

液状化対策としての静的圧入締め工法  
コンパクショングラウチング  
デンバーシステム  
(C P G工法)

工法説明資料

一般社団法人 圧入締固研究機構  
静的圧入締め(C P G)開発研究所

## まえがき

本書は、液状化対策としての静的圧入締固め工法（C P G 工法）の概要を工法説明資料としてまとめたものです。C P G 工法はそのコンパクトな設備で既設構造物直下地盤の液状化対策に威力を発揮します。施工設備は定置式の他、車載化することが可能で、供用中の滑走路直下地盤の液状化対策にも適用されています。

「港湾新技術・新工法積算基準ライブラリー No. 10 静的圧入締固め工（C P G 工法）」  
(令和 2 年 3 月 (一財)港湾空港総合技術センター発行) と併せて液状化対策に取り組む際のご参考になれば幸いです。

なお、より詳しい技術の内容は、「沿岸技術ライブラリーNo. 41 液状化対策としての静的圧入締固め工法 技術マニュアル－コンパクショングラウチング工法－（2013 年版）」  
(平成 25 年 4 月 (一財)沿岸技術研究センター発行) としてまとめられています。是非ご一読いただければ幸いです。

※本工法説明資料では、「港湾新技術・新工法積算基準ライブラリー No. 10 静的圧入締固め工（C P G 工法）」(令和 2 年 3 月 (一財)港湾空港総合技術センター発行)を「積算ライブラリー」と称します。また、「沿岸技術ライブラリーNo. 41 液状化対策としての静的圧入締固め工法 技術マニュアル－コンパクショングラウチング工法－（2013 年版）」(平成 25 年 4 月 (一財)沿岸技術研究センター発行)を「技術マニュアル」と称します。

## 目次

まえがき .....	i
<b>第1章 概要 .....</b>	<b>1</b>
1.1 定義 .....	1
1.2 原理 .....	2
1.3 特徴 .....	3
1.4 適用範囲 .....	4
<b>第2章 調査 .....</b>	<b>5</b>
2.1 土質調査 .....	5
2.2 地下埋設物の調査 .....	6
2.3 その他の調査 .....	6
2.4 試験施工 .....	6
<b>第3章 設計 .....</b>	<b>7</b>
3.1 設計フロー .....	7
3.2 改良率 .....	8
3.3 固結体配置 .....	9
<b>第4章 施工 .....</b>	<b>10</b>
4.1 施工フロー .....	10
4.2 打設方式 .....	11
4.3 プラント配置 .....	13
4.3.1 定置式プラント .....	13
4.3.2 車載式プラント .....	14
4.3.3 その他のプラント .....	15
4.3.4 仮設ヤード .....	17
4.4 削孔工 .....	19
4.4.1 削孔作業手順 .....	19
4.4.2 施工位置マーキング .....	20
4.4.3 孔口養生 .....	21
4.4.4 舗装部等コア削孔 .....	23
4.4.5 削孔使用機械 .....	23
4.4.6 削孔方式 .....	24
4.4.7 削孔仕様 .....	26
4.4.8 削孔管理 .....	26
4.5 注入工 .....	28
4.5.1 注入作業手順 .....	28
4.5.2 注入工の使用機械 .....	29
4.5.3 注入方式 .....	32

4.5.4 注入材 .....	34
(1) 注入材の標準配合 .....	34
(2) 骨材 .....	35
(3) 固化材 .....	36
(4) 配合水 .....	37
(5) CPG注入材の品質管理 .....	37
(6) 六価クロム溶出試験 .....	37
4.5.5 キャリブレーション等 .....	38
(1) プラント .....	38
(2) 流量圧力監視装置 .....	39
4.5.6 注入諸元の設定 .....	40
(1) 打設・注入方法 .....	40
(2) 吐出(打設)平均速度 .....	40
(3) 注入圧力 .....	41
(4) プラント設備からの圧送距離 .....	42
4.5.7 注入量 .....	43
(1) 1本当りの設計注入量算出 .....	43
(2) 計画注入量算出(ステップ当たり注入量) .....	43
4.5.8 注入管理 .....	44
4.5.9 隆起対策 .....	47
(1) 施工中の隆起抑制対策 .....	47
(2) 隆起監視と対応 .....	48
4.6 施工管理 .....	50
4.6.1 施工組織の遂行能力の確認 .....	50
4.6.2 全工事関係者に対する施工周知会の開催 .....	50
4.7 効果確認 .....	51

# 第1章 概要

## 1.1 定義

コンパクショングラウチング工法（以下、CPG工法）とは、その名が示すとおり注入による締固め工法である。薬液注入工法やジェットグラウト工法等の他の注入工法の改良原理が「固化」であるのに対し、CPG工法の改良原理は「密度増大」であり以下のように定義される。

「CPG工法は、注入材を地盤に圧入して地盤を圧縮強化する静的な締固め工法である。」

CPG工法が我国に技術導入されたのは1989年で以降着実に施工例が増え、文献にも「静的圧入締固め工法」として静的な締固め杭工法に分類し紹介されている。

CPG工法が他の注入工法と最も異なる点は、注入材が地盤に浸透や脈状割裂、攪拌混合せずに、注入点付近で地盤を押し広げて固結体を形成するところにある。この固結体による締固め効果で周辺の地盤を圧縮強化する。

図-1.1はCPG工法により形成された固結体が周辺地盤を圧縮強化する様子を模式図で示したものである。地中のCPG固結体は、写真-1.1のような形状となっている。

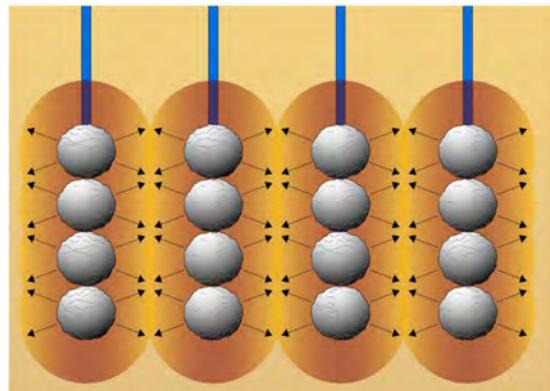


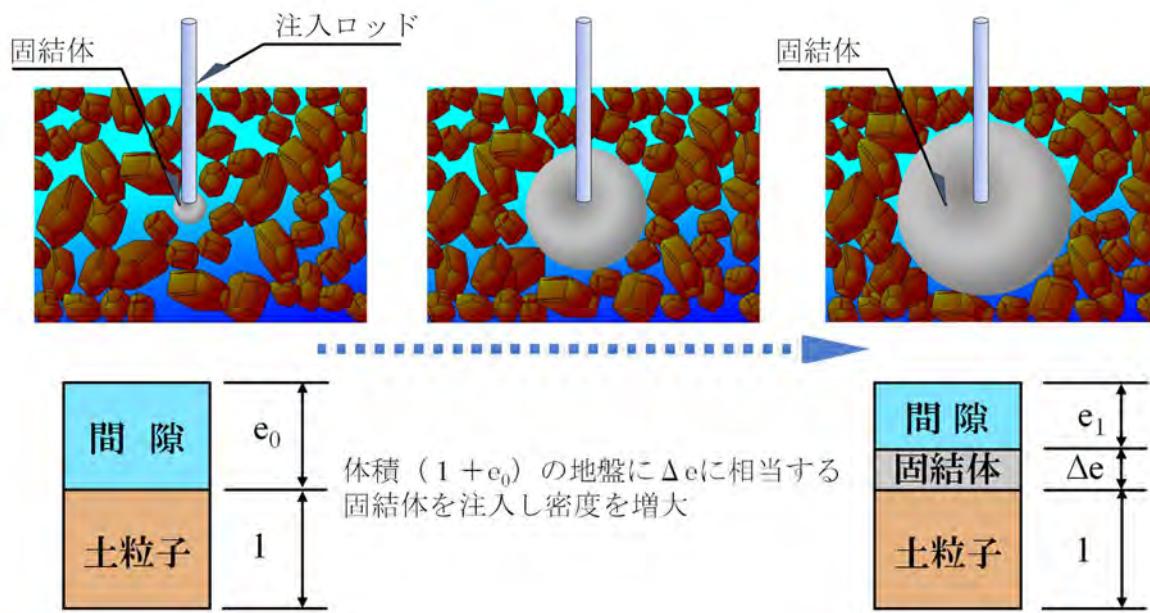
図-1.1 CPG工法の模式図



写真-1.1 CPG改良体状況

## 1.2 原理

C P G工法による地盤改良の基本的な考え方を図-1.2に示す。原地盤の間隙比を $e_0$ としたとき、 $(1+e_0)$ の体積の地盤に $\Delta e$ に相当する固結体を注入することにより密度を増大させる。この原理はサンドコンパクションパイル工法（以下、S C P工法）と同じである。



締固め工法であるので固結体は必ずしも球形、円柱形である必要はないが、所定の受け持ち範囲から逸脱することなく固結体を形成することが求められる。そのために注入材には低流動性のモルタルを使用し、脈状割裂により注入材が逸走するのを防いでいる。また、固結体の強度も液状化しない程度であれば良く、設計上も固結体強度は考慮していない。

改良対象土量に対する固結体量の割合を「改良率」と呼び、改良目標N値より設定する。また、固結体量を均一な円柱に仮定した場合の直径を「換算改良径」と呼ぶが、これはS C P工法との比較上便宜的に用いられる数値で、必ずしも円柱状に固結するわけではないことは前述したとおりである。

### 1.3 特徴

C P G 工法による地盤改良の特徴は以下のとおりである。

1) 無振動、低騒音

静的な圧入締固めにより、既設構造物の直近、直下の施工が可能である。

2) コンパクトな設備

機械が小型なので、既設構造物の周辺、内部などの狭い場所でも施工が可能である。

3) 硬質地盤も削孔可能

硬い地盤が存在しても容易に貫通し、改良を必要とする層だけを改良できる。

4) 土層に応じた改良率

単位注入量の変更により、土層ごとに最適な改良率を選定できる。

粘性土などの非液状化層は注入しないので経済的である（中抜き施工）。

以上から解るように、S C P 工法では困難であった既設構造物の直近、直下の施工、建物内部での施工が可能であることが本工法の大きな特徴である。また、埋立て地盤では頻出する上部の硬い層、旧護岸などの障害物をボーリングにより貫通できることも従来工法には無い特徴と言える。

## 1.4 適用範囲

図-1.3 に CPG 工法の適用例を示す。CPG 工法の適用範囲は、その「密度増大」という原理から砂質土系地盤としている。これまでの施工実績も緩い砂質土系地盤の液状化対策が多く、具体的な適用例には以下のようないくつかの事例がある。

- 1) 供用中の滑走路や誘導路の直下地盤  
東京国際空港（羽田）、仙台空港、新潟空港、大分空港、福岡空港
  - 2) 岸壁、護岸の背面、直下地盤  
津松阪港（三重県）、青森港（青森県）、衣浦港（愛知県）、富田港（三重県）、丸亀港（香川県）、室蘭港（北海道）、福江港（長崎県）、撫養港（徳島県）、神戸港（兵庫県）、徳山下松港（山口県）、小名浜港（福島県）他
  - 3) 河川堤防の直下地盤  
淀川（大阪府）、天白川（愛知県）、猿猴川（広島県）、庄内川（愛知県）、紀ノ川（和歌山県）他
  - 4) 建物、貯油槽の基礎地盤  
門司油槽所（福岡県）、横浜税関（神奈川県）、神戸地方合同庁舎（兵庫県）、愛知県庁（愛知県）、広島市南区役所（広島県）他
  - 5) 地中構造物の基礎地盤  
那珂火力発電所（茨城県）他

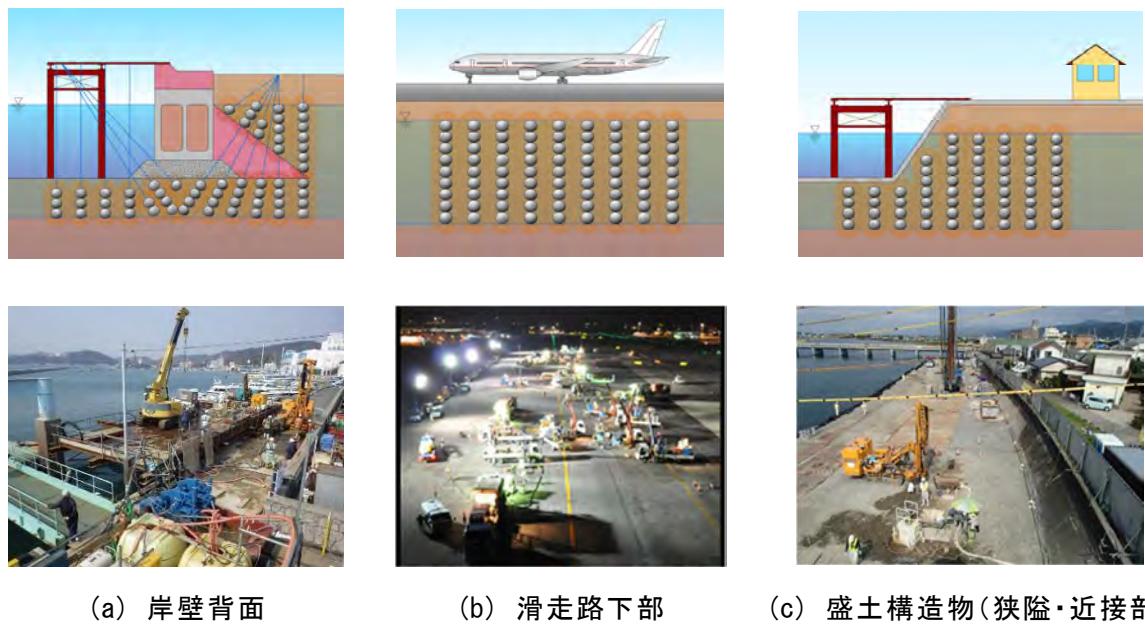


図-1.3 CPG工法の適用例

## 第2章 調査

### 2.1 土質調査

C P G工法を計画するにあたって必要な土質調査を表-2.1に示す。事前調査、事後調査の位置付けや試験項目の目的、方法の詳細については、「技術マニュアル」を参照されたい。なお、効果確認のために行う事後調査については、「4-7 効果確認」を参照のこと。

表-2.1 土質調査

試験項目		内 容	事 前 調 査	事 後 調 査
原位置試験	標準貫入試験	N値	○	○
	孔内水平載荷試験	K値	△	△
土質試験	土の粒度試験	粒度	○	△
	土の液性限界・塑性限界試験	液性・塑性限界	○	△
	土の含水比試験	含水比	○	△
	土の湿潤密度試験	湿潤密度	△	△
	土粒子の密度試験	土粒子の密度	○	△
	土の繰返し非排水三軸試験	繰返しせん断強度	△	△

○：標準的に実施 △：必要に応じて実施

C P G工法で確実な締固め効果を得るために、対象地盤の土質状況を適切に把握することが不可欠である。また、既設構造物直下や近傍での施工を行う場合には、施工環境（施工条件、海象・気象条件、資機材の調達条件、仮設用地）や周辺環境（騒音・振動等、既設構造物の現況）についても十分に把握して施工計画を立案することが重要となる。

地盤の成層状態が複雑な埋立地等を対象とする場合は、必要に応じて、追加調査を行い、改良仕様や改良範囲の確認を行う。土質調査の調査頻度（調査位置、間隔）については、「技術マニュアル」のp.16や「付属資料-2 事前・事後調査の例」を参考にされたい。

C P G工法は、標準では細粒分含有率  $F_c \leq 50\%$  の砂地盤を対象とする。細粒分含有率が高い地盤では、目標N値、改良率の確認を行い、工法の適用性を確認する。また、改良率が25%を超えるような場合には、地盤変位等の影響を検討するとともに、他工法（薬液注入工法や高压噴射攪拌工法等）への変更を検討することも有用である。

## 2.2 地下埋設物の調査

施工に着手する前に、埋設物台帳等の資料により施工範囲における地下埋設物の有無を確認する。地下埋設物が存在する場合は、地中レーダー探査等を用いた埋設物調査を実施し、その位置を確認するとともに、必要な離隔距離を確保するように施工計画を見直す。

## 2.3 その他の調査

C P G 工法は、低流動性モルタルを静的に圧入することで地盤を締め固める工法であり、その特徴から既設構造物の液状化対策に用いられるケースが多い。しかし、注入材の圧入により発生する地盤変位が既設構造物に影響を与える場合がある。施工に際しては、必要に応じて、施工範囲や隣接域における既設構造物の現況調査や、施工中の変位、変状調査を行う。

## 2.4 試験施工

特殊な地盤にC P G 工法を適用する場合や制限の多い施工条件の場合に事前に試験施工を実施し、施工性や効果を確認するのが望ましい。また、大規模な事業などにおいて、試験施工が予め計画されている場合もある。

一般的には既存の土質調査等が実施されている地点で試験施工が計画されるが、必要に応じて追加の調査を行う。その際、「技術マニュアル」の「付属資料－3 試験施工を行う場合に必要な数量・範囲」を参考に、試験施工の規模を設定する。

## 第3章 設計

### 3.1 設計フロー

C P G工法の設計のフローを図-3.1に示す。C P G工法の設計は、各種の液状化判定方法により算出された目標N値を基に、必要な改良率（注入率）を求めるこことにより行う。液状化判定方法は構造物の種類により各企業者で基準を定めているのでそれに従う。各種基準には、日本港湾協会「港湾の施設の技術上の基準・同解説」や、日本道路協会「道路橋示方書・同解説、V耐震設計編」等がある。

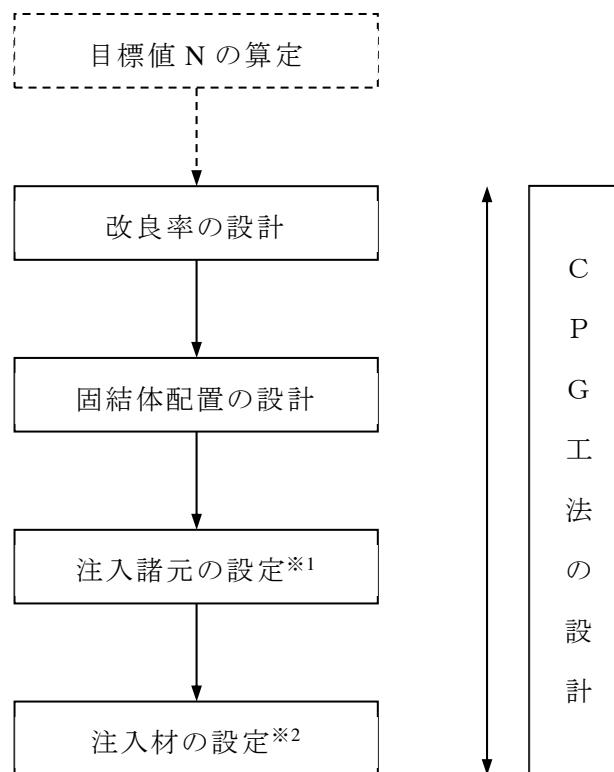


図-3.1 設計のフロー

〔※1：「技術マニュアル」pp.47～50 参照  
※2：「技術マニュアル」pp.51～53 参照〕

### 3.2 改良率

N 値と間隙比の関係から、原地盤 N 値から求めた原地盤の間隙比  $e_0$  と、目標 N 値から求めた改良後の間隙比  $e_1$  を用いて下式により改良率を算出する。

$$\text{改良率} : a_s = (e_0 - e_1) / (1 + e_0)$$

改良率と改良後 N 値の推定方法は SCP 工法の設計法としていくつかの手法が紹介されている。一般に良く用いられている方法を表-3.1 に示す。これらの設計法の内、近年は  $\kappa$  法や D 法が用いられることが多い。工法研究会では、 $\kappa$  法による設計を推奨する。 $\kappa$  法、D 法による改良率の算定例は、「技術マニュアル」の「参考資料－1 設計計算例」に示されているので参照されたい。

表-3.1 改良率と改良後 N 値の推定方法

方法	考え方
$\kappa$ (カッパ) 法	N 値と相対密度、初期累積せん断ひずみ ( $N-D_r-\gamma_i^*$ ) の関係を利用した方法。 $\kappa$ は改良前後の施工実績から得られる係数。
D 法	N 値と相対密度、間隙比 ( $N-D_r-e$ ) の関係に有効な置換砂の割合を考慮した方法。
C 法	N 値と相対密度、間隙比 ( $N-D_r-e$ ) の関係に細粒分含有率による増加 N 値の低減率 ( $\beta$ ) を考慮した方法。

各種推定法によって土質調査深度ごとに必要とされる改良率を算定した上で、対象構造物に求められる耐震性能、対象地盤、土質区分等に応じて適切に改良率を設定する。

液状化対策におけるこれまでの実績では、5~25 %の改良率が設定されている。

8 %未満の低改良率に設定する場合は、対象地盤の土質において目標とする改良効果が得られるか十分に検討する必要がある。特に改良率を 5 %以下に設定した事例は数ヵ所に限られており、いずれも試験施工により当該地盤における効果確認を踏まえて改良率が設定されている。

### 3.3 固結体配置

固結体配置は正三角形配置、正方形配置を標準としている。目標とする N 値から算定された改良率  $a_s$  より、換算改良径（単位注入量）とピッチを算定する。

$$a_s = \frac{A_s}{A}$$

ただし、 $a_s$  : 改良率

$A_s$  : 固結体断面積 ( $\text{m}^2$ )

$$A_s = \frac{\pi D^2}{4}$$

$A$  : 固結体分担面積 ( $\text{m}^2$ )

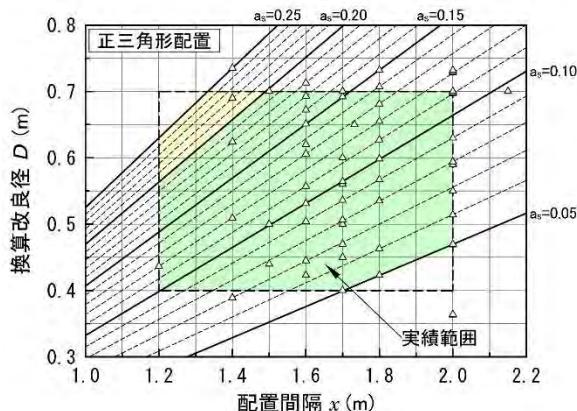
$$\text{正三角形配置} : A = \frac{\sqrt{3}}{2} x^2$$

$$\text{正方形配置} : A = x^2$$

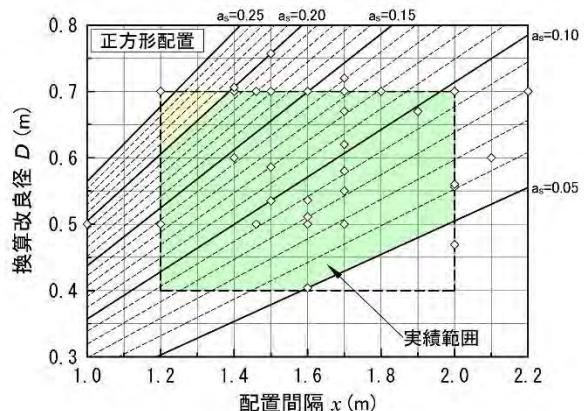
$x$  : 配置間隔 (m)

$D$  : 換算改良径 (m)

なお、「改良率の設計」、「固結体配置の設計」については、「技術マニュアル」に詳しく記載されているので参照されたい。図-3.2 に配置間隔と換算改良径の関係を示す。注入孔間の配置間隔は、1.2~2.0 m の範囲を標準とする。



(a) 正三角形配置



(b) 正方形配置

図-3.2 配置間隔と換算改良径の関係

## 第4章 施工

### 4.1 施工フロー

C P G工法の標準的な施工フローを図-4.1に示す。

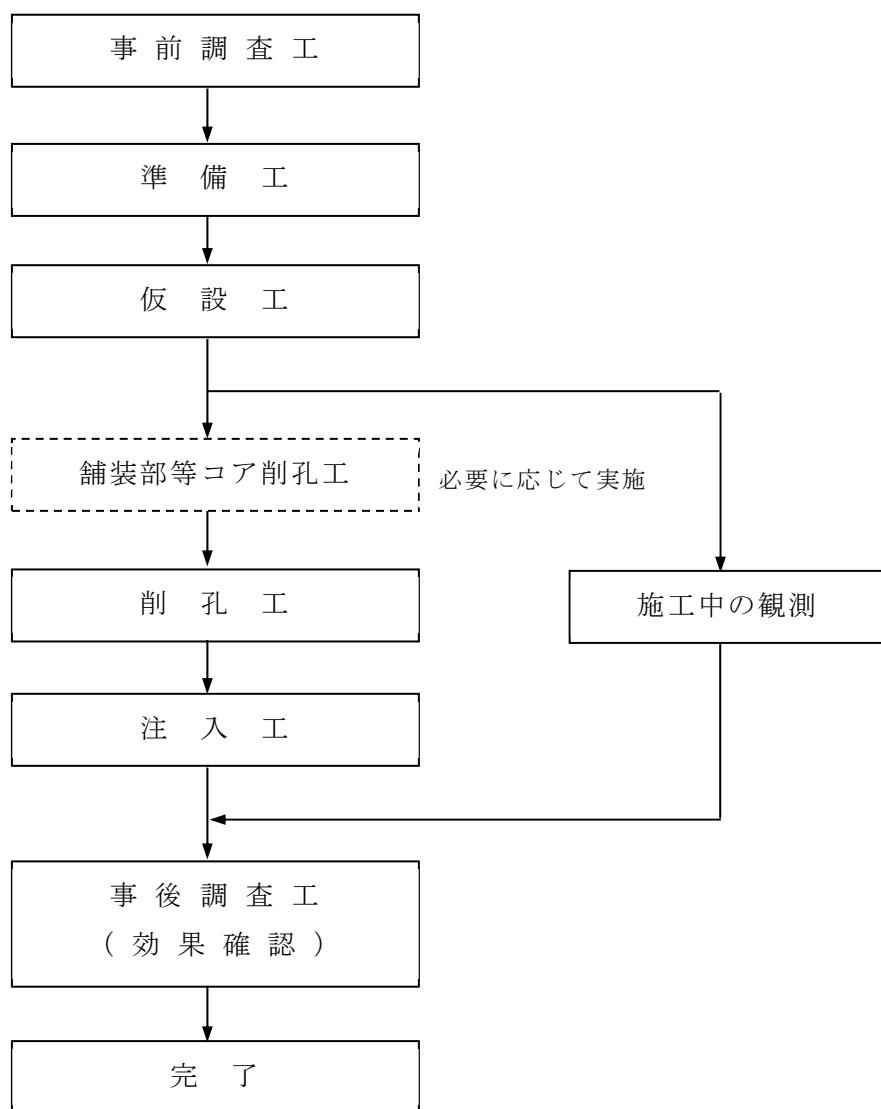


図-4.1 標準的な施工フロー

## 4.2 打設方式

C P G工法における削孔・注入作業の手順には、全長の削孔を終了した後、最深部から順次上部へ注入する「ボトムアップ方式」と、最初に土被りの浅い上部だけを全本数または一定範囲の本数を先行して注入した後、下部をボトムアップ方式で注入する「トップダウン・ボトムアップ併用方式」がある。「技術マニュアル」にあるとおり、C P G工法ではボトムアップ方式での施工を標準としている。ボトムアップ方式の施工手順を図-4.2に示す。

トップダウン・ボトムアップ併用方式は、最初に土被りの浅い部分の締固めが進むので地表面隆起を低減する効果がある。ただし、施工能率が低下する欠点があり、これを補うため施工台数を増やすと隆起低減効果が現れない可能性がある。このため、最近ではあまり行われていない。図-4.3にトップダウン、ボトムアップ併用方式の手順図を示す。実際の施工で隆起対策が必要な場合は、ボトムアップ方式を採用し、注入方式・打設順序等の組合せで対応している。隆起抑制対策の現状、および最近行われている隆起対策については、「技術マニュアル」の「付属資料-9 繰返し圧入（リバース方式）による隆起抑制対策」に詳しく記載されているので参照されたい。

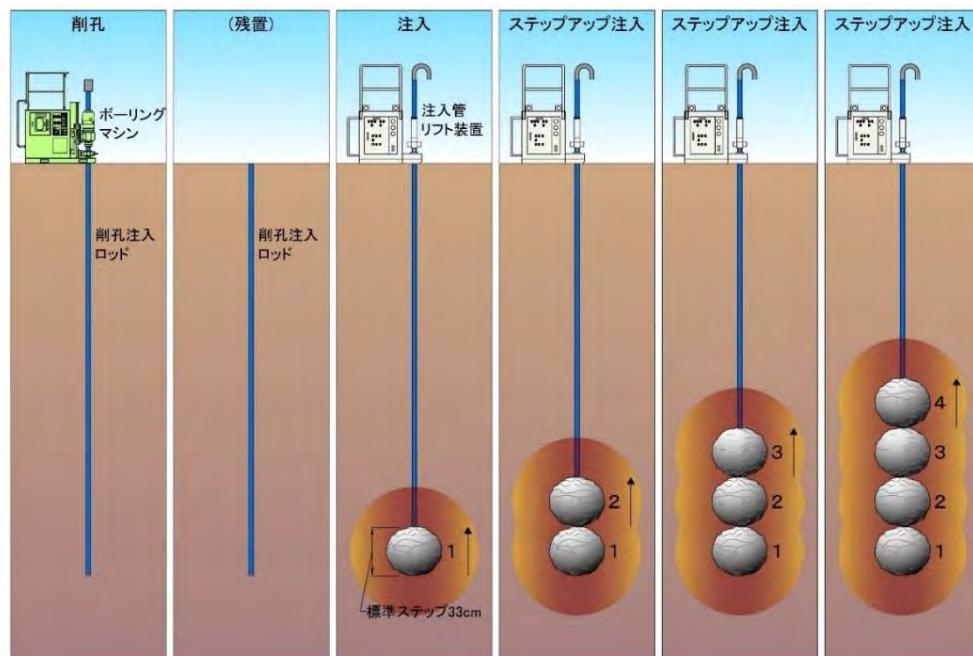


図-4.2 ボトムアップ方式の施工手順

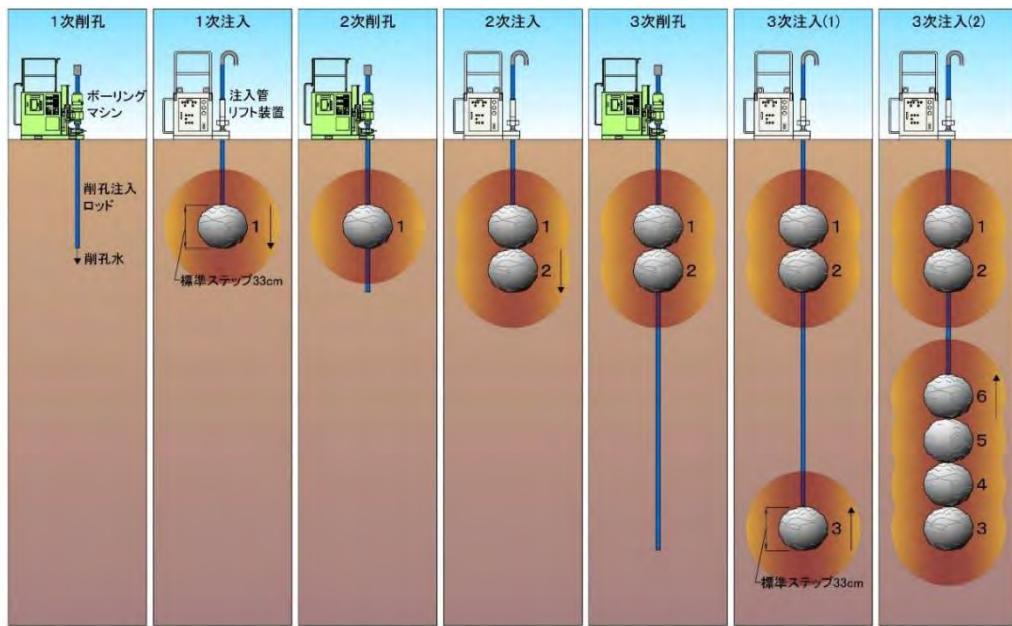


図-4.3 トップダウン・ボトムアップ併用方式の施工手順

また、1日で注入施工が完了できない場合などは、注入ロッド内の洗浄を行うことで、注入ロッドを残置し、後日途中から再注入を行うことも可能である。図-4.4に注入が複数日にわたる場合の施工例の手順図を示す。

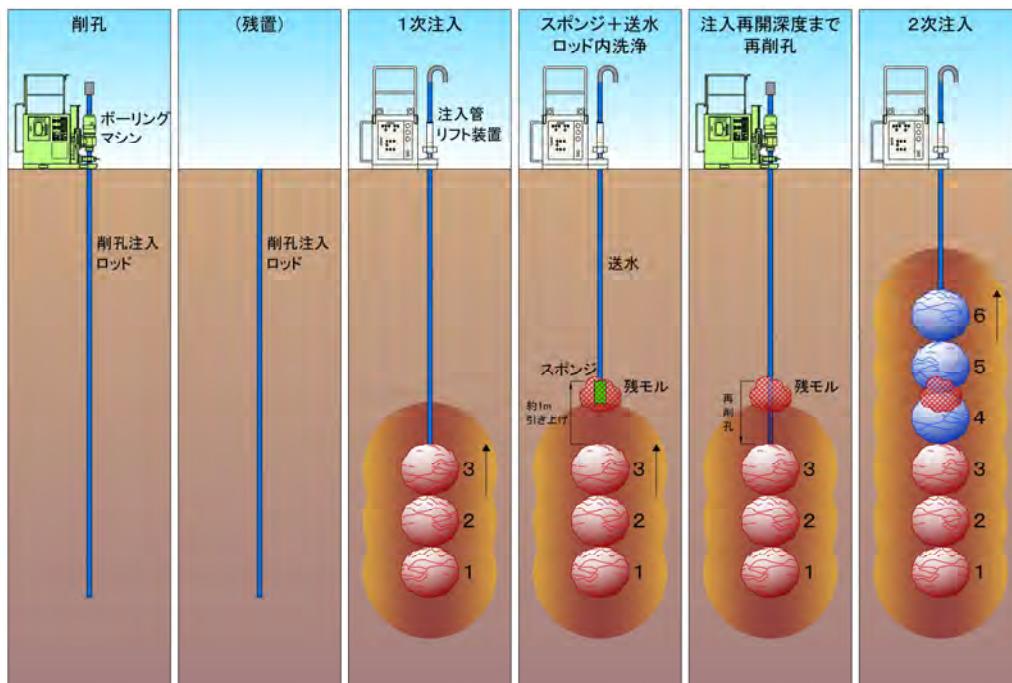


図-4.4 注入が複数日にわたる場合の施工例

## 4.3 プラント配置

### 4.3.1 定置式プラント

標準的なプラント配置を図-4.5に示す。CPGプラント、CPGポンプ、ゼネレータ等のプラントヤードと、流量圧力監視装置、注入管リフト装置の施工ヤードに分かれる。

プラントヤードから施工ヤードへは、注入ホースまたは配管を設置し、注入ポンプにて注入材を圧送する。注入ホースは、ホース内抵抗が大きく圧力がかかりやすいため、最大圧送距離を40m程度以下とする場合が多いが、注入ホースの一部を管内抵抗の小さい配管材に代替えすることで、100m程度離れた位置での施工も可能である。さらに圧送距離を延長したい場合は、もう1台のCPGポンプを中継ポンプとして増設する。中継ポンプと配管材を組み合わせることで、150m離れた位置での注入を行った実績がある。CPGプラント・ポンプ（定置式プラント）を写真-4.1に示す。

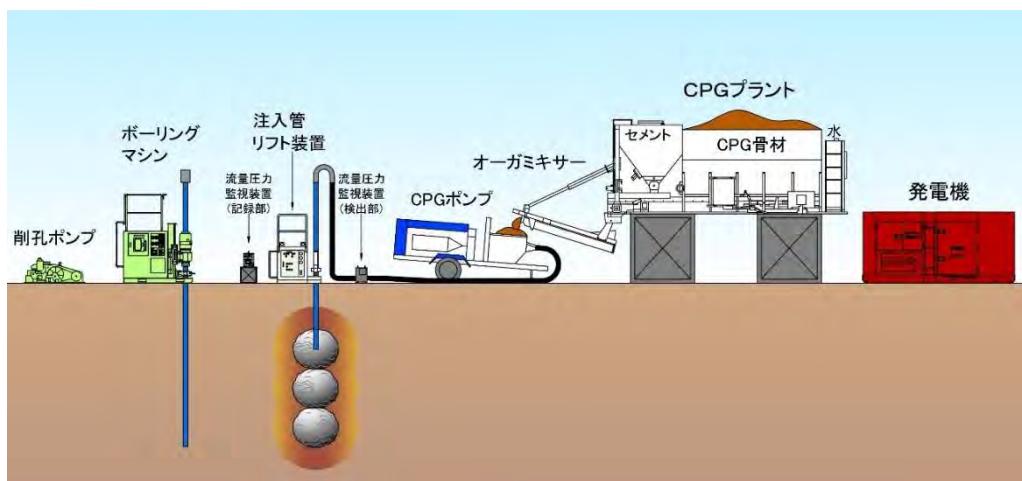


図-4.5 標準的な機械構成（定置式プラント）



写真-4.1 CPGプラント・ポンプ（定置式プラント）

プラントとポンプの組合せにより機械構成は以下のように区別できる。

- ・1 プラント 1 ポンプ→1 ポンプ型
- ・1 プラント 2 ポンプ→2 ポンプ型

2 ポンプ型は標準の機械構成で、施工エリアが広く、形状が正方形に近いもので、同日施工の注入孔の間隔が十分に取れる場合に使用されている。

#### 4.3.2 車載式プラント

定置式のプラント設備が設置不可能な場合は、車載式プラントとすることも可能である。この場合は、CPGプラントとゼネレータを28tクラスのトレーラーに車載する。CPGポンプは牽引またはクレーン付トラックにて運搬する。車載式プラントを使用する場合には、別途プラント待機ヤードが必要となる。車載式CPGプラント（標準タイプ）を写真-4.2および図-4.6に示す。



写真-4.2 車載式CPGプラント（標準タイプ）

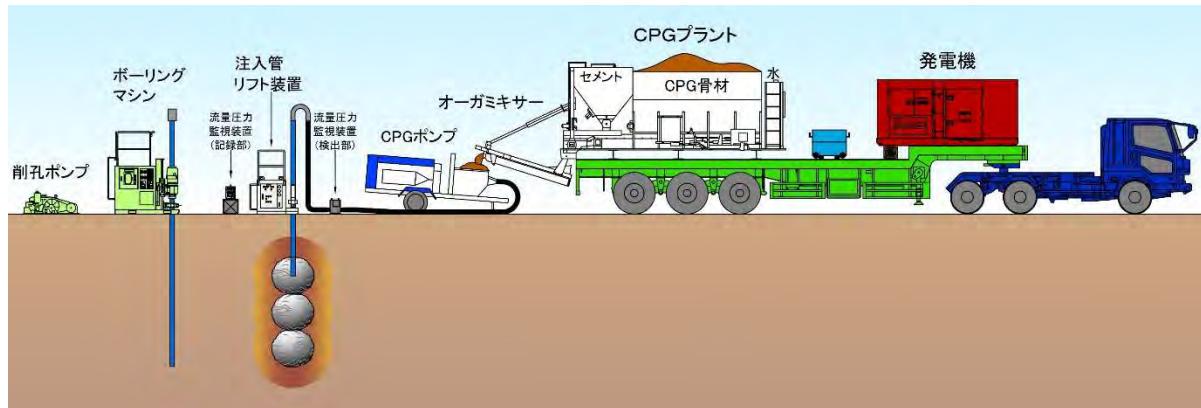


図-4.6 車載式CPGプラント（標準タイプ）

#### 4.3.3 その他のプラント

水上施工（河川、海岸等）では、台船式のプラント設備も可能である。また、戸建住宅地や狭隘地での施工に適した小型プラントも選択可能である。台船式プラントの平面図および標準的な機械構成を図-4.7に示す。

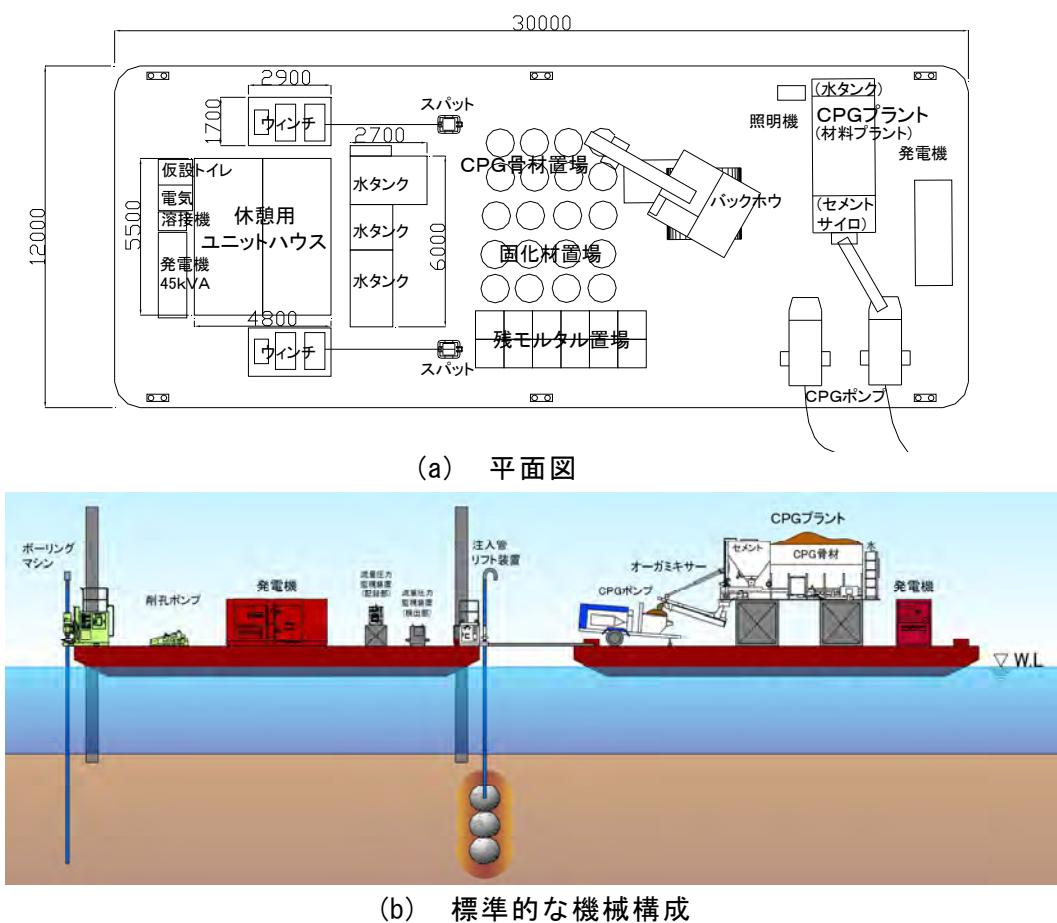


図-4.7 台船式 CPG プラント

小型C P G プラントを写真-4. 3 に、車載式小型C P G プラントを写真-4. 4 に示す。



写真-4. 3 小型C P G プラント



写真-4. 4 車載式小型C P G プラント

#### 4.3.4 仮設ヤード

車載式プラント設備を使用した場合、バックヤードとして写真-4.5に示すような仮設ヤードを確保する必要がある。仮設ヤードは次のような目的で用いられている。

- ・車載式プラント設備の組立・解体作業およびCPGの資機材などの仮置き
- ・CPGの専用骨材・セメント・用水の貯蔵およびプラントへの積載
- ・CPGの注入完了後のプラント、ポンプの機械洗浄水および注入作業で残留したモルタルの集積、搬出
- ・工事車両、通勤車両の駐車・待機および作業関係者の休憩所



写真-4.5 仮設ヤード

仮設ヤードの設置に際しては、現場条件を勘案して供用中の施設運用に影響を及ぼさないよう、施設との離隔や上空制限等に十分配慮をして計画を立てる必要がある。仮設ヤード設置計画に係る留意点は次の通りである。

- ・主要な機械高さ、幅（バックホウ、25tラフタークレーン等）
- ・資機材の設置高さ、幅（セメントサイロ、給水設備、仮設ハウス、休憩所等）
- ・作業用車両高さ、幅（トレーラー（CPGプラント積載時高さ）、クレーン装置付きトラック等）
- ・28tトレーラー、クレーン装置付きトラック、10tダンプなどの工事車両が仮設ヤード内を通行するため、駐機場所以外の車両通行帯、旋回幅および占有面積を考慮したヤード面積（「技術マニュアル」では1,000～1,500m<sup>2</sup>/プラント程度となっているが、現場の実情を勘案して決定する）
- ・上記の大型工事車両が仮設ヤード内を通行するため、車両のトラフィカビリティの確保のための養生（アスファルト舗装、敷鉄板等）

### **待機ヤードから一般公道を利用して移動する場合**

施工箇所の近隣にプラント待機ヤードがない場合や、施工箇所の近隣プラント待機ヤード候補地でクレーン作業の必要地上高（上空制限等）が確保できない場合、一般公道を利用して移動しなければならない。この場合、プラント待機ヤードを選定するにあたり、施工箇所まで一般公道を利用した移動となる場合は、C P G 専用ポンプの牽引ができないことから、注入工の機械設備構成に「C P G ポンプ移動のための車両」を計上するとともに、「C P G ポンプ積み降ろしのための揚重機」を計上する必要がある。

#### 4.4 削孔工

削孔工作業フローを図-4.8に示す。通常、削孔注入ロッド（外径73mm）を所定の深度まで削孔できるロータリー式ボーリングマシンが用いられる。転石や固結層などがある場合は、ロータリーパーカッション式ボーリングマシンを用いることも可能である。選定したボーリングマシンにより、先端にメタルクラウン、スタビライザーを取り付けた削孔注入ロッドで所定の深度まで削孔する。

ロータリー式ボーリングマシンが用いられる場合は、削孔注入ロッドを切り離した後にボーリングマシンを撤去して注入管リフト装置を据え付ける。

ロータリーパーカッション式ボーリングマシンを用いる場合は、ケーシングパイプで先行削孔した後、削孔注入ロッドを所定の深度まで建て込む。削孔あるいは建て込み完了後は削孔注入ロッドからボーリングマシンを切り離し、注入管リフト装置をセットする。

また、削孔完了後に引き続いて注入作業を行わない場合は、削孔注入ロッドを一時的に残置し、ロッドの孔口を養生しておく（4.4.3 孔口養生参照）。

##### 4.4.1 削孔作業手順

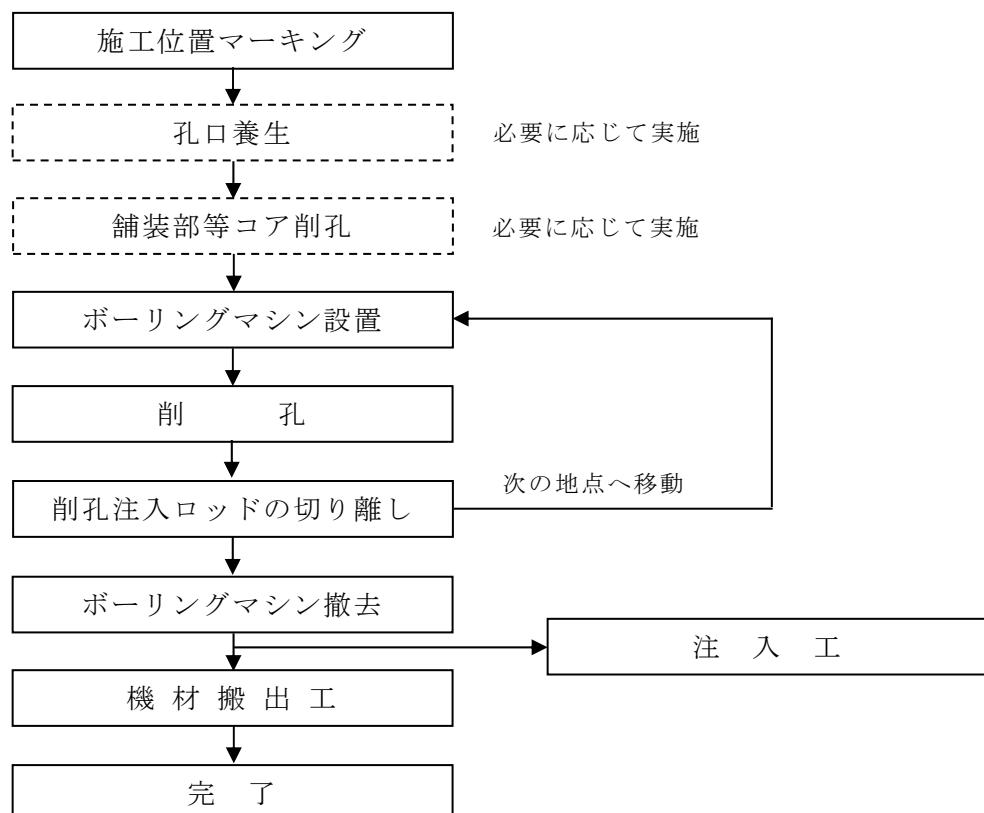


図-4.8 削孔工作業フロー

#### 4.4.2 施工位置マーキング

計画削孔位置を現地にてマーキングを行う。その際、埋設物の位置や構造を確認し、適切な施工位置や削孔角度を決める。必要に応じて埋設物の試掘や防護を実施する。

計画削孔位置およびその周辺での存在が想定される埋設物については、図面調査だけではなく、可能な範囲で試掘確認や物理探査等による確認を計画する。また、電線管やガス管等が存在する可能性がある場合は、埋設物の種類に応じた離隔を確保し、必要に応じてガイド管等の設置を計画する。既存の基礎杭などの地中構造物に近接する場合は、削孔ラインがそれらに干渉しないことを確認する。埋設物や既設構造物等で、削孔位置の移動や斜削孔が必要な場合は、図-4.9に示すように、削孔位置が規定間隔内( $x/4$ 以内)に収まるかどうか確認する。収まらない場合には、斜削孔の併用や増杭などの検討を行う。

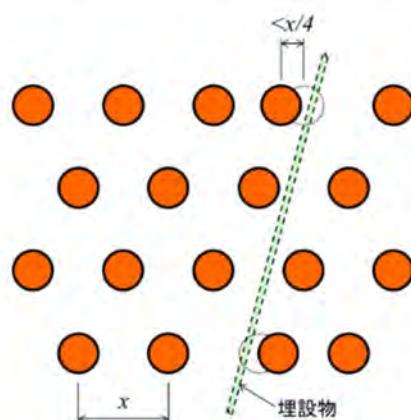


図-4.9 部分的な杭芯を移動した事例

#### 4.4.3 孔口養生

供用中の空港滑走路や誘導路、または岸壁など、航空機や車両が通行する場所での施工においては、舗装面の削孔口に防護キャップを設置して養生を行う。

防護キャップは通常、一般用防護キャップを使用する。ただし、空港滑走路では航空機着陸時の衝撃荷重に耐えるとともに、衝撃によって蓋部が飛散しない構造の滑走路用防護キャップを使用する。一般用防護キャップを図-4.10および写真-4.6に、滑走路用防護キャップを図-4.11および写真-4.7に示す。

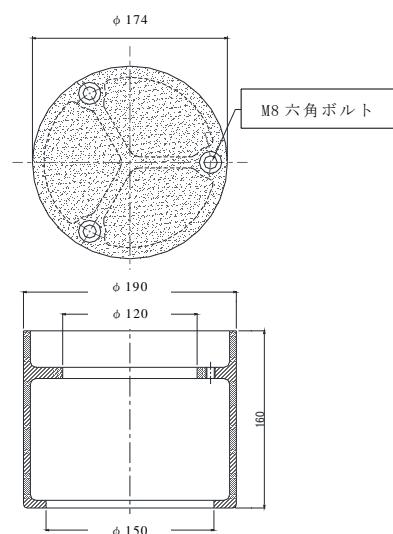


図-4.10 一般用防護キャップ

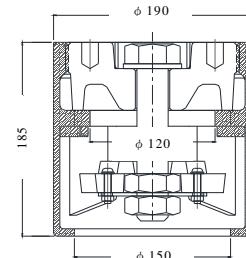


図-4.11 滑走路用防護キャップ

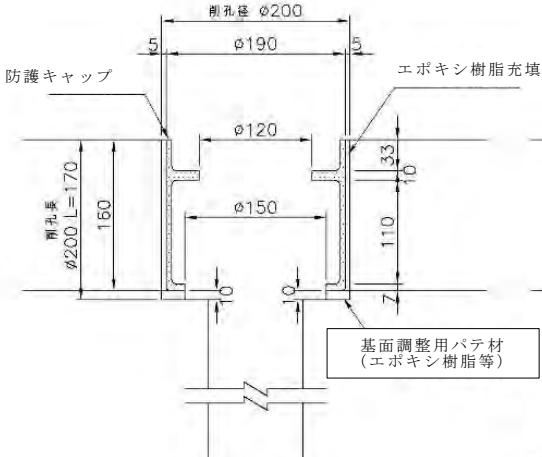
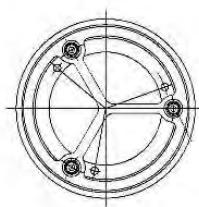


写真-4.6 一般用防護キャップ

写真-4.7 滑走路用防護キャップ

防護キャップ使用時に斜削孔をおこなう場合は、防護キャップ内における削孔注入ロッドの可動域を考慮して斜施工の角度を設定する。

防護キャップ設置詳細図  
(誘導路用)



【例】斜施工検討図  
斜角度  $\phi 5$  度

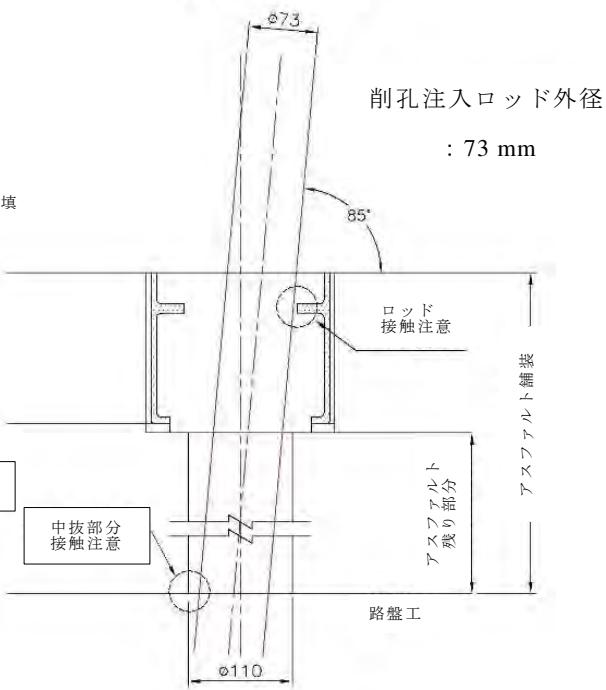


図-4.12 一般用（誘導路用）防護キャップ設置時の標準断面図（最大斜削孔角度 5°）

必要に応じて、図-4.12 に示す標準的な寸法の防護キャップの外、大径の防護キャップ（ $\phi 250$  mm 等）を用い、かつ中抜き径を大きくすることによって、削孔角度を大きくすることも可能である（実績：防護キャップ径  $\phi 250$  mm、中抜き径  $\phi 116$  mm、傾斜角  $14^\circ$ ）。

#### 4.4.4 舗装部等コア削孔

施工基面部に舗装やコンクリート構造物等があり、CPGの注入によって周囲の隆起を誘発、あるいは削孔注入ロッドによる削孔によって、既設構造物の損傷が大きくなる場合は、コアドリル等による先行削孔を実施することがある。

#### 4.4.5 削孔使用機械

標準的な削孔用機械設備を下記の表にそれぞれ示す。

<車載式プラント使用時>

表-4.1 標準的削孔用機械設備

名 称	形式・性能	台数 (1set 当り)	
		ロータリー式	ロータリーパーカッション式
ロータリー式 ボーリングマシン	油圧式 11 kW	1	—
ロータリーパーカッション式 ボーリングマシン (クローラ型)	81kW 級	—	1
クレーン装置付トラック	4 t 積 2.9 t 吊	1	1
普通 トラック	11 t 積	—	(1)
給水車 (散水車)	3,800 ℥	(1) (2set 当り迄 1 台)	(1) (2set 当り迄 1 台)

※機械設備の質量等の詳細は、「積算ライブラリー」参照

<定置式プラント使用時>

表-4.2 標準的削孔用機械設備

名 称	形式・性能	台数 (1set 当り)	
		ロータリー式	ロータリーパーカッション式
ロータリー式 ボーリングマシン	油圧式 11 kW	1	—
ロータリーパーカッション式 ボーリングマシン (クローラ型)	81kW 級	—	1
クローラクレーン (油圧伸縮ジブ型)	4.9 t 吊	1	1
ラフテレーンクレーン	25 t	(1)	(1)
給水車 (散水車)	3,800 ℥	(1) (2set 当り迄 1 台)	(1) (2set 当り迄 1 台)

※機械設備の質量等の詳細は、「積算ライブラリー」参照

#### 4.4.6 削孔方式

削孔方式を計画するにあたり、地盤条件に見合った施工機械が選定されているか確認をする。液状化対策を必要とするような軟弱地盤ではロータリー式ボーリングマシンを標準とする。また、コンクリートガラ、玉石混じり、軟岩相当以上の層が連続して存在する場合は、ロータリーパーカッション式ボーリングマシンの採用を検討する。

ボーリングマシンの削孔方式を図-4.13 に示す。また、ボーリングマシンおよびロータリーパーカッション式ボーリングマシンを図-4.14 および図-4.15 に示す。

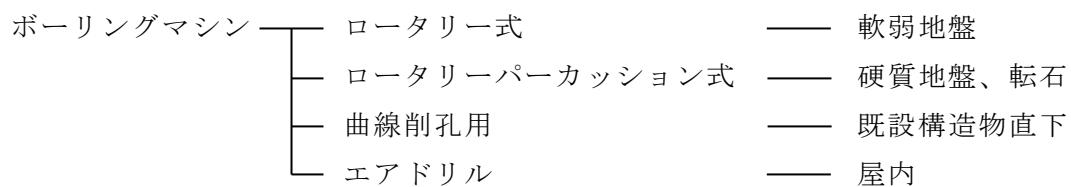


図-4.13 ボーリングマシンの削孔方式

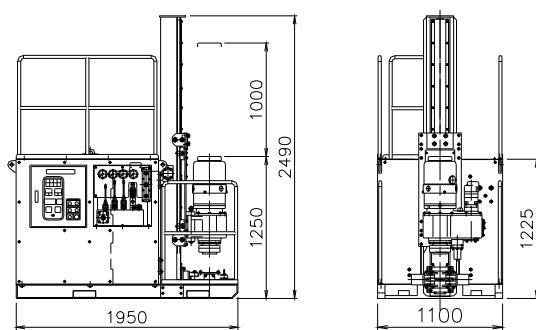


図-4.14 ボーリングマシン

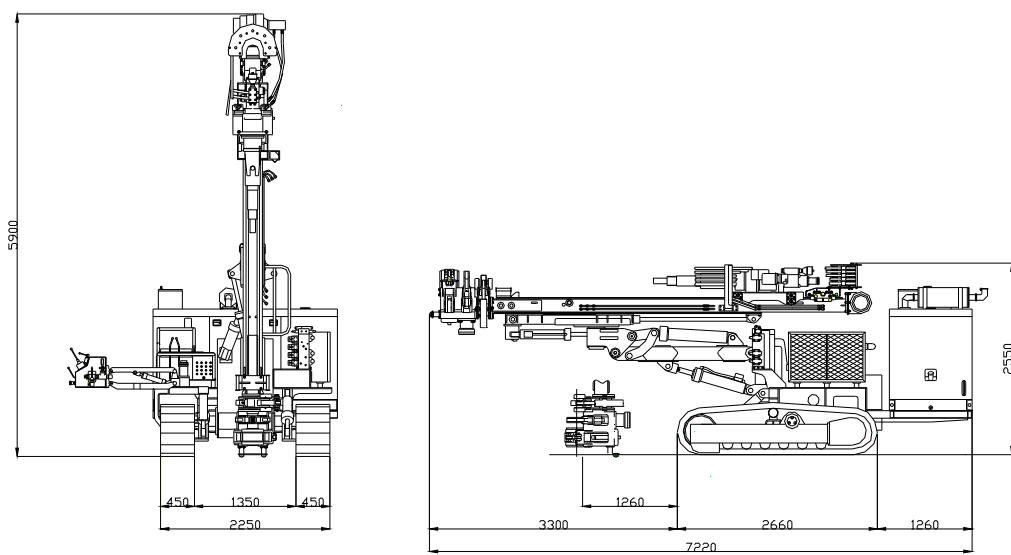


図-4.15 ロータリーパーカッション式ボーリングマシン(クローラ型)

写真-4.8～写真-4.11に、各種削孔機の写真をそれぞれ示す。

写真-4.10に示す曲線削孔用のボーリングマシンは、既設構造物直下を改良する際、構造物の条件等により構造物内部からの施工ができない場合に使用する。また、写真-4.11に示すエアドリルは、屋内等の狭隘な場所を削孔する際に使用する。



写真-4.8 ロータリー式



写真-4.9 ロータリーパーカッション式



写真-4.10 曲線削孔用



写真-4.11 エアドリル

#### 4.4.7 削孔仕様

削孔計画の立案にあたって、設計図書と現場を照合し、適切な削孔深度（液状化対策工の場合 25 m 程度まで）、削孔角度（0°～60°程度まで）、削孔位置となっているかを確認する。この時、既設構造物等による計画変更の有無を合わせて確認する。

#### 4.4.8 削孔管理

削孔管理は、全孔に対して下記の管理項目を記載した削孔指示書を作成して作業関係者に配布して、管理項目や管理ポイントを周知させる。施工中は、削孔指示書に基づいた施工を行いつつ、施工記録を記入・保管するものとする。また、施工記録は監督職員立会い時の確認資料とする。

<管理項目（例）>

- ・施工位置（孔番）
- ・施工基面（標高）
- ・削孔角度
- ・削孔長
- ・ロッド全長、必要本数
- ・削孔完了残尺

削孔位置は計画図面にもとづき、基準点から所定の位置を割り出してマーキングをおこない、孔番を振る。削孔角度は、削孔機据付時にスラントルール・水平器等を用いてロッドが所定の角度にセットされていることを確認する。

図-4.16 に削孔長説明図を示す。削孔長は、使用ロッド全長およびメタルクラウン長の合計から削孔完了時の残尺を差し引いた長さにより確認する。ロッドおよびメタルクラウンの合計長さは、ロッド回収後の検尺により確認する。

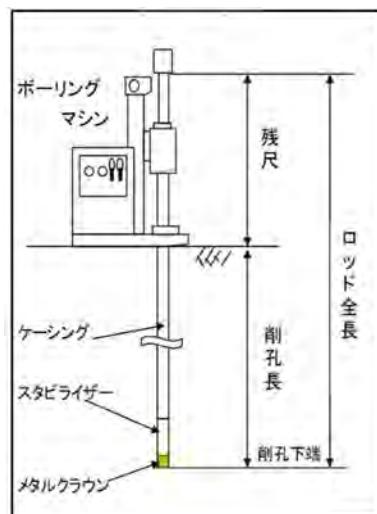


図-4.16 削孔長説明図

削孔完了後、写真-4.12に示す目盛付きコア棒をロッド内に挿入し、先端部にコア詰まり等の閉塞がないことを確認するとともに、図-4.17に示すように削孔長の再確認を行う。

その後、引き抜いたコア棒とロープ長を再度検尺・確認することにより、注入開始深度の最終チェックをする。コア詰まり等の閉塞が生じると、その後の注入作業ができなくなるため、先端詰まりが発生した場合は、ロッド内に再度送水を行って詰まりを解消する。それでも解消しない場合は、ポリエチレンホース等をロッド内に挿入して管内を洗浄する。



写真-4.12 コア棒

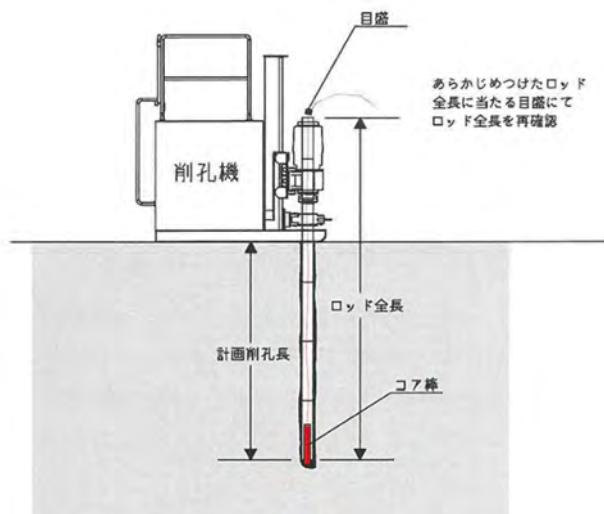


図-4.17 削孔長説明図

## 4.5 注入工

所定深度に設置された削孔注入ロッドを用いて注入を行う。注入は一般的に一定のステップ間隔で実施され、標準では1ステップの長さを33 cmとし、3ステップで1 mの区間を注入する。

### 4.5.1 注入作業手順

標準的な注入作業手順としてボトムアップ方式の作業手順を図-4.18に示す。

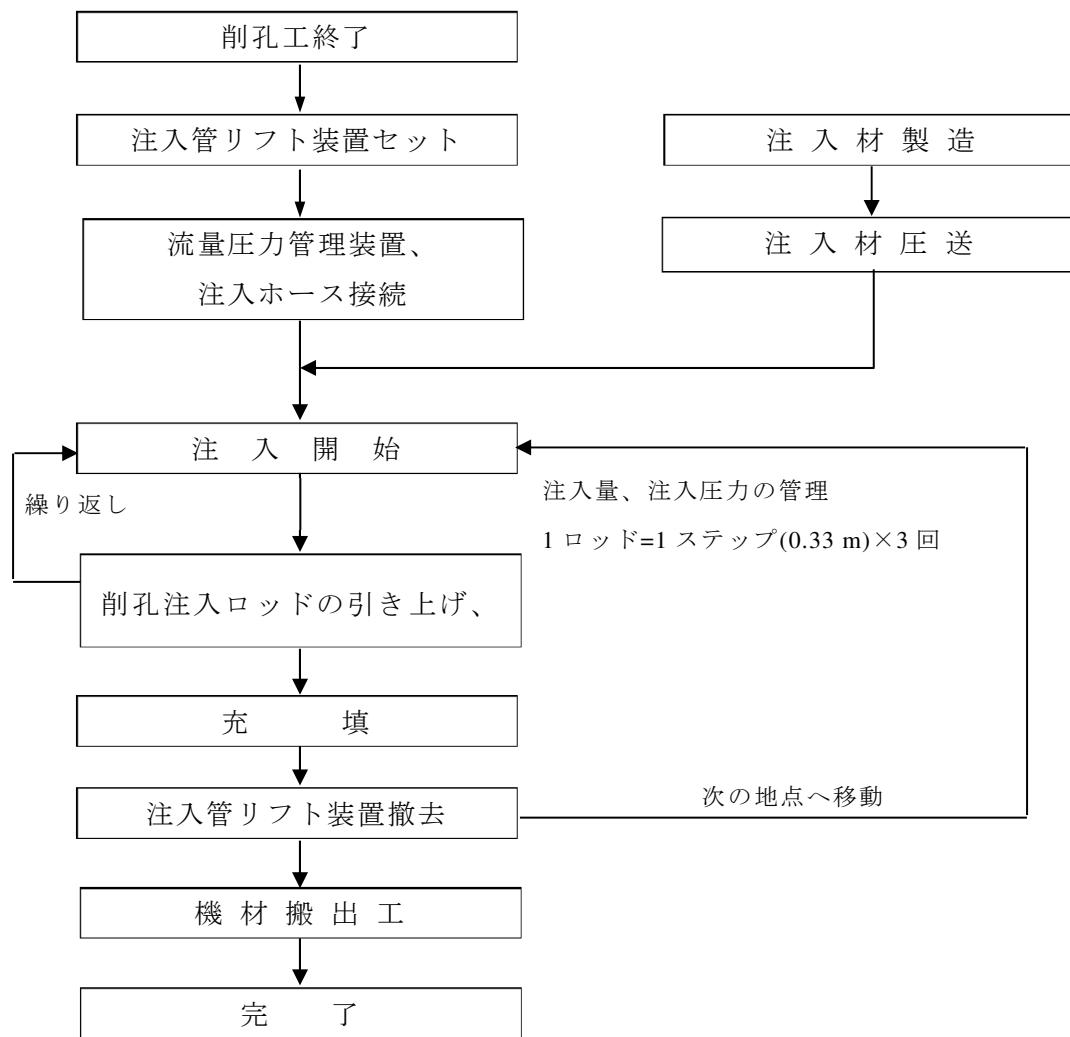


図-4.18 注入工作業フロー

#### 4.5.2 注入工の使用機械

注入工の機械設備構成は1プラント2ポンプを標準とする。使用する主要な施工機械構成の定置式を表-4.3、車載式を表-4.4に示す。

図-4.19にCPGプラント、図-4.20にCPGポンプおよび図-4.21に注入管リフト装置をそれぞれ示す。また、写真-4.13から写真-4.16には、それぞれの使用機械と全体の施工状況を示す。

表-4.3 注入工標準機械構成（定置式）

名 称	型式・性能	1 プラント 2 ポンプ当り
CPGプラント	2ポンプ対応 連続ミキサー、4 m <sup>3</sup> /h サイロ部安全設備増設型	1
CPGポンプ	8 MPa、1.8 m <sup>3</sup> /h 移動車輪・取付部改良型	2
注入管リフト装置	改良型φ73 mm用 ストローク330 mm、引抜圧改良 補助ジャッキ可能型	2
流量圧力監視装置	CPG-K100RC型 表示方法改良型	2
バックホウ (クレーン機能付)	山積 0.8 m <sup>3</sup> 2.9 t 吊	1
クローラクレーン (油圧伸縮ジブ型)	4.9 t 吊	1
ラフテレーンクレーン <sup>注1)</sup>	25 t	(1)
給水車(散水車) <sup>注2)</sup>	3,800 ℥	(必要台数)

注1) クローラークレーン4.9t吊を標準とするが、クローラクレーンでは配置できない場合は必要に応じてラフテレーンクレーン25t吊を計上する。

注2) 施工場所から50m程度以内に給水設備がある場合には、計上しない。必要な場合は、1プラント当り1台を標準とするが、1日当りの施工数量、給水箇所から施工箇所までの距離を考慮し、必要台数を計上する。

表-4.4 注入工標準機械構成（車載式）

名 称	型式・性能	1 プラント 2 ポンプ当り
C P G プラント専用車	2 ポンプ対応 連続ミキサー、4 m <sup>3</sup> /h サイロ部安全設備増設型 特殊トレーラー	1
C P G ポンプ	8 MPa、1.8 m <sup>3</sup> /h 移動車輪・取付部改良型	2
注入管リフト装置	改良型 $\phi$ 73 mm 用 ストローク 330 mm、引抜圧改良 補助ジャッキ可能型	2
流量圧力監視装置	CPG-K100RC 型 表示方法改良型	2
クレーン装置付トラック	4 t 積 2.9 t 吊	1 (2) () 内は洗浄工必要時
給水車（散水車） <sup>注3)</sup>	3,800 ℥	1
ロータリー式 ボーリングマシン	油圧式 11 kW	(1) 洗浄工必要時に計上
普通 トラック <sup>注4)</sup>	4 t 積	(2)
ラフテレーンクレーン <sup>注5)</sup>	25 t	(1) (2 プラント当り迄 1 台)

注3) 1 プラント当り 1 台を標準とするが、1 日当りの施工数量、給水箇所から施工箇所までの距離等を考慮し、必要台数を計上する。

注4) 公道を利用した移動になる場合に、C P G ポンプ移動のための車両を計上する。

注5) 公道を利用した移動になる場合の C P G ポンプ積下ろしや、クレーン装置付 トラック のクレーンでは配置できない場合は場所等別途揚重機が必要となる場合に計上する。

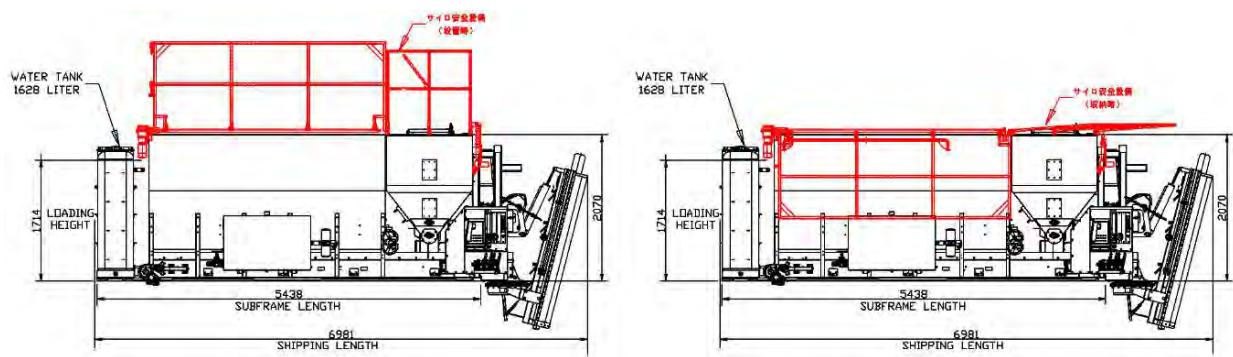


図-4.19 CPG プラント（重量 5.5 ton）

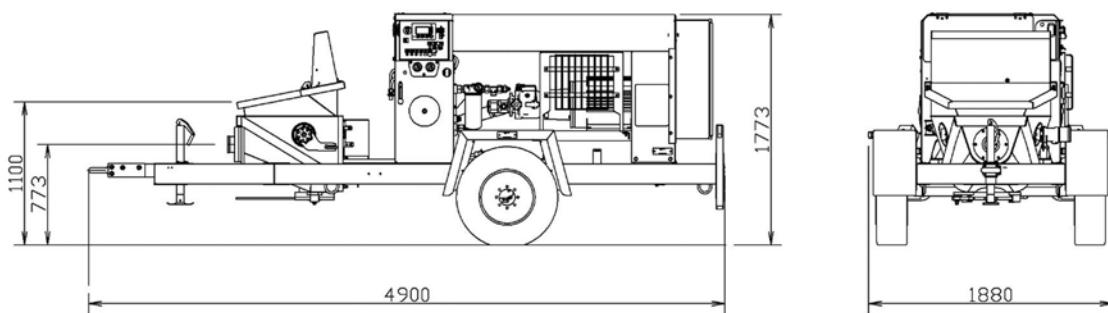


図-4.20 CPG ポンプ（重量 2.5 ton）

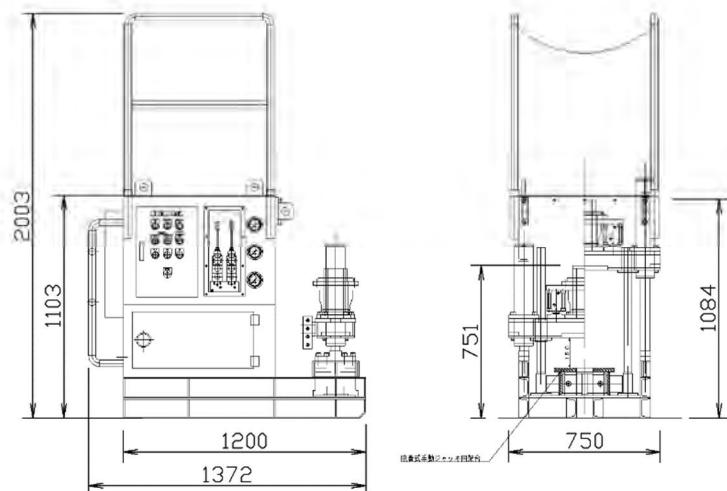


図-4.21 注入管リフト装置（重量 0.7 ton）



写真-4.13 CPG プラント



写真-4.14 CPG ポンプ



写真-4.15 注入管リフト装置

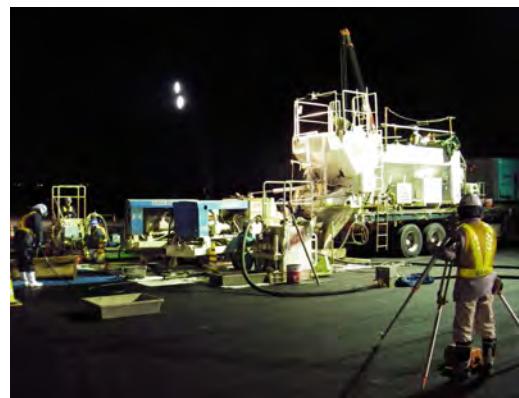


写真-4.16 全体の施工状況

#### 4.5.3 注入方式

現場条件や削孔角度、削孔方法、注入深さなどに応じて表-4.5に示されるような注入管リフト装置を選択できる。また、写真-4.17～写真-4.20には、それぞれの写真を示す。

表-4.5 注入管リフト装置の種類

注入管リフト装置	適用場面	引抜き角度
鉛直施工用	標準の注入管リフト装置	70°～鉛直
斜施工用	斜め～水平に設置された注入管の引抜き	通常は 20°～鉛直
曲線用	曲線ボーリングによって設置された注入管の引抜き	水平～45°
狭隘地用	狭隘地に設置された注入管の引抜き	リフト装置の積載面に対して鉛直



写真-4.17 鉛直施工用



写真-4.18 斜施工用



写真-4.19 曲線用



写真-4.20 狹隘地用

#### 4.5.4 注入材

C P G工法は締固め工法であるので固結体は必ずしも球形、円柱形である必要はないが、所定の受け持ち範囲から逸脱することなく固結体を形成することが求められる。そのために注入材には低流動性のモルタルを使用し、脈状割裂のような形態で注入材が逸走するのを防いでいる。また、固結体の強度は液状化しない程度であれば良く、固結体強度は設計で考慮していない。

##### (1) 注入材の標準配合

C P G工に用いる注入材は、C P G骨材、固化材、水からなる写真-4.21に示すようなモルタル状の材料であり、スランプ値7cm以下の流動性の極めて小さい注入材である。注入材の1m<sup>3</sup>当りの標準配合は、表-4.6のとおりである。水の配合量は固化材によって異なるので参考値として示す。また、混練りは専用のC P Gプラントによる連続練りであるので、試験配合によってスランプ管理値内に入る水の配合量を決定し、現場ではスランプ値合わせで水量を調整する。スランプ試験を写真-4.22に示す。

表-4.6 注入材の標準配合 (1 m<sup>3</sup> 当り)

材料	配合量	備考
C P G骨材	1,360 kg	絶乾状態
固化材	高炉セメントB種	
	普通ポルトランドセメント	
	マグネシウム系固化材	
水	426 kg	参考値



写真-4.21 注入材



写真-4.22 スランプ試験

## (2) 骨材

### <骨材の選定>

低流動性の注入材を圧送するために、モルタルの骨材には、適切な量の礫分と細粒分を配合した専用の写真-4.23に示すC P G骨材を使用する。水分量はスランプ試験により管理し、注入箇所の注入ホース先端から採取した材料のスランプ値で7cm以下を管理値とする。

C P G骨材の粒度組成は図-4.22に示す範囲を最適粒度分布範囲としている。これは実績として文献などに報告されている範囲を包含したもので、実際に使用する際には地域による骨材性状の違い、地盤の違いを勘案して選定する必要がある。また、一般的な市販の骨材は特定の粒径に分布が集中しているため、これらを組合せても特定粒径に集中した粒径加積曲線しか得られない。このような骨材は脱水しやすく圧送困難になるためC P G骨材としては適当でない。礫分を多く含んだ骨材や細粒分を多く含む骨材を数種類配合して、図-4.22に示す範囲の中でなだらかな粒径加積曲線になるように調整する必要がある。また、粘着性の小さい細粒分（砕石粉等）は脱水しやすく圧送性の問題が発生する場合があり注意が必要である。



写真-4.23 C P G骨材

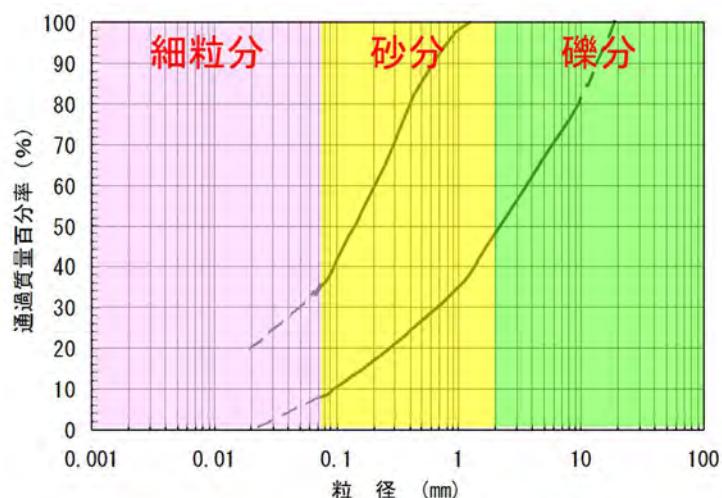


図-4.22 C P G骨材の最適粒度分布範囲

### <骨材の搬入・保管管理>

C P G骨材は基本、月末毎にふるい分け試験を実施し、粒形加積曲線が最適粒度分布範囲内にあることを確認して翌月から現場で使用する。C P G骨材現場搬入時には、骨材搬入量の立会検収を受けることを原則とする。C P G骨材は、現場でシート等をかぶせ、骨材の含水率が天候等（乾燥や雨による湿潤）によって大きく変化しないように養生する。

### (3) 固化材

固化材は、高炉セメントB種、普通ポルトランドセメントを使用する。低アルカリ性のマグネシウム系固化材、石膏系中性固化材などの使用も可能である。使用するセメントは基本、毎月試験を実施し、品質に問題がないことを確認して翌月から現場で使用する。固化材現場搬入時には、搬入量の立会検収を受けることを原則とする。

表-4.7に、CPG工法で使用する主な固化材の特徴を示す。

表-4.7 固化材の特徴

固化材	特徴
普通ポルトランドセメント	<ul style="list-style-type: none"><li>最も一般的なセメント</li></ul>
高炉セメントB種	<ul style="list-style-type: none"><li>セメント中の高炉スラグの混合割合が30~60%の固化材</li><li>普通セメントに比べて耐海水性、化学抵抗性が高い</li><li>普通セメントに比べて初期強度の発現は小さいが、長期強度は同程度</li></ul>
マグネシウム系固化材 (マグホワイト)	<ul style="list-style-type: none"><li>低アルカリ性の固化材</li><li>六価クロム等の有害物質は含まれていない</li><li>農業施設(あぜ道・U字溝)や河川護岸、消波ブロック等に使用可能</li></ul>

#### (4) 配合水

配合水に海水を使用した実績は多くあり、セメントの水和反応を阻害するような物質を含み、極端に汚濁した海水でなければ問題はない。

#### (5) CPG注入材の品質管理

着工前に、CPGプラントのキャリブレーションを行い、CPG骨材と固化材が適切な配合比率（計量誤差±5%以内）であることを確認する。CPG注入材はスランプ値で管理し、注入ホースの先端から採取した試料を用いてスランプ試験を実施する。スランプ値の管理値は7cm以下とし、スランプ試験頻度は1プラント当り一日2回以上（例えば午前、午後に一回ずつ）実施する。

#### (6) 六価クロム溶出試験

CPG工法は、極めて流動性の低いモルタルを静的に圧入するため、注入材が原位置の土と混合攪拌されることはない。そのため、深層混合処理工法などで必要とされているような六価クロム溶出試験は実施されていない。

#### 4.5.5 キャリブレーション等

##### (1) プラント

C P G工法では、図-4.23に示すように、連続的に混練りを行うプラントを使用する。C P Gプラントは、セメントとC P G骨材、水が積載される構造で下部のベルトコンベアによりセメントとC P G骨材がポッパーに送られる。ホッパー内には水が投入され、ミキシングオーガーにより混練される。このようにして製造された注入材はC P Gポンプに投入される。

写真-4.24はベルトコンベアで運搬される材料の状況を示している。セメントとC P G骨材は同時に運搬されているが、配合比率は、材料ゲートによりC P G骨材を調整している（計量誤差±5%以内）。一般にこのような調整はキャリブレーションの際に実施される。

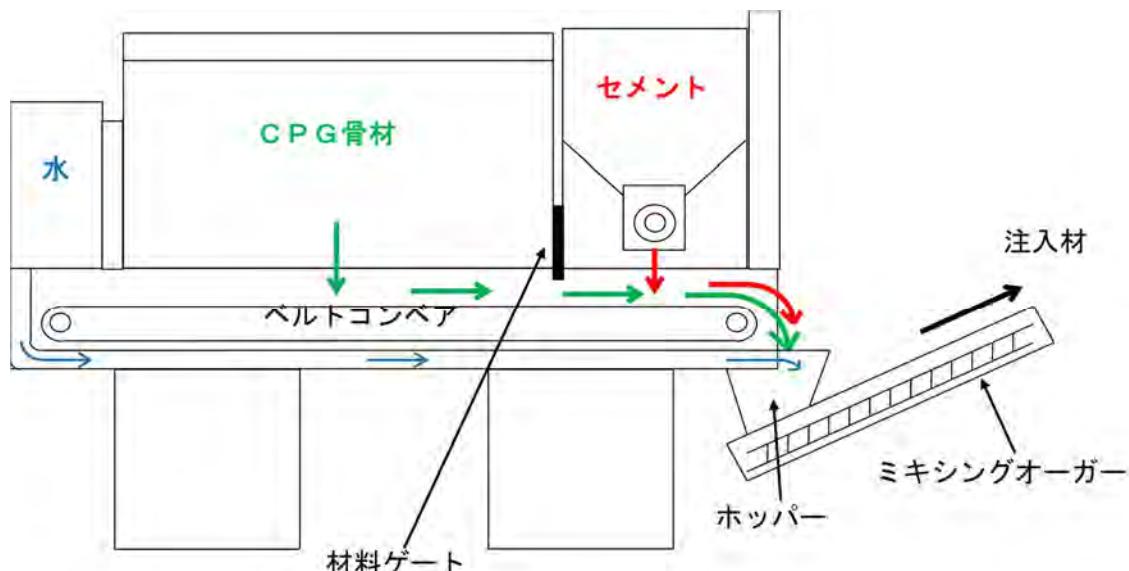


図-4.23 C P G プラント構造図

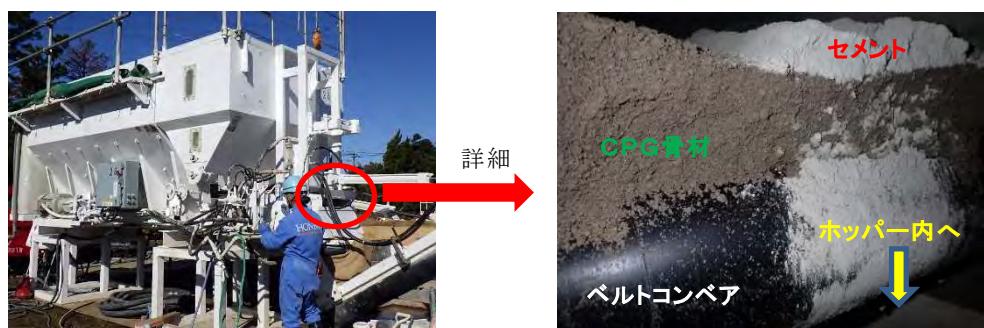


写真-4.24 ベルトコンベア上の状況写真

## (2) 流量圧力監視装置

C P G 注入工においては、静的圧入締固め工法（C P G 工法）研究会認定の流量圧力監視装置を用いる。搬入時には、製造時の図-4.24 に示す校正証明書とともに、外部機関がその品質を保証する検査成績書を確認し、施工中は、必ず現場に保管するものとする。検査頻度は 1 回／年とする。

また施工開始前には、監督員の立会による管理装置の流量キャリブレーションを実施し、計量誤差が許容値内（±2 %）であることを確認する。

<p><b>校正証明書</b> CALIBRATION CERTIFICATE</p> <p>発行日： 2015-11-02 Date 発行No.: FM152283 Issue No.</p> <p>型 名 (Model) : AXF050G-D1ZL1S-Z5-01A/L4/2 製品名稱 (Description) : 磁気流量計一体形検出器 (MAGNETIC FLOWMETER INTEGRAL TYPE) 計器番号 (Serial No.) : 35R901714 客 先 名 (Customer) : コーワ電機産業 株式会社</p> <p>横浜電機 (株) の計測機器監視システム YOKOGAWA Measuring Instruments Control System</p> <p>外部機関 Outside Agency</p> <p>計測標準管理部署 Standards Laboratory</p> <p>作業用計測器使用部署 Department using working standards</p> <p>外務機関 Official Agencies as shown below establish the relevant National Standard in Japan. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST) Japan Electric Meters Association Corporation(JEMC) Japan Society of Standardization(JSS)</p> <p>本書の内容の一部のみを無断で転載、複製することは禁ずられています。 THIS CERTIFICATE SHALL NOT BE REPRODUCED EXCEPT IN FULL, WITHOUT THE PRIOR WRITTEN APPROVAL OF YOKOGAWA ELECTRIC CORPORATION</p> <p>横河電機株式会社 Yokogawa Electric Corporation</p> <p>東京都武蔵野市中町2-9-32 〒180-8730 2-9-32 NAKACHO,MUSASHINO-SHI,TOKYO 180-8730 JAPAN</p>	<p><b>検査成績書</b></p> <p>コード電機産業株式会社 横浜市青葉区市ヶ尾町1175-44 TEL 045-871-0428 FAX 045-871-0427</p> <table border="1"> <tr> <td>装置名稱</td> <td>コンパクションガス流量監視装置</td> <td>部 式</td> <td>GP3-K100R</td> </tr> <tr> <td>製造番号</td> <td>OK17052-6R</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>納入先</td> <td>三信建工工業株式会社</td> <td>機械番号</td> <td>5-32</td> </tr> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">測定値</th> </tr> <tr> <th>記録計チャネル</th> <th>基準値(測定値)</th> <th>指示値(指示値)</th> <th>デジタル化閾値差</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">CH1 流量</td> <td>1,000(V)</td> <td>0.001/min</td> <td>1.00 0</td> </tr> <tr> <td>3,000(V)</td> <td>50.0L/min</td> <td>3.01 0.01</td> </tr> <tr> <td>5,000(V)</td> <td>100.0L/min</td> <td>5.02 0.02</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">CH2 圧力</td> <td>1,000(V)</td> <td>0.00MPa</td> <td>1.00 0</td> </tr> <tr> <td>3,000(V)</td> <td>10.0MPa</td> <td>3.00 0</td> </tr> <tr> <td>5,000(V)</td> <td>20.0MPa</td> <td>5.00 0</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="4">外観・機能検査</td> </tr> <tr> <td>絶縁抵抗</td> <td>電源端子—アース間</td> <td>良</td> <td>付属品 信号ケーブル</td> </tr> <tr> <td>外観検査</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>塗装色</td> <td colspan="3">7.5BG6/1.5</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="4">実流量測定 50L/min吐出量にて1分間計測</td> </tr> <tr> <td>測定結果</td> <td>50.2L</td> <td>誤差</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td colspan="4">加圧測定 3MPaを加圧ポンプにて加圧し計測</td> </tr> <tr> <td>測定結果</td> <td>3MPa</td> <td>誤差</td> <td>0</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>検査年月日</td> <td>2016年04月25日</td> <td>責任者</td> <td>印</td> <td>判定</td> <td>良</td> </tr> </table>	装置名稱	コンパクションガス流量監視装置	部 式	GP3-K100R	製造番号	OK17052-6R			納入先	三信建工工業株式会社	機械番号	5-32	測定値				記録計チャネル	基準値(測定値)	指示値(指示値)	デジタル化閾値差	CH1 流量	1,000(V)	0.001/min	1.00 0	3,000(V)	50.0L/min	3.01 0.01	5,000(V)	100.0L/min	5.02 0.02	CH2 圧力	1,000(V)	0.00MPa	1.00 0	3,000(V)	10.0MPa	3.00 0	5,000(V)	20.0MPa	5.00 0	外観・機能検査				絶縁抵抗	電源端子—アース間	良	付属品 信号ケーブル	外観検査				塗装色	7.5BG6/1.5			実流量測定 50L/min吐出量にて1分間計測				測定結果	50.2L	誤差	0.2	加圧測定 3MPaを加圧ポンプにて加圧し計測				測定結果	3MPa	誤差	0	検査年月日	2016年04月25日	責任者	印	判定	良
装置名稱	コンパクションガス流量監視装置	部 式	GP3-K100R																																																																												
製造番号	OK17052-6R																																																																														
納入先	三信建工工業株式会社	機械番号	5-32																																																																												
測定値																																																																															
記録計チャネル	基準値(測定値)	指示値(指示値)	デジタル化閾値差																																																																												
CH1 流量	1,000(V)	0.001/min	1.00 0																																																																												
	3,000(V)	50.0L/min	3.01 0.01																																																																												
	5,000(V)	100.0L/min	5.02 0.02																																																																												
CH2 圧力	1,000(V)	0.00MPa	1.00 0																																																																												
	3,000(V)	10.0MPa	3.00 0																																																																												
	5,000(V)	20.0MPa	5.00 0																																																																												
外観・機能検査																																																																															
絶縁抵抗	電源端子—アース間	良	付属品 信号ケーブル																																																																												
外観検査																																																																															
塗装色	7.5BG6/1.5																																																																														
実流量測定 50L/min吐出量にて1分間計測																																																																															
測定結果	50.2L	誤差	0.2																																																																												
加圧測定 3MPaを加圧ポンプにて加圧し計測																																																																															
測定結果	3MPa	誤差	0																																																																												
検査年月日	2016年04月25日	責任者	印	判定	良																																																																										

製造時の校正証明書  
外部機関による検査成績表  
(1回／年以上) 現場保管



図-4.24 納入時に流量圧力監視装置に添付される校正証明書・検査成績表

#### 4.5.6 注入諸元の設定

##### (1) 打設・注入方法

C P G 工法の打設方法は、ボトムアップ方式を標準とする。注入方式は、通常圧入と繰返し圧入（リバース方式）がある。通常圧入は、C P G ポンプが正転を繰返しながら圧入するのに対して、繰返し圧入（リバース方式）は、C P G ポンプの正転運転中に逆転運動（リバース運動）を行うことにより、強制的に圧入圧力を除荷しながら圧入する方式である。隆起抑制が必要な場合は、繰返し圧入（リバース方式）を行う。

図-4.25 に通常圧入と繰返し圧入（リバース方式）の圧入方法のイメージ図を示す。このリバース方式は、隆起抑制効果が大きいことが確認されている。

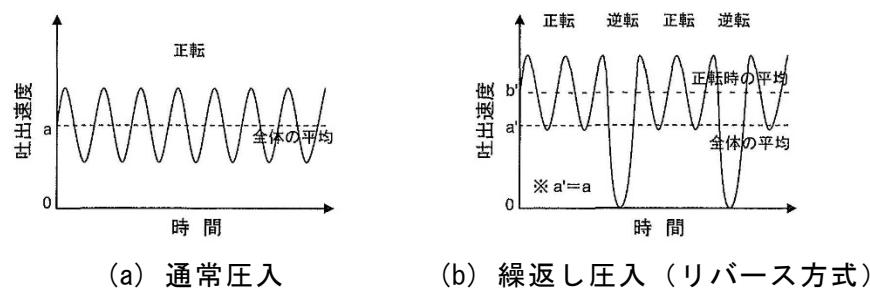


図-4.25 注入方式のイメージ図

##### (2) 吐出（打設）平均速度

吐出（打設）平均速度は、 $30\sim50 \text{ l}/\text{min}$  とする。一般に、隆起抑制が行われない場合は  $50 \text{ l}/\text{min}$  を超える吐出速度で施工される。ただし、試験施工などで適切な吐出速度を確認することが望ましい。

### (3) 注入圧力

注入圧力は、図-4.26 に示すとおり地盤の N 値が 10~15 で上昇する傾向にある。液状化対策が必要な N 値 10 程度以下の地盤では通常 0.5~3.0 MPa であり、N 値が 15 を超えると 6.5 MPa 以上の注入圧力を示す。CPG ポンプの最大圧力が 8 MPa であることを考慮し、注入圧力の上限を 6 MPa 程度に設定し管理する。注入圧力は地盤条件によっては、瞬間に 6 MPa 以上を示す場合がある。その圧力は常時圧力でないため「図-4.32 隆起管理、ロッド食い締めに対する注入工フロー」を参照し、施工するものとする。

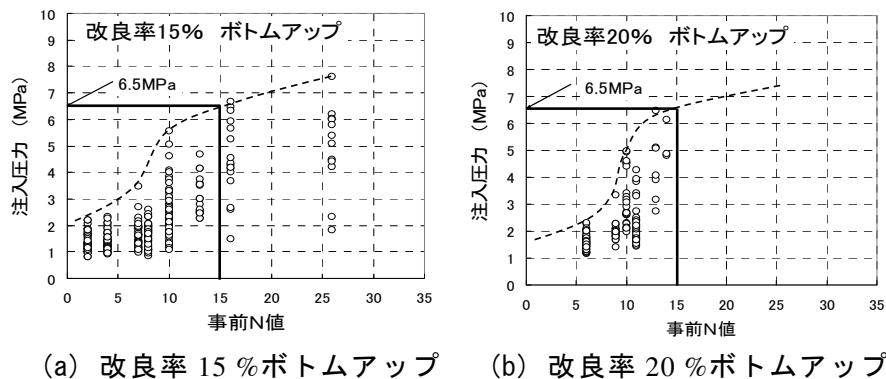


図-4.26 地盤の N 値と注入圧力の関係

注入圧力が常時上限 6 MPa に達するような場合は、注入管先端の閉塞が生じているか、すでに地盤が十分に締め固まっている可能性がある。また地盤条件によっては注入圧力が 6 MPa に達していない場合でも、以下のような現象が起こる可能性があるので十分注意して施工することが必要となる。

- ・注入材のリーク
- ・注入ロッドの食い締め
- ・マシンの浮き上がり
- ・地盤の隆起（隆起量の管理値に達した場合）

一方、注入時に極端な注入圧力の低下が確認される場合がある。これは図-4.27に示すように地盤圧縮の『比例限界点』や『圧縮限界点』を超えた現象と判断でき、急激な地盤隆起が発生する可能性がある。よって注入圧力の急激な変動は十分に注意する必要がある。

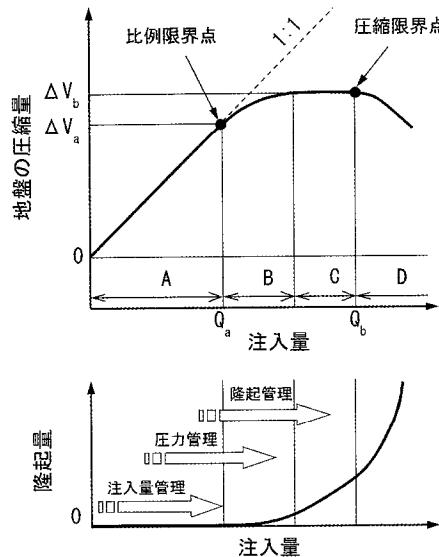


図-4.27 注入量と地盤圧縮量の関係モデル（イメージ）

#### (4) プラント設備からの圧送距離

図-4.28に、機械配置と圧送距離の関係（例）を示す。CPG工法は通常プラントから半径40m程度の範囲内で施工を行う。ただし、現場状況等によりプラント設備の位置が制約され、圧送距離が40mを超える場合は、通常の注入ホースを管内抵抗の小さい鉄製配管に交換したり、中継として途中にCPGポンプを追加するなどして、100m程度まで施工が可能である。

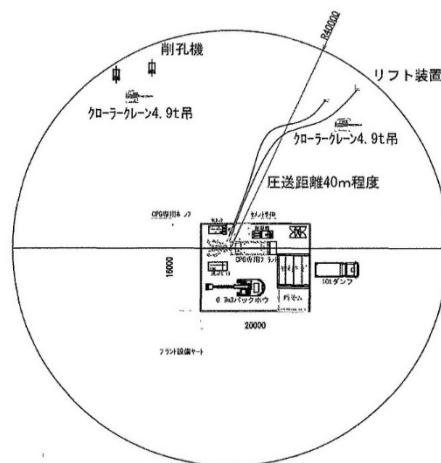


図-4.28 機械配置と圧送距離の関係（例）

#### 4.5.7 注入量

##### (1) 1本当りの設計注入量算出

注入量は、換算改良径や改良率等により、下記の数式より求める。

$$(正三角形配置) D = \sqrt{\frac{2\sqrt{3}a_s}{\pi}} x$$

$$(正方形配置) D = \sqrt{\frac{4a_s}{\pi}} x$$

$$1\text{ 本当り設計注入量 (m}^3\text{)} = (\frac{D^2\pi}{4}) / \lambda_t \times L_t$$

ここに、 $D$ ：換算改良径 (m)、 $a_s$ ：改良率、 $x$ ：固結体の配置間隔 (m)、 $\lambda_t$ ：0.9 (脱水圧縮係数) 、 $L_t$ ：1本当り改良長である。

##### (2) 計画注入量算出 (ステップ当たり注入量)

計画注入量は、設計注入量に対して注入量管理に必要な1ステップ当たり注入量を求め、1本当りの注入量を算出したものである。

#### 4.5.8 注入管理

適切な改良率、注入長、ステップ長（1 mにつき3ステップ以上）、注入量が計画されているか確認する。また、未改良部については、適切な充填量、充填長、充填方法が計画されているか確認する。

注入工では、すべての孔において下記項目を記載した表-4.8に示すような注入施工指示書を作成する。施工中においても、施工指示書に基づいた確認施工を行い、施工記録を記載、保存するものとし、監督員立会い時の確認資料とする。

- ・施工位置（孔番）
- ・施工基面（標高）
- ・ロッド全長、本数
- ・注入長、充填長
- ・注入開始・完了残尺
- ・ステップ長、ステップ当たり注入量
- ・注入方式
- ・注入量、充填量
- ・注入圧力管理値
- ・隆起量管理値

表-4.8 注入施工指示書例

ST	F'ロック		3-2機		孔番		F-01		打設順	月 日	備考
	標高 AP	開始深度 (m)	ロッド長 (m)	切断 ロッド 寸法 (m)	開始残尺 (m)	ステップ厚 (m)	ステップ当 り注入量 (L)	累計 注入量 (L)			
1	-9.10	17.88	19.20	0	1.32	0.33	65	65			
2	-8.77	17.55	19.20		1.65	0.33	65	130			
3	-8.44	17.22	18.20	1	0.98	0.34	65	195			
4	-8.10	16.88	18.20		1.32	0.33	65	260			
5	-7.77	16.55	18.20		1.65	0.33	65	325			
6	-7.44	16.22	17.20	2	0.98	0.34	65	390			
7	-7.10	15.88	17.20		1.32	0.33	65	455			
8	-6.77	15.55	17.20		1.65	0.33	65	520			
9	-6.44	15.22	16.20	3	0.98	0.34	65	585			
10	-6.10	14.88	16.20		1.32	0.33	65	650			
11	-5.77	14.55	16.20		1.65	0.33	65	715			
12	-5.44	14.22	15.20	4	0.98	0.34	65	780			
13	-5.10	13.88	15.20		1.32	0.33	65	845			
14	-4.77	13.55	15.20		1.65	0.33	65	910			
15	-4.44	13.22	14.20	5	0.98	0.34	65	975			
16	-4.10	12.88	14.20		1.32	0.33	65	1,040			
17	-3.77	12.55	14.20		1.65	0.33	65	1,105			
18	-3.44	12.22	13.20	6	0.98	0.34	65	1,170			
19	-3.10	11.88	13.20		1.32	0.33	65	1,235			
20	-2.77	11.55	13.20		1.65	0.33	65	1,300			
21	-2.44	11.22	12.20	7	0.98	0.34	65	1,365			
22	-2.10	10.88	12.20		1.32	0.20	39	1,404			
	-1.90	10.68			充填量	10.52	53	1,457			
					合計	0.16		1,457			

注入開始前は、施工指示書に基づき目盛付きコア棒により先端部につまりがないことを確認するとともに、ロッド全長を再確認する。注入開始深度は、注入ロッド全長および開始残尺により確認する。

(参考)コア棒によるロッド全長確認例(図-4.29)

- ・先端つまりを確認するコア棒のロープに、あらかじめロッド全長に当たる位置を測定し、目盛をつけておく。
- ・削孔完了後、注入開始前にコア棒をロッド内に挿入し、先端部のつまりを確認する。
- ・先端部のつまりがないことが確認できた深度と目盛の位置が一致することを確認し、地盤中に建て込まれたロッド全長を確認する。

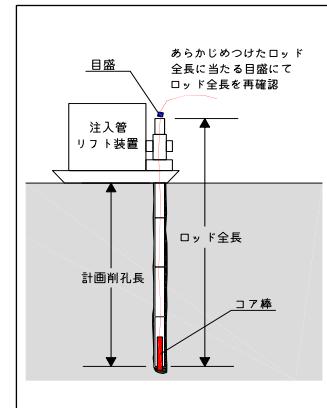


図-4.29 ロッド全長確認

### <流量圧力監視装置>

図-4.30 に示す監視装置には、事前にインプットした注入タイプが表示され、現場ではその表示に従い注入管理を行うことができる。注入途中でも注入完了深度の実績がその場で確認でき、リアルタイムで注入の傾向が把握できる。

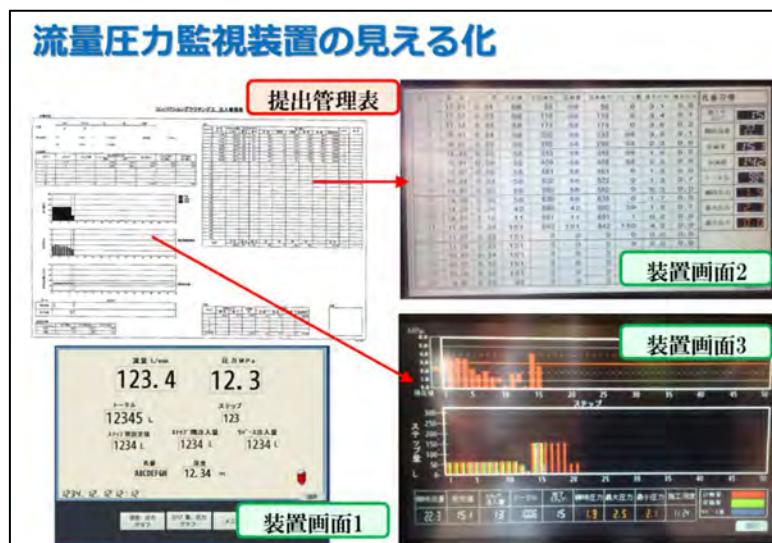
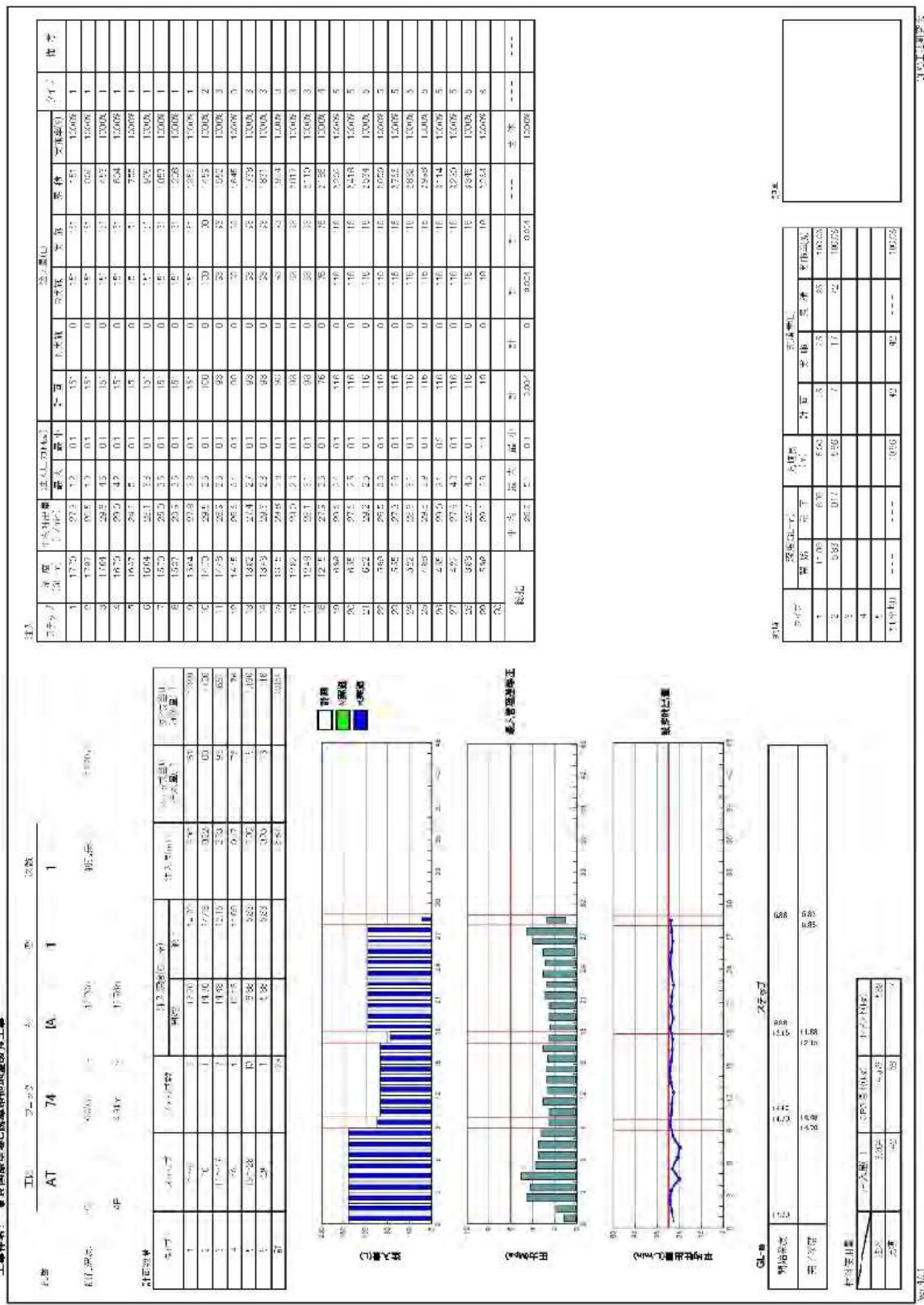


図-4.30 流量圧力監視装置

### <注入管理表>

注入中の主な管理項目は、注入量、注入速度、注入圧力であり、流量圧力監視装置内で計測記録される。記録されたデータは、研究会認定のプログラムにて処理して図-4.31 に示すように、1 本ごとの注入管理表を作成し、監督員に提出する。

図-4.31 注入管理表（例）



#### 4.5.9 隆起対策

C P G 工法を浅層部分に適用する場合、土被り部の重量や土のせん断抵抗が深層部より小さくなるため、地盤隆起が生じやすくなる。また、地中水平変位や地表における水平変位の測定結果によると、改良域に近くなるほど変位量は大きくなっている。しかしながら、無対策ではこのような地盤隆起や地中変位は許容値を超過してしまうが、適切な対策や対応を行うことによって許容値を満足することができる。

このように地盤の変位や近接する構造物に対する影響を抑制するため、施工時に発生する変位に対して適切な施工管理を行うことは非常に重要である。

##### (1) 施工中の隆起抑制対策

C P G 工法の施工中における地盤隆起量が管理値を超過しないように、隆起抑制対策を併用した施工を行う必要がある。一般に次のような条件である場合に、隆起抑制対策を併用が必要となる。

- ・改良部天端の土被り深さが 5 m 以下である場合
- ・改良部天端の土被り深さが 5 m を超えていても、特別に小さい許容隆起量が設定される場合
- ・改良域から 5 m 以内に特別に小さい許容隆起量が設定されている構造物がある場合

地盤隆起抑制対策として、「技術マニュアル」の pp.47~50 に示されているように、次のような方策が行われている。いずれの方法も隆起抑制に有効であるが、要求されている許容隆起量や工事規模及び現場の立地条件その他の条件に鑑みて、最も適切な方策を検討するべきである。また、単一の対策に限ることなく、二つ以上の対策の併用や、吐出流量や注入圧力、ステップ間隔などを適宜見直しながら対応することが望ましい。

- 1) トップダウン・ボトムアップ併用施工
- 2) 低吐出施工
- 3) 分散施工
- 4) ローテーション施工
- 5) リバース施工

## (2) 隆起監視と対応

圧入中の地盤隆起は施工の進捗に伴い徐々に増大してゆくが、地盤の圧縮状態によっては比較的急激に増大することがある。また、特異な作業手順が必要となった場合や、トラブルに遭遇した場合など、比較的突発的に隆起量が増大する恐れがあることに留意する。

圧入作業中は常に隆起監視を行い、隆起量の警戒値に近づいた場合に、すぐに圧入を中止できるような体制を確保することが必要である。低流動性の注入材であるため、圧入が中断されると同時にそれ以降の隆起が生じないので、異常時の注入停止操作は非常に重要である。

図-4.32 に、隆起管理が必要な場合の施工管理フローの一例を示す。隆起管理が必要な場合や土質条件によってロッド食い締めによるロッド引抜き不能になる場合、注入圧力が管理値を満足しているかどうかの判断が必要となる。

各ステップにおいてそれぞれの管理値（圧力、隆起量）を超えない、ロッド引抜き不能にならない場合は、次ステップの注入を行う。各管理値に達した場合は、そのステップの注入を中断し、次のステップに移る。ロッド引抜きが可能かの確認として、適時 5~10 cm の引抜き確認を行うものとする。この引抜き確認は 1 ステップ (0.33 m) 内で行い、1 ステップ注入量が途中でも 1 ステップ長 0.33 m に達した場合はそのステップの注入を中断し、次のステップに移る。

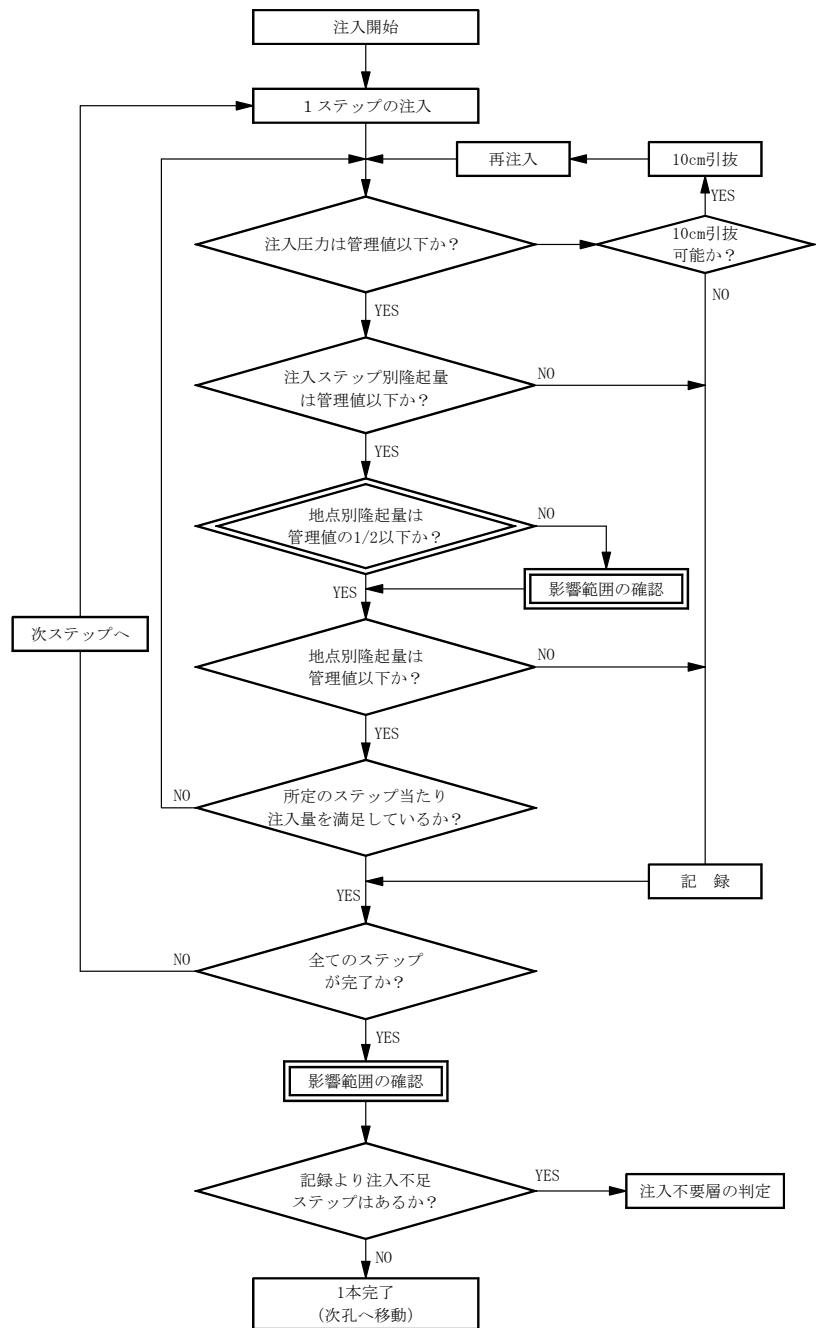


図-4.32 隆起管理が必要な場合の施工管理フローの一例

## 4.6 施工管理

### 4.6.1 施工組織の遂行能力の確認

C P G 工法の施工は、施工ヤードの制限や夜間施工などの制約条件下で施工となる場合が多く、このような条件下の施工で品質を確保し、工事工程を厳守するためには、専門的な知識と十分な施工経験が必要である。特に隆起監視を必要とする場合、確実な遂行能力のある技術員や作業員を配置することが不可欠である。

よって、C P G 工法の施工を実施するにあたっては、静的圧入締固め工法（C P G 工法）研究会が開催する「C P G 工施工技術講習会受講修了者」を配置し、施工組織の遂行能力の向上を図る。

施工体制の編成に際しては、地盤条件、施工条件を考慮し、削孔機械の選定・プラント設備の選定、機械台数・プラント数、仮設ヤード、施工ヤードの大きさ、地盤隆起監視等の必要性を十分検討し、工事の遂行が可能な施工体制であるかどうかを確認しなければならない。

### 4.6.2 全工事関係者に対する施工周知会の開催

工事の重要性や施工管理の重要性を工事関係者全員に理解させ、工事関係者全員が「不正を行わない」という最低限の倫理観を持ち、法令遵守の精神で工事に取り組むことを周知徹底する。

また、施工周知会では、工事関係者に対して施工計画の内容および施工上の留意点等の確認を行う。工事に求められる品質や工程を確保するためには、計画と留意すべき項目を事前に理解することが重要であり、工事関係者全員で確認することにより、疑問点や内容の不備を払拭した施工計画とする。

#### 4.7 効果確認

図-4.33 に効果確認の位置を示す。CPG工法の効果確認は、改良した地盤が液状化しないことを確認するものである。したがって、固結体間の地盤のN値が目標N値に達していること、または、改良後に再度、液状化の予測・判定を行い、液状化しないことを確認する。このため、効果確認のための事後調査では、標準貫入試験（N値）および液状化判定に必要な土質試験（物理試験）を実施することを基本とする。

またCPG工法では、改良の効果として土圧係数（K値）が増加するため、孔内載荷試験により改良後のK値を計測して、改良効果を評価することもある。その事例については、「技術マニュアル」のp.19 や「付属資料－13 改良効果の評価例」を参考にされたい。

事後調査は、過剰間隙水圧の消散を待って実施することが望ましく、通常は施工後1～3週間程度経過してから実施する。透水性のよい地盤では施工完了後数時間で過剰間隙水圧が消散する場合もあるが、このときでも、事後調査は施工後最低3日間経過してから行う。

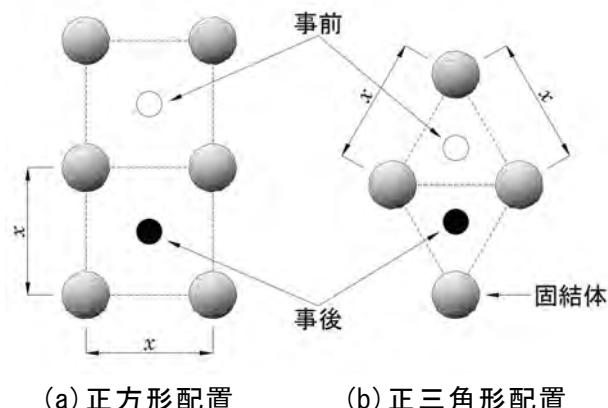


図-4.33 効果確認の位置

事後調査（効果確認）において目標 N 値に達していない場合や、事後の液状化判定結果から「地盤全体として液状化する」と判定された場合は、追加改良の要否を検討する。

C P G 工法では増し杭を施工することにより、追加改良が実施される。図-4.34 に正方形配置の場合の例を、図-4.35 に正三角形配置の場合の例をそれぞれ示す。各図の(a)は、計画時の杭配置である。この配置で追加改良が必要となった場合は、各図の(b)に示すように杭間位置に増杭を行う。増杭の注入量（換算改良径）については、事後調査の結果より設定する。

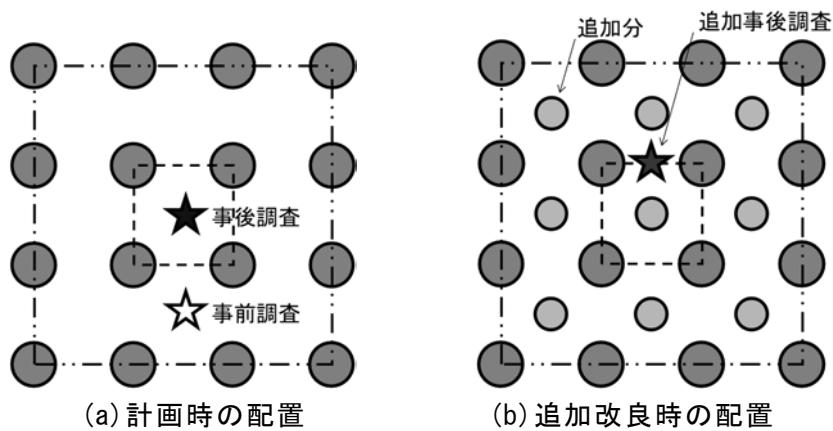


図-4.34 正方形配置での追加改良（増杭）の配置例

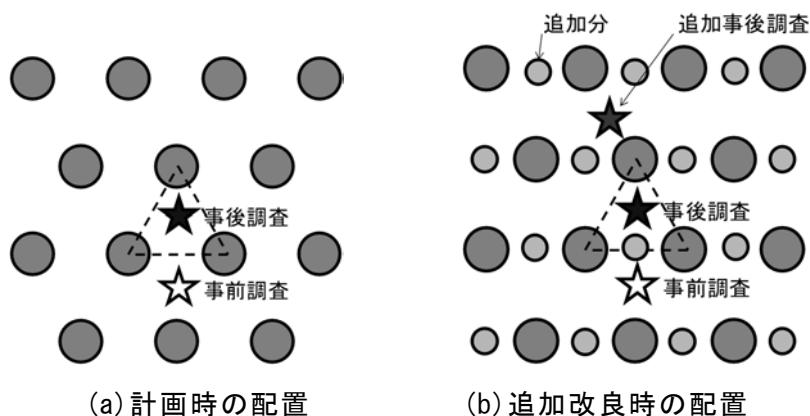


図-4.35 正三角形配置での追加改良（増杭）の配置例