

III-400

特殊な揚水試験結果に関する一考察

清水建設株式会社 正会員 高坂 信章 三宅 紀治

1. はじめに 地下水位以深の掘削工事の排水計画に際し、帯水層の水理定数を求めるために、通常、揚水試験が実施される。しかし、揚水試験の実施条件は、理論解の誘導においてなされた仮定を完全には満足していない。このため複雑な試験結果が得られ、解析時に十分な吟味が必要なケースが多い¹⁾。

本報告は、いくつかの試験実施条件が揚水試験結果にもたらす影響を、有限要素法による軸対称浸透流解析(PC-UNSAF)²⁾を用い検討するものである。

2. 揚水試験結果例と解析モデル 図-1, 2に、ある現場における揚水試験結果例を示す。この特徴として、①観測井の水位低下は非常に短時間で定常状態に達する。その結果、②S字型のカーブを示し明確な直線部分を有さない。③観測井における水位低下量は揚水井内の水位低下量に比べ非常に小さい。などが挙げられる。これらの原因として、①揚水量の変化の影響 ②揚水井の井戸径の影響 ③井戸抵抗の影響 ④漏水の影響 などが考えられる。数例の揚水試験結果にこのような傾向がみられるため、この原因を究明することは同種の試験結果の解析上有用である。

図-3に数値解析モデルを示す。下部帯水層からの揚水をシミュレートし、その帯水層中での水頭変化を計算する。解析ケースとして、井戸抵抗のある場合とない場合、上部帯水層からの漏水がある場合とない場合、について検討する。解析ケースを表-1に示す。

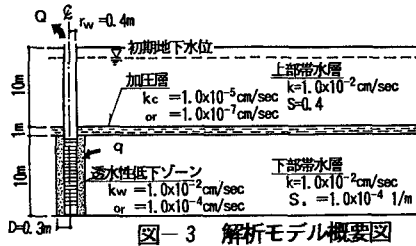


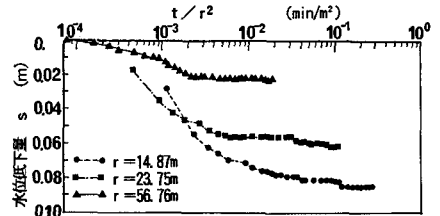
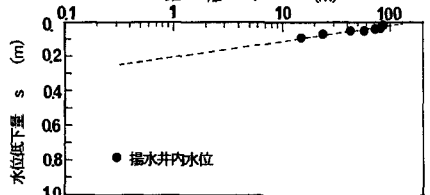
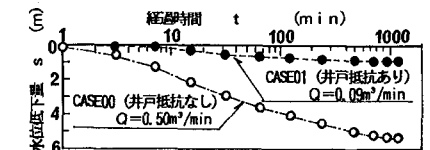
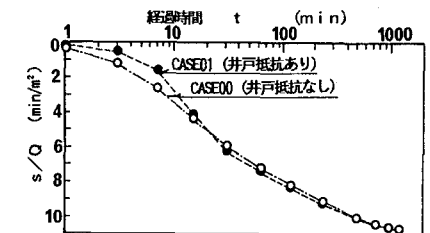
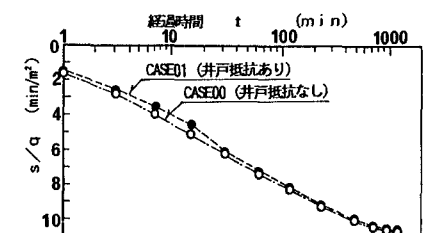
図-3 解析モデル概要図

表-1 解析ケース一覧表

	漏水なし $k_c = 1.0 \times 10^{-7}$ cm/sec	漏水あり $k_c = 1.0 \times 10^{-2}$ cm/sec
井戸抵抗なし $k_w = 1.0 \times 10^{-2}$ cm/sec	CASE00	CASE10
井戸抵抗あり $k_w = 1.0 \times 10^{-4}$ cm/sec	CASE01	CASE11

3. 揚水量の影響について 揚水試験は通常、揚水量一定のもとに行われる。しかし、試験開始直後は、揚水井内貯留水の影響により帯水層からの浸出量が少なく³⁾、また、時間の経過に伴い徐々に揚水量が減少するケースが多い。試験期間中の揚水量変化の影響の除去、揚水量の異なる試験結果の比較、のために、縦軸に水位低下量 s と揚水量 Q の比 s/Q をとって整理する。

図-4は、揚水量の少ない解析結果(CASE01)とそうでない解析結果(CASE00)を $s - \log(t)$ で示したものである。揚水量の少ない解析では、水位低下量も小さくなる。そこで、図-5に示すように縦軸に s/Q をとり整理した。ふたつの解析結果はほぼ一致している。試験期間中の揚水量変化に対してもこの手法は有効である。さらに、図-6には帯水層からの湧水量 q により、縦軸に

図-1 揚水試験結果例 $s - \log(t^2/r)$ グラフ図-2 揚水試験結果例 $s - \log r$ グラフ図-4 井戸抵抗の有無による解析結果の比較
($s - \log t$ グラフ $r = 5$ m)図-5 井戸抵抗の有無による解析結果の比較
($s/Q - \log t$ グラフ $r = 5$ m)図-6 井戸抵抗の有無による解析結果の比較
($s/q - \log t$ グラフ $r = 5$ m)

s/q をとり整理した。初期における揚水井内貯留水の影響が削除できるため、理論解に近い直線形を示す。揚水試験時に、揚水量および揚水井内の水位変化を経時的に計測すれば、帯水層からの湧水量 q を予測することが可能であり、この整理法により、試験結果から井戸径の影響が除外できる。

結果の解析は、1対数サイクルあたりの水位低下量の差 Δs の代わりに $\Delta(s/Q)$ または $\Delta(s/q)$ を求め、透水量係数 T の計算時に Q の項を削除すればよい。

4. 井戸周辺部における透水性の低下について 揚水井掘削時の周辺地盤の透水性低下、スクリーン管の流入抵抗、などにより井戸内と帯水層内とに水位差が生じる。この井戸抵抗の揚水試験結果への影響について検討を行った。

先に示した図-3～5は、井戸抵抗があるものとして、揚水井近傍30cm区間の透水係数を2オーダー低下させた解析結果(CASE01)と井戸抵抗のない解析結果(CASE00)を比較したものである。解析結果の差として、揚水量の減少に伴う水位低下量の減少、および揚水井の径の影響による時間遅れの若干の増加、が生じる。したがって、帯水層からの湧水量を把握し、水位低下量 s と湧水量 q の比 s/q で整理すれば井戸抵抗の影響による差はなくなる。図-7、8に示す $\log(r)$ で整理した結果についても同様の考察ができる。この傾向は、漏水系の解析結果(CASE10, CASE11)でも確認された。透水性低下ゾーンも含めた領域を1本の揚水井として考えれば、井戸の揚水能力が小さい(少ない揚水量で試験した)場合と変わりなく、低透水ゾーンより外側での帯水層内水位低下形状には、影響がないものと考えられる。

5. 漏水の影響を受ける試験結果の解析について 図-1に示したような試験結果を解析するに際しては、一般に漏水系の解析手法が用いられる。ところが、観測井内の水位低下は、非常に短時間で定常状態に達し、水位低下量も小さいため、精度よい解析を行うことは難しい。

図-9、10に、漏水および井戸抵抗がある条件下(CASE11)での解析結果を示す。この結果は、図-1、2に示した試験結果に傾向がよく似ている。Hantushの方法により揚水井近傍の観測井($r=5\text{m}$)について解析した場合、揚水井の井戸径の影響により、変曲点における接線の勾配が大きくなり、入力値 $T=6.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$ に比べて過小な透水量係数 $T=2.7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$ が得られる。この影響を排除するために、結果を s/q で整理することが有効である。また、図-1のような試験結果に対して透水量係数を求める場合には、非定常解析より、定常解析を行ったほうが精度が高い。図-10に対し定常解析を行った結果、 $T=6.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$ が得られた。

6. おわりに 特殊な揚水試験結果の解析手法について、3つの要因に関し検討を行った。結論として、①データ解析時に s/q で整理する ②そのために帯水層からの湧水量 q を経時的に計測する ③井戸周辺の透水性低下ゾーンは試験結果に湧水量減少という形でしか影響しない ④漏水系の解析を行う場合、試験結果に応じ非定常解析、定常解析を使い分ける などが明らかになった。今後これら要因の複合的な影響とその解析方法について検討する必要がある。

【参考文献】1) 宇野尚雄：現場揚水試験における水位低下のパターン、岐阜大学工学部研究報告、No. 24, pp. 13～23, 1974。

2) (社) 土質工学会中国支部：浸透問題の数値解析法、講習会テキスト、1987. 8。

3) 西垣 誠、高坂信章：井戸半径を考慮した揚水試験における水位低下特性とその解析方法、土質工学論文報告集、Vol. 24, No. 4, pp. 194～204, 1984. 12。

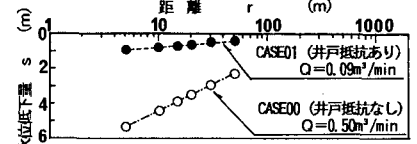


図-7 井戸抵抗の有無による解析結果の比較 ($s-\log r$ グラフ 漏水なし)

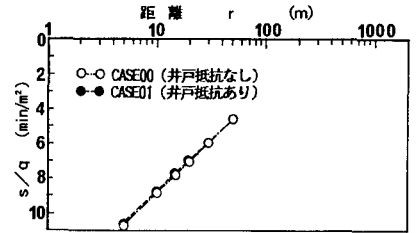


図-8 井戸抵抗の有無による解析結果の比較 ($s/q-\log r$ グラフ 漏水なし)

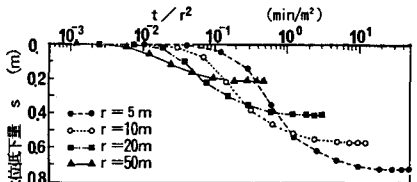


図-9 漏水系の解析結果 (CASE11) $s-\log(t^2/r)$ グラフ

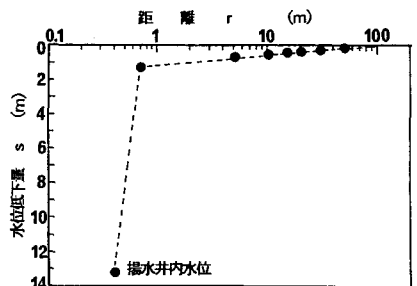


図-10 漏水系の解析結果 (CASE11) $s-\log r$ グラフ