

III-196

逆解析法を用いた揚水試験の解析手法に関する一考察

岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎

岡山大学工学部 正会員 西垣 誠

岡山大学工学部 正会員 ○ 竹下 祐二

1. はじめに

従来より、揚水試験結果の解析手法として、Theis・野満の方法、およびJacobの方法がよく用いられる。しかし、これらの方法は帯水層や試験条件に対して種々の仮定条件の基に導かれたものであり、境界条件の複雑な地盤においては帯水層定数の決定が困難な場合がある。筆者らは、従来、解析が困難であるとされていた複雑な試験条件下においても、帯水層定数の決定を可能とする揚水試験結果の解析手法として、間接法による逆解析手法を提案し、被圧帯水層地盤における揚水試験に対してその適用性を検討してきた。¹⁾

本文では、逆解析手法を用いて揚水試験結果の解析を行う上で、境界条件として重要となる揚水井の取り扱いについて考察を試みた結果を報告する。

2. 境界条件としての揚水井の取り扱い

間接法による逆解析手法では、地盤条件に対応した地盤モデルにおいて、計算水頭値を算出し、観測水頭値との残差平方和が最小となるように、帯水層定数を修正して最適値を求めていく。被圧帯水層地盤において実施された揚水試験に対する計算水頭値の算出は有限要素法による浸透解析手法を用いた。解析に用いた二次元軸対称浸透流の基礎方程式を式(1)に示す。

$$kr \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} kr \frac{\partial h}{\partial r} + kz \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 kr 、 kz ：水平方向、鉛直方向の透水係数、 Ss ：比貯留係数

有限要素法による浸透解析において、揚水井は水位が経時的に変化する境界となり、帯水層定数を同定する上では透水係数の値に大きな影響を及ぼすことになる。ここで、井戸半径を考慮した揚水井の境界条件としては次の2種類が考えられる。

Type (a)：揚水流量を既知量として、揚水井内の水位を次式(2)より算出する。

$$h^{I+1}(t+\Delta t) = \alpha h^I(t+\Delta t) + (1-\alpha) \left\{ h(t) + \Delta t \frac{Q_{out}^I(t+\Delta t) - Q_p}{\pi r_w^2} \right\} \quad (2)$$

Type (b)：揚水井内の水位を既知量として、揚水流量を次式(3)より算出する。

$$Q_p = Q_{out} - \{ h(t+\Delta t) - h(t) \} \frac{\pi r_w^2}{\Delta t} \quad (3)$$

ここに、 Q_{out} ：帯水層から揚水井への浸出流量、 Q_p ：揚水流量、 r_w ：揚水井戸半径、

$h(t)$ ：揚水井内の水位、 t ：揚水時間、 I ：繰り返し計算step、 $\alpha = 0.8$

Type(a)では境界水位として未知量である揚水井内の水位を揚水流量と帯水層から揚水井への浸出流量との釣合条件により決定するために、各時間ステップにおいて7～8回程度の繰り返し計算を要する。これに対して、Type(b)では境界水位が既知となるために繰り返し計算を要しない。揚水試験のシミュレーションとしては、Type(a)の条件を採用する方が正当であると言えるが、CPU TIME的には不利となる。帯水層定数

を同定する過程において揚水井では、Type (a) の場合揚水井内の水位を、また、Type (b) の場合には揚水流量をそれぞれ観測値と比較し、残差平方和を求めることになる。

3. 揚水井の境界条件が帯水層定数の同定に及ぼす影響

これらの揚水井の境界条件の与え方が、帯水層定数の同定に及ぼす影響を把握するために簡単なモデルを用いて比較検討を行った。解析モデルは図-1に示す被圧帯水層地盤において井戸半径 15cm の完全貫入井を用いた揚水試験である。揚水試験データはあらかじめ図-1の地盤条件について、前述の浸透解析法によるシミュレーションにて作成した。この時、揚水井の境界条件はType (a)を用いた。水位観測点としては、図-1に示す揚水井(A点)とB点の計2点を設け、揚水開始後1時間までの観測値を得た。この揚水試験データに対して、逆解析手法により k 、 S_s のパラメータを同時に同定することを試みる。パラメータの初期推定値は k 、 S_s とも真値の1/10とした。同定結果を表-1に、また繰り返し回数と残差平方和の関係

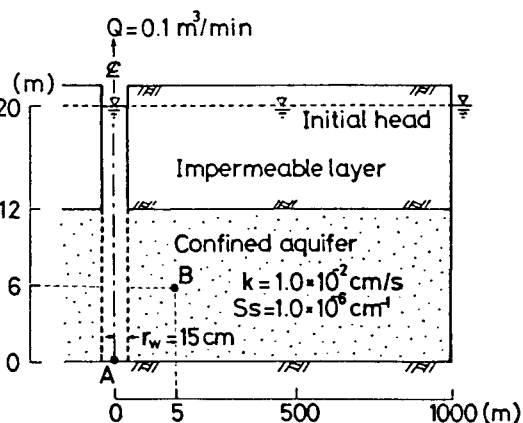


図-1 完全貫入井戸を用いた揚水試験

を図-2に示す。まず、Type (a) の境界条件を用いた Case-A では、 k 、 S_s とも良好な結果が得られた。次に、Type (b) の境界条件を用いた Case-B においても同定は可能であったが、Case-A に比較して S_s の値にやや誤差が生じている。この原因として Type (b) では揚水井が定水位境界となるために、揚水井が定流量境界となる Type (a) に比べて水位変動の伝播に対するインパクトが小さくなり、その結果 S_s の同定に誤差が生じたものと考えられる。しかし、Case-B の CPU TIME は Case-A に比べて約 1/14 と有利であり、Type (b) の境界条件を用いた揚水試験結果の逆解析手法は帯水層定数の概略値の同定を行う上で十分に有効であると考えられる。

表-1 同定結果

Case	計算回数	S (cm ²)	CPU (sec)	k 同定値 (cm/s)	誤差 (%)	S _s 同定値 (1/cm)	誤差 (%)
A	5	0.37	326	1.002×10^{-2}	0.2	1.003×10^{-6}	0.3
B	4	4.07	23	9.841×10^{-3}	-1.6	1.294×10^{-6}	29.4

S: 観測点Bにおける残差平方和

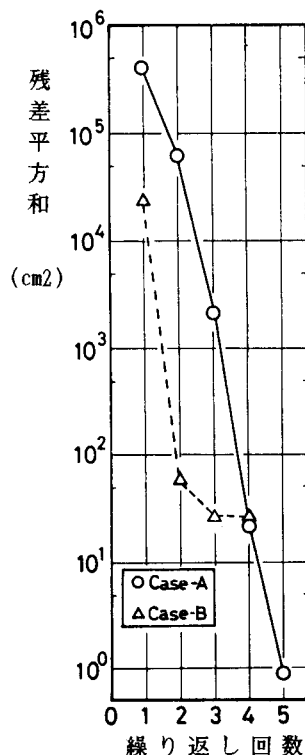


図-2 繰り返し回数と残差平方和の関係

4. おわりに

今後は、試験条件に対応した地盤モデル作成に対する検討を行い、実際に現地で実施された揚水試験結果に対して、本解析手法の適用を進めて行く予定である。

《参考文献》

- 1) 河野伊一郎・西垣 誠・竹下祐二(1987): 多層帯水層地盤における揚水試験の解析手法, 「第22回土質工学研究発表会」投稿中