株式会社グラウト企画

薬液注入工

技術者研修テキスト

～　基礎から現場実務まで、初心者のための解説書　～

発　行　：　株式会社グラウト企画
作成日　：　2026 年 7 月

はじめに

このテキストは、薬液注入工を初めて担当する技術者を対象に作成しました。「そもそも薬液注入って何？」という基礎から、現場での施工手順・品質管理・安全管理まで、図を使いながらわかりやすく解説しています。

【このテキストで学べること】
・薬液注入工のしくみと目的（第１～２章）
・工法の種類と材料の知識（第２～３章）
・設計書の読み方・計算の意味（第４章）
・実際の施工手順（第５章）
・品質管理の実務（第６章）
・安全に働くための知識（第７章）

第１章　薬液注入工とは

1.1　「地盤改良」って何だろう？

建物や道路を作るとき、地盤（土）が柔らかすぎると沈んだり崩れたりします。そこで工事前に地盤を強くしたり、水が通らないようにする「地盤改良」が必要になります。

【身近なたとえ】　お豆腐（柔らかい地盤）を固めて、がっしりした豆腐（改良地盤）にするイメージです。
薬液注入は「お豆腐に固める薬を注射する」ようなものです！

1.2　薬液注入工の目的

薬液注入工は、主に次の２つを目的として使われます。

目的	内容	具体例
固化（こか）	地盤を固めて強くする	掘削底面の崩壊防止
止水（しすい）	水が通らないようにする	地下水の侵入防止

1.3　どんな工事で使われる？

- 立坑（たてこう）工事 ― 地下に穴を掘るときの底面・壁面の改良
- シールドトンネル工事 ― トンネル掘削前の先行地盤改良
- 推進工事 ― 発進・到達坑口の地山の安定
- 建物基礎工事 ― 隣の建物を守りながら掘削するための地盤補強（H 鋼横矢板工法の背面地盤の安定）
- ダム・護岸の補修 ― コンクリートのひび割れへの充填・止水

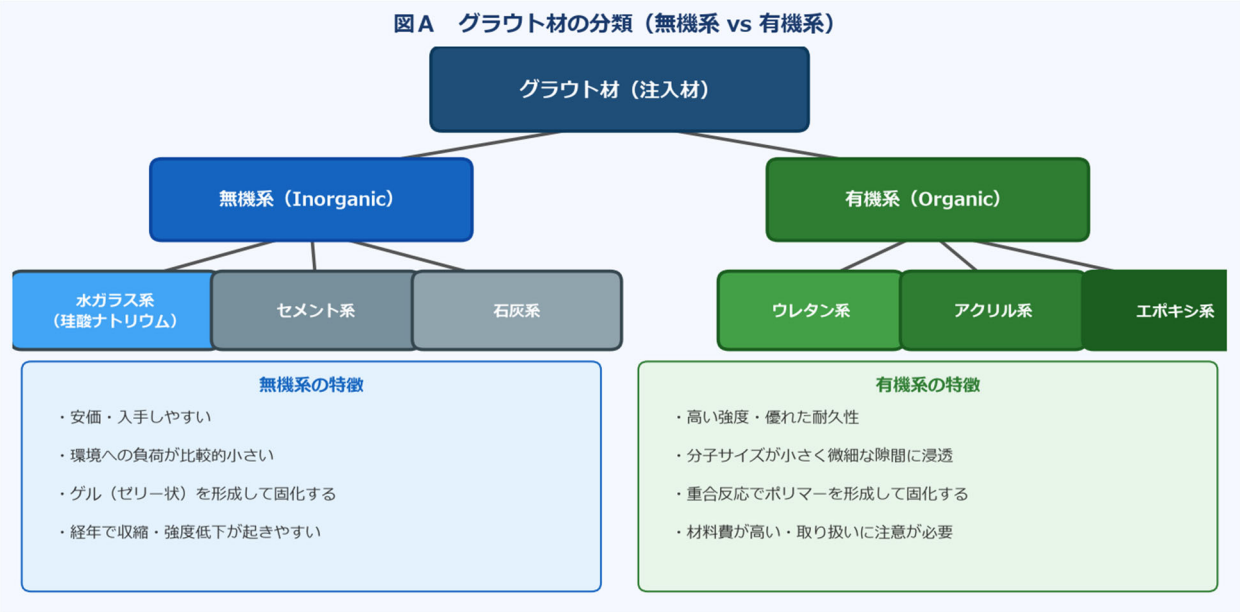
図１　薬液注入の基本原理（断面イメージ）

【ポイント整理】　薬液注入工 ＝ 地盤の隙間に薬品を注入して「固める」または「水を止める」技術
都市部の工事で活躍！　低騒音・低振動で既存建物の近くでも施工できる

第２章　使う材料（グラウト材）を知ろう

2.1　グラウト材の大分類：無機系と有機系

グラウト材（薬液）は、その化学的な性質から「無機系」と「有機系」の 2 種類に大きく分類されます。薬液注入工で最もよく使われるのは無機系の「水ガラス系」ですが、止水性・強度・耐久性が求められる場面では有機系も使われます。



図A　グラウト材の分類（無機系 vs 有機系）

2.2　水ガラス（珪酸ナトリウム）の性質

◆ 水ガラスとは？

水ガラスは「珪酸ナトリウム（$Na_2O{\cdot}nSiO_2$）」を水に溶かした液体で、A 液として使われます。無色〜淡黄色で少しとろみのある液体です。

性質	内容
化学式	$Na_2O{\cdot}nSiO_2$　（n はシリカモジュラス、一般に 2〜4）
外観	無色〜淡黄色の粘性液体
pH	11〜13（強アルカリ性）
比重	1.1〜1.5（濃度により異なる）
特徴	水に非常によく溶ける。高 pH では安定して溶液のまま保たれる

【なぜ高 pH で安定しているの？】　水ガラスの中のケイ素（Si）は、SiO_4四面体として水中に溶けています。
pH が高い（アルカリ性）環境では、SiO_4 は安定して液体のままでいられます。
ここに硬化剤（酸性や中性の薬品）を加えて pH を下げると、
Si–OH（シラノール基）が増え、Si–O–Si 結合を作り始めてゲル化します。

2.3　硬化剤の種類と反応のしくみ

硬化剤（B 液）は、水ガラスに加えることで pH を下げてゲル化を促す薬品です。硬化剤の種類によって反応速度・生成物・環境影響が異なります。

硬化剤の種類	化学反応式	特徴
塩化カルシウム（$CaCl_2$）	$Na_2SiO_3 + CaCl_2 \rightarrow CaSiO_3\downarrow + 2NaCl$	ゲル化時間の調整がしやすい。最も一般的。沈殿（↓）を生成して固化。
炭酸水素ナトリウム（$NaHCO_3$）重曹系	$Na_2SiO_3 + 2NaHCO_3 \rightarrow SiO_2{\cdot}nH_2O + 2Na_2CO_3$	環境負荷が低い。CO_2が反応に関与して pH を下げる。
リン酸（H_3PO_4）系	$Na_2SiO_3 + H_3PO_4 \rightarrow SiO_2{\cdot}nH_2O + Na_3PO_4$	より強固なゲルが得られる。pH を急激に下げる。

どの硬化剤を使っても、最終的に形成されるのは「シリカゲル（$SiO_2{\cdot}nH_2O$）」です。このゲルが土粒子の隙間に入り込んで固化・止水効果を発揮します。

図B　水ガラス（珪酸ナトリウム）のゲル化反応メカニズム

【ゲル化のしくみをまとめると】　水ガラス（高 pH）＋硬化剤（pH を下げる）

↓

≡Si–OH（シラノール基）が増加する

↓

≡Si–OH + HO–Si≡ → ≡Si–O–Si≡ + H_2O（脱水縮合反応）

↓

Si–O–Si の三次元ネットワーク ＝ シリカゲル（固体）が完成！

2.4　A 液・B 液のセット施工と二重管ストレーナ工法

薬液注入の標準工法は「二重管ストレーナ工法」です。まれにダブルパッカー工法が使われることもありますが、現場の大多数はこの工法です。

◆ 二重管のしくみ

管を二重にして A 液と B 液を別々の流路で地中先端まで送ります。管の本体（外管・内管ともに）は穴のないただの筒で、２液は決して途中では混ざりません。

- 内管：A 液（水ガラス）が通る内側の管。先端まで単独で流れる。
- 外管と内管のすき間：B 液（硬化剤）が通る流路。同じく先端まで単独で流れる。
- 外管（平管）：穴はなく、ただ A 液・B 液を先端まで運ぶ筒。

◆ 先端モニター（単管）での混合と放出

管の先端には長さ約 200mm の「モニター」と呼ばれる単管が取り付けられています。A 液と B 液はここで初めて合流・混合され、先端の開口部から地盤へ放出されます。放出されたグラウトは周囲の土粒子の隙間に浸透し、設定したゲルタイムで硬化して改良体を形成します。

名称	主成分	流れる場所
A 液（主剤）	水ガラス（珪酸ナトリウム）希釈液	内管の内部を先端まで
B 液（硬化剤）	塩化カルシウム・炭酸水素ナトリウム等	外管と内管のすき間を先端まで
混合グラウト	A 液＋B 液の反応物	先端モニター（単管）で初めて混合→開口部から放出

【二重管にする理由】　２液が混ざった瞬間から化学反応が始まります。地上で混ぜてしまうと管の中で固まって詰まります。
二重管で別々に送り、先端モニターで初めて混ぜることで、この問題を回避しています。
施工後は必ず水でフラッシング（洗浄）し、管内の残液が固化しないようにします。

◆ 施工手順：定量引上げ注入

設計で決めた 1 本あたりの注入量をステップ数で等分し、1 ステップあたりの注入量（定量）を求めます。その定量を注入したら二重管を 1 ステップ（例：25cm）引き上げ、また同じ定量を注入します。この繰り返しを改良の下端から天端まで行い、柱状の改良体を形成します。

- ①　改良下端の深さまで二重管を挿入する。
- ②　定量のグラウトを注入する（例：1 本注入量 ÷ ステップ数＝1 ステップあたりの注入量）。
- ③　二重管を 1 ステップ（例：25cm）引き上げる。
- ④　②～③を改良天端まで繰り返す。

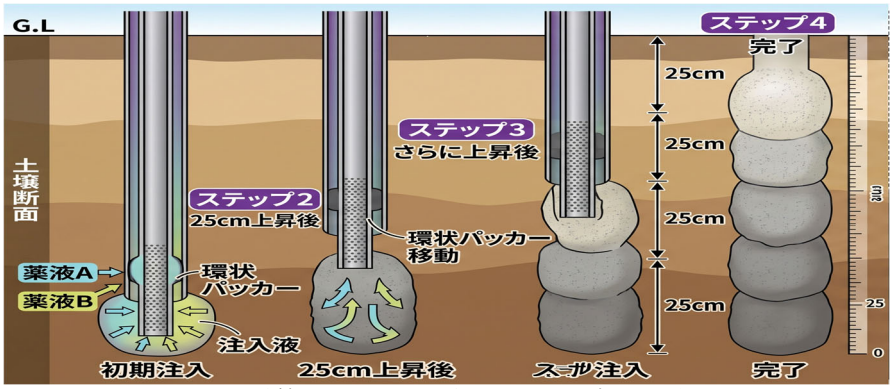


図２　二重管ストレーナ工法のしくみと施工手順

【ダブルパッカー工法との違い（参考）】 ダブルパッカー工法は、注入箇所をパッカー（膨張するゴム栓）で上下に挟み込み区間注入できる工法です。
精密な注入が可能ですが装置が複雑で費用もかかるため、一般的な薬液注入ではほとんど使われません。

【なぜ 25cm ステップが多いのか？】 注入量は設計で「1 本あたり何リットル」と決め、それを改良区間の長さで均等に振り分けます。
ステップ幅（何センチごとに引き上げるか）は原則として任意ですが、25cm が広く使われる理由は一般的なボーリングマシンのスピンドル（回転軸）の上下ストロークが 50cm であることに由来します。

・スピンドルを 1 ストローク（50cm）動かすと管が 50cm 上がる。
・これを 2 回に分けると 1 回あたり 25cm のステップになる。

人の目で 25cm を測るため、1 回目のステップは多少ずれることがあります。
しかし 2 回目のステップはスピンドルが必ず 50cm 分を完走するため、
2 ステップの合計は必ず 50cm になり、結果として全体では均等に薬液が振り分けられます。
つまり 25cm ステップは「機械の精度でズレを自動修正できる」合理的な刻み幅なのです。

2.5　なぜ有機系のほうが強度が発現しやすいのか？

◆ 有機系グラウト材の種類

有機系グラウト材には主に３種類あります。それぞれ成分・特徴・環境負荷が異なります。

種類	主な成分	特徴	環境・安全性
ウレタン系	イソシアネート系 有機化合物	超高浸透・膨張固化 岩盤亀裂・緊急止水に有効	施工時の取扱いに 注意が必要
アクリル系 （アクリルアミド系）	アクリルアミド系 モノマー	高い浸透性・強度 極細砂・シルト質地盤に有効	過去に地下水汚染事故あり 現在は規制強化・改良品を使用
グリオキザール系	グリオキザール （ジアルデヒド化合物）	高浸透性・高強度 水頭差のある砂質土に特に有効	有機材の中で最も 環境に配慮した材料

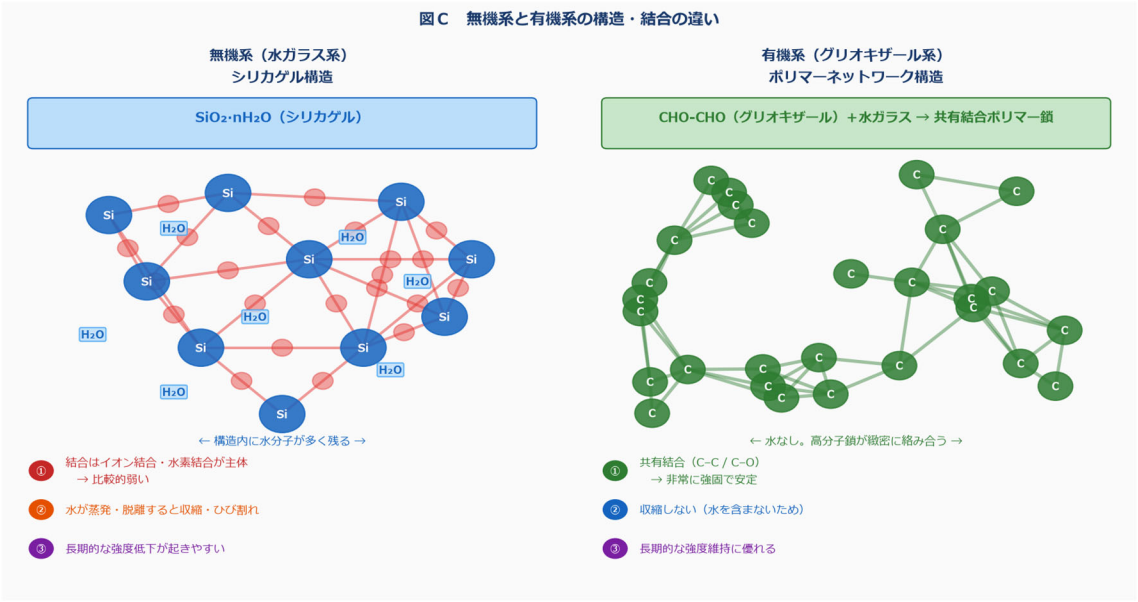
【当社が使用する有機材：グリオキザール系】 グリオキザール（CHO-CHO）は天然にも存在するジアルデヒド化合物で、水ガラス（A 液）と組み合わせて使用します。

【グリオキザール系が選ばれる理由】
- 有機系の中で最も環境負荷が低く、生分解性に優れる
- 施工後の地下水への影響が他の有機材と比べて最小限
- アクリルアミド系のような神経毒性の懸念がない
- ウレタン系と比べて取扱いが容易

当社では有機材を使用する現場すべてにグリオキザール系を採用しています。
環境への責任と施工品質の両立を追求した選択です。

◆ 無機系と有機系：固化のしくみの根本的な違い

無機系（水ガラス系）と有機系では、固化後の「結合の種類」と「構造」が根本的に異なります。これが強度・耐久性の差につながります。



図C　無機系と有機系の構造・結合の違い

比較項目	無機系（水ガラス系・シリカゲル）	有機系（グリオキザール系等）
固化後の主な結合	Si–O–Si（シロキサン結合） イオン結合・水素結合も関与	C–C / C–O（共有結合） 高分子鎖どうしが絡み合う
構造内の水分	H_2O が構造内に残る（$SiO_2 \cdot nH_2O$） → 乾燥すると収縮・強度低下	水分をほぼ含まない → 乾燥しても収縮しない
強度	比較的低め（qu = 100〜500 kN/m²程度）	高い（qu = 1,000 kN/m² 以上も可能）
浸透性	コロイド粒子（数十〜百 nm）のため 極細な隙間には入りにくい	分子サイズが小さいため 微細な隙間にも浸透できる
耐久性	時間経過で収縮・ひび割れが起きやすい	高分子は安定で長期間強度を維持
コスト	安価	高価
環境影響	比較的安全	グリオキザール系は有機材中で最も安全

【有機系が強い理由をひとことで言うと】　「水を含まない強い共有結合の高分子ネットワーク」だから。

無機系のシリカゲルは水を抱えた"緩いゼリー"のような構造ですが、
有機系のポリマーは水なしで炭素（C）どうしが強固に繋がった"プラスチック"のような構造です。

- 無機系 → ゲル（gel）構造 → 水を含む → 収縮しやすい → 弱い
- 有機系 → ポリマー（polymer）構造 → 水を含まない → 収縮しない → 強い

◆ 有機材を使用するときに水質試験が必須となる理由

有機系グラウト材を使用した場合、施工前・施工後に周辺地下水の「過マンガン酸カリウム消費量」の測定が義務付けられています。なぜこの試験が必要なのかを理解しておきましょう。

◆ 過マンガン酸カリウム（$KMnO_4$）消費量とは

過マンガン酸カリウム（$KMnO_4$）は強力な酸化剤で、水の中に有機化合物が溶けているとそれを酸化・分解するために消費されます。消費量（mg/L）が多いほど、水中に有機物が多い＝有機汚染が疑われるということです。

日本の水道水質基準では「過マンガン酸カリウム消費量 ≦ 10 mg/L」が定められています。この試験は、有機系グラウト材の成分が地下水中に漏れ出していないかを監視するために行います。

【グリオキザール系と水質試験】　グリオキザール系は有機材の中で環境負荷が最も低く、地下水への影響も最小限ですが、
有機材である以上、法令に基づき水質試験の実施は義務となります。

「環境に配慮した材料を選ぶ」＋「適切な監視で安全を証明する」
この両方を実践することが、地域・発注者への誠実な対応です。

【水質試験の流れ（有機材使用時）】 ① 施工前：周辺の観測井戸から地下水を採取し、消費量の「背景値（バックグラウンド）」を測定・記録する。

② 施工中〜施工後：同じ観測井戸で定期的に採取・測定を続ける。

③ 判定：施工後の値が背景値に比べて有意に上昇していれば、グラウト成分の漏洩を疑い
注入を停止・原因調査・行政への報告が必要になる。

★ 無機系（水ガラスのみ）の場合：有機物を含まないため、この試験は原則不要。
★ 有機系を使用する場合：行政への届出と水質試験の実施が義務となる。

【現在の有機材・無機材の安全性と、無機材が一般的になっている理由】 薬液注入の歴史の中で、かつてアクリルアミド系グラウトによる地下水汚染事故が発生し、
その後の規制強化により、現在使用されている有機材・無機材はどちらも安全性が確保されています。

【なぜ現在は無機材（水ガラス系）が一般的に使われるのか】
主な理由はコストと手続きです。
- 材料コストが安い
- 有機材使用時に義務付けられる水質試験（試験費用・観測井設置）が不要
- 行政届出・環境監視の手続きが簡略化できる

これらの経済的・手続き的な理由から、無機材が標準になっています。
ただし「無機材で十分な効果が得られる」かどうかは地盤条件によって大きく異なります。
特に水頭差がある砂質土では、無機材と有機材の性能差は比べものになりません（次項参照）。

◆ 水頭差のある砂質土では有機材（グリオキザール系）が圧倒的に優位な理由

砂質土に水頭差（地下水位の高低差による水圧）がある場合、無機材（シリカゲル）と有機材（グリオキザール系ポリマー）のあいだには埋めようのない性能差があります。

比較項目	無機材（水ガラス系・シリカゲル）	有機材（グリオキザール系）
固化後の構造と水	$SiO_2 \cdot nH_2O$ → 固化後も構造内に水分を含む	共有結合ポリマーネットワーク → 水分子を含まない
水頭差・動水勾配への耐性	水を含んだゲル構造のため 水の流れで侵食・流出しやすい （シナレシス：収縮・脱水が進む）	ポリマーは水に溶けず侵食されない 高い水頭差があっても 止水性能を長期間維持できる
水頭差のある砂質土での止水性	弱い 水圧に押されゲルが崩壊・ 改良体に水みちができやすい	圧倒的に強い 水みちの形成を根本から防ぐ
強度の長期維持	乾燥・水の流れで劣化しやすい	安定した高分子網目構造で 長期間強度を維持

【当社の経験から：水頭差のある砂質土こそグリオキザール系が真価を発揮する】 当社のこれまでの施

工実績において、水頭差のある砂質土にグリオキザール系有機材を使用した現場では
改良効果・止水性能ともに、無機材とは比べものにならないほど高い結果が得られています。

無機材のシリカゲルは「水を抱えたゲル」であるため、地下水の動水勾配（水の流れ）にさらされると時間とともに侵食・流出し、せっかく形成した改良体に水みちができてしまうリスクがあります。

グリオキザール系ポリマーは水に不溶で侵食されないため、動水圧下でも安定した止水壁として機能します。
さらに環境への影響が最小限であるため、水質試験での良好な結果も得られやすいです。

【有機材（グリオキザール系）の積極的採用を特に検討すべき条件】
- 砂質土で水頭差（被圧地下水・高い地下水位）がある現場
- 高い止水性能・長期耐久性が求められる現場
- 細粒分が多く、無機材の浸透が期待しにくい地盤
- 高い一軸圧縮強さ（qu）が要求される現場

水質試験・行政届出のコストを上回る施工品質の向上が期待でき、
手戻りリスクの大幅な低減につながります。

2.6　ゲル化時間（ゲルタイム）とは？

A 液と B 液を混ぜてから、液体が流動性を失ってゲル状（ゼリー状）になるまでの時間を「ゲル化時間（ゲルタイム）」といいます。この時間のコントロールが施工管理の最重要項目です。

ゲルタイムの長さによって次の 3 種類に分類されます。

区分	ゲル化時間の目安	主な用途
瞬結（しゅんけつ）	1 分以内	止水・湧水遮断など即効性が必要な箇所
中結（ちゅうけつ）	1 分超〜10 分以内	浸透と止水を両立させたい箇所
長結（ちょうけつ）	10 分超	広い範囲にゆっくり浸透させたい箇所

【瞬結・緩結の 2 区分で呼ぶ場合】　現場では「瞬結」と「緩結（かんけつ）」の 2 つに大きく分けることもあります。

瞬結：ゲルタイムが短い（概ね数秒〜数十秒）→ 止水・遮水が主目的

緩結：ゲルタイムが長い（概ね数分〜数十分）→ 浸透・強度発現が主目的

中結はどちらかというと緩結側に含めて扱う場合が多いです。

ゲル化時間が短すぎる場合	ゲル化時間が長すぎる場合
二重管の中で固まり詰まる危険がある	地盤内で広がりすぎて改良効果が落ちる
素早い止水が必要な緊急時向き	浸透注入でゆっくり広げたいときに向く

【現場でのゲル化時間確認方法】　① A 液と B 液を設計の配合比で計量する

② 容器の中でよく混ぜる

③ 容器を傾けても流れなくなるまでの時間を計る

④ 記録用紙に「気温・水温・ゲル化時間」を記入する

許容範囲：目標値の ±20% 以内　　気温が低いとゲル化が遅くなるので注意！

頻度：毎日の施工前に必ず実施（配合変更時・温度変化が大きいときも追加）

2.7　グラウト材の種類まとめ

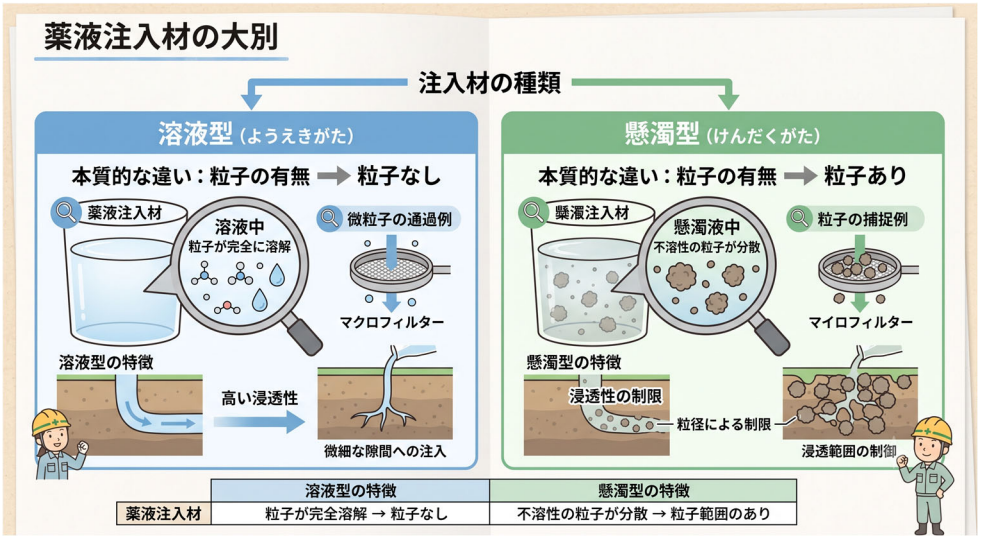
分類	種類	主成分	特徴	主な適用地盤
無機系	水ガラス系（シリカゾル系）	珪酸ナトリウム（Na_2SiO_3）	安価・安全性高い 最もよく使われる	細砂〜シルト質地盤
無機系	セメント系	ポルトランドセメント	高強度・高耐久性	砂礫・岩盤の割れ目
有機系	ウレタン系	イソシアネート系有機化合物	超高浸透・膨張固化 微細な亀裂に対応	岩盤亀裂・緊急止水
有機系	アクリル系	アクリルアミド系モノマー	高い浸透性・強度（環境規制に注意）	極細砂・シルト質地盤

第３章　注入材の種類と選び方

薬液注入で「どの注入材を使うか」の判断は、設計の中でも最も重要な部分です。材料を間違えると、どんなに丁寧に施工しても地盤は改良できません。この章では注入材の種類・特徴・選び方を体系的に学びます。

3.1　大分類：溶液型と懸濁型

注入材はまず「溶液型（ようえきがた）」と「懸濁型（けんだくがた）」に大別されます。この 2 つの本質的な違いは「粒子の有無」です。



図Ｄ　溶液型と懸濁型：土の隙間への浸透の違い

比較項目	懸濁型	溶液型
代表材料	LW（セメント＋水ガラス） セメントミルク	水ガラス系（珪酸ソーダ系）
粒子の有無	セメント等の粒子あり （径 50～100 μm）	粒子なし （分子レベルで溶解）
浸透できる地盤	礫・粗砂 （隙間が大きい地盤）	細砂～中砂・砂礫地盤 （薬液注入の主な対象）
固化後の強度	高い（セメント由来）	中程度（配合で調整）
コスト	比較的高い	比較的安い

3.2　懸濁型グラウト（LW・セメント系）

セメントや水ガラスの粒子が水に浮遊（懸濁）した状態の注入材です。粒子が大きいため、細砂の隙間（数十 μm 程度）には入り込めませんが、礫質土や岩盤の割れ目など大きな空隙には有効です。

◆ LW（ラインワッセル）とは

LW はセメントミルク（A 液）と水ガラス（B 液）を混合した懸濁型グラウトで、ドイツ語の Labiles Wasserglas（不安定な水ガラス）に由来します。セメント由来の高い強度と、水ガラスによる速やかなゲル化の両方を持ちます。1960 年代に開発され、日本で最も長い実績を持つ薬液注入工法の一つです。

【当社での LW の使い方】　当社では LW は主に「ライナー（推進管等）周りの裏込め材」として使用しています。
懸濁型緩結材として薬液注入に使うケースはまれです。
一般的な地盤改良（底盤・側壁止水）には溶液型水ガラス系を使用します。

3.3　溶液型グラウト（水ガラス系）

薬液注入工事の主役です。水ガラス（珪酸ナトリウム）を水で希釈した溶液で、粒子がないため水の分子とほぼ同じ大きさで土の隙間に入り込めます。第２章で学んだＡ液（水ガラス）＋Ｂ液（硬化剤）の組み合わせが、この溶液型です。

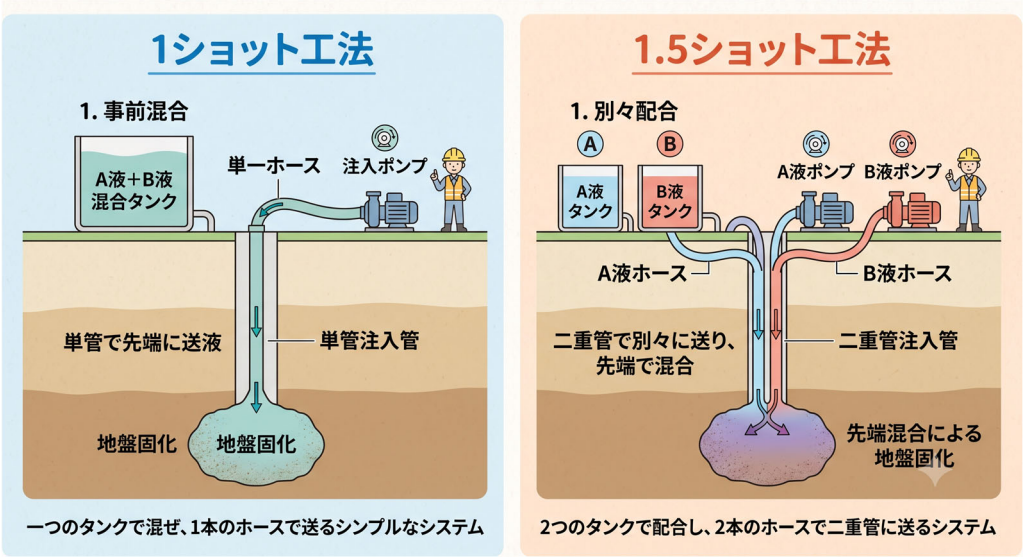
3.4　瞬結型と緩結型の使い分け

溶液型水ガラス系の中に、さらに「瞬結型」と「緩結型」があります。違いは「ゲルタイム（硬化するまでの時間）」です。

	瞬結型（しゅんけつ）	緩結型（かんけつ）
ゲルタイム	数秒～数十秒	数分～数十分
主な目的	止水・遮水 注入孔の周囲をすぐに固める	浸透・強度発現 広い範囲にゆっくり浸透
特徴	すぐ固まるため施工箇所を 確実に封鎖できる	浸透時間があるため 改良体積を大きく取れる
典型的な配合	Ａ液：水ガラス原液 Ｂ液：塩化 Ca（高濃度）	Ａ液：水ガラス希釈液 Ｂ液：炭酸水素 Na 等（低濃度）

3.5　注入方式：1 ショットと 1.5 ショット

Ａ液とＢ液をどこで混ぜるか、という「注入方式」にも種類があります。当社の緩結材はすべて「1.5 ショット（二重管方式）」を使用しています。



図Ｅ　1 ショット（地上混合）vs 1.5 ショット（先端混合）

◆ 1.5 ショットの流れ（当社標準）

・Ａ液（水ガラス希釈液）とＢ液（硬化剤溶液）を、それぞれ地上で所定の濃度に「配合」する（この段階では混ぜない）。

・Ａ液を内管側のホース、Ｂ液を外管側のホースに接続し、スイベル（回転継手）を通じて二重管に送り込む。

・二重管の中ではＡ液は内管を、Ｂ液は外管と内管のすき間を、それぞれ別々に先端まで流れる。

・先端のモニター（単管 約 200mm）で初めてＡ液とＢ液が合流・混合され、開口部から地盤へ放出される。

【なぜ内管に A 液を入れるのか】 内管は外管の中に収まっているため、詰まった場合の清掃・交換が大変です。
A 液（水ガラス単独）は硬化剤がなければ固まりません。
そのため万一詰まりかけても固化しにくい A 液を内管に配置し、
清掃しやすい外管隙間に B 液（硬化剤）を流すのが合理的な配置です。

◆ 1 ショットを使う場面（ダブルパッカー二次注入）

1 ショットは A 液と B 液を地上のタンクで混合した状態で、1 本のホースで送る方式です。緩結材はゲルタイムに余裕があるため地上混合が可能です。当社ではダブルパッカー工法の二次注入時などに、この 1 ショットを使用します。

3.6　地盤条件による注入材の選び方

現場の地盤条件から注入材を選ぶ際には、透水係数（k 値）と土質を判断基準にします。設計者がボーリングデータをもとに決定し、施工者は設計書で確認します。

地盤の種類	透水係数 k の目安	推奨注入材
礫・粗砂 （大きな隙間）	$k > 10^{-2}$ cm/s	懸濁型（LW・セメントミルク） 溶液型も適用可
中砂〜細砂 （薬液注入の主な対象）	$10^{-4} \sim 10^{-2}$ cm/s	溶液型（水ガラス系） 緩結型で浸透注入
細砂〜シルト混じり （浸透が難しくなる）	$10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm/s	溶液型（適用は困難になる） 割裂注入の検討も必要
粘性土・シルト （薬液は浸透しない）	$k < 10^{-5}$ cm/s	溶液型の浸透注入は不可 割裂注入 or 高圧噴射攪拌工を検討

【現場での確認ポイント】 ① 設計書に記載の「注入材の種類」「配合」を必ず確認する
② ボーリング柱状図の土質と設計の注入材が合っているか確認する
③ 地盤が設計と異なる場合（粒径・N 値の相違）は、設計者に報告・相談する

3.7　浸透注入と割裂注入の違い

注入材が地盤中にどのように広がるかにも 2 つのパターンがあります。地盤の透水性や注入圧力によって変わります。

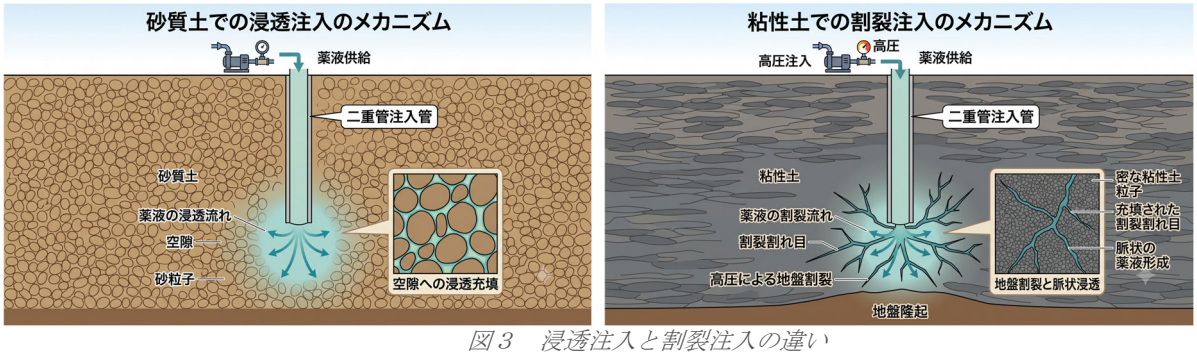


図 3　浸透注入と割裂注入の違い

比較項目	浸透注入	割裂注入
注入圧力	低～中圧（0.1～0.3 MPa）	高圧（0.3～0.8 MPa）
注入のしくみ	土粒子の隙間に均一に浸透	地盤を押し広げ（割裂）ながら浸透
改良形状	球状に均一に広がる	放射状・不規則な広がり
向いている地盤	砂質土（透水性のある地盤）	粘性土・難透水性地盤
注意点	隙間が小さすぎると入らない	過大な圧力で周辺地盤が変状することがある

【判断の基本】　砂質土（N 値 10 以上）　→　浸透注入が基本
粘性土（N 値 10 以下）　→　割裂注入を検討
混合地盤　→　設計者と確認

第４章　設計の読み方・計算の考え方

4.1　設計書で確認すべきこと

施工前に設計書（計算書）を必ず読み込みます。以下の項目を確認してください。

確認項目	内容・単位	確認先
改良目的	底盤固化・側壁止水 など	設計図書
改良範囲	改良厚み t (m)・改良幅・改良長さ	計算書・施工図
目標強度	一軸圧縮強さ qu (kN/m²)	計算書
ゲル化時間	目標値 (分)	仕様書
注入量	1 孔あたり設計注入量 (L)	計算書
注入圧力	最大注入圧力 (MPa)	仕様書
安全率	Fs = 1.5（一般的な値）	計算書

4.2　底盤改良とは？なぜ必要？

立坑を掘削すると、底面（床付け面）に地下水の水圧がかかります。この水圧に負けると底面が吹き上がったり（ボイリング）、膨れ上がったり（ヒービング）します。これを防ぐために、底面直下の地盤を薬液注入で固めます。

4.3　ボイリング照査のイメージ（砂質土）

ボイリングとは、砂質地盤で地下水の水圧が大きくなりすぎると、砂が水と一緒に吹き上がる現象です。

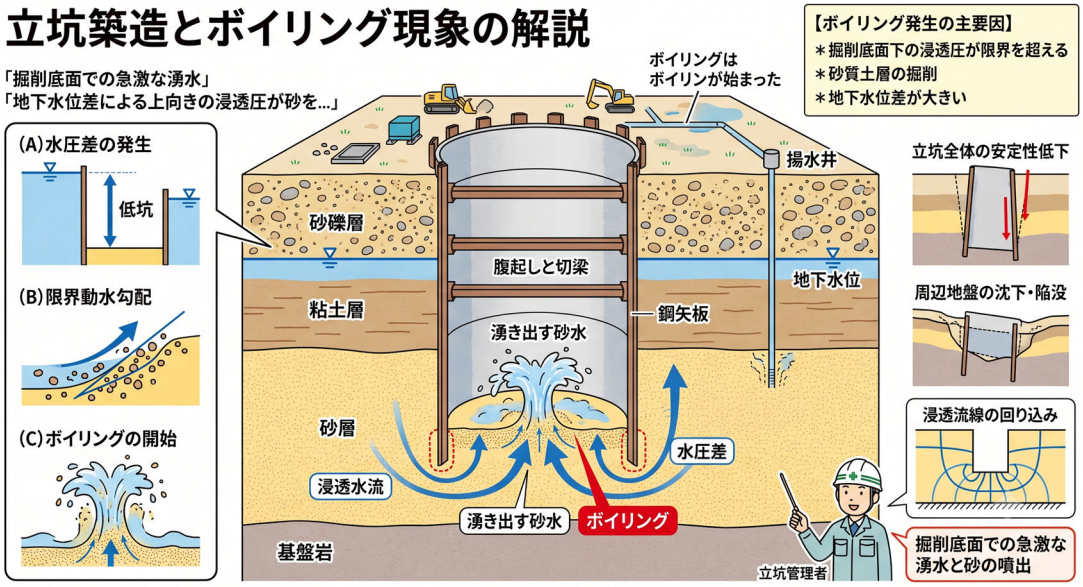


図５　ボイリング照査のイメージ

【計算のポイント（ボイリング）】　必要な改良厚み t は次のバランスで決まります：

改良体の重さ（W）＋ 壁面との付着力（F）　≧ 安全率 × 水圧（U）

t が厚いほど W が大きくなり → 安全になる

計算して求めた t が最低基準（tmin = 1.5m）以上であることも確認する

4.4　ヒービング照査のイメージ（粘性土）

ヒービングとは、粘性土地盤で掘削底面の外側の土の重さに押されて、底面が膨れ上がる現象です。

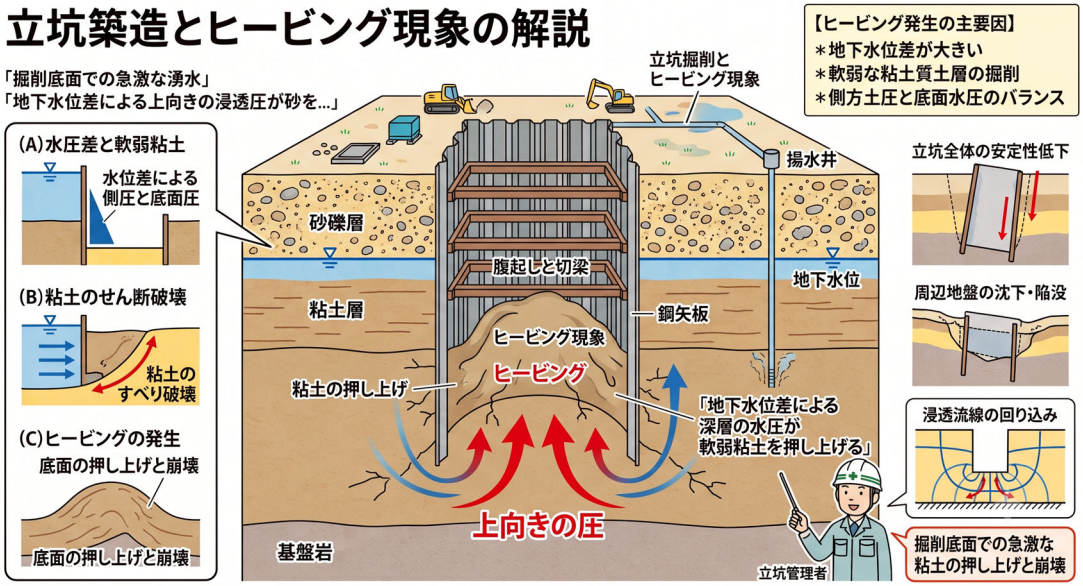


図６　ヒービング照査のイメージ

【計算のポイント（ヒービング）】　安全率 Fs ＝ 抵抗モーメント / 滑動モーメント ≧ 1.5

・抵抗モーメント（大きいほど安全）
　→ 改良体の粘着力 C が大きいほど安全
　→ 掘削幅 B が広いほど改良体の面積が増えて安全（B が狭いほど危険）
　→ 改良体の重量 W が大きいほど安全（W が小さいほど危険）

・滑動モーメント（大きいほど危険）
　→ 掘削深さ H が深いほど・土の重量 γ が大きいほど危険

Fs が足りない場合、薬液注入で改良体の粘着力 C を高め、安全率を確保する

4.5　注入量はどうやって決める？

注入量の設計は「改良ゾーン全体の体積」から出発し、孔 1 本当りの注入量を導きます。計算の流れは次のとおりです。

ステップ	計算式	説明
①　改良土量を求める	V = A × h	A：改良面積（m²）、h：改良長（m）
②　注入量を求める	Q = V × λ	λ（ラムダ）：注入率（最重要）
③　注入孔数を求める	n = A ÷ 1.0	1 孔が担当する面積 = 1.0m²が標準
④　1 本当りの注入量	q = Q ÷ n	単位：m³/本（施工管理の目標値）

【注入率 λ（ラムダ）とは？】　λ は地盤の間隙（すきま）のうち、薬液で充填できる割合です。
地盤の種類と薬液の種類で変わる最も重要な設計数値です。

砂質土（粗砂・中砂）：λ ＝ 0.25〜0.35
砂質土（細砂・シルト混じり）：λ ＝ 0.30〜0.45
粘性土：λ ＝ 0.10〜0.35

λ ＝間隙率 n × 充填率 α　と分解して設定することもあります。

【計算例】　改良面積 A＝20m²、改良長 h＝2.0m、注入率 λ＝0.25 の場合

計算項目	計算式	結果
改良土量	V = 20 × 2.0	V = 40 m³
注入量	Q = 40 × 0.25	Q = 10 m³（＝10,000 L）
注入孔数	n = 20 ÷ 1.0	n = 20 本
1 本当り注入量	q = 10,000 ÷ 20	q = 500 L/本

第５章　施工手順を学ぼう

5.1　全体の流れ

図４　薬液注入工　施工フロー

図４　薬液注入工　施工フロー

5.2　事前準備（施工前に必ずやること）

施工を始める前に、以下のことを確認してください。

【施工前チェックリスト】 ☐ ボーリングデータ（地盤調査結果）の確認
☐ 地下埋設物（ガス・水道・電気）の位置確認　※図面入手必須
☐ 施工計画書の作成・提出
☐ ボーリングマシン・注入ポンプの動作確認
☐ 流量計・圧力計の校正確認
☐ A 液・B 液の数量・比重確認
☐ SDS（安全データシート）の現場常備

5.3　削孔作業

項目	内容
削孔径	φ40.5mm（標準）
削孔機材	ボーリングマシン（BM-1000 相当以上）
削孔角度	設計図面に従う（原則鉛直）
完了後の処置	孔口を養生する（土砂崩壊防止）

【注意】　地下水位が高い場所では、削孔中に地下水が噴き出すことがあります。
異常な湧水・噴発が起きたら、すぐに作業を中断して現場責任者に報告してください！

5.4　二重管の設置

削孔完了後、孔内に二重管（φ40.5mm）を挿入します。二重管は外管と内管の 2 重構造になっており、A 液・B 液をそれぞれ別の流路で先端まで送ります（第 2 章参照）。

項目	内容
二重管の外径	φ40.5mm
構成	外管（B 液流路）＋ 内管（A 液流路）の二重構造
先端	モニター（単管 約 200mm）を取り付ける
設置深度	改良下端まで挿入する
確認事項	設計深度まで到達しているか・スイベルの接続を確認

【設置後の確認】　・二重管の深度を記録する（施工管理記録に残す）
・スイベル（回転継手）を介して A 液ホース（内管側）・B 液ホース（外管側）を接続する
・接続部のゆるみ・液漏れがないことを確認してから注入を開始する

5.5　グラウト配合・ゲル化時間の確認

設計書の配合比に従って A 液・B 液をそれぞれ配合します。毎日の施工前にゲル化時間を確認します。

配合手順（水ガラス系 2 液型・1.5 ショットの場合）：

- A 液（水ガラス希釈液）を所定量計量し、A 液タンクに入れる
- B 液（硬化剤溶液）を所定量計量し、B 液タンクに入れる
- A 液・B 液をそれぞれ専用ポンプ・スイベルを通じて二重管に接続する
- 少量の A 液・B 液を採取して混合し、ゲル化時間を測定・記録する（毎日必須）
- 目標値内を確認してから本施工を開始する

5.6　注入作業

注入は外周（止水ライン）から内側に向かって行います。定量引上げ注入（ステップ方式）で施工します。

管理項目	管理値	測定方法
注入圧力	設計値以下（一般 0.2〜0.5 MPa）	圧力計（連続記録）
注入流量	設計値（一般 10〜30 L/min）	流量計
注入量/ステップ	設計注入量（各ステップで均等配分）	流量計積算値
引上げピッチ	25cm（スピンドル 50cm を 2 分割）	目視・マーキング

【注入中の異常サイン（すぐに停止！）】　・注入圧力が突然急上昇した　→ 二重管詰まり or 地盤異常
・注入圧力が突然急降下した　→ グラウトが別の場所に漏れている可能性
・周辺の地面が盛り上がってきた　→ グラウトが地表に向かっている
・地表からグラウトが湧き出した　→ 完全に停止し、責任者に報告

5.7　養生（硬化待ち）

グラウトが固まるまでの間（養生期間）は、改良エリアへの掘削・重機走行を禁止します。コア採取などの品質確認は、改良後 3 日以上経過してから行うのが望ましいです。

第６章　品質管理の実務

6.1　なぜ品質管理が重要か？

薬液注入は「地盤の中での施工」なので、完成後に目で見て確認することができません。だからこそ、施工中の記録と施工後の確認試験が非常に大切です。

【品質管理の基本姿勢】　「測定・記録・確認」のサイクルを守ること！
記録が残っていない施工は、後で問題が起きたときに証明できません。

6.2　施工中の管理項目

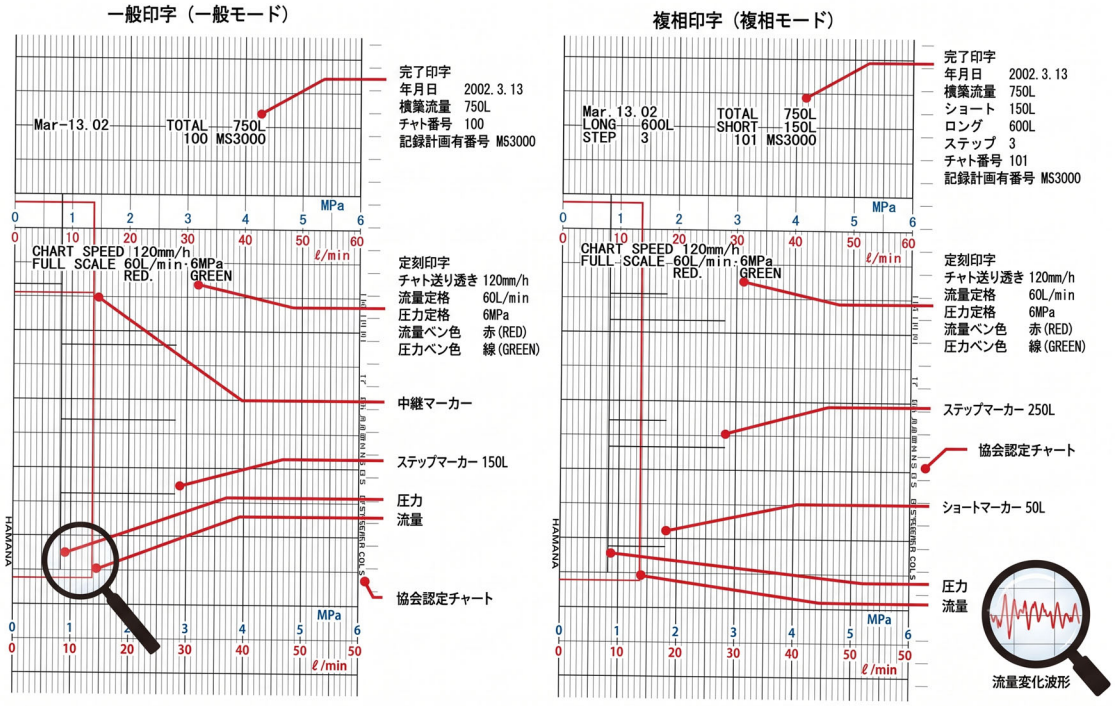


図７　注入管理グラフの見方

管理項目	管理方法	頻度	判断基準
ゲル化時間	混合して流動性喪失までの時間を計測	毎日施工前＋配合変更時	設計値 ±20%
注入圧力	圧力計で連続記録	全孔・全ステップ	設計最大圧力以下
注入量	流量計で積算記録	全孔・全ステップ	設計注入量 ±20%
地盤変位	変位計またはレベル測量	施工中随時	±5mm 以内（目安）
A・B 液の比重	比重計で計測	毎日	設計配合の比重範囲内

6.3　施工後の品質確認

◆ コア採取（確認ボーリング）

施工後、改良ゾーンからボーリングでコア（円柱状の土の試料）を採取します。色・固さ・均一性を目視で確認します。

- 採取時期：養生後 3 日以上（できれば 7 日以上推奨）
- 採取本数：設計図書に従う（最低 1 箇所以上）
- 確認内容：固化の均一性・欠損の有無・色調（改良された土は白っぽくなる）

◆ 一軸圧縮試験（JIS A 1216）

採取したコアを試験室で圧縮し、壊れるときの力（一軸圧縮強さ qu）を測定します。

【合格基準の確認方法】 ① 設計書で目標強度（qu の値、例：200 kN/m²）を確認する
② 試験結果が目標値以上か確認する
③ 不合格の場合は設計者と協議の上、補修注入を検討する

◆ 透水試験による確認

薬液が地盤の空隙に充填されると、水の通りにくさを表す「透水係数 k」が小さくなります。施工前後の透水係数を比較することで、止水・改良の効果を数字で確認できます。

地盤の種類	施工前 k 値（目安）	施工後 k 値（目安）
粗砂・礫（れき）	10^{-2} ～ 10^{-1} cm/s	10^{-4} ～ 10^{-3} cm/s
中砂	10^{-3} ～ 10^{-4} cm/s	10^{-5} ～ 10^{-6} cm/s
細砂・シルト混じり	10^{-4} ～ 10^{-5} cm/s	10^{-6} cm/s 以下

【透水試験の方法と判定】　【試験方法】
・現場透水試験：確認ボーリング孔を利用したボアホール透水試験
・室内透水試験：採取コアを使った定水位または変水位透水試験
【判定基準】
施工仕様書に定められた目標透水係数（例：$k \leq 1 \times 10^{-5}$ cm/s）以下であれば合格。
施工前と施工後のデータを並べて、低下量を記録・報告します。

6.4　施工記録の記入

以下の書類を施工当日中に記入・提出します。記録が施工の証明になります。

書類名	記入タイミング	記入者
配合試験記録（ゲル化時間）	施工前・毎日	技術担当
注入施工記録（孔別）	施工当日	技術担当
注入量・圧力管理グラフ	施工当日	技術担当
コア採取記録	採取時	技術担当
一軸圧縮試験結果	試験後	技術担当
透水試験結果（施工前後）	試験後	技術担当

第７章　安全管理

7.1　薬液の危険性を知ろう

【作業前に必ず確認】　薬液は化学物質です。適切な保護具を着用しないと皮膚・目への刺激や体調不良を引き起こす可能性があります。

必ず着用する保護具：

- 化学物質耐性の保護手袋
- 保護眼鏡またはゴーグル
- 防護服（薬液が衣類に付かないよう）
- 防塵マスク（粉体硬化剤使用時）

事故の種類	緊急処置
皮膚に付着した	直ちに多量の流水で 15 分以上洗浄する
目に入った	直ちに 15 分以上洗眼する → 医師に相談
誤って飲んだ	吐かせずに医療機関を受診する

★ SDS（安全データシート）を現場に常備し、緊急時にすぐ確認できるようにしてください。

7.2　機械操作の安全

- 高圧ホースの接続部を点検してから運転を開始する
- 安全弁の作動を確認し、最大圧力を超えないようにする
- 運転中は機械周辺に作業者以外を近づけない（立入禁止標識を設置）
- 高圧注入中は二重管・ホース接続部から離れる（ホース抜け事故防止）
- 異常音・振動が生じたら直ちに停止し、点検する

7.3　環境への注意

リスク	対策
薬液が地下水を汚染する	環境省告示第 14 号適合品の薬液を使用する
廃液を排水溝に流す	廃液・残液は適切に処理・廃棄する（産業廃棄物）
施工区域外へグラウトが漏れる	注入圧は必要最小限に抑える

7.4　もし異常が起きたら（緊急時対応）

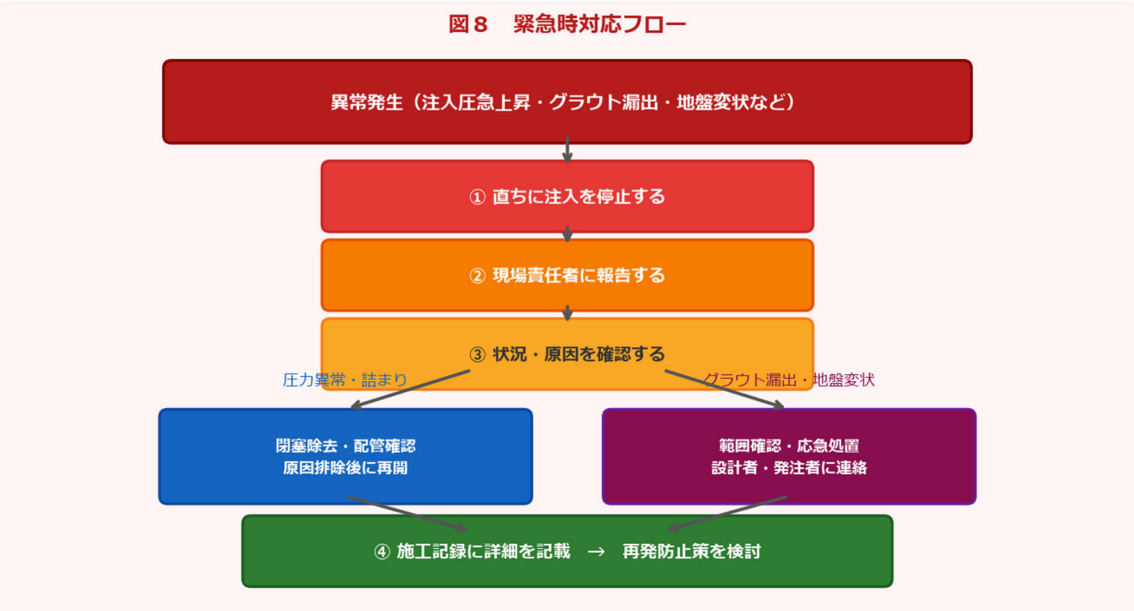


図８　緊急時対応フロー

【緊急時の基本３ステップ】　① まず停止　→ 注入を止めてから考える
② すぐ報告　→ 現場責任者に連絡
③ 記録する　→ 状況・対応内容を必ず記録に残す

まとめ　～ 研修で学んだこと ～

章	テーマ	覚えておくべきこと
第１章	薬液注入工とは	地盤を「固める」「水を止める」技術
第２章	材料の知識	A 液＋B 液 → 混合 → 硬化。ゲル化時間が大切
第３章	注入材の種類と選び方	懸濁型 vs 溶液型。透水係数・地盤条件で選択。1.5 ショットが当社標準
第４章	設計の考え方	ボイリング・ヒービングを防ぐ改良厚み t を確保する
第５章	施工手順	流れを守る。異常があれば即停止・即報告
第６章	品質管理	測定・記録・確認のサイクルを守る
第７章	安全管理	保護具着用。化学物質・高圧機械に注意

株式会社グラウト企画

東京都品川区小山７－２－１０　　日本グラウト協会正会員 21-0001