

日本電信電話公社九州電気通信局 正員 ○ 高森彬文

正員 志村博正

坂本三千男

1. まえがき

沖積シラス地盤は流動化し易い等、不安定な土質である為、シールド工事の立坑を構築するにあたり、当地盤における最適な薫液注入方法を見出すべく実験計画法による各種実験を行ったが、その結果についてまとめたものである。また、実際の立坑工事における注入前後の地盤の変化について報告する。

2. 地質

地質調査のボーリングは立坑予定地で深度 25 mまで行った。工事位置とその地層縦断図を図-1, 図-2 に示す。

現場に分布する土質はガラス・軽石質の細砂・中砂が多く、構成粒子及び、軽石量等によって上部砂層、中間微砂層、下部細砂層に大別でき、土質性状は次のとおりである。地質調査試験結果を表-1 に示す。

(A) 土の単位体積重量は 1.8 t/m³ 程度以下で小さく、土粒子の比重も小さい。含水比は通常の砂質土より大きく、間隙比も大きい。また、粒度は均等係数は比較的良好か、部分的には大小粒が互層をなしている。

(B) 透水係数は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s のオーダーを示し、地下水位は GL-3m で間隙水圧はほぼ静水圧を示す。

(C) 各層の境は不明瞭で N=10 前後の緩い締まり具合を示し、貝殻片・腐植土を認めることが出来る。また、ボーリング結果から土性は動的作用に対して緩い状態となり崩壊し易い。

3. 現場注入実験

本現場の沖積シラスは、前述したように特殊な性質を有した土質であるが立坑工事に伴う止水と地盤強化について効果的な薫液注入工法を選定する為、発進立坑を利用して注入実験を行った。

3.1 実験計画

実験はシールド工事の発進部止水の注入工事等にも利用出来るように計画した。実験の要因は止水壁の有無、注入工法、薫液とし、壁の造成はジエットクラウトと CCP 工法によった。注入は浸透注入による従来のロッド工法、及びロッドの先端だけをストレーナ加工したロッド式ストレーナ工法とし、薫液は溶液型で強度の期待出来るものとして CW-3 号と CW-2A 号を選定した。実験のわりつけは直交表によって表-2 のとおりとした。

3.2 実験と結果

実験は GL-8.5 ~ 13.5 m の注入範囲で表-2 の 4 スロックを注入ピッチ 100 cm、注入率 36 % で行った。注入完了後、立坑の掘削とともに浸透固結割合(計画改良面積に対する固結範囲)を調査し、またサンドケルのコア採取を行い室内試験を実施した。判明した結果は次のとおりである。

(1) 浸透固結割合を $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ブロックについて深度 /m 毎に測定した結果が表

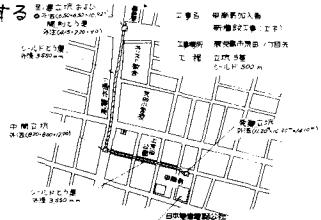


図-1. 工事位置図

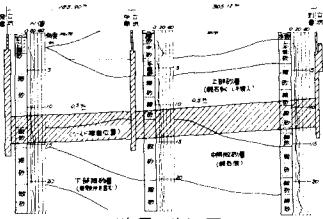


図-2. 地層縦断図

表-1 地質調査試験結果

試験番号	上部砂層	中間微砂層		下部細砂層
		厚さ	単位体積重量	
1-A	1.7 ~ 2.0	1.60 ~ 1.62	1.80 ~ 1.85	
2-B	2.4 ~ 2.6	2.00 ~ 2.07	2.52 ~ 2.57	
3-C	1.9 ~ 2.6	2.02 ~ 2.07	2.08 ~ 2.09	
4-D	0.78 ~ 1.05	2.03 ~ 2.05	2.09 ~ 2.15	
地質学的	0.5 ~ 0.65	2.02 ~ 2.03	2.00 ~ 2.05	
物理的	1 ~ 2.7	0 ~ 48	27 ~ 30	
電気的	37 ~ 44	24 ~ 33	54 ~ 59	
力学的	3 ~ 4.1	10 ~ 41	9 ~ 10	
水理的	0 ~ 2.1	4 ~ 18	2 ~ 3	

表-2 直交表によるわりつけ

試験番号	L ₄ (2 ³)			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1 (A)
2	1	2	2	2 (B)
3	2	1	2	3 (C)
4	2	2	1	4 (D)

止水壁の有無: A1(有), A2(無)
注入工法: B1(ロッド注入), B2(ロッド式ストレーナ注入)
薫液: C1(CW-3号), C2(CW-2A号)

表-3. 一般注入による浸透固結割合

深さ (m)	浸透固結割合 (%)				
	1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	平均 (%)
0.0-2.0	65.1	9.0	10.5	11.5	12.5
1 (A)	(4.5)	-	90	97	96
2 (B)	63	58	56	61	(7.1)
3 (C)	0	0	0	0	(4.5)
4 (D)	56	59	70	75	65

注 1: 深度は GL- を表わす。

注 2: 常用値()内を除く。

- 3 である。表から実験計画による分散分析の結果は、要因の寄与率（総変動に対する変動の割合）が e_A (止水壁の有無)= 38%, e_B (注入工法)= 6%, e_C (薬液)= 56% である。室内試験結果は一軸圧縮強度が $0.6 \sim 1.9 \text{ kg/cm}^2$ を示し、透水係数は $10^{-6} \sim 10^{-5}$ に改良され、地盤改良は効果ありと判断される。

(2) ジェットストラウトの有効飛距離は $1.0 \sim 1.6 \text{ m}$ で膜の厚さは $8 \sim 15 \text{ cm}$ という結果を得たが、軽石礫層では若干低下している。CCP工法はコアの一軸圧縮強度が 1.8 kg/cm^2 で透水係数は 10^{-5} に近く、十分止水性は期待出来る。

4. 立坑工事における薬液注入とその結果

発進立坑は柱列式鋼管土留工法を用いたが、钢管杭を巻いているソイルセメントの生成が軽石層で不十分な為、土留壁の止水効果が十分でなく $GL - 8 \text{ m}$ 以深では漏水が多くなり土留背面の止水と地盤強化を図る為、実験結果に基づき立坑全周に図-3 の薬液注入を施工した。中間立坑は発進立坑の施工実績から土留壁の止水性を向上させる為、ソイルセメント杭を併用した改良型土留工法を採用した。しかし、 $GL - 6.2 \text{ m}$ 以深で壁からの漏水とシラス特有の土砂流出がしばしばあった為、 $40,040 \text{ l}$ の注入を行い完全止水の目的を達した。到達立坑は中間立坑と同じ土留工法を用いたが $GL - 7 \text{ m}$ 及び $GL - 11.5 \text{ m}$ で漏水を生じ計 $38,840 \text{ l}$ の注入を行い、また開削とう(洞)道との連絡箇所で钢管杭と鋼矢板の隙間 ($GL - 2.9 \sim 9.6 \text{ m}$ 間の 6.7 m) に $12,900 \text{ l}$ の注入を行うことによって無事に立坑の掘削を完了した。

注入結果は発進立坑の土留背面及び到達立坑の開削洞道との連絡箇所で地盤の変化を調査した。調査は注入前後の現場透水試験と標準貫入試験を行ったが、結果を図-4、図-5 に示す。

5. 注入効果

注入効果は実験及び立坑工事から、以下のことが判明した。

- (a) 注入工法は一軸圧縮強度及び透水係数の結果からロッド式ストレーナ注入がすぐれている。
- (b) サンドケルの強度は一般の砂質土より小さい。これはシラスの特徴で内部摩擦角の減少によるものと考えられる。
- (c) 注入率は浸透固結割合からすれば 50% 程度が必要である。また、ケルタイムは漏水層で薬液が希釈されること等を考慮すれば 3 分程度が適当と判断され、吐出量は注入管理曲線から 25% 程度での注入が望ましい。
- (d) ロッド式ストレーナ注入は軽石層等では改良効果が若干劣るが、一般的のシラス層では効果が十分である。
- (e) ジェットストラウト工法と CCP 工法は地盤強化、並びに不透性を付与することが可能である。なお、CCP 工法等で遮水壁を造成することは注入効果を一層高める。
- (f) シールド切羽への漏水防止は透水性が 10^{-5} に改良されていることから判断して、注入効果は期待出来る。

6. おわりに

シラスへの薬液注入が難かしい理由は①地質が漏水層の多い高含水性で、粒子の間隙率が大きい。②軽石・貝殻等の層に薬液が集中して逸走し易い。③含有粘土による粘着力がある為、均一な浸透注入を図ることが難しいこと等が考えられる。本工事は CW-3 号によるロッド式ストレーナ注入で無事立坑の完成を見ることが出来たが、近年の薬害、並びに工事公害防止の観点からすれば、今後は改良効果を高めると考えられる二重管方式等の工法が要求されよう。沖積シラス地盤は多種多様な土層形態が見られる“特殊土”である為、計画どおり地盤改良を図ることは至難なことと言わざるを得ないが、本工事から考えられることをえて述べれば沖積シラスにはある程度比重が高く、粒子の大きな薬液で固結時間の短い工法がうまく浸透すると考えられる。

最後に、今後各所において幾多の実験等を繰返すことにより確からしい工法が見出されることとなろうが、本実験、並びに工事がその一つの参考になれば幸いである。

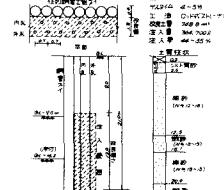


図-3 注入範囲

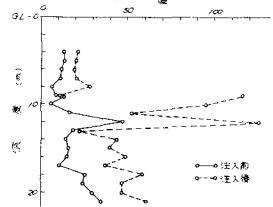


図-4 標準貫入試験値の変化

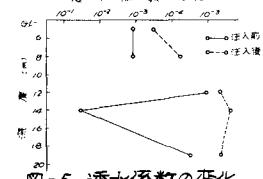


図-5 透水係数の変化