

# 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1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1回委員会における検討の視点 | 1  |
| 薬液注入工法の施工と管理および施工確認方法に関する現状と課題                  | 2  |
| 1. 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の現状と課題                  | 3  |
| 1.1 工事発注前段階における現状と課題                            | 3  |
| 1.2 施工計画段階における現状と課題                             | 5  |
| 2. 施工中の施工管理方法の現状と課題                             | 8  |
| 2.1 削孔工段階における現状と課題                              | 8  |
| 2.2 薬液注入工段階における現状と課題                            | 10 |
| 3. 地盤改良後の施工確認方法の現状と課題                           | 14 |

国土交通省 港湾局

平成29年1月24日

## 第1回委員会における検討の視点

本検討は、薬液注入による工事のうち、**地盤強化において改良効果の耐久性が求められる工事**を対象とする。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）。  
特に、地盤の不均一性が大きいと考えられる埋立地等を対象とした**液状化対策を主目的とする薬液注入工法による地盤改良工事**（以下、薬液注入工法による地盤改良工事）を中心に適切な改良対象地盤の評価方法等について検討を行う。  
本委員会では、以下の点に着目し検討を進める。

### 1) 「地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の現状と課題」における検討の視点

#### 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。

#### 短期的視点

- ・地盤の不均一性を把握するために有効な既往調査技術にはどのようなものがあるか？
- ・薬液注入工法の詳細な施工計画において特に重要な調査・試験項目は何か？

#### 中長期的視点

- ・地盤の不均一性を施工に反映させる上で今後どのような調査・試験の開発が必要か？

### 2) 「施工中の施工管理方法の現状と課題」における検討の視点

#### 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。

#### 短期的視点

- ・施工計画において、どのような項目を重点的に確認する必要があるか？
- ・不均一地盤での施工や新技術の導入に際して必要な確認事項、方法は何か？
- ・施工品質を向上するためには、今後どのような点に着目して施工管理を行うべきか？
- ・施工時のトラブルや異常に適切に対処するためには、どのような点に注意すべきか？

#### 中長期的視点

- ・施工品質を向上するためには、今後どのような技術の開発、施工管理体制が必要か？

### 3) 「地盤改良後の施工確認方法の現状と課題」における検討の視点

#### 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。

#### 短期的視点

- ・施工結果の品質を適正に確認するために、事後調査ではどのような点に留意すべきか？
- ・施工プロセス以外に出来形を確認するには、現状でどのような手法が使えるか？
- ・品質確認における客観性・透明性は、どのようにしたら担保できるか？

#### 中長期的視点

- ・品質・出来形を適切に確認するために、今後どのような技術の開発が必要か？

## 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。

# 薬液注入工法の施工と管理および施工確認方法に関する現状と課題

地盤改良工事は、施工後の状態を直接視認できないため、直接的な品質および出来形の確認が困難である。  
このため、施工過程が適切であることを管理する「プロセス管理」と部分的な出来形の確認にならざるを得ない。

本委員会では、以下の点に着目し検討を進める。

- 1) 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の現状と課題
- 2) 施工中の施工管理方法の現状と課題
- 3) 地盤改良後の施工確認方法の現状と課題

## 各段階の主要な課題

1) 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法

2) 施工中の施工管理方法

3) 地盤改良後の施工確認方法

| 段階               | 目的・実施内容  | 主な現状と課題  | 主な対応(要検討事項)   |  |
|------------------|--|--|---|--|
| 工事発注前段階          | <ul style="list-style-type: none"> <li>土質調査、試験</li> <li>設計検討</li> <li>薬液注入工法の選定</li> <li>改良仕様(目標値)の設定</li> </ul> | 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、 <b>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。</b> 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。                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>地盤の不均一性を把握するための調査の実施(簡易サウンディング等)</li> </ul>  |  |
| 施工計画段階           | (1) 事前調査計画～配合試験～注入仕様等設定  | <ul style="list-style-type: none"> <li>設計条件の確認</li> <li>事前調査計画 ⇒ 調査の実施</li> <li>配合試験計画 ⇒ 試験の実施</li> <li>薬液配合、注入仕様の設定</li> </ul>  | 不均一な地盤を対象に施工する場合は、施工計画段階で追加事前調査(簡易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。                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>施工計画に必要な調査・試験項目の標準化</li> <li>土質を判別し、施工に反映させる手法の標準化</li> </ul> |
|                  | (2) 実施工(削孔・注入)計画   | <ul style="list-style-type: none"> <li>注入孔の配置</li> <li>注入順序の計画</li> <li>削孔・注入計画</li> <li>施工管理・出来形/品質確認計画</li> </ul>  | 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 <b>施工管理計画</b> をたてる必要がある。対象箇所において、過去に同種の薬液注入工による地盤改良工事が行われておらず、施工性や出来形(改良体が確実に造成されること)の確認が必要な場合等は、本施工に先立ち <b>試験工事</b> を実施することが望ましい。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>施工計画に明記する事項の標準化</li> <li>試験工事の実施</li> </ul>                   |
| 削孔工段階            | <ul style="list-style-type: none"> <li>注入孔の削孔</li> <li>削孔精度の管理</li> <li>注入外管の設置</li> </ul>                       | 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 <b>適切な機器選定、精度管理</b> が必要である。   | <ul style="list-style-type: none"> <li>削孔精度管理の方法の標準化(特に曲がり削孔)</li> </ul>  |  |
| 薬液注入工段階          | <ul style="list-style-type: none"> <li>注入材の薬液配合管理</li> <li>注入速度・圧力、注入量の管理</li> <li>施工中の周辺への影響監視</li> </ul>       | 適正な注入工を行うためには、 <b>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)</b> が必要である。適切に配合された注入材(薬液)が、 <b>計画量どおりに注入されたか(注入量)</b> 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。  | <ul style="list-style-type: none"> <li>材料管理、薬液品質管理の方法の標準化</li> <li>トラブルや異常への対処事例の整理</li> </ul>  |  |
| 事後調査(出来形・品質確認)段階 | <ul style="list-style-type: none"> <li>土質調査・原位置試験等の実施</li> <li>改良地盤の品質評価</li> <li>改良地盤の出来形の評価</li> </ul>         | 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。 <b>工事目的物の出来形を直接的に確認する方法</b> (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)・ <b>品質管理方法</b> (試験項目やその評価方法)の適用。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>品質確認の方法と頻度、試験結果の評価方法の標準化</li> <li>改良土試料を用いた出来形確認方法の標準化</li> <li>品質確認調査の第三者による実施</li> <li>物理探査等を応用した品質・出来形確認手法の開発</li> </ul>      |  |



# 1. 地盤改良前の改良対象地盤の強度等の評価方法の現状と課題

## 1.1 工事発注前段階における現状と課題

- ・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ことがあるため、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。

### 対処法・対策に向けての要検討事項

#### ➤ 工事発注前段階での追加調査の実施

- (1) 通常行われる調査・試験項目、頻度では地盤の不均一性を十分に把握することが困難な場合は、**ボーリング調査および土質試験を補間する調査を実施する**  
 ・ ・ ・ 迅速に高い空間分解能で地盤情報を取得可能な簡易サウンディングなど
- (2) **薬液注入工法の詳細な施工計画に必要な事項の調査**  
 ・ ・ ・ 対象土の透水試験、pH試験、地下水流把握のための調査等

※これらは、すべての薬液注入工事に必要なわけではなく、対象地盤に応じてその要否を適切に判断することが必要と考えられる。

### 浸透固化処理工法技術マニュアルに示された標準的な調査・試験項目


『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

| 種別                 | 試験項目              | 内容                | 重要度               | 試験方法             |            |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------|
| 事前調査               | 既存資料の収集           | —                 | ○                 | —                |            |
|                    | 土質調査              | 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         | ○                | JIS A 1225 |
|                    |                   | 土懸濁液のpH試験         | pH                | ○                | JGS 0211   |
|                    |                   | 土の圧密非排水(CU)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   |
|                    |                   | 土の繰返し非排水三軸試験      | 液状化強度比            | △                | JGS 0541   |
|                    | 土の透水試験            | 透水係数              | △                 | JGS 0311         |            |
|                    | シリカ含有量試験          | シリカ含有量            | △                 | 原子吸光法※1          |            |
|                    | 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 |            |
|                    | 標準貫入試験            | N値                | △                 | JIS A 1219       |            |
|                    | 電気式三成分コーン貫入試験     | 先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦力   | △                 | JGS 1435         |            |
| 簡易サウンディング (エンパソル等) | 土質区分の推定           | △                 | 「4.3」参照           |                  |            |
| 室内配合試験             | 一軸圧縮試験            | 一軸圧縮強さ            | ○                 | JIS A 1216       |            |
|                    | 土の繰返し非排水三軸試験      | 液状化強度比            | △                 | JGS 0541         |            |
|                    | 土の圧密非排水(CU)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         |            |
|                    | 土中ゲルタイム試験         | ゲルタイム             | ○                 | 「3.4.2」参照        |            |

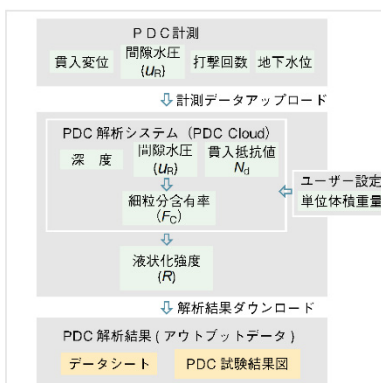
### 簡易サウンディング装置の例 (PDC コンソーシアム資料)

PDCは原位置試験のみで地盤の液状化強度の評価を可能とした地盤調査技術です。  
 深度1mに1点しか算出出来ない標準貫入試験と比較し、1打撃毎の自動計測を行うことにより地盤の不均質性を連続的に把握できます。  
 特に、埋め立て地や沖積低地に広がる軟弱な互層地盤などの不均質な地盤調査に有効です。

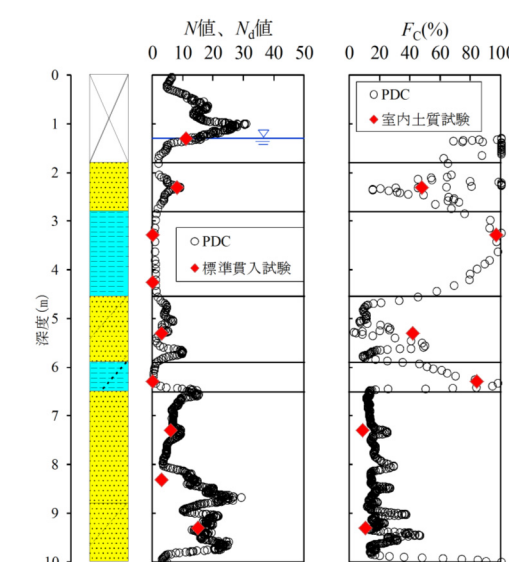
**PDCで地盤の液状化強度を求める**  
 PDC (液状化ポテンシャルサウンディング) は、打撃貫入時に地盤に発生する間隙水圧を測定することにより、貫入抵抗値 (換算 N 値) だけでなく細粒分含有率  $F_c$  を推定することで、液状化強度を求めることができます。  
 PDC の計測データを PDC Cloud にアップロードし、PDC Cloud で自動解析し、解析結果をダウンロードできます。



PDC 試験装置一式



PDC 解析システム (PDC Cloud)



先端コーン

- ・機材が小さく、仮設が不要または簡便
- ・貫入抵抗と間隙水圧を同時に計測することができる
- ・N値、細粒分含有率 ( $F_c$ ) を連続的に推定でき、液状化層厚や分布を精度よく評価できる

## 設計時の地盤調査に関する規定の例

「埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)」  
平成9年8月(財)沿岸開発技術研究センター

i) 成層状態が水平方向にも鉛直方向にも比較的均一な場合

(単位:m)

|      |        | 法線方向    |         | 法線直角方向 |         |             |         |
|------|--------|---------|---------|--------|---------|-------------|---------|
|      |        | 配置間隔    |         | 配置間隔   |         | 法線からの距離(最大) |         |
|      |        | ボーリング   | サウンディング | ボーリング  | サウンディング | ボーリング       | サウンディング |
| 概略調査 | 広範囲の地域 | 300~500 | 100~300 | 50     | 25      | 50~100      |         |
|      | 小範囲の地域 | 50~100  | 20~50   |        |         |             |         |
| 精密調査 |        | 50~100  | 20~50   | 20~30  | 10~15   |             |         |

ii) 成層状態が複雑な場合

(単位:m)

|      |  | 法線方向  |         | 法線直角方向 |         |             |         |
|------|--|-------|---------|--------|---------|-------------|---------|
|      |  | 配置間隔  |         | 配置間隔   |         | 法線からの距離(最大) |         |
|      |  | ボーリング | サウンディング | ボーリング  | サウンディング | ボーリング       | サウンディング |
| 概略調査 |  | 30以下  | 15~20   | 20~30  | 10~15   | 50~100      |         |
| 精密調査 |  | 10~30 | 5~10    | 10~20  | 5~10    |             |         |

(注) サウンディングにはボーリング孔を必要とするものと、必要としないものがある。表中のサウンディングにはボーリング孔を必要としないもののみを示す。ボーリング孔を必要とするサウンディングはボーリングの項を適用する。

薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針(建設省官技発第160号 昭和49年7月10日)

### 2-2 調査

薬液注入工法の採用の決定にあたって行う調査は、次のとおりとする。

#### (1) 土質調査

土質調査は、次に定めるところに従って行うものとする。

(イ) 原則として、施工面積1,000平方メートルにつき1箇所、各箇所間の距離100メートルを超えない範囲でボーリングを行い、各層の資料を採取して透水性、強さ等に関する物理的試験及び力学的試験による調査を行わなければならない。

(ロ) 河川の付近、旧河床等局部的に土質の変化が予測される箇所については、(イ)に定める基準よりも密にボーリングを行わなければならない。

(ハ) (イ)、又は(ロ)によりボーリングを行った各地点の間は、必要に応じサウンディング等によって補足調査を行い、その間の変化を把握するように努めなければならない。

(ニ) (イ)から(ハ)までにかかわらず、岩盤については、別途必要な調査を行うものとする。

#### (2) 地下埋設物調査

地下埋設物調査は、工事現場及びその周辺の地下埋設物の位置、規格、構造及び老朽度について、関係諸機関から資料を収集し、必要に応じつぼ堀により確認して行うものとする。

#### (3) 地下水位調査

地下水位調査は、工事現場及びその周辺の井戸等について、次の調査を行うものとする。

(イ) 井戸の位置、深さ、構造、使用目的及び使用状況

(ハ) 河川、湖沼、海域等の公共用水域及び飲用のための貯水池並びに養魚施設(以下「公共用水域等」という。)の位置、深さ、形状、構造、利用目的及び利用状況



## 1.2 施工計画段階における現状と課題

### (1) 事前調査計画～配合試験～注入仕様等設定段階

- 不均一な地盤を対象に施工する場合は、施工計画段階で追加事前調査（簡易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。

#### 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。

#### 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。

#### 対処法・対策に向けての要検討事項

- 工事中（施工計画段階）での、事前調査の実施
  - 発注者（設計者）による、事前調査において確認・考慮すべき事項の明示
  - 削孔を兼ねた調査が可能な簡易サウンディング等による対象範囲の土質分布の詳細な把握
  - 対象範囲の地盤の薬液浸透特性の把握（限界注入速度試験）
  - 対象土のゲルタイムに与える影響の把握（粒度特性、pH、カルシウムの含有量等）

- 配合試験における実施内容と目的の明確化
  - 配合試験の実施条件の明示（記録すべき項目）
  - 施工後の品質確認方法の決定と評価に必要なデータの整理（一軸圧縮試験以外の方法による改良土評価：UU三軸試験、シリカ含有量試験、繰返し三軸試験など）

- 上記を踏まえた、薬液配合、注入仕様等の設定経緯、根拠の報告と確認

### 浸透固化処理工法技術マニュアルに示された標準的な調査・試験項目

『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

| 種別      | 試験項目              | 内容               | 重要度 | 試験方法                |
|---------|-------------------|------------------|-----|---------------------|
| 既存資料の収集 | —                 | 設計・施工条件調査等       | ○   | —                   |
|         | 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        | ○   | JIS A 1225          |
| 土質調査    | 土懸濁液のpH試験         | pH               | ○   | JGS 0211            |
|         | 土の圧密非排水(CU)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  | $c_u, \phi_a$    | △   | JGS 0524            |
|         | 土の繰返し非排水三軸試験      | 液状化強度比           | △   | JGS 0541            |
|         | 土の透水試験            | 透水係数             | △   | JGS 0311            |
|         | シリカ含有量試験          | シリカ含有量           | △   | 原子吸光法 <sup>※1</sup> |
|         | 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    |
|         | 標準貫入試験            | N値               | △   | JIS A 1219          |
|         | 電気式三成分コーン貫入試験     | 先端抵抗、間隙水圧、周面摩擦力  | △   | JGS 1435            |
|         | 簡易サウンディング（エンパソル等） | 土質区分の推定          | △   | 「4.3」参照             |
| 室内配合試験  | 一軸圧縮試験            | 一軸圧縮強さ           | ○   | JIS A 1216          |
|         | 土の繰返し非排水三軸試験      | 液状化強度比           | △   | JGS 0541            |
|         | 土の圧密非排水(CU)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  | $c_u, \phi_a$    | △   | JGS 0524            |
|         | 土中ゲルタイム試験         | ゲルタイム            | ○   | 「3.4.2」参照           |

### 削孔を兼ねた調査が可能な簡易サウンディング装置の例

● 地盤データ収集システム

④ 変位量センサー（変位センサー）  
液位の測定

④ 圧力センサー（圧力センサー）  
回転圧の測定  
推進圧の測定  
打撃圧の測定

⑤ データロガーボックス  
削孔速度の記録  
時間の測定

② 送水ポンプ

① 削孔機

ロッド

③ ビット

データ収集状況と解析結果例

プリンターユニット

データロガーボックス

（エンパソル パンフレット）

- 注入外管を設置するための削孔工の一部として実施することができる（別途調査工が不要）
- 施工で使用する削孔機にセンサーを取り付けて、推進力、トルク、送水圧力を計測することで、削孔工と同時に地層の判別ができる
- 施工対象箇所土質（特に細粒分含有率）を評価することで、注入工における注入速度・注入圧力を適切に設定することができる
- 地層分布が複雑な（不均一な）地盤において、施工範囲の地盤状況を多地点で把握できる

### 限界注入速度試験

『耐久性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

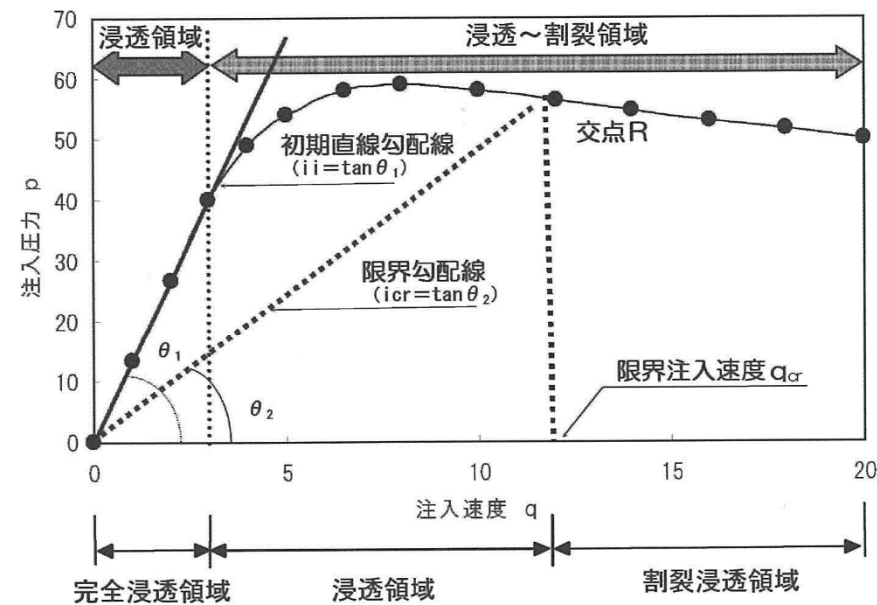
#### 3. 限界注入速度 ( $q_{cr}$ ) 試験法

砂質地盤を対象とする注入では、薬液が間隙水を押し出して置換することで理想的な浸透注入が可能である。しかし土質によっては、同じ注入速度でも浸透注入が困難で、割裂注入が支配的となる場合がある。

本試験は、現地盤に薬液注入を行う場合に良好な固結形状を得ることのできる注入速度の上限値を把握することを目的として実施するものである。なお、ここでいう良好な固結形状とは、一点から注入を行った場合にほぼ球形状の固結体が得られる状態のことをいう。

限界注入速度は、実際使用する薬液を用いて求めることが理想であるが、薬液がゲル化して実験結果の解釈が難しくなること、大量の薬液が注入されるため本工事に影響を及ぼすことが考えられる。このため、本試験では薬液の代わりに水を用いて注入試験を行う。

有効注入圧力と注入速度の関係を示す曲線 ( $p$ - $q$  曲線) を作成する。限界注入速度は、注入速度の増加に伴い有効圧力が減少を示した位置の注入速度としている(巻末図-3.1)。



巻末図-3.1 現場  $p$ - $q$  試験による限界注入速度 ( $q_{cr}$ ) の測定例

参考文献

- 1) 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発表論文集：社団法人土質工学会，平成 5 年 3 月

### 土中ゲルタイムの試験方法

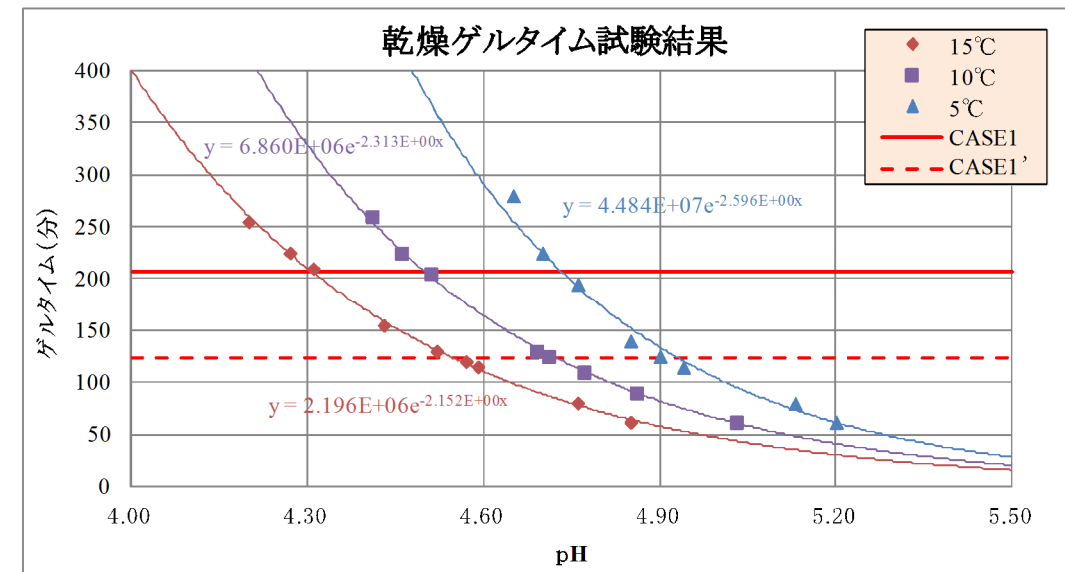
『耐久性グラウト注入工法施工指針』(平成 24 年 3 月)、(社)日本グラウト協会

#### (1) ゲルタイム

シリカコロイド系、特殊中性・酸性系のゲルタイムは、ホモゲル状態と地盤中に注入された状態とは異なる。地盤中に注入された薬液は土中の pH や貝殻等のカルシウム含有量、細粒分含有率によって影響され、ホモゲル状態よりも短くなる。このため事前に現地の注入対象試料土と実際に使用する薬液を混合して、ゲルタイムを測定する。特に、微細な貝殻片が多く混入している土では、カルシウム含有量が 1,000 mg/kg をこえる場合は、所定のゲルタイムが確保できない場合もあるため、事前に対象土のカルシウム含有率の分布を調査しておく。また、室内配合試験と併せて土中ゲルタイム試験を実施する。

#### (2) 土中ゲルタイム試験

200ml の容器に試料砂を 120g(70 cm<sup>3</sup>相当)ばかり取り蒸留水を 30ml 添加して水飽和状態とする。この試料に反応材を加えた薬液の練り上がり分 30ml を投入し、薬さじで混合する。薬液投入後、上澄みの薬液がゲルするまでの時間を土中ゲルタイムとする。



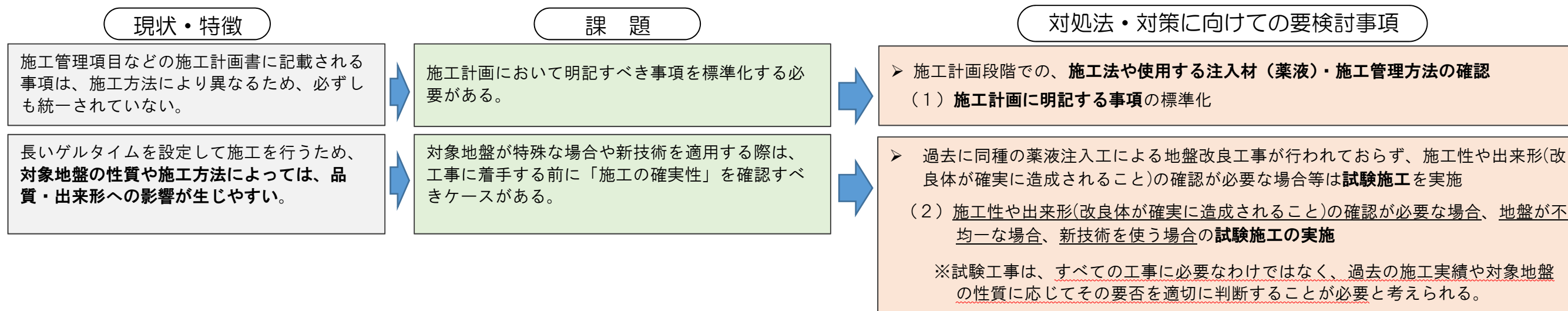
#### ゲルタイム試験結果の例

ゲルタイムは、薬液の pH が低い(酸性が強い)ほど長く、高い(中世に近づく)ほど短いことがわかる。また、同じ pH であっても薬液の温度によってゲルタイムは異なる。これらの性質は、対象土の pH や貝殻片等(カルシウム分)の含有によって違うため、配合試験、ゲルタイム試験は改良対象土を用いて行われなければならない。この試験結果を踏まえ、施工においては、薬液の練混ぜ～注入完了までの時間、当日の気温・水温等を考慮して、適切なゲルタイムに設定した注入材を用いる必要がある。なお、注入完了時間に対してゲルタイムが長すぎると、薬液がゲル化する前に下方に垂れ下がり対象深度に改良体が形成されないことがある。



## (2) 実施工（削孔・注入）計画段階

- ・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、過去に同種の薬液注入工による地盤改良工事が行われておらず、**施工性や出来形（改良体が確実に造成されること）の確認が必要な場合等**は、本施工に先立ち**試験工事**を実施することが望ましい。



土木工事共通仕様書(平成 27 年度版) 共通編 p3-118~3-119  
薬液注入工法に関する記述の全文抜粋

**6. 薬液注入工法**  
受注者は、薬液注入工の施工にあたり、薬液注入工法の適切な使用に関し、技術的知識と経験を有する現場責任者を選任し、事前に経歴書により監督職員の**承諾**を得なければならない。

**7. 薬液注入工事前の確認事項**  
受注者は、薬液注入工の着手前に以下について監督職員の**確認**を得なければならない。

(1) 工法関係

- ① 注入圧
- ② 注入速度
- ③ 注入順序
- ④ ステップ長

(2) 材料関係

- ① 材料（購入・流通経路等を含む）
- ② ゲルタイム
- ③ 配合

**本検討で対象とする薬液注入工事の内容に合った確認事項を標準化する必要がある（施工計画への明示事項）**

**8. 適用規定**  
受注者は、薬液注入工を施工する場合には、「**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10日建設省官技発第160号）の規定による。

**9. 施工管理等**  
受注者は、薬液注入工における施工管理等については、「**薬液注入工に係る施工管理等について**」（平成2年9月18日建設省大臣官房技術調査室長通達）の規定による。

なお、受注者は、注入の効果の**確認**が判定できる資料を作成し、監督職員または検査職員の請求があった場合は速やかに**提示**しなければならない。



東京国際空港新B滑走路試験工事（1998）



津松阪港実海域実証実験（2001）



石狩湾新港振動実験（2008）

### 試験工事における改良体の掘り出し事例

『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

対象箇所において、過去に同種の薬液注入工による地盤改良工事が行われておらず、施工性や出来形（改良体が確実に造成されること）について、不明な点がある場合は、本施工に先立ち試験工事を実施することが望ましい。

試験工事は、すべての工事に必要なわけではなく、過去の施工実績や対象地盤の性質に応じてその要否を適切に判断することが必要と考えられる。

特に、対象地盤が酸性を呈し、かつ透水性の良い砂からなるような場合、水ガラス系の溶液型注入材が固化しにくいことがあり、ゲル化する前に下方に垂れ下がり対象深度に改良体が形成されないことがあるので注意が必要である。

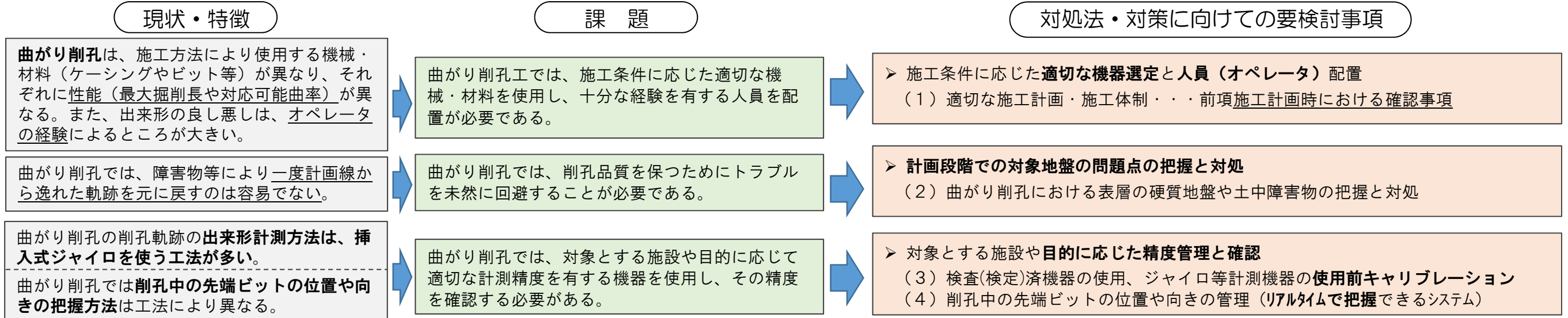
掘り出し確認のほかに、過去の工事では、施工の1本目（ないし数本）を試験注入と位置付け、当局が改良土の確認をした上で、それ以降の施工を行った事例がある。



## 2. 施工中の施工管理方法の現状と課題

### 2.1 削孔工段階における現状と課題

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。



#### 鉛直・斜削孔における削孔角度、削孔深度の確認方法 「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

##### 3) 削孔の角度の確認

一般に使用されている削孔機は、任意の角度に削孔を行う事が出来るが、精度を良く削孔するためには、傾斜計などを使用して計画通りの角度に削孔されているかを確認する事が必要である。

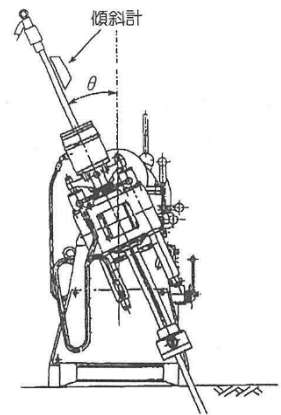


図 4-13 削孔角度の確認

**鉛直、斜め削孔は、削孔開始時のケーシング位置・方向・角度をきちんと管理すれば、施工精度に大きな差は生じにくい。**

40m の斜削孔を必要とする工事において、削孔後にケーシング内をジャイロで計測し、誤差が 0.4~0.8%程度であることを確認した事例があることから、直・斜削孔の誤差は最大で 1/100 程度であると考えられる。したがって、標準的な削孔長であれば後述する改良径の 1/4 程度以内に収まることが確認されているため、削孔開始時のケーシング位置・方向・角度の管理を厳密に行うことで、必要な精度は得られると考えられる。

##### 4) 削孔深度の確認

削孔深度の確認は、通常検尺（ロッドの長さ）により行う。

検尺の方法は、

- ① 使用ロッド長の確認（ロッド長+グラウトモニタ吐出口までの長さ）
  - ② 削孔完了時の残尺の測定
- を行って、削孔長 [= (使用ロッド長) - (残尺)] を求める。

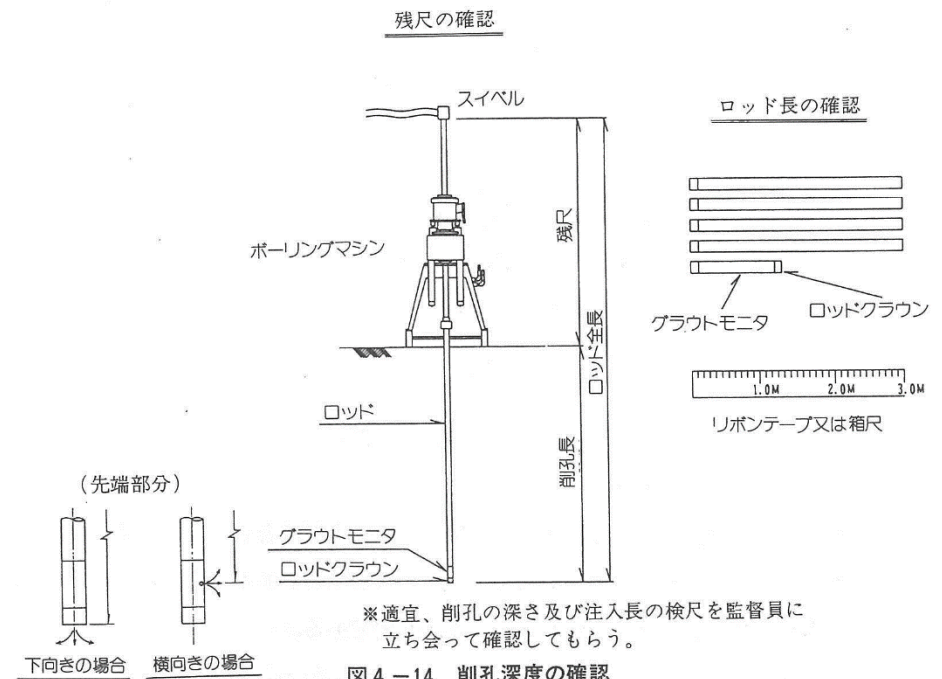


図 4-14 削孔深度の確認

#### <参考>曲がり削孔における表層の硬質地盤や土中障害物への対処事例

「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）日本埋立浚渫協会より作成

| 項目                | 問題点   | 対処事例   |
|-------------------|---|--|
| (1) 表層硬質地盤への対処    | 削孔開始直後の表層部には、路盤や固化版等の硬質地盤が存在する場合があります。              | 曲がり削孔に先行して、岩盤削孔等に用いる直斜削孔機を用いた先行削孔が有効である。                             |
| (2) 土中における障害物への対処 | 計画削孔ライン上において、回避できない位置に障害物がある場合は、その障害物を破碎・貫通する必要がある。 | 先端に超硬チップを熔着したビットを用い、摩耗状況に応じて随時ビット交換を行いながら低速で削孔することで破碎・貫通が可能となる場合がある。 |



## 曲がり削孔工の手順の例

「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)日本埋立浚渫協会に加筆

### ①削孔機セット

削孔機を所定の位置にセットする



### ②削孔開始

中空式ジャイロによりリアルタイムで位置検出しつろッドの変位を制御する



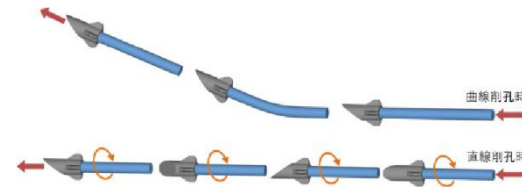
### ③挿入式管路計測装置計測

削孔経路を挿入式管路計測装置で計測し位置情報を挿入式の結果に置き換える



### ④継続削孔

挿入式による位置情報を固定式ジャイロに引き継ぎ、削孔を継続する



曲がり削孔では、先端ビットの向きと地盤の反力により削孔軌跡を曲げるが、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。  
計画段階で表層の硬質地盤や土中障害物への対処を講じることで、トラブルを未然に回避すれば、削孔品質は保たれるケースが多い。

曲がり削孔において削孔工の品質を向上するためには、施工中にリアルタイムでロッド先端の状況を把握できることが望ましい。  
(「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)

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。工法により、使用する計測機器は異なるが、その計測方法や演算結果として出力される精度管理データはほぼ同じである。

削孔出来形の管理としては、検査(検定)済機器を使用すること、およびジャイロ等計測機器の使用前キャリブレーションを実施することで、計測精度は保たれると考えられる。

浸透固化処理工法では、注入中心位置の出来形管理の規格値を、「改良直径の1/4以下」としている。

『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

### (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。

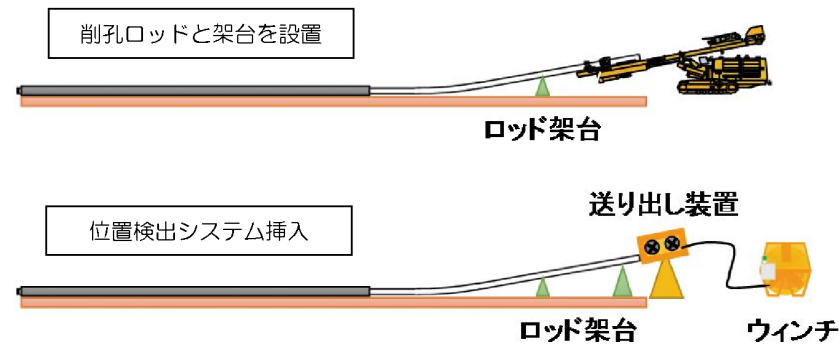


図-Ⅲ.1.5 キャリブレーション(例)

曲がり削孔工法の多くは、同様のビーコン+ロケータにより地下の削孔先端の位置、深さ、向きを確認する。この時、オペレータはロケータで確認された情報を無線等で聞きながら削孔機の操作を行うのが一般的である。

ただし、施工条件(電磁波が届かない、あるいは使用できない)によっては、ロケータを使用することができない場合があり、削孔中の状態把握に課題がある。

## <参考>曲がり削孔工の出来形確認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

### ジャイロ計測について

プローブと呼ばれるジャイロを組み込んだ装置を管内へ挿入して巻き上げることで、プローブから得られるデータ(方位、X軸傾斜、Y軸傾斜)と巻き上げ装置から得られるデータ(距離)を元に管路の位置(削孔軌道)を計測する。



### 【本来の画面】

曲がり削孔時出来形確認(生データ)  
→計画の位置に削孔出来ていない

### 【偽装の画面】

立会時(曲り削孔出来形確認)表示画面  
→計画の位置に削孔出来ているよう表示

鉛直削孔の現場においては、削孔自体は計画通り行われ、削孔に関する虚偽報告等の不正はなかった。

一方、曲がり削孔においては、削孔精度が極めて低く、各工事(H26、H27福岡空港、H26松山空港、H27東京国際空港)の東亜建設工業(株)の作業所長は、監督職員の立会時に、ジャイロ計測から得られるデータについて、管理用パソコンのモニターに実測値ではなく、規格値を満たす削孔位置及び削孔長を表示し、虚偽の報告を行った。

この表示機能は、本来は、削孔時の計測精度が不安定であるため、計測異常値をカットするために本社機電部の主導により導入されたものであったが、これを悪用して虚偽報告が行われた。