

# 埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討

## 第 2 回委員会資料

### ■目次

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 「埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討」 第 2 回委員会における検討の視点 | 1  |
| 1. 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の課題と対応方針(案)について           | 2  |
| 2. 施工中の施工管理方法の課題と対応方針(案)について                      | 6  |
| 3. 地盤改良後の施工確認方法の課題と対応方針(案)について                    | 13 |

国土交通省 港湾局

平成 29 年 3 月 9 日



## 「埋立地等における薬液注入工法による地盤改良工事に関する検討」第2回委員会における検討の視点

### 1) 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の課題と対応方針(案)について

#### 課題

- ・埋立地のような不均一地盤を詳細に評価するための調査を行う必要がある。
- ・薬液注入工法の施工計画に必要な調査・試験項目及びその手法を標準化する必要がある。

#### <第1回委員会意見>

- ・地盤の不均一性は、深度方向と平面的な広がり両面から評価するよう地盤調査すべきではないか。

#### 対応方針(案)

- ・既往の地盤調査や埋立履歴等から対象地盤の透水性を推定し、不均一性を評価する。
- ・対象地盤の不均一性が大きい場合、不均一性が小さい場合に依じた対応をとる。
- ・不均一性が小さい場合は、現状の調査方法を適用する。
- ・不均一性が大きい場合は、ボーリング調査に加え、表面波探査を行った上でサウンディングを実施する。
- ・地盤の不均一性の平面的な広がりや表面波探査により、深度方向の不均一性はサウンディングにより把握する。

### 2) 施工中の施工管理方法の課題と対応方針(案)について

#### 課題

- ・施工計画において明記すべき事項を標準化する必要がある。
- ・対象地盤が特殊な場合や新技術を適用する際の「施工の確実性」の担保。
- ・施工仕様を適切に管理するための施工管理とその確認方法、精度管理。
- ・トラブル及び異常への対処。

#### <第1回委員会意見>

- ・第三者が確認できるように土中ゲルタイムの確認方法を示す必要があるのではないかと。
- ・本施工に先立ち、必要に応じて試験施工を実施してはどうか。
- ・意図的に行われた不正への対応と技術的に未熟なものへの対応を分けて考えるべきである。
- ・想定と異なる事案への柔軟な対応が必要ではないかと。

#### 対応方針(案)

- ・施工計画段階では、土懸濁液のpH試験、シリカ含有量試験、限界注入速度試験を重要試験として行う。
- ・受注者は、施工計画にゲルタイム設定根拠、注入材のpH管理値、機器類のキャリブレーションの方法、配管レイアウト等を明示する。
- ・施工に際して発注者はそれぞれの項目が管理値どおりか抜き打ちを含む立会により確認する。
- ・①過去に同種工法の施工実績がない場合、②新技術を適用する場合、③既設構造物への影響がある場合に試験施工を実施する。
- ・受注者が行う機器類のキャリブレーションを発注者等が確認する。
- ・チャート紙の記録が適切であること、不正な配管がないか、ゲルタイムが適切に管理されているかを確認する。

### 3) 地盤改良後の施工確認方法の課題と対応方針(案)について

#### 課題

- ・サンプリングや供試体作成時に生じる強度低下に繋がる試料の乱れへの対策。
- ・工事目的物の出来形を直接確認することができないことへの対策。
- ・品質確認における客観性・透明性の確保。

#### <第1回委員会意見>

- ・改良後の地盤を評価する際に、従来の方法に加えて新技術を用いた原位置試験法が活用できるのではないかと。
- ・品質確認のために非破壊で地盤内を可視化し、改良後の地盤を確認する技術の研究開発を進める必要があるのではないかと。

#### 対応方針(案)

- ・当面は、従来どおり一軸圧縮試験による評価を原則とするが、サウンディング(PDC)により補間して評価する。
- ・PDCでは改良後のNd値の増加と透水性の低下により、対象土層が深度方向に連続的に改良されているか評価する。
- ・不均一性が小さい場合は、従来と同様とする。

- ・客観性を確保するため、第三者による確認を原則とする。

#### 中長期的課題

- ・改良地盤の非破壊探査による三次元形状把握の技術開発を行う。
- ・地盤の可視化に向けた研究開発を行う。
- ・PDCによる薬液注入された地盤の定量的な評価手法の研究開発を行う。

## 本検討で対象とする薬液注入工法とその適用範囲

#### 適用範囲

本検討は、基礎地盤等の地盤改良効果が、長期にわたって期待される薬液注入工事を対象とする（仮設を前提とした薬液注入工事は対象としない）。

また、地盤改良効果が長期にわたって期待される薬液注入を用いた液状化対策、耐震補強対策等の地盤の強度増加、または止水性の向上を目的としたものがある。

#### (1) 強度増加

砂層や砂礫層の地盤にて粘着力を増加させ、強度の増加を図るものであり、液状化の防止や地耐力の増加等を目的とする

#### (2) 止水性の向上

砂層や砂礫層の地盤の間隙や割れ目を閉塞し、地下水の動きを阻むものであり、耐久性の必要な止水性等があげられる

#### 対象とする注入材(薬液)

液状化対策や耐震補強等を目的に開発され、低速度で薬液を地盤内に注入することにより、地盤への均一な薬液の浸透注入ができる工法を対象とする。

使用する注入材(薬液)は、一般的に広く使用されている浸透性に優れた溶液型注入材料を対象とする。

※“特殊中性・酸性系注入材”や“特殊シリカ系注入材”は、ゲルタイムを数十分～数時間以上と長く設定できる（緩結）ことから、主材と反応材を混合した状態で地盤に低速度で浸透注入させることができる。

※対象土が砂礫質で空隙が大きく、溶液型注入材では流出や希釈の影響により所定の改良効果が得られない場合には、懸濁型（セメント系等）注入材が適用された事例もある。

## 1. 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の課題と対応方針(案) について

- ・埋立地のように不均一な地盤では、地盤の不均一性が施工に大きな影響を与える場合があるため、施工を行う地盤の物性（特に細粒分含有率、透水係数）や土層構成を細かく知ることが設計・施工上重要である。
- ・しかし、設計前の地盤調査のみでは薬液注入の詳細な施工計画に必要な情報が不足しているケースがある。
- ・このため、より適切な施工をするためには、より詳細な地盤条件の確認が必要な場合がある。

### 現状・特徴

設計時の調査は「埋立地の液状化対策ハンドブック」等に示された調査内容・地点間隔を目安に実施されている。

液状化対策の対象となる沿岸の埋立地等では、地盤が不均一である場合が多い。

工事発注前段階の地盤調査では、対策の要否の検討が主目的であり、対策工法は決まっていない場合が多い。

### 課題

埋立地のような不均一地盤では、目安とされている間隔でボーリング調査を行っても、地層（土質）の変化を詳細に把握することは困難な場合もある。

薬液注入工法の施工計画に特化した事項は調査項目となっていない場合がある。

### <第1回委員会での意見>

地盤の不均一性を適切に把握するためには、深度方向と平面的な広がり両面から評価できるように地盤調査を実施するのがよいのではないかと。

## 対応方針(案)

### 【工事発注前段階】

- 既往の地盤調査や埋立履歴により、透水係数<sup>\*</sup>を推定し、対象地盤を「不均一性が大きい」、「不均一性が小さい」の2段階に判別する。

※ 薬液注入工法の適用性、注入諸元（注入速度、注入圧力）の設定の観点から、対象地盤の透水係数が  $10^{-6}$  m/sec 未満であるか否かに着目する。

- ・ **不均一性が小さい場合**は、現状の調査方法を適用。
- ・ **不均一性が大きい場合**は、表面波探査等により地中のせん断波速度分布を把握し、ボーリング間隔100mに加えて中間位置や表面波探査で捕らえられた特異点でサウンディング（PDC、CPT等）を実施。

※ 地盤の不均一性について、平面的な広がりとは表面波探査により、深度方向の不均一性はサウンディングにより把握する。

※ 表面波探査は、複数の測線で実施することにより、地盤の平面的な評価が可能である。

※ なお、地盤の不均一性の評価において、密度、透水係数を直接計測することが困難であることからN値（またはNd値）および細粒分含有率（Fc）を用いることとする。

### 【施工計画段階】

- 補間のための地盤調査

- ・ **不均一性が小さい場合**は 従来どおりとする。
- ・ **不均一性が大きい場合**については、地盤の状況に応じた注入量や配合を設定することとし、必要に応じて、補間のためサウンディング（PDC、CPT等）を実施する。

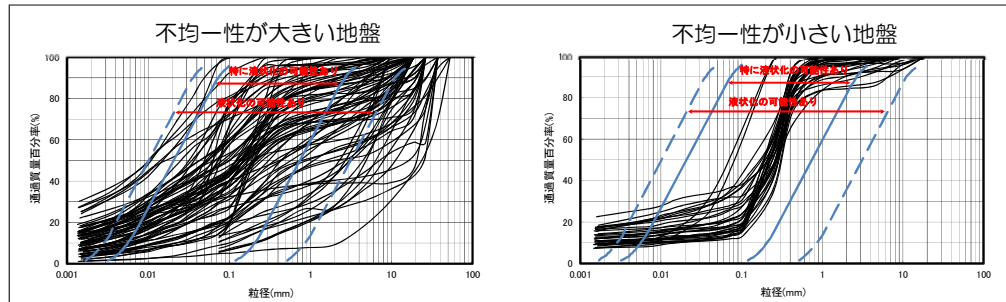
# (1) 対象地盤の不均一性の評価

対象地盤を「不均一性が大きい」地盤と「不均一性が小さい」地盤に区分する指標としては、以下のような項目が挙げられる。

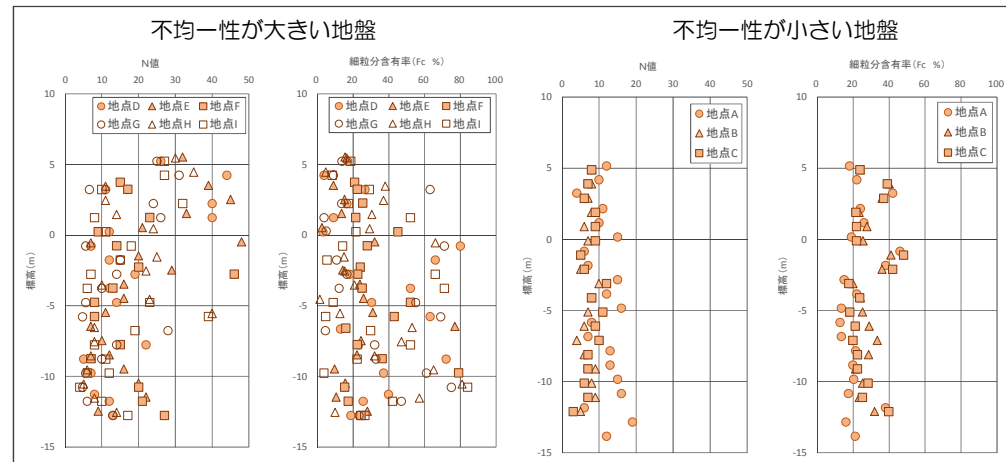
- ① 粒径加積曲線が礫分～粘土分にわたっており、粒度が不揃いであること。
- ② 改良対象土層のN値や細粒分含有率(Fc)が不揃いである(ばらつきが大きい)こと。
- ③ 細粒分含有率(Fc)に関しては、薬液注入工法の適用限界であるFc=40%を挟んで、数十%以上の幅でばらついていること。
- ④ 対象地盤の成層が深度方向に細かく変化する。水平方向への連続性が悪い(4ページの図参照)。互層状であること。
- ⑤ 対象箇所の埋立履歴および工事資料等から、埋立てに使用された土砂が複数の場所から搬入されており、場所による土質の違いが大きいと推定されること

※上記の指標による不均一性の評価は、周辺の土質調査結果も含めて工学的に判断する必要がある。

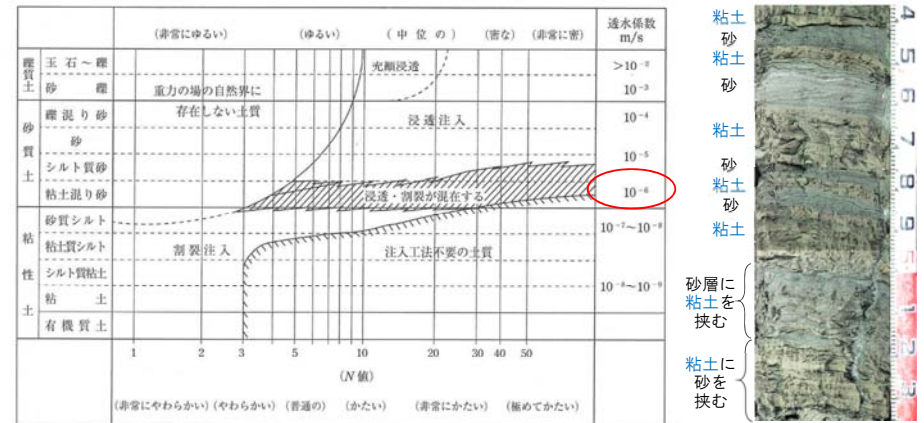
※不均一性は、表面地探査等の物理探査により、その広がりを視覚的に捉えることができる場合がある。



粒径加積曲線の例



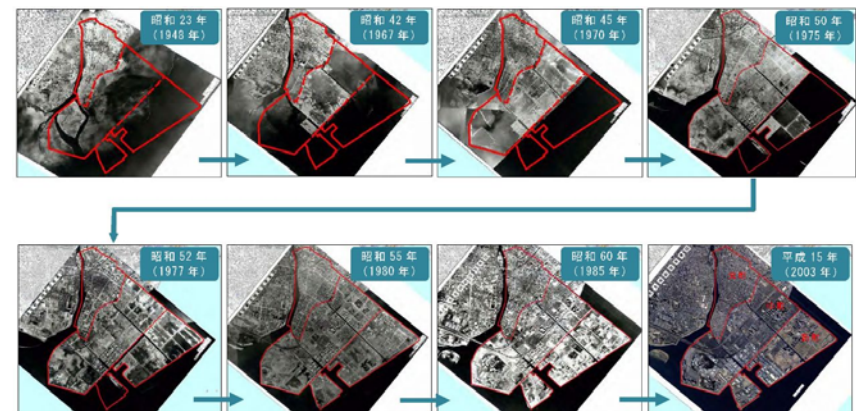
N値および細粒分含有率の深度分布の例



薬液注入工法の適用性と対象地盤の粒度・透水係数の関係

薬液注入工設計資料(平成28年度版) (一社)日本グラウト協会

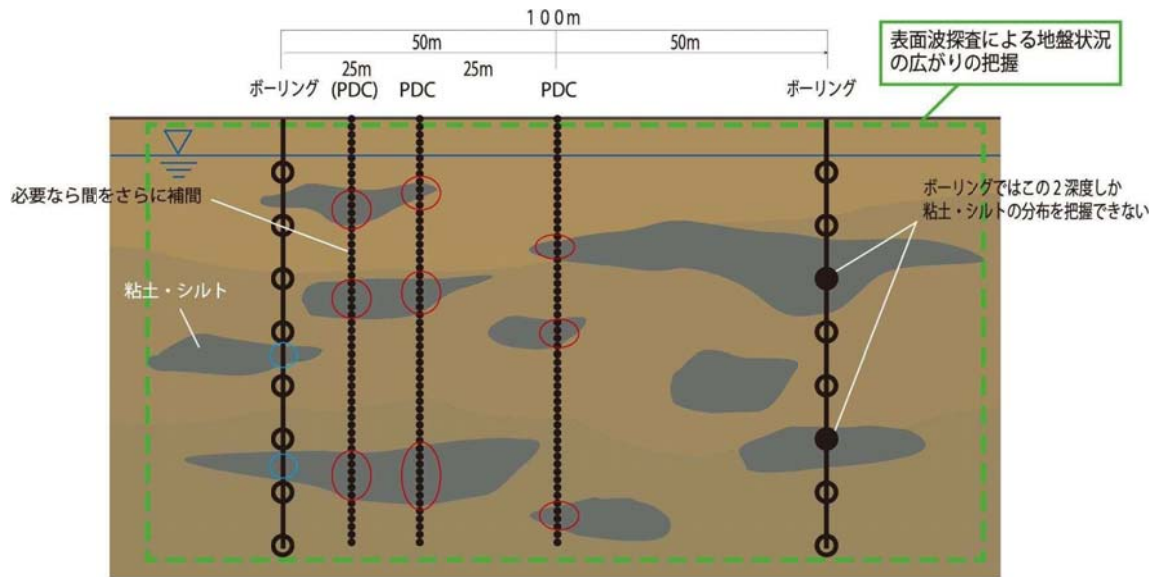
粘土と砂の互層の例



埋立履歴(時系列整理)の例

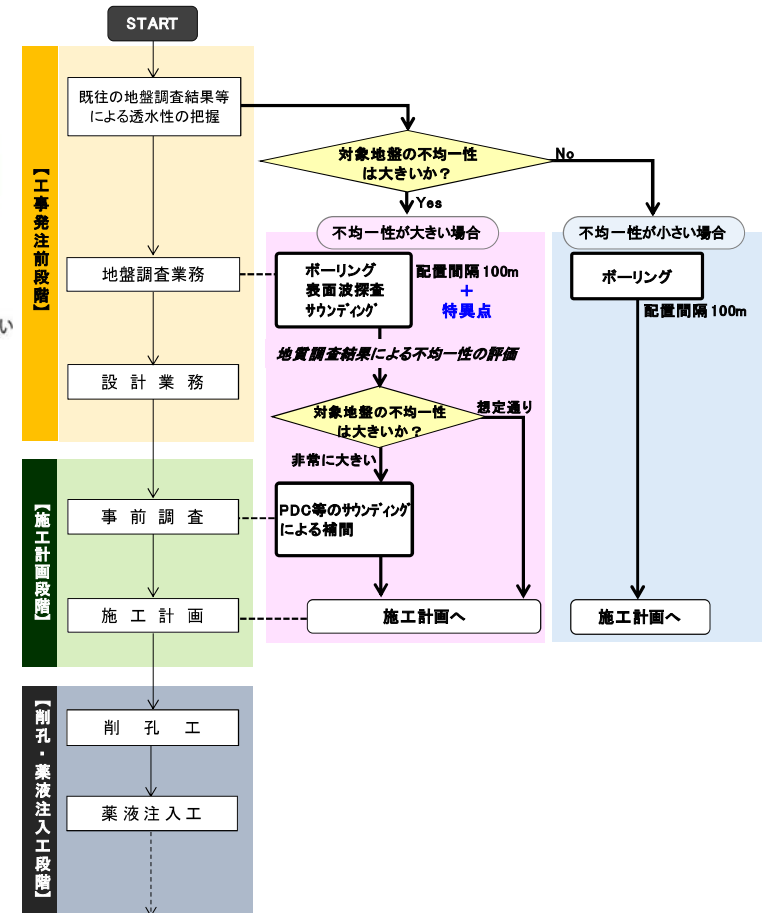
## (2) 不均一地盤における調査地点の配置

- ・対象地盤の不均一性が小さい場合は、現状の調査方法を適用する。
- ・対象地盤の不均一性が大きい場合は、表面波探査等により地中のせん断波速度分布を把握し、ボーリング間隔 100m に加えてボーリングの中間位置や表面波探査で捕らえられた特異点でサウンディング (PDC、CPT 等) を実施。



ボーリングだけでは土層中の粘土・シルトの分布は点在するとしが把握できないが、サウンディングにより間を補間することで、対象範囲内に粘土・シルトが分布し、地層構成がかなり不均質であることが確認できる。

不均一性が大きい地盤の調査のイメージ

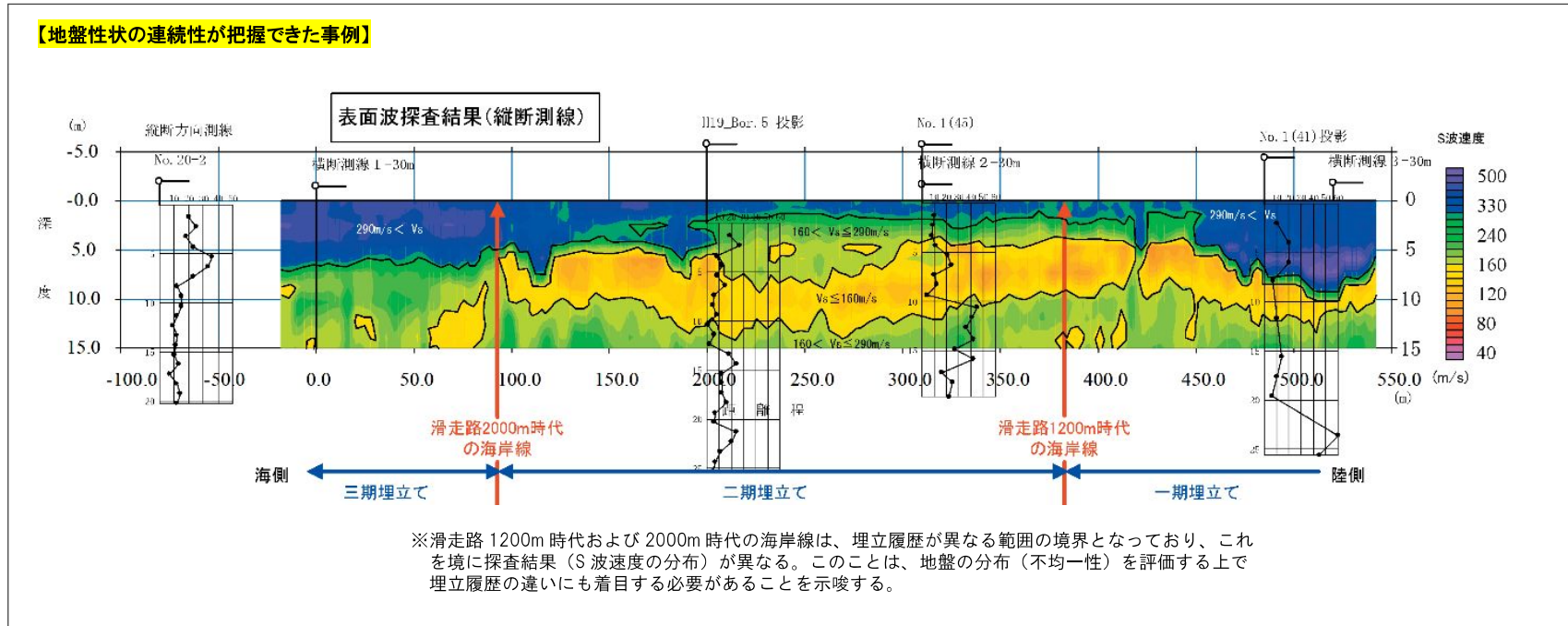


不均一性が大きい地盤の調査フロー (案)



### (3) 地盤の不均一性を評価する際の物理探査の適用性

・地盤の固さや地下水の状態は、表面波探査等といった物理探査によって視覚的に把握できるため、物理探査は地盤の不均一性判断や対象地盤中の特異点抽出についての精度向上に寄与する。



- ・地盤の物性値にある程度のコントラストがない場合には、土質の違いを検出できないことに留意する。
- ・不均一な地盤の評価や土質調査 (ボーリングやサウンディング) 地点間の地盤の空間的な連続性、不連続性を判断する手法として物理探査を効果的に活用するには、適用限界・適用条件を明らかにするための実証実験や技術開発が必要である。

## 2. 施工中の施工管理方法の課題と対応方針(案) について

### 1) 施工計画段階

- ・不均一な地盤を対象に施工する場合は、施工計画段階で必要に応じ、**受注者による調査**（サウンディングや限界注入速度試験等）を実施し、適切な施工方法を計画する必要がある。
- ・**配合試験**においては、施工条件・対象土にあったゲルタイムを設定し、適切な薬液配合および注入仕様を決定する必要がある。
- ・地盤を直接確認することができないことから、施工仕様を適切に管理するための**施工管理計画**をたてる必要がある。
- ・対象箇所において、過去に同種工法の施工実績が無い場合等は、本施工に先立ち**試験工事**を実施する。

#### 現状・特徴

施工者が、現地盤の確認、配合試験の確認、施工計画の策定等のために調査を実施。

施工管理項目などの施工計画書に記載される事項は、施工方法により異なるため、必ずしも統一されていない。

長いゲルタイムを設定して施工を行うため、対象地盤の性質や施工方法によっては、品質・出来形への影響が生じやすい。

#### 課題

埋立地のように不均一な地盤では、対象地盤の性質を把握した上で、施工計画や使用薬液の配合等を設定する必要がある。

施工管理および施工後の品質・出来形確認の前提となる配合試験等の検討過程、検討条件について、配合試験計画及び報告に明記すべき事項を明確にする必要がある。

施工計画において明記すべき事項を標準化する必要がある。

対象地盤が特殊な場合や新技術を適用する際は、工事に着手する前に「施工の確実性」を確認すべきケースがある。

#### <第1回委員会での意見>

- ・第三者が適切性を確認できるよう、施工条件や対象土、周辺環境に合致した土中ゲルタイムの確認方法を示すことがよいのではないか。
- ・本施工に先立ち、施工性や出来形を確認するための試験施工を実施することが効果的であるので、必要に応じて行ったらどうか。

#### 対応方針(案)

##### > 調査項目の標準化

- ・ 施工計画段階では、以下の調査・試験を重要試験として行うこととする（詳細は7ページ参照）。
  - ① 土懸濁液の pH 試験・・・土中ゲルタイム設定や薬液の pH 管理に必要
  - ② シリカ含有量試験・・・シリカ増分を算定するための未改良地盤のシリカ含有量の把握
  - ③ 限界注入速度試験・・・注入諸元（注入速度、注入圧力）の詳細設定に必要

##### > 施工計画(書)に記載すべき事項の明確化(標準化)

- ・ 受注者は、施工計画（書）にゲルタイム設定根拠、注入材の pH 管理値、機器類のキャリブレーションの方法、配管レイアウト等を明示。
  - ・ 発注者等<sup>※</sup>は、それぞれの項目が施工計画に記載された管理値かどうかを確認するとともに、施工工程に影響がないタイミングで抜き打ちによる立会を行う。
- ※ 発注者等：監督職員、監督補助員

##### > 試験施工実施の要否

- ・ 以下のような場合には試験施工を実施する。
  - ① 過去に同種工法の施工実績がない場合
  - ② 新技術を適用する場合
  - ③ 既設構造物への影響がある場合に実施。
- ・ 新工法の適用時には、NETIS 登録資料、民間技術評価資料等により技術レベルが実用レベルに達していることを確認し、試験施工を実施する（未熟な技術を排除）。



(1) 施工計画段階における調査項目

「工事発注前段階」と「施工計画段階」の調査・試験項目(案)

| 種別             | 試験項目           | 調査・試験内容                      | 重要度                             | 試験方法 | 目的               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|----------------|------------------------------|---------------------------------|------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工事発注前段階        | 既存資料の収集        | 既往地盤調査、試験データの収集整理            | ○                               | -    | 対象地の地盤の概要        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 土質調査<br>(現地試験) | 標準貫入試験                       | N値                              | ○    | JIS A 1219       | ・地震応答解析 (SHAKE等)<br>・液状化の判定(港湾基準の方法)<br>・改良対象土層(液状化層)の設定<br>・対象土層の改良仕様の設定<br>・変形照査 (FLIP等) のための定数等の設定<br>・ <b>対象土の性質の把握</b><br>・ <b>適切な土中ゲルタイム・注入速度・注入圧力設定のためのデータ取得</b>                                                                                                                                                             |
|                |                | 電気式三成分コン貫入試験                 | 先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦力                 | △    | JGS 1435         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | サウンディング(PDC等)                | 換算N値、細粒分含有率等                    | △    | -                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 土質調査<br>(室内試験) | 土粒子の密度試験                     | 土粒子の密度                          | ○    | JIS A 1202       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の含水比試験                      | 含水比                             | ○    | JIS A 1203       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の粒度試験                       | 粒度                              | ○    | JIS A 1204       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の液性限界・塑性限界試験                | 塑性指数                            | ○    | JIS A 1205       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の湿潤密度試験                     | 湿潤密度・乾燥密度                       | ○    | JIS A 1225       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の繰返し非排水三軸試験                 | 液状化強度比                          | △    | JGS 0541         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の動的変形特性試験                   | 変形特性                            | △    | JGS 0542         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の圧密非排水(CUb)三軸圧縮試験           | $S_u(c', \phi')$                | △    | JGS 0523         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験             | $c_d, \phi_d$                   | △    | JGS 0524         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土懸濁液のpH試験                    | 対象土のpH                          | ○    | JGS 0211         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 土の透水性の把握       | 透水係数           | △(※)                         | ※クレガー式等による推定も可                  |      |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 種別             | 試験項目           | 調査・試験内容                      | 重要度                             | 試験方法 | 目的               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 施工計画段階         | 既存資料の収集        | -                            | ○                               | -    | 設計時の改良仕様、改良目標    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 土質調査<br>(現地試験) | 標準貫入試験                       | N値                              | △    | JIS A 1219       | ・対象地盤の詳細区分<br>・土質に基づく施工仕様の区分<br>・工事前の周辺環境(地下水水質等)の把握<br>・対象土の性質の把握<br>・ <b>適切な土中ゲルタイム・注入速度・注入圧力設定のためのデータ取得</b><br>・ <b>薬液配合の決定</b><br>・ <b>施工後の品質評価指標の決定</b><br>・ <b>対象土(未改良地盤)のシリカ含有量初期値の把握</b><br>・ <b>※シリカ含有量試験の試験法は、施工前後で同一の試験法とする</b><br>・ <b>施工時の薬液の土中ゲルタイム、pH管理値の設定</b><br>・ <b>適切な注入速度・注入圧力設定のためのデータ取得(原位置において注入開始前に実施)</b> |
|                |                | サウンディング(PDC等)                | 土質区分の推定                         | △    | -                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 電気式三成分コン貫入試験                 | 先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦力                 | △    | JGS 1435         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 土質試験<br>(室内試験) | 土粒子の密度試験                     | 土粒子の密度                          | ○    | JIS A 1202       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の含水比試験                      | 含水比                             | ○    | JIS A 1203       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の粒度試験                       | 粒度                              | ○    | JIS A 1204       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の湿潤密度試験                     | 湿潤密度・乾燥密度・間隙比                   | ○    | JIS A 1225       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土懸濁液のpH試験                    | 対象土のpH                          | ◎    | JGS 0211         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 土の透水試験                       | 透水係数                            | ○    | JGS 0311         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 室内配合試験         | カルシウム含有量試験                   | カルシウム含有量                        | △    | S63環水管127-II-6.1 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | 一軸圧縮試験                       | 一軸圧縮強さ                          | ○    | JIS A 1219       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                |                | シリカ含有量試験<br>(一軸供試体)・(未改良地盤土) | シリカ含有量増分一軸圧縮強さ<br>関係、原地盤のシリカ含有量 | ◎    | 原子吸光法<br>ICP法    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 土中ゲルタイム試験      | 土中ゲルタイム                      | ◎                               | -    |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 土質調査<br>(現地試験) | 限界注入速度試験       | 注入速度・注入圧力関係                  | ◎                               | -    |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

重要度区分 ◎: 特に重要な試験  
○: 標準的に実施する試験  
△: 必要に応じて実施する試験

<特に重要な試験>

【改良対象土(未改良地盤)の pH 試験】

・ 土中ゲルタイムや薬液の pH が対象地盤の性質に影響すること及び pH 管理が出来形に影響するため、**改良対象地盤(未改良地盤)の pH 試験**を実施する。

【シリカ含有量試験】

・ 施工後の品質確認において、シリカ増分により適切に改良状態を評価するために、**未改良地盤土および配合試験を実施した供試体のシリカ含有量試験**を実施する。

【土中ゲルタイム試験】

・ 薬液のゲルタイム(硬化時間)の管理については、事前に改良対象土を用いた土中ゲルタイム試験を行い、土中ゲルタイムと薬液の pH の関係から、施工条件(作液から注入完了までの時間)にあわせてゲルタイムおよび対応する注入材の pH 管理値を適切に設定する。  
・ 施工においては、作液した注入材の pH が適切に管理されていることを確認する。

【限界注入速度試験】

・ 薬液注入工を行う前に「限界注入速度試験」※を行い、**対象層毎に適切な注入速度、注入圧力を設定**する。  
※「限界注入速度試験」のほかに「現場注水試験(または単に注水試験)」などの呼び名がある。  
・ **不均一性が小さい場合は**、代表箇所(1地点以上)で実施する。  
・ **不均一性が大きい場合は**、限界注入速度試験の実施箇所、頻度を多く設定する。特に、土質分布等から地盤の透水性が低いと想定される箇所では必ず実施し、薬液注入工に反映させる必要がある。

(2) 受注者が施工計画に記載すべき事項

- ・発注者と受注者それぞれの役割を明確にする。
- ・受注者は施工にかかる事項を施工計画に記載し、発注者はその内容を確認する。
- ・施工計画においては、受注者は施工管理体制・方法を明示し、発注者は行うべき施工管理行為およびその時期、頻度等を確認する。
- ・受注者が作成した施工計画（書）及び施工管理記録と発注者による確認を基本とするが、抜き打ちによる立会も行う。

| 受注者が施工計画に記載すべき事項 |                                  | 発注者の対応                                                                                                                 |                            |
|------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 項目               | 内容                               | 確認時期・確認頻度(案)                                                                                                           | 備考                         |
| 1                | 適用する工法の名称                        | ・〇〇工法等、工法の正式名称を明示                                                                                                      | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
| 2                | 適用する工法の出来形管理基準及び品質管理基準を記した基準類の名称 | ・港湾工事共通仕様書、〇〇工法マニュアル等を明示                                                                                               | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
| 3                | 工法区分                             | (1)二重管スレーナー、ダブルバックカー等                                                                                                  | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
| 4                | 材料種類                             | (1)溶液型、懸濁型等の別(水ガラス系、特殊シリカ系等の別)                                                                                         | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
|                  |                                  | (2)溶液型の場合は、無機、有機の別                                                                                                     | 〃                          |
|                  |                                  | (3)瞬結、中結、長結の別                                                                                                          | 〃                          |
|                  |                                  | (4)薬液(シリカ等)の濃度(〇%)                                                                                                     | 〃                          |
| 5                | 施工範囲                             | (1)注入対象範囲                                                                                                              | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
|                  |                                  | (2)注入対象範囲の土質分布(改良対象土層毎の細粒分含有率Fc(%)<br>均等係数Uc等)                                                                         | 〃                          |
|                  |                                  | (3)改良対象土(未改良土)の初期シリカ含有量(mg/g-dry)                                                                                      | 〃                          |
| 6                | 削 孔                              | (1)削孔間隔及び配置                                                                                                            | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
|                  |                                  | (2)削孔総延長                                                                                                               | 〃                          |
|                  |                                  | (3)削孔本数                                                                                                                | 〃                          |
| 7                | 注 入 量                            | (1)総注入量                                                                                                                | 施工計画提出時 ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |
|                  |                                  | (2)土質別注入率                                                                                                              | 〃                          |
|                  |                                  | (3)土質別注入量                                                                                                              | 〃                          |
| 8                | 地盤改良の効果の確認方法                     | ・地盤改良の効果は、発注者において別途実施(ボーリング調査、原位置試験及び土質試験)<br>・発注者と協議の上決定した確認方法。<br>・土質調査の方法(原位置試験、室内試験)及び土質試験項目(一軸圧縮試験、シリカ含有量試験等)     | 施工計画提出時                    |
| 9                | 薬液注入工法の現場責任者の配置                  | ・薬液注入工法に関する十分な技術的知識と経験を有する現場責任者の配置。<br>・受注者は、配置する現場責任者について、別途、経歴書を提出し、発注者は、現場経験等を確認し承諾する                               | 施工計画提出時                    |
| 10               | 使用機械                             | ・施工に使用する削孔機械、注入機械、ミキシングプラント等、その他設備。                                                                                    | 施工計画提出時                    |
| 11               | プラント配置及び配管ルート図                   | ・プラントの配置図、配管ルート図、薬液の運搬経路図。<br>・配管ルート図は、プラントから積み替え口、または薬液吐出口までの一連の配管。                                                   | 施工計画提出時<br>適宜立会確認          |
| 12               | 室内配合試験                           | ・室内配合試験の実施項目、実施内容、実施時期。<br>・別途、室内配合試験計画書を提出する。                                                                         | 施工計画提出時                    |
| 13               | 薬液配合の管理                          | ・薬液材料について、各材料の名称、各材料の単位当たり使用量、作液時の配合割合、各材料の管理方法、<br>・各材料の管理頻度、各材料の管理値、各材料の保管方法。                                        | 施工計画提出時<br>適宜立会確認          |
| 14               | 土中ゲルタイム(硬化時間)の設定及び管理             | ・改良対象土を用いた土中ゲルタイム及び水素イオン濃度(pH)の設定根拠(地域性、季節を考慮しつつ土中温度を設定)。<br>・設定した土中ゲルタイム及び土中ゲルタイムを管理する際の薬液の水素イオン濃度(pH)の確認方法、確認頻度、管理値。 | 施工計画提出時<br>適宜立会確認          |

| 受注者が施工計画に記載すべき事項 |                          | 発注者の対応                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                     |                    |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 項目               | 細目                       | 確認時期・確認頻度(案)                                                                                                                                                                                                                                                            | 備考                                  |                    |
| 15               | 薬液注入量等の管理                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラントで練り混ぜられた薬液の、管理方法、管理頻度、管理値。</li> <li>・プラントで練り混ぜられた薬液の、注入量、注入圧力、積算流量、注入速度がチャート紙に適切に記録されるよう、機器類のキャリブレーションの方法及びキャリブレーション頻度。</li> </ul> ※発注者が検印したチャート紙を受注者が使用する。<br>※施工管理担当者は日々作業開始前にサイン及び日付を記入する。                               | 適宜立会確認<br><br>注入開始前<br><br>随時<br>随時 |                    |
| 16               | 削孔位置、削孔長、注入外管挿入長、削孔角度の管理 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・削孔位置、削孔長、注入外管挿入長、削孔角度の確認方法、管理値。</li> <li>・曲り削孔工法の場合、挿入式ジャイロ等の位置計測装置等による位置確認の方法、挿入式ジャイロ等の位置計測装置のキャリブレーションの方法及びキャリブレーションの頻度。</li> </ul>                                                                                           | 立会頻度案(20%)<br><br>適宜立会確認            |                    |
| 17               | パッカー等の施工                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・薬液注入前に行うパッカー等の施工方法。</li> <li>・パッカー等に使用する材料(セメント等)の種類、配合割合、単位当たり使用量、実施時期、管理値。</li> </ul>                                                                                                                                         | 施工計画提出時<br>立会頻度案(20%)               |                    |
| 18               | 注入速度及び注入圧力の設定            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・改良前の地盤にて実施する限界注入速度試験(注入速度及び注入圧力を設定する方法)の内容、実施時期、管理値。</li> </ul>                                                                                                                                                                 | 適宜立会確認                              |                    |
| 19               | 注入順序                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤に注入する薬液の施工順序。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      | 適宜立会確認                              |                    |
| 20               | 改良範囲、ステップ長、注入孔間隔         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該地盤改良工事にて施工する改良範囲(改良径含む)、ステップ長(鉛直方向の注入口間隔)及び注入孔間隔(平面配置)。</li> </ul>                                                                                                                                                            | 立会頻度案(20%)                          |                    |
| 21               | 削孔跡の充填                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・薬液注入終了後の削孔跡の処理方法。</li> <li>・削孔跡を塞ぐための材料(セメント等)の種類、配合割合、単位当たり使用量、実施時期、管理値。</li> </ul>                                                                                                                                            | 施工計画提出時<br>立会頻度案(20%)               |                    |
| 22               | 排水、排泥、廃液の処理方法            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・削孔より発生する排水量、排泥量の管理方法、保管方法、処理方法。</li> <li>・プラントや注入外管等の洗浄により発生した廃液量の管理方法、保管方法、処理方法。</li> <li>・化学物質を含む廃液等は、中和処理装置等を用いた処理方法。</li> </ul> ※排泥や廃液に余剰薬液等を混合するなどして不正な処理を行わせないよう、発注者は、薬液材料の納入量及び返品量の整合の確認と合わせて、排水、排泥、廃液等の処理量に異常がないかを確認する。 | 施工計画提出時<br><br>“<br><br>“           |                    |
| 23               | 余剰薬液及び余剰薬液材料の返品方法        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・余剰となった薬液及び薬液材料(特殊シリカや希硫酸等)の返品量の確認方法、返品時期、返品方法。</li> </ul>                                                                                                                                                                       | 施工計画提出時<br>適宜確認                     |                    |
| 24               | 障害物(埋設物)調査の把握(防護方法等)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・障害物(埋設物)調査の有無。</li> <li>・障害物(埋設物)調査を行う場合は、調査方法、調査頻度。</li> <li>・障害物(埋設物)を把握している(した)場合は、防護(撤去等)方法等。</li> </ul>                                                                                                                    | 施工計画提出時<br><br>“<br><br>“           |                    |
| 25               | 地下水の水質監視                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工区域周辺の水質監視孔の設置有無、地下水の水素イオン濃度(pH)観測の有無。</li> <li>・地下水の調査方法及び確認頻度。</li> </ul>                                                                                                                                                    | 施工計画提出時<br><br>“                    |                    |
| 26               | 施工時の隆起対策                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工時の地盤等の隆起観測方法、隆起防止対策、隆起量管理値。</li> </ul>                                                                                                                                                                                        | 施工計画提出時                             |                    |
| 27               | 施工時の薬液漏洩(逸走)対策           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工時の薬液漏洩(逸走)対策。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      | 施工計画提出時                             |                    |
| 28               | 施工時トラブル対処法               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工時のトラブルを想定した施工管理の内容及び対処法。</li> </ul>                                                                                                                                                                                           | 施工計画提出時                             |                    |
| 29               | 薬液注入工事管理連絡会の設置           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・薬液注入工事管理連絡会の設置。</li> <li>・連絡会の構成、地下水等の水質等の監視体制、安全管理体制、緊急連絡体制等。</li> </ul> ※薬液注入に伴う地下水等の汚染や人的被害を防止する。                                                                                                                            | 施工計画提出時<br>“                        |                    |
| 30               | その他                      | 4から8の他、薬液注入工法の適切な施工管理に必要な事項<br>なお「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針<br>(建設省官技第160号(昭和49年7月10日))」について記載している事項についても適切に明示。                                                                                                                                                          | 施工計画提出時                             | ※設計図書(図面、特記仕様書)に明示 |

## 2) 施工中の施工管理

- ・薬液注入の削孔工には、鉛直削孔、斜め削孔、曲がり削孔がある。特に曲がり削孔については、施工管理に高度な技術を要求されることから、施工条件に応じた**適切な機器選定、精度管理**が必要である。
- ・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

#### 削孔工段階

曲がり削孔は、施工方法により使用する機械・材料（ケーシングやビット等）が異なり、それぞれに**性能（最大掘削長や対応可能曲率）**が異なる。また、出来形の良し悪しは、オペレータの**経験**によるところが大きい。

曲がり削孔工では、施工条件に応じた適切な機械・材料を使用し、十分な経験を有する人員を配置が必要である。

曲がり削孔では、障害物等により**一度計画線から逸れた軌跡を元に戻すのは容易でない**。

曲がり削孔では、削孔品質を保つためにトラブルを未然に回避することが必要である。

曲がり削孔の削孔軌跡の**出来形計測方法は、挿入式ジャイロを使う工法が多い**。

曲がり削孔では、対象とする施設や目的に応じて適切な計測精度を有する機器を使用し、その精度を確認する必要がある。

曲がり削孔では**削孔中の先端ビットの位置や向き**の把握方法は工法により異なる。

#### 薬液注入工段階

作液プラントは**自動化**されており、積算流量計によって薬液の累積使用量は**チャート紙に記録**される。

材料の品質および搬入量、使用量が適正に管理される必要がある。

配合された**薬液の品質は、薬液の比重およびpHにて管理**されている。

適切に配合された注入材(薬液)が、設計仕様どおりに注入されていることを管理する必要がある。

注入時の**圧力、流量**は管理装置により集中管理（チャート紙に記録）され、異常が発生した場合は直ちに把握可能である。

施工中は周辺施設や環境に影響を与えないよう、**施工状況を常にモニタリングし、地盤の変位や水質の監視**を行わなければならない。

### <第1回委員会での意見>

- ・**施工不良の対応に関しては、意図的に行われた不正への対応と技術的に未熟なものへの対応とを切り離した上で検討すべきではないか。**
- ・**設計時の想定と異なる事案が発生した際は、受注者および発注者が相互に協議することとすれば柔軟に対応ができるのではないか。**

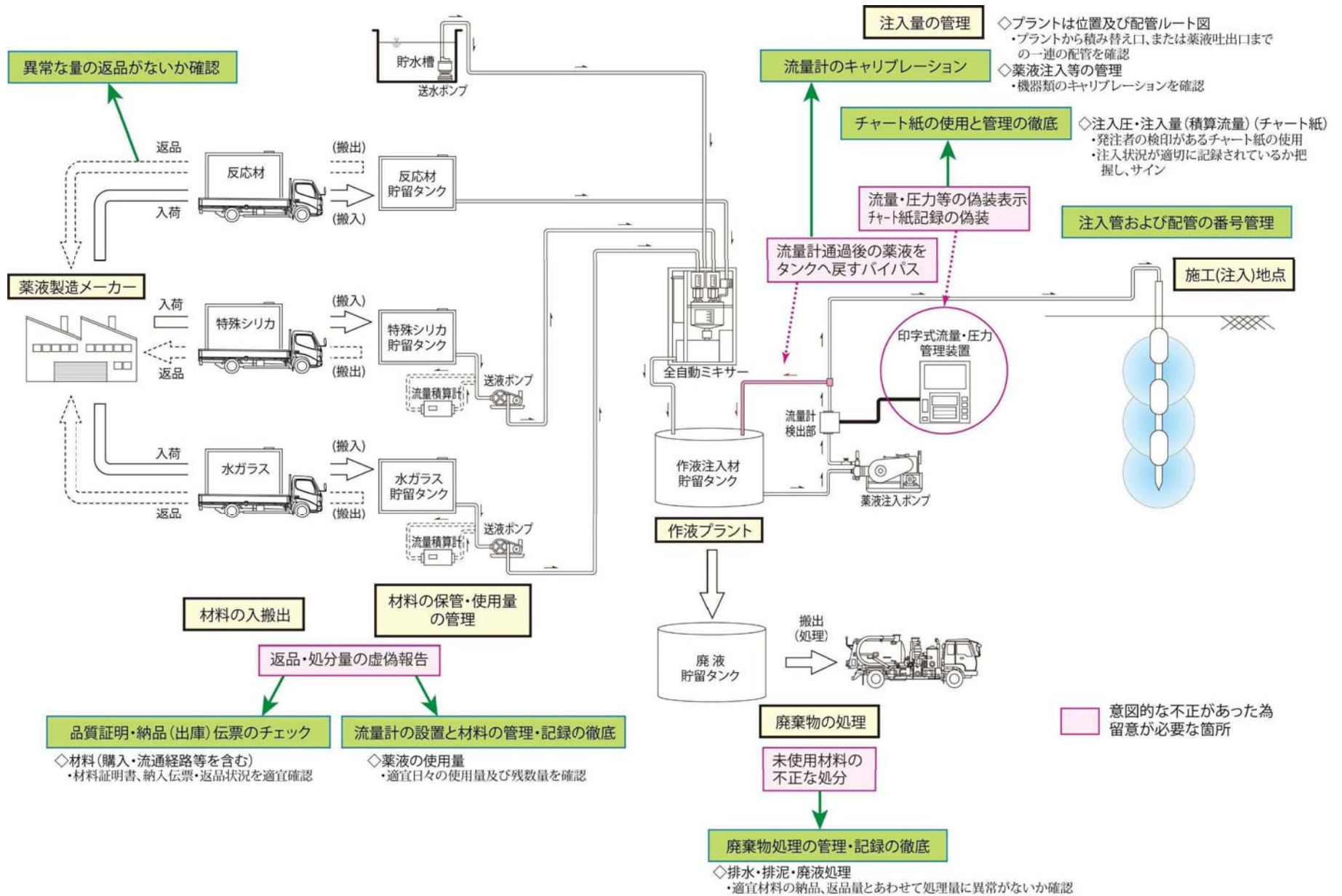
### 対応方針(案)

#### 【削孔工に関する事項】

- 受注者が行う**機器類のキャリブレーション**を発注者等が確認する。
- ・ 地中の削孔の軌跡を直接観察できないことから、
  - ① 軌跡が目視できる陸上部において、位置情報計測装置（挿入式ジャイロ等）のキャリブレーションを行う
  - ② 位置情報計測装置の計測精度を確認する
  - ③ 削孔機械のモニタ画面の数値が陸上で目視確認できる数値と一致しているかを確認する

#### 【薬液注入工に関する事項】

- 受注者が行う**機器類のキャリブレーション**を発注者等が確認する。
- チャート紙記録が適切であることを確認するため、以下の事項を確認する。
  - ① 流量積算計が配置されていること
  - ② 流量積算計の数値と同じ数値がチャート紙に印字されていること
  - ③ 圧力計やその他機器類により計測される数値がチャート紙に印字されること
  - ④ チャート紙だけでなく、集中管理装置のモニタ画面の数値とチャート紙に印字される数値が整合することを確認する。
  - ⑤ 発注者が検印したチャート紙を受注者が使用すること。
- **施工計画(書)に記載された配管どおりとなっているか(不正な配管がないか)**を確認する。
- 混合プラント出口および注入ロッド部分から採取した薬液を用いた**土中ゲルタイム、薬液 pH**を確認する。



対象とする薬液注入工における施工器械の配置と薬液の経路および施工管理のポイントを示したモデル図

薬液注入工施工資料 (一社)日本グラウト協会(平成28年8月)を参考に本検討で対象とする薬液注入工事にあわせて作成



## (1) 曲り削孔工法による施工の要点と確認方法

### 挿入式ジャイロ計測機器の精度管理 (キャリブレーション)

(参考)位置検出システムのキャリブレーション (例)

- ・ 施工で使用する削孔機を用いて削孔ロッドと架台を所定の位置に設置する。
- ・ 設置した削孔ロッドの管路座標を光波測量器等で計測し、正值を得る。
- ・ 位置検出システムにて管路座標を計測する。
- ・ 光波測量器計測による座標と位置検出システム計測による座標を比較することで、位置検出システムの精度を確認する。

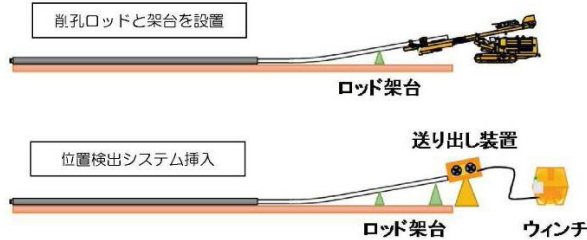


図-Ⅲ.1.5 キャリブレーション(例)

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 >  
(一社)日本埋立浚渫協会 (平成 28 年 9 月)



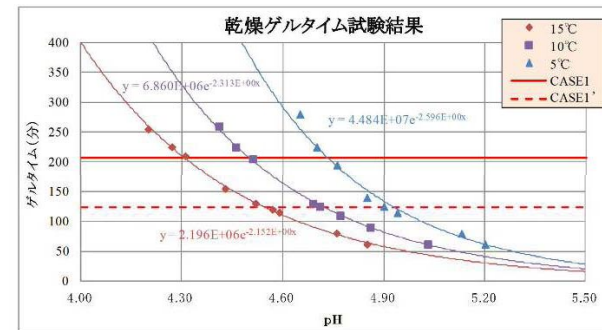
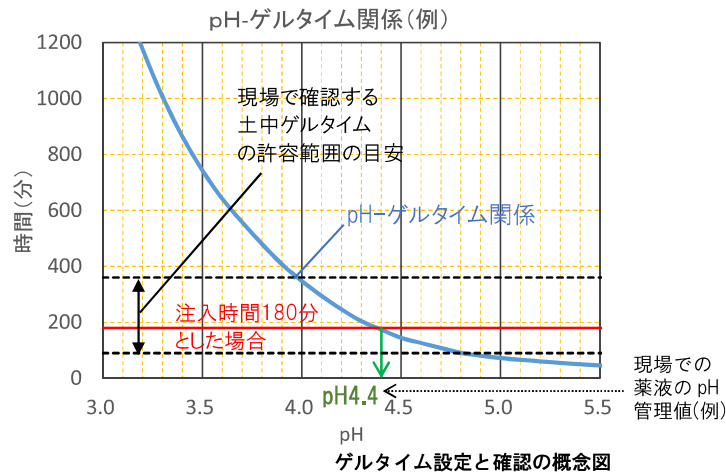
陸上における位置検出システムのキャリブレーション状況の例

#### 【留意事項】

- ・ 挿入式ジャイロのキャリブレーションは、軌跡が目視できる陸上部において行うこと (上図参照)
- ・ 挿入式ジャイロによる計測値と光波測量器等で計測した正值が精度管理の規格値内であること
- ・ 施工期間を通して、挿入式ジャイロの計測精度が規格値内に維持管理されていること

## (2) 注入材 (薬液) の配合、ゲルタイム管理における要点と確認方法

### 注入材 (薬液) の土中ゲルタイムの設定



ゲルタイムが温度に依存する場合の pH-ゲルタイム関係の例

#### 【留意事項】

- ・ 土中ゲルタイムは、想定した施工条件 (作液から注入完了までの時間) に対して、1/2 から 2 倍の時間内であることを目安とする。
- ・ ゲルタイムは温度に依存することにも留意する。  
※ 薬液注入後の温度 (地中の温度) は、年間を通してほぼ一定であるため、通常の施工においては温度の影響を受けることは少ないが、季節や地域によっては温度変化が位置著しい場合があるため留意する。
- ・ pH の計測機器は、使用前に洗浄し、計測精度が管理されているか適宜確認する。(現場での pH 管理値は±0.2 が基本)



### 3. 地盤改良後の施工確認方法の課題と対応方針(案) について

・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機会が多い。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。

#### 現状・特徴

工事仕様が強度（多くは一軸圧縮強さ）により規定されているため、品質確認は改良体の一軸圧縮試験結果により評価するのが一般的である。

改良土の状態により、一軸圧縮試験以外の方法により品質を評価する必要がある。

出来形は施工管理及び事後ボーリングにより確認されており、改良された地盤を直接確認することができない。

品質確認は、施工者が実施し報告するのが一般的である。

#### 課題

改良土の特性により、サンプリングや供試体作成時に強度低下に繋がる試料の乱れが生じやすい。

品質を評価する上でも、工事の出来形を直接確認する方法（薬液が対象地盤に満遍なく行き渡っていることを確認する方法）の開発が必要である。

品質確認における客観性・透明性が必要である。

#### <第1回委員会での委員会意見>

- ・第1章と関連し、地盤改良後に行うボーリング調査や改良後の地盤を評価するための手段として、新技術を用いた原位置試験法が活用できるのではないか。
- ・一軸圧縮強度による評価について見直しすることも検討してはどうか。室内試験に留まらず、改良効果が確認できる原位置試験の導入についても検討することが良いのではないか。
- ・非破壊で地盤内を可視化し、改良後の地盤を確認する技術は、現状では非常に難しい技術であるが、品質確認のために必要な技術として中長期的に研究開発を進める必要があるのではないか。

#### 対応方針(案)

##### 【施工後の出来形・品質確認の方法】

- 不均一性が小さい場合は、従来と同様とする。
  - 当面は、従来どおり、一軸圧縮試験による評価を原則とするが、**サウンディング（PDC等の原位置試験）により補間し評価する<sup>※1</sup>**。対象地盤の状況により一軸圧縮試験供試体のサンプリング時の乱れによる強度減少が避けられないことから原位置試験により適切に評価する<sup>※2</sup>。
- ※1 サウンディング（PDC）では、薬液注入による改良後のNd値の増加及び透水性の低下（PDCの測定値としては細粒分含有率(Fc)の増加）により、対象土層が深度方向に連続的に改良されているかを評価する。
- ※2 PDCで測定されるNd値による「改良後の地盤が目標強度に達しているか」の定量的な評価は今後の課題である。また、細粒分含有率(Fc)の増加としてあらわされる「間隙水圧の挙動の変化が薬液改良地盤のどのような性質（品質）を示す」の明らかになることで、PDCによる評価手法の高度化につながると考えられる。

##### 【品質確認のための事後調査の実施】

- 客観性を確保するため、第三者による確認を原則とする。
  - ・事後調査を工事と別契約とすることにより、受注者による不正を防止するものとする。
  - ・試料の差し替えがないよう、監督職員の立会のもと、サンプリングチューブにサイン、封印をする。
  - ・事後調査のボーリング・サウンディングの位置は、監督職員が指示する。

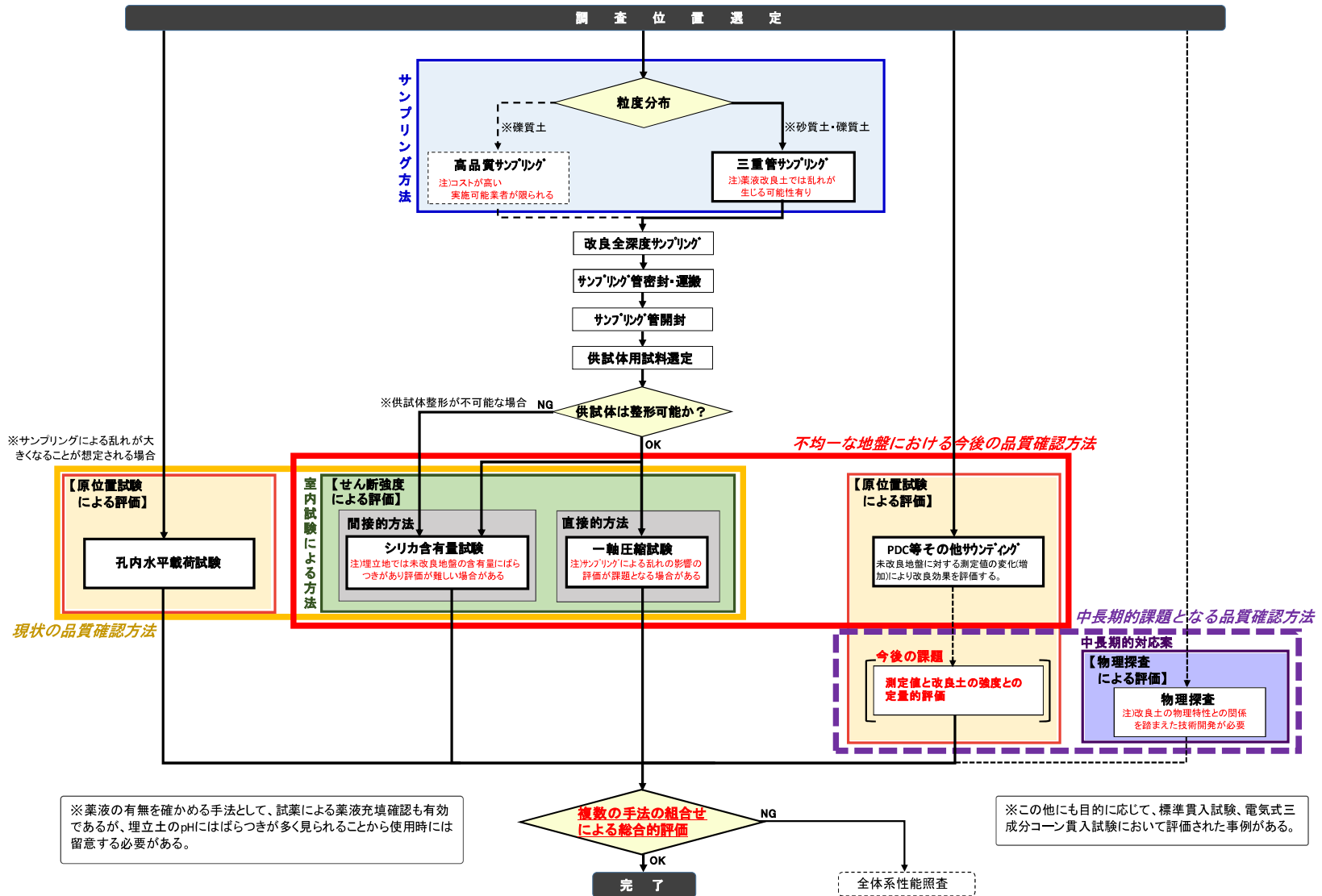
##### 【中長期的な課題】

- ◇ 改良地盤の非破壊探査による3次元形状把握技術の開発を行う。
- ◇ 地盤の可視化に向けた研究開発を行う。
- ◇ PDCによる薬液注入された地盤の定量的な評価手法の研究開発を行う。

(1) 不均一性が大きい地盤における地盤改良工事の品質確認方法 (案)

埋立地のように不均一性が大きい地盤では、品質確認において、従来のホーリングと一軸圧縮試験による方法に加えて、改良土の性質を踏まえシリカ含有量試験、PDC等のサウンディングおよび物理探査等を併用した総合的な判断が必要である。

- PDCによる未改良地盤と改良地盤の測定値の比較は、改良効果の深度方向への連続性を確認する上で有効な評価方法である。ただし、改良強度の定量的評価には中長期的な研究開発が必要である。
- 物理探査を改良地盤の出来形・品質確認に適用するためには、改良土の特性把握に適した既往技術の検討と実証実験等を進める必要がある。



不均一性が大きい地盤における複数の評価手法の組合せによる総合的評価方法による品質評価フロー (案)

「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)日本埋立浚渫協会に加筆して作成

## (2) 出来形・品質確認におけるサウンディング (PDC) の適用性

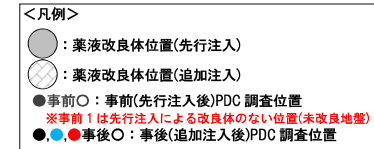
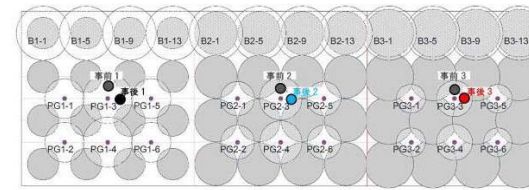
- 改良前後の PDC 調査結果を比較すると、改良後の測定値に明確な変化(Nd 値の増加、透水性の低下)が認められることから、PDC は薬液改良地盤の改良効果を評価することが可能な手法と考えられる。
- PDC は、深度方向のデータの連続取得に有効であることから、対象地盤の不均一性が大きい場合においても改良状態の連続性の評価が可能である。
- ただし、計測値と強度の関係は明らかでないため、改良地盤が目標強度を満足するかは、従来どおり代表地点で行うボーリングと PDC による方法で確認する必要がある。

### <中長期的課題>

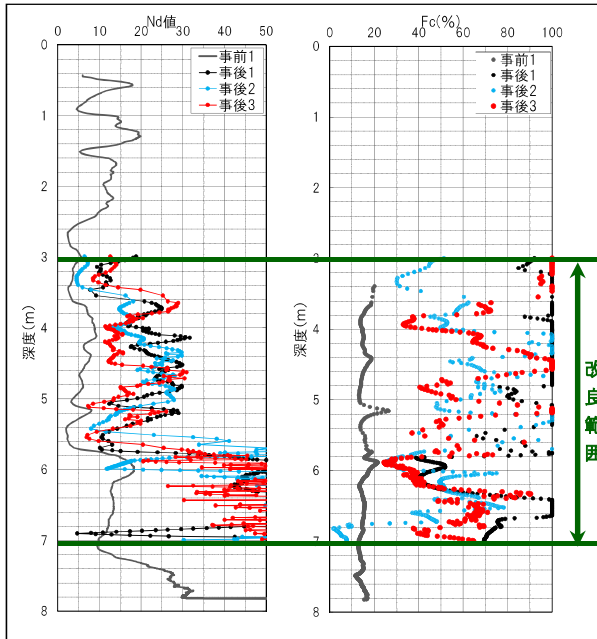
- PDC の測定値(Nd 値)から改良地盤の強度を定量的に評価するには、事例の蓄積を含めた中長期的な検討と技術開発が必要である。

この PDC 調査は、埋立地における薬液注入工法の実験サイトにおいて、事前・事後の測定を行い、薬液改良後の地盤を PDC によりすることが可能か、その適用性を判断するために実施された。

なお、事前調査 3 地点(事前 1～事前 3)のうち、事前 2 と事前 3 は先行して行われた地盤改良の影響があるため、事前 1 のみを事前(未改良地盤)のデータとし、事後の調査データ(事後 1～事後 3)と比較した。

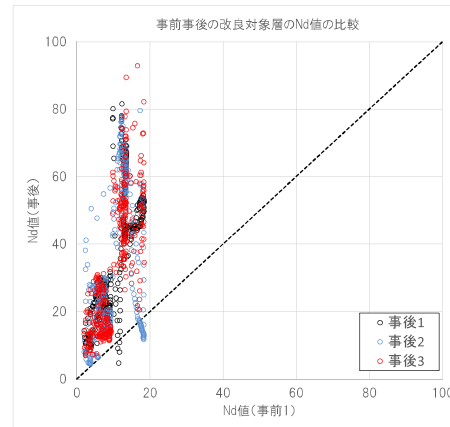


調査位置の平面図



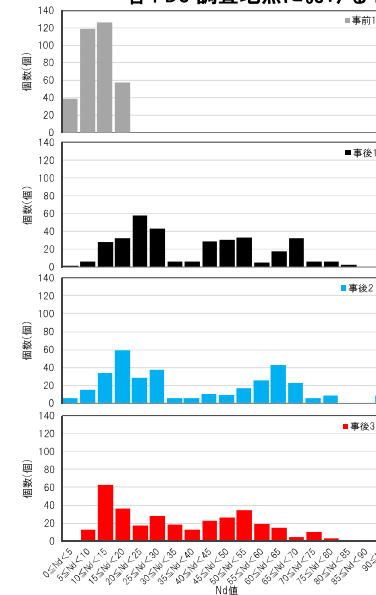
改良範囲において Nd 値の増加と透水性の低下\*が測定値に明確にあらわれている。

※PDC では打撃貫入による間隙水圧の挙動から細粒分含有率(Fc)を算定する。このため、透水性の低下は左のグラフでは Fc の増加として表現されている。



薬液改良工法の実験サイトにおける改良前後の PDC 結果の比較

### 各 PDC 調査地点における Nd 値の分布状況



事後 1～事後 3 の Nd 値は、事前 1 と比べて全体的に大きな値となっている。

- 薬液改良地盤では、薬液の粘性もしくは間隙固化により材料特性が変わっていると考えられる。
- 打撃貫入時に土に作用する圧縮とせん断の関係からダイラテンシー効果が打ち消され、液状化しない(過剰間隙水圧が発生しない)土になっているものと推定される。
- したがって、薬液改良地盤において PDC で計測される間隙水圧の挙動の変化は、細粒分含有率(Fc)の違いではなく、地盤の透水性そのものが変化したことを表していると考えられる。

### (3) 出来形・品質確認における物理探査の適用性 <中長期的課題>

- ・薬液注入工法においては、地盤の間隙水が薬液に置き換えられることで、地盤の固さや透水性が変化するため、改良前後の地盤は弾性波速度や電気伝導度に違いがあると想定される。比抵抗変化率によって薬液改良地盤の特性を検知できれば、ボーリングを行わずに改良効果(状態)を把握できる可能性がある。
- ・ただし、細粒分の多い地盤や海水の影響を受ける場所では、未改良地盤の比抵抗値が小さいため、比抵抗変化率が小さく感度が鈍い。また、コンクリート構造物がある場合には精度が低下する。
- ・現状では、改良土の弾性波速度や電気伝導度の特性について十分なデータが得られていないため、サンプリングされた改良土を用いて、薬液注入による改良前後の「弾性波速度の変化」や「電気伝導度・比抵抗の変化率」を把握するための実験を行う必要がある。
- ・改良地盤の出来形確認に適用するためには、改良土の特性把握に適した既往技術を検討し、実証実験等を進める必要がある。

薬液注入工法の出来形・品質確認方法としての物理探査は、改良効果の空間的な広がりを評価したい場合や、事後調査で試料を採取できない現場において特に求められている手法である。

これまでに薬液注入工事で適用された物理探査等には以下の方法がある。

#### 表面波探査(改良土の固さ、剛性増加との関係)

地盤の地表面付近を伝わる表面波を測定・解析することにより地盤の二次元的なS波速度分布を可視化する技術である。

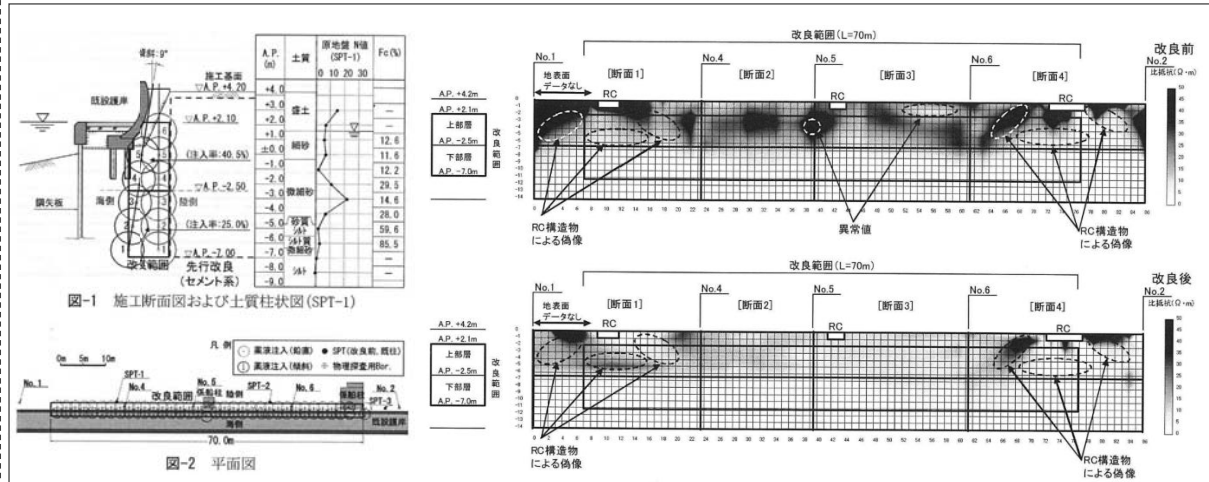
深度方向の探査可能範囲は20m程度で、空間分解能は深度に依存して、深くなるほど低下する(一般的に空間分解能は探査深度の半分程度である)。

#### 比抵抗トモグラフィ(改良土の透水性の低下との関係)

対象範囲を囲むように電極を配置し、地盤に人工的に直流電流を流し発生する電位を多数点で観測することで、地盤の比抵抗(電気の通しにくさ)を計算し、その値の分布から、地質構造等を推定する技術である。

#### 音響トモグラフィ(改良土の固さ、剛性増加との関係)

弾性波探査の一種であり、対象とする領域を挟むボーリング孔に発信器と受信器を配置し、領域内を伝播する弾性波のP波速度と減衰率を観測・解析し、二次元的に可視化する技術である。



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)

### サウンディング(PDC)及び物理探査を出来形管理・品質確認に適用する上での今後の課題

#### ◆サウンディング(PDC)

- 【現状でできること】: ① 改良前後のNd値の増加及び透水性の低下(PDCの測定値としては細粒分含有率(Fc)の増加)から、対象土層が深度方向に連続的に改良されているかを評価。  
② ボーリングと一軸圧縮試験による従来の評価手法を補間する位置付け。

- 【評価の課題・方向性】: ① PDCで測定されるNd値による「改良後の地盤が目標強度に達しているか」の定量的な評価。  
② 細粒分含有率(Fc)の増加としてあらわされる間隙水圧の挙動の変化が「薬液改良地盤のどのような性質(品質)を示す」のか明らかにすることで、PDCによる評価手法を高度化する。

#### ◆物理探査

- 【現状でできること】: ① 弾性波速度の増加や比抵抗変化率によって薬液改良地盤の特性を検知できれば、ボーリングを行わずに改良効果(状態)を把握できるが、細粒分の多い地盤や海水の影響を受ける場所では、未改良地盤の比抵抗値が小さく改良前後の変化率が小さいために感度が鈍く、適用できるケースと適用できないケースがある。

- 【評価の課題・方向性】: ① 薬液注入による改良前後の「弾性波速度の変化」や「電気伝導度・比抵抗の変化率」を把握するための実験を行い、物理探査で得られる測定値・測定精度との比較を行う。  
② 改良土の特性把握に適した既往技術を検討し、出来形管理・品質確認への適用に向けて実証実験等を進める。