

東亜建設工業(株) 正会員 天田 聡
同 上 正会員 大野 康年
同 上 広瀬 誠

1. はじめに

掘削工事等で行われる揚水試験では、一本の揚水井に対し数本の観測井による試験を繰り返し行うことは、工期的に厳しく、群井戸揚水を実施する事も多い。帯水層定数の数値解析による逆解析を行う場合、地層、境界条件等の変化を反映する測定値のばらつきを視覚的に確認しにくい。ここでは、群井戸状態で実施した揚水試験解析法として井戸理論に基づいた簡便な図解法を提案し、その妥当性を準三次元有限要素解析結果を用いて検証する。

2. 解析手法

解析手法は、多数本の井戸から揚水する場合に、全井戸を一本の仮想井戸に置き換え、仮想井戸と水位観測孔との離間（等価距離）と水位低下量の関係をプロットし、その勾配等から透水量係数、貯留係数、影響圏半径等の帯水層定数を算出する方法である。

1) 定常状態

定常被圧状態における群井戸の式は、式(1)中央で表され、一本の仮想井戸の式は右端で示せる。

$$s = \frac{1}{2\pi T} \sum \left[Q_i \ln \left(\frac{R}{r_i} \right) \right] = \frac{Q}{2\pi T} \ln \left(\frac{R}{r} \right) \quad \dots (1)$$

ここで、 R : 影響圏半径、 T : 透水量係数 $= kD$

D : 帯水層厚、 s : 各測点の水位低下量

r_i : 各井戸から測定点までの距離

r : 一本の仮想井戸で揚水した時の各測点までの等価距離

Q_i : 各井戸の揚水量、 Q : 合計揚水量 $= \sum Q_i$

各観測孔について等価距離 r を求めると（図-1参照）

$$r = \exp \left[\frac{1}{Q} \sum Q_i \ln r_i \right] \quad \dots (2) \quad \text{式(1)より、} s = \frac{Q}{2\pi T} (\ln R - \ln r) \quad \dots (3) \quad \text{図-1. 群井戸概念図}$$

各観測孔につき $\ln r$ 、 s をプロットすれば傾き $Q/(2\pi T)$ の直線で、影響圏半径は、 $s=0$ の時 $R=r$ で表される。

2) 非定常状態

$$\text{Jacobの式より、} s = \sum \frac{Q_i \ln \left(\frac{2.25Tt}{Sr_i^2} \right)}{4\pi T} = \frac{Q \ln \left(\frac{2.25Tt}{Sr^2} \right)}{4\pi T} \quad \dots (4)$$

ここで、 S : 貯留係数、 t : 経過時間 他は1)を参照。尚、 r は(2)式で示される。式(4)を展開すると、

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25T}{Sr^2} \right) + \frac{Q}{4\pi T} \ln(t) \quad \dots (5)$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25Tt}{S} \right) - \frac{2Q}{4\pi T} \ln(r) \quad \dots (6)$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25T}{S} \right) + \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{t}{r^2} \right) \quad \dots (7)$$

ここで、ある t 毎の影響圏半径は、式(6)より、 $s=0$ の時の $\ln(r)$ 軸との交点から算定できる。

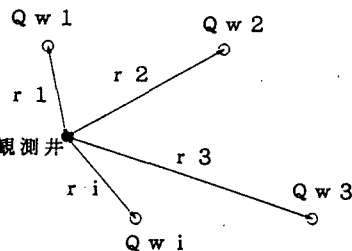


表-1. 揚水井戸配置及び流量

	X座標(m)	Y座標(m)	流量(m ³ /min)
DW1	1490.0	1505.0	0.010
DW2	1485.0	1485.0	0.001
DW3	1505.0	1510.0	0.005
DW4	1505.0	1490.0	0.020
DW5	1515.0	1490.0	0.015

3. 有限要素解析結果への適用

1) 解析条件

解析条件を表-1、図-2に示す。帯水層は、透水量係数： $10^{-2}(\text{m/m in})$ 、貯留係数： 10^{-3} とする。影響圏半径 $R(\approx 1600(\text{m}))$ は便宜的に水位低下量 1mm 迄の地点として Theisの式から求めた。FEM解析範囲は、 3km 四方とし、領域周囲に水位一定の境界条件を与えた。

2) 解析結果

FEM解析結果を表-2に示す。式(3)、(5)～(7)による図解法を図-3～6に示す。

表-2. 地下水位低下量

単位: (m)

時間(min)	1.	5.	10.	60.	120.	720.	1440.	7200.	14400.	定常時	X座標	Y座標
観測井戸NO.1	.006	0.06	0.16	0.64	0.89	1.57	1.85	2.46	2.73	3.60	1490.0	1495.0
NO.2	.013	0.11	0.23	0.75	1.01	1.69	1.97	2.58	2.85	3.73	1500.0	1505.0
NO.3	.012	0.26	0.45	1.05	1.32	2.01	2.29	2.90	3.17	4.05	1505.0	1495.0
NO.4	.001	0.05	0.14	0.61	0.87	1.54	1.82	2.43	2.70	3.58	1515.0	1505.0

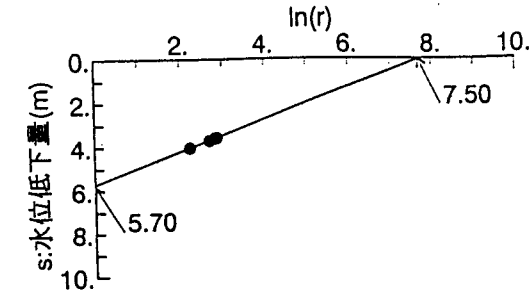


図-3. 定常解析

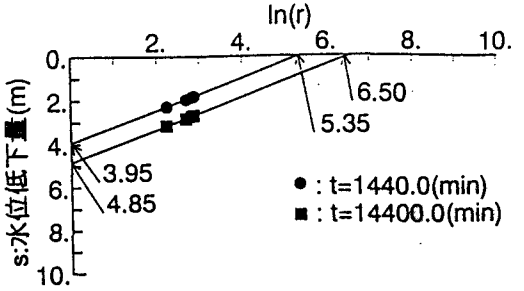


図-4. 非定常解析 s-ln(r)

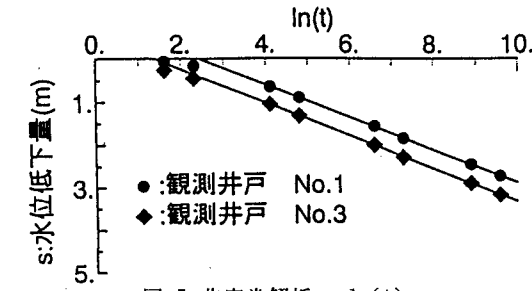


図-5. 非定常解析 s-ln(t)

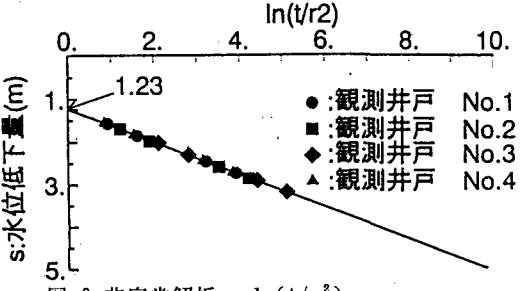


図-6. 非定常解析 s-ln(t/r^2)

以上の図から帯水層の水理定数を求めると表-3に示す様になり、入力値を良くとらえていることが分かる。

4. まとめ

図解法による解析で、簡便に水理定数が得られることが分かった。但し、本研究は、均一な地盤における解析であり、今後の課題はより複雑な地盤、土留め壁等の影響のある場合等での有用性を確かめることである。

表-3. 図解法解析結果一覧表

解析種類	分類	$T(\text{m}^2/\text{min})$	S or R
定常解	—	1.07×10^{-2}	$R = 1808(\text{m})$
s-ln(r)	t=1440.	1.10×10^{-2}	$S = 0.80 \times 10^{-3}$
	t=14400.	1.09×10^{-2}	$S = 0.77 \times 10^{-3}$
s-ln(t)	観測井戸No.1	1.06×10^{-2}	$S = 0.94 \times 10^{-3}$
	観測井戸No.3	1.05×10^{-2}	$S = 1.09 \times 10^{-3}$
s-ln(t/r^2)	—	1.06×10^{-2}	$S = 0.96 \times 10^{-3}$

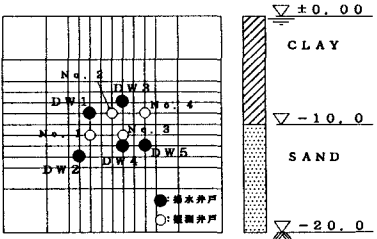


図-2. 解析モデル図