

第4章 軟弱地盤対策

4-1 適用

1. 本要領は、軟弱地盤上に道路を建設する場合に実施する各対策工法の設計に適用する。
2. 本章にない事項は、表4.1の関係図書によるものとする。

表4.1 関係図書

関係図書	発行年月	発行
道路土工構造物技術基準・同解説	H29. 3	(公社)日本道路協会
道路土工要綱(平成21年度版)	H21. 6	(公社)日本道路協会
道路土工－盛土工指針(平成22年度版)	H22. 4	(公社)日本道路協会
道路土工－軟弱地盤対策工指針(平成24年度版)	H24. 8	(公社)日本道路協会
道路土工－カルバート工指針(平成21年度版)	H22. 3	(公社)日本道路協会
道路土工－擁壁工指針(平成24年度版)	H24. 7	(公社)日本道路協会
道路土工－仮設構造物工指針	H11. 3	(公社)日本道路協会
陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル改訂版	H16. 3	(一財)土木研究センター
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	H25. 12	(一財)土木研究センター
建設発生土利用技術マニュアル第4版	H25. 12	(一財)土木研究センター
セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版	R 3. 10	(一社)セメント協会
EDO-EPS 工法設計・施工基準書(案)第二回改訂版	R 1. 5	発泡スチロール 土木工法開発機構

(注)使用にあたっては、最新版を使用するものとする。

4-2 軟弱地盤の定義

軟弱地盤は、主として粘土やシルトのような微細な粒子に富んだ柔らかい土で、間隙の大きい有機質土または泥炭、ゆるい砂などから成る土層によって構成され、地下水位が高く、盛土や構造物の安定・沈下に影響を与える恐れのある地盤をいう。

- (1) 軟弱地盤の定義の詳細は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第1章 総説」を参照されたい。

4-3 基本方針

4-3-1 設計の基本

軟弱地盤における盛土および構造物の設計の基本は以下のとおりである。

(1) 盛土

- ① 設計にあたっては、建設段階、維持管理段階での地盤挙動を十分考慮する。
- ② 安定対策は緩速載荷工法を原則として検討する。
- ③ 供用後の残留沈下対策は、余盛り工法を原則として検討する。

※余盛り工法とは、従前のサーチャージ工法を示す。

④ 周辺地盤への影響が予想される箇所では、設計に当たって十分考慮する。

⑤ 施工にあたっては、動態観測により安定・沈下管理を行うものとする。

なお、軟弱地盤の規模が大きく、工費等に重要な影響を及ぼすと想定される場合は、試験盛土等を行い対策工法を検討することが望ましい。

(2) 構造物

橋台および横断構造物はプレロード工法を行うことを原則として検討する。

(3) 腐植土や海成粘土が分布している場合の設計・施工中の留意点

鋭敏比の高い腐植土や海成粘土は、施工中の振動や衝撃により強度低下し、不測の事態となる場合があるので、対策工法の選定では十分に留意する。

腐植土が厚く分布している箇所の道路盛土は、クリープ変形による長期沈下、またプレロード取除き時にリバウンドが著しい場合があるため留意する。

(4) 基盤が傾斜している場合の設計の留意点

軟弱層の基盤が傾斜している地盤上に盛土を行う場合、軟弱地盤層の厚い側の方向に側方流動することが多いので慎重な検討を必要とする。

(5) 地震時の対策

地震による被害が生じた場合に復旧が困難で直轄国道としての交通機能に大きい影響を与える区間、あるいは隣接する施設等に二次的な被害を与える重要度 1 の盛土で、旧河道・埋立地および水辺に近接した箇所等で基礎地盤にゆるい砂質土層が厚く堆積し、液状化による大規模な被害が生じやすい箇所、あるいは特に軟弱な粘性土層が堆積する箇所の高盛土等、大きな被害が想定される箇所の盛土については、地震時の対策を検討する。

(1) 余盛り工法とプレロード工法の名称の使い分けについて

一般盛土部において、計画盛土高さ以上に盛土を載荷し放置期間後に余分の載荷重を除去する場合を余盛り工法と呼ぶのに対して、構造物部において構造物の施工に先立って盛土荷重を載荷し、ある放置期間後に載荷重を除去する場合をプレロード工法と呼んで区別した。

詳細は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第 6 章 軟弱地盤対策工の設計・施工」を参照されたい。

(2) 盛土

表 4.2 建設段階、維持管理段階における地盤の挙動と問題点

① 軟弱地盤上における

盛土の問題は、建設段階においては、盛土の破壊に対する安定性、過大な沈下および周辺地盤の変形に大別される。また、維持管理段階においては、継続する沈下（残留沈

地盤の挙動	沈下量 大	周辺地盤変位 大	すべり破壊発生	残留沈下量 大
路面、盛土本体への影響			盛土の破壊、段差、クラックの発生	路面の不陸〔・走行性の不良 (不同沈下)〕 〔・路面排水の不良
周辺地盤への影響		沈下、隆起、水平移動、引込沈下	広範囲の隆起、水平移動	沈下〔・周辺地盤の排水不良 ・周辺地盤の変状、破損
構造物への影響	構造物の不同沈下	周辺構造物(人家、用排水路、道路等の施設)の変位、変状、破損		・構造物取り付け部〔・走行性の不良 ・構造物への衝撃 ・振動の発生 ・ボックスカルバートの沈下

下)が問題となる。このため、軟弱地盤における盛土の設計にあたっては、土質調査結果を十分に活用し、盛土の安定・沈下について検討するとともに、周辺地盤への影響にも考慮する必要がある。

② 軟弱地盤上に急速に盛土すると、地盤の側方変形が急速に増加し、すべり破壊を生じる。一度すべりを生じると周辺地盤は大きく盛り上がり、すべりを生じた地盤内の粘性土は著しく強度が低下するため、周辺部を含めた復旧に多くの時間と経費を要することになる。したがって、軟弱地盤対策は盛土の安定の確保を十分考慮した緩速載荷工法により、地盤強度の増加を図りながら盛土することを原則とする。

③ 供用後の残留沈下が大きいと路面の不陸や排水性等が良好に維持できず、道路上の諸施設に被害を及ぼす。また、構造物との取付部に段差等が生じ道路構造の機能を著しく低下させる。したがって、対策工法は供用後の有害な残留沈下を可能な限り少なくする必要があり、事前に設計盛土荷重以上の荷重を加え、沈下を促進させる余盛り工法を原則とする。

④ 盛土施工時には、周辺地盤の浮上がりや側方変形を生じることが多く、周辺の田畑や人家、構造物に被害を与える恐れがある。周辺地盤への影響が予想される箇所では十分検討する必要がある。

⑤ 設計時に予測した基礎地盤の挙動が実際の挙動と一致しない場合が多く、工事途中で地盤の過大な変形や破壊という不測の事態を招くこともある。このような設計時の予測と実際の挙動の不一致は、層厚や土性の複雑な変化、検討断面のモデル化、設計土質定数の設定、計算方法の選択等、調査設計過程での要素に起因する。したがって、施工にあたっては、この不確実性を排除する手段として動態観測を実施し、実際の地盤の挙動を確実に把握して、当初設計の見直しや施工法の修正に積極的に活用する。

動態観測の具体例は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第7章 施工及び施工管理」を参照されたい。

(3) 構造物

構造物の取付部は、プレロードを施工して事前に沈下を促進させることを基本とする。

また、プレロードは、地盤強度を増加させることが可能であり、橋台の側方移動対策としても有効な方法である。

(4) 鋭敏比の高い粘性土が分布している場合の施工中の留意点

軟弱地盤の中で、鋭敏比の高い腐植土や海成粘土は施工中の振動や衝撃により強度の低下を招き、以下に示すような被害がおよぶ可能性があることから留意する必要がある。

- ・ 重機のトラフィカビリティが確保されない。
- ・ サンドコンパクションパイル工法等のように振動を伴う工法は砂杭の周辺の地盤強度が低下し、効果が相殺される。
- ・ 仮設矢板等の土留め壁は、強度低下に伴い断面や根入れ不足となる。
- ・ 偏土圧が作用する形状の場合、強度低下によりすべり破壊が発生する。

目安として、鋭敏比が高い粘性土の特性を図4.1に示した。

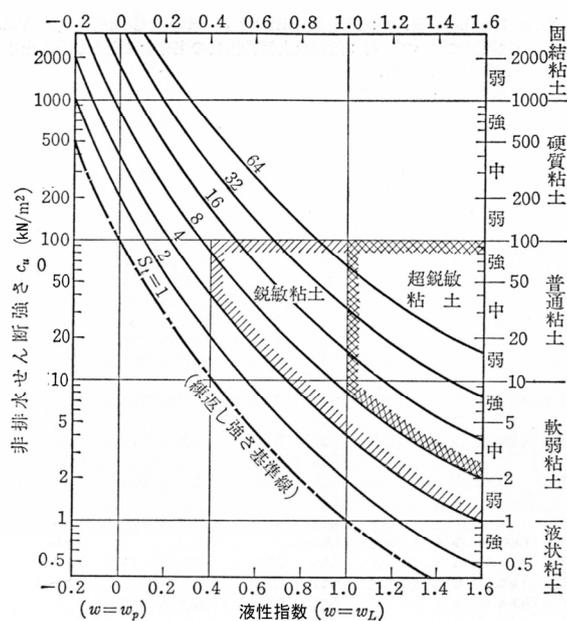


図4.1 液性指数と非排水せん断強さとの関係

(5) 基盤が傾斜している場合の設計の留意点

平地部から山地部にかかる箇所や複雑な谷地形では、基盤が傾斜している場合が多い。このような箇所での盛土は、軟弱地盤層の厚い側の方向に作用する側方流動によりすべり破壊が発生することが多いので、慎重な設計を必要とする。

(6) 地震時に盛土変状が発生しやすい地盤

地震時における盛土変状は、以下のような地盤で発生することが多い。

- ・盛土材やサンドマットが地下水以下になっている。
- ・基礎地盤が粘性土であっても、鋭敏比の大きな粘土やシルトが分布している。
- ・飽和した緩い砂質土が分布している。
- ・低塑性シルト質砂が分布している。
- ・水際線付近や基盤が傾斜している地盤。

4-3-2 軟弱地盤上における盛土設計の流れ

軟弱地盤上における盛土設計は、検討断面、土質定数および設計条件を設定し、無対策で安定・沈下・変形・液化化の検討を行う。無対策での施工が不可能な場合は、緩速載荷工法および余盛り工法が可能かどうかを優先的に検討し、設計許容値を満足しない場合は、軟弱地盤処理工法を検討する。また、液化化が問題となった場合も、軟弱地盤処理工法を検討する。

軟弱地盤上における盛土設計の一般的な流れを図4.2に示す。

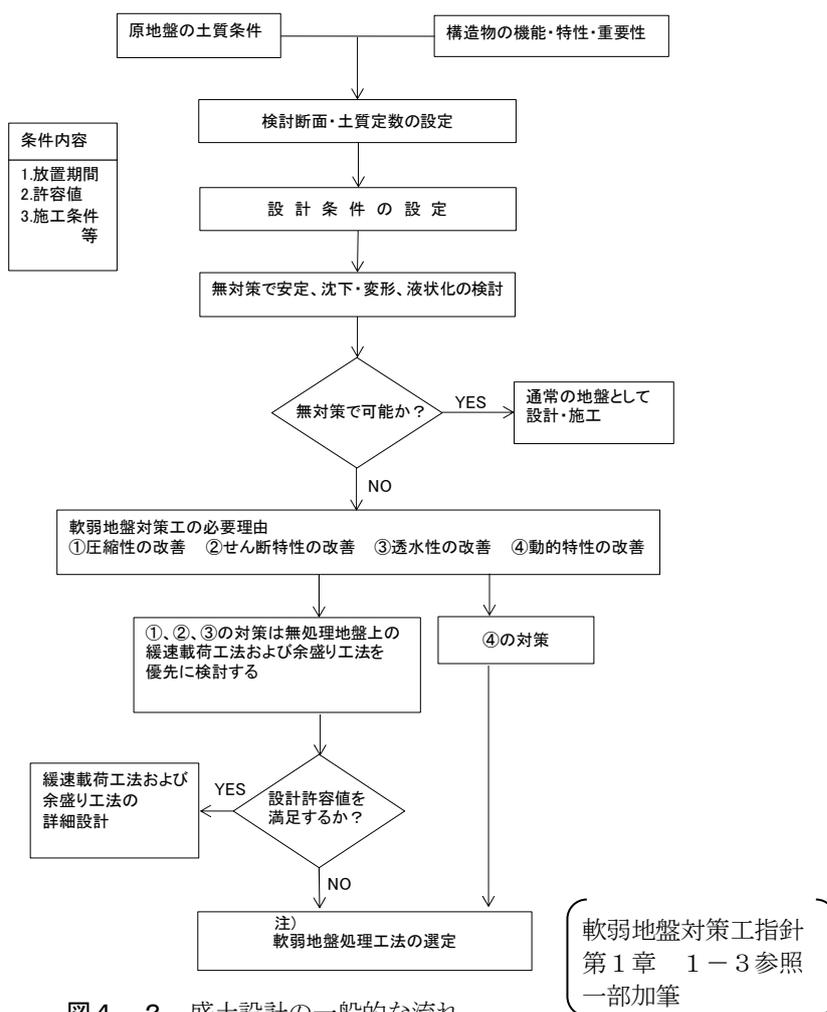


図4.2 盛土設計の一般的な流れ

注) 軟弱地盤処理工法とは、サンドマット工法、緩速載荷工法、余盛り工法以外の対策工法をいう。

(1) 検討断面および土質定数の設定について

検討断面および土質定数の設定は、調査結果をとりまとめて設定する。(調査については、第16章 地質調査の手引き(案)を参照されたい。)

調査結果のとりまとめから、検討断面および土質定数設定までのフローを図4.3にまた、解析項目と土質定数の整理を表4.3に示す。なお、設計段階で使用する盛土材が確定している場合は、材料試験により土質定数(単位体積重量、内部摩擦角、粘着力等)を設定し、設計に反映させる。

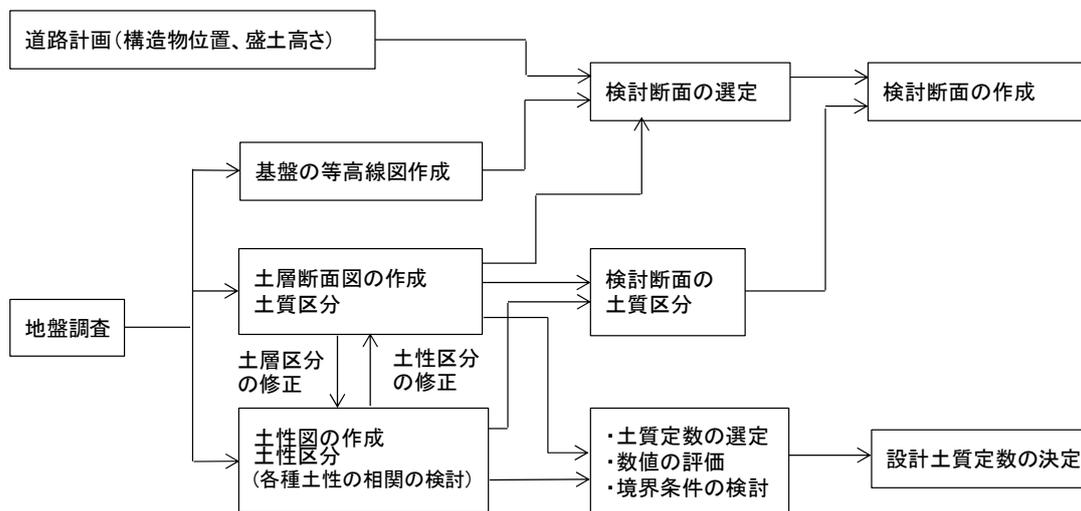


図4.3 検討断面の作成、設計土質定数の決定までの流れ

(軟弱地盤対策工指針 第3章 3-9参照)

表4.3 解析項目と土質定数

解析項目	土質定数	定数を求めるための方法
盛土の安定性	粘着力(C)	・一軸圧縮試験 ・サウンディング試験
	内部摩擦角度(ϕ)	・三軸圧縮試験(C_u 、 ϕ_u)、(C_{cu} 、 ϕ_{cu})、(C' 、 ϕ')
	湿潤単位体積重量(γ_t)	・湿潤密度試験
	強度増加率(m)	・三軸圧縮試験(C_{cu} 、 ϕ_{cu}) ・土の塑性指数(I_p) ・経験的な値
盛土の沈下量 沈下時間	圧密降伏応力(P_c)	・標準圧密試験
	圧密指数(CC)	
	圧密係数(C_v)	
	体積圧縮係数(m_v)	
	間隙比(e_0)	・ $\gamma_t \times H$ H: 軟弱層厚
	有効土被り圧(P_0)	
変形係数(E_{50})	・一軸圧縮試験	
地震時の変形量	標準貫入試験結果(N値)	・ボーリング調査時に実施する標準貫入試験
	密度(ρ)	・PS波検層 ・くり返し三軸試験 等
	せん断波速度(V_s 、 V_p)	
	せん断弾性係数(G)	
	ヤング率(E)	

(軟弱地盤対策工指針 第3章 3-9参照)

(2) 軟弱地盤対策工を設計する上での基本事項

- ①軟弱地盤対策工法の設計に当たっては、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。
- ②軟弱地盤対策工法の設計に当たっては、原則として、想定する作用(常時の作用、降雨の作用、地震時の作用)に対して道路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。
- ③軟弱地盤対策工法の設計に当たっては、適切な知見(実験等による検証がなされた手法、これまでの経験や実績から妥当性とみなせる手法等)に基づいて行うものとする。

(3) 道路盛土の要求性能

道路盛土の要求性能の目安を表 4. 4 に示す。

表 4. 4 道路盛土の要求性能

想定する作用		重要度	
		重要度1	重要度2
常時の作用		性能1	性能1
降雨の作用		性能1	性能1
地震動の作用	レベル1地震動	性能1	性能2
	レベル2地震動	性能2	性能3

軟弱地盤対策工指針
第4章 4-1-3 参照

重要度 1 : 万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、あるいは隣接する施設に重大な影響を与える場合

重要度 2 : 上記以外の場合

性能 1 : 想定する作用によって道路としての健全性を損なわない性能

性能 2 : 想定する作用による損傷が限定的なものにとどまり、道路としての機能の回復が速やかに行い得る性能

性能 3 : 想定する作用による損傷が道路として致命的とならない性能

直轄国道の盛土は、その路線特性から重要度 1 を基本とするが、万一損傷しても直轄国道としての交通機能に与える影響が小さく、隣接する施設もない場合は、重要度 2 となる。

また、取付道路等の盛土は、その路線の特性や周辺状況に応じて重要度を設定する。

(4) 性能の照査

- ①常時の作用に対しては重要度にかかわらず性能 1 を満足するものとする。
- ②軟弱粘性土地盤上の盛土については適切な基礎地盤の処理、入念な締固めおよび排水工の設置を前提として一般に地震動の作用に対する照査を行わなくても、表 4. 4 に示した性能を満足するとみなせることとする。
- ③重要度 1 の盛土で、旧河道・埋立地および水辺に近接した箇所等で基礎地盤にゆるい砂質土層が厚く堆積し、液化化による大規模な被害が生じやすい箇所、あるいは特に軟弱な粘性土層が堆積する箇所の高盛土等、地震による大きな被害が想定される箇所の盛土については、「地震動の作用に対する安定性の照査」を行うものとする。安定性照査の例を図 4. 4 に示す。

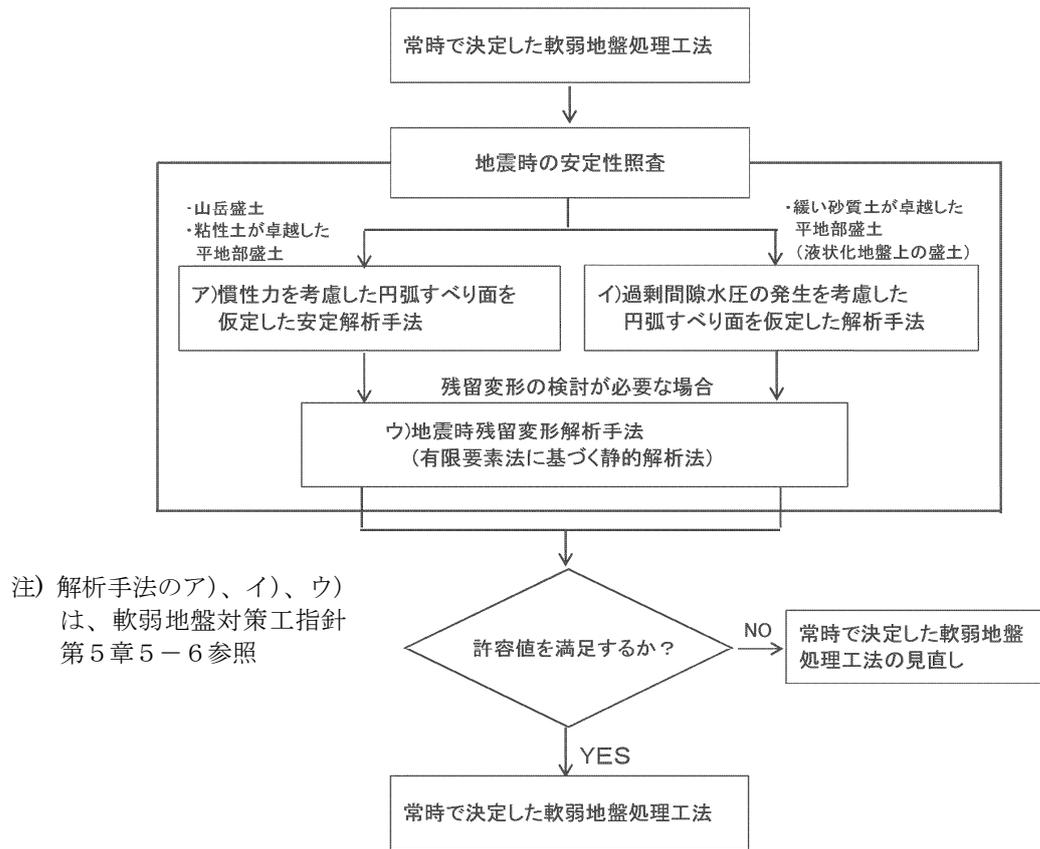


図4.4 地震時の安定性照査の例

4-3-3 設計条件の設定

① 放置期間

- イ) 供用時期が決まっている場合は、最大限の放置期間を確保する。
- ロ) 供用時期が複数案ある場合は、それぞれに対応した対策工法を検討する。
- ハ) 供用時期が決まっていない場合の放置時間の設定は、基礎地盤の圧密度が 80%~90%となるまでの期間を目安とする。

② 設計許容値

イ) 盛土の破壊に対する許容安全率(Fs)

- ・ 施 工 中 $F_s \geq 1.1$
- ・ 供用開始直前 $F_s \geq 1.25$

ロ) 道路の許容残留沈下量

- ・ 杭で支持されている橋梁やボックスカルバート等の横断構造物の接続部は、供用後 3 年間の許容残留沈下量を盛土中央部において 10cm 以内とする。
- ・ 上記以外の一般土工区間は、供用後 3 年間の許容残留沈下量を盛土中央部において 30cm 以内とする。

③ 施工条件

イ) 施工速度は、表 4.5 を標準とする。

ロ) サンドマットを敷設するものとし、サンドマットの厚さは、コーン指数から決定する。

(4-4-2 1. サンドマット工法を参照されたい。)

サンドマットに使用する材料は、目的に応じ表 4.8 の材質を満足するものとする。

④ その他

周辺地盤の変状を考慮した設計を行う。

表 4.5 盛土速度の標準

地 盤 の 種 類	盛土速度 (cm/day)
厚い粘土質地盤および黒泥または有機質土が厚く堆積した泥炭質地盤	3
普通の粘土質地盤	5
薄い粘土質地盤および黒泥や有機質土をほとんど挟まない薄い泥炭質地盤	10

注) 表中の盛土速度は一層の盛土施工厚さを 30cm 程度以下とし、その後放置期間をとることによって求められる値である。

(軟弱地盤対策工指針 第 3 章 3-6 参照)

(1) 放置期間

軟弱地盤上の盛土の沈下検討を行う場合は、十分な放置期間の確保等、時間効果の有効活用を図ることを前提として、供用後の道路に及ぼす沈下を見込んで行うことを基本とする。

(2) 施工速度

軟弱地盤上に構造物を施工するときの載荷速度や、盛土を施工するときの盛土速度は、基礎地盤の破壊に対する安定や圧密沈下速度に著しく影響を与えるものであり、施工の順序や方法あるいは工程などを定めるに当たって、最も留意すべき重要な要因となる。

(3) 道路の許容残留沈下量

一般土工区間の設計については、道路敷の隣接箇所に影響を与えないことが重要な設計条件である。また道路本体の沈下についても、排水構造物等と与える影響が大きいことから、供用後 3 年間の許容残留沈下量を盛土中央部において 30cm 以内とした。

(4) 周辺地盤の変状

周辺地盤および盛土に近接している施設における隆起・沈下等の変形量の許容値は、関係機関等の定める値を十分理解の上、決定するものとする。

4-4 軟弱地盤上の盛土の対策工法

4-4-1 対策工法の選定

- ① 盛土の設計は、緩速載荷工法および余盛り工法を原則とする。
- ② 検討内容は、すべり破壊の安全率、供用後の残留沈下量、周辺地盤の変状とする。
- ③ 緩速載荷工法を実施しても、すべり破壊が発生する場合は、安全率の程度から次の工法を検討する。
 - ・ $1.0 \leq F_s < 1.25$ ・ ジオテキスタイル工法
 - ・ $F_s < 1.0$ ・ ・ ・ 押え盛土工法、コンパクションパイル工法、
静的締固め砂杭工法（家屋や構造物が隣接している箇所）、
表層混合処理工法（軟弱層が薄い場合）、深層混合処理工法、
高圧噴射攪拌工法（狭い箇所）、荷重軽減工法
- ④ 余盛り工法を実施しても供用後の残留沈下量が許容残留沈下量を満足しない場合は、次の工法を検討する。
 - ・ バーチカルドレーン工法 ・ コンパクションパイル工法
 - ・ 静的締固め砂杭工法（家屋や構造物が隣接している箇所）・ 表層混合処理工法（軟弱層が薄い場合）
 - ・ 深層混合処理工法 ・ 高圧噴射攪拌工法（狭い箇所）・ 荷重軽減工法

なお、コンパクションパイル工法は、土性や改良率によっては施工中に地表部や側方部への押出しを生ずる場合があるので、施工時における周辺地盤への影響について十分配慮する必要がある。
- ⑤ 周辺地盤の変状が許容値を満足しない場合は、次の工法を検討する。
 - ・ 静的締固め砂杭工法 ・ 表層混合処理工法（軟弱層が薄い場合）・ 深層混合処理工法
 - ・ 高圧噴射攪拌工法（狭い箇所）・ 荷重軽減工法

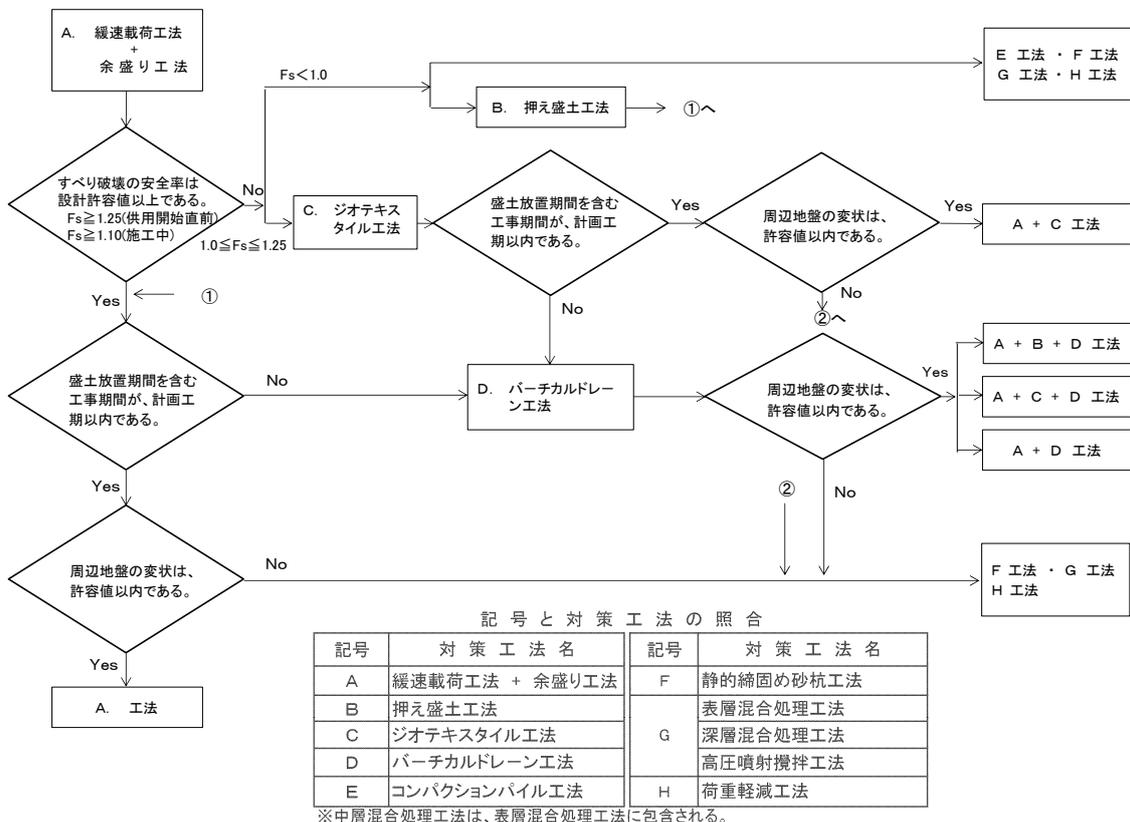


図 4. 5 軟弱地盤対策工法の選定フロー

対策工の目的は、すべり破壊対策、沈下対策、周辺地盤の変状対策に区分される。

表 4. 6 には主な対策工法の種類と効果を示す。

表 4. 6 盛土施工で発生する問題点と対策工法

工 法	問題点	供用後の 残留沈下	すべり破壊	周辺地盤の変状		工事費の ランク
				水田の場合	重要構造物 がある場合	
緩速載荷工法			○			1
余盛り工法		○				2
軟弱地盤 処理 工法	押え盛土工法		○			3
	ジオテキスタイル工法		○			3
	パーチカルドレーン工法	○				3
	コンパクションパイル工法	○	○	○		4
	静的砂杭締固め工法	○	○	○	○	5
	表層混合処理工法	○	○	○	○	4
	深層混合処理工法	○	○	○	○	5
	高圧噴射攪拌工法	○	○	○	○	6
荷重軽減工法	○	○	○	○	6	

(注) ○は問題点に対して効果がある工法を示す。
 工事費のランクは、1が最も安価で6が最も高価（目安）
 中層混合処理工法は、表層混合処理工法に包含される。

4-4-2 主な対策工法の設計・施工の考え方

1. サンドマット工法

(1) 工 法

本工法は、軟弱地盤上に砂等の材料を次の目的で施工するものである。

- ア) 軟弱層の圧密のための上部排水層の役割
- イ) 盛土中への地下水の上昇を遮断する地下排水層の役割
- ウ) 施工機械のトラフィカビリティを確保する支持層の役割

(2) 設 計

① サンドマットの必要性

対象地盤において前述したア)～ウ)を考察し、サンドマットの必要性を検討する。

② サンドマットの厚さと材質

サンドマットの厚さは、表 4. 7 に示す施工機械のトラフィカビリティから決定する。なお、排水確保の目的の場合は、表 4. 7 に示す厚さのうち最低 50cm は、排水層の役割のために 75 μm フルイ通過分が 3% 以下の砂を敷設する。

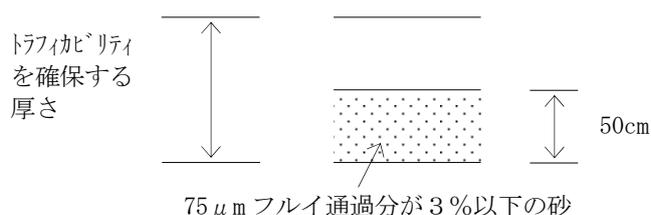


表 4. 7 敷砂工の厚さ

地層のコーン 支持力 (kN/m ²)	敷砂工の 厚さ (cm)
200 以上	50
200 ~ 100	50 ~ 80
100 ~ 75	80 ~ 100
75 ~ 50	100 ~ 120
50 以下	120

(軟弱地盤対策工指針 第 6 章 6-3-2 参照)

75 μ m フレイ通過分が3%以下の砂が確保できない場合は、表4.8を参考に砂の細粒分含有率に応じた地下排水工の設置を検討する。

表4.8 サンドマットの透水性と地下排水溝の設置間隔の例

サンドマットの材料種別	細粒分含有率 F_c (%)	地下排水溝の間隔 (m)	
		バーチカル ドレイン無し	バーチカル ドレイン有り
比較的透水性の高い材料	$F_c \leq 3$	必要に応じて設置する	
比較的透水性の高くない 材料	$3 < F_c \leq 10$	35 ~ 25	30 ~ 20
	$10 < F_c \leq 15$	25 ~ 15	20 ~ 10
透水性の低い材料	$15 < F_c \leq 25$	15 ~ 10	10 ~ 5

(軟弱地盤対策工指針 第6章6-3-2参照)

また、盛土敷内に湧水箇所がある場合や雨水等が集水しやすい地形においては、地下排水工を併用する。

地下排水工は図4.6の設置例に示す位置に設けるものとし、排水工内に粘土等の細粒分が侵入し排水効果を低下させることのないように留意する必要がある。また、ドレインパイプを用いる場合は、パイプは地盤の変形に追従できる管種を選定するものとする。

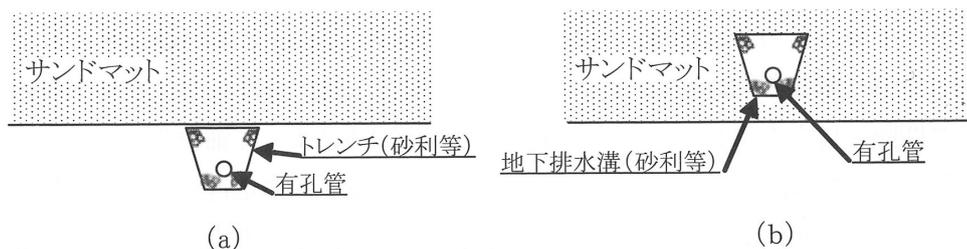


図4.6 地下排水工の例

(軟弱地盤対策工指針 第6章6-3-2参照)

施工中ののり尻部は、図4.7に示す仮排水路を設けるものとする。

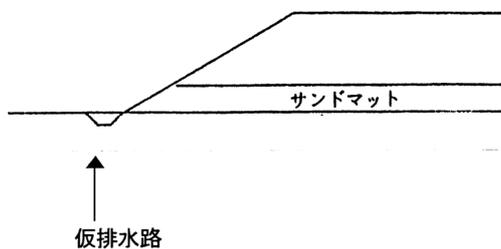


図4.7 施工中ののり尻部の処理

2. 緩速載荷工法

(1) 工 法

本工法は、できるだけ軟弱地盤の処理を行わないかわりに、時間をかけてゆっくり盛土を行う工法である。この工法は、特別な施工機械あるいは材料を要するわけではなく、時間だけを必要とするため、他の工法に比べて経済的であり、一般に他の軟弱地盤対策工法に先行あるいは併用して検討する。

(2) 設 計

① 載荷方法

段階盛土載荷により、安全率が所定の安全率近くに達するまで、サンドマットを含めた第1次盛土 H_{E1} を設計する。その後、盛土を放置して基礎地盤の圧密による強度の増加を図る。

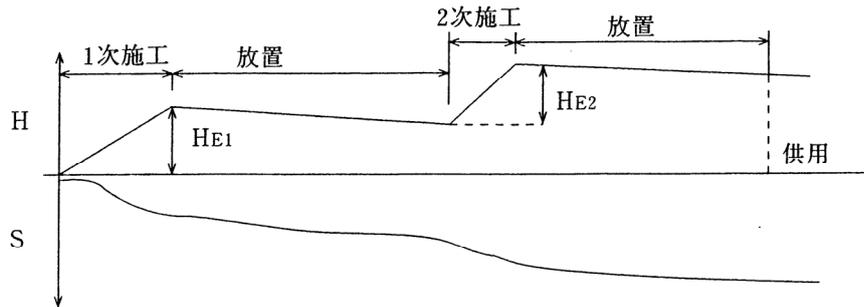


図4.8 緩速載荷工法

② 基礎地盤の圧密に伴う強度増加と放置期間

(a) 圧密に伴う強度増加

- ・盛土と地盤の安定性は、基礎地盤の圧密に伴う強度増加を考慮した全応力法によってすべり破壊を照査する。
- ・圧密による強度増加後の粘着力は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第5章5-4 常時の作用に対する安定の照査」を参照されたい。

(b) 放置期間

- ・供用時期が決まっていない場合の放置期間の設定は、基礎地盤の圧密度が80~90%となるまでとする。
- ・供用時期が決まっている場合は、最大限の放置期間を確保する。

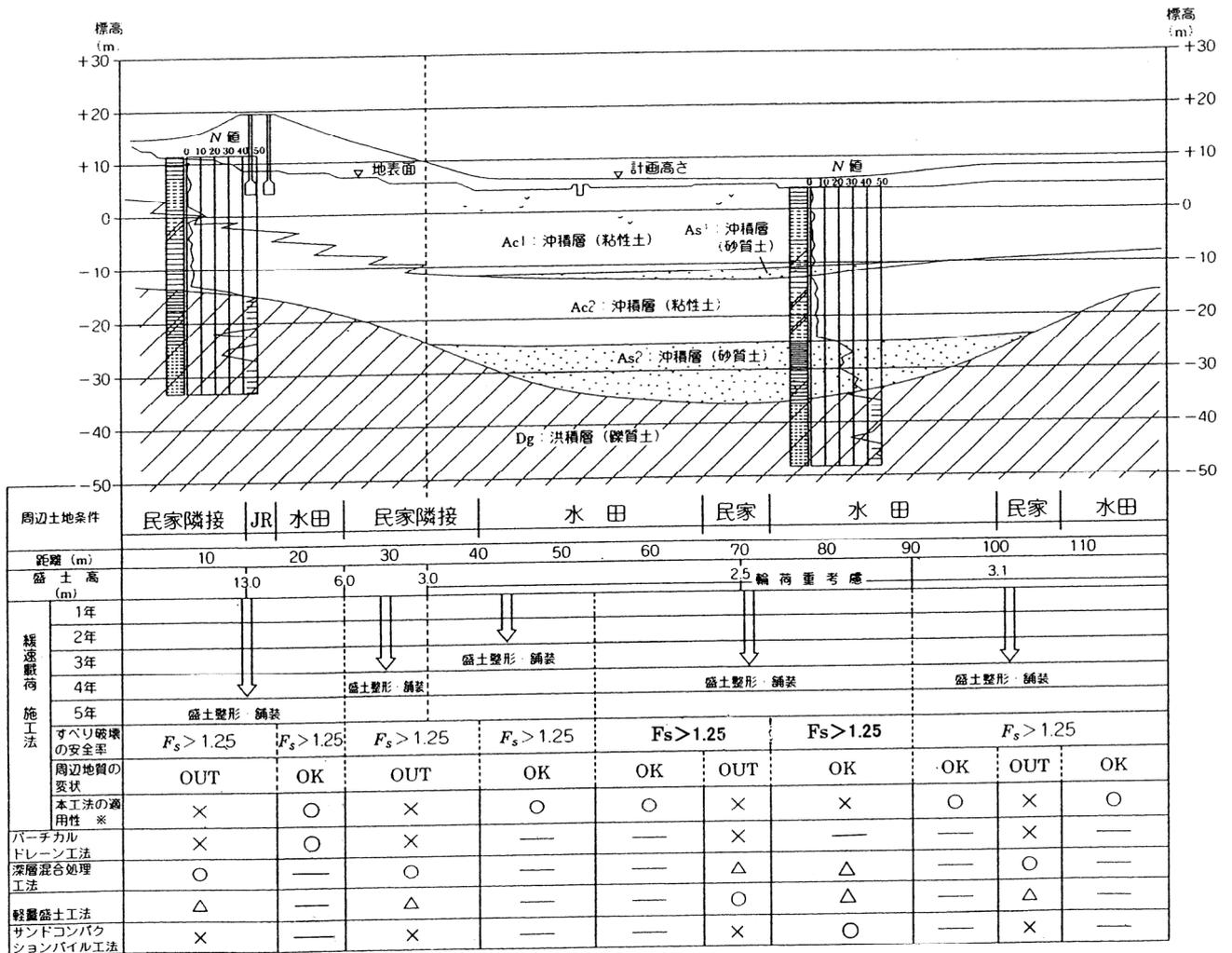
③ 路線全体の緩速載荷工法の整理

緩速載荷工法の検討を各工区の代表断面で行い、必要な施工工期、1次施工、2次施工におけるすべり破壊の安全率および周辺地盤の変状を整理する。この図を参考に施工の優先順位等を考慮し、施工工程を作成する。(図4.9)

(3) 設計・施工上の留意点

本工法の適用にあたっては、次の項目に留意する必要がある。

- ① 施工にあたっては、施工管理のデータに基づいて盛土速度を制御する。すなわち、薄層転圧で各層を施工し、施工中の調査および観測によって予測よりも地盤が安定していることが確認された場合は、施工速度を速めたり、放置期間を短くすることもできる。逆に予測よりも地盤が不安定と分かった場合は、盛土速度を遅くするか、放置期間を充分にとる。さらに、危険な状態になれば盛土の除去などが必要となるので、その処置をあらかじめ検討しておくことが大切である。
- ② 地盤が破壊しない程度で、盛土速度をできるだけ早くとる方が盛土完成後の沈下が少なくなる利点があるが、施工中に基礎地盤の破壊を引き起こすおそれがあるので、十分な管理が必要である。
- ③ 施工中には、盛土の安定性と圧密の進行状態に基づき盛土の速度を管理するために、沈下計、変位杭その他の計器を設置して、盛土の沈下量や側方地盤の変形量などの変化を測定することが重要である。また、場合によっては土質調査を行い、圧密による強度増加を直接調べることも必要である。



注) ※盛土工期3年とした場合

○：適用工法

△：適用可能であるが、適用工法に比べ経済性に劣る

×

図 4.9 路線全体の盛土および対策工法の適用例

3. 余盛り工法

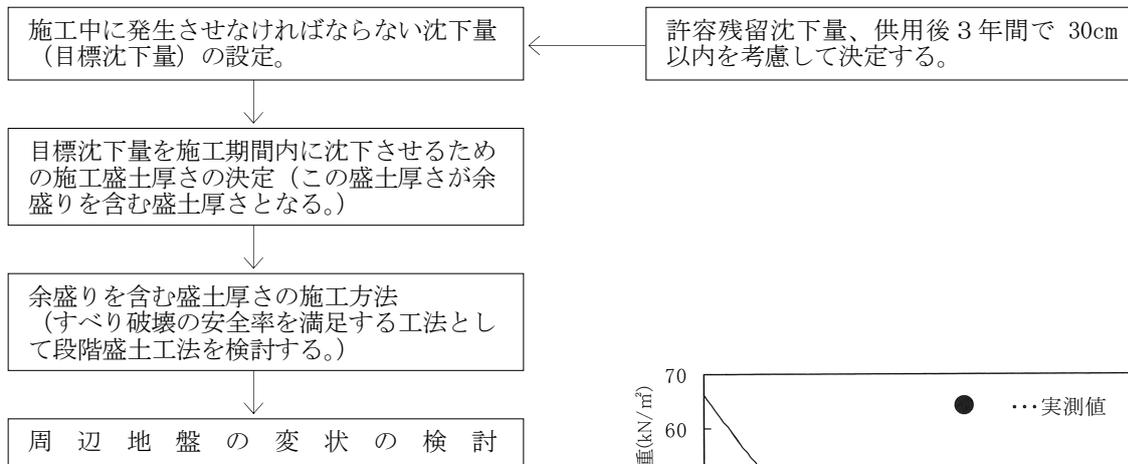
(1) 工 法

本工法は、軟弱地盤に設計盛土荷重以上の荷重（余盛り部）を加え沈下を促進させ、設計荷重に対する沈下に対して見掛け上の沈下速度を速めるとともに設計荷重に対する残留沈下量を減少させ、その後に余盛り部を取り除く工法であり、沈下の促進あるいは舗装後の残留沈下を少なくするものである。

(2) 設 計

① 設計手順

余盛り工法の設計は、次の手順で行う。



② 低盛土 (3.0m以下) における余盛り工法

図4.10は、交通荷重の影響に相当する盛土荷重を示したものである。この図は、低盛土道路の動態観測から得られた沈下曲線をもとに盛土厚に応じた交通荷重の影響を評価し、その大きさを盛土荷重に置き換えた値を示したものである。低盛土部において、交通荷重の影響を考慮する場合、この図を余盛りの大きさを決定する目安にすればよい。この図の適用は、次のとおりである。

- ・適用範囲は、盛土高さが3m以下とする。
- ・最小盛土厚さは、「舗装厚さ+路床厚さ」とする。
- ・盛土下部を表層改良(あるいは置換え)する場合は、改良下部の軟弱層に作用する交通荷重の算出は、改良厚も盛土厚として取り扱うことができる。

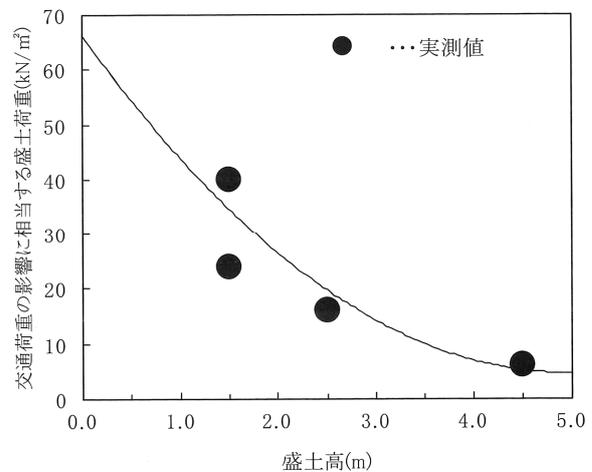


図4.10 交通荷重に相当する盛土荷重

(軟弱地盤対策工指針 第5章 5-3参照)

(3) 設計・施工上の留意点

本工法を道路盛土に適用する場合は、舗装完成後の路面に生じる残留沈下を許容量の範囲内に抑えることが主目的であるから、そのために必要となる載荷荷重および放置期間は、圧密層厚と沈下時間曲線の関係、計画荷重、工期等が関係する。そこで、本工法の設計・施工上の留意点を列記すると、次のとおりである。

- ① 本工法は、載荷重を地盤の安定を損なわずに支持し得る場合は最も適した工法であるが、安定を確保しがたい場合や載荷重が非常に大きくなる場合は、バーチカルドレーン工法や緩速載荷工法などとの併用を検討しなければならない。
- ② 本工法は、残留沈下を抑制することが目的であるから、載荷重をできる限り大きくとり、かつ長時間放置することが効果的である。
- ③ 余盛りとして利用した材料が、他の工事で使用可能な場合には、経済的となるので、隣接工事に流用できるように工程を組むことが望ましい。
- ④ 沈下-時間関係は一般に予測しがたいので、施工に際しては、動態観測を十分に行って地盤の破壊に注意するとともに、得られた観測結果に基づいて除荷後の残留沈下量、除荷時期などを決定する。

4. ジオテキスタイル工法

(1) 工 法

本工法は、基礎地盤の表層あるいは、盛土下部層にジオテキスタイルを敷設して、基礎地盤を通るすべり破壊に対する盛土の安定を確保する工法である。緩速載荷工法を実施しても、供用開始直前のすべり破壊の安全率が $1.0 < F_s < 1.25$ の場合に用いる。

(2) 設 計

① 設計手順

設計手順は「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」に準ずる。

5. 押え盛土工法

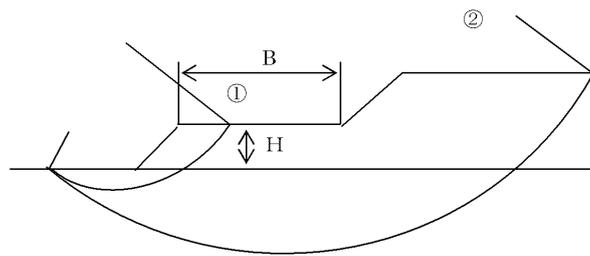
(1) 工 法

本工法は、盛土本体の側道部に小盛土を行い、基礎地盤のすべり破壊に対し抵抗するモーメントを増し、すべり破壊を防止する工法である。

(2) 設 計

① 設計手順

押え盛土高さおよび押え盛土幅は、安定計算により決定する。



(軟弱地盤対策工指針
第6章 6-10-1 参照)

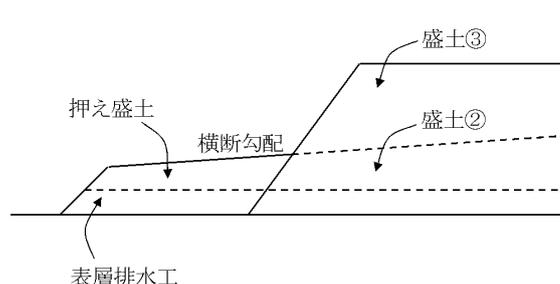
図4.11 安定計算

- ・ 押え盛土高 (H) は、①のすべり破壊の安全率を満足する高さとする。
- ・ 押え盛土幅 (B) は、②のすべり破壊の安全率を満足する幅とする。
- ・ すべり破壊の安定率は、施工時・・・ $F_s \geq 1.1$ 、供用開始直前・・・ $F_s \geq 1.25$ とする。

(3) 施工上の留意点

押え盛土の施工は、一般に図4.12に示すように、押え盛土部分を含めた表層排水工および盛土②を施工し、引き続き本体盛土③を施工する。盛土②の施工のとき、必ず押え盛土の外側から施工するものとする。同様に、軟弱地盤が傾斜している場合、必ず軟弱地盤の厚い方から薄い方へ施工するように留意する必要がある。また、押え盛土部分を先行して施工したり、押え盛土部分を工事用道路として利用することは、本体盛土の安定上有効な工法である。

押え盛土ののり面勾配は、仮設の場合は材料および高さに関わらず、1 : 1.5 としてよい。



(軟弱地盤対策工指針
第6章 6-10-1 参照)

図4.12 押え盛土の施工

6. バーチカルドレーン工法

(1) 工 法

本工法は、粘性土および泥炭地盤中に鉛直な排水材を設け、排水距離を短縮して圧密排水を促進し、併せて地盤のせん断強さの増加を図る工法である。

また、鉛直排水材の材料の違いにより、サンドドレーン工法、カードボードドレーン工法に大別される。さらに、これらは、ドレーン材の種類により、**図 4.13** のとおりに分類される。

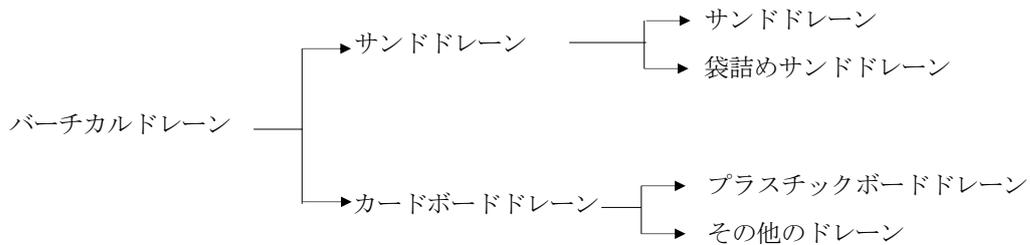


図 4.13 ドレーン材の種類

(2) 設 計

① 設計手順

「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第6章 軟弱地盤対策工の設計・施工」に準ずる。

② ドレーン材選定の留意点

イ) サンドドレーン

- ・ サンドドレーン施工地盤は、鋭敏比が高い粘性土の場合、次の理由により圧密沈下が遅延する場合がある。
- ・ サンドドレーン打設時、軟弱地盤は乱され、圧密係数 C_h が低下する。
- ・ ドレーン施工後重機の走行や盛土施工に伴うせん断変形によるドレーンの切断や排水能力が低下する。

ロ) カードボードドレーン

サンドドレーン工法と比較して、施工時に地盤を乱すことが少ないため、鋭敏比の高い粘性土に有効な工法である。種別の選定は次の項目を比較して決定する。

- ・ 材料費、工事費
- ・ 性能（透水係数）
- ・ 地盤への追従性（圧密沈下に追従しやすいか）
- ・ 耐屈曲性（屈曲により透水性が劣るか）
- ・ 耐目詰まり
- ・ 対象土質と打設機の性能
- ・ 打設機の特長

7. コンパクションパイル工法

本工法は、衝撃荷重あるいは振動荷重により砂および碎石等を地盤中に圧入、締固めを行い、砂および碎石等の杭を形成し、砂質土地盤では支持力増加や液状化防止、粘性土地盤では支持力増加、圧密促進や圧密沈下量の低減を図る工法であり、パイル材料に砂を用いる場合をサンドコンパクションパイル工法、碎石等を用いる場合を碎石コンパクションパイル工法と呼んでいる。

設計および設計・施工上の留意点は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第6章 軟弱地盤対策工の設計・施工」に準ずる。

8. 静的締固め砂杭工法

本工法は、コンパクションパイル工法と同様に砂質土地盤では支持力増加や液状化防止、粘性土地盤では支持力増加、圧密促進や圧密沈下量の低減を図る工法である。施工方法は、コンパクションパイル工法のように振動エネルギーを用いた動的な圧入方法ではなく、ケーシングの昇降および回転エネルギーを用いた静的な圧入によって締固め砂杭を構築する工法である。

コンパクションパイル工法と比較すると周辺地盤変位や構造物への変位の影響が少ないこと、振動や騒音がきわめて小さいことが特徴である。

設計および設計・施工上の留意点は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第6章 軟弱地盤対策工の設計・施工」に準ずる。

9. 表層混合処理工法

本工法は、表層部分の軟弱なシルト・粘土と固化材(セメントや石灰等)とを攪拌混合することにより改良し、地盤の安定やトラフィカビリティーの改善等を目的とする工法であり、原位置混合処理と搬出混合処理に大別される。

改良形式は、固化盤を形成する全面改良が一般的である。

設計および設計・施工上の留意点は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第6章 軟弱地盤対策工の設計・施工」および「各工法の技術資料」に準ずる。

10. 深層混合処理工法

(1) 工 法

本工法は、セメントやセメントミルク等の固結材を軟弱土と攪拌翼で混合を行い、地盤を固結させ地盤を改良することにより、すべり抵抗の増加、変形の抑止、沈下の低減、および液状化防止等を目的とする工法である。

(2) 設 計

① 基本的な改良形式

改良設計にあたっては、上部構造物の種類、荷重条件、原地盤の状態および経済性を考慮して最適な改良形式を選定する必要がある。

工法の改良形式は、基本的には次の要因により分類される。

(a) 支持形式による分類 (図4.14 参照)

改良地盤の支持形式は、着底方式、フローティング方式に分けられる。

- ・着底方式・・・・・・・・改良地盤の下端が支持地盤に着底しているもの。
- ・フローティング方式・・・・・・・・改良地盤の下端が支持地盤に着底していないものをいい、軟弱層が厚い場合に適用される。

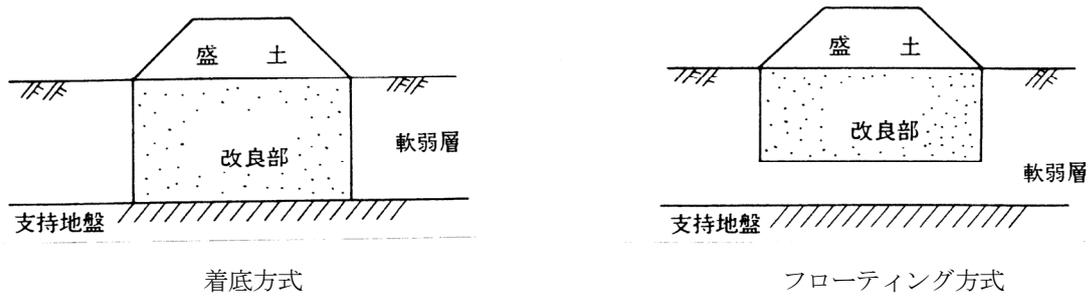


図 4.14 支持形式による分類

(b) 改良杭の配置による分類 (図 4.15 参照)

北陸での施工例では、部分改良(盛土のり尻の改良)と全面改良に大別される。これらは、用途によって次のように使い分けている。

○ 部分改良

盛土のすべり破壊抑制、周辺地盤の変状抑制を目的とする。改良杭は、盛土のり尻からのり肩に配置し、この部分を複合地盤として設計する。一般的には、低強度の改良杭を改良率 35~50%で配置する。未改良部の沈下量が小さい場合に使用する。

○ 全面改良

盛土のすべり破壊抑制、沈下抑制、周辺地盤の変状抑制を目的とする。改良杭を盛土敷幅全面に粗く配置(改良率 10~20%)し、盛土の安定を保つ。改良杭と杭間未改良部の沈下差が大きい場合は、ジオテキスタイル工法を併用する。



図 4.15 改良杭の配置

② 設計検討項目は、表 4.9 のとおりである。設計手順は、「陸上工事における深層混合処理工法・設計・施工マニュアル改訂版」「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」および「各工法の技術資料」に準ずる。

表 4.9 改良形状と検討項目

検討項目 改良形状	改良範囲	すべり 破壊の 安全率	改良率	改良柱 強度	滑 動	支持力	沈 下
部分改良	○	○	○	○	○	—	○ 未改良部の沈下
全面改良	○	○	○	○	—	○	○ 改良杭と未改良 部の沈下

③ 施工手順

施工手順は「陸上工事における深層混合処理工法・設計・施工マニュアル改訂版」「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」に準ずる。

(3) 設計・施工の留意点

本工法は、以下のような原因により、地盤への多少の変位を与えることが予想される。

- ① 処理機の攪拌軸を地盤内へ挿入することによる地盤の変位
- ② 固結材を地盤内へ吐出することによる地盤の体積膨張

深層混合処理工法における施工が、周辺地盤に与える水平変位については、**図4.16**に示すとおりである。構造物や建物等が近接する場合には打設順序、開削溝の設置等の対策を検討することが必要である。また排土式の深層混合処理工法も合わせて検討し効果と経済性等を勘案し、変位の抑制方法を考える必要がある。

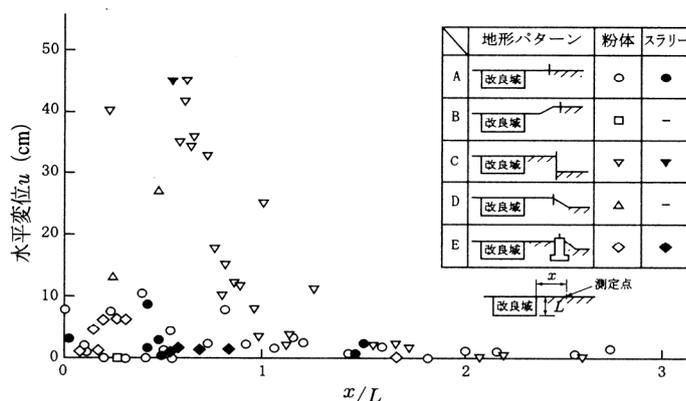


図4.16 x/L と水平の関係

深層混合処理工法の施工に伴う周辺地盤変位

(陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版 第5章 5-4-1参照)

11. 高圧噴射攪拌工法

本工法は、深層混合処理工法(機械攪拌工法)と同様に、地盤の安定性の増大、沈下低減、変形抑止および液化化防止等を目的とする工法である。施工方法は、ロッド先端に取付けられた特殊なノズルから高圧で噴射される固化材等で地盤を切削し、同時に切削された軟弱土と固化材とを原位置で混合し改良する方法である。

深層混合処理工法と比較すると施工設備がコンパクトであるので狭隘な箇所での地盤改良に適している。また、既設構造物の近傍や直下の施工が可能であることが特徴である。

設計および設計・施工上の留意点は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第6章 軟弱地盤対策工の設計・施工」に準ずる。

12. 荷重軽減工法

本工法は、土に比べて軽量な材料で盛土を施工することにより、地盤や構造物にかかる荷重を軽減するもので、全沈下量の低減、安定確保および変形対策を目的とした工法である。

本工法は、一般に非常に高価な材料であるため、通常の軟弱地盤上での対策として用いられることは少なく、周辺地盤への影響が特に懸念される場合や橋台の側方移動防止対策等の特殊な条件下で用いられる。

荷重軽減工法には、下記に示す代表的な工法がある。

〈参考〉

(1) 工法の種類

- ・発砲スチロールブロック工法（EPS工法）
- ・気泡混合軽量盛土工法（FCB工法）
- ・発泡ビーズ混合軽量土工法
- ・HGS気泡混合土工法

(2) 設 計

設計および設計・施工上の留意点は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第6章 軟弱地盤 対策工の設計・施工」に準ずる他、以下に示す準拠図書、および「各工法の技術資料」に準ずる。

「一般財団法人 土木研究センター 建設発生土利用技術マニュアル第4版 平成25年12月」

「発砲スチロール土工法開発機構 EDO-EPS 工法設計・施工基準書（案）第二回改訂版 令和1年5月」

「東日本・中日本・西日本高速道路株式会社 FCB工法設計・施工要領 平成19年1月」

4-5 軟弱地盤上の構造物の対策工法

1. プレロード工法

(1) 工 法

軟弱地盤上に構造物等を建設すると橋台の移動、橋台取付部の段差、基礎杭で支持されていない横断構造物の沈下および舗装面での構造物前後の段差等の支障が起こる。プレロード工法は、これらの支障に対処するために、構造物等によって軟弱地盤層が受ける荷重よりも大きい荷重をあらかじめ軟弱層に加えて圧密させ、構造物等の施工後に生じる沈下を減少させるとともに基礎地盤の強度増加を図る工法である。

(2) 設 計

① プレロードの高さの決定

- ・橋 台・・・橋台部においては、側方移動（I 値）および盛土と橋台取付け部との不等沈下が問題となる。したがって、この問題を解消させる盛土高さをプレロード高さとする。
- ・ボックスカルバート・・・ボックスカルバート部においては、支持力および供用後の残留沈下における内空余裕高の確保が問題となる。したがって、この問題を解消させる盛土高さをプレロード高さとする。

表 4.10 プレロード高さの決定項目

構 造 物 名	問 題 点	問題点を解消するためのプレロード高さの決定項目
橋 台 (杭で支持されている)	橋台の側方移動	I 値 < 1.2 となる高さ
	橋台と盛土部の不等沈下	橋台と盛土部の接続部での沈下量が、供用後 3 年間で 10cm 以内となる高さ
ボックス カルバート	支持力	支持力が満足する高さ
	内空高さの余裕	ボックスの残留沈下量と同等となる内空高さ

注) プレロード後のボックス沈下量は供用後 3 年間で 10cm 以内を標準とする。

ボックスカルバートの許容残留沈下量は、水路等を抱いた場合等については、許容残留沈下を認めないことが最良と考える。また、水路等がない場合についても残留沈下量を極力小さくすることが望ましい。しかし、対策に多大な費用がかかることが懸念されるため供用後 3 年間で 10cm 以内を標準とした。

供用後のボックスの残留沈下対策は、‘沈下相当の内空余裕高さ（断面余裕）を確保した設計を行う’、また、‘沈下相当の上げ越し施工を行う’等により対策することとする。また、対策の決定はボックスカルバートの構造（水路の有無等）や重要度、地質性状、周辺環境等の条件を検討し決定する。

また、ボックスカルバートの土破り厚さが薄い場合、内空余裕高さ（断面余裕）を確保することにより道路計画高さにまで影響する場合は、これによらず別途対策を検討する。

4-6 地震時の対策工法

1. 土構造物における地震時に対する配慮

新潟県中越地震による道路盛土の被害の特徴をまとめると、次のようになる。

- ① 被害が生じている道路は、緩い飽和した砂や軟弱な粘性土および腐植土が分布している地盤上に構築されたものである。また、切土部と盛土部の境界や軟弱層が傾斜している地盤上に構築された道路でも被害が生じている。
- ② 被害の多くは、亀裂や沈下の発生である。
- ③ 中には、基礎地盤を含むすべり破壊や地盤の側方移動による盛土の沈下・陥没という被害がある。特に、道路盛土に擁壁が用いられている区間や、民家・鉄道等が隣接している区間でこのような被害は、擁壁や民家・鉄道に被害が生じ、復旧が困難で道路交通に大きく影響を与えた。
- ④ 橋梁等の構造物との接続部は、段差が生じ機能面に支障がでた。

これらの被害を勘案すると、少なくとも、①のような地盤条件下に③のような被害が予想された場合は、対策工法の検討を行う。

2. 対策工法

(1) 対策工法の原理と代表的な対策工法

対策工法の原理は、発生要因および発生機構から考えると、以下のようになる。

- ① 地盤の性質を変化させる。
 - ・密度(相対密度)の増大 ・固結 ・粒度の改良 ・飽和度の低下
- ② 応力、変形条件および間隙水圧に関する条件を変化させる。
 - ・有効応力の増大 ・過剰間隙水圧の発生抑制、消散、遮断 ・せん断変形の抑制

これらの原理から考えられる対策工法は、図4.19のとおりである。

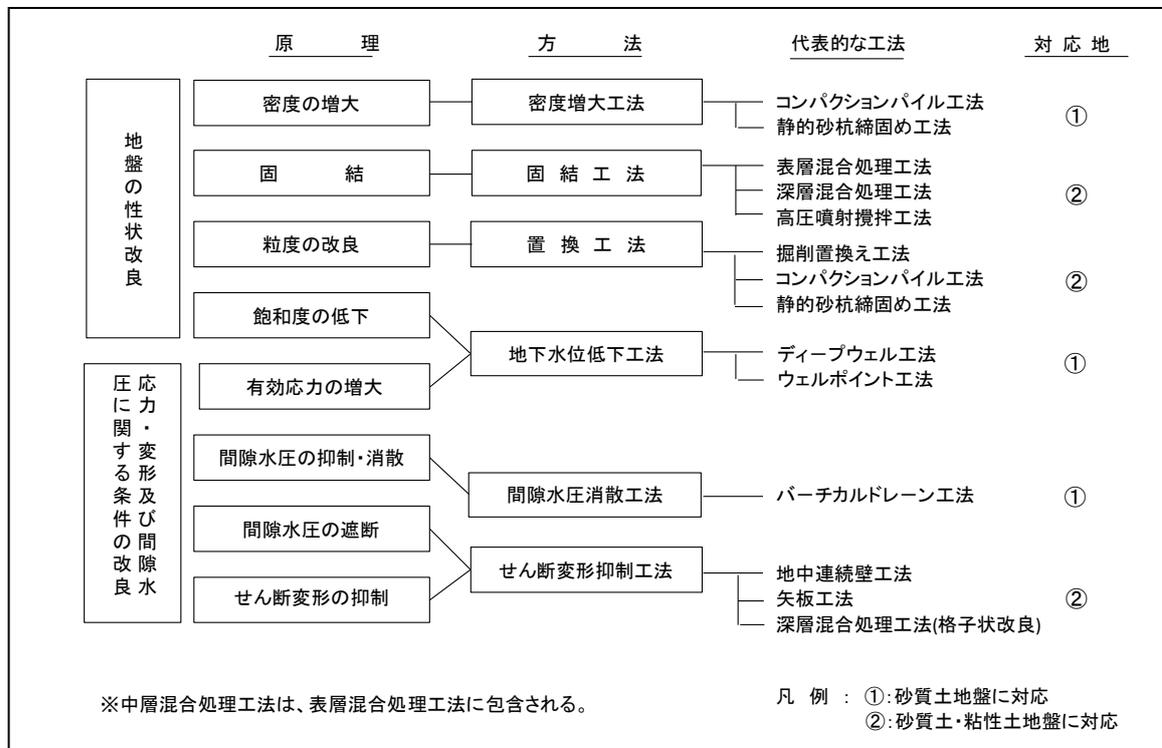


図4.19 地震時の代表的な対策工法

(2) 設 計

設計は、「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第5章5-6 地震動の作用に対する安定性の照査」を参照されたい。

4-7 施工管理

4-7-1 施工管理の目的

軟弱地盤上の盛土の施工は、動態観測による盛土の安定や沈下および周辺地盤の変状の管理を行うことを原則とする。

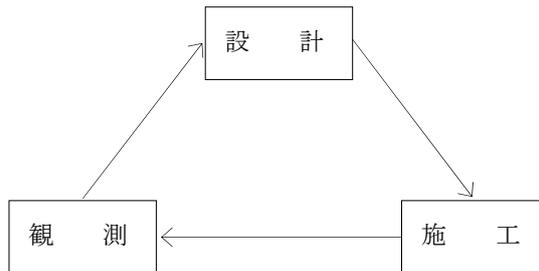
軟弱地盤上の盛土施工においては、設計時に予測したことと実際が一致しないという事態にぶつかることがしばしばある。

例えば、設計においては所定の工期内に安全に施工が可能はずなのに、施工の途中で破壊が生ずるケースが起こったり、反対になにも問題がなく施工できたが、結果的にみると過大設計ではなかったかと考えさせられるケースが生じたりする。

これは、現行の設計には多くの単純化、理想化、仮定が含まれていることから、設計自体に不確実さを伴うことが避けられないからである。

そこで、代表計測箇所を設け、各種の計測器を設置して動態観測を行うことによって設計時に予測した現象が実際に生じているかどうか、対策工法の効果が予想どおりであるかどうかを照合する必要がある。

さらに、動態観測を単に構造物が安全側にあるかどうかを確認するだけの手段にとどめず、時々刻々観測値と設計値を対比しながら当初設計をチェックし、その状況に応じて施工法あるいは設計そのものをより合理的かつ経済的に修正する必要がある。



測定する項目と目的および計器名を表4.11に示した。

表4.11 測定項目および目的

測定項目	目的	計器名	利用度
全沈下量	盛土のコントロール、サーチャージ取除き時期および効果をj確認する。(軟弱層が薄い場合)	地表面型沈下計	◎
層別沈下量	盛土速度のコントロール、サーチャージ取除き時期および効果をj確認する。(軟弱層が厚い場合)	層別沈下計	○
周辺地盤の変位量	構造物の安定を確認する目的で設置し、側方流動等を観測し効果をj確認する。	地表面変位杭	◎
地中変位量	地中の側方移動量を確認し、盛土速度のコントロールや効果をj確認する。	孔内傾斜計	○
間隙水圧	盛土荷重による間隙水圧の増減を測定し、効果をj確認する。	間隙水圧	○
施工後土性変化	盛土施工後または対策工の実施に伴う効果をj確認する。	チェックボーリング	○

4-7-2 盛土の安定管理

軟弱地盤上の盛土施工中は、基礎地盤の著しい変形や破壊を未然に予測、防止するため、動態観測を行い盛土の立上り速度を管理することにより、常に基礎地盤を安定な状態に保持し施工しなければならない。そのためには、観測体制を確立し、観測結果はすみやかに施工に反映させるものとする。

盛土の安定管理は「道路土工 軟弱地盤対策工指針 第7章 施工及び施工管理」に準ずる。