

排水設計における井戸配置に関する一考察

岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎
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

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は工費の節約と共に周辺地下水環境への影響を最小限に抑え、工事全体の成否を左右する重要な問題である。通常、これらは井戸理論を用いた排水設計による結果を参考に決定されている。本文では、排水設計における揚水井戸配置の設定方法について、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. 従来の排水設計法によるディープウェル配置の考え方¹⁾

従来、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。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。

3. 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）で生じるの水位低下量*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.設置候補点は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。

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

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

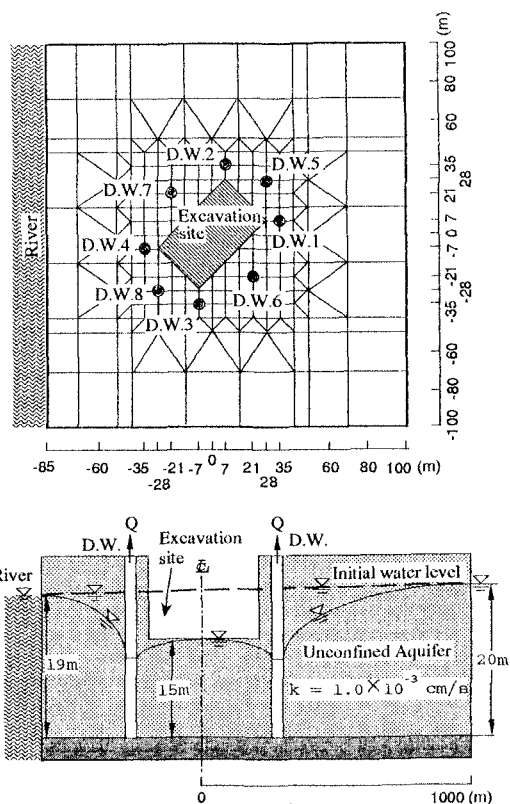


図-1 不圧帯水層地盤モデル

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

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_p :D.W.の許容低水位 (揚水ポンプ設置高さ)

この際、総揚水流量が少なく、各D.W.での揚水流量の比が小さいほど、良好な配置であると判断できる。得られた揚水流量分布状態よりD.W.設置候補点の削除または追加を検討する。

4. 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。掘削領域は30m×50mであり、その領域においての地下水位の制約は $h \leq 15\text{m}$ とした。解析領域は掘削地を中心に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 $\sum b_{ij}$ の分布を図示したものである。この図より河川境界側に位置するD.W.では揚水による水位低下効率が悪いことがわかる。

井戸配置の検討として、まず、全D.W.設置候補点での揚水施工を考えてみる。解析結果を表-1に示す。8本のD.W.のうちNo.5,6,8の3本は他のD.W.に比較して揚水効率が悪いことが示されている。したがって、次にこれらの3本のD.W.を除いた5本のD.W.での施工を検討してみる。その結果、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いる。さらに3本のD.W.による場合を考える。井戸本数が少なくなれば、当然、一本のD.W.から多量の揚水施工が必要となり、また、井戸配置の影響を強く受ける。そのため、D.W.および揚水設備の施工経費や、D.W.における揚水可能流量の評価等を含めた総合的な検討が必要となる。本例題では河川境界側に位置するD.W.においては水位低下の施工効率が悪いことから、河川境界側に多くのD.W.を配置することが必要であると考えられる。そこで、表-1に示した4ケースを考えた。その結果、D.W.2,4,6およびD.W.1,7,8の配置が適当であると判断される。

ここでは、定常状態のみの検討例を示したが、非定常状態での検討、すなわち、施工開始後任意の時間 (通常7~10日程度) 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揚水設備の検討をも行なう必要がある。それについては別の機会に報告する。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レポート, 1982

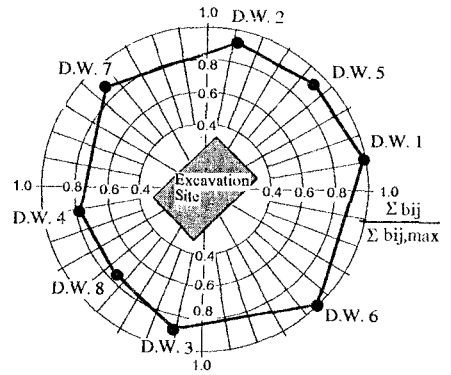


図-2 D.W.設置候補点での水位低下効率の比較

表-1 D.W.配置の検討結果

D.W.	q	Rate	D.W.	q	Rate
1	33.7	3.24	5	114.7	4.22
2	39.2	3.76	7	27.2	1.00
3	42.6	4.09	8	152.4	5.61
4	58.6	5.64	Σ	294.3	
5	10.4	1.00	3	47.0	1.00
6	21.7	2.09	4	103.4	2.20
7	37.8	3.63	5	135.1	2.87
8	20.5	1.97	Σ	285.6	
Σ	264.5		2	59.5	1.00
			4	91.5	1.54
1	57.5	1.70	6	123.9	2.08
2	39.3	1.16	Σ	274.9	
3	70.3	2.08	1	97.9	1.09
4	65.2	1.93	7	90.1	1.00
7	33.8	1.00	8	99.4	1.10
Σ	266.2		Σ	287.4	

q:揚水流量 ($\text{m}^3/\text{日}$)

Rate:D.W.での揚水流量の比