

## 復水を伴う地下水低下工法における難透水層の透水性の影響

神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○衣笠 秀隆  
 神戸大学都市安全研究センター フェロー 川谷 健  
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 齋藤 雅彦

### 1. 目的

掘削時の盤ぶくれ対策として地下水低下工法を実施するとき、揚水による周辺地下水位・水頭の低下の影響を緩和し、あるいは揚水に含まれる溶解性鉄分の処理量を減らすために、揚水対象の帯水層以外の帯水層に復水が行われる。このとき、盤ぶくれの検討対象となる難透水層は、掘削領域内では透水性が極めて小さくても、広域的な連続性の点から見ると、必ずしも透水性が小さいとは言えない場合が考えられる。本研究では、3次元有限要素解析によって、難透水層の透水性および注水井位置が地下水低下工法に及ぼす影響を調べる。

### 2. 解析モデルと解析方法

数値解析では、結果の汎用性のために、無次元化した基礎方程式を用いる。解析対象の地盤は、図-1のように、不圧帯水層と被圧帯水層にわけられるとする。無次元化のための代表長さとして全帯水層厚を採る。解析領域は  $20 \times 20$  であり、中央に掘削領域  $0.36 \times 0.36$  がある。領域外周(影響圏半径)での全帯水層厚は1であり、不圧帯水層厚は0.5、被圧帯水層厚は0.45、難透水層厚0.05とする。

揚水井は掘削域の中央にあり、被圧帯水層の全層から揚水する。揚水条件は、掘削領域の難透水層下部での水圧(圧力水頭)が0.45以下(揚水前の静水圧は0.55)となるように、井戸水位を設定する。復水は、不圧帯水層に設けた4本の注水井によって行う。注水圧は、原水位より0.05高いものとする。なお、掘削域内の難透水層は不透水性であるとして、難透水層下部の水圧算定にあたって、掘削域への浸透に伴う水頭損失の影響が無いよう配慮した。

領域の要素分割は、節点数が31131、要素数が27880であり、最小の要素は  $(x; 0.02) \times (y; 0.02) \times (z; 0.05)$  である。数値解法として共役勾配法を用いることで、計算の容量と時間の軽減を図った。

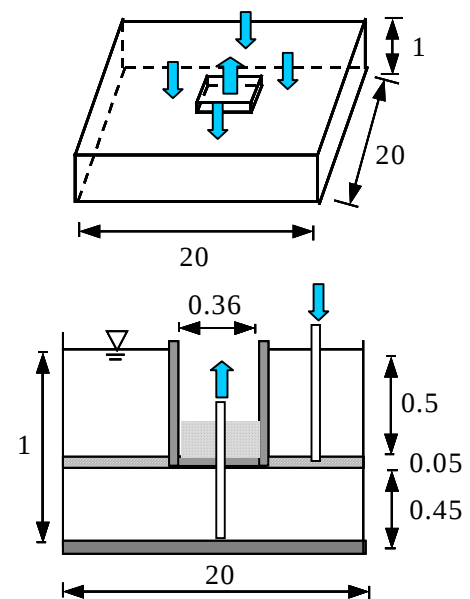


図-1 解析モデル

### 3. 解析結果

4本の注水井の平面的な配置は、掘削域の中央を原点として、Case1;  $(x,y)=(0, \pm 0.4) \text{ \& } (\pm 0.4, 0)$  の場合と、Case2;  $(x,y)=(0, \pm 1) \text{ \& } (\pm 1, 0)$  の場合の2とおりとした。一方、透水係数は、帯水層の(無次元)透水係数を  $K=1$  とし、不・難透水層の透水係数 ( $K_c$ ) を 0, 0.01, 0.025, 0.1 の4とおりとした。

表-1に、各Caseおよび各  $K_c$  について、掘削領域内の難透水層にかかる最大揚圧力(圧力水頭)が0.45以下となるときの揚水井の水位(原水位からの低下量)を示す。難透水層の透水係数 ( $K_c$ ) が大きくなるほど、注水対象である不圧帯水層からの漏水量が大きくなり、所定の水圧低下を達成するためには揚水井の水位を下げなければならないことがわかる。

表-2に、無次元の揚水量 ( $Q_w$ )、復水量 ( $Q_r$ )、および両者の差(余剰水量)  $dQ = Q_w - Q_r$  を示す。また、表-3に、各々の場合の揚水量と  $K_c = 0$  のときの揚水量との比 ( $Q_w / Q_{w0}$ )、復水量と揚水量との比 ( $Q_r / Q_w$ )、および各場合の余剰水量と  $K_c = 0$  のときの余剰水量との比 ( $dQ / dQ_0$ ) を示す。

キーワード 地下水低下工法，復水，難透水層，漏水，3次元有限要素解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL. 078-803-6055

表 - 2 からわかるように、難透水層の広域的な透水性( $K_C$ )が大きくなると、注水対象の不圧帯水層から揚水対象の被圧帯水層への漏水量が増えるため、掘削域内で所期の水頭低下を得るには、揚水量が大きくなる。

表 - 3 に示すように、 $K_C \neq 0$  ときの揚水量は、 $K_C = 0$  のときと比べ、1.9 - 3.2 倍となっている。一方、復水率( $Q_r / Q_w$ )も、 $K_C \neq 0$  ときには、 $K_C = 0$  のときに比べて、かなり増加している。そのため、余剰水量の増加は揚水量の増加ほど大きくない。とくに Case2 では、 $K_C \neq 0$  とき、復水率が 90%以上となり、余剰水量は  $K_C = 0$  のときと比べて小さくなっている。

表 - 1 揚水井の水位

| $K_C$ | $h_w$ (井戸水位) |        |
|-------|--------------|--------|
|       | Case1        | Case2  |
| 0     | - 0.21       | - 0.21 |
| 0.01  | - 0.31       | - 0.33 |
| 0.025 | - 0.35       | - 0.37 |
| 0.1   | - 0.45       | - 0.46 |

表 - 2 揚水量( $Q_w$ ) , 復水量( $Q_r$ ) , 余剰水量( $dQ$ )

| $K_C$ | Case1;(x,y)=(0, ±0.4)&(±0.4, 0) |        |        | Case2;(x,y)=(0, ±1)&(±1, 0) |        |        |
|-------|---------------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|
|       | $Q_w$                           | $Q_r$  | $dQ$   | $Q_w$                       | $Q_r$  | $dQ$   |
| 0     | 0.0767                          | 0.0379 | 0.0389 | 0.0767                      | 0.0529 | 0.0238 |
| 0.01  | 0.1448                          | 0.0942 | 0.0507 | 0.1538                      | 0.1411 | 0.0127 |
| 0.025 | 0.1728                          | 0.1181 | 0.0548 | 0.1873                      | 0.1720 | 0.0154 |
| 0.1   | 0.2379                          | 0.1688 | 0.0691 | 0.2457                      | 0.2248 | 0.0210 |

表 - 3  $Q_w / Q_{w0}$  ( $Q_{w0}$ :  $K_C = 0$  のときの揚水量) ,  $Q_r / Q_w$  (復水率) ,  
および  $dQ / dQ_0$  ( $dQ_0$ :  $K_C = 0$  のときの余剰水量)

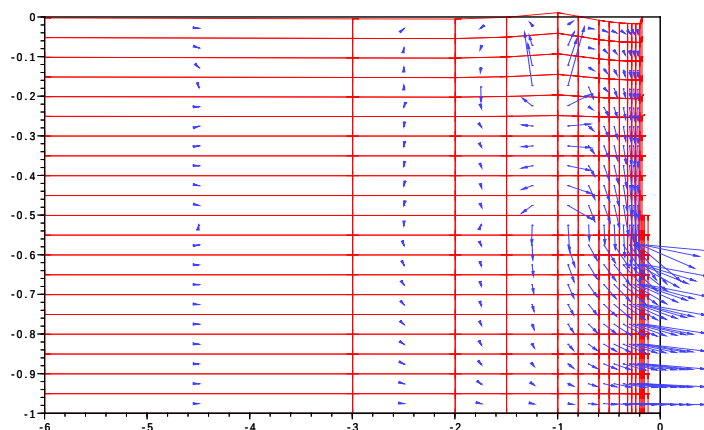
| $K_C$ | Case1          |             |             | Case2          |             |             |
|-------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
|       | $Q_w / Q_{w0}$ | $Q_r / Q_w$ | $dQ / dQ_0$ | $Q_w / Q_{w0}$ | $Q_r / Q_w$ | $dQ / dQ_0$ |
| 0     | 1              | 0.49        | 1           | 1              | 0.69        | 1           |
| 0.01  | 1.89           | 0.65        | 1.30        | 2.01           | 0.92        | 0.53        |
| 0.025 | 2.25           | 0.68        | 1.41        | 2.44           | 0.92        | 0.64        |
| 0.1   | 3.10           | 0.71        | 1.77        | 3.20           | 0.91        | 0.88        |

図 - 2 に示すように、 $K_C = 0.1$  の場合、揚水井から半径 = 3 以内の範囲で、不圧帯水層に注水された水量の大部分が再び揚水されていることが分かる。

#### 4. まとめ

以上の結果は、難透水層で漏水がある場合、注水水量のかかなりの部分が再び揚水されるので、周辺地下水の水位・水頭回復への効果については検討の余地があることを示している。一方、例えば、地下水に溶解性鉄が含まれており、その処理対策として復水が行われる場合、難透水層で漏水があっても、処理対象の余剰水量はそれほど増加しないと考えられる。

注水井を掘削域の止水壁からある程度離す方が、注水量は大きくなると考えられる。

図-2 掘削域近傍の流速分布 (Case2,  $K_C = 0.1$ )