

排水設計における井戸配置の決定法に関する一提案

岡山大学工学部 正会員 ○ 竹下 祐二

岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎

1. はじめに

地盤掘削工事において地下水位低下工法を施工する場合、ディープウェル(以後D.W.と記す)の本数および配置の決定は工事全体の成否を左右する重要な問題である。従来の排水設計法では、D.W.の配置計画は群井戸公式を用いて検討されているが、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。著者らは、地盤掘削における排水設計法として浸透流解析手法と最適化手法を組み合わせた手法の適用を検討しており¹⁾、本文では揚水井戸配置の設定方法についての検討例を報告する。

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¹⁾

地盤掘削工事においてはD.W.設置場所は掘削地形状や施工条件に応じて何らかの制約を受けるため、数箇所のD.W.設置候補点が選定されるものと考えられる。したがって、揚水井戸(数、配置)の異なる何種類かの排水設計案が考えられる場合、その中から最も効率よい水位低下施工を行えるものを選択することを考える。

一般に、掘削地近傍に多数の井戸を設置する計画の方が、掘削地での水位低下状況は良好になると期待できるが、井戸本数が多いほど井戸施工費等、経済的には不利であるし、また、井戸干渉の影響による各D.W.での揚水効率の低下や、水理境界や掘削地形状により掘削地内の地下水位が均等に降下しない場合も考えられる。よって、これらの点を考慮し、本研究では以下の方法にて検討を行う。

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 $\mathbf{b}_{ij} (= \partial s_i / \partial q_j)$ 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揚水井で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。

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

$$\text{制約条件: } \sum_{i=1}^N q_{ai} \cdot \mathbf{b}_{ij} \geq s_j \quad (j=1 \sim M) \quad (2)$$

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

ここに、 q_{ai} :各揚水井における定常揚水流量、 s_j :水位低下量の制約地点(掘削地)における必要水位低下量、 N :揚水井の本数、 M :水位低下量の制約地点数

不圧帯水層の場合にはシステムの線形性を近似的に満足するために、式(2)の右辺に式(4)を用いる。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_w の制約条件は式(5)を用いる。

$$s_j = H^2 - h_j^2 \quad (4)$$

$$h_{wi} > h_{pi} \quad (i=1 \sim N) \quad (5)$$

ここに、 H :初期地下水位、 h_j :水位低下量の制約地点における地下水位、 h_{pi} :D.W.での揚水ポンプ設置

高さである。式(1)～(3)はシンプレックス法によって容易に解析される。

Step④:複数のD.W.設置案の中から最も良いモデルを選び出す客観的な基準として、赤池の情報量基準(AIC)を用いる。ここで、AICは次式にて算出した。

$$AIC = M \cdot \ln S + 2N \quad (6)$$

ここに、Sは掘削地での計画水位と式(1)～(3)より得られた揚水流量分布を用いた定常浸透流解析による計算水位との残差二乗和である。

以上の解析結果をもとに、総揚水流量および揚水井戸本数が少なく、AICが小さい程、また、各D.W.よりほぼ均等に揚水されるケースが良好な排水計画であると判断する。

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-1に示す8点を考え、D.W.の配置案としては15ケースを想定して解析を行った。解析結果を表-1に示す。この例ではCase-6, Case5-Aの場合が良好な排水計画であると判断できる。今後は不均質地盤への対応等検討を進める予定である。

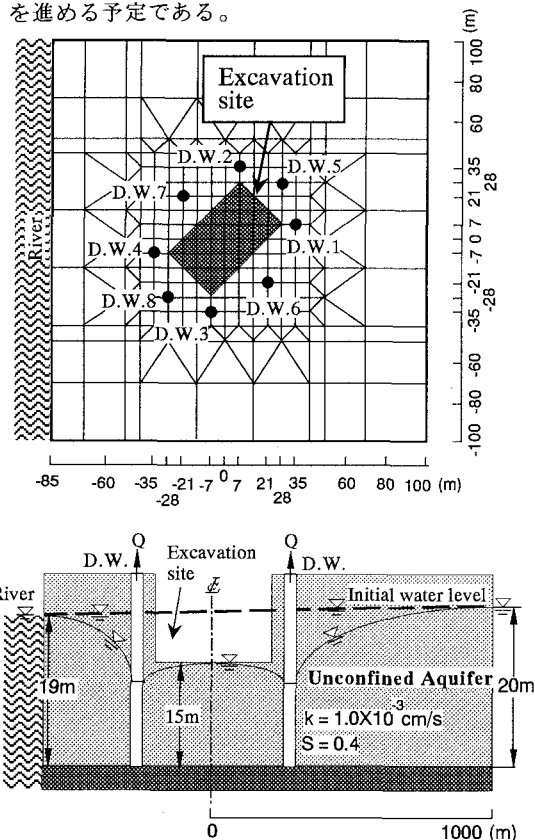


図-1 不圧帯水層地盤モデル

表-1 D.W.配置の検討結果

Case	D.W. No.	Q-total	rank	q-rate	rank	AIC	rank
8	all	183.7	1	5.64	12	310.2	1
6	1,2,3,4,6,7	184.0	2	4.73	8	346.2	2
5-A	1,2,3,4,7	184.8	3	2.08	2	371.2	3
5-B	1,2,3,4,6	221.1	15	5.13	10	405.9	6
5-C	4,5,6,7,8	191.4	5	2.68	5	445.2	10
5-D	2,5,6,7,8	196.1	7	28.90	15	386.5	5
4-A	1,2,3,4	192.2	6	2.17	4	415.0	7
4-B	5,6,7,8	196.2	8	4.82	9	384.8	4
3-A	2,4,6	190.9	4	2.08	3	450.9	11
3-B	5,7,8	204.3	13	5.61	11	427.0	8
3-C	1,7,8	199.6	12	1.10	1	454.3	13
3-D	1,3,7	199.0	11	6.91	14	476.9	14
3-E	1,2,8	205.8	14	6.16	13	452.3	12
3-F	3,4,5	198.8	9	2.87	6	441.7	9
3-G	2,3,4	198.8	10	3.09	7	484.6	15

Q-total : 総揚水流量 (m³/日)

q-rate : D.W.の揚水分布の最大/最小の比

<参考文献> 1) 竹下・千々松・河野:地盤掘削における最適な排水設計法に関する検討、土木学会第47回年次学術講演会, Ⅲ, 1992. 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. 3) 北川敏男編:情報量統計学、共立出版