

### III-500 薬液注入地盤の透水係数推定方法について

東京電力㈱ 正会員 川村祥二  
 同上 正会員 竹内信次  
 同上 篠山 守

#### 1. はじめに

都市域における地中送電用トンネルを掘削する際の立坑部での発進防護工法を考えた場合、地盤強度の向上については置換工法、止水性の向上については薬液注入工法が主として採用されている。改良効果を確認する方法として、改良地盤でサンプリングを行い、試験室で強度試験、透水試験を実施する方法がある。しかし、路上からのサンプリングは、幅狭する路上の交通、埋設物によりかなりの制約をうけ、実施が困難なため坑内から水平に採取する機会が多い。また、サンプリング孔については、改良地盤中の漏水上の弱点となるため大口径でのサンプリングが実施できないため、試験に十分な供試体が採取できない場合が多い。

そこで、本研究では、比較的小口径のサンプリング孔を利用して、湧水量から改良域の透水係数を推定する方法を考案し、水位回復法により得られた透水係数と比較した。

#### 2. 地質状況

シールド発進部付近の地質状況は図-1のとおりで、GL-30m付近までは東京層の下部粘性土が確認され、GL-35mまでは、東京礫層と思われる $\phi 10\sim 20\text{mm}$ の礫を含む砂質土が確認された。N値と原位置での透水試験の結果は、表-1のとおりであった。

発進防護の地盤改良は、シールドの下半部が通過する礫層部と地質境界の粘性土を1mだけ行った。地盤改良の工法としては、コラムジェット工法、薬液注入は二重管複相注入工法を採用した。改良範囲は図-1に示したとおりである。

表-1 地盤物性値

		N値	透水係数 (cm/sec)
東京層	シルト層	10~30	$1.6 \times 10^{-8}$
	礫まじり砂	50以上	$1.7 \times 10^{-3}$

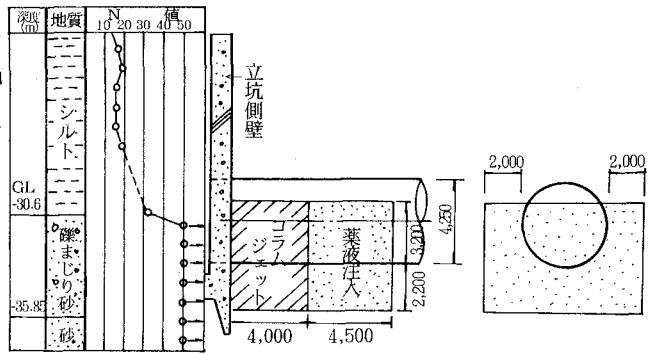


図-1 地盤改良範囲

#### 3. 試験方法

##### (1)湧水量試験

図-2のとおり $\phi 40.5\text{mm}$ のボーリングロッドを用い立坑内から水平に所定位置まで削孔後、500mmだけロッドを引き抜き集水域をつくる。そして、ロッドの周辺から漏水しないようにした後ロッド内を流れてくる湧水量を測定する。

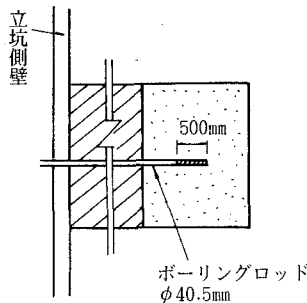


図-2 湧水量試験

##### (2)水位回復試験

湧水量を測定した孔を用いて、図-3のとおり立坑内に透明ホースを接続し、湧水による水位の上昇と経過時間を測定し、水位の回復状況を見る。

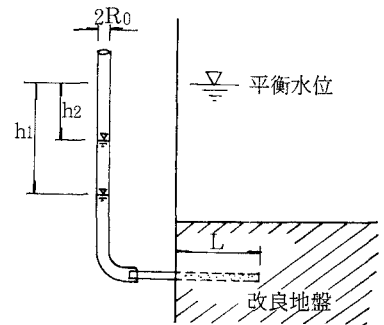


図-3 水位回復試験

#### 4. 推定方法

##### (1)湧水量からの推定

上半部の粘性土は透水係数が小さいため遮水層とみなし、下半球面のみから水が流入するものと考え、

ダルシーの法則を適用すると、

$$\frac{1}{r^2} dr = \frac{2\pi k}{q} dh \quad \text{①}$$

となる。そこで、集水孔を球状と仮定してその半径を $r_0$ 、その位置の水圧を $h_0$ とし、①式を積分する。また、集水孔は大気圧であることから $h_0=0$ である。したがって流入量 $q$ は、

$$q = 2\pi k H \frac{R r_0}{R - r_0} \quad \text{②}$$

となる。つぎに、集水孔周辺の地

盤が改良された場合を考える。改良範囲を半径 $r_1$ の球状と仮定し、改良範囲の透水係数を $k_s$ とし、流入水 $q_1$ の水頭を $h_1$ とすると、②式は $H=h_1$ 、 $R=r_1$ となる。また、未改良範囲の透水係数を $k_0$ とし改良境界面に流入する水 $q_2$ についてみると、②式で $H=H-h_1$ 、 $r_0=r_1$ である。流量の連続性を考えると $q_1=q_2$ であるので、

$$q = \frac{2\pi k_s H r_1 r_0}{(k_s/k_0) \times r_0 + (r_1 - r_0)} \quad \text{変形して} \quad k_s = \frac{r_1 - r_0}{\frac{2\pi H r_1 r_0}{q} - \frac{r_0}{k_0}} \quad \text{③}$$

となる。

(2)水位回復による推定

現位置試験の水位回復法試験と同様にして求める。

$$k_s = \frac{R_0^2}{2L(t_2 - t_1)} \ln \frac{L}{R_0} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad \text{④}$$

5. 試験結果

(1)湧水量試験

湧水量の測定は、図-5に示した3か所の測定孔で施工後2時間おきに実施し、定常状態であると確認された時点の結果を測定値とした。その結果を表-2に示す。計算にあたっては、仮想集水位置を切羽面のセンターとし、湧水量、集水面積ともその位置に集中させて考える。また、実際の集水面は、図-2に示したとおり円筒形であるが、今回提案した式にあてはめるため、等価な面積の半球面に置き換えた。 $(r_0=20\text{cm})$   $r_1$ については、設定方法がないため集水を実施した位置(切羽面のセンター)と境界との平均的距離 $r_1=300\text{cm}$ とした。

以上の値を③式に代入した結果 $k_s \approx 7.0 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ となった。

(2)水位回復試験

水位の回復と経過時間との関係は、図-4のとおりとなった。透水係数の算定方法については、算定の範囲が明確に示されていないため、100~500, 500~1000secの間について④式を用いて透水係数を推定した。その結果、表-4に示すとおりであった。

6. まとめ

以上、2つの方法で透水係数を推定した結果、ほぼ同様な値が得られた。今後、地盤改良の効果を判定する際の簡易的な方法としてボーリング本数等も含めて、本方法の信頼性をさらに高めていく必要があると思われる。

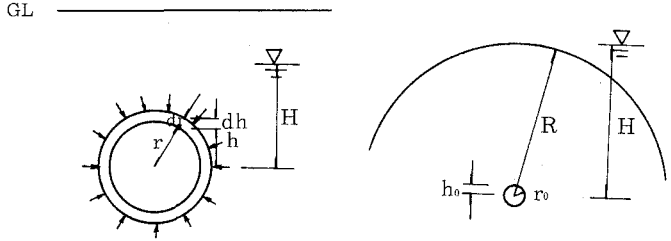


図-4 推定式の説明

表-2 湧水量測定結果

孔番	湧水量 (ml/sec)
1	12
2	6
3	60
合計	78

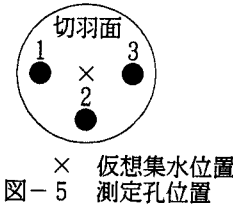


図-5 仮想集水位置 測定孔位置

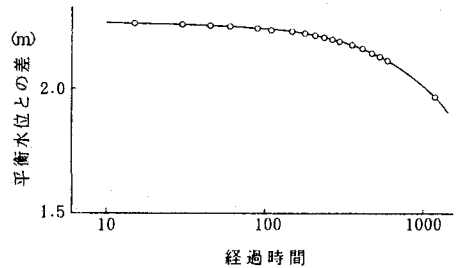


図-6 水位回復試験結果

表-4 水位回復試験結果

経過時間 (sec)	100	500	1000
水位差 (cm)	224.3	213.3	201.3
透水係数 (cm/sec)	$7.2 \times 10^{-8}$		$6.7 \times 10^{-8}$