

飛鳥建設（株）構造技術部 正○峯 谷 明
〃 正 小林 薫

1. はじめに

大規模掘削工事等において地下水低下工法を実施する場合に、当初設計した排水設備で所定の水位低下が得られるかどうかを確認するために、複数のディープウェル設置後に確認揚水試験¹⁾を実施することがある。確認揚水試験は実施工に近い条件で行われるため、試験結果から帯水層定数（透水量係数、貯留係数）を求めて排水計画を見直すことは非常に有効である。しかし、確認揚水試験は、複数の井戸で同時に揚水することや、揚水井と観測井の距離が異なること等から通常の方法（Theis法やJacob法）では帯水層定数を求めることができず、FEM逆解析や非定常井戸理論式の重ね合わせによる方法が提案されている。本報文はこれらの手法を実現場で実施した確認揚水試験に用いて比較検討したものである。

2. 確認揚水試験の解析方法

確認揚水試験結果から帯水層定数を算定する下記の二方法について検討する。

①準三次元FEM逆解析（UNISSF）を用いる方法

②非定常井戸理論式（Jacobの式）の重ね合わせによる方法（高坂等²⁾の提案法）

FEM逆解析による方法は、モデル化が自由であり適用性が広い反面、モデル化の妥当性の問題や解析に時間を要すること等、問題も多い。一方、高坂等の提案法では、非定常井戸理論式（Jacobの式）の重ね合わせより求めた次式により、試験結果を水位低下量 s と $\log(t'/r'^2)$ の関係で整理すれば通常用いられるJacob法により帯水層定数を簡単に算定できる。

$$s = 2.3 \Sigma Q / 4 \pi T \cdot \{ \log(t'/r'^2) - \log(S/2.25T) \} \text{ ----- (1)}$$

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$t' = (t_1^{Q_1} \cdot t_2^{Q_2} \cdot \dots \cdot t_n^{Q_n})^{1/\Sigma Q}, \quad r' = (r_1^{Q_1} \cdot r_2^{Q_2} \cdot \dots \cdot r_n^{Q_n})^{1/\Sigma Q}$$

Q_i : 各揚水井の揚水量, T : 透水量係数, S : 貯留係数, t_i : 揚水継続時間

r_i : 各揚水井～観測井間の距離, s : 観測井の水位低下量

3. 確認揚水試験の解析例

大規模掘削工事現場で実施した確認揚水試験結果から帯水層定数を算定した事例を示す。図-1に掘削平面図及びディープウェル配置図を示す。当現場では当初、多孔式揚水試験を実施して帯水層定数を算定し排水計画を立てたが、掘削平面が非常に大きいことや揚水が長期間にわたることから、掘削領域全体にわたって所定の水位低下が得られることの確認と当初設定した帯水層定数の見直しのために確認揚水試験を実施した。試験は9本のDW（図-1●）から一定揚水量（ $Q=0.3\text{m}^3/\text{min}/\text{本}$ ）で同時に揚水し、他のDW（○）及び間隙水圧計（▲）の水位低下量を計測した。

このような複数井からの同時定揚水量試験の場合、(1)式において

$$t_1 = t_2 = \dots = t_n = t \text{ (同時揚水)}$$

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q \text{ (一定揚水量)}$$

とおけば、

$$t' = t$$

$$r' = (r_1^Q \cdot r_2^Q \cdot \dots \cdot r_n^Q)^{1/nQ}$$

となり、試験結果を s と $\log(t'/r'^2)$ の関係で整理すれば帯水層定数が簡単に算定できる。

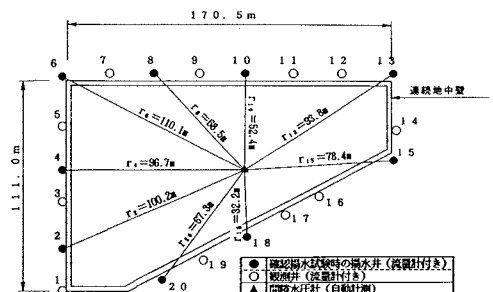


図-1 掘削平面及びディープウェル配置図

この解析方法の妥当性を検証するために、確認揚水試験結果から準三次元FEM逆解析により同定した帯水層定数（透水量係数 $T=1.15 \times 10^{-1} (\text{m}^2/\text{min})$ ，貯留係数 $S=3.00 \times 10^{-3}$ ）を用いたFEM解析値について上述の方法で整理した。各観測井の水位低下量（解析値）を s と $\log(t'/r'^2)$ により整理した結果を図-2に示す。図に示すように、この整理方法によれば各観測井の水位低下量（解析値）は同一の直線で表され、帯水層定数は真値（同定値）に近い値（透水量係数 $T=1.24 \times 10^{-1} (\text{m}^2/\text{min})$ ，貯留係数 $S=3.07 \times 10^{-3}$ ）が求められることがわかる。

確認揚水試験結果から帯水層定数を算定するために間隙水圧計の水位低下データを s と $\log(t'/r'^2)$ により整理した結果を図-3に示す。図-3より帯水層定数を算定すると透水量係数 $T=1.16 \times 10^{-1} (\text{m}^2/\text{min})$ ，貯留係数 $S=3.40 \times 10^{-3}$ が得られた。これらの値は表-1に示すように当初の多孔式揚水試験から求められた帯水層定数の範囲のほぼ上限値を示している。また、逆解析で求めた帯水層定数の同定値に非常に近い値を示しており、複雑な逆解析手法を用いなくても比較的簡単に妥当な帯水層定数を算定することができることを示している。

他の観測井のデータについて同様に整理した結果を図-3に示す。図に示すように、観測井毎に多少のバラツキはあるが、 $s - \log(t'/r'^2)$ により整理することから、確認揚水試験から求められる帯水層定数は掘削領域全体の平均的な値を示しているといえる。

当現場において、高坂等の提案法により妥当な帯水層定数が得られた理由として、当現場の帯水層が理想的な状態にあったことが挙げられる。しかし、地盤が理想的な状態でないと思われる他の現場においては、 $s - \log(t'/r'^2)$ グラフに明確な直線部分が存在せず、帯水層定数の算定が困難であった。こうした場合には、FEM逆解析と併せた検討が必要と考えられる。

4. まとめ

確認揚水試験による帯水層定数の算定方法について検討した結果、以下のことがわかった。

- 1) 当現場のように理想的な状態の帯水層においては、高坂等の提案法による帯水層定数の算定結果はFEM逆解析で同定した値とほぼ同値であり、この方法は確認揚水試験結果から帯水層定数を極めて簡単に算定できる良い手法といえる。
- 2) 高坂等の提案法において $s - \log(t'/r'^2)$ グラフに明確な直線部分が存在しない場合、帯水層定数の算定は困難であり、FEM逆解析と併せた検討が必要と考えられる。

謝辞

本研究の考察を行うにあたり、岡山大学工学部西垣 誠助教授、竹下祐二助手から貴重な御助言をいただいたことをここに付記し、心から感謝の意を表します。

【参考文献】1) 土質工学会：「根切り工事と地下水-調査・設計から施工まで-」，1991.1.，pp.262-264.

2) 高坂，三宅：確認揚水試験結果の解析方法，第27回土質工学研究発表会，1992.6.，pp.2001-2002.

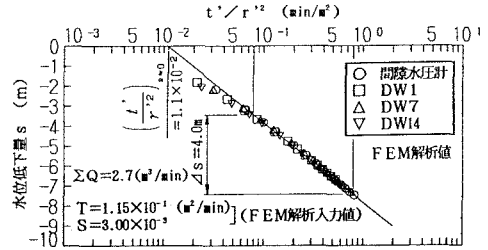


図-2 $s - \log(t'/r'^2)$ グラフ図 (FEM解析値)

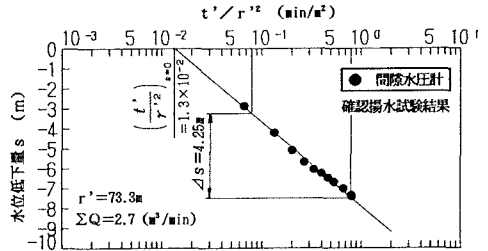


図-3 $s - \log(t'/r'^2)$ グラフ図 (試験結果)

表-1 帯水層定数算定値の比較

	多孔式揚水試験 による算定値	FEM逆解析 による同定値	高坂等の提案法 による算定値
透水量係数 $T (\text{m}^2/\text{min})$	6.36×10^{-2} 1.16×10^{-1}	1.15×10^{-1}	1.16×10^{-1}
貯留係数 S	1.00×10^{-4} 3.40×10^{-3}	3.00×10^{-3}	3.40×10^{-3}

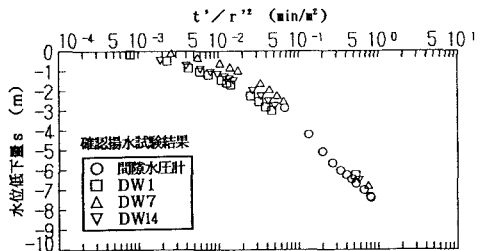


図-4 $s - \log(t'/r'^2)$ グラフ図 (試験結果)