

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. はじめに

掘削時の盤ぶくれなどの対策として地下水低下工法が実施されるとき、それに伴う周辺地下水の水位・水頭低下を緩和する目的で、揚水対象の帯水層より上層の帯水層に復水が行われる。この場合、盤ぶくれが問題となる難透水層は、掘削領域においては透水性が極めて小さいものであっても、広域的にはその連続性の観点から透水性が大きなものとなることが考えられる。したがって本研究では、3次元有限要素解析によって、復水と難透水層の透水性が地下水低下工法に及ぼす影響について検討した。

2. 解析方法と解析モデル

数値解析には、結果の汎用性を考慮して、無次元化した基礎方程式を用いた。解析対象の地盤は、図-1に示すように、不圧帯水層と被圧帯水層にわけられものとする。そして、無次元化のための代表長さを全帯水層厚とした。解析領域は 20×20 であり、中央に掘削領域 0.36×0.36 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、難透水層厚は0.05であるとする。

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、井戸水位を設定した。復水は、鋼管矢板などにスリットを設け、止水壁外周から不圧帯水層に注水するものとする。注水のための水圧は、原水位より0.02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、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。

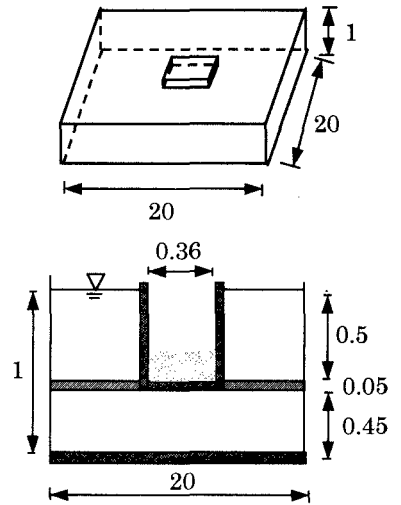


図-1 解析モデル

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、これによって計算容量および計算時間の軽減を図った。

3. 解析結果

帯水層の(無次元)透水係数は $K=1$ とし、難透水層の透水係数が $K_c=0.01, 0.025, 0.1$ の3ケースをとりあげ、それらの解析結果を $K_c=0$ のときの結果と比較検討した。

表-1に、各ケースの揚水井の井戸水位(原水位からの低下量)を示し、あわせて掘削域内の難透水層下部での圧力水頭の最大値を示す。難透水層の透水係数 K_c が大きくなるほど、注水され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。

表-2に、揚水量(無次元) Q_w 、復水量(無次元) Q_r 、および両者の差(余剰水量) $dQ = Q_w - Q_r$ を示し、表-3に、 $K_c=0$ のときの揚水量、復水量、余剰水量で正規化した値を示す。また表-4に、各ケース

について、復水量と揚水量の比、および余剰水量と揚水量の比を示す。

表－１ 井戸水位

K_C	h_w (井戸水位)	P_{mx} (最大水圧)
0	-0.21	0.448
0.01	-0.30	0.447
0.025	-0.34	0.449
0.1	-0.45	0.449

表－２ 揚水量(Q_w), 復水量(Q_r), 余剰水量(dQ)

K_C	Q_w	Q_r	dQ
0	0.0767	0.0167	0.0600
0.01	0.1376	0.0729	0.0647
0.025	0.1653	0.0993	0.0660
0.1	0.2373	0.1629	0.0744

表－３ $K_C=0$ のときの揚水量(Q_{w0}), 復水量(Q_{r0}), 余剰水量(dQ_0)で正規化

K_C	Q_w / Q_{w0}	Q_r / Q_{r0}	dQ / dQ_0
0.01	1.79	4.37	1.08
0.025	2.16	5.95	1.10
0.1	3.09	9.77	1.24

表－４ 復水量(Q_r), 余剰水量(dQ)と揚水量(Q_w)との比

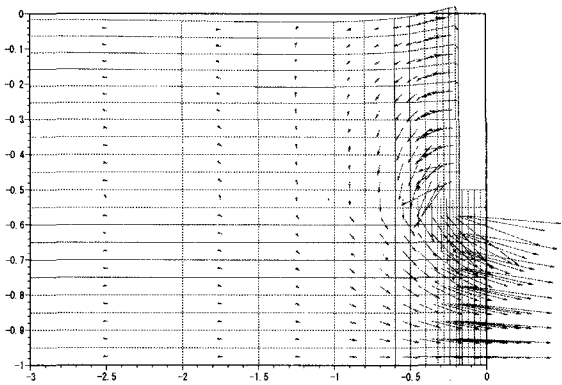
K_C	Q_r / Q_w	dQ / Q_w
0	0.22	0.78
0.01	0.53	0.47
0.025	0.60	0.40
0.1	0.69	0.31

表－３からわかるように、難透水層の(広域的な)透水性が高くなると、所期の水圧低下を達するための揚水量は大きくなり、 $K_C=0$ のときと比べて 1.8－3.1 倍になっている。しかし、復水量がより一層大きな割合 (4.4－9.8 倍) で増加するため、余剰水量の増加は $K_C=0$ のときと比べて 1.1－1.25 倍程度にとどまっている。このことは、表－４に示すとおり、 K_C が大きくなるほど揚水量に対する復水量の割合が大きくなることから分かる。これらの結果は、難透水層を通して漏水がある場合には、注水した水量のかかなりの部分が再び揚水され、周辺地下水の水位・水頭の回復にはあまり貢献しないことを示している。一方、例えば、地下水に溶解性鉄が含まれており、その対策として復水が行われる場合には、漏水があっても、処理すべき余剰水の水量はそれほど増加しないと考えられる。

図－２に、 $K_C=0.1$ の場合の掘削域および揚水井付近の流速分布を示す。この図から、井戸中心(掘削域の中央)から半径 = 1.5 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

地下水低下工法において、復水によって周辺地下水の水位・水頭の回復を図るとき、あるいは溶解性鉄などを含む地下水を復水によって処理しようとする場合、帯水層間の漏水について十分に調査・検討することが重要である、と考えられる。



図－２ 掘削領域近傍の流速分布 ($K_C=0.1$ の場合)