

岡山大学工学部 正会員 ○ 竹下 祐二
 (株) 間 組 正会員 千々松正和
 岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎

1. はじめに

地盤掘削工事に於いて地下水位低下工法を施工する場合、ディープウェルの本数および井戸配置の決定を行なう排水設計は工事全体の成否を左右する重要な問題である。従来の井戸理論を用いた排水設計では、地盤掘削における必要排水流量は掘削地を等価な井戸と考え、定常・非定常井戸理論により算出し、ディープウェル（以後D.W.と記す）の配置計画は群井戸公式を用いて検討されている。この際、各D.W.では同一流量の排水を期待しており、D.W.の本数は必要排水流量を単にD.W.の可能揚水量で除して決定し、掘削地内の地下水位が均等に降下するように、掘削地を中心とする同心円周上、または対角線上の配置が計画される場合が多い¹⁾。しかし、これは地盤状態が均質であり、水理境界や掘削地形状が単純な場合に成り立つものであり、それらが満足されない場合や施工条件等によりD.W.の配置に制約を受ける場合には新たな検討が必要となる。そこで、本文では、地盤掘削における排水設計法に数値解析による平面二次元浸透流解析手法と最適化手法を組み合わせた手法を用いた検討例を報告する。

2. 浸透流解析と最適化手法を用いたD.W.配置の検討方法

D.W.の設置（位置、本数）と各D.W.における揚水流量との組合せは無限に存在すると考えられ、直接評価することは極めて困難である。したがって、本研究では掘削地形や施工条件に応じてあらかじめD.W.設置候補点を選定し、以下の方法で検討する。

Step①:掘削領域を有限要素分割してモデル化し、D.W.設置候補点は節点にて取扱う。

Step②:有限要素法による定常平面浸透流解析²⁾を行い、各D.W.設置候補点*i*において単位流量*q*の揚水を行なった際に、水位制約を与える地点*j*（通常、掘削領域）で生じる水位低下量*s*の割合 $b_{ij} (= \partial s_i / \partial q_j)$ を計算する。この値が大きいD.W.設置候補点ほど効率の良い水位低下施工が行えることになる。

Step③:掘削領域での必要水位低下量を制約条件として、総揚水流量 Q_{TOTAL} が最小となるような各D.W.の定常揚水流量分布を求める。ここでは以下に示す線形最適化問題として考え、シンプレックス法によって解析する。この際、総揚水流量が少なく、各D.W.での揚水流量分布の比が小さいほど、良好な配置であると判断できる。

$$\text{目的関数: } Q_{TOTAL} = \sum_{i=1}^N q_{ai} \rightarrow \text{最小} \quad (1)$$

$$\text{制約条件: } \sum_{i=1}^N q_{ai} \cdot b_{ij} \geq s^*_j \quad (j=1 \sim M) \quad (2)$$

$$q_{ai} \geq 0 \quad (i=1 \sim N) \quad (3)$$

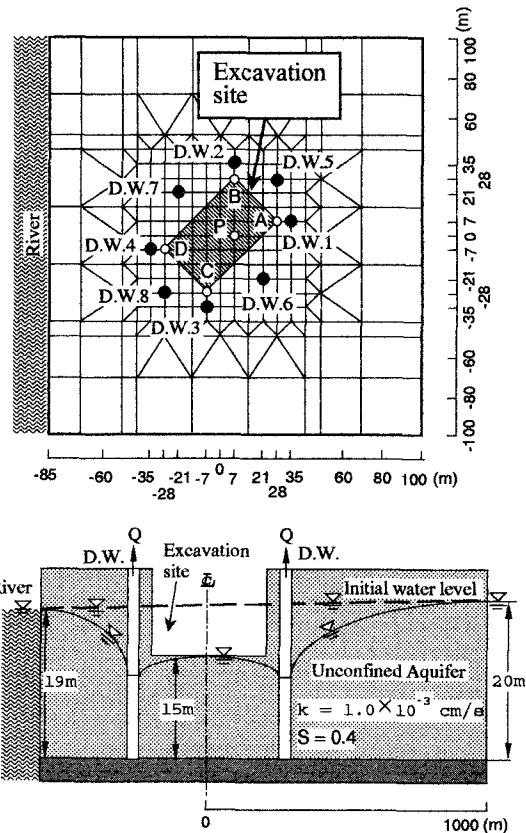


図-1 不圧帯水層地盤モデル

ここに、 q_a :各D.W.における定常揚水流量、
 b_{ij} :感度行列 ($= \partial s_i / \partial q_j$)、 s^* :水位低下量の制約地点（掘削地等）における必要水位低下量、 N :D.W.の本数、 M :水位低下量の制約地点数、

また、各D.W.での揚水可能性を確保するために、各D.W.における井戸内水位 h_{wi} の制約条件は次式を用いる。

$$h_{wi} > h_{pi} \quad (i=1 \sim N) \quad (4)$$

ここに、 h_{pi} :D.W.の許容低水位（揚水ポンプ設置高さ）

Step④:揚水開始後所定の時間（通常7～10日）において、掘削領域が所定の水位低下を得るために必要な各井の揚水流量 q_{bi} を算定する。ここで、STEP③で得た定常揚水流量の α 倍を各揚水候補点より揚水すると考えれば次式となる。

$$q_{bi} = q_{ai} * \alpha \quad (5)$$

α の算定には平面二次元非定常浸透流解析²⁾と非線形最小二乗法を用い、水位低下量の制約地点において浸透流解析による計算水位と必要低下水位との残差が最小になるような α の値を求める。なお、STEP③、④において、各揚水井における揚水流量の実行可能性の検討を行い、困難な場合は井戸候補点の追加を検討することになる。

3. 検討例

解析例として図-1に示すような河川境界を近傍に有する不圧帯水層地盤モデルを用いた。解析領域は掘削地(30m×50m)を中心に1km四方の区域とし、その境界条件は水位固定とした。また、D.W.設置候補点は図に示す8点を考えた。

図-2は前述のStep②により算定された各D.W.設置候補点で Σb_{ij} の分布を図示したものである。河川境界側に位置するD.W.では水位低下効率が悪いことがわかる。表-1は掘削地内水位を15mに維持するために必要な定常揚水流量分布を算定した結果である。8本のD.W.を用いた場合、No.5,6,8の3本のD.W.は他のD.W.に比較して揚水効率が悪い結果となっている。そこで、これらのD.W.を除いた5本のD.W.での施工を検討した結果、各D.W.で必要とされる揚水流量の較差は8本の場合よりも減少しており、均等な揚水施工が行えることがわかる。

次に、8本のD.W.を用いた場合、揚水開始10日後において掘削領域の地下水位が17m以下に低下できるような揚水流量を算定した。式(5)における α の値は5.1と算定され、その際、最も水位低下の困難な地点は図-1のP点であった。図-3は掘削地における主な地点での地下水位の経時変化を示したものである。

最後に、本研究の遂行にあたり岡山大学工学部 西垣 誠助教授より有益なご助言を得たことを記して感謝の意を表します。＜参考文献＞ 1) 土質工学会:根切り工事と地下水-調査・設計から施工まで-, pp.177-191, 1991. 2) 河野・西垣:有限要素法による広域地下水の準三次元解析, 岡山大学土木工学教室報告, 1982.

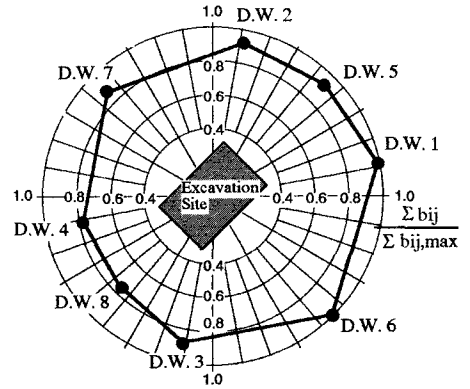


図-2 D.W.設置候補点での水位低下効率の比較

表-1 定常揚水流量分布の算定結果

D.W.	q	Rate	D.W.	q	Rate
1	33.7	3.24	1	57.5	1.70
2	39.2	3.76	2	39.3	1.16
3	42.6	4.09	3	70.3	2.08
4	58.6	5.64	4	65.2	1.93
5	10.4	1.00	7	33.8	1.00
6	21.7	2.09	Σ	266.2	
7	37.8	3.63			
8	20.5	1.97			
Σ	264.5				

q:揚水流量 (m³/日)
 Rate:D.W.での揚水流量比

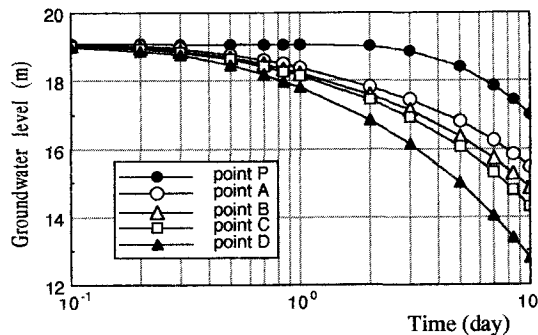


図-3 掘削地における地下水位の経時変化