

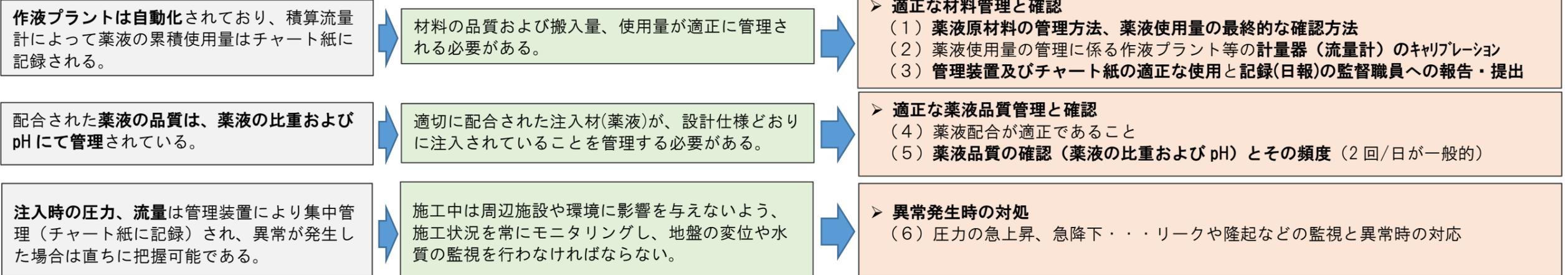
## 2.2 薬液注入工段階における現状と課題

- ・適正な注入工を行うためには、**適切な施工手順、施工方法（例えば、注入速度、注入圧力の設定等）**が必要である。
- ・**適切に配合された注入材(薬液)**が、**計画量どおりに注入されたか（注入量）**を管理する必要がある。
- ・既設構造物周辺の施工では **変位や地盤の隆起などへの対策、リークへの対応**が必要である。

### 現状・特徴

### 課題

### 対処法・対策に向けての要検討事項



- ※ (一社)日本グラウト協会は、協会の認定を受けた流量計の使用を推奨している
- ※ 注入量は、発注者が検印したチャート紙に元請技術者が署名して記録することとされている。  
 ((一社)日本グラウト協会は、協会統一規格のチャート紙の使用を推奨している)

### 薬液注入工時の施工管理等に関する通達（注入量の確認に関する項の部分抜粋） 薬液注入工事に係る施工管理等について（建設省技調発第188号の2 平成2年9月/18日）

- 【I. 注入量の確認】
1. 材料搬入時の管理
    - (1) 水ガラスの品質については、JIS K 1408 に規定する項目を示すメーカーによる証明書を監督職員に工事着工前及び1ヶ月経過毎に提出するものとする。また、水ガラスの入荷時には搬入状況の写真を撮影するとともに、メーカーによる数量証明書をその都度監督職員に提出するものとする。
    - (2) 硬化剤等については、入荷時に搬入状況の写真を撮影するとともに、納入伝票をその都度監督職員に提出するものとする。
    - (3) 監督職員等は、必要に応じて、材料入荷時の写真、数量証明書等について作業日報等と照合するとともに、水ガラスの数量証明書の内容をメーカーに照合するものとする。
  2. 注入時の管理
    - (1) チャート紙は、発注者の検印のあるものを用い、これに施工管理担当者が日々作業開始前にサイン及び日付を記入し、原則として切断せず1ロール使用毎に監督職員に提出するものとする。  
 なお、やむを得ず切断する場合は、監督職員等が検印するものとする。  
 また、監督職員等が現場立会した場合等には、チャート紙に監督職員等がサインをするものとする。
    - (2) 監督職員等は、適宜注入深度の検尺に立会するものとする。また、監督職員等には、現場立会した場合等には、注入の施工状況がチャート紙に適切に記録されているかどうかを把握するものとする。
    - (3) 大規模注入工事(法人量 500kl 以上)においては、プラントのタンクからミキサー迄の間に流量施工計を設置し、水ガラスの日使用量等を管理するものとする。
    - (4) 適正な配合とするため、ゲルタイム(硬化時間)を、原則として作業開始前、午前、午後の各一回以上測定するものとする。

### 薬液注入工における材料品質管理の例

「薬液注入工 施工資料」平成28年8月 (一社)日本グラウト協会

b) 品質管理  
 品質管理は、表4-4により行う。

表4-4 品質管理項目

管理項目	管理時期	材料搬入時	注入着工前	注入施工中	備考
メーカーによる品質証明		—	○	—	検査成績表については、1ヶ月毎に提出
材料の風化・変質などの変化確認		○	○	—	硬化材・助剤などの風化・変質
配合試験 ゲル化時間の測定		—	○	○	主剤(水ガラス)・反応材・水温等の確認

注) ○: 必ず行う項目

- 主剤(水ガラス)  
 品質管理は、メーカーの分析表による。分析項目は、以下の7項目とする。
  - ① 比重 (15°C、Bé)
  - ② 水不溶分
  - ③ 鉄(Fe)
  - ④ 二酸化けい素(SiO<sub>2</sub>)
  - ⑤ 酸化ナトリウム(Na<sub>2</sub>O)
  - ⑥ モル比
  - ⑦ 外観
- 硬化材・助剤  
 品質管理は、メーカーの品質証明書と分析結果報告書による。  
 袋詰め材料(粉体材料)の品質は、風化固結あるいは袋の破損が無いかをチェックする。
- 混合用水  
 注入材料の混合用水は、水道水を使用する場合には、問題が無い。しかし、河川の水や地下水あるいは、海水の混入している水を使用する場合には、水質検査を行い、ゲル化時間やゲル強度に影響を及ぼさない事を確認してから使用する。

② 施工中の管理

施工に際しては、所定の注入効果を得るため、下記の項目について管理を実施する。

- (1) 注入プラントで管理すべき項目 (2) 注入位置で管理すべき項目  
 (3) 材料品質 (4) 数量 (5) 注入量

【解説】

注入作業とは、注入プラントで適正に配合された注入材を薬液注入ポンプによりホースを通して注入位置まで送り、更に設置してある注入管を通して、地盤中に注入する作業である。

注入の施工は、施工計画書に基づいて実施する。

また、目的とする注入効果が十分に得られるような施工が行われているかの管理も必要となる。施工中の施工管理項目としては次のものがある。

(1) 注入プラントで管理すべき事項

注入プラントにおける管理項目としては、次のものがある。

表-3.1 注入プラントでの管理項目

管理項目	備考（頻度等）
① ゲルタイム測定 <sup>※1)</sup>	1日3回以上（作業開始前・午前・午後）
② 配合 <sup>※1)</sup>	所定の配合で管理し、配合試験時のpH値と比較
③ 注入速度 <sup>※2)</sup>	常時（圧力流量測定装置による。）
④ 注入圧力	
⑤ 注入量	

※1) 耐久グラウト注入は浸透性を重視した注入であり、緩結のゲルタイムを有する薬液を使用する場合が多い。

そのため、テーブルテストにてゲルタイムを確認できない時は、事前の土中ゲルタイム試験で求められたpH値により管理すると良い。

※2) 注入速度は、限界注入速度試験により求められた注入速度内で施工管理を行う。

(2) 注入位置で管理すべき事項

注入位置における管理項目としては、次のものがある。

表-3.2 注入位置での管理項目

管理項目	備考（頻度等）
① 注入深度	ステップ毎
② 注入材の地表へのリーク監視 <sup>※1)</sup>	注入中目視監視
③ 地表面変状の測定・監視 <sup>※2)</sup>	目視監視 必要に応じ事前に計測器を設置し常時監視
④ 近接構造物の変状測定・監視 <sup>※2)</sup>	
⑤ 埋設物への注入の影響監視 <sup>※2)</sup>	
⑥ 注入順序 <sup>※2)</sup>	間隙水圧の上昇を極力防ぐ順序。
⑦ 地下水・公共用水の水質監視	「暫定指針」に基づく

※1) 施工目的上、緩結の注入材を使用しているため、浅い深度での注入時には薬液リークの可能性が生じるため、的確な状況の把握と対策が必要である。

※2) 間隙水圧の上昇等により、周辺構造物や埋設物の変状等が発生する可能性があることから極力その変化を抑える注入順序を事前に検討しておく必要がある。

(3) 材料品質

注入材料は、その荷姿・物性に依じた保管を行い、1ヶ所にまとめ盗難防止・漏洩・飛散・しみ出しのない処置を施す。また、使用する材料により関係法令に基づき所轄の官公庁に対して、適切な申請を行う。

(4) 数量（納入量・使用量・残量）

注入材の数量管理は、以下の要領にて行う。

- ① 搬入時：搬入量の確認
- ② 施工中：1日の注入量（使用量）と残材量の確認
- ③ 施工完了時：全体の搬入量・使用量と残材量の確認

注入材料の搬入時には、監督員の立会いのもとに納品書と数量を照合して検収を受ける。材料の入荷量・使用量ならびに残数量は、常にチェックして、工事日報の所定欄に記載する。

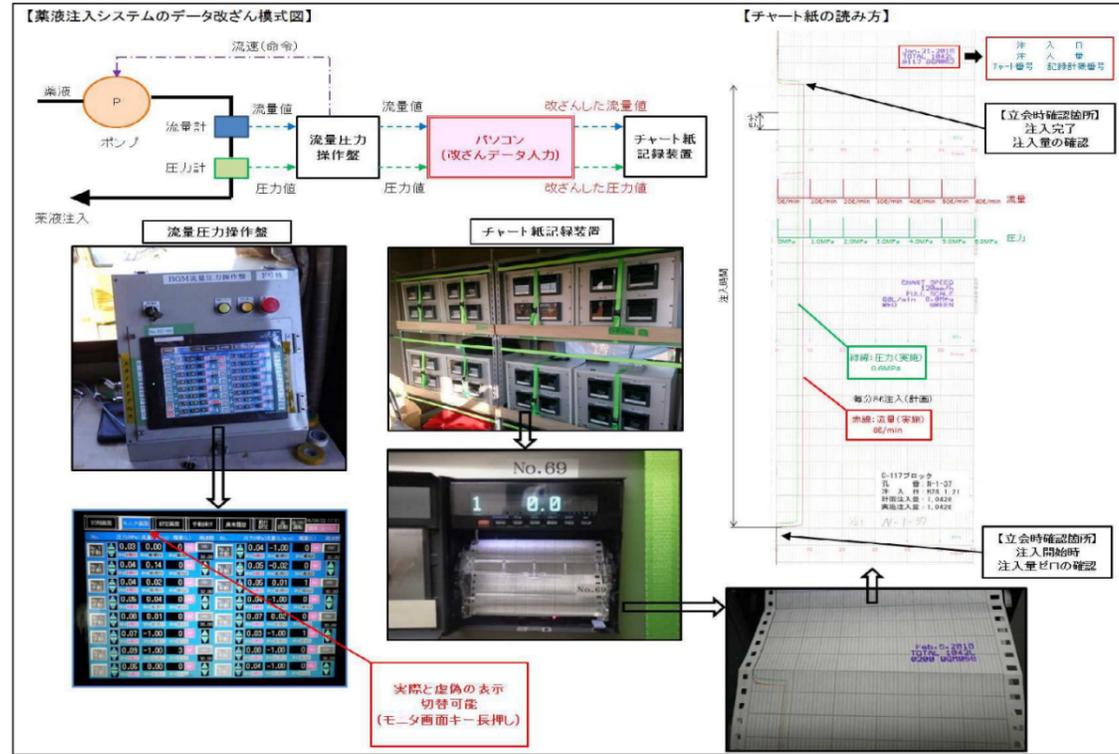
500kℓ以上の注入量となる大型工事においては、主材（水ガラス）原液貯液槽と薬液ミキサ（A液調合槽）との間に流量積算計を設置し、主材原液の使用量を確認する。

(5) 注入量

注入量については、施工計画書における注入量を目標の注入量とする。

＜参考＞薬液注入における注入量データ改ざんの内容

「地盤改良工事の施工不良等に関する有識者委員会 中間報告」 平成 28 年 8 月



② バルーン充填

東京国際空港C滑走路では、注入内管が挿入できない問題が生じていたため、バルーン充填時においても虚偽報告が行われていた。バルーンへ規定量の薬液を充填できない場合に、流量計を通った薬液がタンクに戻るように入力ホースを切り替え、薬液を循環させることで、規定値を満足する薬液の注入を行ったかのように改ざんした流量をチャート紙に記録した。

③ 薬液注入時

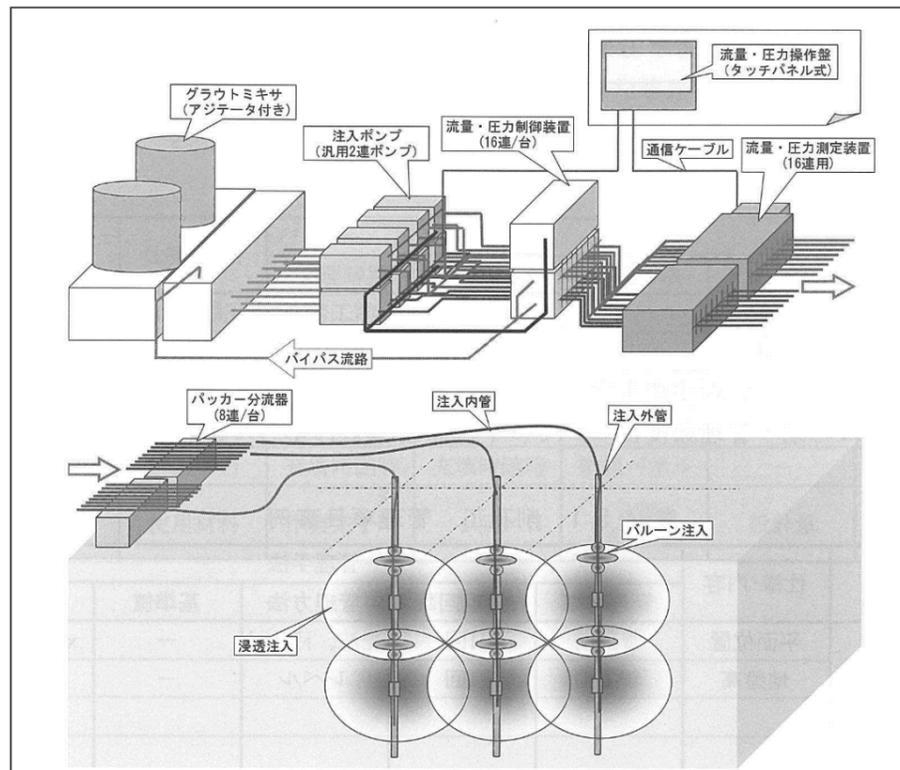
施工不良事案においては、いずれも薬液注入が計画通りに行えなかったため、監督職員の立会時には、実際の注入速度、注入圧力等ではなく、所定量を注入できたかのように規定値を満たす注入速度、注入圧力等をモニターに表示し、またチャート紙にも規定値を満たす値を記録し、発注者に提出した。

データ改ざんに使われたチャート式記録計については、チャート式記録計の使用が仕様上求められている工事に対応するため、平成25年7月に本社エンジニアリング事業部及び機電部主導で開発された。その際、ポンプ圧送に伴う脈動が大きく、記録データが安定しないことから、データのノイズのカットやデータを滑らかに見せる等の補正を行う機能を付与した。この機能による上下限値の設定により、注入量がゼロであっても、あらかじめ設定した値を表示及び記録することができたため、これを悪用して虚偽報告が行われた。

④ 材料の不正な処分

薬液注入に使用する薬液については、規格値を満足する数量を現場に搬入しているが、薬液の注入ができないことにより生じた廃液や余った薬液については、注入がうまくできていないことが発覚しないよう、産業廃棄物として又はメーカーへの返品により処理をした。

また、削孔長が足りない東京国際空港C滑走路では、バルーン充填においても不正を行ったことから、本来使用すべきバルーン充填のための薬剤やセメントベントナイト等の余った材料についても同様に産業廃棄物として処理をした。



薬液注入工法における集中管理システムの例 「バルーングラウト工法技術マニュアル」 平成 23 年 2 月 バルーングラウト工法研究会

薬液注入工法では、複数のポンプによる注入を集中管理するシステムを使用しているものが多く、何本ものホースが複雑に配管されているため、それらが正規の経路で配管されているかを、その場で判断するのは容易でないが、確認が必要である。

流量計の記録が、配管末端に吐出される薬液と整合するかを確認するには、経路が明らかなラインの末端吐出量を計量し、流量計の記録と整合するかチェックする（流量計のキャリブレーション手順）方法が現実的と考えられる。

ただし、キャリブレーションを施工中に行うことはできないので、施工開始前や終了後に時間を設けて確認作業を実施しなければならない。

液状化対策等に用いられる注入材の周辺（水質・構造物劣化）への影響に関する資料

『浸透固化処理工法技術マニュアル（2010年版）』（平成22年6月）、（財）沿岸技術研究センター

(3) 環境への影響

薬液の環境への影響については、pHによる影響がもっとも大きいと考えられる。薬液注入後、固結領域から溶脱する酸性成分により地下水のpHが下がることが懸念されるため、事前にサンドゲルからの酸の溶出試験をしておく必要がある。

酸の溶出試験は、供試体をサンドゲル体積（200ml）に対して10倍量の純水（2ℓ）に浸漬し、材令毎の浸漬水中pHを測定するというものである。

活性シリカは反応材に無機系の酸を使用しているため、酸の溶出による周囲地盤への汚染が懸念されたが酸の溶出が少なく、浸漬水は中性近くを示した。

その理由を以下に述べる。

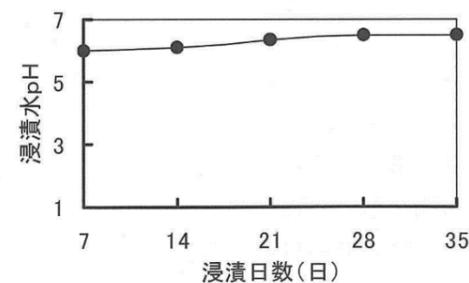
1) 活性シリカ Type I

Na<sup>+</sup>イオンを除去し、安定なコロイダルシリカを形成することから、中性に近いpH領域においてもゲルタイムが長い。すなわち、使用する酸の量が少量で済むため、経済的で環境にもやさしい。

2) 活性シリカ Type II

シリカゾルグラウトは反応量以上の酸を加えなければ作液することができないが、活性シリカ Type IIは、このシリカゾルグラウトに含まれる余剰の酸を強制的に除去したものであるため、結果的に酸の溶出を小さくすることができた。

付属図-1.26 に活性シリカを使用したサンドゲル（豊浦砂）の酸溶出試験結果を示す。この結果から、薬液および改良土からの酸の溶出はほとんどない。



付属図-1.26 酸の溶出試験

ここに示したとおり、特殊シリカを主材とする注入材では、薬液からの酸の溶出は少なく、周辺水質への影響は小さいことが多くの資料に示されている。

しかし、反応材として使用する硫酸成分は、シリカ濃度が高いほど多く必要であり、薬液の種類や配合（特殊シリカと特殊水ガラスの比）によってもその使用量は異なる。

薬液注入工法は既設構造物周辺の地盤改良工法として適用されるケースが多いことから、硫酸イオンが著しく高い注入材を使用した場合、コンクリートの劣化が懸念される。

薬液注入工法の適用にあたっては、使用する薬液に含まれる硫酸イオンの量について確認し、施工中は暫定指針や環境基準に準拠した適切な水質監視を行うことが必要である。

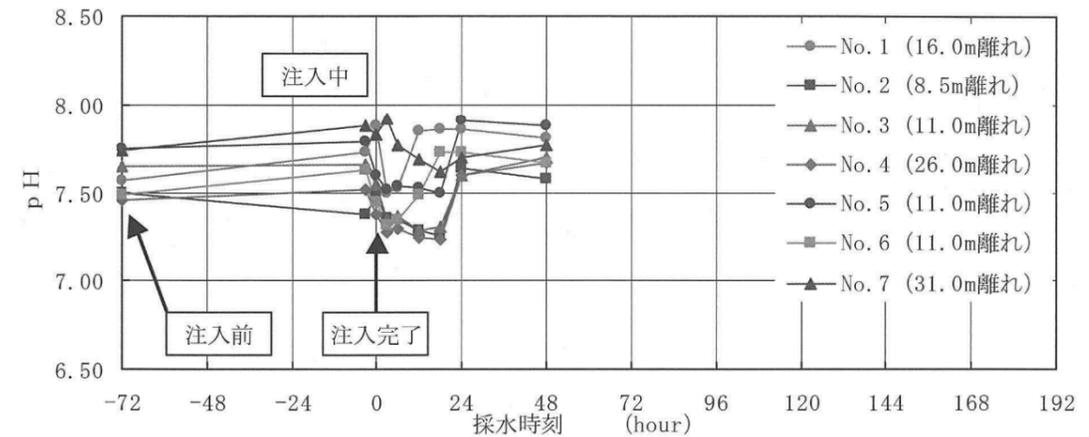
(2) 水質モニタリング事例

1) 津松阪港実証実験

改良体積：65m<sup>3</sup>

使用薬液：エコシリカ I -6.0%

測定項目：周辺地下水の pH、シリカ含有量



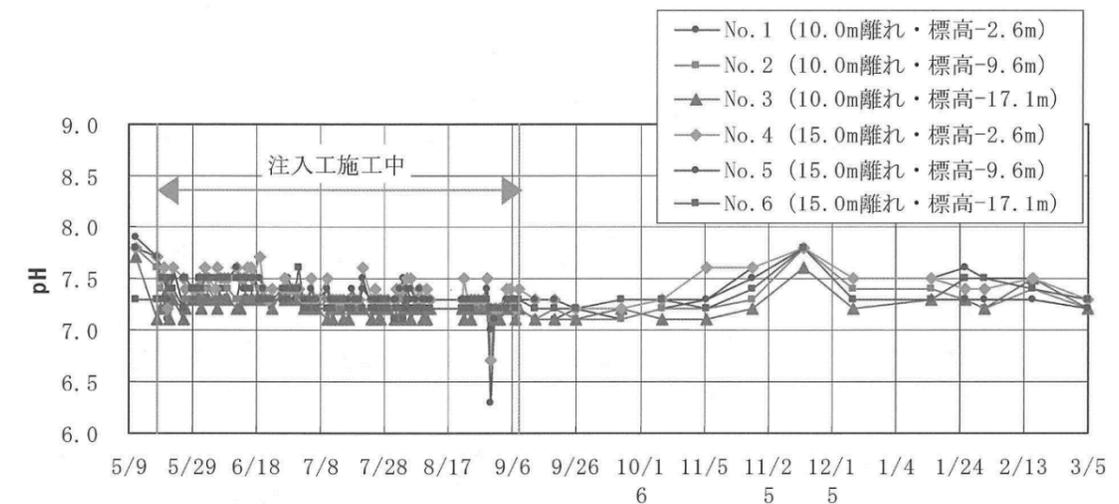
付属図-1.29 水質モニタリング結果 (pH) (津松阪港)

2) 石狩湾新港・10m 岸壁 (B部) 改良外一連工事

改良体積：9500m<sup>3</sup>

使用薬液：エコシリカ II -6.0%

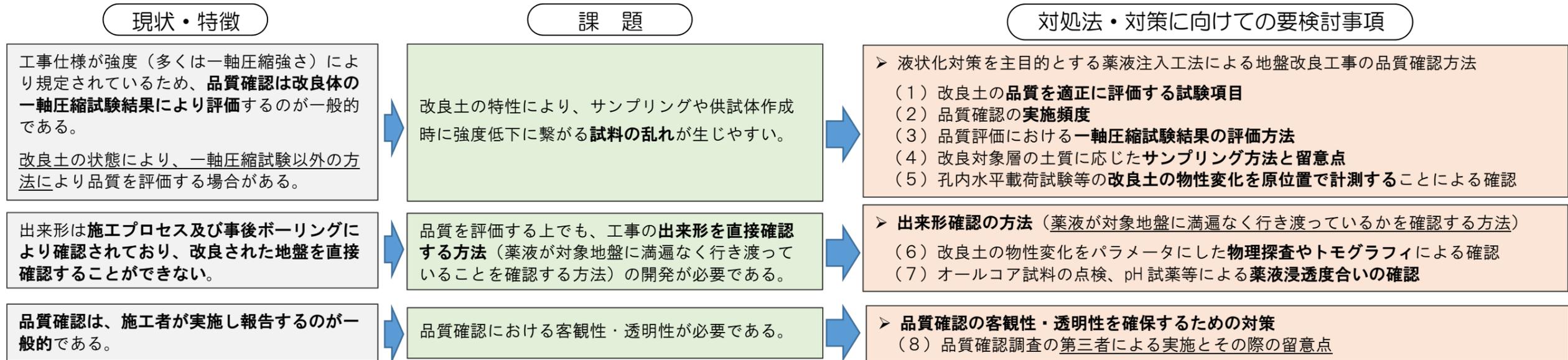
測定項目：周辺地下水の pH



付属図-1.31 水質モニタリング結果 (pH) (石狩湾新港)

### 3. 地盤改良後の施工確認方法の現状と課題

- ・薬液注入工法の事後調査では、改良土を一軸圧縮強さにより評価するが多い。しかし、改良土は  $qu=50\sim 100\text{kN/m}^2$  程度の強度であり、対象地盤によっては事後調査における試料採取時、供試体作成時において、強度低下に繋がる乱れが生じやすい。
- ・工事目的物の出来形を直接的に確認する方法（地盤内に満遍なく行き渡っているかを直接的に確認する方法）・品質管理方法（試験項目やその評価方法）の適用。



#### 浸透固化処理工法技術マニュアルに示された標準的な事後調査（出来形・品質確認）の実施項目

『浸透固化処理工法技術マニュアル（2010年版）』（平成22年6月）、（財）沿岸技術研究センター

事後調査	不攪乱試料採取による方法	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ	○	JIS A 1216
		土の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験	$S_u (c', \phi')$	△	JGS 0523
原位置試験	土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験	$c_u, \phi_d$	△	JGS 0524	
	土の繰返し非排水三軸試験	液状化強度比	△	JGS 0541	
	土の粒度試験	粒度	△	JIS A 1204	
その他の試験	孔内水平載荷試験	降伏圧	△	JGS 1412	
	電気式三成分コーン貫入試験	先端抵抗、間隙周面、摩擦力水圧	△	JGS 1435	
	シリカ含有量試験	シリカ含有量	△	原子吸光法 <sup>※1</sup>	

- ・対象土が礫分を含む場合など、一軸圧縮試験では正しい改良体強度を評価できない場合がある。
- ・施工計画段階（事前調査・配合試験）において、一軸圧縮試験に代わる品質評価方法を決め、事後調査において適正な評価ができるように、基準となる試験データ等を整理する必要がある。

（例）シリカ含有量増分による評価・・・シリカ含有量増分-一軸圧縮強さ関係

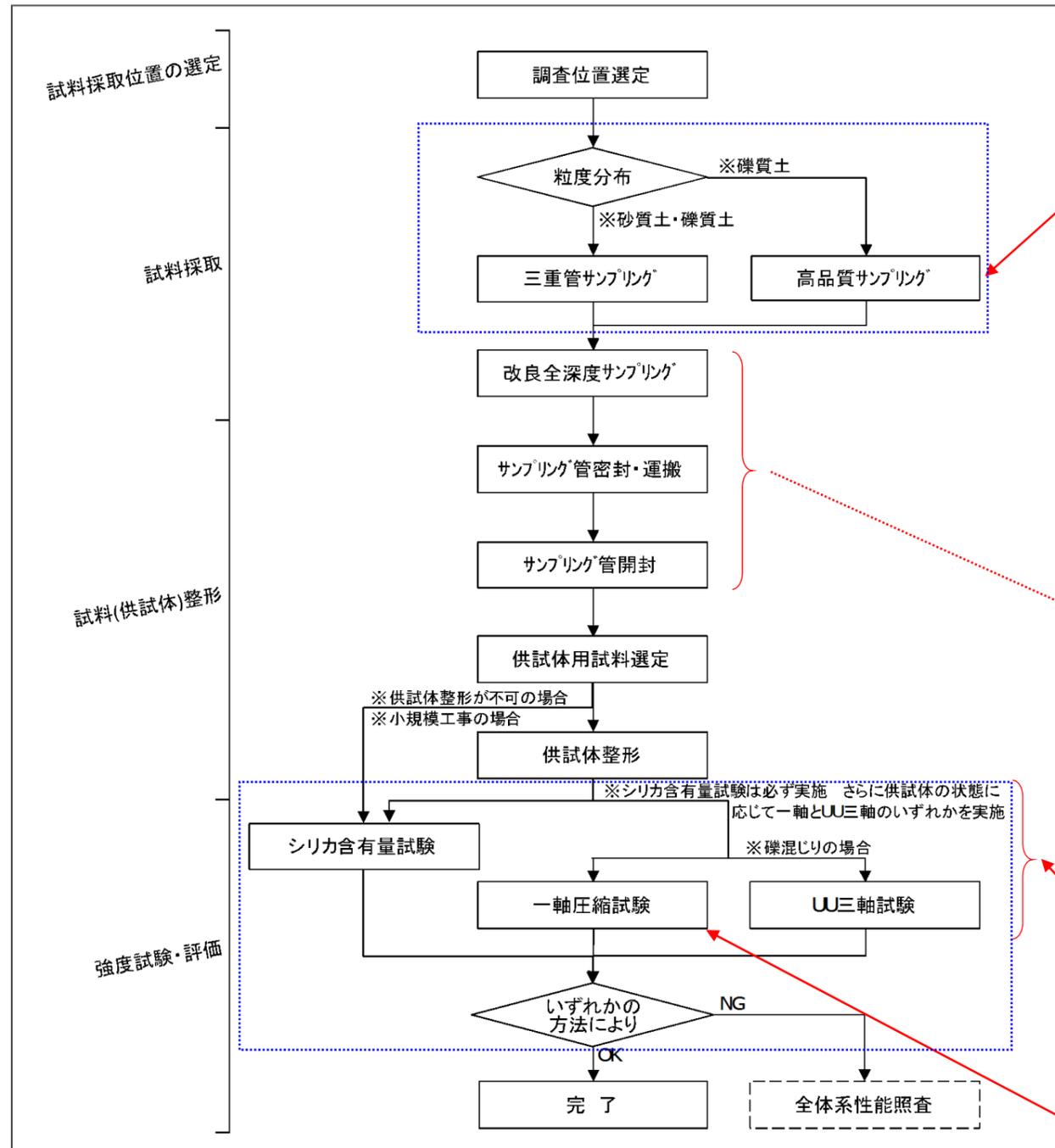
#### 品質確認調査の実施頻度に関する記述例

「耐久グラウト注入工法施工指針」平成24年3月（社）日本グラウト協会 p21

① 試料採取本数  
試料採取本数は、施工規模、施工条件によって異なるが、改良対象土量  $5000\text{m}^3$  未満は3箇所程度、 $5000\text{m}^3$  以上は  $2500\text{m}^3$  増える毎に1箇所追加することを目安とする。ただし、企業者の特記仕様書並びに共通仕様書に施工本数が記載されている場合には、それに準じる。

- ・薬液注入工法の品質確認調査の頻度は固化改良（深層混合処理工法）に準じたものとなっている。
- ・薬液注入工法では、改良土の強度のほかにその出来形（薬液が対象地盤に満遍なく行き渡っているか）が品質（改良目的に対する性能）を左右するため、代表深度で行う強度試験（一軸圧縮試験等）に加え、pH 試薬等による薬液浸透度合いの確認、シリカ含有量試験等を実施することが望ましいと考えられる。
- ・pH 試薬等による薬液浸透度合いの確認、シリカ含有量試験は乱した試料でも実施可能であるため、その評価は試料採取方法とその品質に左右されにくいと考えられる。
- ・将来的にはより簡易な調査（土質の判定が可能なサウンディング；PDC等）により、品質確認を補間する手法の開発が望まれる。

今後は、品質確認調査において下図に示すような手順の適用とその課題を検討する必要がある。



### 一軸圧縮試験以外の方法を含めた強度による改良体の品質評価方法（フロー）の例と課題

「埋立地の地盤改良に関する検討報告書＜確実な施工と品質確保＞」平成 28 年 9 月（一社）日本埋立浚渫協会

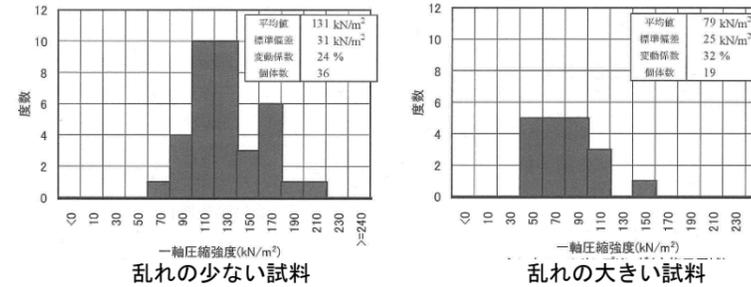
は今後の品質確認調査・試験を考える上で検討すべき事項を示す

### 改良対象層の土質に応じたサンプリング方法と留意点

改良土は  $q_u=50\sim 100\text{kN/m}^2$  程度の強度であり、事後調査における試料採取時、供試体作成時において、強度低下に繋がる乱れが生じやすい。

対象層が礫を含む場合、三重管サンプリングに代えて高品質サンプリング（GPサンプリングやGSサンプリング）を行うことで、乱れの少ない試料を得ることがある場合がある。ただし高品質サンプリングは高価であるため、不攪乱試料を使う強度試験以外の評価方法の適用とあわせて検討する必要がある。

また、必要に応じてベンダーエレメント法等により供試体の乱れを確認する。



### 試料の乱れによる一軸圧縮強さの違いの例

『浸透固化処理工法技術マニュアル（2010年版）』（平成 22 年 6 月）、（財）沿岸技術研究センター

薬液注入工法では、改良土の強度のほかにその出来形（薬液が対象地盤に満遍なく行き渡っているか）が品質（改良目的に対する性能）を左右する。

したがって、採取した試料は、開封時に試料の乱れを確認するとともに、目視・触診により改良土コアの固結度や薬液の浸透度合いを確認し、記録することも重要である。

これは、セメント固化改良体の品質確認において、コアの採取率やRQD※から改良体の連続性を確認するプロセスと同等のものと考えることができる。⇒RQD評価における目安の検討が課題

※RQD：コア長 1m 中に含まれる 10cm 以上の棒状コアの割合。これら棒状コアの長さ(cm)の総和を 100cm で割ったもので表した割れ目の多さを示す指標。

### 品質評価において一軸圧縮試験以外の方法を適用する場合の留意点

対象土が礫分を含む場合など、一軸圧縮試験では正しい改良体強度を評価できない場合がある。

このような場合は、施工計画段階（事前調査・配合試験）において、一軸圧縮試験に代わる品質評価方法を定め、事後調査において適正な評価ができるように、基準となる試験データ等を整理する必要がある。

例えばシリカ含有量増分により評価する場合には、配合試験において一軸圧縮試験供試体のシリカ含有量試験を行い、シリカ増分一軸圧縮強さ関係を求めておく必要がある。なお、過去に同じ対象層で行われた施工がある場合は、そのデータも含めて整理することで信頼性を検証する。

### 品質評価における一軸圧縮試験結果の評価方法

一軸圧縮強さの目標値を定めて品質評価の指標としている場合、

- 1 試料 3 供試体の平均値が目標値以上、かつすべての試料がその条件を満たすことを評価基準とする。（最も一般的な考え方）
- 供試体 1 個 1 個の試験値全てが目標値以上であることを評価基準とする。
- 上記の評価において、ある程度の不良率※を許容する。
- 全試料（もしくは供試体）の平均値が目標値以上であることを評価基準とする。

※不良率：目標値を下回る結果がある程度存在することを許して評価する場合の割合。

というように、試験結果の扱い（考え方）はいくつか考えられる。

⇒改良土の状態によっては 1 試料につき 3 供試体を確保できない場合があり、その際に②～④のような考え方で品質を評価することについては検討が必要と考えられる。

**出来形（対象範囲全体が改良されていること）の確認**

- ・地盤改良工事は出来形を直接確認できないため、注入量とボーリングによる代表地点の事後調査（品質評価）により出来形評価に代えるのが一般的である。
- ・一方で、薬液注入工法による地盤改良は**対象範囲全体が改良されていること（薬液が確実に浸透していること）が重要**である。（本来は上記の品質管理調査とは別に実施されるべき）
- ・現時点では、最適な調査手法は確立されていないため、周辺技術の適用を含めた新たな手法の開発が必要と考えられる。

従来から用いられている手法：

- ・改良範囲のオールコア試料の点検、pH 試薬等による薬液浸透度合いの確認

今後開発が必要な手法：

- ・改良土の物性変化をパラメータにした物理探査やトモグラフィによる確認等

**従来から用いられている手法の例**

**(参考) 試薬による薬液充填確認（メチルレッドアルコール溶液）**

メチルレッドアルコール溶液を用いた試薬を採取試料に噴霧すると、 $pH \leq 4$  で赤色化し、 $pH \geq 6$  で黄色化する（写真-Ⅲ.1.4）。したがって、酸性である薬液に反応すると赤色化することで薬液が充填されていることが確認できる。実際の改良土のボーリング試料に試薬を噴霧した状況を写真-Ⅲ.1.5 に示す。赤色化の範囲を確認することで、深度方向の改良範囲を把握することができる。

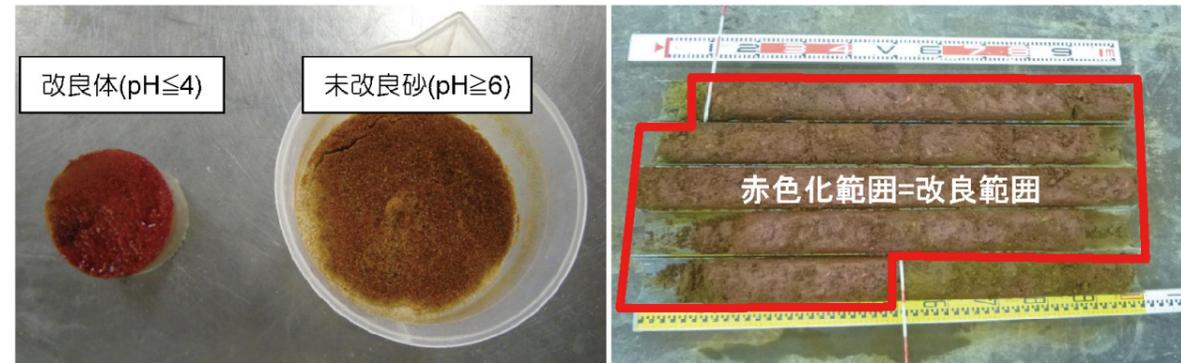


写真-Ⅲ.1.4 pHによる変色状況

写真-Ⅲ.1.5 ボーリング試料への試薬噴霧例

**pH 試薬による出来形（薬液充填）確認の例**

「埋立地の地盤改良に関する検討報告書＜確実な施工と品質確保＞」平成 28 年 9 月（一社）日本埋立浚渫協会

メチルレッドアルコール溶液による方法は簡便であるが、対象土（たとえば、アルカリ性の地盤）によっては反応しない場合があるため、薬液充填状況を確認する目安のひとつと考える必要がある。

不攪乱試料を採取した場合は、コアの目視・触診による固結度の確認を、乱した試料ではシリカ含有量試験を併用するなど、いくつかの視点で出来形を確認することが望ましい。

**今後開発が必要な手法の例**

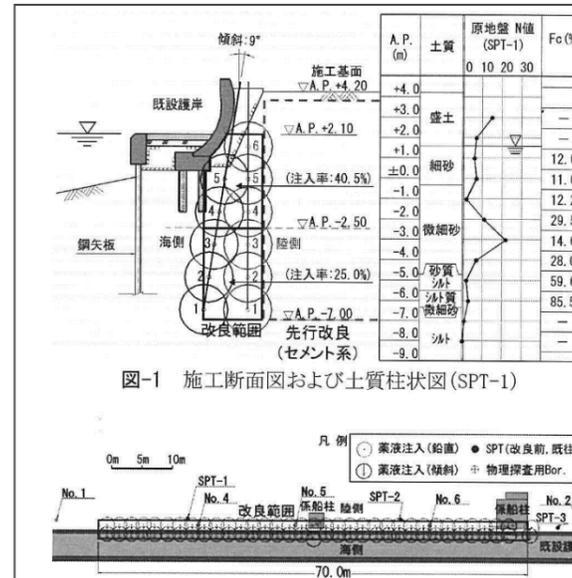


図-1 施工断面図および土質柱状図 (SPT-1)

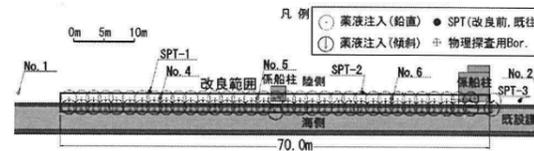
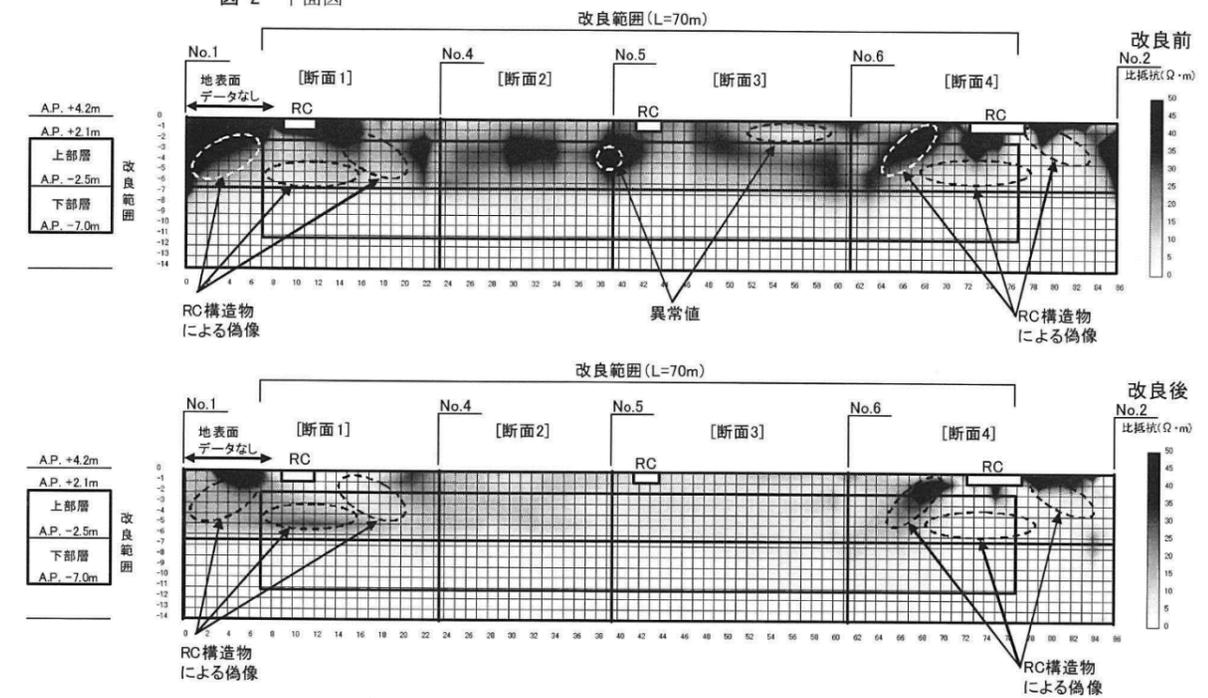


図-2 平面図



**物理探査（比抵抗トモグラフィ）による薬液注入改良地盤の改良効果確認事例**

「薬液注入工法の設計・施工法および試験法に関する研究委員会 活動報告書」（平成 27 年 5 月）

薬液注入工法では、地盤の間隙水が薬液に置き換えられ地盤の圧縮率が変化する。また、薬液が固化することで地盤の強度が増加する。

したがって、改良後の地盤は弾性波速度や電気伝導度の特性が変化することになるため、施工前後におけるその差異を物理探査や孔間トモグラフィにより比較することで、対象地盤全体に改良効果が現れているかを確認することができると考えられる。

これらの手法の適用性については、過去の事例をもとに検討と技術開発を進める必要がある。

**品質確認の客観性・透明性を確保するための対策**

品質確認に客観性・透明性を確保するためには、事後調査は第三者（施工者以外の業者）が実施することが望ましい。  
 ・ ・ ・ 過去に行われた工事でも、事後調査(品質確認のための調査・試験)を別発注業務とした事例がある。

ただし、改良土の品質を適正に評価するためには、事後調査とその評価を実施するものが地盤改良工事の技術について十分な知識を有する必要がある。

**施工者が品質確認調査を実施する場合の管理監督方法(案)**

施工者が品質確認調査を実施する場合は、客観性・透明性を確保するために、以下の管理監督が必要と考えられる。

- 試料採取時 ・ ・ ・ ・ ・ 1) 試料採取は全数監督員立会を基本とする。  
 2) 採取したサンプリング管には立会監督職員等が直ちにサインする。  
 試料整形・試験時 ・ ・ ・ 3) サンプラーを開封する際は、監督職員立会のもと、試料採取時に記載したサインを確認した上で開封することを原則とする。

「埋立地の地盤改良に関する検討報告書<確実な施工と品質確保>」平成 28 年 9 月(一社)日本埋立浚渫協会を参考に整理

**品質確認調査の第三者による実施とその際の留意点**

事後調査を第三者が実施すれば、品質の評価には客観性・透明性が保たれると考えられる。  
 一方で、改良土の品質を適正に評価するためには、地盤改良工事の技術について十分な知識を有するものが、改良土の特性や状態を考慮した上でこれにあたり、その結果に責任を持つことが必要である。

第三者が品質確認調査を行う際には、以下の点に特に留意しなければならないと考えられる。

- 試料採取時 ・ ・ ・ ・ ・ 1) 適切な試料の採取方法  
 ・ ロータリー式三重管サンプラーによることを基本とするが、礫分が多く不攪乱試料採取が困難な場合は、高品質サンプリングの使用も検討する。  
 ・ 凍結サンプリングは改良体が損傷するため実施してはならない。  
 ・ 採取した試料は、乾燥すると強度が大きく低下するため、採取後に密閉処理を施す。  
 ・ 層構成が複雑な地盤において、1m 未満の薄層の試料を採取する場合は、中心から上下 1m 程度の試料採取を行い、改良対象層の選定を行うなどの措置をとる。
- 試料整形・試験時 ・ ・ ・ 2) 開封の際、押し出し装置は使用せず、電動ノコギリ等によりサンプラーを半割りにして開封する。  
 3) 供試体作成用試料は、経験者による目視および触診により、採取・運搬および開封時に生じたと想定されるクラック等の少ないできるだけ健全な箇所から採取する。  
 4) 礫の混入等により供試体の載荷面に凹凸ができる場合は、載荷面を石膏によりキャッピングして平坦化する。  
 5) 試験時には、必要に応じてベンダーエレメント法により供試体のせん断波速度を求め、PS 検層結果と比較することにより試料の乱れを測定する。

なお、適正な調査・試験の実施のためには、施工者をまじえた三者協議、施工者の立会が有効な場合もあると考えられる。

「埋立地の地盤改良に関する検討報告書<確実な施工と品質確保>」平成 28 年 9 月(一社)日本埋立浚渫協会を参考に整理

**<参考>事後ボーリングにおけるデータ改ざんの内容**

「地盤改良工事の施工不良等に関する有識者委員会 中間報告」平成 28 年 8 月

**⑤ 事後ボーリング**

地盤改良施工後の地盤の強度確認を行うための事後ボーリングにおいて、薬液が十分注入されておらず、供試体に十分な強度が発現しないことが予想されたため、供試体を差し替えて、一軸圧縮試験を実施した。

なお、松山空港については、事後ボーリング調査を工事とは別に発注していたため、供試体の差し替えは行われなかった。

また、施工不良はないと報告されたものの、ボーリング供試体の差し替えが行われた八代港の工事では、事後ボーリングにおいて、薬液注入の必要がない粘土層のみが採取されたため、本来であれば、再度ボーリングを行うべきところ、工期末まで時間的余裕がなかったことから、別途現場で採取した土砂に薬液を混ぜた供試体を作成し、これと差し替えた上で、一軸圧縮試験を実施した。

**高品質サンプリング**

高品質サンプリング (GP サンプリングの例)

GP サンプリングは、水溶性ポリマー濃厚溶液を使用することで、土試料表面を保護し、砂質土および礫混じり土の乱れの少ない試料採取を行うことができる。

このほかにも固定ピストン式二重管サンプラー (GS) サンプラーなどが、高品質サンプリングの方法として使用された事例がある。

**試料の乱れの評価**

ベンダーエレメント法の概念図

供試体の両端にベンダーエレメント（センサー：2 枚の圧電素子を張り合わせた振動子）を取り付け、一方からせん断波を送信し、他端で伝播したせん断波を受信することで、土のせん断波速度を求め、別途実施する PS 検層結果と比較することで、供試体（サンプリング試料）の乱れの程度を推定することができる。

このほかにも、一軸圧縮試験における応力とひずみの関係や変形係数(E<sub>50</sub>)、破壊ひずみ等により、試料の乱れを判定する方法がある。

「地盤調査の方法と解説」平成 25 年 3 月 (公社)地盤工学会 p272、213

「地盤材料試験の方法と解説」平成 21 年 11 月 (公社)地盤工学会 p807