

III-126 薬液注入の効果判定方法について

鹿島建設技術研究所 正員 坪井直道

〃 正員 木島詩郎

〃 正員 山本毅史

〃 〇正員 野村幸一

I. まえがき

薬液注入効果の判定方法としては一般に ①注入状態については掘削による方法 ②止水効果については揚水(または注水)試験 ③強度増加については各種サウンディング、などが実施されているが、いずれも作業上あるいは効果判定上に一長一短があり、注入効果の判定方法として充分でない場合が多い。今回、深層の被圧滞水砂レキ層を掘進するシールド工事に際し、シールド切羽面の安定を確保するための、薬液注入の現場実験工事を実施する機会を得たので、迅速かつ簡便な注入効果の判定方法として、4つの間接的な方法を採用し、これらの方法の信頼性について直接的な方法である「掘削による効果判定」結果と対比させて検討を加えたものを報告する。

II. 薬液注入の効果判定方法

シールド工事に対する薬液注入の効果判定の項目としては、①注入状態 ②止水、漏気防止効果 ③強度増加等をあげることができる。今回採用した間接的な効果判定方法は、次の4方法である。

(1) 中性子水分計による方法(注入状態の測定)

注入する薬液に珪素を混合し、薬液注入前に設置した観測パイプ($\phi 50\text{mm}$)内に中性子水分計を挿入し、深度方向に一定間隔で測定し、そのカウント数の変化(珪素を含んだ薬液が存在すればカウント数が大巾に低下する)から薬液の注入状態を把握する。

(2) 水位回復試験による方法(止水効果および注入状態の測定)

注入対象層にストレーナを加工した試験パイプ($\phi 50\text{mm}$)を注入前後に設置し、このパイプ内から地下水を排除し、水位回復速度の変化から止水効果、注入状態を判定する。

(3) 現場透気試験による方法(漏気防止効果、注入状態、注入処理厚の測定)

試験パイプは(2)の水位回復試験による方法と同様とし、コンプレッサーにより地盤内に空気を圧送し、送気圧(P)と漏気量(Q)との関係から漏気防止効果、注入状態、注入処理厚を判定する。

(4) 注入圧の経時変化の測定による方法(注入状態の推定)

薬液注入(定量注入)における注入圧は地盤内に薬液が脈状または均等に浸透する際の抵抗を示すもので、その経時変化は地盤内へ薬液が浸透する様子を示しているものであるから、この注入圧の経時変化のパターンから注入状態を推定するものである。なお注入圧、注入量は「電磁式流量計、圧力計により自記記録する。

III 実験概要および注入実績

(1) 実験位置の土層条件

実験は平面的に $11\text{m} \times 10\text{m}$ の範囲で行なったが注入位置の土層構成は図-1に示した。

このうち注入を対象とした層はGL-17m~-24.5mのレキ層(層厚7.5m)で上部から、①上部レキ層 ②、中間砂層(細砂層と粗砂層) ③下部レキ層で構成されている。各層の粒度組成を図-2に示した。

表-1 実験概要及び注入実績表

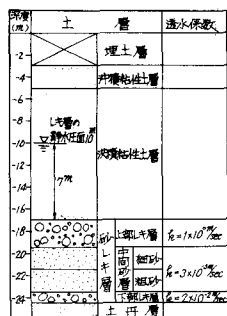


図-1 実験位置の土層構成

薬液	注入目的	注入方法・数	注入孔ピッチ	注入ステップ	ゲル化時間	注入圧	注入量	平均注入率
懸濁液型薬液	セメント バントライト (C.B.) ILW	層境や空気の の大きいところ を詰める状態 注入を目的	単管式ロッド 注入(下降式) (28孔)	正方形 2.5m	2ステップ 上部レキ層-1 下部レキ層-1	60分 150分	69m³	注入対象土量 $V = 95\% \times 11750$ $= 725\text{m}^3$
溶液型薬液	溶液型 水ガラス系 薬液 アクリル アミド系 薬液	土粒子の細かい 間隙に浸透 させて固める 均等注入 を目的	二重管式ロッド 注入(下降式) (36孔)	正方形 1.8m	7ステップ 上部レキ層-3 中間砂層-2 下部レキ層-2	3分 4分	61m³	合計注入量 $Q = 251\text{m}^3$ 平均注入率 $70\% = \frac{251}{725} \times 100$ $= 35(\%)$
							44m³	

(2) 注入実績

実験工事の注入実績を一覧して、表-1に示した。

IV. 各注入効果判定方法の測定結果

各効果判定方法の試験装置

置は各測定結果の図に併記した。

(1) 中性子水分計による方法

各薬液注入後における中性子水分計の測定結果のうちから、代表的な1例を図-3に示した。この図の計数比の低下している部分が珪素を含んだ薬液が注入されていることを示しており、懸濁液型薬液では計数比が局部的に低下しているが、溶液型薬液では全体的に低下している。中間砂層の下部粗砂層以下では計数比の低下はみられない。

(2) 水位回復試験による方法

上部レキ層と下部レキ層を対象として、各薬液注入前後に測定した水位回復試験結果を図-4に示した。① 上部レキ層については懸濁液型薬液の注入の前後において水位回復速度に変化が認められない。溶液型薬液の注入においては、注入後に水位回復速度に低下が認められた。② 下部レキ層については、いずれの薬液の注入においても、水位回復速度に変化は認められなかった。

(3) 現場透気試験による方法

(i) 各層別の現場透気試験

各種薬液注入後における送気圧(P)と漏気量(Q)との関係を上部レキ層、下部レキ層について図-5に示した。① 上部レキ層については懸濁液型薬液の注入のみでは漏気量(Q)の変化はほとんど認められなかったが、溶液型水ガラス系薬液、アクリルアミド系薬液の注入後

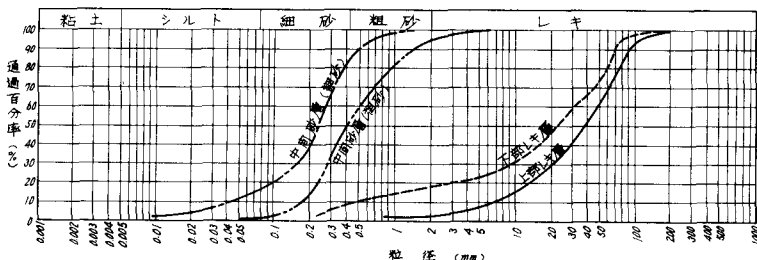


図-2 注入対象土層の粒度分布曲線

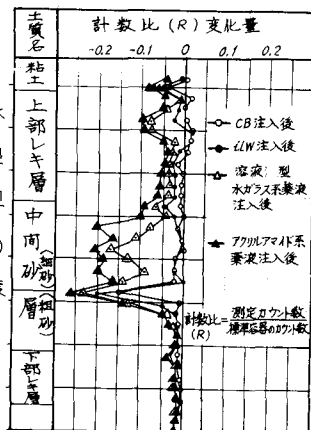


図-3 中性子水分計測定結果

では漏気量(Q)は注入前に比べて、それぞれ 1/70、1/60 に低下した。② 下部レキ層についてはいずれの棄液の注入後においても漏気量(Q)の変化は認められなかった。

(ii) 全層の現場透気試験

全棄液注入前後における送気圧(P)と漏気量(Q)との関係を図-6に示した。注入前後において漏気量(Q)が急増する点の送気圧(P)は、それぞれ 0.7 kg/cm^2 、 1.2 kg/cm^2 である。この注入前後の送気圧(P)の変化量 ΔP は 0.5 kg/cm^2 であった。

(4) 注入圧の経時変化のパターンによる方法

測定した注入圧の経時変化のパターンは図-7に示したように6種類のパターンに分類することができる。この6種のパターンはさらに、(a)、注入圧が徐々に上昇するグループ(D、Eパターン)、(b)

注入圧が変化せず一定の値を

示すグループ(A、Bパターン)

(c)、注入圧が途中から低下あるいは変動するグループ(C、Fパターン)の3グループに分類することができる。

V 測定結果の検討

(1) 直接的な方法(大口徑調査孔による掘削観察)と間接的な方法(中性子水分計、水位回復試験、現場透気試験による方法)との比較検討

「中性子水分計による方法」、「水位回復試験による方法」、「現場透気試験による方法」の測定結果から各々の効果判定方法について推定したものと実際の棄液の注入状態を示している「大口徑調査孔($\phi = 1 \text{ m}$)の掘削観察結果」と対比させて表-2に一覧した。この表からわかるように「中性子水分計に

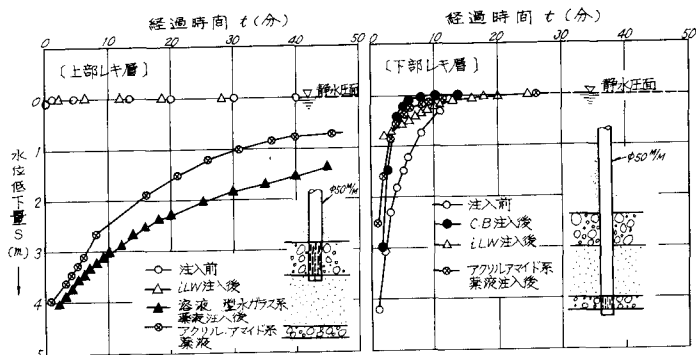


図-4 上部レキ層下部レキ層水位回復試験結果

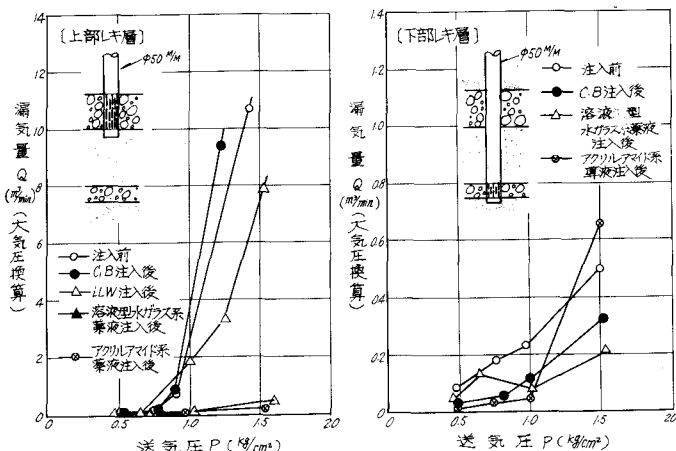


図-5 層別の現場透気試験結果

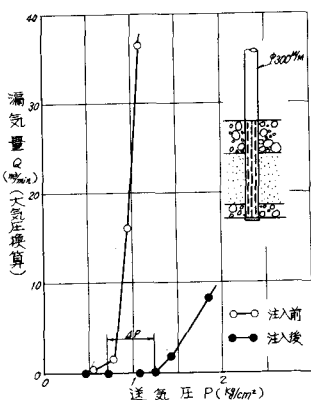


図-6 全層の現場透気試験

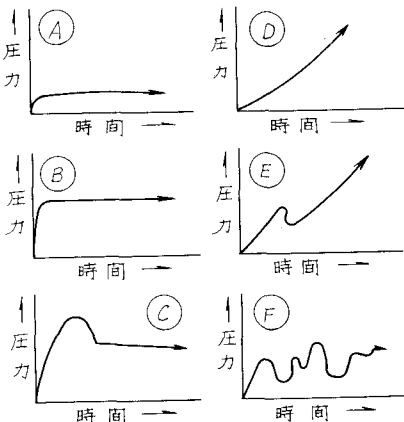


図-7 注入圧のパターンの分類

よる方法」から推定した注入状態

と実際の注入状態とは全く一致している。「現場透気試験および水位回復試験による方法」では、アクリルアミド系薬液が「上部レキ層」に脈状注入しているのか、浸透注入しているのか、判断がつかない点を除いては実際の注入状態とほぼ一致した推定結果を得た。また、止水、漏気防止効果についても判定できることがわかった。

表-2 直接効果判定方法と間接効果判定方法との注入状態の比較

	直接効果判定方法 大口径調査孔(φ700)	間接効果判定方法		
	中性子水分計による方法	現場透気試験による方法	水位回復試験による方法	
粘土層	CB, ILWの脈状注入	CB, ILWの脈状注入		
上部レキ層	水ガラス系薬液、アクリルアミド系薬液の浸透注入	水ガラス系薬液、アクリルアミド系薬液の浸透注入	溶液型水ガラス系薬液は浸透注入	溶液型水ガラス系薬液は浸透注入
	ILWの脈状注入	ILWの脈状注入		
中間砂層	水ガラス系薬液、アクリルアミド系薬液の浸透注入	水ガラス系薬液、アクリルアミド系薬液の浸透注入		
	全薬液の脈状注入	全薬液の脈状注入		
砂層	薬液は注入されていない。	薬液は注入されていない。		
	薬液なし	薬液なし		
下部レキ層	薬液は注入されていない。	薬液は注入されていない。	薬液は注入されていない。	薬液は注入されていない。
	薬液なし	薬液なし		
土層			CB, ILWは浸透注入されていない。	

(2) 全層の現場透気試験による注入処理厚と実際の注入処理厚の比較検討

図-6に示すように全薬液注入前後の送気圧(P)の変化量は 0.5 kg/cm^2 である。この送気圧の増加分 ΔP は注入地点の被圧水頭の増加をあらわす。すなわち、薬液注入により新たに相対的な不透水層が形成されたことを示している。今回、 $\Delta P = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ であるので、注入処理推定厚さは5mであり、実際の注入処理厚4.5m(上部レキ層2.5m中間砂層2m)とほぼ同じ値である。このように全層の現場透気試験により、注入処理厚は推定できることがわかった。

表-3 注入圧のパターン、割合一覧表

(3) 注入圧の経時変化のパターンによる注入状態の検討

実際の薬液の注入状態から①脈状注入している懸濁液型薬液と②浸透注入している溶液型薬液とに分けて、そのパターンの割合(度数)を一覧すると表-3のようになる。溶液型

薬液	(A) グループ	(B) グループ	(C) グループ
懸濁液型	15%~35%	10%~55%	30%~35%
溶液型	30%~55%	20%~60%	10%~30%

薬液は懸濁液型薬液に比べて①注入圧が徐々に上昇する(A)グループの割合が2倍となっている。②注入圧が途中から低下あるいは変動する(C)グループの割合が1/2となっている。この注入圧のパターンの割合は、土質条件、注入条件によって変化するものであって、明確に注入状態を推定することは、現状では非常に困難であるが、実際の注入状態と対比させて考えると、(A)グループの割合が多く、(C)グループの割合が小さい場合には、比較的浸透注入されており、逆の場合には脈状に注入されている確率の高いことを示しているものと推定される。

Ⅶ あとがき

薬液注入の効果判定方法として、今回採用したものは、それぞれの特徴を発揮し、注入効果をかなり正確に確認できることが判明した。すなわち①薬液の詳細な注入状態については「硼素をトレーサとした中性子水分計による方法」で②「層別または全体的な薬液の注入状態および止水、漏気防止効果」については「水位回復試験による方法」と「現場透気試験による方法」で③「薬液注入処理厚の測定」は「全層に対する現場透気試験による方法」でそれぞれ確認あるいは測定できることがわかった。

また薬液注入時における「注入状態」については、「注入圧の経時変化のパターンによる方法」で、概略を推定できることが判明したが、まだ、問題点や不十分な点が多いため、今後、数多くのデータを集積検討して、注入時に注入状態を正確に把握できる方向に進めてゆきたいと考えている。

※参考文献：“ほう素をトレーサとした中性子水分計の応用(その1)”有泉昌、山本毅史