

# 「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」 今後の対応方針

## 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。

### 対応方針

- ・ 地盤の不均一性の大小は、設計段階において、改良対象地盤の既往資料やボーリング結果を基に、自然堆積地盤なのか埋立地盤なのかを判別した上で、埋立地盤の場合においては埋立履歴(埋立材料、埋立施工方法等)等から判断する。
- ・ 不均一性が大きいと考えられる場合には、サウンディング(動的コーン貫入試験(PDC等))を実施する。
- ・ サウンディング(動的コーン貫入試験(PDC等))の調査地点間隔は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示されている間隔を目安にする。

### 中長期的課題

- ・ 非破壊探査による地盤の可視化に向けて研究開発を行う。

## 2) 施工中の施工管理方法の課題と対応方針について

### 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。

### 対応方針

- ・ 施工計画段階では、土懸濁液の pH 試験、カルシウム含有量試験、シリカ含有量試験、土中ゲルタイム試験、限界注入速度試験等を行うことを標準とする。
- ・ 受注者は、施工計画にプラント配置図、配管ルート図、薬液の運搬経路図、各種材料の管理頻度、管理値、保管方法、ゲルタイム設定根拠、注入材の pH 管理値等を明示する。
- ・ 本工事では、薬液注入工を実施する最初の段階で、出来形を確認するための確認施工を実施する。
- ・ 新技術や使用実績のない薬液を採用する場合は、適用性を確認するための試験施工を実施する。
- ・ 曲り削孔の精度は、地上において、挿入式ジャイロ等の位置測定装置のキャリブレーションにより確認する。
- ・ 薬液注入工においては、積算流量計等の機器類のキャリブレーションによりチャート紙の記録が適切であること、不正な配管がないこと、ゲルタイムが適切に管理されていることを確認する。
- ・ 発注者は、施工が計画どおり適切に行われているか抜き打ちを含む立会により適宜確認する。
- ・ 薬液注入に伴う pH の変化による周辺環境への影響は、暫定指針に基づき地下水の監視を行う。

### 中長期的課題

- ・ 薬液注入に伴う pH の変化による構造物への対策の必要性の有無については、研究機関と連携し、検討をする。

## 3) 地盤改良後の施工確認方法の課題と対応方針について

### 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。

### 対応方針

- ・ 地盤改良後の施工確認方法は、当面は、従来どおり一軸圧縮試験による評価を原則とし、必要に応じシリカ含有量試験等による評価を行う。
- ・ サウンディング(動的コーン貫入試験(PDC等))で得られる改良地盤の Nd 値等により、施工確認ができるようデータの蓄積、分析を進める。
- ・ 客観性を確保するため、地盤改良後の品質確認調査(事後調査)は、工事とは別契約とし第三者により実施する。

### 中長期的課題

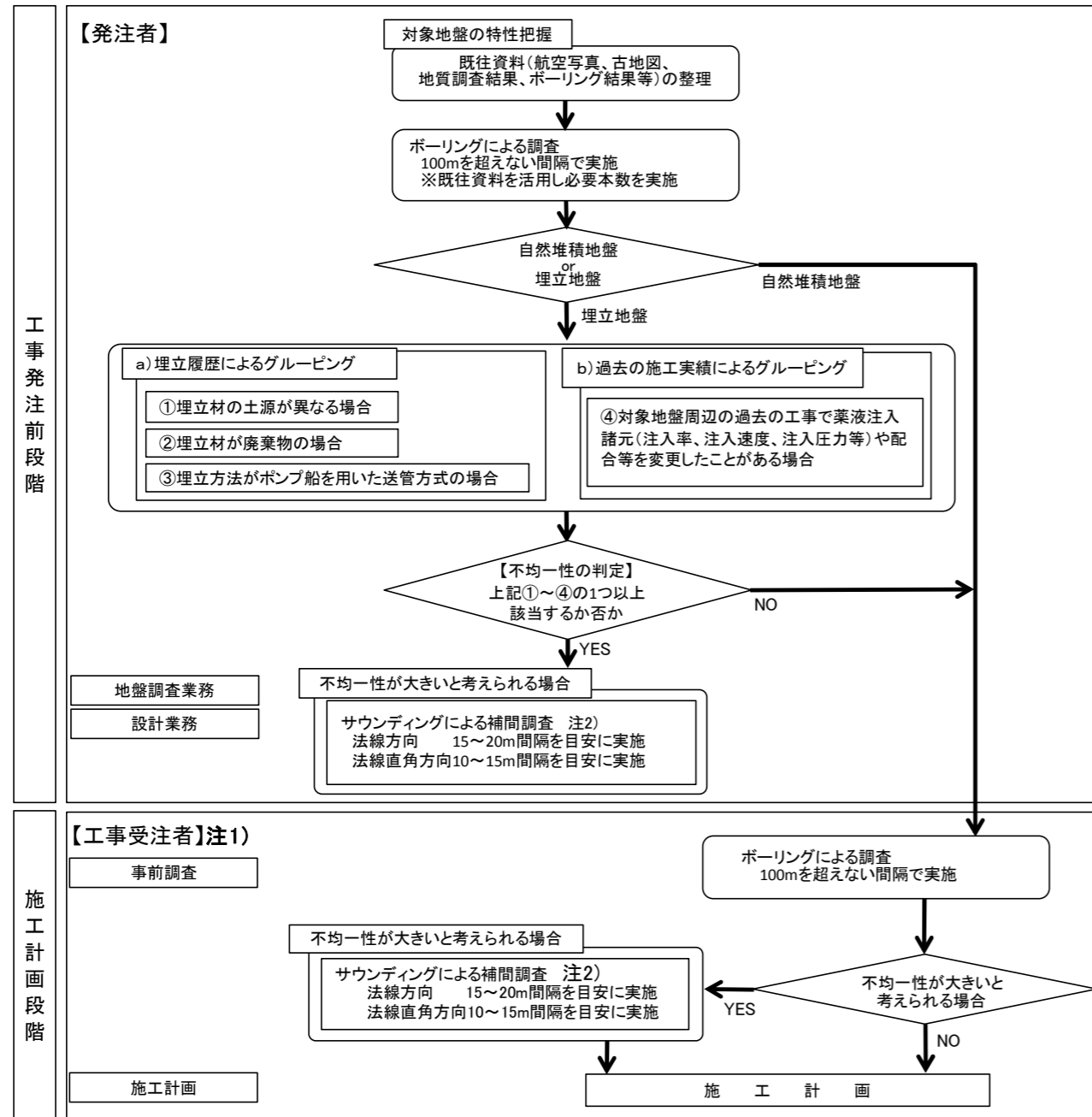
- ・ 非破壊探査による地盤の可視化および品質確認への適用に向けて研究開発を行う。

# 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について

- ・ 地盤の不均一性の大小は、設計段階において、改良対象地盤の既往資料やボーリング結果を基に、自然堆積地盤なのか埋立地盤なのかを判別した上で、埋立地盤の場合においては埋立履歴(埋立材料、埋立施工方法等)等から判断する。
- ・ 不均一性が大きいと考えられる場合には、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示されている間隔を目安にサウンディングを実施し、地盤改良に係る設計や施工計画に反映させる。

## ■不均一性の大小判定フロー

地盤の不均一性の大小は、以下のフローにより判断する。



注1) 施工計画段階におけるボーリング調査及びサウンディングによる補間調査は、工事受注者が、必要に応じて自らの判断により地盤条件(現状不一致か否か)を確認するために実施する。

注2) 調査にあたっては、経済性等を考慮し、ボーリングによる調査の中間付近から開始し、順次調査地点を追加して実施する。

上図 地盤の不均一性の大小判定フロー

## ■サウンディングの調査地点間隔の目安

サウンディング(動的コーン貫入試験(PDC等))の調査地点間隔は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」に示されている間隔を目安とする。

②成層状態が複雑な場合 下表 サウンディングの調査地点間隔の目安 単位(m)

	法線方向		法線直角方向		法線からの距離(最大)
	配置間隔		配置間隔		
	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	50以下	15~20	20~30	10~15	50~100
精密調査	10~30	5~10	10~20	5~20	

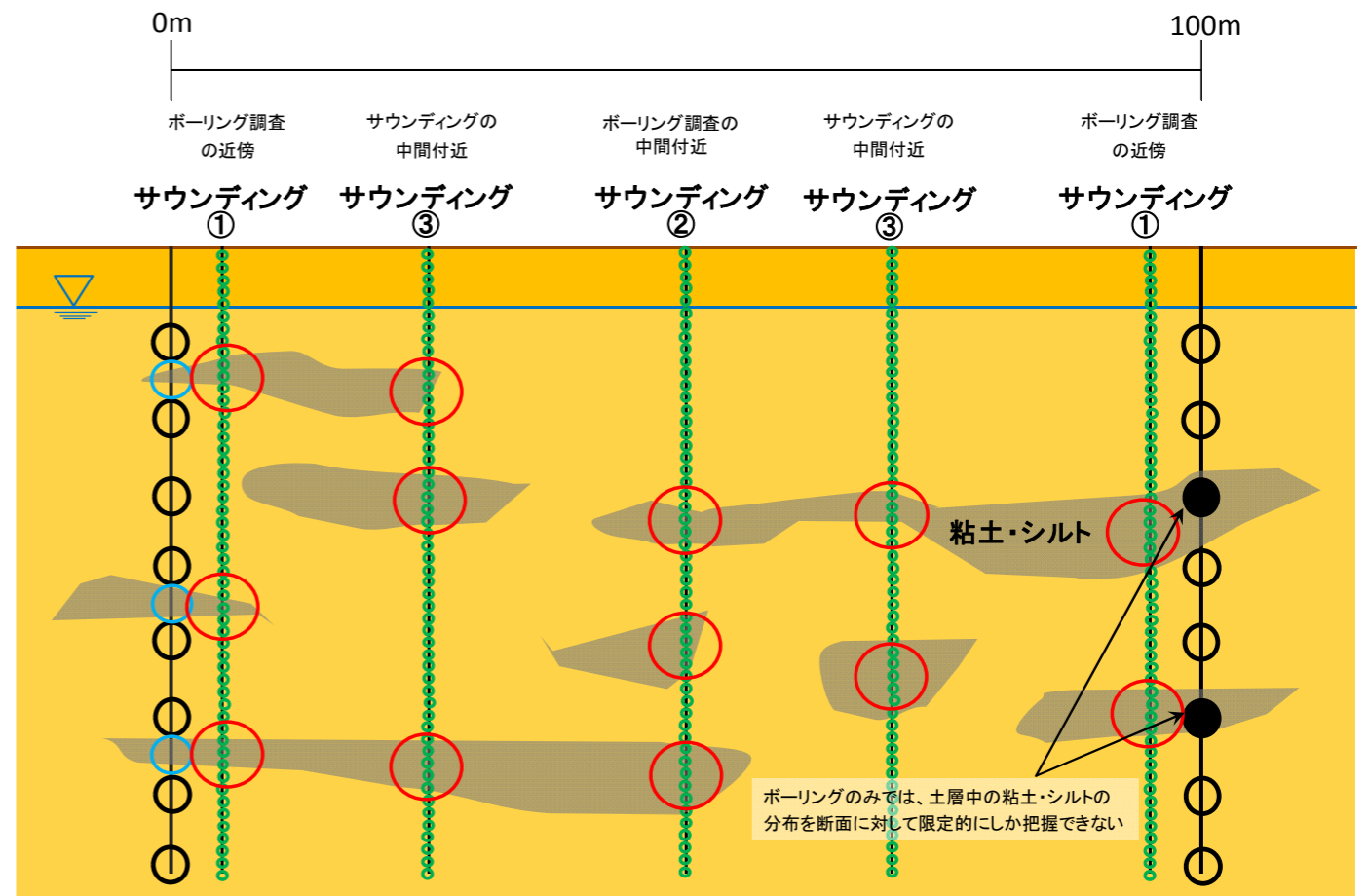
注) サウンディングにはボーリング孔を必要とするものと、必要としないものがある。

表中のサウンディングはボーリング孔を必要としないもののみを対象とする。

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欄を準用する。

出典: 日本港湾協会 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上)平成19年 P.291

調査にあたっては、経済性等を考慮し、ボーリングによる調査の中間付近から開始し、順次調査地点を追加して実施する。



ボーリングのみでは、土層中の粘土・シルトの分布を断面に対して限定的にしか把握できないが、サウンディングによる補間調査(間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験等)により補間することで対象範囲内に粘土、シルトの分布をより詳細に確認できる。

上図 不均一性が大きい地盤の調査のイメージ

## 2) 施工中の施工管理方法の課題と対応方針について

- ・施工計画段階では、土懸濁液の pH 試験、カルシウム含有量試験、シリカ含有量試験、土中ゲルタイム試験、限界注入試験等を実施することを標準とし、改良対象地盤の特性を把握する。
- ・把握した改良対象地盤の特性を踏まえ、土中ゲルタイムの設定や注入速度等を設定し、施工計画に反映させる。

### (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

種別+B4.H35	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	地盤条件の確認	○	-	対象地の地盤の概要
	土質調査 (現地試験)	標準貫入試験	N値	○	JIS A 1219	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震応答解析 (SHAKE等)</li> <li>・液状化の判定 (港灣基準の方法)</li> <li>・改良対象土層 (液状化層) の設定</li> <li>・対象土層の改良仕様の設定</li> </ul>
		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	
		動的コーン貫入試験 (PDC等)	換算N値、細粒分含有率等	○	NETIS No.TH-100032-A 等	
	土質調査 (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 (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・施工条件調査等	○	-	設計時の改良仕様、改良目標
	土質調査 (現地試験)	標準貫入試験	N値	△	JIS A 1219	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象地盤の詳細区分</li> <li>・土質に基づく施工仕様の区分</li> <li>・工事前の周辺環境 (地下水水質等) の把握</li> <li>・地盤改良効果の把握</li> <li>・対象土の性質の把握</li> <li>・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</li> <li>・薬液配合の決定</li> <li>・施工後の品質評価指標の決定</li> <li>・対象土 (未改良地盤) のシリカ含有量初期値の把握</li> <li>※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</li> <li>・施工時の薬液の土中ゲルタイム、pH管理値の設定</li> <li>・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)</li> </ul>
		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	
		動的コーン貫入試験 (PDC等)	換算N値、細粒分含有率等	○	NETIS No.TH-100032-A 等	
	土質試験 (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 ※クレガー式等による推定も可	
	室内配合試験	カルシウム含有量試験	カルシウム含有量	○	H24環水大発第120725002号 II 5.金属 5.1	
		一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ	○	JIS A 1219	
		シリカ含有量試験 (一軸供試体)、(未改良地盤土)	シリカ含有量増分-一軸圧縮強さ関係、原地盤のシリカ含有量	○	原子吸光法 ICP法	
	土質調査 (現地試験)	土中ゲルタイム試験	土中ゲルタイム	○	-	
限界注入速度試験		注入速度-注入圧力関係	○	-		

重要区分 ○：実施することを標準とする試験  
△：必要に応じて実施する試験

#### 【土懸濁液の pH 試験(改良対象土(未改良地盤)の pH 試験)】

- ・土中ゲルタイムが対象地盤の性質に影響すること及び pH 管理が出来る形に影響するため、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。

#### 【カルシウム含有量試験】

- ・土中ゲルタイムは、対象土に含まれるカルシウムの量によっても影響を受けるため、カルシウム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、施工計画、管理に反映させる必要がある。

※不均一性が小さい場合も実施

(2) 受注者が施工計画に明示すべき事項

- ・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明示し、発注者はその内容を確認する。
- ・受注者は施工管理体制・方法を明示し、発注者は施工計画のとおり施工されているかを確認する。
- ・通常行われる監督・検査を基本とするが、抜き打ちによる立会も併せて行う。

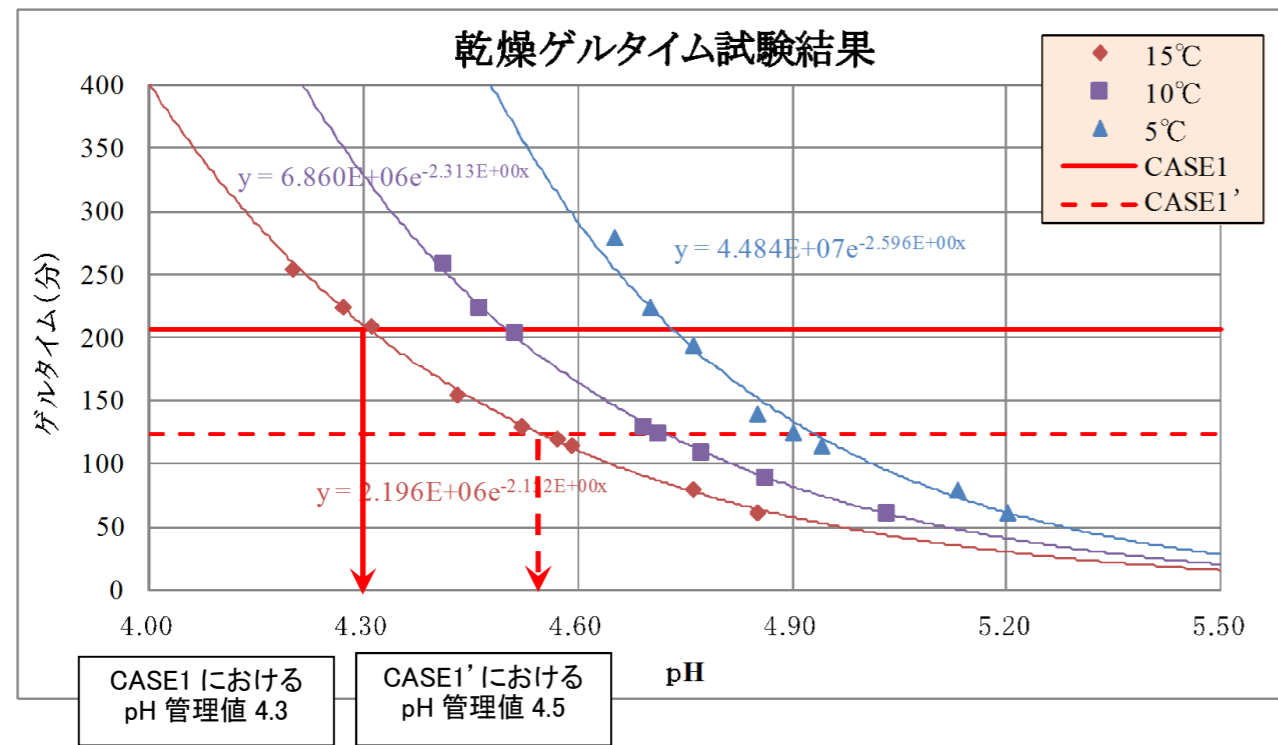
受注者が施工計画に明示すべき事項		発注者の対応	
項目	内容	確認時期	備考
1 適用する工法の名称	・〇〇工法等、工法の正式名称を明示	施工計画提出時	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
2 適用する工法の出来形管理基準及び品質管理基準を記した基準類の名称	・港湾工事共通仕様書、〇〇工法マニュアル等を明示	施工計画提出時	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
3 工法区分	(1)二重管スレーナー、ダブルバッカー 等	施工計画提出時	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
4 材料種類	(1)溶液型、懸濁型等の別(無機系、水ガラス系等の別) (2)溶液型の場合は、無機、有機の別 (3)瞬結、中結、長結の別 (4)薬液(シリカ等)の濃度(〇%)	施工計画提出時 " " "	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
5 施工範囲	(1)注入対象範囲 (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(%), 均等係数Uc等)	施工計画提出時 "	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
6 削 孔	(1)削孔間隔及び配置 (2)削孔総延長 (3)削孔本数	施工計画提出時 " "	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
7 注 入 量	(1)総注入量 (2)土質別注入率 (3)土質別注入量	施工計画提出時 " "	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示
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) ・発注者と協議の上決定した確認方法。 ・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。 ・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、薬液材料の保管場所。 ・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 適宜確認	
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。 ・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、 ・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 適宜確認	
14 土中ゲルタイム(硬化時間)の設定根拠及び管理値	・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)。 ・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 適宜確認	

受注者が施工計画に明示すべき事項		発注者の対応	
項目	細目	確認時期	備考
15	薬液注入量等の管理	<p>適宜確認</p> <p>注入開始前</p> <p>随時</p> <p>随時</p>	
16	削孔位置、削孔長、注入外管挿入長、削孔角度の管理	適宜確認	
17	パッカー等の施工	施工計画提出時	
18	注入速度及び注入圧力の設定	適宜確認	
19	注入順序	適宜確認	
20	改良範囲、ステップ長、注入孔間隔	適宜確認	
21	削孔跡の充填	<p>施工計画提出時</p> <p>適宜確認</p>	
22	排水、排泥、廃液の処理方法	<p>施工計画提出時</p> <p>〃</p> <p>〃</p>	
23	余剰薬液及び余剰薬液材料の返品方法	<p>施工計画提出時</p> <p>適宜確認</p>	
24	障害物(埋設物)調査の把握(防護方法等)	<p>施工計画提出時</p> <p>〃</p> <p>〃</p>	
25	地下水の水質監視	<p>施工計画提出時</p> <p>〃</p>	
26	施工時の隆起対策	施工計画提出時	
27	施工時の薬液漏洩(逸走)対策	施工計画提出時	
28	施工時トラブル対処法	施工計画提出時	
29	薬液注入工事管理連絡会の設置	<p>施工計画提出時</p> <p>〃</p>	
30	その他	施工計画提出時	※設計図書(図面、特記仕様書)に明示

### (3) 施工計画に明示する際の留意事項

#### 土中ゲルタイムの pH 依存性、温度依存性

土中ゲルタイムに影響を及ぼす要因は、薬液の pH 及び温度であるが、一般的に地中温度は安定しているため、pH を制御することによってゲルタイムを制御することができる。また作液プラント周辺の気温は日照や昼間・夜間で変化するが、一般的に地中温度は安定しているため、作液直後に注入を開始する場合は、地中温度(15 度程度)を標準として薬液の pH を設定する。薬液の輸送時間が長くなる現場では、輸送に要する時間も考慮して pH を設定する。



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  
※乾燥ゲルタイム=土中ゲルタイムと同意

- ・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。
- ・土中ゲルタイムは温度に依存することにも留意して、地中温度(15 度程度)を標準として pH の管理値を設定する。
- ※ 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。

#### 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）

地中の不可視部分において、曲がり削孔時の注入口位置確認は、所定の位置に適切な改良を実施するため必要不可欠である。現在実務に用いられている位置検出システムは複数種類あるが、現地施工で使用する計測機器類の特徴を把握した上で、掘削延長の全域に渡って必要精度が確保されていること、陸上の可視部分において管路座標の測量値と位置検出システムの出力値の整合性を確認することによって、確実な施工が担保される。

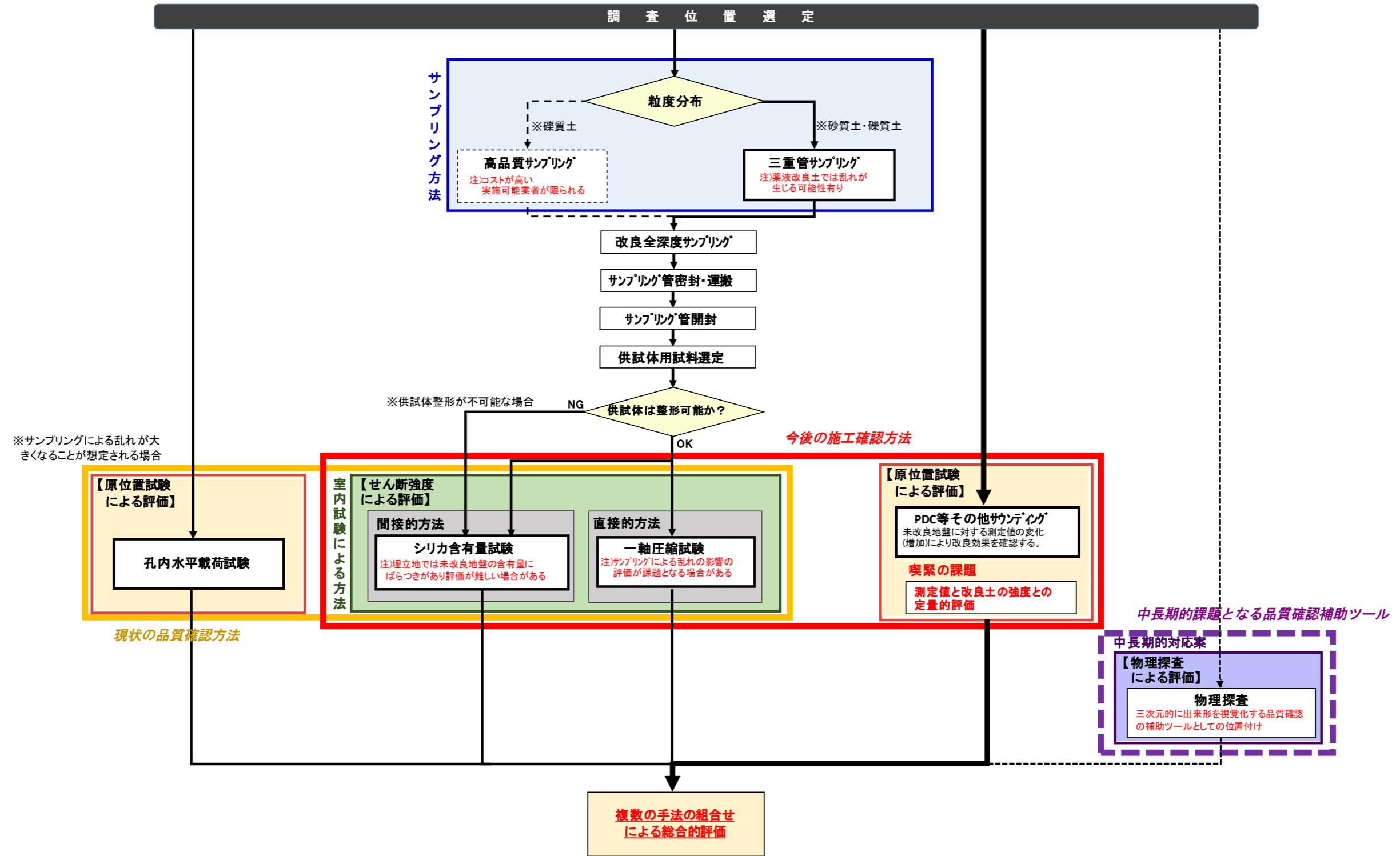


埋立地の地盤改良に関する検討報告書<確実な施工と品質確保>  
(一社)日本埋立浚渫協会(平成 28 年 9 月)

- ・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(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値が精度管理の規格値内であることを確認する。
- ・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

- ・ 地盤改良後の施工確認方法は、当面は、従来どおり一軸圧縮試験及びシリカ含有量試験による評価を原則とする。
- ・ サウンディング(動的コーン貫入試験(PDC等))で得られる改良地盤のNd値等により、施工確認ができるようデータの蓄積、分析を進める。
- ・ 客観性を確保するため、地盤改良後の品質確認調査(事後調査)は、工事とは別契約とし第三者により実施する。



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  
 「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基に作成