

Arch action Low improvement ratio Cement Column

ALiCC工法 マニュアル - 第3版 -

低改良率セメントコラム工法

ALiCC 工法研究会

ALiCC工法マニュアル-第3版- 低改良率セメントコラム工法発刊によせて

ALiCC工法は、地盤改良の低改良率化を効率的・効果的に設計するために開発された工法であり、これまで数多くの実績を重ねています。ALiCC工法研究会では、平成18年（2006年）に「地盤改良のためのALiCC工法マニュアル」（独立行政法人土木研究所編）を出版しました。その後、平成27年（2015年）には、その後の知見や技術的な改良点を反映した「ALiCC工法マニュアル」（国立研究開発法人土木研究所監修、ALiCC工法研究会編）を出版し、現在までに9年を経ています。

このたび、現状の内容に盛土内に発生するアーチ効果をより詳細に考慮する方法を追加し、当研究会技術企画委員会の審議を経て、その成果を第3版として出版することとしました。

今後、本マニュアルが、軟弱地盤対策の設計・現場においてさらに活用され、関連技術の向上に寄与することを期待いたします。

令和6年10月

ALiCC 工法研究会
会長 柳浦 良行

ALiCC工法マニュアル-第3版-
低改良率セメントコラム工法 編集委員会

委員長	伊藤 竹史	株式会社不動テトラ
委員	朝妻 涼	株式会社不動テトラ
	小船井 博紀	株式会社キタック
	近藤 益央	国立研究開発法人土木研究所
	竹内 秀克	株式会社不動テトラ
	間渕 利明	国立研究開発法人土木研究所
	山本 裕司	基礎地盤コンサルタンツ株式会社
	山田 惣一郎	株式会社キタック
事務局	山田 和彦	ALiCC 工法研究会事務局

目 次

ALiCC工法マニュアル-第3版-発刊によせて	3
ALiCC工法マニュアル-第3版-編集委員会	5
 第1章 総 説	11
1-1 適用範囲	11
(1) マニュアルの適用	11
(2) マニュアルの構成	11
(3) 関係する法令、基準、指針等	12
(4) 特許等	12
1-2 用語の定義	13
1-3 記号の定義	15
 第2章 軟弱地盤対策の基本方針	17
2-1 ALiCC工法の目的	17
2-2 ALiCC工法の基本	17
(1) ALiCC工法の概要	17
(2) ALiCC工法の特徴	19
(3) ALiCC工法の適用性と選定	20
(4) ALiCC工法の各段階での留意事項	23
 第3章 調 査	25
(1) 地盤調査	25
(2) 盛土材料試験	25
(3) 室内配合試験	25

第4章 盛土の設計に関する一般事項	27
第5章 ALiCC 工法の設計	27
5-1 盛土設計の基本的な考え方	29
(1) 設計の基本	29
(2) 設計にあたっての留意事項	30
5-2 設計の手順	31
(1) 改良仕様の仮定	31
(2) 地盤の安定照査	31
(3) 地盤の沈下、改良体強度の照査 (図 5.3 参照)	32
(4) 周辺地盤の変形、地震時の作用に対する安定性照査	34
(5) 補助工法の併用	34
5-3 沈下量及び改良体応力の照査	35
(1) 着底型の場合	35
(2) 浮き型の場合	41
(3) 塑性角の大きさ	42
(4) 補助工法の適用	43
5-4 ジオテキスタイルを併用する場合の設計	44
(1) 無改良部分の沈下量の算定	44
(2) ジオテキスタイルの検討	44
5-5 浅層改良を併用する場合の設計	45
(1) 沈下量の算定	45
(2) 浅層改良層の押し抜きせん断応力と曲げ応力照査	46
5-6 標準的な仕様	47

第6章 施工及び施工管理	49
6-1 施工及び施工管理の考え方	49
6-2 ALiCC工法の施工上における留意事項	49
(1) 改良体強度の留意事項	49
(2) 浅層改良工法の留意事項	49
(3) 支持層が傾斜している地盤での留意事項	50
(4) ジオテキスタイル敷設時の留意点 ⁶⁾	50
(5) 地盤条件が設計時と異なった場合の留意点	50
6-3 施工管理及び品質管理	51
6-4 動態観測	51
(1) 盛土施工時における動態観測	51
(2) 試験施工時における動態観測	51
第7章 維持管理	55
7-1 維持管理の基本	55
(1) 維持管理の目的と留意事項	55
7-2 点検	56
(1) 点検体系及び点検項目	56
(2) 変状例と対策までの流れ	59
(3) 変状状況の把握	62
7-3 補修・復旧	65
(1) 補修・復旧	65
(2) 応急対策	66
(3) 恒久対策	66
7-4 記録	68

付 録	69
V_{soil} の算定結果比較	71
V_{soil} 詳細法 分割面積計算例	72
設計例	115
施工事例	139
参考文献	149

第1章 総 説

1-1 適用範囲

ALiCC 工法マニュアル-第3版-（以下、本マニュアル）は、ALiCC 工法（低改良率セメントコラム工法）の調査、設計、施工及び維持管理に適用する。

（1）マニュアルの適用

本マニュアルは、ALiCC 工法を用いて軟弱地盤上に主として盛土等の土工構造物を構築する際の、軟弱地盤の調査、ALiCC 工法の適用性の可否判断、適用が可能と判断された場合の設計・施工及び維持管理に関する基本的な考え方と手法、留意事項について示したものである。

本マニュアルの適用範囲は、以下のとおりとする。

- ①改良体直径は、 $d=0.6\sim1.3\text{m}$ とする（ $1.3\sim1.8\text{m}$ は試験施工等で検討）。
- ②改良体間隔は、 $\lambda=1.0\sim2.5\text{m}$ とする（ $2.5\sim3.25\text{m}$ は試験施工等で検討）。
- ③改良体の設計基準強度は、適用する深層混合処理工法の標準的な強度の範囲内とする。

この範囲は、現場及び実験等における実績に基づいて設定したものである。

この範囲以外で施工する場合には、試験施工等を行い、設計の確認、対策工の効果の確認、不確実性の事象の確認等の検討を実施しなければならない。ただし、近傍で上記の範囲内で工事実績がある場合は試験施工を省略することもできる。

本マニュアルの適用にあたっては、「道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）」（日本道路協会）¹⁾、「道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）」（日本道路協会）²⁾ 等に準拠する。

（2）マニュアルの構成

本マニュアルの構成を以下に示す。

第1章 総説

本マニュアルの適用範囲や、本マニュアルで扱う用語の定義について示した。

第2章 軟弱地盤対策の基本方針

ALiCC 工法を用いた軟弱地盤対策の基本的な考え方について示した。

第3章 調査

ALiCC 工法を用いた場合の調査の進め方について示した。

第4章 盛土の設計に関する一般事項

軟弱地盤対策工が施された地盤上に盛土を構築するにあたって、要求される性能及び性能照査に関する基本的な考え方を示した。

第5章 ALiCC 工法の設計

ALiCC 工法の設計方法について示した。

第6章 施工及び施工管理

軟弱地盤上の土工構造物及び軟弱地盤対策工の施工と施工管理の基本的な考え方、沈下管理や安定管理等の軟弱地盤での情報化施工方法を示した。

第7章 維持管理

軟弱地盤上に構築した土工構造物の供用後の維持管理方法とその留意点について示した。

(3) 関係する法令、基準、指針等

軟弱地盤の調査、軟弱地盤対策の検討、ALiCC 工法の設計・施工及び維持管理にあたっては、「道路土工要綱 基本編 第1章 総説」に揚げられた関連する法令等を遵守する必要がある。また、本マニュアル及び、以下の基準・指針類に準拠して行うものである。

- ・「道路土工 盛土工指針（平成22年度版）」平成22年、日本道路協会¹⁾
- ・「道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成24年度版）」平成24年、日本道路協会²⁾
- ・「道路構造令の解説と運用」令和3年、日本道路協会³⁾
- ・「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」平成29年、日本道路協会⁴⁾
- ・「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」平成29年、日本道路協会⁵⁾
- ・「舗装の構造に関する技術基準・同解説」平成13年、日本道路協会⁶⁾
- ・「地盤調査の方法と解説」平成25年、地盤工学会⁷⁾
- ・「地盤材料試験の方法と解説（第一回改訂版）」令和2年、地盤工学会⁸⁾
- ・「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（第二回改訂版）」平成25年、土木研究センター⁹⁾
- ・「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（増補版）」令和4年、土木研究センター¹⁰⁾

これらの法令・基準・指針等が改訂され、参照する事項について変更がある場合は、新旧の内容を十分に比較した上で適切に準拠するものとする。

(4) 特許等

ALiCC 工法は、平成16年に特許出願し、平成17年に第3742417号が設定され、本工法を開発した4者（国立研究開発法人土木研究所、基礎地盤コンサルタンツ株式会社、株式会社キタック、株式会社不動テトラ）で共有していた。令和5年により詳細な盛土体積の算出方法について新特許として特許第7336049号が設定登録され、上記から3者（基礎地盤コンサルタンツ株式会社、株式会社キタック、株式会社不動テトラ）で共有している。

新特許は、ALiCC 工法の設計に関するものであるが、特許権の実施については、「本技術を用いて設計された改良柱体を施工すること」と定義しており、特許使用料が発生するのは、本特許を用いた地盤改良工事が、施工された際である。また、施工にあたっては特許実施権が必要になる。

1-2 用語の定義

本マニュアルで用いる用語の意味は、次のとおりとする。

- (1) **盛土**
基礎地盤から盛土天端（道路の場合は路床面）までの土を盛り立てた部分。
- (2) **軟弱地盤**
盛土の基礎地盤として十分な支持力を有しない地盤で、その上に盛土等の土工構造物を構築すると、すべり破壊、土工構造物の沈下、周辺地盤の変形、あるいは地震時に液状化が生じる可能性のある地盤。
- (3) **基礎地盤**
盛土等の土工構造物の荷重を支持する地盤の部分进行。
- (4) **支持層**
有害な沈下・変形が発生しない層。
- (5) **すべり破壊**
盛土や基礎地盤がせん断抵抗を上回るせん断応力を受けることで、すべり面に沿ってせん断破壊する現象。
- (6) **沈下**
盛土の荷重により土工構造物や基礎地盤に生じる鉛直変位。
- (7) **残留沈下**
沈下のうち工事完了後または供用開始後に生じるもの。
- (8) **周辺地盤の変形**
盛土の荷重により周辺地盤に生じる水平及び鉛直方向の変位。
- (9) **安定及び安定性**
盛土及び基礎地盤にすべり等の大変形を生じないことを安定という。また、これに加えて、過大な沈下や周辺地盤の変形が生じないことを安定性という。
- (10) **圧密**
透水性の低い地盤が荷重を受け、内部の間隙水を長時間にわたり排水しながら、体積が減少していく現象。
- (11) **情報化施工**
施工中の現場計測によって得られる情報を、迅速かつ系統的に処理、分析しながら、次の段階の設計・施工に利用する施工管理システムのことで、観測施工ともいう。また、近年では、情報通信技術の利用により、各プロセスから得られる電子情報を活用して、高効率・高精度な施工を実現し、さらに施工で得られる電子情報を他のプロセスに活用することによって、建設生産プロセス全体における生産性の向上や、品質の確保を図ることを目的としたシステムのことをいうこともある。

(12) **軟弱地盤対策、軟弱地盤対策工**

軟弱地盤の支持力増加、有害な沈下・変形の抑制及び液状化の防止等を目的に実施される対策を軟弱地盤対策といい、軟弱地盤対策を実施するために行われる計画、調査、設計、施工及び維持管理の一連の行為を軟弱地盤対策工という。

(13) **改良体**

深層混合処理工法により構築された改良柱体。

(14) **着底型**

改良体を支持層に着底させる改良形式。

(15) **浮き型**

改良体を支持層に着底させない改良形式。

(16) **応力分担比**

改良体に作用する応力と改良体間に作用する応力との比。

(17) **改良率**

単位面積当りの改良体杭頭の面積の割合。

(18) **深層混合処理工法**

地盤改良を目的として地盤の深部を固結する方法（DJM 工法、CDM 工法等の機械攪拌式や高圧噴射攪拌工法が該当する）。

深層混合処理工法の改良深さについては明確に定義づけられてはいないが、一般に地表から数m以深のものを深層改良とすることが多い。

(19) **浅層改良工法**

軟弱な地盤の安定性確保のために地盤の浅層部分（一般的に地表面下 0.5 ～ 3.0m 程度）を対象とした地盤改良工法には現地攪拌処理と搬出混合処理に大別される。（現地攪拌方式には、バックホウ、トレンチャー、垂直方式等が、改良材にはスラリー状のもの、ならびに粉体状のものがある。搬出混合処理方式は、掘削によって搬出した表層土にプラント内でセメント等の固化材を加え攪拌・混合し、改良して埋め戻すものである。）

(20) **浅層改良層**

浅層改良工法によって構築された表層部。

(21) **ジオテキスタイル**

深層混合処理工法の改良体の上に敷設し、改良体と改良体間とに発生する不同沈下や不陸の抑制を図る材料。

(22) **塑性角**

改良体の間の無改良地盤が沈下する際、直上の盛土がその沈下に追従して沈下しようとするが、改良体の直上の盛土はほとんど沈下しないため、改良体間の無改良地盤直上にアーチ効果による（図 2.1 参照）荷重分散が発生する。本工法では、このアーチより下の部分が無改良体間に、他の部分が改良体に作用するとして設計を行う。塑性角とは、この盛土体のり面と地表面のなす角を指す。

(23) **改良体中心間隔**

隣り合う改良体の中心間距離。

1-3 記号の定義

本マニュアルで用いる記号は、次のとおりとする。

記号	定 義
a_p	改良率
d	改良体直径
λ	改良体中心間隔（長方形配列の場合は、長い方を指す）
λ'	対角方向の改良体間中心間隔
φ	盛土材のせん断抵抗角
θ	塑性角
θ'	浮き型の改良体底部の荷重分散角
V_{col}	改良体に作用する盛土の体積
$V_{col\text{ 浅}}$	改良体に作用する浅層改良層の体積
V_{soil}	改良体間に作用する盛土の体積
$V_{soil\text{ 浅}}$	改良体間に作用する浅層改良層の体積
q_u	一軸圧縮強さ
q_a	地盤の許容支持力
q_{uckc}	改良体の設計基準強度
q_{uckse}	浅層改良層の設計基準強度
C_u	改良前の無処理地盤の粘着力
τ_{se}	浅層改良層の押し抜きせん断応力
τ_a	浅層改良層の許容せん断応力度
E_{soil}	地盤の変形係数
E_{col}	改良体の変形係数
E_{eq}	複合地盤の変形係数
S_0	改良前の無処理の場合における沈下量
S	改良後の全沈下量
S_{0l}	浮き型の場合における無処理部分の沈下量
S_l	浮き型の場合における改良領域の沈下量
S_2	浮き型の場合における、改良領域下の無改良部分の沈下量
S_{col}	改良体の沈下量
S_{soil}	改良体間の沈下量
δ_s	改良体と改良体間との不同沈下量

記号	定 義
P	盛土荷重
P'	改良領域下の未改良域に作用する盛土荷重
P_{col}	改良体に作用する鉛直応力
P_{soil}	改良体間に作用する鉛直応力
q	交通荷重
B	改良領域の幅
Z'	改良領域下端から $H_l/3$ の位置から無改良域中心までの距離
L	改良体の長さ
H	軟弱地盤の層厚
H_l	浮き型の場合における改良領域の層厚
H_2	浮き型の場合における改良領域の下部の無処理部分の層厚
H_{se}	浅層改良層の厚さ
γ_e	盛土材の単位体積重量
γ_{se}	浅層改良層の単位体積重量
$\gamma_{se'}$	浅層改良層の水中単位体積重量
H_e	盛土高さ
H_{el}	改良体間モデルの土塊が地表面に出現しない場合の盛土高さ
H_{e2}	改良体間モデルの土塊が地表面で接円の場合の盛土高さ
e_0	圧密層の盛土前の初期間隙比
e_l	圧密層の盛土後の間隙比
m_v	体積圧縮係数
C_s	膨潤指数
C_c	圧縮指数
P_c	圧密降伏応力
σ_v'	圧密層の有効土被り圧

第2章 軟弱地盤対策の基本方針

2-1 ALiCC 工法の目的

ALiCC 工法は、軟弱地盤上に盛土を安全かつ経済的に構築するとともに、その盛土が供用開始後の長期間にわたり、盛土の安全かつ円滑な状態を確保するための機能を果たすことを基本的な目的とする。

2-2 ALiCC 工法の基本

ALiCC 工法の実施にあたっては、軟弱地盤の特性を踏まえて工法の適用性を判断し、計画、調査、設計、施工及び維持管理を適切に実施しなければならない。

(1) ALiCC 工法の概要

ALiCC 工法は、盛土材のアーチ効果（図 2.1）を考慮し、深層混合処理工法によるセメント系改良体を、従来よりも低い改良率で盛土直下に全面的に配置することによって、軟弱地盤の圧密沈下軽減を図る工法である。

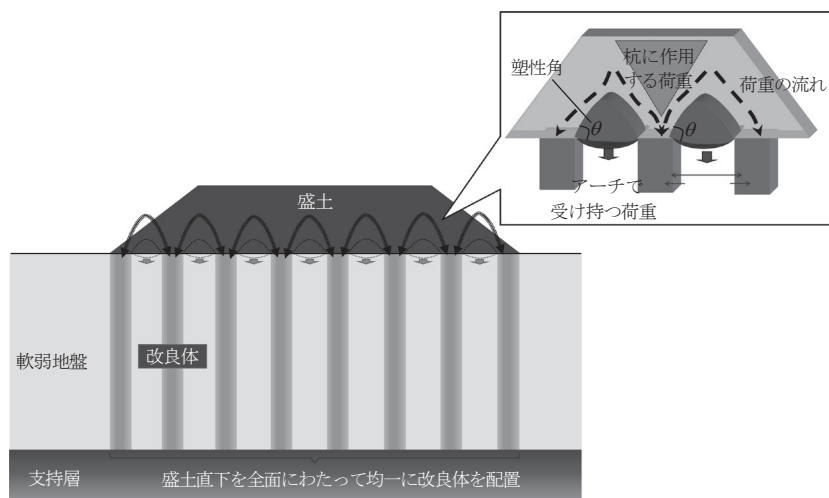


図 2.1 盛土材のアーチ効果

ALiCC 工法は、従来の設計方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。また、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、さらには、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。

改良形式には、盛土完成後から供用までの期間が短く、沈下量を抑制したい場合に適している、改良柱体を支持層に着底する「着底型」と、着底型に比べて沈下量は多くなるが、供用までに十分な期間がある場合や地盤改良コストを抑制したい場合に適している、改良柱体を支持層に着底させない「浮き型」の 2 つのタイプがある（図 2.2 参照）。また、改良体と改良体間の不同沈下が大きいと予想される場合等においては、図 2.3 に示すように浅層改良やジオテキスタイルと組み合わせることにより、不同沈下を抑制することができる。

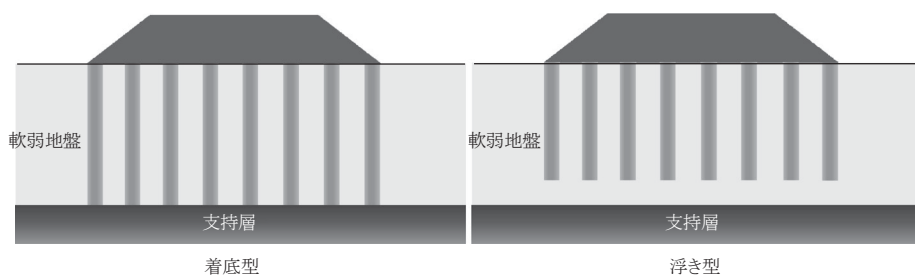


図 2.2 ALiCC 工法における 2 つの改良形式

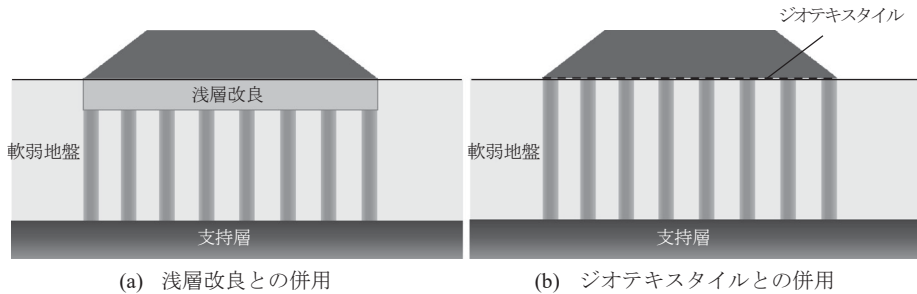
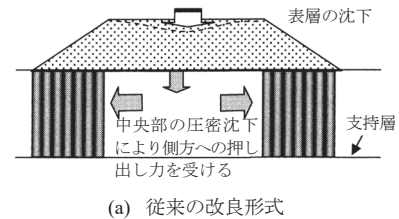


図 2.3 浅層改良またはジオテキスタイルの併用による不同沈下対策例

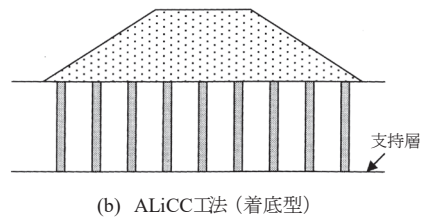
(2) ALiCC 工法の特徴

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 2.4(a)、表 2.1 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、「安定に最も効果的なのは、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。

周辺地盤の変形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、この改良形式では、盛土構築に伴って、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、のり面直下の改良体は外側に押され、周辺地盤の変形が起きる場合もあった。また、のり面直下の改良部分と盛土中央直下の改良体間との不同沈下によって段差が発生し、盛土内の亀裂発生等も無視できないケースもあった。



これに対して、ALiCC 工法では、図 2.4(b)、表 2.1 のように着底型では、従来設計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、結果として周辺地盤の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 ALiCC 工法の基本的な変形抑制メカニズムである。また、ALiCC 工法では、盛土荷重を均等に改良体で分担するので、図 2.4(c) のように、浮き型の場合でも、下部の無改良部分においては、圧密沈下が発生するが、盛土の全体的な安定は保たれる。



以上を踏まえ、ALiCC 工法の特徴をまとめると以下ようになる。

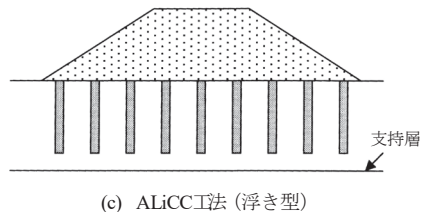


図 2.4 ALiCC工法と従来法

- ① プレロードによる圧密放置期間が不要である。
- ② 改良率が低くなり、工期・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等も図ることができる。

表 2.1 ALiCC 工法と従来工法の比較例

	従来工法	ALiCC 工法
概要		
対策内容	盛土中央部 ・サンドドレーンによる圧密沈下促進盛土のり面部 ・深層混合処理工法によるすべり防止 ・深層混合改良率 50% ・改良体設計基準強度 400kN/m ²	・盛土全体に低改良率で改良体を配置して沈下低減を図る ・深層混合改良率 15% ・改良体設計基準強度 1,300kN/m ²
工期 (5,000m ² 当り)	プレロードによる圧密期間が必要 203 日	プレロードによる圧密期間には必要なし 135 日
従来工法に対して約 33%の工期短縮		
コスト (5,000m ² 当り)	・深層混合処理工： 1,704 本 ・サンドドレーン工： 276 本 ・サーチャージ盛土： 10,260m ³	・深層混合処理工： 946 本
従来工法に対して約 23%のコスト縮減		
留意点	・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可能性がある ・排水用サンドマットが液状化層となって地震時のウィークポイントとなる可能性がある ・不同沈下により盛土内にクラックが発生する可能性がある	・盛土高さが低い場合には、押し抜きせん断破壊を起こす可能性がある ・押し抜きせん断破壊が懸念される場合にはジオテキスタイルや浅層改良を併用する

(3) ALiCC 工法の適用性と選定

ALiCC 工法は、「低改良率セメントコラム工法」であり、表 2.2 に示す軟弱地盤対策工の固結工法における深層混合処理工法に位置づけられる。ALiCC 工法の効果は表中の太枠で囲った部分である。

表 2.2 各対策工法の対策原理と効果 2) に修正加筆

原理	代表的な対策工法	効果													トラフィックビリティ確保
		沈下	安定		変形		液状化								
							液状化の発生を防止する対策							液状化の発生は許すが施設の被害を軽減する対策	
							砂地盤の性質改良			有効応力の増大	過剰間隙水圧の消散	せん断変形の抑制			
圧密沈下の促進による供用後の沈下量の低減	全沈下量の低減	圧密による強度増加	すべり抵抗の増加	すべり滑動力軽減	応力の遮断	応力の軽減	密度増大	固結	粒度の改良				飽和度の低下		
圧密・排水	表層排水工法														○
	サンドマット工法	○													○
	緩速載荷工法			○											
	盛土載荷重工法	○		○											
	パーチャルドレーン工法	サンドドレーン工法	○		○										
		プレファブリケイティッドパーチャルドレーン工法	○		○										
		真空圧密工法	○		○										
	地下水位低下工法	○		○							○	○			
締固め	振動締固め工法	サンドコンパクションパイル工法	○	○	○	○			○	○					
		振動棒工法		○*						○					
		バイプロフローテーション工法		○*						○					
		バイプロタンパー工法		○*						○					
		重錘落下締固め工法		○*						○					
	静的締固め工法	静的締固め砂杭工法	○	○	○	○			○	○					
		静的圧入締固め工法								○					
固結	表層混合処理工法		○		○			○		○					○
	深層混合処理工法	深層混合処理工法（機械攪拌工法）		○		○			○	○				○	○
		高圧噴射攪拌工法		○		○			○	○				○	○
		石灰パイル工法		○		○				○	○				
	薬液注入工法		○		○				○						
	凍結工法				○										
掘削置換	掘削置換工法		○		○			○		○					
間隙水圧消散		間隙水圧消散工法											○		
荷重軽減	軽量盛土工法	発泡スチロールブロック工法		○			○			○					
		気泡混合軽量土工法		○			○			○					
		発泡ビーズ混合軽量土工法		○			○			○					
	カルポート工法		○			○			○						
盛土の補強	盛土補強工法				○									○	
構造物による対策	押え盛土工法				○										○
	地中連続壁工法													○	
	矢板工法				○			○					○**		○
	杭工法		○		○			○							○
補強材の敷設	補強材の敷設工法				○										○

*) 砂地盤について有効

**) 排水機能付きの場合

表 2.3 を参考に現場条件を勘案して施工方法を決定する。

表 2.3 深層混合処理工法適用における留意事項

工 法		貫入深度 (m)	改良強度 (kN/m ²)	改良径 (mm)	留意事項				
					硬質地盤への 施工適用性	低変位施工 タイプの有無	狭隘地での 施工適用性	空頭制限下での 施工適用性	排泥量
機械攪拌式	スラリー	ALiCC 工法への適用可能※ ¹		○	有	△	△	中	
	粉 体			△	無	△	△	少	
高圧噴射 攪拌式	単 管		△※ ²	有	○	○	中		
	二重管		△※ ²	有	○	○	多		
	三重管		△※ ²	有	○	○	多		
複合攪拌式	機械＋高圧			○	有	△	△	多	

○：適 △：条件付適

※¹：詳細については適用する深層混合処理工法のマニュアル等を確認すること

※²：ロッドの貫入に際しての問題は少ないが、改良径の確保には留意が必要

図 2.5 に、軟弱地盤対策工における ALiCC 工法の効果（沈下・安定・変形）と経済性の概念図を示すが、ALiCC 工法は効果の割には安価であることが分かる。但し、ALiCC 工法が低改良率であるため、盛土の安定及び周辺地盤への変形に対して十分な検討が必要である。図 2.6 に軟弱地盤対策の選定フローを示す。

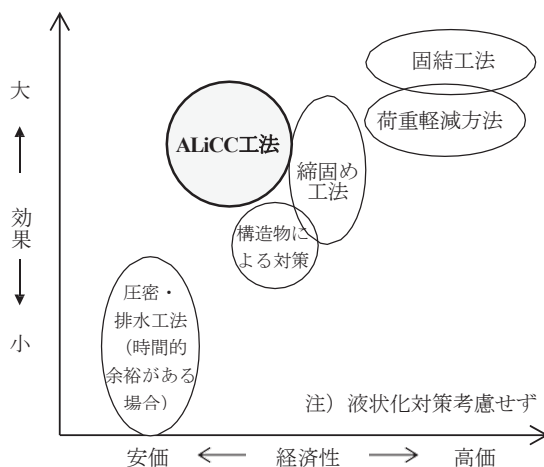


図 2.5 軟弱地盤対策工における ALiCC 工法の効果と経済性の概念図

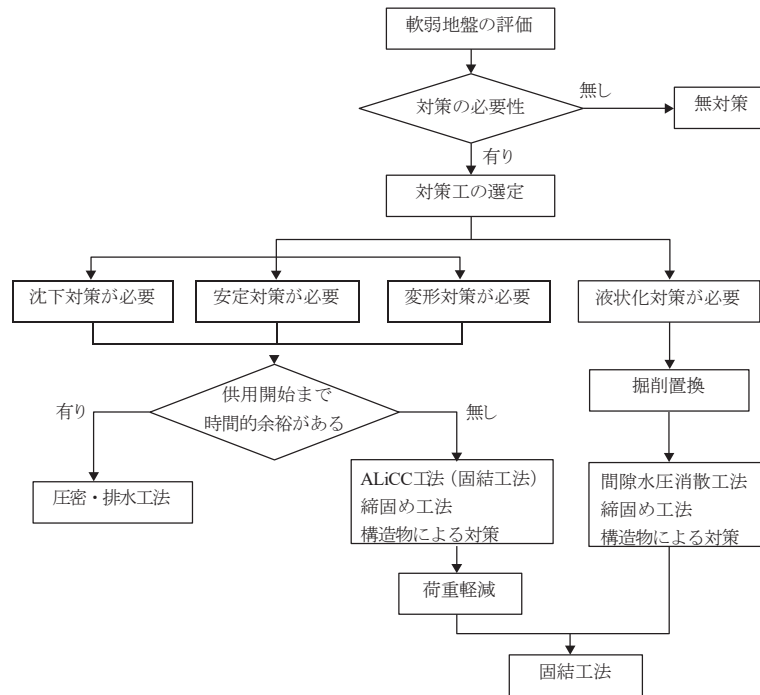


図 2.6 軟弱地盤対策工における ALiCC 工法の選定フロー

(4) ALiCC 工法の各段階での留意事項

ALiCC 工法に関連して、計画・調査から維持管理までの各段階における留意事項を示す。

(a) 計画・調査段階（概略設計及び予備設計）での留意事項

計画段階での軟弱地盤対策工法の選定は、工費や工期に極めて大きな影響を及ぼす。設計段階では構造物の構造形式や対策工法の種類がおおむね決まっているために、自由度は少なく工夫の余地もあまりない。したがって、計画段階で ALiCC 工法を候補とする場合には、施工段階での工期短縮、コスト縮減のみでなく、品質の確保、耐久性や維持管理の容易性及び維持管理段階を含めたトータルな経済性について総合的に検討する必要がある。

(b) 設計（詳細設計）段階での留意事項

軟弱地盤の性状は一般に複雑であることから、設計に必要な地盤情報を入手するため、十分な地盤調査を行う必要がある。

特に、軟弱地盤層厚が厚く、極めて軟弱な地盤上に盛土を構築する場合には、必要に応じて試験施工を行い、その結果をもとに逆解析等により設計のパラメータを推定し、ALiCC 工法の設計を行うことが望ましい。

設計に際しては、盛土等の属する地域の地形、地質、気象、その他の設計条件を満足するようにする。

設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。

(c) 施工段階での留意事項

- ① 軟弱地盤対策及び土工構造物の施工にあたっては、ALiCC 工法と盛土の品質を確保するために、軟弱地盤の性状を考慮して入念に施工計画を立案するとともに、できる限り情報化施工を実施し、工事の全期間を通じて必要な施工管理を行う。ALiCC工法は完了後に不備が判明した場合、再施工が困難である。そのため、盛土の性能を確保するには、施工期間中の品質管理や施工管理を確実に実施することが重要である。この場合、以下の点に留意する必要がある。

- ・設計図や仕様書の条件、特に工期と品質及び出来形に基づいて施工計画を立てる。
- ・設計で設定した改良強度を確保するため、改良対象層の試料土を採取して試験練りを行い、適切な使用セメント量を決定する。
- ・盛土構築においては代表的な場所を選定し、管理基準値を設定し、沈下及び安定の管理に必要な観測を行う。

観測結果から、管理基準値を上回る大きな変化が予測されたときは、基礎地盤の変形量が急速に増加し、破壊に至る危険性があるため、即時に施工計画を再検討し、必要に応じて応急対策を行うとともに、その後の工法等に必要な修正を加える。

- ② 軟弱地盤対策工では、施工時に発生する騒音や振動が生活環境へ与える影響のほか、周辺の諸施設に予想外の被害を与えることも多いので、周辺の地盤や構造物等の条件とその重要性に応じた確実で、しかも応急の変更措置がとれるような対策をしておく必要がある。

(d) 維持管理段階での留意事項

軟弱地盤上の盛土は、適正な維持管理を行わないと盛土機能へ障害が生じる可能性がある。このため、維持管理計画の立案の際に重点点検箇所として位置付けるとともに、地盤調査データや動態観測データの調査・設計・施工時の資料を整理し、活用することが大切である。

第3章 調 査

- (1) ALiCC 工法の設計にあたっては、基礎地盤の地盤構成を把握し、必要な地盤物性値を調査する。
- (2) ALiCC 工法のアーチ効果を適切に評価するために、盛土材料試験を実施する。
- (3) ALiCC 工法の施工にあたっては、使用する改良材を選定し、現場配合量を決定するための室内配合試験を実施する。

(1) 地盤調査

ALiCC 工法を適用する場合、まず基礎地盤の強度、圧密特性、軟弱層厚、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。特に、「泥炭と海成粘土からなる地盤」「支持層が傾斜している地盤」「地震時に液状化が予測される砂質土地盤」については、留意を要する。

調査の詳細については、「道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）」（日本道路協会）²⁾ 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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾ 等に準拠する。

(2) 盛土材料試験

近年、建設発生土をリサイクル材として使用する気運が高まっているなか、実際に用いる盛土の単位体積重量やせん断強度が、設計時と大きく異なる場合がある。したがって、可能な限り早い段階で盛土材料の搬入先を決定し（発注者と打ち合わせを行い）、盛土材料試験結果に基づいて ALiCC 工法の設計を実施することが望ましい。

ALiCC 工法は、改良体の頭部に形成されるアーチ効果を考慮した設計手法である。アーチの形状は、盛土材のせん断抵抗角 ϕ により形成されることから、せん断抵抗角 ϕ が大きく期待できる「砂質土」「砂」「礫」が ALiCC 工法に適する盛土材料といえる。

盛土材料の試験の詳細については、「道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）」（日本道路協会）²⁾、「道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）」（日本道路協会）¹⁾ 等に準拠する。

(3) 室内配合試験

ALiCC 工法を施工する場合、改良体の必要強度に応じた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地盤材料を用いて室内配合試験を行う。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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾等に準拠する。

第4章 盛土の設計に関する一般事項

盛土の設計においては、盛土の使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性を考慮して設計する。

「道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）」（日本道路協会）¹⁾ 等に示されている想定する作用に対して盛土の要求性能を設定し、それを満足することを照査する。要求性能に関しては、使用目的との整合性、構造物の安全性、供用性、修復性の観点から、道路土工各指針等に関連する基準類の規定等を満足するように、盛土の要求性能を設定することを基本とする。

第5章 ALiCC工法の設計

5-1 盛土設計の基本的な考え方

軟弱地盤上の盛土の設計にあたっては、想定する作用に対して軟弱地盤対策工を施工しない場合（無改良地盤）について安定性を照査する。照査の結果、盛土の安定性が満足できない場合、あるいは通常の施工に支障を生じるような場合には、ALiCC工法の適用を検討する。

（１）設計の基本

軟弱地盤上の盛土の設計にあたっては、図 5.1 に示すように軟弱地盤対策工を施工しない場合（無改良地盤）について、想定する作用に対する軟弱地盤上の盛土の安定性を照査する。照査すべき項目は、道路土工指針等に基づき以下のとおりである。

〔常時の作用に対する安定性照査〕

- ・ 沈下の照査：軟弱地盤上の盛土の施工時及び供用中における常時の作用に対し、予測される沈下量が許容変位以下であることを照査する。このとき、許容変位は盛土の機能への影響及び隣接する施設から決まる変位を考慮して定める。
- ・ 安定の照査：軟弱地盤上の盛土が施工時及び供用中における常時の作用に対し、すべりに対して安定であることを照査する。
- ・ 周辺地盤変形の照査：周辺地盤において想定される変形が許容変位等を超えないことを照査する。

〔地震時の作用に対する安定性照査〕

地震動レベルに応じて、すべり、滑動に対して安定であること、変位が許容変位以下であることを照査する。このとき、許容変位は、路面への影響、損傷した場合の盛土の修復性及び道路、河川等の付属施設や隣接する施設への影響を考慮して定めるものとする。

上記照査の結果、盛土の安定性が満足できない場合、あるいは通常の施工に支障を生じるような場合には、軟弱地盤対策工の適用を検討する。ALiCC 工法は、軟弱地盤上の盛土の安定性照査において、対策工が必要となった場合の沈下、安定、変形対策として、比較的安価な対策工法の 1 つとして位置づけられ、特に沈下対策として有効である。

本マニュアルで記載されている ALiCC 工法の設計は、軟弱地盤上の盛土の沈下対策である。そのため、本マニュアルで設計された ALiCC 工法を用いる盛土に対しては、別途、道

路土工指針等に基づき盛土の安定、変形、液状化に関する安定性照査を行う必要がある。

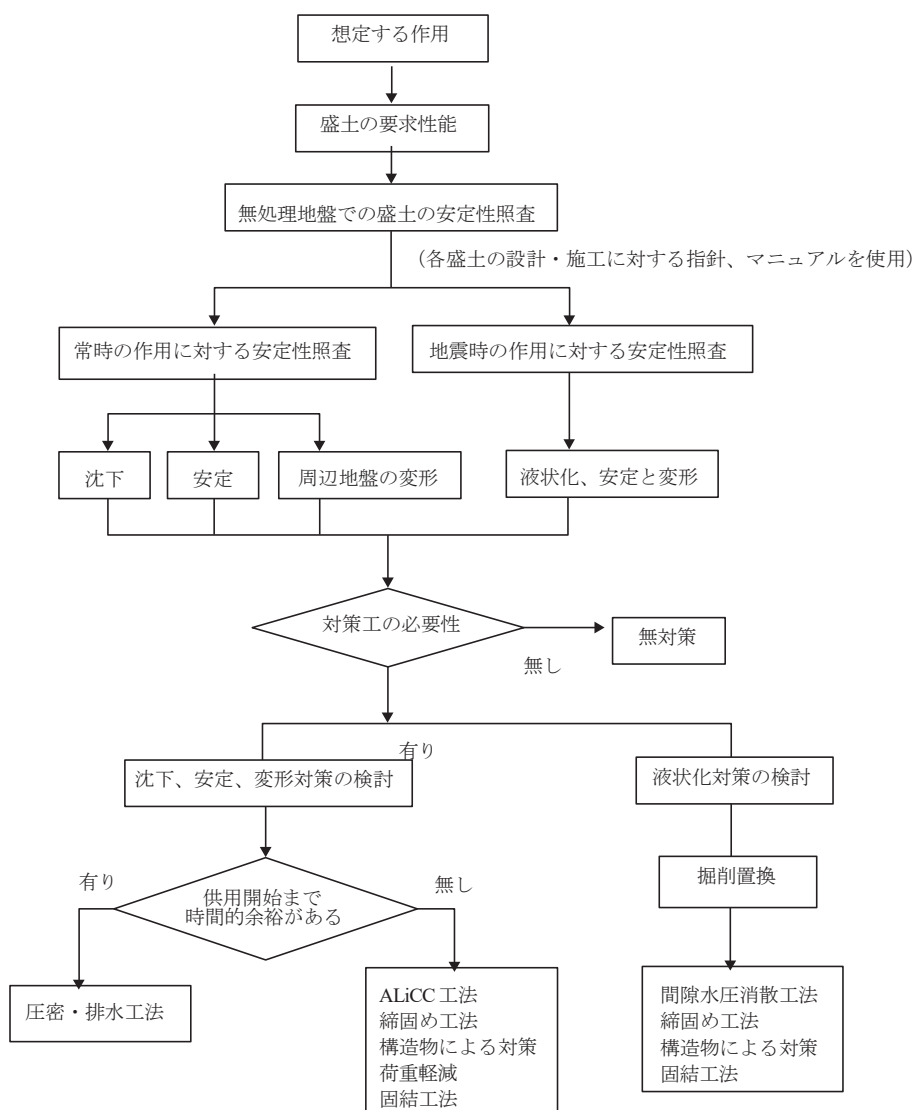


図 5.1 軟弱地盤上の盛土設計における ALiCC 工法の位置づけ

(2) 設計にあたっての留意事項

盛土設計にあたっては、地盤調査の結果をよく吟味したうえで、盛土及び地盤の挙動を適切に予測する必要がある。しかし、現実の軟弱地盤は層厚や土性が複雑に変化しており、これらをあらかじめ詳細に把握することは難しい。このため、盛土設計にあたっては、解析結果のみによって判断するのではなく、近隣の施工実績、類似構造・類似地盤における施工実績を踏まえ、総合的に判断する必要がある。

また、必要に応じて事前に試験施工を実施し、設計に用いる土質定数の検証・見直しや施工法の適用性の確認を行うことが重要である。さらに施工にあたって情報化施工を活用し、より正確な地盤挙動の把握に努め、必要に応じて設計、施工法の見直し等にフィードバックさせることが望ましい。軟弱地盤上の盛土の設計にあたっては、地盤調査結果を十分に活用するとともに、軟弱地盤上の盛土及び地盤挙動の予測に対する不確実性を考慮した設計を行うものとする。

5-2 設計の手順

盛土の安定性照査には、常時の作用に対する安定性照査（沈下、安定、変形）、地震時の作用に対する安定性照査（すべり、滑動、変形）を行う。本マニュアルで記載する ALiCC 工法の設計は、「盛土の沈下に関する安定性照査」である。そのため、別途、本マニュアルで設計された ALiCC 工法を用いた盛土に対しては、道路土工指針等に基づき「盛土の安定、変形、地震に関する安定性照査」を行う必要がある。施工時に使用される盛土材料が設計時点と異なる場合には、再度安定性照査を行う。

ALiCC 工法の設計は、図 5.2 に示す手順で行う。

（１）改良仕様の仮定

設計を始めるにあたって、下記の改良諸元について仮定する。これらの諸元は施工実績等を参考にして決定する。

- ・基本：改良体直径、改良体の間隔、改良体の長さ、改良体の強度
- ・浅層改良を併用する場合：浅層改良体強度、浅層改良体厚
- ・ジオテキスタイルを併用する場合：ジオテキスタイルの規格

（２）地盤の安定照査

道路土工指針等に基づいた円弧すべり法を用いて地盤の安定照査を行い、所要の安全率を確保するよう、改良率、改良体の長さ、改良体の強度を設定する。安定照査においては、改良する領域を、改良体と無改良部分との複合地盤（平均強度を用いる）とみなして照査する。また、必要に応じてジオテキスタイル、浅層改良等の併用を検討する。詳細は、「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（第二回改訂版）」（土木研究センター）⁹⁾ 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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾ 等を参考にする。

なお、支持層が傾斜している場合には、改良体に偏荷重が作用すること、改良体間の無改良土のすり抜け、改良体の倒れ等が懸念される。そのため、のり面下に安定対策部を設け滑動に対しても照査する。

(3) 地盤の沈下、改良体強度の照査 (図 5.3 参照)

(a) 全沈下量

着底型の場合、改良する領域を複合地盤とみな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、改良体の長さ、改良体の強度を設定する。

浮き型の場合、改良する領域は複合地盤として、下部の無改良部分は盛土荷重を改良体下方に分散させて沈下量を計算する。

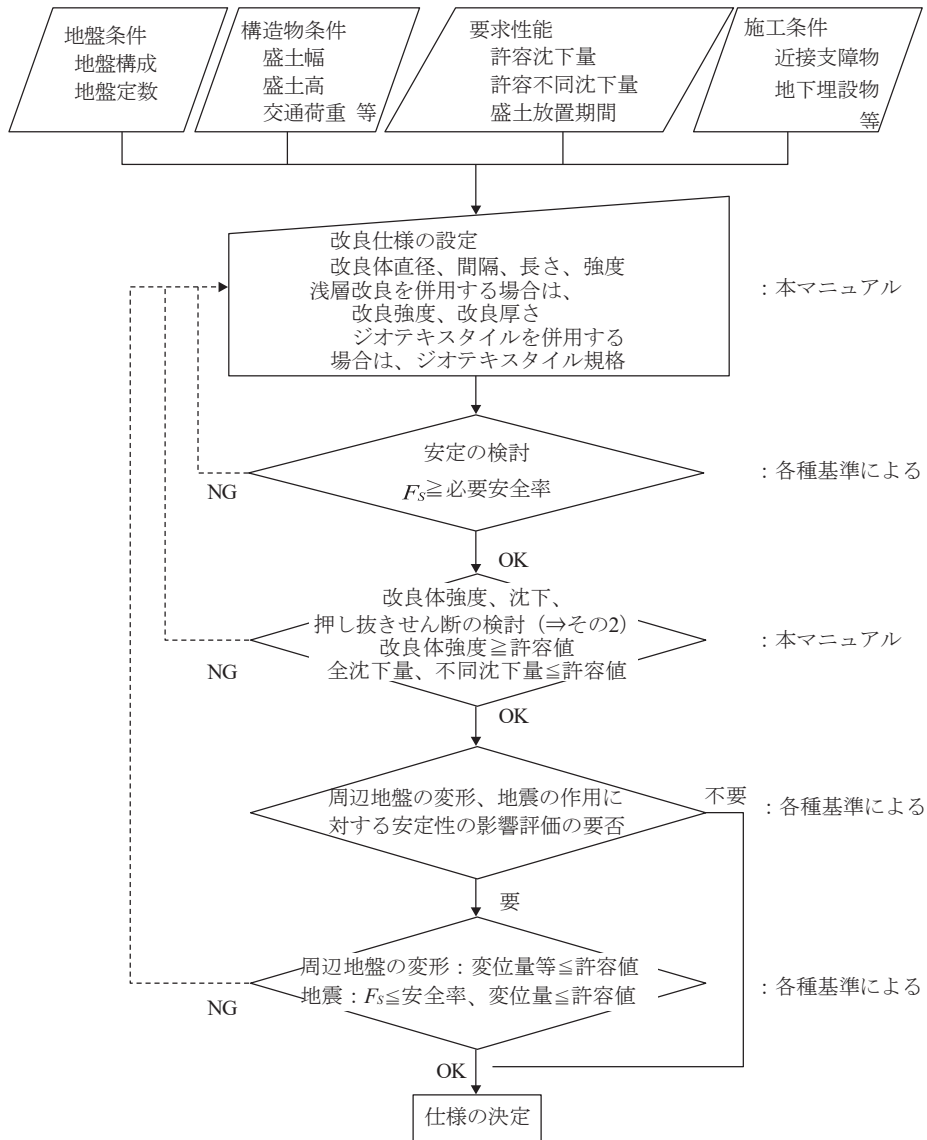


図 5.2 ALiCC 工法の設計フローチャート (その1: 全体)

(b) 改良体と無改良部分との不同沈下量

応力分散の考え方¹¹⁾、¹²⁾に基づいて、改良体と改良体間との不同沈下量（杭間不同沈下量）を計算する。

(c) 改良体応力

応力分散の考え方にに基づいて、改良体の応力（ 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。

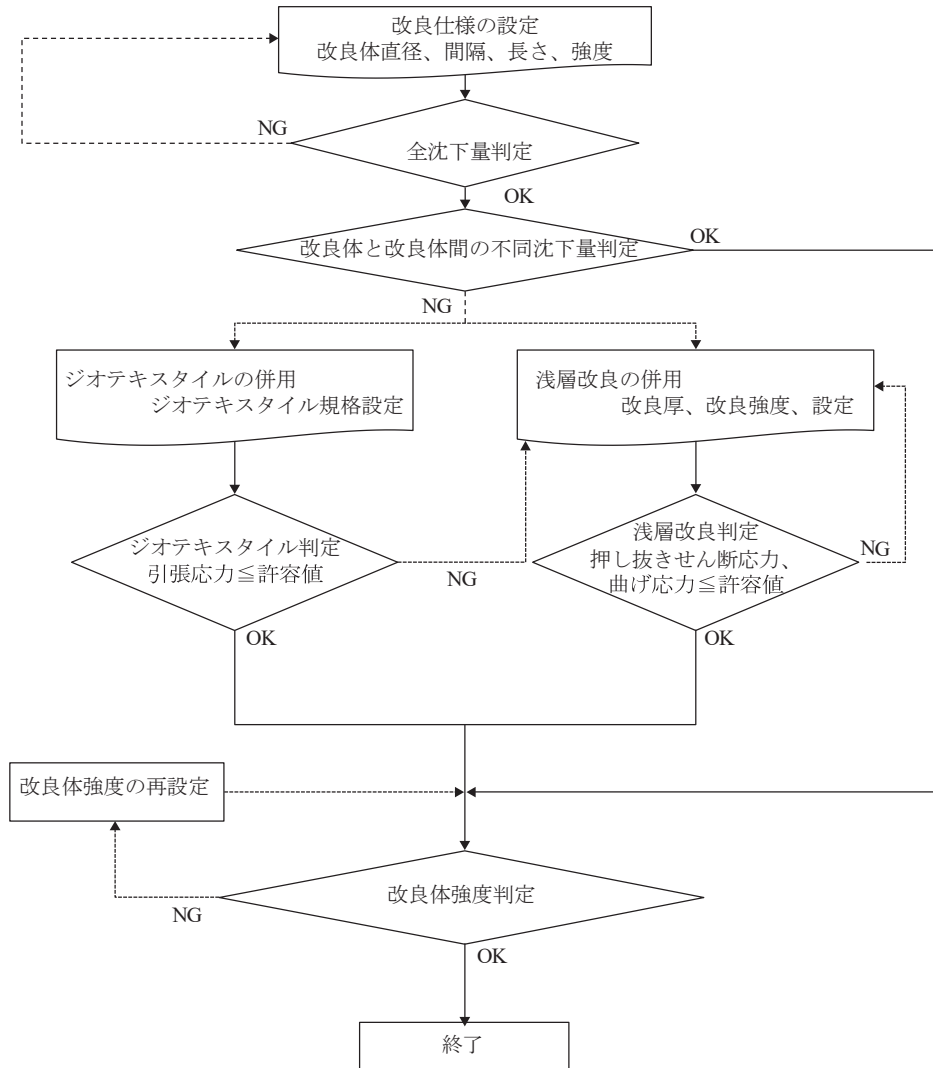


図 5.3 ALiCC 工法の設計フローチャート（その2：沈下検討、改良体強度）

(d) 低盛土の場合における留意事項

盛土高さが低い場合、もしくは改良体間隔が非常に大きく盛土高さが相対的に低くなる場合は、図 5.4 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。そのため、改良体の間隔は盛土高さよりも小さく設定する。また、改良体と無改良部分との不同沈下が発生し盛土表面に大きな凸凹段差が発生する恐れもあるため、必要に応じてジオテキスタイルや浅層混合処理の併用を検討する。盛土高さ 3m 以下の低盛土の場合に作用する交通荷重は、道路土工指針等を参考とする。

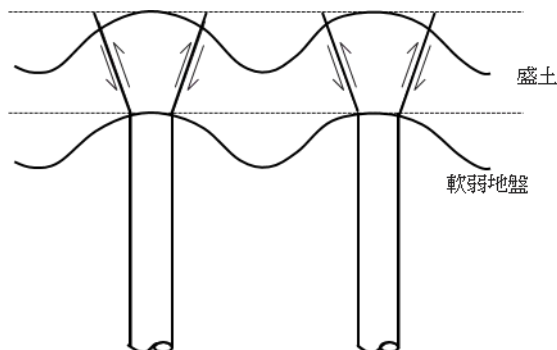


図 5.4 盛土高さが低い場合に生じる押し抜きせん断破壊

(4) 周辺地盤の変形、地震時の作用に対する安定性照査

必要に応じて、道路土工指針等に基づき「周辺地盤の変形、地震に関する安定性照査」を行う。

(5) 補助工法の併用

(a) ジオテキスタイル

ジオテキスタイルを併用する場合は、(1)～(3)に加え、ジオテキスタイルに作用する応力を照査する。照査にあたっては、「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（第二回改訂版）」（土木研究センター）⁹⁾等を参照するものとする。また、ジオテキスタイルが破壊しない限り、押し抜きせん断による破壊は発生しないと考えられるので、押し抜きせん断応力に関する検討は行わない。

(b) 浅層改良

浅層改良を併用する場合は、(1)～(3)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層の押し抜きせん断破壊に対する検討を行う。このほか、浅層改良層の曲げ引張破壊の検討を行う。このとき、改良体に作用する鉛直荷重の設定は、浅層改良を適用しない場合と同様である。曲げ引張破壊の検討は、地盤が非常に弱く無改良部分の沈下量が大きいと予想される場合等を除き、浅層部分に大きな応力が発生する事は少ないため、この計算を省略しても良い。

また、浅層改良層が破壊しない限り、不同沈下量は非常に小さいと考えられるので、浅層改良を併用する場合には、不同沈下量の検討は省略して良い。

5-3 沈下量及び改良体応力の照査

(1) 着底型の場合

(a) 全沈下量

全沈下量は、改良領域全体を複合地盤として式(5.1)により計算し、計画高が確保できるか照査する。

$$S=(P/E_{eq})\cdot L \quad (5.1)$$

ここに、 S : 全沈下量 (m)

P : 盛土高さから求められる改良領域に作用する荷重 ($=\gamma_e \cdot H_e$) (kN/m²)

L : 改良体長さ (m)

γ_e : 盛土材の単位体積重量 (kN/m³)

H_e : 盛土高さ (m)

E_{eq} : 複合地盤の変形係数 (kN/m²) で、式 (5.2) により計算する

$$E_{eq}=a_p \cdot E_{col}+(1-a_p) \cdot E_{soil} \quad (5.2)$$

ここに、 a_p : 改良率

E_{col} : 改良体の変形係数 (kN/m²) で、配合試験結果から決定する

E_{soil} : 改良体間の無改良地盤の変形係数 (kN/m²) で、地盤調査結果から決定する

(b) 改良体と改良体間との不同沈下量

① 改良体間の沈下量

改良体間の無改良部分の沈下量を求めるため、無改良の場合における沈下量 S_0 を「道路土工 軟弱地盤対策工指針 (平成 24 年度版)」(日本道路協会)²⁾ に準じて、 e -log P 法、 m_v 法あるいは C_c 法を用いて一次元圧密沈下計算で求める。

$$e\text{-log } P \text{ 法 : } S_0=(e_0-e_l)H/(1+e_0) \quad (5.3)$$

$$m_v \text{ 法 : } S_0=m_v \cdot P \cdot H \quad (5.4)$$

$$C_c \text{ 法 : [過圧密] } S_0=C_s \cdot H/(1+e_0)\log\{P_c/\sigma_v'\} \quad (5.5)$$

$$[\text{正規圧密}] S_0=C_c \cdot H/(1+e_0)\log\{(\sigma_v'+P)/P_c\}$$

ここに、 e_0 : 圧密層の盛土前の鉛直有効応力 σ_v' での初期間隙比

e_l : 圧密後の $\sigma_v'+P$ での間隙比

H : 軟弱地盤層の層厚 (m)

m_v : 体積圧縮係数 (m²/kN)

P : 前出

C_c : 圧縮指数

C_s : 膨潤指数

σ_v' : 圧密層の有効土被り圧 (kN/m²)

P_c : 圧密降伏応力 (kN/m²)

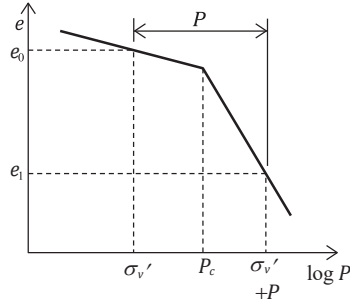


図 5.5 一次元圧密沈下計算の概念図

次に、改良体間の無改良部分の沈下量を、無改良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 との比率に基づき式 (5.6) により計算する¹³⁾。

$$S_{soil} = S_0(P_{soil}/P) \quad (5.6)$$

ここに、 S_{soil} : 改良体間の沈下量 (m)

P_{soil} : 改良体間に作用する応力 (kN/m²) (式 (5.7) 参照)

S_0 、 P : 前述

なお、 P_{soil} は、改良体間に作用する盛土形状が、室内試験結果¹¹⁾ から、アーチ効果により図 5.6 に示すような形となり、中央の山の部分が荷重として改良体間の無改良部分に作用する (正方形配置の場合) ことから、式 (5.7) で得られる。

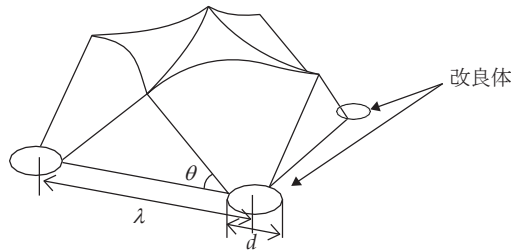


図 5.6 改良体間荷重算定モデル

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、表 5.2 を参照して設定する。

$$P_{soil} = \frac{V_{soil} \cdot \gamma_e}{\lambda^2 - (\pi \cdot d^2 / 4)} \quad (5.7)$$

ここに、 V_{soil} : 改良体間に作用する土塊の体積 (m³)

γ_e : 前出

λ : 改良体中心間隔 (m)

d : 改良体直径 (m)

(i) V_{soil} の算出：従来法

V_{soil} は、盛土の高さと改良体中心間隔の関係から、表 5.1 に従って算出する。また、交通荷重は、地表面における「改良体の影響範囲」と「改良体間荷重算定モデル土塊の上部影響範囲」を考慮して作用させる。

表 5.1 V_{soil} 算出のための判定式及び適用式

図 5.7 での盛土の高さ	改良体間荷重算定モデルと盛土高さとの関係	判定式	適用式
H_{el} 以上	改良体間荷重算定モデル土塊が全て盛土内	$H_{el} \leq H_e$	5.8
$H_{e2} \sim H_{el}$	改良体間荷重算定モデル土塊の上部が盛土上面にある	$H_{e2} < H_e < H_{el}$	5.9
H_{e2} 以下		$H_e \leq H_{e2}$	5.10

注) H_e ：盛土高さ $H_{el} = \{(\sqrt{2}\lambda - d) \tan \theta\} / 2$ $H_{e2} = \{(\lambda - d) \tan \theta\} / 2$

$$[H_{el} \leq H_e]$$

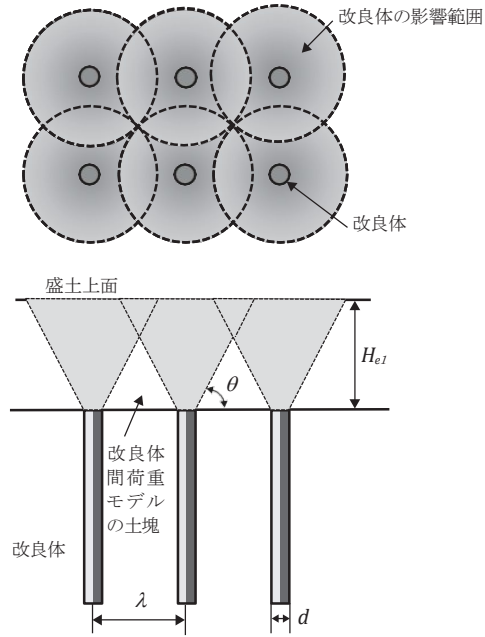
$$V_{soil} = \left\{ \frac{\lambda - d}{2} \cdot \lambda^2 - \frac{\pi(\lambda^3 - d^3)}{24} + \frac{(4 - \pi) \cdot (\sqrt{2} - 1)}{24} \cdot \lambda^3 \right\} \tan \theta \quad (5.8)$$

$$[H_{e2} < H_e < H_{el}]$$

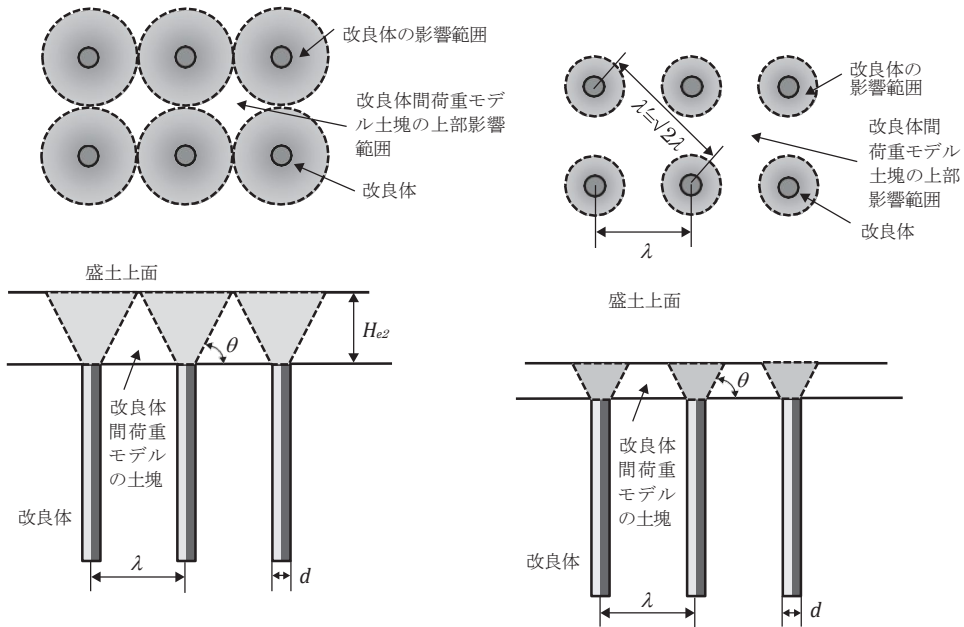
$$V_{soil} = \left[\frac{\lambda - d}{2} \cdot \lambda^2 - \frac{\pi(\lambda^3 - d^3)}{24} + \left[1 - \left\{ \frac{(\sqrt{2}\lambda - d) \tan \theta - 2 \cdot H_e}{(\sqrt{2} - 1) \lambda \tan \theta} \right\}^3 \right] \frac{(4 - \pi) \cdot (\sqrt{2} - 1)}{24} \cdot \lambda^3 \right] \tan \theta \quad (5.9)$$

$$[H_e \leq H_{e2}]$$

$$V_{soil} = \lambda^2 \cdot H_e - \frac{1}{3} \left\{ \pi \left(\frac{H_e}{\tan \theta} + \frac{d}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{d}{2} \tan \theta + H_e \right) - \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 \right\} \tan \theta \quad (5.10)$$



(a) 改良体間荷重モデルの土塊が地表面に出現しない場合



(b-1) 影響範囲が節円の場合

(b-2) 影響範囲が接しない場合

(b) 改良体間荷重モデル上部の土塊が盛土上面にある場合

図 5.7 盛土高さ H_e の違いによる V_{soil} 算出のための改良体間荷重算定モデルの形状

(ii) V_{soil} の算出：詳細法

従来法により求められた盛土体積 V_{soil} は、厳密解とはならないため、当該体積が過大となる場合がある。そこで、詳細法はより高精度に V_{soil} を求めるべく、まず、沈下に作用する盛土モデルを水平層状に分割し、それぞれの層の体積（盛土厚×盛土面積）を算出し、次にそれらを合算することで算出する。

$$V_{soil} = \sum_{x=1} V_{(x)} \quad (5.11)$$

ここに、 $V_{(x)}$ ：水平方向に分割した沈下に作用する盛土体積

x ：沈下に作用する盛土の分割数（ $x \geq 10$ 層、推奨 $x=20 \sim 30$ 層）

なお、改良体の配置関係による分解した盛土面積 A_i の算出手順は付録に後述する。

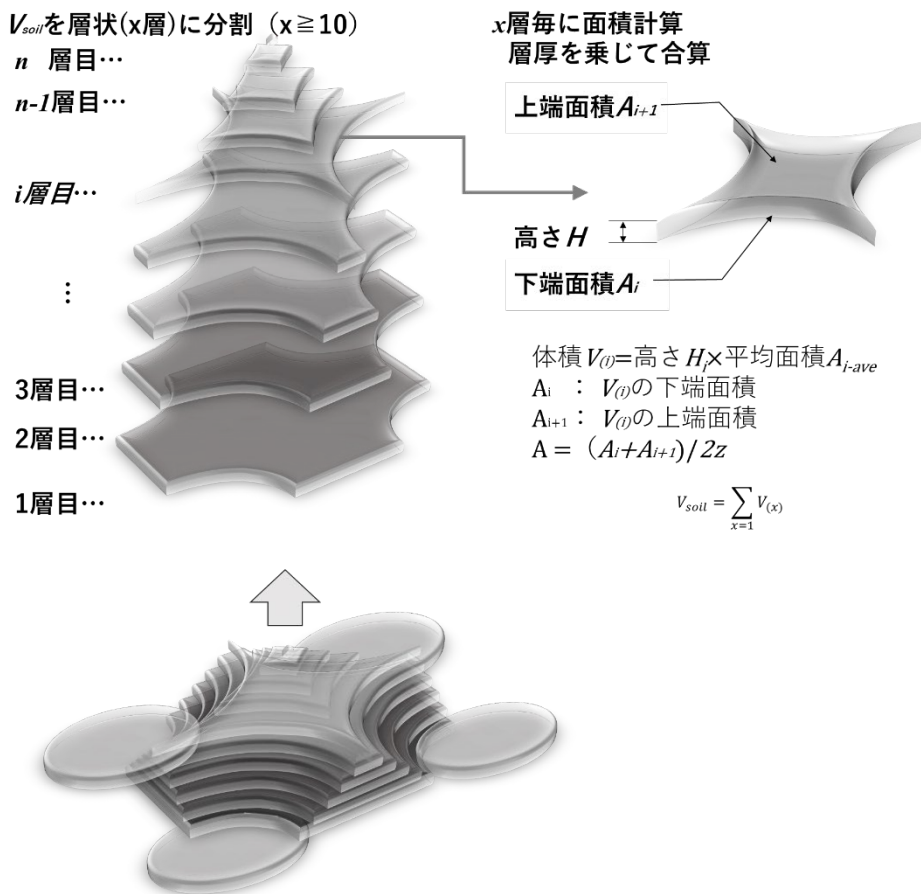
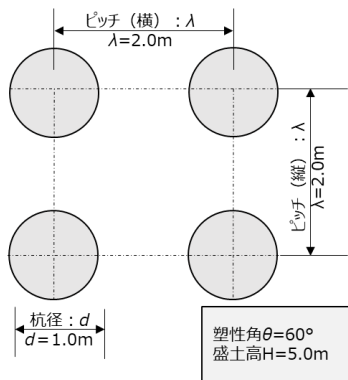


図5.8 V_{soil} の算定（詳細法）模式図

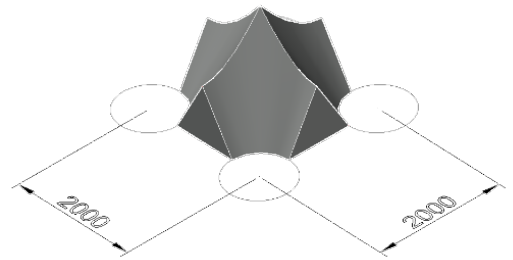
(iii) 盛土の分割数設定

図5.9に一例として(a)に平面配置、(b)にその3Dモデル化した V_{soil} の模式図を示す。そして、同モデルにて詳細法を用いて算出した V_{soil} の値、及び盛土分割数の関係を図5.10に示す。併せて、3Dモデル化した V_{soil} の体積値は3次元作図ソフトを用いて算出した。盛土の分割数を増やすほど詳細法で得られる V_{soil} の値は3Dモデルの V_{soil} に近似していく。しかし、分割数が10を超えると、得られる V_{soil} の値にほとんど変化が見られなくなる。この結果から、詳細法による盛土の分割数は、最低10層以上、推奨は20～30層程度とする。

単軸正方形配置



(a) V_{soil} 計算モデル平面配置



(b) V_{soil} 3D モデル図

図5.9 計算モデル図

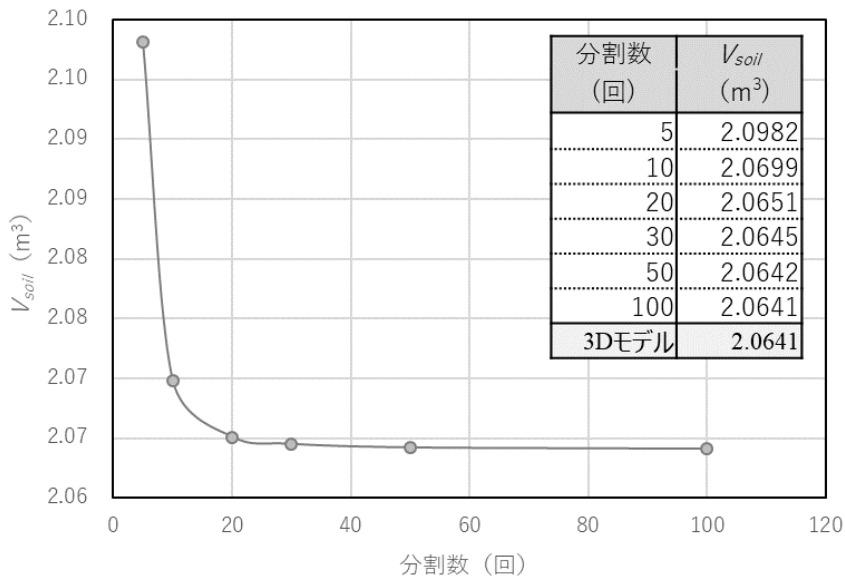


図5.10 盛土の水平分割回数と V_{soil} の計算結果の関係

上記のように、改良体間の沈下量 S_{soil} は、無改良の場合における沈下量 S_0 に、盛土荷重 P に対する無改良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、式 (5.12) で直接求めることもできる。

$$S_{soil} = (P_{soil} / E_{soil}) L \quad (5.12)$$

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。

$$S_{col} = (P_{col} / E_{col}) L \quad (5.13)$$

$$E_{col} = 100 \cdot q_{uckc} \quad (5.14)$$

$$P_{col} = V_{col} \cdot \gamma_e / A_{col} \quad (5.15)$$

ここに、 γ_e ：盛土の単位体積重量 (kN/m^3)

q_{uckc} ：改良体の設計基準強度（一軸圧縮強さ） (kN/m^2)

V_{col} ： $A \cdot H_e - V_{soil}$ (m^3)

A_{col} ：基本配置に含まれる改良体の平面図（1本： $\pi \cdot d^2/4$ 、2本： $\pi \cdot d^2/2$ ） (m^2)

A ：基本配置の平面積（例：1辺 λ の正方形配置場合の $A = \lambda^2$ ） (m^2)

③ 改良体と改良体間との不同沈下量

改良体と改良体間との不同沈下量 δ_s を、式 (5.16) により計算し、設定された許容不同沈下量と比較する。許容不同沈下量は対象とする盛土の条件に応じて設定する。

$$\delta_s = S_{soil} - S_{col} \quad (5.16)$$

(c) 改良体に作用する応力の照査

改良体に作用する応力を式 (5.17) で照査する。安全率 F_s は 1.0～1.2 程度として設定する。

$$F_s = q_{uckc} / P_{col} \quad (5.17)$$

(2) 浮き型の場合

(a) 全沈下量

改良域の沈下量 S_1 は、複合地盤と考え、式 (5.1) で算定する。また、改良域 (H_1) 下の無改良部分 (H_2) の沈下量 S_2 は、改良体の長さで軟弱層厚ならびに地盤条件を考慮し、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」（日本道路協会）⁴⁾ を参考として算定する。

全沈下量は、式 (5.18) で計算する。

$$S = S_1 + S_2 \quad (5.18)$$

ここに、 S ：全沈下量 (m)

S_1 ：改良領域の沈下量 (m)

S_2 ：改良領域下の無改良部分の沈下量 (m)

沈下量 S_1 は、改良部分 H_1 全体を複合地盤として式 (5.1) により計算する。

沈下量 S_2 は、無改良部分 H_2 の沈下量であり、式 (5.3)～(5.5) において、 P （盛土により、改良領域に作用する荷重）を、式 (5.19) で計算される P' （無処理部分中心に作用する応力）に置き換えて計算する。

$$P' = P \cdot B / (B + 2Z \tan \theta') \quad (5.19)$$

ここに、 P ：盛土高さから求められる改良領域に作用する荷重 (kN/m^2)

B : 改良領域の幅 (m) (図 5.11 参照)

θ' : 荷重分散角 (度) であり「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」(日本道路協会)⁴⁾を参考に設定

Z' : 改良領域下端から $H_1/3$ の位置から無改良部分の中心までの距離 (m)、無改良部分を一層と考える場合には $H_1/3 + H_2/2$ となるが、無改良部分を多層と考える場合には、各層中心までの距離

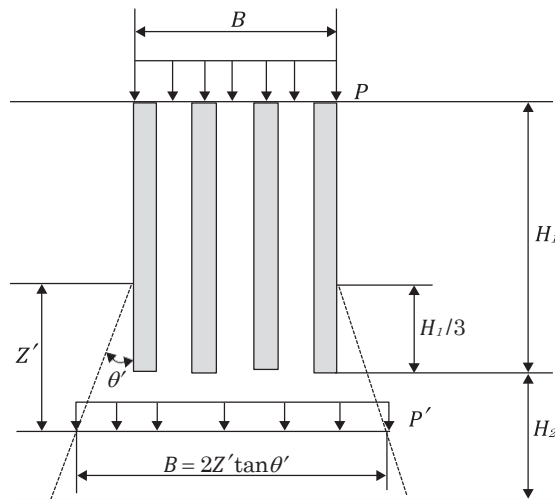


図 5.11 荷重分散の考え方

(b) 改良体と改良体間との不同沈下量

着底型と同様に、改良体との改良体間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) 項を参照)。

(c) 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、式 (5.17) を適用する。

(3) 塑性角の大きさ

塑性角 θ は、表 5.2 により設定する。

表 5.2 経験的な着底型、浮き型及び補助工法と塑性角 θ (度) の関係

	補助工法		
	補助工法なし	浅層改良	ジオテキスタイル
着底型	$90 - \varphi$	75	55
浮き型	80	85	75

注) φ : 盛土材のせん断抵抗角 (度)

(4) 補助工法の適用

沈下の検討を行った場合、許容値を満足しない場合には、ジオテキスタイルもしくは浅層改良の併用を検討する。

ジオテキスタイルを併用する場合の設計方法を 5-4 節に、浅層改良を併用する場合の設計方法を 5-5 節に示す。

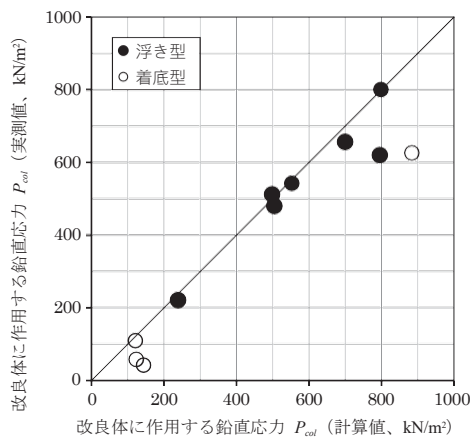
以上の検討結果を基に、改良率を高めて再検討をした場合とジオテキスタイルや浅層改良を併用した場合と比較検討を行い、経済的な方法を選定する。

【参考】 現場における塑性角の大きさ

参考表 1 に示す北陸地方整備局管内等で実施された低改良率軟弱地盤対策での施工実績において、式 (5.15) の改良体に作用する鉛直応力 P_{col} の実測値と推定塑性角で計算した値との比較結果を、参考図 1 に示す。同図より P_{col} は計算値が実測値を上回る場合もあるが、概ね計算値が実測値に近いことが分かる。

参考表 1 現場事例と推定塑性角

	改良形式	補助工法	盛土高 (m)	推定塑性角 (度)	現場名
1	着底型		8	60	新潟西バイパス
2	着底型	ジオテキスタイル	2	55	主要地方道新潟港横越線 1
3	着底型	浅層改良	2	75	主要地方道新潟港横越線 2
4	着底型	ジオテキスタイル	2	55	県道久田小島谷線
5	浮き型		7.9	80	氷見高岡道路
6	浮き型	ジオテキスタイル	3.3	75	白根バイパス
7	浮き型	浅層改良	7.8	85	上越三和道路 B1
8	浮き型		7.8	80	上越三和道路 A
9	浮き型	浅層改良	7.8	85	上越三和道路 B2
10	浮き型	浅層改良	8	85	有明湾沿岸道路 1
11	浮き型	浅層改良	8.3	85	有明湾沿岸道路 2



参考図 1 P_{col} の計算値と実測値との比較

5-4 ジオテキスタイルを併用する場合の設計

(1) 無改良部分の沈下量の算定

ジオテキスタイルを敷設しない沈下量の算定は 5-3 節による。ただし、ジオテキスタイルを併用した場合の改良体強度の検討の際に用いる塑性角 θ は、着底型、浮き型により異なり、図 5.12 に示す値を用いる。

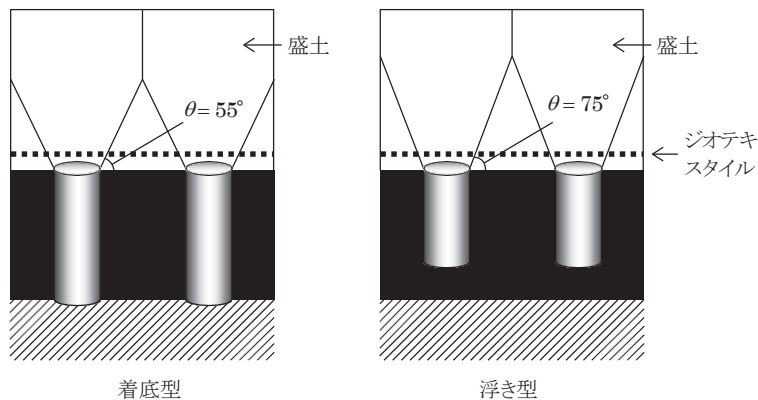


図 5.12 ジオテキスタイルを併用した場合の塑性角 θ

(2) ジオテキスタイルの検討

(1) 項において求めた不同沈下量を基にして、ジオテキスタイルを併用した場合の不同沈下量、ジオテキスタイルの引張力の算定、ジオテキスタイルの選定を行う。

詳細は、「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（第二回改訂版）」（土木研究センター）⁹⁾等を参考にする。

5-5 浅層改良を併用する場合の設計

浅層改良を併用すると、浅層改良層のせん断強さを期待できるので、安定に対して効果があるだけでなく、改良体間の不同沈下量を抑制できる¹³⁾。

浅層改良強度及び厚さを決定するには、盛土の安定確保と浅層改良層の安定性だけではなく、浅層改良層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、浅層改良層の曲げ応力を照査する。

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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾等を参考にする。

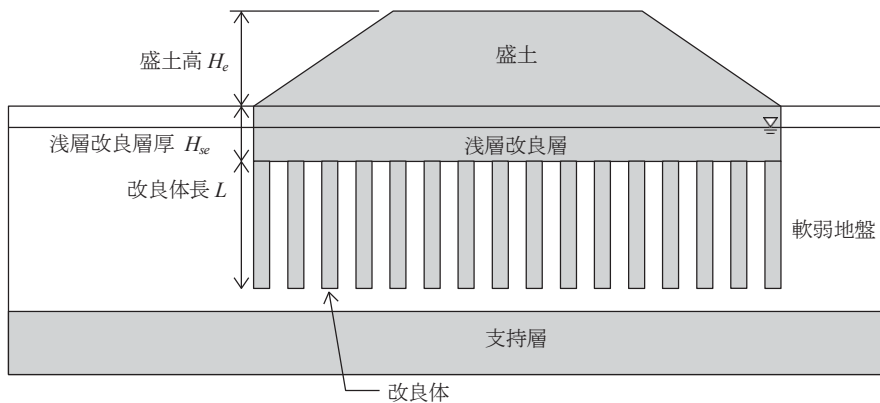


図 5.13 浅層改良の併用イメージ

(1) 沈下量の算定

沈下量の算定は 5-3 節による。ただし、改良体へ作用する応力を算定する際に用いる塑性角 θ は、着底型と浮き型により異なり、それぞれ図 5.14 に示す値を用いる（設計上の簡便性のため、浅層改良層の塑性角 θ を盛土中の塑性角 θ と同じと考える）。また、改良体間の不同沈下量について、文献¹³⁾の結果より、浅層改良を併用する場合には、検討を行わない。

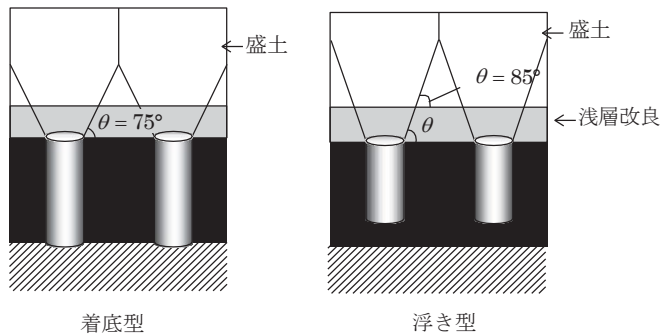


図 5.14 浅層改良を併用した場合の塑性角 θ

(2) 浅層改良層の押し抜きせん断応力と曲げ応力照査

浅層改良層の押し抜きせん断破壊に対する照査を行う。また、地盤のせん断強さが弱い場合 ($\tau < 10 \text{ kN/m}^2$) には、浅層改良層の曲げ応力を照査するものとする。

(a) 浅層改良層の押し抜きせん断応力の照査 (図 5.15 参照)

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

設計の詳細は、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル (第5版)」(セメント協会)¹⁴⁾ 及び「2018年版 建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針」(日本建築センター)¹⁵⁾ 等に準拠して行う。ただし、押し抜きせん断応力 τ_{se} は、図 5.6 に示す P_{soil} を考慮した式を用いる。計算例として式(5.20)に単軸四角形配置の場合の計算式を示す。

$$\tau_{se} = \frac{(P_{soil} - q_a)(\lambda^2 - \pi d^2 / 4)}{\pi d \cdot H_{se}} \leq \tau_a \quad (5.20)$$

ここで、

P_{soil} : 改良体間に作用する鉛直応力 (kN/m^2)

q_a : 地盤の長期許容支持力 (kN/m^2)

λ : 改良体中心間隔 (m)

d : 改良体直径 (m)

H_{se} : 浅層改良層の厚さ (m)

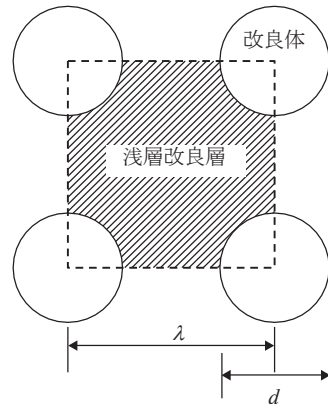


図 5.15 平面図

(b) 浅層改良層の曲げ応力照査

浅層改良層に発生する曲げ応力は、改良体中心間隔や浅層改良層の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層の断面や強度が必要となる。特にせん断強さが 10 kN/m^2 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、浅層改良層に曲げ応力が生じ、引張クラックが発生する可能性があるため、曲げ応力照査が重要となる。

設計の詳細は、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル (第5版)」(セメント協会)¹⁴⁾ 及び「改訂版 建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針」(日本建築センター)¹⁵⁾ 等に準拠して行う。

5-6 標準的な仕様

これまでの施工事例及び実験等による検討を勘案し、ALiCC 工法の仕様は、表 5.3 に示す範囲とする。

この標準的な仕様範囲以外で施工する場合には、試験施工等を行い、設計の確認、対策効果の確認等の検討を実施しなければならない（図 5.16 参照）。ただし、近傍で上記の範囲内で工事実績がある場合は試験施工を省略することもできる。

表 5.3 ALiCC 工法の標準的な仕様

項 目	標準的な仕様	留意点
設計基準強度 (一軸圧縮強さ)	適用する深層混合処理工法の標準的な強度を用いる。	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。 対象土が有機質土の場合には、一般的な土に比較して強度が低く出ることがあるので留意する。
改良体直径	$d=0.6\sim 1.3\text{m}$	改良体中心間隔が概ね 2.5m 以上となると、改良体と改良体間との不同沈下量の増加が顕著となる。特に、改良体直径が大きくなると、同じ改良率であっても、改良体中心間隔が大きくなりすぎ、不同沈下の発生が懸念される。
改良体中心間隔と改良率	$\lambda=1.0\sim 2.5\text{m}$ $a_p=10\%$ 以上	

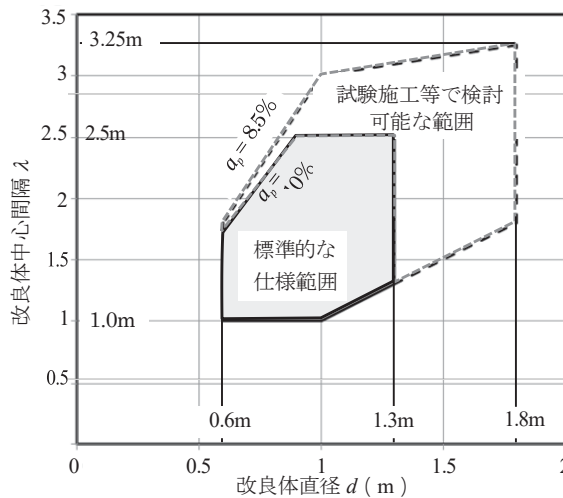


図 5.16 改良体直径と改良体中心間隔～改良率の関係

第6章 施工及び施工管理

6-1 施工及び施工管理の考え方

ALiCC 工法は、適用した深層混合処理工法の施工及び施工管理に準拠した方法を用いることを基本とする。

本章の内容は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）」（日本道路協会）²⁾、「道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）」（日本道路協会）¹⁾に準拠する。

その他、「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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾、各深層混合処理工法等のマニュアルに準拠して、施工及び施工管理するものとする。

6-2 ALiCC工法の施工上における留意事項

ALiCC 工法を適用した深層混合処理工法の施工にあたっては、ALiCC 工法の目的と考えに基づいた施工及び施工管理を行わなければならない。

（１）改良体強度の留意事項

腐植土、有機質土、火山灰質土等の土質では、固化材を多く添加しても要求される強度を満たさない場合がある。そのため、対象土質の性状を考慮した室内配合試験を実施し、適切な固化材の種類・配合を設定する必要がある。更に、必要に応じ現場にて、試験打設を実施して設計基準強度を満足していることを確認する。

（２）浅層改良工法の留意事項

ALiCC 工法において、浅層改良を併用する場合には、改良体と浅層改良層が一体となる必要がある。

浅層改良施工時に重機等により改良体頭部に大きな力が加わると、改良体の損傷が改良体天端より深い位置に及ぶことがあるため、掘削には十分留意するとともに、改良体と浅層改良層が一体化するように施工する。

（３）支持層が傾斜している地盤での留意事項

支持層が傾斜している場合については、「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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾に準拠する。

二軸施工機の場合、杭を支持層に着底させる施工において支持層が傾斜している場合、傾斜走向に対して攪拌軸を平行にしないと片軸が浮いた状況になり、改良下端が着底できないことが予想されるとともに、片軸のみに負担がかかり、偏芯が働きガイドローラの破損につながる。そのため、支持層等高線に対して平行方向に施工することが望ましい。

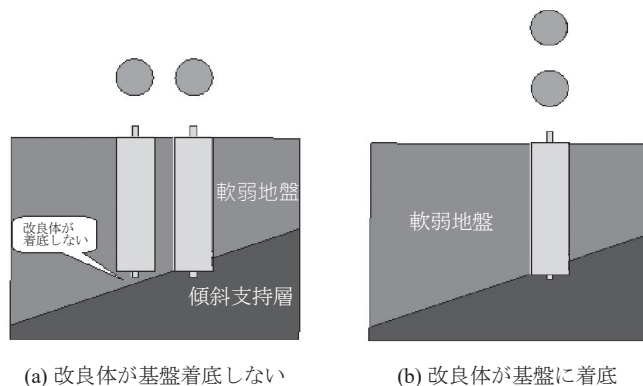


図 6.1 二軸型機械施工における留意点

（４）ジオテキスタイル敷設時の留意点⁶⁾

ジオテキスタイルを敷設する場合については、「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（第二回改訂版）」（土木研究センター）⁹⁾に準拠する。

特に、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する。

また、ジオテキスタイル敷設時の場合には、その効果により沈下が抑制され、周辺地盤の変形も発生しない。そのため、周辺地盤のモニタリングで異常が無かったとしても、何らかの影響で過大な応力がジオテキスタイルに作用して破断すると、一気に盛土が崩壊する恐れがある。したがってジオテキスタイル敷設時には、ジオテキスタイルの歪み等の必要なモニタリング（施工時から計測し、一定期間は維持管理として継続）を行うよう留意する。

（５）地盤条件が設計時と異なった場合の留意点

施工段階での条件が大きく異なる場合は、設計の変更等を行わなければならない。

6-3 施工管理及び品質管理

ALiCC 工法を適用した深層混合処理工法の施工管理及び品質管理にあたっては、適用した深層混合処理工法の施工管理基準に準拠した方法を用いることを基本とする。

本章の内容は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）」（日本道路協会）²⁾、「道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）」（日本道路協会）¹⁾ に準拠する。

その他、「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（増補版）」（土木研究センター）¹⁰⁾、各深層混合処理工法等のマニュアルに準拠して、施工及び施工管理するものとする。

6-4 動態観測

施工時において、施工管理・安全管理のために必要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ことを基本とする。

動態観測では、一般に以下のような管理が必要になる。

（１）盛土施工時における動態観測

盛土施工時に、地盤条件の不確実性等による不測の事態を早期発見し、盛土の安定管理・沈下管理ならびに近接構造物等に影響を与えないことを目的として、動態観測を行うものである。

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（平成 24 年度版）」（日本道路協会）²⁾等を参照されたい。

なお、沈下管理に関しては、改良体及び改良体間の沈下を計測する。

（２）試験施工時における動態観測

ALiCC 工法の標準的な仕様に外れている場合には、試験施工を実施して要求性能を満足することが可能か確認する。そのため、試験施工時には、盛土の安定管理・沈下管理に加えて改良体及び改良体間に作用する荷重等を測定する。

具体的な試験施工時における動態観測例を図 6.2、図 6.3 に、計器の種類を表 6.1 に示す。

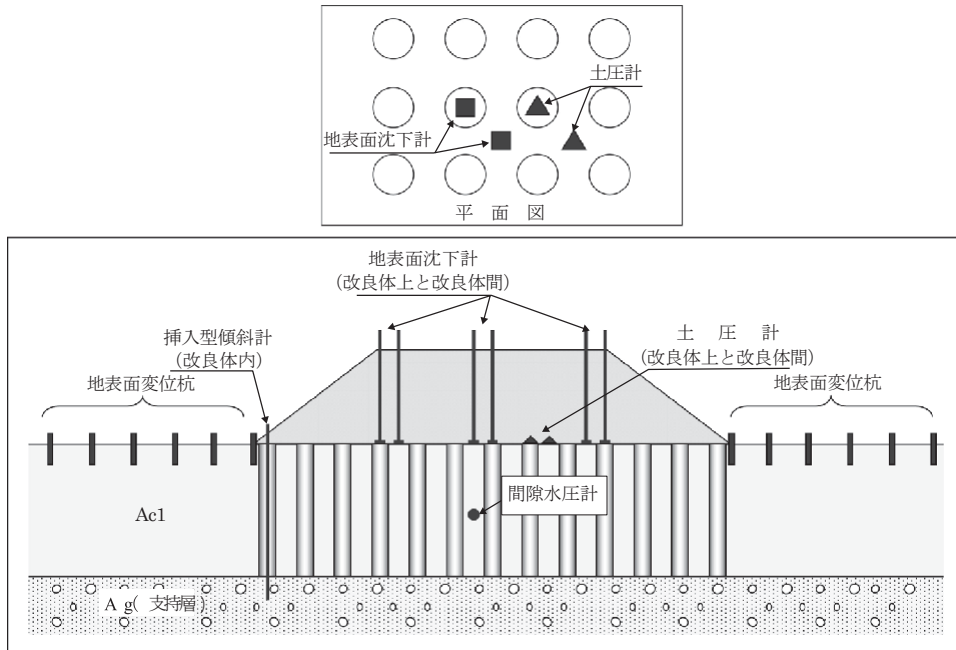


図 6.2 着底型の動態観測例

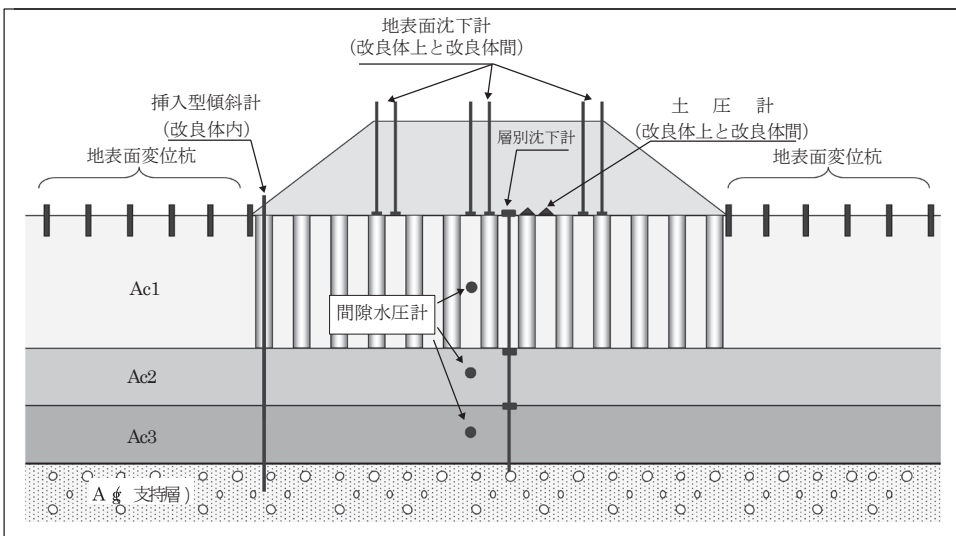


図 6.3 浮き型の動態観測例

表 6.1 試験施工時における動態観測計器の種類

観測計器の種類	測定項目	目 的	観測結果による 検証項目	備 考
地表面型 沈下計	改良体上と改良 体間に発生する 全沈下量	土施工期間に発生する沈下量」と 「将来沈下量の予測による残量沈下量」 を把握するために測定する。また改良 体と無改良部に発生する不等沈下量を 把握するために測定する。	改良率、改良体 の長さ、塑性角	一般的な盛土施工（地盤改良 後の）では、盛土量の検測や 安定管理、沈下管理を行うた めに必ず実施する。
層別 沈下計	土層別の沈下量	各土層の「盛土施工期間に発生する沈 下量」と「将来沈下量の予測による残 量沈下量」を把握するために測定する。	改良率、改良体 の長さ	—
間隙 水圧計	土層別の間隙水 圧	沈下量と合わせて総合的に圧密度を把 握するために測定する。	改良率、改良体 の長さ	—
土圧計	改良体上と改良 体間に作用する 鉛直土圧	改良体と改良体間に作用する鉛直土圧 から応力分担を求めるために測定す る。	塑性角、改良体 の設計基準強度	—
挿入型 傾斜計	改良体の傾き、 移動量、折れ曲 り	盛土施工による改良体の変状量を把握 し、改良体の安全性を確認するために 測定する。	改良率、改良体 の設計基準強度	—
地表面 変位杭	盛土周辺地盤の 水平変位量及び 鉛直変位量	盛土周辺地盤の変状量を把握して改良 体の安全性を確認するために測定す る。	改良率、改良体 の長さ	一般的な盛土施工（地盤改良 後の）では、安定管理を行う ために必ず実施する。

第7章 維持管理

7-1 維持管理の基本

- (1) ALiCC 工法で対策した軟弱地盤上に構築した盛土等が、供用期間中、その機能を保ち続けるよう適切に維持管理を実施する。
- (2) 維持管理にあたっては、過去の点検記録等を参考に、調査及び点検・保守を実施し、必要に応じて補修及び復旧を行う。

(1) 維持管理の目的と留意事項

(a) 維持管理の目的

維持管理の目的は、軟弱地盤上の盛土等の機能が供用開始後も十分にその機能を発揮できるように保持することである。軟弱地盤上に構築した盛土等では、供用後も継続する沈下、地震時におけるすべり破壊や局所的な沈下等が問題となることが多い。

土工構造物等の下に構築された軟弱地盤対策工を直接的に維持管理することは困難である。直接的にモニタリングする方法としては改良体のひずみ、地盤内の土圧、間隙水圧、軟弱地盤層ごと及び盛土等の沈下、周辺地盤及び盛土の水平変位等の動態観測が考えられる。しかし、盛土等の土工構造物施工時には軟弱地盤対策工の変化を把握する目的で動態観測が行われる事例はあるものの、盛土等の土工構造物完成後の動態観測が継続されることは少ない。そのため、動態観測に頼らない維持管理が必要となる。軟弱地盤対策工に機能低下や損傷が生じると、軟弱地盤対策工上部に構築された土工構造物にも、機能低下や損傷が現れる。このような変状により、土工構造物等の機能に支障が生じた場合、変状の要因を的確に判断し、適切な対策をできるだけ早期に行うことが、軟弱地盤対策工及び土工構造物等の機能を保持するために必要である。変状を与えている要因が ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）にあるのか、土工構造物等にあるのか、またその変状が当初から考慮していた範囲内のものなのか、もしくは想定外のものなのか的確に判断し、必要な保守や補修、また復旧等の対策を適切に実施することが必要である。

(b) 維持管理の留意点

調査・設計段階において、供用後も沈下量が大きいと予測される箇所等では、調査・設計時に決めた土層区分や土質定数ならびに仮定条件、施工中の動態観測結果等の施工データについて、供用後の保全計画の立案のためにも整理しておくことが維持管理上望まし

い。特に「浮き型」改良が用いられている場合には、供用後も沈下が継続する場合もあることから、このような記録の整理が行われていると、供用後に発生した沈下に対しても、それが想定されていた沈下なのか、あるいは想定外の沈下なのかの判断材料となる。

また、供用後での問題に備えて、設計・施工状況、供用後の調査・点検結果、変状履歴等の記録を施工台帳等に適切に整理記録し、長期間にわたって蓄積し、活用していくことが重要である。

7-2 点 検

ALiCC 工法の点検にあたっては、盛土の点検方法に合わせることを基本とし、次の①～③の点検を適切に組み合わせて実施することを標準とする。

- ① 日常的な点検
- ② 定期的な点検
- ③ 異常時に行う点検

(1) 点検体系及び点検項目

(a) 点検の種類

ALiCC 工法を施した軟弱地盤の点検を直接的に行うのは困難である。維持管理のために動態観測を実施している場合を除いては、軟弱地盤上の土工構造物等を点検することで、軟弱地盤対策工の点検とする。点検は、日常的な点検、定期的な点検、異常時に行う点検の 3 つの異なる点検が組み合わされていることで、舗装及び土工構造物の変状を早期に発見し、適切な処置及び補修等の要否を判断することを目的として実施する。点検方法は路上目視点検を主体とするが、舗装や土工構造物に何らかの変状が確認された場合には、軟弱地盤に見られる特有のすべり破壊・残留沈下・周辺地盤の変形等による変状、舗装面の不陸やクラック、のり肩やのり面のクラック、はらみだし等の土工構造物及びその周辺に異常が発生していないかを入念に調べる必要がある。

① 日常的な点検

日常的な点検は、車上からの目視により、1 日もしくは数日に 1 回程度の頻度で行うことを想定しており、全体を見渡ししながら道路の安全性や機能が著しく低下している状況及び予兆を早期に発見することを目的とするものである。

② 定期的な点検

定期的な点検は、徒歩による路上目視、または必要に応じて近接目視調査を数カ月もしくは 1 年に 1 回程度行うことを想定しており、詳細に点検する代わりに日常的な点検よりも頻度を下げて実施し、道路の安全性及び機能や性能が低下している状況と要因を、定期的に監視、発見することを目的とするものである。

③ 異常時に行う点検

異常時に行う点検とは、異常気象時やその後に、目視点検で、事故等により生じた変状

等を把握するものである。

(b) 点検方法

- ・ 日常的な点検は車上からの目視点検を基本とする。変状を発見した場合は車外から徒歩による路上目視点検や近接目視点検を行う（車内から確認できる道路及び道路付属物の大きな変状だけを確認）。
- ・ 定期的な点検は徒歩による路上目視点検を基本とする。定期的な点検では、日常的な点検ではカバーできない盛土のり面やのり尻、周辺地盤も目視点検する（路上からの目視点検を基本とするが、路上からだけでは確認が難しい箇所については近接目視で確認）。
- ・ 異常時に行う点検は車上からの目視点検を基本とする。必要があれば徒歩による近接目視点検を行う（地震や豪雨等により発生する道路の陥没、地すべり、側方流動等に応じて適切な点検）。

(c) 点検項目

① 日常的な点検

日常的な点検では、車上から明瞭な路面（土工構造物天端）開口や段差のある円弧状のクラックや、沈下、陥没が発生していないかを確認する。道路盛土においては、車上から路肩部に設置されたガードレールやガードロープといった防護柵の変状も確認する。なお、路面修復が行われている箇所で、再び何らかの変状が確認された場合には、詳細調査を実施することが望ましい。

② 定期的な点検

定期的な点検は、あらかじめ一定の期間を定めて定期的に行われるもので、日常的な点検の延長線上にある定期的な点検、道路防災点検、カルテ点検等がこの点検に相当する。

定期的な点検は、次回の定期的な点検までに必要な措置等の判断を行う上で必要な情報を得る位置づけも有している。このため、巡回等に併せて日常的に行われる日常的な点検や特定の事象に特化した特定点検など、他の点検との役割分担のもとで、互いに情報を共有しながら適切に行われる必要があり、定期的な点検の実施にあたっては目的を十分に理解した上で、他の点検業務と連携し効率的かつ効果的に行うことが重要である。

定期的な点検では、徒歩による路上目視により、日常的な点検で行う路面（土工構造物天端）開口や段差のある円弧状のクラックや沈下、陥没、道路盛土においては車上から路肩部に設置されたガードレールやガードロープといった防護柵の変状も確認する。さらに、盛土のり面やのり尻、周辺地盤も路上から目視点検するとともに、路上からだけでは確認が難しい箇所については近接目視点検を併用して確認する。

土工構造物等では、災害の誘発要因としては水の影響が大きく、降雨や融雪など水に影響する要因が四季のサイクルで発生することを考慮すれば、日常的な点検等で、特に予兆の発見がなかったような比較的健全と判断されている土工構造物等について、新たな予兆

が発生していないかを確認するために、1年に1回は点検を実施することも考えられる。例えば、台風や梅雨等の前線性豪雨を考慮して、豪雨期の前に通常の定期点検を実施すること、あるいは融雪の影響や凍結凍上等の影響を受けると考えられる地域では、融雪

期や凍結凍上の起こる寒冷期に実施することが望ましい。

③ 異常時に行う点検

異常時に行う点検は、豪雨、地震等の異常事象の発生時または発生が予測された場合に行うもので、一定の震度の地震が発生した場合や、豪雨等に関する予警報の発令や一定以上の降雨量をトリガーとして行われる異常時パトロールがこれに相当する。そのため、日常的な点検に示した項目の変状の有無と状態を把握するほか、降雨等の異常事象に特に発見しやすい変状（のり面、のり尻付近の著しい崩壊、湧水、はらみだし等）の有無と状態を把握する。

点検の方法としては、事象等の条件に応じて適切な点検（災害、豪雨等）をとるものとする。

(d) 点検の考え方

点検は、多頻度低精度の日常的な点検と低頻度高精度の定期的な点検等の組合せにより、早期に土工構造物等の被害発生を発見し、災害の予兆を的確に捉えることを基本としている。ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）の損傷等を直接的に点検することは困難であることから、軟弱地盤対策工上に構築された土工構造物等や周辺地盤の変状等を点検することにより、ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）の点検も兼ねるものとする。

「日常的な点検」「定期的な点検」「異常時に行う点検」の 3 種類の点検は、互いに独立したものではなく、相互に補完し合うものである。

例えば、異常時に行う点検は、そのトリガーとなる事象によって引き起こされる災害を原因として引き起こされる災害のみを対象とするものである。そのため一般的には車上からのパトロールによって行うが、これは通常の日常的な点検と定期的な点検を行うことで、豪雨や地震を誘因として大規模な災害につながるような要因等は事前に対応されていることが前提となっている。仮に日常的な点検や定期的な点検が十分に行われていないような場合には、異常時に行う点検は路上からのパトロールだけでは不十分であり、定期的な点検に相当する点検を行わなくては、道路の安全性を確認することは難しくなると考えられる。異常時に行う点検は、災害の発生に伴って発生した通行規制の解除の条件となっている場合が一般的であり、日常的な点検や定期的な点検をおろそかにして、災害発生後に定期的な点検相当のレベルを行わなくてはならないとしたら、災害の応急対応等に大きな支障を来してしまう。

また、日常的な点検と定期的な点検においても同じような補完関係は存在する。既述のとおり、適正な計画、設計、施工、維持管理を行った土工構造物等は非常に粘り強いものであり、例えば、盛土内にすべりが発生するような場合でも緩やかに進行することが多い。定期的な点検により、明らかな変状が確認されていない土工構造物等は、適正な計画、設計、施工、維持管理を行った土工構造物等であると考えることができ、もしも盛土中にすべりが発生するような事態に至っても、その進行は緩やかであり、1～2 日に一度程度の車上からのパトロールによって、進行中の変状を軽微なうちに把握し、対応することができる。これに、異常時に行う点検を加えて、相互に補完しつつ点検の熟度を高めていくことが望ましい。

(2) 変状例と対策までの流れ

(a) 点検手順

- ・ 日常的な点検→定期的な点検
(変状等特に何も起こらなければ、日常的な点検、定期的な点検の繰り返し)
- ・ 日常的な点検→詳細調査
(日常的な点検時に大きな変状が発見された場合は、定期的な点検を待たずに詳細調査へ進む)
- ・ 定期的な点検→詳細調査
(定期的な点検の段階で大きな変状が発見された場合は、詳細調査へ進む)

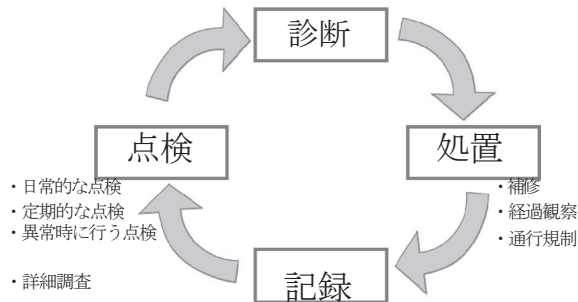


図 7.1 メンテナンスサイクル

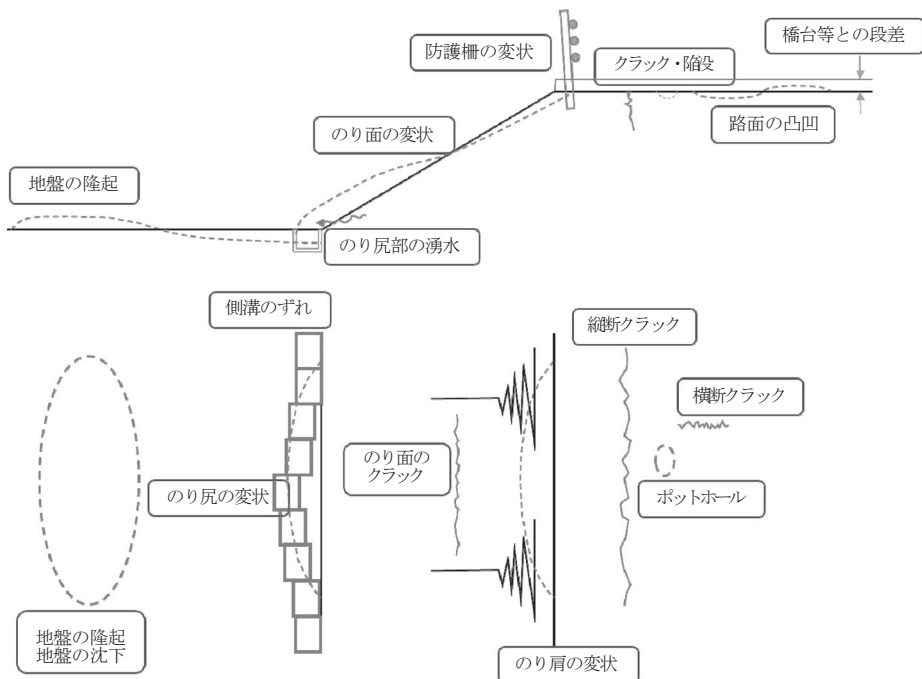


図 7.2 想定される変状事例

(b) 点検結果の組合せから起こりうる変状

点検より発見される顕著な損傷としては、路面（土工構造物天端）に発生するクラックである。横断方向のクラックは残留沈下、不同沈下、土工構造物の圧密等が原因と考えられる場合が多い。縦断方向のクラックの場合、図 7.3 に示したようにすべり崩壊に伴うクラックが懸念される。すべり崩壊に伴うクラックの場合、縦断クラックが連続し、崩壊が進展すると段差が発生する。また、すべり崩壊が盛土内のみの場合には盛土のり面に隆起等の変形が生じるが、すべり崩壊が軟弱地盤にまで至る場合には盛土のり面に隆起等の変形が生じず、のり尻周辺部等で側溝のずれや地盤の隆起等の変状が発生することが多い。

点検で確認された 1 つの損傷から全貌をつかむことは困難である。同じ点検で確認された損傷や、過去に確認され補修された損傷等を組み合わせて発生要因（原因）を知ることが大切である。したがって、連続した縦断クラックが発見された場合には、周辺部についても何らかの異常がないか確認することが重要である。

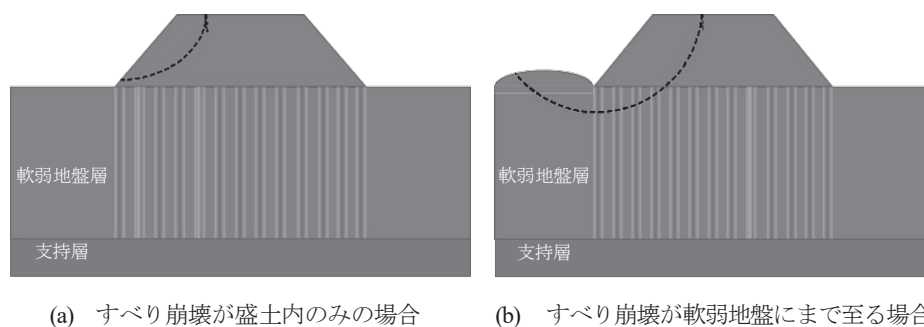


図 7.3 すべり崩壊に伴う顕著な被害の事例

(c) 軟弱地盤対策工が原因で発生しうる変状

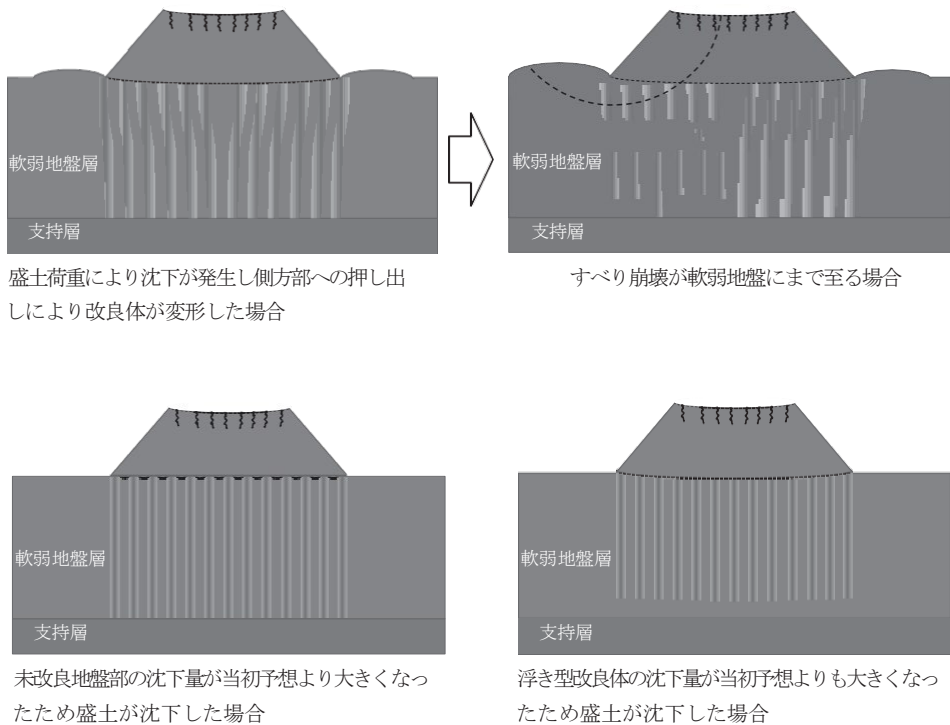


図 7.4 点検結果から想定される被害パターンの事例

(d) 詳細調査項目

詳細調査は、日常的な点検、定期的な点検、異常時に行う点検において土工構造物等に何らかの変状が確認され、「点検結果」を「診断」するために必要な事項を得るために実施する。

詳細調査では、変状の状況（規模）や原因を調べるために行うことから、変状等点検結果により調査する項目が異なる。また、通常の点検では、のり面や周辺地盤では植生により地盤等変状を確認することが困難な場合が多いことから、除草・伐採等変状を確認できる環境整備が不可欠である。このような整備された環境下で改めて、クラックの状況、はらみだし、隆起等の変状を調査するものとする。

また、継続的な観察が必要と判断された場合には、のり肩やのり尻部に観測杭やマーカーを設置して土工構造物等の変動を追跡調査することが望ましい。

詳細調査では、目視等による調査のほかに、平面的な測量を行うことにより、はらみだし等の水平変位の把握を目的とした平板測量、隆起や沈下の把握を目的とした水準測量を行う。さらに必要に応じて、周辺地盤や盛土等の土工構造物の存在する位置での地盤調査、地下水位調査、ボーリング孔を用いた傾斜計による観測等も行ふとよい。

(3) 変状状況の把握

(a) 変状状況の把握

点検では、基本として目視による部材の状態を評価する。なお、路上目視とは道路上からの肉眼や双眼鏡等による確認を想定し、近接目視とは、肉眼により部材の変状等の状態を把握し評価が行える距離まで近接して目視を行うことを想定している。土中等物理的に近づくことができない部位に対しては、同一部材の当該部位の周辺の状態等に基づき状態を評価する。なお、変状等が確認された場合には、状態を確認するための詳細調査を必要に応じて実施する。

なお、ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）を主眼においた点検を実施することは困難であることから、軟弱地盤対策工の上に構築された盛土等の土工構造物を点検し、その結果を用いて ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）の状態を推測するものとする。

損傷や変状の種類によっては、表面からの目視によるだけでは検出できない可能性があるものもある。このような事象に対しては、地盤探査等の非破壊検査が有効であることも多く、必要に応じて目視以外の方法も併用する。非破壊検査の手法を用いる場合、機器の性能や検査者の技量など様々な条件が検査精度に影響を及ぼすため、事前に適用範囲や検査方法の詳細について検討しておくことが必要である。

点検の結果は、単に損傷の大小という情報だけではなく、効率的な維持管理を行うための基礎的な情報として様々な形で利用される。例えば、亀裂の発生箇所周辺の変状状況をもとに変状原因を考察したりする場合には、変状図が重要な情報源となる。

したがって、変状の程度を適切な方法で詳細に記録しなければならない。

① 変状内容ごとに定性的な評価基準でその程度を表す区分を記録

② 変状状況を示す情報のうち、①の方法ではデータ化されないものは変状図や文章等で記録

次に、②のデータ化されない情報で、変状図や文章等で記録しておく必要があるものの例を示す。

- ・ 舗装面における段差やひび割れ状況等のスケッチ（スケッチには、主要な寸法も共に併記する）
- ・ のり肩、のり面、のり尻等の変状箇所及び範囲のスケッチ
- ・ のり肩部に設置された防護柵の変状状況のスケッチ
- ・ 漏水箇所など変状の発生位置
- ・ 通行車両の走行音や振動など写真では記録できない変状の記述

(b) 変状程度の評価

点検において確認された変状の程度は、要素ごと、変状種類ごとに評価する。これらの記録は盛土等の土工構造物の状態を示す最も基礎的なデータとして蓄積され、維持・補修等の計画の検討等に利用される。したがって、変状程度の評価はできるだけ正確かつ客観的となるように行わなければならない。

変状程度の評価では、変状種類に応じて定性的な区分で評価するものと定量的な数値データとして評価されるもの、あるいはその両方で評価することが必要なものがある。い

ずれの評価においても、変状の程度を表す客観的な事実を示すものである。すなわち、変状を評価したものとし、その原因や将来予測、盛土等の土工構造物の性能等へ与える影響度合は含まないものである。一方、判定区分は、変状程度の評価結果、その原因や将来予測、盛土等の土工構造物の性能等へ与える影響、当該部位、部材周辺の部位、部材の現状等を考慮し、今後施設管理者がとるべき措置を助言する総合的な評価であり、技術者の技術的判断が加えられたものであり、両者は評価の観点が全く異なることに留意されたい。

(c) 対策区分の判定

点検では、盛土等の土工構造物等の変状の状況を把握したうえで、変状の種類ごとの対策区分について表 7.1 の判定区分例による判定をすることが望ましい。A 以外の判定区分については、変状の状況、変状の原因、変状の進行可能性、当該判定区分とした理由など、定期的な点検後の維持管理に必要な所見を記録する。

複数の部材の複数の変状を総合的に評価するなどした盛土等の土工構造物等全体の状態や対策の必要性についての所見も記録する。

また、A を除く判定区分については、しかるべき対策がとられた場合には、速やかに表 7.1 対策の判定区分例によって再判定を行い、その結果を記録に残すものとする。例えば、定期的な点検で M の判定区分としていた排水施設の土砂詰まりを維持工事で除去したため A の判定区分に変更、定期的な点検で S1 の判定区分としていた変状を詳細調査の結果を踏まえて B の判定区分に再判定、定期的な点検で C2 の判定区分としていたひび割れを補修したために A の判定区分に変更等である。その記録の方法は、点検時の判定結果は点検調書に記載、その後の措置を踏まえた再判定結果は管理カルテに記載とし、再判定結果は点検調書には反映させない。

表 7.1 対策の判定区分例

判定区分	判定の内容
A	変状が認められないか、変状が軽微で補修を行う必要がない。 (少なくとも点検で知りうる範囲では、変状が認められないか変状が軽微で補修の必要がない状態)
B	状況に応じて補修を行う必要がある。 (変状があり補修の必要があるものの、変状の原因、規模が明確であり、直ちに補修するほどの緊急性はなく、放置しても少なくとも 5 年程度以内に構造物の安全性が著しく損なわれることはないとは判断できる状態)
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。 (変状が進行しており、耐久性確保(予防保全)の観点から、少なくとも 5 年程度以内には補修等される必要があると判断できる状態をいう。なお、盛土等の土工構造物の安全性の観点からは直ちに補修するほどの緊急性はないもの)
C2	盛土等の土工構造物の安全性の観点から速やかに補修等を行う必要がある。 (変状が相当程度進行し、当該部位、部材の機能や安全性の低下が著しく、盛土等の土工構造物等の安全性の観点から、少なくとも次回の定期的な点検まで(= 5 年程度以内)には補修等される必要があると判断できる状態)
E1	盛土等の土工構造物の安全性の観点から緊急対応の必要がある。 (構造物の安全性が著しく損なわれており、緊急に処置されることが必要と判断できる状態)
E2	その他、緊急対応の必要がある。 (自動車、歩行者の交通障害や第三者等への被害のおそれが懸念され、緊急に処置されることが必要と判断できる状態)
M	維持工事に対応する必要がある。 (変状があり、当該部位、部材の機能を良好な状態に保つために日常の維持工事で早急に処置されることが必要と判断できる状態)
S1	詳細調査の必要がある。 (変状があり、補修等の必要性の判定を行うにあたって原因の特定など詳細な調査が必要と判断できる状態)
S2	追跡調査の必要がある。 (詳細調査を行う必要性はないものの、追跡調査が必要と判断できる状態)

(d) 補修等の必要性の判定

盛土等の土工構造物等の効率的な維持・補修等の計画を立案するため、構造上の部材区分あるいは部位ごとに、変状の種類、変状の状態、部位、部材の重要度、変状の進行可能性を考慮して、補修等の必要性和緊急性について判定する。

補修等の必要性和緊急性の判定は、原則として構造上の部材区分あるいは部位ごとに、変状の種類や状態、部位、部材の重要度、変状の進行可能性を総合的に判断して行うものとする。この際、盛土等の土工構造物の安全性と耐久性確保の 2 つの観点から行うものとする。

ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）上に構築された盛土等の土工構造物に対する補修等を検討する場合には、原因の推定や変状の進行予測等を行い、補修等を舗装のみとするのか、盛土等の土工構造物とするのか、ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）とするのか、総合的に判断するものとする。

7-3 補修・復旧

土工構造物等に維持管理基準を超える変状が認められたときには、機能の回復を図るため、変状の程度と内容等に応じて適切な補修もしくは復旧を実施する。

(1) 補修・復旧

土工構造物等の点検・診断を行った結果、何らかの措置を行い、所要の安全性を確保する必要がある場合がある。こうした対応の実施にあたっては、新設または改築と同様に通常の作用に対して十分安全であることを、論理的な妥当性を有する方法等の適切な知見に基づいて確認することが望ましい。

しかしながら、土工構造物等は、メカニズムや健全性判定に関する技術的蓄積が十分でなく、変状の有無から健全性を評価しにくいことや、設計や施工の不確実性から、維持管理を通じて性能を向上させていくという基本的な特性があることから、措置にあたっては、この基本的な特性を踏まえることが必要となる。

例えば、土工構造物等の変状、損傷によって、安全な道路交通の確保に支障を来すと判断されたり、第三者への被害が発生する恐れがあると判断されたものは、まず顕在化している危険を除去し、当面の安全性を確保するための対応を行うものとする。通行規制を実施するといった対応に加えて、土工構造物本体の補修のみならず、例えば、盛土のり面の変状においては、大型土のうを設置するなど、災害による被害の発生を抑止する対応を直ちに行う。

また、道路交通の安全性が明確に脅かされている要因はないものの、将来的な安全性の確保や効率的な土工構造物の維持管理のために何らかの対応が必要と考えられるもの、または上述の何らかの対応により切迫した危険性が除去され、当面の安全性を確保したものは、所要の安全性を確保するための対応を行うものとする。

具体的には、防護施設のような構造物を設置するようなハード対応と、モニタリング（カメラや変位計等の設置によるリアルタイムに近いものから、カルテに変状を記録して年に1回程度の詳細な点検によって変状の動向を把握する方法がある）による規制を併用した対応を行うことが必要となる。

上記の措置を行うにあたっては、土工構造物等の変状・損傷等を詳細に把握するために、原因究明を目的に、必要に応じてボーリングによる試料採取や土質試験、構造物本体の健全性を調査する。ただし、土工構造物等は、その特性から一度の調査によって原因や健全性がなかなか明らかにならない場合もあるので、適宜、暫定的な対応を行いながら調査を実施することが必要となる。

日常的な点検等で維持管理基準を超える土工構造物の変状が認められた場合には、土工構造物が所要の機能を回復するよう必要な補修・復旧を行う。補修・復旧は、7-2節(3)の(d)に示した判定結果に基づいて、時期や内容を検討・実施することが重要である。

なお、C1 または C2 判定を受けて実際に補修工事を行う場合には、工事内容と工事規

模（数量）を決定するための調査及び補修設計が行われるのが一般的である。この調査は、点検結果の判定としての詳細調査とは意味や内容、観点が異なることから、補修設計の実施を目的として、工事規模のみを明確にするために詳細調査の必要があるとの判定は行ってはならない。

（２）応急対策

ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）に対する応急対策は困難である。しかし、そのまま放置すると第三者被害を招く可能性がある場合には、のり尻部に大型土のうを用いて押さえ盛土を施したり、交通規制等の緊急対策を講じるものとする。路面等に発生したクラックや段差については、雨水等が盛土等の土工構造物に浸透し、土工構造物の緩み等の二次的被害を招く恐れがあるため、シール材注入等を速やかに行うものとする。

なお、シール材注入等の応急対策を実施すると、その後の変状進行が把握しづらくなるため、マーカー等を設置して変状の進行を確認しやすくすることが必要である。

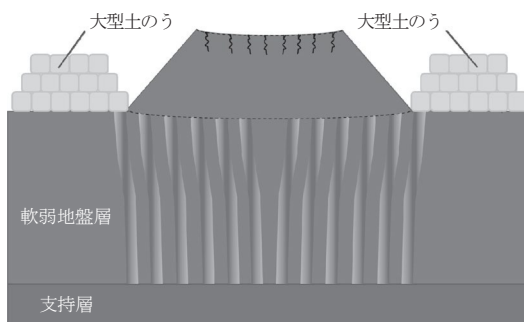


図 7.5 大型土のうを用いた応急対策の例

（３）恒久対策

ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）が原因もしくは軟弱地盤対策工にまで損傷が進展している場合には、大がかりな対策が必要となる。しかし、原因が特定できない場合や軽微な変形の場合には、オーバーレイを施し、盛土等の土工構造物機能を回復させる。

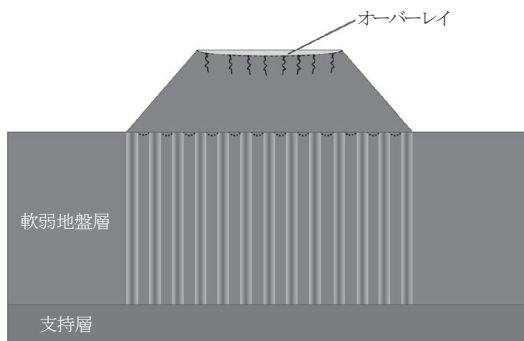


図 7.6 軽微な変形に対する対策の例

(a) 深層混合処理等での側方変位防止

盛土のり尻部または盛土のり肩部に深層混合処理工法や杭または矢板を打設し、側方変形を抑える。

杭または矢板を軟弱層下部の基盤まで打ち込んだとしても、上部の水平変位が大きくなる場合があるので、アンカーを設ける等の配慮が必要である。さらに、押さえ盛土を構築して、すべり土塊の動きを抑制する。

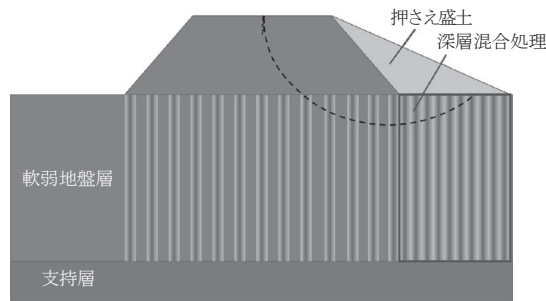


図 7.7 深層混合処理による側方変形抑制工の例

(b) 軽量盛土等での沈下軽減対策

ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）が原因もしくは軟弱地盤対策工にまで損傷が進展している場合には、深層混合杭への荷重分担を軽減させる必要がある。

改良杭が変形したり、せん断耐力が低下している場合には、盛土等の土工構造物を撤去し、改良杭の増し打ち、浅層改良盤の併用等を行った上で、盛土荷重の低減を目的とした軽量盛土を構築したり、盛土高さを低くすることで盛土荷重の低減を図る。

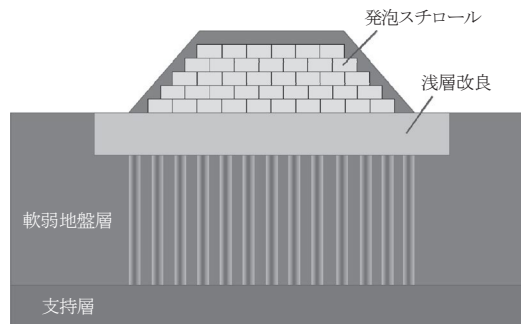


図 7.8 軽量盛土を使用した沈下軽減対策例

7-4 記 録

点検及び診断の結果ならびに措置の内容等を記録し、ALiCC 工法（軟弱地盤対策工）ならびに構築された盛土等の土工構造物等が利用されている期間中は、これを保存する。

盛土等の土工構造物の場合には、地震や豪雨といった大きな外力が作用した場合を除いて急激に変形が進行することは少ない。そのため、路面に現れたクラック等の初期的損傷は、土工構造物や軟弱地盤対策工に原因がある場合、クラック幅の拡大、段差の発生等、徐々に変形が大きくなる。このような変形の進展をとらえるためには、点検記録や舗装管理台帳等の補修履歴が重要になる。

点検の結果は、次期の点検において参照することにより、前回点検からの変化の確認や、未点検箇所での効率的な点検等が可能になる。また、蓄積することにより、点検の精緻化に寄与するほか、分析を行うことで要注意箇所の絞り込みや点検手法の高度化等に活用することができる。

前者は、斜面に設けられた構造物の目地の開き等が進行性のものか、すでに停止したものであるかを判定するために点検の際にマーキングを施しておき、次回の点検の際に同じ箇所の開きを計測して比較することで安定性を評価するというような方法がある。

後者については、例えば軟弱地盤上の盛土において、地震時等に大きな被害を発生させるような箇所においては、日常的に変形が発生していることが多い。軟弱地盤上の盛土や山間部の沢埋め盛土等で路面のクラックに対する修補の回数が他区間に比して多い、というような資料は、次回の点検での重点化につなげることができる。

このため、日常的な点検、定期的な点検、異常時に行う点検等の種類の異なる点検の間でも位置情報等を共通化することで参照できるようにするなど、資料を整理・蓄積することが望ましい。

データは、盛土等の土工構造物等の状態を示す最も基礎的なデータとなるだけでなく、その将来予測等を行う際にも必要となる。したがって、データには、客観性だけでなく、点検ごとに採取されるデータ間で相対比較が行えるような連続性、データの均質性も要求される。データ採取にあたっては、これらの点についても留意する必要がある。

付 録

V_{soil} の算定結果比較

【参考】 V_{soil} の比較（従来法・詳細法・3Dモデル）

V_{soil} 詳細法 分割面積計算例

面積計算例-1 単軸千鳥配置（単軸三角形配置）

面積計算例-2 単軸四角形配置

面積計算例-3 二軸四角形配置

面積計算例-4 二軸千鳥配置

設計例

設計例-1-a 着底型（単軸四角形配置）

設計例-1-b 着底型（二軸四角形配置）

設計例-1-c 着底型（二軸千鳥配置）

設計例-2 浮き型

設計例-3 浮き型＋浅層改良の場合

設計例-4 浮き型＋ジオテキスタイルの場合

設計例-5 特殊事例における設計の考え方：支持層が傾斜している場合

設計例-6 特殊事例における設計の考え方：河川堤防の腹付け盛土の場合

施工事例

施工事例-1 道路、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：29.3m）

施工事例-2 道路、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：32.0m）

施工事例-3 道路、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：19.1m）

施工事例-4 道路、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：14.0～16.5m）、浅層改良

施工事例-5 道路、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：11.5m）、浅層改良

施工事例-6 道路、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：8.6～12.5m）、浅層改良

施工事例-7 道路、着底、改良体（直径：1.3m、長さ：4.0～7.0m）、浅層改良

施工事例-8 築堤、着底、改良体（直径：1.0m、長さ：31.0m）

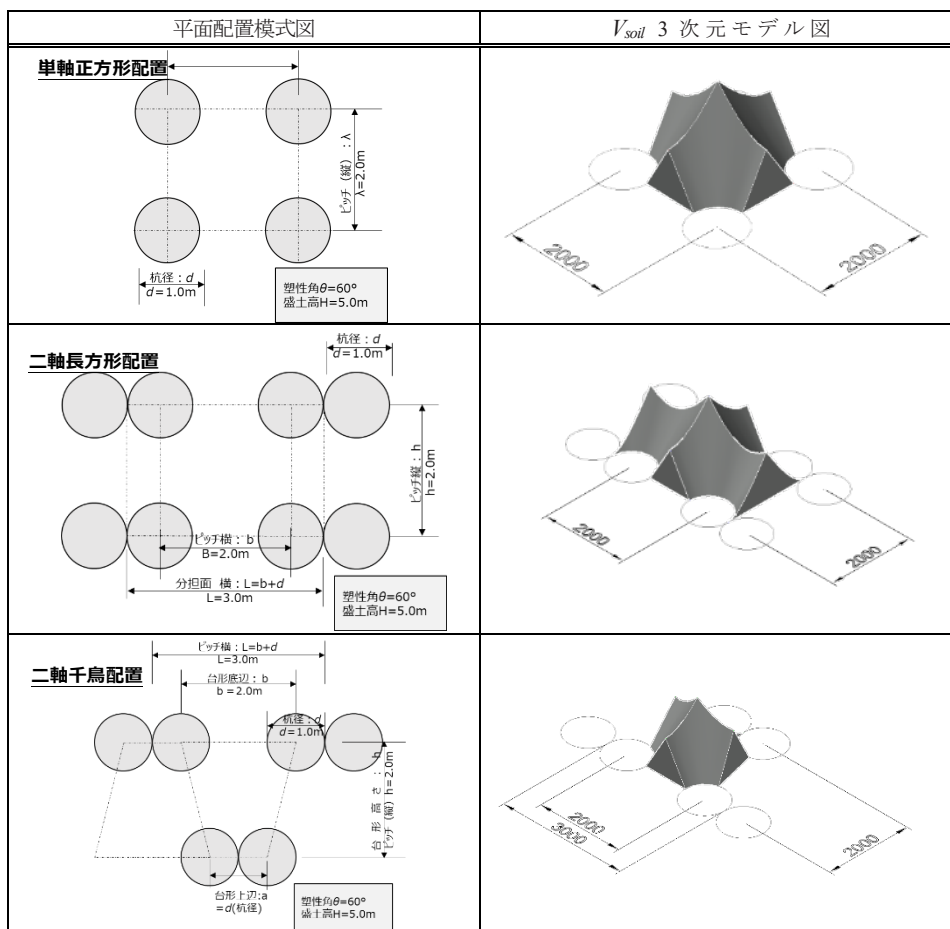
【参考】 V_{soil} の比較（従来法・詳細法・3次元モデル）

付表1-1に単軸正方形配置、二軸長方形配置、二軸千鳥配置の V_{soil} について従来法、詳細法及び、3次元モデルから算出した V_{soil} を示す。単軸正方形配置では従来法と比較し、詳細法の V_{soil} が低減されかつ、3次元モデルに近似することを確認した。また、従来の計算方法では対応外であった二軸接円の長方形配置、千鳥配置についても3次元のモデルの V_{soil} と同等である事を確認した。

以上より、詳細法を用いることで多様な配置に対しての検討が可能となる。

付表1-1 各配置と V_{soil} の算定結果と3次元モデルによる体積算出結果比較

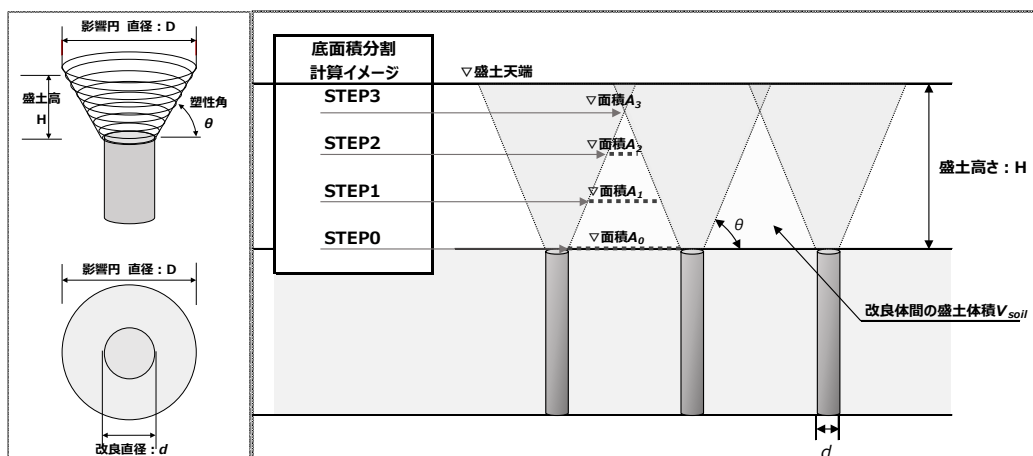
改良体配置	詳細法 (m^3)	盛土分割数 (回)	3次元モデルによる 体積算出結果(m^3)	従来法 (m^3)
単軸正方形配置	2.064	30	2.064	2.082
二軸長方形配置	2.614	30	2.608	適応外
二軸千鳥配置	1.281	30	1.281	適応外



付図1-1 V_{soil} の3Dモデルの条件

面積計算例 -1 単軸千鳥配置（三角形配置）

詳細法にて改良体間に作用する盛土体積 V_{soil} を求める場合、盛土を水平層状に分割し、各盛土高さで未改良部分が負担する盛土面積を算出する。この盛土負担面積は、改良体に作用する盛土塊範囲（影響範囲と称す）と改良体配置の関係より算定する。

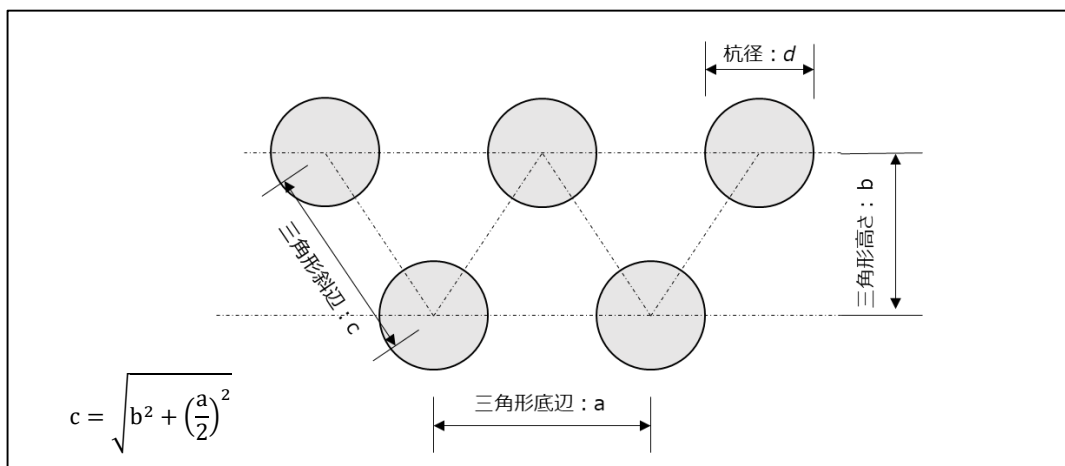


付図 1-1 改良体間荷重算定モデルの形状

単軸改良体を千鳥（三角形）配置した場合の水平層状に分割した際の影響範囲毎の底面積 A_i は、改良体の平面配置により以下の2パターンに分類される。

Case1：（三角形底辺： a ） $\leq$ （三角形高さ： b ）の場合

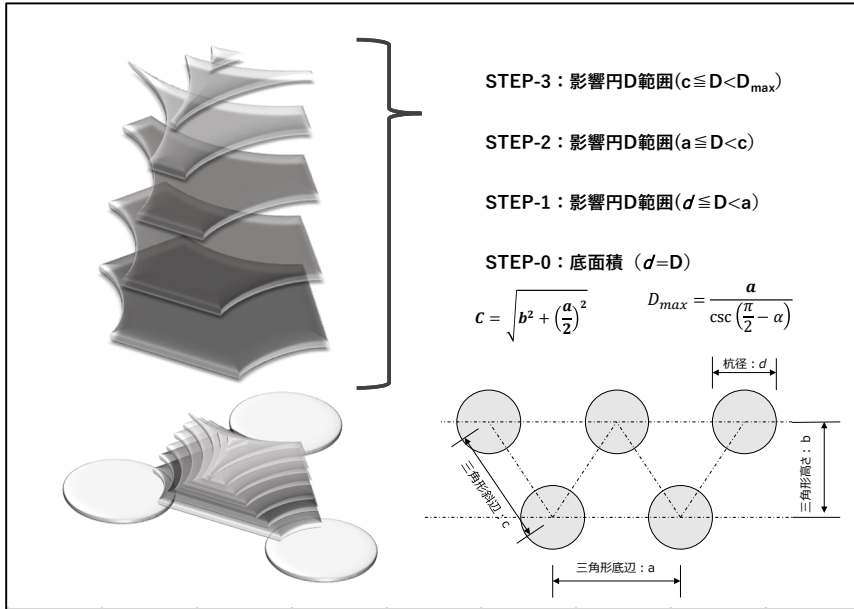
Case2：（三角形斜辺： c ） $<$ （三角形底辺： a ）の場合



付図 1-2 単軸千鳥（三角形）基本配置図

(1) CASE1 (三角形底辺 : a) ≤ (三角形高さ : b) の場合

Case1の影響円Dと底面積 A_0 算出STEPを以下に示す。



付図1-3 単軸千鳥（三角形）配置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

単軸千鳥配置のSTEP-0時の無処理部分に生じる盛土面積 A_0 は以下の式で求められる。

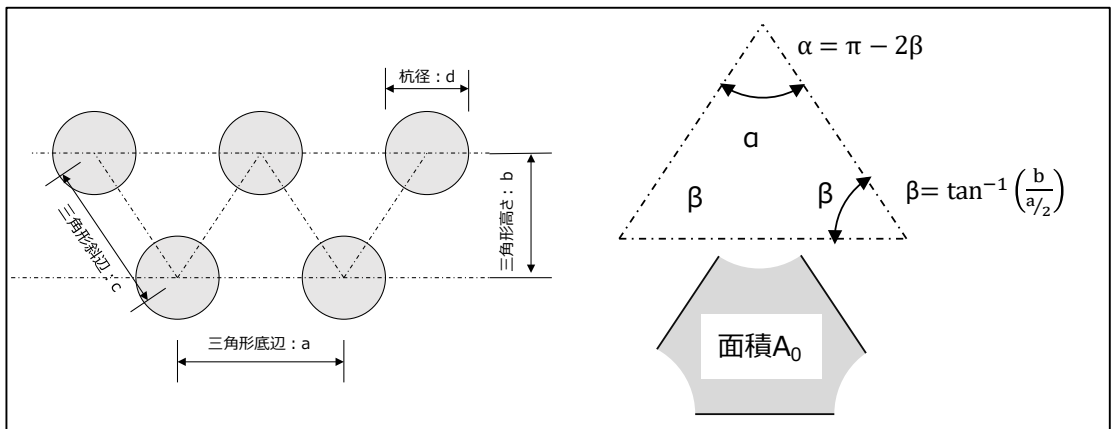
$$A_0 = A_{0-1} - A_{0-2}$$

ここに、 A_{0-1} : 基本配置の底面積

A_{0-2} : 改良体が影響を及ぼす底面積 (杭径dの半円の面積)

$$A_{0-1} = \frac{a \cdot b}{2}$$

$$A_{0-2} = \frac{1}{2} \pi \frac{d^2}{4}$$



付図 1-4 単軸千鳥配置面積(Case1 STEP-0)

STEP-1：影響円D範囲($d \leq D < a$)

単軸千鳥配置のSTEP-1の時の無処理部分に生じる盛土面積 A_1 は以下の式で求められる。

$$A_1 = A_{1-0} - A_{1-1} - 2A_{1-2}$$

ここに、 A_{1-0} ：基本配置の面積（三角形）

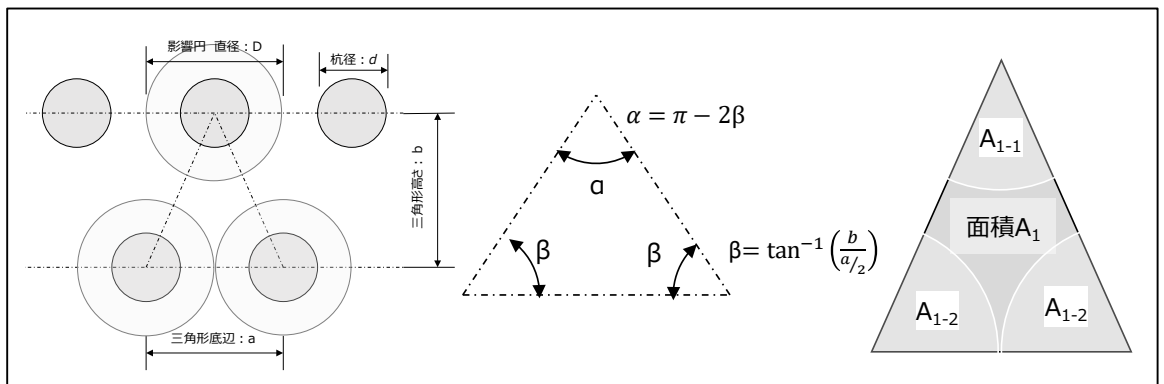
A_{1-0} ：付図1-5に示す半径 $D/2$ 、角度 α の扇形の面積

A_{1-2} ：付図1-5に示す半径 $D/2$ 、角度 β の扇形の面積

$$A_{1-0} = \frac{a \cdot b}{2}$$

$$A_{1-1} = \frac{\alpha \cdot D^2}{8}$$

$$A_{1-2} = \frac{\beta \cdot D^2}{8}$$



付図 1-5 単軸千鳥配置面積(Case1 STEP-1)

STEP-2 : 影響円 D 範囲($a \leq D < c$)

単軸千鳥配置のSTEP-2の時の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{2-0} - A_{2-1} - 2A_{2-2} - A_{2-3}$$

ここに、 A_{2-0} : 基本配置の面積 (三角形)

A_{2-1} : 付図1-6に示す半径 $D/2$ 、角度 α の扇形の面積

A_{2-2} : 付図1-6に示す半径 $D/2$ 、角度 β_{2-1} の扇形の面積

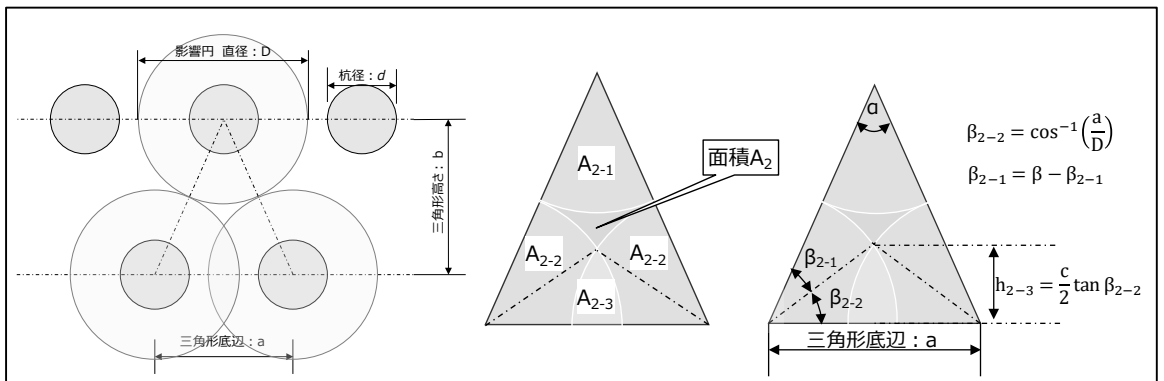
A_{2-3} : 付図1-6に示す底辺 a 、高さ h_{2-3} の三角形面積

$$A_{2-0} = \frac{a \cdot b}{2}$$

$$A_{2-1} = \frac{\alpha \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-2} = \frac{\beta_{2-1} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-3} = \frac{h_{2-3} \cdot a}{2}$$



付図 1-6 単軸千鳥配置面積(Case1 STEP-2)

STEP-3 : 影響円($c \leq D < D_{max}$)

単軸千鳥) 配置のSTEP-3の時の無処理部分に生じる盛土面積 A_3 は以下の式で求められる。

$$A_3 = A_{3-0} - 2A_{3-1} - A_{3-2} - 2A_{3-3} - A_{3-4}$$

ここに、 A_{3-0} : 基本配置の面積 (三角形)

A_{3-1} : 付図1-7に示す半径 $D/2$ 、角度 β_{3-1} の扇形の面積

A_{3-2} : 付図1-7に示す半径 $D/2$ 、角度 α_3 の扇形の面積

A_{3-3} : 付図1-7に示す底辺 c 、高さ h_{3-1} の三角形面積

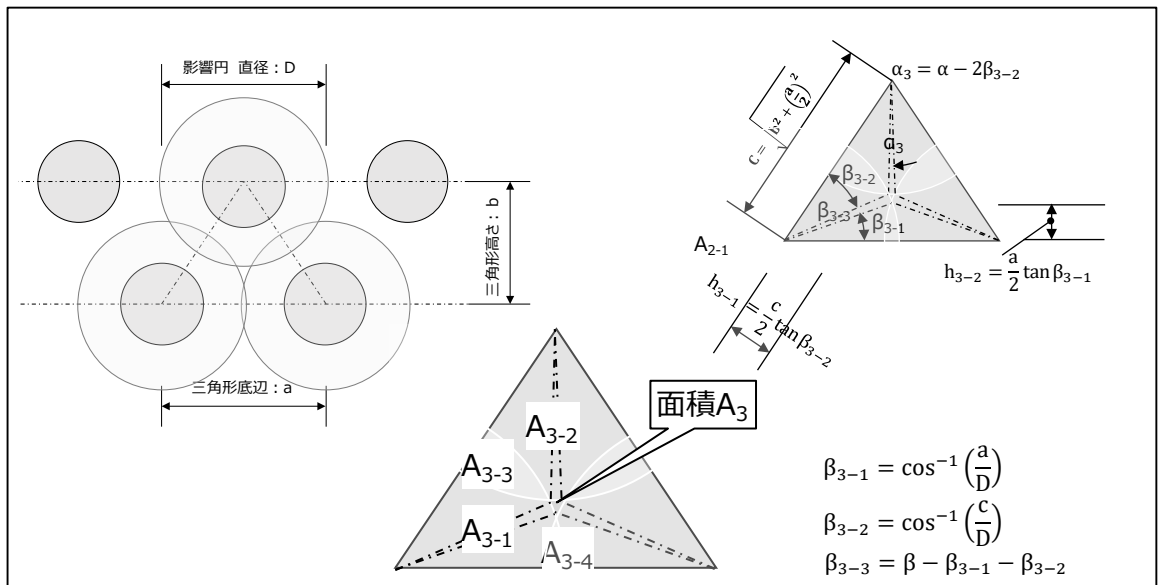
A_{3-4} : 付図1-7に示す底辺 a 、高さ h_{3-2} の三角形面積

$$A_{3-1} = \frac{\beta_{3-1} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{3-2} = \frac{\alpha_3 \cdot D^2}{8}$$

$$A_{3-3} = \frac{h_{3-1} \cdot c}{2}$$

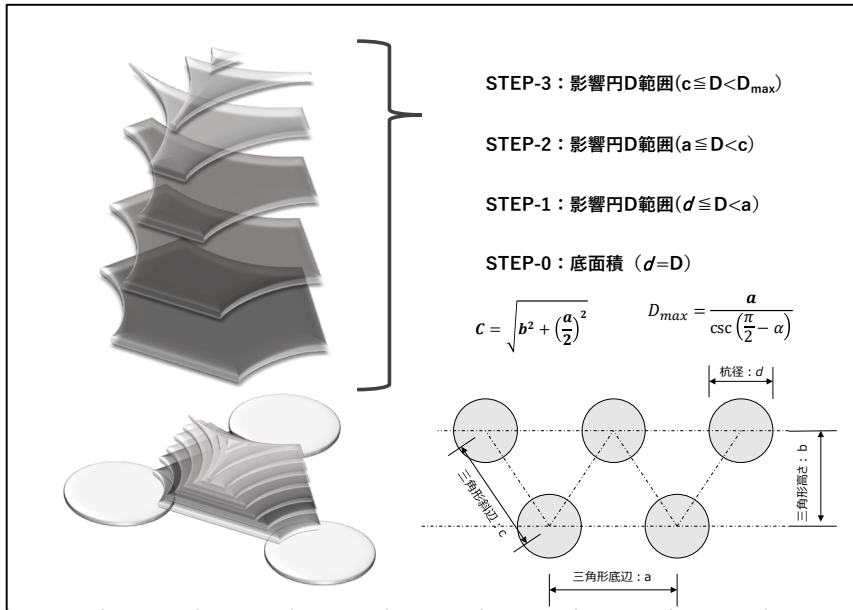
$$A_{3-4} = \frac{h_{3-2} \cdot a}{2}$$



付図 1-7 単軸千鳥配置面積(Case1 STEP-3)

(2) CASE2 (三角形斜辺 : c) $\leq$ (三角形底辺 : a) の場合

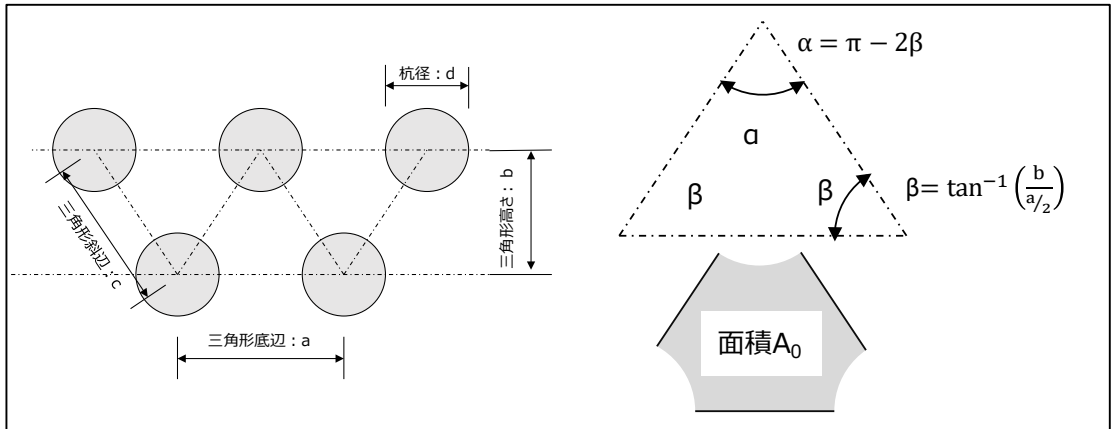
Case2の影響円Dと底面積 A_0 算出STEPを以下に示す。



付図 1-8 単軸千鳥 (三角形) 配置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

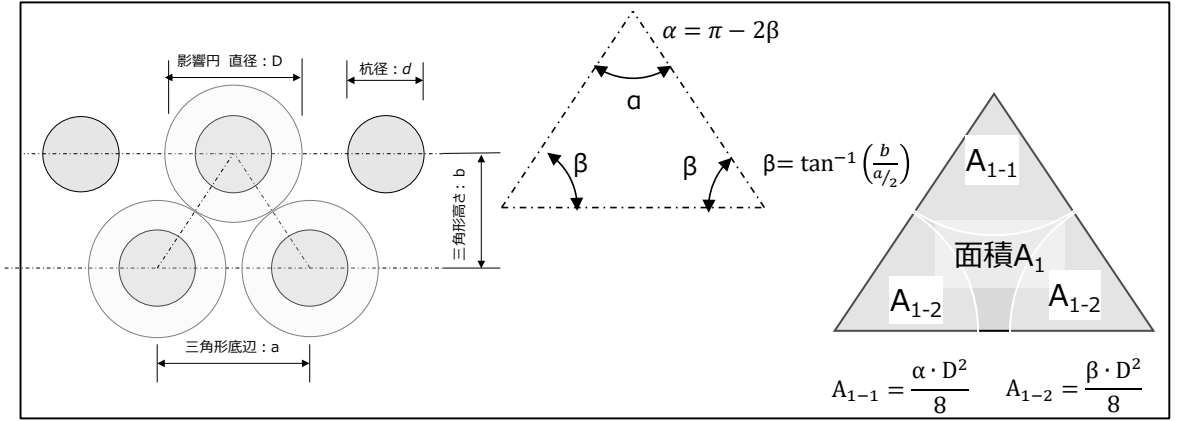
Case1のSTEP-0と同様のため省略



(再掲) 付図 1-4 単軸千鳥配置面積(Case1 STEP-0)

STEP-1：影響円 D 範囲 ($d \leq D < c$)

Case1のSTEP-1と同様のため省略



付図 1-9 単軸千鳥配置面積(Case2 STEP-1)

STEP-2：影響円 D 範囲 ($c \leq D < a$)単軸千鳥配置のSTEP-2の時の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{2-0} - 2A_{2-1} - A_{2-2} - 2A_{2-3}$$

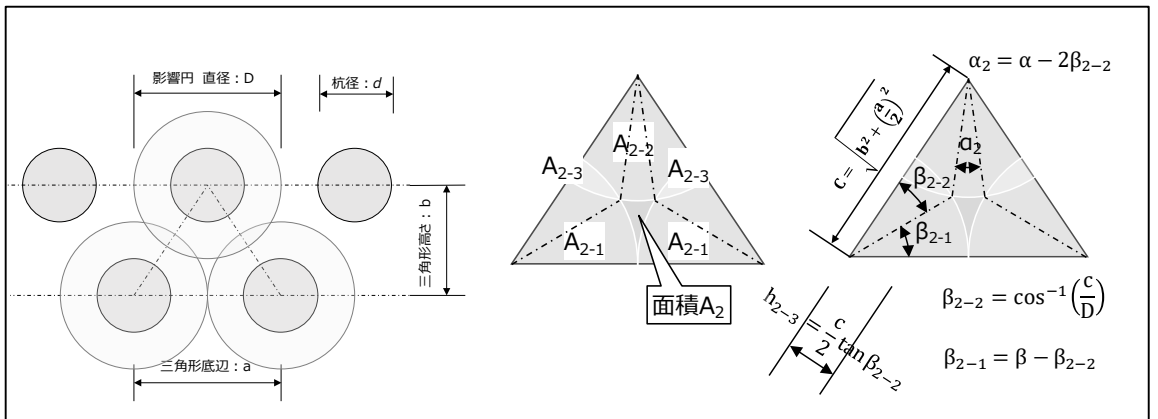
ここに、 A_{2-0} ：基本配置の面積（三角形） A_{2-1} ：付図1-10に示す半径 $D/2$ 、角度 β_{2-1} の扇形の面積 A_{2-2} ：付図1-10に示す半径 $D/2$ 、角度 α_2 の扇形の面積 A_{2-3} ：付図1-10に示す底辺 c 、高さ h_{2-3} の三角形面積

$$A_{2-0} = \frac{a \cdot b}{2}$$

$$A_{2-1} = \frac{\beta_{2-1} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-2} = \frac{\alpha_2 \cdot D^2}{8}$$

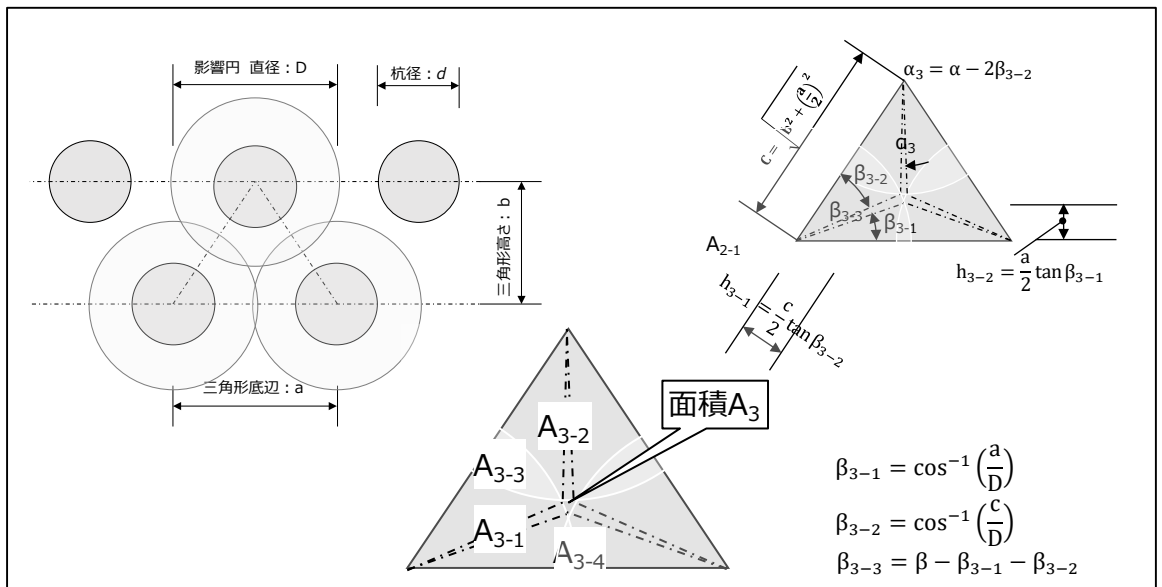
$$A_{2-3} = \frac{h_{2-3} \cdot c}{2}$$



付図 1-10 単軸千鳥配置面積(Case2 STEP-2)

STEP-3 : 影響円 D 範囲 ($a \leq D < D_{\max}$)

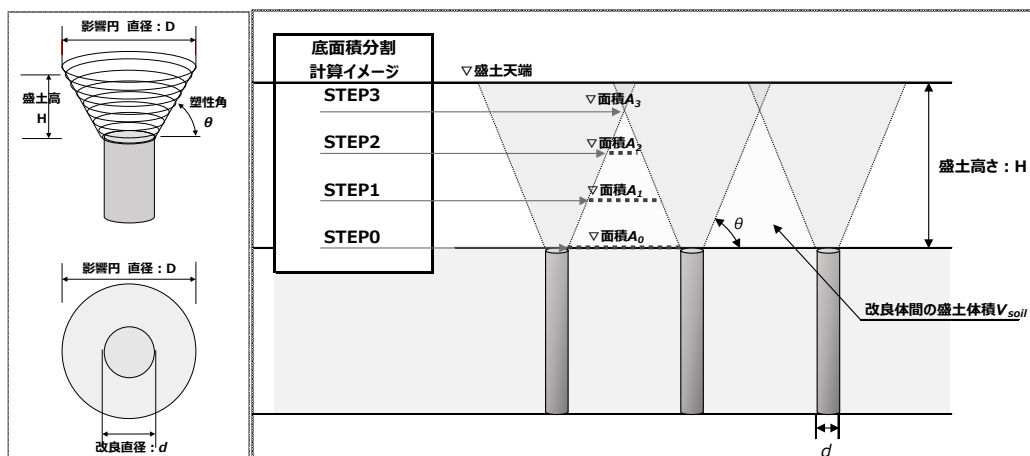
Case1のSTEP-3と同様のため省略



(再掲) 付図 1-7 単軸千鳥配置面積(Case1 STEP-3)

面積計算例 -2 単軸四角形配置

詳細法にて改良体間に作用する盛土体積 V_{soil} を求める場合、盛土を水平層状に分割し、各盛土高さで未改良部分が負担する盛土面積を算出する。この盛土負担面積は、改良体に作用する盛土塊範囲（影響範囲と称す）と改良体配置の関係より算定する。

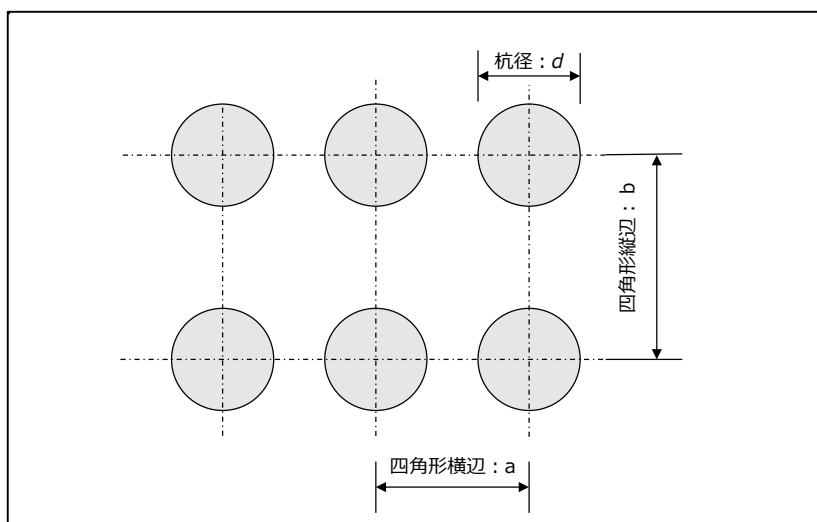


付図 2-1 改良体間荷重算定モデルの形状

単軸改良体を千鳥（三角形）配置した場合の水平層状に分割した際の影響範囲毎の面積 A_i は、改良体の平面配置により以下の2パターンに分類される。

Case1 : (四角形縦辺 : b) $\leq$ (四角形横辺 : a) の場合

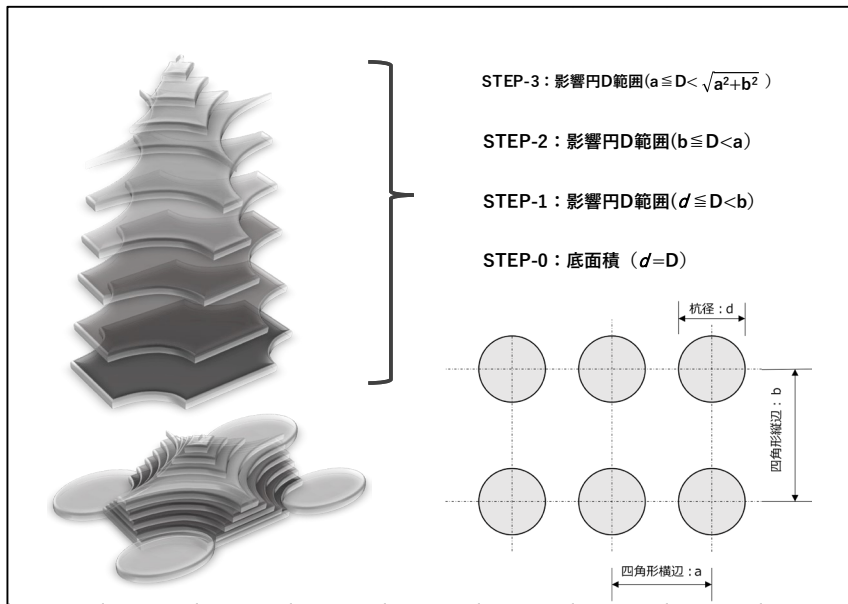
Case2 : (四角形横辺 : a) < (四角形縦辺 : b) の場合



付図 2-2 単軸四角形基本配置図

(1) CASE1 (四角形縦辺 : b) $\leq$ (四角形横辺 : a) の場合

Case1の影響円Dと底面積 A_0 算出STEPを以下に示す。



付図 2-3 単軸四角形配置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

単軸四角形配置のSTEP-0時の無処理部分に生じる盛土面積 A_0 は以下の式で求められる。

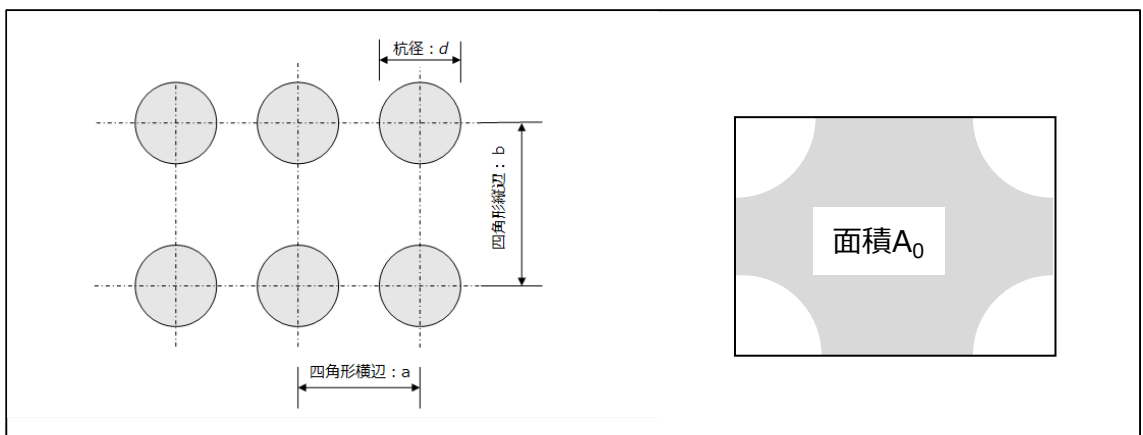
$$A_0 = A_{0-0} - 4A_{0-1}$$

ここに、 A_{0-0} : 基本配置の底面積

A_{0-1} : 改良体が影響を及ぼす底面積 (杭径 d の1/4本の面積)

$$A_{0-0} = a \cdot b$$

$$A_{0-1} = \frac{d^2}{16} \pi$$



付図 2-4 単軸四角形配置面積(Case1 STEP-0) 模式図

STEP-1 : 影響円 D 範囲($d \leq D < b$)

単軸四角形配置STEP-1の無処理部分に生じる盛土面積 A_1 は以下の式で求められる。

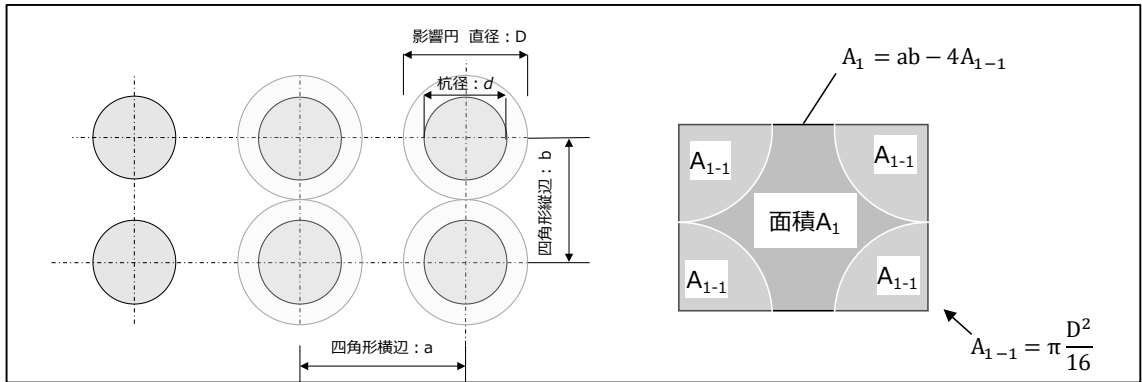
$$A_1 = A_{1-0} - A_{1-1}$$

ここに、 A_{1-0} : 基本配置の底面積

A_{1-1} : 改良体が影響を及ぼす底面積 (杭径 d の1本の面積)

$$A_{1-0} = a \cdot b$$

$$A_{1-1} = \frac{D^2}{16} \pi$$



付図 2-5 単軸四角形配置面積(Case1 STEP-1) 模式図

STEP-2 : 影響円 D 範囲($b \leq D < a$)

単軸四角形配置STEP-2の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{2-0} - 2A_{2-1} - 4A_{2-2}$$

ここに、 A_{2-0} : 基本配置の底面積

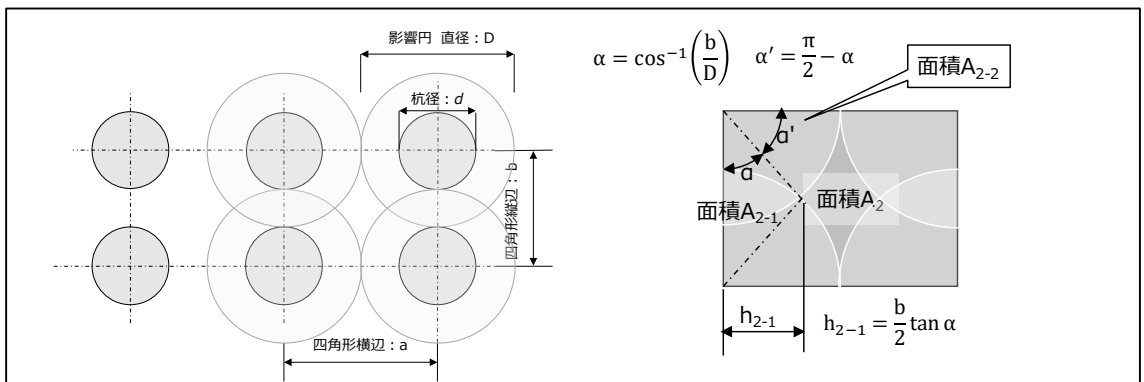
A_{2-1} : 付図2-6に示す底辺 b 、高さ h_{2-1} の三角形の面積

A_{2-2} : 付図2-6に示す半径 $D/2$ 、角度 α' の扇形の面積

$$A_{2-0} = a \cdot b$$

$$A_{2-1} = \frac{h_{2-1} \cdot b}{2}$$

$$A_{2-2} = \frac{\alpha' \cdot D^2}{8}$$



付図 2-6 単軸四角形配置面積(Case1 STEP-2) 模式図

STEP-3 : 影響円 D 範囲($a \leq D < \sqrt{a^2+b^2}$)

単軸四角形配置STEP-3の無処理部分に生じる盛土面積 A_3 は以下の式で求められる。

$$A_3 = A_{3-0} - 2A_{3-1} - 2A_{3-2} - 4A_{3-3}$$

ここに、 A_{3-0} : 基本配置の底面積

A_{3-1} : 付図2-7に示す底辺 b 、高さ h_{3-1} の三角形の面積

A_{3-2} : 付図2-7に示す底辺 a 、高さ h_{3-2} の三角形の面積

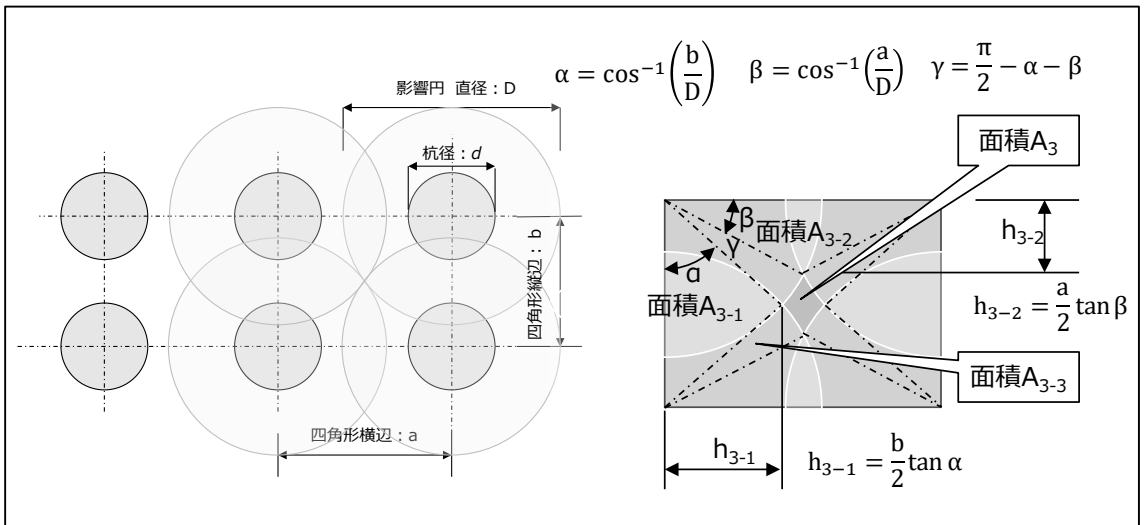
A_{3-3} : 付図2-7に示す半径 $D/2$ 、角度 γ の扇形の面積

$$A_{3-0} = a \cdot b$$

$$A_{3-1} = \frac{h_{3-1} \cdot b}{2}$$

$$A_{3-2} = \frac{h_{3-2} \cdot a}{2}$$

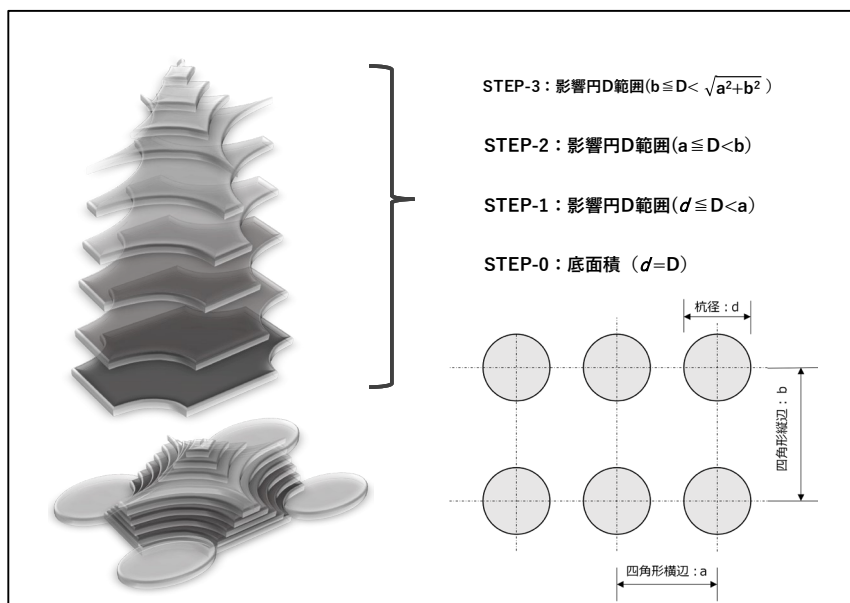
$$A_{3-3} = \frac{\gamma \cdot D^2}{8}$$



付図 2-7 単軸四角形配置面積(Case1 STEP-3) 模式図

(2) CASE2 (四角形横辺 : a) ≤ (四角形縦辺 : b) の場合

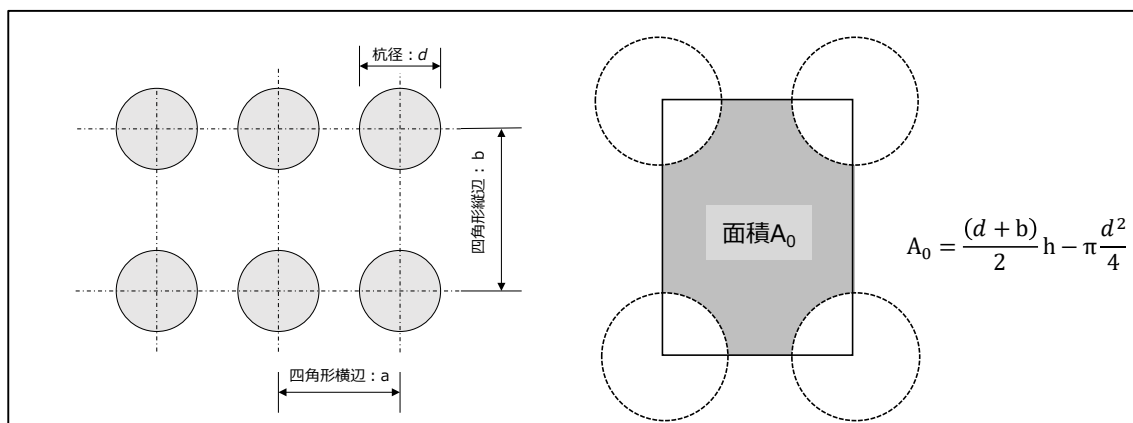
Case2の影響円Dと底面積A_i算出STEPを以下に示す。



付図 2-8 単軸四角形配置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

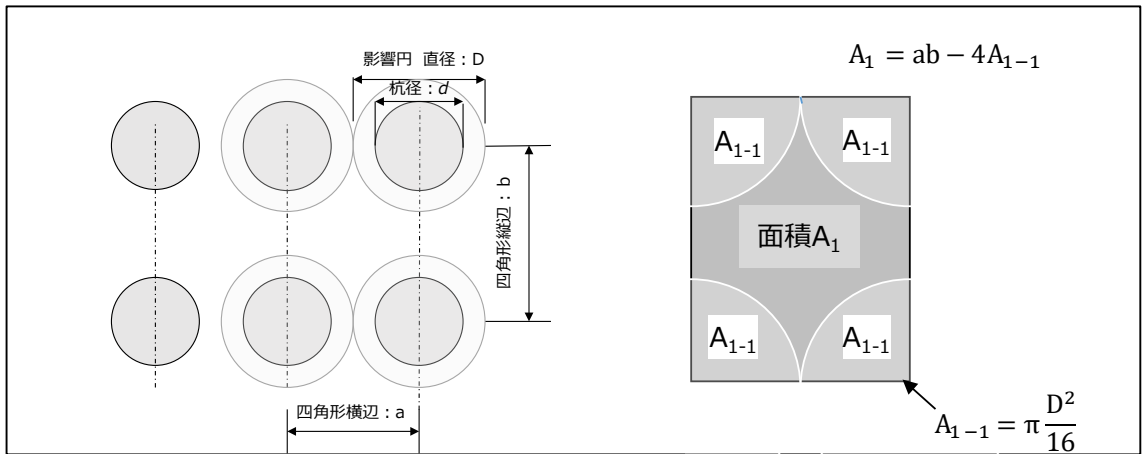
Case1のSTEP-0と同様のため省略



付図 2-9 単軸四角形配置面積(Case2 STEP-0) 模式図

STEP-1 : 影響円 D 範囲 ($d \leq D < a$)

Case1のSTEP-1と同様のため省略



付図 2-10 単軸四角形配置面積(Case2 STEP-1) 模式図

STEP-2 : 影響円 D 範囲 ($a \leq D < b$)単軸四角形配置STEP-2の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

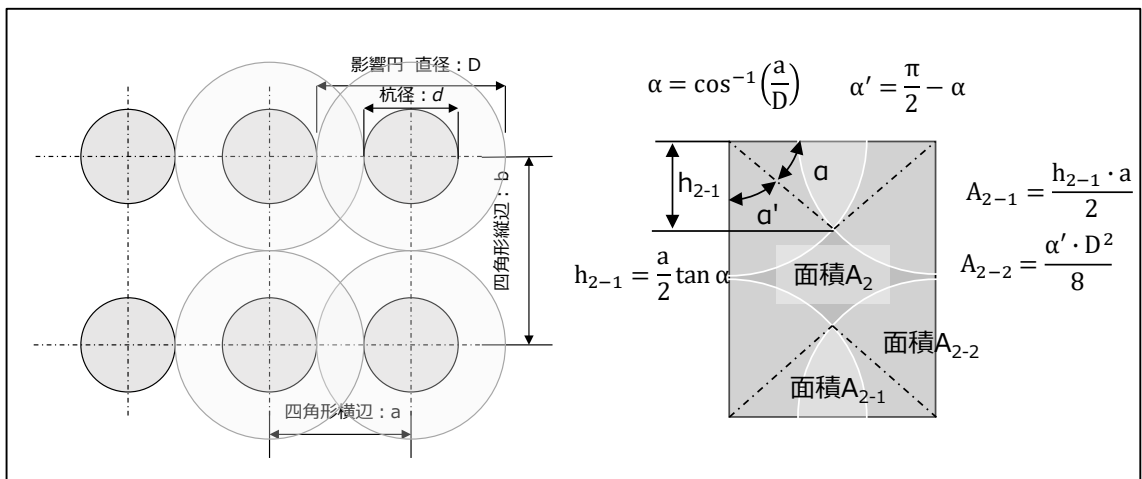
$$A_2 = A_{2-0} - 2A_{2-1} - 4A_{2-2}$$

ここに、 A_{2-0} : 基本配置の底面積 A_{2-1} : 付図2-11に示す底辺 a 、高さ h_{2-1} の三角形の面積 A_{2-2} : 付図2-11に示す半径 $D/2$ 、角度 α' の扇形の面積

$$A_{2-0} = a \cdot b$$

$$A_{2-1} = \frac{h_{2-1} \cdot a}{2}$$

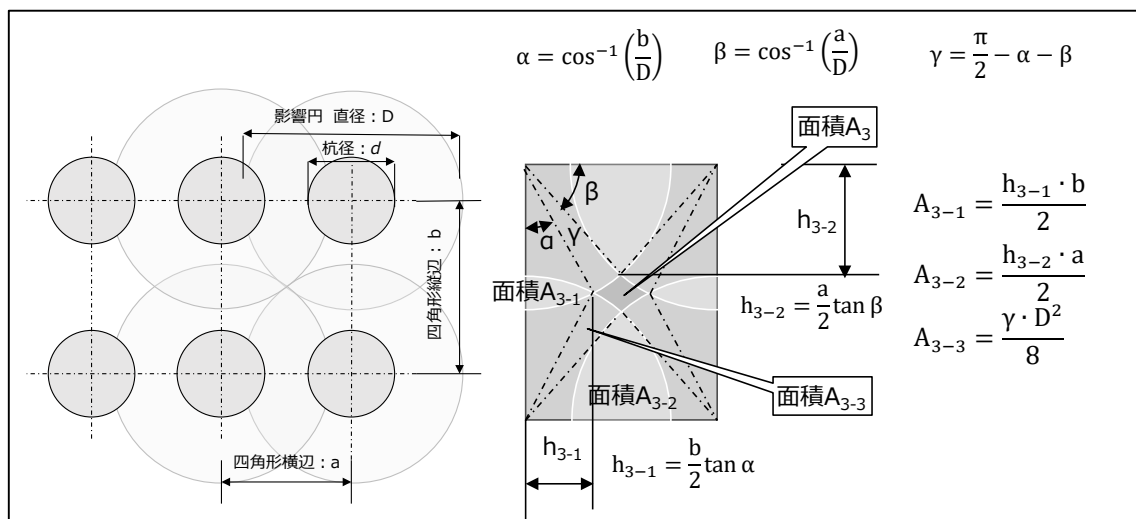
$$A_{2-2} = \frac{\alpha' \cdot D^2}{8}$$



付図 2-11 単軸四角形配置面積(Case2 STEP-2) 模式図

STEP-3 : 影響円 D 範囲 ($b \leq D < \sqrt{a^2 + b^2}$)

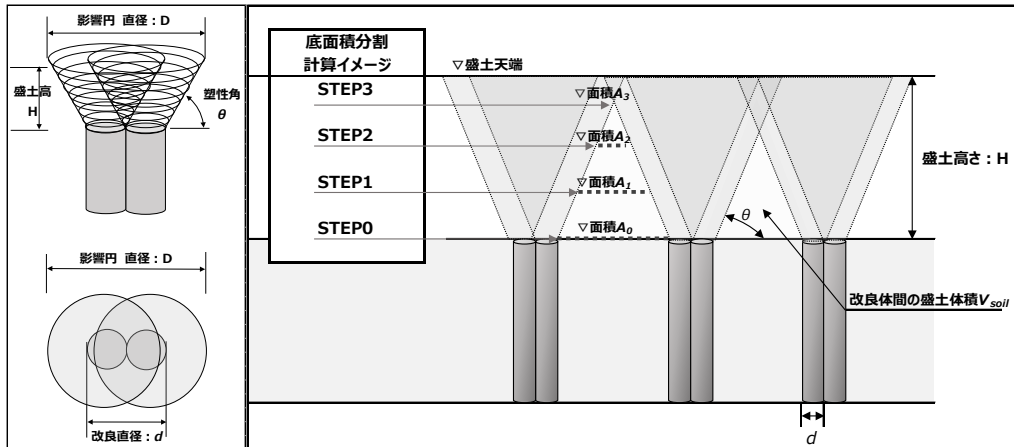
Case1 のSTEP-3 と同様のため省略



付図 2-12 単軸四角形配置面積(Case2 STEP-3) 模式図

底面積計算例 -3 二軸四角形配置

詳細法にて改良体間に作用する盛土体積 V_{soil} を求める場合、盛土を水平層状に分割し、各盛土高さで未改良部分が負担する盛土面積を算出する。この盛土負担面積は、改良体に作用する盛土塊範囲（影響範囲と称す）と改良体配置の関係より算定する。



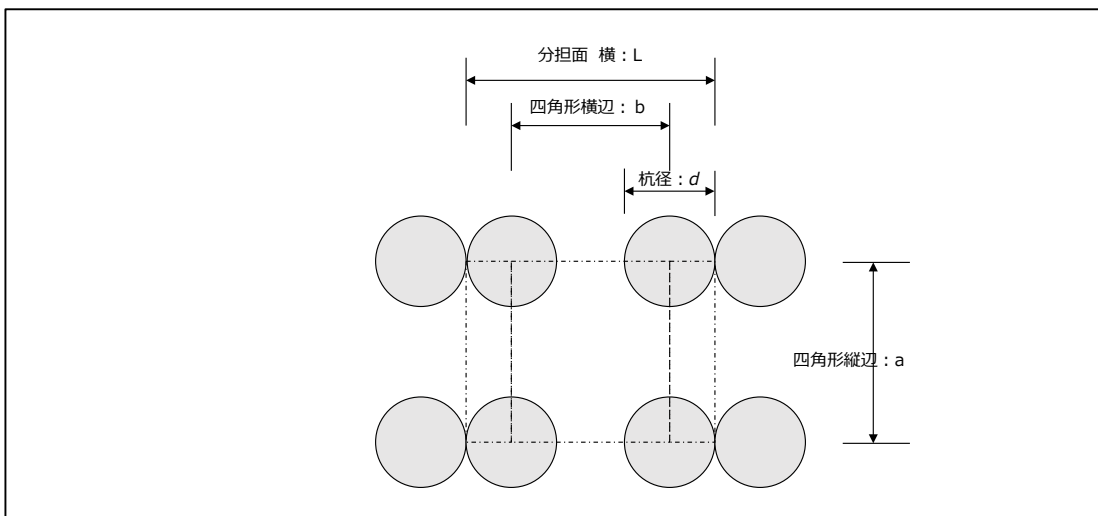
付図 3.1 二軸配置改良体間荷重算定モデルの形状

二軸改良体を四角形配置した場合の水平層状に分割した際の影響範囲毎の面積 A_i は、改良体の平面配置により以下の3パターンに分類される。

Case1: (四角形横辺: b) $\leq$ (四角形縦辺: a) の場合

Case2: (四角形縦辺: a) $<$ (四角形縦辺: b) $\leq k$ ($=\sqrt{a^2 + d^2}$) の場合

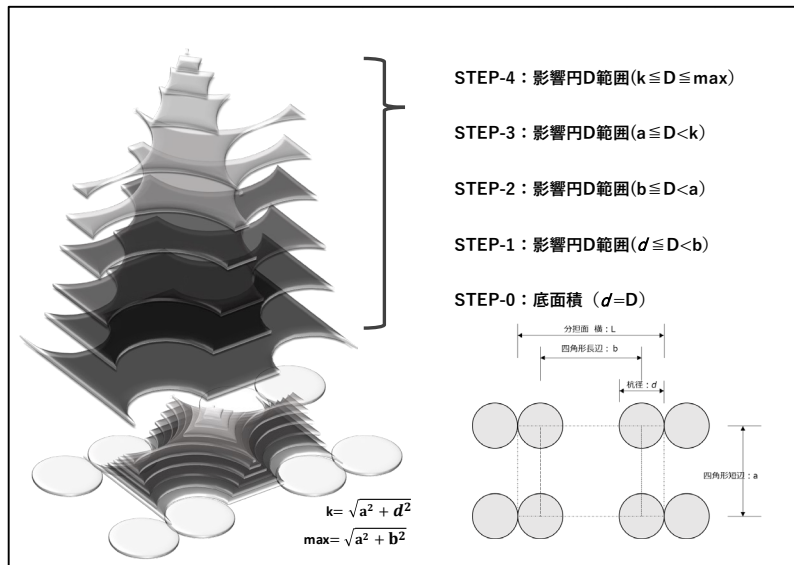
Case3: k ($=\sqrt{a^2 + d^2}$) $<$ (四角形縦辺: b) の場合



付図 3.2 二軸四角形基本配置図

(1) CASE1 (四角形横辺 : b) $\leq$ (四角形縦辺 : a) の場合

Case1の影響円Dと底面積 A_i 算出STEPを以下に示す。



付図 3.3 二軸四角形配置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

二軸四角形配置STEP-0の無処理部分に生じる盛土面積 A_0 は以下の式で求められる。

$$A_0 = A_{0-1} + 2A_{0-2}$$

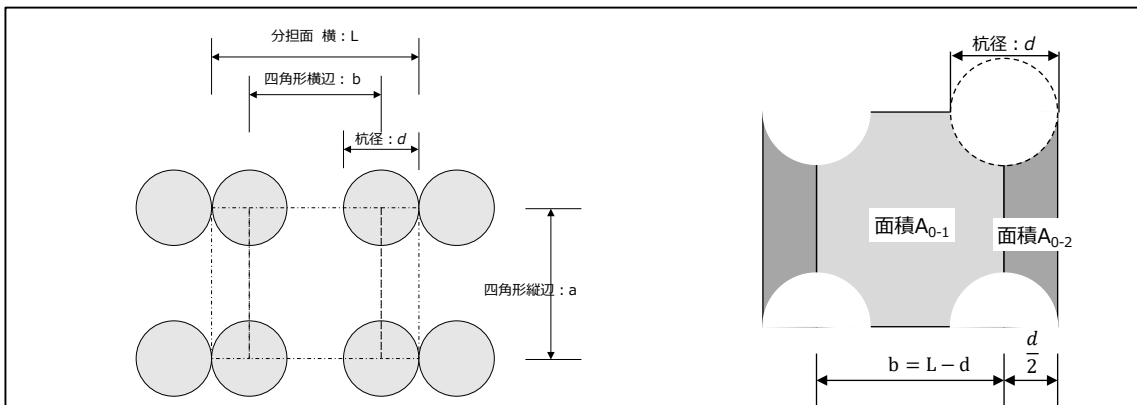
ここに、 A_{0-0} : 基本配置の底面積

A_{0-1} : 付図3.4に示す範囲の面積

A_{0-2} : 付図3.4に示す範囲の面積

$$A_{0-1} = a \cdot b - \frac{d^2}{4} \pi$$

$$A_{0-2} = \frac{a \cdot d}{2} - \frac{d^2}{8} \pi$$



付図 3.4 二軸四角形配置面積(Case1 STEP-0) 模式図

STEP-1 : 影響円 D 範囲($d \leq D < b$)

二軸四角形配置STEP-1の無処理部分に生じる盛土面積 A_1 は以下の式で求められる。

$$A_1 = A_{1-1} + 2A_{1-2}$$

ここに、 A_{1-1} : 付図3.5に示す範囲の面積

A_{1-2} : 付図3.5に示す範囲の面積

A_{121} : 付図3.5に示す A_{1-2} 範囲の底辺 $d/2$ 、高さ h_{1-2} の三角形の面積

A_{122} : 付図3.5に示す A_{1-2} 範囲の半径 $D/2$ 、角度 δ_{122} の扇形の面積

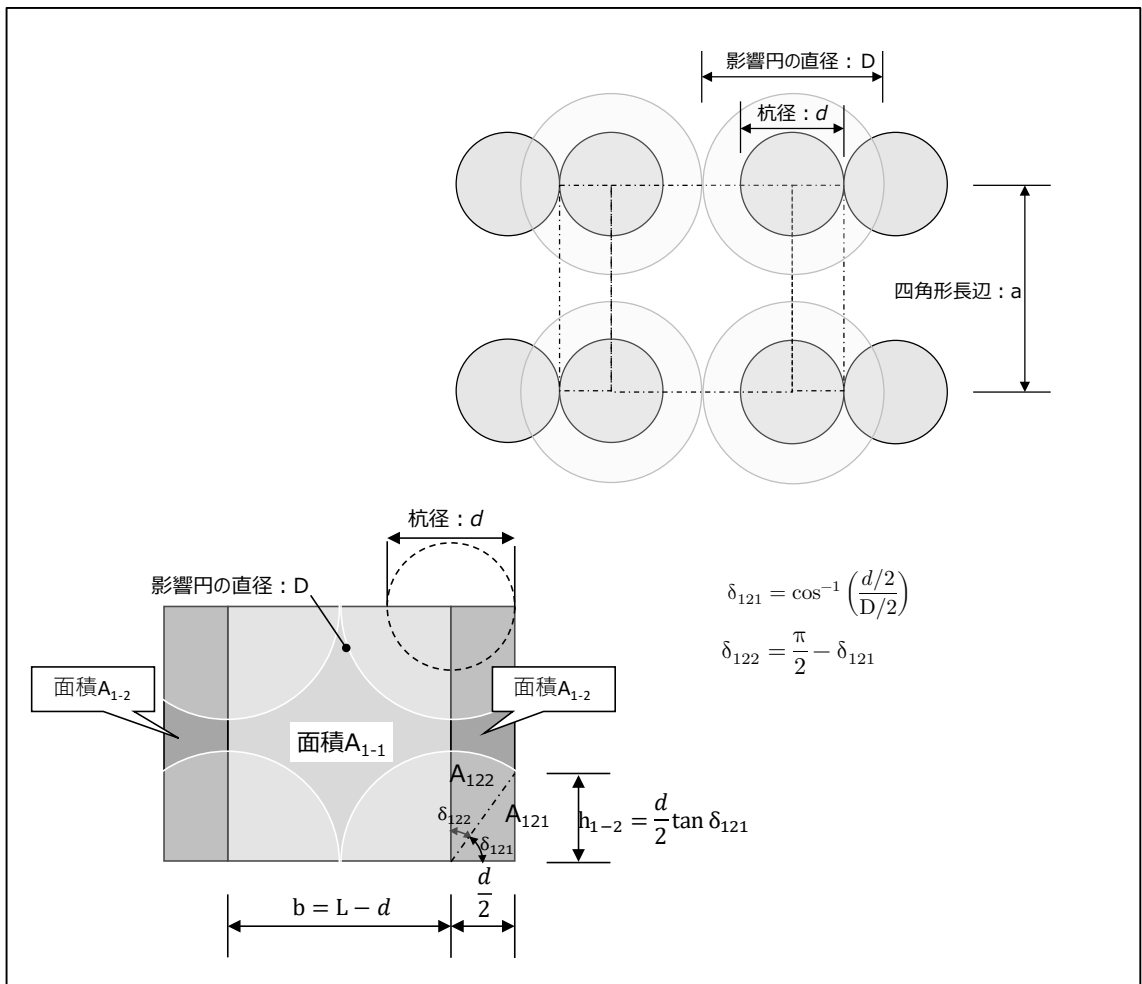
$$A_{1-0} = a \cdot b$$

$$A_{1-1} = a \cdot b - \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A_{1-2} = \frac{a \cdot d}{2} - 2(A_{121} + A_{122})$$

$$A_{121} = \frac{d \cdot h_{1-2}}{4}$$

$$A_{122} = \frac{\delta_{122} \cdot D^2}{8}$$



付図 3.5 二軸四角形配置面積(Case1 STEP-1) 模式図

STEP-2：影響円 D 範囲($b \leq D < a$)

二軸四角形配置のSTEP-2の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{2-1} + 2A_{2-2}$$

ここに、 A_{2-1} ：付図3.6に示す範囲の面積

A_{2-2} ：付図3.6に示す範囲の面積

A_{211} ：付図3.6に示す A_{2-1} 範囲の底辺 $b/2$ 、高さ h_{2-1} の三角形の面積

A_{212} ：付図3.6に示す A_{2-1} 範囲の半径 $D/2$ 、角度 δ_{212} の扇形の面積

A_{221} ：付図3.6に示す A_{2-2} 範囲の底辺 $d/2$ 、高さ h_{2-2} の三角形の面積

A_{222} ：付図3.6に示す A_{2-2} 範囲の半径 $D/2$ 、角度 δ_{222} の扇形の面積

$$A_{2-1} = a \cdot b - 4(A_{211} + A_{212})$$

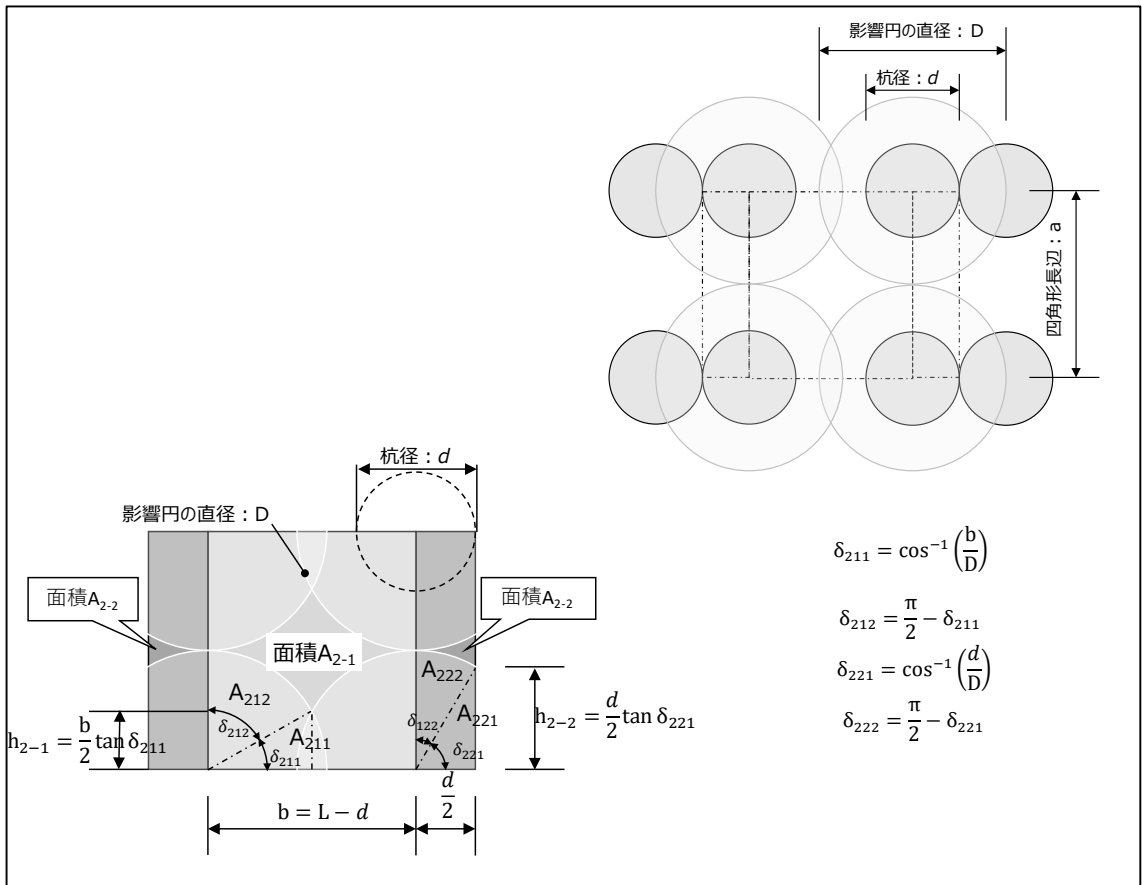
$$A_{2-2} = \frac{a \cdot d}{2} - 2(A_{221} + A_{222})$$

$$A_{211} = \frac{b \cdot h_{2-1}}{4}$$

$$A_{212} = \frac{\delta_{212} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{221} = \frac{d \cdot h_{2-2}}{4}$$

$$A_{222} = \frac{\delta_{222} \cdot D^2}{8}$$



付図 3.6 二軸四角形配置面積(Case1 STEP-2) 模式図

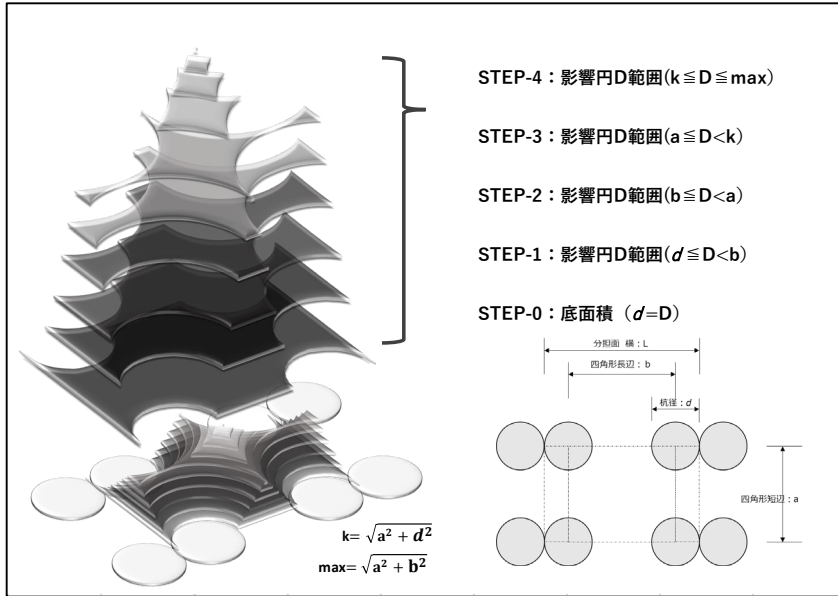
STEP-4 : 影響円 D 範囲($k \leq D < \max$)

Case1のSTEP-3と同様の計算方法となるため省略。

※STEP-4の影響円Dでは、面積 A_{3-2} が0となる。

(2) CASE2 (四角形縦辺 : a) < (四角形縦辺 : b) $\leq k$ ($=\sqrt{a^2 + d^2}$) の場合

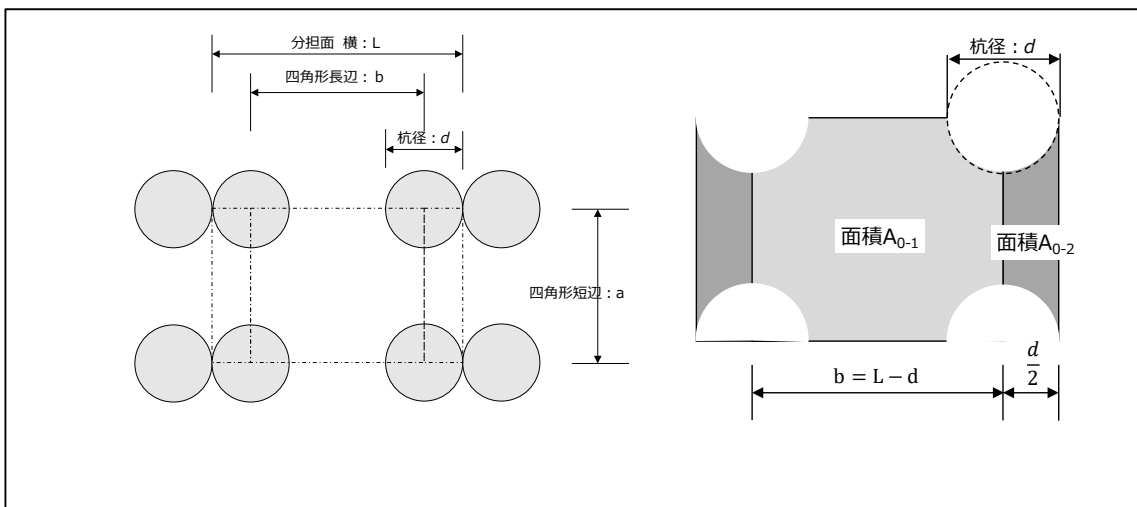
Case2の影響円Dと底面積 A_i 算出STEPを以下に示す。



付図 3.8 二軸四角形配置底面積場合分け (Case2) 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

Case1のSTEP-0と同様となるため省略



(再掲) 付図 3.4 二軸四角形配置面積(Case1 STEP-0) 模式図

STEP-1 : 影響円 D 範囲 ($d \leq D < a$)

二軸四角形配STEP-1(Case2)の無処理部分に生じる盛土面積 A_1 は以下の式で求められる。

$$A_1 = A_{1-1} + 2A_{1-2}$$

ここに、 A_{1-1} : 付図3.9に示す範囲の面積

A_{1-2} : 付図3.9に示す範囲の面積

A_{121} : 付図3.9に示す A_{1-2} 範囲の底辺 $d/2$ 、高さ h_{2-1} の三角形の面積

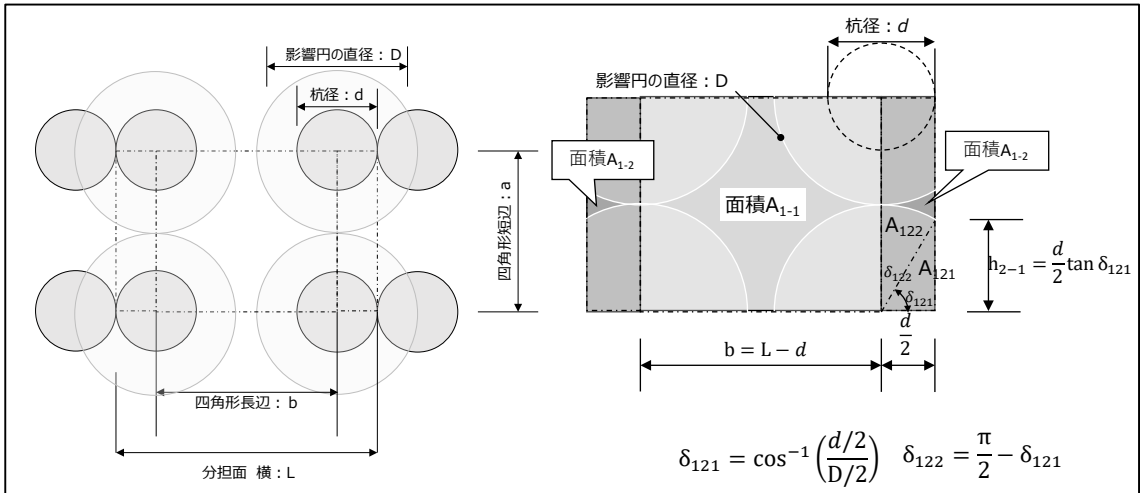
A_{122} : 付図3.9に示す A_{1-2} 範囲の半径 $D/2$ 、角度 δ_{122} の扇形の面積

$$A_{1-1} = a \cdot b - \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A_{1-2} = \frac{a \cdot d}{2} - 2(A_{121} + A_{122})$$

$$A_{121} = \frac{d \cdot h_{1-2}}{4}$$

$$A_{122} = \frac{\delta_{122} \cdot D^2}{8}$$



付図 3.9 二軸四角形配置面積(Case2 STEP-1) 模式図

STEP-3 : 影響円 D 範囲($b \leq D < k$)

二軸四角形配置のSTEP-3の無処理部分に生じる盛土面積 A_3 は以下の式で求められる。

$$A_3 = A_{3-1} + 2A_{3-2}$$

ここに、 A_{3-1} : 付図3.11に示す範囲の面積

A_{311} : 付図3.11に示す A_{3-1} 範囲の底辺 $a/2$ 、高さ h_{312} の三角形の面積

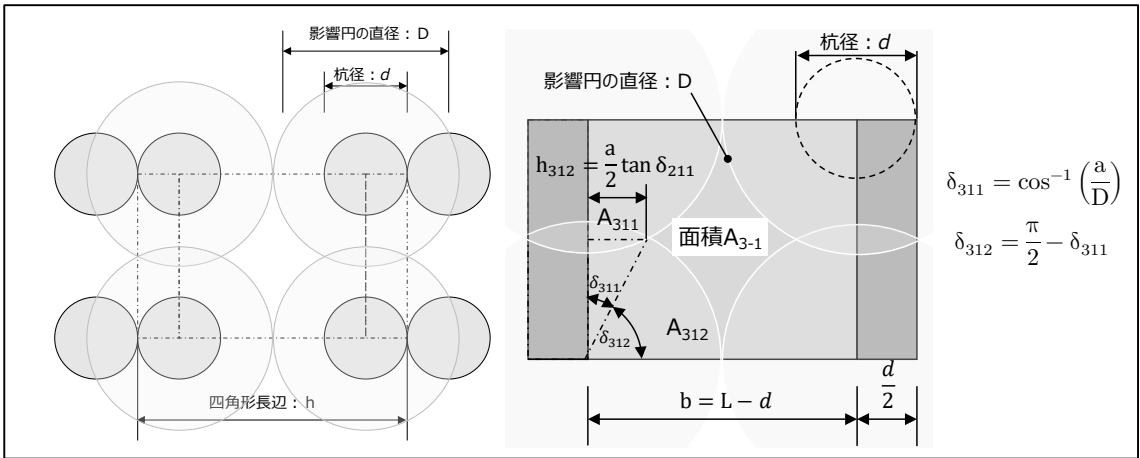
A_{312} : 付図3.11に示す A_{3-1} 範囲の半径 $D/2$ 、角度 δ_{312} の扇形の面積

$$A_{3-1} = a \cdot b - 4(A_{311} + A_{312})$$

$$A_{3-2} = \frac{a \cdot d}{2} - 2(A_{321} + A_{322} + A_{323}) = 0$$

$$A_{311} = \frac{b \cdot h_{311}}{4}$$

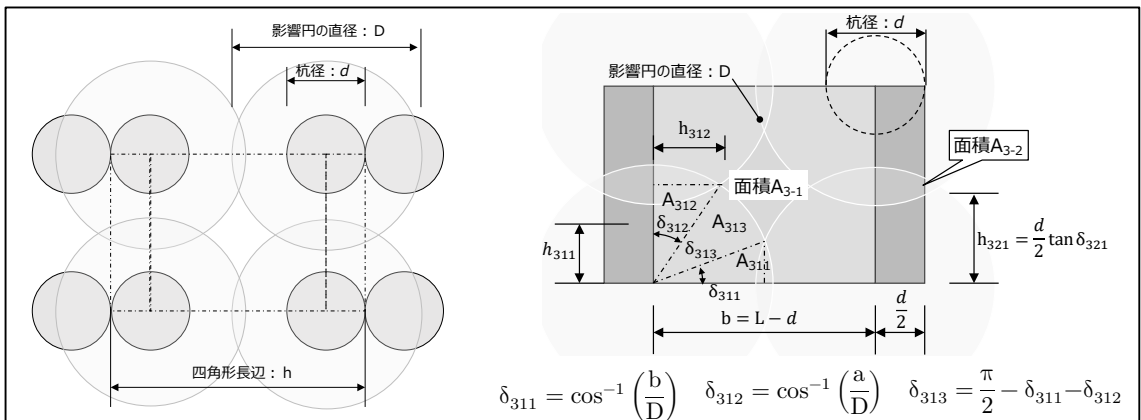
$$A_{312} = \frac{\delta_{312} \cdot D^2}{8}$$



付図 3.11 二軸四角形配置面積(Case2 STEP-3) 模式図

STEP-4 : 影響円 D 範囲($k \leq D \leq \max$)

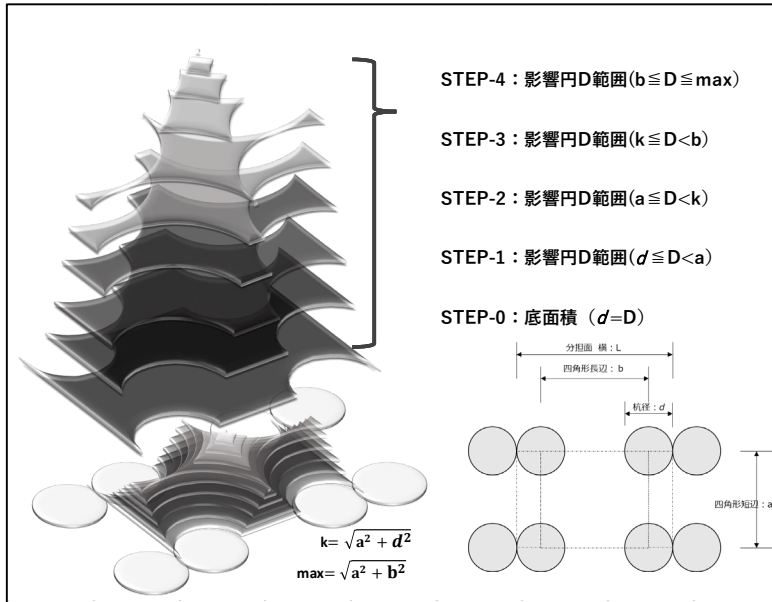
Case1のSTEP-4と同様の計算方法となるため省略。



付図 3.12 二軸四角形配置面積(Case2 STEP-4) 模式図

(3) CASE3 $k (= \sqrt{a^2 + d^2}) < (\text{四角形縦辺} : b) \leq \text{の場合}$

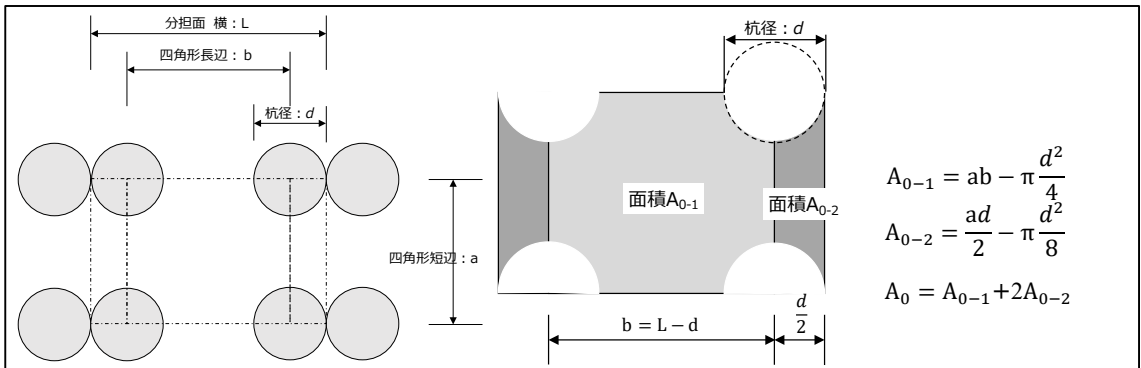
Case3の影響円Dと底面積A算出STEPを以下に示す。



付図 3.13 二軸四角形配置底面積場合分け (Case3) 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

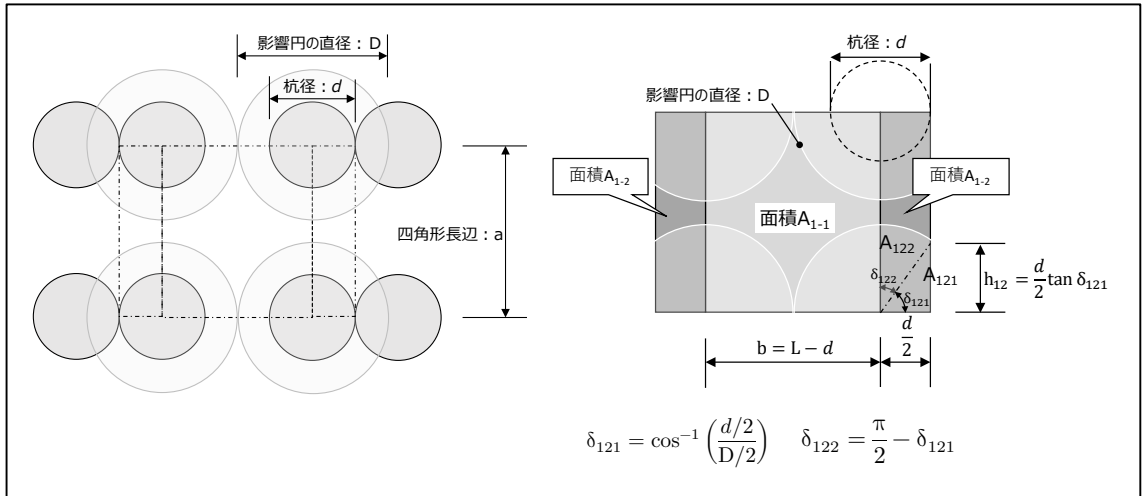
Case1のSTEP-0と同様となるため省略



(再掲) 付図 3.4 二軸四角形配置面積(Case1 STEP-0) 模式図

STEP-1 : 影響円 D 範囲($d \leq D < a$)

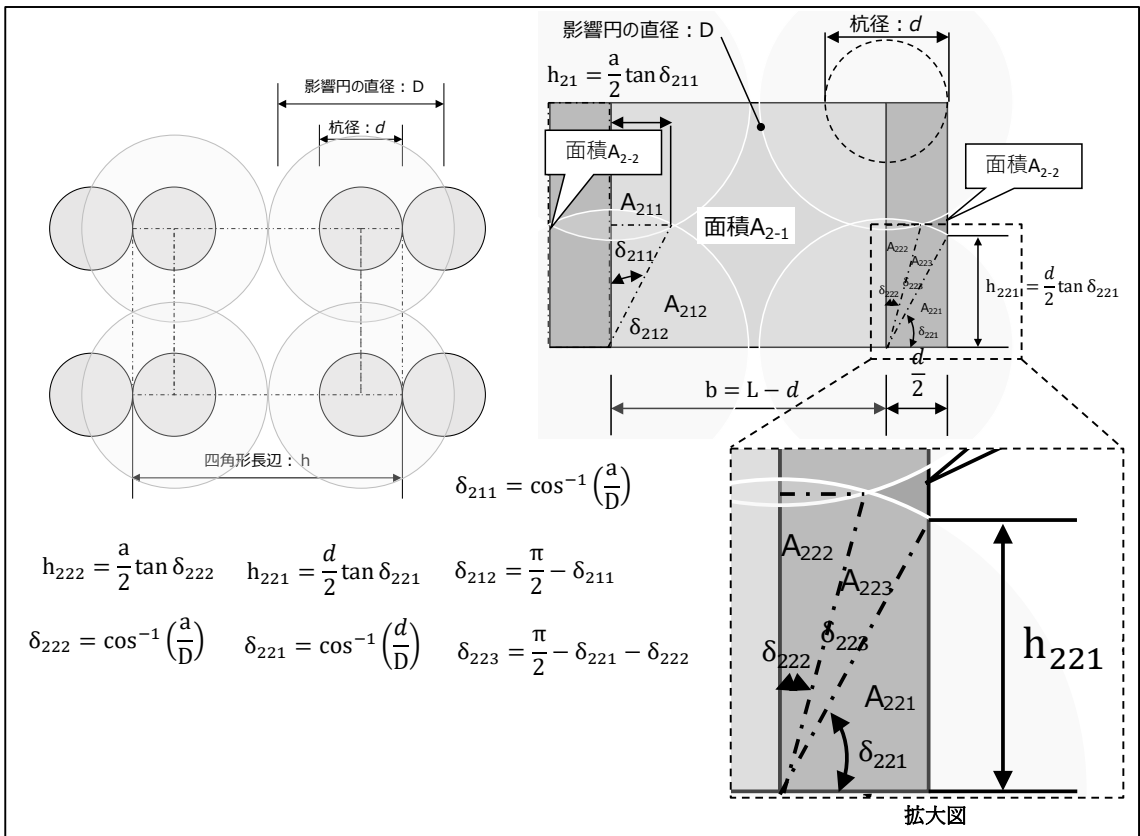
Case2のSTEP-1と同様となるため省略



(再掲) 付図 3.5 二軸四角形配置面積(Case1 STEP-1) 模式図

STEP-2 : 影響円 D 範囲($a \leq D < k$)

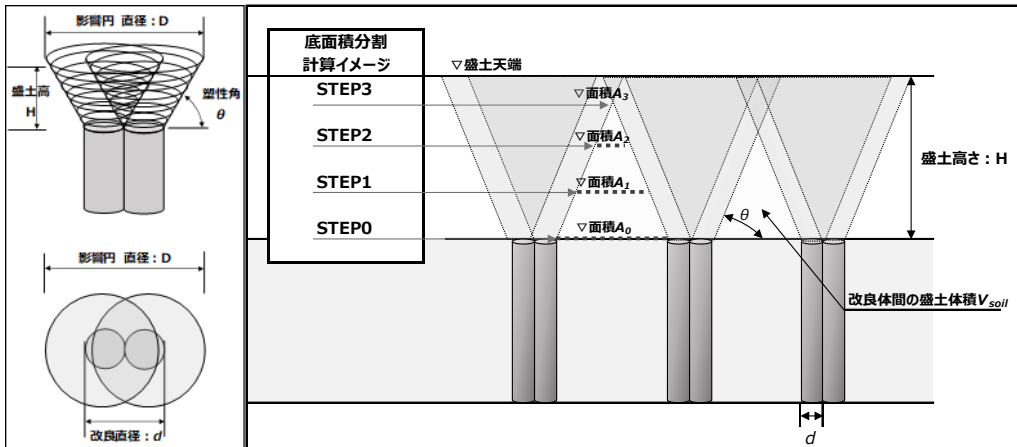
Case2のSTEP-2と同様の計算方法となるため省略。



(再掲) 付図 3.10 二軸四角形配置面積(Case2 STEP-2) 模式図

底面積計算例 -4 二軸千鳥配置

詳細法にて改良体間に作用する盛土体積 V_{soil} を求める場合、盛土を水平層状に分割し、各盛土高さで未改良部分が負担する盛土面積を算出する。この盛土負担面積は、改良体に作用する盛土塊範囲（影響範囲と称す）と改良体配置の関係より算定する。



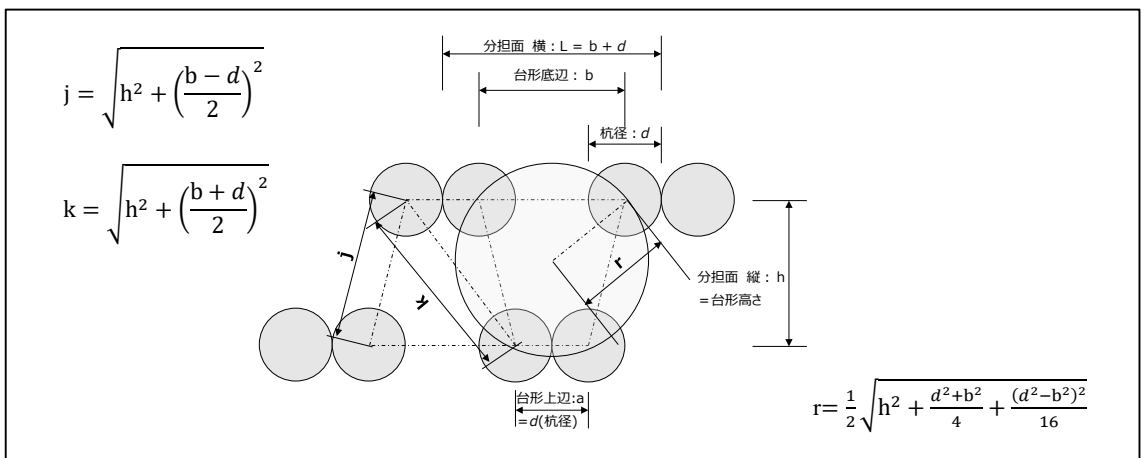
付図4-1 二軸配置改良体間荷重算定モデルの形状

二軸改良体を四角形配置した場合の水平層状に分割した際の影響範囲毎の底面積 A_i は、改良体の平面配置により以下の3パターンに分類される。

Case1: (台形底辺: b) $\leq$ (台形斜辺: j) の場合

Case2: (台形斜辺: j) < (台形底辺: b) $\leq$ (台形対角線: k) の場合

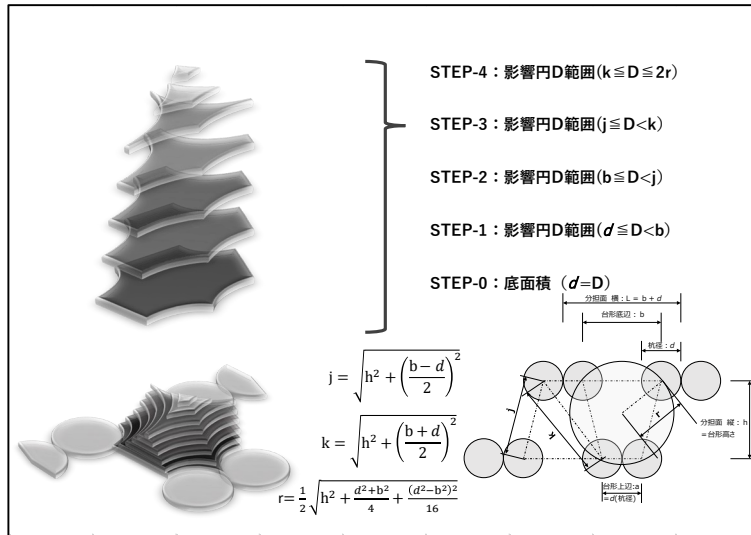
Case3: (台形対角線: k) < (台形底辺: b) の場合



付図 4-2 二軸千鳥基本配置図

(1) CASE1 (四角形横辺 : b) $\leq$ (四角形縦辺 : a) の場合

Case1の影響円Dと底面積 A_0 算出STEPを以下に示す。



付図 4-3 二軸千鳥置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

二軸千鳥配置STEP-0の無処理部分に生じる盛土面積 A_0 は以下の式で求められる。

$$A_0 = A_{0-0} - A_{0-1}$$

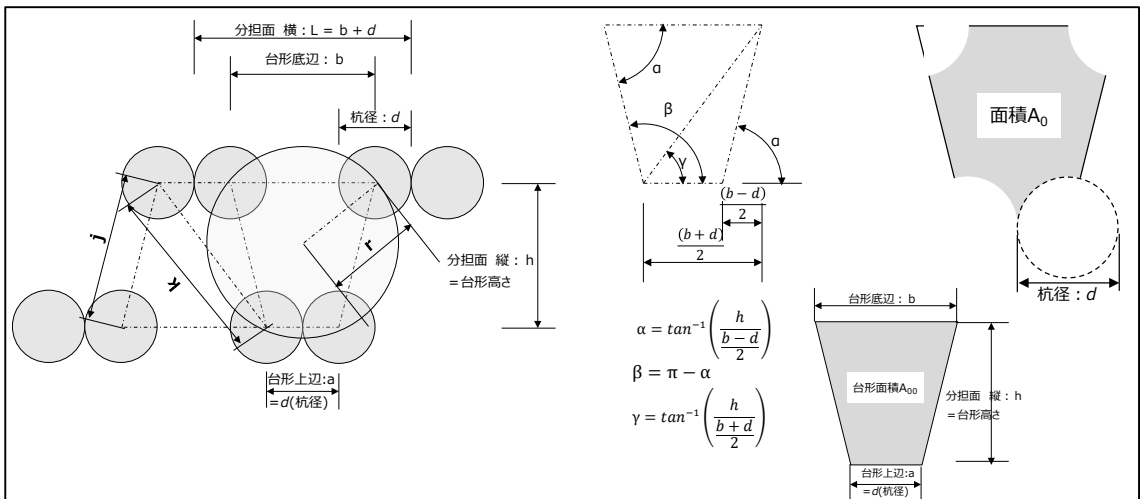
ここに、 A_0 : 盛土高さ0m時に原地盤が負担する平面積

A_{0-0} : 付図4-4に示す基本配置の台形面積

A_{0-1} : 付図4-4に示す杭径 d の1本分の平面積

$$A_{0-0} = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$A_{0-1} = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$$



付図 4-4 二軸千鳥配置面積(Case1 STEP-0) 模式図

STEP-2 : 影響円 D 範囲($b \leq D < j$)

二軸千鳥配置STEP-2の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{0-0} - (2A_{2-1} + A_{2-2} + 2A_{2-3} + A_{2-4})$$

ここに、 A_2 : STEP-2の影響円D範囲内で原地盤が負担する平面積

A_{0-0} : 付図4-6に示す基本配置の台形面積

A_{2-1} : 付図4-6に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{2-3} の扇形の面積

A_{2-2} : 付図4-6に示す底辺 d 、高さ h_{2-2} の三角形の面積

A_{2-3} : 付図4-6に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{2-4} の扇形の面積

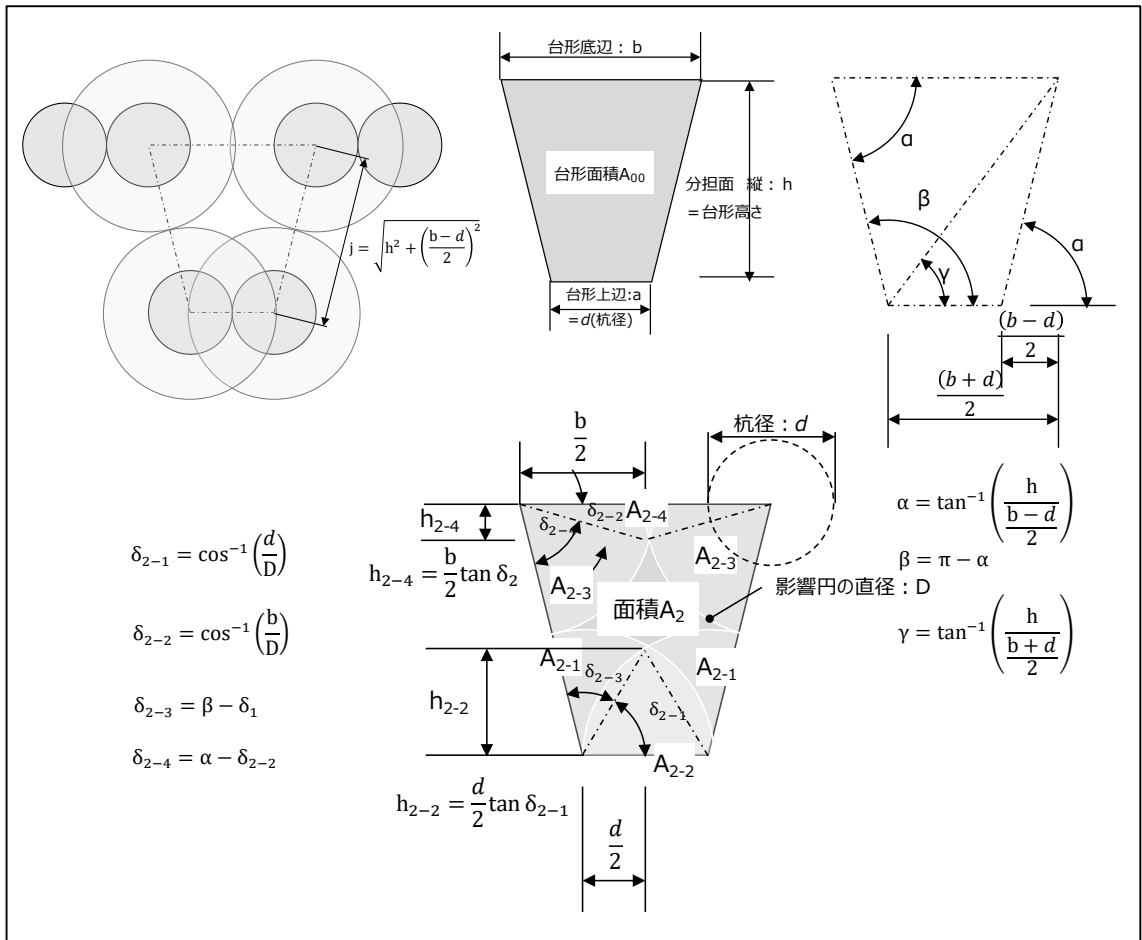
A_{2-4} : 付図4-6に示す底辺 b 、高さ h_{2-4} の三角形の面積

$$A_{2-1} = \frac{\delta_{2-3} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-2} = \frac{d \cdot h_{2-2}}{2}$$

$$A_{2-3} = \frac{\delta_{2-4} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-4} = \frac{b \cdot h_{2-4}}{2}$$



付図 4-6 二軸千鳥配置面積(Case1 STEP-2) 模式図

STEP-3：影響円D範囲($j \leq D < k$)

二軸千鳥配置STEP-3の無処理部分に生じる盛土面積 A_3 は以下の式で求められる。

$$A_3 = A_{0-0} - (2A_{3-1} + A_{3-2} + 2A_{3-3} + A_{3-4} + 2A_{3-5})$$

ここに、 A_3 ：STEP-3の影響円D範囲内で原地盤が負担する平面積

A_{0-0} ：付図4-7に示す基本配置の台形面積

A_{3-1} ：付図4-7に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{3-5} の扇形の面積

A_{3-2} ：付図4-7に示す底辺 d 、高さ h_{3-2} の三角形の面積

A_{3-3} ：付図4-7に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{3-4} の扇形の面積

A_{3-4} ：付図4-7に示す底辺 b 、高さ h_{3-4} の三角形の面積

A_{3-5} ：付図4-7に示す底辺 j 、高さ h_{3-5} の三角形の面積

$$A_{0-0} = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

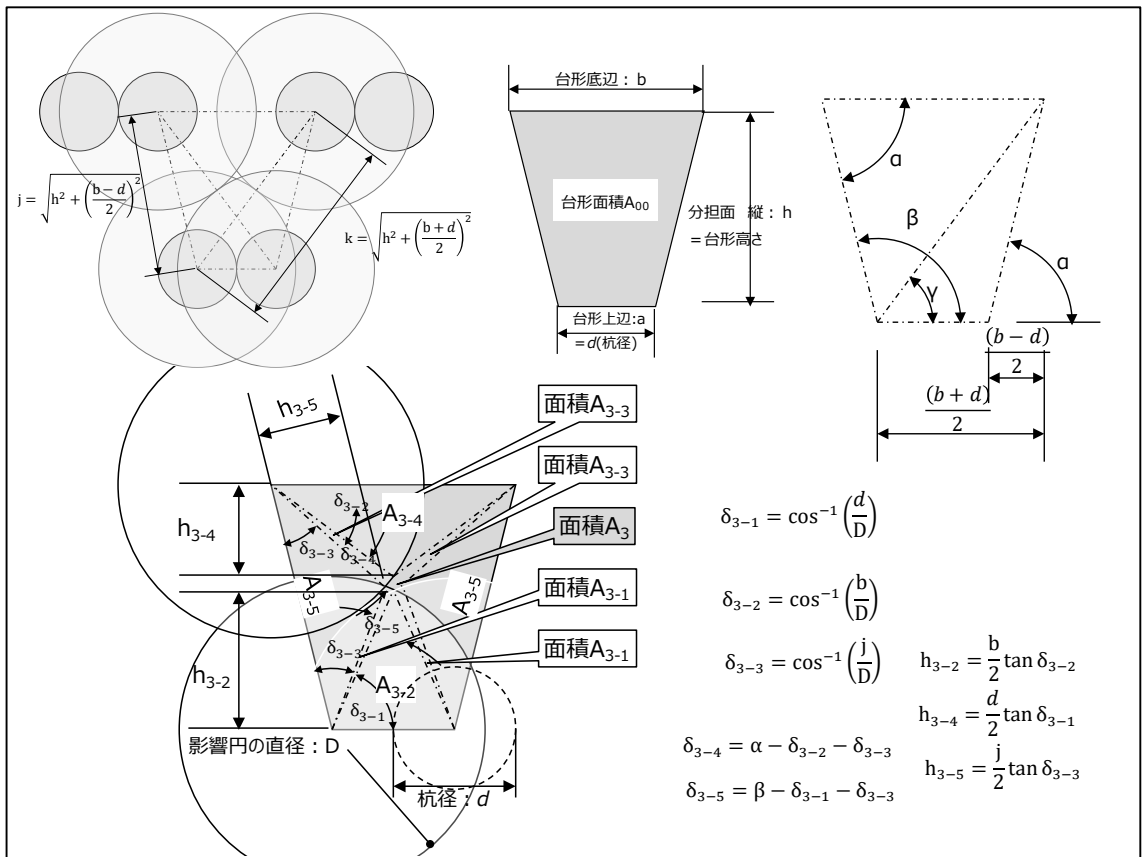
$$A_{3-1} = \frac{\delta_{3-5} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{3-2} = \frac{d \cdot h_{3-2}}{2}$$

$$A_{3-3} = \frac{\delta_{3-4} \cdot D^2}{8}$$

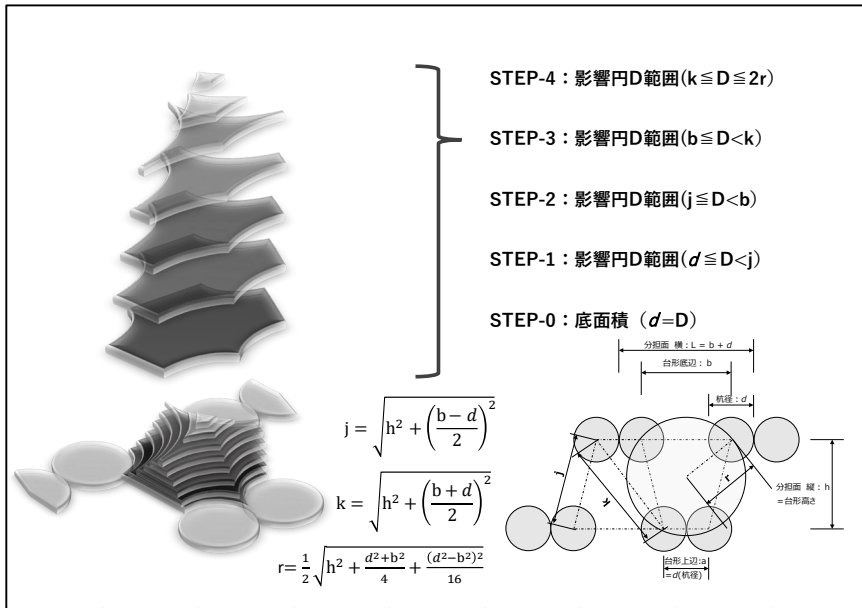
$$A_{3-4} = \frac{b \cdot h_{3-4}}{2}$$

$$A_{3-5} = \frac{j \cdot h_{3-5}}{2}$$



付図 4-7 二軸千鳥配置面積(Case1 STEP-3) 模式図

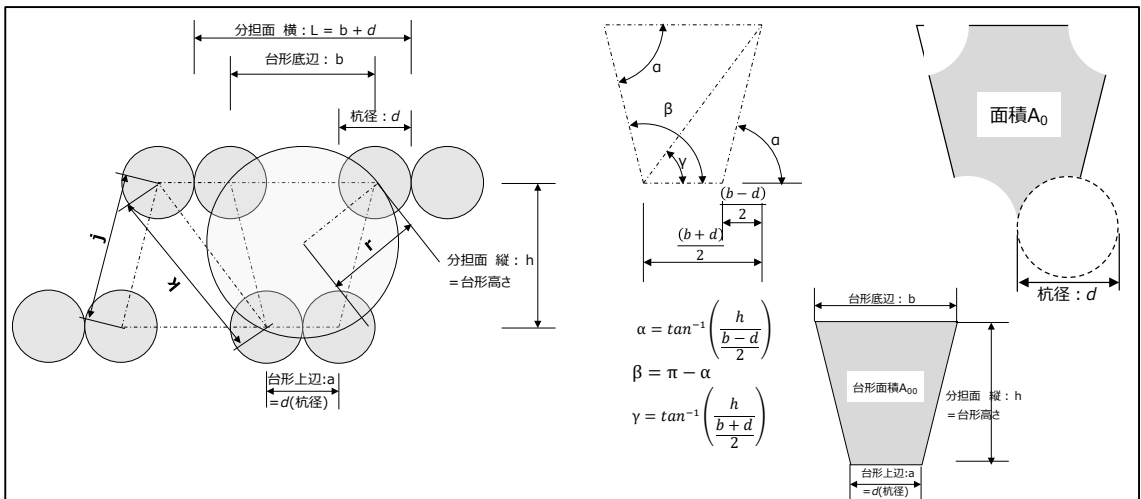
(2) CASE2 (四角形縦辺 : a) < (四角形縦辺 : b) ≤ k ($=\sqrt{a^2 + d^2}$) の場合
Case2の影響円Dと底面積A₀算出STEPを以下に示す。



付図 4-9 二軸千鳥配置底面積場合分け 模式図

STEP-0 : 影響円 $D=d$ (盛土高さ 0m) 時の底面積 A_0

Case1のSTEP-0と同様となるため省略



(再掲) 付図 4-4 二軸千鳥配置底面積場合分け 模式図

STEP-2 : 影響円 D 範囲($j \leq D < b$)

二軸千鳥配置STEP-2(Case2)の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{0-0} - (2A_{2-1} + A_{2-2} + 2A_{1-3} + 2A_{1-4})$$

ここに、 A_2 : STEP-2の影響円D範囲内で原地盤が負担する平面積

A_{0-0} : 付図4-11に示す基本配置の台形面積

A_{2-1} : 付図4-11に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{2-4} の扇形の面積

A_{2-2} : 付図4-11に示す底辺 d 、高さ h_{2-2} の三角形の面積

A_{2-3} : 付図4-11に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{2-2} の扇形の面積

A_{2-4} : 付図4-11に示す底辺 j 、高さ h_{2-4} の三角形の面積

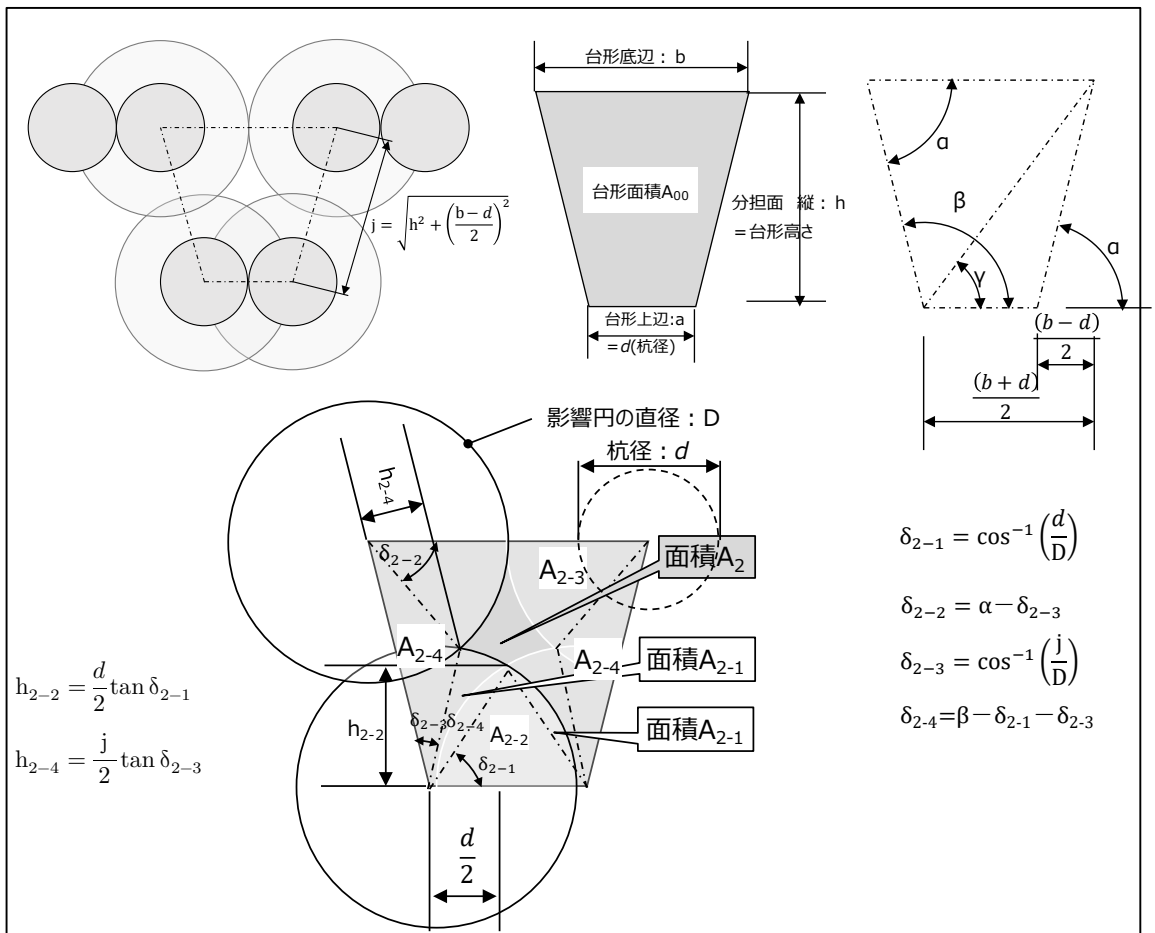
$$A_{0-0} = \frac{a+b}{2} h$$

$$A_{2-1} = \frac{\delta_{2-4} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-2} = \frac{d \cdot h_{2-2}}{2}$$

$$A_{2-3} = \frac{\delta_{2-2} \cdot D^2}{8}$$

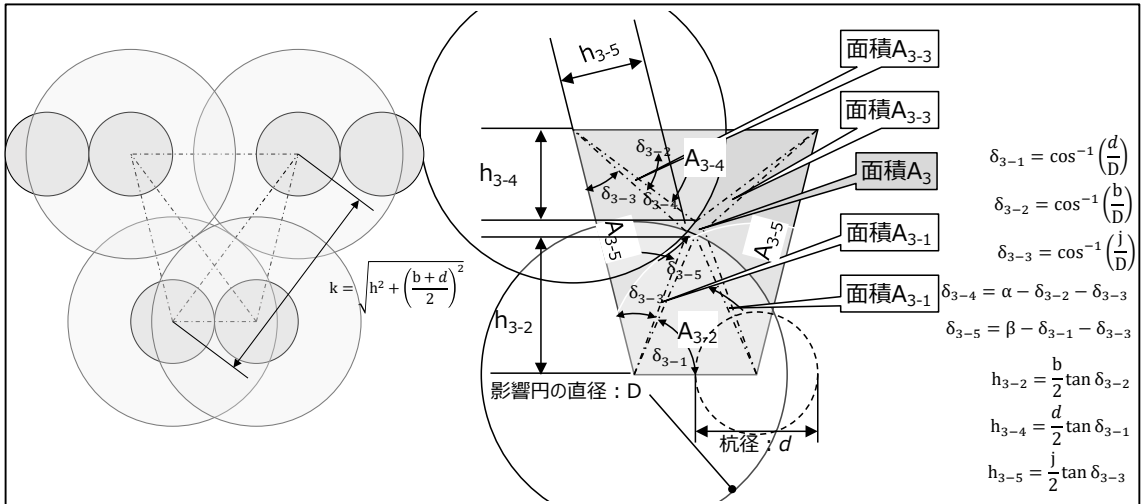
$$A_{2-4} = \frac{j \cdot h_{2-4}}{2}$$



付図 4-11 二軸千鳥配置面積(Case2 STEP-2) 模式図

STEP-3 : 影響円 D 範囲($b \leq D < k$)

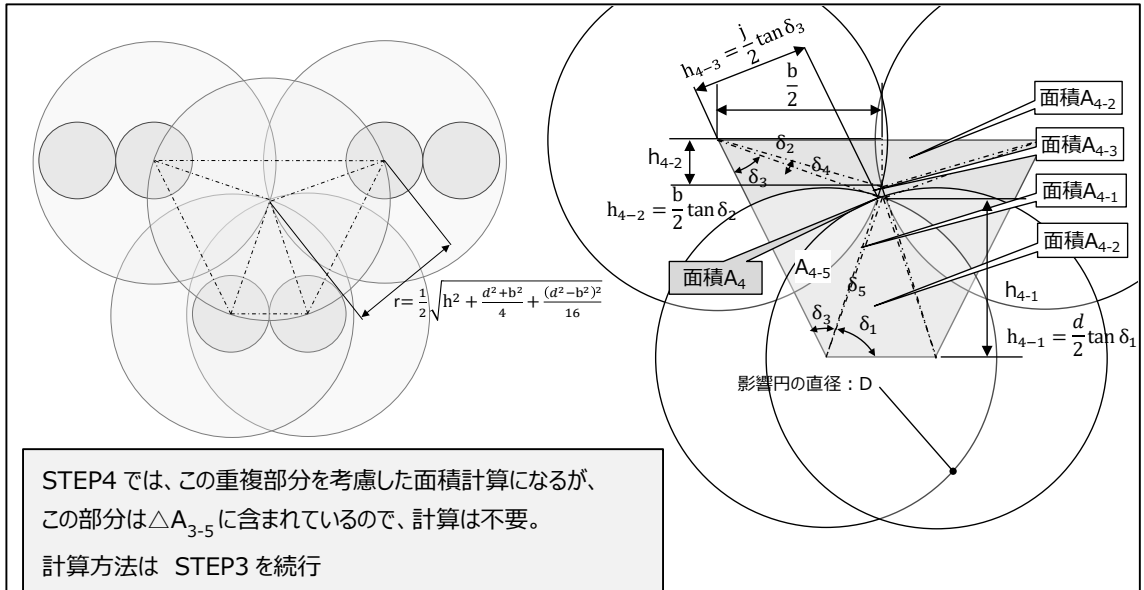
Case1のSTEP-3と同様となるため省略



(再掲)付図 4-7 二軸千鳥配置面積(Case1 STEP-3) 模式図

STEP-4 : 影響円 D 範囲($k \leq D < 2r$)

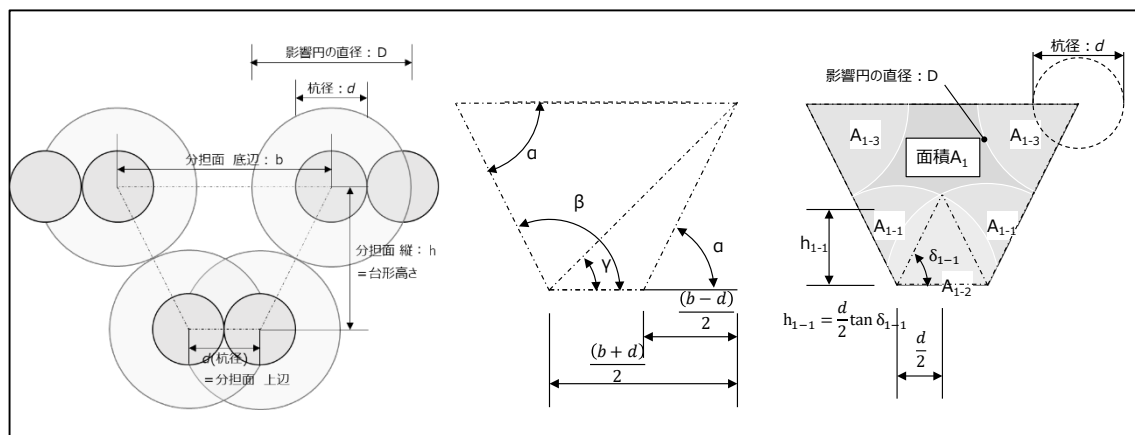
Case1のSTEP-4と同様となるため省略



(再掲) 付図 4-8 二軸千鳥配置面積(Case1 STEP-4) 模式図

STEP-1 : 影響円 D 範囲($d \leq D < j$)

Case2のSTEP-1と同様となるため省略



(再掲) 付図 4-10 二軸千鳥配置面積(Case2 STEP-1) 模式図

STEP-2：影響円 D 範囲($j \leq D < k$)

二軸千鳥配置STEP-2(Case3)の無処理部分に生じる盛土面積 A_2 は以下の式で求められる。

$$A_2 = A_{0-0} - (2A_{2-1} + A_{2-2} + 2A_{2-3} + 2A_{2-4})$$

ここに、 A_2 ：STEP-2の影響円D範囲内で原地盤が負担する平面積

A_{0-0} ：付図4-13に示す基本配置の台形面積

A_{2-1} ：付図4-13に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{2-4} の扇形の面積

A_{2-2} ：付図4-13に示す底辺 d 、高さ h_{2-2} の三角形の面積

A_{2-3} ：付図4-13に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{2-2} の扇形の面積

A_{2-4} ：付図4-13に示す底辺 j 、高さ h_{2-4} の三角形の面積

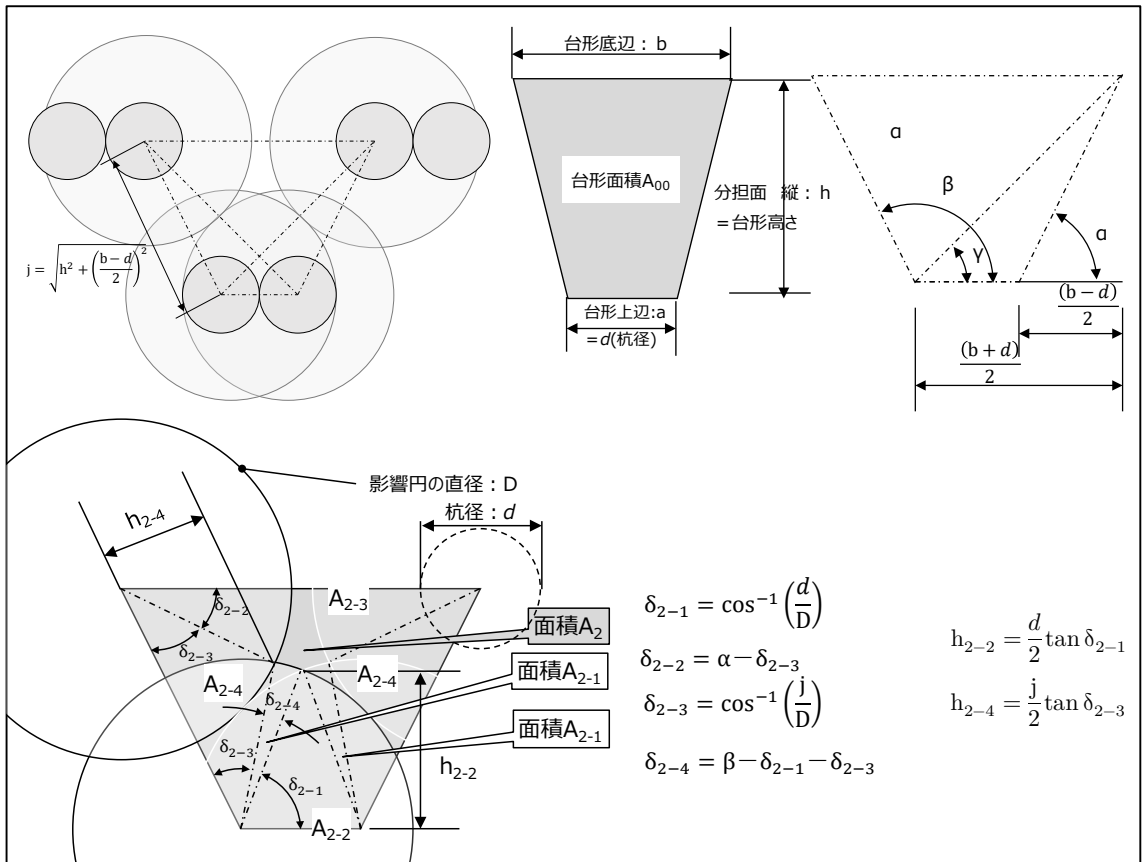
$$A_{0-0} = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$A_{2-1} = \frac{\delta_{2-4} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-2} = \frac{d \cdot h_{2-2}}{8}$$

$$A_{2-3} = \frac{\delta_{2-2} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{2-4} = \frac{j \cdot h_{2-4}}{2}$$



付図 4-13 二軸千鳥配置面積(Case3 STEP-2) 模式図

STEP-3：影響円D範囲($k \leq D < b$)

二軸千鳥配置STEP-3(Case3)の無処理部分に生じる盛土面積 A_3 は以下の式で求められる。

$$A_3 = A_{0-0} - (2A_{3-1} + A_{3-2} + 2A_{3-3} + 2A_{3-4} + 2A_{3-5})$$

ここに、 A_3 ：STEP-3の影響円D範囲内で原地盤が負担する平面積

A_{0-0} ：付図4-14に示す基本配置の台形面積

A_{3-1} ：付図4-14に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{3-5} の扇形の面積

A_{3-2} ：付図4-14に示す底辺 d 、高さ h_{3-2} の三角形の平面積

A_{3-3} ：付図4-14に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{3-4} の扇形の面積

A_{3-4} ：付図4-14に示す半径 $D/2$ 、角度 δ_{3-2} の扇形の面積

A_{3-5} ：付図4-14に示す底辺 j 、高さ h_{3-5} の三角形の平面積

$$A_{0-0} = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

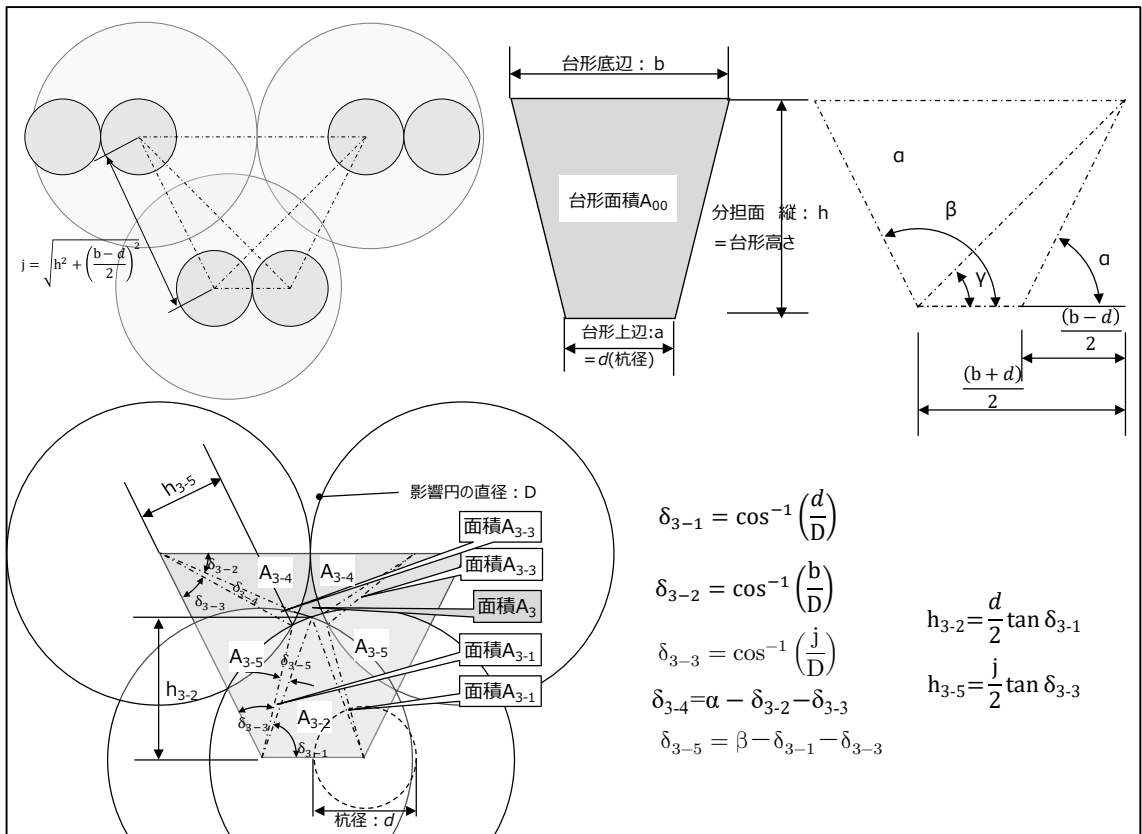
$$A_{3-1} = \frac{\delta_{3-5} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{3-2} = \frac{d \cdot h_{3-2}}{2}$$

$$A_{3-3} = \frac{\delta_{3-4} \cdot D^2}{8}$$

$$A_{3-4} = \frac{\delta_{3-2} \cdot D^2}{8}$$

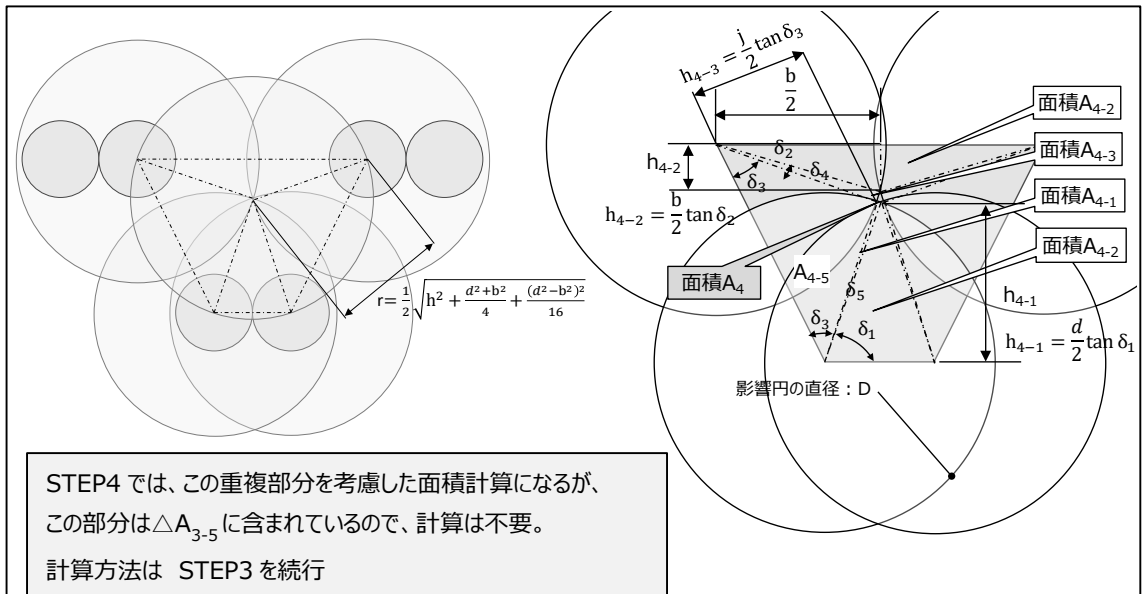
$$A_{3-5} = \frac{j \cdot h_{3-5}}{2}$$



付図4-14 二軸千鳥配置面積(Case3 STEP-3) 模式図

STEP-4 : 影響円 D 範囲($b \leq D < 2r$)

Case1のSTEP-4と同様となるため省略

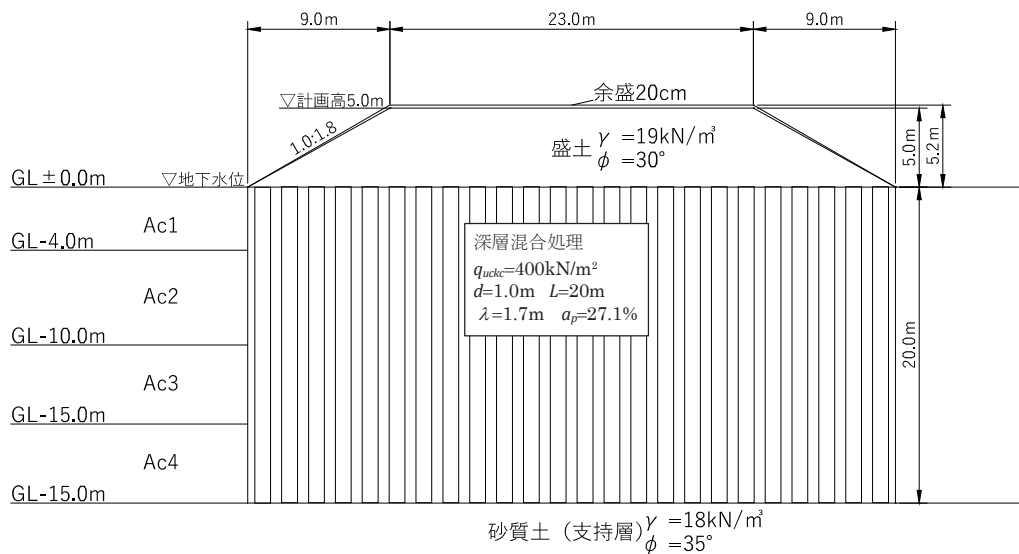


(再掲) 付図 4-8 二軸千鳥配置面積(Case1 STEP-4) 模式図

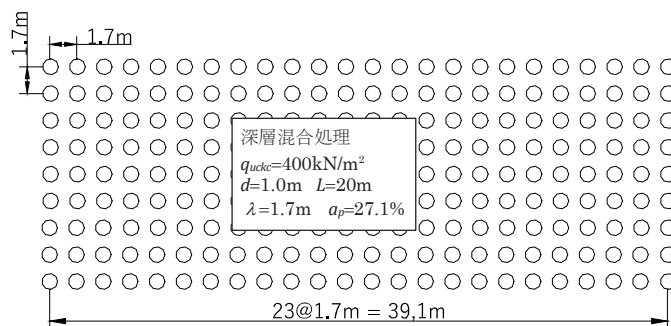
設計例 -1-a 着底型(単軸四角形配置)

粘性土地盤上での盛土計画(高さ5m)に対し、着底型で地盤改良を行った場合の設計例を示す(付図1-1-a、付図1-2-a)。

(1) 検討断面・改良仕様



付図1-1-a 断面図



付図1-2-a 平面図

- ・許容不同沈下量 : $\delta_{sa} = 10\text{cm}$
- ・深層混合処理仕様
 - 設計基準強度 : $q_{uckc} = 400\text{ kN/m}^2$
 - 許容応力度の安全率 : $F_S = 1.0$
 - 改良体の長さ : $L = 20\text{m}$
 - 改良体中心間隔 : $\lambda = 1.7\text{m}$
 - 改良体直径 : $d = 1.0\text{m}$
 - 改良率 : $a_p = (1 \times 1 \times 3.14 / 4) / (1.7 \times 1.7) = 0.271 = 27.1\%$
 - 塑性角 : $\theta = 90^\circ - \theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ (表 52 参照)

(2) 全沈下量 S の計算

(a) 無改良の場合の全沈下量 S_0

無改良の場合の全沈下量 S_0 は式 (5.5) を用いて計算する。地層ごとに計算した結果を付表 1-1 に示す。盛土高 $H_e=5.2\text{m}$ (余盛り 0.2m) のときの基礎地盤に作用する応力 $P=5.2 \times 19=98.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

付表 1-1 より、 $S_0=1.80 \text{ (m)}$ であることが分かる。

付表 1-1-(a) 無改良の場合の全沈下量 S_0 の計算

地層	GL-m		層厚	単位体積重量	間隙比	圧縮指数	圧密降伏応力	層境界での有効土被り圧	層中心の有効土被り圧	正規・過圧密の区分	盛土荷重	沈下量
	上端	下端	H (m)	γ_t (kN/m ³)	e_0	C_c	P_c (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	OCR	P (kN/m ²)	S_i (m)
Ac1	0	4	4	16	2.5	0.74	13.0	24.0	12.0	正規	98.8	0.80
Ac2	4	10	6	16	2.3	0.55	44.0	60.0	42.0	正規	98.8	0.52
Ac3	10	15	5	16	2.3	0.51	77.0	90.0	75.0	正規	98.8	0.28
Ac4	15	20	5	16	2.1	0.42	108.0	120.0	105.0	正規	98.8	0.20
無処理の場合の沈下量 $S_0=$												1.80

(b) 複合地盤の変形係数 E_{eq}

無改良地盤の平均的な変形係数 E_{soil} は、 S_0 を用いて式 (5.12) で計算する。

$$E_{soil} = \frac{L}{S_0} = \frac{20}{1.80} \times 98.8 = 1,098 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

改良体の変形係数 E_{col} は、式 (5.14) を用いて計算する。

$$E_{col} = 100 q_{uckc} = 100 \times 400 = 40,000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

複合地盤の変形係数 E_{eq} は、式 (5.2) を用いて計算できる。

$$E_{eq} = a_p \cdot E_{col} + (1 - a_p) \cdot E_{soil} = 0.271 \times 40,000 + (1 - 0.271) \times 1,098 = 11,1640 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(c) 全沈下量 S

改良体と改良体間の粘性土を 1 つの複合地盤とみなした場合の全沈下量 S は、式 (5.1) を用いて計算できる。

$$S = \frac{P}{E_{eq}} H = \frac{98.8}{11,640} \times 20 = 0.17 \text{ (m)}$$

よって、全沈下量 $S=17.0\text{(cm)} < \text{余盛り高}=20 \text{ (cm)}$ となり、計画高を満たす。

(3) 改良体と改良体間との不同沈下量の計算(V_{soil} 従来法)

(a) 改良体間に作用する鉛直応力及び沈下量

改良体間に作用する盛土体積は、塑性角 $\theta=60^\circ$ の条件で表 5.1 の判定式より、

$$H_{el}=(\sqrt{2}\lambda-d)\tan\theta/2=(1.41\times 1.7-1.0)\times\tan 60^\circ/2=1.2 < H_e=5.2 \text{ (m)}$$

のため、式 (5.8) を用いて計算する。

$$\begin{aligned} V_{soil} &= \left\{ \frac{\lambda-d}{2} \cdot \lambda^2 - \frac{\pi(\lambda^3-d^3)}{24} + \frac{(4-\pi)(\sqrt{2}-1)}{24} \cdot \lambda^3 \right\} \tan\theta \\ &= \left\{ \frac{1.7-1.0}{2} \times 1.7^2 - 3.14 \times \frac{(1.7^3-1.0^3)}{24} + \frac{(4-3.14)(\sqrt{2}-1)}{24} \cdot 1.7 \right\} \tan 60^\circ = 0.99 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

これより、盛土による改良体間に作用する鉛直応力 P_{soil} は、式 (5.7) を用いて計算する。

$$P_{soil} = \frac{V_{soil} \cdot \gamma_e}{\lambda^2 - \pi d^2/4} = \frac{0.99 \times 19}{1.7^2 - 3.14 \times 1.0^2/4} = 8.94 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

以上より、改良体間の沈下量 S_{soil} は、式 (5.6) を用いて計算する。

$$S_{soil} = S_0 \frac{P_{soil}}{P} = 1.80 \times \frac{8.94}{98.8} = 0.16 \text{ (m)}$$

(b) 改良体の沈下量

改良体部に作用する盛土の体積 V_{col} は、次式で計算する

$$V_{col} = \lambda^2 \cdot H_e - V_{soil} = 1.7 \times 1.7 \times 5.20 - 0.99 = 14.04 \text{ (m}^3\text{)}$$

これより、改良体頭部に作用する鉛直応力 P_{col} は、式 (5.15) を用いて計算する。

$$P_{col} = \frac{V_{col} \cdot \gamma_e}{\pi d^2/4} = \frac{14.04 \times 19}{3.14 \times 1.0^2/4} = 339.82 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

以上より、改良体の沈下量 S_{col} は、式 (5.12) を用いて計算する。

$$S_{col} = \frac{P_{col}}{E_{col}} \cdot L = \frac{339.82}{40,000} \times 20 = 0.17 \text{ (m)}$$

(c) 改良体と改良体間（無改良部分）との不同沈下量

不同沈下量 δ_s は、式 (5.16) を用いて計算する。

$$\delta_s = |S_{soil} - S_{col}| = |0.16 - 0.17| = 0.01 \text{ (m)} < \delta_{sa} = 0.1 \text{ (m)}$$

より、許容値を満足する。

(4) 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、式 (5.17) を用いて計算する。 $F_s=1.0$ とする。

$$q_{uckc} / P_{col} = 400 / 339.82 = 1.17 > F_s (=1.0)$$

以上より、改良体強度の許容値を満足する。

(3) 改良体と改良体間との不同沈下量の計算(V_{soil} 詳細法)

(a) 改良体間に作用する鉛直応力及び沈下量

改良体間に作用する盛土体積は、塑性角 $\theta=60^\circ$ 盛土の分割数を30回以上と設定し詳細法より、

$$V_{soil}=0.98(m^3)$$

これより、盛土による改良体間に作用する鉛直応力 P_{soil} は、式 (5.7) を用いて計算する。

$$P_{soil} = \frac{V_{soil} \cdot \gamma_e}{\lambda^2 - \pi d^2 / 4} = \frac{0.98 \times 19}{1.7^2 - 3.14 \times 1.0^2 / 4} = 8.85 (\text{kN/m}^2)$$

以上より、改良体間の沈下量 S_{soil} は、式 (5.6) を用いて計算する。

$$S_{soil} = S_0 \frac{P_{soil}}{P} = 1.80 \times \frac{8.85}{98.8} = 0.16 (\text{m})$$

(b) 改良体の沈下量

改良体部に作用する盛土の体積 V_{col} は、次式で計算する

$$V_{col} = \lambda^2 \cdot H_e - V_{soil} = 1.7 \times 1.7 \times 5.20 - 0.98 = 14.05 (m^3)$$

これより、改良体頭部に作用する鉛直応力 P_{col} は、式 (5.15) を用いて計算する。

$$P_{col} = \frac{V_{col} \cdot \gamma_e}{\pi d^2 / 4} = \frac{14.05 \times 19}{3.14 \times 1.0^2 / 4} = 340.06 (\text{kN/m}^2)$$

以上より、改良体の沈下量 S_{col} は、式 (5.12) を用いて計算する。

$$S_{col} = \frac{P_{col}}{E_{col}} \cdot L = \frac{340.06}{40,000} \times 20 = 0.17 (\text{m})$$

(c) 改良体と改良体間（無改良部分）との不同沈下量

不同沈下量 δ_s は、式 (5.16) を用いて計算する。

$$\delta_s = |S_{soil} - S_{col}| = |0.16 - 0.17| = 0.01 (\text{m}) < \delta_{sa} = 0.1 (\text{m})$$

より、許容値を満足する。

(4) 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、式 (5.17) を用いて計算する。 $F_s=1.0$ とする。

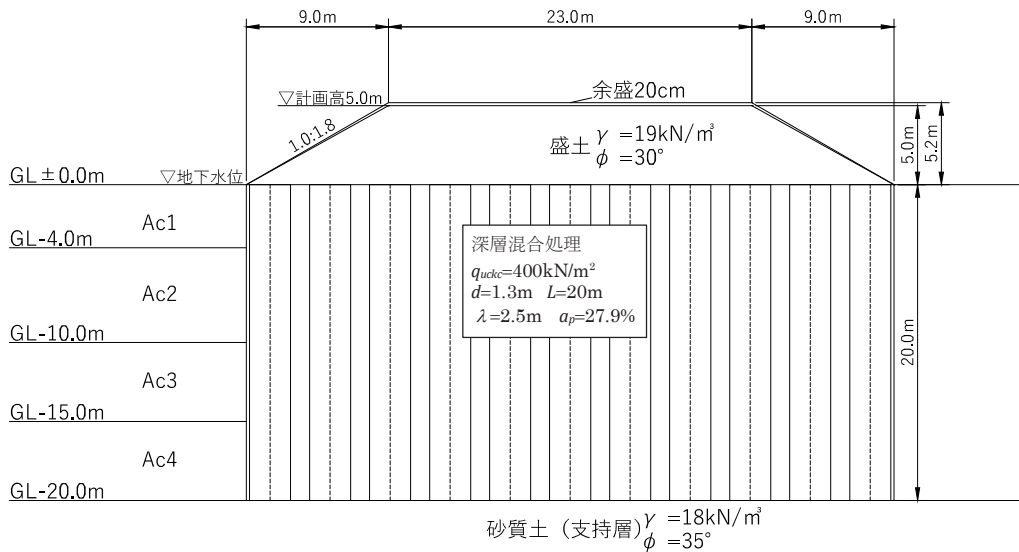
$$q_{uckc} / P_{col} = 400 / 340.06 = 1.17 > F_s (=1.0)$$

以上より、改良体強度の許容値を満足する。

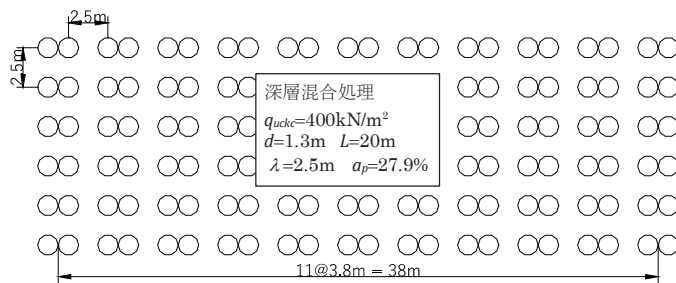
設計例 -1-b 着底型(二軸四角形配置)

粘性土地盤上での盛土計画（高さ 5m）に対し、着底型で地盤改良を行った場合の設計例を示す（付図 1-1-b、付図 1-2-b）。

(1) 検討断面・改良仕様



付図 1-1-b 断面図



付図 1-2-b 平面図

- ・許容不同沈下量 : $\delta_{sa}=10\text{cm}$
- ・深層混合処理仕様
 - 設計基準強度 : $q_{uckc}=400\text{ kN/m}^2$
 - 許容応力度の安全率 : $F_S=1.0$
 - 改良体の長さ : $L=20\text{m}$
 - 改良体中心間隔 : $\lambda=2.5\text{m}$
 - 改良体直径 : $d=1.3\text{m}$
 - 改良率 : $a_p=(1.3 \times 1.3 \times 3.14/4)/(2.5 \times 3.8)=0.278=27.9\%$
 - 塑性角 : $\theta=90^\circ-\phi=90^\circ-30^\circ=60^\circ$ (表 5.2 参照)

(2) 全沈下量 S の計算

(a) 無改良の場合の全沈下量 S_0

無改良の場合の全沈下量 S_0 は式 (5.5) を用いて計算する。地層ごとに計算した結果を付表 1-1 に示す。盛土高 $H_e=5.2\text{m}$ (余盛り 0.2m) のときの基礎地盤に作用する応力 $P=5.2 \times 19=98.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

付表 1-1 より、 $S_0=1.80 \text{ (m)}$ であることが分かる。

(b) 複合地盤の変形係数 E_{eq}

無改良地盤の平均的な変形係数 E_{soil} は、 S_0 を用いて式 (5.12) で計算する。

$$E_{soil} = \frac{L}{S_0} = \frac{20}{1.80} \times 98.8 = 1,098 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

改良体の変形係数 E_{col} は、式 (5.14) を用いて計算する。

$$E_{col} = 100 q_{uckc} = 100 \times 400 = 40,000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

複合地盤の変形係数 E_{eq} は、式 (5.2) を用いて計算できる。

$$E_{eq} = a_p \cdot E_{col} + (1 - a_p) \cdot E_{soil} = 0.279 \times 40,000 + (1 - 0.279) \times 1,098 = 11,951 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(c) 全沈下量 S

改良体と改良体間の粘性土を 1 つの複合地盤とみなした場合の全沈下量 S は、式 (5.1) を用いて計算できる。

$$S = \frac{P}{E_{eq}} = \frac{98.8}{11,951} \times 20 = 0.17 \text{ (m)}$$

よって、全沈下量 $S=17 \text{ (cm)} < \text{余盛り高}=20 \text{ (cm)}$ となり、計画高を満たす。

(3) 改良体と改良体間との不同沈下量の計算 (V_{soil} 詳細法)

(a) 改良体間に作用する鉛直応力及び沈下量

改良体間に作用する盛土体積は、塑性角 $\theta = 60^\circ$ 盛土の分割数を 30 回以上と設定し詳細法より、

$$V_{soil} = 4.87 \text{ (m}^3\text{)}$$

これより、盛土による改良体間に作用する鉛直応力 P_{soil} は、式 (5.7) を用いて計算する。

$$P_{soil} = \frac{V_{soil} \cdot \gamma_e}{\lambda \cdot (\lambda + d) \cdot \pi d^2 / 2} = \frac{4.87 \times 19}{2.5 \times (2.5 + 1.3) \cdot 3.14 \times 1.3^2 / 2} = 13.51 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

以上より、改良体間の沈下量 S_{soil} は、式 (5.6) を用いて計算する。

$$S_{soil} = S_0 \frac{P_{soil}}{P} = 1.80 \times \frac{13.51}{98.8} = 0.25 \text{ (m)}$$

(b) 改良体の沈下量

改良体部に作用する盛土の体積 V_{col} は、次式で計算する

$$V_{col} = \lambda \cdot (\lambda + d) \cdot H_e - V_{soil} = 2.5 \times (2.5 + 1.3) \times 5.20 - 4.87 = 44.53 \text{ (m}^3\text{)}$$

これより、改良体頭部に作用する鉛直応力 P_{col} は、式 (5.15) を用いて計算する。

$$P_{col} = \frac{V_{col} \cdot \gamma_e}{\pi d^2 / 2} = \frac{44.53 \times 19}{3.14 \times 1.3^2 / 2} = 318.87 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

以上より、改良体の沈下量 S_{col} は、式 (5.12) を用いて計算する。

$$S_{col} = \frac{P_{col}}{E_{col}} \cdot L = \frac{318.87}{40,000} \times 20 = 0.16 \text{ (m)}$$

(c) 改良体と改良体間 (無改良部分) との不同沈下量

不同沈下量 δ_s は、式 (5.16) を用いて計算する。

$$\delta_s = |S_{soil} - S_{col}| = |0.25 - 0.16| = 0.09 \text{ (m)} < \delta_{sa} = 0.1 \text{ (m)}$$

より、許容値を満足する。

(4) 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、式 (5.17) を用いて計算する。 $F_s = 1.0$ とする。

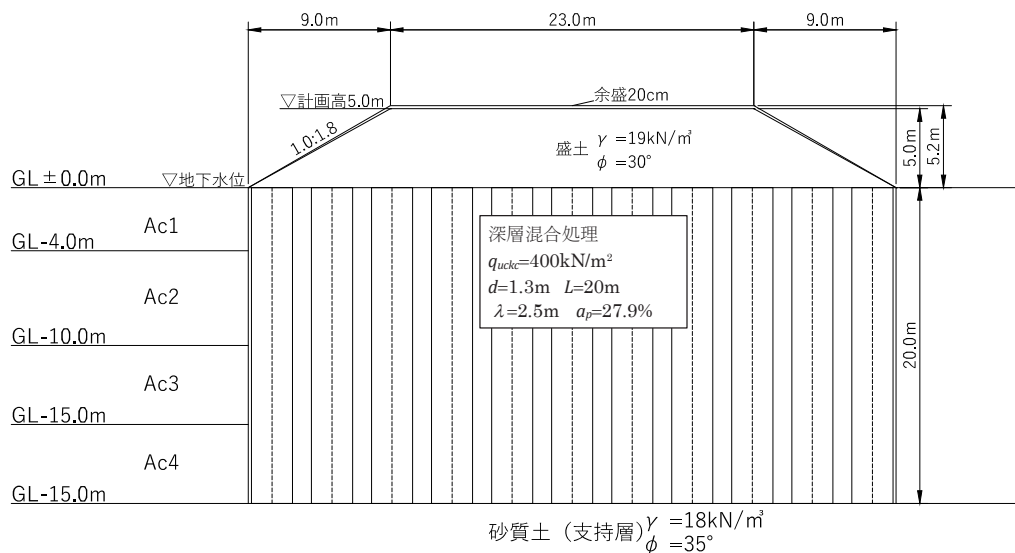
$$q_{uckc} / P_{col} = 400 / 318.87 = 1.25 > F_s (=1.0)$$

以上より、改良体強度の許容値を満足する。

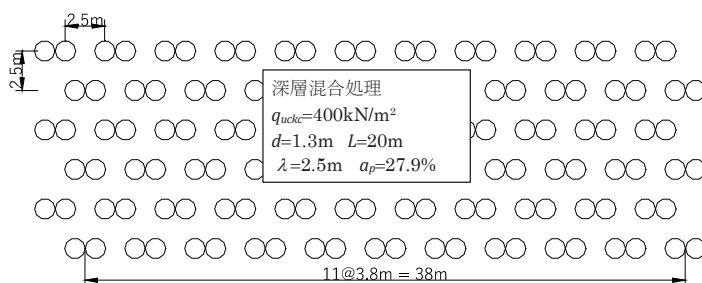
設計例 -1-c 着底型(二軸千鳥配置)

粘性土地盤上での盛土計画（高さ 5m）に対し、着底型で地盤改良を行った場合の設計例を示す（付図 1-1-c、付図 1-2-c）。

(1) 検討断面・改良仕様



付図 1-1-c 断面図



付図 1-2-c 平面図

- ・許容不同沈下量 : $\delta_{sa} = 10\text{cm}$
- ・深層混合処理仕様
 - 設計基準強度 : $q_{uckc} = 400 \text{ kN/m}^2$
 - 許容応力度の安全率 : $F_S = 1.0$
 - 改良体の長さ : $L = 20\text{m}$
 - 改良体中心間隔 : $\lambda = 2.5\text{m}$
 - 改良体直径 : $d = 1.3\text{m}$
 - 改良率 : $a_p = (1.3 \times 1.3 \times 3.14 / 4) / \{ (1.3 + 2.5) \times 2.5 / 2 \} = 0.279 = 27.9\%$
 - 塑性角 : $\theta = 90^\circ - \theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ (表 5.2 参照)

$$\therefore \theta = 90^\circ - \theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ \text{ (表 5.2 参照)}$$

(2) 全沈下量 S の計算(d) 無改良の場合の全沈下量 S_0

無改良の場合の全沈下量 S_0 は付表 1-1 より、 $S_0=1.80$ (m) である。

(e) 複合地盤の変形係数 E_{eq}

無改良地盤の平均的な変形係数 E_{soil} は、 S_0 を用いて式 (5.12) で計算する。

$$E_{soil} = \frac{L}{S_0} = \frac{20}{1.80} \times 98.8 = 1,098 (\text{kN/m}^2)$$

改良体の変形係数 E_{col} は、式 (5.14) を用いて計算する。

$$E_{col} = 100 q_{uckc} = 100 \times 400 = 40,000 \quad (\text{kN/m}^2)$$

複合地盤の変形係数 E_{eq} は、式 (5.2) を用いて計算できる。

$$E_{eq} = a_p \cdot E_{col} + (1 - a_p) \cdot E_{soil} = 0.279 \times 40,000 + (1 - 0.279) \times 1,098 = 11,951 \quad (\text{kN/m}^2)$$

(f) 全沈下量 S

改良体と改良体間の粘性土を 1 つの複合地盤とみなした場合の全沈下量 S は、式 (5.1) を用いて計算できる。

$$S = \frac{P}{E_{eq}} = \frac{98.8}{11,951} \times 20 = 0.170 \text{ (m)}$$

よって、全沈下量 $S=17$ (cm) < 余盛り高=20 (cm) となり、計画高を満たす。

(3) 改良体と改良体間との不同沈下量の計算(V_{soil} 詳細法)

(d) 改良体間に作用する鉛直応力及び沈下量

改良体間に作用する盛土体積は、塑性角 $\theta=60^\circ$ 盛土の分割数を30回以上と設定し詳細法より、

$$V_{soil}=2.39(\text{m}^3)$$

これより、盛土による改良体間に作用する鉛直応力 P_{soil} は、式 (5.7) を用いて計算する。

$$P_{soil} = \frac{V_{soil} \cdot \gamma_e}{h \cdot (\lambda + d) / 2 - \pi d^2 / 4} = \frac{2.39 \times 19}{2.5 \times (2.5 + 1.3) / 2 - 3.14 \times 1.3^2 / 4} = 13.26 (\text{kN/m}^2)$$

以上より、改良体間の沈下量 S_{soil} は、式 (5.6) を用いて計算する。

$$S_{soil} = S_0 \frac{P_{soil}}{P} = 1.80 \times \frac{13.26}{98.8} = 0.24 (\text{m})$$

(e) 改良体の沈下量

改良体部に作用する盛土の体積 V_{col} は、次式で計算する

$$V_{col} = \lambda \cdot (\lambda + d) / 2 \cdot H_e - V_{soil} = 2.5 \times (2.5 + 1.3) / 2 \times 5.20 - 2.39 = 22.31 (\text{m}^3)$$

これより、改良体頭部に作用する鉛直応力 P_{col} は、式 (5.15) を用いて計算する。

$$P_{col} = \frac{V_{col} \cdot \gamma_e}{\pi d^2 / 4} = \frac{22.31 \times 19}{3.14 \times 1.3^2 / 4} = 319.52 (\text{kN/m}^2)$$

以上より、改良体の沈下量 S_{col} は、式 (5.12) を用いて計算する。

$$S_{col} = \frac{P_{col}}{E_{col}} \cdot L = \frac{319.52}{40,000} \times 20 = 0.16 (\text{m})$$

(f) 改良体と改良体間（無改良部分）との不同沈下量

不同沈下量 δ_s は、式 (5.16) を用いて計算する。

$$\delta_s = |S_{soil} - S_{col}| = |0.24 - 0.16| = 0.08 (\text{m}) < \delta_{sa} = 0.1 (\text{m})$$

より、許容値を満足する。

(4) 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、式 (5.17) を用いて計算する。 $F_s=1.0$ とする。

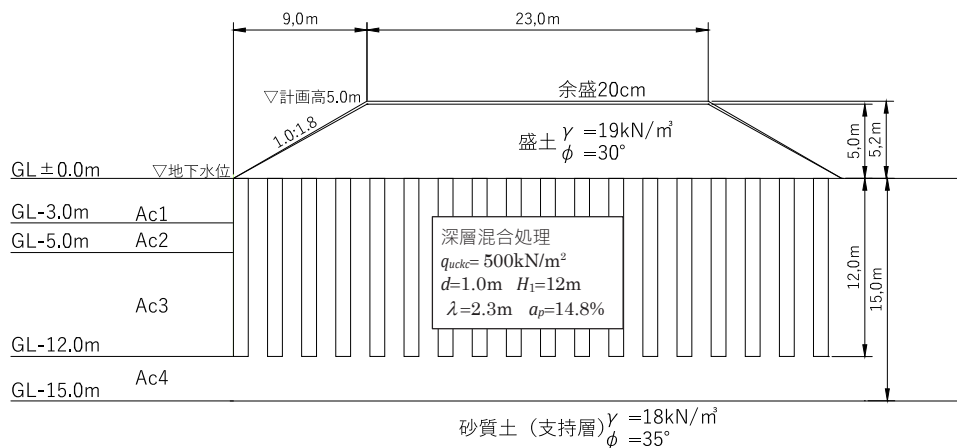
$$q_{uckc} / P_{col} = 400 / 319.52 = 1.25 > F_s (=1.0)$$

以上より、改良体強度の許容値を満足する。

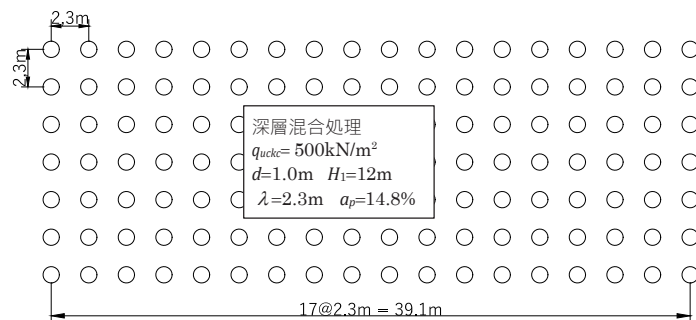
設計例 -2 浮き型

(1) 検討断面・改良仕様

粘性土地盤上での盛土計画（高さ 5m）に対し、浮き型で地盤改良を行った場合の設計例を示す（付図 2-1、2-2）。



付図 2-1 断面図



付図 2-2 平面図

- ・ 許容不同沈下量 : $\delta_{sa} = 10\text{cm}$
- ・ 深層混合処理仕様
 - 設計基準強度 : $q_{ukc} = 500\text{kN/m}^2$
 - 許容応力度の安全率 : $F_s = 1.0$
 - 改良体の長さ : $H_1 = 12\text{m}$
 - 改良領域の下部の無処理部分の層厚 : $H_2 = 3\text{m}$
 - 改良体間隔 : $\lambda = 2.3\text{m}$
 - 改良体直径 : $d = 1.0\text{m}$
 - 改良率 : $a_p = 14.8\%$
 - 塑性角 : $\theta = 80^\circ$ (表 5.2 参照)

(2) 改良後の全沈下量 S の計算

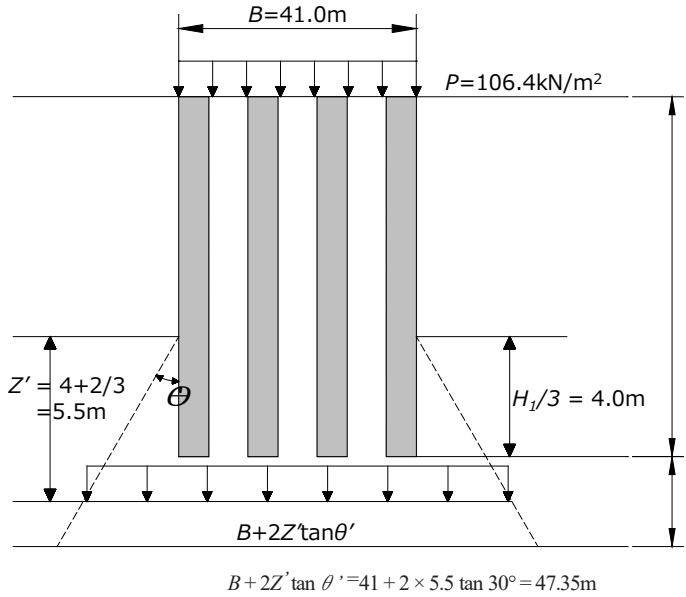
(a) 無改良の場合の全沈下量 S_0

無処理の場合の全沈下量 S_0 は式 (5.5) を用いて計算する。ここで、地盤が正規圧密、過圧密で適用する式が異なることに注意する必要がある。地層ごとに計算した結果を付表 2-1 に示す。なお、盛土高 $H_e=5.2\text{m}$ (余盛り 0.2m) のときの基礎地盤に作用する荷重 $P=5.2\times 19=98.8\text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

付表 2-1 無改良の場合の全沈下量 S_0 の計算

改良の有無	地層	GL-m		層厚 H (m)	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	間隙比 e_0	圧縮指数 C_c	膨潤指数 C_s	圧密降伏応力 P_c (kN/m^2)	層境界での有効土被り圧 σ_{vi} (kN/m^2)	層中心の有効土被り圧 σ_v' (kN/m^2)	正規・過圧密の区分 OCR	盛土荷重 P (kN/m^2)	沈下量 S_i (m)
		上端	下端											
改良領域	Ac1	0	3	3	16	2.5	0.60	0.12	19.0	18.0	9.0	正規	98.8	0.55
	Ac2	3	5	2	16	2.4	0.45	0.10	32.0	30.0	24.0	正規	98.8	0.19
	Ac3	5	12	7	16	2.3	0.40	0.09	56.0	72.0	51.0	正規	98.8	0.40
	改良領域の沈下量 $S_0=$													1.14
無処理部分	Ac4	12	15	3	19	2.1	0.30	0.08	180.0	99.0	85.5	過圧密	85.6	0.02
	無改良部分の沈下量 $S_2=$													0.02

注) Ac4 層中心に作用する盛土荷重 $P'=P\times B/(B+2Z\tan\theta')=98.8\times 41/47.35=85.6\text{ (kN/m}^2\text{)}$



付図 2-3 無改良部分の応力増加の考え方

(b) 複合地盤の変形係数 E_{eq}

改良領域の無改良地盤の平均的な変形係数 E_{soil} は、 S_0 を用いて次式で計算する。

$$E_{soil} = \frac{H}{S_0} P = \frac{12}{1.14} \times 98.8 = 1,040 (\text{kN/m}^2)$$

改良体の変形係数 E_{col} は、式 (5.13) を用いて計算する。

$$E_{col}=100 q_{uckc}=100 \times 500=50,000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

複合地盤の変形係数 E_{eq} は、式 (5.2) を用いて計算できる。

$$E_{eq}=a_p \cdot E_{col}+(1-a_p) \cdot E_{soil}=0.148 \times 50,000+(1-0.148) \times 1,040=8,286 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(c) 全沈下量 S

改良体と改良体間の粘性土を 1 つの複合地盤とみなした場合の改良領域の全沈下量 S_I は、式 (5.1) を用いて計算できる。

$$S_I=\frac{P}{E_{eq}} H=\frac{98.8}{8,286} \times 12=0.14 \text{ (m)}$$

一方、改良域下の無改良部分の中心深度での増加鉛直応力は、荷重分散の影響を受け、 $\Delta P=85.6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ となる。よって沈下量 S_2 は、

$$S_2=\frac{C_c}{1+e_0} \cdot H_2 \cdot \log \frac{\sigma_v' + P'}{\sigma_v'} = \frac{0.08}{1+2.1} \times 3.0 \times \log \frac{85.5+85.6}{85.5} = 0.02 \text{ (m)}$$

以上より、全沈下量 S は、式 (5.18) を用いて計算する。

$$S=S_I+S_2=0.14+0.02=0.16 \text{ (m)}$$

よって、全沈下量 $S=16 \text{ (cm)} < \text{余盛り高}=20 \text{ (cm)}$ となり、計画高を満たす。

(3) 改良体と改良体間との不同沈下量の計算

(a) 改良体間に作用する鉛直応力及び沈下量

改良体間に作用する盛土体積は、塑性角 $\theta=80^\circ$ 盛土の分割数を 30 回以上と設定し詳細法より

$$V_{soil}=12.06(\text{m}^3)$$

これより、盛土による改良体間に作用する鉛直応力 P_{soil} は、式 (5.7) を用いて計算する。

$$P_{col}=\frac{V_{soil} \cdot \gamma_e}{\lambda^2 - \pi d^2 / 4} = \frac{12.06 \times 19}{2.3^2 - 3.14 \times 1.0^2 / 4} = 50.86(\text{kN/m}^2)$$

以上より、改良体間の沈下量 S_{soil} は、式 (5.6) を用いて計算する。

$$S_{soil}=S_0 \frac{P_{soil}}{P}=1.14 \times \frac{50.86}{98.8}=0.59 \text{ (m)}$$

(b) 改良体の沈下量

改良体部に作用する盛土の体積 V_{col} は、次式で計算する。

$$V_{col} = \lambda^2 \cdot H - V_{soil} = 2.3 \times 2.3 \times 5.2 - 12.06 = 15.45 \text{ (m}^3\text{)}$$

これより、改良体頭部に作用する鉛直応力 P_{col} は、式 (5.15) を用いて計算する。

$$P_{col} = \frac{V_{col} \cdot \gamma_e}{\pi d^2 / 4} = \frac{15.45 \times 19}{3.14 \times 1.0^2 / 4} = 373.95 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

以上より、改良体の沈下量 S_{col} は、式 (5.12) を用いて計算する。

$$S_{col} = \frac{P_{col}}{E_{col}} \cdot L = \frac{373.95}{50,000} \times 12 = 0.09 \text{ (m)}$$

(c) 改良体と改良体間との不同沈下量

不同沈下量 δ_s は、式 (5.16) を用いて計算する。

$$\delta_s = |S_{soil} - S_{col}| = |0.59 - 0.09| = 0.50 \text{ (m)} > \delta_{sa} = 0.1 \text{ (m)}$$

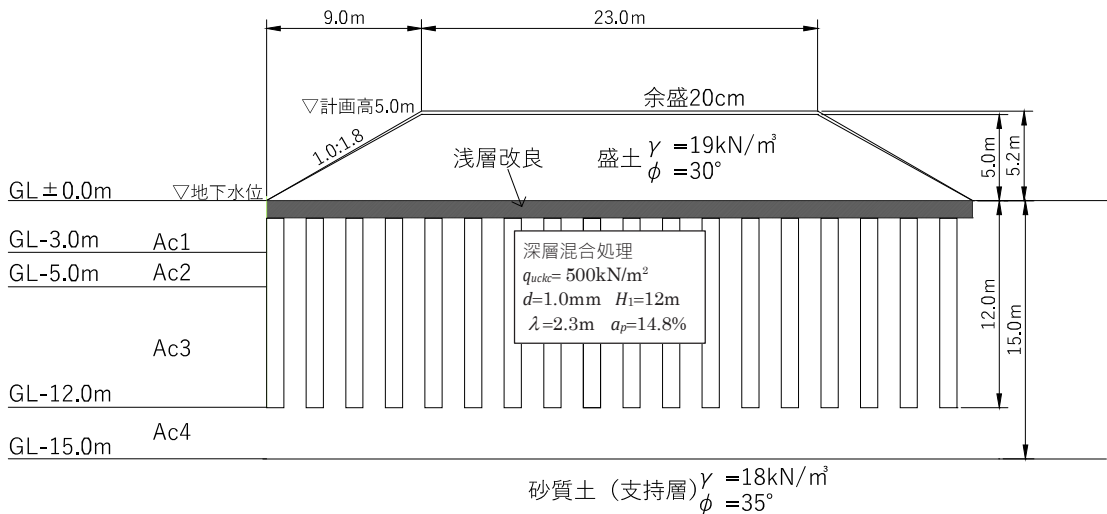
不同沈下量が大きいのので、不同沈下対策工が必要である。

不同沈下対策工には、改良率を高める方法として、「浅層改良」及び「ジオテキスタイル」がある。設計例-3で「浅層改良」を行った場合、設計例-4で「ジオテキスタイル」を敷設した対策工の設計例を示す。

設計例-3 浮き型+浅層改良の場合

不同沈下対策として、浅層改良を行った場合の対策工の設計例を示す（付図 3-1）。

（1）検討断面・改良仕様



付図 3-1 不同沈下対策として浅層改良を行った場合の断面図

・浅層改良仕様

改良厚	: $H_{se}=1.0\text{m}$
浅層改良層の単位体積重量	: $\delta_{se}=18\text{kN/m}^3$
浅層改良層の設計基準強度	: $q_{uckse}=200\text{kN/m}^2$
許容せん断応力度の安全率	: $F_s=3.0$
許容せん断応力度	: $\tau_a=33\text{kN/m}^2$
浅層改良下端での粘着力	: $c_u=16.2\text{kN/m}^2$
塑性角	: $\theta=85^\circ$ (表 5.2 参照)

（2）浅層改良層の押し抜きせん断照査

浅層改良併用工法の適用が可能かどうかを検討するため、浅層改良層の押し抜きせん断破壊に対する照査を行う。

(a) 改良体間への鉛直応力

改良体間に作用する浅層改良層を含めた盛土体積 V_{soil} は $H_e=6.2\text{m}$ とする。

改良体間に作用する浅層改良層を含めた盛土体積は、塑性角 $\theta=85^\circ$ の条件で盛土の分割数を30回以上と設定した詳細法より計算する。

$$V_{soil}=18.58(\text{m}^3)$$

改良体間に作用する浅層改良層体積 $V_{soil\text{浅}}$ は、 $H_{se}=1.0\text{m}$ とすると、

$$V_{soil\text{浅}}=4.36(\text{m}^3)$$

浅層改良層の自重を含めた無改良部に作用する鉛直応力は、式 (5.7) において、盛土と浅層改良層の単位体積重量を考慮して計算する。

$$P_{soil} = \frac{(V_{soil} - V_{soil浅}) \cdot \gamma_e}{\lambda^2 - \pi d^2 / 4} = \frac{(18.58 - 4.36) \times 19 + (4.36) \times (18 - 10)}{2.3^2 - 3.14 \times 1.0^2 / 4} = 67.72 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(b) 浅層改良層の押し抜きせん断の照査

改良体間粘性土の地盤の長期許容支持力 q_a は、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」に基づき $q_a = 2.04 C_u = 2.04 \times 16.2 = 33 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

作用するせん断応力度 τ_{se} は、式 (5.20) を用いて計算する。

$$\tau_{se} = \frac{(V_{soil} - q_a) (\lambda^2 - \pi d^2 / 4)}{\pi d H_{se}} = \frac{(67.72 - 33) \times (2.3^2 - 3.14 \times 1.0^2 / 4)}{3.14 \times 1.0 \times 1.0} \\ = 49.9 < \tau_{se} = 66 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(c) 改良体に作用する応力の照査

改良体に作用する浅層改良層を含めた盛土体積 V_{col} は、 $H_e = 6.2\text{m}$ とすると、

$$V_{col} = \lambda^2 \cdot H_e - V_{soil} = 2.3^2 \times 6.2 - 18.58 = 14.22 \text{ (m}^3\text{)}$$

改良体に作用する浅層改良層体積 $V_{col浅}$ は、 $H_e = 1.0\text{m}$ とすると、

$$V_{col浅} = \lambda^2 \cdot H_e - V_{soil浅} = 2.3^2 \times 1.0 - 4.36 = 0.93 \text{ (m}^3\text{)}$$

浅層改良層の自重を含めた改良部頭部に作用する鉛直応力は、盛土と浅層改良層の単位体積重量を考慮して計算する。

$$P_{col} = \frac{(V_{col} - V_{col浅}) \cdot \gamma_e + V_{col浅} \cdot \gamma_e'}{\pi d^2 / 4} = \frac{(14.22 - 0.93) \times 19 + 0.9 \times (18 - 10)}{3.14 \times 1.0 \times 1.0 / 4} \\ = 330.85 \text{ (kN/m}^2\text{)} < q_{uckc} = 500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

以上より、改良体強度の許容値を満足する。

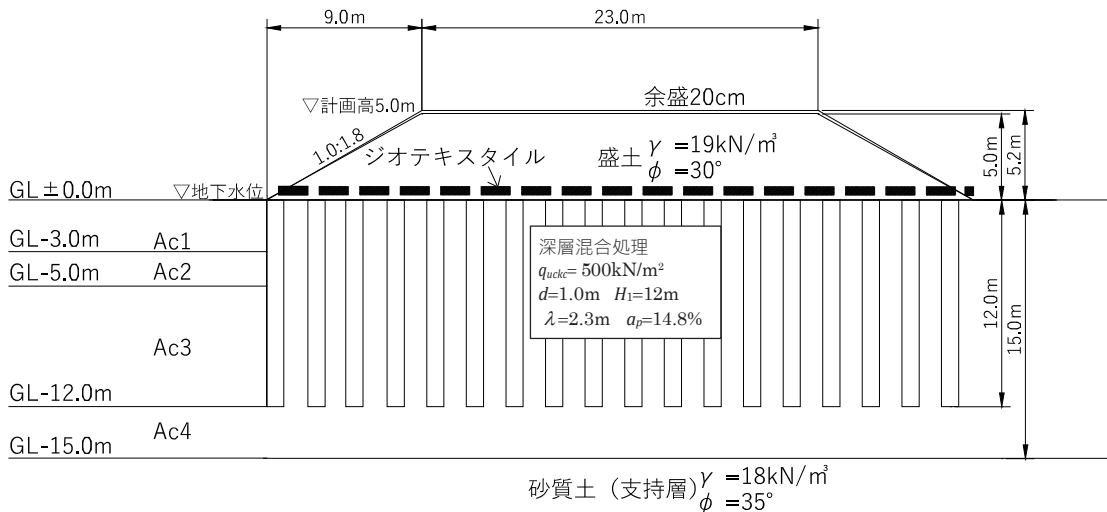
(3) 浅層改良層の曲げ応力照査

地盤のせん断強さ（浅層改良下端での粘着力）が、 $16.2 \text{ (kN/m}^2\text{)} > \tau = 10 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ であり、曲げ応力照査は行わない。

設計例 -4 浮き型+ジオテキスタイルの場合

不同沈下対策として、「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）」等を参考に、ジオテキスタイルを敷設した場合の設計例を示す（付図 4-1 参照）。

（1）検討断面・改良仕様



付図 4-1 不同沈下対策としてジオテキスタイルを敷設した場合の断面図

・ジオテキスタイル仕様

塑性角： $\theta = 75^\circ$ （表 5.2 参照）

（2）ジオテキスタイルを併用した場合の改良体強度の検討

ジオテキスタイルを併用した工法の選定が可能かどうかを判断するため、改良体強度の検討を行う。

無改良部に作用する盛土体積は、塑性角 $\theta = 75^\circ$ の条件で盛土の分割数を30回以上と設定した詳細法より計算する。

$$V_{soil} = 7.99(\text{m}^3)$$

$$V_{soil} = V - V_{soil} = 2.3^2 \times 5.2 - 7.99 = 19.52(\text{m}^3)$$

改良体に作用する応力の照査は、式 (5.17) を用いて計算する。

$$P_{col} = \frac{V_{col} \cdot \gamma_e}{\pi d^2 / 4} = \frac{19.52 \times 19}{3.14 \times 1.0^2 / 4} = 472.46(\text{kN/m}^2)$$

以上より、改良体強度の許容値を満足し、ジオテキスタイル併用工法が可能であることが分かる。

(3) ジオテキスタイルの検討

(a) ジオテキスタイルの引張剛性 EA の算定

設計例-2 の (c) より、改良体と改良体間との不同沈下量は $\delta_s=50$ (cm) である。目標不同沈下量 $S_G'=10$ cm とすると、比例係数 α 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)」⁹⁾ より次式で計算される。

$$S_G' = \frac{\delta_s}{1 + 2\alpha(\delta_s/P)}$$

ここで、 δ_s : 改良体と改良体間との不同沈下量 (ジオテキスタイル無し) = 0.50m

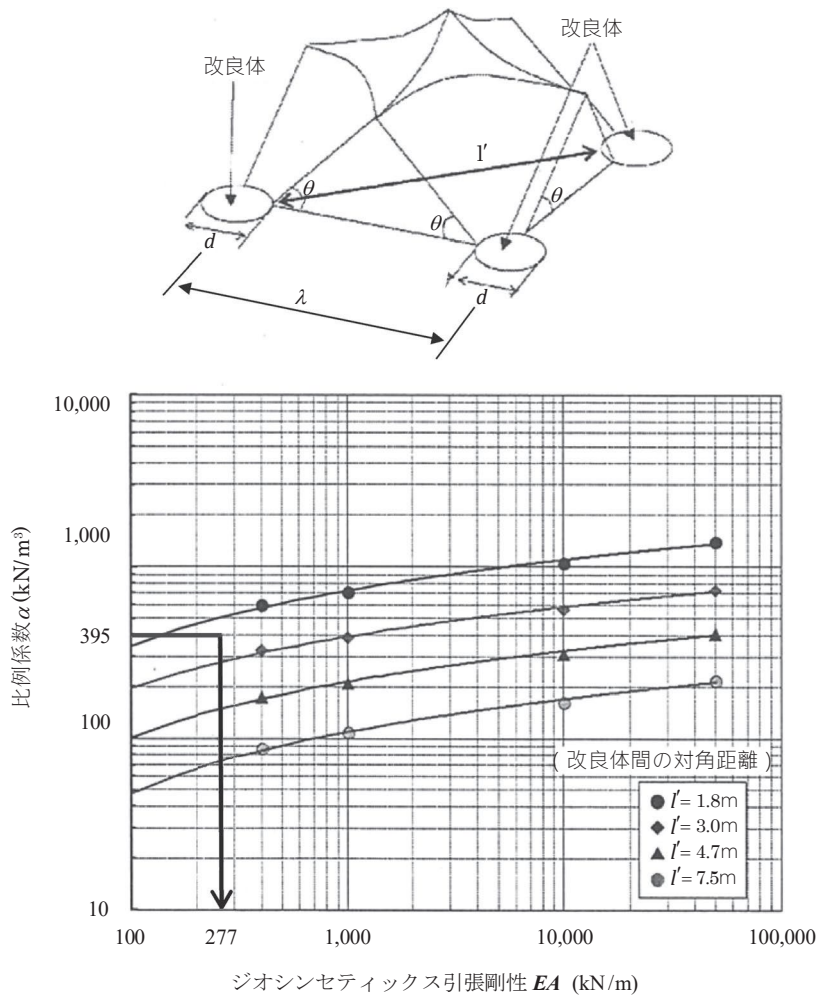
S_G' : 改良体と改良体間との目標不同沈下量 (ジオテキスタイル有り) = 0.10m

改良柱体の対角距離 L' を基に、付図 4.2 よりジオテキスタイルの引張剛性 EA を設定する。

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{\delta_s} \left(\frac{\delta_s}{S_G'} - 1 \right) = \frac{1}{2} \times \frac{98.8}{0.50} \times \left(\frac{0.50}{0.10} - 1 \right) = 395 (\text{kN/m}^3)$$

$$L' = \sqrt{2} \lambda \cdot d = 1.414 \times 2.3 - 1.0 = 2.25 (\text{m})$$

付図 4.2 より、目標不同沈下量 10cm を満足するために必要なジオテキスタイルの引張剛性 EA は、 $EA=277$ (kN/m) 以上となる。



付図 4.2 ジオテキスタイルの引張剛性 EA と比例係数 α の関係⁹⁾

(b) ジオテキスタイルの引張力 T の算定

ジオテキスタイルに発生するひずみ量 ε 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（第二回改訂版）」より、目標不同沈下量 S_G' から、次式で計算する。

$$\varepsilon = 0.15 \cdot S_G' \times 100 = 0.15 \times 0.1 \times 100 = 1.5(\%)$$

このひずみ ε からジオテキスタイルの必要引張強さ T を次式で計算する。

$$T = \frac{EA \cdot \varepsilon}{100} = \frac{277 \times 1.5}{100} = 4.2(\text{kN/m})$$

以上より、 $\varepsilon = 1.5\%$ で $T = 4.2 \text{ kN/m}$ を満足する材料を選定する。

(c) ジオテキスタイルの選定

一般的な補強材として設計引張強さ $T = 30 \text{ kN/m}$ （4%ひずみ時）のジオテキスタイルを選定する。1.5%ひずみ時の強度は以下になり、所要の強度を満足する。

$$T_a = 30 \times 1.5 / 4 = 11.25 > 4.2 \text{ kN/m}$$

設計例-5 特殊事例における設計の考え方：支持層が傾斜している場合

付図 5.1 に示すように、支持層が傾斜している場合での軟弱地盤対策においては、「道路土工軟弱地盤対策工指針」²⁾に従い、沈下、安定、周辺地盤への影響に関する照査が必要である。特に盛土の安定照査においては、通常のすべり破壊に対する照査以外に傾斜地盤特有の改良体の滑動に対する照査も必要である。また、周辺に保全対象家屋等がある場合には、FEM 等を用いた変形解析も必要となる。

ここで示す設計事例における与条件は、以下のとおりである。

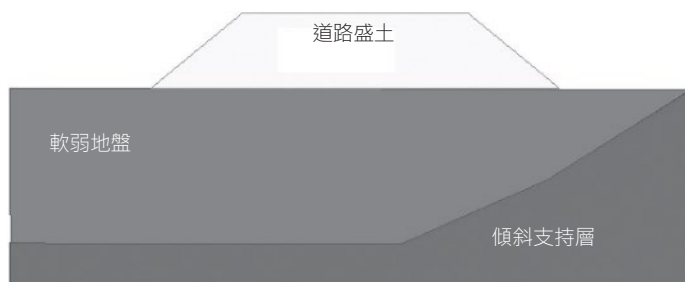
- ・周辺に保全対象はない。
- ・片側は用地制約上補強土壁構造とする。

地盤改良の考え方を以下に示す。

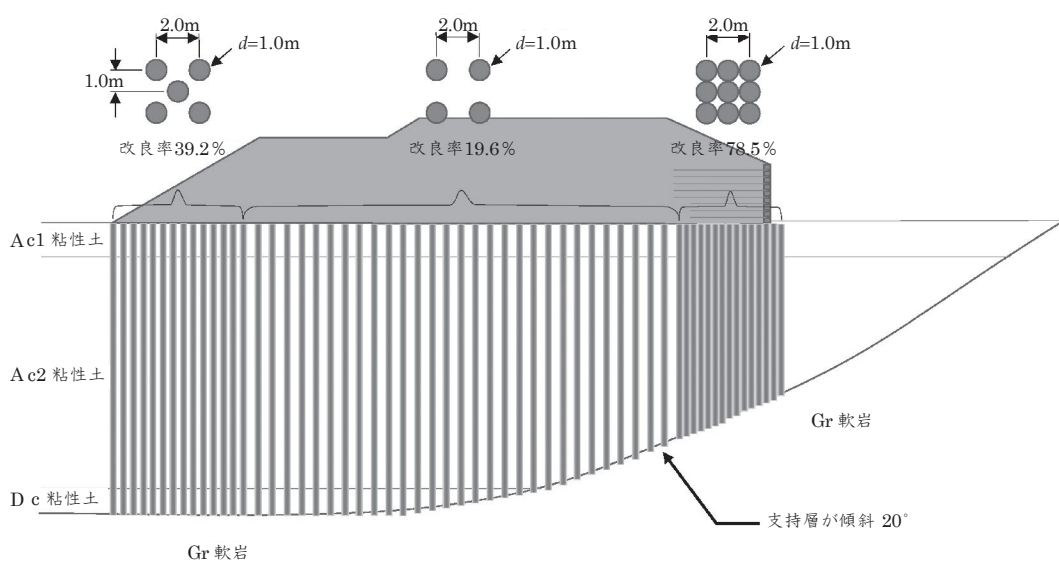
- ・沈下対策及びすべり破壊に対する安定（許容安全率：1.25）対策は ALiCC 工法を適用する。
- ・滑動対策として、改良率を上げた滑動対策部（滑動に対する許容安全率：1.2）を設ける。
- ・補強土壁の支持地盤として必要な支持力を確保するために改良率を上げた領域を設ける。

これらの考え方に基づいた地盤改良の概念図を付図 5.2 に示す。盛土中央部は沈下及びすべり破壊に対する安定対策として ALiCC 工法、谷部は滑動対策として改良率 39%、山部は支持力確保のため改良率 79%とした。

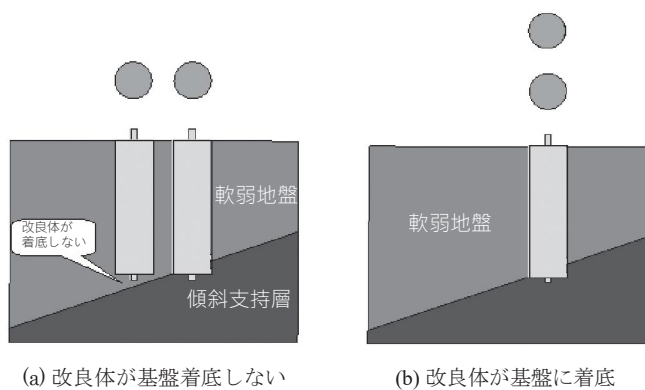
傾斜部の施工にあたって二軸型の HL-DJM を付図 5.3(a) のように配置すると、支持層に改良体が着底しない場合があるため、付図 5.3(b) のように二軸とも傾斜地盤に着底するように配置した。



付図 5.1 支持層が傾斜している場合



付図 5.2 支持層が傾斜している場合の設計例



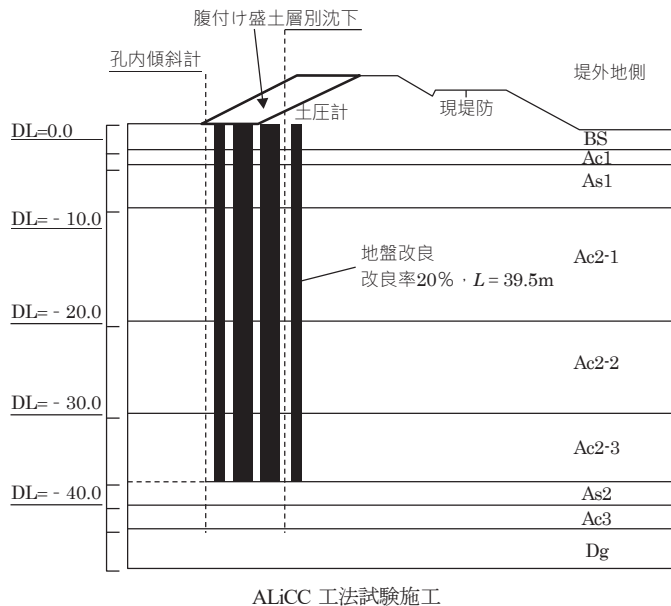
(a) 改良体が基盤着底しない

(b) 改良体が基盤に着底

付図 5.3 二軸型機械施工における留意点

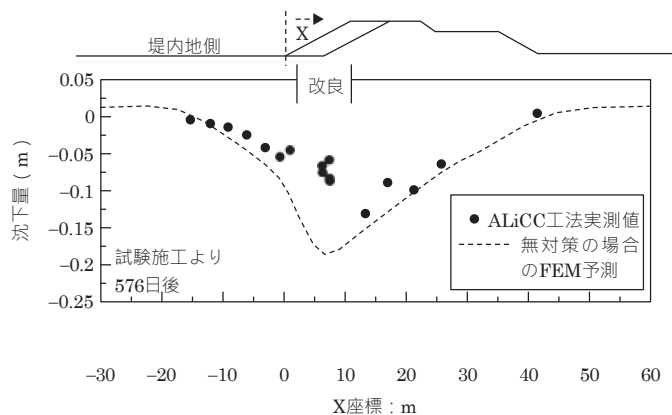
設計例-6 特殊事例における設計の考え方:河川堤防の腹付け盛土の場合

付図 6.1 に示すように、河川堤防の腹付け盛土として ALiCC 工法を適用した。本現場では盛土の沈下対策だけでなく、すべりに対する安定、周辺地盤への影響対策としても有効であった。



付図 6.1 ALiCC 工法の河川堤防の腹付け盛土への適用例

本現場では、改良深度が 40m と厚く、改良間隔が 3m であったため試験工事を行い、ALiCC 工法による地盤の安定性を確認したうえで本工事を行った。試験盛土における動態観測結果を付図 6.2 に示す。堤内地側にある保全対象境界において腹付け盛土による地表面の沈下は、許容傾斜角以内におさまった。



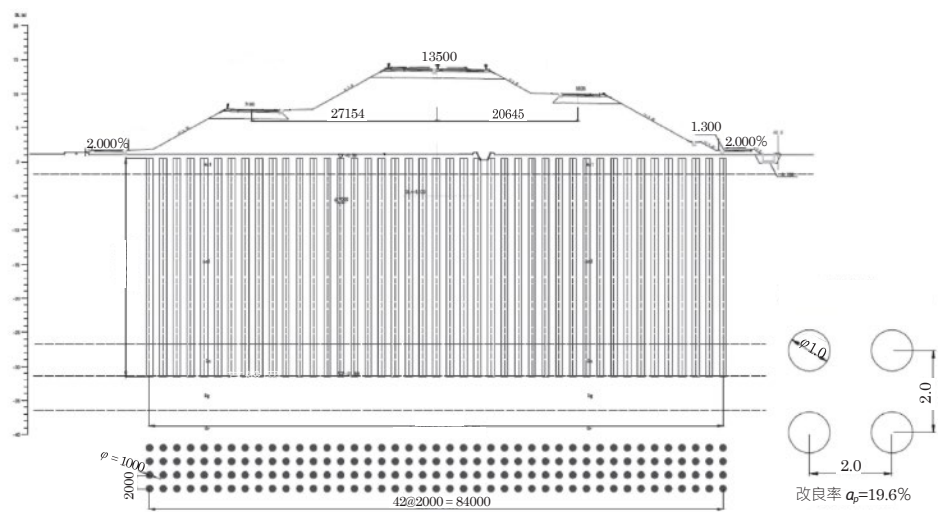
付図 6.2 地表面沈下実測値と FEM 解析値

施工事例-2

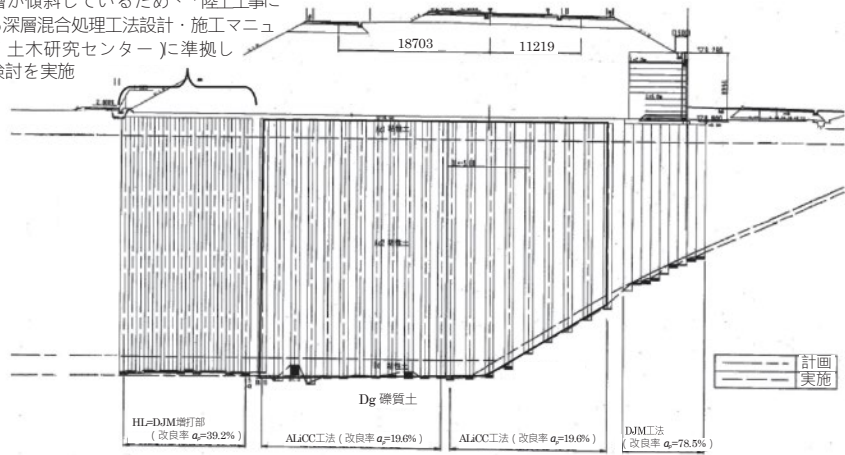
(a) 工事概要

用途	道路	改良形式	着底
改良体直径	$d=1.0\text{m}$	改良体長さ	32.0m
改良目的	沈下低減	改良率	19.6% (2.0m×2.0m)
補助工法	なし	設計基準強度	1,300kN/m ²

(b) 平面図及び標準断面図



支持層が傾斜しているため、「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（土木研究センター）に準拠し、滑動検討を実施

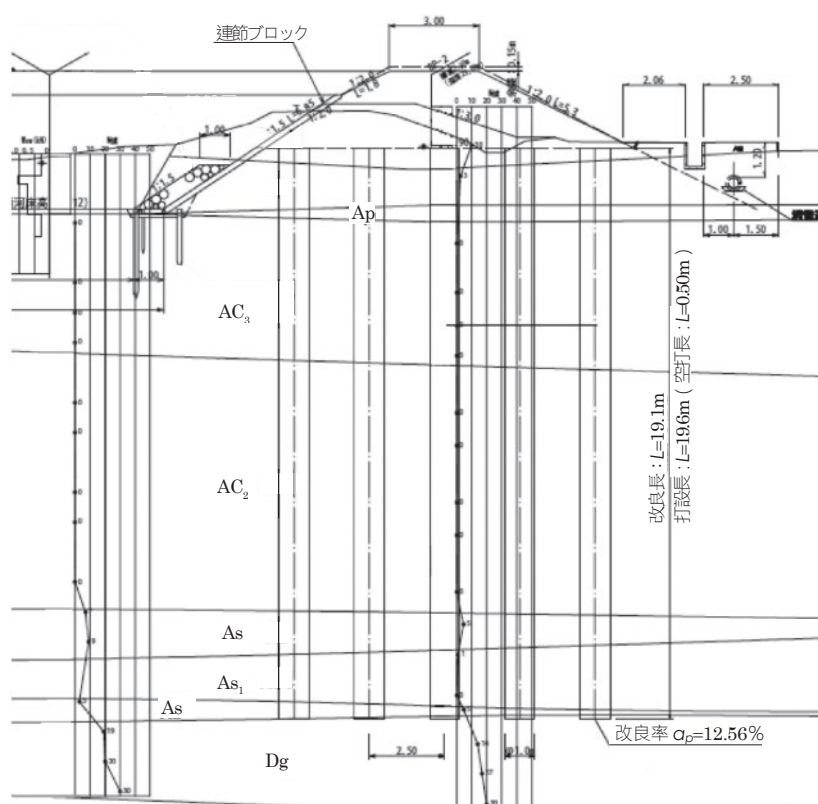


施工事例-3

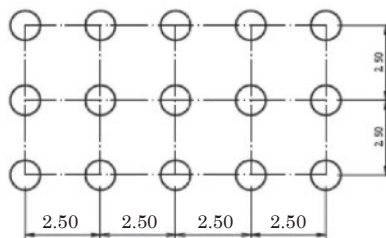
(a) 工事概要

用 途	道 路	改良形式	着 底
改良体直径	$d = 1.0\text{m}$	改良体長さ	19.1m
改良目的	沈下低減	改良率	12.5% ($2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$)
補助工法	なし	設計基準強度	350kN/m^2

(b) 平面図及び標準断面図



- ・改良率: $\alpha_p = 12.5\%$
- ・設計基準強度: $q_{uck} = 350\text{kN/m}^2$

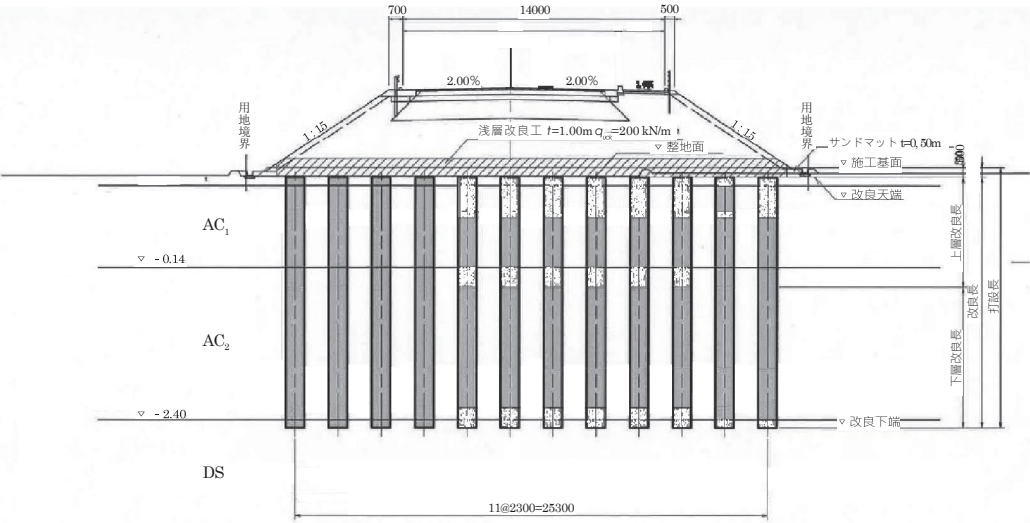


施工事例-4

(a) 工事概要

用 途	道 路	改良形式	着 底
改良体直径	$d=1.0\text{m}$	改良体長さ	14.0～16.5m
改良目的	沈下低減	改良率	14.8% (2.3m×2.3m)
補助工法	浅層改良 ($H_{se}=1.0\text{m}$ 、 $q_{uckse}=200\text{kN/m}^2$)	設計基準強度	550kN/m^2

(b) 平面図及び標準断面図

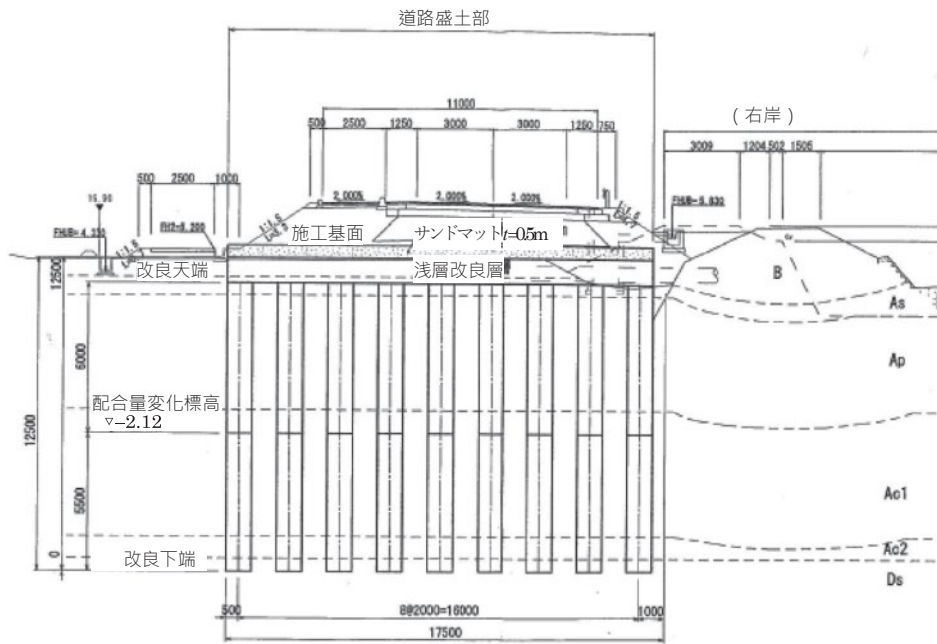


施工事例-5

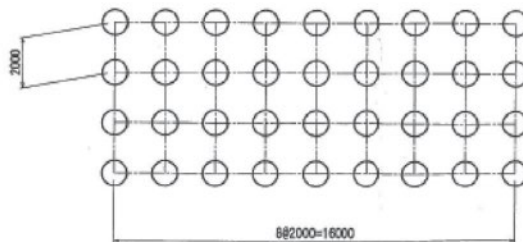
(a) 工事概要

用 途	道 路	改良形式	着 底
改良体直径	$d = 1.0\text{m}$	改良体長さ	11.5m
改良目的	沈下低減	改良率	19.6% ($2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$)
補助工法	浅層改良 ($H_{se} = 1.0\text{m}$ 、 $q_{uckse} = 200\text{kN/m}^2$)	設計基準強度	500kN/m^2

(b) 平面図及び標準断面図



平面図

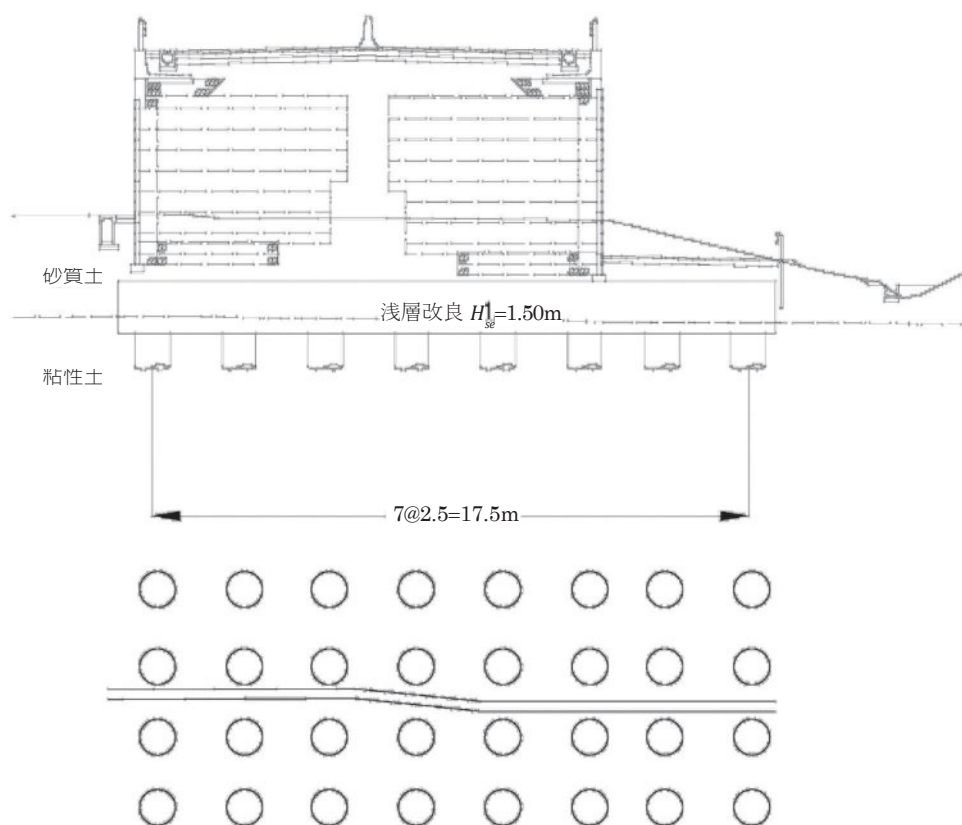


施工事例-6

(a) 工事概要

用 途	道 路	改良形式	着 底
改良体直径	$d = 1.0\text{m}$	改良体長さ	8.6~12.5m
改良目的	沈下低減	改良率	12.5% (2.5m×2.5m)
補助工法	浅層改良 ($H_{se} = 1.5\text{m}$ 、 $q_{uckse} = 400\text{kN/m}^2$)	設計基準強度	$1,000\text{kN/m}^2$

(b) 平面図及び標準断面図

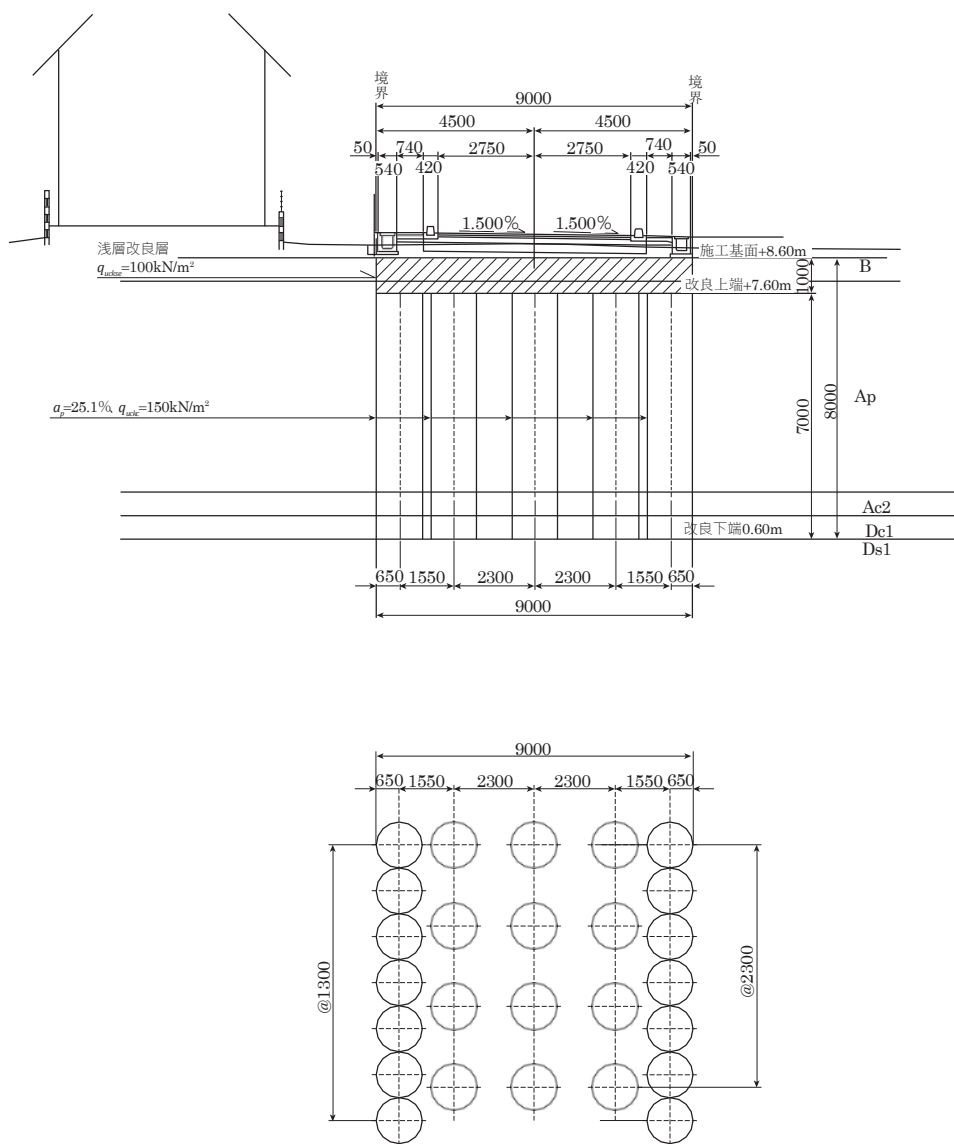


施工事例-7

(a) 工事概要

用 途	道 路	改良形式	着 底
改良体直径	$d=1.3\text{m}$	改良体長さ	4.0~7.0m
改良目的	沈下低減	改良率	25.1% (基本 $2.3\text{m}\times 2.3\text{m}$)
補助工法	浅層改良 ($H_{se}=1.0\text{m}$ 、 $q_{uckse}=100\text{kN/m}^2$)	設計基準強度	150kN/m^2

(b) 平面図及び標準断面図

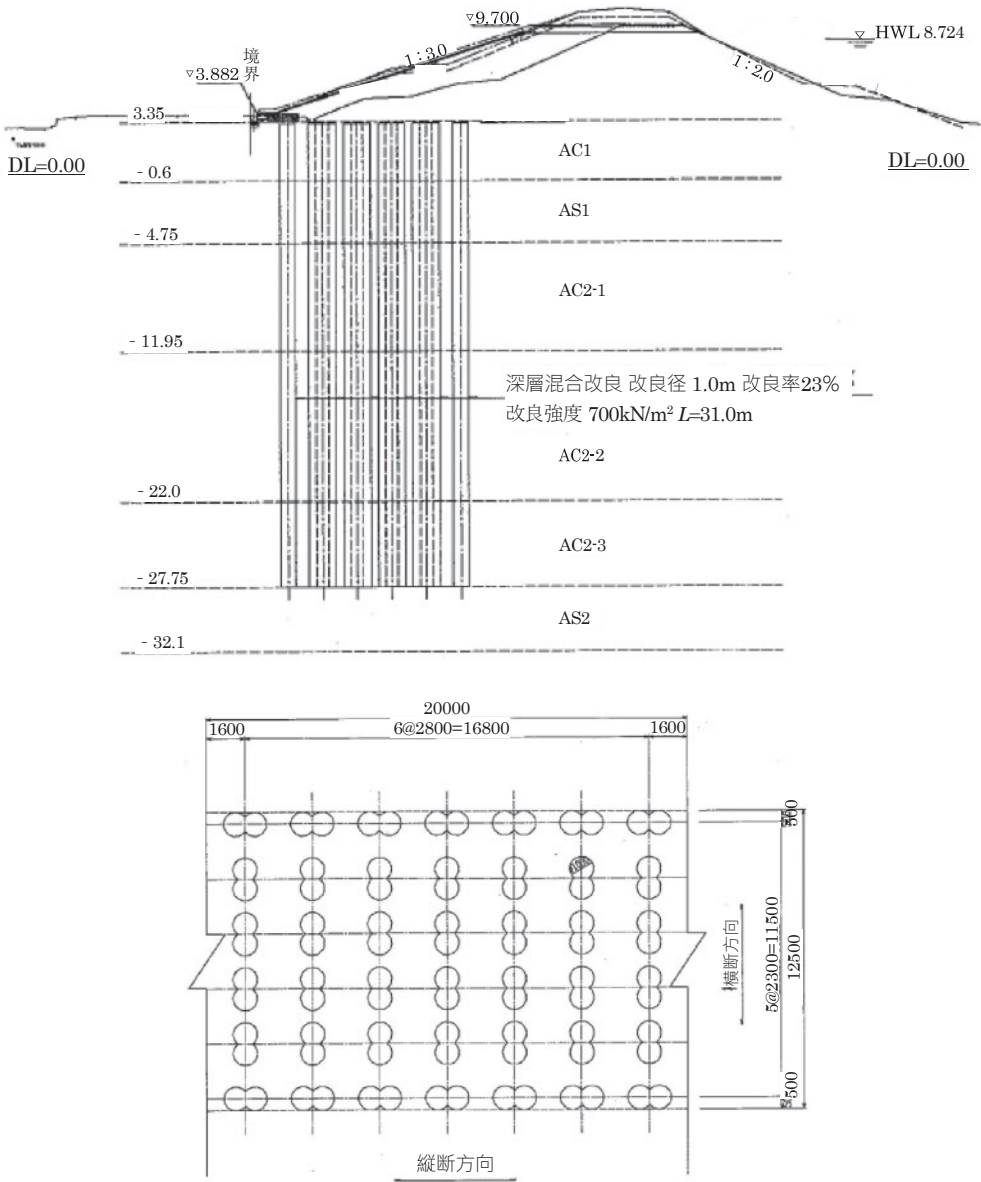


施工事例-8

(a) 工事概要

用 途	築 堤	改良形式	着 底
改良体直径	$d=1.0\text{m}$	改良体長さ	31.0m
改良目的	沈下による 周辺影響防止	改良率	23.0% (2.3m×2.8m)
補助工法	なし	設計基準強度	700kN/m^2

(b) 平面図及び標準断面図



参考文献

- 1) 道路土工 盛土工指針（平成 22 年度版）、日本道路協会、2010 年
- 2) 道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版）、日本道路協会、2012 年
- 3) 道路構造令の解説と運用（令和3年3月版）、日本道路協会、2021 年
- 4) 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編、日本道路協会、2017 年
- 5) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、日本道路協会、2017 年
- 6) 舗装の構造に関する技術基準・同解説、日本道路協会、2001 年
- 7) 地盤調査の方法と解説、地盤工学会、2013 年
- 8) 地盤材料試験の方法と解説（第一回改訂版）、地盤工学会、2020 年
- 9) 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（第二回改訂版）、土木研究センター、2013 年
- 10) 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（増補版）、土木研究センター、2022 年
- 11) 三木博史、山田哲也、芳賀 直：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、地盤工学会、1997 年、pp.2401-2402
- 12) 三木博史：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 vol.41 No.10、土木研究センター、1999 年、pp.40-45
- 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、地盤工学会、2003 年、pp.177-184
- 14) セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第 5 版）、セメント協会、2021 年
- 15) 2018年度版 建築物のための地盤改良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—、日本建築センター・一般財団法人ベターリビング、2018 年
- 16) 道路震災対策便覧（震災復旧編）令和4年度改訂版、日本道路協会、2023 年

発行所	タイトル	発行
鹿島出版会	地盤改良のための ALiCC 工法マニュアル	2007 年 1 月 20 日発行
鹿島出版会	ALiCC 工法マニュアル低改良率セメントコラム工法	2015 年 4 月 10 日発行
—	ALiCC 工法マニュアル-第 3 版-低改良率セメントコラム工法	2024 年 11 月 1 日発行

ありっくこうほう

ALiCC 工法マニュアル-第3版-
低改良率セメントコラム工法

2024 年 11 月 1 日（第3回改訂）

ありっくこうほうけんきゅうかい

編 者 ALiCC 工法研究会

発行者 ALiCC 工法研究会

本書の内容あるいはデータを、全て・一部にかかわらず無断で複製（コピー）、改竄、公衆送信（インターネット上への掲載を含む）することは、著作権法上での例外を除き禁じられています。また、個人的な使用を目的とする複製であってもコピーガード等の著作権保護技術を解除して行う事はできません。

なお、本書の内容については万全を期しておりますが、掲載内容の利用により生じた如何なるトラブル、損害に対しても一切の責任を負いかねます。