

16. 新しい薬液注入工法と在来工法との比較実験

建設省土木研究所 千田昌平・苗村正三
武田節朗

1. まえがき

薬液注入工法は比較的簡便でかつ経済的な地盤改良工法として都市土木工事を中心にさかんに利用されてきている。しかし昭和49年に薬液による地下水汚染事故が発生したことより建設省では「薬液注入工法による建設工事施工に関する暫定指針」を通過し、実施現場や使用薬液を規制し、地下水監視を義務づけている。このような背景に対応して、在来工法の問題点を把握し、注入範囲外に薬液が流出することなく確実に地盤を固結し、しかも作業性や経済性、安全性に優れた工法の開発が望まれている。そこで筆者らは在来工法の注入効果を確認するために注入実験を行なうとともに、新しい工法として瞬結性薬液と長いゲル化時間の薬液を合理的に組合わせた複合注入工法と、水ガラス系注入材の硬化剤として炭酸ガスを使用する工法を提案し、その注入効果や施工性について在来工法と比較実験を行なった。その結果良好な注入効果を得たので、ここにその概要を報告する。

2. 実験

2.1 実験方法

本実験では薬液注入工法の主要目的の1つである止水性を取り上げ、その効果を比較するため各種注入工法により止水壁を造成し、固結形状及び透水係数の調査を行なった。注入地盤は図-1に示す長さ8m×幅4m×深さ4mのビットに図-2のような粒度分布の試料土をビット天端までまき出し、棒状振動機により水中振動締固めを行ない造成した。さらに押え盛土として1m余盛りを行なった。

2.2 実験条件

各注入工法の地盤条件及び注入条件を表-1に示す。注入実験は実用されている注入機材を用いて、ロッド工法、2管ロッド工法、ダブルパッカー工法の在来工法に加え、前述した新工法の複合注入工法と炭酸ガス工法について行なった。注入時の地下水位はビット底面から3mの高さとし、ビットのコンクリート壁と固結物とのすき間から地下水が漏水しないようにコンクリート壁の直近で少量のシール注入を行なった。注入孔ピッチが注入効果に及ぼす影響を明らかにするためにケース(2)では0.8m、ケース(3)では1.0mに注入ピッチをと

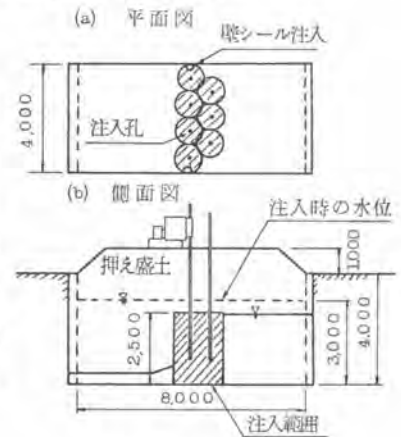


図-1 注入地盤

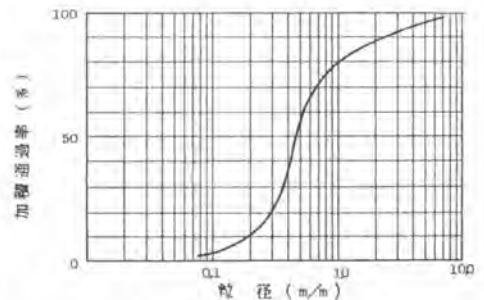


図-2 試料土の粒度分布

り、その他の条件は同一とした。

2.3 新工法の注入原理

複合注入工法は2重管ロッドでボーリングを行なったのち、まず瞬結性の注入材による1次注入を行ない注入管周辺に注入材の逸脱防止のためのパッカーを形成するとともに水みちや粗い地層を充填する。次にゲル化時間の長い浸透性の良好な注入材を用いて1次注入により均質化された地盤中にストレーナー方式により2次注入（本注入）を行なう。このように限定された範囲内で土の構造を破壊することなく土粒子の間隙に注入材を均質に浸透させることによつて確実な効果を得ようとするものである。図-3に複合注入工法に用いる注入管先端部の構造と作動原理を示す。図-3(a)はボーリング時の各バルブの位置を示す。注入はスチールボールを内管内に投入し内管を閉塞したのち図-3(b)のように内管からゲル化時間の長い注入材を、また外管から瞬結性の硬化剤（今回の実験では酸性シリカゲルを用いた）を送り瞬結パッカー注入を行なう。続いて図-3(c)のようにゲル化時間の長い注入材をストレーナの吐出口より地盤に注入する。次に、炭酸ガス工法は水ガラス系注入材の硬化剤として炭酸ガスを用いたもので、在来工法に比べて安全性、経済性に優れている。特に安全性については地中に未反応の炭酸ガスが残っても時間の経過とともに気化するため地下水の汚染が少ない。

表-1 地盤条件と注入条件

実験ケース	注入工法	硬化剤	ゲル化時間	注入圧力	注入量	注入ステップ	地盤条件	
							分類	permeability
(1)	ロッド	エチレンカーボネイト 重炭酸ソーダ	3~4分	2.0 MPa	2.830 L	0.5 m	Bpu	50 %
(2)	2重管ロッド	瞬結性 重炭酸ソーダ	5~8分	*	2.250	0.2	*	4.0
(3)	*	*	*	*	3.080	*	*	4.6
(4)	*	*	2.5分	8 MPa	4.230	*	*	*
(5)	ダブルパッカー	グリコキサール エチレンカーボネイト	40~50分	1.2 MPa	6.060	0.33	*	30
(6)	複合注入	瞬結性 シリカゲル グリコキサール エチレンカーボネイト	4~5分 13~15分	2.0 MPa	2.616	0.5	*	4.5
(7)	炭酸ガス	炭酸ガス	-	0~1.0 MPa	2.800	0.3	*	*

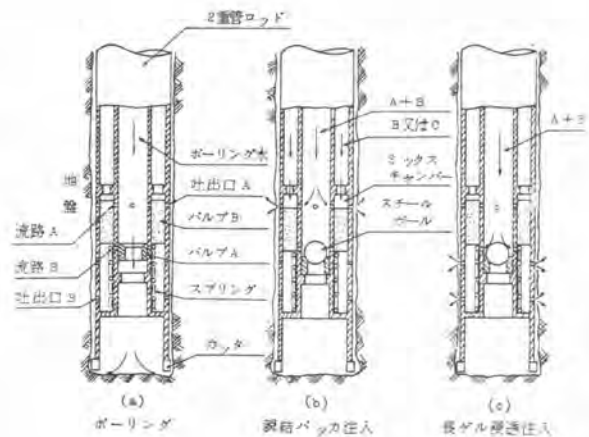


図-3 複合注入工法の注入管先端部

管からゲル化時間の長い注入材を、また外管から瞬結性の硬化剤（今回の実験では酸性シリカゲルを用いた）を送り瞬結パッカー注入を行なう。続いて図-3(c)のようにゲル化時間の長い注入材をストレーナの吐出口より地盤に注入する。次に、炭酸ガス工法は水ガラス系注入材の硬化剤として炭酸ガスを用いたもので、在来工法に比べて安全性、経済性に優れている。特に安全性については地中に未反応の炭酸ガスが残っても時間の経過とともに気化するため地下水の汚染が少ない。

3. 実験結果

各工法による固結形状を写真-1~4及び図-4~6に示す。また止水壁の透水係数、固結土量などを表-2に示す。止水壁の透水係数は壁が計画どおりの厚さを有するものとし、止水壁の前後の水位の変化から、その透水量を求め算定した。注入地盤の透水係数は $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 程度であったが、ロッド工法のケース(1)及び2重管ロッド工法のケース(2), (3)は、1列目の注入後 $1.0 \sim 3.5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ に、さらに2列目の注入後 $5 \sim 8 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 以下になった。また2重管ロッド工法のケース(4)及びダブルパッカー工法のケース(5)では2列目の注入後透水係数が $2.0 \sim 2.5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ とかなり減少した。複合注入工法及び炭酸ガス工法は1列の注入しか行なわれなかったが、地下水位の

変化が非常に少なくほぼ完全な止水壁となっていた。

次に固結形状を比較すると、ロッド工法の固結物は写真-1及び図-4に示すように、固結物に高低差があり、また下部で大きく広がっていた。この下部の広がりや注入材がビット底面にあたって滞留し、固結したものと思われ、実際の現場においては改良範囲外に逸脱する分であると思われる。これらのことより止水壁としての効果はあまり期待できない。2重管ロッド工法のうちケース(2)の固結形状を写真-2及び図-5に示す。図のように固結物の形状は非常に複雑であり、また写真-3に示すように固結物には脈状注入が多数発生した。その脈状注入の両側に固結物が得られ、この工法の



写真-1 ロッド工法



写真-2 2重管ロッド工法

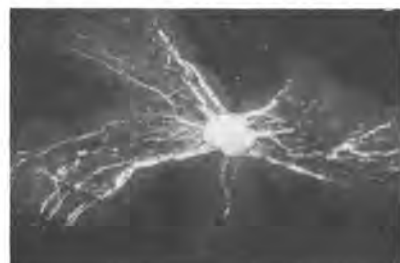


写真-3 2重管ロッド工法の脈状注入



写真-4 ダブルバッカー工法

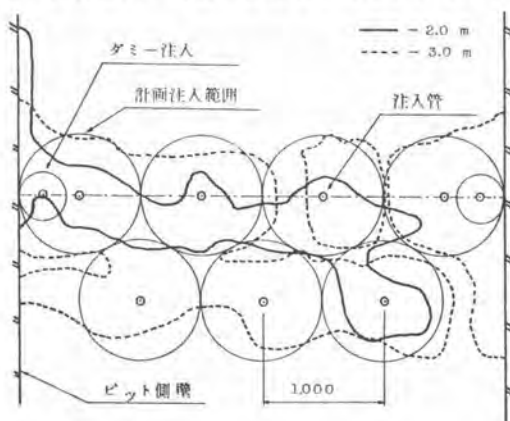


図-4 ロッド工法の固結形状

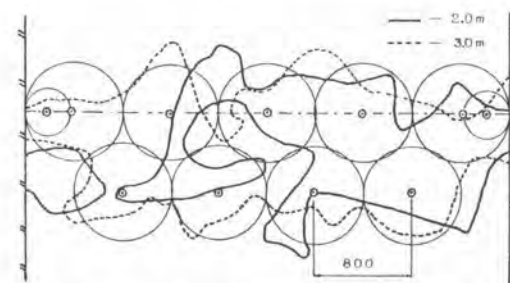


図-5 2重管ロッド工法の固結形状

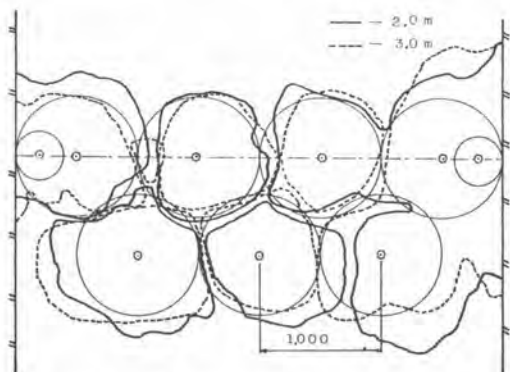


図-6 ダブルバッカー工法の固結形状

特徴である脈状注入ののち浸透固結といった固結機構が確かめられた。この脈状注入は、特に各列の注入孔の間を連続して走っていたが、一部注入管の近傍で注入材が浸透していない部分がみられた。ダブルパッカー工法によるケース(5)の固結物の形状を図-6に示す。固結物はほぼ連続しており固結物の大きさも概ね計画どおりで止水効果は期待できる。なおこの工法による固結物は写真-4のように筋がみられるが、これは地盤の不均一性によるものではなく注入工法の特徴によるものと考えられる。複合注入工法の固結形状を図-7に示す。固結物はビット側壁に近い所では壁に沿って下方に広がっているが、中央付近ではほぼ計画どおりの厚みで形成されており、単列注入であったがほぼ完全に固結物が連続していた。炭酸ガス工法も単列注入であったが、図-8のように固結物は連続していた。しかし、固結形状は2重管ロッド工法と同様に凹凸があり、瞬結性注入材を用いる工法の固結特性が現われていた。

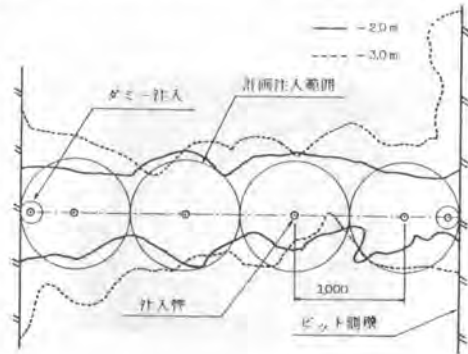


図-7 複合注入工法の固結形状

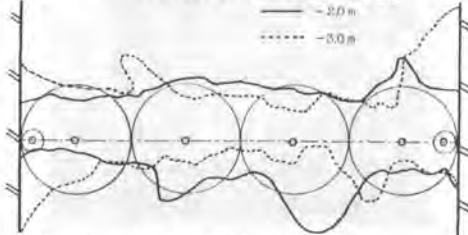


図-8 炭酸ガス工法の固結形状

表-2 透水係数と固結土量

実験ケース	注入工法	注入量	固結土量	増率率	透水係数	
					単列	複列
(1)	ロッド	3930 l	10.6 m ³	70%	$10 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$	$6.0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$
(2)	2重管ロッド	3350	14.5	51	3.5 *	5.0 *
(2')	*	3980	13.2	67	1.5 *	6.0 *
(4)	*	4250	11.5	63	5.0×10^{-4}	2.0 *
(5)	ダブルパッカー	6060	199	52	2.8 *	2.5 *
(6)	複合注入	2616	-	-	測定不可	
(7)	炭酸ガス	2600	-	-	*	

4 まとめ

各工法別の止水効果を比較するとロッド工法は計画注入範囲外へ注入材が逸脱し、また固結物の高さも予定の高さに達していないなどのことより十分な止水効果は期待できないと思われる。2重管ロッド工法では固結物に一部未固結部分があり、また脈状注入による固結の偏向により単列注入だけでは十分な止水効果は期待できない。しかし注入列を増すことにより各列の固結物が互いに補い合いある程度の止水性は高まるものと思われる。また注入孔ピッチによる注入効果の影響は、今回の実験においては顕著な差はみられなかった。ダブルパッカー工法は固結物の形状が計画注入範囲とほぼ一致しており止水壁として十分な効果があるものと思われる。複合注入工法はダブルパッカー工法と同程度の止水効果が得られた。またその作業性についても2重管ロッド工法と同様の迅速性を有し優れた工法であると考えられる。今後試験施工などを通じて注入地盤に応じた注入量や瞬結性注入材と長いゲル化時間の注入材との比率、注入管の耐久性などの調査を行ない注入設計法を確立していく予定である。炭酸ガス工法は硬化剤に炭酸ガスを用い安全性、経済性に優れた工法であり、その止水効果も2重管ロッド工法とほぼ同程度のものとなった。なお今回の実験では注入深度が浅いため低い圧力で注入を行なうことができたが、高い圧力を必要とする場合、定量の炭酸ガスを供給する注入モーターの構造について今後検討を重ねていく必要がある。