

薬液注入工法について

土質基礎研究室

Q. 1 薬液注入工法とはどのようなものですか？

A. 1 薬液注入工法とは一口でいえば固結性のある薬液を地盤中に圧入して透水性の減少、地盤の強化、変状防止等をはかる地盤改良工法で、特に都市土木関連において不可欠となっています。

地盤改良には大型機械により土と固化材を攪拌、混合し固結させる深層混合処理工法、地盤中に生石灰パイルを打設して、その脱水・固結作用で地盤を改良する石灰パイル工法などがありますが、これらとは区別されます。また、セメント系グラウトは強度及び経済性からみて最も一般的ではありますが、セメントの粒子が粗く、土中への浸透性は薬液に比べて劣る場合が多いです。

土質工学会（注：現在の地盤工学会）「地盤改良の調査・設計から施工まで」¹⁾によると注入工法が採用される目的と対象地盤は表-1 のようになっています。

表-1 注入工法の目的と対象¹⁾

止 水	立坑掘削における湧水防止	岩盤ひび割れ、透水層
	トンネル掘削における湧水防止及び抑制（シールド・トンネルも含む）	岩盤ひび割れ、透水層
地盤強化	トンネル掘削における地盤、切羽の崩落防止（シールド・トンネルも含む）	破砕帯、軟弱透水層
	トンネル崩壊区間の突破	崩壊岩石及び土砂
	凍結工法のための地下水流速の抑制	透水性地盤
	基礎及び地下掘削におけるバイピング、ボイリング、ヒーピングの防止	軟弱透水層、軟弱地盤
変状防止	基礎地盤の支持力増強、上載荷重の分散	軟弱地盤
	坑土圧構造物にかかる土圧の軽減	軟弱地盤
	掘削地盤付近の既設構造物の防護、土留壁の欠損部の防護	既設構造物下及び周辺地盤
	構造物の漏水防止	構造物中の水みち
	老朽構造物の強化	目地切れ部分、構造物のひび割れ
	トンネル覆工	不安定地盤と覆工との間の空隙
	地すべり防止	

本工法の特徴は、設備が小規模で狭い場所や低い空間で施工が可能であり、短期間に工事ができ、小回りのきくことです。急速施工が可能のため湧水防止などの応急工事、構造物基礎の掘削等の安全を図る補助工法として用いる例が多いです。急速施工の一例として、釧路沖地震での高盛土崩壊に伴う横断管渠破損の復旧では、薬液注入工法を刃口推進工法の補助工法として地山強化及び切り羽安定のために併用し、幹線道路のその区間を通行止めすることなく、大幅な工期短縮を可能にしました。

Q. 2 採用にあたっての問題点がありますか？

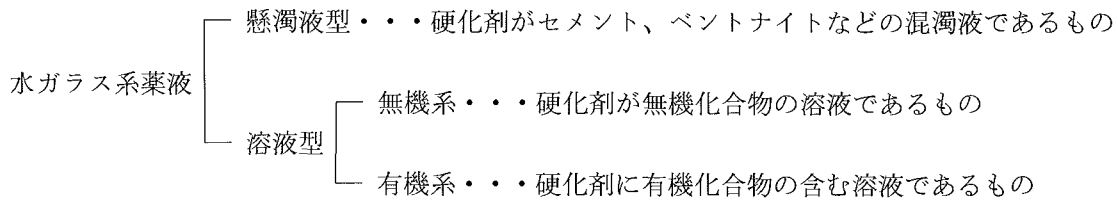
A. 2 薬液注入工法は地中注入であるため施工結果の状況が判断しにくく、効果の信頼性にやや欠けるところがありました。また、昭和40年代後半に地下水汚染などの社会問題を引き起こしています。このため、人の健康被害の発生と地下水汚染を防止するために「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」（昭和49年7月建設事務次官通達）が制定されました。この指針は工法の選定、設計、施工及び水質の監視について定め、特に水ガラス系以外の薬液の使用が禁止されるなど薬液注入工法を利用するにあたって厳しい規制となって現在に至っています。その後、「薬液注入工事に係る施工管理について」（平成2年9月建設大臣官房技術調査室長）という通達が出されています。これには注入量の確認、注入の管理および効果の確認、条件明示等の徹底を適切に行うための施工管理等について定められています。

Q. 3 薬液及び注入方式にはどのようなものがありますか？

A. 3 現在用いられている水ガラス系薬液の硬化剤の種類は次のとおりです。

これらの薬液は対象地盤の土質により使い分けます。

一般に薬液注入工法に採用されている注入方式は次



のとおりです。二重管ストレーナー工法（単相方式）は薬液の逸走を防ぐため、主剤と助剤を合流直前まで二重管を用いて分離して圧送し、合流後数秒でゲル化するようにした注入方式です。薬液が多数の孔から分散して水平に吐き出すため地盤に比較的均等に浸透しやすい利点があります。しかし、注入管の加工や設置に手数がかかり注入単価が高く、また、注入深度があまり大きくとれないなどの問題点を有しています。各種地盤に適用できますが、特に緩い砂層及び粘土に適しています。

二重管ストレーナー工法（複相方式）は注入管に二重管ロットまたは三重管のボーリングロットを用いて、瞬結型の薬液を注入したあと緩結型の薬液の注入が行われます。しかし、工法の原理上、瞬結の薬液をロット先端で混合するため混合性は必ずしも良好でなくゲル化が不安定になる恐れがあります。全地盤に適用できますが、特に中位からよく締まった砂層や比較的粘性土を含む砂層等によく適合します。

二重管ダブルパッカー方式は、ケーシングを建て込み、注入外管を挿入しその外周をシール材で充てんし

ます。ケーシング引き抜き注入内管を挿入し薬液を注入します。しかし、この工法は大きい径のボーリングを必要とし、シールグラウトの養生など施工時間がかかることなどから、現在では最も高価な工法です。砂質系地盤に適するといわれています。

注入方式の選定は表－２のように整理されています³⁾。

Q. 4 薬液注入による改良地盤は永久地盤として信頼できますか？

A. 4 水ガラスの硬化物はナトリウムとシリカの化合物になります。このうち、固結成分のシリカ分は経過日数とともに溶脱し、永久地盤としての信頼性に欠けています。

水ガラス系薬液のシリカ分はすべて固結定着していなければなりません。図－１³⁾に示すように無機系のアルカリ系水ガラスは10日前後でほぼ50%が溶脱しています。また、有機系薬液は徐々に溶脱し200日で約25%の溶脱がみられます。シリカゾル系は非常に安定しておりますが、体積収縮などで劣化することがわ

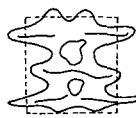
表－２ 注入方式の選定³⁾

注入方式	対象地盤	注 入 効 果	注入 ^(*) 形態	信 頼 性	現場周辺に与える影響	施工性・施工単価
二重管 単相注入	粘性土	脈状注入により、地盤強化の効果が得られる場合がある。	㊸	水が豊富な場合には効果的であるが、砂層に対する均質性の面ではやや問題がある。	・ゲル化時間が短いため、注入材の流亡は少ない。 ・地盤変状の可能性もあり、周辺構造物・埋設物等への影響について検討の必要がある。	・施工は簡便である。 ・やや高価である。
	砂	脈状注入と浸透固結により、比較的良好な改良効果が得られる。	㊸㊹			
	礫	良好な改良効果が得られる。	㊹			
	互 層	比較的良好な地盤改良が可能である。	—			
多重管 復相注入	粘性土	脈状注入により、地盤強化の効果が得られる場合がある。	㊸	比較的信頼性が高い。	地盤変状や周辺構造物・埋設物等への影響は比較的少ない。	・施工はやや複雑となる。 ・比較的高価である。
	砂	比較的良好な浸透固結による改良効果が得られる。	㊹			
	礫	良好な改良効果が得られる。	㊸㊹			
	互 層	良好な地盤改良が可能である。	—			
二重管ダ ブルパ ッカー注 入	粘性土	脈状注入により、地盤強化の効果が得られる場合がある。	㊸	信頼性が高い。	地盤変状や周辺構造物・埋設物等への影響は少ない。	・施工は比較的複雑となる。 ・反復注入が可能である。 ・高価である。
	砂	均質な浸透により、良好な改良効果が得られる。	㊹			
	礫	均質な浸透により、良好な改良効果が得られる。	㊹			
	互 層	全体に均質な改良効果が得られる。	—			

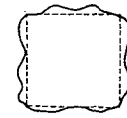
* 注入形態



㊸ 脈状卓越・部分固結化



㊹ 浸透卓越・部分固結化



㊺ 均質・一休固結化

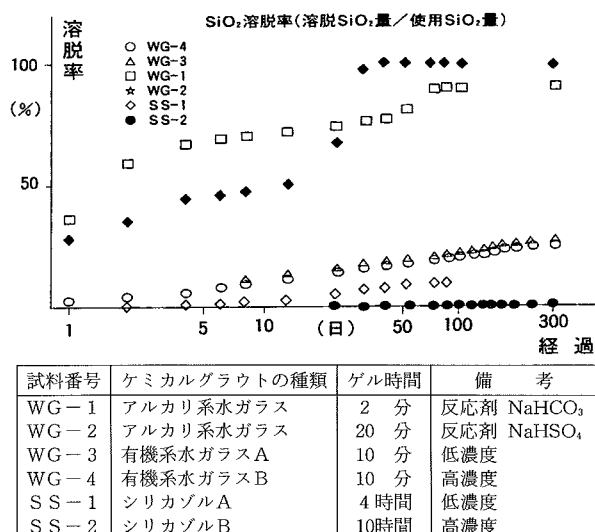


図-1 シリカの溶脱²⁾

かっております。固結する成分が溶出することは、それだけ固結物の安定性が劣ることになるわけです。

Q. 5 注入率及び注入範囲の決定は？

A. 5 注入率は注入範囲の地盤体積に対して注入される薬液量の割合を示すものとしています。

地盤体積 1 m^3 当たりの注入率は次のように示されます。

$$\lambda = n \cdot \alpha$$

λ : 注入率 (%)

n : 地盤の間隙率 (%)

α : てん充率

注入率は単に対象地盤の間隙率のみで求められるものではなく、注入の目的や効果の信頼度を考慮して決定します。なお、この式による注入率の算定は浸透注入（地盤中の土粒子の配列を変えないで、その中の空間を満たしながら浸透する形態）を前提としたもので、脈状注入（血管の分布状態に類似した形態）のような場合には適用が難しいといわれています。

次に注入率の算定に必要なてん充率は「設計資料」⁴⁾によると次のようになっています。

(1) 砂質土

- ・ 注入効果に対して高い信頼度を期待する場合は注入量が多くなるのでてん充率 α を 1.2
- ・ 通常の信頼度を期待する場合はてん充率 α を 1.0
- ・ 通常以下の信頼度を考える場合はてん充率 α を 0.9 に分類し上式に使用します。

「設計資料」⁴⁾によると最近の注入率の傾向は図-2

のようになっています⁴⁾。

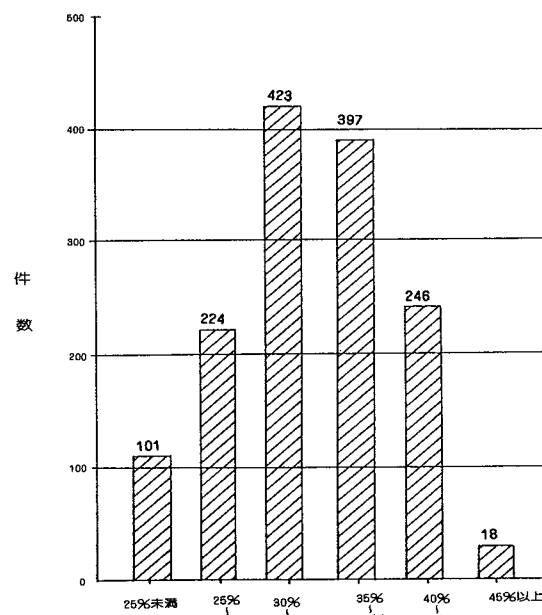


図-2 最近の注入率の傾向（砂質土）⁴⁾

(2) 粘性土

粘性土の場合は浸透注入でなく地盤が割裂注入（地盤が割裂して薬液の脈を形成し、その脈が地盤中に伸びていく注入形態）になり、注入率は理論的に決定できないので次のように求めます。

- ・ 粘性土の注入率は過去の実績などから、30%以上を確保しないと注入効果が顕著にあらわれないことから、30~35%です。
- ・ 腐植土層などの間隙の多い地質では注入のてん充率 (α) は間隙率 (n) に対して100%か、それに近い値を採用することが多いとなっています。

「設計資料」⁴⁾による標準注入率を表-3に示します。

注入範囲は基本的に計算式から得られた値のほか施工実績を参考とし、注入の重要度によって現場注入試験結果により決定する必要があります。また、ボーリング及びヒーピング等の安全率は注入目的に応じて $F_s = 1.5 \sim 2.0$ の範囲をとることが望まれます。

表-3 注入方式による標準注入率⁴⁾

注入方式 \ 注入率	砂質土	粘性土
二重管ストレーナ	40%	30%
ダブルパッカ	40%~50%	30%~50%

- 〔注〕 上記の率はマス注入としての例であり、次のようなケースでは注入率を多く取る必要がある。
- ア) 注入範囲が小さいか、注入幅がうすいとき
 - イ) 深い位置での注入
 - ウ) 既設構造物に近接した場合や土が一度乱された場合
 - エ) 完全に止水の効果を期待するとき
 - オ) 重要構造物の防護
 - カ) 河川、湖沼等に近いとき

Q. 6 注入孔の配置方法及び間隔は？

A. 6 配置は単列式と複列式とに大別され、薬液の浸透範囲が重なるように決定しなければなりません。浸透範囲の決定にあたっては、計算式から得られた値のほか、施工実績等を参考とします。なお、計算等で求めた範囲が小さな値となった場合でも基本的には複列の注入孔が配置できる範囲を確保することが必要です。

Q. 7 注入圧力と注入量による管理はどのようにしますか？

A. 7 注入圧力と注入量は注入効果に大きな影響を及ぼす要素であり、施工管理上非常に重要です。注入施工は注入圧力と注入量の両面から管理する必要があります。最適注入圧力は地盤条件、注入材種別、ゲル化時間、注入方式、注入時間、注入速度等によって左右されるものであり、設計に当たって定量的に最適注入圧力を求める手法は確立されていないのが実態です。しかし、注入圧力は注入形態、注入効果ならびに環境保全、安全に与える影響が大きく注入工事における管理の重要なポイントになります。注入圧力は原則として土被り厚、間隙水圧、構造物によって許容される最大圧力以下でなければなりません。

現状では、地盤・立地・環境の各条件、過去の注入実績ならびに試験注入等を総合判断し、現場に適したP-Q管理図（縦軸に有効注入圧力P、横軸に注入速度QをとったP～Q曲線）を作成し、注入時のP-Q管理図を解析しながら注入圧力と注入量を管理していくのが一般的な管理手法です⁵⁾。

Q. 8 使用注入量の確認は？

A. 8 注入量の確認は材料入荷時の写真、メーカーからの数量証明書等や作業日報によります。さらに、チャート紙の印字、プラントのタンクからミキサー間

の流量積算計からも水ガラスの日使用量を管理することができます。なお、監督職員は適宜注入深度の検尺に立会します。

Q. 9 注入効果の確認方法はどんなことをするのですか？

A. 9 一般的に用いられる手法には次のようなものがあります⁵⁾。

- ・色素判別による目視確認による注入効果の確認
- ・標準貫入試験等による注入効果の確認
- ・現場透水試験による注入効果の確認
- ・サンプリング試料による注入効果の確認
- ・各種の原位置試験等による注入効果の確認

以上の試験方法は適用範囲をよく理解して使用すべきです。さらに、複数の方法を用いて調査し注入効果の評価精度を高めることが望まれます。一般的には現場透水試験、N値測定による強度を確認する方法が行われているようです。写真-1は集水井の注入工への

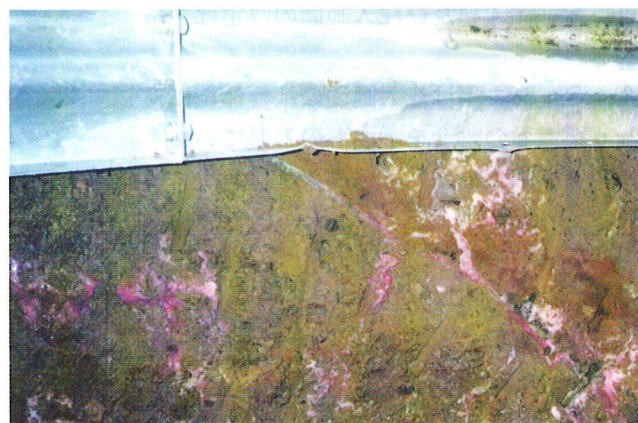


写真-1 色素判別による浸透状況

色素判別例であり、ピンクの着色部は薬液の浸透をあらわしています。

（文責：北野 初雄、山口 悟）

参考文献

- 1) 土質工学会：地盤改良の調査・設計から施工まで、PP262, 1978年。
- 2) 米倉亮三、加賀宗彦：サンドゲルの耐久性（その2）、第19回土質工学研究発表会、PP1537-1538, 1984年。
- 3) 土質工学会：薬液注入工法の調査・設計から施工まで、P P130, 1990年。
- 4) 日本薬液注入協会：薬液注入工設計資料PP27-28, 1996年。
- 5) 土質工学会：薬液注入工法における注入効果の予測確認手法に関するシンポジウム、PP21, 1993年。