

京都大学農学部 学生会員 ○石井 将幸  
正会員 長谷川 高士

### 1. はじめに

地下ダムは、地下水人工涵養の中でも最も大規模なものの一つである。地下ダム堤体の建設によって、当該地域の地下水水文条件は大きく変化するため、地下水利用形態の大幅な変更が可能であり、また必要である。本研究では、多数の井戸の新設、あるいは再配置を行う場合に必要な井戸配置決定を、ポロノイ分割を用いることによって行った。

### 2. 井戸配置についての評価関数

不透水性基盤と地下水面がともに水平な場合において地下水を効率的に汲み上げるためには、井戸を均等に配置し、井戸までの流路長が小さくなるようにすればよい。しかし、地下水盆地内で地下水深が変化している場合には、地下水が比較的迅速に集まる、透水量係数が大きいところに井戸をある程度集めた方がよい。そこで今回は最も簡単な場合として、対象領域内の透水量係数が一定であり、すべての井戸の揚水量が同じ場合を想定し、評価関数を次式に示すように定め、その値を最小にすることによって井戸の配置を求めることにした。

$$\min_{\substack{x_i, y_i \\ i=1, \dots, n}} \sum_{i=1}^n \iint_{V_i} \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} f(\text{depth}(x, y)) dx dy \quad (1)$$

$n$  : 井戸の数       $V_i$  :  $i$  番目の井戸に地下水が流れ込む領域

$x_i, y_i$  :  $i$  番目の井戸の  $x, y$  座標

$\text{depth}(x, y)$  : 位置  $(x, y)$  における地下水深

$$f(\text{depth}(x, y)) = (\text{depth}(x, y) - d)^m \quad (2)$$

$d, m$  : 定数

### 3. ポロノイ分割による積分区間の決定と、評価関数値の最小化

(1) 式の値を計算するためには、それぞれの井戸に水が流れ込む領域を決定してその中で積分を行い、足し合わせなければならない。前述の条件下では地下水は最も近い井戸に流れ込み、汲み上げられるので、すべての井戸の中で特定の井戸が最も近くなる領域が、その井戸に地下水が流れ込む領域となる。このような、対象領域内にいくつかの点を定め、ある特定の点が他のすべての点に比べて最も近くなるような小領域分割を、(単純)ポロノイ分割と呼ぶ。それぞれの井戸の座標を定め、そのポロノイ分割を行い、小領域内で積分を行って、その井戸配置についての(1)式の値を求めることにした。その最小値を与える井戸の配置については、まず領域内に井戸を均等に配置した初期配置を作成し、最急降下法を用いて井戸を動かすことによって得た。

### 4. 地下水深の関数 $f$ の決定

(1) 式の値を最小にする井戸の配置は、地下水深の関数  $f$  の形に依存するため、その形を(2)式のように仮定し、定数  $m$  の値を 0.5, 1, 2, 4, 6, 8、 $d$  の値を 0, 平均地下水深の 1/4, 1/2 とを変化させた。そしてそれぞれの場合において最小値を与える配置を求め、それに従って有限要素法による揚水試験を行い、地下水が無くなる井戸が生じるまでの揚水可能量と、その時点での井戸の位置における地下水位の差を求めた。

いくつかの基盤層形状について調べた結果、地盤沈下を抑える場合のように、全ての井戸の位置での水位低下を等しくするためには、 $m$  を 2、 $d$  を平均地下水深の 1/4 にとればよいことが分かった。また、できるだけ多く

の地下水を汲み上げたい場合などでは、全ての井戸の位置の水がほぼ同時に無くなるようにすればよいが、 $m$  を 4、 $d$  を平均地下水深の  $1/2$  に定めたときにそのような結果が得られた。

##### 5. 砂川地下ダム湖への適用

砂川地下ダム湖の中で最も地下水深が大きい堤体直上流部について、井戸配置を行った。基盤層標高は図1に示す通りであり、また地下水位を領域内全域で堤体天端の高さと同じ標高 31m に定めた。これは、事前に行った砂川地下ダム湖の水理解析<sup>2)</sup>によって得られた、揚水を行わなければ地下水面の傾斜がかなり小さいという結果に基づいたものである。

この地区におけるボーリング調査の結果、厚い粘土層の存在は認められていないため、地盤沈下対策を考慮した図2のような配置よりも、図3に示す揚水効率を優先した配置の方が好ましいと考えられる。

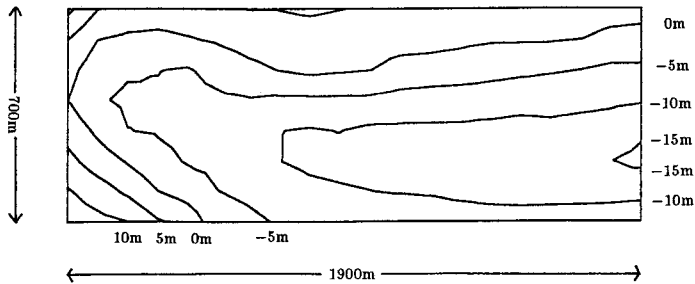


図1: 砂川地下ダム湖(一部)の基盤層標高

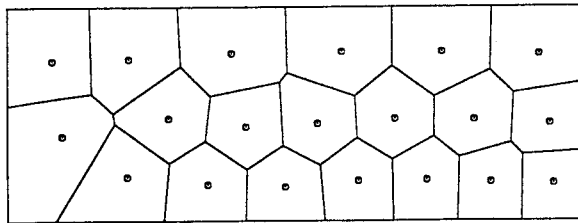


図2:  $m$  を 2、 $d$  を平均地下水深の  $1/4$  としたときの井戸配置とボロノイ分割図

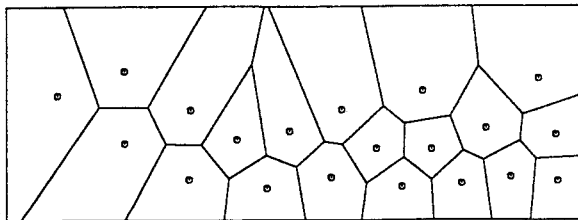


図3:  $m$  を 4、 $d$  を平均地下水深の  $1/2$  としたときの井戸配置とボロノイ分割図

##### 6. おわりに

今回は透水係数一定、およびすべての井戸からの揚水量一定の条件下であったので、単純ボロノイ図を用いて積分区間を決定できた。これからは、これらのパラメータが対象領域内で変化し、地下水が必ずしも最も近い井戸に流れ込むとは限らなくなる場合にも対応できるような、領域分割方法を研究する予定である。

##### 参考文献

- 1) 岡部篤行・鈴木敦夫: 最適配置の数理, 朝倉書店, pp.9-79, 1992
- 2) 長谷川高士・石井将幸: 宮古島砂川地下ダムの地下水流動解析, 農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集, pp.52-53, 1992