

第5章 地盤改良 全般

三井住友建設株式会社 高田昌典

JSCE 「仮設建造物の計画と施工 2025年改訂版」講習会

第5章 地盤改良

1.はじめに

p.97

我が国は世界でも有数の軟弱地盤国



沿岸の平地に建設した場合軟弱地盤に遭遇し、種々の工学的問題を発生する



これに対処するために地盤改良工法が発達



現場状況、経済性などを考慮して多くの工法の中から適切な工法を選定することが重要



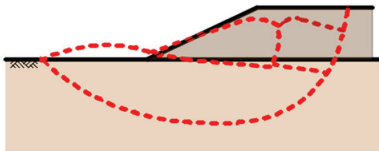
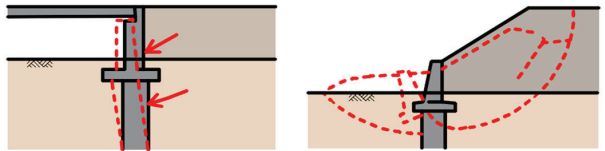
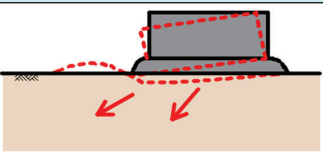
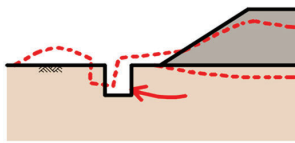
仮設建造物の計画と施工【2025年改訂版】 2

第5章 地盤改良

2.地盤改良の目的

p.97～98

盛土・構造物による载荷時

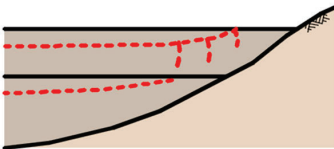
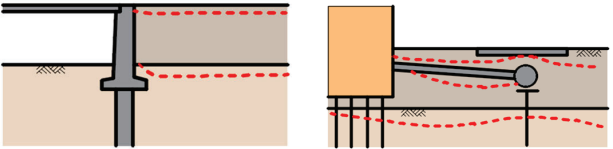
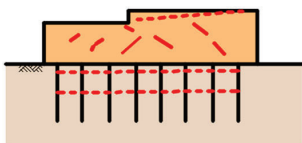
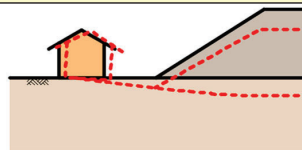
せん断 (安定)	①基礎地盤のせん断に伴う盛土の変状 または破壊	③偏載荷重または土圧構造物・基礎の 変位・傾斜・破壊
		
	②基礎の支持力不足による構造物の変状 または破壊	④盛土または構造物荷重による側方 地盤の流動，隆起
		

第5章 地盤改良

2.地盤改良の目的

p.97～98

盛土・構造物による载荷時

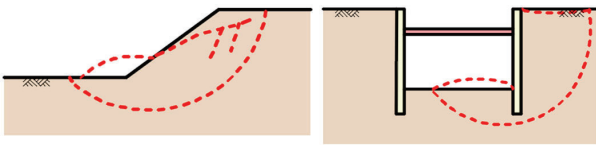
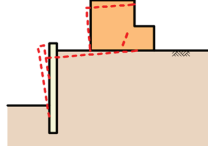
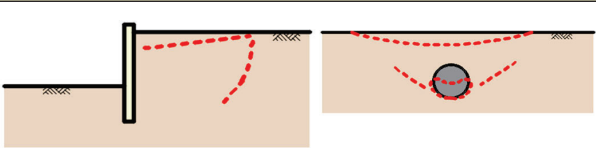
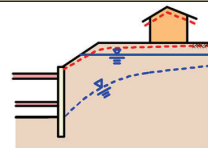
圧縮 (沈下)	①過大沈下または，不同沈下による 盛土の変状	③構造物と盛土，各構造物間に生じる 不同沈下または不等変形による段差，変状
		
	②過大沈下または不同沈下による 構造物の変状	④盛土または構造物荷重による 側方地盤の流動，隆起
		

第5章 地盤改良

2.地盤改良の目的

p.97～98

開削・地中掘削時

せん断 (安定)	①せん断に伴う掘削斜面の崩壊と掘削底面のヒービング 	②掘削時の応力解放，緩みなどに伴う側方または上方地盤の変形 
圧縮 (沈下)	①膨張その他による土圧変化に伴う掘削斜面，土留め壁の変状 	②掘削時の排水による地下水位低下に伴う周辺地盤の沈下 

JSCE 仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 5

第5章 地盤改良

2.地盤改良の目的

p.97～99

◆ 地盤改良の目的 ◆

[目的]

- ① せん断特性の改善(せん断変形の抑制，強度低下の抑制，強度増加の促進，荷重の軽減など)
- ② 圧縮性の改善(圧密沈下の促進，圧密沈下量の軽減など)
- ③ 透水性の改善(不透水化，遮水，水圧の軽減など)
- ④ 動的特性の改善(液状化の防止，振動の軽減など)

[効果]

軟弱地盤に起因する問題に対し，適切な対策を施して地盤の工学的性質を人為的に改善し，安定化する

JSCE 仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 6

第5章 地盤改良

2.地盤改良の目的

p.98～99

◆ 工法の選定 ◆

- ①改良効果が早期に発揮される
- ②施工が短期間で終了する
- ③安価である
- ④使用材料の入手が容易である
- ⑤小型機械での施工が可能である
- ⑥周辺地盤や既存の構造物への影響が少ない
- ⑦施工中の騒音・振動が少ない



構造物条件，施工条件，環境条件，維持管理条件を十分に考慮して，最終的には施工性，信頼性，経済性を総合的に評価して選定



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 7

第5章 地盤改良

2.地盤改良の目的

p.98～99

◆ 工法の選定（仮設時をメインに適用される地盤改良工法）◆

〔圧密・排水〕

サンドマット工法…全沈下量低減

盛土載荷重工法…圧密促進，圧密による強度増加

〔固結〕

表層・中層混合処理工法…沈下量低減，すべり抵抗増加，応力遮断

深層混合処理工法…全沈下量低減，すべり抵抗増加，応力遮断・軽減

高圧噴射攪拌工法…全沈下量低減，すべり抵抗増加，応力遮断・軽減（後ほど発表）

薬液注入工法…全沈下量軽減，すべり抵抗増加

凍結工法…すべり抵抗増加（後ほど発表）

〔補強材の敷設〕

補強材の敷設…すべり抵抗増加，トラフィカビリティ確保



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 8

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（圧密・排水）

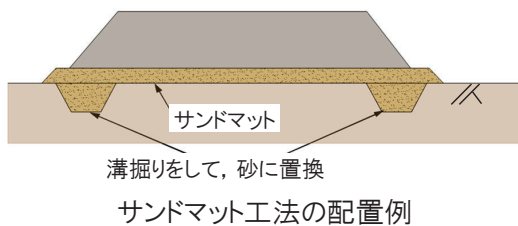
p.100～101

◆サンドマット工法◆

軟弱地盤上に盛土等の土工構造物を施工する場合に適用される工法



良質な地盤を確保し、上載荷重を分散させることで地盤の安定を図れる



サンドマットの標準的な厚さ

表層のポータブルコーン貫入試験による コーン貫入抵抗 (kN/m ²)	表層排水工の厚さ (cm)
200以上	50
200～100	50～80
100～75	80～100
75～50	100～120
50以下	120

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（圧密・排水）

p.101

◆盛土載荷重工法（余盛り工法）◆

計画高さ以上に盛土を高く施工して圧密を十分進行させた後、
余盛り分を取り除いて舗装を施工する工法

（設計）

- ・残留沈下量、盛土の載荷期間を満足する放置期間の検討
- ・より短期間で沈下促進をさせる場合はバーチカル（鉛直）ドレーン材を併用

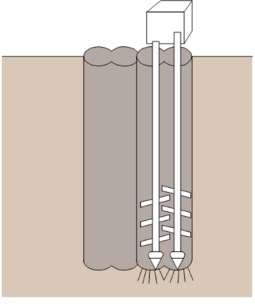
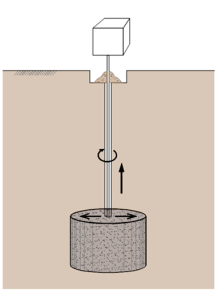
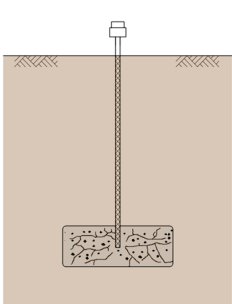
（施工）

- ・動態観測を十分に行って地盤のすべり破壊に注意しつつ、除荷後の残留沈下量や除荷時期等を決定（第4章参照）

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

◆機械攪拌工法，高圧噴射攪拌工法，薬液注入工法の違い◆

機械攪拌工法	高圧噴射攪拌工法	薬液注入工法
 攪拌翼・オーガーを回転させて，セメント系改良材と軟弱土とを攪拌混合	 強力なエネルギーで地盤を切削して，硬化剤と土とを攪拌混合	 ボーリングにて地盤を削孔して薬液を注入



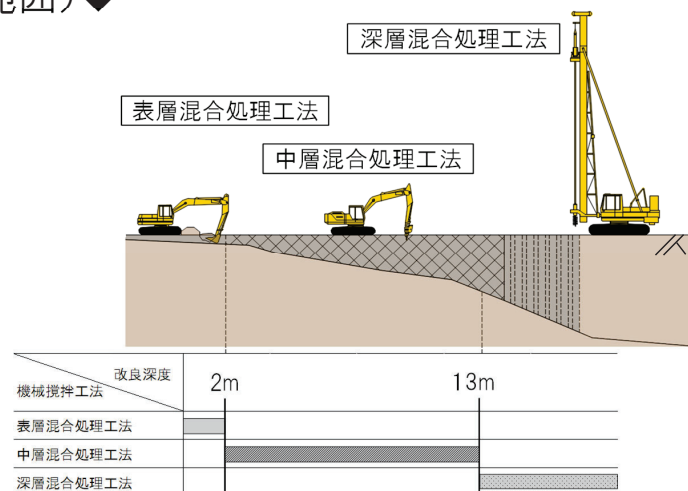
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

11

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

◆固結工（適用範囲）◆



機械攪拌の固化系混合処理工法と改良深度



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

12

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.102

◆表層混合処理工法（概要）◆



改良材の散布状況



混合攪拌状況

スタビライザ混合の施工状況

軟弱地盤の**表層部分**にセメントや石灰などの改良材を添加混合して地盤の圧縮性や強度特性を改良する工法



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 13

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.102～103

◆表層混合処理工法（設計法）◆

<設計方法>

- ・改良地盤の強さを満足するように改良材の種類と配合を決定するために、**配合試験**が必須

<改良材の種類>

セメント系固化材，普通ポルトランドセメント，高炉セメント，石灰系固化材，生石灰



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 14

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.102～103

◆表層混合処理工法（設計法）◆

各種固化材の選定の目安

	固化材	セメント系固化材	普通セメント	高炉セメント	石灰系固化材	生石灰
土質分類・性状	砂質土	○	○	○	△	△
	粘性土	◎	○	○	◎	◎
	火山灰質粘性土	◎	○	△	◎	◎
	有機質土	◎	△	○	○	○
	高有機質土	◎	×	△	△	△
	含水比が液性限界以下	○	○	○	○	○
	含水比が液性限界以上	○	△	△	△	△
材料	入手のしやすさ	○	◎	○	○	○
	取り扱いやすさ	○	○	○	○	△
	価格	中位	安い	安い	中位	中位
混合	スラリー状での使用	○	○	○	×	×
	粉体状での粘性土との混合性	△	△	△	○	○
効果	運搬等のための早期改質	△	△	△	○	◎
	初期強度	○	△	△	○	△
	長期強度	○	○	○	○	○
	六価クロム溶出抑制	◎	△	○	○	◎

注)◎:最適 ○:適 △:やや適 ×:不適



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

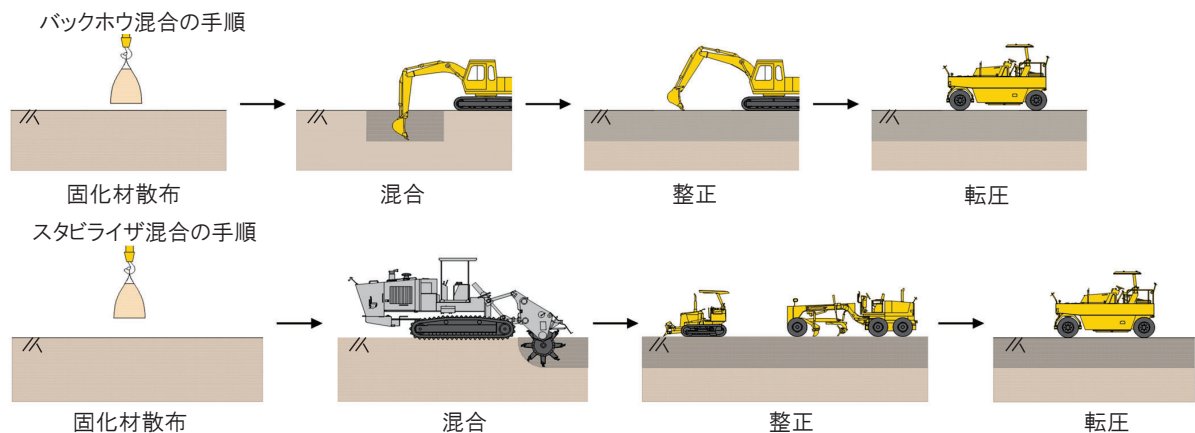
15

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.103

◆表層混合処理工法（施工法）◆



- ・施工は機械による攪拌混合であり、地盤上に改良材を所定量散布する
粉体方式で施工するケースが多い



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

16

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.104～105

◆深層混合処理工法（機械攪拌工法）（概要）◆



CDM工法攪拌翼



CI-CMC工法攪拌翼



RASコラム工法
攪拌翼



エポコラムTaf工法
攪拌翼

本工法は、攪拌翼またはオーガーを回転させながら、主にセメント系改良材と軟弱土とを攪拌混合して**軟弱地盤を円柱状に改良**する工法



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 17

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.105

◆深層混合処理工法（機械攪拌工法）（設計法）◆

<設計方法>

- ・改良体の設計強度は改良対象地盤の改良目的によって異なり、室内配合試験で改良材の選定や混合率を決定するための**配合試験**が必須

<改良材の種類>

セメント系固化材、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、石灰系固化材、生石灰



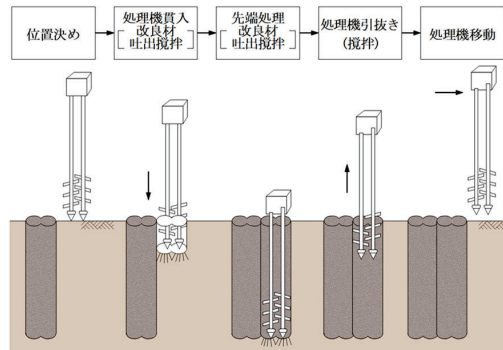
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 18

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.105

◆深層混合処理工法（機械攪拌工法）（施工法）◆



- ・攪拌翼などの先端付近に取り付けられた吐出孔から地中に注入するスラリー方式で施工するケースが多い
- ・貫入吐出方式は土とスラリー状にした改良材を攪拌するときに貫入時と引抜き時で行うことが可能となり、均質性が向上



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

19

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.106～107

◆中層混合処理工法（概要）◆



トレンチャ式
（パワーブレンダー工法）



ロータリ式
（WILL工法）

- ・表層混合処理工法と同様に軟弱地盤を原位置にて固化材と混合する工法
- ・主に深層混合処理工法の適用が困難な段差や傾斜，狭隘地や近接での施工が可能であり，上空制限がある場合に用いられる



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

20

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.107

◆中層混合処理工法（設計法）◆

<設計方法>

- ・中層混合処理工法の独自の設計法はない
- ・改良目的が改良盤（全面的な改良）の場合は表層改良の設計法・改良体の場合は深層改良の設計法が適用

<改良材の種類>

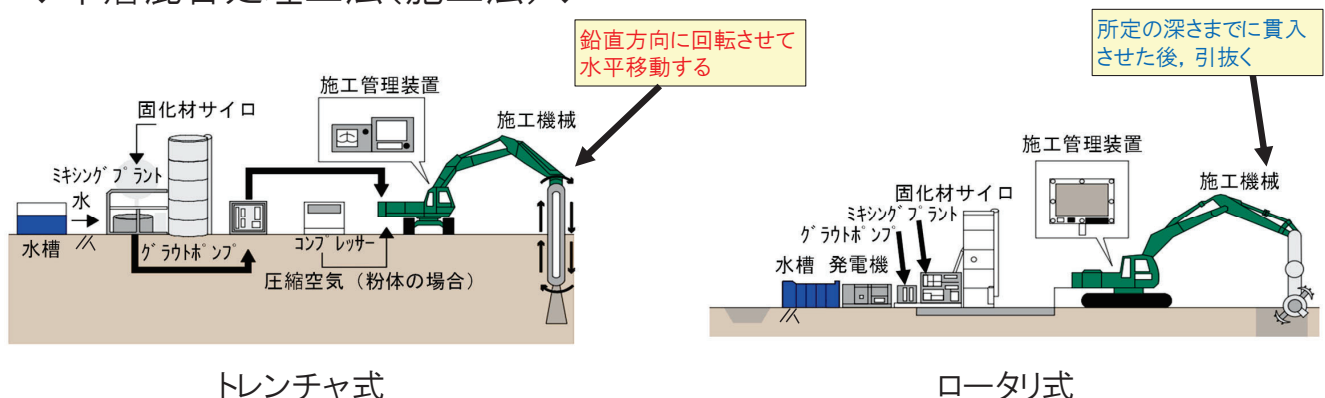
セメント系固化材，普通ポルトランドセメント，高炉セメント，石灰系固化材，生石灰

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.107

◆中層混合処理工法（施工法）◆



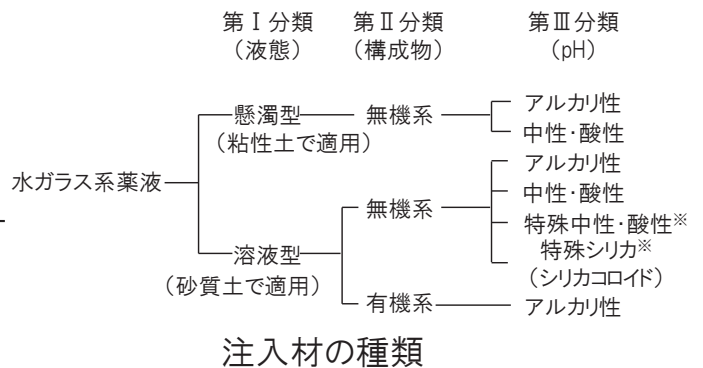
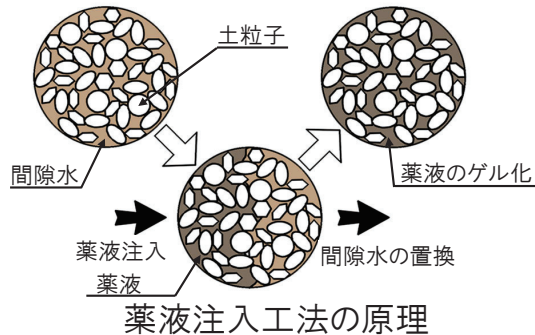
- ・攪拌翼などの先端付近に取り付けられた吐出孔から地中に注入するスラリー方式で施工するケースが多い
- ・施工方法は、トレンチャ式とロータリー式がある

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.115

◆薬液注入工法（概要）◆



- ・ボーリングにて地盤を削孔して薬液を注入し、**地盤の透水性を低下**，**地盤を強化する**工法
- ・地盤内に含まれる間隙水を薬液で置換し，**土粒子の間隙内で薬液が固化**する原理
- ・懸濁型・・・注入圧により地盤を瞬時に**割裂**させて，その中に注入材が入る
- ・溶液型・・・注入材が粒子間の間隙に**浸透**



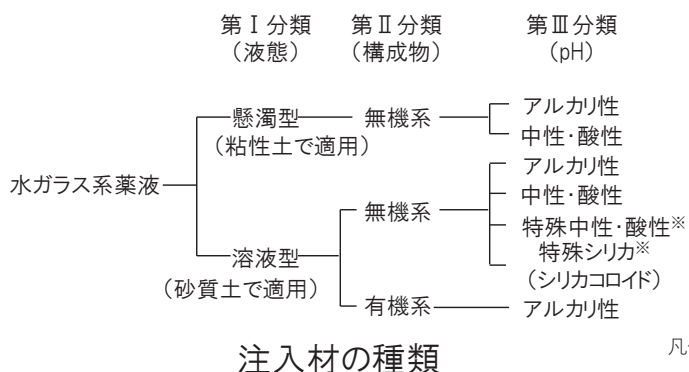
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 23

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.116

◆薬液注入工法（設計法）◆



土質別適用注入材の目安

土質名		注入材		懸濁液型		溶液型	
		ゲル化時間		長い	短い	長い	短い
粘土, シルト				×	○	×	×
砂	細砂			×	×	○	△
	粗砂			×	△	○	○
砂礫				△	○	△	○

凡例 ○：適用してよい △：検討の上適用する ×：一般に適用しない

（留意事項）

- ・**止水**か**地盤強化**かまたはそれらを兼ねたものかを明確にする
- ・**地盤**，**施工**，**周辺環境**等の条件を考慮する



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 24

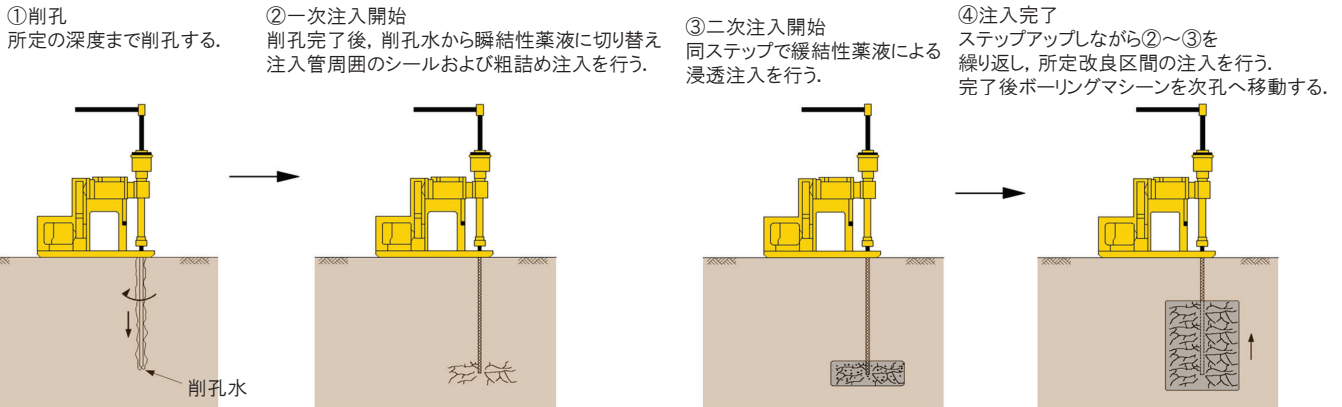
第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.117～120

◆薬液注入工法（施工法）◆

二重管ストレナ工法・・・削孔から薬液注入までを一連の作業で実施



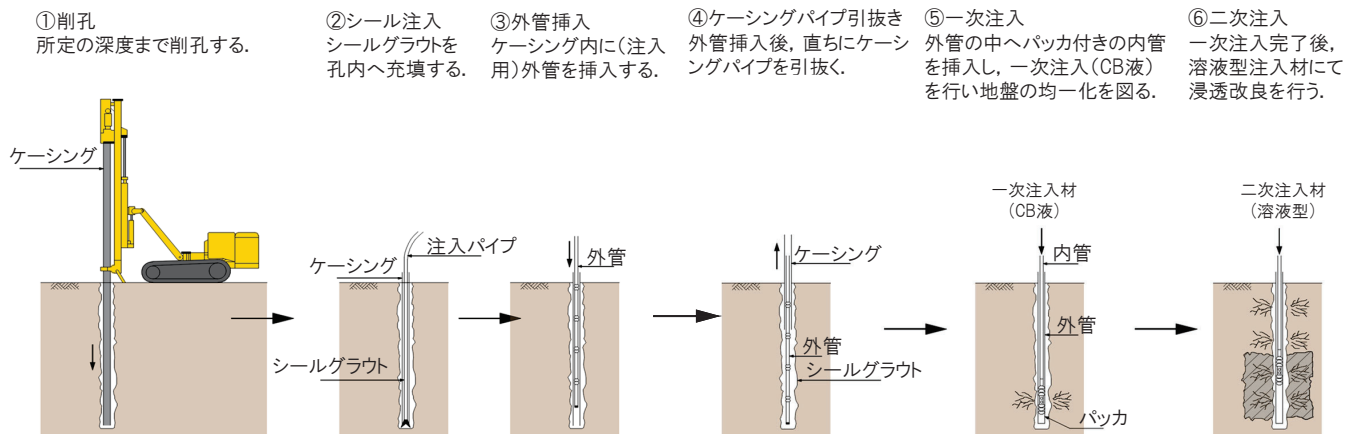
第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（固結）

p.117～120

◆薬液注入工法（施工法）◆

ダブルパッカ工法・・・削孔と注入を別工程で行う



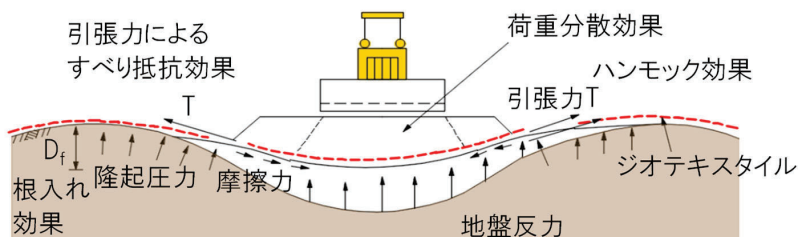
※一次注入工の前に水でクラッキングを行う場合がある。

第5章 地盤改良

3.各地盤改良工法の概要（補強材の敷設）

p.129

◆補強材の敷設工法◆



補強材の敷設工法の原理

強度と耐久性が大きいジオテキスタイルを軟弱地盤の表面に張って軟弱地盤を補強する工法（設計）

・設計安全率を考慮した支持力度が盛土材の上載荷重を超えるようにジオテキスタイルを選定（施工）

・「ロープ結合やジョイント棒による結合」、「薄層施工」、「下層のまき出し先端からの距離の確保」、「まき出し厚の均一性」が重要

JSCE 仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 27

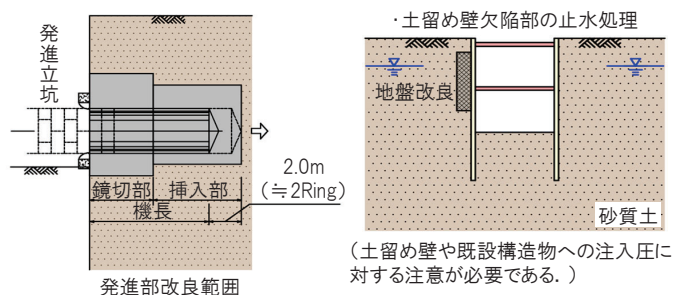
第5章 地盤改良

4.地盤改良工法の適用事例

p.130～131

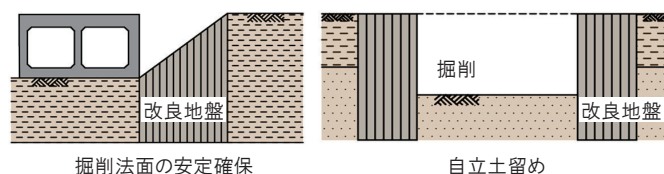
◆土留め掘削工事における補強◆

薬液注入工法



シールドまたは推進工事における挿入部の防護、土留め壁欠陥部の止水処理を目的として、薬液注入工法を使用

中層・深層混合処理工法



掘削底面の安定確保および自立土留めを目的として、中層・深層混合処理工法を使用

JSCE 仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 28

第5章 地盤改良

3.5 高圧噴射攪拌工法

ケミカルグラウト株式会社 玉野亮人
田中誠治

JSCE 「仮設構造物の計画と施工 2025年改訂版」講習会

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



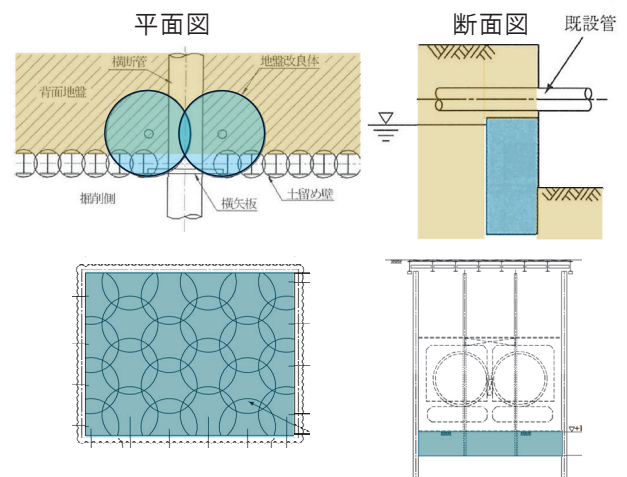
3.5.1.概要

- ・地盤改良工法の中で固結工法の深層混合処理工法に分類
- 3.3 深層混合処理工法(機械攪拌工法)と同様な改良体を作成



施工イメージ

- ① 目的深度まで削孔
- ② ロッドを回転・引上げながら固化材を高圧で噴射
- ③ 固化材と地盤を混合攪拌
- ④ 地盤中に改良杭を造成



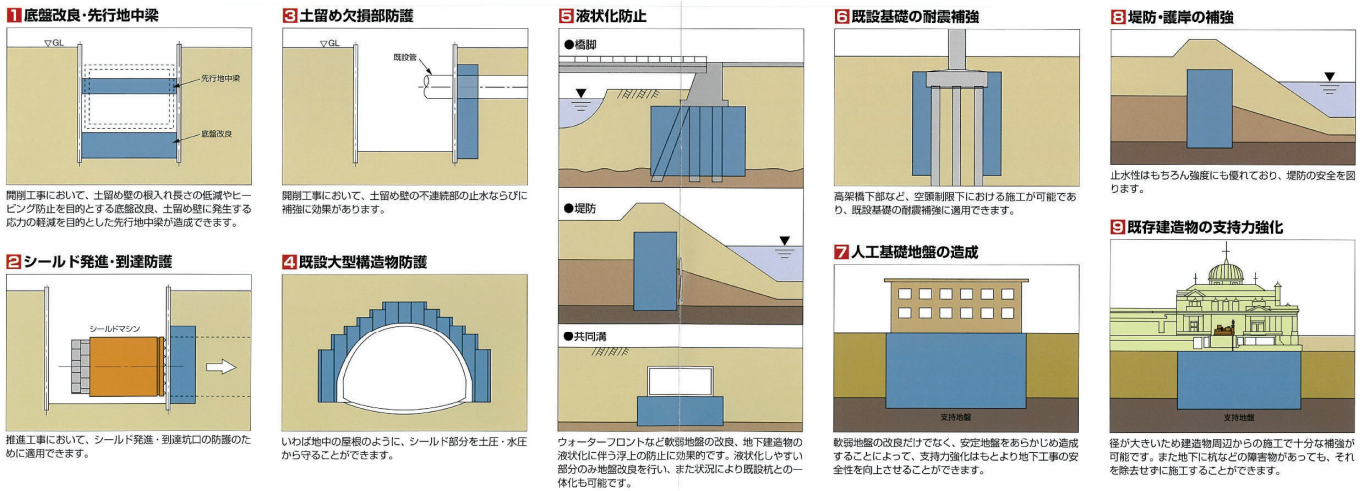
防護イメージ

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 2

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.1.概要



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 3

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.1.概要

- ・噴射形態分類: 単管工法・・・河川・湖沼工事
- 二重管工法・三重管工法・・・都市土木

工法	単管工法	二重管工法	三重管工法
切削工法	超高圧固化材	超高圧固化材+空気	超高圧水+空気+固化材
使用ロッド	単管ロッド	二重管ロッド	三重管ロッド
噴射形態			
概略図			
代表的工法	CCP工法	JSG工法	ラムジェットグラウト工法

2025年改訂版】 4

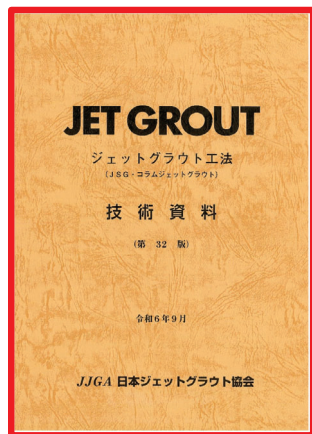
第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



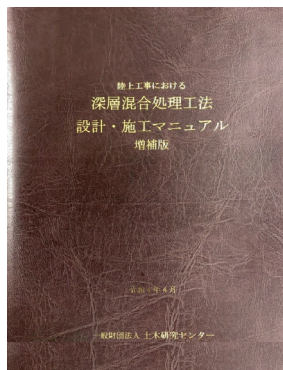
3.5.2.設計法

・設計法の参考図書

仮設用途



本設用途



建築分野の本設用途の参考図書



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 5

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.2.設計法

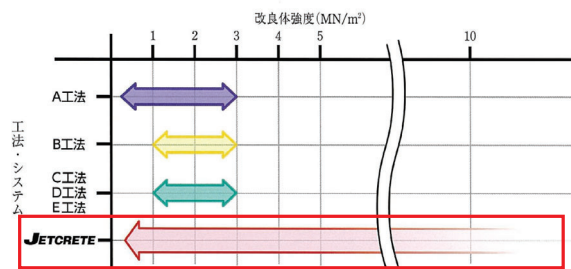
高圧噴射攪拌工法の設計では、改良体の強度特性、安全率、最小改良厚さ、改良体の有効径が重要

(1) 改良体の強度特性および安全率

・一軸圧縮強度(設計基準強度)・粘着力・付着力・曲げ引張強度などの標準的な強度特性が設定

表5.3.3 改良体の強度特性(設計基準強度)²⁾

硬化材	土質	一軸圧縮強度 (MN/m ²)	粘着力C (MN/m ²)	付着力f (MN/m ²)	曲げ引張強度 (MN/m ²)	弾性係数E ₅₀ (MN/m ²)
JG-1号	砂質土	3	0.5	1/3・C	2/3・C	300
	粘性土	1	0.3			100
JG-2号	砂質土	2	0.4			200
JG-3号	砂質土	1	0.2			100
JG-4号	腐植土	0.3	0.1			30
JG-5号	砂質土	1	0.3			100



出典：JETCRETE技術・積算資料 JETCRETE研究会

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 6

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.2.設計法

(1)改良体の強度特性および安全率

・必要改良厚さは、改良体の設計基準強より算出された厚さに対して安全率をかけて設定

表 5.3.4 改良体の安全率²³⁾

施 工 対 象	施 工 目 的	安全率 F_s	備 考
立坑等の底盤改良部	ヒービング等の防止	1.5	永久目的として使用する場合は安全率を $F_s \geq 3.0$ 程度とする。
	ボーリング等の防止	1.5	
	土留め根入れ等の決定	1.5	
シールド・推進の発進	シールド切羽等の防護および反力壁の防護	1.5	
	シールド切羽等の防護	1.5	
	シールドテール部の防護	1.0	
土留め欠損部	横矢板等の防護工と併用する場合	1.0	
	ジェットグラウトのみで自立を期待する場合	2.0	
深 礎	側壁の安定	1.5	
山岳トンネル（素掘り）	トンネル断面の安定	2.0	

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 7

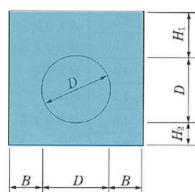
第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.2.設計法

(2)最小改良寸法

最小改良寸法は、改良特性や施工実績を考慮して最小改良値として設定



最小改良値 (m)				
D	$D < 1.0$	$1.0 \leq D < 3.0$	$3.0 \leq D < 5.0$	$5.0 \leq D < 8.0$
B	1.0	1.0	1.5	2.0
H1	1.0	1.5	2.0	2.5
H2	1.0	1.0	1.0	1.5

注) シールドテール部は別途考慮する。

- ・大口径シールド（直径8.0m以上）については別途考慮する。
- ・底部の改良厚（H2）については、水圧が大きい場合（シールド下端で0.2MPa以上）および大口径シールドの場合は側部の必要厚さ（B）を確保し、施工条件によっては、それ以上の厚さを確保する。

図 5.3.6 シールド発進到達部²³⁾

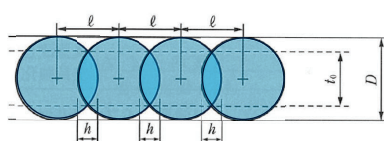


図 5.3.7 壁体改良の基本配置²³⁾

$$t_0 = 2\sqrt{\frac{D^2 - \ell^2}{4}} \quad (\text{壁体有効厚})$$

$$h = D - \sqrt{D^2 - t_0^2}$$

$$h \geq 0.2 \text{ m}$$

$$t_0 \geq 1.0 \text{ m (最小改良値)}$$

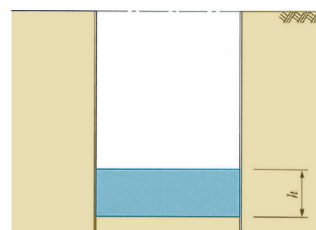


図 5.3.8 開削部底盤改良（先行地中梁含む）²³⁾

$h \geq 1.5 \text{ m}$ (最小改良値)

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 8

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.2.設計法

(3)有効径

- ・有効径は、改良対象地盤の砂質土・粘性土の区分やN値および施工深度などより設定
- ・砂礫や粘着力が 50kN/m^2 以上の粘性土などの地盤では超高压噴流の切削距離が想定より低下する場合もあるため設定には注意が必要

表 5.3.5 改良体の有効径例 ²⁶⁾

N	砂質土	$N \leq 50$	$50 < N \leq 100$	$100 < N \leq 150$	$150 < N \leq 200$
	粘性土	$N \leq 3$	$3 < N \leq 5$	$5 < N \leq 7$	$7 < N \leq 9$
値	砂礫土	砂礫については、原則として事前に試験施工を実施して出来形および品質確認を行うこと。検討段階における暫定有効径は、砂質土有効径の10%減を基本とする。			
深度 (m)	0～30m	5.0	4.5	4.0	3.5
	30m～	4.5	4.0	3.5	3.2

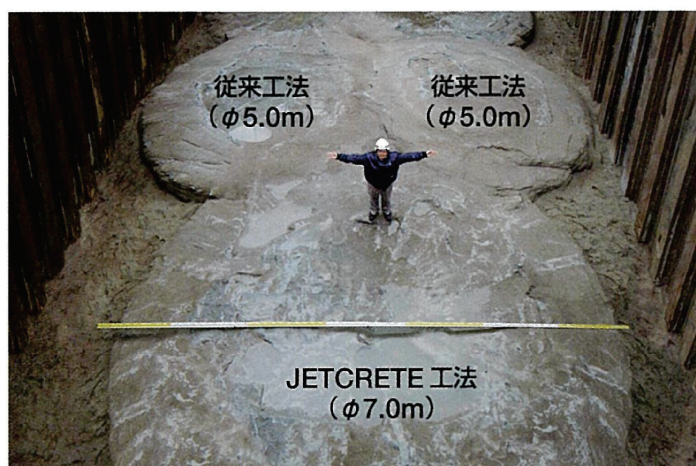
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 9

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法

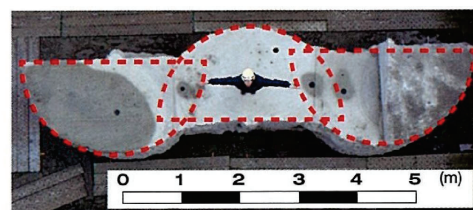


3.5.2.設計法

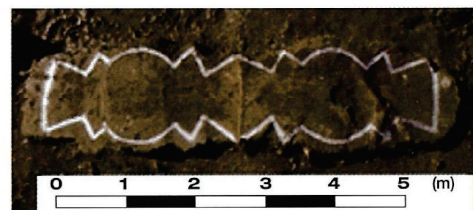
(3)有効径・・・最新技術



大口径改良



扇形改良



矩形改良

出典：JETCRETE技術・積算資料 JETCRETE研究会
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 10

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.2.設計法

(4)設計法

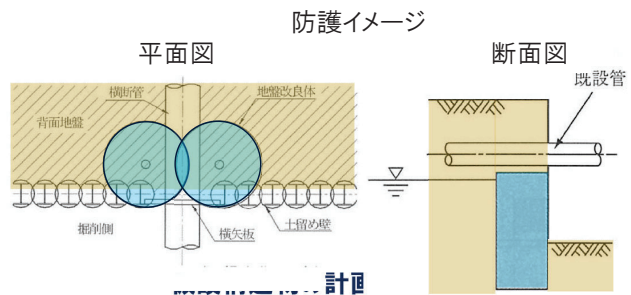
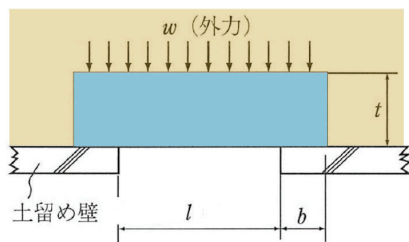
基本的には、改良体を梁や版と想定した単純梁モデル・平板モデル・円板モデル等にて破壊されない必要改良厚さを算出

○欠損部(不連続部)の設計法

・親杭横矢板工法の板厚計算の考え方に準じ、欠損幅をスパンとする単純梁モデルにて算出.

・安全率:横矢板等他の防護工を併用する場合の $F_s=1.0$

改良体のみで自立を期待する場合には $F_s=2.0$



11

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



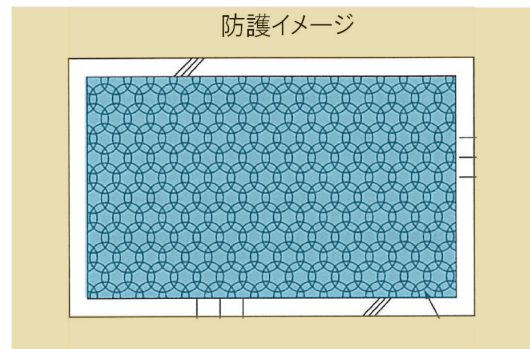
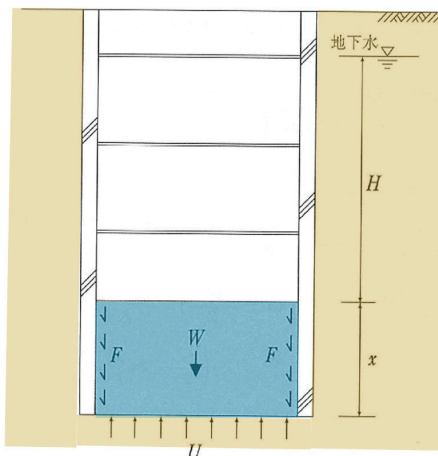
3.5.2.設計法

(4)設計法

○シールドや推進などの立坑の底盤部の設計法

・外的安定:押し抜き抵抗からの必要改良厚さ

・内的安定:4辺単純支持の平板モデルよりせん断応力、曲げ応力からの必要改良厚さ



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 12

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法

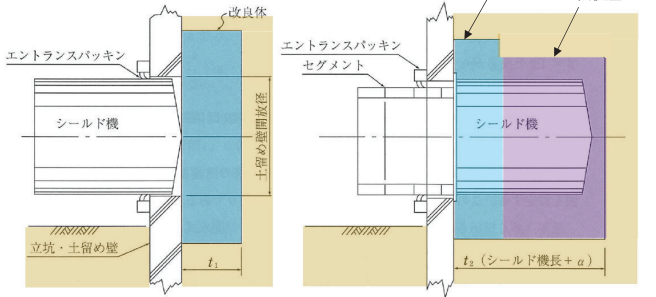


3.5.2.設計法

(4)設計法

○シールドや推進などの発進および到達防護の設計法

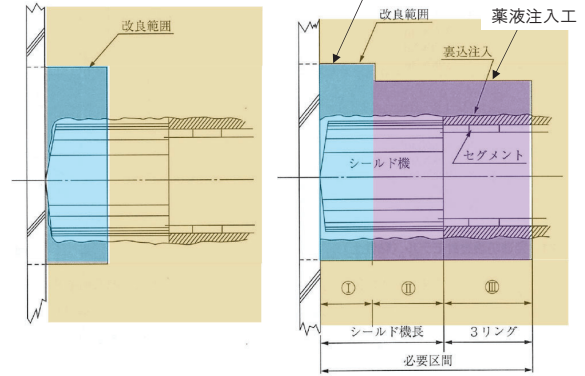
・発進防護



地下水の影響なし

地下水の影響あり

・到達防護



地下水の影響なし

地下水の影響あり

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 13

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法

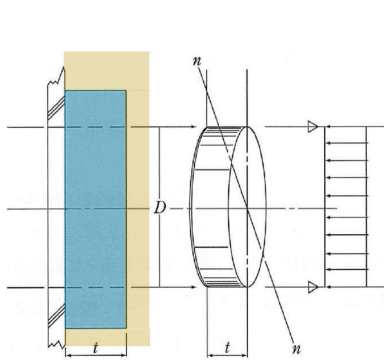


3.5.2.設計法

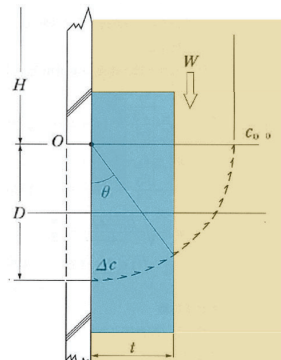
(4)設計法

○シールドや推進などの発進部および到達部の鏡開放防護の設計法

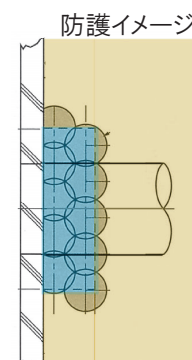
- ・砂質土：土圧・水圧などの外力に対して**周辺単純支持の円板モデル**にて算出
- ・粘性土：**鏡開放径を半径とする円弧すべり**を想定し、改良体の粘着力ですべりモーメントに抵抗させ、モーメントの釣り合いによる抵抗から必要改良厚さを算出



砂質土



粘性土



防護イメージ

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 14

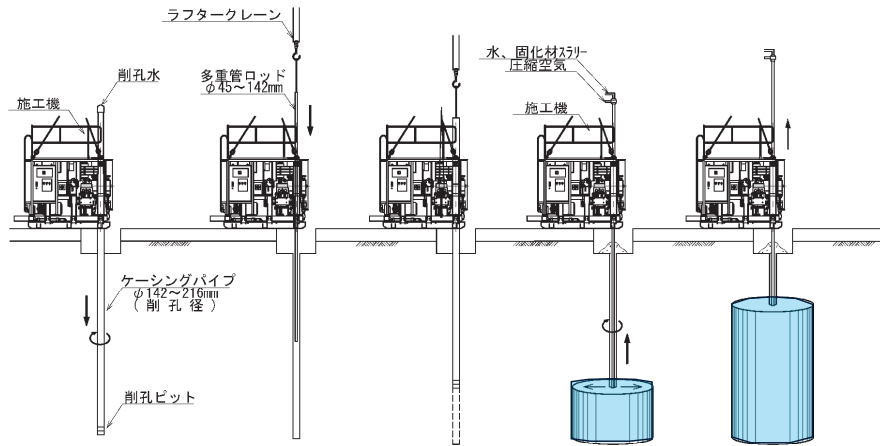
第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

高圧噴射攪拌工法の施工フロー図

①ガイドホール削孔 ②造成用ロッド建込み ③ケーシングパイプ引抜 ④改良体造成工 ⑤造成完了



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 15

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法



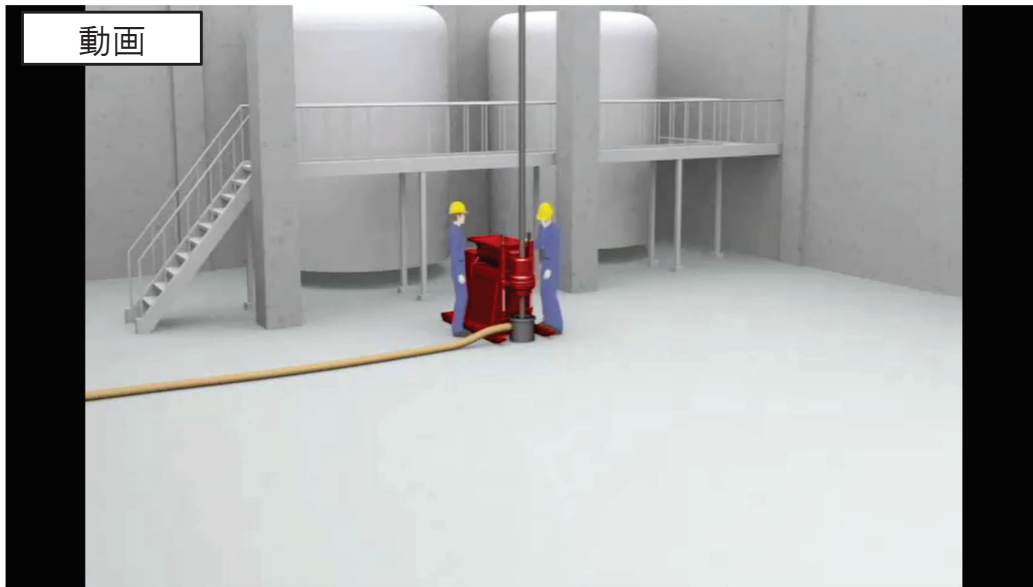
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 16

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

動画



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 17

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法

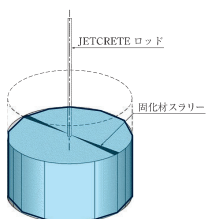


3.5.3.施工法

噴射方向、回転速度、回転角度などを制御することで様々な形状の改良体を築造可能

水平対向噴射

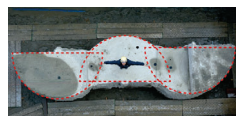
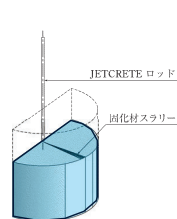
- ・ 全円(360°)



全円

水平片側噴射

- ・ 半円や扇形など
(360°以外の回転角)



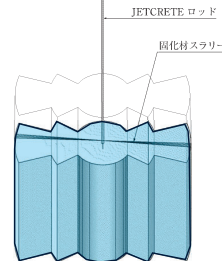
半円×3



扇形

水平対向噴射

- ・ 矩形(多扇形)
(回転速度と回転角を制御)



矩形



水平対向 噴射



水平片側 噴射

仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 18

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

出来型例①
水平対向噴射



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 19

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

出来型例②
水平1方向噴射



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 20

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

出来型例③
水平対向噴射



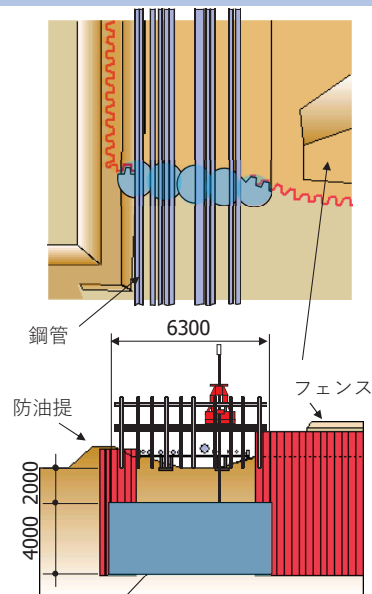
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 21

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

施工例① シートパイル欠損防護



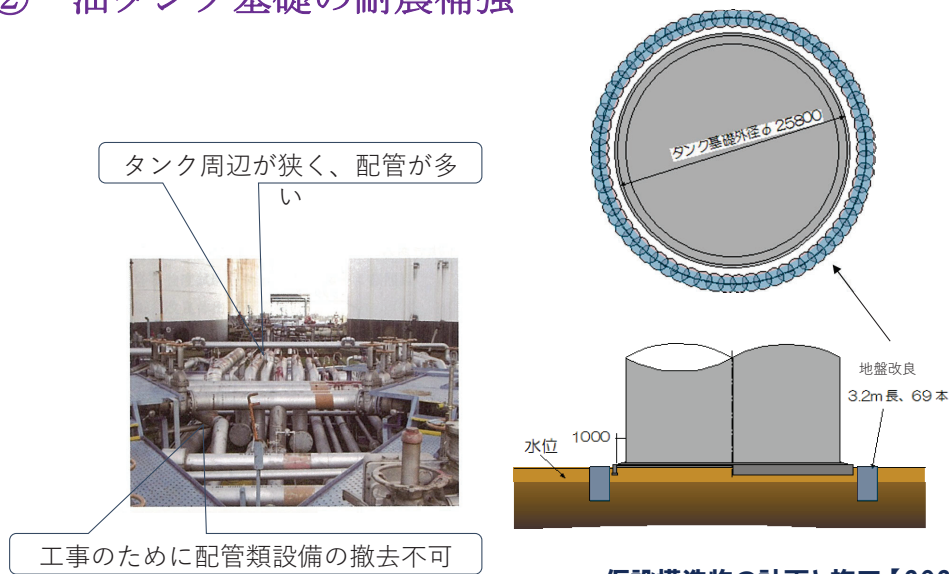
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 22

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

施工例② 油タンク基礎の耐震補強



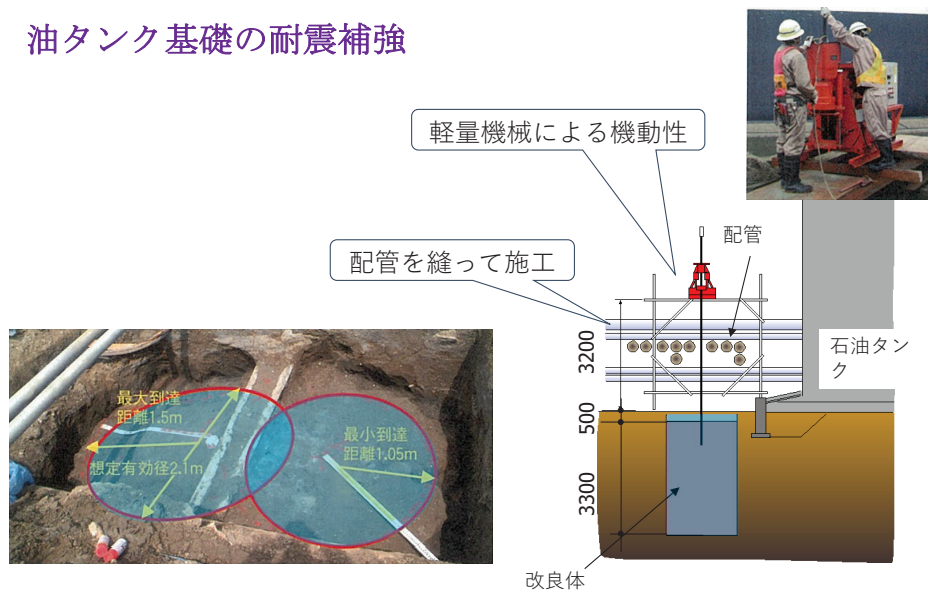
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 23

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

施工例② 油タンク基礎の耐震補強



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 24

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法



旧岩崎邸基礎補強対策



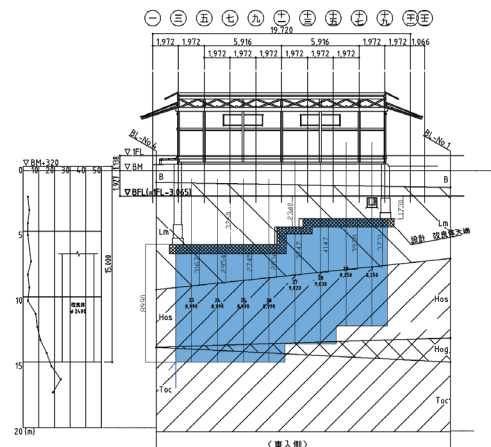
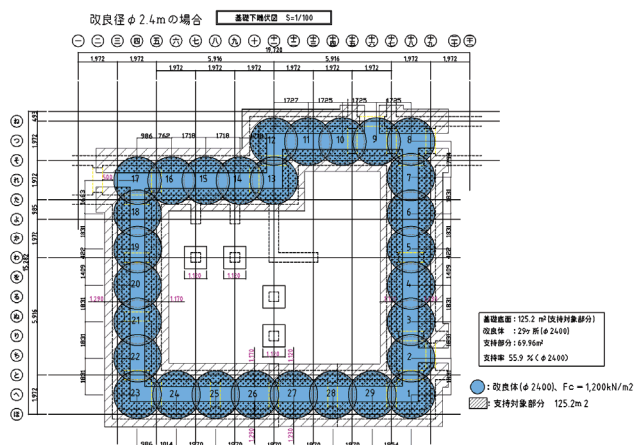
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 25

第5章 地盤改良 3.5 高圧噴射攪拌工法



3.5.3.施工法

旧岩崎邸基礎補強対策



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 26

第5章 地盤改良工 3.7凍結工

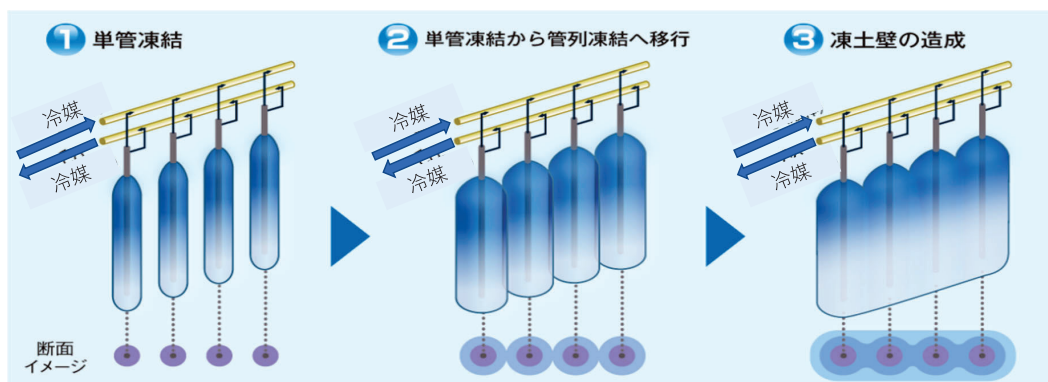
ケミカルグラウト株式会社 玉田 康一
ケミカルグラウト株式会社 相馬 啓

JSCE 「仮設構造物の計画と施工 2025年改訂版」講習会

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.1 概要 凍結工法とは

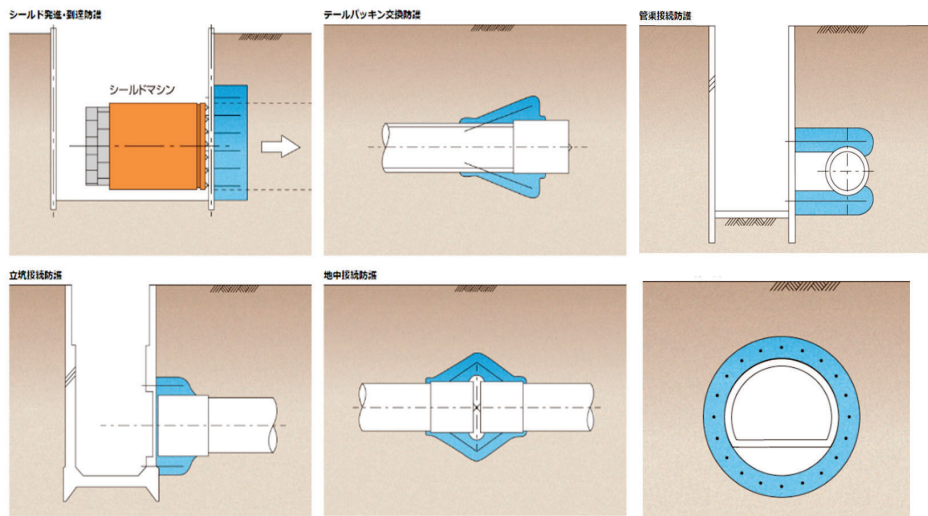
- ・ 地中に立込んだ凍結管に不凍液を循環させ、地中の熱を奪うことにより地盤を一時的に凍らせて、連続する強固な**凍土壁を造成**するもの。
- ・ 時間経過とともに、①単管凍結⇒②管列凍結へ移行⇒③凍土壁造成



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.1 概要 凍結工法とは

・適用事例



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.1 概要 特徴

- ①大深度・高地下水圧下で施工可能
- ②全ての土質に対応可能
(粘性土は、凍結膨張、解凍沈下が生じる)
- ③高強度かつ高い遮水性を確保
- ④均一な造成で施工時も安全、
施工管理が明確で信頼性が高い
(測温管により凍土出来形確認可能)
- ⑤産廃・地中残置物なく、環境に優しい



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.1 概要 特徴 凍結膨張のメカニズム

- 砂やれき層の地盤では、凍結膨張は生じない。
- **75 μ 以下の細粒成分**を多く含む**シルト・粘土層**では、土中に**アイスレンズ**を形成し、凍結膨張が発生する。
- 地盤内の凍結膨張が**凍上**、解凍時の**収縮**が**沈下**として現れる。



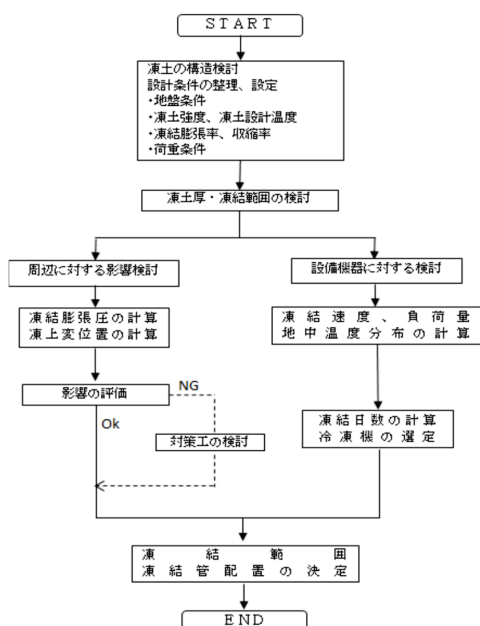
粘性土凍土に形成された
アイスレンズ(氷の固まり)



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 5

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 フロー



- ①設計凍土**温度**と**強度**の設定
↓
- ②構造計算モデルを想定し、構造計算により、**必要凍土厚さ**・設計**凍結範囲**を決定
↓
- ③凍結負荷による熱計算を行い、造成日数、計画凍土**造成範囲**および最適な**凍結管配置**を決定
↓
- ④地盤が凍る際の凍結膨張による凍上、および、解凍による沈下の程度を検討し、**周辺への影響**を把握、必要に応じ対策を検討



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 6

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (1) 凍土平均温度と設計基準強度

- 凍土平均温度は、従来（ブライン方式）から「 -10°C 」を標準。
- 凍土温度を下げた設計を行う場合には、
表5.3.8から按分により設計基準強度 σ_k を設定。

表 5.3.8⁽¹⁾ 凍結地盤の強度計算時の使用例 (σ_k MN/m²)

土質	-10°C			-20°C		
	一軸圧縮	曲げ引張	せん断	一軸圧縮	曲げ引張	せん断
粘性土	2.0~4.0	1.5~2.0	1.5~2.0	4.5~6.0	2.0~3.0	2.0~3.0
砂質土	4.0~7.0	2.0~3.0	2.0~3.5	6.0~10.0	3.0~4.5	3.0~5.0

・出典：「地盤凍結工法－計画から設計施工まで－」(社)日本建設機械化協会



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

7

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (2) 凍土厚・凍結範囲の検討

① 構造壁の場合（強度部材）

- 必要凍土厚は構造計算で決定する。
- 構造計算モデルは、梁モデル、円盤モデル、リングモデル等があり、
適宜、適切なモデルを選択して検討する。
※例；・円盤モデルは、シールドの発進到達防護工等、
・リングモデルは、2つのトンネル間を接続する小トンネル等に適用

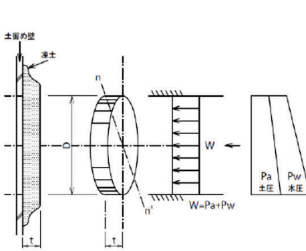
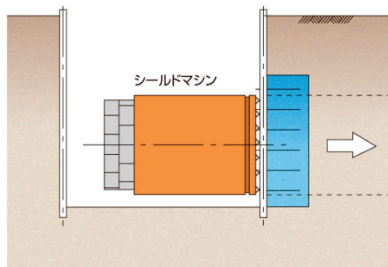


図 5.3.29 円盤モデル図⁽⁴⁾

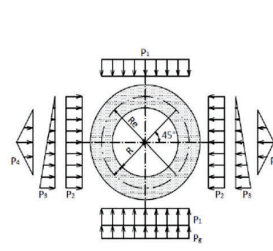
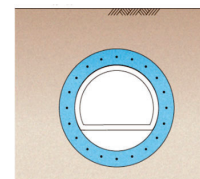


図 5.3.30 リングモデル図⁽⁴⁾



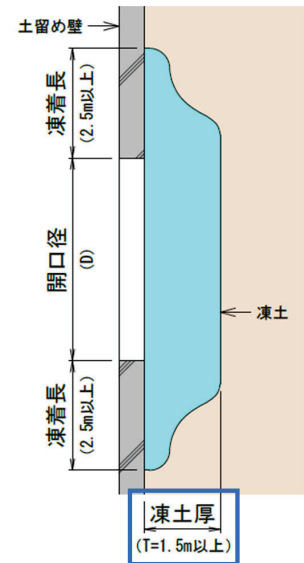
仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

8

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (2) 凍土厚・凍結範囲の検討

- 荷重は、一般に、鉛直土圧は**全土圧**，側方土圧は凍結の膨張圧を考慮して**静止土圧**を考慮している。
- 設計は許容応力度法で行われる。
許容値 σ_a ($= \sigma_k / F_s$) は、設計基準強度 σ_k (表5.3.8) を安全率 F_s で除した物。
- 安全率 F_s は、一般に、 **$F_s=2.0$** を用いることが多い。
- 計算した凍土厚が極薄にならないように、過去の施工実績などを勘案し、最小凍土厚**1.5m以上**を標準としている。



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

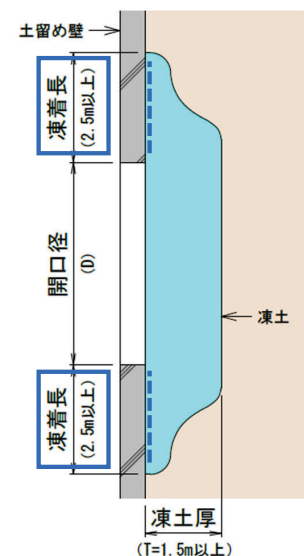
9

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (2) 凍土厚・凍結範囲の検討

② 止水壁の場合

- 凍土止水壁の厚さは計算で決定されるわけではなく、過去の**実績**などを勘案して設定される。
・・・凍土厚**0.8m～1.2m**※
※「地盤凍結工法－計画から設計施工まで－」社)日本建設機械化協会
- 凍結止水長は、図5.3.28に示すように、**凍着長** (= 構造物と凍土が接する長さ) として最低**2.5m以上**を従来より確保している。



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】

10

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (3) 設計の留意点

1) 地下水流の影響について

- 地下水流がある場合、凍土造成が遅くなり、
極端な場合には、凍土の**造成が出来ない**場合がある。
事前に**流向・流速試験**を実施して確認する必要がある。
- 凍土造成が可能な流速（一般に**2m/day以下**）まで
地下水流を低減させることが必要となる。
- 対策としては、上流側に**流速低減**を目的とした
地盤改良（薬液注入等）等を行うことが必要となる。



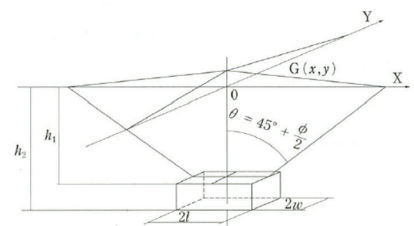
第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (3) 設計の留意点

2) 凍結膨張・解凍収縮の影響について

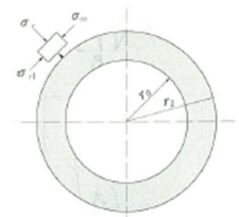
- ①凍上・沈下予測法としては、戸部らの考案した、
簡易的な「**三次元凍上変位計算法**」が使われる。

$$\Rightarrow G(x,y) = \frac{\eta}{4} \int_{h_1}^{h_2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{l+x}{ah} \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{l-x}{ah} \right] \right\} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{w+y}{ah} \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{w-y}{ah} \right] \right\} dh$$



- ②凍結膨張圧は、

高志の「**円筒理論の式**」を用いる。 $\Rightarrow \sigma_{r1} - \sigma_{\infty} = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{\xi_r}{2} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_1^2}$



- ③近年では、**有限要素法**等の数値解析で予測する事例あり。
その場合、信頼性の高い**土質試験試験データ**などを
反映することが重要です。



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (3) 設計の留意点

3) 塩分による強度低減について

- 土壌に塩分が含まれると**凝固点降下**で凍土強度は低下する。一軸圧縮強度は、粘性土凍土で**1/2**，砂凍土で**1/7**程度に**低下**。
- 塩分を含む凍土の設計基準強度は，**試験**により確認することが望ましい。
- 試験値がない場合は5.3.31に示す一軸圧縮強度と塩分濃度の関係を用いて，塩分を含まない凍土の設計基準強度をこの塩分濃度の**強度割合で低減**して設定。

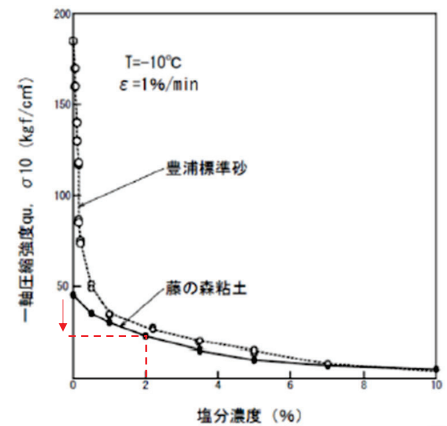


図 5.3.31 一軸圧縮強度と塩分濃度の関係

$$\text{塩分を含む場合の設計基準強度} = \frac{\text{強度の一般値} \times \text{右図塩分ありの強度}}{\text{右図塩分なしの強度}}$$



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 13

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.2 設計法 (3) 設計の留意点

4) 環境への配慮について

- 「フロン類の使用の合理化および管理の適正化に関する法律（**フロン排出抑制法**）」（2015年(平成27年)4月1日施行）。

冷媒にフロンを使用せず，**アンモニア**を用い，ブライン（塩化カルシウム）の代わりに**液化炭酸ガスCO2**を循環させる環境に優しい「新地盤凍結工法」が開発され，現場実績を積み重ねている。

※詳細は各協会のHPを参照願いたい。

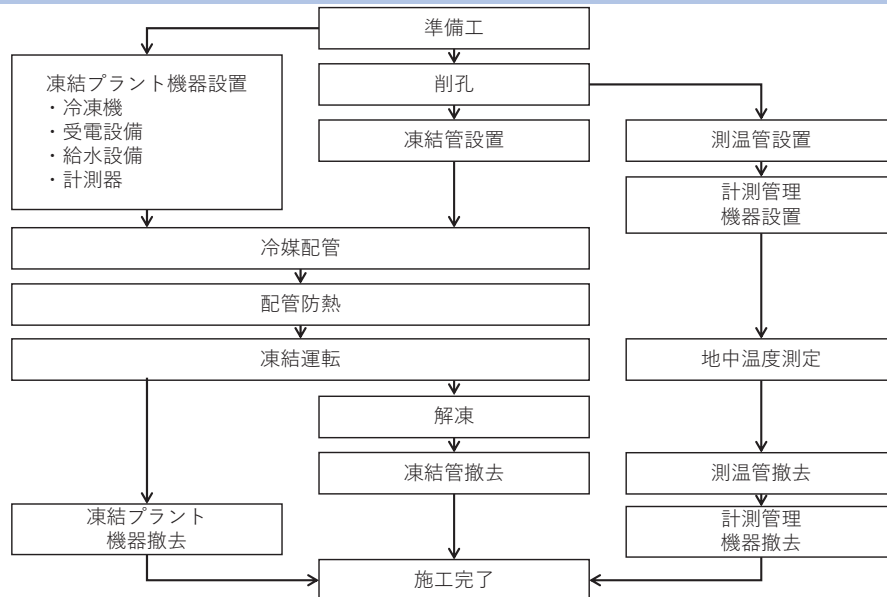
→ 新地盤凍結工法 ICECRETE協会



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 14

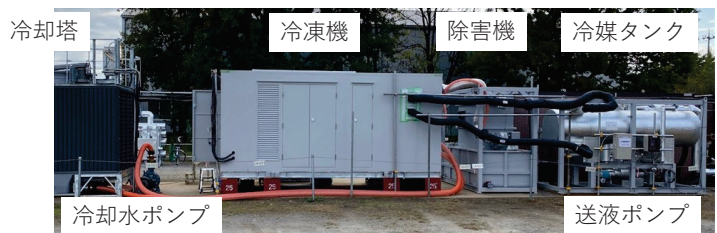
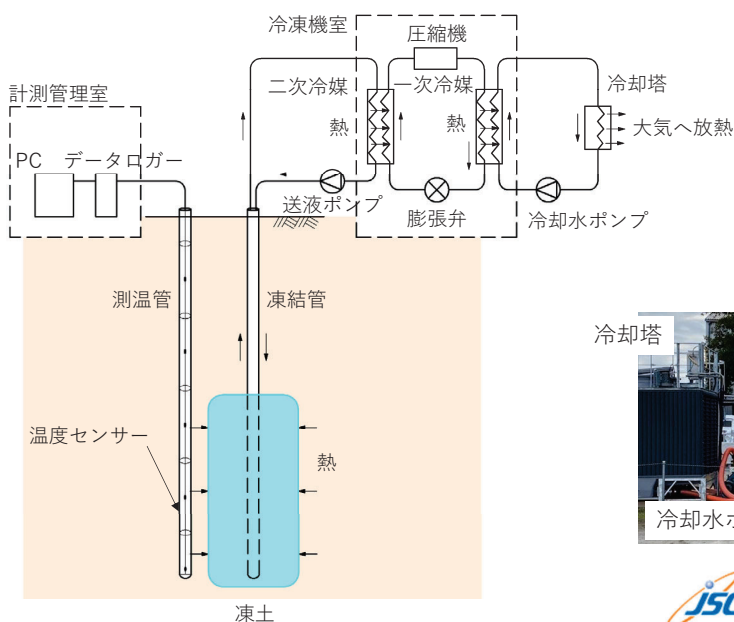
第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.3 施工法 フロー



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

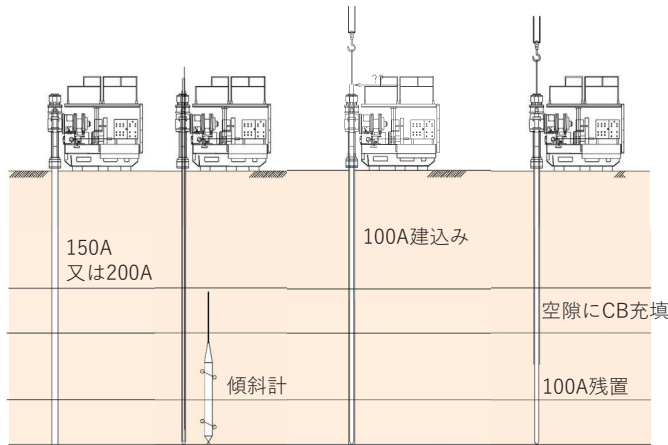
3.7.3 施工法 フロー



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.3 施工法 フロー

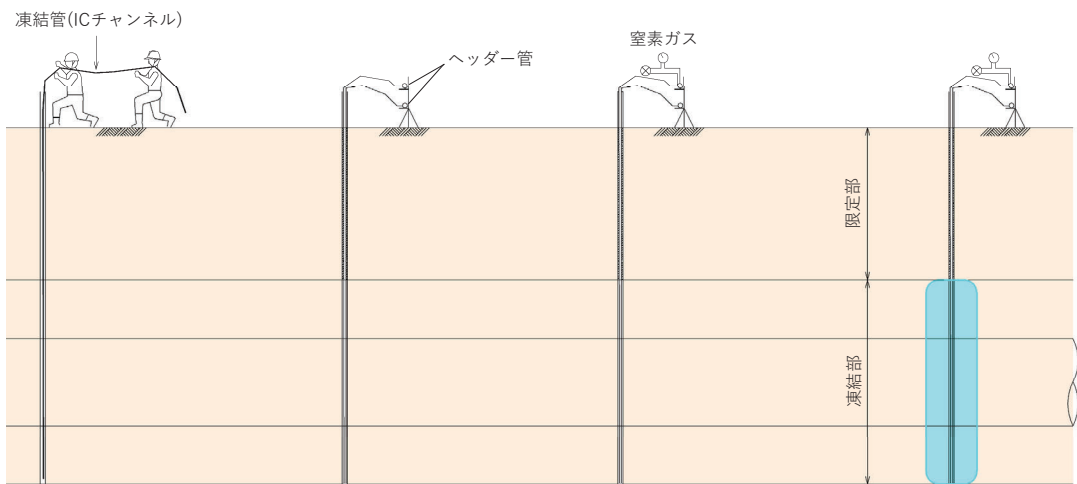
1. 削孔 2. 傾斜測定 3. ガイド管建込 4. ケーシング引抜



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.3 施工法 フロー

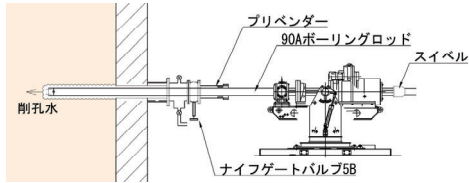
5. 凍結管建込 6. 配管・防熱 7. 気密試験 8. 冷媒チャージ、凍土造成



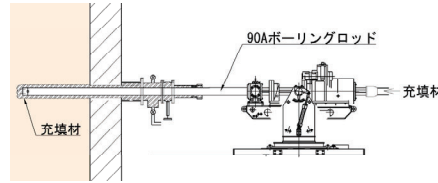
第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.3 施工法 フロー

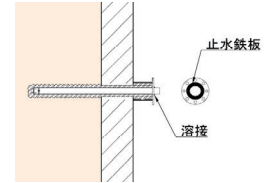
1. 削孔



2. 充填



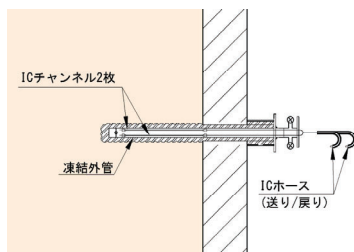
3. 口元止水装置解体



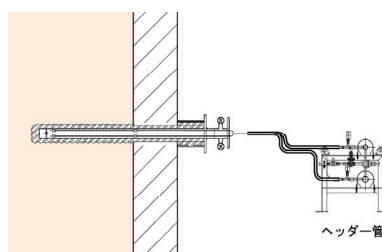
第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.3 施工法 フロー

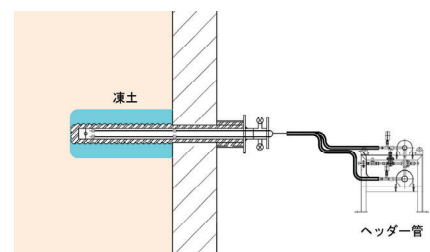
4. 凍結管挿入



5. 配管、気密

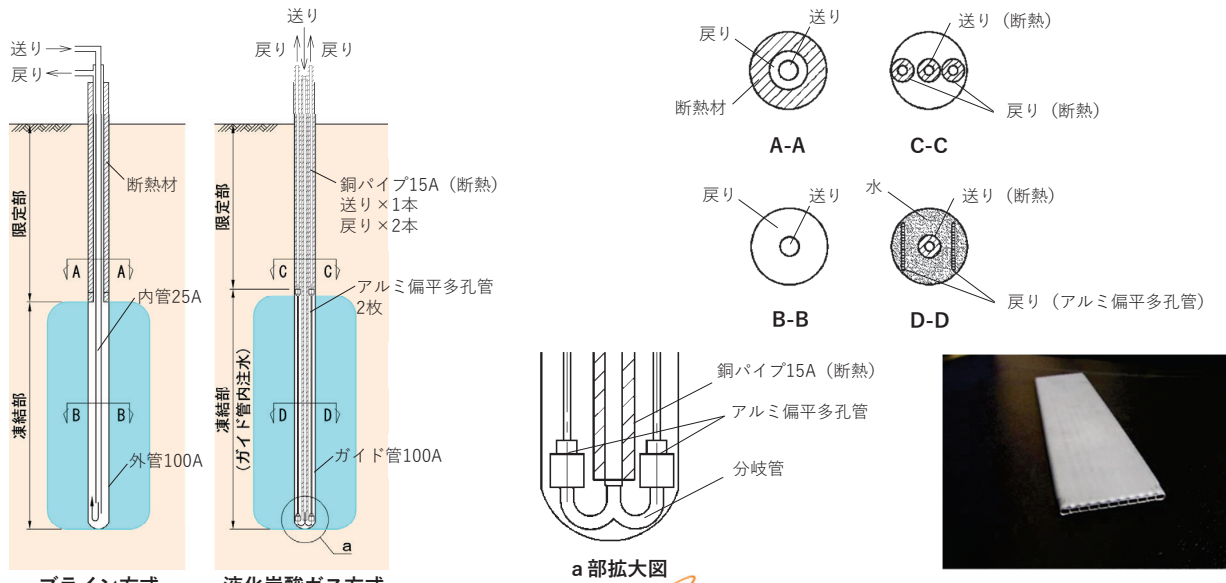


6. 冷媒チャージ、凍土造成



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

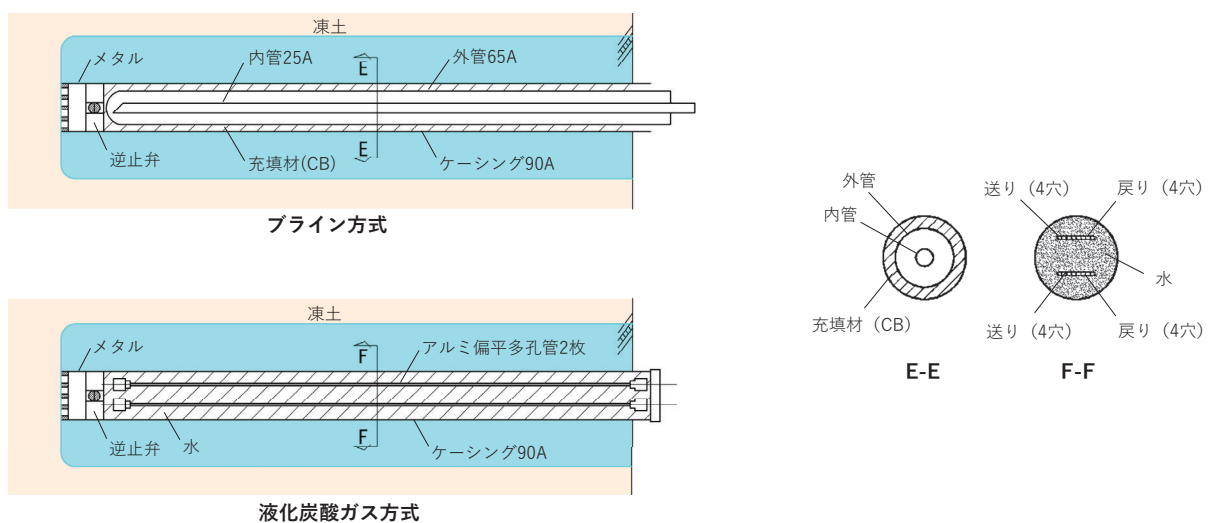
3.7.3 施工法 フロー



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 21

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

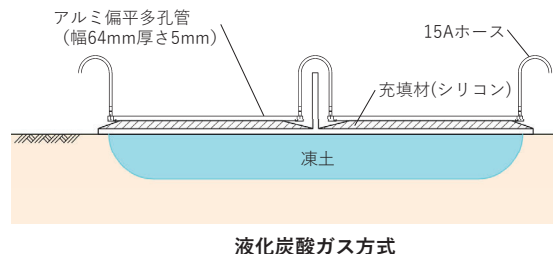
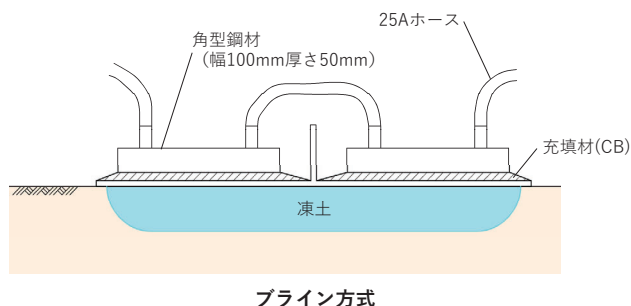
3.7.3 施工法 フロー



仮設構造物の計画と施工【2025年改訂版】 22

第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

3.7.3 施工法 フロー



第5章 地盤改良 3.7 凍結工法

参考資料

※参考資料

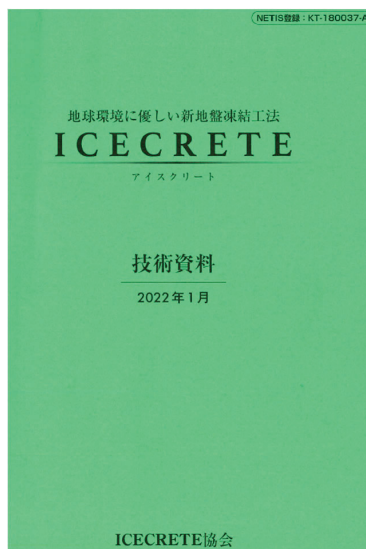
「ICECRETE 技術資料」

- ・用語解説から
 - ・具体的な設計計算例
 - ・施工計画事例
- など記載されています。
ぜひご参考にして下さい。

※詳細は各協会のHPを参照願いたい。

→ [新地盤凍結工法 ICECRETE協会](https://www.iccrete.jp/)

(<https://www.iccrete.jp/>)



目次	
用語	1
第1章 地盤凍結工法	5
1-1 地盤凍結工法の概要	5
1-2 地盤凍結工法のしくみ	6
1-2-1 ICECRETE 工法	6
1-2-2 ICELOCK 工法	6
1-2-3 地盤凍結工法比較	7
1-3 適用法規	10
第2章 設計編	11
2-1 調査項目	11
2-2 設計に用いる諸数値	12
2-2-1 設計基準強度	12
2-2-2 凍土の変形係数	13
2-2-3 凍結膨張率の算定	14
2-2-4 安全率	14
2-2-5 最小凍土厚さ	15
2-3 凍土範囲設計	16
2-4 凍結膨張率の算定	18
2-4-1 凍結膨張率の算定	18
2-4-2 凍土及び解凍沈下量の予測	19
第3章 施工計画編	21
3-1 熱計算	21
3-2 凍結管レイアウト基準	21
3-3 凍土成長と凍結日数、凍結負荷曲線	22
3-4 凍結負荷と必要冷凍機台数	24
3-5 解凍日数	24
3-6 凍結管	25