

浅深 4 軸工法

多軸機械攪拌式中層混合処理工法

技術資料

平成 29 年 4 月 4 日修正資料

浅深 4 軸工法協会

は　じ　め　に

浅深４軸工法は機械攪拌式（セメントスラリー式）浅層・中層混合処理工法です。セメント系機械攪拌式固化改良工法は４０年以上の研究開発の歴史を持つ軟弱地盤改良工法であり、工法の原理、設計、施工に関する研究を積み重ね、今日ではより経済的で効率の良い工法が求められています。代表的な地盤改良技術として定着している大型の施工機械を小型化し、さらに４軸を採用した大口径改良を基礎とする地盤改良工法です。

本技術資料は、浅深４軸工法の適用範囲、施工機械および施工仕様等に関する内容をまとめた技術資料です。

さらに浅深４軸工法の技術向上を目指し、技術研鑽に努めますのでよろしくご指導、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

平成 29 年 4 月

浅深４軸工法協会

目 次

第1章 技術資料

1.	浅深4軸工法の概要	1
1.1	改良形状	1
1.2	適用範囲	2
1.3	工法の位置付け	2
2.	施工機械	2
3.	施工方法	5
3.1	深度管理施工	5
3.2	着底管理施工	8
3.3	段差施工	11
3.4	近接施工限界	13
3.5	施工機械姿図	14
4.	施工基準	16
4.1	施工方法	16
4.2	攪拌翼	17
4.3	セメントスラリー吐出位置	18
4.4	羽根切り回数および貫入・引抜速度	18
4.5	施工管理計	19
5.	施工管理	19
5.1	施工管理項目	19
5.2	施工管理の概要	21
5.3	施工管理の判断基準	23
5.4	施工結果の出力例	23
6.	品質管理	26
6.1	改良体の品質確認	26
6.2	品質管理基準	27

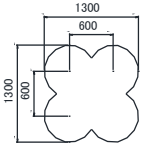
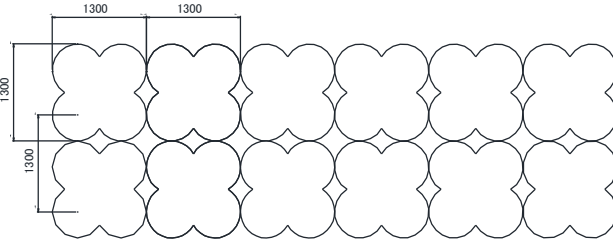
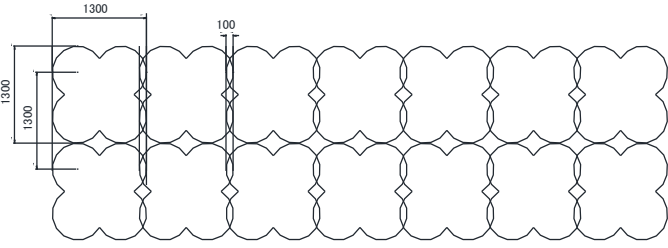
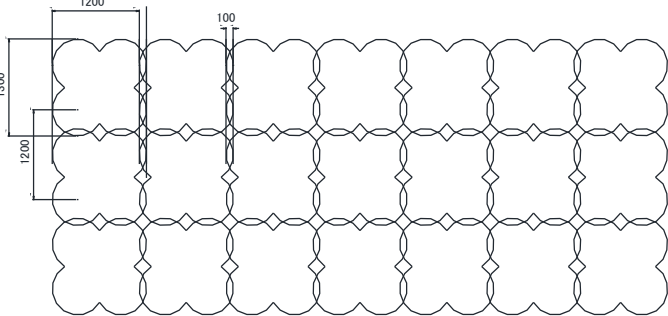
第 1 章 技 術 資 料

1. 浅深 4 軸工法の概要

1.1 改良形状

浅深 4 軸工法の改良形状は、改良径 $\phi 700\text{mm} \times 4$ 軸の 1 種類である。オーバーラップ長は 100mm、改良杭をオーバーラップ施工する場合は設計条件にて 100mm～200mm とする。改良形式は、基本的に表 1.1 改良形状に示すように、杭式改良、壁式改良、ブロック式改良である。

表 1.1 改良形状

	$\phi 700\text{mm} \times 4$ 軸
改良形状	 改良面積 1.46 m²/set ラップ長100mm
杭式改良	
壁式改良	
ブロック式改良	

1.2 適用範囲

本工法の適用範囲は、適用地盤、打設長の条件を表 1.2 に示す。

表 1.2 適用地盤と打設長

施工機械種別	適用地盤				打設長
	粘性土		砂質土		
	適用範囲	最大値	適用範囲	最大値	
自動姿勢制御方式 (バックホウ)	$C \leq 60\text{kN/m}^2$ ($N \leq 6$)	$C=80\text{kN/m}^2$ ($N=8$)	$N \leq 12$	$N=25$	$L \leq 6\text{m}$
ガイドリーダ方式 (テレスコピック クローラクレーン)	$C \leq 60\text{kN/m}^2$ ($N \leq 6$)	$C=80\text{kN/m}^2$ ($N=8$)	$N \leq 12$	$N=25$	$L \leq 15\text{m}$

*打設長：施工基面（原地盤高）より改良下端までの長さ

1.3 工法の位置付け

浅深 4 軸工法の選定に当たっては、地盤条件（土質条件）、改良目的、打設長、改良率、周辺環境条件など基本的な設計・施工条件を検討する必要がある。

その後、以下に示す項目を十分考慮する必要がある。

- ① 打設長（L）による機種選定
- ② 地盤条件（粘性土は粘着力 C、砂質土は N 値）
- ③ 工法・改良形状の検討

2. 施工機械

施工機械は、処理機本体とスラリープラントに分かれる。処理機本体部は、攪拌軸、攪拌翼、ベースマシンからなり、バックホウは盛り上がり土砂処理や整地、敷鉄板移動を行う。スラリープラントは、セメントサイロ、ミキシングプラント、グラウトポンプ、管理室などから構成される。

浅深 4 軸工法で使用する主要機械構成を図 2.1 に自動姿勢制御方式を、図 2.2 にガイドリーダ方式を示す。

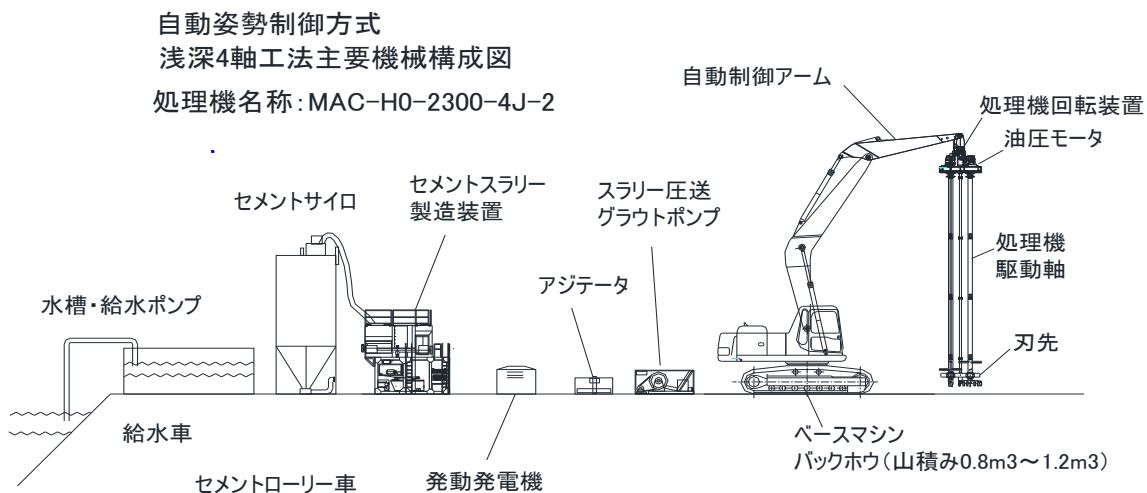


図 2.1 自動姿勢制御方式

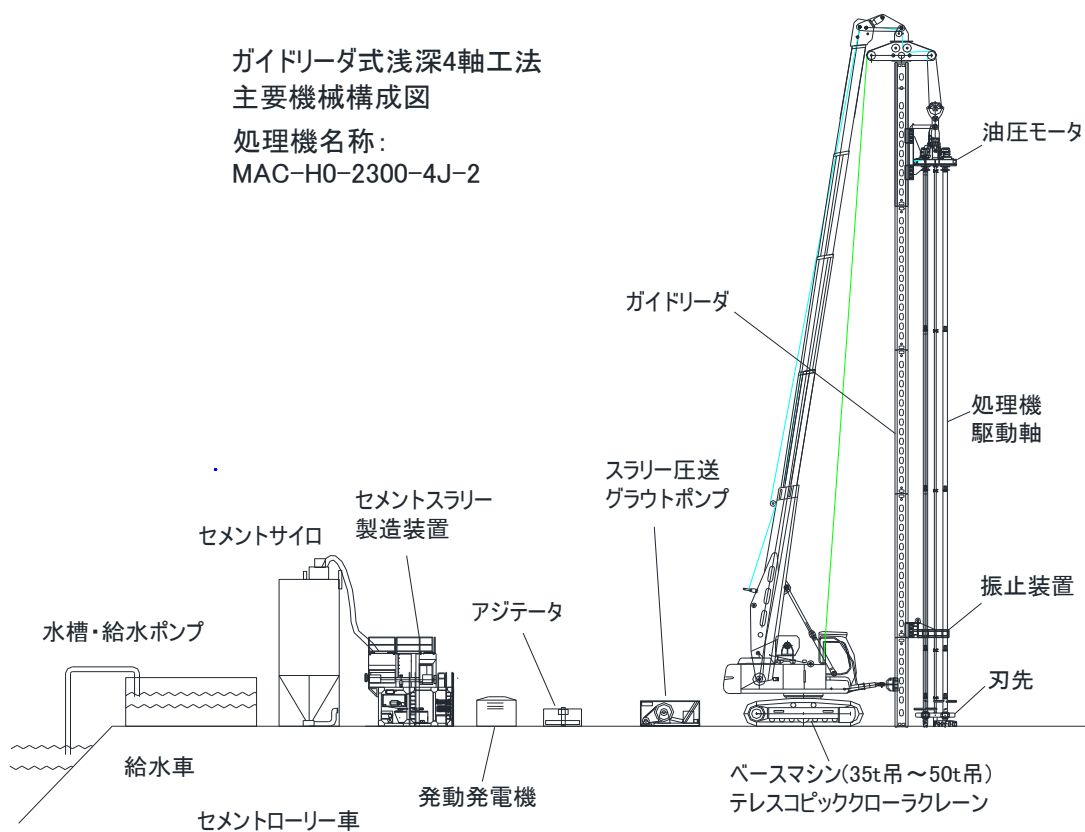


図 2.2 ガイドリーダ方式

また、バックホウ自動姿勢制御方式とテレスコピッククローラクレーンガイドリーダ方式の標準的な施工機械の組合せを表 2.1 に示す。

表 2.1 標準的な施工機械の組合せ

工 法 機械名	自動姿勢制御方式		ガイドリーダ方式	
スラリー吐出方式	中央スラリー管	2 軸 2 重管	中央スラリー管	2 軸 2 重管
ベースマシン	バックホウ		テレスコピッククローラクレーン	
	山積 0.8m ³ 級 2.9t 吊り	山積 1.2m ³ 級 3.5t 吊り	35t 吊り	55t 吊り
スラリープラント	作液能力 = 10m ³ /min		作液能力 = 20m ³ /min	
セメントサイロ	30t サイロ × 2 基		30t サイロ × 2 基	
アジテータ	2.5ℓ		5.0ℓ	
グラウトポンプ	350ℓ/min × 1 基	250ℓ/min × 2 基	350ℓ/min × 1 基	250ℓ/min × 2 基
水 槽	10m ³	10m ³	20m ³	20m ³
発動発電機 スラリープラント用	150KVA	150KVA	150KVA	150KVA
バックホウ	山積み 0.45m ³			

・プラント設備配置図

浅深 4 軸工法地盤改良装置機材配置図を図 2.3 に示す。

浅深4軸3号機中層地盤改良装置機材配置図

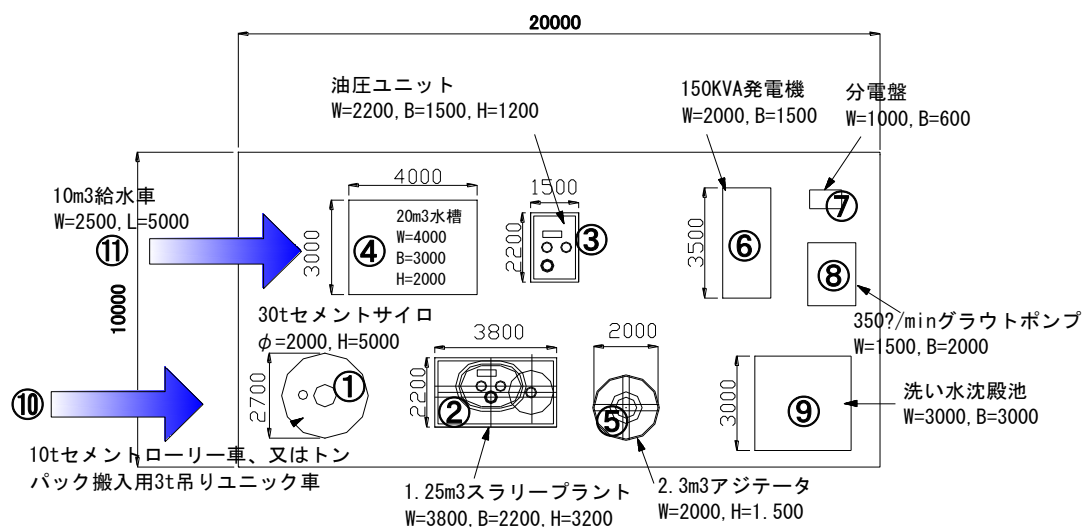


図 2.3 浅深 4 軸工法地盤改良装置機材配置図

3. 施工方法

施工方法は地盤条件や設計条件等によって次に示す 2 つの方法に分けられる。

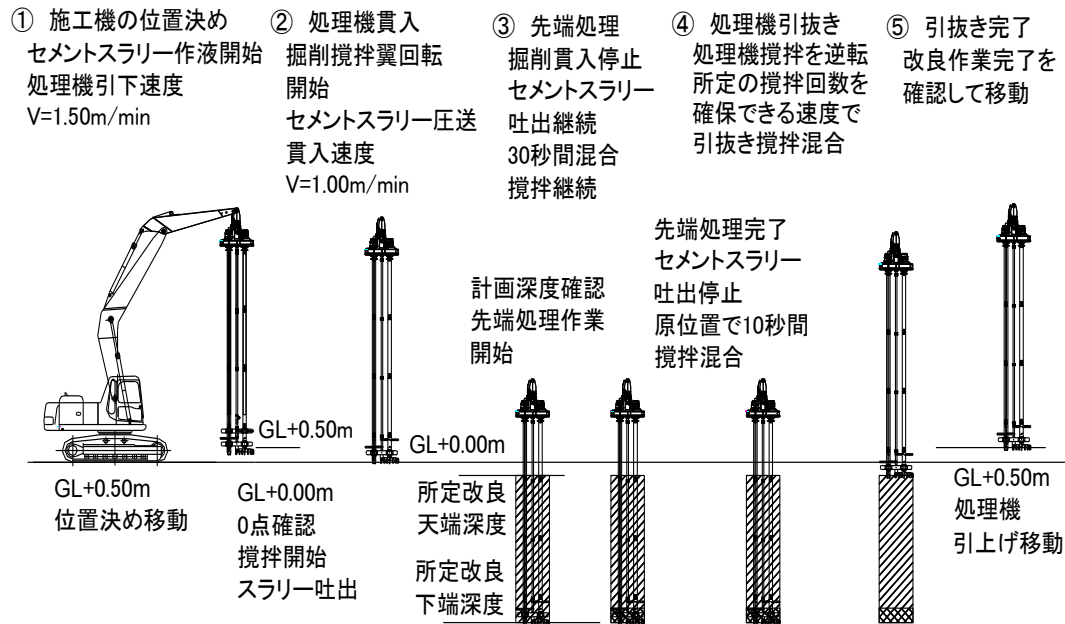
- ・ 深度管理施工：着底層が水平で深度が一定の場合に行う。
設計条件で改良層厚または下端深度が決められた場合に行う。
- ・ 着底管理施工：支持地盤層が水平でなく深度が一定でない場合に行う。
設計条件で確実に支持地盤に改良杭下端を着底させる場合に行う。

3.1 深度管理施工

施工方法は、以下の要領で行う。

- ① 施工機の位置決め：所定打設位置に施工機をセットする。ガイドリーダ方式は攪拌翼の鉛直性を処理機本体に取り付けてある傾斜計で確認する。同時にスラリープラントにてセメントスラリーを製造し、アジテータに蓄える。
- ② 処理機貫入：処理機攪拌翼を正回転させながら、攪拌軸を地盤中に貫入する。所定の改良天端に達した深度から、アジテータに蓄えたスラリーをグラウトポンプで圧送し、刃先先端からスラリー吐出を行いながら掘削混合攪拌貫入する。
- ③ 先端処理：改良下端深度確認後、攪拌とスラリー吐出を 30 秒間継続し、スラリー停止後さらに 10 秒間攪拌混合して先端処理を完了する。
- ④ 処理機引抜き：先端処理完了後、処理機攪拌翼を逆転して、所定の攪拌回数を確保できる速度で改良天端まで引抜攪拌を行う。
- ⑤ 引抜き完了：改良天端の深度確認で打設完了を確認し、次の施工位置に施工機械を移動させる。

自動姿勢制御方式浅深4軸工法の深度管理施工順序図



自動姿勢制御方式浅深4軸工法の深度管理施工サイクル図

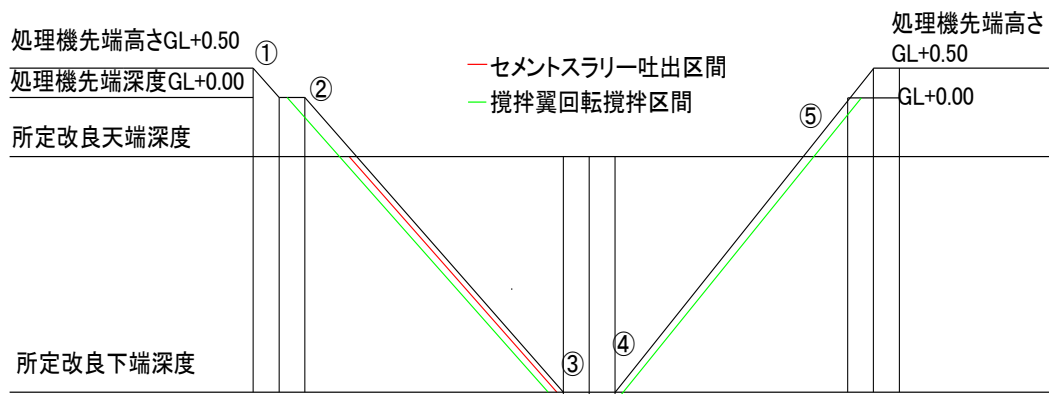
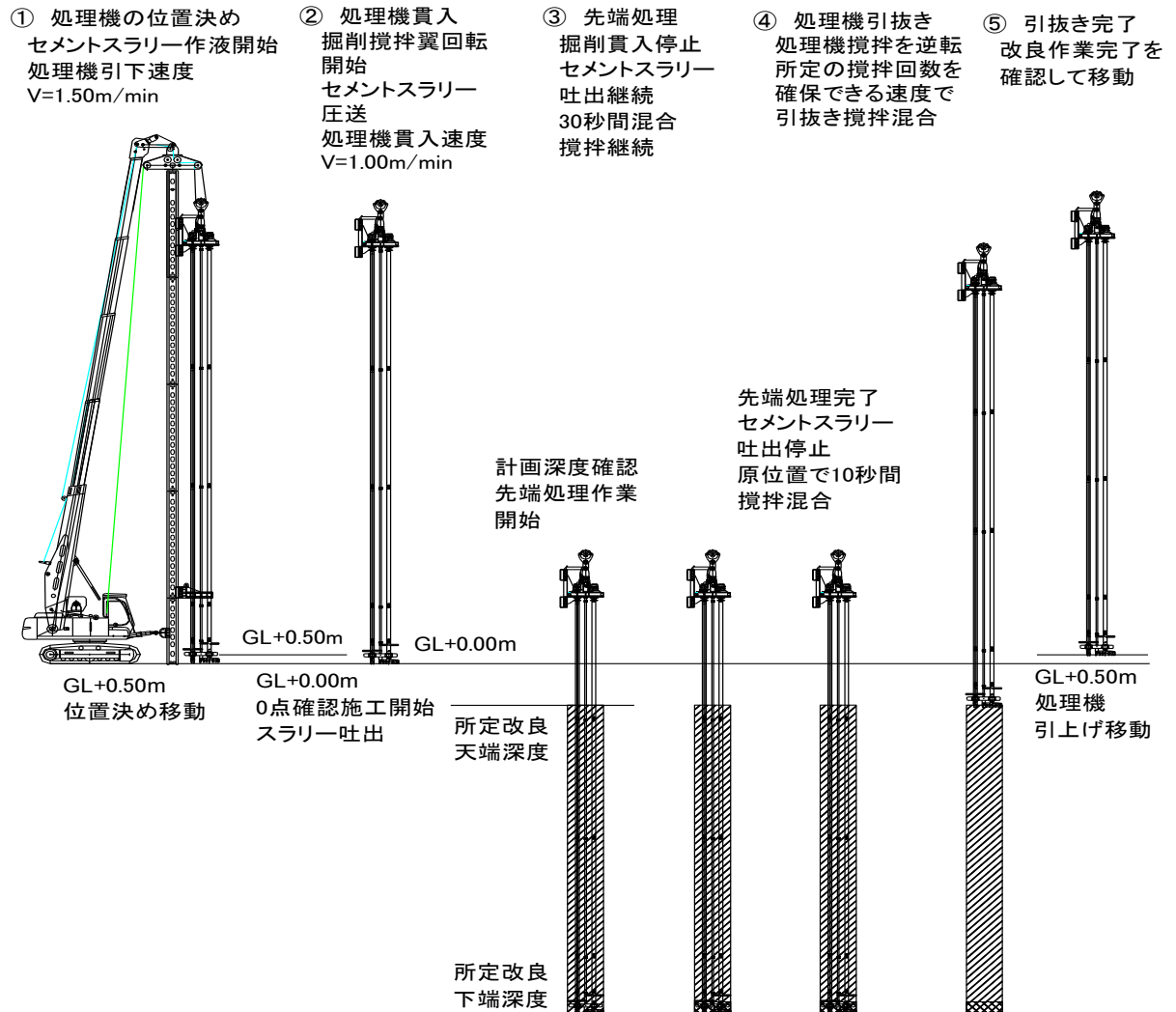


図 3.1 自動姿勢制御方式深度管理施工模式図と施工サイクル図

ガイドリーダー方式浅深4軸処理機の深度管理施工順序図



ガイドリーダー方式浅深4軸処理機の深度管理施工サイクル図

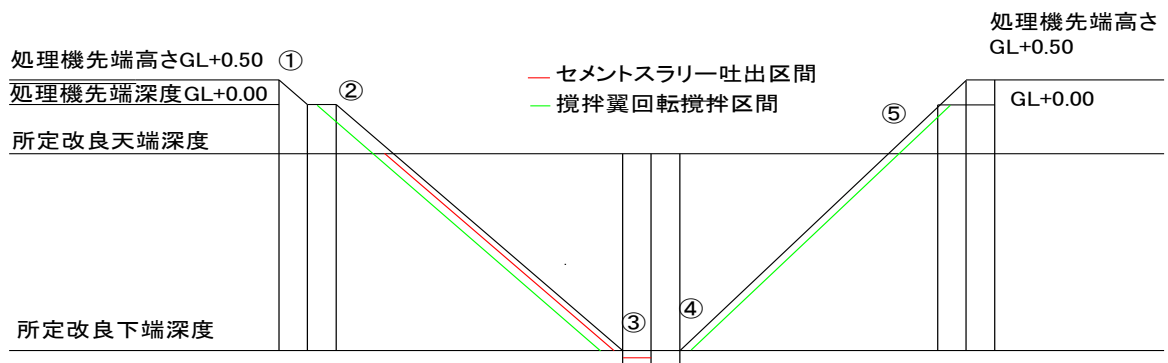


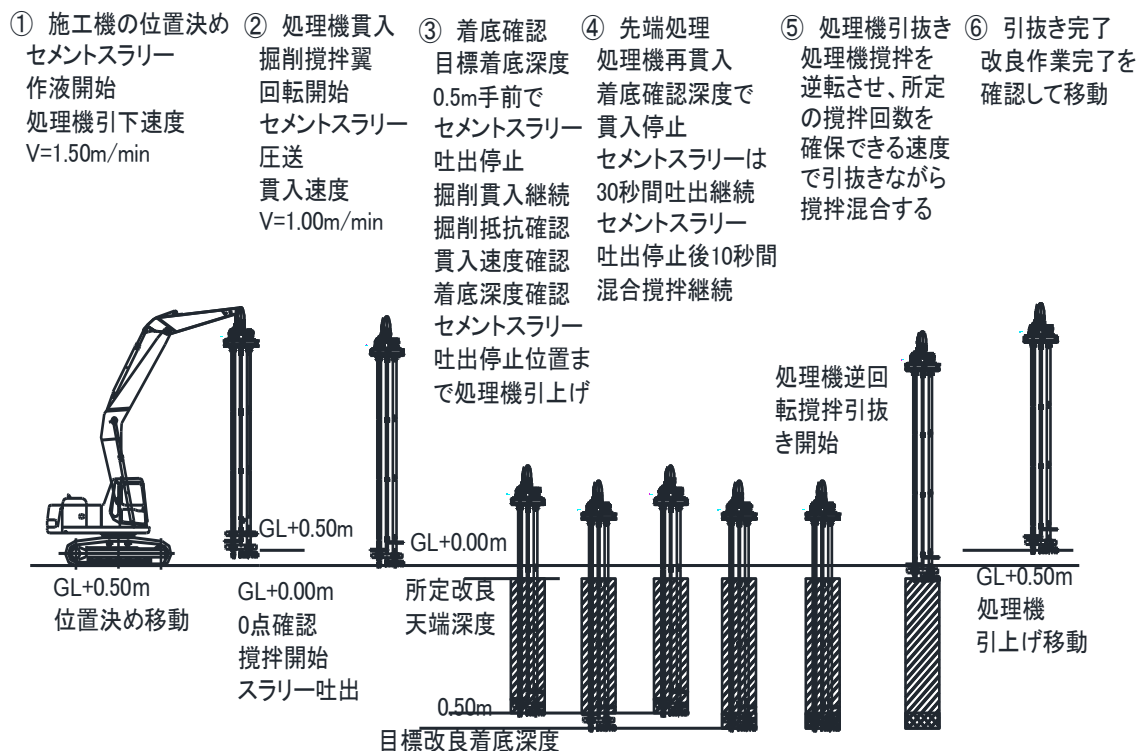
図 3.2 ガイドリーダー方式深度管理施工模式図と施工サイクル図

3.2 着底管理施工

施工方法は、以下の要領で行う。

- ① 施工機の位置決め：所定打設位置に施工機をセットする。ガイドリーダ方式は攪拌翼の鉛直性を処理機本体に取り付けてある傾斜計で確認する。同時にスラリープラントにてセメントスラリーを製造し、アジテータに蓄える。
- ② 処理機貫入：処理機攪拌翼を正回転させながら、攪拌軸を地盤中に貫入する。所定の改良天端に達した深度から、アジテータに蓄えたスラリーをグラウトポンプで圧送し、刃先先端からスラリー吐出を行いながら掘削混合攪拌貫入する。
- ③ 着底深度の確認：想定される着底深度から 0.5m 手前まで掘削貫入したら、スラリー吐出を停止する。着底判断は、土質データに基づき油圧トルク値や貫入速度での値に達するまで貫入を実施する。
- ④ 先端処理：着底深度を確認後、スラリーを停止した位置まで上昇させる。スラリーを吐出しながら着底深度まで貫入し、着底深度確認後攪拌しながらスラリー吐出を 30 秒間行い、さらにスラリー停止後 10 秒間攪拌して先端処理を完了する。
- ⑤ 処理機引抜き：先端処理完了後、攪拌翼を逆転し所定の攪拌回数を確保できる速度で引抜攪拌を行う。
- ⑥ 引抜き完了：改良天端まで攪拌混合の施工完了を確認し、次の施工位置に施工機械を移動させる。

自動姿勢制御方式浅深4軸工法の着底管理施工順序図



自動姿勢制御方式浅深4軸工法の着底管理施工サイクル図

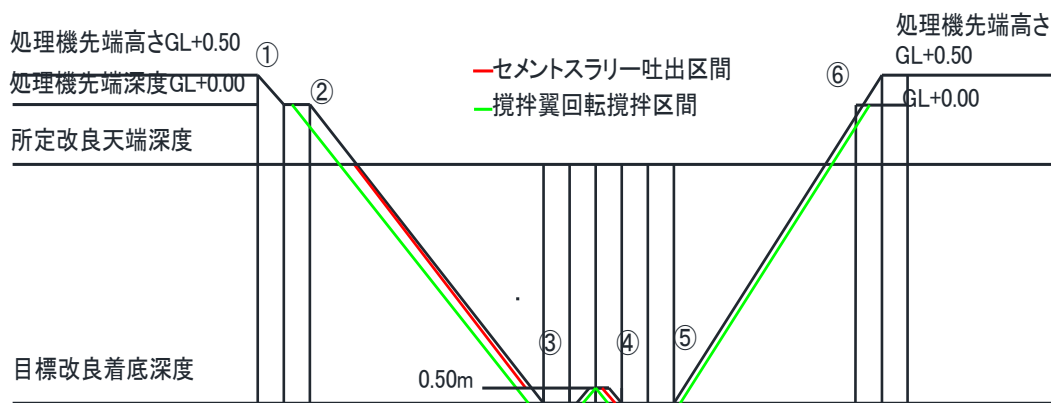
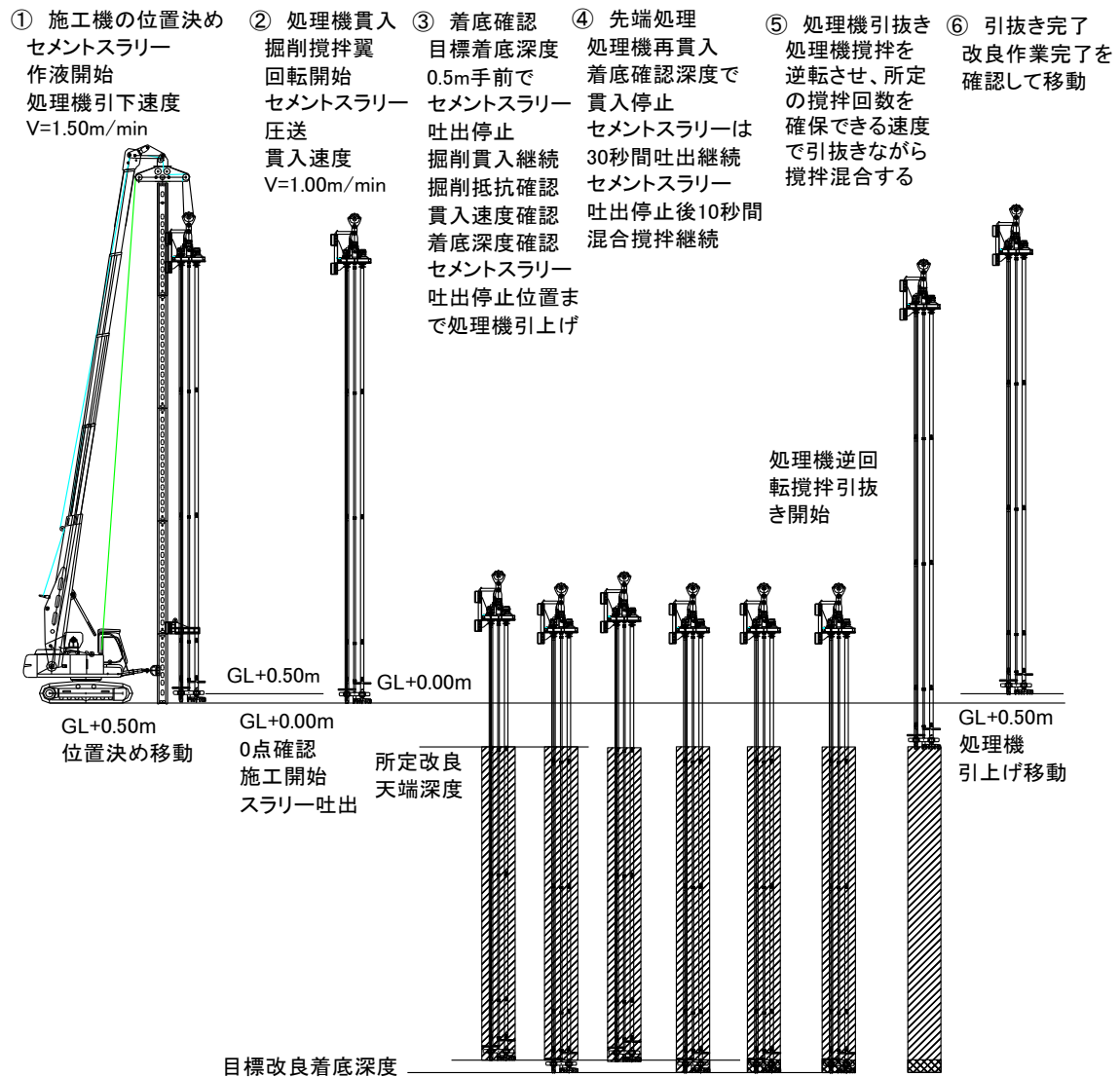


図 3.3 自動姿勢制御方式着底管理施工模式図と施工サイクル図

ガイドリーダー方式浅深4軸処理機の着底管理施工順序図



ガイドリーダー方式浅深4軸処理機の着底管理施工サイクル図

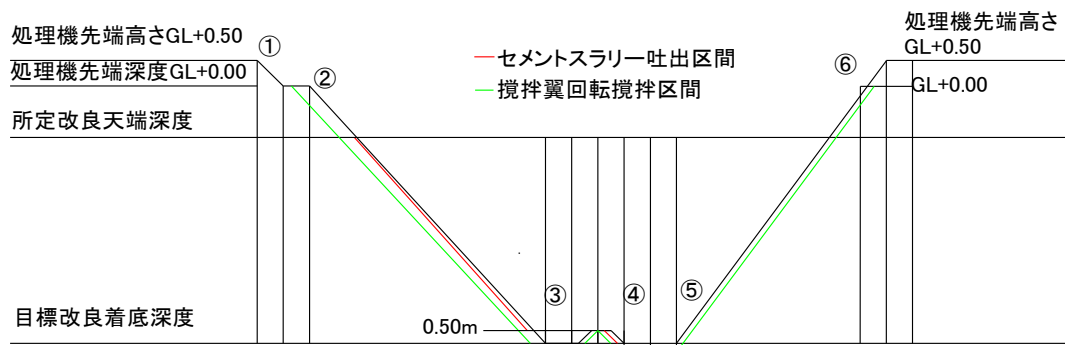


図 3.4 ガイドリーダー方式着底管理施工模式図と施工サイクル図

3.3 段差施工

段差施工は自動姿勢制御方式とガイドリーダ方式で施工限界高さが異なる。

① 自動姿勢制御方式

ベースマシンのバックホウは 0.8m^3 積級及び 1.4m^3 積級の吊り能力から、施工機械支持地盤から 2m の低位置の段差施工が可能である。図 3.5 に施工姿図を示す。

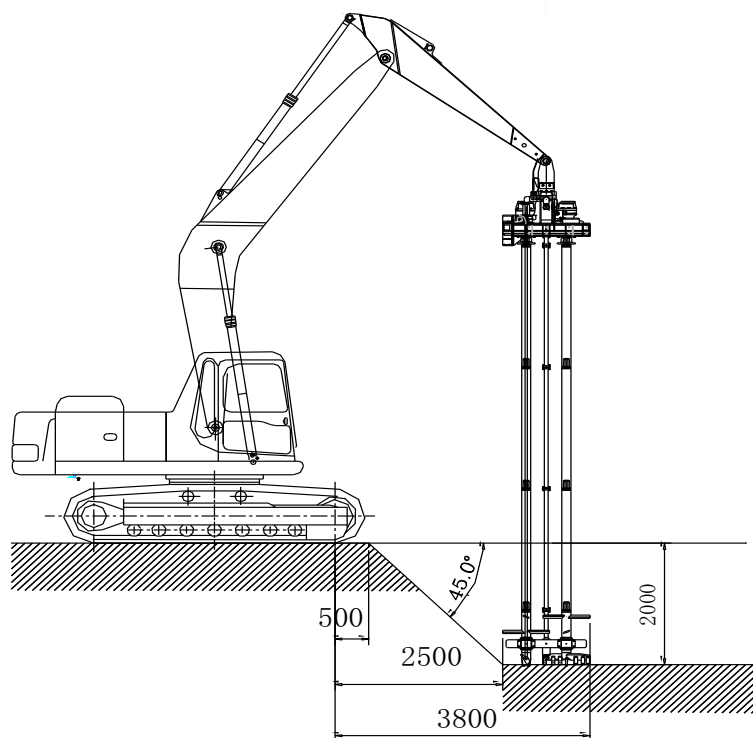


図 3.5 自動姿勢制御方式段差施工姿図

② ガイドリーダー方式

ガイドリーダー方式のバースマシン 35t 吊級以上のテレスコピッククローラークレーンは、段差の施工高低から吊り能力を必要に応じて選定する。段差が大きいとバースマシンからの施工距離が必要とするため、吊り能力の大きなバースマシンが必要となる。図 3.6 に 55 t 吊クレーンの施工姿図を示す。

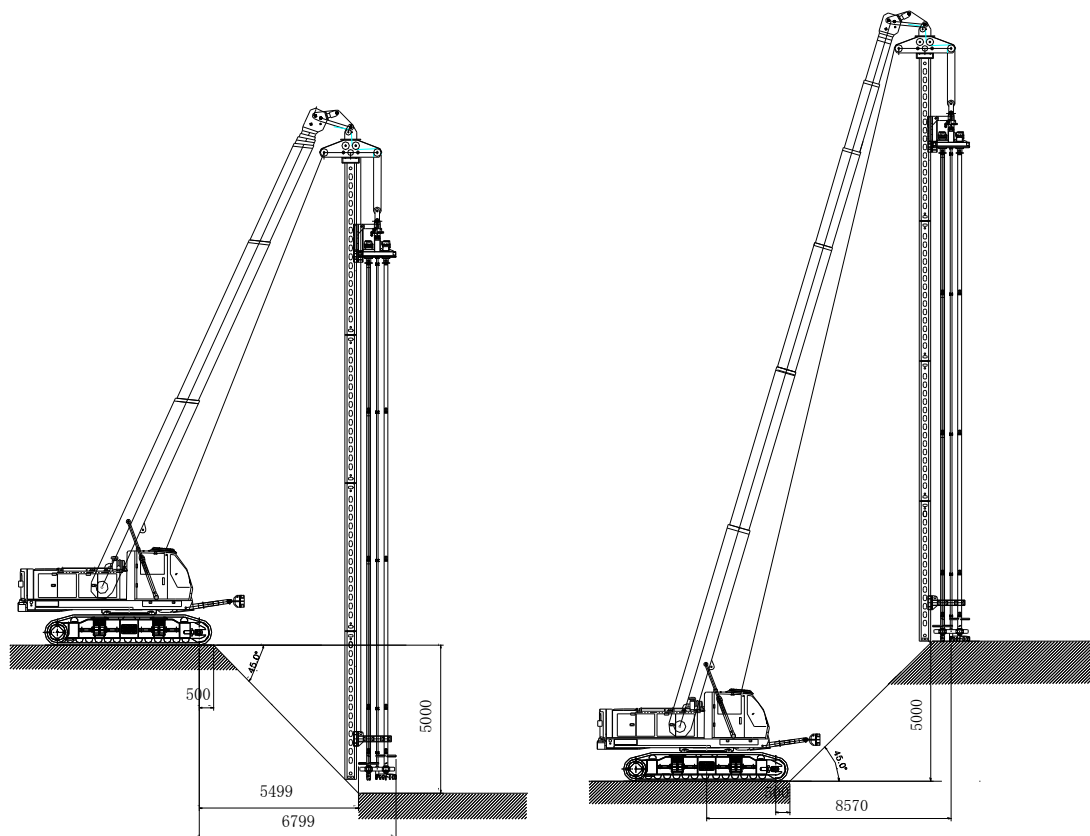


図 3.6 ガイドリーダー方式段差施工姿図

3.4 近接施工限界

構造物等が改良計画区域に隣接して既存する場合には、機械の安全及び隣接する構造物の破損等を考慮して施工を行う。地中部の障害物に対して、浅深4軸工法の特徴である処理機の鉛直性の確保精度が高いため、隔離距離は300 mmを確保すれば施工可能である。空中部は移動位置決め時のブームまたはリーダの振れなどを考慮して1 mを確保する。図 3.7 に近接施工限界平面図を示す。

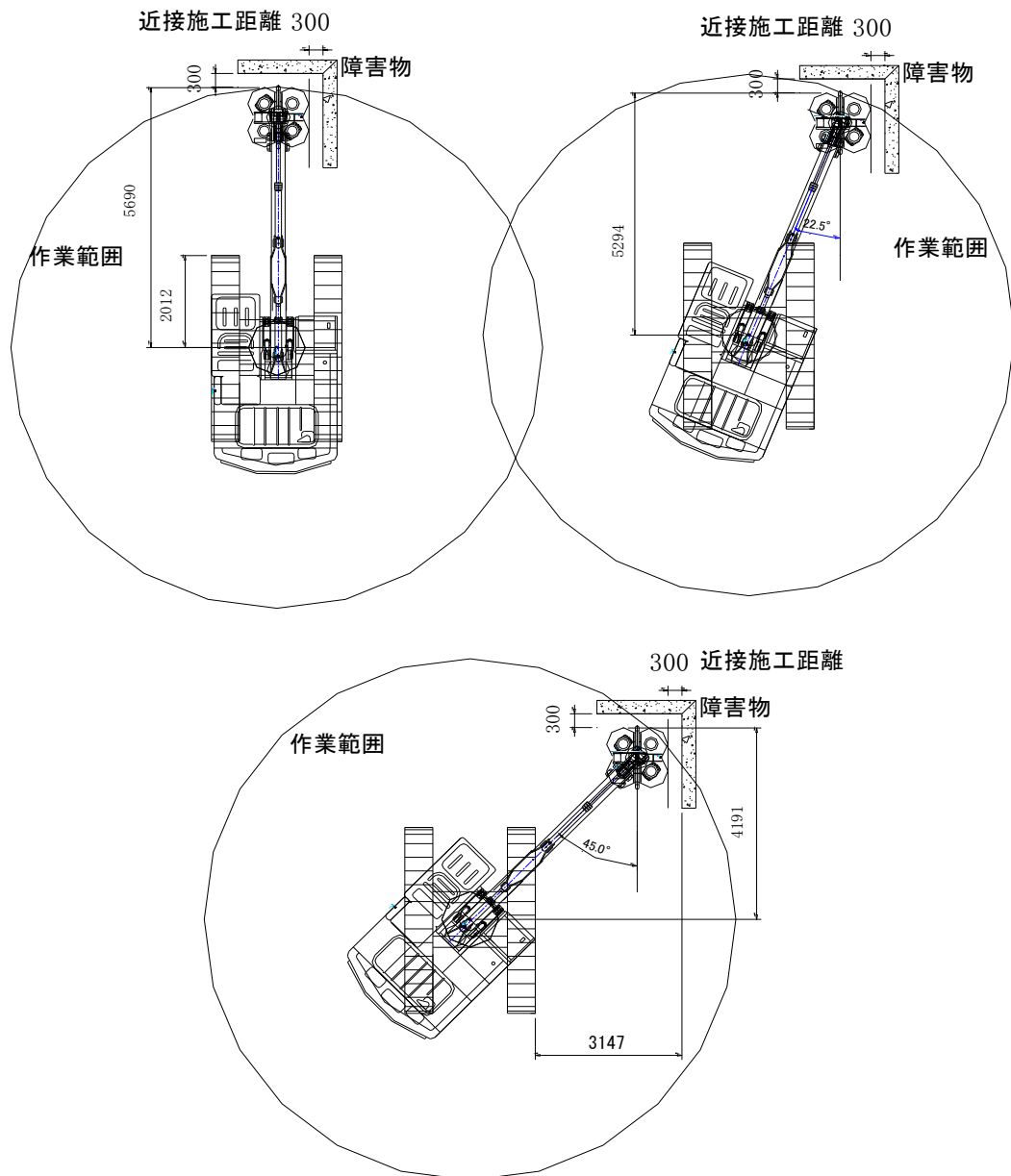


図 3.7 近接施工限界図

3.5 施工機械姿図

図 3.8 に自動姿勢制御方式と図 3.9 にガイドリーダ方式の施工機械姿図及び形状寸法を示す。

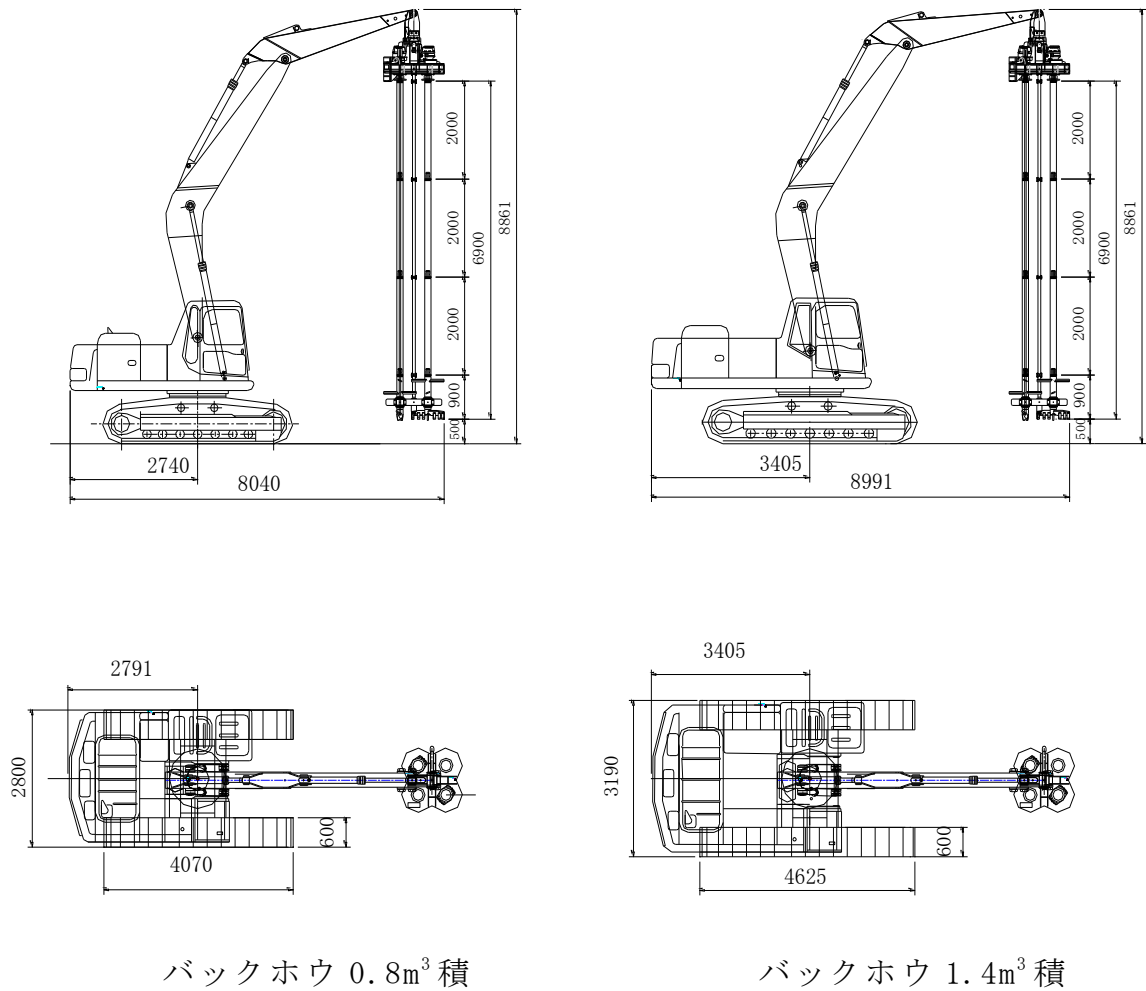
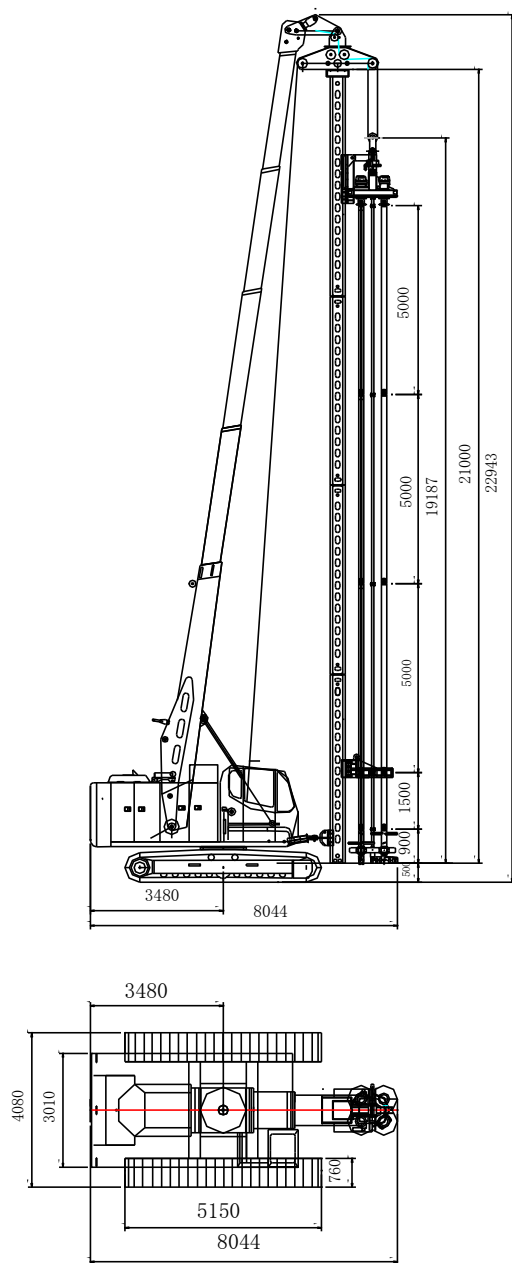
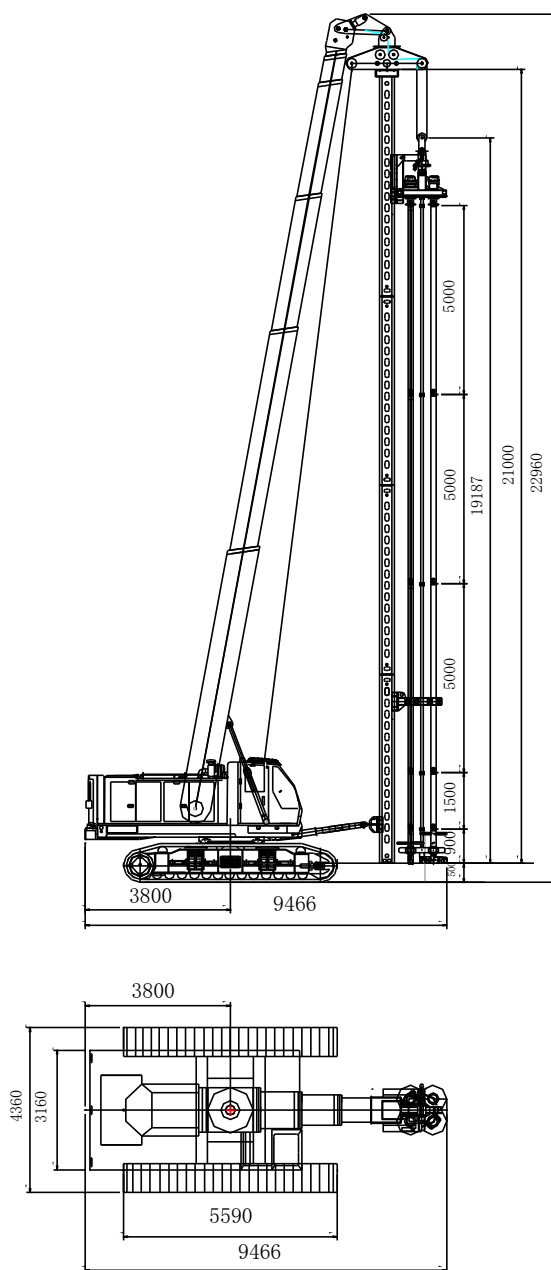


図 3.8 自動姿勢制御方式



35t 吊テレスコピッククローラークレーン
(キャタピラ拡張時)



55t 吊テレスコピッククローラークレーン
(キャタピラ拡張時)

図 3.9 ガイドリーダ方式

4. 施工基準

4.1 施工方法

(1) セメントスラリー吐出方式

浅深4軸工法の施工は、貫入時吐出方式を標準とし、処理機の貫入速度に応じてスラリー吐出量を制御し、改良深度ごとに所定のスラリー添加量となるように施工する。

(2) セメントスラリーの最低混入率の目安

浅深4軸工法では、4軸が一体となって混合攪拌するため、改良効率が高くばらつきが少ないことより、高品質の改良体造成が期待できる。従ってφ1000 mm×2軸工法で適用されている改良面積 $A=1.5\text{m}^2/\text{セツ}$ と同様に、改良形状比率がほぼ同等であるφ700mm×4軸の改良面積 $A=1.46\text{m}^2/\text{セツ}$ であるので、最低スラリー量 $=900\text{l}/\text{m}^3 \cdot \text{セツ}$ を採用する。

以下に、セメント量算出計算式を示す。

最低セメント添加量 $=$ 最低スラリー量 $\times 752/1,000$ となる。

W/C $=100\%$ の 1m^3 当たり最低セメントスラリー量は高炉セメントB種（比重3.04）を使用した場合

$$W/1.0+C/3.04=1,000 \text{ より}$$

$$C=3.04/4.04 \times 1,000=752\text{kgf}/\text{m}^3$$

従って最低スラリー量を $900\text{l}/\text{m}^3 \cdot \text{セツ}$ とした場合、

$$\begin{aligned} \text{最低セメント添加量} &= \text{最低スラリー量 } 900\text{l}/\text{m}^3 \cdot \text{セツ} \times 752/1,000 \\ &= 68\text{kg}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

(3) 標準速度における最大セメント添加量

浅深4軸工法においては、プラント製造能力（ $20\text{m}^3/\text{h}$ ）から、標準施工速度における最大セメント添加量は、次式によって算出される。

$$\begin{aligned} \text{最大セメント添加量} &= \text{スラリー製造能力 } (\text{m}^2/\text{分}) \times 1/\text{改良面積 } A(\text{m}^2) \times \\ &1/\text{貫入速度 } v(\text{m}/\text{分}) \times \text{スラリー } 1\text{m}^3\text{当たりセメント量 } C(\text{kgf}/\text{m}^3) \end{aligned}$$

$$= \frac{20 \times 0.8}{60} \times \frac{1}{1.46} \times \frac{1}{v} \times C$$

4.2 攪拌翼

浅深 4 軸工法攪拌翼は表 4.3 に示す。

表 4.3 攪拌翼の仕様

攪拌軸数	項 目	仕 様
4 軸	攪拌翼径	φ 700mm
	段数	3 段
	1 段当たりの翼数	2 枚を標準
	軸間距離	600mm (100mm ラップ°)
	軸間の保持	4 軸の攪拌翼を 100mm オーバーラップし、保持する連結装置を装備する。
	供回り防止板	連結保持装置に延長板を取付ける。

攪拌翼の形状図を図 4.1 に示す。

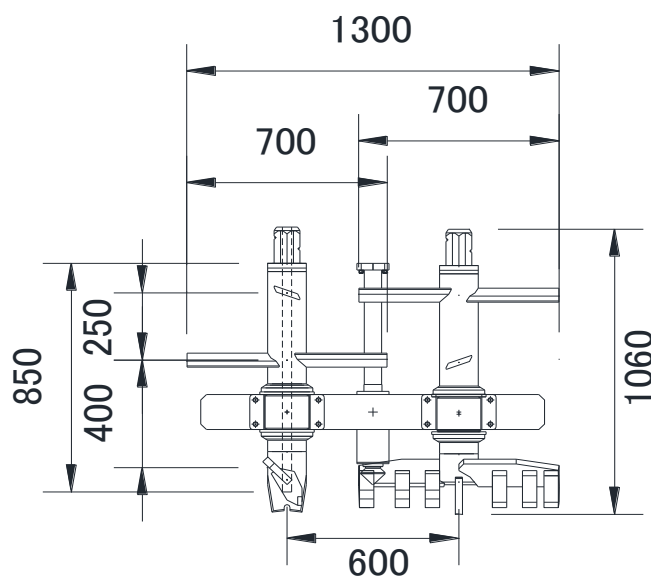


図 4.1 攪拌翼形状寸法図

4.3 セメントスラリー吐出位置

図 4.2 に駆動軸 2 重管のセメントスラリー吐出位置と 4 軸中央に取り付けたスラリー圧送管からのセメントスラリー吐出位置を示す。

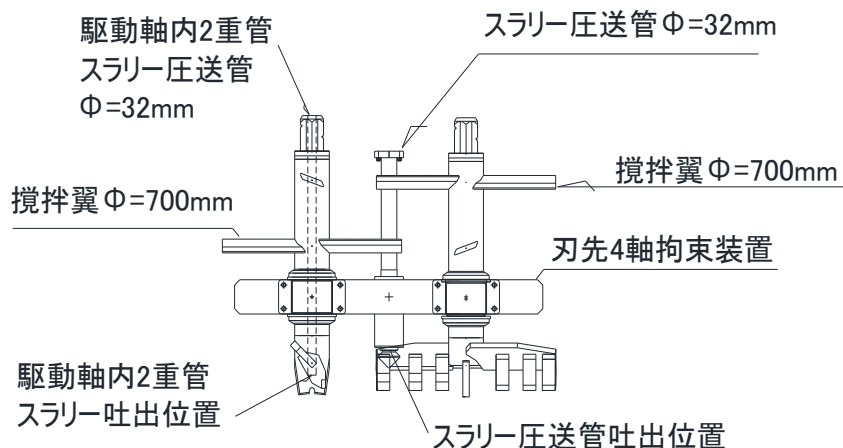


図 4.2 スラリー吐出位置図

4.4 羽根切り回数および貫入・引抜速度

・羽根切り回数は機械攪拌スラリー工法の実績が多い CDM 工法の基準を遵守し、改良体の品質を保証するため、原地盤とセメントスラリーを練り混ぜる。CDM は 8 枚で 350 回/m（攪拌翼径 $\phi=1000\text{mm}$ ）であり、同等の回転数は攪拌翼径 $\phi=700\text{mm}$ で 6 枚の浅深 4 軸工法は対象改良面積が少ないため 230 回/m となるが、品質向上のため 250 回/m 以上とする。貫入・引抜速度と攪拌回数の関係は、貫入・引抜速度を速めればそれに対応して回転速度を増減させ、貫入または引き抜き時の合計 1m 当たりの練り混ぜ回数が 250 回以上となるよう回転数を増減させる。表 4.4 に貫入引抜速度と回転数の参考値を記述する。

表 4.4 貫入引速度と回転数の参考値

貫入条件			引き抜き条件			合 計 攪 拌 回 数
貫 入 速 度	回 転 数	攪 拌 回 数	引 抜 速 度	回 転 数	攪 拌 回 数	
m/min	r. p. m.	回/m	m/min	r. p. m.	回/m	回/m
0.5	15	180	2.0	30	90	270
1.0	20	120	1.0	25	150	270
1.0	25	150	1.5	30	120	270

羽根切り回数 $T = \Sigma M \times \{ (N_d/V_d) + (N_u/V_u) \}$

ここに、T:羽根切り回数 (回/m) (Nd:貫入時、Nu:引抜時)

ΣM : 攪拌翼の総羽根枚数 (枚) (Vd:貫入時、Vu:引抜時)

N: 攪拌翼の回転数 (回/分)

V: 攪拌翼の貫入速度・引抜速度 (m/分)

4.5 施工管理計

施工管理計は、以下の項目が計測できる施工管理システムを使用する。

- 1) スラリー流量計
- 2) 処理機昇降速度計
- 3) 処理機攪拌軸回転計
- 4) 処理機深度計 (最下段攪拌翼・掘削翼)
- 5) 油圧計

5. 施工管理

5.1 施工管理項目

施工管理は以下の項目について行う。

- 1) セメントスラリーの添加量
改良 1m 当りに所定のセメントスラリー量が確実に注入されていること。
→スラリー流量計による管理
- 2) 羽根切り回数と速度管理
改良 1 m 当たりの羽根切り回数と処理機昇降速度が基準を満足すること。
→軸回転計、処理機速度計による管理
- 3) 貫入長・改良長
設計で示される貫入長、及び改良長が所定の深度であること。
→深度計による管理
- 4) 着底管理
着底管理方式の改良の場合に、確実に改良下端が支持層に着底していること。
→着底判断は、トルク値あるいは昇降速度計による管理
・着底確認方法と着底基準例

現場の施工深度や土質条件が異なることから、着底するときの貫入速度や油圧モーターのトルクを定量的に示すことはできないが、施工機械の安全対策からリリース圧を $210\text{kg}/\text{cm}^2$ に設定している。従って以下の2通りの条件で判断する。

- ① 油圧モータートルクが想定支持層付近において、以浅の貫入時トルク値よりも大きな値を示し、さらに 50 cm を貫入しても数値が低下しない場合。または、油圧モータートルクがリリース圧直前の $180\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 200\text{kg}/\text{cm}^2$ を継続して示した場合に着底と判断する。
- ② ガイドリーダ方式において処理機の貫入速度が 0 となり、支持地盤上に処理機が預けられる状態で、それ以上の貫入が不能と判断されたとき。

また、着底判定が①、②の条件を組み合わせる判定もある。

以下に着底基準の例を示す。

- ① 着底想定地盤付近で、油圧モータートルク値が $180\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 200\text{kg}/\text{cm}^2$ を示し、貫入深度が 50 cm 以上となった場合。
- ② 貫入速度が $0.2\text{m}/\text{分} \sim 0.3\text{m}/\text{分}$ となり、その状況が 1 分間継続したとき。
- ③ 貫入速度が $0.0\text{m}/\text{分}$ となり 1 分間継続したとき。

上記の項目が確認され場合に着底と判断することが多いが、着底の確認については、事前に監督員と協議して指示を受けること。

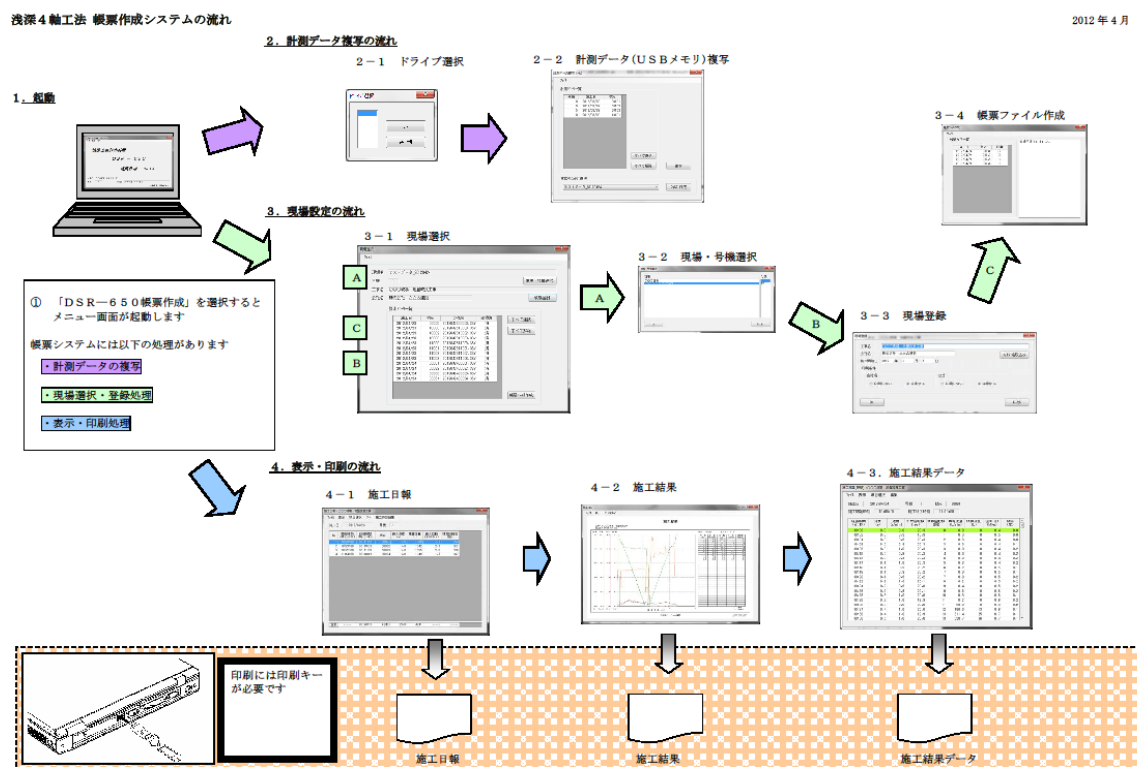
5) 杭芯位置と鉛直性管理

- ・杭芯位置は、設計値による基本測量から $\pm 2\text{cm}$ の範囲内に入るように処理機をセットする。
→杭芯位置は、基本測量で設置した目杭とトランシットにより管理すること。
- ・鉛直精度は、処理機稼動時における駆動軸の傾きが $1/100$ 以下であること。
→鉛直精度は、管理機器の傾斜計で管理すること。

5.2 施工管理の概要

浅深4軸工法の施工管理システム概要図を図5.1に、施工管理項目を図5.2に示す。

図 5.1 浅深4軸工法の施工管理システム概要図



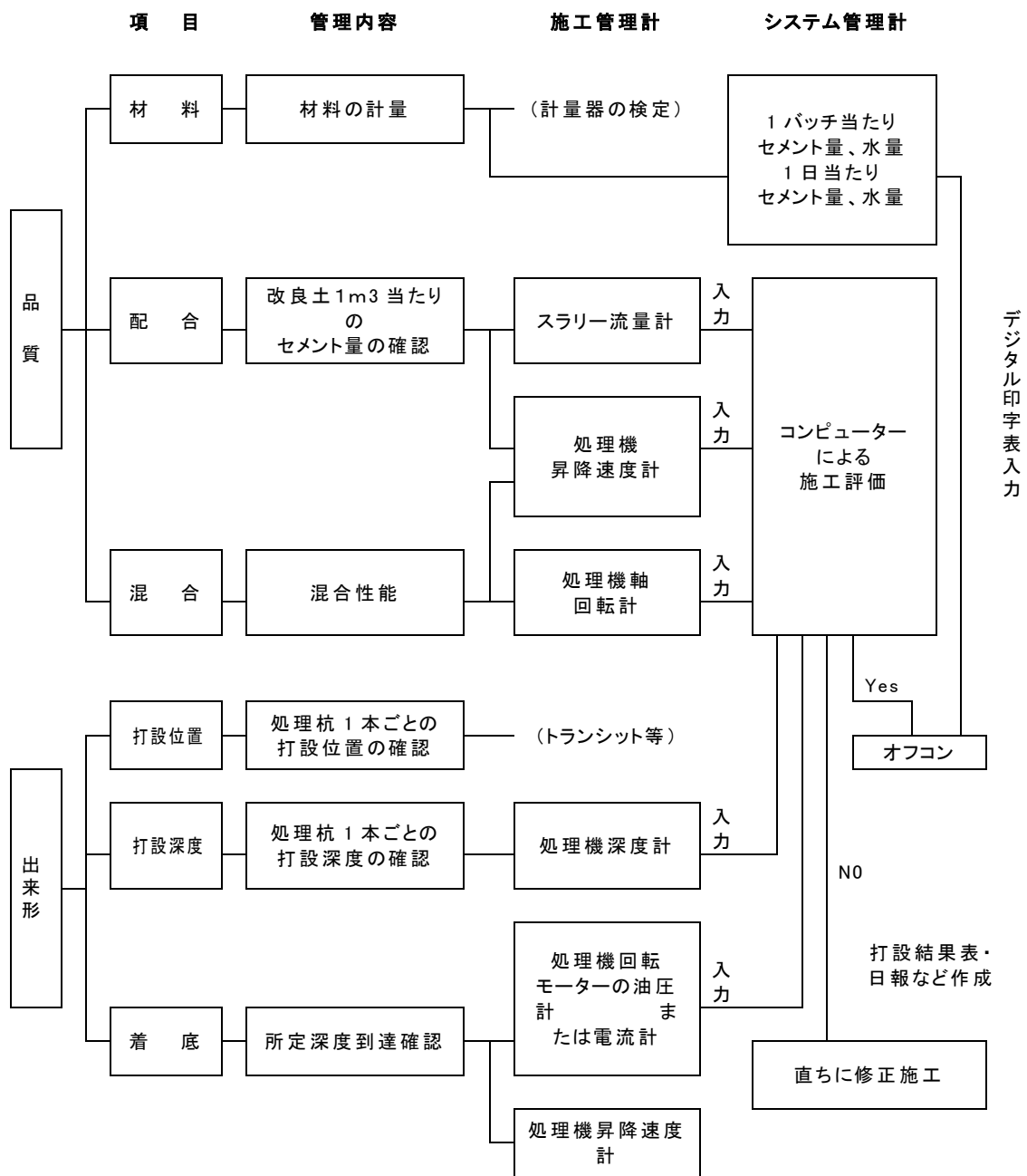


図 5.2 施工管理項目

5.3 施工管理の判断基準

深度ごと及び先端部の判定については、下記の 3 項目について、測定値と基準値を比較して 3 項目のうち、1 項目でも基準値を下回った場合は「NG」が、3 項目とも基準値を満足した場合は「OK」が印刷される。

また、先端部の処理機回転数（羽根切り回数）については、総合判断する。

- ③ スラリー吐出量
④ 処理機昇降速度
⑤ 処理機回転数（羽根切り回数）

5.4 施工結果の出力例

施工結果の出力例を以下に示す。

- ① 杭打設結果表

杭打設結果表の例を図 5.3 に示す。

- ### ② 施工結果表

施工日報表の例を図 5.4 に示す。

- ③ 杭打設日報

杭打設日報の例を図 5.5 に示す。

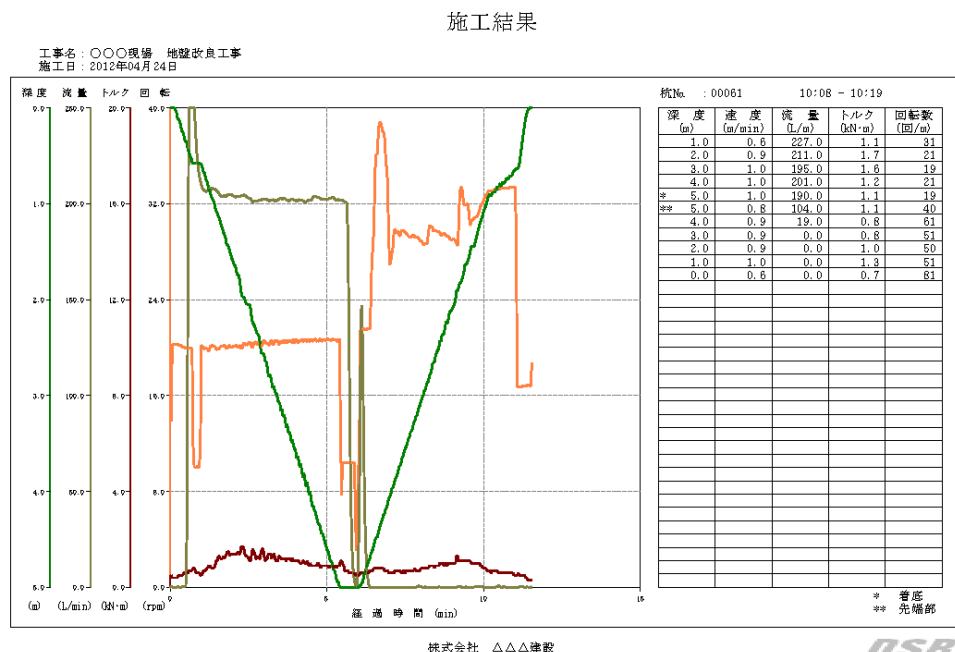


図 5.3 杭打設結果表の例

施工結果 (深度)

工事名：○○○現場 地盤改良工事

施工日：2012年04月24日

号 機 : 1

杭 No. : 00061

施工開始時刻：10:08:00

施工終了時刻：10:19:00

[illegible]

集計値

-----	-----	-----	1095(L)	-----	-----
-------	-------	-------	---------	-------	-------

株式会社 △△△建設

図 5.4 施工結果表の例

1 / 1

号 機: 1

[illegible]

株式会社 △△△建設

DSR

図 5.5 施工日報表の例

6. 品質管理

浅深 4 軸工法は、「5. 施工管理」に基づき施工管理を行う。施工完了時には以下に述べる改良体の品質確認を行う方法がある。

6.1 改良体の品質確認

チェックボーリングによる改良体の品質確認は、以下の項目を調査する。

① 改良体の連続性の確認

改良体の連続性の確認は基本的に目視観察によるが、場合によってはコアの採取や RQD 値により評価することもある。

コア採取率：採取されたコア採取長に対し、実際に採取されたコアの割合を百分率表示したもの。

R Q D 値：コア長 1 m 中に含まれる 10 cm 以上の棒状のコアの割合。これら棒状コアの長さ (cm) の総和を 100 cm で割ったもので表した割れ目の多さを示す指標。

② 改良体の強度確認

改良体の品質は一軸圧縮強さ (28 日強度) で評価することを原則とする。ボーリング採取位置は、図 6.1 に示すように通常 4 軸の中央か駆動軸に取り付けられた攪拌翼の端部から 1/2 地点で採取する。

③ ボーリング深度

コア採取用のボーリング深さは、改良体下端までとすることが望ましい。一軸圧縮試験は上層から下層まで均等に実施することが望ましいが、中層改良の場合は上層、下層の 2 地点で評価する。着底の確認については、必要に応じて改良体下端部直下の支持地盤に対し、標準貫入試験による N 値を確認する場合もある。

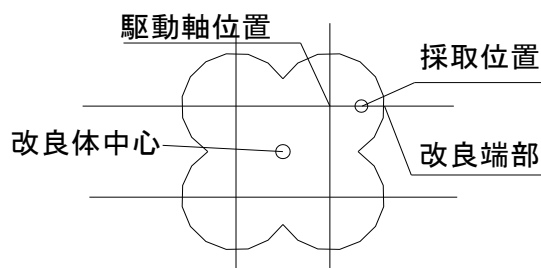


図 6.1 ボーリング採取位置

6.2 品質・出来形管理基準

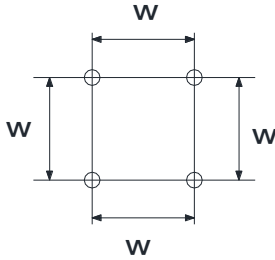
品質管理基準及び規格値は、施工条件・地盤条件・施工規模に応じて決定されるが、浅深4軸工法においても従来型の深層混合処理工法の基準に準拠するものとする。

以下に参考として国土交通省の品質管理基準及び規格値を表6.1に、出来形管理基準を表6.2に示す。ただし、各種基準が別途定められている場合は、その基準に従うものとする。

表 6.1 品質管理基準及び規格値

試験項目	試験方法	規格値	試験基準
一軸圧縮試験	JIS A 1216	・1回の試験結果は改良地盤設計基準強度以上。なお、1回の試験とは3個の供試体の平均値で表したもの	改良体 250 本未満はチェックボーリング 3 本、改良体 250 本以上は、125 本増えるごとにチェックボーリング 1 本追加する。試験は改良体について、上中下それぞれ1回、計3回とする。ただし1本の改良体で設計強度を変えている場合は、設計強度ごとに3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。

表 6.2 出来形管理基準

測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
基準高	-50mm	100 本に 1 箇所。	
杭径 D D=1300mm	設計値以上	100 本以下は 2 箇所測定。1 個所に	
位置・間隔 W	W=D/4 以内 杭芯±2cm	4 本測定	
深度 λ	設計値以上	全本数	

注) 出来形管理における測定基準については、各機関により異なるので、それぞれの基準に準じる。また、工事の種類、規模、施工条件等により、この基準によりがたい場合は、監督員と協議して指示を受ける。