

# 超多点注入工法 (多点同時注入工法)

地盤注入開発機構 液状化防止注入協会

技術委員 水野 健太

2015年6月18日

(中部地方整備局 第12回 民間技術交流会)

## 工法名称について

- ・**超多点注入工法 (NETIS:KK-120050-A)**  
～構造物直下における変位抑制型の薬液浸透注入工法～
- ・**DCI多点注入工法 (NETIS:KT-100019-A)**  
～マルチ多連システム・**変位抑制システム**を用いた変位制御型の薬液浸透注入工法～
- ・**多点同時注入工法 (港湾関連民間技術:第14002号)**  
～恒久グラウトを用いた変位抑制型の薬液浸透注入工法～

認定機関:一般財団法人 沿岸技術研究センター

認定日:2014年11月26日

申請者:若築建設, りんかい日産建設, 強化土エンジニアリング

# 発表内容

## ・適用範囲

何のための技術か

## ・工法概要

システム構成, 特徴, 施工手順

従来技術・類似技術との違いや利点は何か？

注入材, 配合設計

## ・港湾エリアにおける施工事例の紹介

1)既設岸壁の増深化に伴う背後地の土圧軽減・液状化対策

2)新設栈橋背後のケーソン式土留壁目地部の吸い出し防止対策

## ・港湾関連民間技術の確認審査・評価

評価の内容

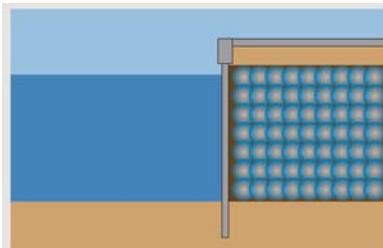
# 多点同時注入工法の適用範囲

## ■薬液注入(注入固化)工法の主な改良目的

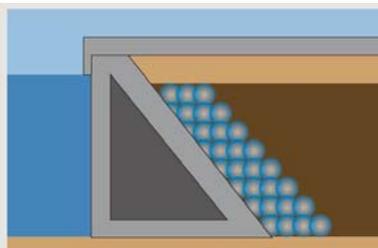
・砂に粘着力が付与 → 液状化対策, 土圧軽減対策

・透水地盤が難透水化 → 止水対策, 吸い出し防止, 液状化対策

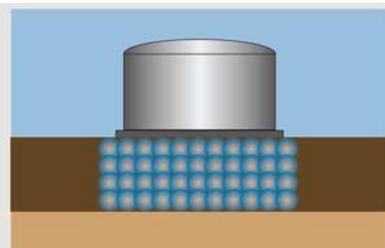
・せん断強度の増加 → 支持力増強, 地盤強化



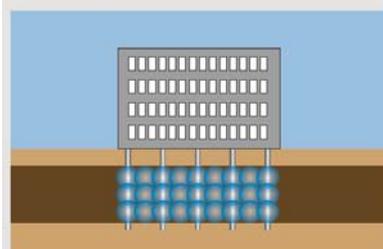
既設岸壁・護岸の液状化対策



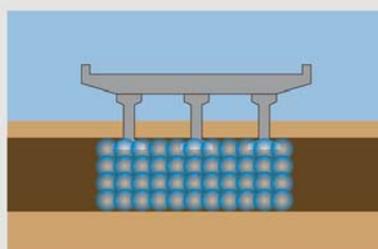
既設岸壁・護岸の吸い出し防止



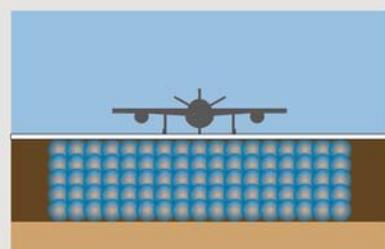
既設タンクの液状化対策



杭基礎の液状化対策



直接基礎の液状化対策



滑走路・道路の液状化対策

# 多点同時注入工法の適用条件

## 項目

## 適用条件

### 地盤条件

#### 砂質地盤および砂礫地盤が対象土

- ・細粒分含有率 $F_c < 40\%$ が適用の目安
- ・ $20\% \leq F_c < 40\%$ では、注入率や吐出量(注入速度)に注意を要する。

### 施工条件

#### 既設構造物直下の地盤改良が可能

- ・削孔方向:  $360^\circ$  全方位(水平・斜め・上向き)  
※ただし、水平削孔は孔口処理に注意を要する。
- ・施工深度: 45 m程度まで(最大施工実績)
- ・改良径: 1.0~3.0 m

### 仮設用地

#### 狭隘な施工条件に対応

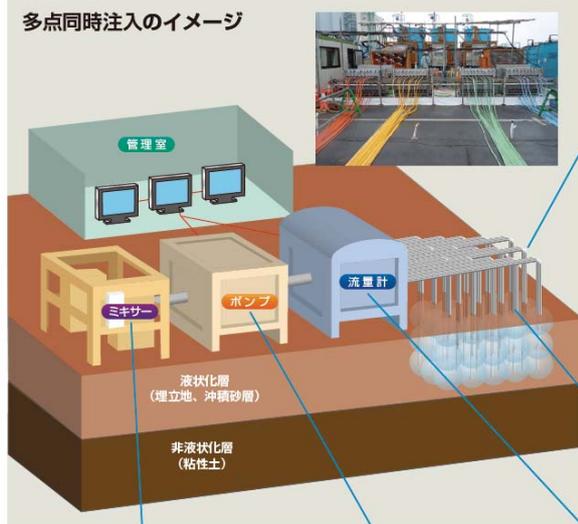
- ・プラントヤード(削孔, 注入)面積として50~100 m<sup>2</sup>が必要。
- ・注入プラント据付・解体用として、20 t~22 t級のトラッククレーンが搬入可能であること。

### 材料供給

- ・用水(上水)が確保できること。
- ・ローリーあるいはトラックによる注入材原液の搬入が可能であること。

# 専用注入システムの基本構成

## 多点同時注入のイメージ



注入孔口(地上)

注入孔口に突き出した注入管と注入ポンプを連結し、同じ注入孔で複数の箇所を同時に注入することができます。



結束注入細管®

一つの注入孔にセットされる複数の注入管とノズルチップは、芯材を中心に束ねられ、掘孔時に注入箇所に着て込まれます。結束された注入管は軽量であるため扱いやすく、ダブルパッカー工法のように注入毎に注入管を引き上げる操作の必要がなく、施工性に優れています。



注入吐出口(気中での吐出状況)

注入管の先端部(注入吐出口:ノズルチップ)は、薬液の逆流を防止する逆支弁を備え、薬液が地盤中に均質に拡散するようにネット構造になっています。



一括集中管理システム(マルチ多連システム®)



全自動ミキサー

多点同時注入工法®では、恒久グラウト専用の全自動ミキサー(3液2槽混合型)を採用。作液能力は7.2m<sup>3</sup>/hと大容量であり、流量計の計量誤差は1%以下であるため、高品質の作液が可能です。



注入ポンプ(32連)

注入ポンプは、ユニット化された32連のマルチ多連ポンプを採用。個々のポンプはダイヤフラム式の小型低騒音タイプで、インバータ制御により、0.1~10.0ℓ/分の範囲で0.1ℓ/分刻みに吐出量の制御が可能です。



流量圧力検出ユニット

注入圧力、吐出量(注入速度)、積算流量を検出する流量圧力検出ユニットは、LANケーブルを介して注入管理装置に検出値が送信されます。



多点同時注入工法パンフレットより

# 多点同時注入工法の特徴

01

標準的な吐出量は1.0ℓ/分～6.0ℓ/分の低吐出であるため、注入圧力が小さく理想的な浸透注入を実現します。

02

1ユニットで32箇所を同時に注入するマルチ多連ポンプを採用し、低吐出でありながら施工能力が従来工法よりも高く、経済性に優れた薬液浸透注入工法です。

03

施工機械(削孔機)は小型であり、各種注入機材はユニット化されているため、狭隘な施工条件に対応しています。

04

注入管は内径6mmの細いフレキシブル管(結束注入細管®)を採用し、注入管の長さを任意に調整可能であるため、適切な位置に注入吐出口を配置できます。

05

各注入箇所への注入圧力・吐出量を監視し、このデータをリアルタイムに表示・記録・制御する一括集中管理システム(マルチ多連システム®)を採用し、緻密な注入施工管理が行えます。

06

自動追尾式トータルステーションなどの変位計測装置と連動して、吐出量をリアルタイムで制御するDCIシステム(NETIS:KT-100019-A)を導入することで、近接する重要構造物や地盤の変位量を許容値内に抑えながら施工を行うことができます。

07

液状化対策や吸い出し防止対策等では、耐久性に関する理論と現場実証がなされた活性シリカ系の専用注入材(恒久グラウト:パーマロック®ASFシリーズ)を使用します。

多点同時注入工法パンフレットより

## 施工手順

削孔

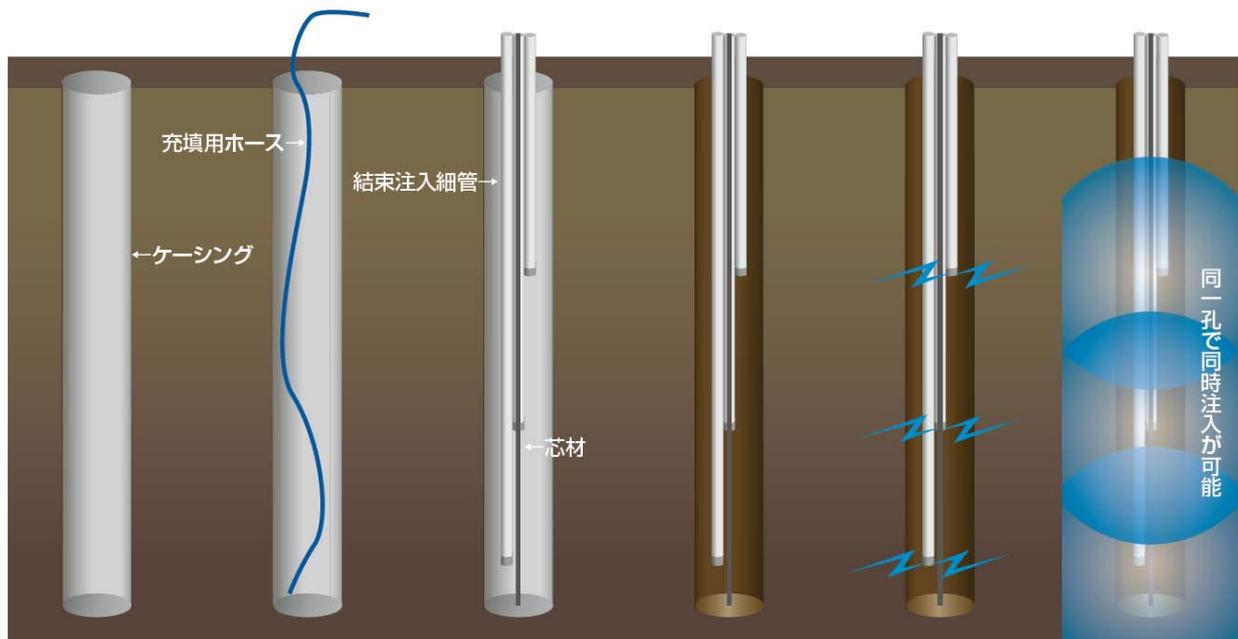
シール材充填

注入管建込み

ケーシング引抜

クラッキング

薬液注入



結束注入細管の太さに適した径のケーシングで所定深度まで削孔。

シール材として、速硬性低アルカリ懸濁グラウトをケーシング内に充填。

予め製作しておいた注入管(結束注入細管)をケーシング内に挿入。

ケーシングを引抜き、シール材を硬化させ(養生)、注入管の位置を固定。

手押しポンプで送水し、シール材に水みちを作り注入作業に備える。

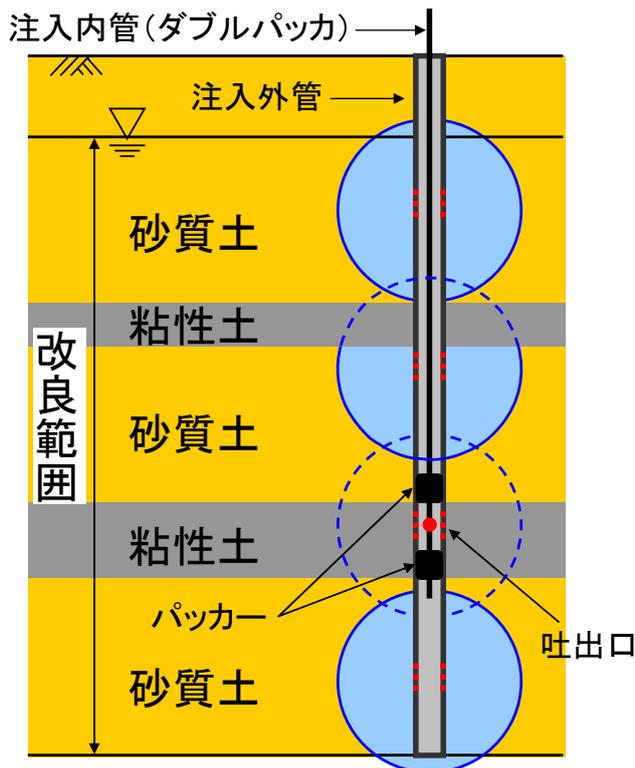
注入管と注入ポンプを連結し、低吐出・低圧力で注入を開始。

多点同時注入工法パンフレットより

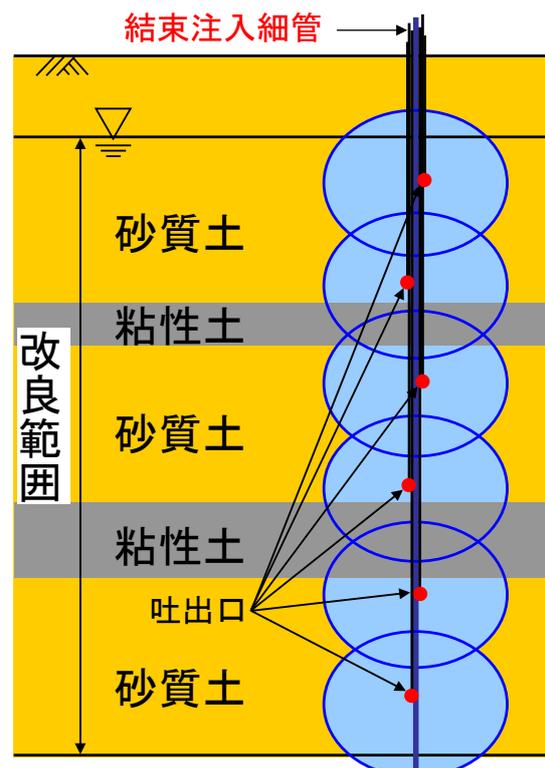
# 従来工法との比較

	従来技術	申請技術
工法名称	二重管ダブルパッカ工法	多点同時注入工法
注入方式	ダブルパッカ方式	結束細管方式
注入順序	上昇式・下降式	多点同時注入方式
孔壁保護 逸走防止	シールグラウト	シールグラウト
吐出量 (注入速度)	6~10 L/分	1~6 L/分 (低吐出・低圧力)
注入ポンプ	4ポンプ程度	32ポンプ/1ユニット (マルチ多連ポンプ)
最大施工能力	40 L/分程度	192 L/分/ユニット
注入ピッチ	1.0~1.5m	1.0~3.0m
プラント設備	100m <sup>2</sup> /4セット	50~100m <sup>2</sup> /1ユニット
注入管理装置	流量圧力測定装置(ポンプ毎)	一括集中管理システム
変位制御システム	なし	あり (DCIシステム)

# 多点同時注入工法の利点

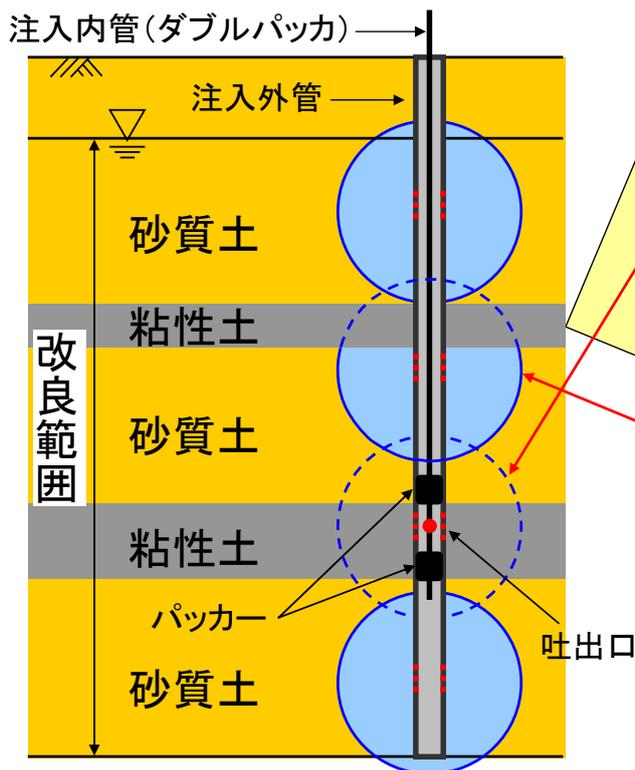


類似工法(外管・内管方式)



多点同時注入工法

## 従来工法との比較(多点同時注入工法の利点)

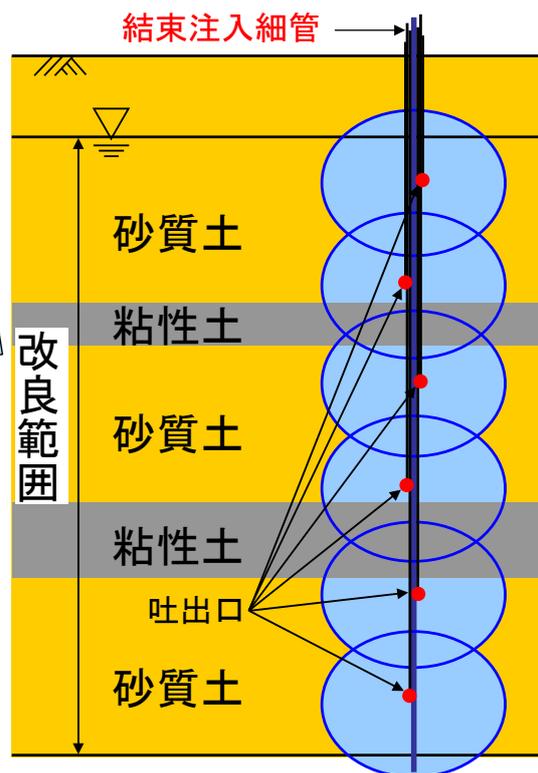


類似工法(外管・内管方式)

- ・二重管ダブルパッカ方式(外管・内管方式)は、あらかじめ決定した注入外管の吐出口位置に注入内管をセットし、注入を行う。
- ・粘性土層に吐出口が配置されてしまうと、注入材は適切に注入されない(割裂注入となる)ため、連続的な改良体を造成できないリスクがある。
- ・吐出口が砂質土中に配置されても、上下に粘性土層が介在した場合は、理想的な球体の改良体は造成できない。
- ・施工現場には注入管の上げ下げや注入状況を監視する作業員が必要である。
- ・二重管ダブルパッカ方式は、1孔あたり1箇所ずつの改良である。

## 従来工法との比較(多点同時注入工法の利点)

- ・結束細管方式は、類似工法よりも改良体の配置を密に計画する(鉛直方向の吐出口間隔を水平方向の0.5~0.8倍を標準とする)。
- ・これにより、粘性土層に吐出口が配置されるリスクを低減する。
- ・吐出口数が多く(1改良あたりの注入量が少なく)、かつ注入速度が遅いため、類似工法よりも理想的な浸透注入を実現でき、品質・出来形が向上する。
- ・結束細管方式は軽量で建て込み時の扱いは容易である。また、注入時に注入管の上げ下げの必要がなく、注入管理は管理室のオペレーターとミキサーマンのみで省力化している。
- ・究極的には1孔で全注入口から同時に注入できる。



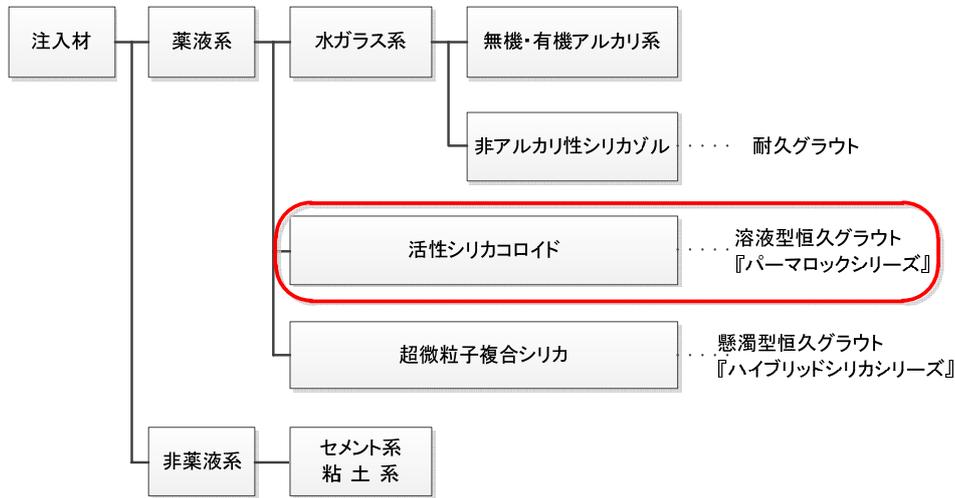
多点同時注入工法

# 注入材(恒久グラウト)

多点同時注入工法では、浸透性、固結性、長期耐久性、環境性に優れた活性シリカコロイドを有効成分とする恒久グラウト(パーマロックシリーズ)を使用します。

**水ガラス系薬液:**ゲル中にはNa<sup>+</sup>が残存し、いずれゲルを崩壊させてシリカが溶脱するため、長期耐久性を期待できない。

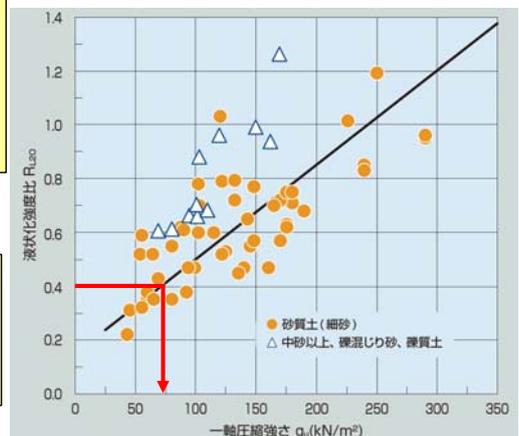
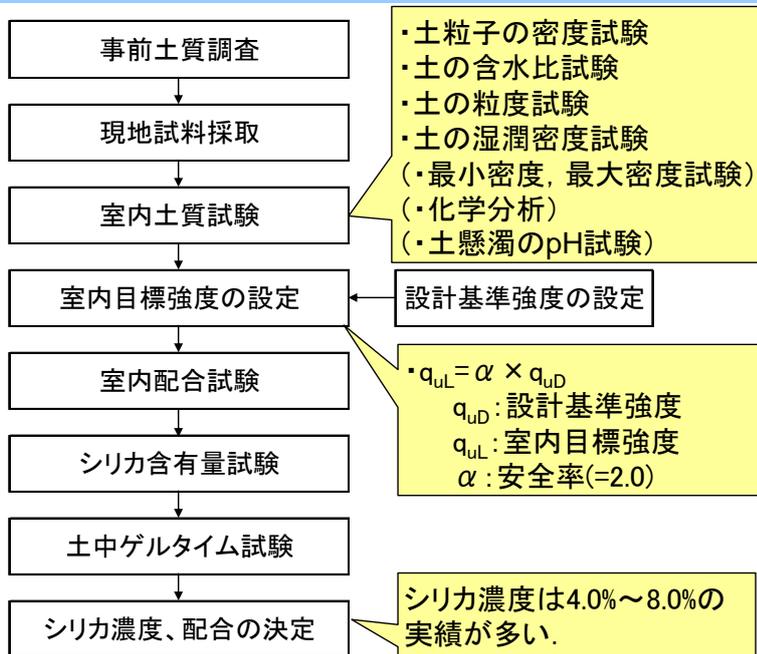
**活性シリカコロイド:** Na<sup>+</sup>をイオン交換法により除去しているため、劣化要因となるNa<sup>+</sup>を含まないため、長期耐久性に優れている。



注入材の分類

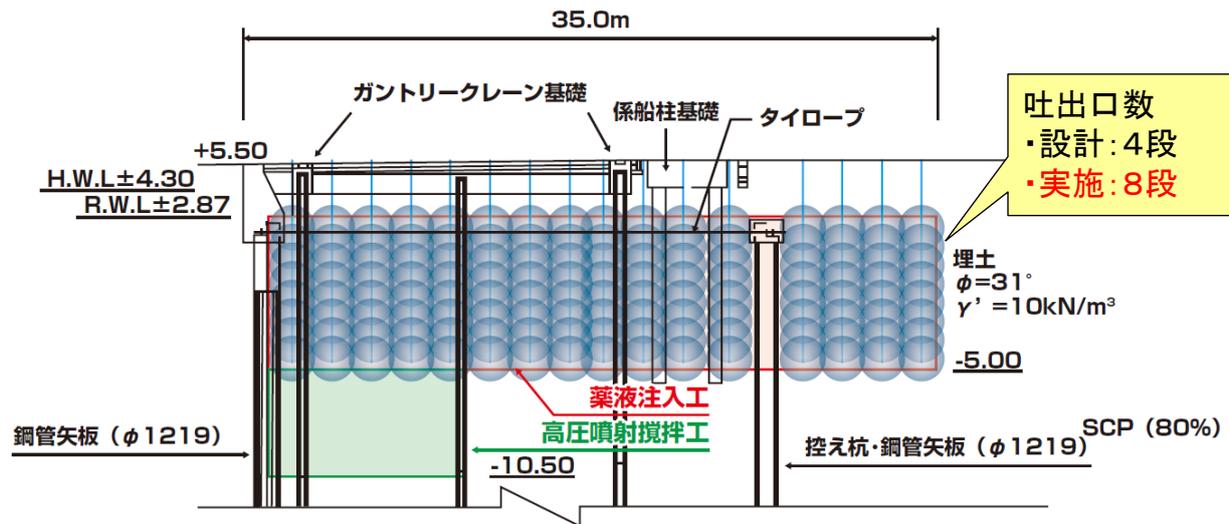
# 配合設計

室内配合試験は、「注入材の選定」を行い、目標強度に必要な「シリカ濃度の決定」、目標とするゲルタイムを満足する「反応剤添加量の決定」、改良効果の確認に必要な「薬液のシリカ濃度とシリカ溶出量増加分」の関係を得ることを目的に実施する。



固結砂(サンドゲル)の強度

# 施工事例1 (既設岸壁背後の土圧軽減・液状化対策)



発注者	九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所	
地盤条件	貝殻混じり砂(埋立砂)	
施工数量	V=11,251m <sup>3</sup> , n=444本	注入率40.5%
注入材料	パーマロックASF-II δ (6%)	cu=50 kN/m <sup>2</sup>
注入速度	6.0~8.0 ℓ/min	
改良径	φ2.5m	2.0m <sup>2</sup> ツチ

出典: Project Report Vol.3

# 施工事例1 (既設岸壁背後の土圧軽減・液状化対策)



削孔状況(削孔機4台)



注入状況(最大58箇所同時注入)



注入プラント(ミキサー3台)

## ●ボーリングコアの粘着力

現場改良土の粘着力Cuは平均142 kN/m<sup>2</sup>であり、十分な改良効果を発揮しました。



# 港湾関連民間技術の評価

## 【薬液注入工法の基本】

注入固化砂の品質確保, 注入材の逸走防止の観点から, 注入時の吐出量(注入速度)をできるだけ小さくすることにより, 注入圧力の上昇を抑え, 土粒子間に注入材を確実に浸透注入させることが重要である。

## 【従来技術(二重管ダブルパッカ工法)の課題】

- ・浸透源が小さく, 割裂注入となりやすい。
- ・吐出量を小さくすると, 施工性が低下し, 施工費が高くなる。

## 【開発の主旨】

- ・浸透注入(低吐出)を実現し, 経済性を両立させる(評価項目1)
- ・周辺地盤および構造物への影響を低減する(評価項目2)
- ・大容量かつ高品質の注入材を作液する(評価項目3)
- ・環境保全性(評価項目4)
- ・注入固化砂の耐液状化特性の実証(評価項目5)
- ・注入固化砂の耐久性の実証(評価項目6)

## 審査・評価の結果(1)

注入の施工効率を良くするため, 「一括集中管理システム」を使用することにより, 1ユニット32箇所を同時に管理(注入圧力が管理値以下)できることが確認されました。



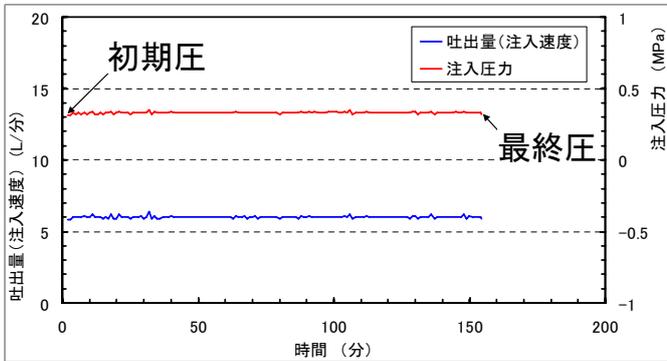
64箇所(2ユニット)の注入管理状況  
(4モニターを1人で操作)

The screenshot shows a software interface for managing multiple injection points. It features a table with columns for 'No.', 'Unit', 'Injection Method', 'Flow Rate (L/min)', 'Pressure (MPa)', 'Injection Rate (L/min)', 'Injection Pressure (MPa)', 'Injection Volume (L)', 'Injection Status', and 'Remarks'. The table lists 16 injection points, each with its own set of parameters and status indicators. The interface is titled 'マルチ多連注入管理システム 管理盤' (Multi-continuous injection management system control panel).

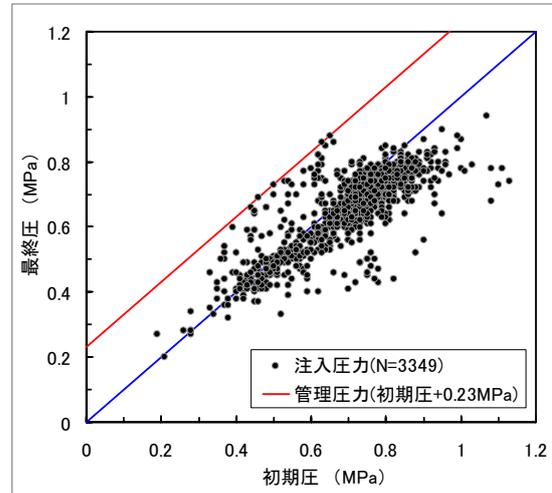
注入管理盤の表示例  
(1モニターで16箇所)

# 審査・評価の結果(1)

注入の施工効率を良くするため、「一括集中管理システム」を使用することにより、1ユニット32箇所を同時に管理(注入圧力が管理値以下)できることが確認されました。



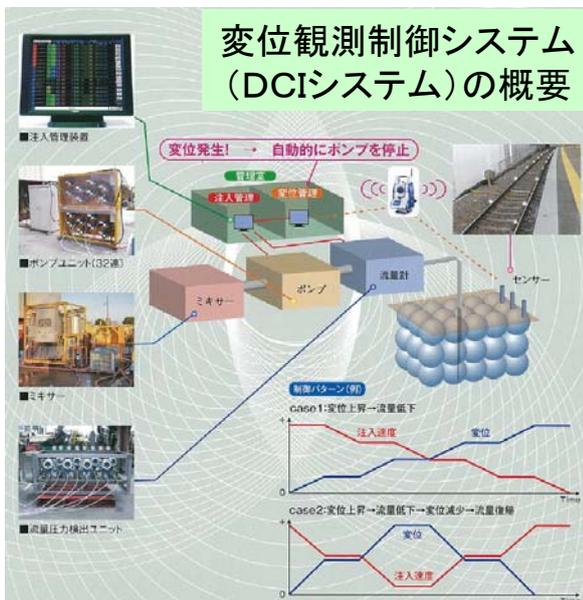
注入チャートの一例  
(一定吐出, 注入圧力の上昇・下降無し)



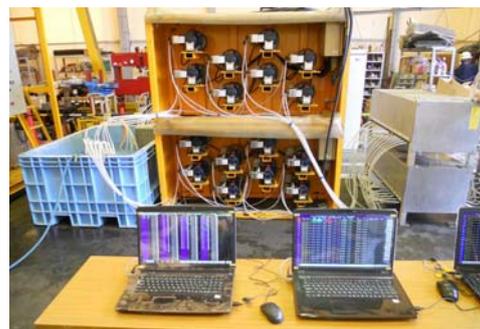
注入圧力の結果  
(全ての注入箇所が管理圧力以下)

# 審査・評価の結果(2)

周辺構造物や地盤の変位を管理値以下にするため、「変位観測制御システム」を使用することにより、注入に伴う変位を常時監視し、自動で吐出量(注入速度)の調整ができることが確認されました。



【変位観測制御システム】とは「変位測定装置と連動して吐出量(注入速度)をリアルタイムで制御し、変位量を許容値内に抑えながら施工を行う」注入管理システム(オプション技術)である。



動作確認実験の状況

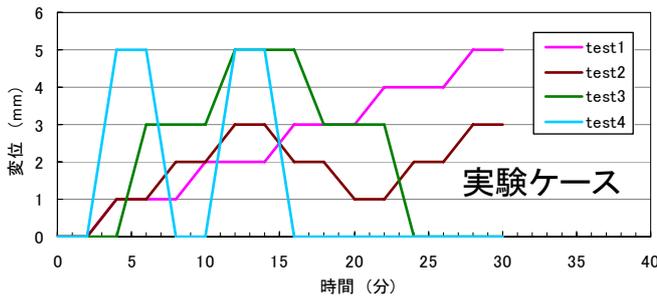
## 審査・評価の結果(2)

周辺構造物や地盤の変位を管理値以下にするため、「**変位観測制御システム**」を使用することにより、注入に伴う変位を常時監視し、自動で吐出量(注入速度)の調整ができることが確認されました。

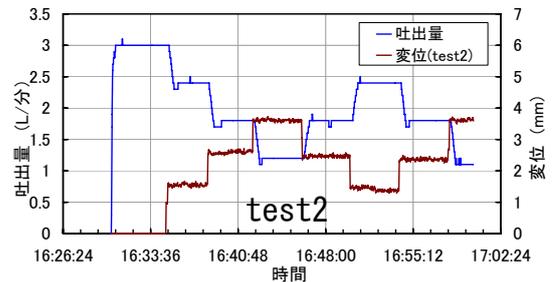
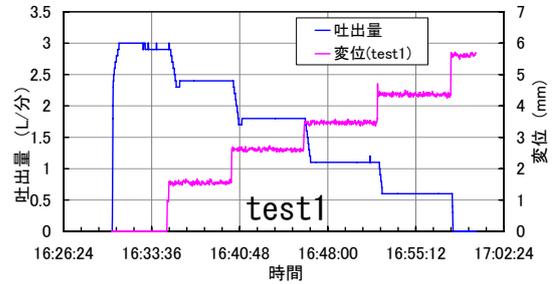
### 変位(管理値)と吐出量(制御値)の関係

管理レベル	1	2	3	4	5
管理値 (mm)	1	2	3	4	5
低減率 (%)	80	60	40	20	0
吐出量 (ℓ/分)	2.4	1.8	1.2	0.6	0

管理レベル毎の吐出量=初期の吐出量 (3.0 ℓ/分) × 低減率



変位観測制御システムの動作確認実験



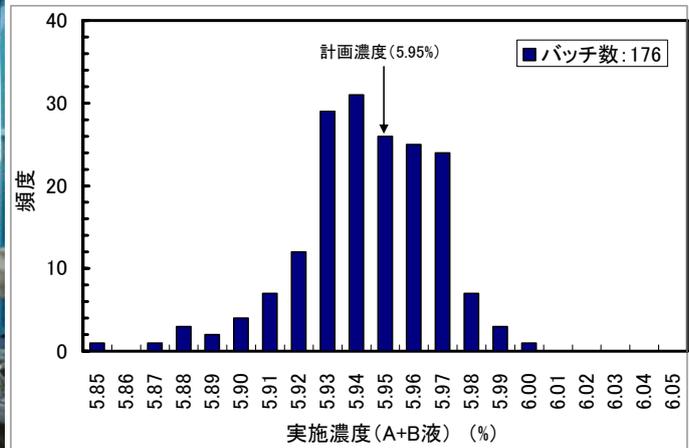
実験結果

## 審査・評価の結果(3)

専用の「**全自動ミキサー**」を使用することによって、汎用ミキサーの2倍以上の作液能力を実現し、配合誤差を±0.1%(シリカ濃度換算)とすることが確認されました。



全自動ミキサー(3台)の導入状況  
(実績: 6.4~6.7m<sup>3</sup>/h/1台 > 3.0m<sup>3</sup>/h)



作液濃度の頻度分布  
(配合誤差[濃度換算]が±0.1%以下)

## 審査・評価の結果(4)

「生分解性注入管」を使用することによって、注入管が改良土中において分解され、1年後の破断強度が50%以下となることが確認されました。



運搬状況(埋設前)



回収時の状況(埋設後1年)

【生分解性注入管(バイオチューブ)】とは通常、地中に残地される注入管は、掘削時にいて障害となる。生分解性注入管は、時間の経過と共に微生物により分解し、最終的には炭酸ガスと水になる。

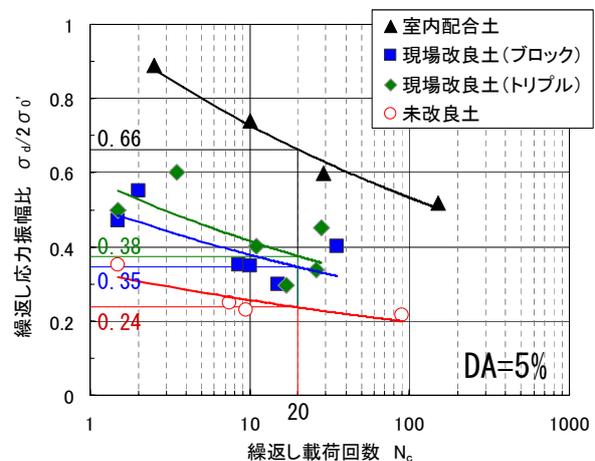
項目	製造直後	1年埋設後回収
側面		
切断面		
破断強度 (N)	540.0	192.6 (製造直後の 35.7% に低下)
破断伸び率 (%)	443	5.6 (製造直後の 1.3% に低下)

## 審査・評価の結果(5)

「恒久グラウト(パーマロックASFシリーズ)」を適切に使用することによって、現場で改良された注入固結砂の液状化強度比が未改良砂より増加していることが確認されました。



現場改良体の掘り出し状況  
(埋立砂)



繰返し非排水三軸試験の結果

※未改良砂より0.1~0.15の強度増加

※注入固結砂は粘性土に類似した粘り強い応答

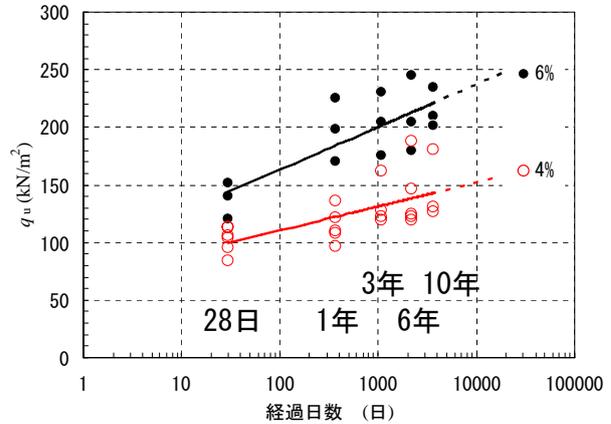
※現場改良土と室内配合土の比は約1.7~1.9

## 審査・評価の結果(6)

「恒久グラウト(パーマロックASFシリーズ)」を適切に使用することによって、現場で改良された注入固結砂の強度は、現在確認できる期間(3年, 10年, 12年)で微増していることが確認されました。



現場注入実験の開削状況  
(茨城県神栖市)



サンプリングコアの一軸圧縮強さ  
(経年的に強度低下していない)

## 技術評価に対する今後の展望

### 【効率化・高度化】

- ・施工条件(施設の重要度, 要求性能等)や地盤条件(土質, 透水性等)に応じた細やかな施工仕様(注入材, 注入率, 改良率)の設定

### 【品質向上】

- ・固化改良地盤の耐久性に関する長期データの蓄積
- ・一軸圧縮試験に代わる改良効果の確認手法の確立  
(三軸試験, サウンディング技術, 物理探査技術の応用)

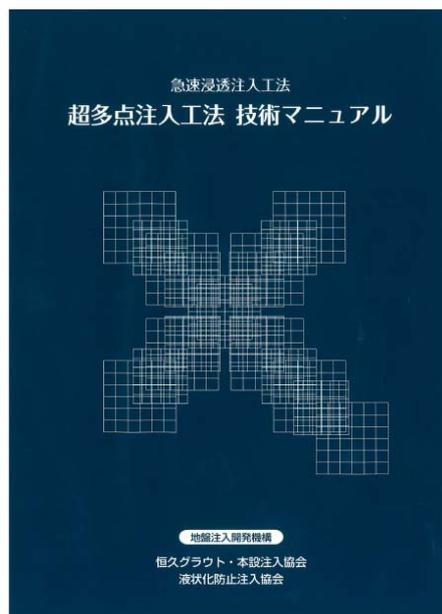
### 【コスト縮減】

- ・より経済的な注入材の開発

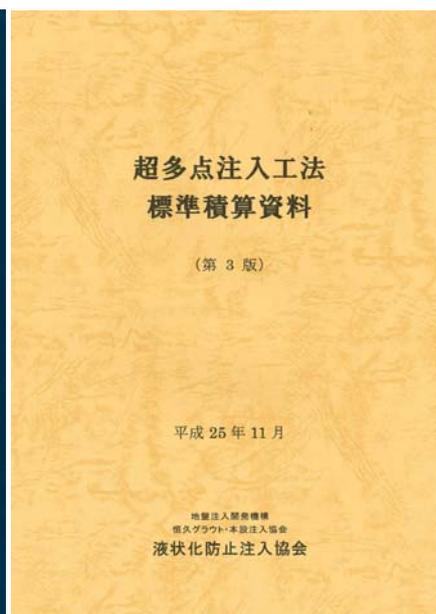
### 【環境保全性】

- ・生分解性注入管の利用促進
- ・コンクリート構造物, 鋼構造物等への影響評価

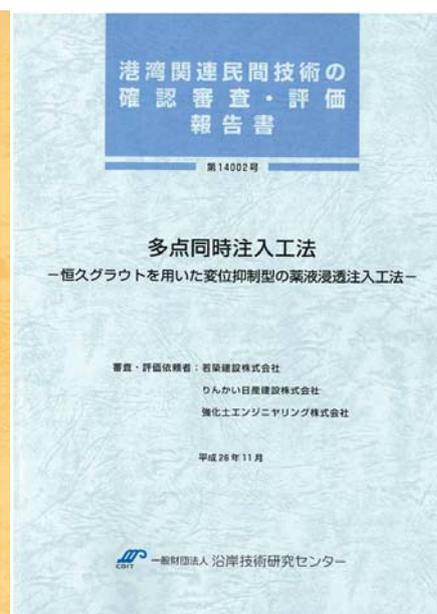
# 技術マニュアル・積算資料・評価報告書



技術マニュアル(H24.2)



積算資料



港湾関連民間技術  
評価報告書

## 連絡先

### ■地盤注入開発機構

- ・恒久グラウト本設注入協会 液状化防止注入協会 (<http://www.jckk.jp/>)

### ■港湾関連民間技術の確認審査・評価

<評価機関>

- ・(一財)沿岸技術研究センター ([http://www.cdit.or.jp/minkan\\_a/index.html](http://www.cdit.or.jp/minkan_a/index.html))

<申請者>

- ・若築建設(株) (<http://www.wakachiku.co.jp/technology/02-07.html>)
- ・りんかい日産建設(株) ([http://www.rncc.co.jp/tech/tc\\_3/511](http://www.rncc.co.jp/tech/tc_3/511))
- ・強化土エンジニアリング(株) (<http://www.kyokado-eng.com/>)

### ■工法特許所有会社

- ・日本基礎技術(株) (<http://www.jafec.co.jp/>)
- ・強化土エンジニアリング(株) (<http://www.kyokado-eng.com/>)