

道路公団東京川越工事事務所

唐 沢 昭

大林組技術研究所

齊 藤 二 郎

○ 内 藤 和 章

1 ま え が き

東京川越道路新設工事において、埼玉県入間郡三芳村地区の台地内窪地に溜る降雨等の地表水を、排水井戸に注水して排水する地中排水工法が計画されている。この工法において重要なことは、所定の排水量を確保するために必要な排水井戸の直径、深さ、本数、注入圧等の推定である。これらは、地盤の透水性と、地下水位に左右されるので、現位置において、試験排水井を設置して、排水試験を実施した。そして、試験結果の解析、本排水井の設計は、電気アナログ法によって行なった。

2 地 盤 の 状 態

当地区の地層は、地表からGL-5.90 mまでは関東ロームで、その下部は、玉石混り砂レキである。〔(図-1)参照〕 この玉石混り砂レキ層は、最大径100 mmの玉石を混入しており、 $D_{60}=19.1$  mm、 $D_{10}=0.25$  mm で、透水性の極めて大きい層であり、また、地下水位は、GL-13.00 mにあるので、地表水を、排水井によって、この層から排水しようとするものである。

3 地中排水試験方法

(3-1) 概 説

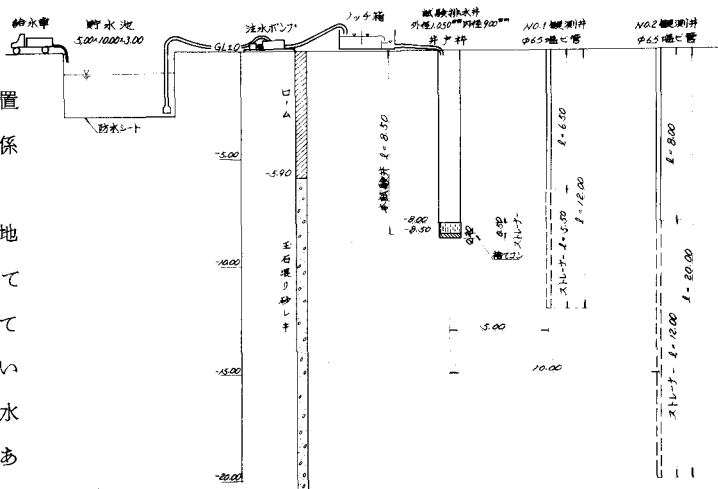
地中排水試験は、試験排水井を設置して、排水井内水頭と、排水量の関係を求めるためのものである。本試験において注意すべきことは、地盤に、最大径100 mmの玉石を混入しているので、試験規模を大きくしなくてはならないこと、排水井の設置において、ベントナイトを使用すると、逸水により、地盤の目詰りを起すことである。

(3-2) 試験装置

試験装置の概要を(図-1)に示す。主なる装置の概要は、つぎのごとくである。

(a) 試験排水井：外径1,050 mmの井戸枠を用いて、山井戸工法により設置した。ストレーナーとして、GL-8.00 m~8.50 mに、開口率2.3%の有孔井戸枠を設置した。なお、地山と井戸枠の空隙は、各層のズリで、丁寧に埋戻した。

(b) 観測井：(図-1)に示した位置に、 $\phi 65$  mmのストレーナーつき塩ビ管による観測井2本を設置した。No.2観測井は、試験前のもとの地下水位を測定するために、長くした。



(図-1) 排水試験設備概要図

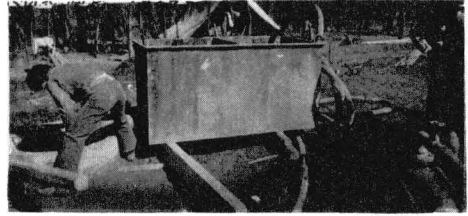
(c) 注水ポンプ：最大500ℓ/minの送水が可能な、15kW多段式タービンポンプを使用した。

(d) 三角ノッチ箱：注水量を測定するために、ノッチ深さ30cmの三角ノッチ箱を使用した。

(e) 水位計：試験排水井および観測井の水位を測定するために、NP型水位計を使用した。

(f) 貯水池：試験に必要な水が多量であるので、5m×10m×3mの貯水池を設けた。

試験装置の状況を(写真-1)に示す。



(写真-1) 左より試験排水井、ノッチ箱、ポンプ

### (3-3) 試験方法

本試験において必要なデータは、定常状態における目標注水量と、排水井内水位および観測井内水位の関係である。まず、目標注水量は、500, 300, 200, 100ℓ/minの5段階とした。各段階毎に、一定量の注水を継続し、排水井内水位と、観測井内水位の経時変化を、定常状態に至るまで測定した。なお、定常状態に至ったら、注水を停止して、復水状態を測定した。

## 4 試験結果

目標注水量500, 300, 200, 100ℓ/minに対する排水井内水位および観測井内水位の経時変化を(図-2)および(図-3)に示す。なお、No.1観測井は、ストレーナーがベントナイトにより、目詰りを起して、測定不能であった。

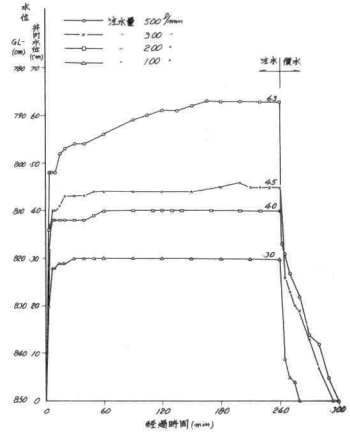
(図-2)および(図-3)によると、大略4時間で定常状態に至っていることがわかる。この、定常状態における排水井内水位と、注水量の関係を図示すると(図-4)のごとくなり両者は、直線関係にあることがわかる。

つぎに、(図-3)によると、観測井内の水位は、注水停止後、しばらくの間は、水位が上昇している。これは、注水により生じた山状の地下水流域が次第に平坦化されるために起ったものであると推定される。なお、注水量100ℓ/minの場合は、300ℓ/minの試験終了後、1時間経過して試験を続行したので、他の場合と、傾向が異っている。

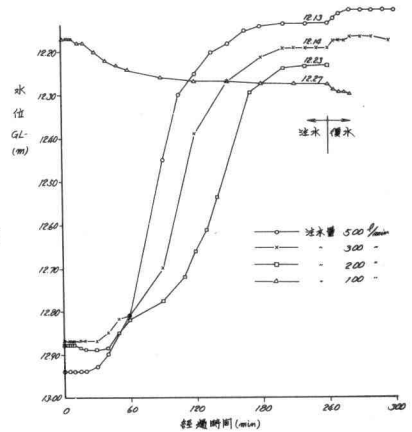
## 5 電気アナログ法による試験結果の解析

### (5-1) 概説

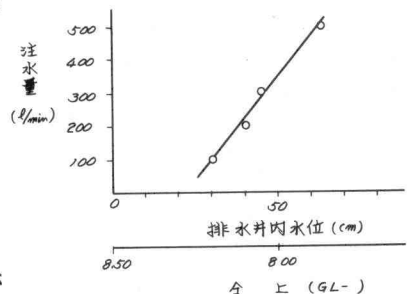
本試験において注意すべきことは、地下水の鉛直方向の流れが卓越しているため、通常の井戸理論が適用されないことである。



(図-2) 排水井内水位の経時変化



(図-3) No.2観測井内水位の経時変化



(図-4) 注水量と排水井内水位の関係

そこで、試験結果の解析は、電気アナログ法によって行なうことにした。

電気アナログ法とは、土中の水の流れと、導電性媒質中の電気の流れが、相似であるという原理を応用したものである。すなわち、実際の地盤に、幾何学的に相似な、適当な縮尺 $\alpha$ の模型を、導電性媒質で作製し、地盤の透水係数 $k$ と、導電性媒質の電気伝導度 $\sigma$ 、水頭 $\Phi$ と電圧 $E$ 、流量 $Q$ と電流 $I$ を対応させて、解析するものである。このときの相似律は、次式で与えられる。

$$\frac{Q_p}{I_m} = \alpha \cdot \frac{k_p}{\sigma_m} \cdot \frac{\Phi_p}{E_m} \quad (1)$$

ここに、添字 $p$ は、実際の地盤に対するもの、 $m$ は、模型に対するものである。

したがって、4. において、排水井内水頭 $h_p = \Phi_p$ と、注水量 $Q_p$ の関係を求めたので、電気アナログ解析装置において、 $E_m$ と $I_m$ を測定することにより、(1)式から透水係数 $K_p$ が求められる。

### (5-2) 電気アナログ解析装置

本排水試験における地下水の流れは、軸対称流であるから、電気アナログ解析装置として、適当な微小角 $\Delta\theta$ 部分のみを取り出した模型を用いた。

模型縮尺は $1/20$  ( $\alpha = 20$ )とし、導電性媒質としては、0.5%の食塩を含有した4%濃度の寒天を使用した。電気アナログ解析装置を(図-5)および(写真-2)に示す。

主なる計測器は、つぎのごとくである。

- (a) 変圧器：0~130V, max 3A
- (b) 電流計：ミリアンペアメートル (AC)
- (c) 電圧計：エレクトロニックポルトメーター
- (d) プローブ：導電性媒質中の任意の点の

電圧を測定するもの

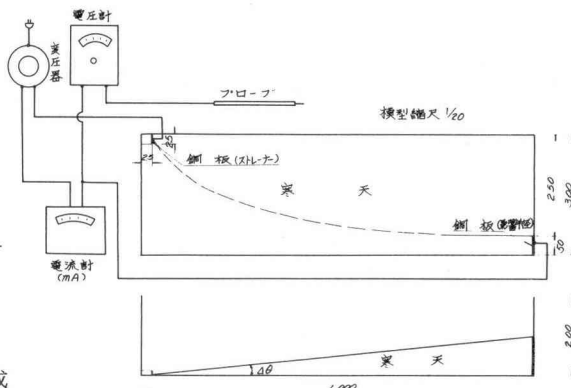
この解析において重要なことは、自由水面の形成である。これは、つぎのようにして行なう。

自由水面上での水頭は、位置の水頭だけで、圧力水頭は、0である。したがって、基準面より、任意の高さの点が、その点の位置の水頭に対応する電圧になっている点をプロットすると、自由水面の第1次近似解が得られる。そしてこの線で切断して、同様の操作をくり返して、トライアルにより、真の自由水面を求めることができる。

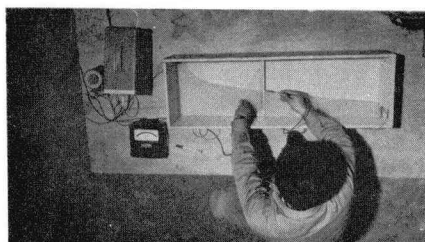
### (5-3) 解析結果

解析は、影響半径 $R_m$ および微小角 $\Delta\theta$ を種々変化させた模型を作って行なった。

例えば、 $R_m 100cm$ ,  $\Delta\theta 0.1$ の模型に対する注水量 $500 \text{ l/min}$ の場合の自由水面の形を、(図-6)に示す。これによると、 $\#2$ 観測井の水位測定結果と、この解析結果はよく一致していることがわかる。ただし、実際の水頭 $h_p$ および模型上の水頭 $h_m$ と、電圧 $E_m$ の関係は、つぎのごとく定めた。



(図-5) 電気アナログ解析装置概要



(写真-2) 電気アナログ解析装置

$$E_m = \frac{h_p}{100} = \frac{\alpha \cdot h_m}{100} = \frac{20}{100} h_m \quad (2)$$

また、導電性媒質としての寒天の電気伝導度  $x_m$  は、 $0.0072 \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}} = 0.72 \frac{1}{\Omega \cdot \text{m}}$  であった。この装置により求められた電圧  $E_m$  と電流  $\Delta I_m$  の関係は、(図-6) に併記したごとく  $\frac{\Delta I_m}{E_m} = 0.84 \times 10^{-3}$  であった。ただし、 $\Delta I_m$  は、微小角  $\Delta \theta$  部分についてのものであるから、

$$I_m = \frac{2\pi}{\Delta \theta} \cdot \Delta I_m \quad (3)$$

である。また、排水井内の水頭  $h_p$  は  $5.065^m$  であるので、(1), (3)式より

$$K_p = \frac{Q_p \cdot x_m}{\alpha \cdot h_p} \cdot \frac{E_m}{\Delta I_m} \cdot \frac{\Delta \theta}{2\pi}$$

$$= \frac{0.5 \times 0.72}{20 \times 5.065} \times \frac{1}{0.84 \times 10^{-3}} \times \frac{0.1}{2 \times 3.14}$$

となつた。  
他のケースの場合は、注入量によつて、透水係数に若干の変動があつたが、平均

$$k_p = 1.0 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$$

となつた。

## 6 電気アナログ法による本排水井の設計例

以上の排水試験結果を用いて、電気アナログ法により、直径  $2.00 \text{ m}$ 、深さ  $13.00 \text{ m}$  の単独排水井を設置した場合の自由水面の形を求めると(図-7)のごとくなつた。また、排水井内水頭と、排水量の関係は、(図-8)のごとくなつた。

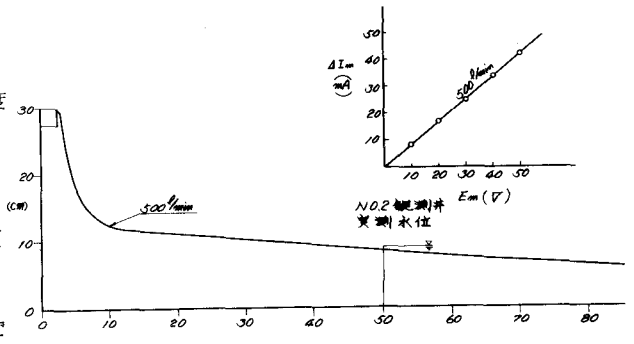
## 7 結 び

以上、排水試験結果と、電気アナログ解析結果について述べたが、この方法により、排水井の設計データが、合理的に得られることが判明した。ただし、本排水井の設計においては、濁水による排水能力の低下、井戸の相互干渉等を十分配慮しなくてはならない。

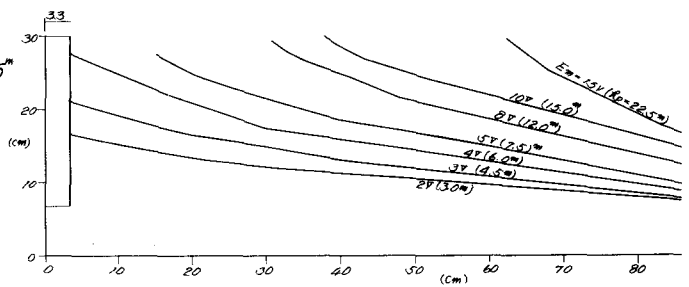
## 参 考 文 献

R. Herbert, R. Rushton: Ground Water Flow Studies by Resistance Networks, Geotechnique 16:1

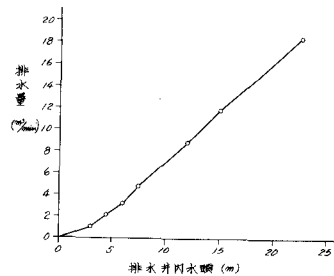
斉藤, 内藤, 西林, 鈴木: 電気アナログ法による土中の流体の流れの解法に関する研究、土木学会第23回年次学術講演概要, 昭和43年



(図-6) 注水量  $500 \mu\text{m}$  の場合の自由水面



(図-7) 本排水井における自由水面



(図-8)  $9200 \mu\text{m}$  の排水井の排水量と水頭の関係