

中層混合処理工 (スラリー噴射方式・トレンチャ式攪拌混合)

パワーブレンダー®工法

技 術 資 料

令和5年9月



パワーブレンダー工法協会



協会 HP

トピックス

●2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針

—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—

- ・全層鉛直攪拌式による地盤改良工法として掲載

●パワーブレンダー工法(横行施工) NETIS登録(2019.01.08)

- ・NETIS登録No. QS-180038-A

●国土交通省 ICTの全面的な活用として要領の策定(2019.04.01)

「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」

「ICT活用工事(地盤改良工(中層混合処理))積算要領」

- ・中層混合処理(トレンチャ式)として掲載

●NETISテーマ選定型の比較工法に選定(2020.06.17)

「建設発生土(河川浚渫・掘削土等)を活用した盛土材料(通常堤防・高規格堤防)としての改良技術、無害化技術(不溶化)」の改良技術として選定

- ・パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式)
- ・パワーブレンダー工法(地表散布方式、集塵装置付地表散布方式)

●「地盤改良壁による山留め設計マニュアル」改訂(2022.01)

●パワーブレンダー工法(ICT施工) NETIS登録(2022.03.28)

- ・NETIS登録No. QS-210068-A

序

我が国は建設計画の障害となる軟弱な地盤が広範囲に存在し、また、巨大地震時に液状化するような地盤が都市部にも存在します。このような問題のある地盤を克服して、限られた国土を有効利用すること、また、災害に対して安全で安心できる豊かな国づくりが求められています。

パワーブレンダー工法は浅層・中層混合処理工法として 1978 年に実用化されました。本技術は改造型バックホウに、正・逆対称形状のトレンチャ式攪拌翼を取り付け、互層地盤であっても、鉛直方向に全層を攪拌しながら連続的に水平移動させることにより、連続かつ均質な改良体を造成する工法です。

機動性が高く近接施工や狭隘箇所での施工が容易で、最大改良深度 13.9m の実績を有します。改良材の添加方法は、中層混合処理工法でのスラリー噴射方式の他、粉体噴射、地表散布の方式が可能で、改良深度や対象土質、現場状況に応じて選定します。

本工法は、高品質で低コストの地盤改良技術を提供することを目指し、機械装置並びに施工方法、施工管理システム等の改善・改良を繰り返し、「より良く、より早く、より安く、より信頼される」地盤改良工法として、土木構造物の基礎地盤、土構造物(盛土等)の安定対策や沈下対策、液状化対策工法としてのみならず、既設構造物直下の改良、建設発生土の有効利用、汚染土壌処理、仮設土留め壁などの新しい分野への適用にも挑戦してまいりました。その結果、各方面から高い評価をいただくことができ、多くの現場にてご活用いただけてきました。

また、土木分野だけでなく、建築分野での実績増加もあり、2018 年に改定されました「**建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針**」に**全層鉛直攪拌式**による地盤改良工法として掲載されました。

近年では、ICT の全面的な活用の推進が打ち出される中、ICT 地盤改良工としての実績も積み上げてきました。今後は本協会としても積極的に ICT 活用に尽力してまいります。

本技術資料は、パワーブレンダー工法の工事の計画や施工に携わる方々の参考資料としてお役に立てて頂けるようにまとめたものです。

今後とも本工法の普及と一層の発展のため各方面からのご指導を仰ぎながら更なる努力と鋭意研究を重ねていく所存です。

令和 5 年 9 月

パワーブレンダー工法協会

会長 加藤 徹

○最大深度 13m

1.9m³クラス(ツ-ピ-スプ-ム) PBT-1100



○様々な施工条件に対応



上空制限下での施工



超軟弱地盤での改良による重機足場の拡張



山留内での施工



近接施工



建築基礎の施工



GNSS モニター



GNSS アンテナ

チルトセンサー

ICT 活用による地盤改良

○横行施工（攪拌機の取付け角度変換）



土留め壁構築の近接施工



斜め土留め壁の構築



鉄道近接施工



段差施工

○全層均質な改良による改良壁の構築



○プラント設備



定置式プラント



車載式プラント

○応用編



ヒートソイル工法



水平施工

○震災復興

2003年 宮城県北部地震



2011年 東日本大震災

2016年 熊本地震



目 次

第Ⅰ編 パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式)

第1章 概 要

1.1 工法の概要	.....	I-1
1.2 工法の特長	.....	I-1
1.3 工法の位置付け	.....	I-2
1.4 適用範囲	.....	I-3
1.5 適用例	.....	I-4

第2章 事前調査および配合試験

2.1 事前調査	.....	I-6
2.2 地盤調査項目および試験項目	.....	I-6
2.3 室内配合試験	.....	I-7
2.4 六価クロム溶出試験	.....	I-16

第3章 施 工

3.1 施工フロー	.....	I-17
3.2 施工機械	.....	I-18
3.3 施工方法	.....	I-22
3.4 施工管理	.....	I-24
3.5 ICT 地盤改良工	.....	I-37
3.6 着底管理	.....	I-39
3.7 品質管理の実施例	.....	I-43
3.8 新しい品質管理方法の提案	.....	I-47
3.9 盛り上がり土の有効活用	.....	I-52

第4章 環境への影響

4.1 周辺地盤や構造物などへの影響	.....	I-55
4.2 施工時の振動・騒音	.....	I-59
4.3 地下水へのアルカリ化の影響	.....	I-63

参考資料	I-64
------	-------	------

第Ⅱ編 パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式) 「応用技術」

第1章 横行施工

1.1 工法の概要	.....	Ⅱ-1
1.2 横行施工の特長	.....	Ⅱ-2
1.3 横行施工の適応例	.....	Ⅱ-3
1.4 施工事例	.....	Ⅱ-4

第2章 ヒートソイル工法

2.1 工法の概要	.....	Ⅱ-5
2.2 ヒートソイル工法の特長	.....	Ⅱ-5
2.3 施工事例	.....	Ⅱ-5

第3章 水平施工

3.1 工法の概要	.....	Ⅱ-8
3.2 施工事例	.....	Ⅱ-8

第 I 編

パワーブレンダー工法（スラリー噴射方式）

第1章 概要

1.1 工法の概要

パワーブレンダー工法は、原位置土とセメント系固化材などの改良材を、トレンチャ式攪拌混合機（以下、「トレンチャ」と称する）にて、攪拌混合土の流動値を施工に望ましい値にコントロールを行い、全層同時に鉛直方向に攪拌混合しながら、水平に連続掘進させる事により、互層地盤であっても改良範囲全域において均質な改良体の造成を可能とする地盤改良工法である。イメージ図を図 1.1-1、工法概念図を図 1.1-2 に示す。

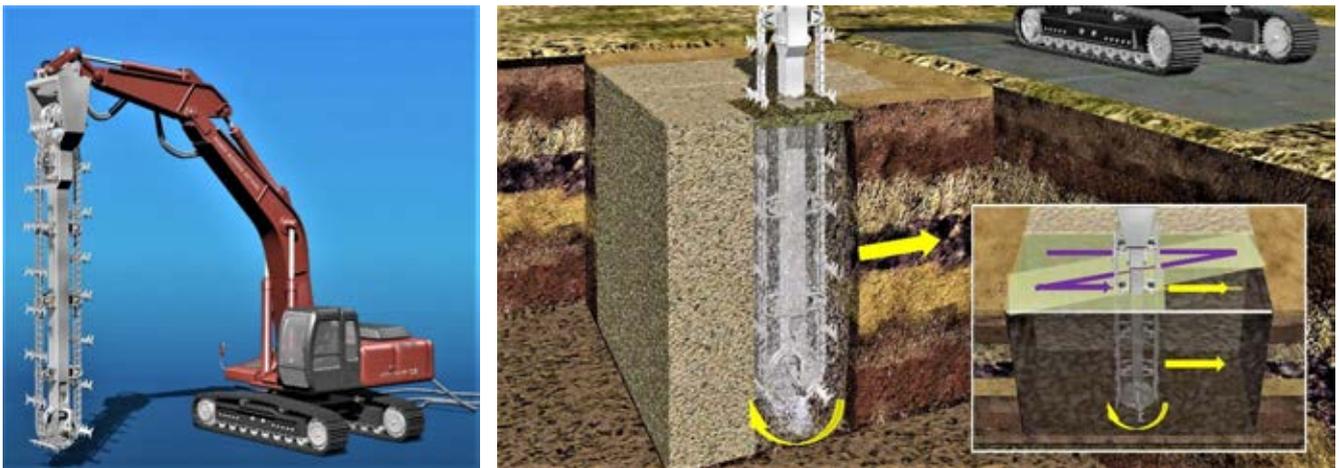


図 1.1-1 イメージ図

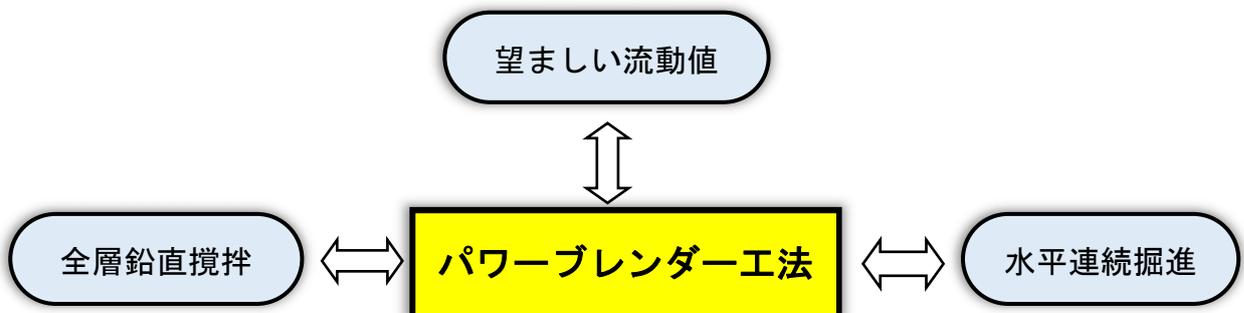


図 1.1-2 工法概念図

1.2 工法の特長

- (1) 互層地盤であっても均質な改良体の造成が可能。
- (2) 鉛直方向、水平方向ともに連続した改良体の造成が可能。
- (3) 狭隘な場所や上空制限下でも施工が可能。
- (4) 低変位であり、構造物などに近接した施工が可能。
- (5) 盛り上がり土の品質は改良体と同等であり、有効利用が可能。
- (6) 機械性能・機動性に優れ、安全かつ効率的な施工が可能。

1.3 工法の位置付け

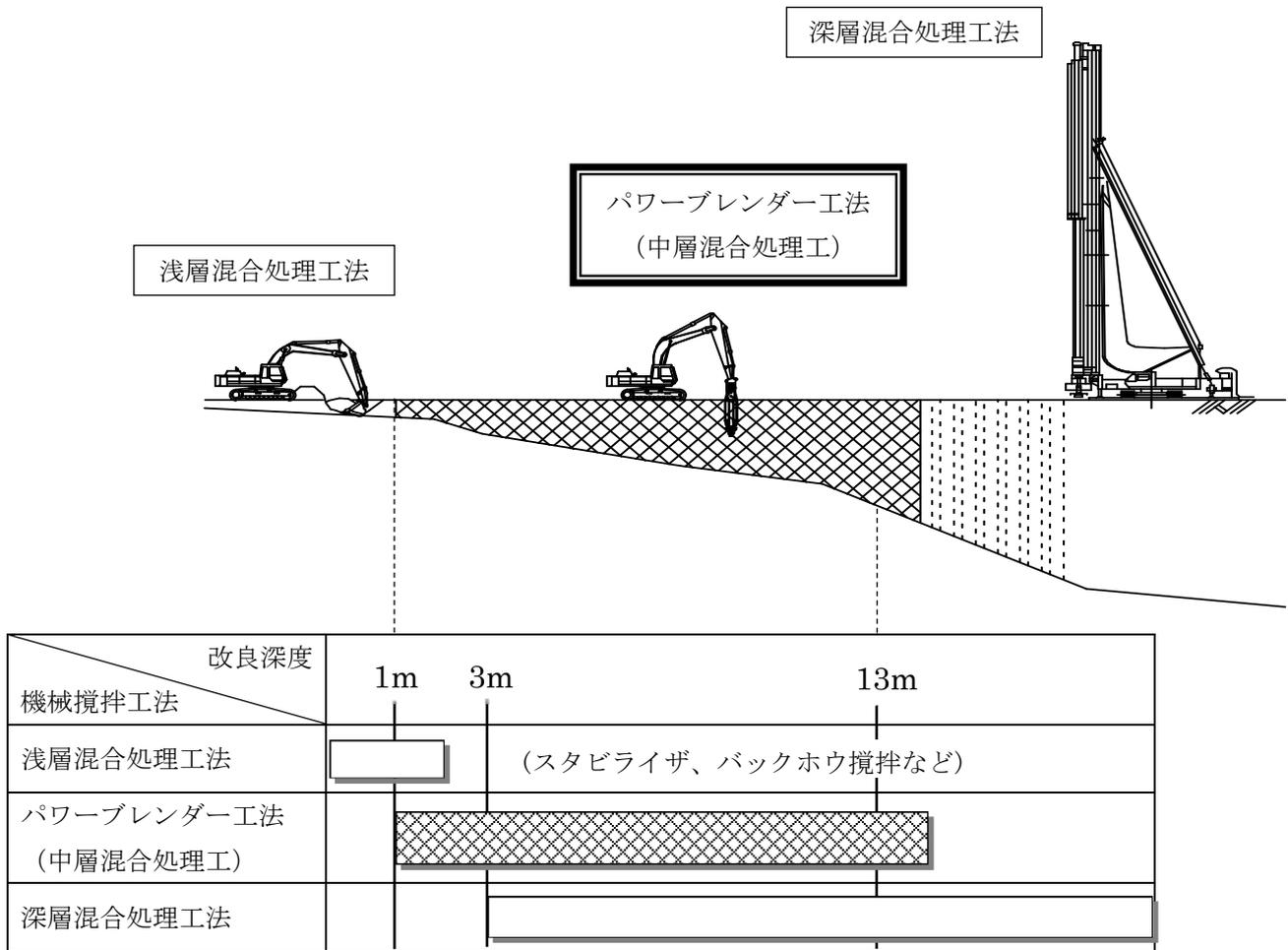


図 1.3-1 機械攪拌の固化系混合処理工法と改良深度

(1) パワーブレンダー工法と他工法の比較を行う際の留意点

パワーブレンダー工法と他工法の工法比較を行う際には、以下のような点に留意する必要がある。

- 1) バックホウ等による粉体混合工法との比較はバックホウ混合とパワーブレンダー工法の品質が全く異なることを認識した上で、要求性能に応じた比較を実施することが望ましい。
- 2) 地下水位が高く攪拌や締固めの問題が生じる場合や粉塵が問題となる場合にはスラリー噴射方式である中層混合処理工の本工法での採用が望ましい。
- 3) 中層から深層の地盤を改良する場合は、深層混合処理工法とパワーブレンダー工法を併用することも検討に加えることが望ましい。

1.4 適用範囲

本工法の地盤条件に関する適用性を表 1.4-1、環境条件に関する適用性を表 1.4-2 に示す。

表 1.4-1 地盤条件に関する適用性

		標準施工	施工実績
改良深度		1.0m～13.0m	13.9m
適用地盤	粘性土	N 値 ≤ 10 程度	N 値 ≒ 17 中間層 1m 程度
	砂質土	N 値 ≤ 20 程度	N 値 ≒ 32 中間層 1m 程度
着底地盤		N 値 ≤ 30 程度	N 値 ≒ 50

表 1.4-2 環境条件に関する適用性

振動	規制基準値（75dB）以下
騒音	規制基準値（85dB）以下
近接施工	低変位であり近接施工の適応性が高い
段違い施工(施工基面と改良基面の高低差がある施工)	作業半径内での段違い施工が可能
上空制限	改良深度と同程度の上空制限下での施工が可能
機械足場	簡易な足場での施工が可能

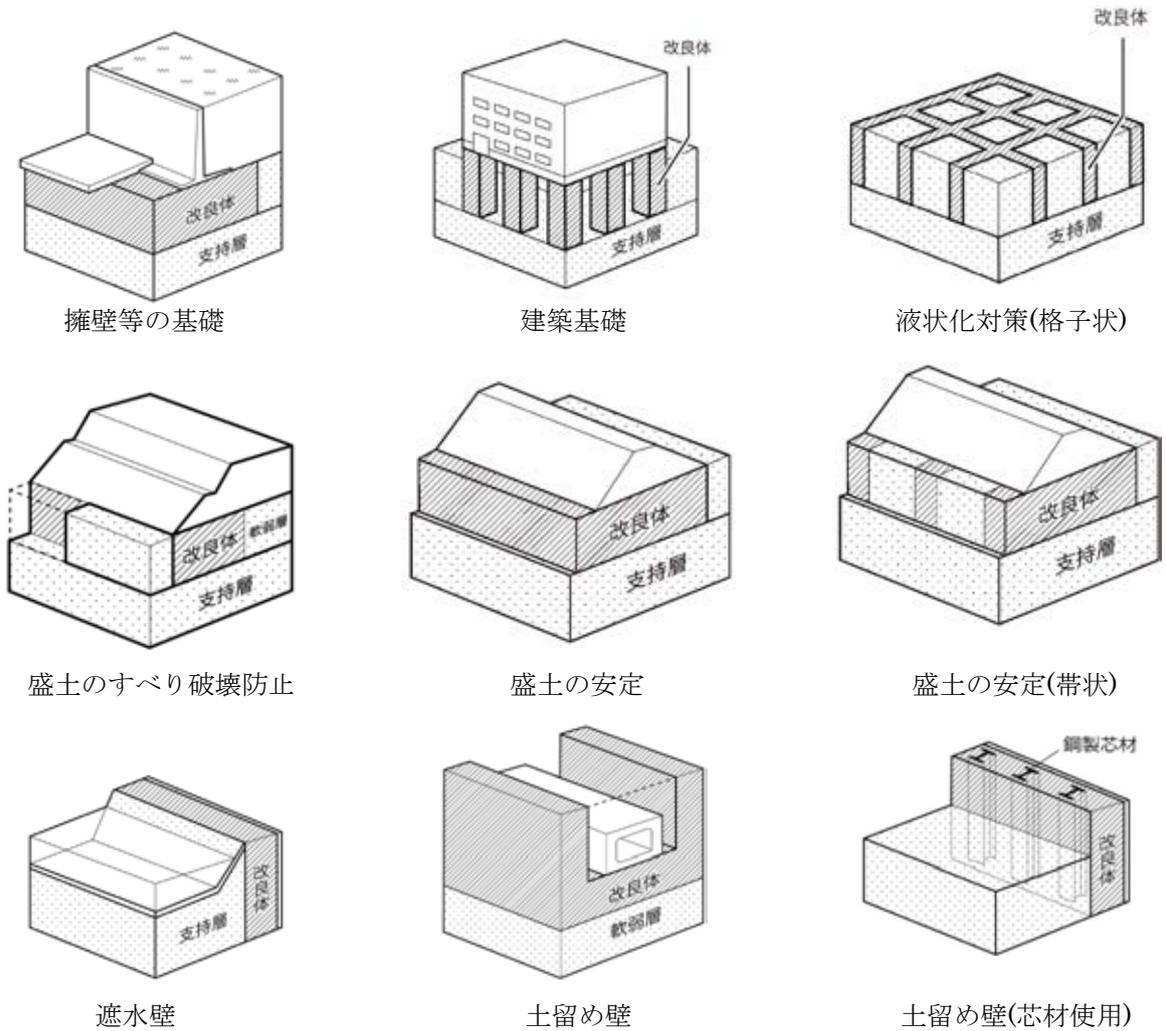
下記のような特殊条件下では別途検討が必要である。

- ※ 改良対象地盤内に礫および玉石が存在する場合。
- ※ 着底地盤への根入れが必要な場合。
- ※ 被圧水や伏流水がある場合。
- ※ 改良深度が上空制限高さ以上の場合。
- ※ 帯式・格子式・杭式等の改良で標準施工が 10m を超える場合。

1.5 適用例

土木・建築構造物および盛土等の土構造物地盤の地耐力確保(支持力増加)・沈下対策・液状化対策・土留め壁などに利用されている。また、重機等のトラフィカビリティ確保、仮設道路など仮設用途にも利用されている。適用例を図1.5-1に示す。

(1)盛土や擁壁等種々の構造物およびその基礎地盤の安定、液状化対策等



(2)トラフィカビリティ確保、仮設道路、建設発生土の有効利用等

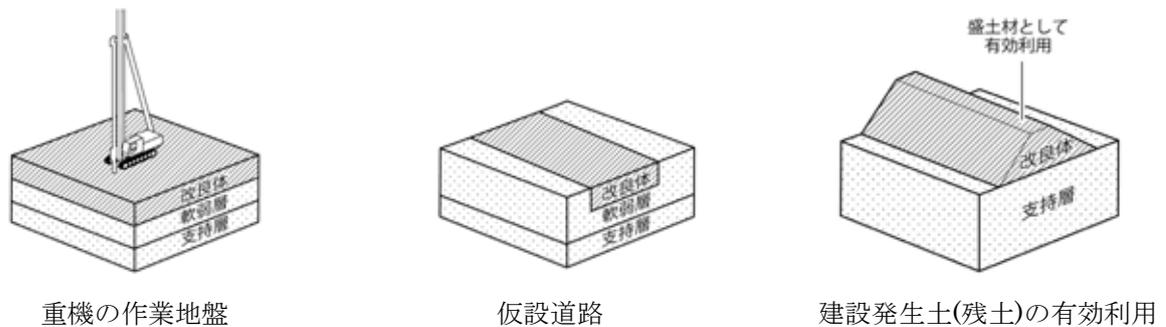


図 1.5-1 適用例

1.5.1 改良形式及び支持形式

改良の平面配置は全面式、帯式(壁式)、格子式、杭式などの改良形式(配置)が可能である。各改良形式の例を図1.5-2に示す。施工可能な最小寸法等は協会に問い合わせいただきたい。

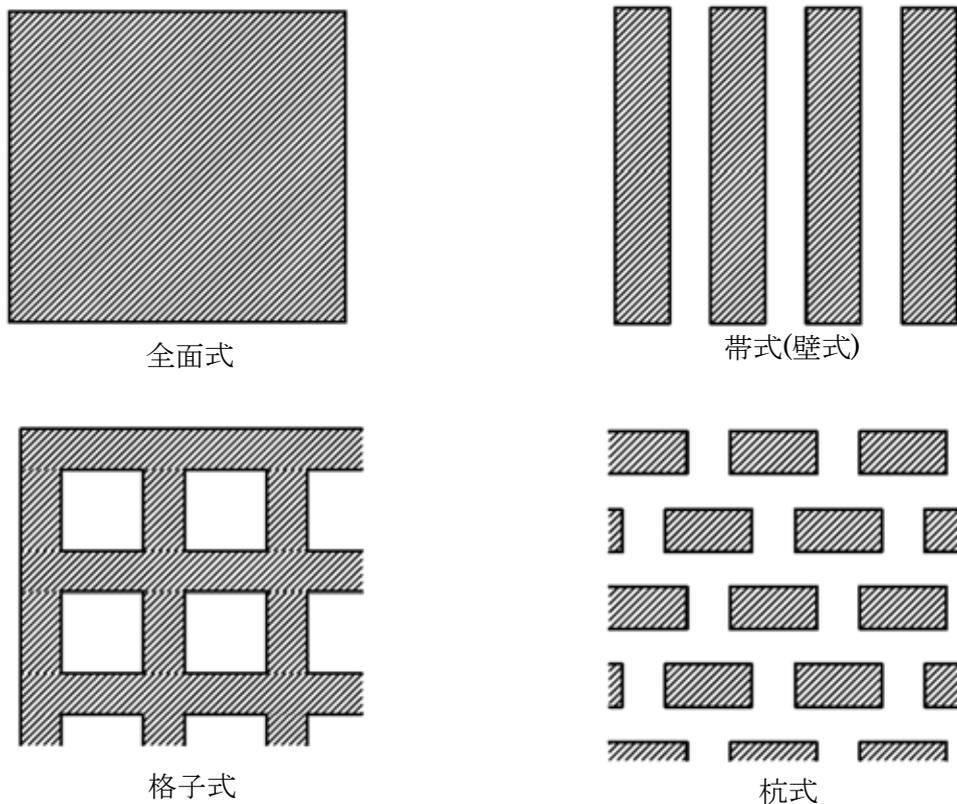


図 1.5-2 改良形式の例

改良下端の支持形式は、支持地盤(安定層)に着底させる「着底型」と、軟弱層を残す「浮き型」がある。支持形式を図1.5-3に示す。

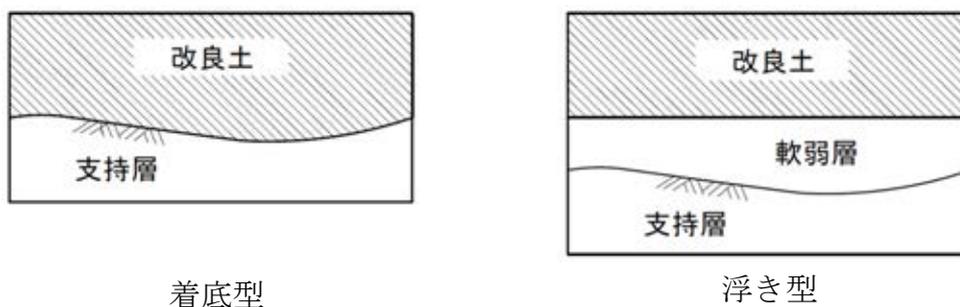


図 1.5-3 支持形式

第2章 事前調査および配合試験

2.1 事前調査

事前調査は、本工法の実施に必要な地盤情報を得るために原地盤の成因、地盤改良の目的および規模を十分に考慮して行う。なお、主な調査内容を以下に示す。

- (1)地層構成 (地層の連続性、支持層の確認、地下水の有無)
- (2)原位置土の性状 (砂質土、粘性土等)
- (3)原位置土の土性 (力学的・物理的諸特性、化学的性質)

2.2 地盤調査項目および事前試験項目

地盤調査により地盤情報を把握することに加え、採取した試料土による室内配合試験を実施する。一般に行われている地盤調査項目を表 2.2-1、事前試験項目を表 2.2-2 に示す。なお室内配合試験における必須項目も表中に示した。

表 2.2-1 地盤調査項目

		試験項目	試験方法	備考
地盤調査	N 値	土の標準貫入試験	JIS A 1219	サウンディング
	Nd 値	簡易動的コーン貫入試験	JGS 1433	
	W_{sw} : 荷重 N_{sw} : 貫入 1m 当りの半回転数	スクリーウエイト貫入試験	JIS A 1221	
	qc: 先端抵抗 fs: 周面摩擦 u: 間隙水圧	電気式コーン貫入試験	JGS 1435	
	コーン指数	ポータブルコーン貫入試験	JGS 1431	
	サンプリング	オールコアサンプリング			試料採取
	孔内水位	ボーリング		地下水位
	極限支持力	地盤の平板載荷試験	JGS 1521	載荷試験

表 2.2-2 事前試験項目

区分	試験項目	試験方法	備考
必須	[土の含水比試験]	JIS A 1203	配合を定める試験
	[土の湿潤密度試験]	JGS 0191	
	[テーブルフロー試験]	JIS R 5201	
	[土の一軸圧縮試験] (改良体強度)	JIS A 1216	
その他	土粒子の密度試験	JIS A 1202	
	土の粒度試験	JIS A 1204	
	土の液性限界・塑性限界試験	JIS A 1205	
	土の一軸圧縮試験	JIS A 1216	
	土の圧密試験	JIS A 1217	
	土懸濁液の pH 試験	JGS 0211		有機質土の場合は必要に応じて実施する。
	土の強熱減量試験	JGS 0221	

2.3 室内配合試験

室内配合試験は施工に先立ち、設計基準強度を満足する改良材の種類と添加量、水セメント比を決定することが目的である。

供試体の作製方法は、地盤工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS 0821)」に準じる。室内配合試験のフローチャートを図 2.3-1 に示す。

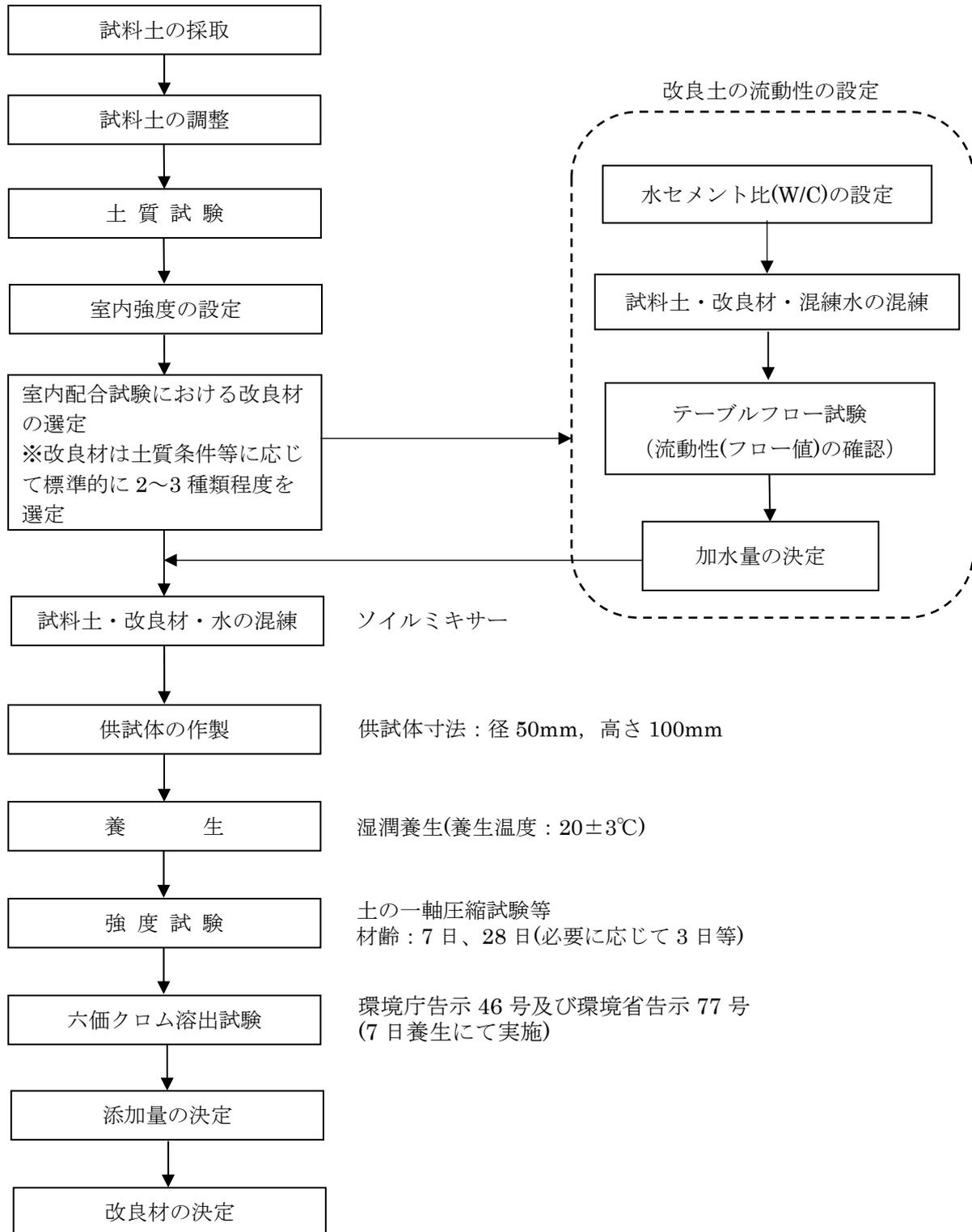


図 2.3-1 室内配合試験のフローチャート

2.3.1 試料採取

配合試験用の試料土採取はボーリングやバックホウなど状況に応じて選択し、本工法の特長である改良深度の全層域を同時に攪拌混合することを考慮し、土層構成を再現できる試料土を採取する。

2.3.2 試料土の調整

土層構成を再現する試料土は、各土層を改良層厚の容積に対する重量比で混合土を作製する。

2.3.3 土質試験

室内配合試験では「土の含水比試験」「土の湿潤密度試験」が必須である。

2.3.4 目標室内強度

室内配合試験における改良土の一軸圧縮強さ(室内強度)と改良機で混合した改良土の一軸圧縮強さ(現場強度)は、現場条件(土質のバラツキや養生条件の相違)などの違いにより、同一配合であっても一般に一致しない。

一般に機械攪拌工法の設計に用いる設計基準強度(q_{uck})は、基本的には改良体全体を代表する現場強度(q_{ud})であればよい。しかし、現場強度(q_{ud})にはバラツキがあること、および現場強度と室内で発揮される一軸圧縮強さ(q_{ul})は一般に異なることを考慮し、現場強度(q_{ud})と室内強度(q_{ul})の関係を下式のように考えることが通常である。

なお設計基準強度、目標室内強度と現場添加量の相関を図 2.3-2 に示す。

$$q_{uck} = \gamma \times \overline{q_{ud}} = \gamma \times \lambda \times \overline{q_{ul}}$$

ここに、

q_{uck} : 設計基準強度

$\overline{q_{ud}}$: 原位置改良土の一軸圧縮強さ(現場強度)の平均値

$\overline{q_{ul}}$: 室内配合試験における改良土の一軸圧縮強さ(室内強度)の平均値

γ : 現場強度係数 設計基準強度(q_{uck})/現場強度の平均値($\overline{q_{ud}}$)

λ : 平均値の比 現場強度の平均値($\overline{q_{ud}}$)/室内強度の平均値($\overline{q_{ul}}$)の比

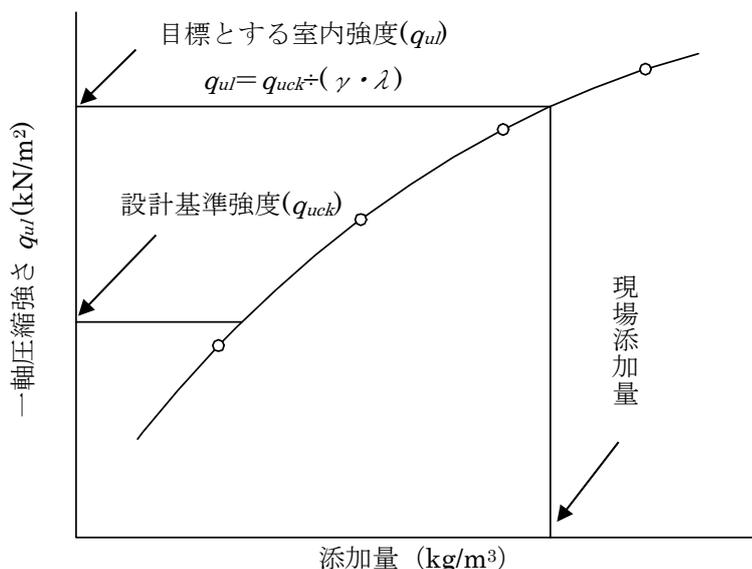


図 2.3-2 設計基準強度、目標室内強度と現場添加量の相関

本技術の $\gamma \cdot \lambda$ の値は実績値で 0.3~0.8 が得られていることから、改良土の設計基準強度と室内強度の関係は次の通りとする。

$$q_{uck} = \gamma \overline{q_{ul}} = \gamma \times \lambda \times \overline{q_{ul}} = 0.3 \sim 0.8 \overline{q_{ul}}$$

- $q_{uck} = 0.3 \sim 0.5 \overline{q_{ul}}$ (本設利用のケースが多い。)
- $q_{uck} = 0.5 \sim 0.8 \overline{q_{ul}}$ (重機足場, 仮設道路等の仮設利用のケースが多い。)

注: $\gamma \cdot \lambda$ の値は、試験施工等で現場毎に求めると、より合理的な配合設計が可能となる。

注: 仮設構造物であっても止水を伴った土留め等では、本設利用の現場/室内強度比を必要とする。

本設利用の場合で、設計基準強度が高強度の場合等は、改良材の添加量が多くなることが多いことから、高い現場/室内強度比としなくても十分な現場強度が得られる実績が多いため、各目的に合わせた現場/室内強度比を検討する必要がある。

建築基礎での配合管理例

(1) 「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—」(以下「指針」と称する)及び「パワーブレンダー工法 技術資料」に基づき管理する。

(2) 配合計画

要求される性能を満足させるために、事前の地盤調査結果を確認した上で、試料土の採取位置や室内配合試験に用いる試料土の設定を適切に行う。室内配合試験は、現場の土層構成を再現できる試料土を用いて、各土層を改良層厚の容積比となる混合土にて実施する。

(3) 材料はセメント及びセメント系固化材を用いたスラリー状固化材とする。

(4) 配合強度

配合強度 X_f は、改良体の現場平均強度が設計要求や品質検査の判定条件などを満足するよう、次式より決定する。割増し係数 α_t は、「指針」を参照し設定する。

$$X_f = F_c \cdot \alpha_t$$

X_f : 配合強度 F_c : 設計基準強度 α_t : 割増し係数

(5) 室内配合強度

室内配合強度 X_1 は、配合強度及び現場/室内強度比から次式より決定する。

現場/室内強度比 α_{f1} は、「指針」の表 4.1.5 を参照し、現場の土質状況に応じて設定する。

なお、正確に土質を把握し、かつその土質に対する既存のデータがある場合は、その結果を用いて添加量を決定することができる。

$$X_1 = X_f / \alpha_{f1}$$

X_1 : 室内配合強度 α_{f1} : 現場/室内強度比

2.3.5 改良材の選定

(1) 土質と改良材

各種改良材は土質との組み合わせにより強度発現に大きな差が出る。セメントはセメント系固化材に比べ安価だが高有機質土や火山灰質粘性土での強度発現が見込めない場合もある。また環境問題からも六価クロム溶出を回避するため溶出の少ない特殊土用固化材等の改良材の選定も考慮する必要がある。経済性の比較も考えると標準的には2~3種類程度の改良材で配合試験を行う事が望ましい。継続工事の様に信頼できる既知のデータがある場合はこの限りではない。

図 2.3-3 は、各土質に対して有効と思われる改良材の種類を上段に示し、下段に土質の砂質土、粘性土、有機質土の一般的な範囲を示したものである。

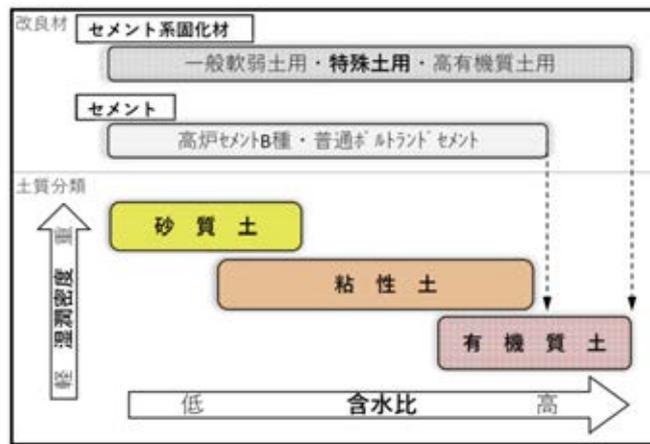


図 2.3-3 土質に対する改良材選定概念図

(2) 室内配合試験の添加量

室内配合試験の改良材添加量は、室内目標強度が得られるおおよその添加量を想定し、その添加量を中心に3水準以上の添加量を設定し試験を行う。

改良材スラリー (W/C=100%) の添加量と一軸圧縮強さの一例を図 2.3-4 に示す。

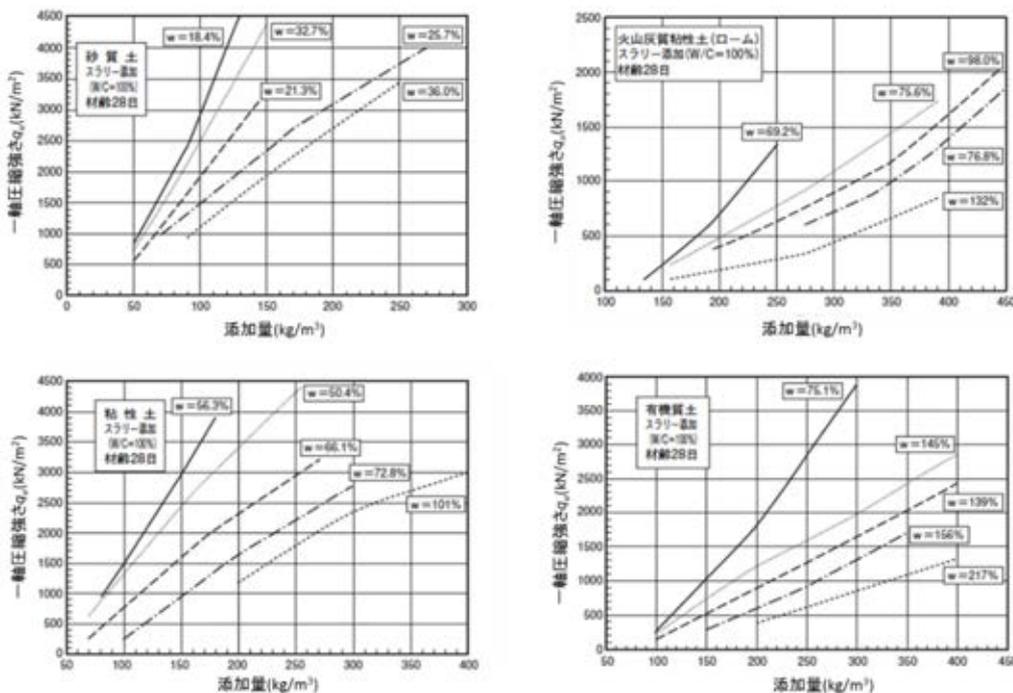


図 2.3-4 スラリー添加の土質別・添加量と一軸圧縮強さの一例 ³⁾一部加筆

注：本事例の改良材の種類は特殊土用固化材による。「w」は含水比を表す。

2.3.6 水セメント比の設定

(1) 目標フロー値の設定

パワーブレンダー工法ではテーブルフロー試験（JIS-R5201）を実施し、改良体の均質性、施工性の望ましい流動値を確保するための水セメント比の設定を行う。

改良深度の増加によるトレンチャへの負荷抵抗を低減させて安定した攪拌混合を行うための改良深度とフロー値の相関グラフを図 2.3-5、テーブルフロー試験器及び試験状況を写真 2.3-1 に示す。

施工可能な最低水セメント比(60%)*にて目標フロー値を上回る場合、最低水セメント比とする。

土質性状、改良目的によっては、目安とする図 2.3-5 の相関グラフに当てはまらない場合がある。油圧モータの圧力変化で対象着底層到達を推定する場合は、フロー値を大きくすることが望ましく、130~135mm 程度とする。詳細については第 3 章 3.6 着底管理を参照いただきたい。

礫の混入が多い場合は試料調整で礫の混入率が低下し現場でのフロー値が大きくなる傾向がある。また、地下水位が低い砂層地盤では逸水によりフロー値が大きく低下する場合がある。事前にフロー値の変化を想定するのが困難なため施工中の水セメント比の変更などで対応する。

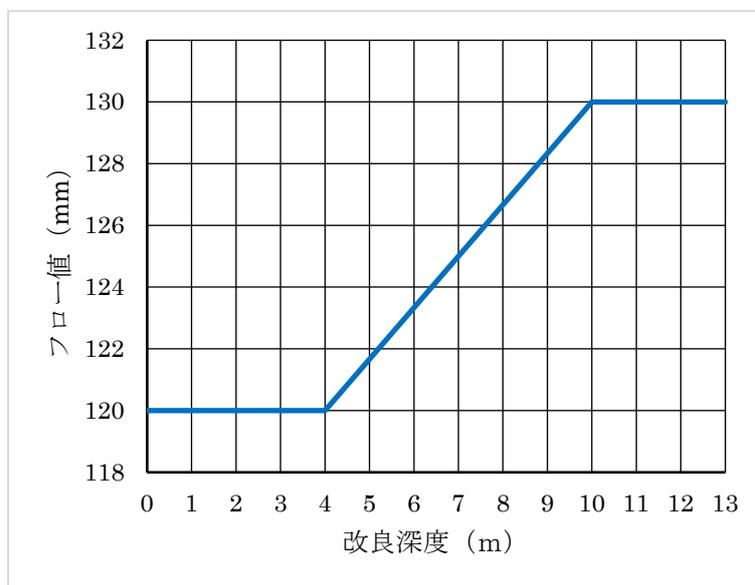


図 2.3-5 改良深度とフロー値の相関

※最低水セメント比は、施工条件（圧送距離、気温が高い施工時期等）によっては、安定した供給ができない場合がある為、現場状況を勘案し設定する必要がある。



写真 2.3-1 テーブルフロー試験器及び試験状況

(2) 推定添加量の水セメント比の設定

推定添加量の水セメント比は、水セメント比を変化させたテーブルフロー試験により決定する。各水セメント比とフロー値のグラフから望ましい流動値と交差する水セメント比を求める。事例としてテーブルフロー試験結果を表 2.3-1、水セメント比とフロー値のグラフを図 2.3-6 に示す。

表 2.3-1 テーブルフロー試験結果

試料土	固化材種類	推定添加量	水セメント比	フロー値(mm)		
				平均値	X	Y
混合土	特殊土用	150kg/m ³	80%	109	108	109
			120%	121	122	120
			160%	134	134	134

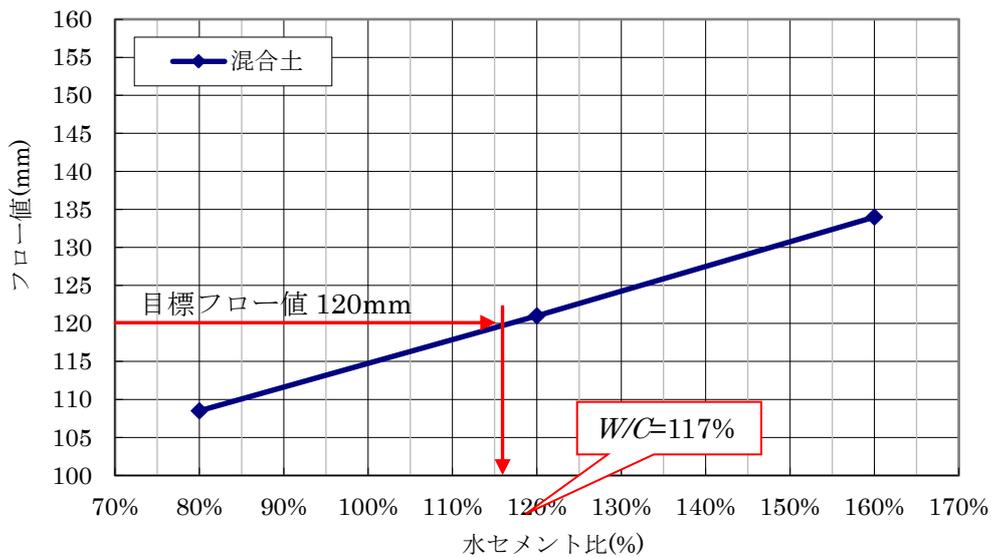


図 2.3-6 水セメント比とフロー値のグラフ

(3) 配合添加量の水セメント比の設定

改良材が水和反応に消費する吸水率(量)は、協会実績値より吸水率 25%とする。

混練水量から吸水量を引いた純加水量を固定し、各添加量の吸水量と合算した混練水量を添加量で除した値が水セメント比となる。

前項の事例、目標フロー値 120mm、推定添加量 150kg/m³の水セメント比 117%の試験結果から、改良材添加量が変化した場合に、フロー値が大きく変化しないよう、純加水量を同一とし、各添加量における水セメント比を計算する。

各添加量の水セメント比を表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 各添加量の水セメント比

添加量 (kg/m ³)	吸水量 (kg/m ³)	純加水量 (kg/m ³)	添加水量 (kg/m ³)	水セメント比	備考
110	27.5	138.0	165.5	150%	計算値
150	37.5	138.0	175.5	117%	テーブルフロー試験結果
190	47.5	138.0	185.5	98%	計算値

【参考】計算事例

添加水量(混練水量) = 添加量 × 水セメント比

吸水量 = 添加量 × 吸水率

純添加水量 = 添加水量 - 吸水量

- ・ 添加量 150kg/m³ (テーブルフロー試験結果)
水セメント比 117% (水セメント比とフロー値のグラフより)
添加水量 = 150kg/m³ × 117% = 175.5kg
吸水量 = 150kg/m³ × 25% = 37.5kg
純添加水量 = 175.5kg - 37.5kg = 138.0kg
- ・ 添加量 110kg/m³
吸水量 = 110kg/m³ × 25% = 27.5kg
添加水量 = 27.5kg + 138.0kg = 165.5kg
水セメント比 = 165.5kg ÷ 110kg/m³ = 1.504 → 150%
- ・ 添加量 190kg/m³
吸水量 = 190kg/m³ × 25% = 47.5kg
添加水量 = 47.5kg + 138.0kg = 185.5kg
水セメント比 = 185.5kg ÷ 190kg/m³ = 0.976 → 98%

2.3.7 改良材の混練

改良材を所定の水セメント比で混練した改良材スラリーと混合土をソイルミキサーにて十分に攪拌混合する。

2.3.8 供試体の作成

供試体の作製方法は「地盤工学会基準の安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS 0821)」とする。

2.3.9 養生

モールドに充填させた改良土は密閉し、恒温恒湿状態で力学試験までの間養生する。

2.3.10 強度試験

改良土の力学試験は一軸圧縮強さによる判定が多く、強度試験方法は JIS A 1216 に準じる。基本的に 3 本の平均値をひとつの試験結果とする。

2.3.11 現場配合量の設定

添加量は改良材の種類や土質の違いにより強度発現に差が生じることから、添加量と改良材単価を乗じて最も経済的で、かつ、六価クロムの溶出が土壤環境基準値(0.05mg/l)を超えない改良材を選定する。

また、改良材スラリーを安定供給することの出来る機械能力から決定する場合もある。

(1) 経済性、六価クロム溶出量の確認

適用可能性のある改良材が複数ある場合、その経済比較および、対象土質において環境基準を満足しているかどうか検討を行う。

【参考】実施例

高炉セメント B 種・特殊土用固化材(六価クロム溶出対策型)・高有機質土用固化材を用いた室内配合の試験結果と改良材比較を表 2.3-3、配合試験グラフを図 2.3-7 に示す。

本事例では、室内強度 500kN/m² の添加量は高炉セメント B 種 153kg/m³、特殊土用固化材 130kg/m³、高有機質土用固化材 127kg/m³の結果から経済的かつ、六価クロムの溶出が基準値を超えていない特殊土用の採用となる。なお改良材の単価は地域により異なるため建設物価等で確認されたい。

表 2.3-3 改良材別比較表

土質	改良材種類	添加量 (kg/m ³)	単価※ (円/kg)	金額 (円/m ³)	経済性	六価クロム 溶出試験	評価
粘性土	高炉セメント B 種(バラ)	153	13.0	1,989	○	×	×
	特殊土用固化材(バラ)	130	17.7	2,301	△	○	○
	有機質土用固化材(バラ)	127	18.7	2,375	×	○	△

※建設物価令和 5 年 4 月の名古屋地区参考単価

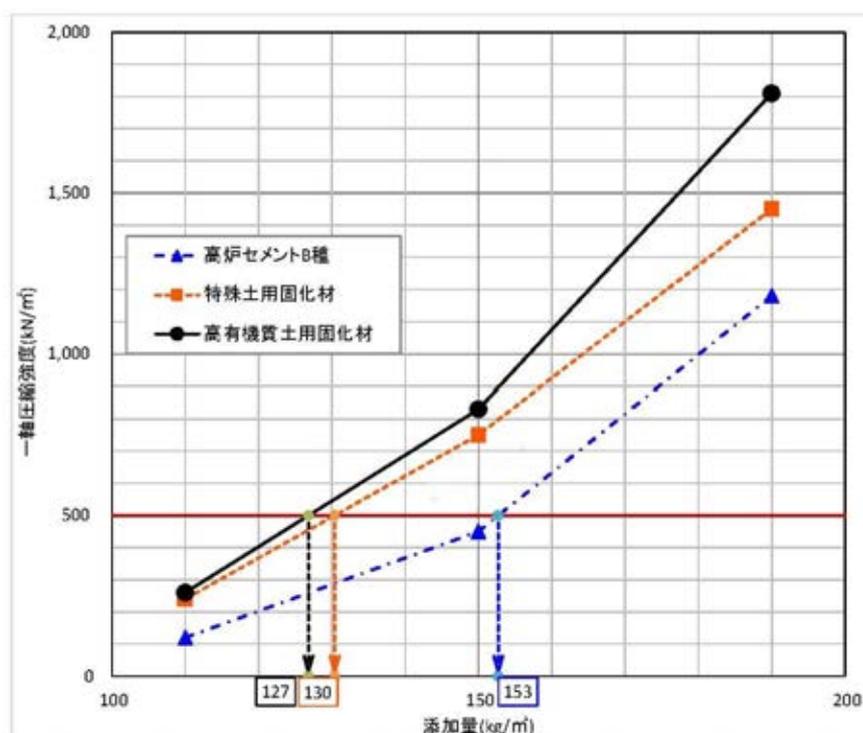


図 2.3-7 配合試験グラフ

(2) 決定添加量の水セメント比の設定例

事例とし、テーブルフロー試験の結果が、目標フロー値 120mm に対し推定添加量 150kg/m³ の水セメント比 117%とした場合、決定添加量に対するフロー値が大きく変化しないよう、純加水量を同一とし、決定添加量における水セメント比を計算する。

添加量が 130 kg/m³ で決定した場合の水セメント比を表 2.3-4 に示す。

表 2.3-4 決定添加量の水セメント比

添加量 (kg/m ³)	吸水量 (kg/m ³)	純加水量 (kg/m ³)	添加水量 (kg/m ³)	水セメント比	備考
150	37.5	138.0	175.5	117%	テーブルフロー試験結果
130	32.5	138.0	170.5	131%	計算値

(3) 吐出量（機械能力）の確認

改良材スラリーを安定供給することができる吐出量がグラウトポンプ能力から決まっており、最低吐出量を 65ℓ/min とする。

事前の室内配合試験より決定された、室内目標強度を満足し、望ましい流動値を確保できる添加量・水セメント比であっても、機械能力から算出される添加量・水セメント比が優先されることがある。

【参考】機械能力から算出される添加量の計算例

- ・室内配合試験より決定された添加量・水セメント比

添加量：70kg/m³

水セメント比：100%

改良材比重：3.06

混練水比重：1.0

時間当り作業量：50m³/h

- ・算出方法

$$1 \text{ m}^3 \text{ 当りのスラリー量} = 70 \text{ kg/m}^3 \div 3.06 + 70 \text{ kg/m}^3 \times 1.0 \div 1.0 \\ \approx 93 \text{ l/m}^3$$

$$1 \text{ 分当りの作業量} = 50 \text{ m}^3/\text{h} \div 60 \\ \approx 0.83 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$1 \text{ 分当りの吐出量} = 93 \text{ l/m}^3 \times 0.83 \text{ m}^3/\text{min} \\ \approx 77.2 \text{ l/min} > 65 \text{ l/min (最低吐出量)}$$

上記条件においては、77.2ℓ/min > 65ℓ/min となり安定供給できる吐出量を満足する。

2.4 六価クロム溶出試験

建設省技調発第 49 号・建設省運営建発第 10 号(平成 12 年 3 月 24 日)「セメントおよびセメント系固化材の地盤改良への使用および改良土の再利用に関する当面の措置について」、国官技第 16 号・国営建第 1 号(平成 13 年 4 月 20 日)「セメントおよびセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験要領(案)の一部変更」により六価クロム溶出試験を行うことが指導されている。

弊協会は指針に準拠した六価クロム溶出試験を実施する。その手順のフローチャートを図 2.4-1 に示す。

なお、「セメント系固化処理に関する検討 最終報告書(案)」が平成 15 年 6 月 30 日にセメント系固化処理土検討委員会から出されているので参照いただきたい。

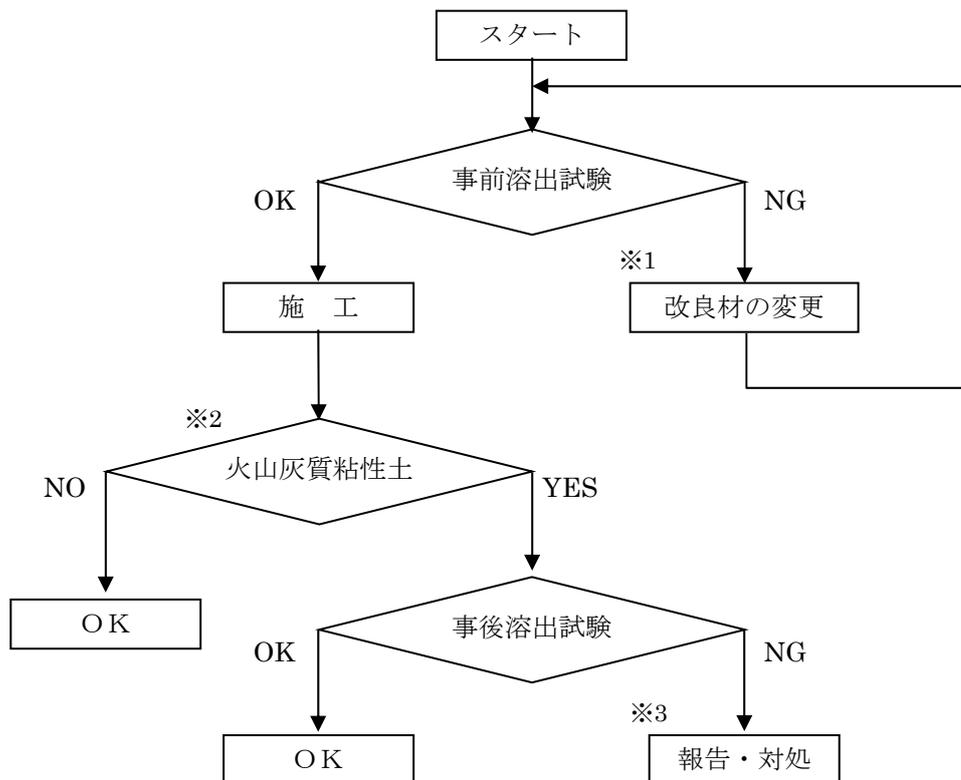


図 2.4-1 六価クロム溶出試験フローチャート

- ※1: 「改良材の変更」については高炉セメント B 種、特殊土用固化材（六価クロム対策型）、高有機質土用固化材（六価クロム溶出量低減型）が使用される。
- ※2: 事前溶出試験で土壤環境基準を超えなかったセメントおよびセメント系固化材を地盤改良に使用する場合、事後溶出試験を実施することを要しない。ただし、火山灰質粘性土を改良する場合は、事前溶出試験結果にかかわらず、事後溶出試験を実施する。
- ※3: 事後溶出試験で土壤環境基準を万が一超えてしまった場合は直ちに発注者へ報告するとともに、改良土中への雨水等の浸透を防ぐことにより、周辺土壌への六価クロム拡散を抑制するとともに、周辺環境に影響がないかモニタリングするなど、適切に対処する。

第3章 施 工

3.1 施工フロー

パワーブレンダー工法は、 $0.8\text{m}^3\sim 1.9\text{m}^3$ (ツピースブーム)クラスの改造型バックホウをベースマシンとし、アタッチメントに油圧駆動させる構造のトレンチャ型の攪拌混合機を装着している。

トレンチャに固定された攪拌翼をリンクの駆動とともに回転させ軟弱土をきめ細かに切削し改良材スラリーと攪拌混合し均質な改良地盤を造成する。

施工にあたり施工・搬入計画を立案するとともに、要求性能を満足するための施工を行う。

標準施工フローを図3.1-1に示す。

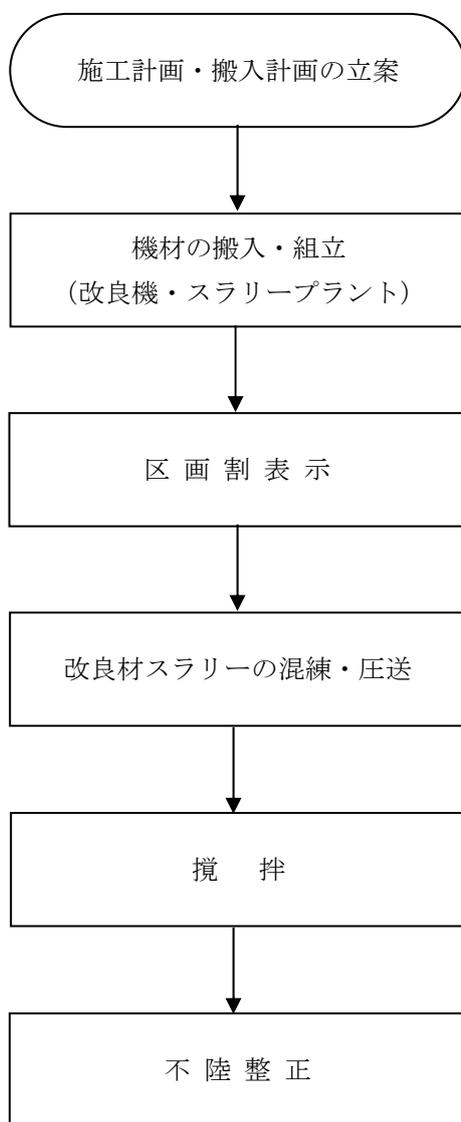


図 3.1-1 標準施工フロー図

3.2 施工機械

3.2.1 機械性能仕様

スラリー噴射方式に用いるパワーブレンダーの性能仕様を表 3.2-1 に示す。なおトレンチャとベースマシン(改造型バックホウ)は施工条件等に応じて適宜、組合せて施工することが可能である。

表 3.2-1 パワーブレンダーの性能仕様(1リンク標準)

ベースマシン (改造型バックホウ)		1.9m ³ クラス (ツピ-ブーム)	1.9m ³ クラス	1.4m ³ クラス	0.8m ³ クラス
トレンチャ		PBT-1100	PBT-900	PBT-700	PBT-400
施工能力	改良標準深度 ^{注1}	13.0m	10.0m	8.0m	5.0m
トレンチャの 仕様・性能	横幅	1.0m ^{注2}			
	厚み	1.0~1.5m			
	長さ	11.0m	9.0m	7.0m	4.0m
	質量	7.0t	6.5t	5.3t	3.0t
	チェーン速度(MAX)	1.9m/sec	1.9m/sec	1.5m/sec	1.5m/sec
	駆動圧力	31MPa			
	攪拌翼ピッチ	0.5~1.2m			
ベースマシン (改造型バックホウ) の仕様・性能	機関出力	270kw	270kw	202kw	122kw
	クローラ接地長	4.47m	4.47m	4.05m	3.66m
	クローラ接地幅	0.6m	0.6m	0.6m	0.6m
	クローラ全幅	3.49m	3.49m	3.19m	2.99m
	登坂能力 ^{注3}	10°	20°	20°	20°
パワーブレンダー 仕様	質量	66.9t	55.4t	41.0t	26.2t
	接地圧力	122kN/m ²	101kN/m ²	83kN/m ²	58kN/m ²
	最大接地圧 ^{注4}	147kN/m ²	121kN/m ²	99kN/m ²	70kN/m ²

注1：带式・格子式・杭式等の改良で攪拌機ヘッドが抵抗になり最大深度が10m程度になる場合がある。

注2：トレンチャは標準の1mの横幅以外に、0.7m~2.0mのサイズがある。

汎用機ではなく適応可能深度や歩掛りが変更するので事前の検討が必要である。

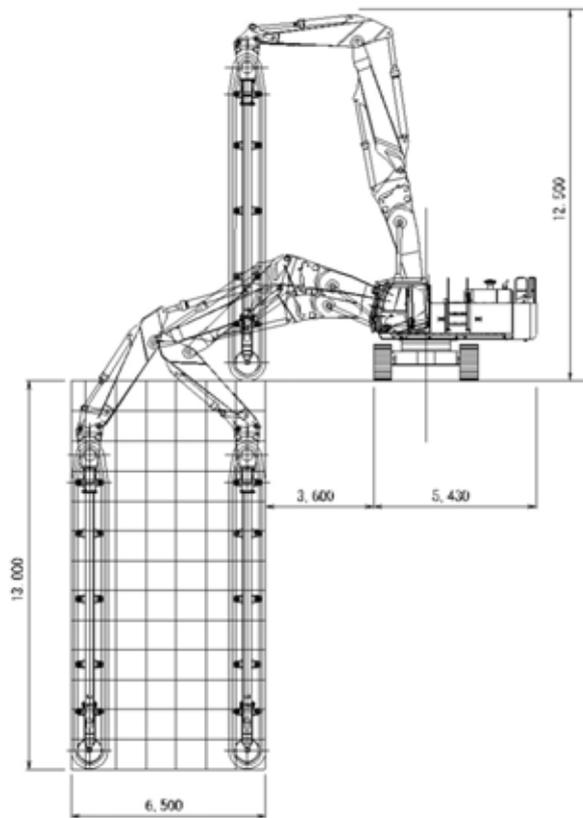
注3：ベースマシンの登坂能力を示し、履帯の沈下や滑動が生じない基面が条件となる。

トレンチャ装着時は安定性を考慮した検討が必要である。

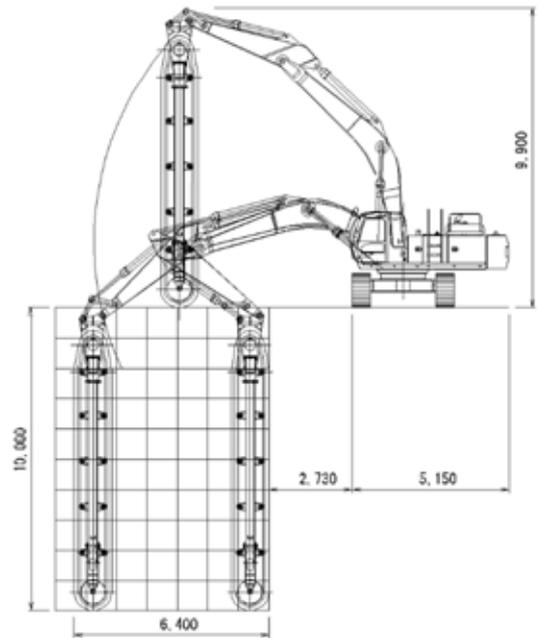
注4：最大接地圧については、本体機の向き等の条件により異なる。

3.2.2 施工範囲

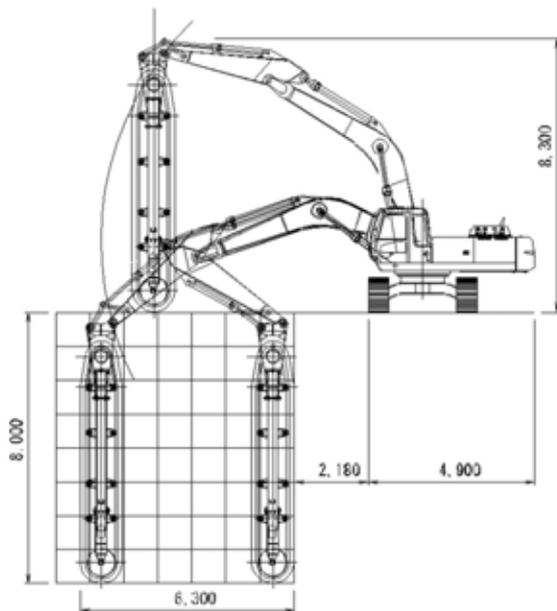
ベースマシンのクラス別の施工範囲と改良機との位置関係を図3.2-1に示す。



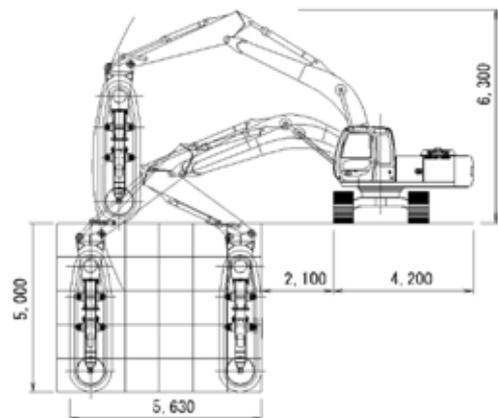
1.9m³クラス (ツビースプーム) PBT-1100



1.9m³クラス PBT-900



1.4m³クラス PBT-700



0.8m³クラス PBT-400

図 3.2-1 ベースマシンクラス別施工範囲

3.2.3 スラリープラント

(1) スラリープラント仕様 (例)

スラリープラントの仕様を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 スラリープラントの仕様 (例)

項目		定置式		車載式
		200ℓ/min 仕様	400ℓ/min 仕様	200ℓ/min 仕様
セメントサイロ		25t 貯蔵		10t 貯蔵
サイロコンベア能力		30t/h	50t/h	30t/h
スラリー プラント	有効貯蔵量	3,000ℓ		
	供給能力	65~180ℓ/min	100~350ℓ/min	65~180ℓ/min
	供給圧力	4.0MPa 以下		
	供給距離	直線距離 200m(揚程 5m 以内)		
発動発電機		150kVA		125kVA

注：車載式プラントを関東圏外で使用する場合は別途運搬費が必要となる。

地域により車載式プラントが適用できない場合がある。

(2) スラリープラント配置例

スラリープラントの設置例を図 3.2-2~4 に示す。組立時にラフテレーンクレーンを使用する為、プラント設置スペース以外にラフテレーンクレーンが設置できるスペースも必要になる。また、ベースマシンとトレンチャの組立スペース及び材料搬入ローリー車スペースは別途とする。施工システムを図 3.2-5 に示す。

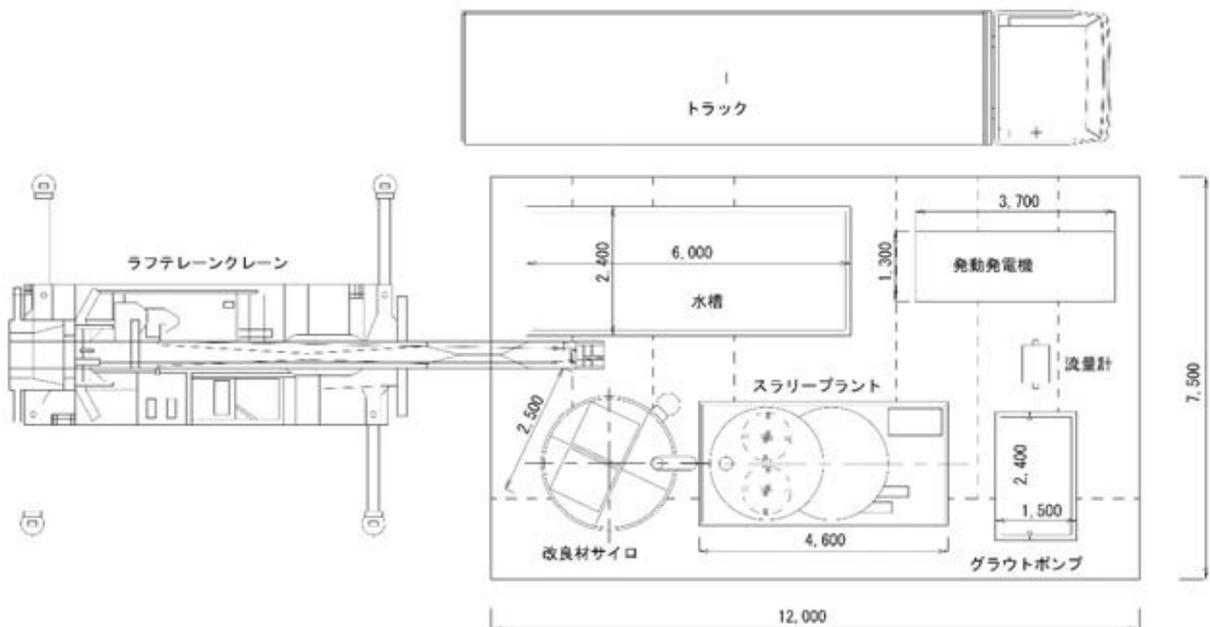


図 3.2-2 スラリープラントの設置例① (定置式プラント・組立)

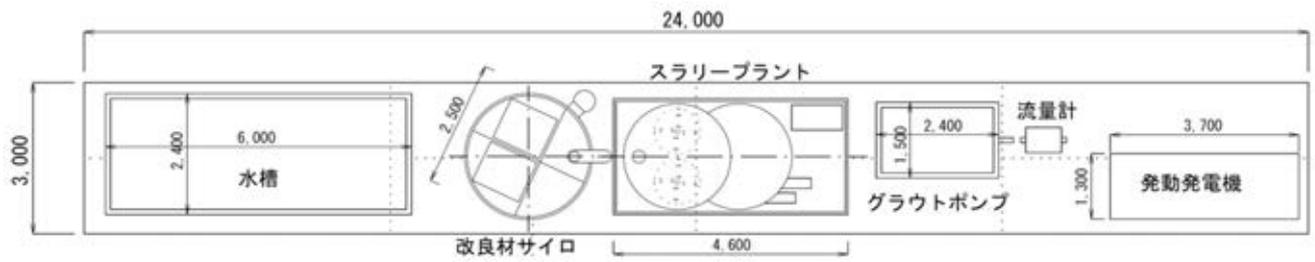


図 3.2-3 スラリープラントの設置例② (定置式プラント)

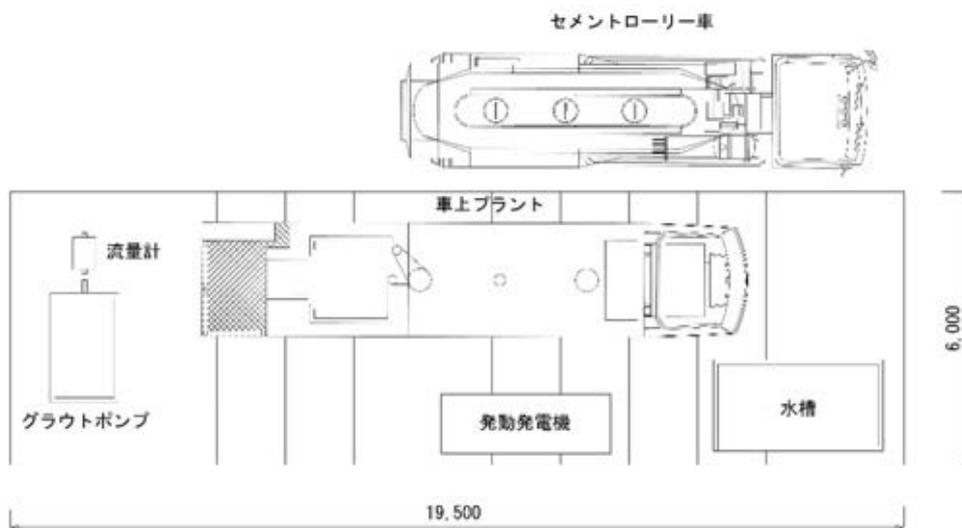


図 3.2-4 スラリープラントの設置例 (車載式・セメントローリー車)

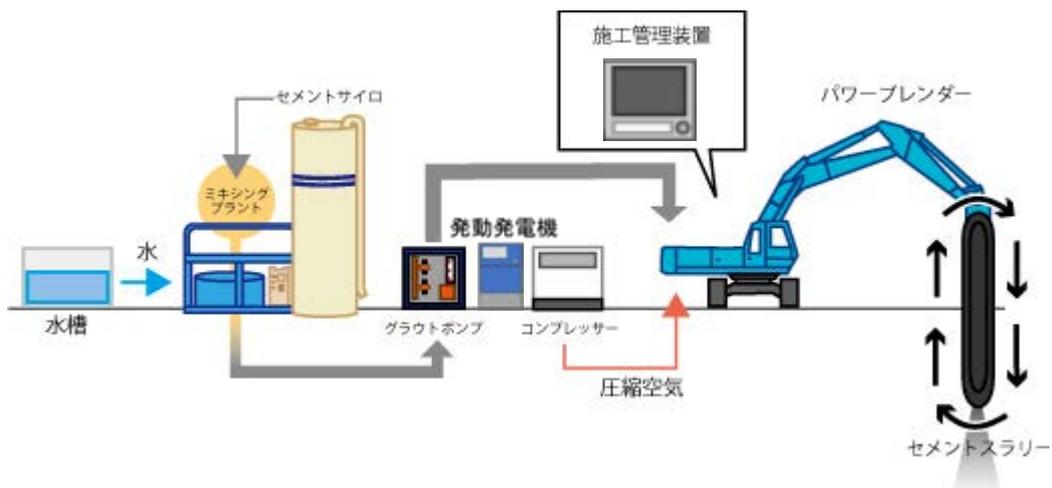


図 3.2-5 施工システム

3.3 施工方法

3.3.1 標準施工手順

標準施工手順を表 3.3-1 に示し、その説明を以下に述べる。

表 3.3-1 標準施工手順

方式 手順	スラリー噴射方式
(1)	機材搬入・組立(改良機・スラリープラント)
(2)	区画割表示
(3)	改良材スラリー混練・圧送
(4)	攪拌混合
(5)	不陸整正

(1) 機材搬入・組立

スラリープラントの設置場所は他の作業に支障が無く堅固な位置とする。
パワーブレンダー本体機とスラリープラントを順次組み立てる。

(2) 区画割表示

施工速度や改良材の使用量を管理するために一定の面積に小分けすることを区画割と称し、区画割番号、区画割面積、改良深度を記載した区画割図を作成する。

区画割寸法は改良深度や機種により異なるが矩形や帯状が多く作業時間を加味した面積とする。
作業現場では石灰などを用いて表示する。

(3) 改良材スラリー混練・圧送

改良材は搬入検収後にサイロに貯留し施工速度に合わせて電子秤で改良材と混練水を計量しミキシングする。ミキシングした改良材スラリーはアジテータに蓄え流量計を介してトレンチャにポンプ圧送し、圧縮空気によるエアー加速型吐出装置より地中に噴射させる。

改良材スラリーの 1 分間当たりの吐出量は、施工速度と添加量、水セメント比により決定する。

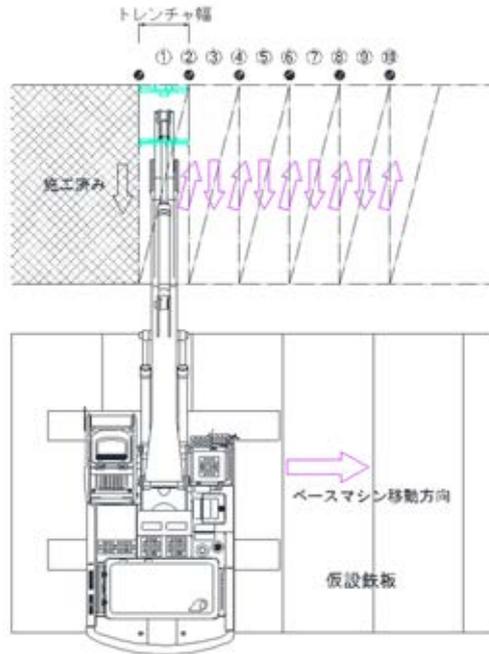
(4) 攪拌混合

攪拌混合は「N字施工」が一般的である。N字施工手順を図3.3-1、攪拌混合状況を写真3.3-1に示す。

N字施工の手順は、原地盤を鉛直方向に攪拌しながら図の矢印方向にトレンチャを水平移動させる。①列が終了すると順次②③・・・⑩と連続施工を行う。

施工条件により、N字施工以外の施工方法を選択し施工する場合もあり、带式・杭式改良の繰返し施工になるが所定の羽根切り回数を満足していれば問題はない。

平面図



側面図

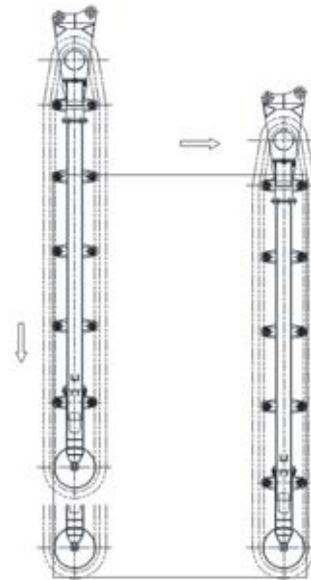


図 3.3-1 N字施工の手順図



写真 3.3-1 N字施工攪拌混合状況

(5) 不陸整正

施工後の改良体は土質や添加量などによる相違はあるものの、改良材スラリー注入量の0～130%程度盛り上がる事が多い。そのため攪拌混合後の地表面はバックホウで押さえながら不陸を取り、雨水などが溜まらないようにする。また必要に応じて表面排水用の素掘り側溝などの対策をとることもある。

3.4 施工管理

施工手順及び管理項目を図 3.4-1 に示す。

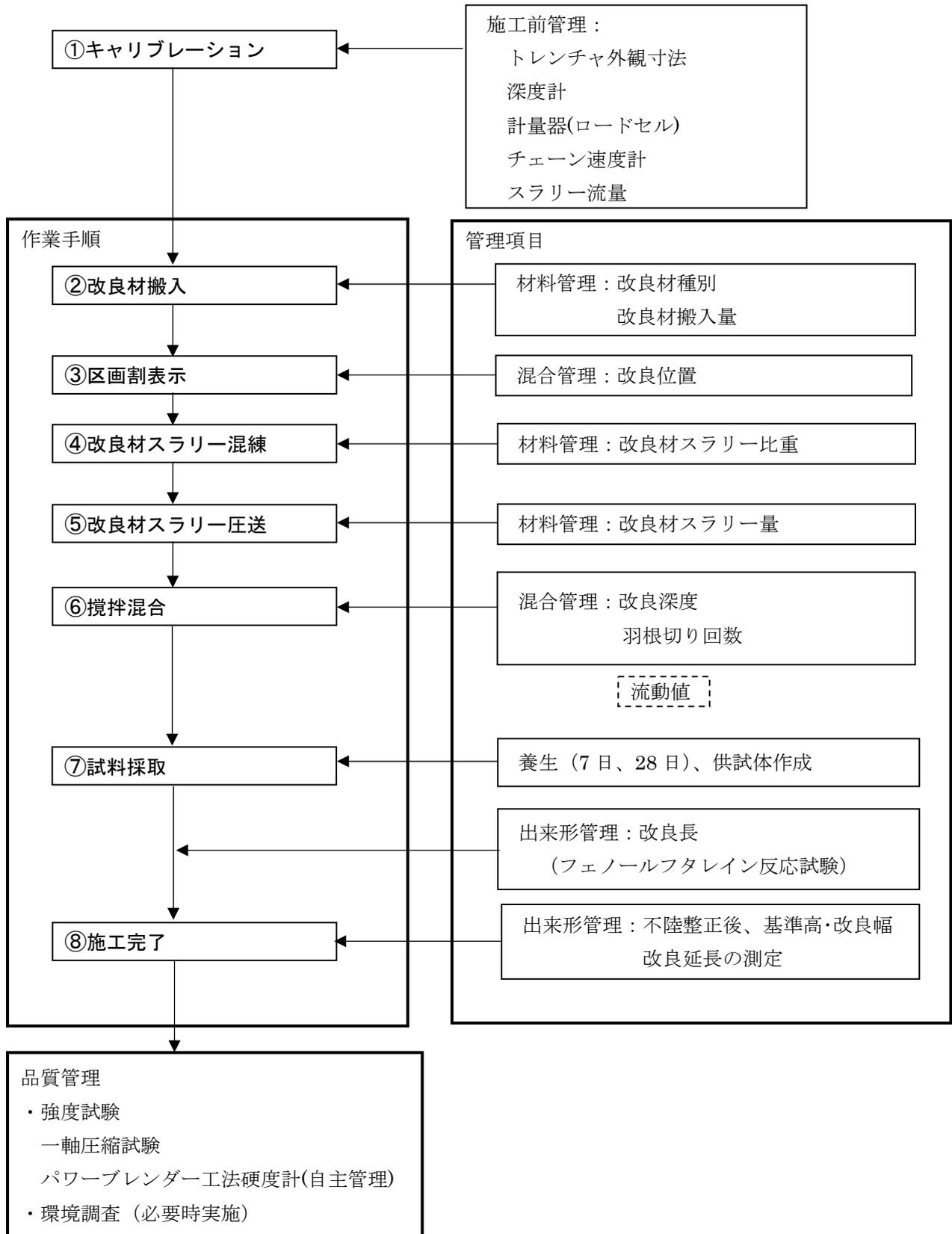
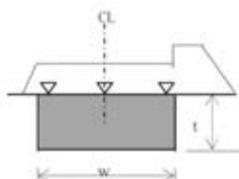


図 3.4-1 施工手順及び管理項目

表 3.4-1 施工管理一覧

管理項目	管理内容	規格値	測定頻度	管理手段	記録報告方法
施工前管理	トレンチャ外観寸法	実測値の確認	1回/施工前	メジャー等	記録写真
	深度計	実測値に設定		メジャー等	記録写真
	計量器(ロードセル)	実測値に設定		ウェイト	記録写真
	チェーン速度計	実測値に設定		チェーン移動距離	記録写真
	スラリー流量計	実測値に設定		計量容器	記録写真
混合管理	改良位置	—	全区画割	測距儀	区画割図
	改良深度	設計値以上		施工管理装置 残尺測定	施工日報 記録写真
	羽根切り回数	50回/m ² 以上		施工管理装置	施工日報
材料管理	改良材スラリー量	設計値以上	全区画割	施工管理装置 流量計	チャート紙
	改良材スラリー比重	設計値±2%	1回/日以上	比重計 (マッドバランス)	データシート 記録写真
	改良材搬入量	—	毎日	納品伝票	伝票台帳
	改良材品質	JIS規格又は、メーカー基準	1回/月	ミルシート	試験成績表
品質管理	改良体の強度確認	方法① 各供試体の試験結果は改良地盤設計強度の85%以上 1回の試験(3個の供試体の試験平均値)結果は設計基準強度以上とする。 ^{*1}	1回/1,000m ³ ～4,000m ³	試料採取器またはボーリング (補助計測：パワーブレンダー工法硬度計) 試験は改良体について上、中、下それぞれ1供試体で1回とする。	試験報告書 記録写真
		方法② 設計基準強度ごとの改良域全体における特性値は、設計基準強度以上とする。 ^{*2}			
	深度方向の品質確認(均質性) ^{*1}	採取された改良体、上中下において連続され改良されている事		試料採取器またはボーリング 採取コアにフェノールフタレイン反応試験による均質性の目視確認	記録写真
	六価クロム溶出量 ^{*3}	0.05mg/l以下	1回/配合試験時	火山灰粘性土は事後の六価クロム溶出試験及びタンクリーチング試験は必須である。	試験報告書
出来形管理 ^{*1}	基準高▽ (改良後の出来上り高さ) (掘削工は別途)	設計値以上	1箇所/1,000m ³ ～4,000m ³ 又は 1回/延長40m(測点間隔が25mの場合50m)	測量	データシート 記録写真
	施工厚さ t	設計値以上	1,000m ³ 以下 施工延長40m(50m)以下	施工時の改良深度の確認を出来形とする。	記録写真
	幅 w	設計値以上	2回/1施工箇所		出来形管理図
	延長 L	設計値以上	「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」による管理の場合は全体改良範囲図を用いて、施工厚さ t、幅 w、延長 L を確認(実測は不要)		

※1：引用文献：土木工事施工管理基準および規格値 令和5年3月31日改定 国土交通省（参考資料添付）

※2：引用文献：パワーブレンダー工法の品質管理方法に関する検討報告書 平成22年12月
社団法人建設機械化協会 施工技術総合研究所

※3：引用文献：国官技第16号 国営建第1号 平成13年4月20日 国土交通省

建築での品質検査例

(1) 実施項目

・ボーリングコア：1箇所以上／計画建築物とし、可能な限り試験施工箇所を実施する。また、コア全長に対しての採取率が粘性土で90%以上、砂質土で95%以上となることを確認する。なお、1m当たりのコア採取率は上値の-5%とする。

・調査箇所：原則として総改良面積に対し100～200㎡につき1箇所、配合条件や施工条件が異なる箇所では1箇所以上の調査箇所を設け、平面的に偏りが無いように設定し、各検査手法に基づくサンプリングを行う。

その際、供試体の採取位置が深度方向に偏りが無いようにサンプリングを実施する。

(2) 合格判定

①検査手法A若しくは検査手法Bに基づく品質検査

②改良体の品質は、現場で採取した供試体の一軸圧縮強さを以って確認する。

③一軸圧縮強さの平均値と合格判定値の大小関係を比較することで合否判定を行う。

$$\bar{X}_N \geq X_L = F_c + k \cdot \sigma$$

\bar{X}_N : 平均一軸圧縮強さ (kN/m²)

X_L : 合格判定値(kN/m²)

F_c : 設計基準強度(kN/m²)

K : 合格判定係数(検査手法Aは採取箇所数より変動、検査手法Bは1.3)

σ : 標準偏差(検査手法Aは設計で想定、検査手法Bは採取した供試体による。)

① キャリブレーション

施工に先立ち施工機の形状並びに計測機器の測定値を確認する。

② 改良材搬入

改良材の入荷車両の入荷伝票により、種別・数量の確認を行う。

③ 区画割表示

改良材添加量並びに使用量を管理するために、一定の面積に小分けすることを区画割りと言い、区画割は事前に区割番号並びに計画改良深度を明示し、現地測量を行い改良位置の確認表示を行う。

④ 改良材スラリー混練

スラリープラントにて改良材と混練水を混練し、改良材スラリー比重を比重計（マッドバランス）にて確認する。

【参考】改良材スラリー比重管理例

条件	① 水セメント比	131%
	② 改良材	600kg
	③ 改良材比重	3.06
	④ 混練水	786ℓ
	⑤ 混練水比重	1.00

マッドバランス



1 バッチ当たり改良材スラリー練り上がり量 = $600/3.06 + 786/1 = 982ℓ$

改良材スラリー比重 = $(1.0 + 1.31) / (1/3.06 + 1.31) = 1.41$

規格値：1.39~1.43 (±2%)

⑤ 改良材スラリー圧送

改良材スラリーは流量計により1分間辺りの吐出量と各区割の総吐出量を管理する。
スラリーチャート紙模式図を図3.4-2に示す。

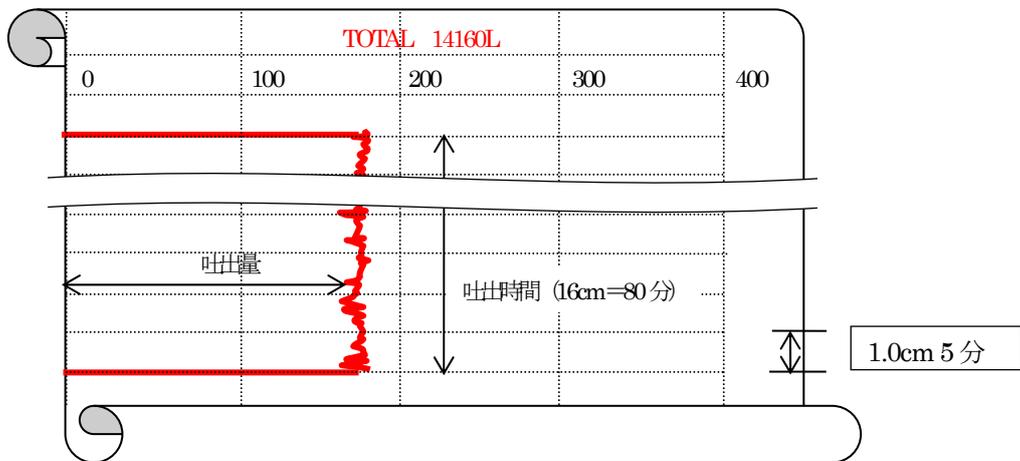


図 3.4-2 スラリーチャート紙模式図

・ チャート紙の見方

吐出量(ℓ/min) = 177(ℓ/min)

吐出時間(min) = 5(min/列) × 16(列) = 80(min)

総吐出量(ℓ) = 177(ℓ/min) × 80(min) = 14,160(ℓ)

【参考】 1 分間当たりの改良材スラリー吐出量計算例

条件	①時間当たり作業量	50m ³ /h
	②改良材添加量	130kg/m ³
	③水セメント比	131%

$$\begin{aligned} \text{1分間当たり改良材スラリー吐出量} &= ((130 \times 50) / 3.06 + 130 \times 50 \times 1.31) / 60 \\ &= 177 \ell / \text{min} \end{aligned}$$

⑥ 攪拌混合

(1) 改良深度管理

改良位置を確認後、トレンチャの鉛直性を傾斜計で確認しながら貫入する。改良深度は施工管理装置の深度計にて管理する。

基準高管理の場合は、基準高をレベル計測し、回転レベル計とレベルセンサーを用いてトレンチャ高さを一定に保つことで、施工機械据付基面の不陸に関係なく改良下端の計画高さを管理する。改良深度管理要領を図 3.4-3 に示す。

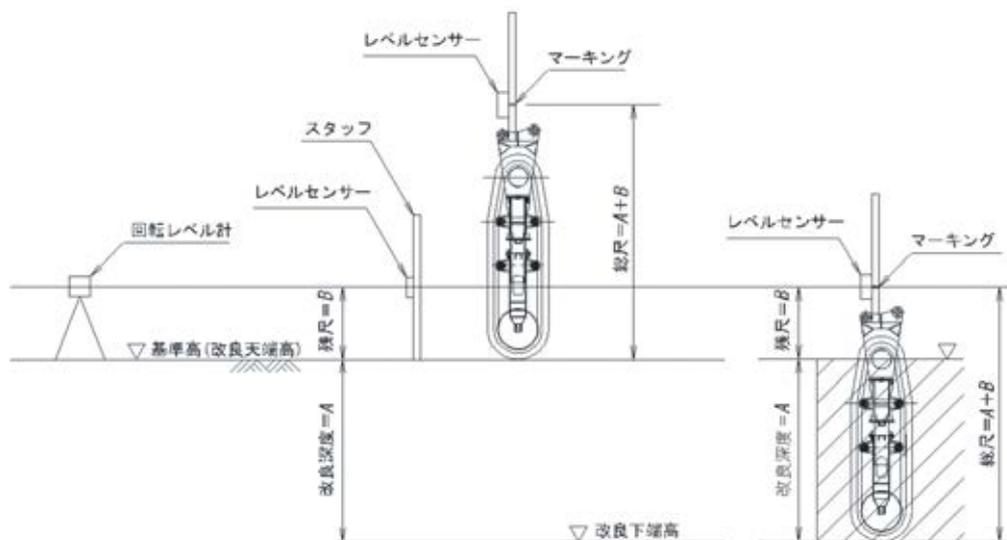


図 3.4-3 改良深度の管理要領

- 1) 仮 BM などから回転レベル計の標高を確認する。
- 2) 回転レベル計の標高(残尺 B)と改良深度(A)を合計(総尺)した高さにレベルセンサーをトレンチャに取り付ける。
- 3) 改良天端高にトレンチャ先端を合わせ、0セットする。
- 4) オペレータはトレンチャが所定深度に達していることを深度計とレベルセンサーの両方を確認して操作する。

(2)羽根切り回数管理

攪拌混合の度合いを示す指標を羽根切り回数といい、トレンチャ側面の改良断面積 1m^2 における攪拌翼の通過回数で表す。

本技術の混合攪拌の管理基準を設定するために羽根切り回数の変化に伴う改良強度のバラツキ(変動係数)を実験により確認した。

図 3.4-5 に示す羽根切り回数と一軸圧縮強さの実験データより $37.5\text{回}/\text{m}^2$ の変動係数は 0.4 を超えているが、 $50\text{回}/\text{m}^2$ では変動係数 0.23 と良好な結果を得た。

この結果より、本工法ではバラツキの少ない品質を得るための管理基準値として、羽根切り回数 $50\text{回}/\text{m}^2$ 以上と設定した。

実験条件

改良深度 : 4.0m

土質 : 砂混りシルト

自然含水比 : 平均 110%

添加量 : $150\text{kg}/\text{m}^3$

水セメント比 : 1.0

改良材種類 : セメント系固化材(一般軟弱土用)

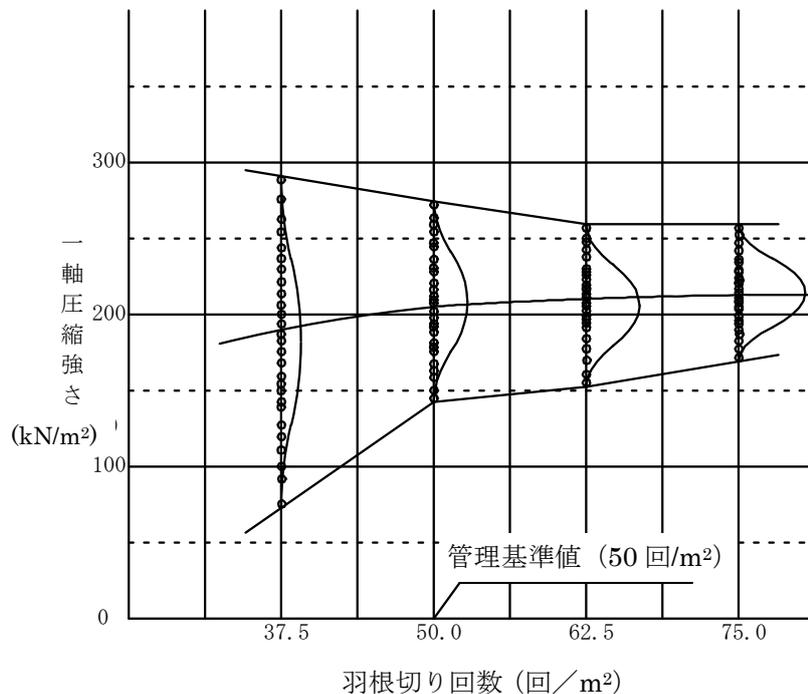
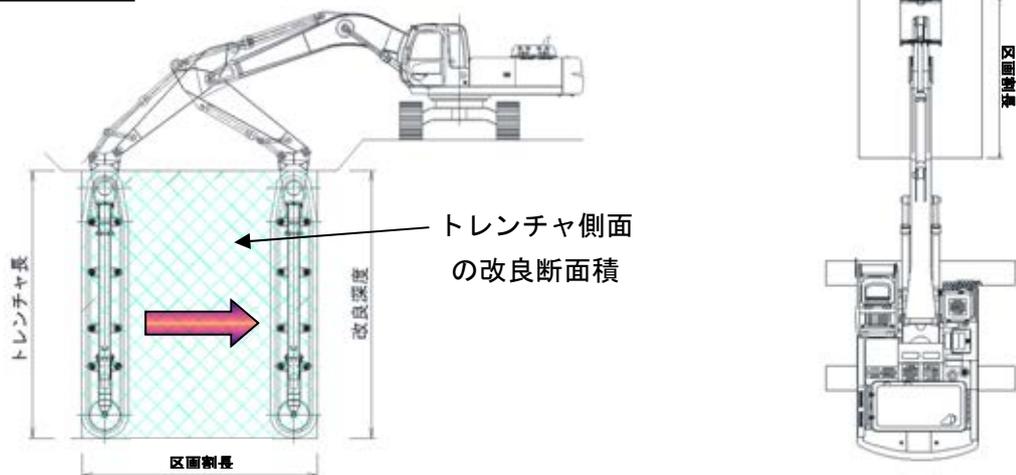
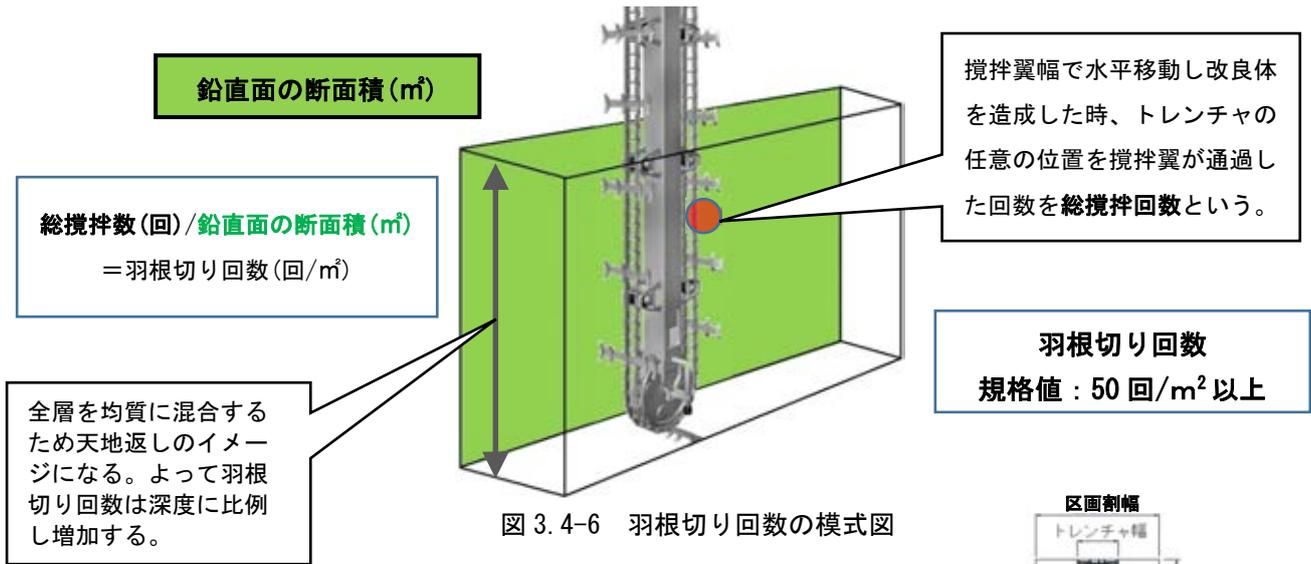


図 3.4-5 羽根切り回数と一軸圧縮強さの実験データ

羽根切り回数の模式図を図 3.4-6、計算に用いる諸元を図 3.4-7、羽根切り回数の算出式を枠内に示す。なお羽根切り回数は区画割毎の管理とする。



羽根切り回数の算出式

$$\text{羽根切り回数(回/㎡)} = 1 \text{ 区画割の総攪拌回数(回)}^{\text{※1}} \div \left\{ \text{改良断面積(㎡)}^{\text{※2}} \times \frac{\text{区画割幅(㎡)}}{\text{トレンチャ幅(㎡)}} \right\}$$

※1：1 区画割の総攪拌回数は1 区画割の施工時間に土中を攪拌した攪拌翼の総回数を表し次式で算出する。

$$1 \text{ 区画割の総攪拌回数(回)} = \text{チェーン累積移動距離(㎡)}^{\text{※3}} \div \text{攪拌翼ピッチ(㎡/枚)}$$

※2：改良断面積は改良体をトレンチャ側面から見た面積である。

$$\text{トレンチャ側面の改良断面積(㎡)} = \text{区画割長(㎡)} \times \text{改良深度(㎡)}$$

※3：チェーン累積移動距離は1 区画割の施工時間にチェーンが移動した総距離であり、『施工管理装置』により計測・記録される。

注 1：トレンチャ長が改良深度より短い場合のみ、算出される羽根切り回数を(トレンチャ長/改良深度)の割合で減じる。

注 2：区画割幅はトレンチャ幅の整数倍を基本とする。しかし、区画割幅がトレンチャ幅の整数倍と
ならない場合には、区画割幅をトレンチャ幅にて除した値を切り上げた値にて計算する。

注 3：チェーン累積移動距離について、瞬時のチェーン速度が一定でないため、1 区画割の混合攪拌が終わった段階での施工管理装置モニタに表示されている数値とする。

【参考】羽根切り回数の算出事例

① 算出条件

1.4m³クラス、PBT-700、改良深度より長いトレンチャを使用。

- ・ 1区画割(ブロック) 平面 4.8m(区画割幅)×4.0m(区画割長)、改良深度 6.0m
- ・ トレンチャ側面の改良断面積 4.0m×6.0m=24.0m²
- ・ トレンチャ幅 1.0m
- ・ 攪拌翼ピッチ 1.03m/枚

② 施工管理記録

施工管理記録（累積移動距離）を、表 3.4-2 に示す。

表 3.4-2 施工管理記録（累積移動距離）

管理内容	施工管理記録
1区画割のチェーン累積移動距離	11,000m

③ 羽根切り回数

$$1 \text{ 区画割の総攪拌回数 (回)} = \text{チェーン累積移動距離 (m)} \div \text{攪拌翼ピッチ (m/枚)}$$

$$= 11,000(\text{m}) \div 1.03(\text{m/枚}) = 10,679.6(\text{回})$$

$$\text{トレンチャ側面の改良断面積 (m}^2\text{)} = \text{区画割長(m)} \times \text{改良深度(m)}$$

$$= 4.0(\text{m}) \times 6.0(\text{m}) = 24.0(\text{m}^2)$$

$$\text{羽根切り回数 (回/m}^2\text{)} = 1 \text{ 区画割の総攪拌回数 (回)} \div \{ \text{改良断面積(m}^2\text{)} \times \frac{\text{区画割幅(m)}}{\text{トレンチャ幅(m)}} \}$$

※切上整数値とする。

$$= 10,679.6(\text{回}) \div \{ 24.0(\text{m}^2) \times 4.8(\text{m}) \div 1.0(\text{m}) \} = 10,679(\text{回}) \div \{ 24(\text{m}^2) \times 5 \}$$

$$\doteq 89(\text{回/m}^2) > 50 \text{ 回/m}^2 \quad \cdots \text{ OK}$$

よって 50 回/m² 以上を満足する結果となっている。

(3) 施工管理装置

施工管理精度の向上を目的に施工管理装置を導入している。本装置はチェーン速度、チェーン累積移動距離、改良深度等を運転席にてモニタリングし、所定のデータをデジタル媒体に保存する。

水平位置のナビゲーションを行う事が可能で精度の高い施工が行える。また、流量の表示も可能な管理装置もある。

モニタリング施工管理装置を写真 3.4-2、計測項目（施工管理項目）を表 3.4-3 に示す。



写真 3.4-2 施工管理装置

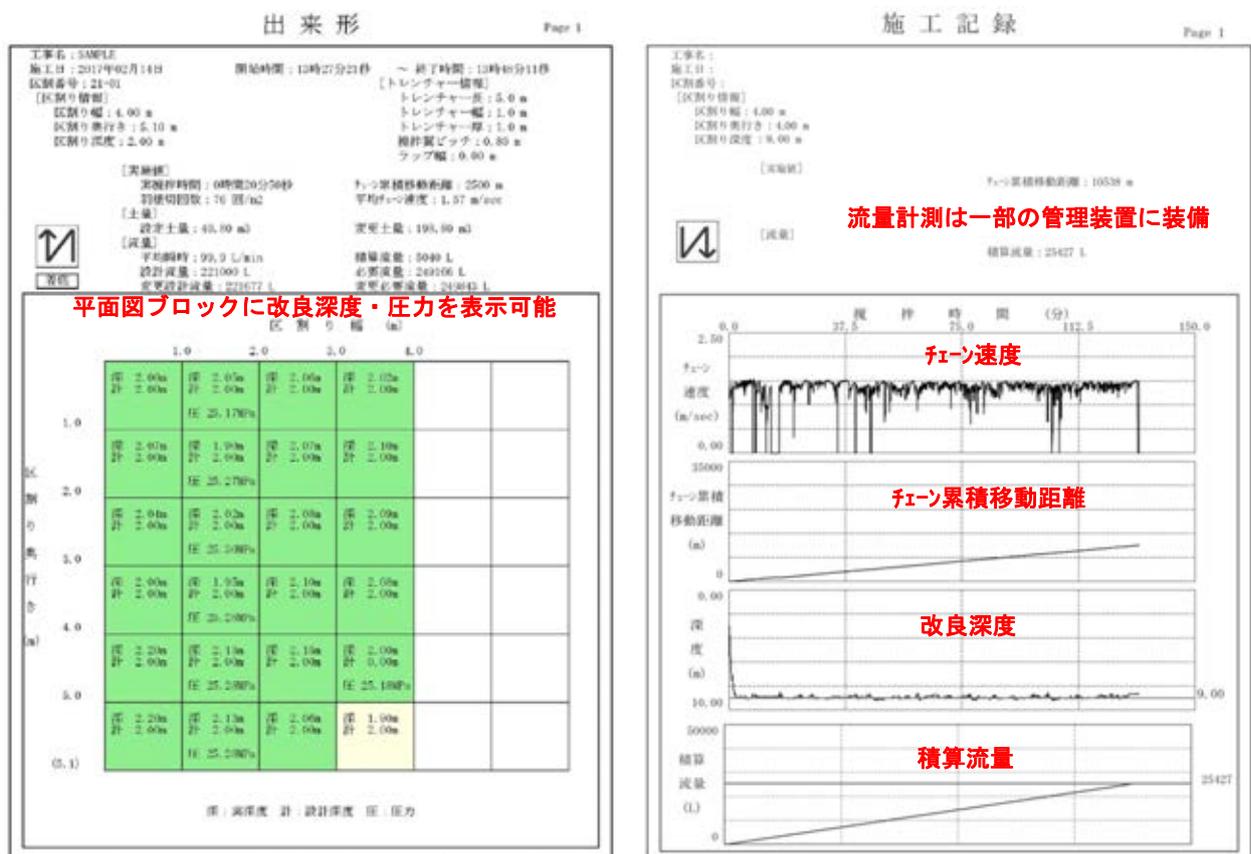
表 3.4-3 計測項目

計測項目	施工管理装置		摘要
	表示	記録	
深度	○	○	改良深度
チェーン速度	○	○	
チェーン累積移動距離	○	○	羽根切り回数
圧力	○	○	着底管理
掘進速度	○	—	
水平位置	○	—	
水平位置ナビゲーション	○	—	
瞬時流量※	○	○	
流量積算※	○	○	スラリー流量

※一部の管理計に装備

【参考】施工管理記録

施工管理記録チャート(自主管理チャート)の例を図 3.4-7 に示す。



平面図ブロックに改良深度・圧力を表示可能

流量計測は一部の管理装置に装備

図 3.4-7 施工管理記録チャートの例

施工日報の例を図 3.4-8 に示す。

施工管理日報												
工事名:○○○○○○○○工事												
施工日:平成○年○月○日												
区割番号	区画割寸法(m)			面積 (m ²)	土量 (m ³)	設計添加量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	固化材量(kg)		スラリー量(%)		備考
	平均幅	平均延長	改良深度					設計値(1)	実施値(2)	設計値(3)	実施値(4)	
1-1	4.00	4.00	4.00	16.00	64.00	130	131	8,320	8,653	13,619	14,160	
1-2	4.00	4.00	7.00	16.00	112.00	130	131	14,560	15,142	23,832	24,800	
2-1	4.00	4.00	9.00	16.00	144.00	130	131	18,720	19,469	30,641	31,859	
日計				48.00	320.00			41,600	43,264	68,092	70,819	

図 3.4-8 施工日報の例

【参考】流動値管理

パワーブレンダー工法では改良体の均質性、施工性の望ましい流動値を確保するためにフロー値を設定し水セメント比を決定している。しかし、実施工では含水の変化や逸水、粒度分布の変化等によりフロー値が変動する。

現場状況においては改良土の流出を防ぐためにフロー値を大きく出来ない現場や原土の含水が大きく低下した時や逸水により攪拌が困難になる場合があり水セメント比を変更しフロー値の調整が必要な場合がある。

水セメント比を変更する場合は対象土質が様々であるため、改良土の状態や羽根切り回数、攪拌状況から各現場において十分な検討を行い適宜判断する。また、パワーブレンダー工法硬度計などにより早期強度の確認を行う。

⑦試料採取

(1) サンプルング方法

パワーブレンダー工法による地盤改良の品質管理試験として、室内試験を実施する場合のサンプルング方法としては、以下の二種類がある。ここでは、2)の試料採取器によるサンプルングについて詳述する。

1) オールコアボーリングによるサンプルング

固化系の地盤改良で一般的に行われるサンプルング方法である。連続してサンプルングを行い、適切な個所を選んで供試体を作成し、試験に供する。

2) 試料採取器を用いたサンプルング

このサンプルング方法は、特許技術で、攪拌混合直後の流動化した状態の改良土に、クレーン機能付バックホウによりモールド付試料採取器を建込み、所定深度まで挿入後に引き抜くことにより、未固結の試料を採取する方法である。

試験は所定の養生期間後に実施するため、採取したモールドを含水比が変化しないようにラッピングし所定の期間養生する。

この方法は、オールコアボーリングによるマイクロクラックなどの乱れの影響を避けられるという点では試料の特性を適切に評価できる可能性がある。

試料採取器によるサンプルング手順を図 3.4-9、モールド付試料採取器を写真 3.4-3、モールド採取完了状況を写真 3.4-4 に示す。

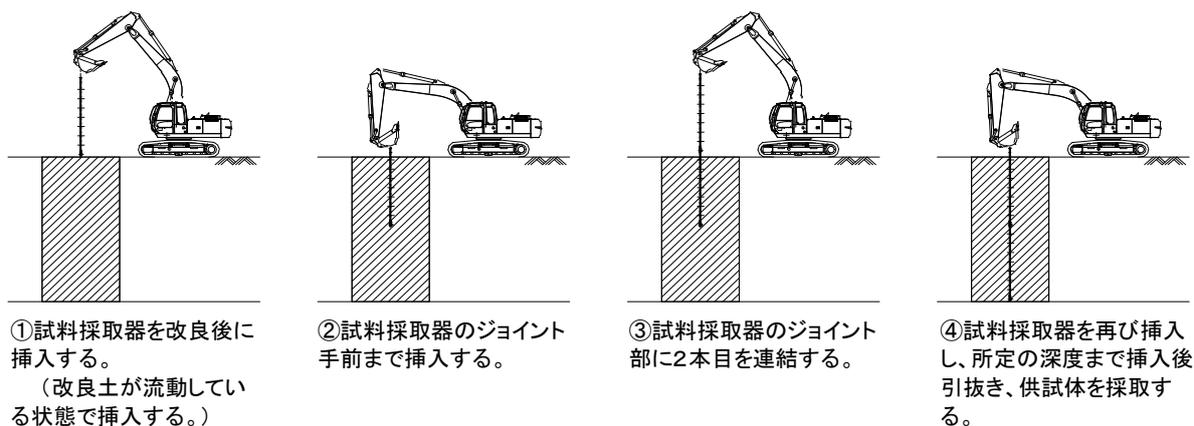
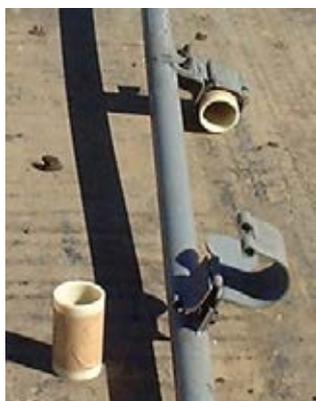


図 3.4-9 試料採取器によるサンプルング手順



(2) パワーブレンダー工法硬度計

パワーブレンダー工法硬度計は試料採取を行わなくても原位置での現場強度の確認を簡易的に行う事が可能である。

早期強度確認が行えると共に一軸圧縮強さを必要性能の照査に用いる際に、サンプル数を増やすための方法として活用する事も考慮し開発された。

この硬度計は、コーン先端を貫入させる際の貫入抵抗と一軸圧縮強さの相関を前もって求めてあり、換算一軸圧縮強さを簡単に求めることができる。

パワーブレンダー工法では“新しい品質管理方法の提案”に示すように、確率・統計的アプローチにより、合理的に改良体全体の特性値を推定する新しい品質管理方法を提案している。

確率・統計的アプローチにおいて、その特性値の推定精度を向上させるためには、サンプル数を増やすのが良い方法である。

パワーブレンダー工法硬度計本体とデジタル表示部が分かれている Ver.1 と一体型の Ver.2 があり、それぞれを写真 3.4-5、使用状況を写真 3.4-6 に示す。



写真 3.4-5 パワーブレンダー工法硬度計



写真 3.4-6 パワーブレンダー工法硬度計使用状況

硬度計貫入量と一軸圧縮強さの相関を図 4. 4-3 に示す。硬度計には一軸圧縮強さの推定精度を向上させるため、バネ係数が 2.0N/mm と 5.9N/mm の二種類のバネを用意しており、 $q_u \leq 500\text{kN/m}^2$ の場合は低強度用のバネを使用することを推奨している。

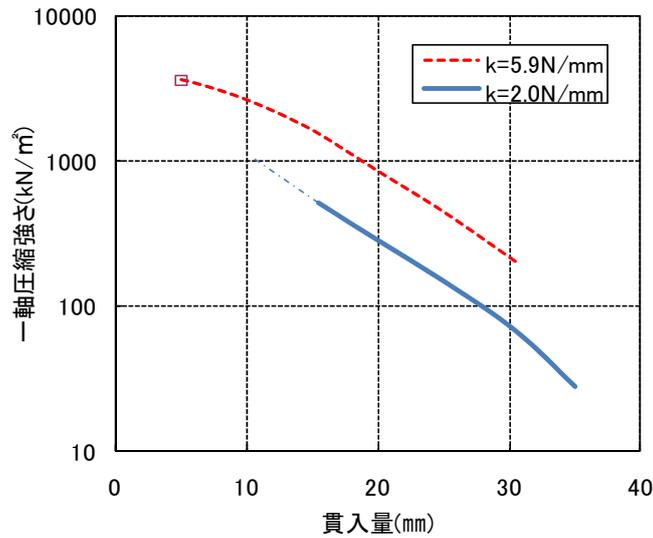


図 4. 4-3 硬度計貫入量と一軸圧縮強さの相関

換算一軸圧縮強さは以下の式で求める。

$$q_u = q_c / \alpha$$

ここに、 q_c : コーン指数(kN/m²)

α : 換算係数=35

⑧施工完了

施工後の改良体は土質や添加量などによる相違はあるものの、改良材スラリー注入量の 0～130% 程度盛り上がる人が多い。そのため攪拌混合後の地表面はバックホウで押さえながら不陸を補正し、雨水などが溜まらないようにする。

また必要に応じて表面排水用の素掘り側溝などの対策を取ることもある。

改良材スラリー注入量に対する土質別の盛り上がり土量の目安については、「4.3 盛り上り土の有効活用」を参照願いたい。

3.5 ICT 地盤改良工

ICT 地盤改良工は国土交通省より策定され令和 4 年 3 月に改訂された「3 次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」に準拠し施工する。

要領（案）で求められているのは下記の 2 点である。

- ・GNSS 等によって取得した攪拌装置の位置（座標）を使って攪拌装置の軌跡を求め、それによって地盤改良が完了したと判定される場所をブロック単位で示す機能を持つものとする。
- ・攪拌装置の軌跡の計測・記録とは別に、区画割ごとの攪拌回数改良材注入量を画面表示・記録する機能を持つものとする。

したがって必要な装置は「攪拌装置の軌跡の計測・記録」を行う GNSS 装置と「区画割ごとの攪拌回数、改良材注入量を画面表示・記録する機能」を行う管理装置が必要となる。

現在、提出する帳票について上記 2 点を同一の帳票とする事を義務付けられてはいないが、同一の帳票として提出するシステムも構築されている。

ICT 地盤改良機の機器の構成(例)を図 3.5-1 に示す。

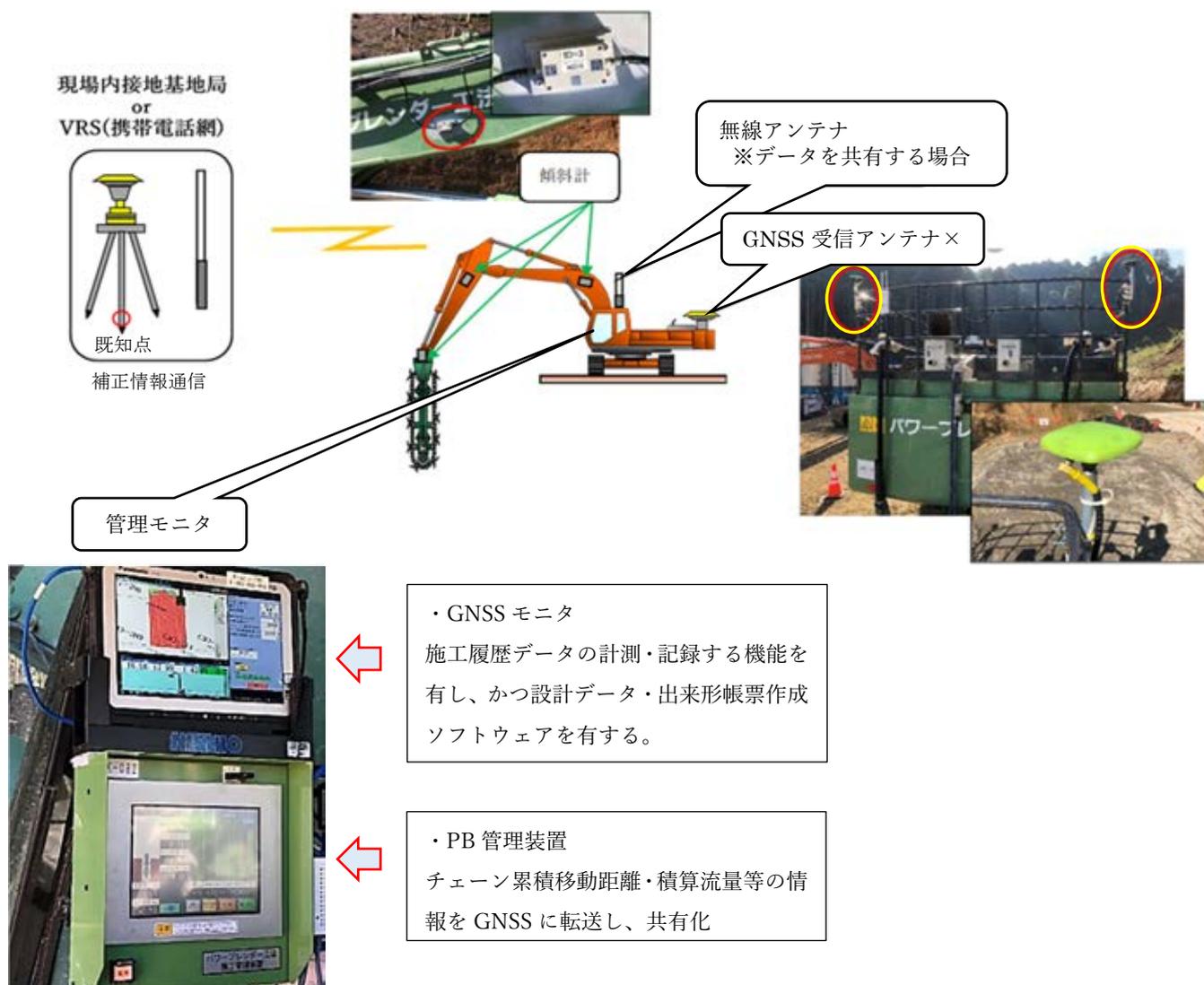


図 3.5-1 ICT 地盤改良機の機器の構成(例)

【要領書の適用によって省略できる出来形管理に関わる写真管理項目例】

※発注者、元請けとの協議による決定する。

1. 施工前の区画割の現地へのマーキング状況の写真
2. 施工基面への攪拌装置の0セット時の写真
3. 残尺計測状況写真
4. 区画割ごとの出来形写真（改良位置、改良厚、区画割幅、改良延長）

提出帳票の例を図 3.5-2 に示す。

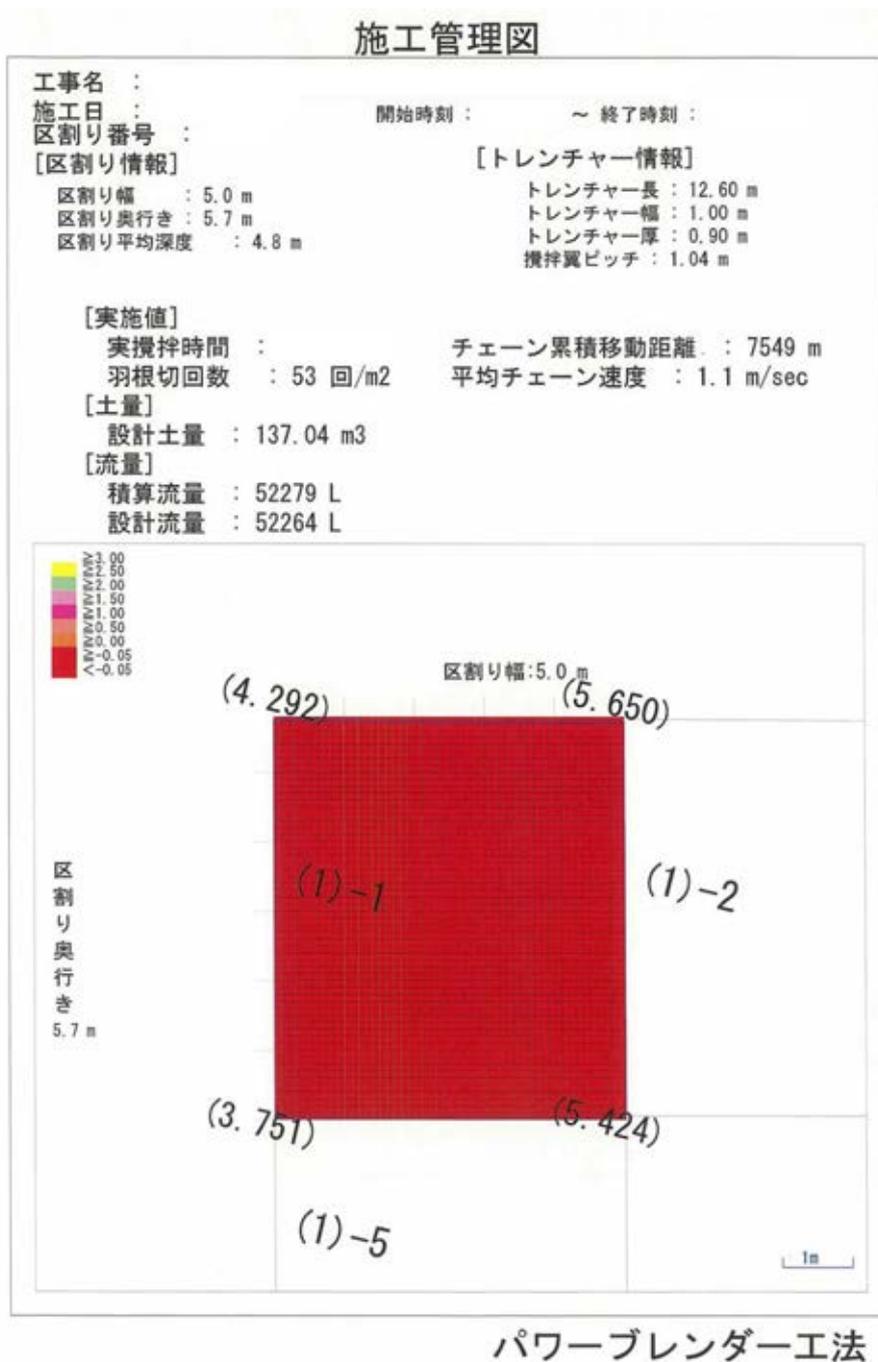


図 3.5-2 提出帳票（例）

3.6 着底管理

着底管理とは、例えば、基礎として地盤改良体を活用する場合などのように、上部の構造物荷重が作用した場合に、沈下量が許容値以下になると想定される層まで十分に改良されていることを管理するものである。

この場合、改良体の下端に接する層は、例えば N 値で 10～20 以上程度の比較的堅固な層である事が多いが、どの程度の強度・変形特性を持つ層まで改良が必要であるかは、改良体に加えられる上部荷重と、構造物からの要求性能(許容沈下量)によって、設計で決定されるべきものである。

パワーブレンダー工法における着底管理には、以下に示す二種類の方法がある。

(1) 地盤調査結果を用いた改良深度管理による方法

着底対象層に関する十分な地盤調査データによって、対象着底層が水平に近いとか、緩やかに傾斜しているなどと推定する事ができるような場合に実施可能である。

(2) トレンチャの回転トルクを油圧でモニターして着底層到達を推測する方法

地盤調査結果等から想定した対象着底層の深度に対し、変化の可能性がある場合、強度の変化が大きいと予想される場合等、(1)の方法の適用が難しいと考えられる場合に適用する。

(1)の方法における着底管理は、通常の施工管理の深度管理と同様である。(2)については、適切な手順によって慎重な施工が必要であるため、以下にその詳細を述べる。

1) 着底管理の基本的な考え方

パワーブレンダー工法における方法(2)による着底管理は以下のような状況を想定している。

- ① トレンチャにより原位置土を機械攪拌し、一定速度で深度方向に掘進する場合は、トレンチャの回転に必要なトルクは急激に変化しない。
- ② 想定される相対的に堅固な着底層にトレンチャが到達すると、トレンチャを回転させるのに必要なトルクが増大傾向となり、それまでとは異なる変化傾向を示す。

以上のような状況のイメージを図 3.6-1 に示す。なお、トルクの変化は油圧モータの圧力変化として測定できる。

このようなパワーブレンダー工法による機械攪拌時の挙動は、改良すべき軟弱地盤層が上部にあり、その下部に、例えば支持層となるような堅固な層が存在する場合には、ほとんどの場合観測されるものである。

このため、事前に試験施工を実施し、上記のような傾向を確認しておくことにより、類似の挙動から、着底の状況を推定できる。

以上より、トルクの変化を検知しやすいことが着底管理を実施する条件となる。このため、着底対象層までは、トルクの上限值よりも十分に余裕のあるトルクで混合できることが望ましく、この観点からは、テーブルフロー値を大きめ(130～135mm 程度が目安)に設定すると良い。

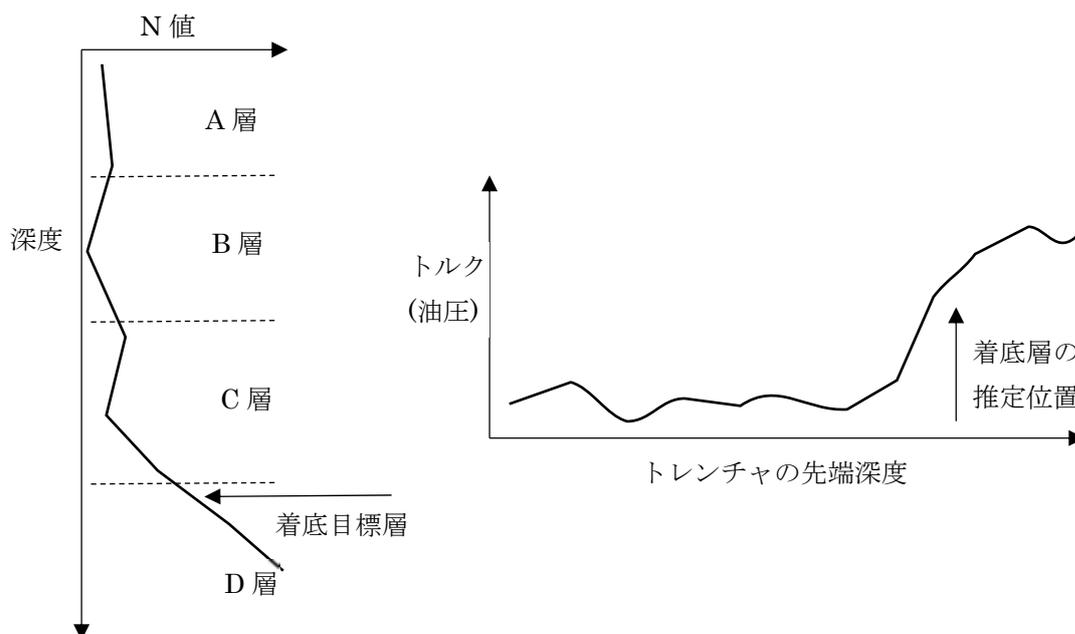


図 3.6-1 トレンチャを一定速度で貫入させたときのトルク変化のイメージ

この際、トレンチャを回転するのに必要なトルクは、土質、層構成、トレンチャの移動速度(上下、左右等)、攪拌混合されている改良土の流動状況(フロー値)等、種々の影響を受けるため、着底管理時には、着底層へ貫入していくこと以外のトルクへの影響を最小限にするよう、慎重な施工が必要である。

また、着底管理対象層に達するまでに、比較的 N 値の高い中間層が存在する場合などで、対象層に到達するまでの定常トルク(油圧)が比較的大きい場合などは、油圧の変化傾向の判断が難しい場合もあるため、そのような状況が想定される場合は、より慎重に追加地盤調査を実施する等の対応が必要となる場合もある。

2) 着底管理の手順

方法(2)による着底管理の実施が必要な工事における標準的な手順を以下に示す。なお、地盤条件や、着底層の状況等により、標準的な方法以外の対応が必要になる場合もある。

① 事前準備

設計条件の確認、既往地質調査データの調査を行い、着底対象層の設定を確認する。

着底層を確認するのに、試掘による方法が可能な現場条件であれば、必要に応じて実施することも良い。

② 地盤調査の追加について

着底管理に要求される精度等を考慮した上で、既往の地盤調査データを検討し、着底すべき層が、対象改良領域内で、傾斜が大きかったり、深度が大きく変化したりすることが想定されるような場合等で、既往の地盤調査のみでは着底管理の精度が十分ではないと推測される場合には、追加の地盤調査を計画・実施する。

既往調査で分かっている着底対象層の深度を確認するのが目的であるため、一般にスクリーウエイト貫入試験やコーン貫入試験等が用いられる。

③ 試験施工

着底深度が既知である地点において、配合等は同様の条件として、機械攪拌を実施する。

この際、目標着底深度から 50cm 程度浅い位置から、一定速度でトレンチャを貫入し、その際のトルクの変化傾向を測定する試験施工を実施する。

目標着底層の N 値と貫入速度の目安を図 3.6-2 に示す。例えば N 値 35 程度であれば、0.3～0.7m/min 程度で貫入を行うことを目安とする。

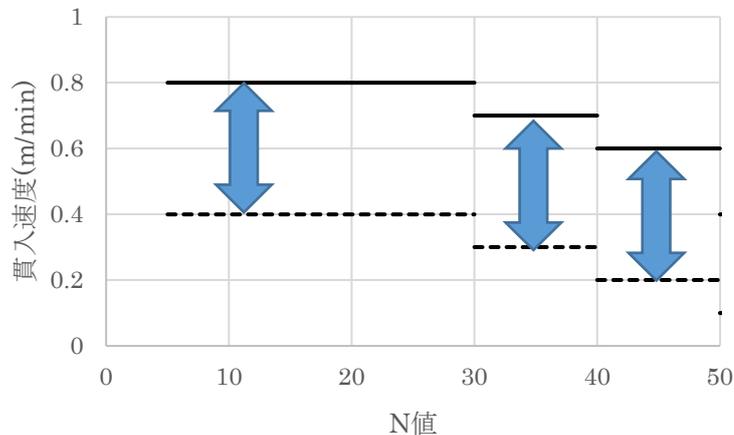


図 3.6-2 目標着底層の N 値とトレンチャ貫入速度の目安

④ 着底判断基準の設定

③の試験施工の結果から、着底層に貫入する際のトルク(油圧)の変化傾向から、十分対象層に貫入して改良ができていないと判断できる判定基準を設定する。

⑤ 実施工における着底管理の実施

④で設定した判断基準を用いて実施工における着底管理を実施する。この際、着底対象層が想定深度より大幅に浅い場合には注意が必要であり、次のようなチェックを実施する。

- フロー値が試験施工実施時より大幅に低いと、トレンチャの回転に必要なトルクが増大する可能性があるため、フロー値を確認する。
- 着底層と判断された深度から試験施工実施時と同等もしくはより遅い速度で貫入を続行する。
- しばらく貫入を続行し、トルク(油圧)が低下しなければ、対象層を改良したと想定することができる。

ただし、状況から、追加の地盤調査が必要と考えられる場合には、遅滞なくスクリーウエイト貫入試験やコーン貫入試験等の追加調査を行い、対象層の位置を確認する。

以上の着底管理の手順を図 3.6-3 に示す。

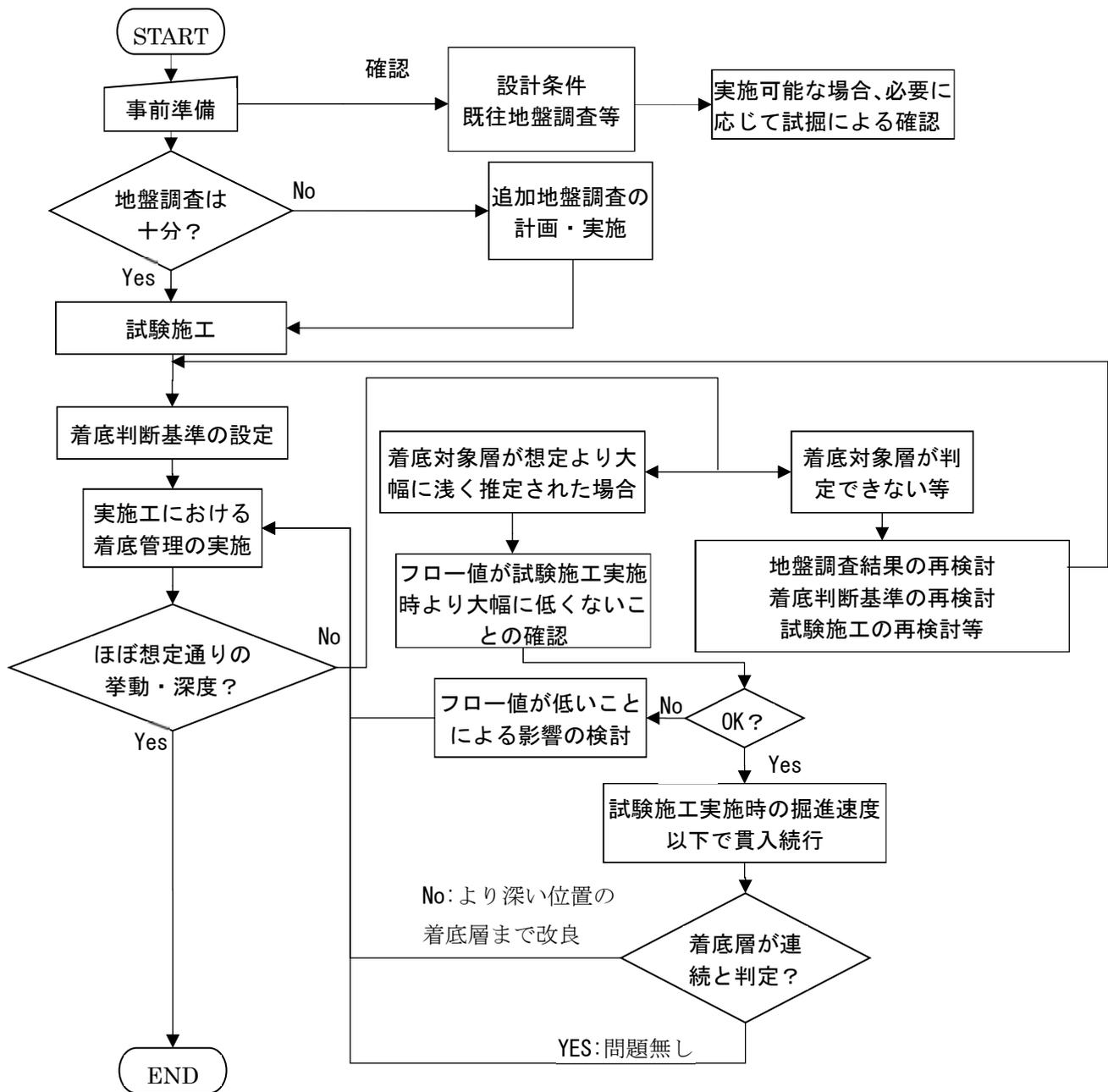


図 3. 6-3 着底管理の手順フロー

3.7 品質管理の実施例

ここでは、複数の現場で実施された品質管理を例示し、パワーブレンダー工法の品質特性を示す。調査現場を表 3.7-1 に示す。

表 3.7-1 品質管理例の現場

現場	改良深度 (m)	数量 (m ³)	Q_{uck} (kN/m ²)	土質	改良材	改良目的
No.1	3.45~8.12	16,760	100	腐植土,粘土,砂質シルト,シルト混り細砂	特殊土用	周辺・既設構造物への影響防止
No.2	6.2~6.3	6,273	250	粘土質砂,砂質ローム,腐植土	特殊土用	パイプライン基礎および改良土留壁
No.3	2.5~6.0	5,750	150	粘土,細砂	高炉セメント B	盛土のすべり安定対策
No.4	9.2~10.0	12,740	143	有機質粘土,腐植土,有機質シルト,固結粘土,砂質シルト	特殊土用	盛土の沈下低減および安定
No.5	3.5~8.0	30,110	140	砂質土,シルト質砂	一般軟弱土用	液状化、沈下防止
No.6	1.9~4.3	696	1500	盛土,礫混じり砂質シルト	特殊土用	建築基礎

3.7.1 改良体コアの連続性

改良体コアの連続性は改良体の品質を示す重要な指標である。現場 No.1~4 における改良体のコア写真により改良後の色合いを目視にて確認するとともに、コア採取率を用いた評価にて確認した。また、改良前後の湿潤密度の偏差を比較することにより、均質に攪拌されていることを確認した。

(1) 改良体コアの目視

現場 No.1~4 における改良体コアの色合いは、改良上端から改良下端までの全深度に亘り同一色に混合されており、互層地盤においても連続的に攪拌されていることを確認した。現場 No.1 における採取例を写真 3.7-1 に示す。

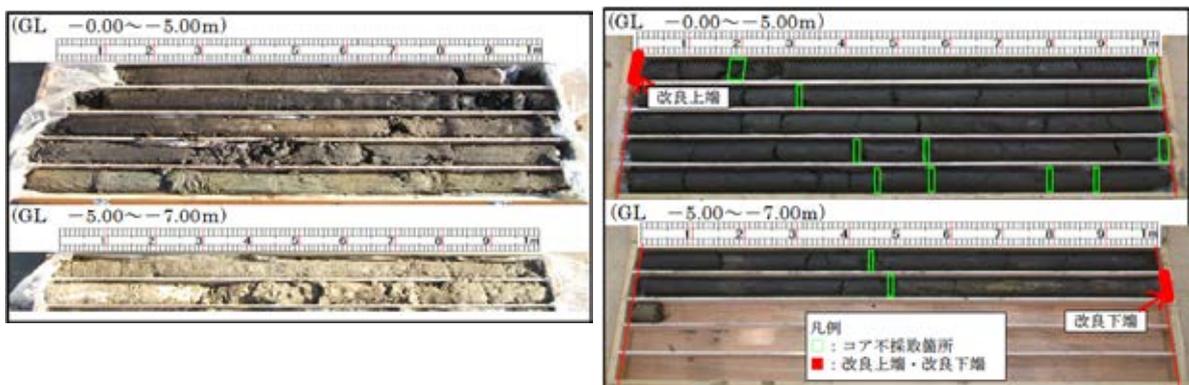


写真 3.7-1 原位置土・改良体コアの採取例(現場 No. 1)

(2) 改良体コアの採取率

対象とする土質はシルト質土および粘性土等を主体した土層構成であったが、各現場におけるコア採取率の平均値は 95.0%~99.6%の範囲にあり、全現場のコア採取率の平均値は 97.7%との結果が得られ、粘性土における改良体の連続性の一般的な目安である 90%以上を大きく上回っていることを確認した。現場 No.1~4 のコア採取率総括表を表 3.7-2 に示す。

表 3.7-2 コア採取率総括表

	コア No.	コア採取率		
		(%)	(%)	全体(%)
No.1	1	97.1	98.1	97.7
	2	98.1		
	3	99.0		
No.2	1	99.7	99.6	
	2	99.4		
No.3	1	99.0	98.0	
	2	97.0		
No.4	1	95.1	95.0	
	2	94.9		

(3) 改良体コアの湿潤密度の分布

現場 No.1 における未改良土と改良土の湿潤密度の測定結果を図 3.7-1 に示す。未処理土は土質によって約 1.0~1.8 の範囲で層毎に密度が変化しているが、鉛直に攪拌混合した結果、改良範囲がほぼ均質な湿潤密度となっており、均質に混合されていると考えることができる。

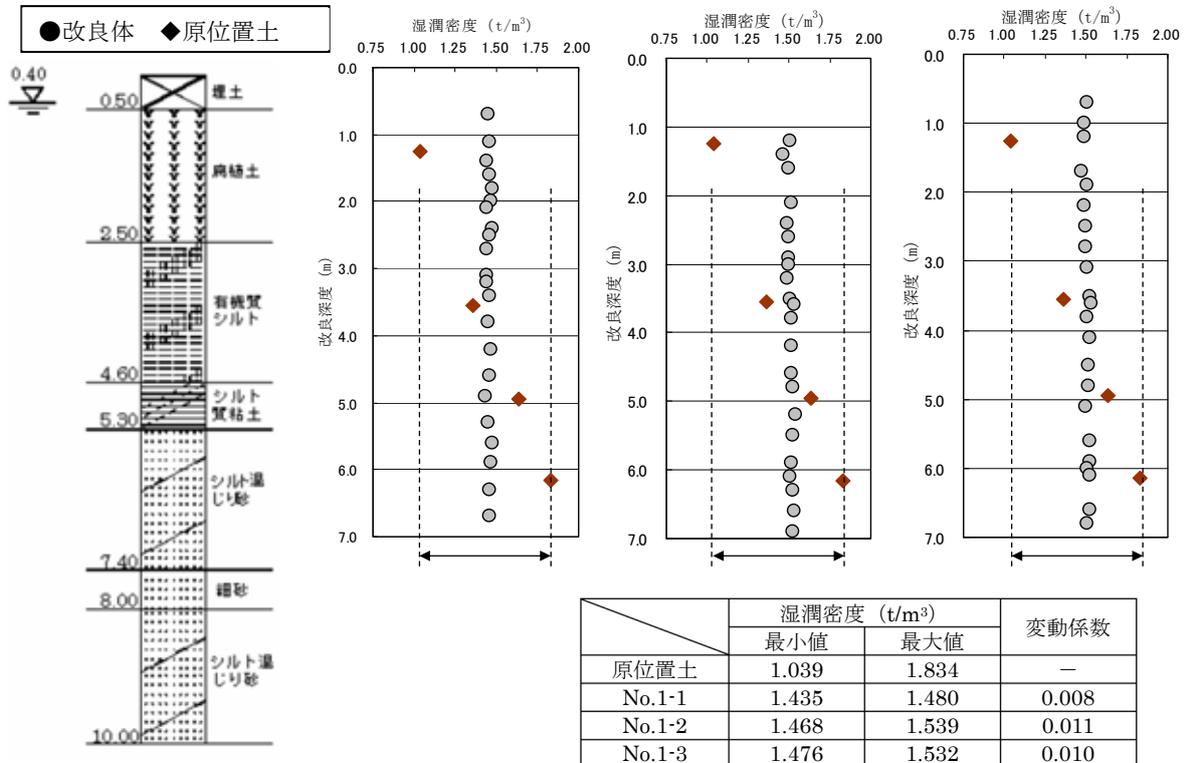


図 3.7-1 未改良土と改良土の湿潤密度の比較

(4) 強度特性

現場 No.1~6 における品質確認はモールド付試料採取器および事後ボーリングで採取した供試体にて一軸圧縮強さを測定し、現場強度(q_{uf})と設計基準強度(q_{uck})との比(以下、「現場強度比」という)により強度特性を確認した。

深度方向における現場強度比の分布を図 3.7-2、現場強度比の総括を表 3.7-3 に示す。

全供試体 264 本の内、現場強度比の最小値は 0.88(88%)であった。

一方、現場強度比の上限値は 10.06 となり、設計基準強度を大きく上回る結果となっている。これは、設計強度の 85%を下回る強度が発生してはならないという制限があるため、原位置土に含まれる夾雑物による外れ値や互層地盤の変動等による現場強度への影響のリスクを恐れ、前述の強度制限を満足するように、配合等を配慮して施工しているためと思われる。

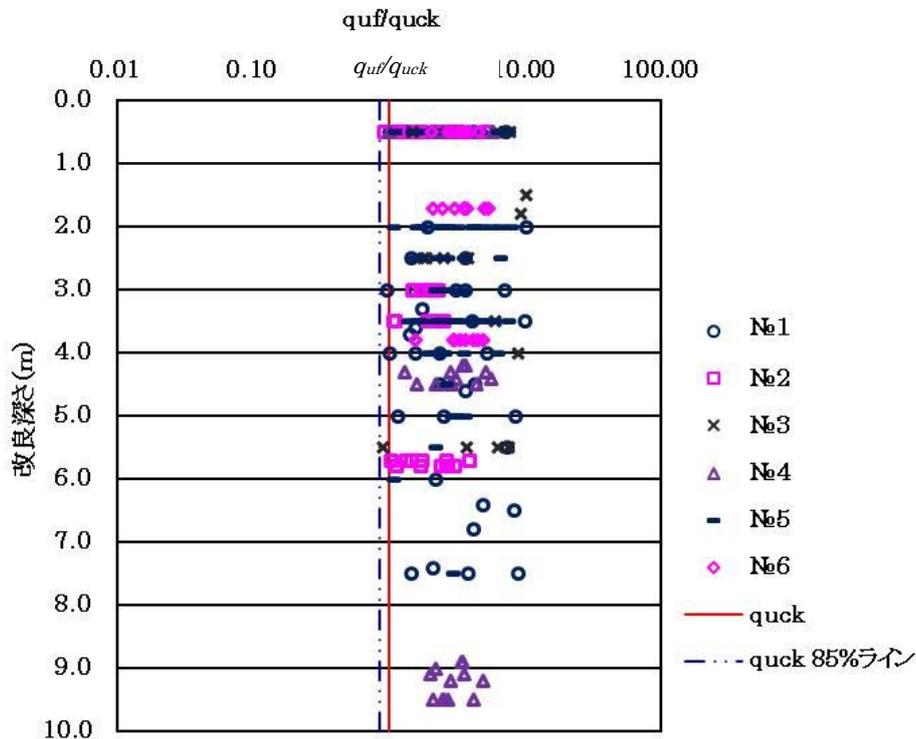


図 3.7-2 深度方向における現場強度比の分布

表 3.7-3 現場強度比の総括

	供試体 本数	q_{uf} / q_{uck}	
		下限値	上限値
No.1	51	0.95	9.90
No.2	39	0.91	5.16
No.3	18	0.88	10.06
No.4	36	0.99	5.63
No.5	96	1.06	7.83
No.6	24	1.54	5.29
全体	264	1.06	7.31

【参考】現場強度と室内強度の比較

通常の品質管理では実施しないが、現場 No.1~4 に関して採取した試料土の室内強度の平均値($\overline{q_{ul}}$)と調査箇所の現場強度(q_{uf})の比を整理した。深度方向における現場強度(q_{uf})と室内強度の平均値($\overline{q_{ul}}$)との比を図 3.7-3、現場強度(q_{uf})と室内配合強度(q_{ul})の比(q_{uf}/q_{ul})の総括を表 3.7-4 に示す。

現場 No.1~4 における改良体コアの現場強度(q_{uf})のバラツキを表す変動係数は、0.22~0.43 の範囲である結果が得られ、その平均値は 0.33 である。

既存工法(深層混合処理工法 [スラリー攪拌工])による互層地盤での施工は、それぞれの土層毎に改良材スラリーの添加量を変えて水平攪拌を行っている。よって、強度特性の評価は、単一土層のみでの変動係数をもって行うこととなり、その値は 0.15~0.52)と報告されている。

混合方式が全く異なるため、パワーブレンダー工法との直接的な比較は困難であるが、本試験での変動係数が改良深度全域での変動係数であることを考慮すれば、『原地盤が互層(多層系)地盤であっても、改良深度全域において連続した均質な改良体の造成ができること。』が確認できる。

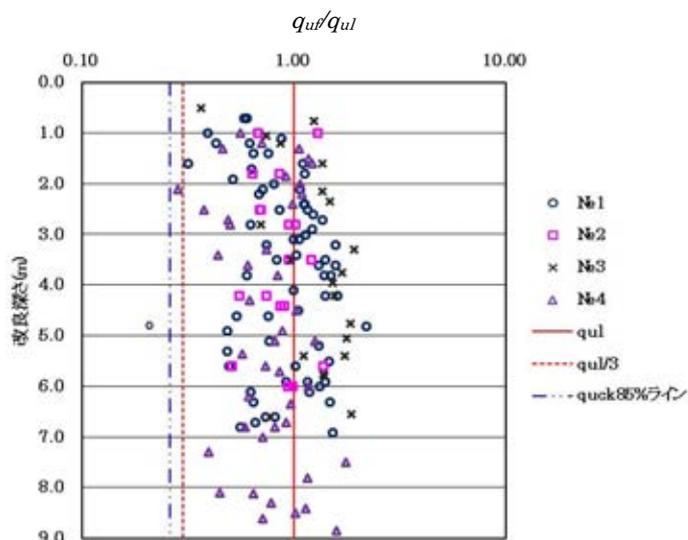


図 3.7-3 深度方向における現場強度(q_{uf})と室内強度の平均値($\overline{q_{ul}}$)の比

表 3.7-4 $q_{uf}/\overline{q_{ul}}$ の総括

	供試体 本数	q_{uf}/q_{ul}		変動係数	不適合の有無 () 内本数	
		最小値	最大値			
No.1	No.1-1	22	0.48	1.60	0.33	無(0)
	No.1-2	22	0.32	2.19	0.34	無(0)
	No.1-3	22	0.21	1.39	0.40	有(1)
	小計	66	0.34	1.73	—	有(1)
No.2	No.2-1	9	0.55	1.38	0.28	無(0)
	No.2-2	9	0.51	1.29	0.26	無(0)
	小計	18	0.53	1.33	—	無(0)
No.3	No.3-1	11	0.36	1.77	0.39	無(0)
	No.3-2	10	0.86	1.91	0.22	無(0)
	小計	21	0.61	1.84	—	無(0)
No.4	No.4-1	22	0.28	1.75	0.43	無(0)
	No.4-2	22	0.40	1.58	0.32	無(0)
	小計	44	0.34	1.66	—	無(0)
全体	149	—	—	0.33	有(1)	

3.8 新しい品質管理方法の提案

地盤改良における品質管理とは、設計で要求される性能が、施工で確保されていることを照査するものである。

要求性能は、当然ながら改良体全体(すべての改良体)を対象とするものであり、性能を照査するための品質管理試験は、改良域全体からランダムに採取されたサンプルに対して行うものであるから、改良域全体の性能を推測するためには、確率・統計的アプローチが必要になる。この点は、大量生産の工業製品等と同様である。

図 3.8-1 に上記の地盤改良における性能照査の概念を示した。

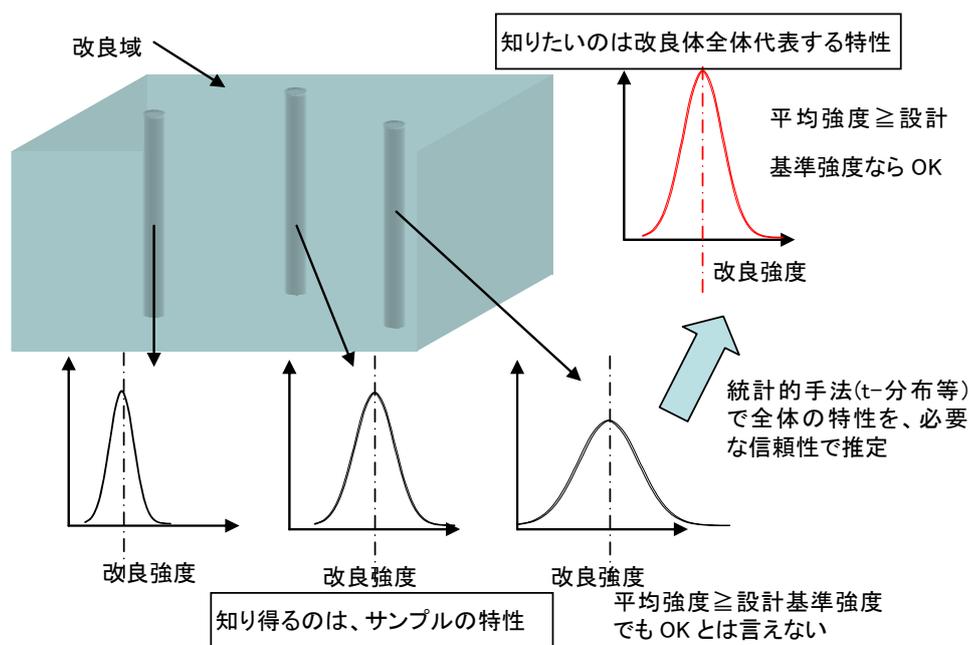


図 3.8-1 地盤改良における性能照査の概念

すなわち、地盤改良体全体の平均値が推定できれば、これを設計に用いる「特性値」として性能照査を行うことができる。以下、確率・統計的手法で推定した地盤改良全体の平均値を特性値と称する。

(1) 従来実施されてきた品質管理方法

一方、従来道路分野で広く行われてきた、地盤改良の品質管理方法は以下のようなものである。

- 1) 各供試体の試験結果は設計基準強度 q_{uck} の 85%以上を確保する。
- 2) 3 個の供試体の平均値を一回の試験結果とし、これは q_{uck} 以上を確保する。
- 3) 1 本の改良体について上、中、下の 3 箇所それぞれ 1 回試験を実施する。ただし、1 本の改良体で設計強度を変えている場合には設計強度ごとに 3 回とする。
- 4) 改良体 500 本未満は 3 本、500 本以上は 250 本増えるごとに 1 本追加する。

上記の方法は、柱状の改良を想定したものであり、1)、2)で必要な改良体の強度を定義し、3)、4)はサンプリングの頻度(サンプル数)を規定している。

しかしこの規定は、本来ランダムであるべきサンプルの位置を規定したり、単に最低強度と平均強度を規定したりしているのみで、その確率・統計的な意味は明確とは言い難く、これによって改良体の性能を照査できるような規定ではない。

したがって結果として得られたサンプルの平均値等も、性能を照査するための特性値としては不十分なものである。

例えば、1)および2)を十分な数のサンプルが満足していたとしても、例えば正規分布を仮定した試験結果のばらつきが大きいと、設計基準強度 q_{uck} の85%を下回る確率が0とならない場合が有りうることは明らかで、実際の現場で q_{uck} の85%を下回る結果が出なかったとしても、それは偶然に過ぎず、サンプル数を増やしていくと発生する可能性があることを示している。また、その際の、サンプルが設計基準強度を下回る確率(不良率)も、バラツキの程度および平均強度によって大きく異なる。つまり、改良体に要求される性能を照査するための品質管理手法としては、不十分であると考えられる。

一方で、合理的な理由もなく設計基準強度 q_{uck} の85%を下回る結果が許容されないために、不良サンプルの発生を恐れるあまり、不必要に大きな現場/室内強度比を設定した配合を行うことも見られ、結果として、サンプルの平均強度が設計基準強度の数倍以上となってしまうことも珍しくなく、要求性能よりも過大な施工がされている可能性が指摘されてきた。

以上のようなことから、世界的な設計基準の性能規定化の流れの中で、固化系地盤改良の改良体の性能照査を、より合理的に実施可能な方法が求められている。

パワーブレンダー工法協会では、確率・統計的アプローチによって、限られたサンプルから、改良体全域を代表する性能を確認する新しい品質管理方法を提案している。この方法は、サンプル強度にそれなりのバラツキが発生することが不可避である地盤改良体のサンプル強度を適切に統計処理し、地盤改良体全体の特性値を推定する事によって、改良域全体の性能照査を可能とするものである。

ここで提案する新しい品質管理方法は、従来の品質管理方法では、ともすれば現場で過大な強度となってしまうがちな状況を改善するとともに、地盤改良に必要な性能を適正に確保できる現場強度の合理的な評価方法確立し、地盤改良工法のコスト縮減や将来の設計の合理化に資することを目的とするものである。

また、新しい品質管理方法では、改良域全体の性能を合理的に推測できることから、従来ほとんど行われてこなかった、地盤改良対象の目的や重要度によって、要求される品質をランク分けし、地盤改良のコスト縮減につなげることも提案している。

この内容に関しては社団法人建設機械化協会 施工技術総合技術研究所において、「パワーブレンダー工法の品質管理方法に関する検討委員会」を実施し、2010年12月に報告書とされたものを、現場に適用する観点から、まとめ直したものである。

(2) 新しい品質管理方法

ここで述べる新しい品質管理方法は、限られたサンプルから、確率・統計的な手法を用いて改良域全体の特性を把握して、その性能を照査しようとするものである。

具体的には「(社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、2007」で、地盤定数の照査に用いられている方法を準用し、信頼水準の影響を評価できるように変更したものである。この結果、必要な信頼水準で全体の特性値を評価できる。

具体的なフローを図3.8-2に示す。試験に関しては、照査すべき性能が、強度であれば、ランダムにサンプリングされた供試体に対してその一軸圧縮強さを調べるものとする。

以下にその手順を述べる。

- 1) 要求性能(設計基準強度)が同一な全改良領域を対象として、ランダムと思われるサンプリング位置で、適切な頻度で深度方向にサンプルを採取し、一軸圧縮強さを試験で求める。
- 2) サンプリング位置数は3以上とする。
- 3) 一か所のサンプリング位置に関しては、3以上のサンプルに関して一軸圧縮強さを求める。

- 4) 式(1)を適用し、全体の特性値を求める。この際、特性値の推定精度を高めるため、一軸圧縮試験の追加や、サンプリングの追加を検討しても良い。
- 5) 全体の特性値と設計基準強度を比較する。

以上のような確率・統計的な特性値の推定方法は、極めて単純化して言うと、サンプルやボーリング孔の数が少なく、かつサンプルのバラツキが大きければ、全体の特性を、大幅に安全側に(すなわち大きく低減した強度で)評価し、サンプルやボーリング孔の数が多くなり、バラツキが小さくなるほど、サンプルの特性と、全体の特性が近似してくるというアプローチである。

したがって、この方法は、従来実施されていた、コアの上、中、下の部分での一軸圧縮試験結果にも適用できるが、特性値が、サンプルの平均値よりかなり小さく評価される可能性があることに注意が必要である。

また、式から容易に理解できるように、サンプルの数が多くなるほど、信頼性が高くなり、また、変動係数が小さな良質な改良ができていくほど、サンプルの平均強度と、改良体全体の特性値が近づいてくる。

このため、信頼性の期待される改良案件であるほど、サンプル位置の数、採取するサンプル数を増やすことが望ましく、適切な設定が望ましい。

また、サンプルを増やして大量の一軸圧縮試験を行う代わりに、適切な数の一軸圧縮試験に加え、サンプルに対してパワーブレンダー硬度計を用いて一軸圧縮強度の推定を行うことにより、強度データを増やす事も有効な方法である。

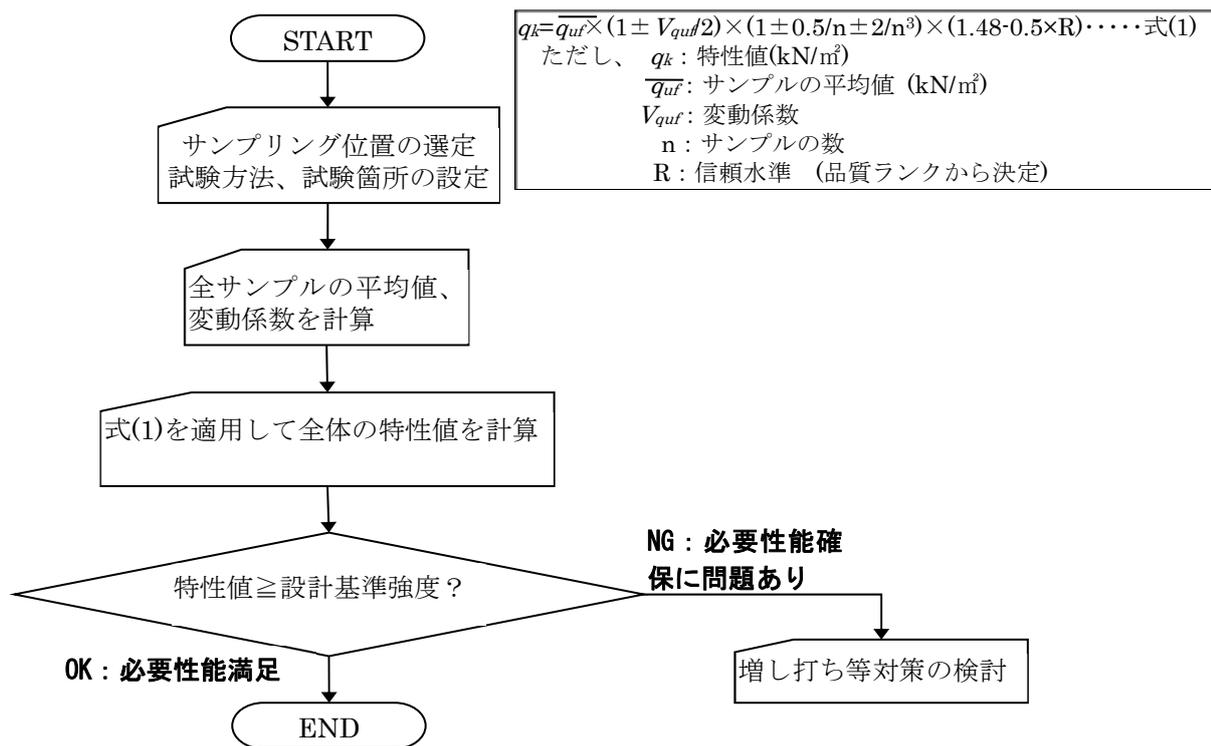


図 3.8-2 試験結果の評価フロー

特性値を推定する式(1)は、必要な信頼水準で特性値を計算する近似式である。

$$q_k = \overline{q_{uf}} \times (1 \pm V_{q_{uf}}/2) \times (1 \pm 0.5/n \pm 2/n^3) \times (1.48 - 0.5 \times R) \dots \text{式(1)}$$

- ただし、
- q_k : 特性値(kN/m²)
 - $\overline{q_{uf}}$: サンプルの平均値 (kN/m²)
 - $V_{q_{uf}}$: 変動係数
 - n : サンプルの総数
 - R : 信頼水準

(3) 品質ランクの考え方の導入

今まで述べたように、改良地盤全体の性能を、適正に推定する品質管理方法を適用することによって、従来少なからず見受けられた、品質管理試験結果の強度が、設計基準強度より大幅に大きくなるような状況を改善し、合理的な配合設計等による地盤改良工のコスト縮減を実現できる可能性がある。

このような合理的な品質管理方法を適用する場合、もう一つ考えられる改善点がある。従来は、特に品質管理においては、地盤改良の構造物としての重要度はほとんど考慮されておらず、建築基礎などの構造部材として極めて重要な場合も、トラフィカビリティ確保のように仮設的な場合も、まったく同様の方法で行っていた。

当然ながら、どのような場合も設計で想定している要求性能は満足されなければならないが、地盤改良の構造部材としての重要度から品質ランクを規定することによって、より合理的で低コストな改良計画を実現できる可能性がある。

例えば、改良目的、構造物の重要度等に応じて、前述した新しい品質管理方法の適用を前提として、特性値の適正な信頼区間を設定した表 3.8-1 のような品質ランクを想定する。

特性値が設計基準強度を満足していれば、要求性能は満足されており、それが前提であるが、特性値の推定に関する信頼性をランク分けしているのが特徴となっている。

このような品質ランクを考慮することにより、目的に応じた適切な施工方法、配合設計ができ、地盤改良のコスト縮減、CO₂の削減にも資することが可能になる。

表3.8-1 品質ランク

品質ランク	A	B	C
構造物の重要度	インフラとして、もしくは周辺構造物等が極めて重要	大災害等によって損傷を受けた場合にも、短期で修復可能	必要な性能の最低限を確保
改良対象例	構造物基礎 土留壁(壁状)等	土構造物等の基礎 すべり防止等	仮設道路 トラフィカビリティの確保等
設計基準強度/室内配合強度比の目安	0.5~0.7 ^{※1}		
羽根切り回数	高	標準	低
施工単価	高価	標準	安価
作業係数	0.7~1.0	1.0~1.2	1.1~1.3
特性値の信頼区間の目安 ^{※2}	80%	75%	70%
サンプル採取位置数の目安	5以上	4以上	2~3
サンプル変動係数の目安	0.3程度以下	0.35程度以下	0.45程度以下

※1：原位置の層構成、土質等が特に複雑な場合や、粘性が高く、室内で混合が困難な土質が含まれるなど、現場の事情で事前配合試験に制限がある等の場合は、この強度比を 0.4 前後等、より低く設定する必要がある場合もある。

※2：信頼区間が 80% という意味は、推定した改良域全体の特性値が、設計基準強度を下回る確率が 10% 未満ということであり、サンプルの強度が設計基準強度を下回る割合(確率)が 10% 未満という意味ではない。

・実施計算例

以下に計算例を示す。

- 1) 従来品質管理に準拠した試験数に本方法を適用した場合

設計基準強度 $q_{uck}=500\text{kN/m}^2$

コア数 3 : 各コアごとの験数 3、平均一軸圧縮強さ 605kN/m^2 、変動係数 0.38

- a)信頼水準 80%の場合

$$\begin{aligned} \text{全体特性値} &: 605 \times (1-0.38/2) \times (1-0.5/9-2/729) \times (1.48-0.5 \times 0.8) \\ &= 498\text{kN/m}^2 \leq q_{uck} \dots \text{NG} \end{aligned}$$

注：サンプル平均値からの低減： $498/605=0.82$

- b)信頼水準が 75%の場合

$$\begin{aligned} \text{全体特性値} &: 605 \times (1-0.38/2) \times (1-0.5/9-2/729) \times (1.48-0.5 \times 0.75) \\ &= 510\text{kN/m}^2 \geq q_{uck} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

注：サンプル平均値からの低減： $510/605=0.84$

- c)信頼水準が 70%の場合

$$\begin{aligned} \text{全体特性値} &: 605 \times (1-0.38/2) \times (1-0.5/9-2/729) \times (1.48-0.5 \times 0.7) \\ &= 521\text{kN/m}^2 \geq q_{uck} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

注：サンプル平均値からの低減： $521/605=0.86$

- 2) 1)と同様の結果であるが、ボーリング孔が 5 つで、硬度計を活用して、試験数を多くした場合

設計基準強度 $q_{uck}=500\text{kN/m}^2$

コア 1 : 試験数 10、コア 2 : 試験数 10、コア 3 : 試験数 10、コア 4 : 試験数 10、コア 5 : 試験数 10 : 総試験数 50、平均一軸圧縮強さ 605kN/m^2 、変動係数 0.38

- a)信頼水準 80%の場合

$$\begin{aligned} \text{全体特性値} &: 605 \times (1-0.38/2) \times (1-0.5/50-2/125000) \times (1.48-0.5 \times 0.8) \\ &= 524\text{kN/m}^2 \geq q_{uck} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

注：サンプル平均値からの低減： $524/605=0.87$

- b)信頼水準が 75%の場合

$$\begin{aligned} \text{全体特性値} &: 605 \times (1-0.38/2) \times (1-0.5/50-2/125000) \times (1.48-0.5 \times 0.75) \\ &= 536\text{kN/m}^2 \geq q_{uck} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

注：サンプル平均値からの低減： $536/605=0.89$

- c)信頼水準が 70%の場合

$$\begin{aligned} \text{全体特性値} &: 605 \times (1-0.38/2) \times (1-0.5/50-2/125000) \times (1.48-0.5 \times 0.7) \\ &= 548\text{kN/m}^2 \geq q_{uck} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

注：サンプル平均値からの低減： $548/605=0.91$

以上の例のように、ボーリング孔数や、各コア辺りのサンプル数を増やすことで、より合理的かつ信頼性の高い照査が可能になる。

3.9 盛り上がり土の有効活用

改良材スラリーを地盤に攪拌混合するタイプの地盤改良では、対象土質、改良材スラリー配合量、改良率等によって発生量の違いはあるが、ほとんどの場合に改良材スラリーの注入量と原地盤の解きほぐしにより体積が増加する。

地盤改良の仕上がり高さが改良前と同一の場合は、結果としてその増加した体積分が余剰な発生土となり、これまでは費用をかけて残土処理、場合によっては産業廃棄物処理としてきた。

この余剰分の盛り上がり改良土(以下「盛り上がり土」と称する)に関しては、パワーブレンダー工法の場合、改良材スラリーと攪拌された改良体と同様の改良済み土であるため、その品質に留意した上で有効活用できる可能性がある。

盛り上がり土を有効活用できれば、環境的な観点も含め以下のような大きな利点となる。

- (1) 処分費用が不要となる。
- (2) 盛土底部に固化層を形成すると、すべり安全率等が向上し、低改良率の場合等には、改良部と未改良部の不同沈下抑制効果を期待できる。
- (3) 後述するように盛り上がり分を掘削し仕上がり高さを調整できれば、材料(改良材スラリー)が低減できる。

「海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル」(改訂版)平成20年7月において盛り上がり土を有効活用するためには、きちんとした品質管理が前提であるとした上で活用事例が紹介されている。

盛り上がり土の有効活用を考える際にパワーブレンダー工法は鉛直攪拌により均一に混合するため、盛り上がり土と改良体に原理的に品質の差が無く、有効活用が期待できる地盤改良工法である。

ここでは盛り上がり土に関しても、施工基面下と同様の品質管理を実施し他例を紹介する。なお土質の違いによる改良材スラリー注入量に対する土質別盛り上がり量の目安を表3.9-1に示す。

表 3.9-1 改良材スラリー注入量に対する土質別盛り上がり土量の目安

改良対象土質	盛り上がり量
粘性土	100 ~ 130%
砂質粘土	50 ~ 100%
砂質土	0 ~ 60%

注：緩い砂質土等では盛り上がり土量が少ない若しくは減少する場合もある。

以下に、A工区、B工区の異なる2工区について盛り上がり土の一軸圧縮強さに関して調査を行った例を示す。工区全体で平均した結果の比較が図3.9-1、3.9-2である。この結果から盛り上がり土の品質は施工基面下と同等であることがわかる。

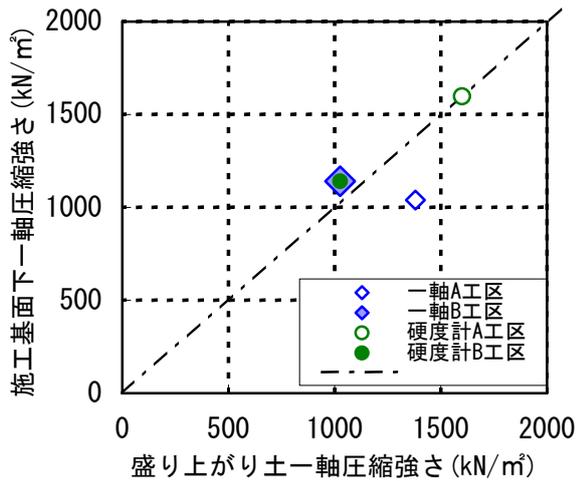


図 3.9-1 平均値一軸圧縮強さの比較

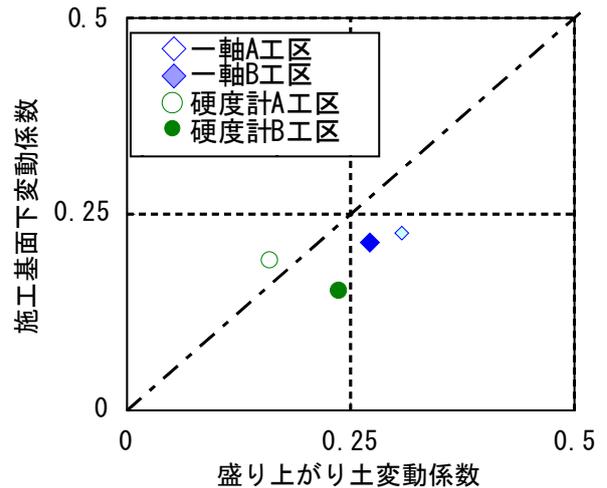


図 3.9-2 平均値変動係数の比較

このようにパワーブレンダー工法では、盛り上がり土に施工基面下の部分と同様の品質を期待することができ、適切な品質管理を実施する前提で有効活用が可能である。

以下に盛り上がり土を有効活用した例を示す。どちらの方法も全面改良および、杭式改良などの部分改良にも応用できるが、後者の場合は改良率が小さければ盛り上がり土もそれに応じて小さくなる。

3.9.1 盛土底盤として盛り上がり土を活用

施工基面より上に盛り上がり土を生じさせる場合、盛土底部などの底盤として有効活用できる。これにより、すべり安全率も向上する。図 3.9-3 の例では全面改良の場合、20%程度体積が増すとしたら深度 10m 改良で 2m の盛土底盤ができる。

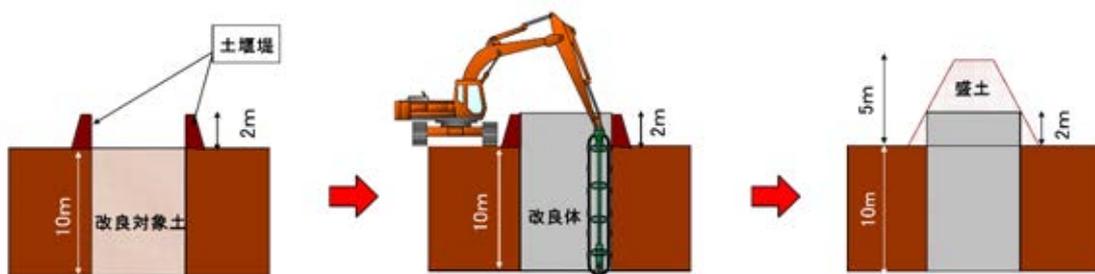


図 3.9-3 盛土底盤としての盛り上がり土の活用

この例では、施工深度 10m であるから、10m 分の改良材スラリーで出来形として 12m の改良体が施工されたと同様の状況となる。

全面改良ではなく杭式改良などの場合は盛り上がり土の土量が改良率に応じて少なくなるため、2m より出来上がり厚さは小さくなるが盛土底盤を構成する事により、表層混合を組み合わせる場合と同様に未改良部の不同沈下を抑制する効果が期待できる。

3.9.2 改良体の本体として盛り上がり土を活用

もう一つの方法は図 3.9-4 に示すように、残土処理・廃棄処理しないために改良深度を必要最低限とし、盛り上がり土の発生量を予測した上で出来形を調整する方法が考えられる。



図 3.9-4 改良体本体としての盛り上がり土の活用

この例では、施工深度が GL-2m から GL-10m までの 8m になり 8m 分の改良材スラリーで 10m の改良体が出来形として施工される。

全面改良でない場合にも同様な方法で施工できるが、例えば杭式改良であれば杭ごとに掘削作業が必要となり施工手間はかなり増えると考えられる。

第4章 環境への影響

環境への悪影響を避けることは、地盤改良にとって直接的な要求性能となるわけではないが、重要なことである。

環境への影響は種々の項目が考えられるが、ここでは施工時に問題となりやすい以下の三点について述べる。

- ・ 周辺地盤や構造物などへの影響
- ・ 施工時の振動・騒音
- ・ 地下水へのアルカリ化の影響

4.1 周辺地盤や構造物などへの影響

固化系の地盤改良では改良材スラリーなどに圧力を加えて軟弱地盤中に噴射・攪拌する事が主たる原因で、施工中に周辺地盤や周辺の既設構造物に変位を生じるなどの影響を与えることがある。

地盤改良の大きな目的の一つに周辺地盤や構造物への影響を低減することである場合が多いことを考慮すると、その施工には十分な配慮が必要であることは言うまでもない。

パワーブレンダー工法は鉛直方向の攪拌混合という工法メカニズムから、原理的に噴射圧力が地表面から開放されやすく周辺への変位などの影響が少ない工法といえるが、特に重要な構造物等の場合は動態観測を実施しながら施工を行う等の留意が必要である。

この場合、対象となる構造物にできるだけ近い場所での変位測定が重要であることは言うまでもないが、地中の深い部分での変位は広い範囲に影響が出る可能性がある等の状況を考慮し適切な計測計画を策定する必要がある。

以下に、施工時の変位測定事例を紹介する。

4.1.1 地表面変位の測定例

地表面変位杭による測定事例の土質概要および改良仕様を表 4.1-1 に示す。図 4.1-1 は、施工位置からの離れの距離 x, y を改良深度 L で正規化して、 $x/L, y/L$ と周辺地盤の水平・鉛直変位の関係を示したものである。

周辺地盤の地形は平坦であるが事例 A では施工に伴う盛り上がり土の場外処理量を減らすために事前に改良範囲の地盤面を周囲より 1.0m 下げている。

X 方向、Y 方向の水平変位、鉛直変位はともに数 mm 程度で事例 A では Y 方向で最大水平変位 4mm が計測された。事例 B の砂質土ではほとんど変位が生じなかった。

表 4.1-1 土質概要および改良仕様

	土質	平均 N 値	自然含水比 (%)	改良深度 (m)	改良材添加量 (kg/m ³)	W/C
事例 A	粘性土	2	87	5.0	200	1.0
事例 B	砂質土	2~20	43	4.0, 5.3	83	0.6

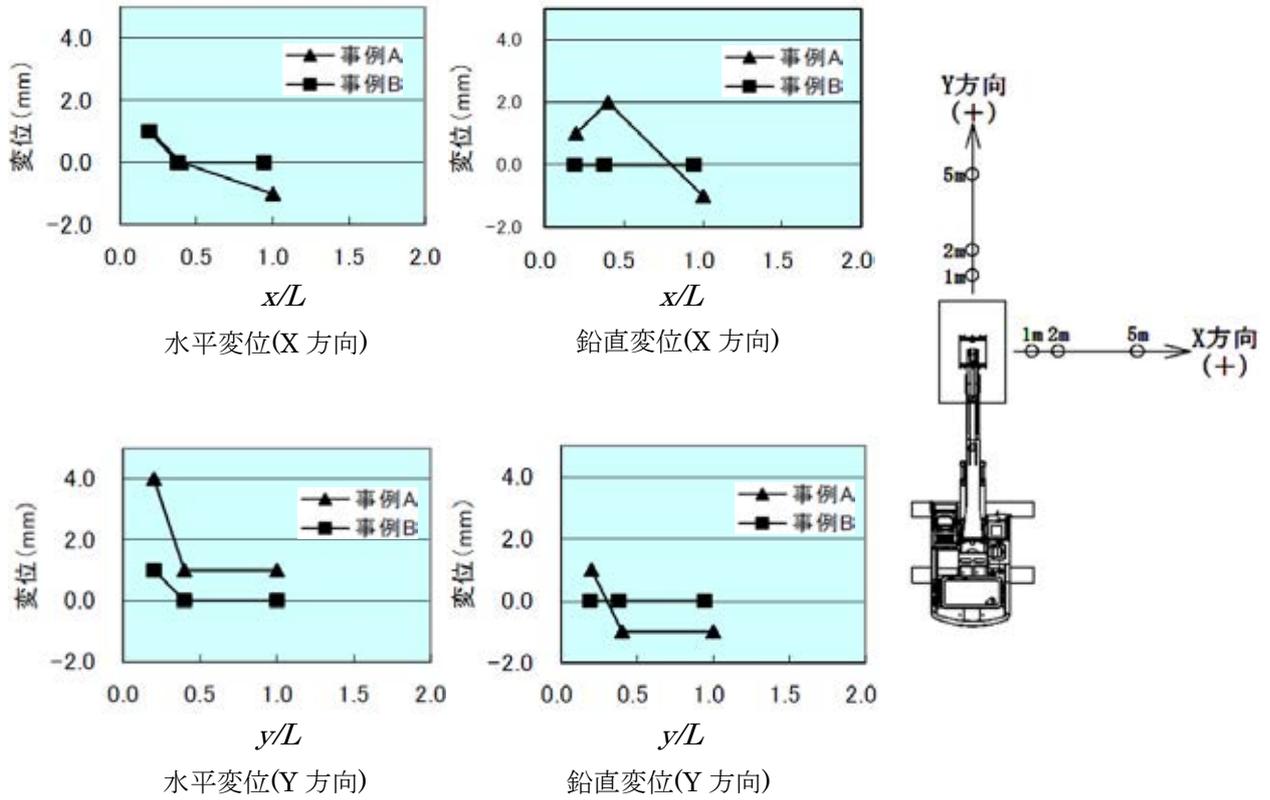


図 4.1-1 x/L , y/L と水平変位、鉛直変位の関係

4.1.2 地中変位測定例

事例①

現場 No.1 は建設される構造物が周辺・既設構造物へ影響することを防止することを目的としたものであったが、地盤改良自体が写真 4.1-1 に示すように、既設住宅への近接施工となる。



写真 4.1-1 施工状況

施工概要を表 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 施工概要

現場	改良深度 (m)	数量 (m ³)	q_{uck} (kN/m ²)	土 質	改良材および添加量
1	3.45~8.12	16,760	100	腐植土, 粘土, 砂質シルト, シルト混り細砂	特殊土用 164kg/m ³

改良に伴う周辺地盤の変位量を図 4.1-2 に示す。X 方向(攪拌翼側面)の計測結果は、施工箇所から 0.8m 離れた地点における最大変位量で 1.9mm であった。

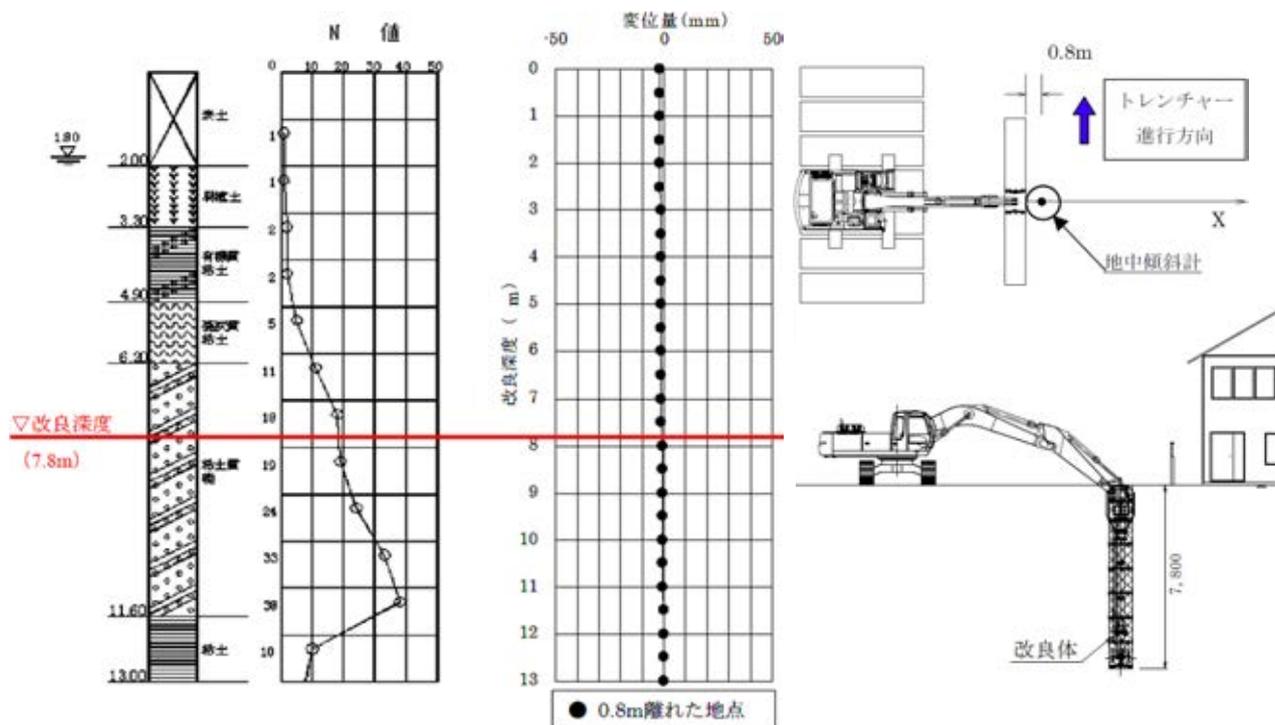


図 4.1-2 改良に伴う地中変位の計測例(現場 No. 1)

事例②

現場 No.7 は、堤防補強のための盛土拡幅工事に伴う、すべり防止と沈下防止を目的とした地盤改良工事である。地表から改良深度 7m 付近まで N 値 0~1 の軟弱地盤のため、地盤改良工事に伴う近接家屋への影響調査として周辺地盤に発生する変位を地中変位計(設置型傾斜計)により計測を行った。調査状況を写真 4.1-2 に示す。

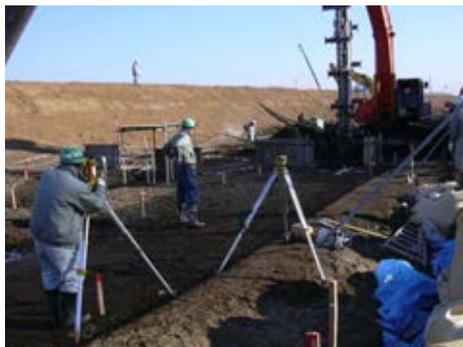


写真 4.1-2 地中変位測定状況

施工概要を表 4.1-3、施工断面を図 4.1-3 に示す。

表 4.1-3 施工概要

現場	改良深度 (m)	q_{uck} (kN/m ²)	土質	改良材 および 添加量
7	7.0	200	粘土、 有機質シルト、 シルト、細砂	特殊土用 116kg/m ³

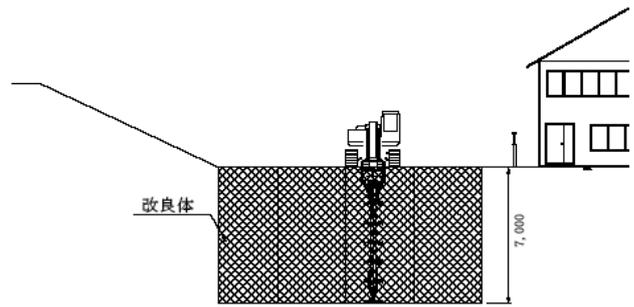


図 4.1-3 施工断面

本事例は、攪拌方向の影響を検討するために攪拌翼の正面と側面の二方向について地中変位を測定した。計測結果を図 4.1-4 に示す。

測定時の対象範囲は平面 4m×10.5m、深さ 7m のブロック改良を対象とした。改良は改良幅 1m×長さ 4m を一列とし、次の列とは 0.5m ずつラップしながら処理している。地中傾斜計は、改良ブロックの正面と側面に設置した。

ブロック側面に配置した傾斜計では、改良範囲から 0.5m 離れた測点 No.4 で最大変位が深度 5~6m 程度の位置に生じ、約 15mm、1.5m 離れの測点 No.5 では約 10mm であった。

ブロック正面の傾斜計 No.1,2,3 では、地中よりも地表面の変位が大きく、1.0m 離れの測点 No.1 で最大 23mm 程度であった。

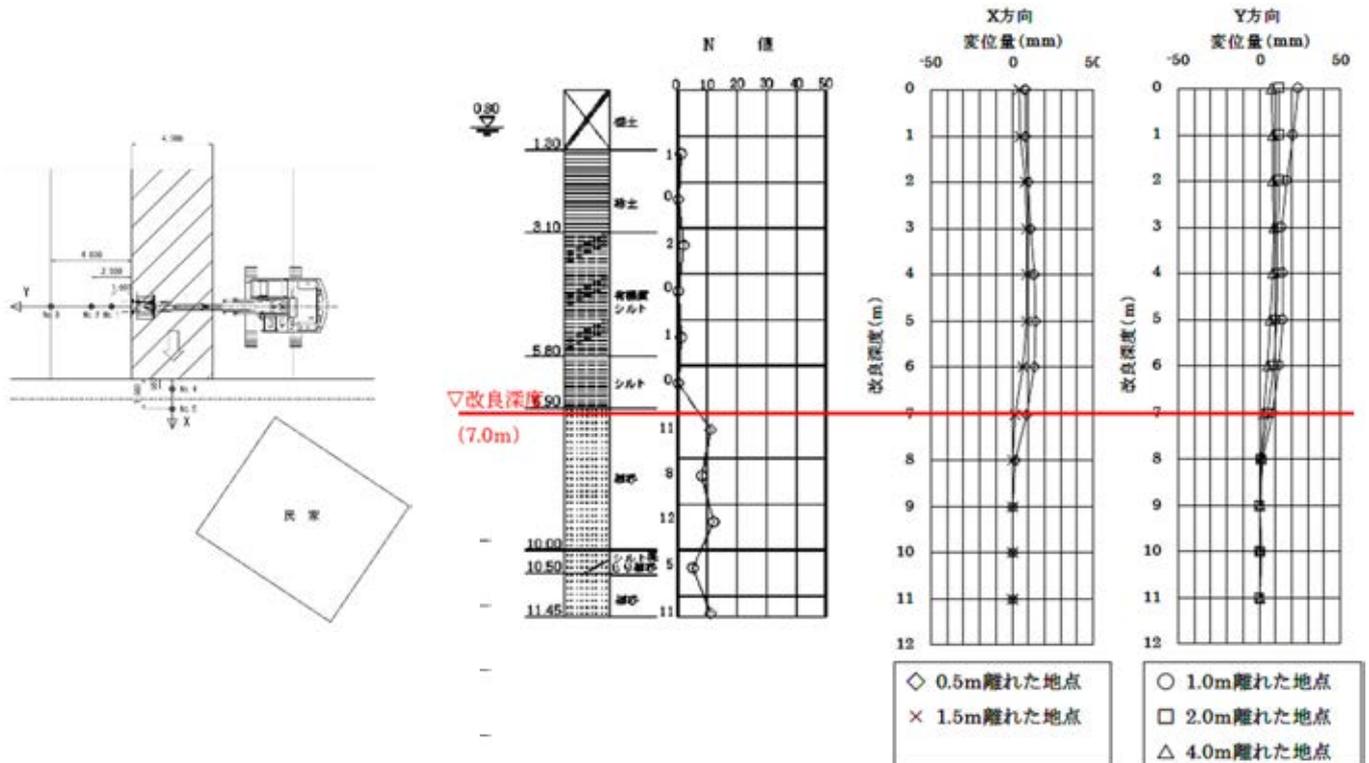


図 4.1-4 改良に伴う地中変位の計測例 (現場 No. 7)

4.2 施工時の振動・騒音

建設工事では、施工時の振動・騒音が問題となる場合も多い。パワーブレンダー工法のベースマシンは騒音基準値を満足したバックホウを改造しているため、低騒音型であり、排出ガスに関しても対策型となっている。このため低騒音型バックホウとほぼ同程度の影響と考えることができる。

以下に、3か所の現場で施工時の振動・騒音を測定した事例を紹介する。表 4.2-1 に施工概要をまとめて示した。

表 4.2-1 測定現場の施工概要

現場	改良深度 (m)	土 質	ベースマシン およびトレンチャ
8	6.9	有機質粘土 N 値 \leq 4	1.9m ³ (235kw)+PBT-900
9	9.2	腐植土、シルト質砂、有機質シルト、腐植土 有機質シルト N 値 \leq 3	1.9m ³ (235kw)+PBT-900
10	3.0	埋土、細砂 N 値 \leq 10	1.4m ³ (177kw)+PBT-300

事例①

現場 No.8 の振動・騒音の測定結果を図 4.2-1 に示す。すべて規制値を大きく下回っている。特に A、C 測線のレベルが低く、トレンチャの前方が振動・騒音が小さいことがわかる。また改良後の値も小さく振動対策としての可能性を示唆している。

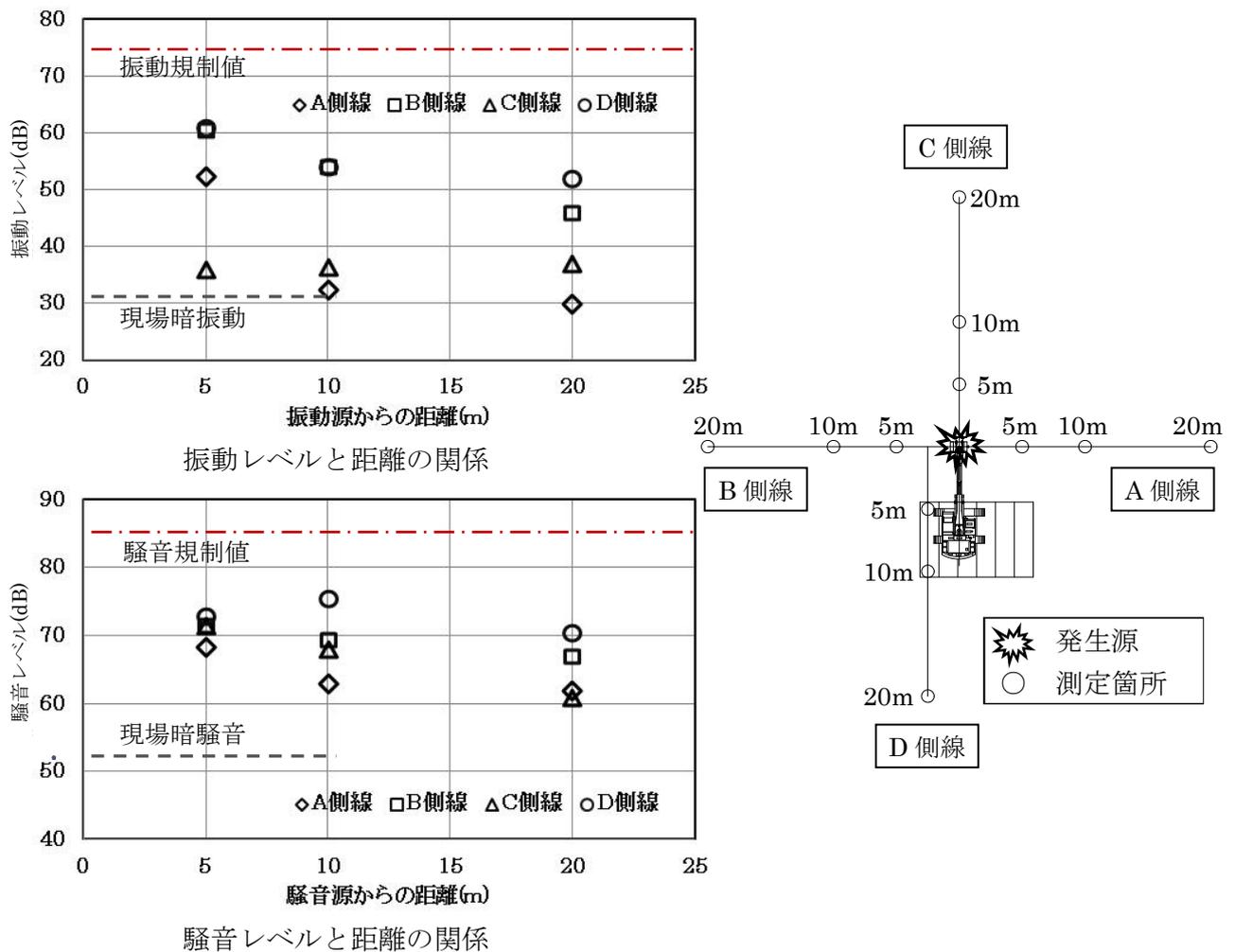


図 4.2-1 振動・騒音測定結果(現場 No. 8)

事例②

現場 No.9 の振動・騒音の測定結果を図 4.2-2 に示す。この事例もすべて規制値以下に収まっている。D 測線に比べて A 測線のレベルが低く、トレンチャの前方が振動・騒音が小さいことは現場 No.8 と同様である。

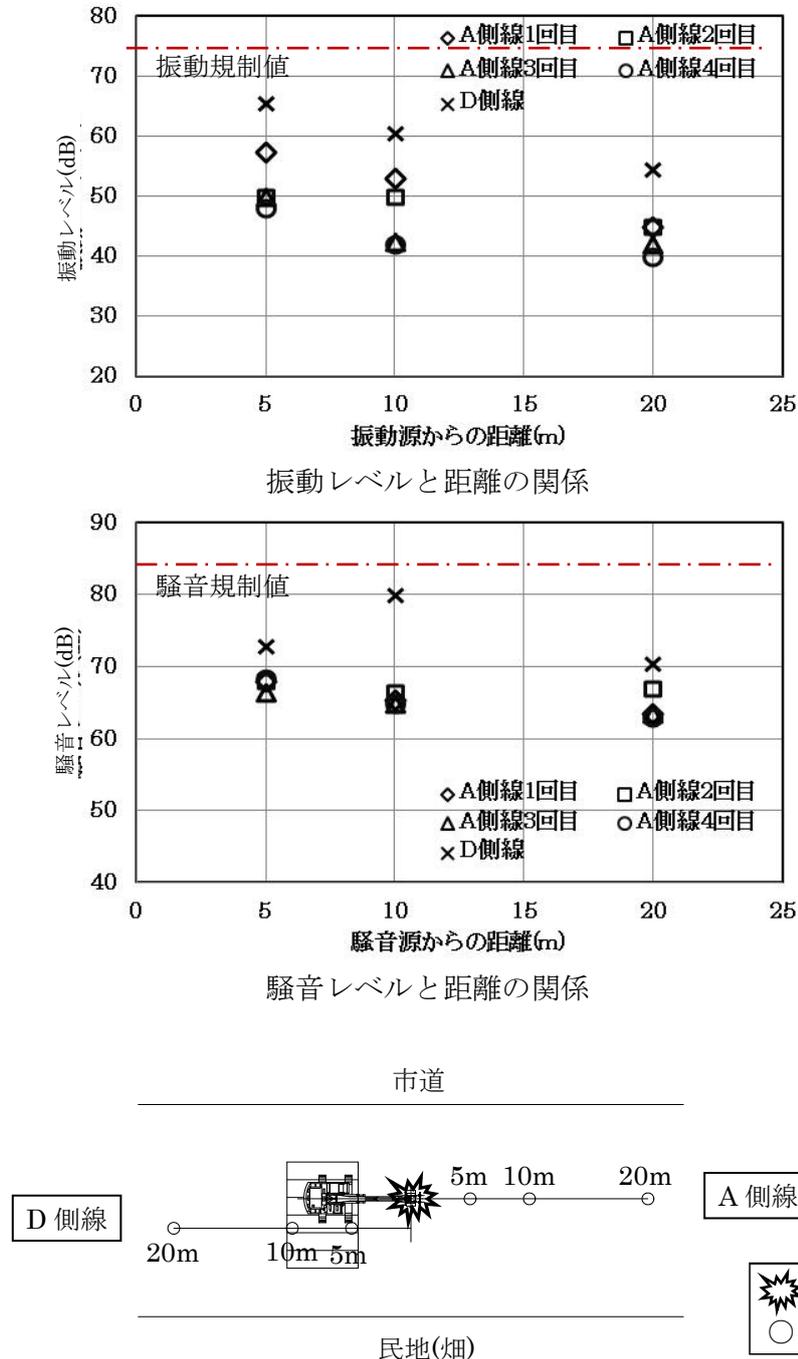
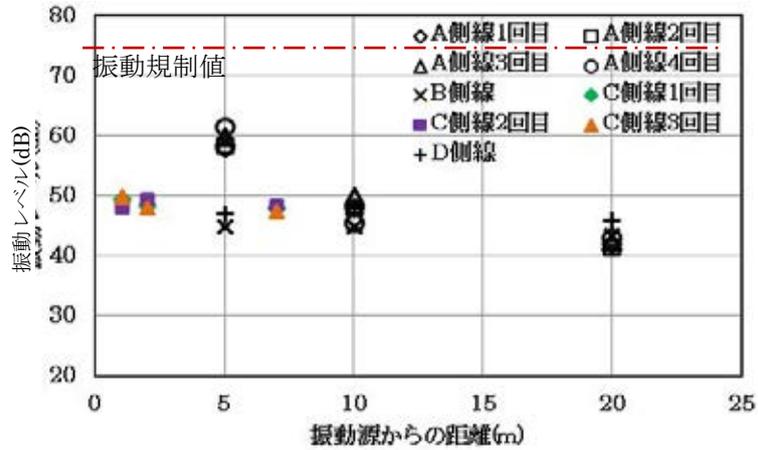


図 4.2-2 における振動・騒音測定結果現場 (No. 9)

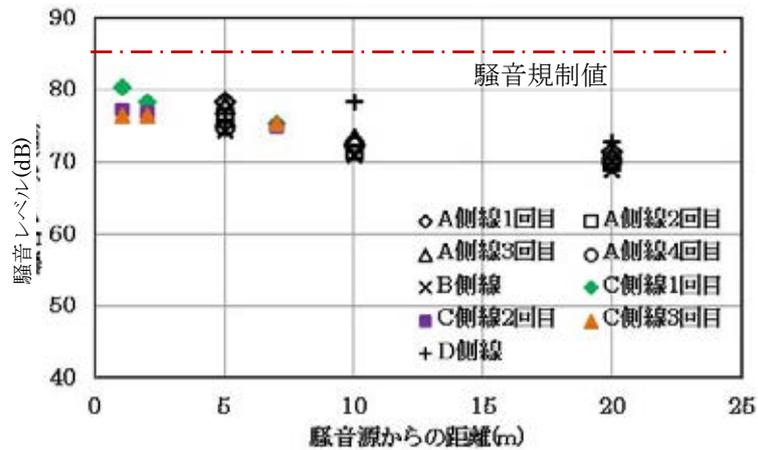
事例③

現場 No.10 の振動・騒音の測定結果を図 4.2-3 に示す。この事例もすべて規制値以下に収まっている。ただし、A 測線の 5m 位置は未改良のためか振動レベルが高い。

なお C 測線(1 回目)の 1m および 2m 地点の高い騒音レベルは、地表でエア加速型吐出口より圧縮空気を噴射した時の参考データである。



振動レベルと距離の関係



騒音レベルと距離の関係

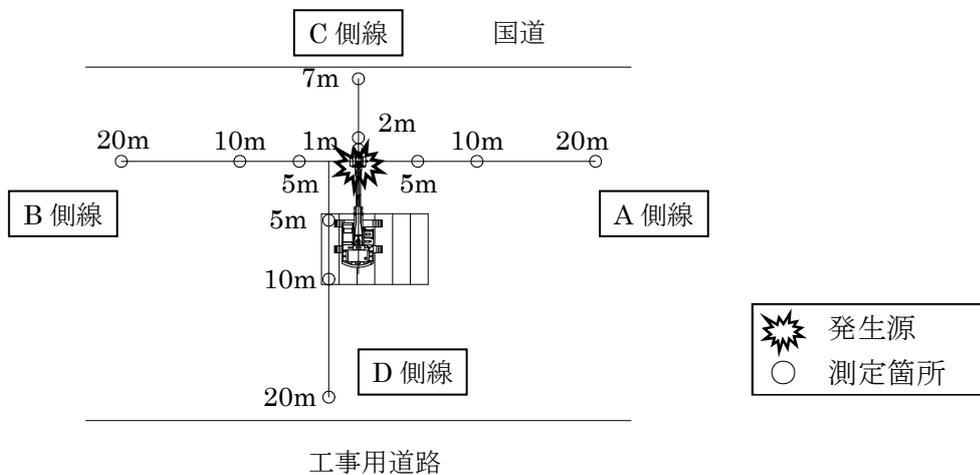


図 4.2-3 振動・騒音測定結果(現場 No. 10)

【参考】他工種と比較した施工中の振動・騒音を図4.2-4に示す。

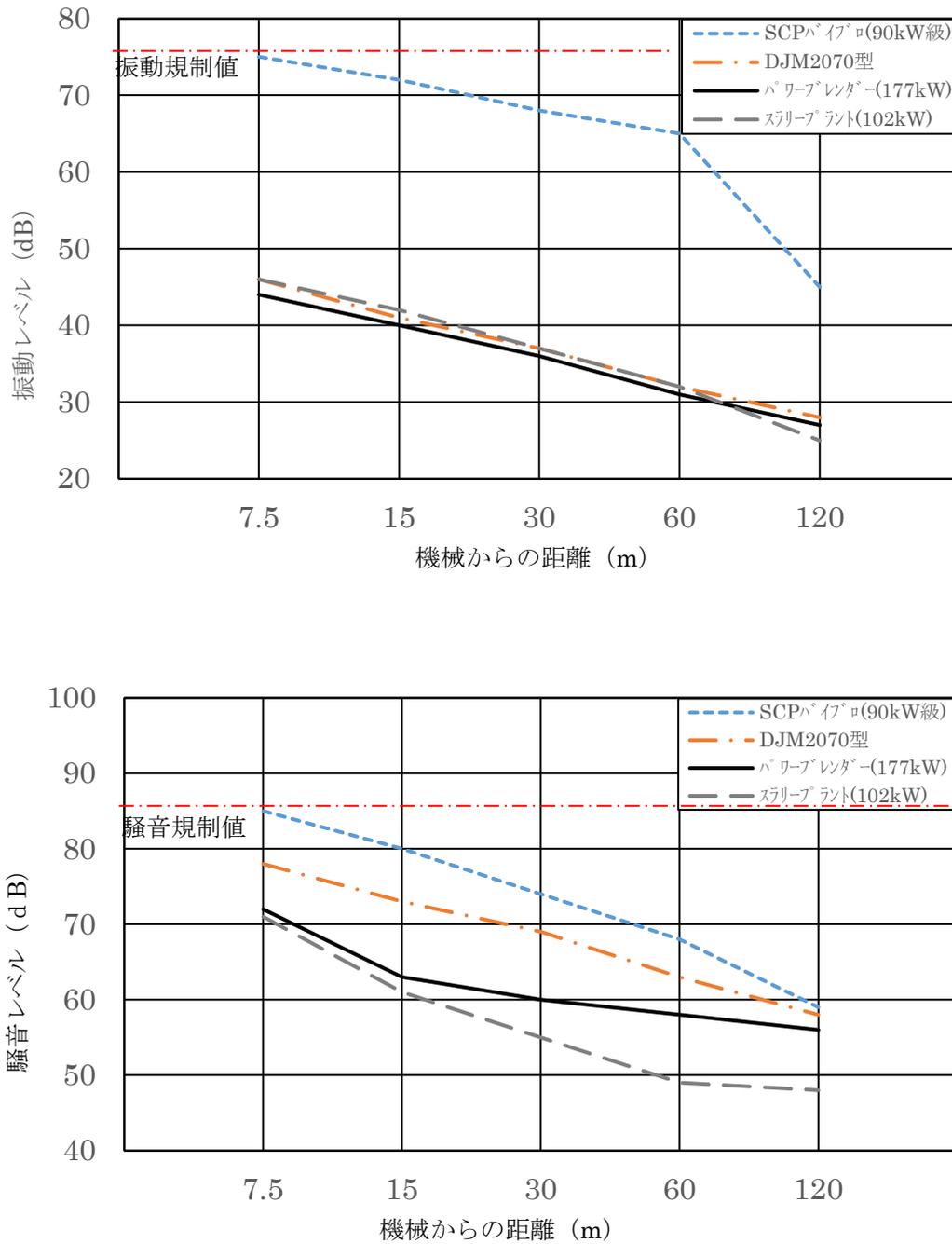


図4.2-4 振動・騒音比較²⁾に加筆

4.3 地下水へのアルカリ化の影響

セメント系固化材を使用する地盤改良においては、地下水に対するアルカリ化の影響が懸案となることが多く、特に井戸などで地下水利用が盛んな地域では、その傾向が顕著である。ここでは、地盤改良による地下水の pH の変化に関する事例を、文献¹⁾から紹介する。

改良体の pH は、混合直後から pH=11~12 程度のアルカリ性を示すが、改良土の表面は炭酸化等により中性化が進み、その地表面を流れる水の pH も次第に中性を示す。

一方、改良体の内部は、炭酸化のスピードが非常に遅く、数年経過した改良土でも表面から 0.1m 程度入ったところでは、施工直後と変わらない強いアルカリ性を示す。

改良層下端の改良体と接する未処理土は、改良体とほぼ同じ pH を示すが、0.1m 程度離れたところでは急激に低くなり、原位置土と同じ pH(中性の場合が多い)となる。

改良体の表面を流れた雨水等は、改良体に接している部分の pH は比較的高くなるものの、未処理土を通過する過程でアルカリが吸着され、周辺への拡散はほとんど無い。

深層混合処理工法(機械攪拌・粉体系)の、原地盤の pH、改良体の pH、および改良体中間の未改良区域の pH 測定例を図 4.3-1 に示す。この事例では、改良体中間部は改良体から 0.3m 離れた位置を調査しているが、調査期間は施工後 2 ヶ月経過しており原地盤の pH は殆ど変わらないことを示している。

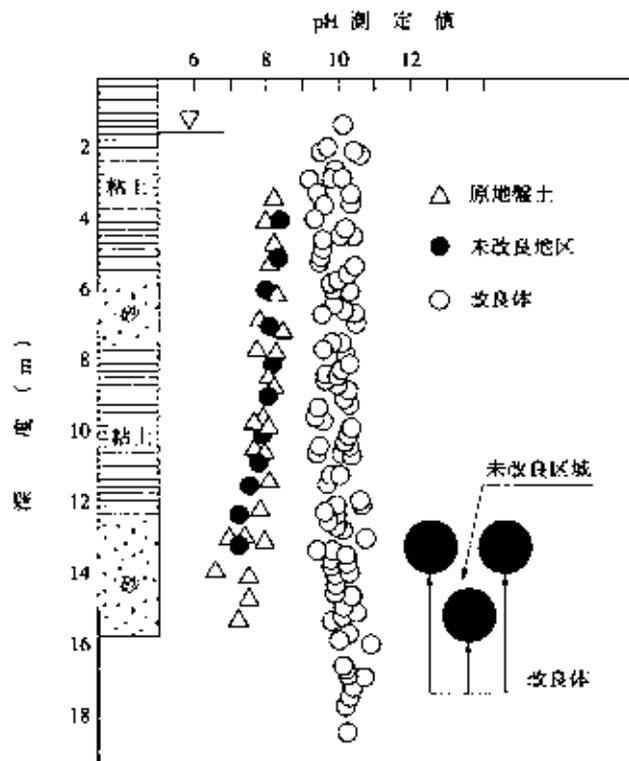


図 4.3-1 pH 測定(例)¹⁾

参考資料

(1) 国土交通省土木積算基準、NETIS 登録技術、審査証明等

- ・ 2007年(平成19年9月)
NETIS(新技術情報提供システム)の「設計比較対象技術」に選定
- ・ 2008年(平成20年1月) 改訂2023年(令和5年1月)
財団法人国土技術研究センターより下記の技術内容についての開発目標を達成していると証明され建設技術審査証明を取得
パワーブレンダー工法「スラリー噴射方式」(浅層・中層混合処理工法)

(1) 原地盤が互層地盤であっても改良深度全域において均質な改良体の造成ができる。
(2) 改良体の造成に伴う周辺地盤への影響が少なく、低振動・低騒音の施工ができる。
(3) 上空制限下においても上空制限高さと同程度の改良深度の施工ができる。
- ・ 2010年(平成22年12月)
性能設計時代に対応可能な新しい品質管理手法として、“社団法人建設機械化協会 施工技術総合研究所”において、「パワーブレンダー工法の品質管理方法に関する検討委員会」を実施し委員会報告書を発刊
- ・ 2011年(平成23年7月)
NETIS 登録 No CB-980012-V パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式)
平成23年度 推奨技術 (新技術活用システム検討会議(国土交通省))に選定
- ・ 2014年(平成26年5月)
NETIS 登録 No CB-980019-V パワーブレンダー工法(粉体噴射方式)
平成26年度 推奨技術(新技術活用システム検討会議(国土交通省))に選定
- ・ 2014年(平成26年5月)
平成26年度版国土交通省土木工事積算基準に「軟弱地盤処理工 中層混合処理工 (トレンチャ式)」として掲載
- ・ 2014年(平成26年5月)
平成26年度版建設機械等損料表に「中層混合処理機 (トレンチャ式) ベースマシン・攪拌混合装置・施工管理装置」として掲載
- ・ 2016年 (平成28年8月)
NETIS 登録 No・情報種別記号の変更 CB-980012-VE パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式)
- ・ 2017年 (平成29年4月)
NETIS 登録 No CB-980012-VE・CB-980019-V パワーブレンダー工法 (スラリー噴射方式) パワーブレンダー工法 (粉体噴射方式) NETIS 掲載終了
- ・ 2017年 (平成29年9月)
「地盤改良壁による山留め設計マニュアル」を協会として発刊
- ・ 2018年 (平成30年11月)
「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」に全層鉛直攪拌式による地盤改良工法として掲載
- ・ 2019年 (平成31年1月)
NETIS 登録 No QS-180038-A パワーブレンダー工法(横行施工)
- ・ 2019年 (平成31年4月)
国土交通省より ICT の全面的な活用として要領が策定、中層混合処理(トレンチャ式)として掲載
「施工履歴データを用いた出来形管理要領(表層安定処理等・中層地盤改良工事編)(案)」
「ICT 活用工事 (地盤改良工 (中層混合処理)) 積算要領」

・2020年（令和2年6月）

「建設発生土(河川浚渫・掘削土等)を活用した盛土材料(通常堤防・高規格堤防)としての改良技術、無害化技術(不溶化)」の改良技術としてNETIS テーマ選定型の比較工法に選定

- ・パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式)
- ・パワーブレンダー工法(地表散布方式、集塵装置付地表散布方式)

・2022年（令和4年3月）

NETIS 登録 No QS-210068-A パワーブレンダー工法(ICT 施工)

(2)特許関係

パワーブレンダー工法は以下の特許群を技術の核としている。

<特許>	
固化材吐出装置	特許第 3628658 号
攪拌翼	特許第 3793734 号
土質試料採取装置	特許第 3793763 号
流動性を管理して施工する地盤改良工法	特許第 3944508 号
施工管理装置	特許第 6835376 号
ICT システム	特許第 7041435 号
<横行施工特許>	
横行施工を行う為の地盤改良装置	特許第 6113341 号
角度調整機構とその施工方法	特許第 6188982 号
横行施工による改良方法	特許第 6197135 号
地盤改良工法、装置、他	特許・出願中 多数
<商標>	
パワーブレンダー（第 37 類）	第 4024806 号
パワーブレンダー（第 7 類）	第 3362423 号

注1：本技術は特許工法であり 1m³当りの特許使用料は、スラリー噴射方式は 30 円である。

注2：連続鉛直攪拌混合方式で地盤改良を施工する場合は、上記特許に抵触する恐れがあるのでご注意いただきたい。

(3)参考文献

- 1) 西田耕一、三浦哲彦：DJM 工法における施工管理と品質管理 昭和 62 年 9 月
の為の現場試験について 土木学会第 42 回年次学術講演会
平成 26 年 3 月
- 2) 粉体噴射攪拌工法 技術マニュアル DJM 工法研究会
平成 31 年 4 月
- 3) ジオセット技術マニュアル [第 14 版] 太平洋セメント(株)

(4)特記仕様書記載について

特記仕様書では「パワーブレンダー工法」の名称が工法指定として記載されることが望ましいが、記載されない場合は、「鉛直方向に攪拌混合が可能」及び「盛り上がり土の処理(利用)方法」などのパワーブレンダー工法に特化した語句が必須になる。

中層混合処理(特記仕様書記載例)

- (1) 改良材は、セメントまたはセメント系固化材とする。
なお、土質等によりこれにより難しい場合は、監督職員と**協議**しなければならない。
- (2) 施工機械は、鉛直方向に攪拌混合が可能な攪拌混合機を用いることとする。攪拌混合機とは、アーム部に攪拌翼を有し、プラントからの改良材を攪拌翼を用いて原地盤と攪拌混合することで地盤改良を行う機能を有する機会である。
- (3) 受注者は、設計図書に示す改良天端高並びに範囲を攪拌混合しなければならない。
なお、現地状況によりこれにより難しい場合は、監督職員と**協議**しなければならない。

施工後の改良天端高については、攪拌及び注入される改良材による盛上りが想定される場合
工事着手前に盛り上がり土の処理(利用)方法について、監督職員と**協議**しなければならない。

※国土交通省 土木工事共通仕様書 参照

(5)国土交通省管理基準

令和5年3月31日現在

出来形管理基準及び規格値(案)

編	章	節	条	枝番	工 種	測 定 項 目	規 格 値	測 定 基 準	測 定 箇 所					
3	土	木	工	事	共	通	編							
										3	固結工 (中層混合処理)	基準高▽	設計値以上	1,000㎡～4,000㎡につき1ヶ所、または施工延長40m(測点間隔25mの場合は50m)につき1ヶ所、1,000㎡以下、又は施工延長40m(50m)以下のものは1施工箇所につき2ヶ所。 施工厚さは施工時の改良深度確認を出来形とする。 「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」による管理の場合は、全体改良範囲図を用いて、施工厚さt、幅w、延長Lを確認(実測は不要)。
											施工厚さt			
											幅w			
	延長L													

品質管理基準及び規格値(案)

工 種	種 別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値	試験時期・頻度	備 考	
40	中層混合処理	材料	必須	土の含水比試験	JIS A 1203	設計図書による	当初及び土質の変化した時。	配合を定めるための試験である。
				土の飽和密度試験	JIS A 1225			
				テーブルフロー試験	JIS R 5204			
				土の一軸圧縮試験(改良体の強度)	JIS A 1216			
	材料	その他		土粒子の密度試験	JIS A 1202	設計図書による	土質の変化したとき必要に応じて実施する。	
				土の粒度試験	JIS A 1204			
				土の塑性限界・塑性限界試験	JIS A 1205			
				土の一軸圧縮試験	JIS A 1216			
				土の圧密試験	JIS A 1217			
				土の液性試験	JIS A 1217			
	その他			土の液性試験	JIS A 1217	設計図書による	有機質土の場合は必要に応じて実施する	
				土の液性試験	JIS A 1217			
	施工	必須		深度方向の品質確認(均質性)	試験採取部またはボーリングコアの目視確認	採取した材料のフェノールフタレイン反応試験による均質性の目視確認	1,000㎡～4,000㎡につき1回の割合で行う。 試験採取部またはボーリングコアで採取された改良体上、中、下において連続して改良されていることをフェノールフタレイン反応試験により均質性を目視確認する。 現場の条件、規模等により上記によりがたい場合は監督員の指示による。	1. 実施頻度は、監督職員との協議による。 2. ボーリング等により供試体を採取する。
				土の一軸圧縮試験(改良体の強度)	JIS A 1216	①各供試体の試験結果は改良地盤設計強度の85%以上。 ②1回の試験結果は改良地盤設計強度以上。 なお、1回の試験とは3個の供試体の試験値の平均値で表したものである。	1,000㎡～4,000㎡につき1回の割合で行う。 試験は改良体について上、中、下それぞれ1供試体で1回とする。 現場の条件、規模等により上記によりがたい場合は監督員の指示による。	実施頻度は、監督職員との協議による。

※一部削除

撮影箇所一覧表(品質管理)

番号	工 種	写真管理項目	
		撮影項目	撮影頻度 [時期]
34	中層混合処理	テーブルフロー試験	適宜 [試験実施中]
		土の一軸圧縮試験	材質毎に1回 [試験実施中]

撮影箇所一覧表(出来形管理)

編	章	節	条	枝番	工 種	写真管理項目						
						撮影項目	撮影頻度[時期]					
3	土	木	工	事	共	通	編	2 一般 地盤 改良 工 工	2 固結工 (中層混合処理)	施工厚さ 幅	1,000㎡～4,000㎡につき1回、又は施工延長40m(測点間隔25mの場合は50m)につき1回。 [施工厚さ 施工中] [幅 施工後]	ただし、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)表層安定処理等・固結工(中層混合処理)編」により出来形管理資料を提出する場合は、出来形管理に関わる写真管理項目を省略できる。

第Ⅱ編

パワーブレンダー工法（スラリー噴射方式）

「応用技術」

第1章 横行施工

1.1 工法の概要

NETIS 登録 No QS-180038-A (2019年1月登録)

横行施工は、トレンチャの取付け角度を変換したのち、原地盤を鉛直方向に攪拌し、トレンチャの挿入状態を保持しながら履帯に対し平行にトレンチャを連続水平移動させる。施工イメージ図を図1.1-1、施工平面図を図1.1-2、変換角度別の機械配置図を図1.1-3に示す。

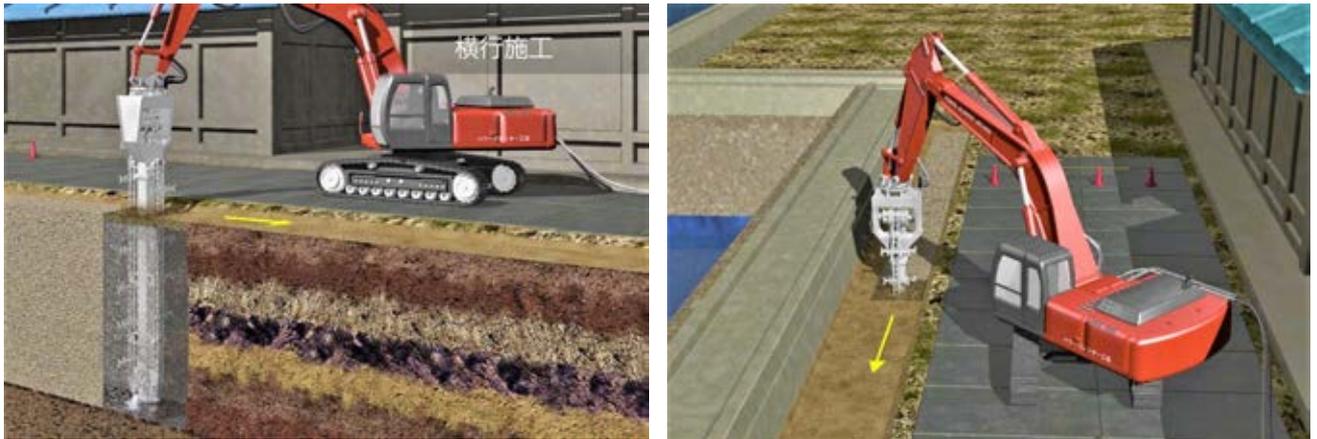


図 1.1-1 施工イメージ図

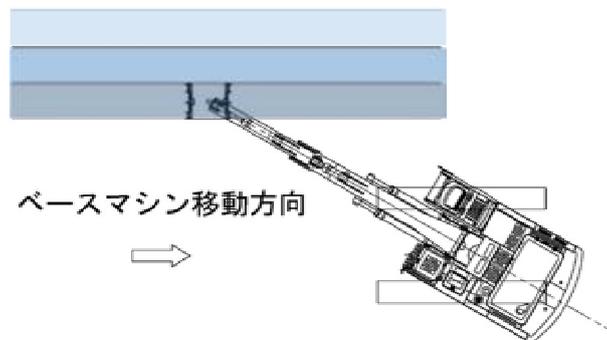


図 1.1-2 施工平面図

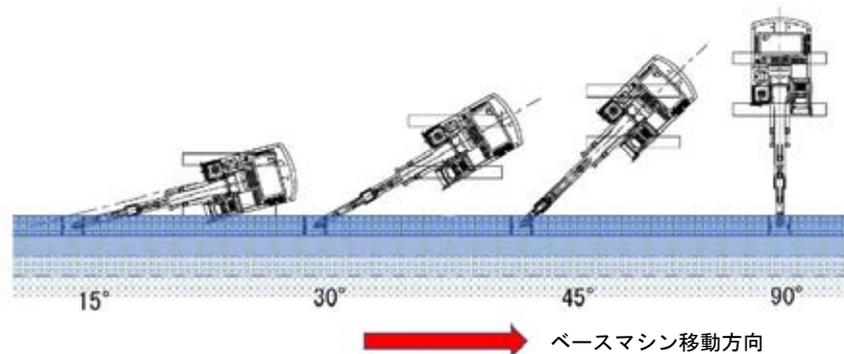


図 1.1-3 変換角度別機械配置図

1.2 横行施工の特長

トレンチャ式地盤改良機に角度変換機能付攪拌機を装着する事で、従来施工出来なかった任意角度による横行走行連続施工が可能となり、近接箇所や狭隘な箇所での施工性が向上し適用範囲が拡大した。

攪拌機の角度変換機能部を写真 1.2-1、図 1.2-1、施工状況を写真 1.2-2 に示す。

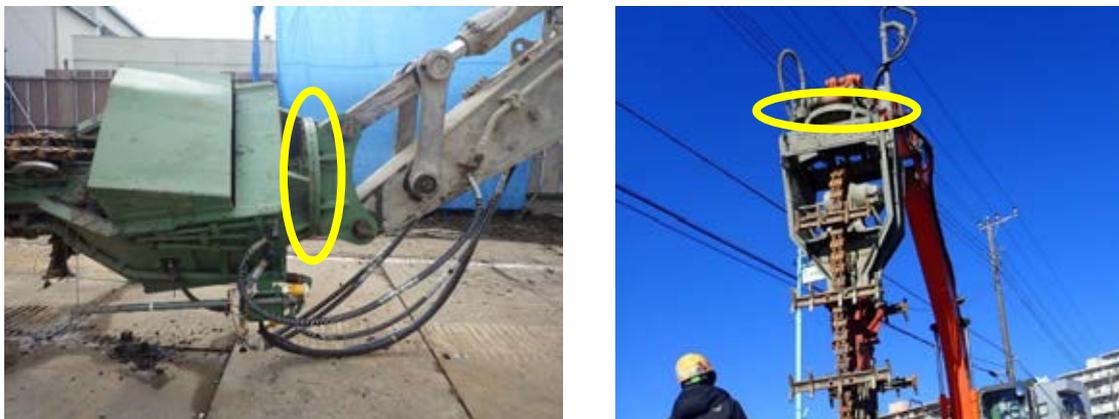


写真 1.2-1 角度変換機能部

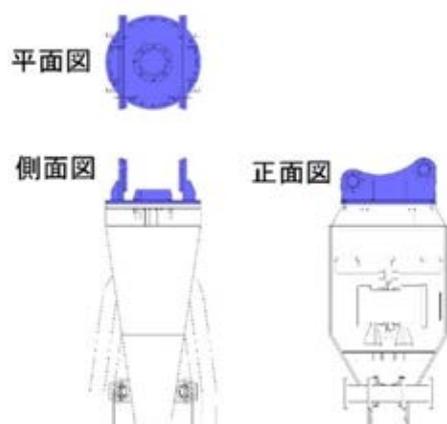


図 1.2-1 角度変換機能部



写真 1.2-2 施工状況

1.3 横行施工の適用例

土木・建築構造物および盛土等の土構造物地盤の地耐力確保（支持力増加）・沈下対策・液状化対策・土留め壁などに利用されている。

横行施工での活用が多い適用例を図 1.3-1、現場条件での適用例を図 1.3-2、適用最小施工エリアを図 1.3-3 に示す。

(1) 基礎地盤の安定、液状化対策、土留め壁等

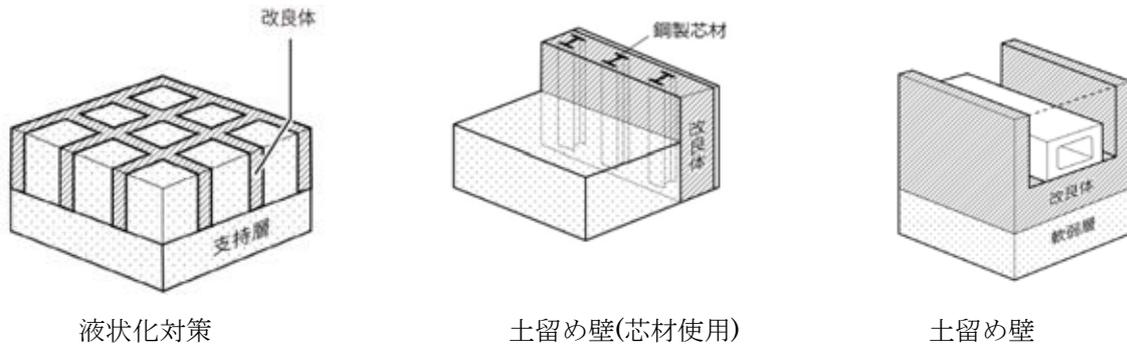


図 1.3-1 活用が多い適用例

(2) 現場条件による適応例



図 1.3-2 現場条件による適用例

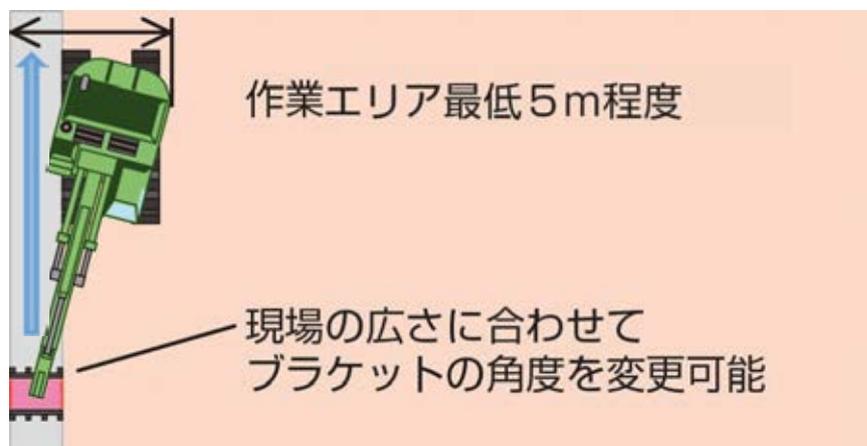


図 1.3-3 最小作業エリア図

1.4 施工事例（ソイルセメント地下連続壁）

仮設として用いられる土留め壁の中で、ソイルセメント地下連続壁工法は、H 鋼などの芯材と地盤改良による壁体を組み合わせたものである。

柱状の改良体を構築する工法では、ラップ施工が必要になると異なり、パワーブレンダー工法は横行施工により連続的にソイルセメント地下連続壁を構築可能なため、ソイルセメント地下連続壁には好適な地盤改良工法である。

また、深度方向に均一な改良体を構築可能な工法であるため、山留壁としての性能も良好であることが期待できる。

以下にパワーブレンダー工法によるソイルセメント地下連続壁の適用例を示す。

地下水が比較的高い地盤に構築した仮設土留め壁である。パワーブレンダー工法の横行施工にて改良壁を造成し、改良直後に H 鋼材の建込みを実施した。

現場平面図を図 1.4-1、土留め壁の緒元を図 1.4-2、施工状況を写真 1.4-1 に示す。

施工完了後、山留掘削時に、止水性も問題ないことが確認できた。

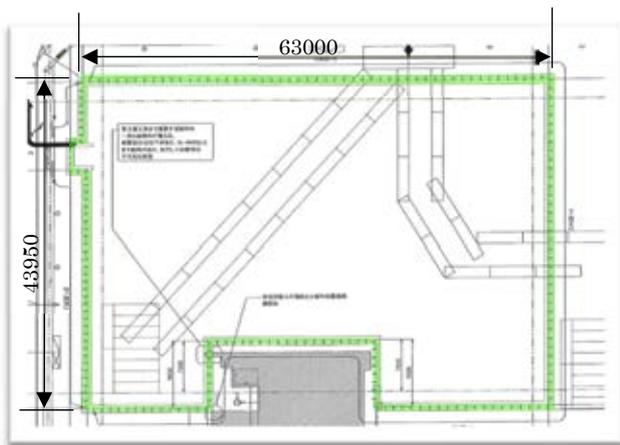


図 1.4-1 現場平面図

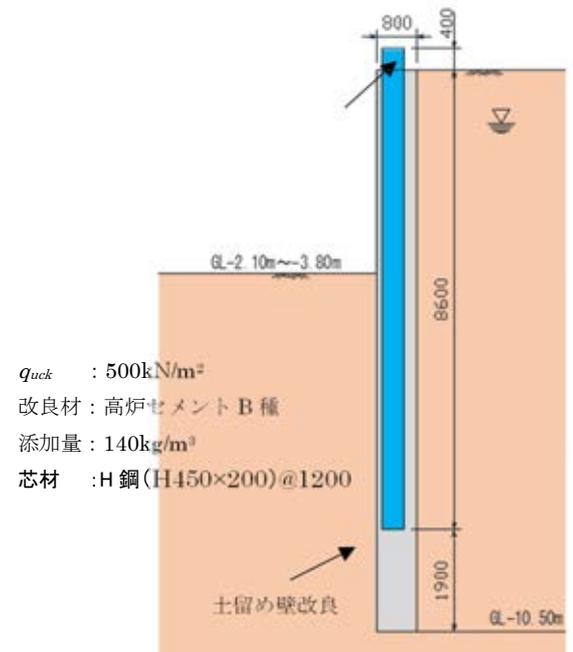


図 1.4-2 土留緒元



写真 1.4-1 施工状況

第2章 ヒートソイル工法

2.1 工法の概要

NETIS 登録 No (旧)CB-100013-A 特許第 4545232 号

本工法はセメントやセメント系固化材の特徴である「養生温度が高いほど水和反応が活発になる」ところに着目し、安定処理土の温度を昇温させてセメント系固化材の水和反応を助長させ、改良土の強度発現までの時間を大幅に短縮するものである。

図 2.1-1 に示すようなシステムを用い、ボイラーで発生させた高温蒸気を改良材スラリーと合流させてスラリーを高温化し、原土と攪拌混合して安定処理土の昇温を図る。

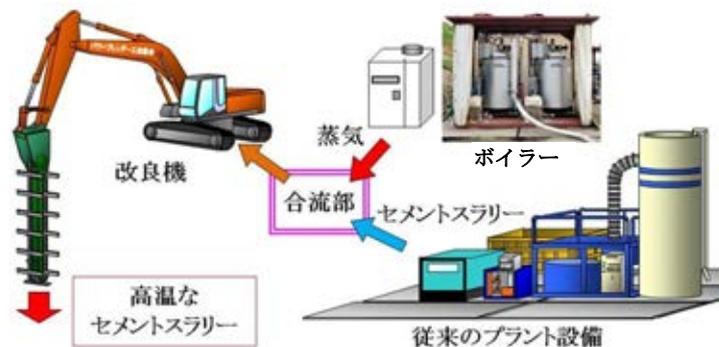


図 2.1-1 ヒートソイル工法のセメントスラリー高温化システム

2.2 ヒートソイル工法の特長

(1) 短期強度の発現

ヒートソイル工法の加温により、通常は地山強度に達するのに数日を要する改良体の強度発現が、大幅に促進され、数時間で地山強度に達する。また、設計基準強度への到達日数を大幅に短縮出来る。

通常の工法では、混合攪拌直後には、地盤が泥土状となるため、水和反応により地山強度に達するまでの間、一時的な強度低下が生じ、地山強度を下回る場合も多い。このような状況が、近接施工等において、悪影響を及ぼす事が懸念されるような場合に効力を発揮する。また、盛土などの地盤改良の後工程が早く開始できる可能性があり工期短縮につながる場合もある。

(2) 寒冷地における厳冬期施工の性能確保

寒冷地における厳冬期施工は改良体の強度が発現しにくいために、強度発現不良が生じることが懸念されるが、ヒートソイル工法で昇温化することにより厳冬期施工であっても、通常時に近い強度発現が確保する事ができる。

2.3 施工事例

以下にヒートソイル工法の施工事例を示す。

(1) 鉄道の近接施工における短期強度発現

機械攪拌時の強度低下による近接営業線への影響を低減するため、ヒートソイル工法を活用して数時間で地山の強度まで回復させた施工事例である。施工後の経過時間とパワーブレンダー硬度計で測定した換算一軸圧縮強さの関係を図 2.3-1 に示す。

本事例では約 2.5 時間で地山強度に回復している。

このように現場での短期強度の測定にも、パワーブレンダー硬度計が活用できる。

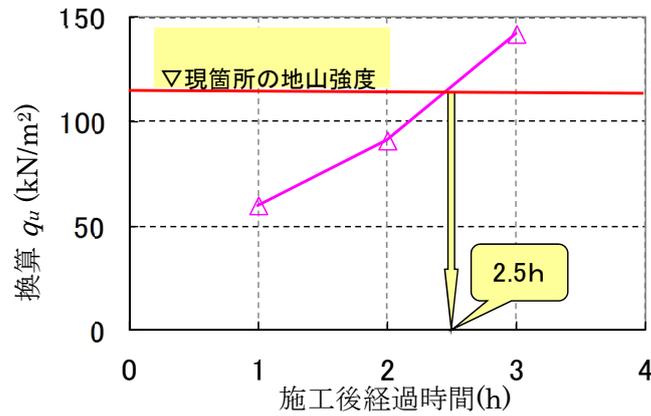


図 2.3-1 施工後経過時間と換算一軸圧縮強さの関係

(2) 寒冷地における厳寒期施工

施工日の最高気温は-6.0℃、最低気温は-25.4℃、施工日以降の凍結指数は 200℃・days といった過酷な気象条件における施工事例である。施工直後からの地中温度の変化を図 2.3-2 に示した。

特に強度発現に大きな影響を及ぼす初期において、ヒートソイル工法は大きく温度が上昇しており、28 日経過時点でも温度差が見られる。従来工法では初期温度が 20℃より大幅に低い 10℃程度であり室内配合試験との乖離が大きい。

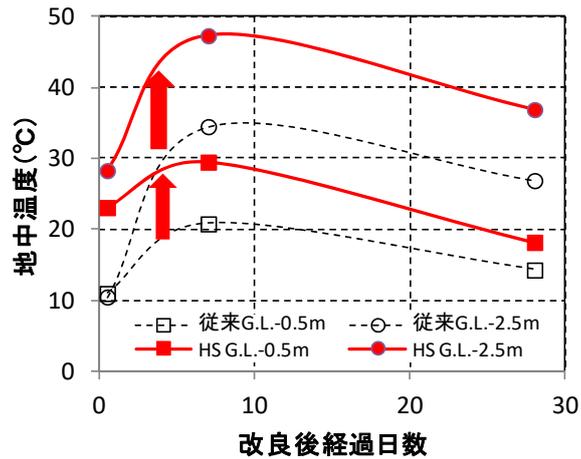


図 2.3-2 改良後経過日数と地中温度の関係

この結果、図 2.3-3 に示すようにヒートソイル工法の強度は従来工法の 1.5 倍となった。なお、現場/室内強度比は、従来工法が 0.3 であるのに対し、ヒートソイル工法では 0.5 となった。

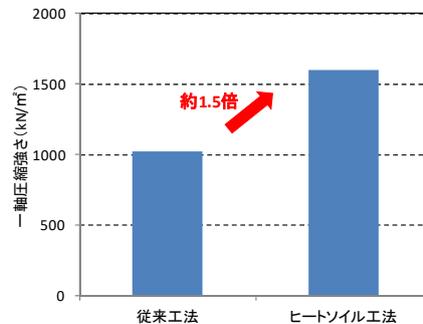


図 2.3-3 ヒートソイル工法と従来工法の改良体一軸圧縮強さの比較

【参考】改良材量の低減の可能性

安定処理土の昇温化によって通常施工より材齢 28 日強度が 1.4~1.8 倍程度となる結果が得られている。これは長期的に強度が向上していく現象が促進された結果と解釈することができるが、結果として性能を満足する強度に必要な改良材量を低減できることになり地盤改良工事の CO₂ 低減につながる可能性がある。

高含水比($w_p > 200\%$)有機質土におけるヒートソイル施工の実施例を紹介する。従来工法の 28 日強度がヒートソイル工法では 3 日で得られている。また材齢 28 日強度を比較するとヒートソイル工法は従来工法の 1.8 倍が得られた。施工後経過日数と一軸圧縮強さの関係を図 2.3-4 に示す。

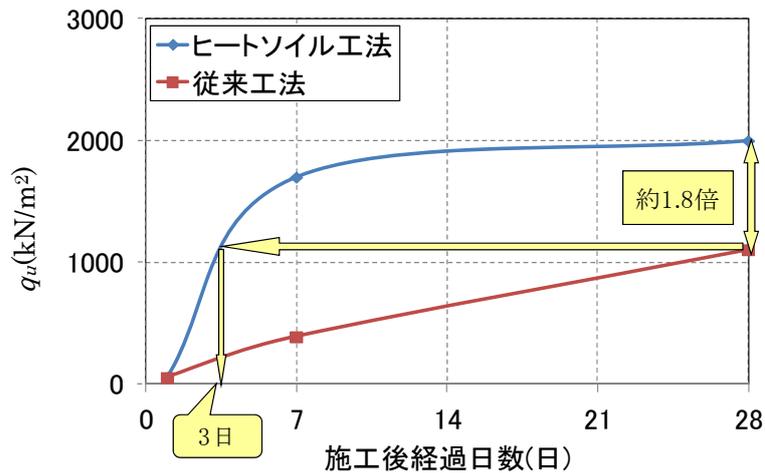


図 2.3-4 施工後経過日数と一軸圧縮強さの関係

前述の例は、同じ添加量での経過日数と一軸圧縮強さの関係であるが、室内配合試験における添加量毎の強度を比較すると、図 2.3-5 に示すように 100kg/m³ 程度添加量を削減できる可能性があることがわかる。

本技術の添加量の削減効果に関しては、ヒートソイル工法による強度増加を予測できる室内配合試験方法の確立が必要であり、今後の検討とデータの蓄積が期待される。

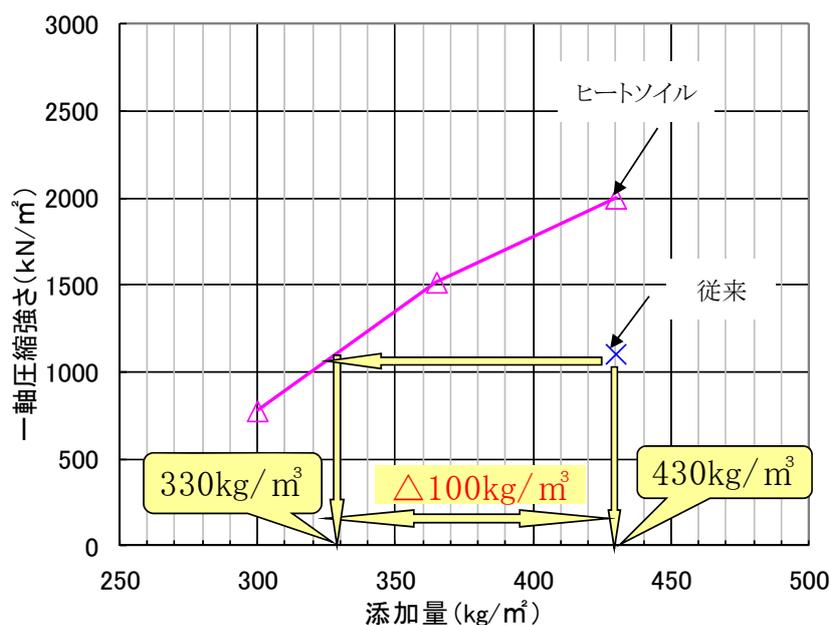


図 2.3-5 ヒートソイルの室内配合試験結果による添加量削減の可能性

第3章 水平施工

3.1 工法の概要

パワーブレンダー工法は水平施工用のトレンチャを使用することにより地中で水平状態による攪拌混合が可能である。このため従来の機械攪拌ではほとんど施工不可能であった既設構造物直下の施工も可能となった。水平トレンチャ及び施工状況を写真3.1-1に示す。



写真 3.1-1 水平トレンチャ及び施工状況

3.2 施工事例

水平トレンチャを用いた実施工例として、配水池の耐震補強の一環として実施された改良事例を紹介する。この事例では、L2地震時に既設配水池タンクの基礎直下が液状化する懸念があり、対策が必要であった。このような場合、従来の方法であれば、薬液注入、噴射攪拌による改良などが計画されるが、水平トレンチャの使用により、機械攪拌により水平改良と斜め改良等を実施し、信頼性の高い液状化対策が実施できた。

配水池耐震補強の概要を図3.2-1に示す。

【耐震補強のイメージ図】

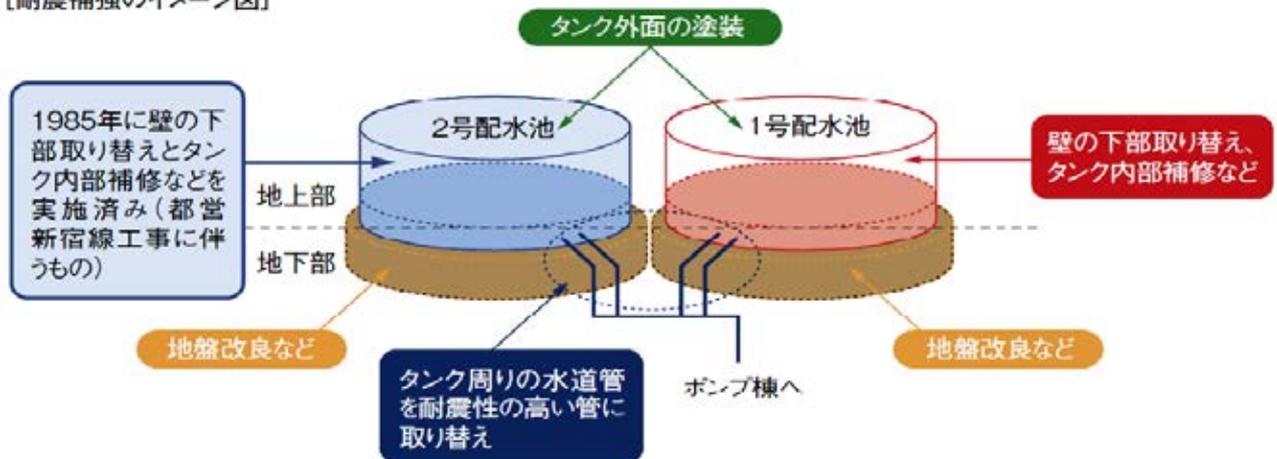
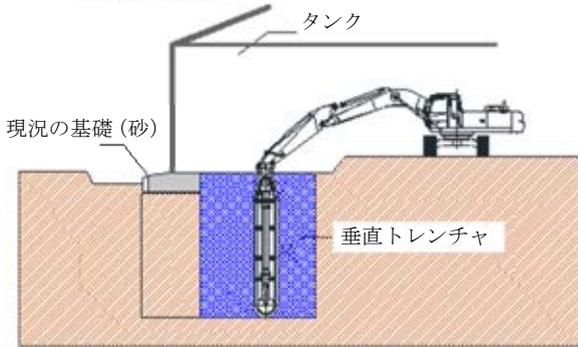


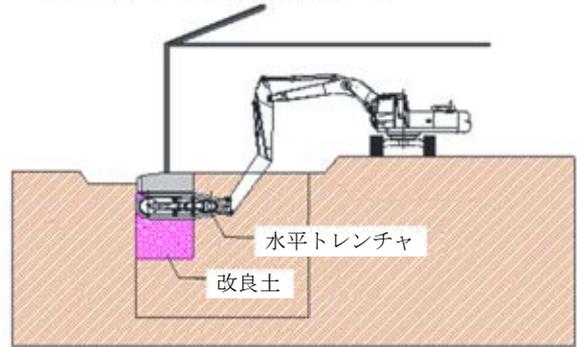
図 3.2-1 配水池耐震補強の概要

施工手順を図 3.2-2、タンク全景と施工イメージを写真 3.2-1 に示す。

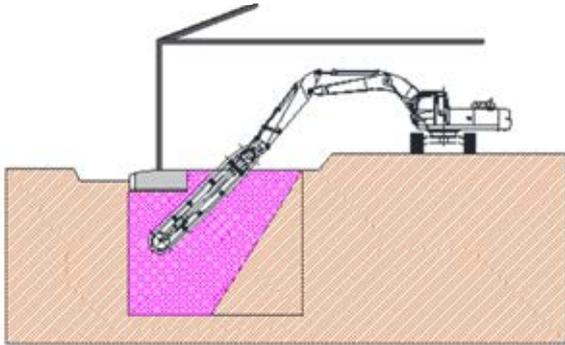
- ① 水を使ってテーブルフロー値が 200mm になるまで攪拌する。



- ② 水平トレンチャの傾斜、深度、壁からの離隔を測定しながら壁下部分を改良する。



- ③ トレンチャの傾斜、深度、壁からの離隔を測定しながら 45 度の角度で攪拌する。



- ④ 壁下の斜め部分の改良に引き続き、残りの部分を改良する。

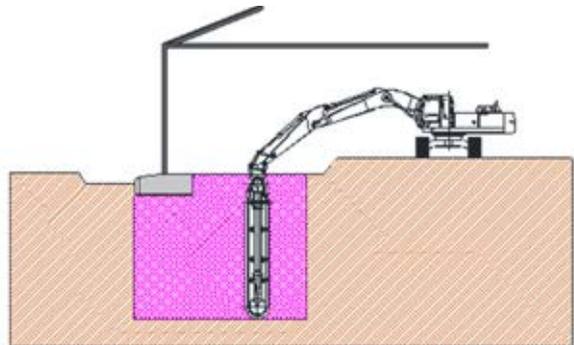


図 3.2-2 施工手順



写真 3.2-1

本実績から判るようにパワーブレンダー工法は、水平攪拌、斜め攪拌等による多彩な地盤改良体の構築が可能である。

このような特性を踏まえると、従来の地盤改良の常識にとらわれない、新しい発想の改良形式や施工手順が考えられ、地盤改良の適用範囲が大きく広がることが期待される。また、そのような新しい改良に適用できる設計の考え方が期待される。