

5 盛土



1 盛土材料

1 盛土材料の適否と土質分類

主な盛土材料の要件

- ・崩壊に対する安定性を確保できること
- ・作用荷重に対する支持力を確保できること
- ・圧縮性が小さく完成後の沈下や変形が少ないこと
- ・施工機械のトラフィカビリティを確保できること

なお、近年の工事では経済性や資源活用の観点から、ベントナイトや高有機質土などの特別な材料を除き、大半の材料は盛土材として積極的に活用されている。

盛土は用途に応じて、その目的にふさわしい条件を備えた材料を使用する必要がある。一方、盛土の経済的な施工には、現地で発生材料もしくは近隣で容易に入手可能な材料の利用が望ましいが、いずれも天然材料であるため、必ずしも必要な条件に合致するとは限らない。したがって、十分な事前調査を行って材料の性質を把握し、要件を満足するか否かを確認する必要がある。

土は粒度分布から概略の性状がわかる。表 5.1 は日本統一土質分類の中・小分類と、その土を盛土材料として用いる場合の問題点を示したものである。同表より細粒分が多くなるに従い強度・トラフィカビリティ・盛土の安定などの問題が生じやすいことがわかる。また、道路盛土での材料の適用性を表 5.2 に示す。

表 5.2 道路用材料として土性の一般的評価目安

日本統一土質分類	盛土材料	路床材料	盛土の基礎地盤	備 考
(岩塊・玉石)		×		破碎の程度によって使用区分を考える。
礫 {G}				
礫質土 {GF}				有機質、火山灰質の細粒土を含む (GO、GV など) ものは盛土材料、盛土基礎としても
砂 {S}				ゆるい飽和した地盤では盛土基礎として
砂質土 {SF}				有機質、火山灰質の細粒土を含む (SO、SV) ものは、盛土材料、盛土基礎としても ゆるい飽和した地盤では盛土基礎として
シルト {M}				
粘性土 {C}				
火山灰粘性土 {V}				
有機質土 {O}		×		
高有機質土 {P ₁ }	×	×		

：ほぼ問題がないもの ：注意して用いるか、何らかの処理を必要とするもの
×：用いられないもの (注) (岩塊・玉石) は日本統一土質分類名ではない

表 5.1 日本統一土質分類と問題点¹⁾

土質分類 (日本統一土質分類による)		問 題 点										
土質材 75mm以下 の地盤材料	粗粒土：粗粒分(74 μ 以上の材料)が50%より多い。 礫粒土G：粗粒分のうち礫分(2.0~75mmの材料)が50%より多い。 砂粒土S：粗粒分のうち砂分(74 μ ~2.0mmの材料)が50%以上。 細粒土F：細粒分(74 μ 以下の材料)50%以上。 高有機質土(Pt)：大部分の材料が有機質材料。	路床に使用して 問題となる 問題となる ことがある				路体に使用して 問題となる 問題となる ことがある						
		強度 (CBR)	トラフ イカビ リテー	塑性 PI	表面 安定	強度 (CBR _{qu})	トラフ イカビ リテー	法面 浸食	沈下	植生	盛土 安定	
土質材料 (75mm以下)	粗粒土 (50% < +74 μ (50% < 粗粒分))	礫粒土G (50% < 礫分)	礫【G】 - 74 μ < 5%	きれいな礫【G】 - 74 μ < 5%	()	-	-	-	-	()	()	-
			細粒分混じり礫【G-F】 5% - 74 μ < 50%	細粒分混じり礫【G-F】 5% - 74 μ < 50%	()	-	-	-	-	-	-	-
		砂粒土S (50% < 74 μ ~ 2.0mm)	砂【S】 - 74 μ < 15%	きれいな砂【G】 - 74 μ < 5%	-	-	-	()	-	-	-	-
			細粒分混じり砂【G-F】 5% - 74 μ < 15%	細粒分混じり砂【G-F】 5% - 74 μ < 15%	()	()	-	()	-	-	-	()
		細粒土F (50% 細粒分)	砂質土【SF】 15% - 74 μ < 50%	砂質土【SF】 15% - 74 μ < 50%			()	-	-	-	()	-
			シルト【M】	シルト【M】				-	-	()	-	-
		粘性土【C】	粘性土【C】				-	-	()	-	-	
		有機質土【O】	有機質土【O】	路床の対象としない						-	()	-
		火山灰質粘性土【V】	火山灰質粘性土【V】				-			-	()	-
		高有機質土【Pt】	高有機質土【Pt】	路床の対象としない				一般に使用困難				

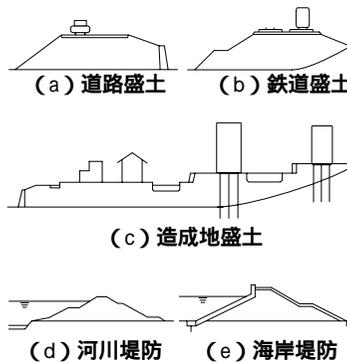
注) 例えば「50% < 74 μ 」とは、「74 μ 以上の材料が50%より多い」ことを示す。

参考表1 盛土の種類と機能

種類	主な役割	所要条件	一般的なのり面勾配
道路盛土	交通荷重の支持		1:1.5
鉄道盛土			~ 1:2.0
造成地盛土	建物、施設の支持		1:1.8 ~ 1:2.0
河川堤防	止水 水防 貯水		1:2.0 ~ 1:3.0
海岸堤防			1:2.5 ~ 1:4.0
調整池			
フィルダム			

十分な支持力
沈下量や不同沈下が少ないこと
のり面の安定
漏水がないこと
沈下がないこと

(出典)
(社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」
1990、p6 表1.1



参考図 盛土の種類

(出典)
(社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」
1990、p7 図1.1

参考表2 盛土材料および盛土高に対する標準のり面勾配

盛土材料	盛土高(m)	勾配
粒度の良い砂(S) 礫および 細粒分混じり礫 (G)	5m以下	1:1.5 ~ 1:1.8
	5 ~ 15m	1:1.8 ~ 1:2.0
粒度の悪い砂 (SG)	10m以下	1:1.8 ~ 1:2.0
岩塊 (ずりを含む)	10m以下	1:1.5 ~ 1:1.8
	10 ~ 20m	1:1.8 ~ 1:2.0
砂質土(SF)、 硬い粘性土、硬 い粘土	5m以下	1:1.5 ~ 1:1.8
	5 ~ 10m	1:1.8 ~ 1:2.0
火山灰質 粘性土(V)	5m以下	1:1.8 ~ 1:2.0

注) 盛土高は、のり肩とのり尻の高低差をいう

2 盛土材料の調整

現場発生材や外部からの受入れ材が、そのままでは盛土材料の条件を満足しない場合や施工自体が困難なことがある。これらの材料に代えて良質土を用いることが望ましいが、コスト増大や環境負荷の観点から材料調整をして利用することが多い。ここでは含水比や粒度の調整、安定処理を行う場合について、その概要を述べる。

(1) 含水比調整

土はそれぞれ最もよく締まる含水比があり、その含水比付近で締固めたときに最も安定性を発揮する。そのために一般に締固め時の含水比の範囲が規定されており、施工時の含水比がこの範囲からはずれる場合には含水比調整が行われる。

わが国は多雨多湿で自然含水比の高い材料が多いため、乾燥が必要となる。曝気乾燥にはレーキドーザ・ディスクハロー・リッパなどで掻き起こし、自然乾燥させる方法が一般的であるが、夏期などの気象条件のよい場合以外は、実質的な効果が低い。地下水位が高い場合には、準備期間を利用して地山状態でトレンチを掘って地下水位を低下させる方法が有効である。またプラントにおいて、生石灰の混合や熱風により強制乾燥させる場合もある。なお、乾燥側の材料を加水させる場合には、散水車やポンプにより散水する。

(2) 粒度調整

路床・路盤・ダム堤体など特に要求性能が高い部分に対して、自然状態では大量に所要の材料を得ることは難しい。このような場合に、数種類の現地発生材を混合して粒度を物理的に改良し、所要の強度・圧縮性・透水性を確保する方法が粒度調整である。粒度調整には大別して、次の方式があり、それぞれの工事の施工条件や規模によって選定される。必要によっては、前項の含水比調整をあわせて行う場合もある。

現場混合方式

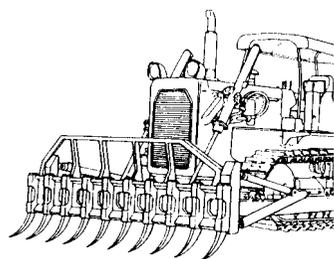
現場混合方式は盛立現場で、ブルドーザ・バックホウ・スタビライザなどで混合するもので、簡便で小規模な場合に向いているが確実性にやや欠ける。

ストックパイル方式

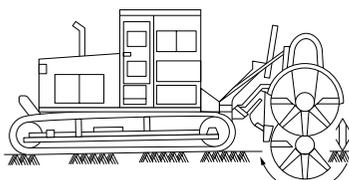
ストックパイル方式はサンドイッチ状に異なる材料を積層・貯蔵したのち盛り立て時にスライスカットする方法で、確実性が高くかつ施工性はよいが広い敷地（ストックヤード）を要するため、ロックフィルダム工事以外では一般的でない。

これを最適含水比 W_{opt} という

図 5.6 参照

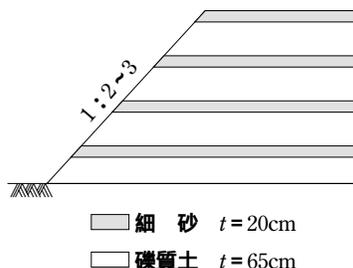


〔レーキドーザ〕



散布した安定処理材などとロータにより現場混合する

〔履帯式タインロータ型スタビライザ〕



採取時には次の作業を行い混合する
・ブルドーザによる削り出し作業
・ホイールローダによる切返し作業

〔ダム・コア材のストックパイルの例〕

プラント混合方式

プラント混合方式は固定プラントを設置し、機械的に混合する方式であり、広範囲な粒度に対して最も確実な方法であるがコストは高い。最近では、可動式の現場混合機械が開発され、機動性がよいことから普及しつつある。

(3) 安定処理

現地発生土の含水比が高くトラフィカビリティが得られない場合や、強度が不足する場合に、石灰やセメントを用いて安定処理を行うことがある。また資源の有効利用や環境保護の面から不良土を活用するケースが増えており、この方法が多用される傾向にある。

安定処理には、混合場所と使用機械によって「現場混合方式」「プラント混合方式」「地山混合方式」に分けられるが、前2者は前項で述べた方法と同様であり特色も類似している。地山混合方式は、消石灰やセメントなどの安定処理材を地山に直接散布し、バックホウやスタビライザなどにより掘削・混合する。

安定処理材の役割は、土の物理的性質の改良または膠結作用による強度増加である。

石灰、セメントの添加量は用途および土質と含水比により異なるが、下記が一般的である。

砂質土：50～100kgf/m³

粘性土：50～200kgf/m³

特に含水比が高い場合には、生石灰を柱状に打設し含水比を低下させた後、掘削・混合する方法もある。



2 準備工

1 工事準備測量と丁張り設置

工事を始めるにあたって、準備測量は基本的事項の1つである。設計図書と現地との関係を十分把握するとともに、両者が合致しているかどうかを確認し、不一致の場合はすみやかに対処する。

仮水準基標は、最寄りの既設水準標から水準測量により標高を定めるが、工事の影響を受けない既設建造物の基礎や天然石などに設ける。特に、軟弱地盤では沈下や隆起がないような位置を選ぶ。なお、仮ベンチマーク相互間の点検は、3ヶ月に1度程度は行う。通常、地形図や縦横断面図が示されるが、測量間隔や基準点の取り方や樹木などの影響で現地と異なる場合が多い。伐採を行った段階で縦横断面測量を行い、土工量算定の基本となる原地形を確認しておく必要がある。

準備測量の精度不良や間違いが、工事中や工事完了後に発見され大きな手戻りや手直しになるケースが時折見受けられるので、注意しなければならない点である。

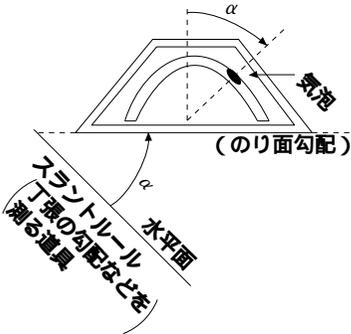
仮水準基標 これを仮ベンチマークという（仮BM）。

仮ベンチマーク 仮ベンチマークの設置間隔は、数百m以下とする。

5 盛土

表 5.3 丁張りの標準設置間隔²⁾

設置位置	設置間隔
直線部	10m
曲線部 半径300m以上	10m
曲線部 半径300m以下	5m
地形の複雑な箇所	5m以下



基礎地盤処理

- (1) 伐開・除根
- (2) 表土の採取・貯蔵・仮置き
- (3) サンドマットの敷設
- (4) シート・ネットの敷設
- (5) 排水トレンチ（素堀り側溝）
- (6) 地下排水溝（暗渠）の設置

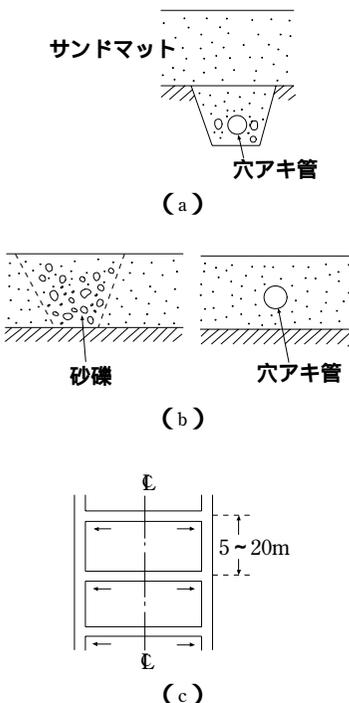


図 5.3 地下排水溝の例

丁張りは、のり面の位置・勾配および盛土の敷きならし厚・仕上がり高など日々の土工の基準となるので、正確かつこまめに設置し保守点検する。丁張りは、用途により図 5.1 に示すように形状が異なる。設置間隔の目安を表 5.3 に示す。

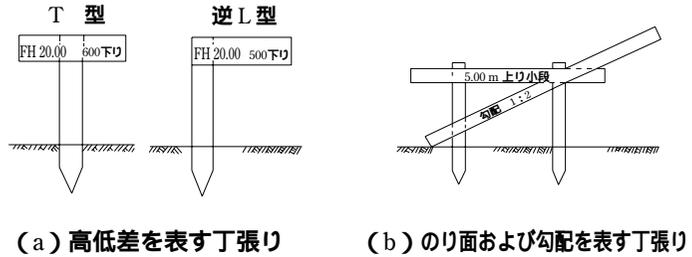


図 5.1 丁張りの例¹⁾

2 基礎地盤処理

盛土に先立って行われる基礎地盤処理の目的は、以下のとおりである。

盛土と基礎地盤のなじみをよくし、一体化を図る

建設機械のトラフィカビリティを確保し、初期の盛土作業を円滑にする

地盤の支持力を増加させ、盛土の安定を図る

草・木根・腐植土など有害物を取り除き、沈下を防止する

図 5.2、図 5.3 には排水トレンチと地下排水溝の設置例を示す。

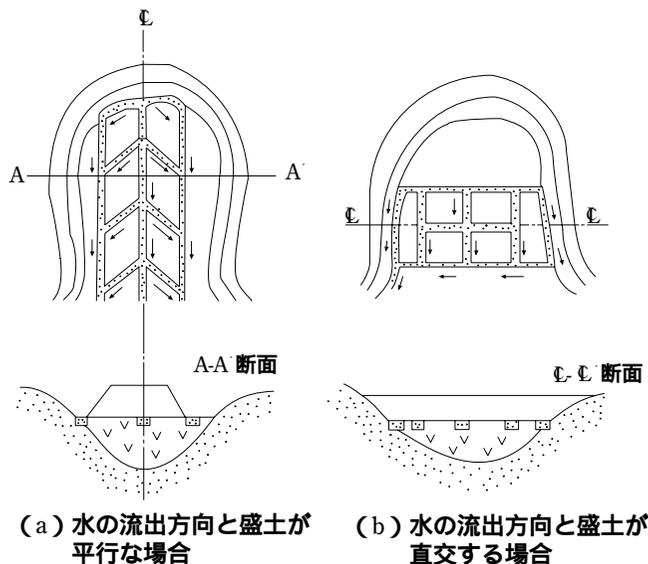


図 5.2 排水トレンチの設置例

3 防災工事

盛土施工中の濁水や土砂の流出を調節し区域外への災害を防止するために、仮設の調整池あるいは沈砂池を設ける。一般に、工事が大規模で集水面積が広い場合には、雨水と土砂の両方を処理するために仮設調整池が必要となる。また、小規模で集水面積が狭いあるいは下流域が整備されており余裕がある場合には、仮設沈砂池のみでよい。



3 盛土工（敷きならし・締固め）

1 土質区分と転圧機械（締固め機械）

土質条件と土構造物の仕様に応じて、適切な締固め機械を用いる必要がある。締固め機械選定の目安を表 5.4 に示す。

2 敷きならし

運搬された盛土材料は締固めのために所定の厚さに敷きならすが、均質で安定した土構造物を築造するには敷きならしは極めて重要な作業である。一般の盛土材料では、締固め機械の効果は上面ほど大きいので薄層で締固めた方が品質は向上し、一定の敷きならし厚とすることによって均質な盛土体を確保できる。施工上の制約から通常、締固め後の一層厚さが30cm程度以内になるよう定められている。

敷きならし機械は運搬機械と密接な関係があり、運搬距離と土質により通常、下記の組み合わせが用いられる。

ダンプトラック（運搬）+ブルドーザ（敷きならし）

スクレーパまたはスクレーブドーザ（運搬・^ま撒き出し）

+ブルドーザ（敷きならし）

ブルドーザ（運搬・敷きならし）

敷きならし厚さの管理には前述の丁張りや杭が用いられるが、機械オペレータの目視となるため目標となりやすい位置に適切な間隔で設置し、メンテナンスを十分に行う。

より高い品質を求められる場合（路床、路盤、ダムのコア材など）には、20cm程度以内とされる。また、岩塊盛土やダムのロック材などの粗粒材料を大量に扱う場合には、より大型の締固め機械を用いて、数十cm～1m程度の仕上がり厚さとすることもある。

5 盛土

表 5.4 土質条件と盛土の構成部分に応じた一般的な締固め機械の適性¹²⁾

盛土の構成部分	土質区分	仕上がり厚さ cm	締固め機械										備考			
			振動ローラ				自走式 ソイルコンパクタ	被けん引式 タンピングローラ	ロードローラ	振動コンパクタ	ランマ・コンパクタ	タイヤローラ		ブルドーザ		
			自走式		非牽引式									自走式	被牽引式	普通型
			転圧力(kN)													
320kN級	200kN級	130kN級	50kN級													
岩塊などで、転圧によっても容易に細粒化しない	100~60															
	60~30															
	30								大	大						硬岩
風化した岩・土丹などで部分的に細粒化してよく締固まる岩など	60~30															
	30									大	大	大				軟岩 脆弱岩
単粒度の砂、細粒分の欠けた切込砂利、砂丘の砂など	60~30															砂
	30															礫混じり砂
細粒分を適度に含んだ粒度のよい締固め容易な土、まさ土、山砂利など	60~30															
	30										大					砂質土 礫混り砂質土
細粒分は多いが鋭敏性の低い土、低含水比の関東ローム、くだきやすい土丹など	30										大					粘性土 礫混り粘性土
含水比調節が困難でトラフィカビリティが容易に得られない土、シルト質の土など	30															水分を過剰に含んだ砂質土
関東ロームなど、高含水比で鋭敏性の高い土	30															鋭敏な粘性土
路床・路盤	粒度分布のよいもの	30														粒調材料
		20									大					
	単粒度の砂および粒度の悪い礫混じり砂、切込砂利など	30														砂、礫混り砂
		20										大				
裏込め	20~30												大		ドロップハンマを使うことがある	
のり面	砂質土	30														
	粘性土	30														
	鋭敏な粘土、粘性土	30														

: 有効なもの (大: 大型のもの)
 : 利用できるもの
 : トラフィカビリティの関係で、他の機械が使用できないので止むを得ず使用するもの
 : 施工規模の規模の関係で、他の機械が使用できない場合のみ使用するもの

3 試験盛土

一定規模以上の盛土では、所要の品質を得るのに必要な施工方法を確認・決定するために試験盛土を行う。試験盛土は、実際に使用する材料を用いて現場において、以下の目的で施工の初期段階あるいは盛土材料の変化に応じて行う。

室内試験に基づく材料特性の確認

締固め機械の選定

施工仕様および品質管理基準の決定

作業内容および手順の重機オペレータ・作業員への周知

試験盛土の規模は発注機関で標準が定められている場合もあるが、特段の指定がない場合1ブロックの目安は、締固め機械幅の3倍（4～6m）程度、長さは10～30m程度で、前後にアプローチ部を設ける。図 5.4、図 5.5 に標準例と結果整理方法を示す。

試験盛土 試験施工、モデル施工ともいう。

施工仕様 品質管理基準 転圧回数、敷きならし厚、転圧速度施工含水比、空気間隙率、飽和度など。

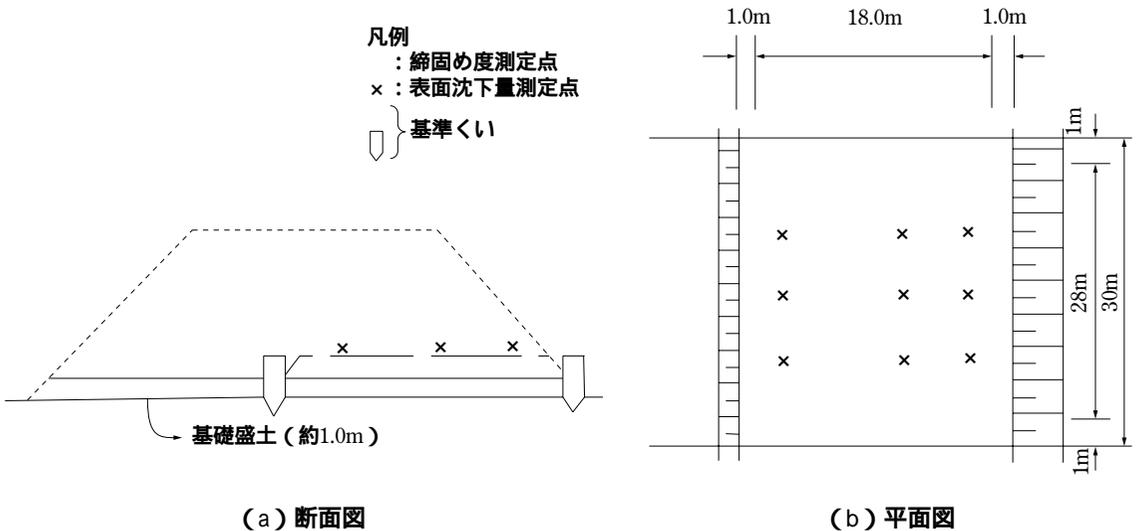


図 5.4 試験盛土の標準例¹²⁾

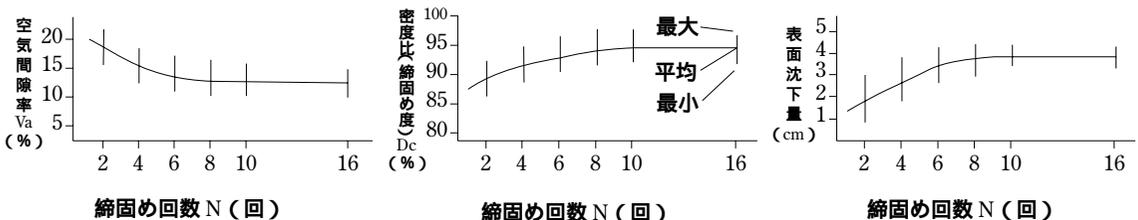


図 5.5 締固め試験結果報告図記入例¹²⁾



4 締固め管理

1 締固めの働きと意義

土は土粒子と水および空気から構成されており、一般に図 5.6 (a) のように示される。土を締固めると空気と水を排出し、土粒子を破碎しながら配列を変え、密度を増大していく。十分に締固められた土は、水の浸入に対して軟化しにくく、強度や支持力が大きく、圧縮性が小さくなる。

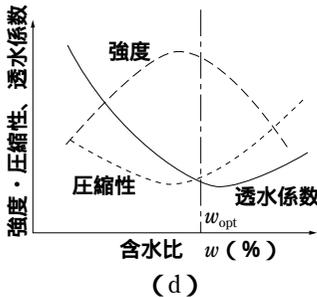
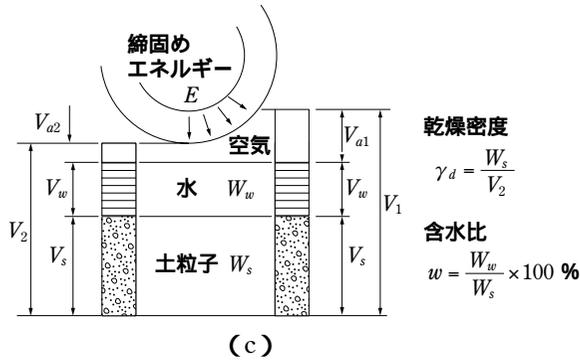
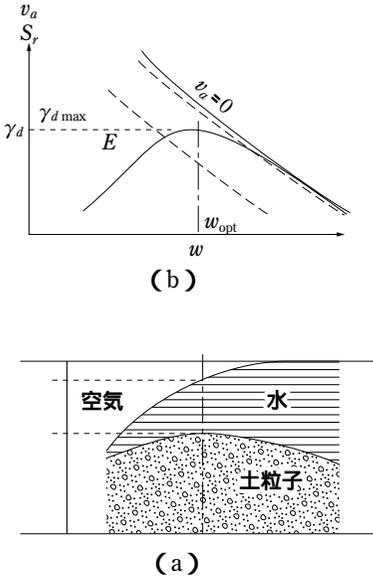


図 5.6 締固めと土の性質¹⁾²⁾

これらの関係をイメージ図として示したものが、同図 (b) ~ (d) である。(b) は同一エネルギーで締固めたときの含水比と密度との関係 (締固め曲線) であり、(c) は土粒子と間隙の割合の変化を示し、(d) は強度・圧縮性・透水性の変化を表している。強度と圧縮性は最適含水比のやや乾燥側で最高値を示し、透水性は湿潤側で最低となるのが一般的である。

また、締固めエネルギーを変化させた場合の締固め曲線は、図 5.7 に示すように、エネルギーが大きくなるに従い最適含水比 w_{opt} は低くなり、最大乾燥密度 γ_{dmax} は高くなる。締固めの管理にあたってはこれらの特性を十分理解し、目的の土構造物に応じた品質を確保することが重要である。

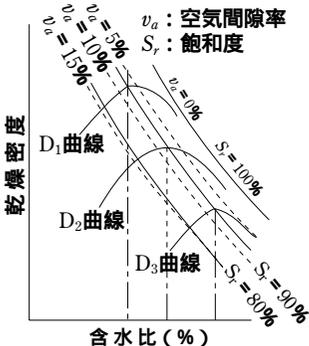


図 5.7 異なる締固めエネルギーによる締固め曲線

(出典) (社)地盤工学会編「地盤工学ハンドブック」、1999、p583 図4.1.8

2 管理方式と基準

盛土の締固め規定は表 5.5 に示すように、品質を規定する方式と工法を規定する方式に大別される。さらに品質規定方式には、密度比を規定する方式、空気間隙率または飽和度で規定する方式、強度特性で規定する方式がある。

これらの管理基準は各発注機関によって多少異なっており、表 5.6 に品質管理の方法と規定値などを示す。

表 5.5 盛土の締固め管理方式
(a) 盛土の締固め規定方式

	管理項目	代表的試験方法
品質規定方式	密度比規定方式	砂置換法 RI法
	空気間隙率・飽和度規定方式	砂置換法 RI法
	強度特性方式	コーン貫入試験 平板載荷試験 現場CBR試験 プルフローリング
工法規定方式	締固め機種・締固め回数規定方式	タスクメータ

(b) 品質規定方式の種類

規定方式の種類	規定する値	特 徴
乾燥密度規定	締固めた土の乾燥密度と基準の締固め試験の最大乾燥密度との比	<ul style="list-style-type: none"> 盛土材料の種類が多いとその都度試験を要する。 自然含水比が大きいと規定値に入らない場合がある。 基準となる最大乾燥密度を求めにくい土には適用できない。
空気間隙率規定 (飽和度規定)	締固めた土の空気間隙率または飽和度	<ul style="list-style-type: none"> 自然含水比の高い粘性土に対して使用されることが多い。 施工含水比の規定としては、その上限の含水比をトラフィカビリティや設計上要求される力学的性質を満足する限界を定める。
強度特性規定	締固めた土の貫入抵抗、現場CBR、支持力、プルフローリングによるたわみの値	<ul style="list-style-type: none"> 安定した盛土材料に使用でき、密度測定が困難な玉石などに便利。 土の含水比によって強度が変化する粘性土などでは、測定を実施する時期によって測定値が変化するので適用しない方がよい。

(1) 品質規定方式

a) 密度比規定

締固め度(D値)は、締固め後の現場乾燥密度 γ_{df} と基準となる室内締固め試験の最大乾燥密度 γ_{dmax} との比によって次式で与えられる。この方法は密度が一定値以上確保でき、施工含水比が最適含水比を基準として規定された範囲内であることを要求している。

$$D = \left(\frac{\gamma_{df}}{\gamma_{dmax}} \right) \times 100 \quad (\%) \quad (5.1)$$

b) 空気間隙率または飽和度規定

十分に締固めた土は、間隙中の空気が少なく、水の浸入に対する耐久性が強いことに着目した方法で、密度管理が適用しにくい下記のような土に用いる。

高含水比火山灰質粘性土のように施工含水比が最適含水比より著しく高く、含水比調節が困難な場合

泥岩や凝灰岩などスレーキングしやすい脆弱岩

複数の土が混入し、割合も変化するため基準最大乾燥密度の決定が困難な場合

特に、 の場合に採用することが多く、空気間隙率 v_a や飽和度 S_r は次式で求める。

$$v_a (\%) = \frac{V_a}{V} \times 100 = 100 - \frac{\rho_{df}}{\rho_w} \left(\frac{100}{G_s} + W \right) \quad (5.2)$$

$$S_r (\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{W}{\frac{\rho_w}{\rho_{df}} - \frac{1}{\rho_s}} \quad (5.3)$$

ここに、
 V_a : 土の間隙中に占める空気の体積
 V_w : 土の間隙中に占める水の体積
 V_v : 土の間隙の体積 (= $V_a + V_w$)
 V : 土 (土粒子 + 水 + 空気) の体積
 ρ_{df} : 盛土の乾燥密度
 ρ_w : 水の密度
 G_s : 土粒子の比重
 W : 含水比 (%)

ただし、含水比の上限値は、施工機械の走行性や盛土体の安定性を確保できる範囲とする必要がある。

強度規定 水浸による影響の少ない良質な砂質土・礫質土に限定される。

プルーフローリング

proof rolling 路床・路盤の締固め度の検査法、施工に用いた転圧機械と同等以上の締固め効果を持つローラやトラックなどを走行させ、たわみの状態を観察する

(次項(2)d)を参照)

c) 強度規定

締固めた土の強度・変形特性を、貫入抵抗、現場CBR、支持力係数、プルーフローリングによる変形量などの値で規定するものである。この方法は測定値が盛土の特性を直接示しており、試験が比較的簡便であるが、水の浸入による強度・変形特性の変化を確認できない。

(2) 工法規定方式

盛土の締固めに用いる施工機械や、締固め回数などの施工法そのものを規定する方法である。この方法は管理が品質規定より直接的で分かりやすい。近年では土質に応じた締固め機械の選択に関する標準的見解がまとまってきており、有効な手段である。たとえば、盛土材料や現場条件が一定で小規模な工事や岩塊を用いるため、密度や空気間隙率による品質管理が困難な場合があげられる。ただし、試験施工による品質の事前確認が必須であり、試験施工に基づき締固めの機種と締固め回数を決定しなければならない。この管理方法には、GPSや自動追尾トータルステーションを利用し、盛土面全域の締固め回数をリアルタイムで管理する手法がある。

振動ローラの輪加速度から地盤反力を推定し、締固め度管理に応用する方法もある。

表 5.6 各機関の品質管理項目と規定値（地盤工学会に加筆修正）

品質管理項目	国土交通省（道路）*		日本道路公団**			都市基盤整備公団***		国土交通省（鉄道）****		国土開発技術研究センター*****
	盛土路体	路床	路体	下部路床	上部路床	盛土	路床	下部盛土	上部盛土	堤防
突固め試験名	JIS A 1210	JIS A 1210	JIS A 1210 (B法)	JIS A 1210 (E法)	JIS A 1210 (E法)	JIS A 1210 (B法)	JIS A 1210 (B法)	JIS A 1210 (D、E法)	JIS A 1210 (D、E法)	JIS A 1210 (A法)
密度比 締固め度 (%)	90以上*1	90以上*1	A: 90以上*3 A: 92以上*4	A: 90以上*3 A: 92以上*4	A: 95以上*3 A: 97以上*4	85以上*1	90以上*1	90以上*2	盛土上面以外 90以上*2	A: 90以上*5
空気間隙率 または飽和度	v_v (%)	B: 15以下*1 C: 10以下*1	B: 15以下*3 C: 10以下*3		B: 13以下*4 C: 8以下*4	2~15*1	2~10*1	B: 15以下*2 C: 10以下*2	—	B: 15以下*5 C: 2~10*5
	Sr (%)	粘性土 85~95	—	—	—	—	—	—	—	C: 85~95 以下*5
強度・ 変形特性	試験方法	—	たわみ量試験	—	たわみ量試験	コーン貫入試験	たわみ量試験	平板載荷試験		—
	規定値	—	路床仕上げ後に実施	—	5mm以下	C: d_c 400 kN/m ²	路床仕上げ後に実施	K_{30} 70 MN/m ³	K_{30} 110 MN/m ³	—
施工含水比	最適含水比付近 p_{limax} の90% が得られる含水比の範囲		自然含水比	締固め度および修正CBRが5以上となる含水比	締固め度および修正CBRが10以上となる含水比	できるだけ最適含水比に近づける				トラフィカビリティーを確保できる範囲
一層の仕上がり厚さ	30cm以下	20cm以下	30cm以下	20cm以下	20cm以下	まきだし厚 30~50cm	30cm	30cm	30cm	30cm以下

* : 道路土工 - 施工指針

** : 土木工事共通仕様書

*** : 工事共通仕様書

**** : 鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）

***** : 河川土工マニュアル

*1 : 砂置換法による方法

A (細粒分 < 15%)、B (15% 細粒分 < 50%)、C (50% 細粒分)

*2 : 砂置換法による方法

A (細粒分 < 20%)、B (20% 細粒分 < 50%)、C (50% 細粒分)

*3 : 突砂法による方法の15点の平均

A (細粒分 < 20%)、B (20% 細粒分 < 50%)、C (50% 細粒分)

*4 : RI計器による方法の15点の平均

A (細粒分 < 20%)、B (20% 細粒分 < 50%)、C (50% 細粒分)

*5 : 砂置換法による方法の平均

A (細粒分 < 25%)、B (25% 細粒分 < 50%)、C (50% 細粒分)

(出典) (社)地盤工学会編「地盤調査の方法と解説」、2004、p561 表9.1.1

CBR California Bearing Ratio
路床土支持力比

3 管理試験方法

盛土の品質は、現場での密度・強度などで管理する。密度測定では砂置換法とRI法、強度測定ではポータブルコーンと現場CBRなどがよく用いられる。なお、密度や飽和度・空気間隙率を求めるための含水比測定では炉乾燥法とRI法が一般的である。

(1) 密度測定

a) 砂置換法（注砂法・JISA 1214）

土を掘り出した後の空間（試験孔径162mm）を乾燥砂で置き換える（自然落下により静かに砂を孔に注ぎ入れる）ことにより、その体積を求める方法である。最大粒径50mm以下の土での標準的な方法である。礫混じり土では孔壁の凹凸や崩壊により、柔らかい粘性土では孔壁の時間経過による変形などによって、測定値の誤差が大きくなったり密度を過大評価したりすることがあるので注意を要する。

図 5.8 に試験器具を、図 5.9 に試験の概略手順を示す。

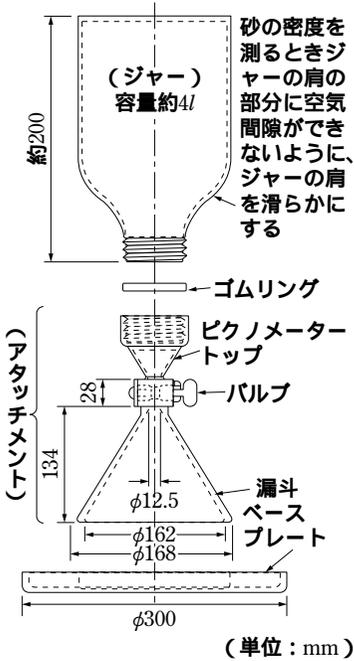


図 5.8 砂置換法⁵⁾
(注砂法 - JIS A 1214)

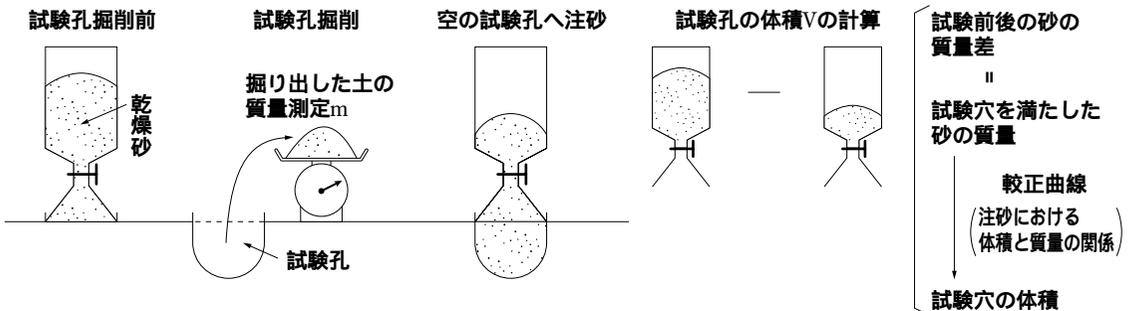


図 5.9 砂置換法（注砂法）の測定概念⁵⁾

b) 砂置換法（突き砂法・JGS 1611）

注砂法と同様に試験孔（φ 150 or 250 mm）を乾燥砂で置き換える方法であるが、砂を試験孔に投入後、突き棒で人為的に突き固める点が異なる。置換砂が注砂法ではゆる詰めであるのに対して、突き砂法では試験孔壁細部にまで砂を十分充填することができるので、大きな礫を含む材料にまで広範囲（最大粒径100mm以下）に適用できる。高速道路やフィルダム分野で規定され、用いられている。注砂法での留意点のほかに、突き砂法では粘性土の場合に突き棒によって孔の下面を傷つけないように注意する（図 5.10、図 5.11 参照）。

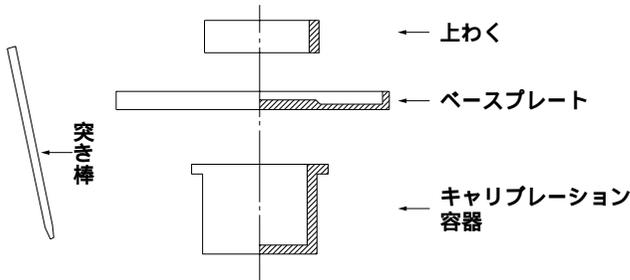


図 5.10 突き砂法の用具

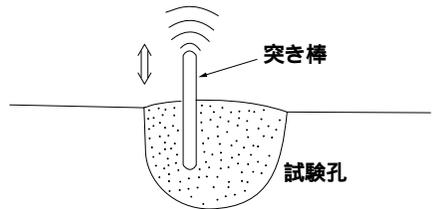


図 5.11 突き砂法の説明図

（出典）（社）地盤工学会編「地盤調査の方法と解説」、2004、pp.191～192 図3.10 図3.11

c) 水量換法（シート法）

試験孔を水で置き換える方法で、主としてフィルダムのロック材・フィルタ材など岩石混じりの粗粒分の多い材料管理に用いられる。試験前の地表面をできるだけ水平に整地することが重要で、粒径が大きくなるほど孔壁の凹凸によって測定精度が低くなる点に注意する（図 5.12、図 5.13 参照）。

遮水膜としては礫の角によって損傷しないようやや厚手で柔軟性のあるビニールシートが使われることが多い。

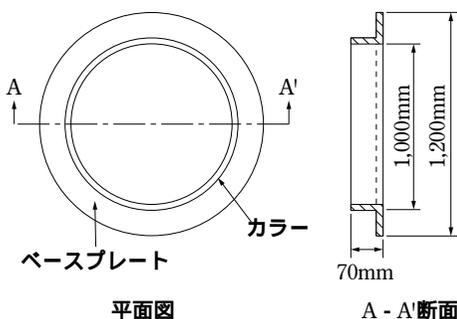
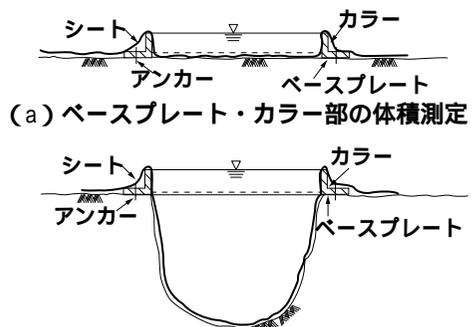


図 5.12 シート法のカラー付ベースプレート⁵⁾（孔径1mの例）



(b) 掘削部の体積測定
図 5.13 シート法の測定方法⁵⁾

密度測定 ガンマ線が物質中を通過する際に、物質を構成する原子の軌道電子との間に相互作用（コンプトン効果）を起こす。土を構成する原子（Si、O、Alなど）の原子量と軌道電子数との比率が土質によらずほぼ一定であることから、透過率を測定すれば原子密度ひいては土の密度を知ることができる。

含水量測定 中性子線が土中に含まれる水素原子に衝突するとほかの原子の場合よりも極めて大きくエネルギーを失い、熱中性子と呼ばれる低速中性子に変わる。一方、土中の水素原子は大部分が水（H₂O）の形で含まれている。熱中性子を検出すれば土中の水素原子密度ひいては土の含水量を推定できる。

d) RI法（ラジオアイソトープ法 JGS 1614）

RIを用いてガンマ線により土の湿潤密度を、中性子により含水量を測定し、土の乾燥密度と含水比を算定する方法である。RI法は他の方法に比べて測定時間が短く、測定方法も簡単で適用範囲が広い。高速道路をはじめフィルダムなど広い分野で使用されている。計測器には線源棒を地中に挿入する透過型と、線源・測定部ともに計器に内蔵する散乱型とがあり、いずれも密度と含水量を同一計器で測定できる。散乱型は地盤に孔をあけない非破壊測定であるが、精度面でやや劣るため透過型が普及している。計測器との密着を確保するために地表面を平滑にする。間接的な測定であり較正曲線を利用するため、標準体または基準物質を用いた定期的な校正・点検が必要となる。なお、測定器具が他の方法に比べて非常に高価であり、取り扱いにも注意を要する（図 5.14 参照）。

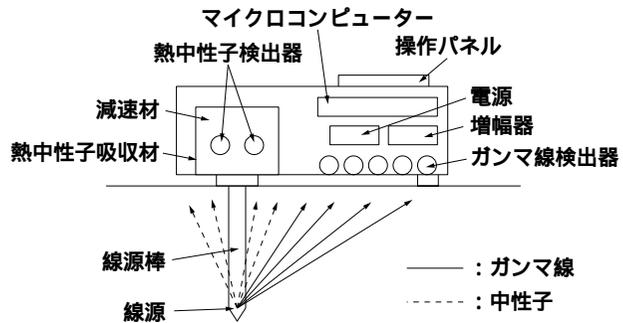


図 5.14 透過型RI計器の概略構成

(2) 強度測定

a) 平板載荷試験（JIS A 1215）

地盤の変形特性や支持特性を調べるものであり、構造物基礎の設計および設計条件の確認のための地盤の支持力特性や道路の路床・路盤の地盤係数を求める試験、あるいは鉄道盛土の締固め管理試験として広く用いられている。施工機械などを反力にして標準的には直径30cm（他に直径40cm、75cmなど）の鋼製円盤を用い段階的に載荷する。そのときの荷重強さ p と沈下量 s の関係から支持力や地盤反力係数 k を求める。試験中にバランスが崩れた場合、危険が伴うので載荷する際には偏心を避け、地盤と載荷板とのなじみを良くするため砂を薄く敷くなどの配慮が必要である（図 5.15 参照）。

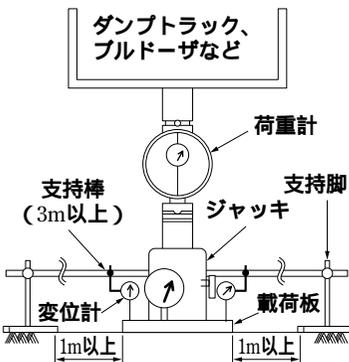


図 5.15 道路の平板載荷試験装置の例

b) 現場CBR試験 (JIS A 1222)

道路の舗装設計における路床・路盤の現位置での支持力を直接測定するものである。密度よりも敏感に締固め状態を把握できるため、切り込み材や安定処理土など、強度管理に適した材料の締固め管理に用いられる。CBR値は、ダンプトラックなどを反力にして直径50mmのピストンを2.5mm貫入させたときの荷重を測定し、標準荷重(13.4kN)との百分率で表す。荷重強さと標準荷重強さとの百分率で求める場合は次式で算出する。

$$\text{CBR} = (\text{荷重強さ} / \text{標準荷重強さ}(6.9 \text{ MN} / \text{m}^2)) \times 100 (\%)$$

貫入ピストンの直径が小さいため、礫混じり土などの強さに局所的な偏りがある地盤では測定位置に注意するとともに、貫入部分に砂を散布するか平滑に仕上げるなどの配慮を要する(図 5.16 参照)。

c) ポータブルコーン貫入試験 (JGS 1431)

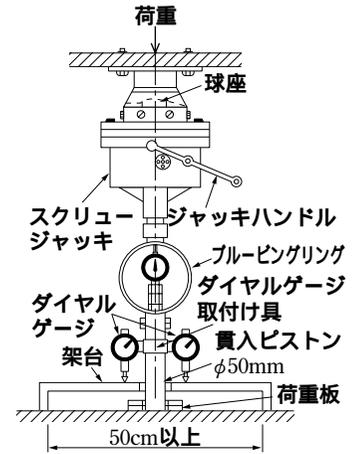
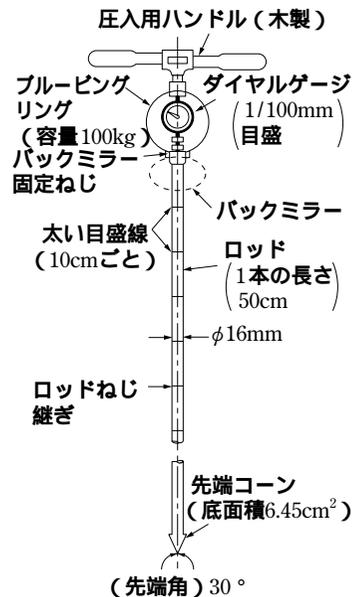
コーンを土中に貫入するときの抵抗を測定し土の硬軟を調べるもので、操作が簡単で軽量なため、施工管理をはじめ土工機械のトラフィカビリティの判定、土層境界の推定など広い用途がある。先端コーンは通常、先端角 30° ・底面積 6.45 cm^2 のものが多く用いられ、人力で圧入するため粘性土地盤で2m程度までの深さに適用される。測定値のコーン指数 q_c は、次式で求める。

$$q_c (\text{kN} / \text{m}^2) = \text{貫入抵抗} (\text{kN}) / \text{コーン底面積} (\text{m}^2)$$

貫入速度によって抵抗が異なるので、一定速度(1cm/sec程度)で貫入させる。また、礫などの障害物に遭遇する場合には、圧入不能となり異常値を示すので、場所を少し変えてやり直すかまたは適用外とする(図 5.17 参照)。

d) ブルーフローリング

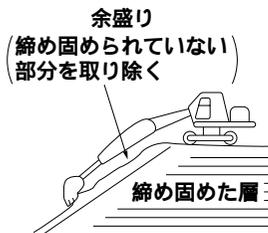
ブルーフローリングは、締固めた盛土表面にタイヤローラやダンプトラックをゆっくり走行させ、その荷重による盛土表面の変形状況を目視観察するもので、不良箇所や不均一な箇所の発見が容易である。全面的な検査であり、主に道路の路床・路盤の仕上がり状況の面的検査に用いられる。

図 5.16 現場とCBR試験装置⁵⁾図 5.17 ポータブルコーン貫入試験装置⁵⁾

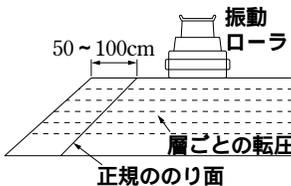
5 盛土のり面の施工



(a) ブルドーザによる締め固め
(のり勾配の緩いとき)



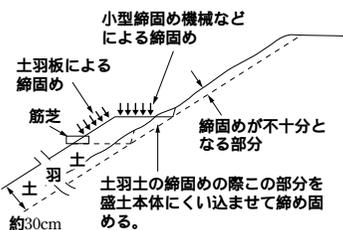
余盛り幅はローラが正規のり面の部分を十分転圧できる幅が必要



(b) 油圧式ショベルによる整形・余盛りし切取る方法



(c) バックホウによるのり面締め固め



(d) 人力による締め固め

図 5.18 盛土のり面の締め固め^{2) 11)}

盛土のり面の勾配は、一般の場合は盛土材料、盛土高さに応じて参考表 2 (P71 参照) の標準勾配を用いる。平坦な面の締め固めに比べて傾斜面での締め固めは効率が悪く締め固め度も不足しがちである。のり面の表層部の締め固めが不十分であると豪雨などで浸食され崩壊の原因となる。したがって、盛土のり面の締め固めは入念に行う。図 5.18 (a) ~ (d) には一般的なのり面の締め固め方法を示した。

同図 (a) はブルドーザにてのり面に沿って締め固める方法で、のり面勾配が 1 : 1.8 程度より緩い場合に適用できる。従来は盛土 2 ~ 3 層ごとに繰り返しのり面転圧が行われ、その際ブルドーザの全荷重がのり肩部に線荷重として載るため極めて効果的に締め固められた。しかし、最近では (c) の方法が一般的となり、ブルドーザがあまり使われなくなっており、締め固め効果の見地からは一考を要する。

同図 (b) は盛土幅より 50cm ~ 1m 程度広く盛土し、締め固めが不十分となる盛土端部をバックホウなどで削り取り整形する施工方法である。この方法は、用地に余裕がある場合や側道がある場合には有効であるが、削りすぎに注意する。なお、ブルドーザの履帯跡やバックホウのバケットによる方法では、のり面に凹凸が残ることになるが、植生を行う場合には美観上の支障はなくなるので、人力などによりきれいに仕上げる必要はない。

同図 (c) はのり面仕上げ用のアタッチメントバケットをつけたバックホウによる施工方法である。このバケットは土の掘削・移動に加え底面で締め固めを行うことができるため、近年では整形だけでなく、のり面の締め固め自体に広く用いられている。この方法では通常、盛土の上部からの作業となるが、バックホウのアーム長さによって作業範囲が限定されるため、盛土の高さや小段の位置を確認し、作業時期や機種を調整する必要がある。また、盛土上部からの施工となることが多いため土砂がこぼれやすく、先に仕上げたのり面や側溝の汚れ防止や落石に注意しなければならない。

同図 (d) は人力と小型機械による方法である。盛土本体を施工した後、のり面に土を補給しながらパイプロハンマ・パイプロプレート・小型振動ローラなどの小型機械を用いて水平に締め固め、のり面のみ土羽板でたたきながら整形して仕上げていく。従来はこの方法が主流であったが、現在では手間が掛かることから小規模なり面・構造物近接部・土羽土を用いるのり面などに限定されている。

人力による土羽たたきは、他の方法に比べてどうしても締固め不足となるので、とくに入念な施工が必要である。

6 盛土施工中の排水対策

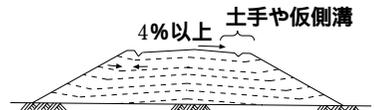
盛土内への水の浸入防止は、盛土の安定を図る上での基本であり、この観点から工事中や完成後の排水対策は重要である。また、わが国のように降水量の多い気候のもとでは含水比の高い盛土材料が多く、降雨時には盛土工事を中断することになるが、降雨後盛土工事を早期に再開するためには、工事中の仮排水が重要な役割を果たす。そのため、一般に図 5.19 に示すように、盛土面が4～5%程度の排水勾配を常に保つよう土を敷きならし、締固めを行う。のり面に雨水を流せない場合が比較的多いが、のり肩付近に施工機械の転落防止を兼ねた土手を設けるか素堀の仮側溝を設けるとよい。

降雨が予想される場合には、ダンプトラックやブルドーザなど施工機械のわだちや履帯跡が残らないよう、作業終了時に盛土表面をローラなどでできるだけ平滑にし、排水性を良くしておく。夜間の急な降雨への対処や翌日の作業を円滑にするために、毎日の作業終了時に同様の処置を習慣付けしておく。なお、降雨前にまきだした土を締固めずにそのまま放置することは、盛土材料の軟弱化を招き、施工上のトラブルの原因にもなるので絶対に避ける。

日本の年間降水量は1,750mmで世界平均800mmの2倍以上。6～9月の4ヶ月間に集中して降る。



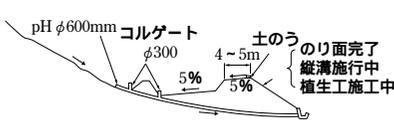
(a) 雨水をのり面に流しても良い場合



(b) のり面に水を流下させない場合

図 5.19 盛土施工中における盛土の保護

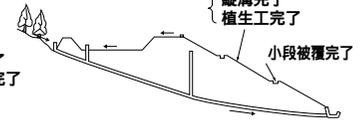
(1) 小段1段目 第1次中央排水



(2) 小段2段目 第1次中央排水



(3) 小段3段目 第2次中央排水



(4) 路床面 第2次中央排水

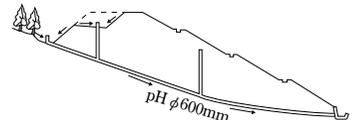


図 5.20 中央排水工法施工手順²⁾

面的に広がりを持つ盛土を行う場合には、図 5.20 に示すように、盛土中央部に縦型の排水管を設け、これを地下排水管に導いて排水する中央縦排水管方式が有効である。工事区域外に濁水や土砂が直接流出しないように、のり尻付近から盛土を始め排水勾配を盛土側に保ちながら段階的に盛り上げていく。



7 特殊材料の盛土

シキソトロピー *thixotropy* 一般には等温可逆的なゾル・ゲル変換現象をいう。土質工学では、粘土を練り返すと軟化して強度低下するが、これを含水比不変のまま放置すると時間経過とともに硬化して強度の一部が回復する現象。

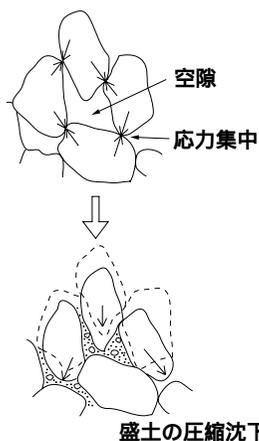


図 5.21 岩塊（脆弱岩）

（出典）

（社）土質工学会編「土の締固めと管理 土質工学基礎ライブラリー」36、1991、p257 図 4.5

スレーキング *Slaking* 乾燥した粘性土や泥岩などの軟岩塊を水に浸すと、水の浸入に伴って岩塊が崩れる現象。スレーキングの程度を試験する一般的な方法としては、一定形状・寸法の試料を水中に浸し、一定時間に崩壊する割合、もしくはある崩壊率に達するのに要する時間を計測する。

1 火山灰質粘性土

わが国は火山列島であり、関東ロームを初めとする高含水比の火山灰質粘性土が広く分布している。これらの土の特徴は、地山では自立性は良いが、こね返しによって著しく強度低下を招き、施工機械のトラフィカビリティや盛土の安定性が低下することである。また、急速施工を行うと大きな過剰間隙水圧が発生しやすい反面、シキソトロピーによって強度が回復する特性も持っている。したがって、以下の点に留意して施工を行うことが望ましい。

施工ヤードを広く取って曝気乾燥に努め、施工時期は曝気の有効な夏期（関東地方では冬期も可）を中心に選ぶ。

過剰間隙水圧が発生しやすい軟弱なロームでは緩速施工に努め、強度回復を図る。

安定や沈下が問題となる箇所への利用はできるだけ避ける。

押土距離を短くし、接地圧が小さな施工機械を用いるとともに、工専用道路はできるだけ変更しないよう計画し、こね返しによる強度低下を避ける。

2 脆弱岩（スレーキング材）

泥岩、頁岩、凝灰岩などの脆弱岩^{ぜいじゃくがん}の中には、乾燥・湿潤作用の繰り返しにより、容易に細粒化（スレーキング）するものが多く、これらの材料を用いた盛土では、完成後に大きな圧縮沈下を生じることがある。これらの岩は掘削時には比較的硬く岩塊状であるため、盛土の際には空隙が多くなりやすく、盛土完成後に浸透水や地下水の変動などによって、繰り返し乾燥・湿潤の作用を受けるとスレーキングを起こし、図 5.21 のように盛土が圧縮沈下する。

脆弱岩材料の圧縮性の評価例を、図 5.22 に示す。特に、同図の領域（A）に該当する材料を用いる場合には、以下の対策を行う。

高盛土や地下水・湧水の多い箇所は避け、沈下が生じても支障のない箇所へ用いる。

重量の大きな締固め機械を用いて十分な破碎・転圧を行い、盛土内の空隙をできるだけ少なくする。

適切な排水施設を設けて、圧縮沈下の原因となる浸透水や地下水を速やかに排除する。

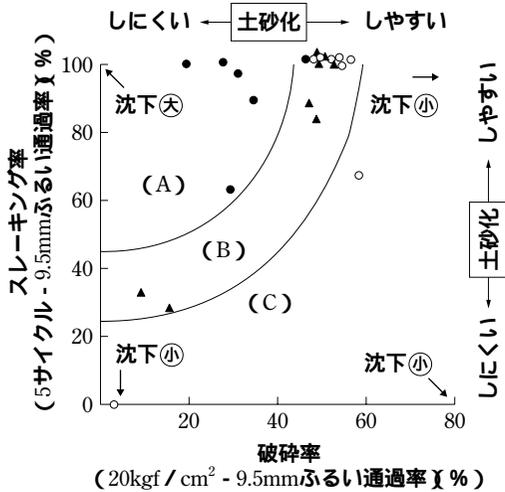


図 5.22 ぜい弱岩材料の圧縮性評価図¹¹⁾

3 岩塊盛土

堅い岩塊を盛土に使用する場合、せん断抵抗角は大きく透水性が良い反面、材料分離しやすく、最大粒径が大きいため層厚や密度の管理が難しいなどの問題点がある。したがって、施工では下記の点に留意する必要がある。

敷きならし厚を最大粒径の1～1.5倍として、材料分離を起こさないよう敷きならすとともに、層厚に見合った大型締固め機械で締め固める（表 5.7 参照）。

大塊を含んだ材料や粒度分布の悪い材料は、図 5.23 に示すように盛土下部やのり尻付近に使用することが望ましい。

試験盛土を行って転圧機種、転圧回数、敷きならし厚さなどを決める、いわゆる工法規定による管理がふさわしい。

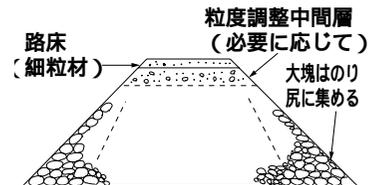


図 5.23 岩塊の盛土例¹¹⁾

表 5.7 岩塊材料に用いる締固め機械^{11) 12)}

一層あたりの仕上り厚さ	締固め機種（起振力表示）	備 考
30cm以下	振動ローラー5t以上 （ただし、振動ローラーが適さない材料については、タイヤローラー15t以上）	振動輪が二軸のものについては、公称起振力を一軸あたりに換算して評価すること。
30～60cm	振動ローラー 13t以上	
60～100cm	振動ローラー 20t以上	



8 特殊箇所（接続部）の施工

1 片切り・片盛り・切盛土接合部

片切り・片盛り・切盛土接合部などいわゆる傾斜地盤での盛土では、完成後に段違いや亀裂が生じて、舗装面や構造物などに支障を生じやすい。その原因としては、支持力の不連続、湧水・浸透水による盛土の軟化、境界部盛土の締固め不足、基礎地盤と盛土との密着不足などが考えられ、一般的に次のような対処をとる。

- a) 段切り：地山の勾配が1：0.5～1：4程度の場合は図 5.24 に示すように、表土のはぎ取り後、地山を1m程度階段状に切り込んでから盛土する。1：0.5より急な場合は段切りの必要はないが、切土と盛土の境界付近はとくに入念な施工を行う（図 5.25 参照）。
- b) 排水処理：地山からの湧水や浸透水が集まりやすいので、暗渠排水や透水性のよい材料でのり尻に導水するなどの処理を行う。
- c) 高まき防止：上部からの切土を下部に直接まきだしながら盛土するため、図 5.25 に示すように高まき施工となりやすいので、盛土側に敷きならし用のブルドーザを配置するなど、薄層で締固めできるように特に施工法に配慮する。

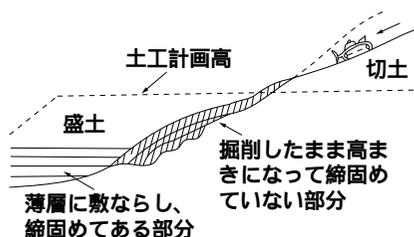


図 5.25 切土盛土の接続で
ありがたいな施工

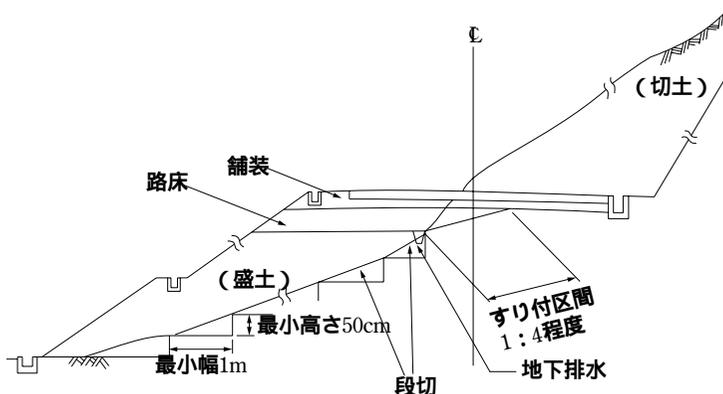


図 5.24 盛土基礎地盤の段切りおよび切土盛土の接合部
(土砂地盤の例)

2 腹付け盛土

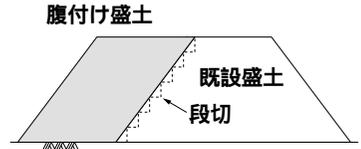
道路の拡幅や鉄道の線増のために既設の盛土に「腹付け盛土」を行うことがある。この場合は新旧盛土との間に亀裂や段差を生じないように、図 5.24 に準じて段切りを行うが、次の点に留意する。

既設盛土に悪影響を及ぼさないよう段切りの大きさを調整する。

掘削後の放置時間短縮のために必要な区間づつ逐次施工する。

盛土材料に良質材を用い、薄層での締固めとする。

なお、基礎地盤が軟弱な場合は、引き込み沈下を生じることがあるので、別途補強や遮断などの対策をとる必要がある。



〔腹付け盛土のイメージ図〕

3 構造物との接合部・裏込めおよび埋戻し

擁壁、橋台、カルバートなどの構造物との接合部・裏込め部、埋設管などの埋戻し部^㉑は、不同沈下による段差が生じやすいため、以下の点に留意して施工する。裏込め構造の例を図 5.26 に示す。

裏込め・埋戻し材料には圧縮性が小さく、透水性のよい材料を用いる。

可能な限り大型の締固め機械を用いることとし、やむを得ない場合には中・小型機械を用いて薄層で入念に締固める。

工事中の雨水の流入を極力防止し、浸透水に対しては地下排水溝を設けて排出する。

構造物の強度が発揮する前に、裏込めや盛土によって土圧を与えないよう養生期間を十分にとる。

構造物に偏土圧を与えないように、裏込めは両側から均等に盛り上げる。

必要に応じて構造物と盛土との接合部に踏掛版を設ける。

㉑ これらの部分では、一般の盛土部に比べて狭隘であり、構造物や埋設管への影響を避けるために、大型施工機械を用いることができず、小型機械で締固めざるを得ない。したがって、締固めが不十分になりやすく当該部分の排水条件や基礎地盤条件さらには構造物の変形などとも重なって沈下が生じ、段差となって現れる。

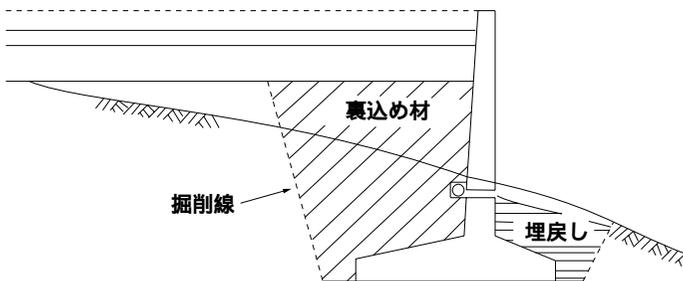


図 5.26 擁壁の裏込め構造の例

（出典）（社）土質工学会編「土の締固めと管理 土質工学基礎ライブラリー 36」, 1991, p271 図 4.17



9 軟弱地盤上の盛土

1 軟弱地盤上の盛土施工の留意点

(1) 盛土の施工速度

軟弱地盤での盛土では安定が問題となるが、盛土荷重によって地盤の圧密を図り、それに伴って地盤の強度増加を確保しながら盛土を立ち上げていく緩速施工を基本とする。そのためには盛土の施工速度のコントロールが重要である。

実績に基づく適正な盛土の施工速度は一般に5cm/day以下とされているが、表5.8に地盤種類毎の標準的な値^②を示す。

②この値はあくまでも標準的なものであり、地盤条件や荷重条件、周辺条件などによって異なるため、実際の盛土にあたっては、動態観測で確認しながら進める。

表 5.8 盛土速度の標準

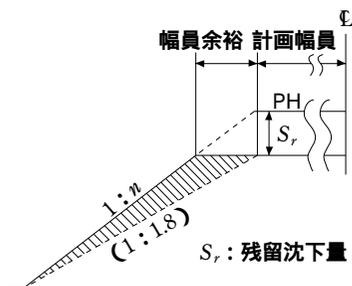
地盤の種類	盛土速度 (cm/day)
厚い粘土質地盤および黒泥、または有機質土が厚く堆積した泥炭質地盤	3
普通の粘土質地盤	5
薄い粘土質地盤および黒泥、または有機質土をほとんど挟まない薄い泥炭質地盤	10

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。

(出典) (社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」、1990、p279 表4.27

(2) のり面勾配の補正

盛土による基礎地盤の沈下が大きい場合には、のり面を計画勾配で仕上げると、図5.27に示すように、のり面勾配が緩くなり、盛土天端の幅員が不足することが多い。このため完成後の沈下を考慮して、あらかじめ余裕幅を設けて施工する(欄外の図参照)。



〔盛土の沈下を考慮した幅員余裕の取り方〕

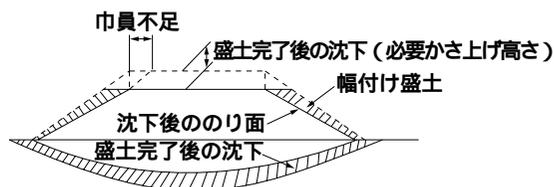


図 5.27 盛土の沈下による幅員不足(横断面) ¹¹⁾

(3) 盛土による周辺地盤や近接構造物への影響

道路のような帯状盛土による周辺地盤への影響範囲は、各地の事例から軟弱層の厚さを D とするとのり先からの距離 $L=(1.5 \sim 2)D$ 程度である。また、破壊を生じたときの周辺地盤への影響の程度を示したものが図 5.28 である。同図によれば、影響範囲ののり先からの距離はさらに大きくなり、おおむね $3D$ 程度まで及んでいる。

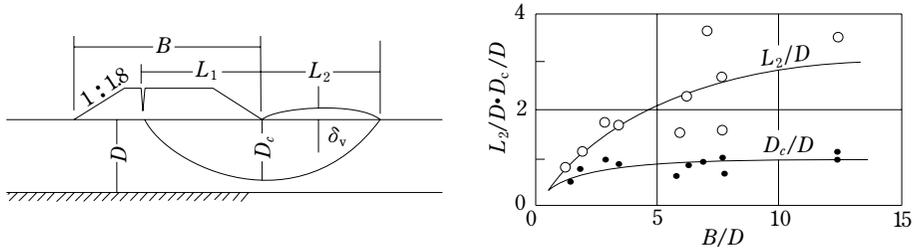
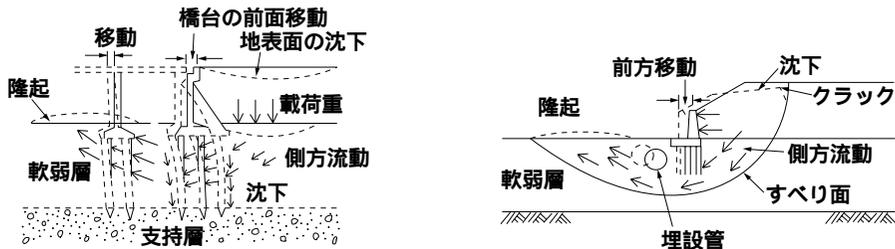


図 5.28 破壊直前における隆起の範囲事例

(出典) (社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」, 1990, p281 図 4.41

構造物に近接した盛土では、土圧や地盤沈下、側方流動や破壊などによって図 5.29 のように構造物に大きな変形や機能障害を与えることがある。図 5.30 には対策例を示す。軟弱地盤では、このような有害な変状を生じないように動態観測しながら注意深く施工する。



(a) 橋台、橋脚の前方変位、路面の不同沈下

(b) 擁壁、埋設管などの変位

図 5.29 盛土に接する構造物の変位および路面の不同沈下

(出典) (社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」, 1990, p281 図 4.42

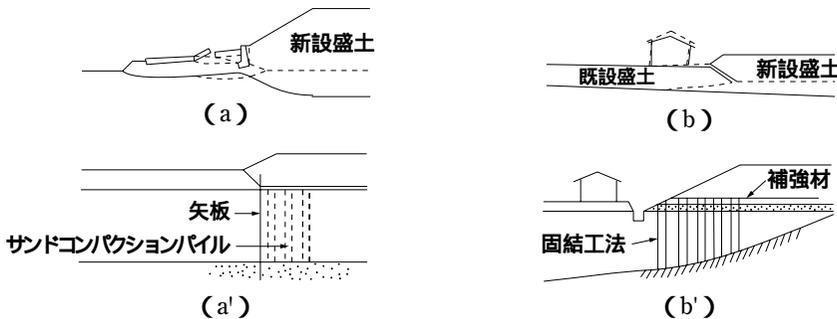


図 5.30 対策工法の例

(出典) (社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」, 1990, p282 図 4.43

2 動態観測による施工（情報化施工）

(1) 動態観測

軟弱地盤上の盛土では、調査・設計に基づく予測と実際の地盤での挙動は一致しないことが多く、予想外の変形や破壊を生じることがある。有害な変状や破壊を未然に防ぐため、盛立てに際しては動態観測を行う。軟弱地盤での動態観測は、目的に応じて沈下・変形・水圧・土圧などが測定されるが、一般の盛土の安定管理や沈下予測には、地表面沈下と地表面変位を利用することが多い。

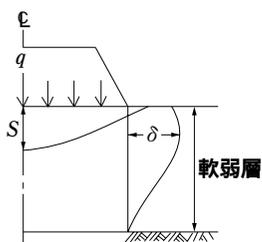


図 5.31 S - δ - q の概念図

(出典)

(社)地盤工学会編「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」、1990、p287 図4.48

(2) 盛土の安定管理と最終沈下の予測

盛土の安定管理とは、動態観測で得られたデータに基づき、その時点および将来の盛土の安定性を評価し、次段階の対処方法を決定することである。軟弱地盤上に盛土した場合の地盤の挙動を、概念的に表すと図 5.31 のようになる。盛土荷重 q によって地盤には沈下 S と側方変位 δ が生じる。これらの変形は圧密とせん断が複合したものであり、圧密沈下が卓越していれば地盤は安定状態にあり、せん断による側方変位が卓越すると不安定状態になる。このような考えに基づく定量的な安定管理手法の概要を表 5.9 に示す。

表 5.9 盛土の安定管理方法の一覧表

管理方法	測定項目	結果の整理法	内容
沈下量 S と水平変位量および沈下量の比 δ/S の関係 (松尾・川村) $S - \delta/S$ 法	垂直変位量 S ならびにのり尻の地表面水平変位量または地中変位量 δ	破壊基準線	S と δ/S をプロットし、その軌跡が破壊基準線に近づくかどうかで破壊予測
盛土中央部の沈下量 S と盛土のり尻部の水平変位量 δ の関係 (富永・橋本) $S - \delta$ 法	同上	$\Delta\delta/\Delta S$	S と δ をプロットし、 $\Delta\delta/\Delta S$ がある大きさを超えることで破壊予測
水平変位速度 $\Delta\delta/\Delta t$ の時間的变化 (栗原・一本) $\Delta\delta/\Delta t - t$ 法	のり尻の地表面水平変位量または地中水平変位量 δ	$\frac{\Delta\delta}{\Delta t}$	δ の1日当りの変化量 $\Delta\delta/\Delta S$ がある大きさを超えることで破壊予測
盛土荷重 q_E と水平変位量 δ の増分比 $\delta q_E/\Delta\delta$ と q_E の関係 (柴田・関口) $\Delta q_E/\Delta\delta - q_E$ 法	盛土荷重 q_E ならびに、のり尻の地表面水平変位量または地中変位量 δ (q_E の代わりに、盛土高 H に置換えてもよい)	$\frac{\Delta q_E}{\Delta\delta}$	漸増载荷中の $\Delta q_E/\Delta\delta - q_E$ 関係(右下りの曲線)を外挿することで破壊荷重 q_{Ef} (限界盛土高 H_f) を予測

各管理手法と破壊事例から、経験的に管理限界の目安が与えられているが、適用にあたっては地盤条件を十分に考慮する。すなわち、上層部が特に軟弱な場合は地表面の変位が卓越し、上層部に砂層などの硬い層があると地中の変位が大きいことに留意する。

理論沈下と実測沈下は一致しないことが多いが、実測値の経時変化から将来沈下を比較的精度よく予測する手法を表 5.10 に示す。

表 5.10 盛土の沈下管理方法の一覧表

管理方法	内 容	予 測 式	作 図 法
宮川の方法 (双曲線法)	沈下の平均速度は双曲線に沿って減少するという仮定で、初期の実測沈下量から将来沈下量を予測する	$S_t = S_0 + \frac{t}{\alpha + \beta t}$ t : 盛土施工終了時点からの経過時間 S_0 : 盛土施工終了時点の初期沈下量 S_t : 時刻 t における沈下量 α, β : 実測沈下から求める係数	<p>最終沈下量 $S_f = S_0 + \frac{1}{\beta}$</p>
星莖の方法 (\sqrt{t} 法)	沈下量が時間の平方根に比例すると仮定して、初期の実測沈下量から将来沈下量を予測する	$S = S_t + S_i = S_i + \frac{AK\sqrt{t}}{\sqrt{1+K^2t}}$ t : 載荷後の経過時間 S_i : 載荷直後の瞬時沈下量 S_t : 時間 t 経過後に増加する沈下量 S : 全沈下量 A, K : 実測沈下から求める係数	<p>最終沈下量 $S_f = S_i + A$</p>
浅岡の方法	初期の沈下 - 時間関係の観測値が圧密方程式の解になるように、地盤の初期値、境界条件を定め、将来の圧密沈下量を予測する	$S_t = \beta_0 + \sum_{s=1}^n \beta_s S_t - S$ S_t : 時間 t を $t_i = \Delta t \times i$ ($i=0, 1, 2, \dots$) としたときの t_i での沈下量 Δt : ある時間間隔 n : 沈下予測のための差分モデルの最高次数 β_0, β_s : 実測沈下量から求める定数	<p>($n = 1$の場合)</p>
log t 法	盛土の長期沈下の主要因が、地盤の二次圧密であると仮定し、片対数グラフに時間 - 沈下の実測値をプロットし、沈下が直線となる部分を外挿し、将来の沈下予測を行う	$S_t = a + b \log_{10} t$ S_t : 経過時間 t における沈下量 a, b : 実測沈下値から求まる係数	



10 高盛土（ゾーニング盛土）

③ゾーニング設計 盛土材を各々の持つ材料特性（せん断強さ、圧縮性、透水性）に基づいて、施工中や完成後の盛土に期待する機能（常時および地震時の安定、供用後の沈下軽減、排水性）を満足するよう盛土材を配分すること。

④第二東名高速道路高盛土および大規模盛土設計施工指針（案）では、1箇所あたり50万 m^3 以上の盛土を大規模盛土、直高が20m以上の盛土を高盛土と呼び、ゾーニング設計を採用している。

高速道路や空港などの山岳部での大型土工事では、極めて大量かつ高い盛土となることが多いが、切土箇所が限られておりすべて良質材で施工することは不可能であり、また盛土材として不適切な材料であっても利用せざるを得ない。そのため盛土の安定確保と現地発生材の有効活用のために、フィルダムの考え方に準じてゾーニング盛土を設ける例が見受けられる（ゾーニング設計^③）。

第二東名高速道路^④での基本的な配分の考え方は、（a）安定ゾーン：盛土の安定を確保するために、のり面部分は所定の強度を確保できる岩塊材料を配分、（b）沈下抑制ゾーン：車両の走行する本線・ランプ部は供用後の残留沈下が少ない細粒材料や粗粒材料を配分、（c）圃地ゾーン：材料の良否を問わない圃地部分は調整部分としている。図5.32にゾーニングの概念図を示す。

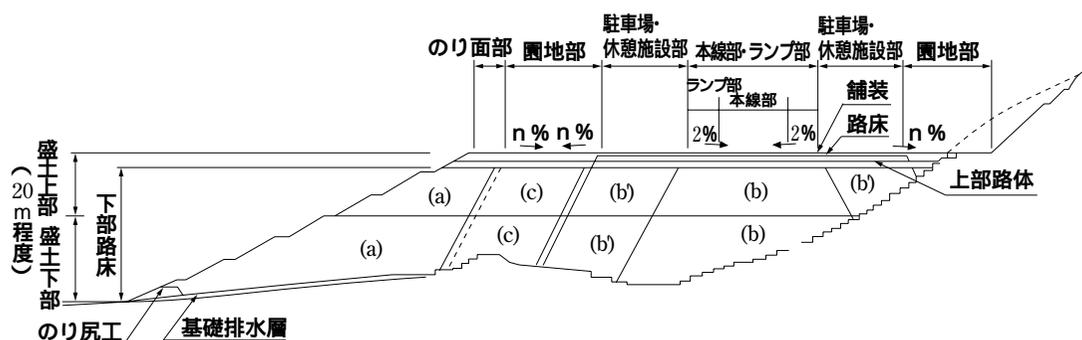


図 5.32 大規模盛土のゾーニング（一般材料）¹³⁾



11 酸性土・重金属・鉍毒汚染土

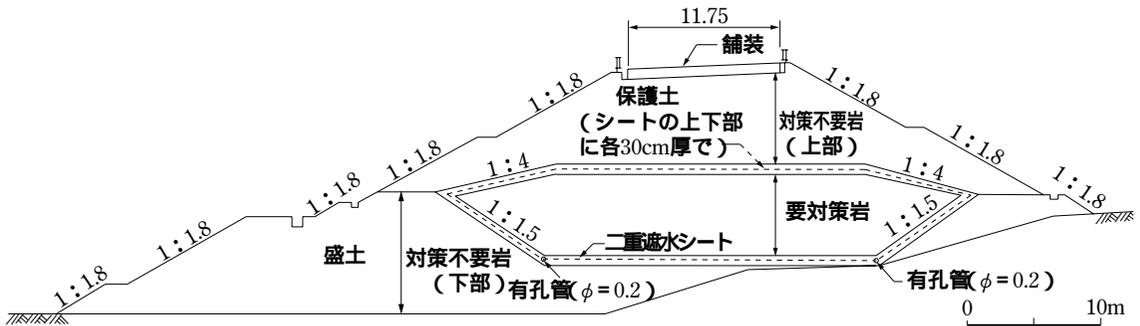
⑤土壌汚染 土壌に含まれる特定有害物質が土壌溶出基準および土壌含有量基準を超過している状態
地下水汚染 地下水に含まれる特定有害物質が地下水基準を超過している状態
地盤汚染 土壌汚染および地下水汚染の総称（地質汚染ともいう）

建設工事に人体に有害な重金属類や揮発性有機化合物などによって汚染された地盤に出会うことが多くなっている。また、土壌汚染^⑤への関心が高まる中、国民の安全と安心の確保を図るための法整備^⑥がされ、建設工事でも土壌汚染に適切な対応が求められている。人為的原因以外に自然的原因（自然由来）による特定有害物質も対象となる。「覆土・敷土工法」「遮水工法」「固化・不溶化」「バリア井戸工法」などの対策工法がある。

道路工事での対策例を図 5.33 に示す。福島県^{かし}甲子トンネルでは、事前の調査で岩盤の約3割が環境基準を超える有害重金属（鉛、セレン、ヒ素など）を含むと推定され、火山活動で形成された黄鉄鉍などの硫化鉍物を原因とする自然由来のもので溶出の可能性が高いと判断された。トンネルズリ⁷はpHと硫黄の含有量で、また工事排水は重金属含有量で対策の要否を逐次判定し、有害なズリは覆土・敷土（二重遮水シート付）に包んで封じ込め、道路の本線盛土材に利用している。有害な排水は濁水処理して河川へ放流している。

⑥ダイオキシン類対策特別措置法（平成12年施行） 土壤汚染対策法（平成15年施行）

⑦トンネルズリ トンネル工事で発生した掘削土



（注）有孔管の水は盛土の外へ導いて水質管理を実施

図 5.33 二重遮水シートで要対策岩を包みこんだ盛土例（福島県甲子トンネルの掘削土）

引用・参考文献

- 1) (社) 土質工学会編：「盛土の調査・設計から施工まで」、1979
- 2) (社) 地盤工学会編：「盛土の調査・設計から施工まで 第一回改訂版」、1990
- 3) (社) 地盤工学会編：「地盤工学ハンドブック」、1999
- 4) (社) 地盤工学会編：「地盤調査の方法と解説」、2004
- 5) (社) 土質工学会編：「土の締固めと管理 土質工学基礎ライブラリー36」、1991
- 6) (社) 土木学会編：「土構造 新体系土木工学47」、1989
- 7) (社) 日本道路協会：「道路土工 施工指針」、1986
- 8) (社) 日本道路協会：「道路土工 排水工指針」、1987
- 9) (社) 日本道路協会：「道路土工 軟弱地盤対策工指針」、1986
- 10) (社) 日本道路協会：「道路土工 のり面工・斜面安定工指針」、1979
- 11) 日本道路公団：「設計要領 第一 土工・舗装・排水・造園」、1979
- 12) 日本道路公団：「土工施工管理要領」、2003
- 13) 日本道路公団静岡建設局：「第二東名高速道路/高盛土および大規模盛土設計施工指針（案）」、1999
- 14) 竹林・本庄・田代・吹原編著：「土工事ポケットブック」、山海堂、2000
- 15) 木賀一美：「有害な掘削岩を道路に封じ込める」、日経コンストラクション、2005
- 16) 平間邦興、徳富準一編著：「土構造物をつくる新しい技術」、山海堂、1991、P192