

軟弱地盤改良技術に関する共同研究報告書
－低改良率セメントコラム工法マニュアル（案）－

平成 17 年 10 月

独立行政法人 土木研究所
基礎地盤コンサルタンツ(株)
(株) キ タ ツ ク
不 動 建 設 (株)

Copyright© (2005) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

軟弱地盤改良技術に関する共同研究報告書 —低改良率セメントコラム工法マニュアル（案）—

独立行政法人土木研究所 技術推進本部	三木 博史
材料地盤研究グループ（土質）	小橋 秀俊
	古本 一司
基礎地盤コンサルタンツ（株）	阪上 最一
（株）キタック	大谷 政敬
不動産建設（株）	野津 光夫

要 旨

低改良率セメントコラム工法は、軟弱地盤対策として開発されたものであり、深層混合処理工法と同様に、杭状のセメント系改良体を地盤内に作製する工法であるが、盛土材のアーチ効果を考慮することにより、従来の深層混合処理工法に比べ改良率が小さいことを特徴とするものである。本マニュアルは、この低改良率セメントコラム工法の調査・設計・施工に関する技術的事項を示すものである。

キーワード：軟弱地盤対策、低改良率、深層混合処理、アーチ効果

まえがき

昨今のわが国の道路は、今まで未利用であった湿地帯部での高盛土や、都市沿岸部での大規模な掘割道路など、非常に軟弱な地盤上に計画されることが増えており、それに伴い、より高度でかつ経済性を併せ持った新しい軟弱地盤対策技術が求められています。一方、世界各国には、河川デルタ地帯を中心に広大な軟弱地盤地帯が散在しており、社会経済活動の進展とともに、軟弱地盤地帯に道路等の社会基盤施設を建設するケースが増えています。

こうしたことから、平成 10 年度より 14 年度までの 5 年間、タイ（運輸通信省道路局道路研究開発部）、インドネシア（公共事業省研究開発庁道路研究所）、フランス（中央土木研究所）、スウェーデン（平成 11 年より。地盤工学研究所）ならびに基礎地盤コンサルタンツ㈱、㈱キタック、不動建設㈱との間で「軟弱地盤改良技術に関する国際共同研究」を実施しました。「低改良率セメントコラム工法」は、同共同研究の一環として、上記の目的を念頭に研究が進められてきたものです。

低改良率セメントコラム工法は、盛土直下全面にセメント系改良体を配置することによって、盛土中央部直下の圧密沈下量を軽減する工法です。この際、盛土材のアーチ効果による盛土荷重分散を考慮した設計を行うことより、従来よりも小さい改良率（改良する面積率。10%～30%程度）とすることが可能であり、コスト縮減を図ることができます。

本マニュアルでは、この低改良率セメントコラム工法の実施にあたって必要な調査、設計、施工に関する技術的事項をとりまとめています。また、合わせて適用事例を掲載しています。

最後に、上記研究の実施にあたり、多大なる御支援、御協力を頂いた土木研究所交流研究員 井生 智明氏、井戸 俊氏、藤村 立行氏、宮野 一賢氏他、数多くの関係者の皆様に深く感謝するとともに、今後とも本分野の研究がますます進展することを期待します。

低改良率セメントコラム工法マニュアル(案) 目次

1. 総説.....	1
1.1 適用	1
1.2 用語・記号の定義.....	3
1.3 低改良率セメントコラム工法の特徴	5
2. 調査.....	8
2.1 地盤調査.....	8
2.2 室内配合試験.....	8
3. 設計.....	9
3.1 設計の概要	9
3.2 沈下量と改良体強度の検討	12
3.3 ジオテキスタイル工法を併用する場合の設計.....	19
3.4 浅層改良工法を併用する場合の設計	20
3.5 基本的な仕様.....	26
4. 施工.....	27
4.1 改良的な軸間距離.....	27
4.2 施工方法	27
4.3 施工・品質管理	30
4.4 動態観測	31
5. 施工事例	38
5.1 事例A.....	39
5.2 事例B.....	40
5.3 事例C	42
5.4 事例D	44
5.5 事例E.....	45
5.6 事例F	47
5.7 事例G	49
5.8 事例H.....	51
5.9 事例I	53

1. 総説

1.1 適用

本マニュアルは、低改良率セメントコラム工法の調査、設計、施工に適用する。

近年、わが国の道路建設においては、都市沿岸部などで、今まで未利用であった湿地帯等、非常に軟弱な地盤上に、盛土等の計画が増えており、信頼性が高くかつ経済的な新しい軟弱地盤対策技術が求められてきている。一方、世界各国には河川デルタ地帯を中心に広大な軟弱地盤地帯が散在しており、社会経済活動の進展とともに、こうした軟弱地盤地帯に道路等の社会基盤施設を建設するケースが増えている。

低改良率セメントコラム工法は、上記の目的を念頭に、日本・タイ・インドネシア・フランスの間で実施された国際共同研究「軟弱地盤改良技術に関する共同研究」の一環として開発が進められてきたもので、深層混合処理等によるセメント系改良体を、盛土材のアーチ効果（図 1.1.1）を考慮することによって、従来よりも低い改良率（改良する表面積の割合、10%～30%）で盛土下に全面的に配置する、軟弱地盤の圧密沈下軽減工法である。

低改良率セメントコラム工法は、上記のように従来の深層混合処理工法に比べ改良率が小さく、低コスト化を図ることができる。さらには、ドレーン工法のような圧密放置期間が不要なため工期短縮が可能で、また沈下量を抑えることにより、盛土材料も節約できるという利点を有している。

盛土の支持方式には、改良体を支持基盤へ着底する着底型と、着底しない浮き型の 2 つのタイプがある。図 1.1.2)。改良体間の不同沈下が大きいと予想される場合は、浅層改良工法やジオテキスタイル工法と組み合わせることにより、不同沈下を抑制することも可能である。

本マニュアルでは、これまでに室内実験^{1),2)}や国内の現場や海外（タイ国）での適用の結果³⁾等を踏まえ、調査、設計、施工における考え方をとりまとめている。

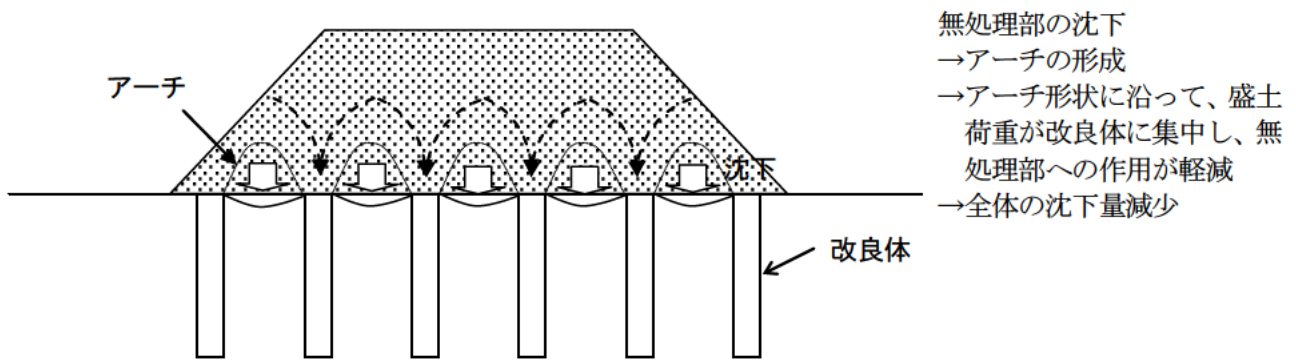


図 1.1.1 盛土材のアーチ効果

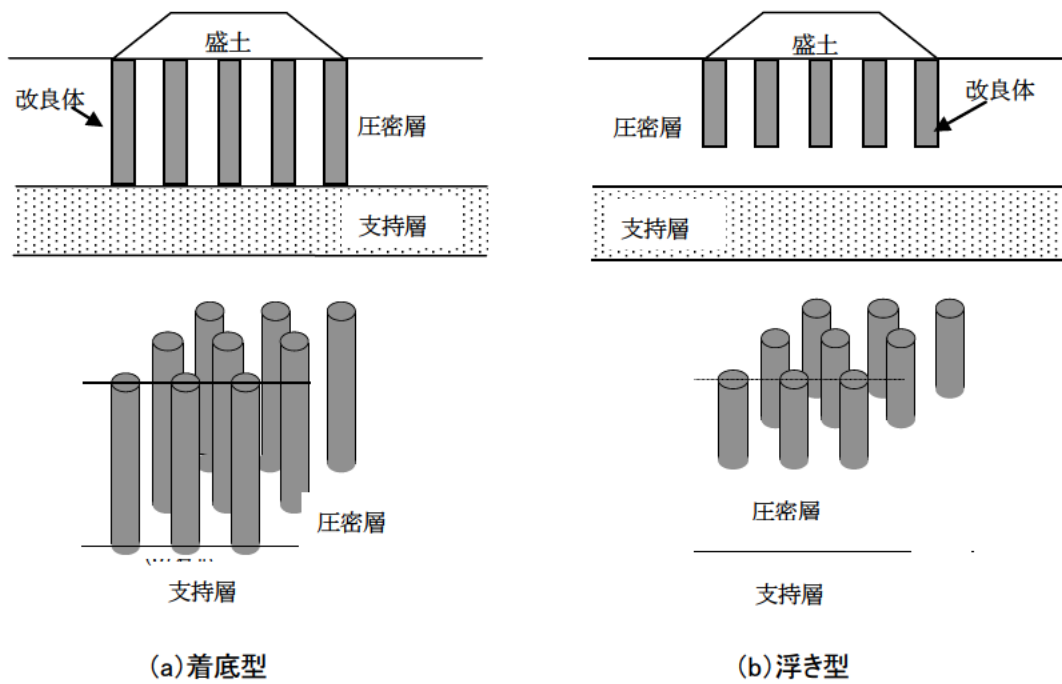


図1.1.2 低改良率セメントコラム工法における2つの盛土支持形式

1. 2 用語・記号の定義

本マニュアルで使用する主な用語・記号の定義は以下の通りである。

表1.2.1. 用語の定義

用語	定義
浮き型	改良体を支持層に着底させない支持形式。
応力分担比	改良体に作用する応力と改良体間の無処理部分に作用する応力の比。
改良率	単位面積当りの改良体の面積の割合
深層混合処理工法	機械攪拌翼により土と改良材を強制混合して、改良材の水和、固化作用により杭状の改良体（改良柱体）を造成する工法である。改良材の供給方式により、粉体方式（DJM 工法）とスラリー式（CDM 工法等）がある。
浅層改良工法	バックホウバケットないし機械攪拌翼により表土と改良材を強制混合して、改良材の水和、固化作用により地表面から 0.5～3m 程度の深さまで、層状の改良体（浅層改良体）を造成する工法である。攪拌方式により、バックホウ、トレンチャー、垂直方式等があり、改良材はスラリー、粉体が用いられる。
塑性角	改良柱体の間の無改良部分が沈下する際、直上の盛土がその沈下に追随して沈下しようとするが、改良体の直上の盛土は殆ど沈下しない。そこで、低改良率セメントコラム工法では、無処理部分直上の盛土の大きさを仮定し（図 3.2.1 参照）この部分が無処理部分に、他の部分が改良体に作用するとして設計を行う。この盛土体のり面と地表面のなす角を指す。
着底型	改良体を支持層に着底させる支持形式。

表1.2.2 記号の定義

記号	単位	定義
a_p	%	改良率
d	m	改良体直径
λ	m	改良体間隔（改良体中心間の距離）
ϕ	度	盛土材の内部摩擦角
θ_e	度	塑性角
V_{col}	m ³	改良体に作用する盛土の体積
V_{soil}	m ³	改良体間の無処理部分に作用する盛土の体積
n	—	応力分担比 $n = P_{col}/P_{soil}$
q_u	kN/m ²	一軸圧縮強さ
q_a	kN/m ²	地盤の許容応力度
q_{uckc}	kN/m ²	改良体の設計基準強度
q_{uckse}	kN/m ²	浅層改良体の設計基準強度
C_{col}	kN/m ²	改良体の粘着力
C_{soil}	kN/m ²	改良前の無処理地盤の粘着力
σ_{bse}	kN/m ²	浅層改良体の曲げ応力度
τ_{ase}	kN/m ²	浅層改良体のせん断強度
E_{soil}	kN/m ²	地盤の変形係数
E_{col}	kN/m ²	改良体の変形係数
E_{eq}	kN/m ²	複合地盤の変形係数
E_{se}	kN/m ²	浅層改良体の変形係数
S_0	cm	改良前の無処理の場合における沈下量
S	cm	改良後の領域全体の沈下量
S_{col}	cm	改良体の沈下量
S_{soil}	cm	改良体間の無処理部分の沈下量
S_{se}	cm	浅層改良体の沈下量
δ_s	cm	改良体と無処理部分との不同沈下量（ $\delta_s = S_{soil} - S_{col} $ ）
P	kN/m ²	盛土荷重度
P_{col}	kN/m ²	改良体に作用する鉛直応力度
P_{soil}	kN/m ²	改良体間の無処理部分に作用する鉛直応力度
q	kN/m ²	交通荷重
H_{se}	m	浅層改良体の厚さ
L	m	改良体長
H	m	軟弱地盤の層厚
$H1$	m	浮き型の場合における、改良する領域の層厚
$H2$	m	浮き型の場合における、改良する領域の下部の無処理部分の層厚
γ	kN/m ³	盛土材の単位体積重量

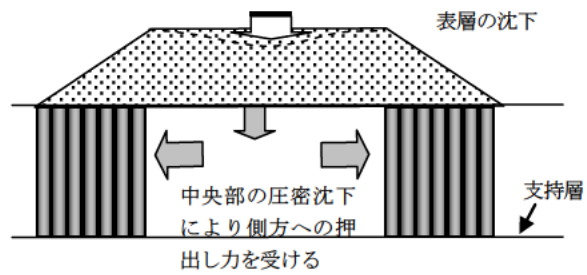
1.3 低改良率セメントコラム工法の特徴

従来から用いられている深層混合処理工法による軟弱地盤対策は、図1.3.1(a)のように、盛土の両サイドの、のり面下を集中的に改良する形式が主体であった。これは、「安定にもっとも効果的なのは、のり面下の改良である」という円弧すべり安定計算からの結果に基づくものであった。一方で、盛土周辺への側方変形の抑制という観点からも、長い間この改良形式による対策が主流となっていた。しかしながら、従来の改良形式では、盛土荷重に伴って、改良の行われていない盛土下中央で大きな圧密沈下が生じる。これにより、のり面下の改良体は外側に押され、盛土周辺部には側方変形が起きるものもあった。また、改良部分と無処理部分との不同沈下によって段差が発生し、盛土内の亀裂発生なども無視できない場合があった。

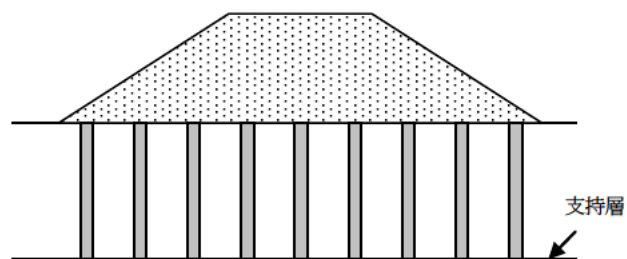
これに対して、低改良率セメントコラム工法では、図1.3.1(b)のように、盛土下を全面的に改良することによって、従来工法において問題となっていた盛土下中央の圧密沈下が抑制できる。これにより、側方への押し出しもなくなり、結果として周辺への側方変形も抑制されることとなる。これが従来の改良形式とは異なる低改良率セメントコラム工法の基本的な変形抑制メカニズムである。また、低改良率セメントコラム工法では、盛土荷重を均等に改良体で分担するので、図1.3.1(c)のように、浮き型の場合でも、下部の無処理部分は圧密沈下を起こすものの、盛土の全体的な安定は保たれる。

低改良率セメントコラム工法の特長をまとめると以下のようなになる。

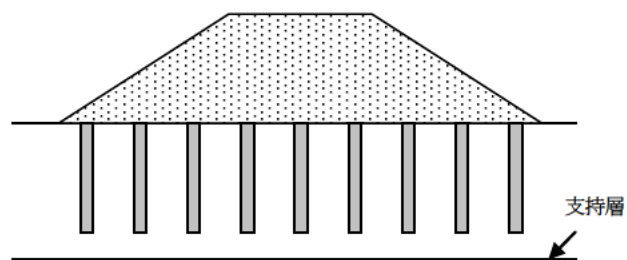
- 1) 盛土放置期間が不要。
- 2) 改良率が小さくなり、工費が低減できる。
- 3) 沈下量抑制により盛土材が節約でき、材料運搬時の周辺影響低減なども図ることができる。



(a) 従来の改良形式



(b) 低改良率セメントコラム工法(着底型)



(c) 低改良率セメントコラム工法(浮き型)

図1.3.1 低改良率セメントコラム工法と従来工法の比較

表 1.3.1 従来工法と低改良率セメントコラム工法の比較

	従来工法の例	低改良率セメントコラム工法
対 策 内 容	・ 深層混合処理工法によるすべり防止（盛土のり面部） ・ 深層混合改良率 50%、設計基準強度 400kN/m^2 ・ サンドドレーンによる圧密沈下促進（盛土中央部）	盛土全幅を低改良率セメントコラム工法で改良し、沈下量を低減 深層混合改良率 15% 設計基準強度 $700\sim 1,500\text{kN/m}^2$
概 要		
工期	プレロードによる圧密期間が必要	プレロード期間がない
留意点	同一断面で地盤改良工法が異なるため、沈下の程度が異なり、上部盛土内にクラック等が発生するおそれがある。また、サンドドレーンからの排水用サンドマットが不同沈下により分断され、圧密促進阻害を起こすおそれがある。	のり面部が低改良率のため、安定および側方変形に留意する必要がある。

2. 調査

- (1) 低改良率セメントコラム工法の適用にあたっては、適切な地盤調査を行い、原地盤の地盤構造を把握し、設計に必要な物性を求める。
- (2) 使用する改良材を選定し、配合量を決定するため、現場添加量を室内配合試験で決定する。

2. 1 地盤調査

低改良率セメントコラム工法を実施する場合には、原地盤の強度、圧密特性、層厚、層構成等設計に必要なパラメータを把握する必要がある。

調査の詳細については、「道路土工―軟弱地盤対策工指針」((社) 日本道路協会) や「陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル」((財) 土木研究センター) 等を参考にするとよい。

2. 2 室内配合試験

低改良率セメントコラム工法を実施するにあたり、改良体の強度を決定するため、セメント等改良材の選定、配合量を決定する必要がある。現場でサンプリングした材料を元に配合試験を行う必要がある。また、低改良率セメントコラム工法の場合、従来の深層混合処理工法に比べ、改良体に作用する応力が大きい傾向があるので、強度の設定に留意する。

室内配合試験の詳細については、「陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル」((財) 土木研究センター) 等を参考にするとよい。

3. 設計

盛土荷重に対する安定、沈下並びに改良体の応力照査を行う。ジオテキスタイル工法や浅層改良工法を併用する場合は、それらの効果を適切に評価し、設計を行う。

3.1 設計の手順

低改良率セメントコラム工法の設計の手順は以下の通りである。(図3.1.1)

(1) 安定の検討

円弧すべり法による検討を行い、所要の安全率を確保するよう改良率、改良強度、改良体長さを設定する。その際、改良する領域は、改良体と無処理部分との複合地盤（平均強度）として検討する。詳細は、「陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル」（（財）土木研究センター）等を参考にする。

(2) 沈下・改良体強度の検討（→3.2、図3.1.2参照）

①全沈下量

着底型の場合、複合地盤として全沈下量の検討を行い、許容沈下量以下となるよう改良率、改良強度、改良体長さを設定する。浮き型の場合は、改良する領域の沈下量は複合地盤として、下部の無処理部分の沈下量は盛土荷重を改良体下方に分散させて計算する。

②改良体と無処理部分との不同沈下量

三木らの実験結果¹⁾によると、改良体と無処理部分にかかる鉛直応力分担比 n ($=P_{col}/P_{soil}$) は、通常の深層混合処理工法の設計で用いられている値 ($n=10\sim20$) に比べ実際はかなり大きい ($n=30\sim70$)¹⁴⁾。そこで、この応力分散の考え方に基づいて不同沈下量を計算する。

盛土高さが小さい、あるいは改良体間隔が非常に大きい等、盛土高さが相対的に低くなる場合は、図3.1.3のような盛土材の押し抜きせん断破壊が発生するおそれがある。このため、改良体の間隔は、盛土高さよりも小さく設定する。また、改良体と無処理部分との不同沈下が発生し、大きな凹凸段差が発生するおそれもあるため、必要に応じてジオテキスタイル工法や浅層混合処理工法の併用を検討する。

③改良体強度の検討

盛土材のアーチ効果による応力分散の考え方に基づいて、改良体にかかる応力 (P_{col}) を計算し、安全性を照査する。盛土高さ 3m 以下の低盛土の場合、盛土に作用する交通荷重も考慮する。

④低盛土の場合における留意事項

盛土高さ 3m 以下の低盛土の場合、盛土に作用する交通荷重も考慮する。

(4) 側方変位の影響評価

近隣に重要構造物等がある場合には、FEM解析等⁴⁾を実施し、側方変位の検討を行う。

また、ジオテキスタイル工法を併用する場合（→3.3）は、(1)～(4)に加え、ジオテキスタイルに作用する応力を照査する。その際、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計施工マニュアル（改訂版）」⁶⁾等を参照するとよい。

浅層改良工法を併用する場合（→3. 4）は、（１）～（４）に加え、深層混合処理による改良柱体の直上に位置する浅層改良体の押し抜きせん断破壊に対する検討を行う。ただし、不同沈下量の検討は行わない。また、地盤が非常に弱く無処理部分の沈下が大きい場合には、浅層改良体の曲げ引張破壊の検討を行う。

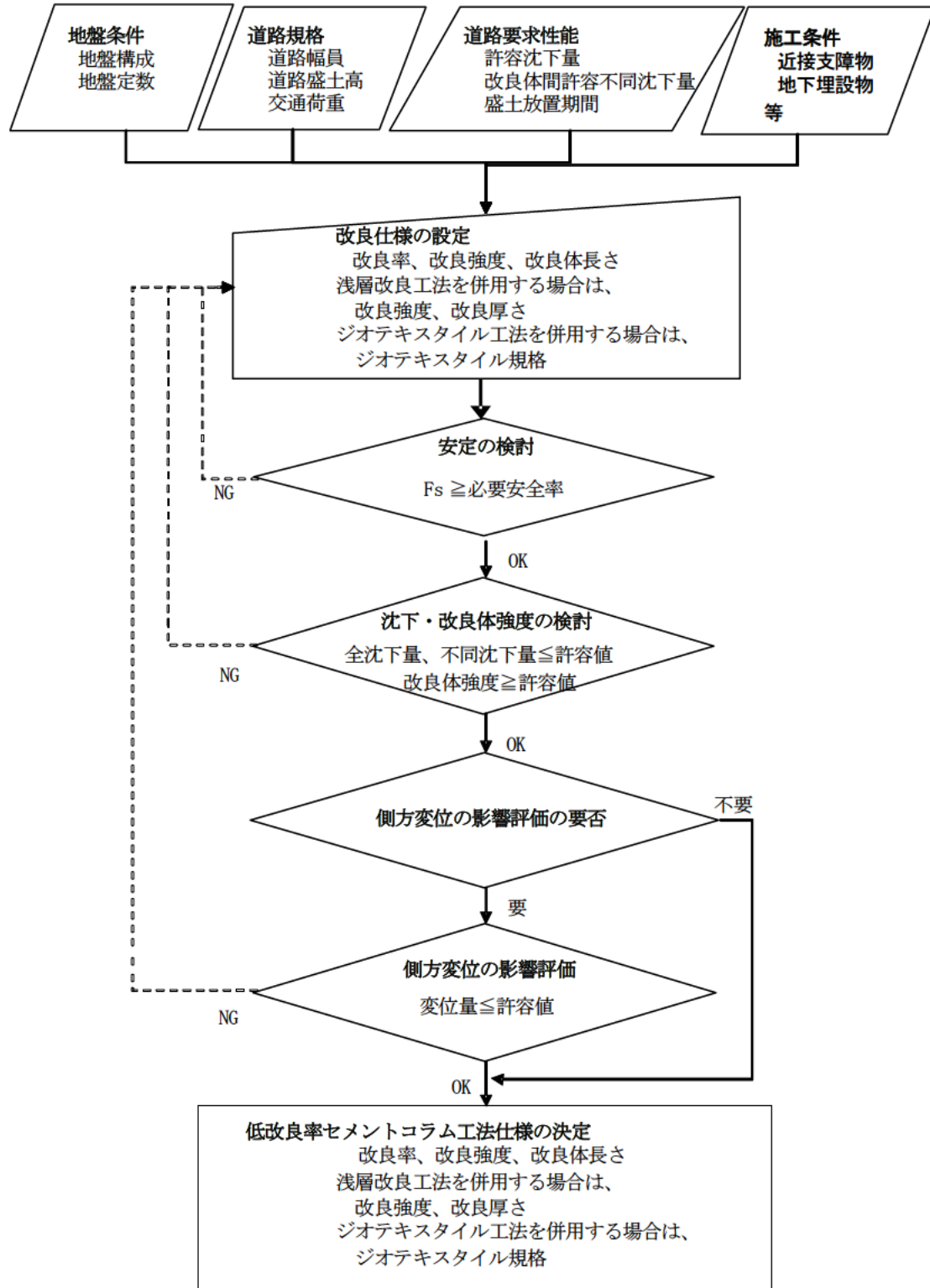


図3.1.1 低改良率セメントコラム工法の設計フローチャート(その1)

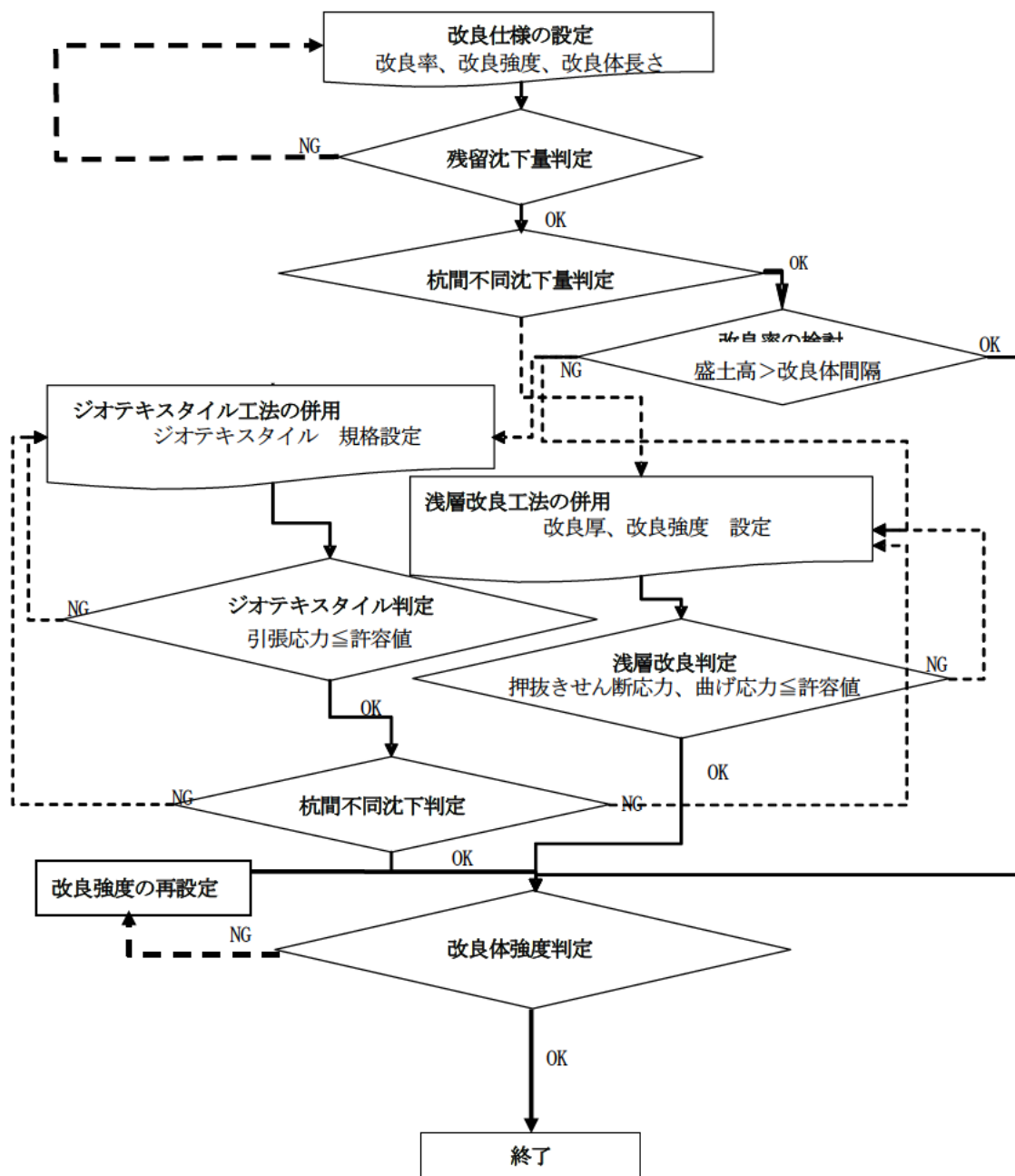


図 3.1.2 低改良率セメントコラム工法の設計フローチャート(その2: 沈下検討)

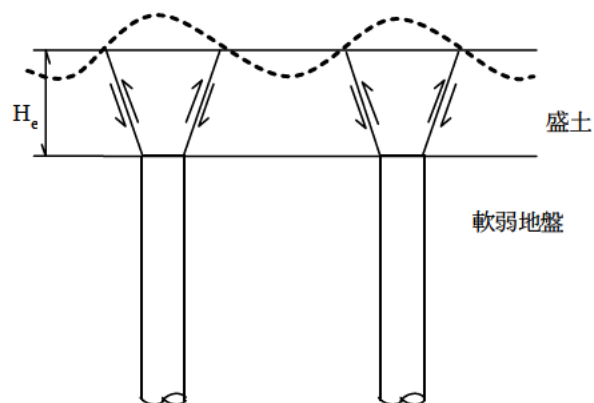


図 3.1.3 盛土高さが低い場合に生じる押し抜きせん断破壊

3.2 沈下量の算定と改良体の応力照査

3.2.1 着底型の場合

(1) 全沈下量

全沈下量を、改良域全体を複合地盤として次式により計算し、許容残留沈下量と比較する。

$$S = \left(\frac{P}{E_{eq}} \right) \cdot L \cdot \dots \cdot (3.1)$$

E_{eq} : 複合地盤のヤング率。次式により計算する。

$$E_{eq} = a_p \cdot E_{col} + (1 - a_p) \cdot E_{soil} \cdot \dots \cdot (3.2)$$

(2) 改良体と改良体間（無処理部分）との不同沈下量

1) 改良体間（無処理部分）の沈下量

改良体間の無処理部分の沈下量を求めるため、まず、無処理の場合における沈下量 S_0 を求める。 S_0 は、地盤が正規圧密地盤であり、圧密沈下とした場合、次式により計算する。また、(4.2)式に $a_p=0$ を代入することにより求めてもよい。

$$S_0 = \frac{C_c}{(1 + e_0)} \cdot H \cdot \log \left\{ \frac{(\sigma'_v + P)}{\sigma'_v} \right\} \cdot \dots \cdot (3.3)$$

ここに、

e_0 : 間隙比

C_c : 圧縮指数

σ'_v : 平均有効鉛直応力

次に、改良体間の無処理部分の沈下量を、無処理部分に作用する応力 P_{soil} と盛土により改良する領域全体に作用する応力 P との比率を元に次式により計算する。³⁾

$$S_{soil} = S_0 \cdot \frac{P_{soil}}{P} \cdot \dots \cdot (3.4)$$

なお、 P_{soil} は、無処理部分に作用する盛土形状が、室内試験結果¹⁾から、図3.2.1に示すような山型となることから、次式で得られる。これ以外の盛土荷重は改良体が負担すると考える（改良体間荷重モデル）。塑性角 θ は3.2.3を参照して設定する。

$$P_{soil} = \frac{V_{soil} \cdot \gamma}{\lambda^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \cdot \dots \cdot (3.5)$$

$$V_{soil} = \left\{ \frac{\lambda - d}{2} \cdot \lambda^2 - \frac{\pi(\lambda^3 - d^3)}{24} + \frac{(4 - \pi) \cdot (\sqrt{2} - 1)}{24} \cdot \lambda^3 \right\} \tan \theta \cdot \dots \cdot (3.6)$$

なお、盛土高さ H_E が低い場合（ $(\lambda - d) \tan \theta / 2 > H_E$ ）には、次式により計算する。

$$V_{soil} = \lambda^2 \cdot H_E - \frac{1}{3} \left\{ \pi \left(\frac{H_E}{\tan \theta} + \frac{d}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{d}{2} \cdot \tan \theta + H_E \right) - \pi \left(\frac{d}{2} \right) \cdot \tan \theta \right\} \cdots (3.7)$$

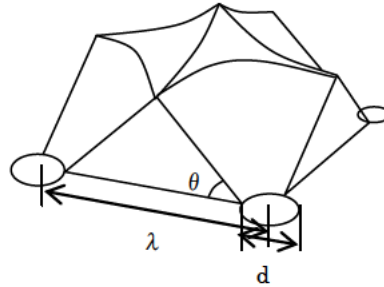


図3.2.1 改良体間荷重モデル¹⁾に加筆修正

(中央の山の部分が荷重として改良体間の無処理部分に作用する。正方形配置の場合)

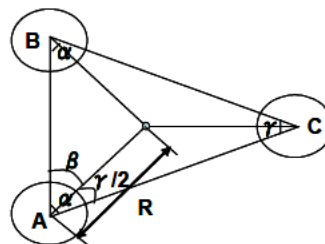
上記のように、無処理部分の沈下量 S_{soil} は、無処理の場合における沈下量 S_0 に、盛土荷重 P に対する無処理部分に作用する荷重 P_{soil} の比から求められるが、 P_{soil} が計算されているので、次式で直接求めることもできる。

$$S_{soil} = \frac{P_{soil}}{E_{soil}} \cdot H \cdots (3.8)$$

<参考> i) 千鳥配置の場合

千鳥配置の場合、無処理部分に作用する盛土体積 V_{soil} は以下の式で求められる。

$$V_{soil} = V1 - (V2 + 2 \times V3 - V4 - 2 \times V5)$$



参考図1 改良体配置図(千鳥配置)(1)

ここに、

V1 : 図 2 に示す三角柱の体積

V2 : C の改良体が影響を及ぼす盛土体積

V3 : A、B の改良体が影響を及ぼす盛土体積

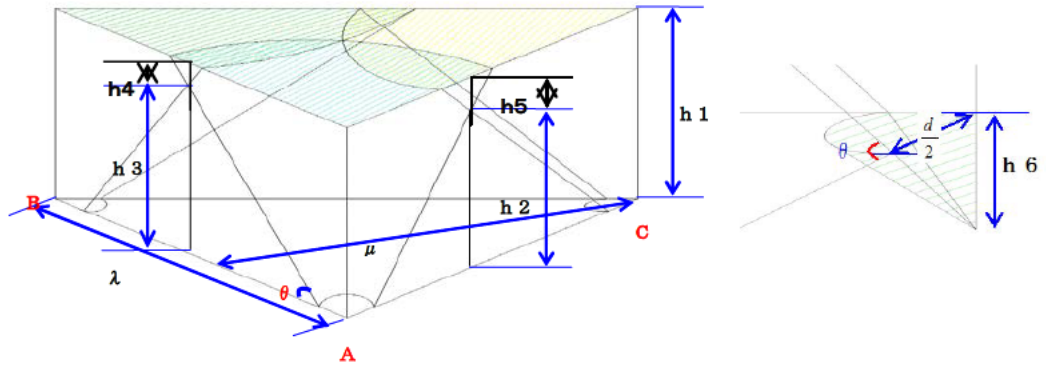
V4 : A、B の改良体それぞれが影響を及ぼす盛土の重複する部分の体積

V5 : A と C、B と C の改良体が影響を及ぼす盛土の重複する部分の体積

$$V1 = \frac{1}{2} \times \lambda \mu h1$$

$$V2 = \frac{1}{3} \times \frac{\gamma}{360} \pi \left\{ R^2 (h1 + h6) - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \times h6 \right\}$$

$$V3 = \frac{1}{3} \times \frac{\alpha}{360} \pi \left\{ R^2 (h1 + h6) - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \times h6 \right\}$$



参考図2 改良体間荷重モデル(千鳥配置)(2)

$$V4 = \frac{1}{3} \left(\frac{\beta}{360} \pi R^2 - \frac{1}{2} D4^2 \tan \beta \right) \times 2 \times h4$$

$$V5 = \frac{1}{3} \left(\frac{\frac{\gamma}{2}}{360} \pi R^2 - \frac{1}{2} D4^2 \tan \frac{\gamma}{2} \right) \times 2 \times h5$$

ここに

R : 三角形 ABC の外心と各頂点を結ぶ線分の長さ

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{-\lambda^2 + 4\mu^2}{4\lambda\mu} \right)$$

$$\gamma = 2 \tan^{-1} \frac{\lambda}{2\mu}$$

$$h1 = \left\{ R - \frac{d}{2} \right\} \tan \theta$$

$$h2 = \left\{ D2 - \frac{d}{2} \right\} \tan \theta$$

$$h3 = D3 - \frac{d}{2} \tan \theta$$

$$h6 = \frac{d}{2} \tan \theta$$

ii) 長方形配置の場合

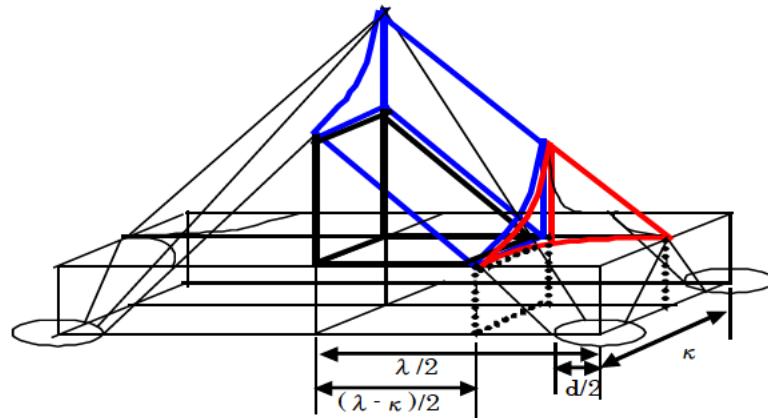
長方形配置の場合、無処理部分に作用する盛土体積 V_{soil} は次式により計算する。

$$V_{soil} = (\text{正方形の場合}) + \frac{\kappa \cdot (\lambda - \kappa)}{4} \cdot \left\{ \frac{\sqrt{2} + 1}{2} \cdot \kappa + \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 + \left(\frac{\kappa}{2}\right)^2} + \frac{\lambda}{2} - 2d \right\} \tan \theta$$

ここに、

λ : 改良柱体間長 (間隔大) の長さ

κ : 改良柱体間長 (間隔小) の長さ

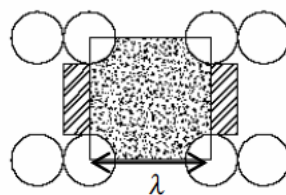


参考図3 改良体間荷重モデル(長方形配置)

iii) 接円タイプの場合

接円タイプの配置の場合、無処理部分に作用する盛土体積 V_{soil} は次式により計算する。

$$V_{soil} = \left[\frac{(\lambda - d)\lambda^2}{2} - \frac{\pi\{\lambda^3 - d^3\}}{24} + \frac{(4 - \pi)(\sqrt{2} - 1)\lambda^3}{24} \right] \tan \theta + \frac{1}{2} \times (\lambda - d) \times \frac{(\lambda - d)}{2} \tan \theta \times \frac{d}{2} \times 2$$



参考図4 改良体配置図(接円タイプ)

2) 改良体の沈下量

改良体の沈下量を次式により計算する。

$$S_{col} = \frac{P_{col}}{E_{col}} \cdot L \cdots (3.9)$$

$$E = 100 \cdot q_{uckc} \cdots (3.10)$$

$$P_{col} = V_{col} \cdot \frac{\gamma}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi} \cdots (3.11)$$

ここに

γ : 盛土の単位体積重量(kN/m³)。

ただし、このとき常に $P_{col} < q_{uckc}/F_s$ であることを注意する。(F_s : 安全率)

3) 改良体と無処理部分との不同沈下量

改良体と無処理部分との不同沈下量 δ_s を、次式により計算し、許容不同沈下量と比較する。

$$\delta_s = S_{soil} - S_{col} \cdots (3.12)$$

(3) 改良体に作用する応力の照査

改良体に作用する応力を次式で照査する。安全率 F_s は 1.0～1.2 程度として設定する。

$$F_s = \frac{q_{uck}}{P_{col}} \cdots (3.13)$$

3.2.2 浮き型の場合

(1) 全沈下量

改良域の沈下量S₁は、複合地盤と考え、式(3.1)で算定する。また、改良域下の無処理部分の沈下量S₂は、道路橋示方書下部構造編、もしくは参考文献 13)などを参照して計算する。

全沈下量は、次式で表される。

$$S = S_1 + S_2 \cdots (3.14)$$

(2) 改良体と無処理部分との不同沈下量

着底型と同様に、改良体と無処理部分との不同沈下量を計算する。ただし、浮き型の場合、改良体が支持層に支えられておらず、改良体に集中する荷重が着底型と比較して小さくなることから、着底型とは塑性角が異なる (3.2.3参照)。

(3) 改良体に作用する応力の照査

改良体に作用する応力の照査は (3. 13) 式を適用する。

3.2.3 塑性角の大きさ

塑性角 θ は次式により設定する¹⁹⁾。

$$\theta = 90 - \phi \quad (^\circ) \quad (\text{着底型の場合}) \cdots (3.15)$$

$$\theta > 90 - \phi \quad (^\circ) \quad (\text{浮き型の場合}) \cdots (3.16)$$

ここに、 ϕ は盛土材の内部摩擦角を示す。浮き型の場合、 θ は 80° 程度としてよい。

3.2.4 補助工法の適用

沈下、改良体強度の検討を行った結果、許容値を満足しない場合には、ジオテキスタイル工法もしくは浅層改良工法の併用を検討する。

ジオテキスタイル工法を併用する場合の設計方法を3.3に、浅層改良工法を併用する場合の設計方法を3.4に示す。

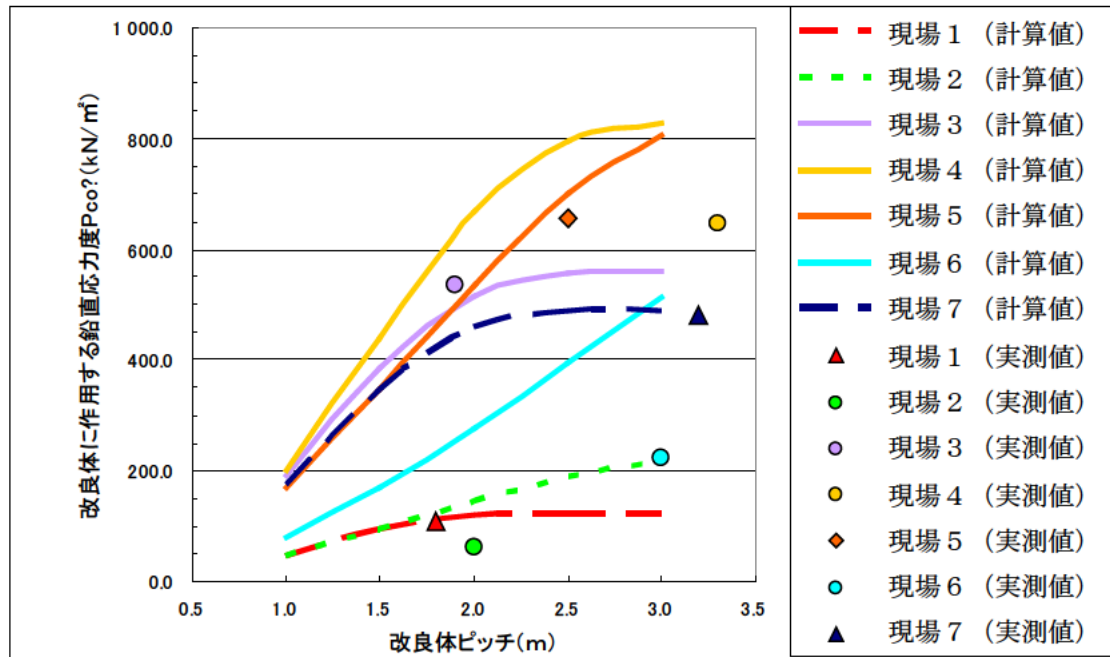
以上の検討結果を元に、改良率を高めて不同沈下量を低減させた場合とジオテキスタイル工法や浅層改良工法を併用した場合の比較検討を行い、経済的な方法を選定する。

(参考1) 塑性角の大きさ

参考表1 参考表1に示す各現場において、式 (3.5), (3.11) の P_{soil} , P_{col} の実測値並びに塑性角として表に示す値を用いた場合の計算値との比較を行った結果を**参考図5**に示す。

参考表1 現場事例と塑性角

	改良体間隔	改良率	盛土高	タイプ	計算に用いた塑性角 θ 。
現場1	□1.8m	24.2%	2.0m	着底型, 浅層改良工法併用	75°
現場2	□2.0m	19.6%	2.0m	着底型, ジオテキスタイル工法併用	55°
現場3	□1.9m	21.7%	8.0m	浮き型, 浅層改良工法併用	85°
現場4	□2.8m×2.3m	12.1%	8.3m	浮き型, 浅層改良工法併用	85°
現場5	□2.5m	12.6%	7.9m	浮き型	80°
現場6	□3m	8.7%	3.3m	浮き型, ジオテキスタイル工法併用	75°
現場7	□2.8m×3.5m	7.1%	7.8m	浮き型, 浅層改良工法併用	85°



参考図5 P_{col} と実測値の比較

(参考2) 改良する領域の下部に位置する無処理部分の圧密沈下速度

文献 13)によれば、浮き型の場合、荷重載荷時には下部無処理部分でのみ過剰間隙水圧が発生し、このため改良体下端付近で（ここがあたかも排水層であるかのように＝両面排水条件のように）水圧勾配が発生している。その結果、圧密は下部無処理部分が両面排水条件のように進行すると考えられる。

3.3 ジオテキスタイル工法を併用する場合の設計

3.3.1 無処理部分の沈下量の算定

ジオテキスタイル工法を併用した場合の不同沈下量を求めるため、まず無処理部分の沈下量を算定する。

この際、無処理部分に作用する応力は、3.2に示す方法で求める。また、用いる塑性角 θ_e は、着底型、浮き型それぞれ図3.3.1に示すような角度としてよい¹⁷⁾。

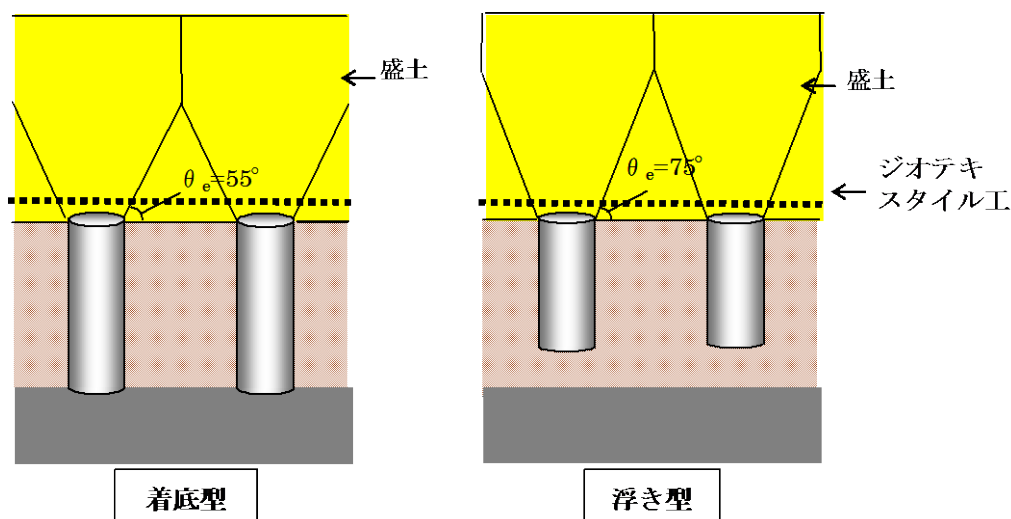


図3.3.1 ジオテキスタイルを用いた場合の塑性角 θ

3.3.2 ジオテキスタイルの材料選定

3.3.1において求めた無処理部分の沈下量を元に、ジオテキスタイル工法を併用した場合の不同沈下量を求める。

詳細な設計は、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計施工マニュアル(改訂版)」(平成12年2月 (財)土木研究センター⁶⁾)等を参考に行う。

3.4 浅層改良工法を併用する場合の設計

低改良率セメントコラム工法ならびに浅層改良工法を併用すると、改良箇所のせん断強さを期待できるので、図3.4.1に示すような安定に対して効果があるだけでなく、杭間の不同沈下量を抑制できる¹³⁾。文献 13)によれば、解析上ではあるが、浅層混合改良（変形係数 $E=20\text{MPa}$ ）によって、不同沈下量はほとんど発生していない（無処理では4cm程度発生）。

浅層改良強度および厚さを決定するには、盛土の安定確保と浅層改良体自体の安定性だけではなく、改良体の押し抜きせん断破壊に対しても安全を確保する必要がある。また、地盤のせん断強度が弱い場合には、図 3.4.3 に示す改良体の曲げ応力を照査することが望ましい。

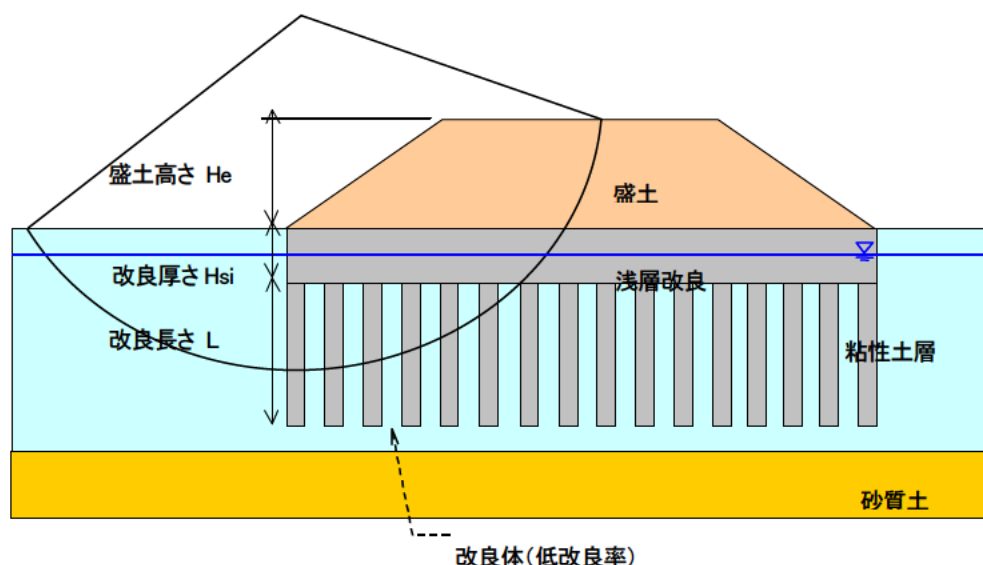


図3.4.1 工法モデル図

3.4.1 円弧すべりによる安全性照査

円弧すべりに対する安全率を確保できるように浅層改良強度、厚さを確保する。その際、無処理部分は、圧密による強度増加を考慮しない。

3.4.2 沈下量の算定

沈下量の算定は3.2による。ただし、浅層改良体により改良体へ作用する荷重分担（塑性角 θ_0 ）は、着底型と浮き型により図3.4.2に示す値を用いる。（設計上の簡便性のため、浅層改良体の塑性角 θ_0 を盛土の塑性角 θ_0 と同じと考える。）また、杭間の不同沈下量については、文献 13) の結果より、ここでは検討しないものとする。

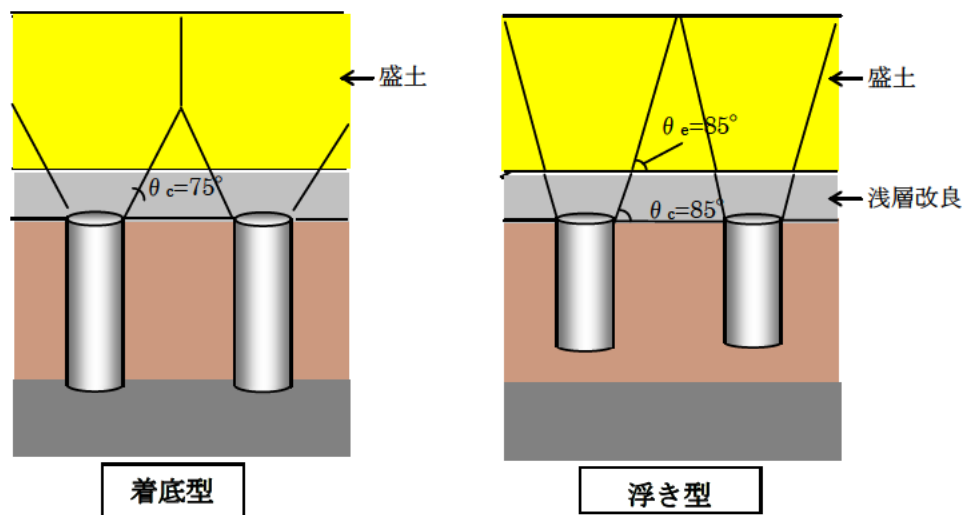


図3.4.2 浅層改良工法を併用した場合の塑性角 θ_e ($\theta_e = \theta_{e0}$)

3.4.3 改良体の押し抜きせん断破壊と曲げ応力照査

改良体の押し抜きせん断破壊による設計と共に、地盤のせん断強さが弱い場合 ($\tau < 10 \text{ kN/m}^2$) には、改良体の曲げ応力を照査する必要がある。

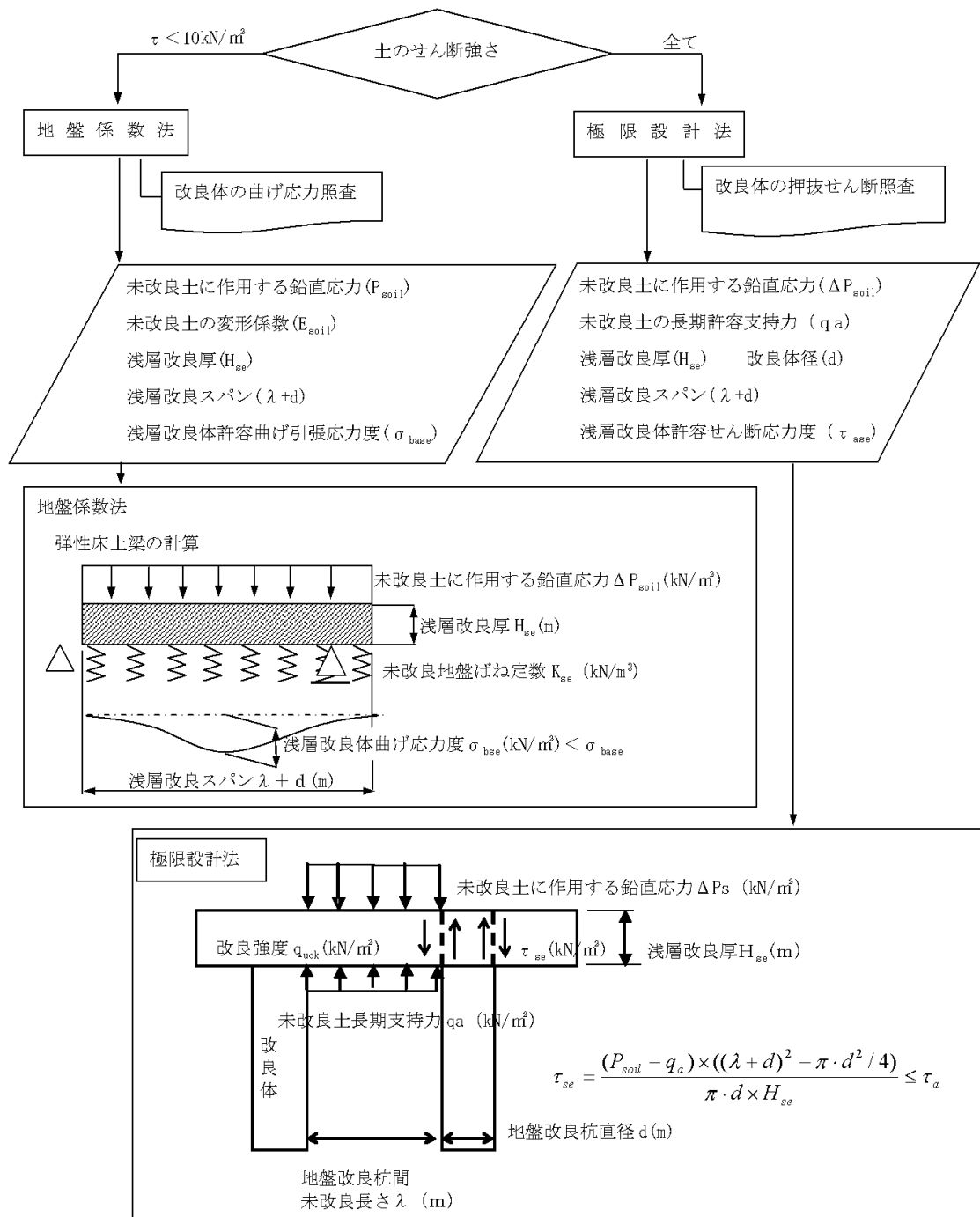


図3.4.3 浅層改良体の押し抜きせん断と曲げ応力照査フロー

(1) 改良体の押し抜きせん断の照査

盛土による鉛直土圧と無処理部分の支持力との差分で、改良柱による押し抜きせん断が発生しないように、浅層改良体进行設計する。

押し抜きせん断の計算は、極限設計法を用いる。支持力は、「道路橋示方書 下部構造編」(日本道路協会)⁵⁾を参照する。また、照査は、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル 第3版」(セメント協会)⁴⁾を参照するとよい。

$$\tau_{se} = \frac{(P_{soil} - q_a) \times ((\lambda + d)^2 - \pi d^2 / 4)}{\pi d \times H_{se}} \leq \tau_a \quad (3.17)$$

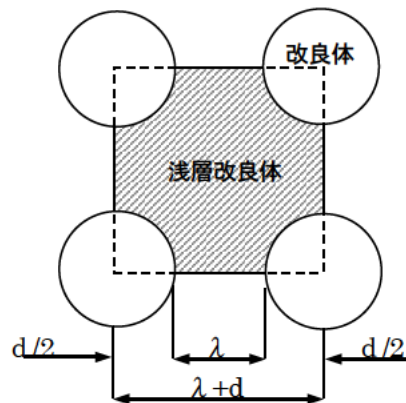


図3.4.4 平面図

(2) 浅層改良体の曲げ応力照査

浅層改良体に発生する曲げ応力は、改良体のスパンや改良強度により異なる。この応力に対し、安全となる浅層改良体の断面や強度が必要となる。特にせん断強さが 10kN/m²程度未満の超軟弱地盤の場合は、沈下が大きくたわみが大きくなるため、浅層改良部に曲げ応力が生じ、引張クラックが発生する可能性があるため、曲げ応力照査を行う。

このため、せん断応力、曲げ応力を同時に検討できる解析方法で設計するのがよい。この方法には、①地盤係数法、②有限要素法、③多重弾性理論等の方法等があるが、ここでは計算手法が簡易で取り扱い易い、地盤係数法を取り上げている。この手法では、未処理地盤のばねを弾性床とした浅層改良体の計算を行う。

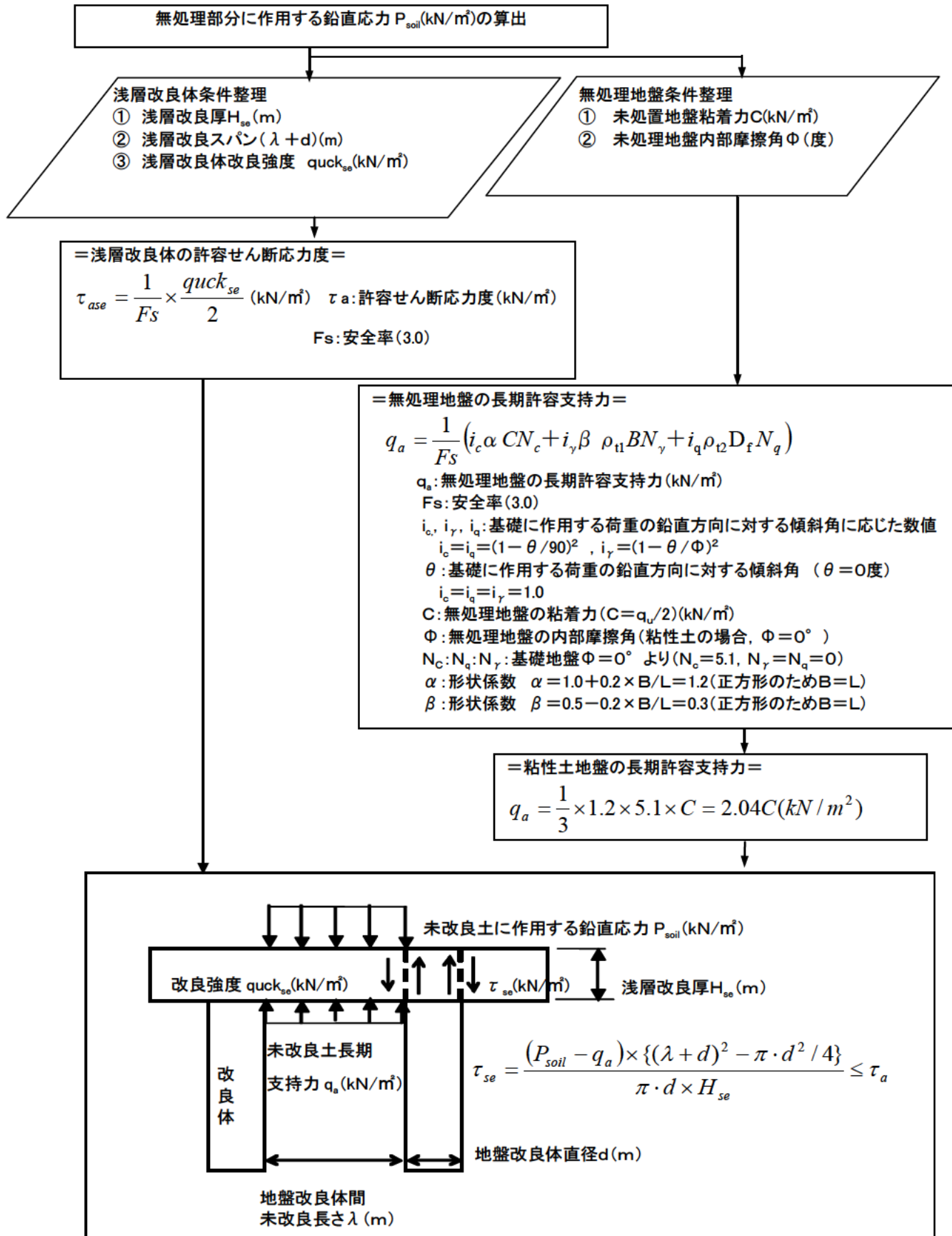


図3.4.5 押し抜きせん断の照査

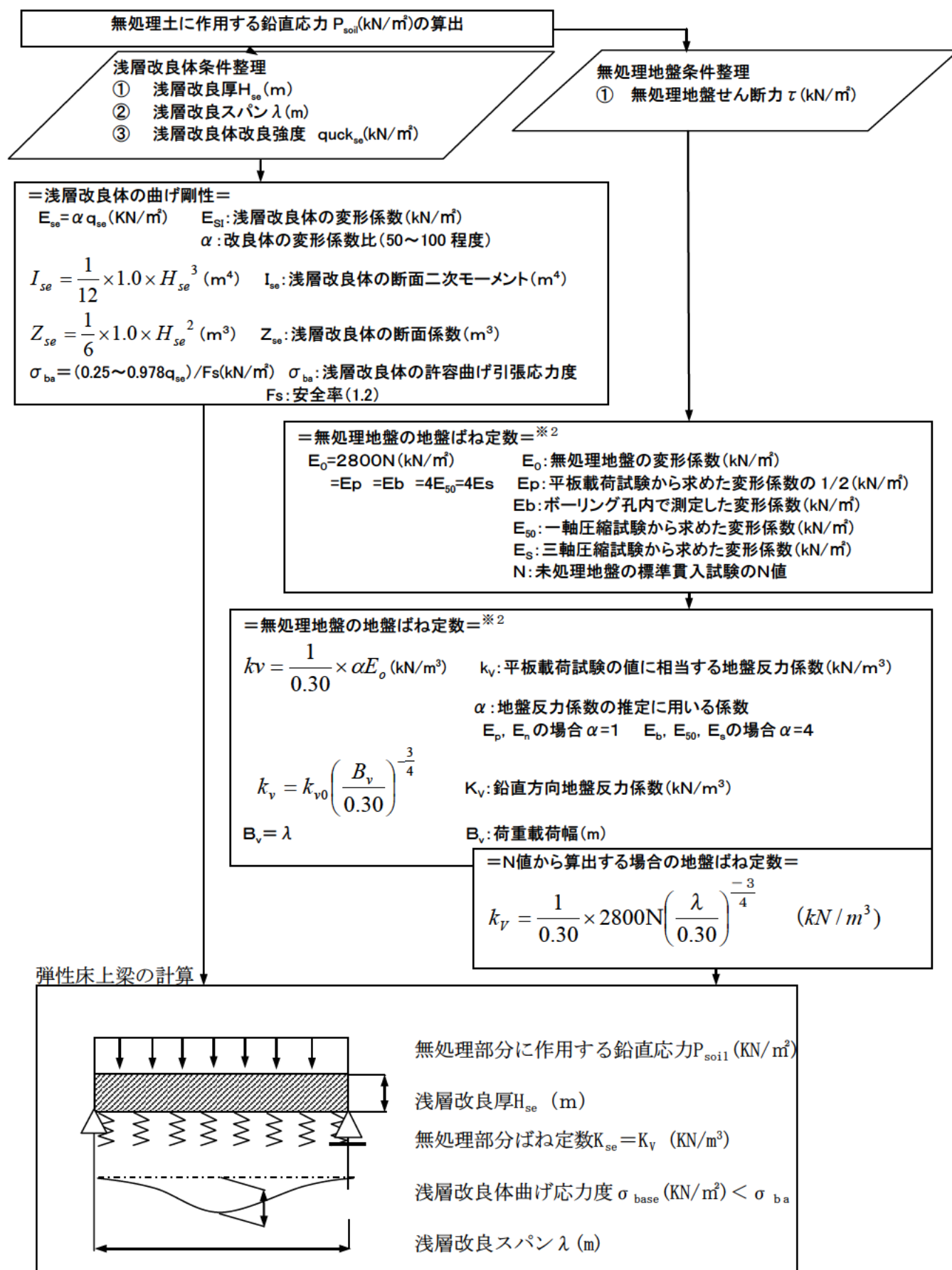


図3.4.6 曲げ応力の照査フロー

3.5 基本的な仕様

これまでの事例を勘案すると低改良率セメントコラム工法の仕様は、およそ表3.5.1に示す範囲に入っていることが望ましい。

表3.5.1 低改良率セメントコラム工法の基本的な仕様

項目	基本的な仕様	留意点
設計基準強度 (一軸圧縮強さ)	$q_{uck} = 600 \sim 1,500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$	深層混合処理工法を用いた場合に品質管理が可能な範囲 特に、改良体間隔が広がると、改良体が負担する鉛直応力は大きくなるので、必然的に強度は高く設定することとなるが、施工的に無理な高強度を設定すると、施工速度が遅くなるなど、かえってコストの増加を招くおそれがある。
杭径	$d = 0.6 \sim 1.3 \text{ m}$	改良体間隔が概ね 2.5m 以上となると、改良体と無処理部分との不同沈下量が増加が顕著となる。特に、改良体直径が大きくなると、同じ改良率であっても、改良体間隔が大きくなりすぎ、不同沈下の発生が懸念される。
改良体間隔と改良率	$\lambda = 1.9 \sim 2.5 \text{ m}$ $a_p = 10 \sim 30\%$ (図3.5.1の赤枠内で設定する(杭径1mの場合： $a_p = 12.5 \sim 20\%$))	

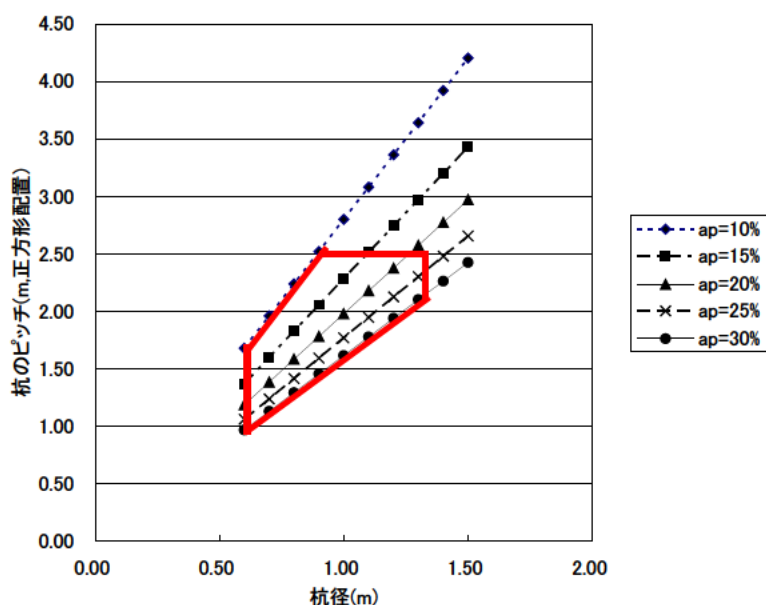


図3.5.1 改良体直径と改良体間隔～改良率の関係

4. 施工

施工、品質を確実なものにするため施工・品質管理を実施する。

4.1 改良体の軸間距離

低改良率セメントコラム工法では、少ない本数のセメント系改良体で盛土荷重を支えるので、通常の深層混合処理工法¹⁾よりも、やや高強度で高品質な改良体の施工が要求される。（一軸圧縮強さが 700～1,500kN/m²程度、強度のばらつきは、正規分布を仮定した場合に設計強度を下回る確率が 15%程度以下⁴⁾）。

また、低改良率セメントコラム工法は、従来の軸間距離 1,600 mm以上 3,000 mm以下まで施工可能な処理機を用いるもので、改良パターンはこの軸間距離と改良柱体の列間隔により決定される。軸間距離のタイプを表4.1.1に、標準的な改良パターンの例を図4.1.1に示す。

表4.1.1. 軸間距離の例

軸間距離 mm
1600, 1800, 2000, 2300, 2500, 2800, 3000

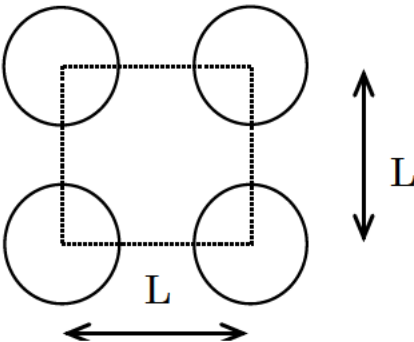
配 置	(非接円)			
正方形				
軸間距離 L	2,000 mm	2,300 mm	2,500 mm	2,800 mm
改良率 A_p	19.6%	14.8%	12.5%	10.0%

図4.1.1 標準的な軸間距離

4.2 施工方法

(1) 施工の手順

施工の流れを以下の図4.2.1に示す。

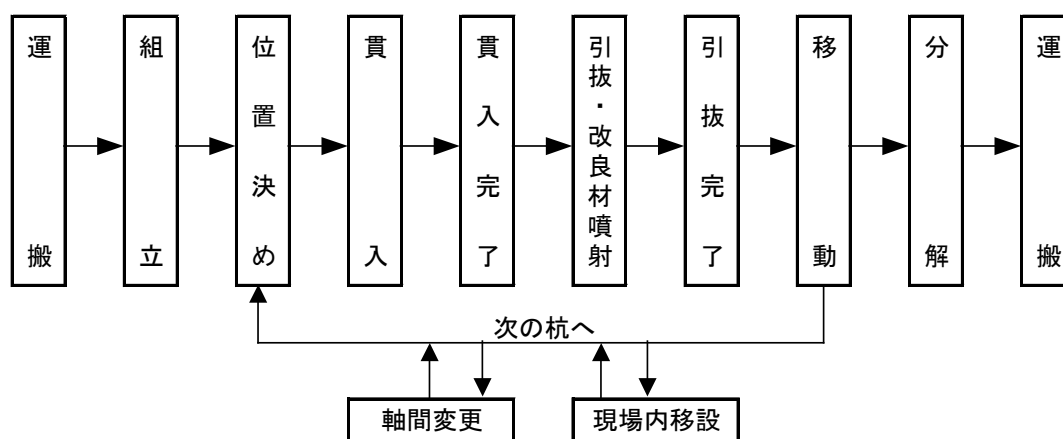


図4.2.1. 施工の流れ

詳細については、室内配合試験の詳細については、「陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル」（（財）土木研究センター）等を参考にするとい。

（２）施工機械および施工状況

写真4.2.1、4.2.2、4.2.3、4.2.4に、施工機の一例および施工状況を示す。



写真4.2.1 施工機(軸間距離 2800mm)



写真4.2.2 攪拌翼部分(軸間距離 2500mm)



写真4.2.3 杭頭出来形(軸間距離 2,800 mm)



写真4.2.4 杭頭出来形(軸間距離 2,500 mm)

(3) ジオテキスタイル敷設時の留意点¹⁶⁾

ジオテキスタイルを敷設する場合、以下の3項目に留意する必要がある。

- 1) ジオテキスタイルの引張り力を十分発揮させるため、摩擦抵抗の大きい粒径の大きい材料を、充分絞め固める必要がある。
- 2) 2枚以上のジオテキスタイルを敷設する場合は、お互いの干渉により有効引張り力の低下を発生させないように、その敷設間隔を30～50cm以上確保する。
- 3) 改良体間の不同沈下を抑制するためには、ジオテキスタイル敷設時のたるみを発生させないようにアンカー効果を発揮させるために、端部の盛土先行や2m程度の巻き返しを行う等、緊張力を作用させる工夫を要する。

(4) 浅層改良工法の施工の留意点

浅層改良工法を併用する場合は、図4.2.2に示すように、(1)専用攪拌機による直接施工、および(2)掘削後攪拌混合転圧方式の2つの方法がある。工法選定にあたっては、施工費、工期などを考慮して最適な方法を決定する。

専用攪拌機による直接施工の場合、すでに施工した改良体の杭頭を傷つけないように施工することが要求されるため、本方式による浅層改良厚さは最大でも1.5m程度にとどめるのがよい。

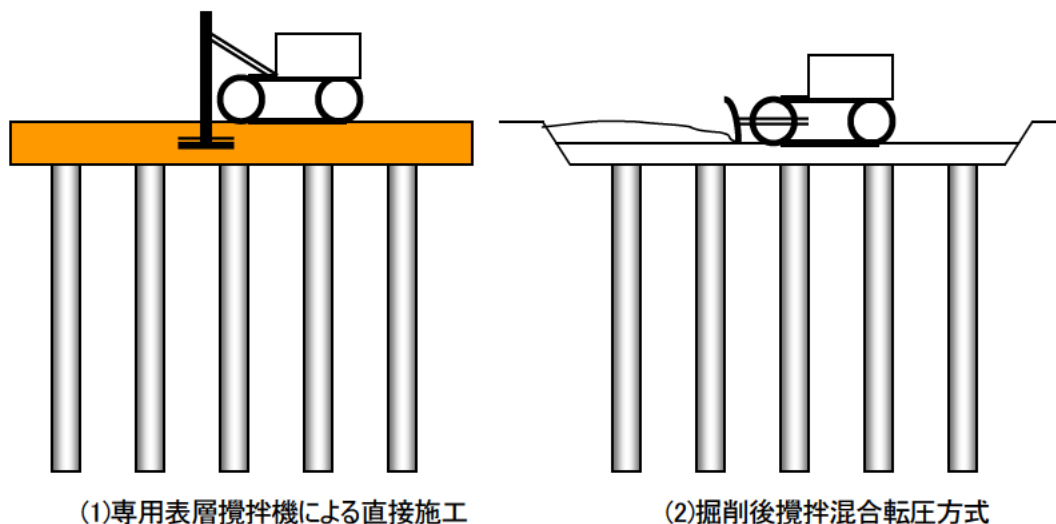


図4.2.2 浅層改良工法の施工方法

4.3 施工・品質管理

施工・品質管理項目としては、セメント供給量、軸昇降速度、羽切り回数、モニタリング（施工に伴う周辺変位、水質環境管理（井戸、水域への影響）、施工後チェックボーリングなどがある。それらの詳細については、「財団法人土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版、平成16年3月」⁸⁾を参照されたい。

4. 4 動態観測

施工時には、目的に応じて適切な方法で動態観測や管理試験等を実施する必要がある。

4.4.1 盛土安定管理

盛土施工時に、地盤条件の不確定性などによる不測の事態を早期発見し、盛土の安定並びに近接構造物等に影響を与えないことを目的として、地盤の変形状況を計測するものである。

不安定な兆候を観測した場合、施工の中断・盛土撤去、放置、さらには対策を行う等、現場の計測結果に基づいて施工を安全にコントロールする必要がある。

詳細については、「道路土工―軟弱地盤対策工指針」（（社）日本道路協会）等を参照されたい。

4.4.2 設計水準管理

設計により設定した水準が、施工時に満足されているかどうかを確認するための管理であり、着底型、浮き型および不同沈下対策の有無等に応じて、適切な方法で実施する。

低改良率セメントコラム工法では、残留沈下量と不同沈下量が重要なポイントとなる。このため、本管理結果を基に、残留沈下や不同沈下の予測を行い、道路供用開始時期について検討するとともに、想定外の残留沈下や不同沈下が生じる場合には、追加対策の必要性を検討する。

特に設計水準管理に必要な測定項目と使用計器を、通常の場合と、近接施工や軟弱地盤構成が複雑で施工上留意すべき地区ならびに地表面不同沈下を厳しく抑制するような場合に分けて表4.4.1に示す。

表4.4.1 低改良率セメントコラム工法の設計水準計測項目

計測項目	使用計器	測定項目	目的	一般地区	留意地区	備考
沈下	地表面型沈下計	軟弱地盤表面の全沈下量	盛土量の検測や安定管理（盛土速度のコントロール）、沈下管理（将来沈下予測による残留沈下量の推定）に測定結果を使用する。	◎	◎	施工に際して必ず実施する。
	層別沈下計	土層別の沈下量	軟弱層が厚く土層構成が複雑で、沈下速度の遅い層の圧密度や残留沈下が問題となる箇所に設置し、各層の計算沈下量の検証に使用する。また、低改良に伴う杭間粘土の沈下挙動を把握する。	○	◎	残留沈下が問題となる箇所では設置が望ましい。施工後の追跡調査にも活用できる。
変位	水管式沈下計	表層改良部の変形	盛土荷重に伴う杭頭および杭間の沈下量を測定し、表層改良板の変形形状を把握する。	—	○	水管式以外に圧力式沈下計もあり、浅層改良体およびジオテキ設置時には設置が望ましい。
水圧	間隙水圧計	盛土荷重による間隙水圧の増減	間隙水圧の経時変化を把握し、圧密進行状態の判定を行う際の指標として利用する。また、低改良に伴う杭間粘土の間隙水圧変化を確認する。	○	◎	沈下・安定上の問題箇所に設置する。
	地下水位計	盛土内に上昇する水位、排水層の水位	盛土内の水位をチェックする。	—	○	地下水位の季節変動が想定される等、特に問題のある箇所に設置する。
土圧	土圧計	盛土荷重による増加土圧	盛土荷重に伴う改良杭と杭間未改良部の応力分担比をチェックし、低改良率深層混合処理工の効果を確認する。	—	○	特に改良杭の応力集中が予想される箇所等に必要に応じて設置する。
ひずみ	ひずみ計	浅層改良体の応力度	浅層改良体の曲げモーメント作用に伴うひずみを測定し、応力度確認を行う。	—	○	特に、浅層改良の曲げが問題となる箇所、および地表面変位抑制を要する箇所に設置する。

◎：必ず実施すべき項目 ○：必要に応じて実施が望ましい項目

留意地区：近接施工や軟弱地盤構成が複雑で施工上留意すべき地区

ならびに地表面不同沈下を厳しく抑制するような場合

4.4.3 動態観測機器の例

低改良率セメントコラム工法における動態観測に使用される観測機器の例を示す。

① 浅層改良体変位測定方法（水管式沈下測定法）¹¹⁾

圧力式沈下計（間隙水圧計）を杭頭あるいは、所定の測点に設置し、影響外に不動点として基準水槽を設置する。基準水槽と各沈下計とを連通管で結び水を通して、基準水槽の基準水位と各沈下計の水頭差を圧力計で測定し、各測点の変位量を求める。

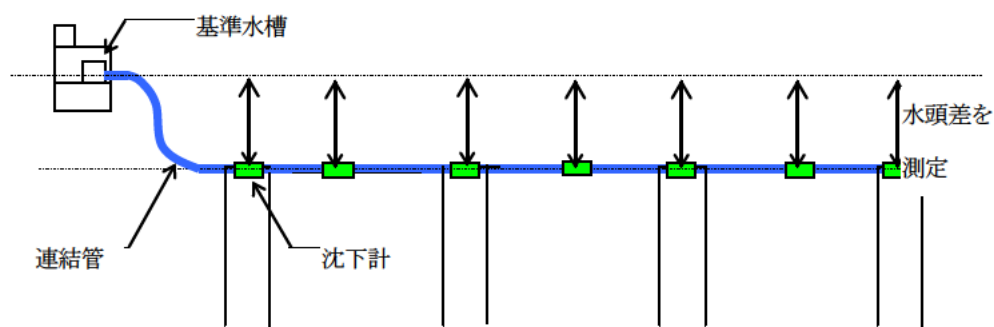


図4.4.1 浅層改良部変位測定方法概要図

なお、水管式以外に圧力式沈下計も開発されている。

② 無処理部分に作用する鉛直土圧（土圧計：無処理部分）¹²⁾

無処理部分の土圧計の設置は以下の手順で行なう。

- 1) 床面を深さ 60 cm程度で底面が最小でも 100×100 cm程度になるように掘削する。
- 2) 掘削後、土圧計設置面を転圧する。
- 3) 掘削した土を 2#のフルイにかけ、通過した土を土圧計設置面に約 5 cmの厚さで均等に敷いた後、土圧計を手で圧着しながら設置する。この時水準器で水平をとりながら行なう。
- 4) 土圧計の上約 20 cm程度まで 2#のフルイをかけた土で埋め戻す。この時、つき棒等で締め固めながら徐々に埋戻す。
- 5) 更に上部を大きな礫を取り除いた掘削土で埋め戻して転圧する。

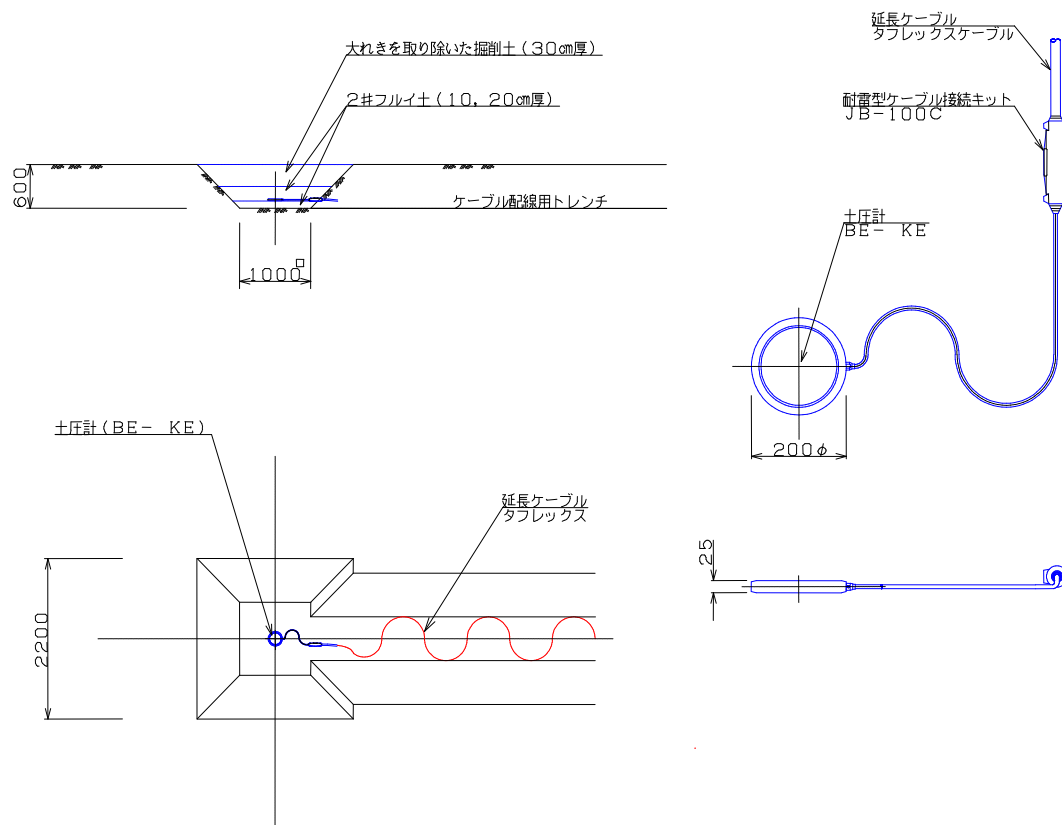


図4.4.2 無処理部分土圧計設置概要図

③ 改良部作用鉛直土圧（土圧計：改良部）¹²⁾

改良部の土圧計の設置は、以下の手順で行なう。

- 1) 60 cm程度盛土完了後、改良体天端まで掘削して、改良体天端を平坦に整形する。
- 2) 整形部にモルタルを盛って、土圧計を押付ながら、水平になるように設置する。
- 3) モルタル硬化後、土圧計の上約 20 cm程度まで 2#のフルイをかけた土で埋め戻す。この時、つき棒等で締め固めながら徐々に埋戻す。
- 4) 更に上部を大きな礫を取り除いた掘削土で埋め戻して転圧する。

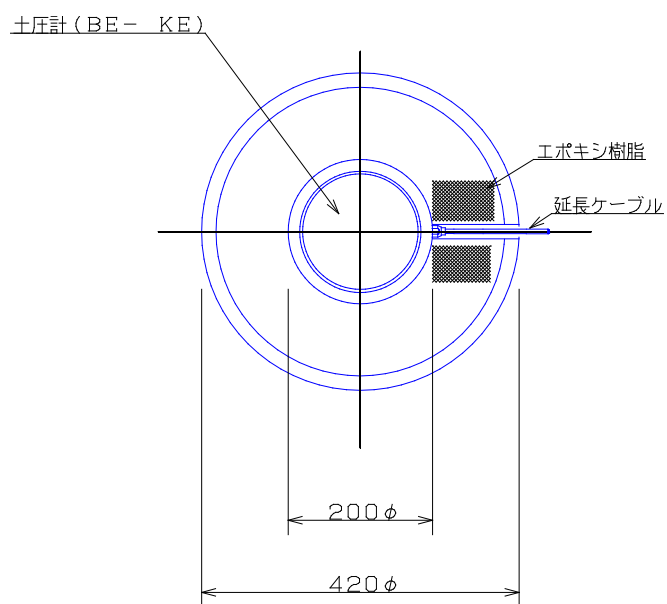


図4.4.3 無処理部分土圧計設置概要図

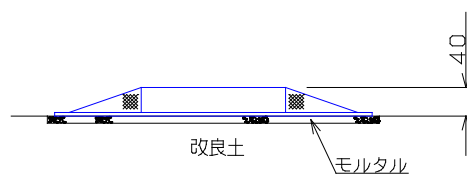


図4.4.4 改良部土圧計設置概要図

⑦ 浅層改良部およびジオテキスタイル作用応力度測定（ひずみ計）

鉄筋ひずみ計および土壌ひずみ計等を浅層改良部（上面、下面の2面）ないしジオテキスタイルに設置し、作用ひずみ量を計測する。

なお、その設置には改良体ひずみ、ないしジオテキスタイルのひずみと本計測機器とのずれを抑止し、正確に計測するための工夫を要する。

4.4.4 動態観測計器設置事例

(1) 着底型の場合

着底型における動態観測例を以下に示す。

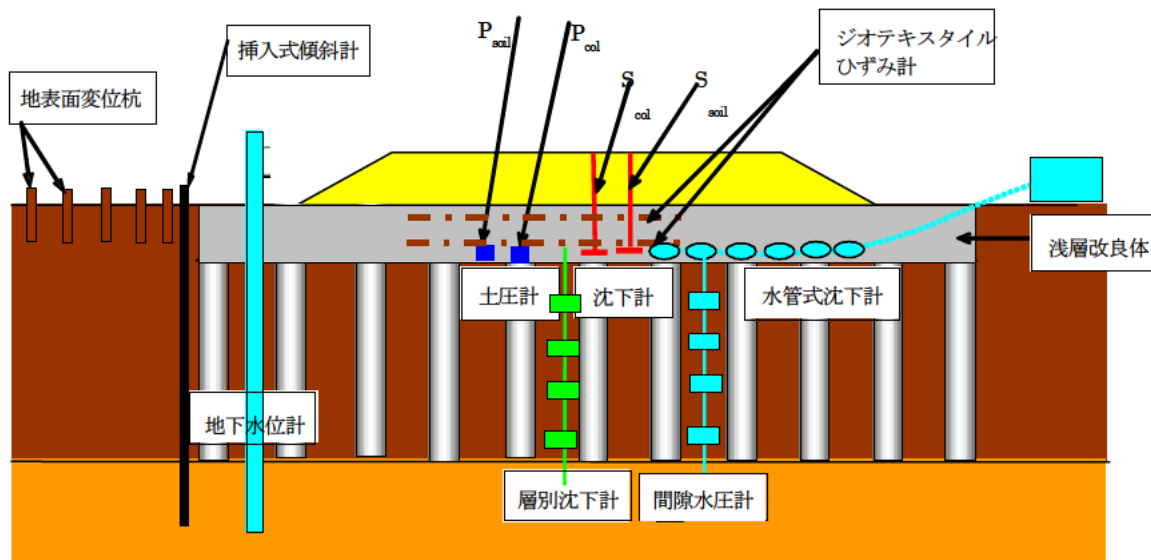


図4.4.5 着底型の動態観測の例

(2) 浮き型の場合

1) 事例1⁴⁾

図4.4.6に沈下量、間隙水圧並びに水平変位量を計測した例を示す。

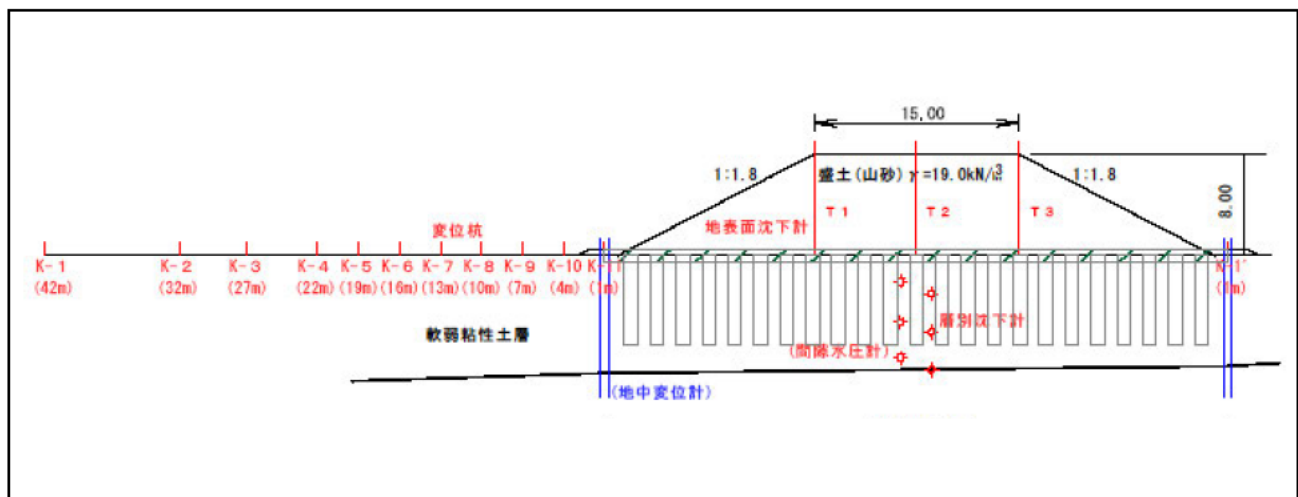


図4.4.6 動態観測例

2) 事例2¹²⁾

図4.4.7に予想された変状とそれを観測する計測配置の模式図を示す。設置する観測計器は、沈下管理

用計器とせん断変形監視計器に大別される。

各計器の観測頻度と期間を表4.4.2に示す。

表4.4.2 対象別測定頻度と期間

計測対象	改良杭の 施工期間中	盛土施工中 ～完了後1ヶ月	盛土完了後1ヶ月～ 完了後3ヶ月	盛土完了後3ヶ月以降	備 考
沈 下	——	1 回 / 1 日	1 回 / 7 日	1 回 / 1 月	盛土完了後 最低限1年測定
せん断変形	1 回 / 1～5日	1 回 / 1 日	1 回 / 7 日	4 回 / 1 年	

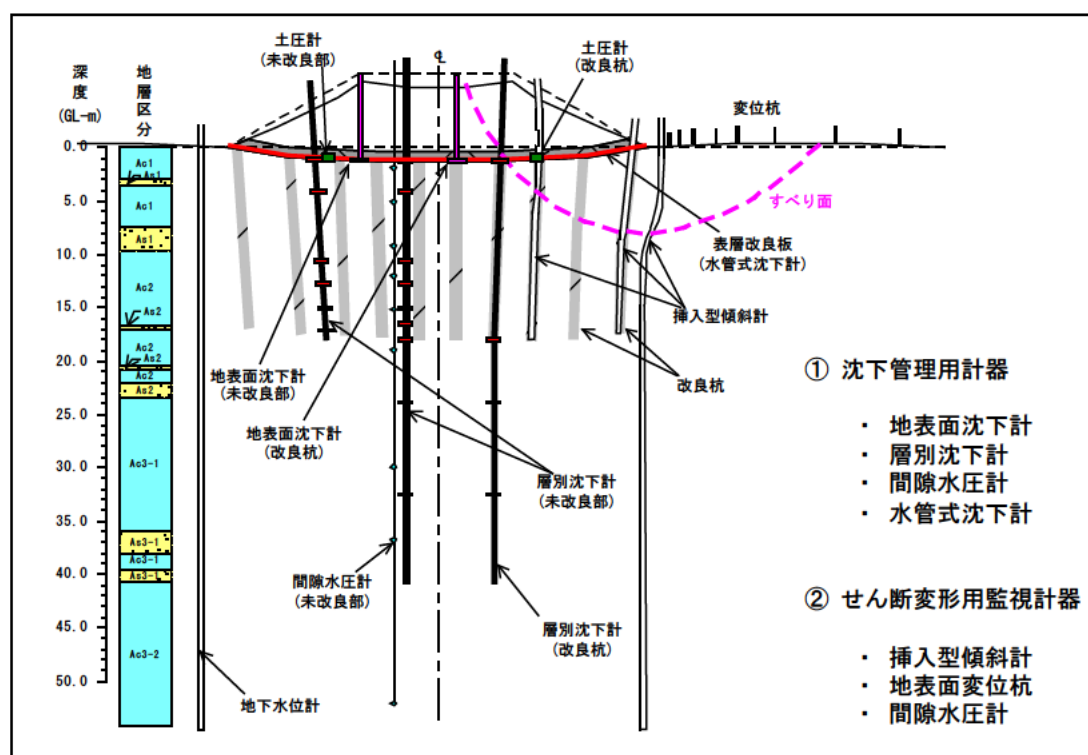


図4.4.7 地盤構成ならびに観測計器設置の概要と変状の模式図

4.4.5 残留沈下量評価

動態観測結果から残留沈下予測を行う方法は、双曲線法や浅岡法、 $\sqrt{t}$ 法、門田法等が上げられる。比較的良く用いられているのは双曲線法である。これは、経験的な手法であり、盛土荷重が一定となった後に適用すると整合性がよいとされている。

5. 施工事例

最近施工された、低改良率セメントコラム工法の施工事例の以下に示す。下表に改良仕様と、動態観測結果を示す。

表5.1.1 低改良率セメントコラム工法の施工事例と動態観測結果

	ケース名	改良体基礎形式	不同沈下対策		盛土高 (m)	改良体中心間隔 (m)		改良体長 (m)	改良強度 (kPa)	改良率 (%)		
1	事例 A	着底式	無処理		8.0	2.3	×	2.3	14.0	600	14.8	
2	事例 B-1	着底式	ジオテキ	2枚	2.0	1.8	×	1.8	4.5	410	24.2	
3	事例 B-2	着底式	浅層改良	0.5m	2.0	1.8	×	1.8	4.0	410	24.2	
4	事例 C	着底式	ジオテキ	2枚	2.0	2.3	×	2.3	6.0	440	14.8	
5	事例 D	着底式	ジオテキ	1枚	2.0	2.0	×	2.0	17.0	385	19.6	
6	事例 E-1	フローティング式	浅層改良	1.0m	300kPa	8.0	1.9	×	1.9	6.0	700	21.7
7	事例 E-2	フローティング式	浅層改良	3.0m	300kPa	8.3	2.8	×	3.8	5.3	700	7.0
8	事例 F	フローティング式	無処理		7.9	2.5	×	2.5	26.4	1 500	12.6	
9	事例 G	フローティング式	ジオテキ	1枚	3.3	3.0	×	3.0	12.9	790	8.7	
10	事例 H-1	フローティング式	無処理		7.8	2.8	×	2.8	17.0	1 100	8.6	
11	事例 H-2	フローティング式	浅層改良	0.8m	7.8	2.8	×	3.5	17.0	1 320	7.1	
12	事例 H-3	フローティング式	浅層改良	1.5m	7.8	2.8	×	3.5	17.0	1 320	7.1	
13	事例 I	フローティング式	無処理		2.5	1.5	×	1.5	16.0	300	12.5	

	ケース名	Scol (cm)	Ssoil (cm)	不同沈下量 (cm)	S2 (cm)	Pcol (kPa)	Psoil (kPa)	施工事例集名
1	事例 A	16.3	17.1	0.8	-	57.4	625.5	施工事例集 (1)
2	事例 B-1	0.7	0.9	0.2	-	165.9	10.6	施工事例集 (2)
3	事例 B-2	0.8	2.6	1.8	-	109.0	21.0	施工事例集 (2)
4	事例 C	2.4	11.7	9.3	-	351.0	237.0	施工事例集 (3)
5	事例 D	3.9	4.2	0.3	-	62.0	11.0	施工事例集 (4)
6	事例 E-1	-	38.0	-	31.9	534.6	28.1	施工事例集 (5)
7	事例 E-2	-	26.9	-	8.6	645.0	65.0	施工事例集 (5)
8	事例 F	2.0	9.5	7.5	19.3	656.0	42.4	施工事例集 (6)
9	事例 G	1.0	1.9	0.9	3.9	224.0	27.1	施工事例集 (7)
10	事例 H-1	52.2	59.0	6.8	-	800.0	160.0	施工事例集 (8)
11	事例 H-2	1.8	11.8	10.0	-	480.0	80.0	施工事例集 (8)
12	事例 H-3	17.2	11.1	6.1	-	600.0	120.0	施工事例集 (8)
13	事例 I	-	-	3.0	-	-	-	施工事例集 (9)

5.1 事例A

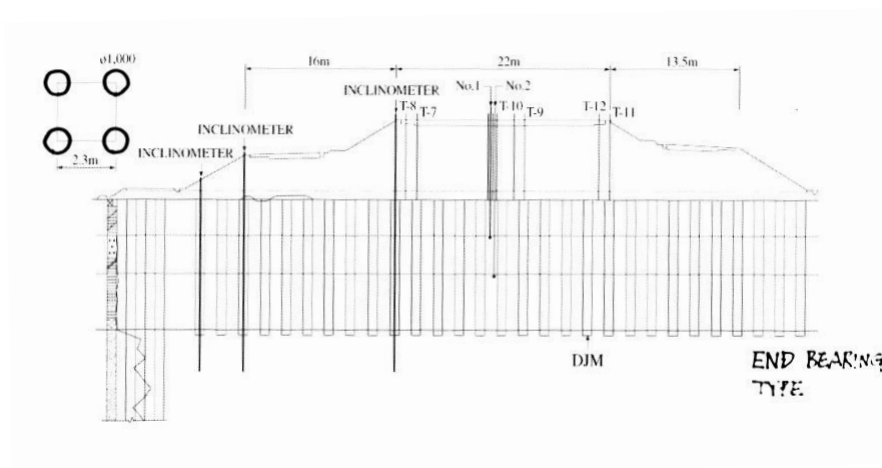
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との許容不同沈下量 5cm

2) 工事概要

用 途	道路新設	打 設 長	14.0m
改良体直径	$\phi 1,000\text{mm}$	改 良 率	14.8% ($\square 2.30\text{m} \times 2.30\text{m}$)
改良目的	盛土の沈下低減 盛土の安定対策	設計基準強度	600kN/m^2
施工期間	H15.4~H15.6	設計 q_{uf}/q_{ul}	1/3
補助工法	なし		

3) 平面図および標準断面図



5.2 事例B

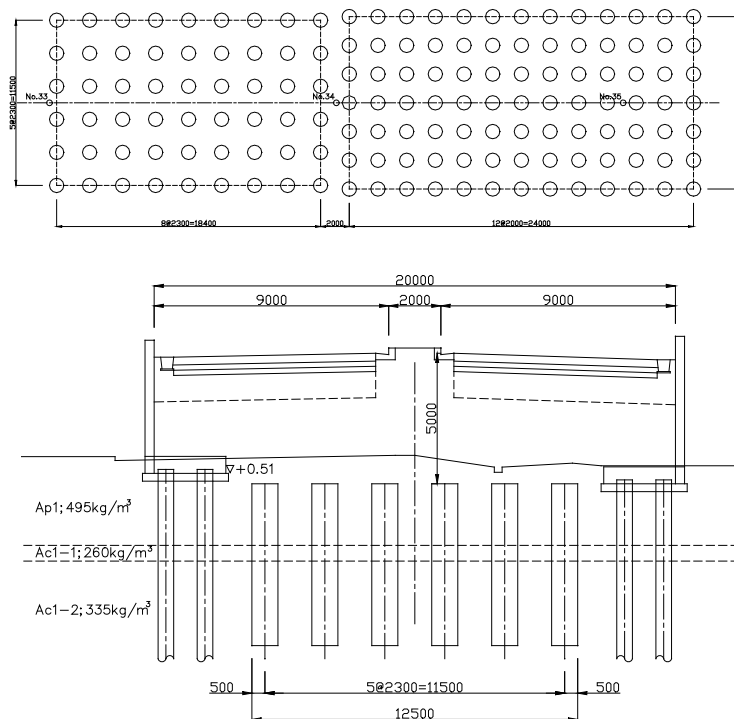
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 5cm

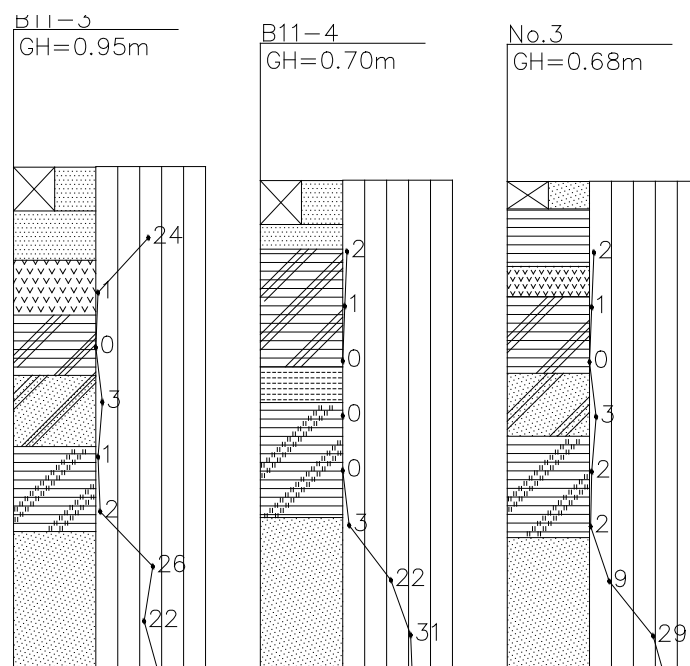
2) 工事概要

用 途	道路改良	打 設 長	6.6～7.8m
改良体直径	$\phi 1000\text{mm}$	改 良 率	14.8% ($\square 2.3\text{m} \times 2.3\text{m}$)
改良目的	盛土の沈下低減 盛土の安定対策	改 良 材	高炉セメントB種
施工期間	H12.1～H12.2	改良材混合量	①260②495③335 kg/m^3
改良土量	726 m^3	設計基準強度	755 kN/m^2
本 数	145 本	設計 q_{uf}/q_{ul}	1/3
補助工法	なし		

3) 平面図および標準断面図



4) 土質柱状図



5) 施工状況



5.3 事例C

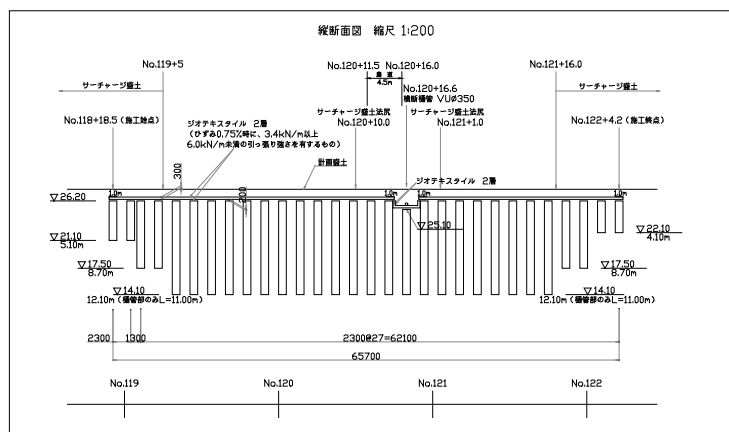
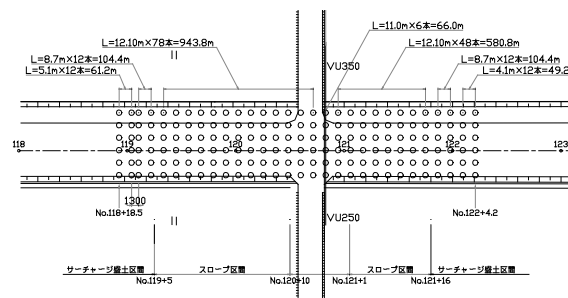
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 5cm

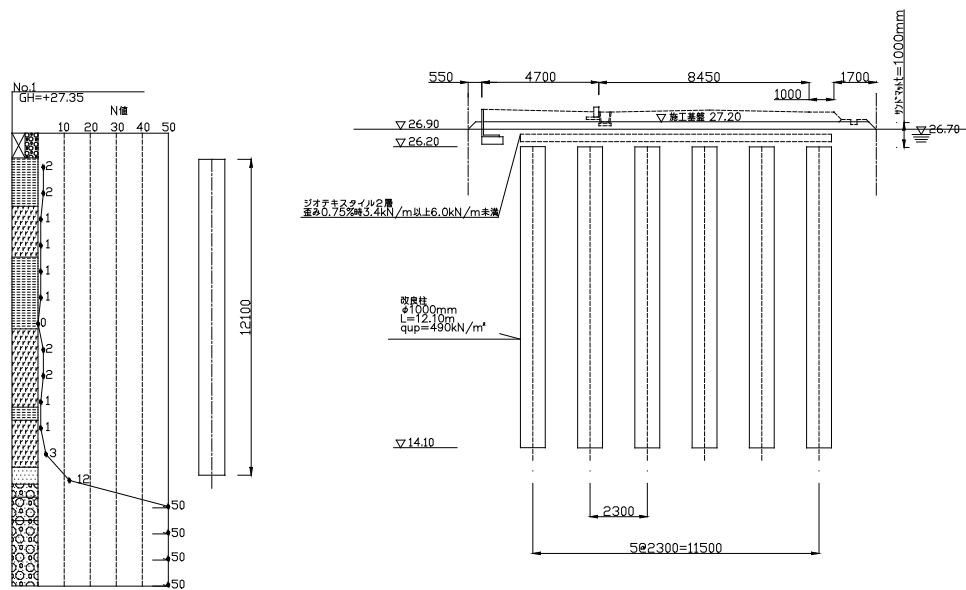
2) 工事概要

用 途	道路改良	打 設 長	6.3～13.2m
改良体直径	$\phi 1000\text{mm}$	改 良 率	14.8% ($\square 2.3\text{m} \times 2.3\text{m}$)
改良目的	盛土の沈下低減	改 良 材	高炉セメントB種
施工期間	H12.10～H12.11	改良材混合量	①425②430 kg/m^3
改良土量	1,338 m^3	設計基準強度	490 kN/m^2
本 数	180本	設計 q_{uf}/q_{ul}	1/4
補助工法	ジオテキスタイル2層 歪み0.75%時 3.4 kN/m 以上6.0 kN/m 未満		

3) 平面図および標準断面図



4) 土質柱状図および標準断面図



5) 施工状況



地震後の現地状況写真

5.4 事例D

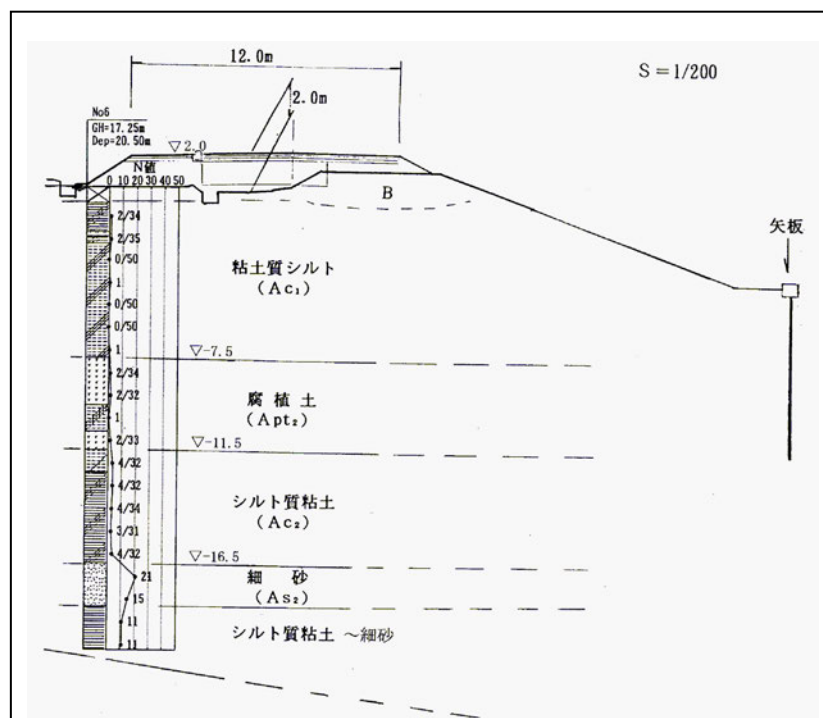
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 5cm

2) 工事概要

用 途	道路改良	打 設 長	17.0m
改良体直径	$\phi 1000\text{mm}$	改 良 率	19.6% ($\square 2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$)
改良目的	盛土の沈下低減	改 良 材	高炉セメントB種
補助工法	ジオテキスタイル1層 歪み0.75%時 3.4kN/m以上6.0kN/m未満	設計基準強度	370~400kN/m ²

3) 平面図および標準断面図



5.5 事例E

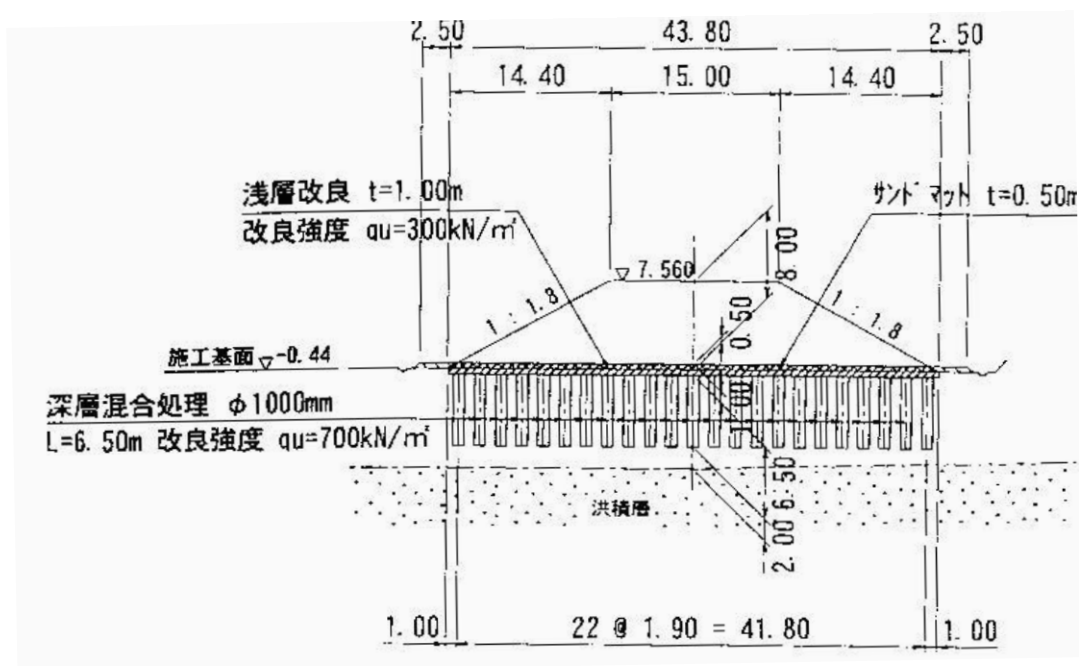
1) 設計内容

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 5cm

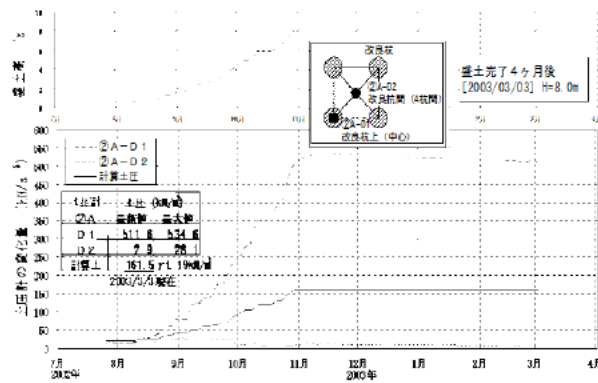
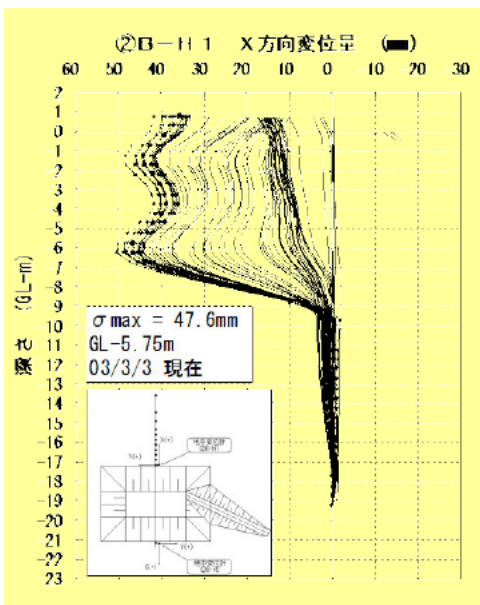
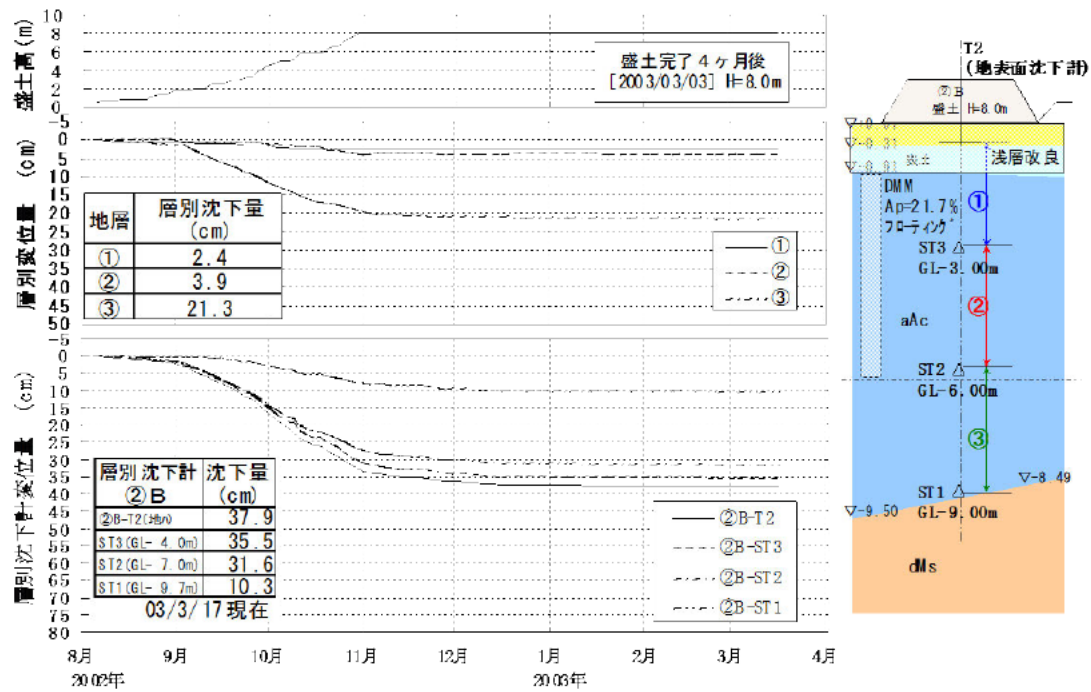
2) 工事概要

用 途	道路新設	打 設 長	6.5m
改良体直径	$\phi 1000\text{mm}$	改 良 率	21.7% ($\square 1.9\text{m} \times 1.9\text{m}$)
改良目的	盛土の沈下低減 盛土の安定対策	設計基準強度	0.7MN/m^2
施工期間	H12	設計 q_{uf}/q_{ul}	1/3
補助工法	浅層改良厚 $t=1.0\text{m}$, $q_u=0.3\text{MN/m}^2$		

3) 平面図および標準断面図



4) 計測結果



5.6 事例F

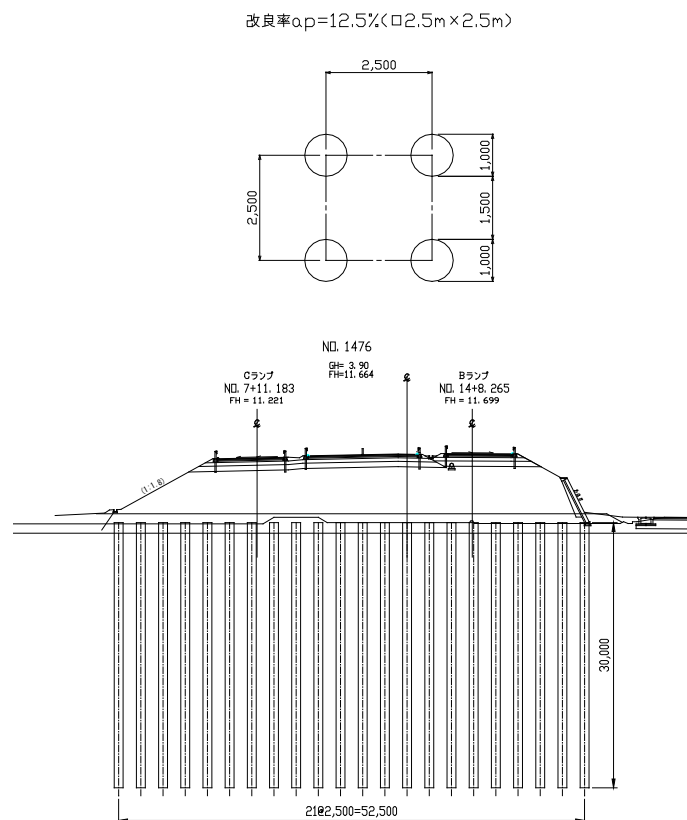
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 5cm

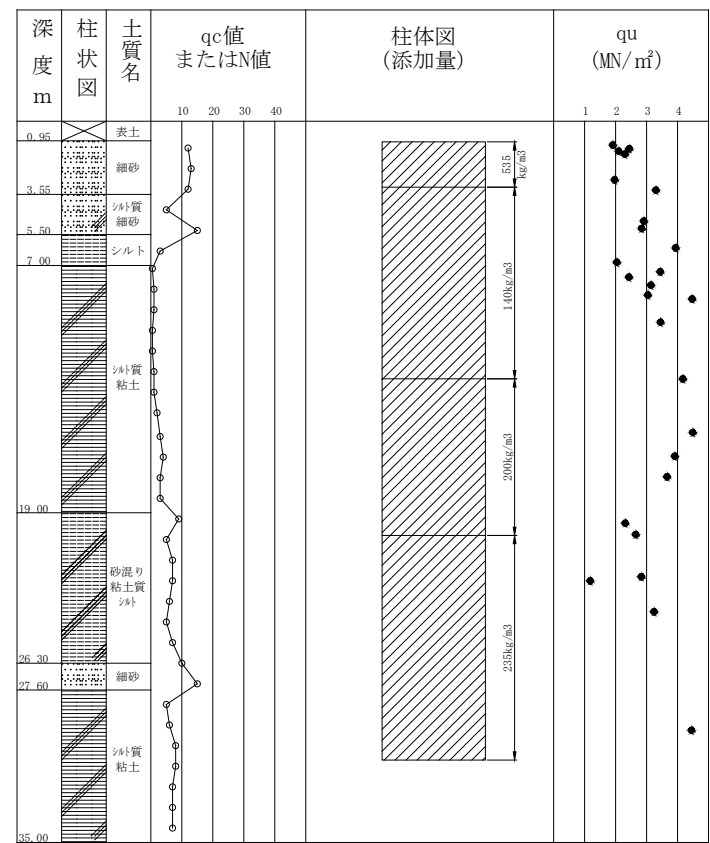
2) 工事概要

用途	道路新設	打設長	3.0～31.0m
改良体直径	$\phi 1000$	改良率	12.5% ($\square 2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$)
改良目的	盛土の沈下対策	改良材	高炉セメントB種
施工期間	H16.6～H16.11	改良材混合量	100～535 kg/m^3
改良土量	42,971.6 m^3	設計基準強度	670～1050 kN/m^2
本数	2,458本	設計 q_{uf}/q_{ul}	1/3
補助工法	なし		

3) 杭配置図および標準断面図



4) 土質調査結果



5) 施工状況



5.7 事例G

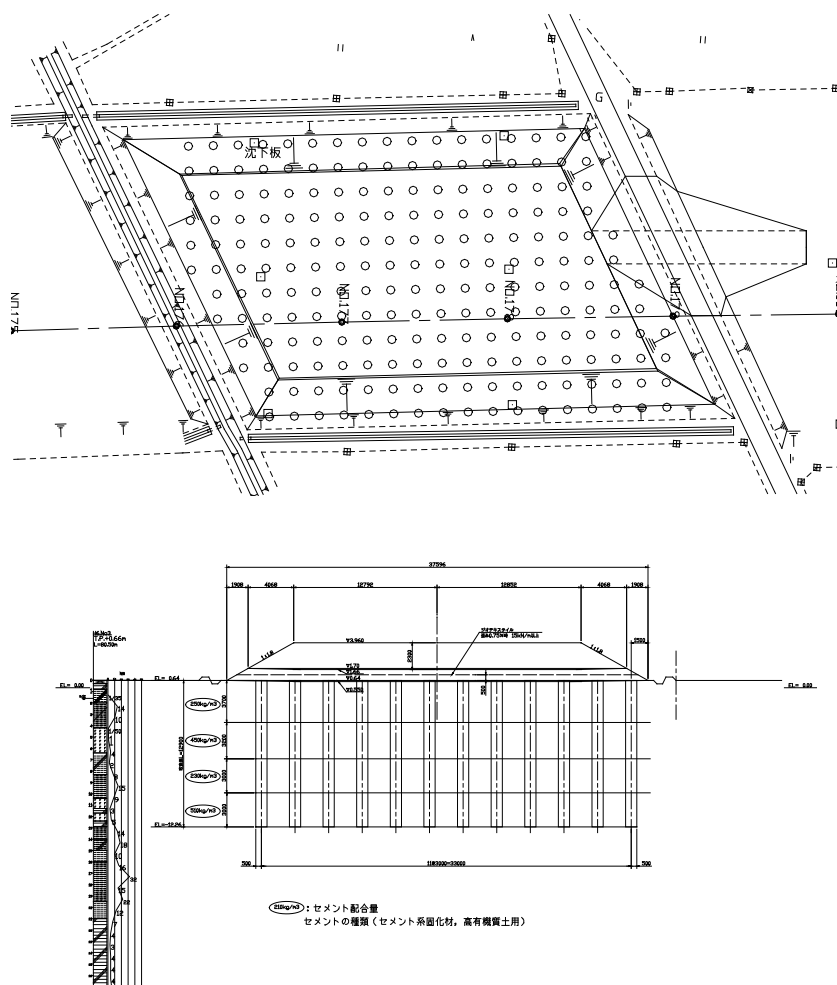
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後3年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 5cm

2) 工事概要

用 途	道路新設	打 設 長	10.9～13.9m
改良体直径	$\phi 1000\text{mm}$	改 良 率	8.7% (□3.0m×3.0m)
改良目的	盛土の沈下低減	改 良 材	高有機質土用固化材
施工期間	H15.7～H15.8	改良材混合量	①250②450③230④510 kg/m ³
改良土量	2,064 m ³	設計基準強度	790kN/m ²
本 数	210 本	設計 q_{uf}/q_{ul}	①③=1/5, ②④=1/3
補助工法	ジオテキスタイル 歪み0.75%時 15kN/m 以上		

3) 平面図および標準断面図



4) 施工状況



5.8 事例H

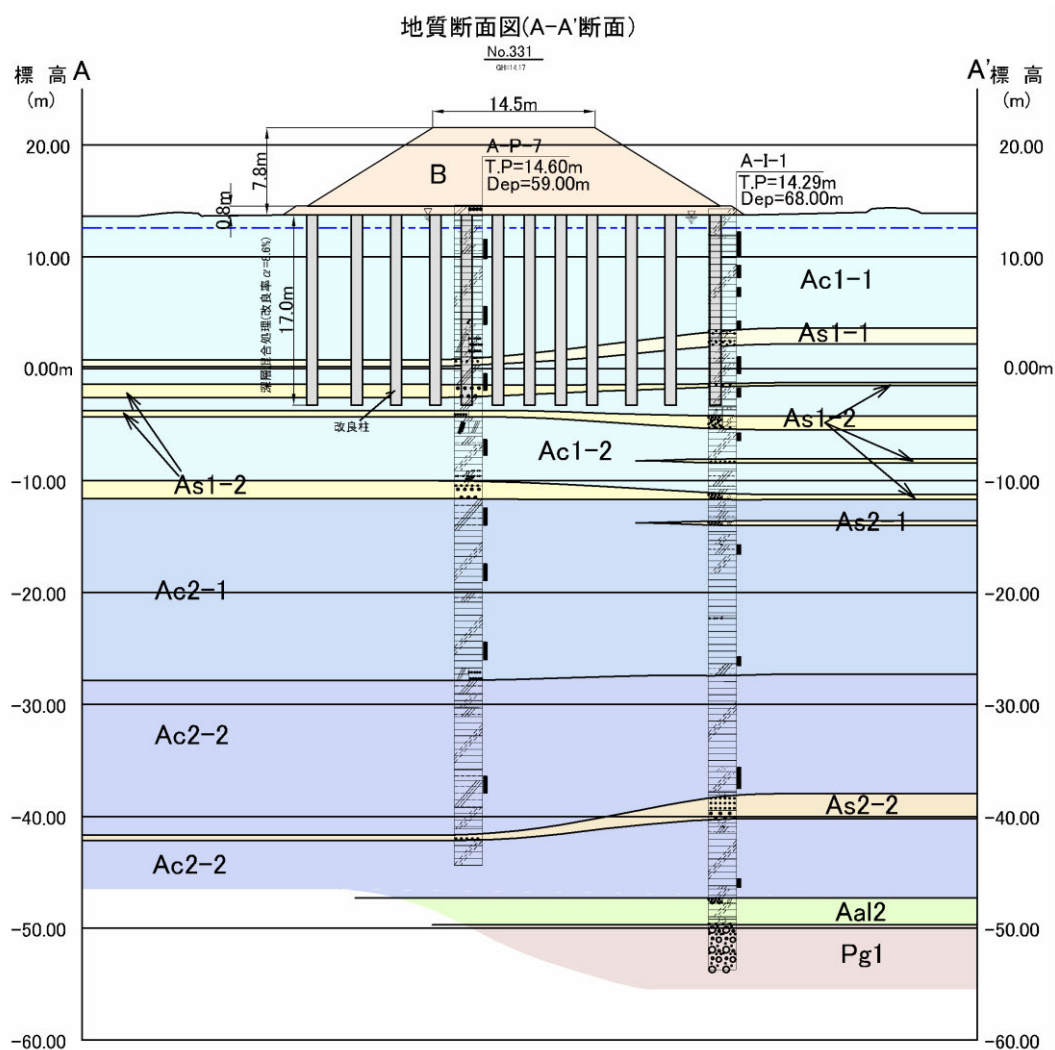
1) 設計の考え方

- ・ 設計許容値:すべり破壊の安全率 $F_s \geq 1.2$
- ・ 供用沈下量(供用後 3 年間の沈下量) $S \leq 10\text{cm}$
- ・ 改良体と無処理部分との不同沈下量 **5cm**

2) 工事概要

用途	道路新設	打設長	17.0m
改良体直径	φ 1000	改良率	7.1% (□2.8m×3.5m) 8.6% (□2.8m×2.8m)
改良目的	盛土の沈下対策	改良材	高炉セメント B 種
施工期間	H16.6～H16.11	改良材混合量	260～290kg/m ³
施工場所		設計基準強度	1100～1320kN/m ²
改良土量	13,218m ³	設計 q _{uf} /q _{ul}	1/3
本数	990 本	補助工法	なし

3) 杭配置図および標準断面図



4) 施工状況



盛土材敷きだし後（敷きだし厚：約35cm）



転圧前の盛土材（最大粒径15～20cm）



転圧前の盛土材（最大粒径5～10cm）



転圧後の盛土材（転圧回数：3回）



転圧後の盛土材（転圧回数：5回）



転圧後の盛土材（転圧回数：8回）



転圧後の盛土材（転圧回数：12回）

写真 4.1.1 盛土材（木成工区：泥岩）転圧回数による材料の状況写真

5.9 事例I

1) 設計の考え方

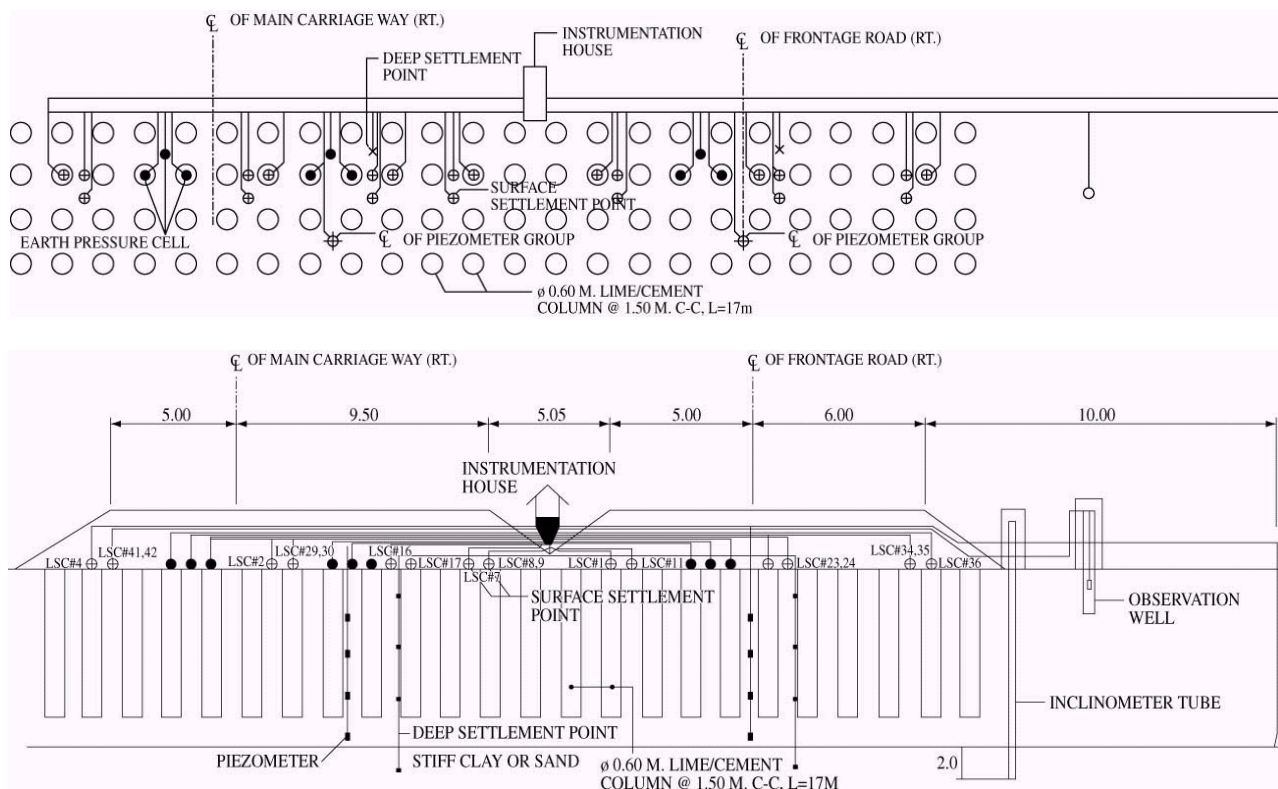
バンコク南部の高速道路の拡幅工事において、浮き型の低改良率セメントコラム工法が適用された。

改良体と無処理部分との許容不同沈下量 2cm

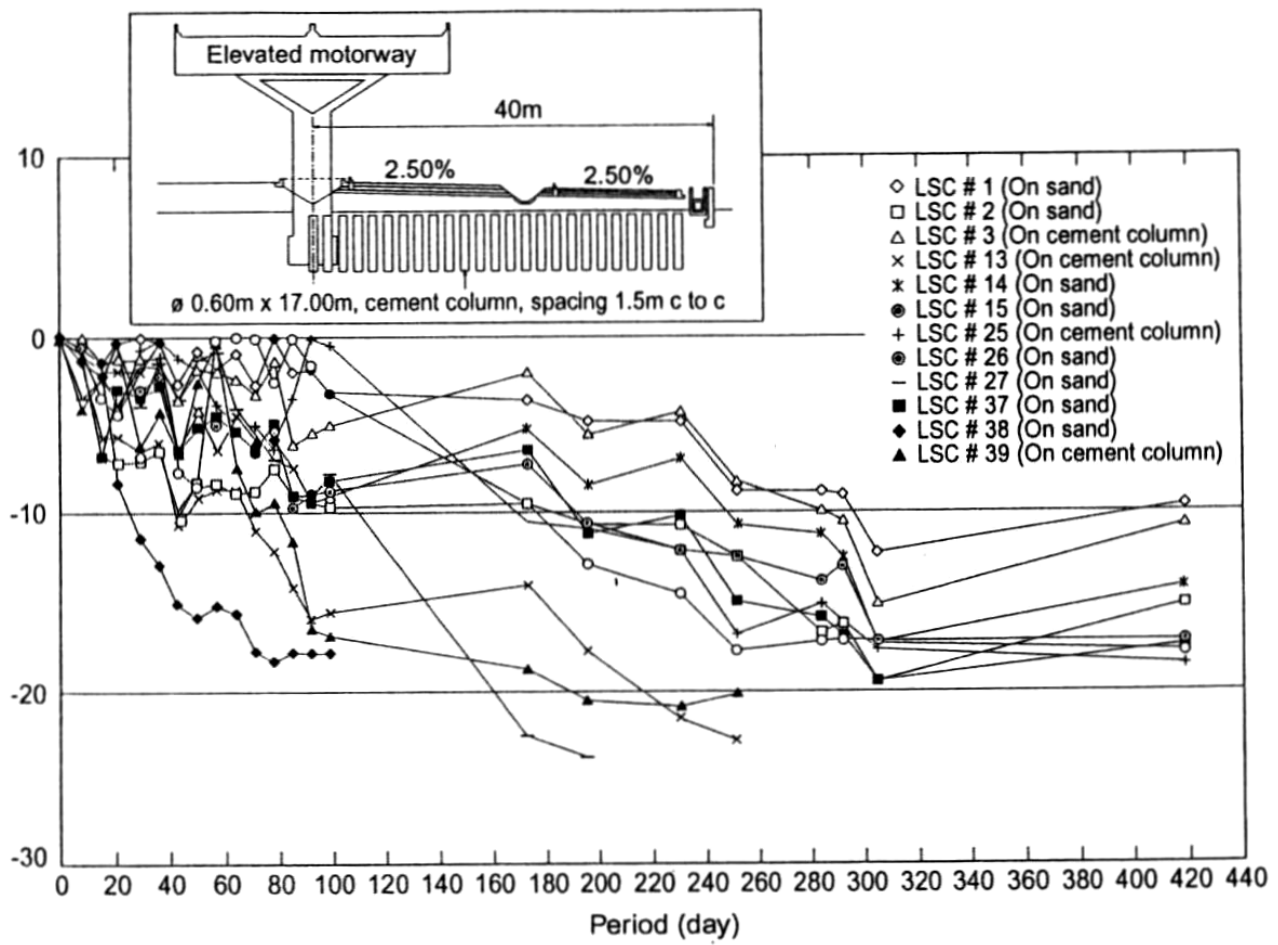
2) 工事概要

用 途	道路拡幅	打 設 長	10-15m
改良体直径	φ 600mm	改 良 率	12.6% (□1.5m×1.5m)
改良目的	盛土の沈下低減 盛土の安定対策	改 良 材	普通ポルトランドセメント
施工期間	1997-1999	設計基準強度	0.3MN/m ²
補助工法	なし		

3) 平面図および標準断面図



4) 沈下量計測結果



5) 施工状況



<参考文献等>

- 1) 三木博史・山田哲也・芳賀 直(1997)：深層混合処理工法の改良率と応力分担比に関する実験的考察，第 32 回地盤工学研究発表会，pp. 2401-2402.
- 2) 大野真希・三木博史・恒岡伸幸・古本一司(2002)：表層安定処理を併用したフローティング式深層混合処理工法に関する実験的検討，土木技術資料，pp. 44-5.
- 3) 三木博史・野津光夫・竹内秀克(2000)：低改良率深層混合処理工法の設計概念と実現場挙動への適用，第 35 回地盤工学研究発表会，pp. 1399-1400.
- 4) 有明海沿岸道路 軟弱地盤対策 技術基準（案） H15.3 土木研究センター
- 5) セメント系固化剤による地盤改良マニュアル 第3版 2003年9月 社）セメント協会
- 6) ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル改訂版 平成12年2月 財団法人土木研究センター
- 7) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成14年3月 社）日本道路協会
- 8) 陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版 平成16年3月 財団法人土木研究センター
- 9) 軟弱地盤技術指針（案） 昭和59年1月 住宅・都市整備公団
- 10) 日本道路公団 土工施工管理要領 1989
- 11) 軟弱地盤対策工の設計・施工に関する検討 平成16年2月 財団法人高速道路技術センター
- 12) 上越三和道路 軟弱地盤対策検討その2業務委託報告書 平成16年2月
- 13) 井上靖武・三木博史・落合英俊・増田博行：浮き型低改良率改良体(F-低改良率セメントコラム)工法の道路盛土での改良効果，第48回地盤工学シンポジウム，pp. 177-184，2003. 11.
- 14) 三木博史(1999)：タイにおける軟弱地盤対策に関する研究協力，土木技術資料 41-10，pp. 40-45.
- 15) 三木博史・川井田実・中谷了・野津光夫・阪上最一・井上雅裕(2003)：タイ国における軟弱地盤対策に関する研究協力プロジェクト，pp. 17-19，土と基礎.
- 16) ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル（旧版） 1994 財団法人土木研究センター
- 17) 設計要領（道路編）平成15年4月 北陸地方建設局建設技術協会
- 18) 土質工学ハンドブック 1982 土質工学会：盛土の調査・設計から施工まで 地盤工学会
- 19) 「改良体の造成方法」特許出願番号2004-115608 出願日 平成16年4月9日