下水流入とのバランスについての計算、さらにその外周への流動の伝播としての計算から求められるべきである。そしてもし被圧状態での流動でなければ地下水位の低下によって帯水層内の流動がなくなり、揚水が継続できなくなるからである。

1. 地下水流動計算

a. 座標軸のとり方 図-4の“揚水井による地下水低下を計算する座標軸”に示すように、揚水に伴って起ると想定される流線の主方向にy軸をとり $j = 1, 2, \dots, n_j$ に区分する。これに直交するポテンシャル線の方角にx軸をとり $i = 1, 2, \dots, n_i$ に区分する。これによって分割された2次元ブロック $DX \cdot DY$ 別に $n = 1, 2, \dots, n$ の時系列でx方向およびy方向の流入・流出量を計算する。井戸壁の座標軸は $i = 1 \sim 12$, $j = 0$ で半径 $0.5m$ 、影響圏の外周の座標軸は $i = 1 \sim 12$, $j = 7$ で半径 $250m$ とする。

b. 地下水流動計算 計算の順序は先行列にj列を $j = 0$ から n_j について行い、 $j = 0$ において井戸内水位変化、 $j = 1 \sim n_j - 1$ についてブロック別流入・流出収支による水位変化、 $j = n_j$ において影響圏外周における水位変化を計算する。 $DX_{i,j}$ はi行、j列のx方向座標軸の長さ、 $DY_{i,j}$ は同様にy方向座標軸長さ。

i) 井戸内水位変化

$$nQX_{i,0} = 0$$

$$nQY_{i,0} = k \cdot d \cdot (n-1)h_{i,0} - n-1h_{i,1} / DY_{i,1} \cdot DX_{i,0} \cdot T \quad (1)$$

$$n+1h_{i,0} = nh_{i,0} + \left(\sum_{j=1}^{n_j} nQY_{i,j} \cdot T - q \cdot T \right) / \pi r^2 \quad (2)$$

$$nQX_{i,j} : x \text{ 方向の流量 } m^3/s, nQY_{i,j} : y \text{ 方向の流量 } m^3/s, n+1h_{i,j} : \text{次の時点の水位 } m$$

$$q : \text{揚水量 } m^3/sec, r : \text{井戸の半径 } m, T : \text{計算時間 } 30sec$$

$$k : \text{帯水層透水係数 } 0.015 m/s, d : \text{帯水層の厚さ } 0.5m$$

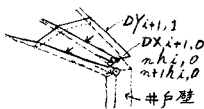


図-1 井戸内水位変化

ii) ブロック別流入・流出量と水位変化, (1)', (2)' 式によって次の時点の水位 $n+1h_{i,j}$ を求める。

$$nQX_{i,j} = k \cdot d \cdot (n-1)h_{i+1,j} - n-1h_{i,j} / DX_{i+1,j} \cdot DY_{i,j} \cdot T \quad (1')$$

$$nQY_{i,j} = k \cdot d \cdot (n-1)h_{i,j+1} - n-1h_{i,j} / DY_{i,j+1} \cdot DX_{i,j} \cdot T \quad (2')$$

$$n+1h_{i,j} = nh_{i,j} + \left((nQX_{i,j} - nQX_{i-1,j}) + (nQY_{i,j} - nQY_{i,j-1}) \right) / (DX_{i,j} \cdot DY_{i,j}) / SC \quad (2'')$$

図-2 ブロック別流入・流出

SC: 帯水層の貯留係数

iii) 外周境界の流動と水位変化

1) 外周の水位が一定、無限に帯水層が続くが水面勾配は0

$$nQX_{i,j} = 0 : nQY_{i,j} = 0 \quad (1'')$$

$$n+1h_{i,j} = nh_{i,j} \quad (2'')$$

a) 外周から外へ帯水層がなく、揚水によって水位が低下する。

$$nQX_{i,j} = k \cdot d \cdot (n-1)h_{i+1,j} - n-1h_{i,j} / DX_{i+1,j} \cdot DY_{i,j} \cdot T, nQY_{i,j} = 0 \quad (1''')$$

$$n+1h_{i,j} = nh_{i,j} + \left((nQX_{i,j} - nQX_{i-1,j}) + (0 - nQY_{i,j-1}) \right) / (DX_{i,j} \cdot DY_{i,j}) / SC \quad (2''')$$

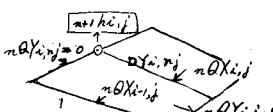


図-3 外周境界の計算

C. 地下水流動の初期条件と揚水量 q の決定 観測地下水位を初期条件とする。一般に降雨による補給によつて地下水位は地表から同一の深度に保たれていると考え、こゝでは図-4の“揚水開始前の地下水位”に示すように地下水位は21 mから23 mの等高線で与える地表高から深度1 mとする。 $q' = 4.04 \text{ m}^3/\text{min}$ および $q = 2.04 \text{ m}^3/\text{min}$ 、揚水時間 12 時間後および揚水停止後 12 時間の水位を求めた。揚水総量290.9 m³および469 m³

2. 計算結果のグラフィック表示

図-4に $q' = 4.04 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合の $i = 4$ で $j = 0$ の井戸水位、 $j = 1$ の中心から25 m、 $j = 2$ の中心から50 mの揚水中と揚水停止後の水位変化を示した。また右に T_1 、揚水停止時、 T_2 、停止後の地下水位分布を等高線で示した。case 1は外周の水位一定の場合、case 2は外周から外へ帯水層がない場合である。図-5に $q' = 2.04 \text{ m}^3/\text{min}$ のcase 1の場合の等高線を示した。

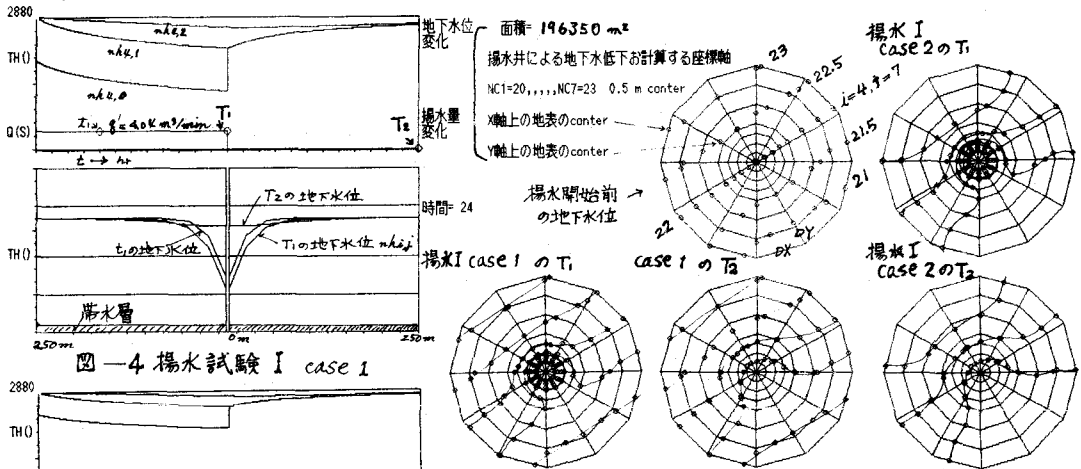


図-4 揚水試験 I case 1

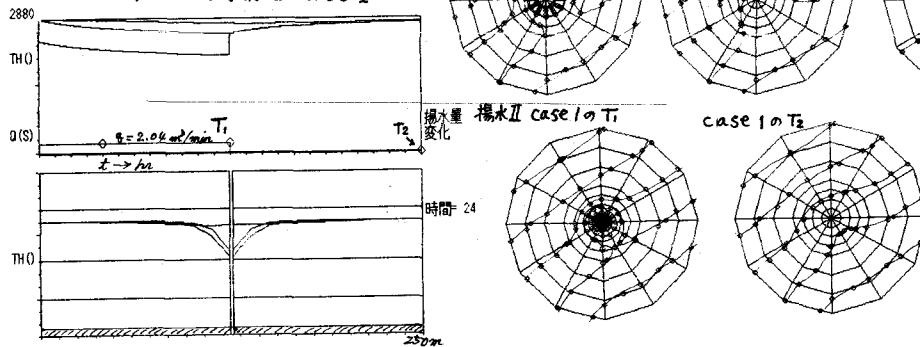


図-5 揚水試験 II case 1

2. この計算方式の地下水流動への適用

こゝに示した計算の内、井戸壁附近の地下水流動の中は次の外周の中比べて非常に小さいため与えられた透水係数では揚水量を相当小さくしない限り井戸水位のバランスは保てない。しかし実際の揚水に見られるように井戸壁での帯水層からの流出は湧水状態となっており相当量の揚水が可能である。したがってこゝでは井戸壁での透水係数を0.15 m/sとし、計算時間の間隔は $DT \times i = 2.5 \text{ m}$ を流動するに要する時間内の30 secとした。

この計算方式では地層の水文特性(帯水層の形状、透水係数の変化)、初期条件としての地下水位等のデータを配列変数として入力することによって流動の2次元解析が可能である。また降雨に伴つた河川沿いの地下水勾配の発生と河川流出、なだ平地形上での被圧地下水の流動、海岸低平地の潮遊地への排水流入等、降雨や排水条件の変化による地下水勾配の発生が一定方向に伝播するような流動についてはこの座標軸の適用は実用性がある。このような帯水層からの揚水による影響圏の拡大、またその回復の過程に並行して、その直上からの帯水層の10~100程度の透水性を持つた地下水の吸出し現象が考えられる。

参考文献 1) 武上成比古 コンピュータグラフィックによる地下水流動解析について、昭和58年度 土木学会西部支部講演集