

地下水保全のための復水井の設計法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠

岡山大学大学院 学生会員 福井博文

岡山大学大学院 学生会員○横田英嗣

1. はじめに

地下水の環境保全を目的とする復水工法は従来より注目されている工法である。特に、近年のような大深度地下空間を複数の機関が利用する際には、水みちを遮断する上流側に集水井を設置して通水管を通して下流側の復水井に流水させる工法が考えられる。この工法で最も問題となるのが、復水施設近傍での高動水勾配を原因とする目詰まりによる復水機能の経時的低下である。この高動水勾配を軽減するには井戸の浸透断面積を大きくすることが有効と考えられる。よって、本研究では浸透断面積の拡大を目的とする横井戸工法を復水井に適用することについて検討し、さらに、その設計手法を提案する。

2. 有限要素法の3次元浸透解析による満州井戸の解析

(1) 解析条件

図-1のように満州井戸を中心に影響圏半径1000m、帯水層圧10m、透水係数 $k=4.0 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ の均質地盤に、横井戸間の中心角 90° と 45° のモデルで、各モデルとも鉛直井戸の直径を2mとし、横井戸の長さを5mと10m、さらに横井戸の断面積を変えた場合について検討した(表-1参照)。境界条件は横井戸の境界(ただし横井戸先端部は不透水境界) 図-1 解析に用いた要素分割(中心角 45°)

は注入圧の変化を考え、4段階($h=1520, 1550, 1575, 1600 \text{ cm}$)の水頭固定、影響圏半径1000mの境界は $h_0=1500 \text{ cm}$ に水頭固定とした。また動水勾配は経時的に変化するが十分に安定した状態で評価するため定常浸透解析を行った¹⁾。

(2) 解析結果及び考察

図-2、図-3より鉛直断面の動水勾配の方が明らかに大きく、横井戸の浸透は主に鉛直方向に依存していることが言える。また、図-2より動水勾配の最大値は横井戸先端部の上下面の境界で発生することがわかる。よって動水勾配の

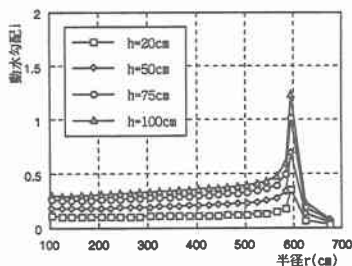


図-2 Case2における横井戸上面境界の動水勾配の変化

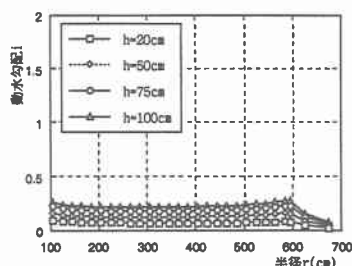


図-3 Case2における横井戸側面境界の動水勾配の変化

最大値はこの境界について評価すればよい。また各caseにおける最大動水勾配のグラフを図-4に示すと比例関係となる。その傾きを $i_{max}/h=\alpha$ とすると、 α は横井戸の本数、断面積、長さにより決定される。よって α が既知であるならば、水頭差 h による最大動水勾配 i_{max} を求めることができる。各caseにおける α を表-1に示す。この結果、横井戸の本数、長さ、及び断面積を大きくした場合には最大動水勾配は共に低くなっているが、横井戸の断面積を大きくした場合では本数、長さを増やした場合に比べ動水勾配の低減はそれほど期待できないことがわかる。またcase1(a)、とcase3から横井戸長を2倍にすると α は1/2倍になっていることから両者の関係より α' を以下の式で表す。

$$\alpha' = i_{max} / h \cdot l_0 / l \quad (1)$$

ここで l_0 は基準となる横井戸長(この場合5m)、 l は横井戸長である。

続いて、図-5は各本数による水頭差と横井戸1本あたりの流出流量の関係を示す。各本数とも比例関係を示

しており、傾きは横井戸の本数、長さに支配されている。次に、表-2に各本数での流量を無次元化した $Q^*=Q/hkD$ を示す。ここで、 k は透水係数、 D は帯水層厚、 h は水頭差である。 Q^* が既知であるならば、各caseにおいて水頭差 h による横井戸1本あたりの流出流量を求めることができる。

表-1 横井戸の条件及び各caseにおける α

	横井戸の本数	横井戸の長さ (m)	横井戸の断面積 (cm^2)	$\alpha=i_{\max}/h$ (cm^{-1})
Case1(a)	4	5	10×10	0.019
Case1(b)	4	5	10×20	0.018
Case2	8	5	10×10	0.013
Case3	4	10	10×10	0.009

表-2 横井戸本数による Q^*

	Q/h (cm^2/s)	$Q^*=Q/(hkb)$
横井戸4本 ($l=5\text{m}$)	103.2	0.258
横井戸8本 ($l=5\text{m}$)	58.9	0.147
横井戸4本 ($l=10\text{m}$)	141.6	0.354

3. 横井戸を用いた復水工法の設計手法

次に、許容動水勾配 (i_{rc} : 目詰まりを起こさせない動水勾配) から満州井戸の構造を設計する。設計手順を図-6に示す。あるピッチ内での通過流量 Q_{0i} は、掘削により阻害される地下水流量と等しくなることから、現場における地下水流の動水勾配により次式で表せる。

$$Q_{0i} = k_i b L_i \quad (2)$$

また、それぞれのピッチでの通水管の通過流量が復水井の満州井戸からの流出流量と等しければよいことから、

$$Q_{ci} = Q_{0i} \quad (3)$$

ここで、 Q_{ci} は横井戸 N 本の満州井戸全体からの総流出流量である。上述より、

$$Q_{ci} = Q^* h k b N \quad (4)$$

また、動水勾配と水頭差の関係において、 $i_{\max} < i_{rc}$ となることより、

$$h = i_{\max} / \alpha' \cdot l_0 / l \leq i_{rc} / \alpha' \cdot l_0 / l \quad (5)$$

式(5)の範囲の水位差において式(3)より、

$$L_i \leq Q^* i_{rc} N / \alpha' i_0 \cdot l_0 / l \quad (6)$$

実際に濾水部を設けた復水工法では復水井の横井戸の本数は半円形断面より円周での $N/2$ 本である。横井戸の本数を決めることで満州井戸のピッチが決まる。

4. おわりに

復水工法に満州井戸を用いる場合での3次元解析により、満州井戸の浸透特性を求めることができた。これより横井戸の浸透は鉛直方向に依存し、その最大値は横井戸先端に発生することがわかった。また満州井戸の構造がわかれば、水位差による流出流量、及び動水勾配の最大値を知ることができ、許容動水勾配から満州井戸のピッチを求めることができた。

【参考文献】

- 1) 西垣 誠, 白石知成, 猪瀬二郎, 河村志郎; 地下鉄建設による多層地盤での復水地下水変動の3次元浸透解析による予測, 地下水学会誌, 第32巻, 第4号別刷, 1990.

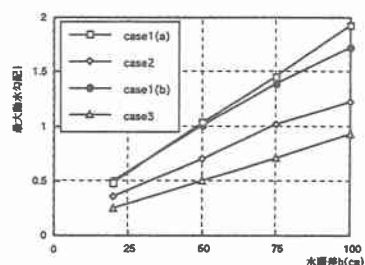


図-4 水頭差による最大動水勾配の変化

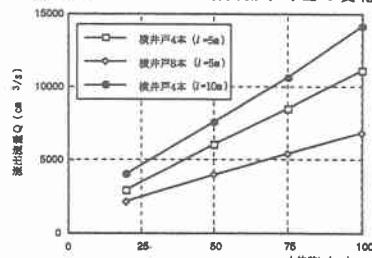


図-5 水頭差による横井戸からの流出流量の変化

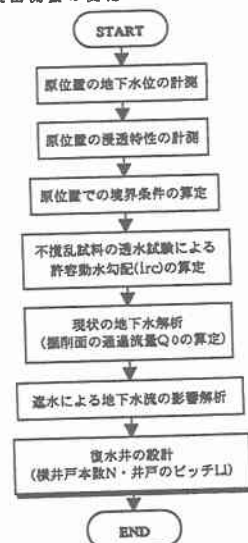


図-6 満州井戸の構造の設計手順