

JICA道路維持 土質について

令和7年 11月12日

沖縄県建設技術センター
セミナー講師 堀田 孝

第1章 何故、土質を学ばなければいけないの？

- 1) 我々が造る土木構造物とは？
- 2) 土質・土質力学とは？
- 2) 土に関する諸問題

第2章 土質とは？

- 1) 地盤の成り立ち
- 2) 山間部の地盤(岩石)
- 3) 都市部の地盤(土砂:砂と粘土)
- 4) 土の工学的な着目点
- 5) 地盤調査

第3章 土木において土質を把握する必要性は？

- 1) 何故、土質・地盤を把握する必要があるのか？
- 2) 橋梁では、地盤調査で橋梁基礎形式が決まる
- 3) トンネルは、岩盤調査でトンネル覆工仕様が決まる
- 4) トンネルの標準的な施工順序

第4章 道路維持補修工事について

- 1) 道路舗装工事に関する補修工事
- 2) 道路舗装・道路施設の補修工事
- 3) 橋梁の補強・補修工事
- 4) 道路清掃工・トンネル設備補修工事
- 5) 道路埋設管設置工・グルーピング工事

第5章 盛土の締固め管理方法

1. 盛土部の安定

2. 土の締固めとは

- 1) 土の締固めの概念
- 2) 土の締固め試験方法
- 3) 土の締固め試験の結果
- 4) 土の締固めの特性
- 5) 盛土締固め管理方法
- 6) 実際に行われている現場の盛土締固め管理

3. 基礎地盤の安定

第6章 地下水について

- 1) 降雨による地下水の流れ
- 2) 地下水の影響による盛土の変状
- 3) 雨が降ると何故、斜面が崩れやすいの？

第7章 土砂崩れ・地すべりについて

- 1) 道路の土砂崩れ
- 2) 地すべり地形の特徴と兆候
- 3) 道路路線上の災害ハザードマップ
- 2) 地すべり地形の特徴と兆候
- 3) 地すべり防止対策工
- 4) 岩盤斜面の崩壊の特徴と対策

第8章 土工計画

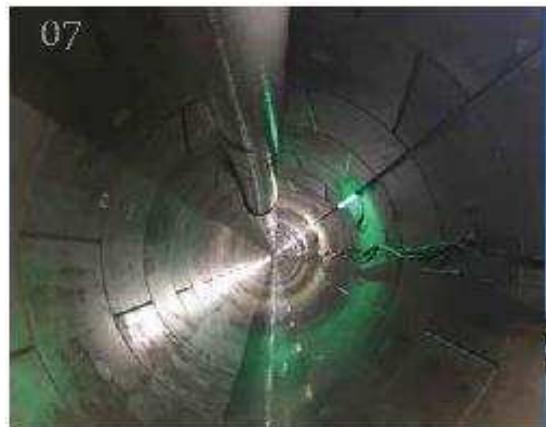
- 1) 盛土平面図の作成
- 2) 土工量の算出方法
- 3) 施工中の土量の変化について

第1章 何故、土質を学ばなければいけないか？

1) 我々が造る土木構造物とは？

① 本設構造物

- ・本設構造物とは、恒久的な土構造物(盛土)・コンクリート・鋼構造等で社会基盤構造物である。
- ・例えば、道路・河川・堤防・橋梁・ダム・トンネル・排水路・地下鉄・モノレール等の構造物
- ・**地盤の表面** または **地中** につくられる。
- ・本設構造物は、30～50年の寿命を有する、作用する荷重も多岐にわたる構造物で、地震力・雪荷重なども作用し、一般的に高い安全率が必要な構造物である。
- ・**構造物の安全率: $F_s=3.0$**



② 仮設構造物とは

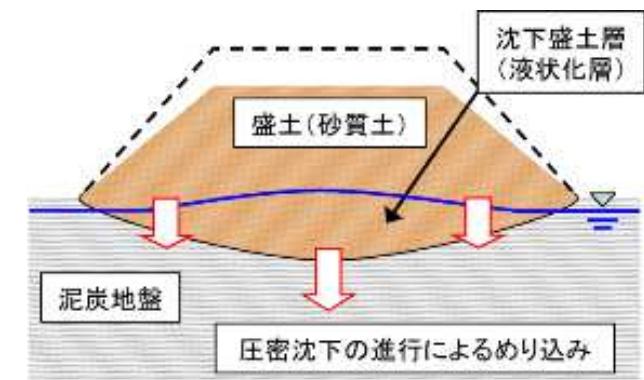
- ・恒久的な本設構造物を作るために工事期間中に必要となる、工事に不可欠な構造物である。工事終了時には撤去される構造物、施工及び計画である。
- ・例えば、仮囲い・工事事務所・駐車場・足場・型枠・支保工・山留壁・ジブor門型クレーン・桟橋・工事用道路・仮設橋・仮落石防止柵・仮排水路・沈砂池等の構造物。
- ・地盤の掘削工事、地盤改良工事、排水工事などの仮設工事
- ・仮設構造物は一時的な構造物であり、設置期間が短時間(1年～2年)であり、その期間に作用する荷重で設計され、一般的に安全率は低い。(限定された場所、限定された期間、限定荷重条件等)
- ・構造物の安全率: $F_s=1.5$
- ・荷重としては地震時は想定せず。20tダンプ・50tラフタークレーンとかあるいは雪荷重を考慮しないとか。

各工事現場に応じた限定的な条件で、構造部材が設計されているのが、**仮設構造物**です。



2) 土質・土質力学とは？

- ・土木構造物とは、本設・仮設構造物を含めて 道路・ダム・河川構造物など色々なものがありますが、これらの構造物は地表面または地中に構築されている。
- ・これらの構造物は、長年使用されている間に、自然災害とか・その他の理由で、沈下したり、壊れたり、劣化したりします。



- ・我々は、このような沈下・崩壊現象がなぜ発生するのかを理解したり、あるいは新しく構築する構造物が長期間使用に耐えるものにしないといけません。そのためには、我々が現地の土質を把握して土質力学を用い、使用に耐える設計をしないといけません。その構造物は土・コンクリート・鋼製に限りません。
- ・土の強さ・沈下・変形など、土の力学的性質を知り、研究し、理論づける分野を「土質力学」といいます。

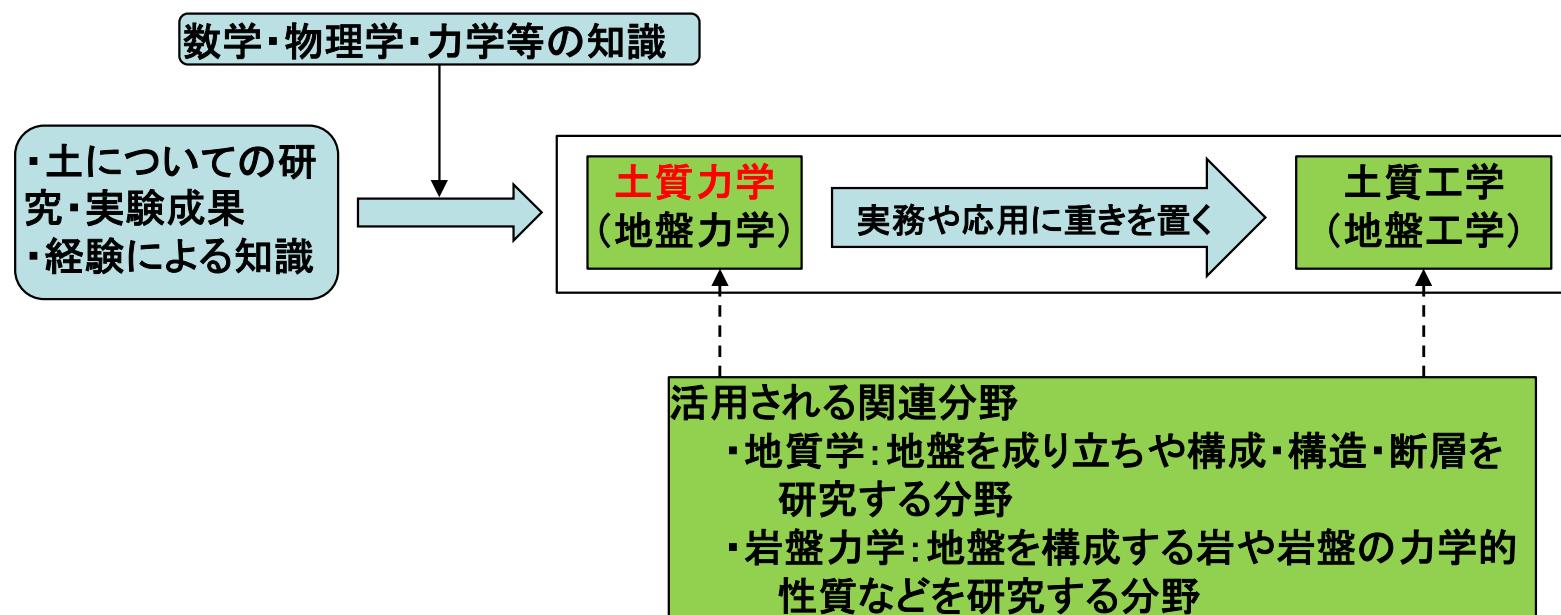
【土(土壤)】

地球中の陸地の表面を覆っている鉱物・有機物・気体・液体などの混合物である。

【土質力学(地盤力学)】

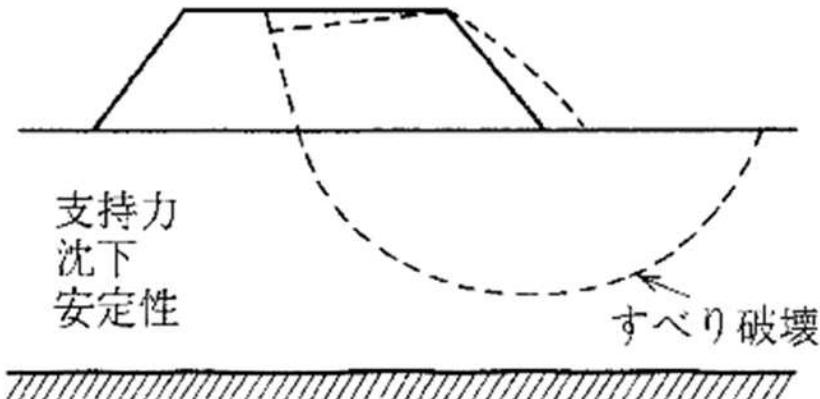
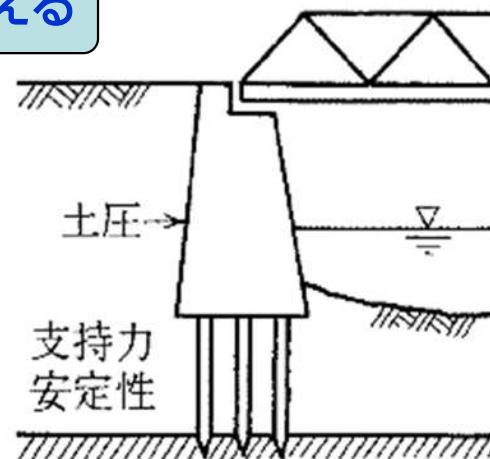
- ・土の力学的性質や透水性などの各性質、地盤内の応力と変位、土圧、支持力、斜面安定などの理論と応用について取り扱う力学で、最近は地盤力学と言っています。
- ・現場で起こる現象を理論に沿って説明するための力学
- ・現場で起こる数々の現象は種々の地盤で起こり、雑多で複雑な事象の集まりです。

【土木工学の3力学(構造力学、水理学、土質力学)の一つです。】

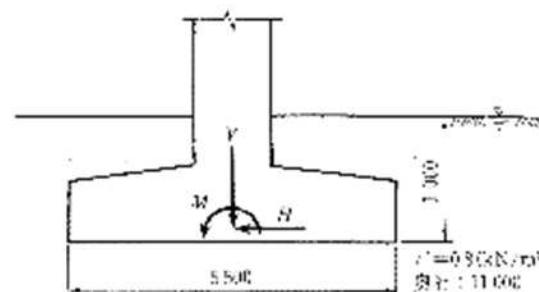


3) 土に関する諸問題 我々が日頃悩んでいる「土に関する問題」にを解決しないといけません。

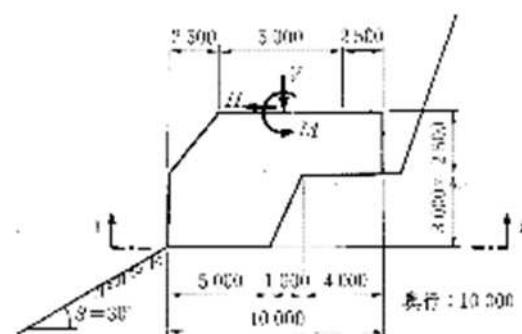
① 構造物を支える



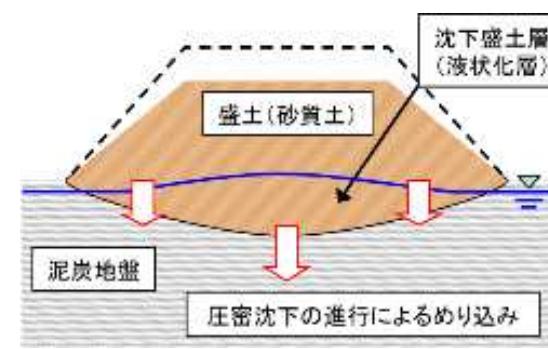
(a) 支持地盤としての問題



直接基礎形式橋脚の地盤の支持(1)

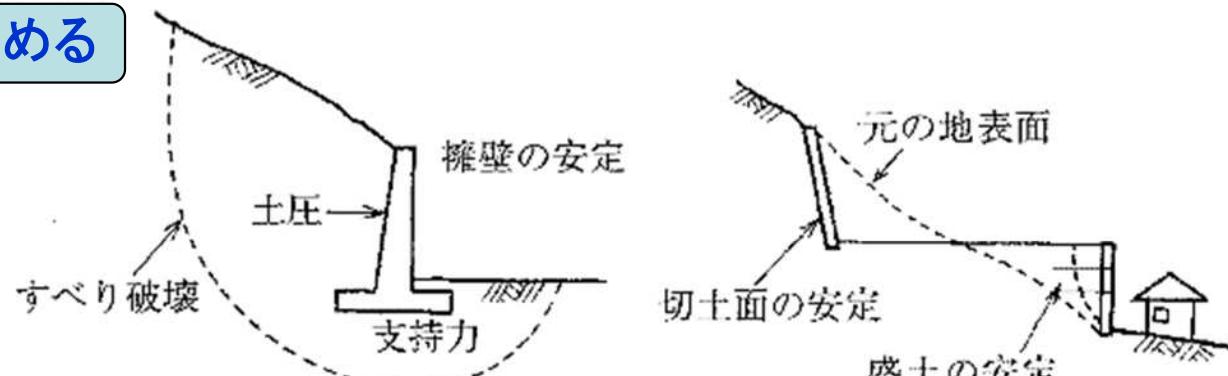


直接基礎形式橋脚の地盤の支持(2)

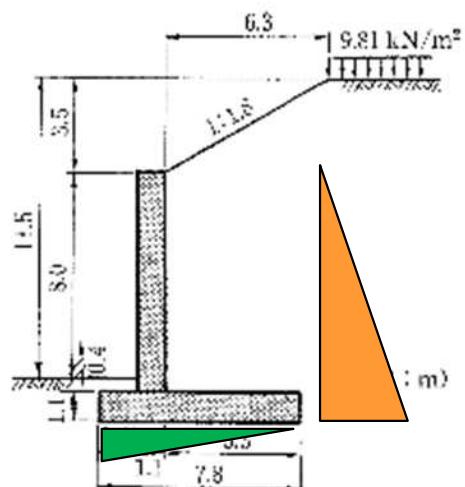


盛土を支える地盤の沈下

② 土を掘る、土を留める



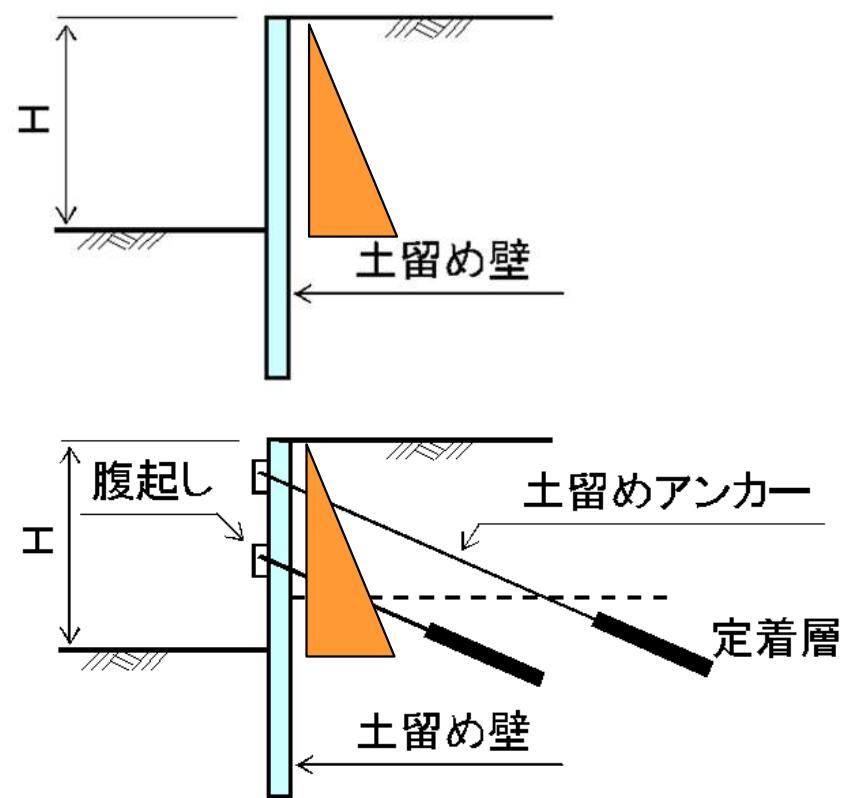
(b) 安定の問題



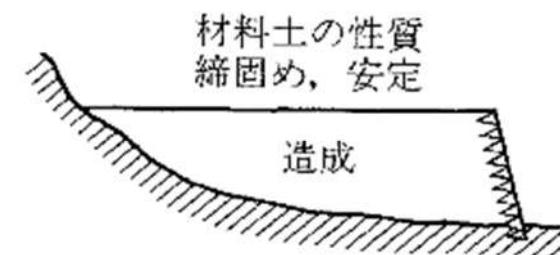
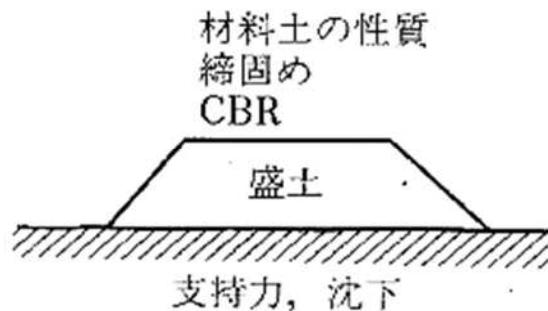
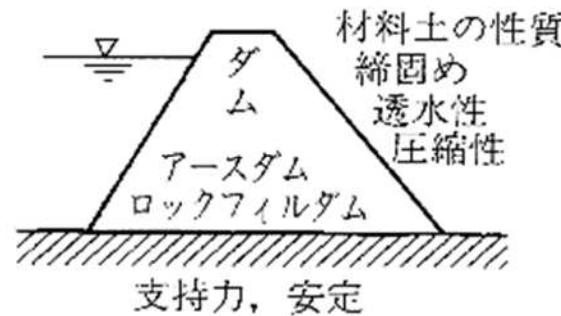
擁壁の安定



斜面の安定



③ 土で構造物をつくる



(c) 材料としての問題

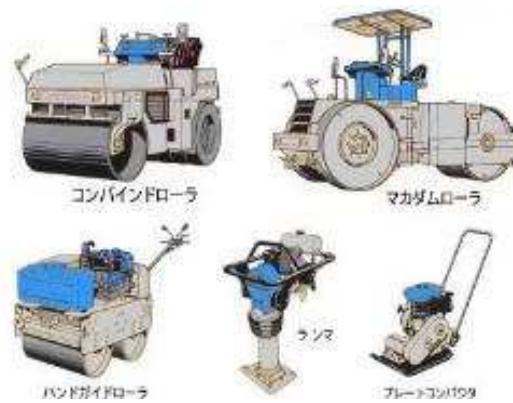
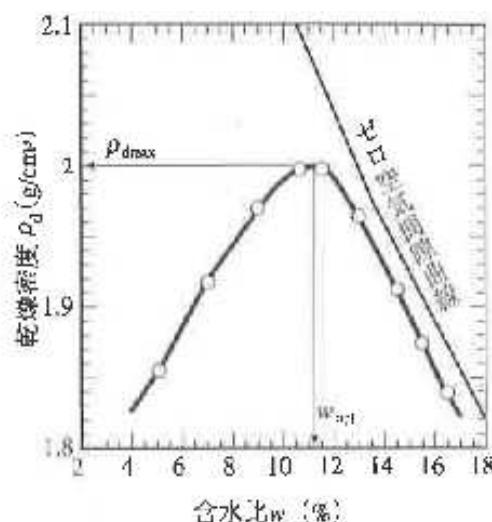
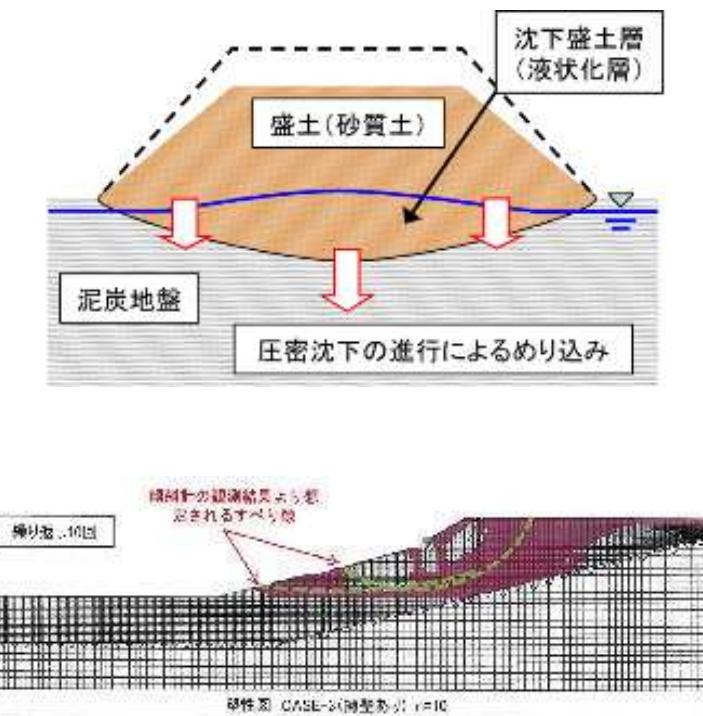
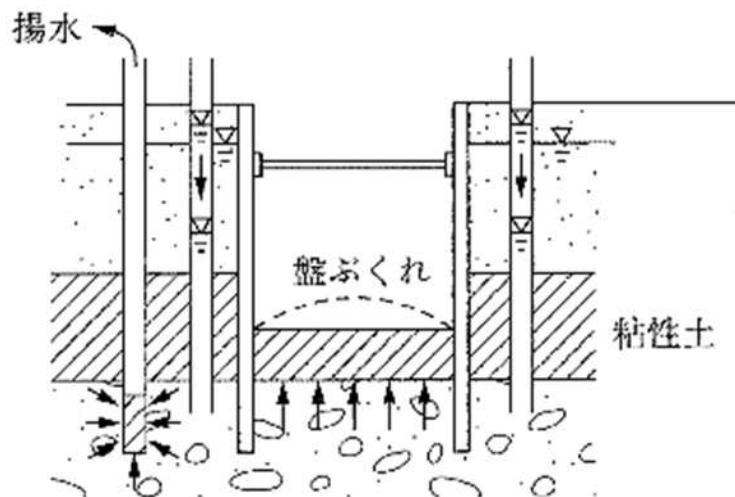
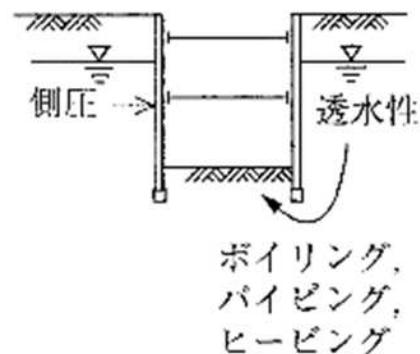


図5 土砂の締固め重機・機械

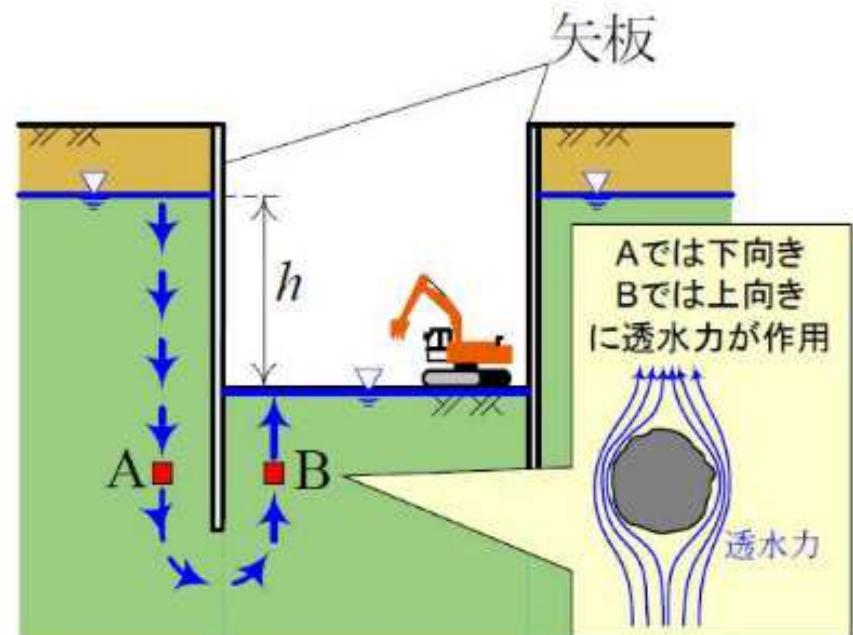
図3 土砂の締固め曲線



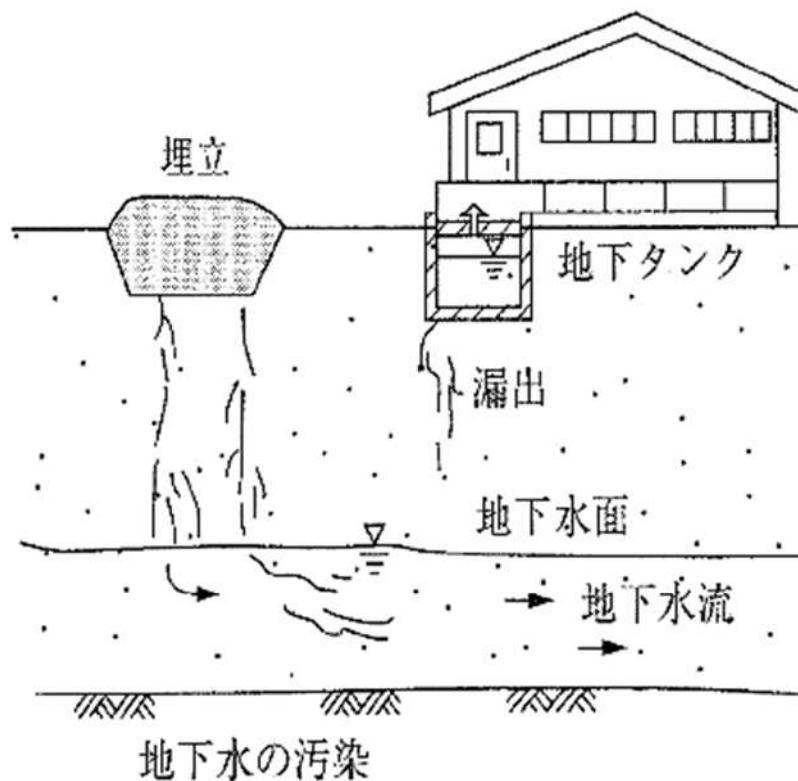
④ 土(地盤)は水を透す



(d) 地下水の問題



⑤ 廃棄物などを土(地盤)内にて処理する



(e) 地盤環境の問題

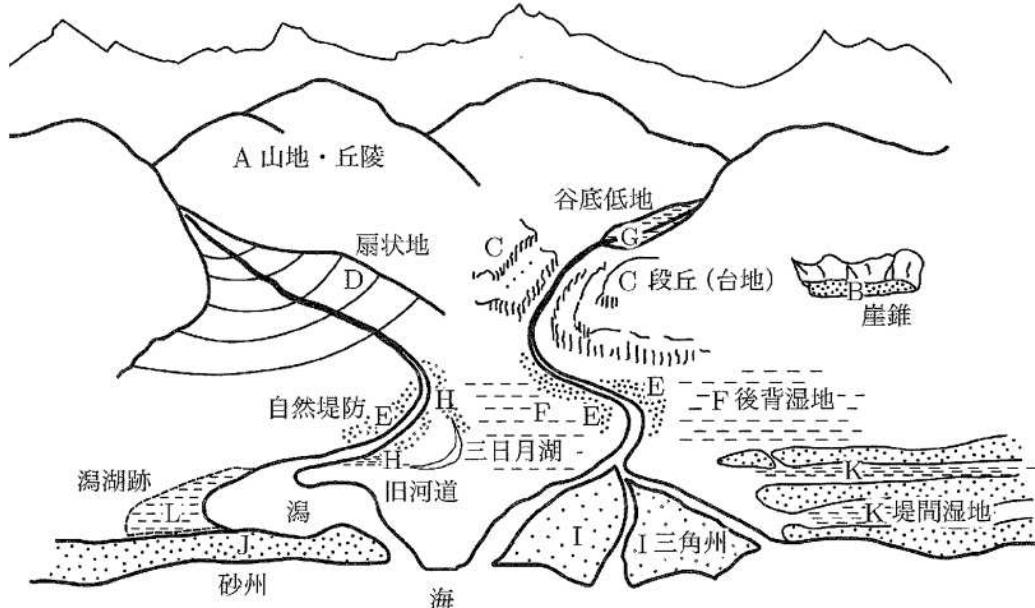
第2章 土質とは？

1) 地盤の成り立ち

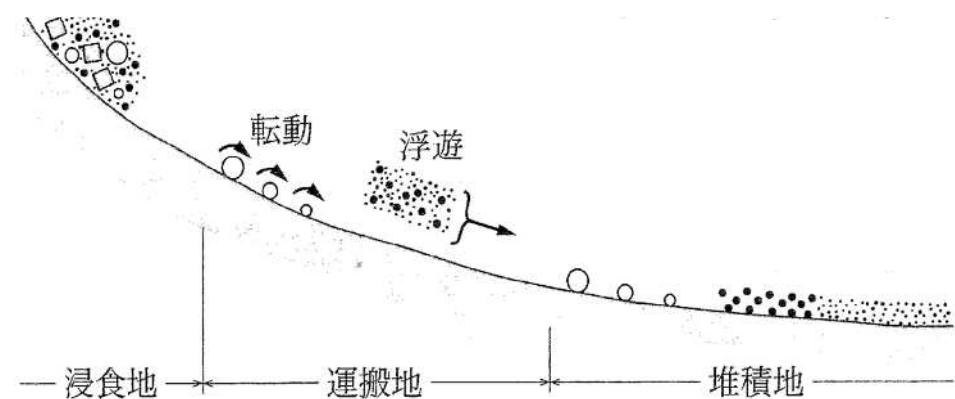
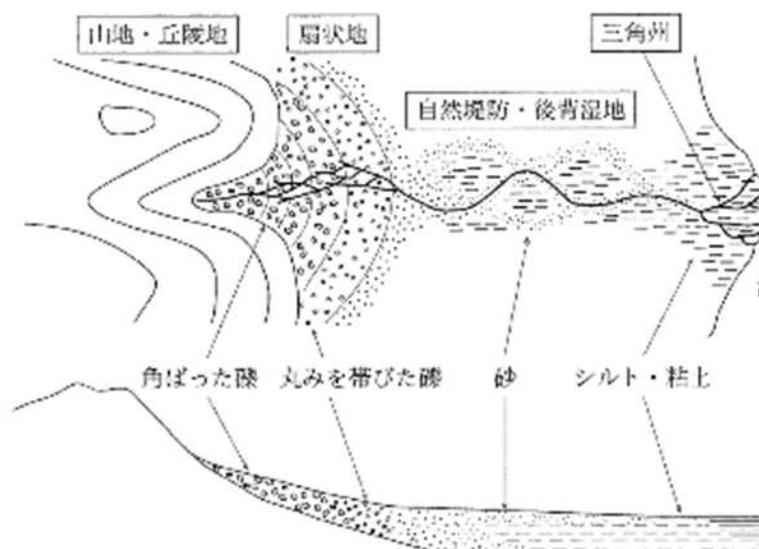
さて、地盤はどのように作られているのでしょうか？ 山から海にかけて、場所によって地盤は異なります。

さらに、皆さんのが国々（島国、大陸の国）においても、地盤は大きく異なります。

ここでは、日本の標準的な地盤についてお話しします。



A	山地・丘陵地	→	岩盤地
BC	崖錐、段丘	→	岩ズリ、礫質土
D	山裾部扇状地	→	礫質土地盤
E	河川自然堤防	→	砂地盤
F	自然堤防背面	→	粘性土地盤
G	山地谷低地部	→	腐食土地盤
HK	旧河川跡、湿地	→	粘性土、湿地
I	三角州	→	砂地盤



2) 山間部の地盤(岩石)

山間部は、多くの地盤が岩石で構成されています。

岩石は成因により、大きく「堆積岩・火成岩・变成岩」の3種類に分類される。

土木的には、岩盤の成因による分類ではなく、岩盤の硬さ・強度・風化・風化・亀裂等が構造的な性質が重要であります。その一例を 図1模式的な岩盤分類 に示します。

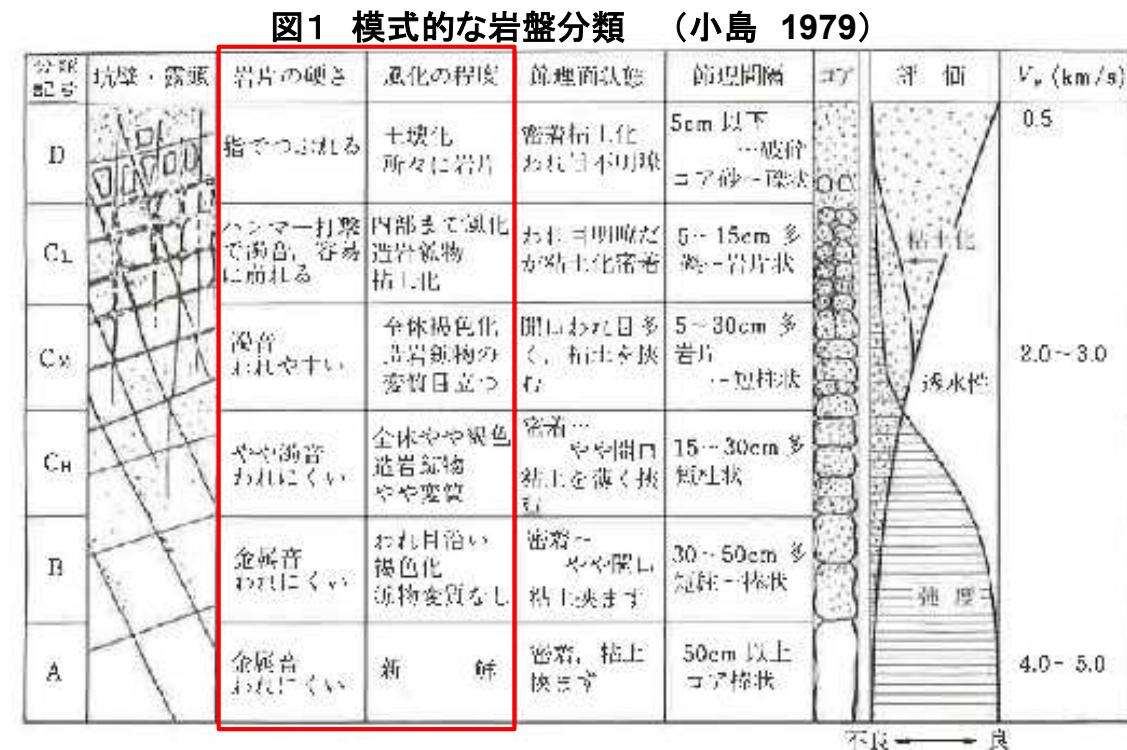


図2 岩盤等級と主な物理定数

岩盤等級	岩盤の変形係数 (kg/cm ³)	岩盤の静弾性係数 (kg/cm ³)	岩盤の粘着力 (kg/cm ³)	岩盤の内部摩擦角 (°)	岩盤の弾性波速度 (km/sec)	ロックテスト ハンマー反発度	孔内載荷試験による 変形係数 (kg/cm ³)	接線弾性係数 (kg/cm ³)	引き抜き試験による せん断強度 (kg/cm ³)
A~B	50,000以上	80,000以上	40以上	55~65	3.7以上	36以上	50,000以上	100,000以上	20以上
C _H	50,000~ 20,000	80,000~ 40,000	40~20	40~55	3.7~3	36~27	60,000~ 15,000	150,000~ 60,000	
C _M	20,000~ 5,000	40,000~ 15,000	20~10	30~45	3~1.5	27~15	20,000~ 3,000	60,000~ 10,000	20~10
C _L	5,000以下	15,000以下	10以下	15~38	1.5以下	15以下	6,000以下	15,000以下	10~5
D									5以下

3) 都市部の地盤(土砂:砂と粘土)

都市部は、多くの地盤が土砂で構成されています。
土砂は大きく「砂・シルト・粘土」の3種類に分類される。



砂



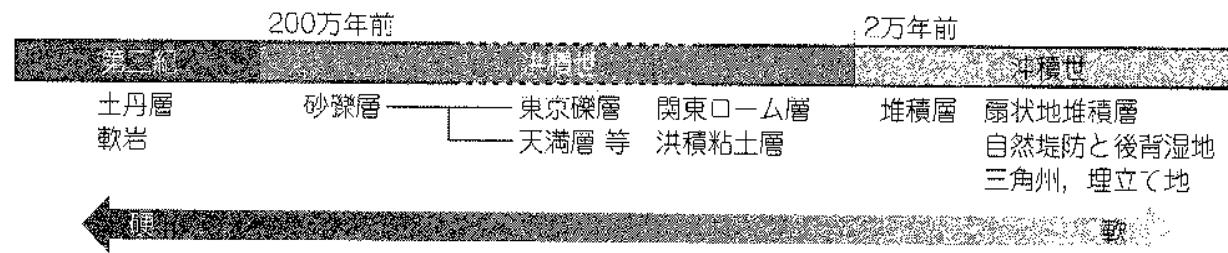
シルト



粘土

砂と粘土の工学的な性質比較						
土質名	コロイド	粘土	シルト	砂	細砂	礫
粒径 (mm)	0.001	0.005	0.075	0.042	2.0	
透水性	低い	→				高い
圧縮性	大きい	→				小さい
圧密速度	遅い	→				速い
土の構造	綿毛構造 → 蜂の巣構造			単粒構造		
	綿毛構造	蜂の巣構造		単粒構造		
特徴	・強度は粒子間の粘着力により決まる ・空隙は大きい	・強度は土粒子間の粘着力と粒子の接触により決まる ・関東コーム層など		・強度は粒子間の摩擦力により決まる ・間隙は小さい		
模式図						

一方、地盤の良し悪しは、地層が形成されてからの年月によります。地層が形成されてからの年月が短い地盤ほど軟弱です。日本の平野部の大部分は、河川の三角州など沖積世に形成された堆積層で、軟弱な地盤が多いといえます。



4) 土の工学的な着目点

工学的な観点から、**土(地盤)**を眺めますと、右の5つの見方(ポイント)ができます。

- ① 土の重さ
- ② 土の強さ
- ③ 土の変形
- ④ 土圧
- ⑤ 地下水

①**土の重さ(自重、浮力)**： 土・地盤が主働的に荷重として、仮設構造物に作用する。

- ・土の自重、水圧、浮力、土のふけ率(体積変化率)

②**土の強さ(地盤の安定)**

： 地盤が荷重を受働的に受けた場合、せん断破壊しないか、沈下しないか？

- ・鉛直支持力、水平抵抗力
- ・斜面の円弧滑りの滑り抵抗値(粘着力)
- ・杭の先端支持力、周面摩擦力

③**土の変形(沈下・側方流動)**

： 地盤が荷重を受働的に受けた場合、せん断破壊しないか、沈下しないか？

- ・粘性土地盤の圧密沈下と砂地盤の即時沈下
- ・地盤変形が周囲に及ぼす影響(盛土、地盤改良等の影響)
- ・地盤の液状化

④**土圧(構造物に作用する荷重)**： 荷重として作用する。

- ・擁壁や山留壁に作用する主働・受働土圧
- ・地下構造物に作用する静止土圧

⑤**地下水**

- ・湧水、土砂崩れ、土石流
- ・盤ぶくれ、ボイリング、パイピング

①土の重さ(自明なので省略させてください。)

②土の強さ

一般的に土のせん断強さは、以下の式で表される。

$$t_f = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{クーロンの破壊基準})$$

ここで、
 t_f : せん断強さ (kN/m^2)
 σ : せん断面上の垂直応力 (kN/m^2)
 c : 土の粘着力 (kN/m^2)
 ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$)

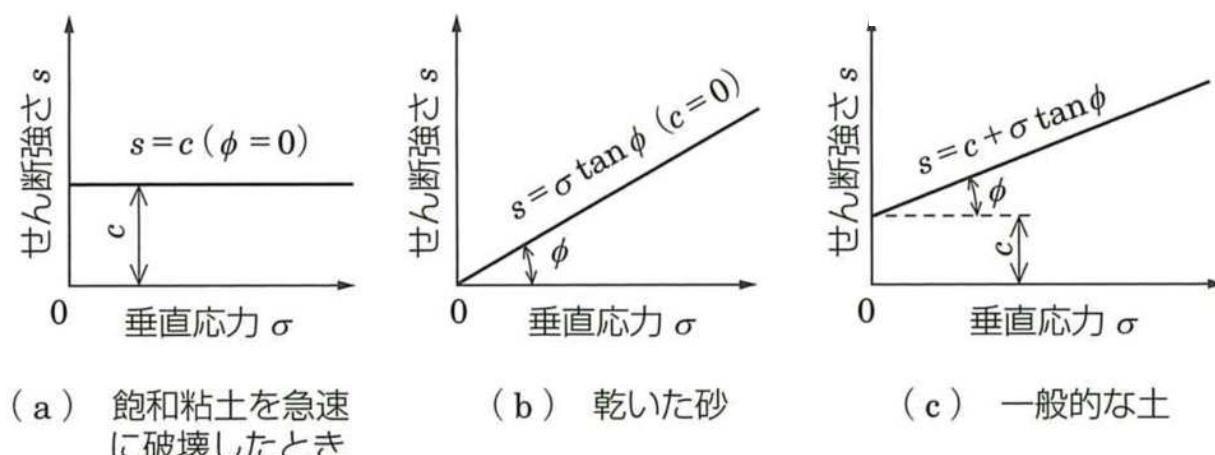
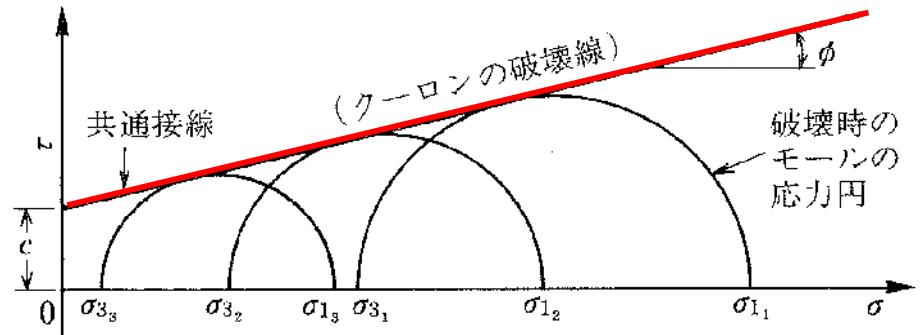
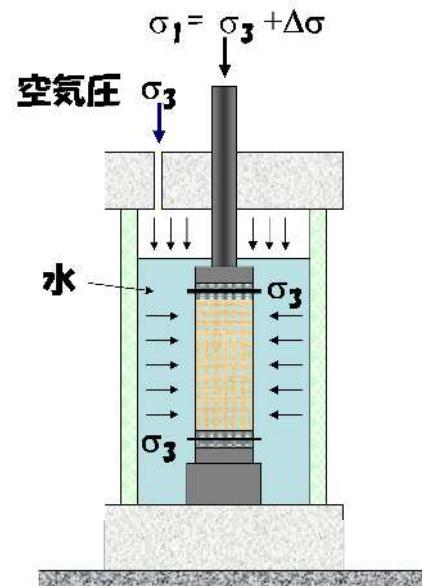


図 5・6 土の種類によるクーロンの式

- 砂質土: $c=0$ とみなせる土 → (図 1-17 の II)
- 粘性土: $\phi=0$ とみなせる土 → (図 1-17 の III)



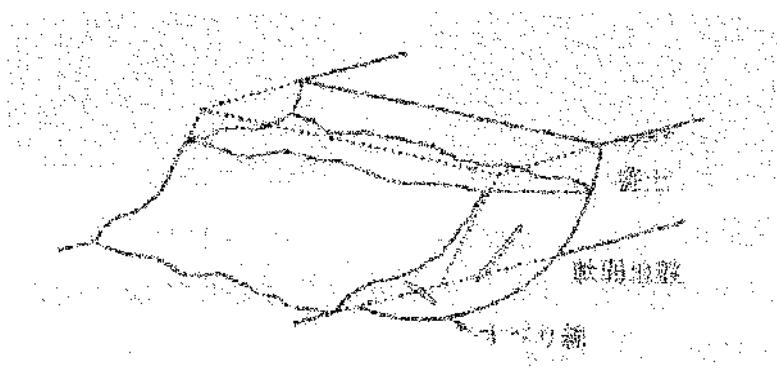
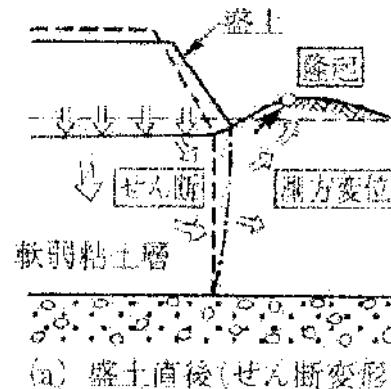
モールの応力円による c , ϕ の決定



三軸圧縮試験の模式図

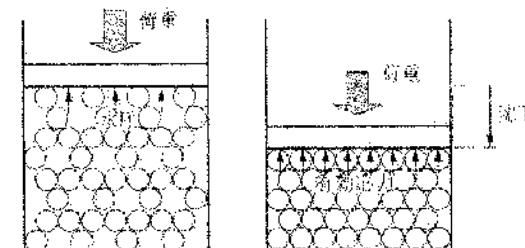
③土の変形について(沈下・側方流動)

地盤の変形には鉛直方向(沈下・隆起)と水平方向(斜面崩壊・側方流動)の2方向の変形がある。



土が構造物・盛土等を支えてこれらの荷重を受けると、圧縮変形を生じる。土粒子は非圧縮性なので、土が圧縮するということは、実は土中の間隙(空気及び水)が変化している。(下図のように)地盤の変形には鉛直方向(沈下・隆起)と水平方向(斜面崩壊・側方流動)の2方向の変形がある。

土粒子→非圧縮
間隙(水、空気)→間隙は変化する



(a) 載荷直後(ゆるい状態)

(b) 荷重後(密な状態)

- ・砂(砂質土)は荷重を受けると、間隙が変化し、すぐに沈下する → **即時沈下**
- ・粘土(粘性土)は荷重を受けると、時間をかけて沈下する → **圧密沈下**

沈下性状の違い(砂質土、粘性土)

土質	沈下性状	沈下時間	沈下特徴
砂質土	少ない	短い	即時沈下
粘性土	多い	長い	圧密沈下

④ 土圧について(構造物に作用する荷重)

擁壁・ボックス等の構造物を作ったり、掘削をすると、地盤から荷重を受けます。この荷重が土圧(水圧)です。これらの抗土圧構造物としては、山留壁、擁壁、ボックスなどがあります。この土圧は、どのようなものなのでしょうか？(ただし、この土圧の考え方の基本は、ここ150~250年変わっていません。クーロン土圧、ランキン土圧理論です。)

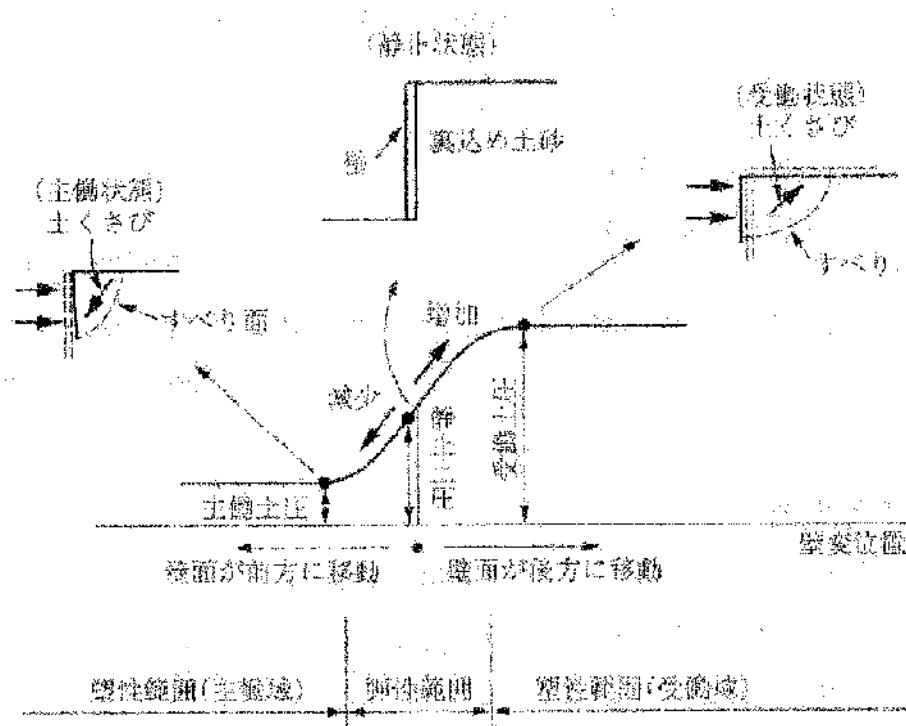
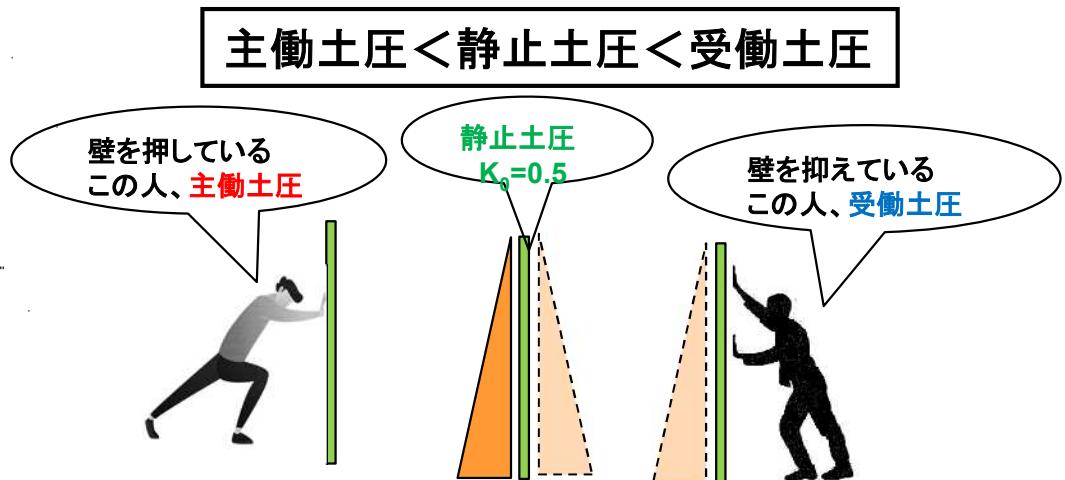


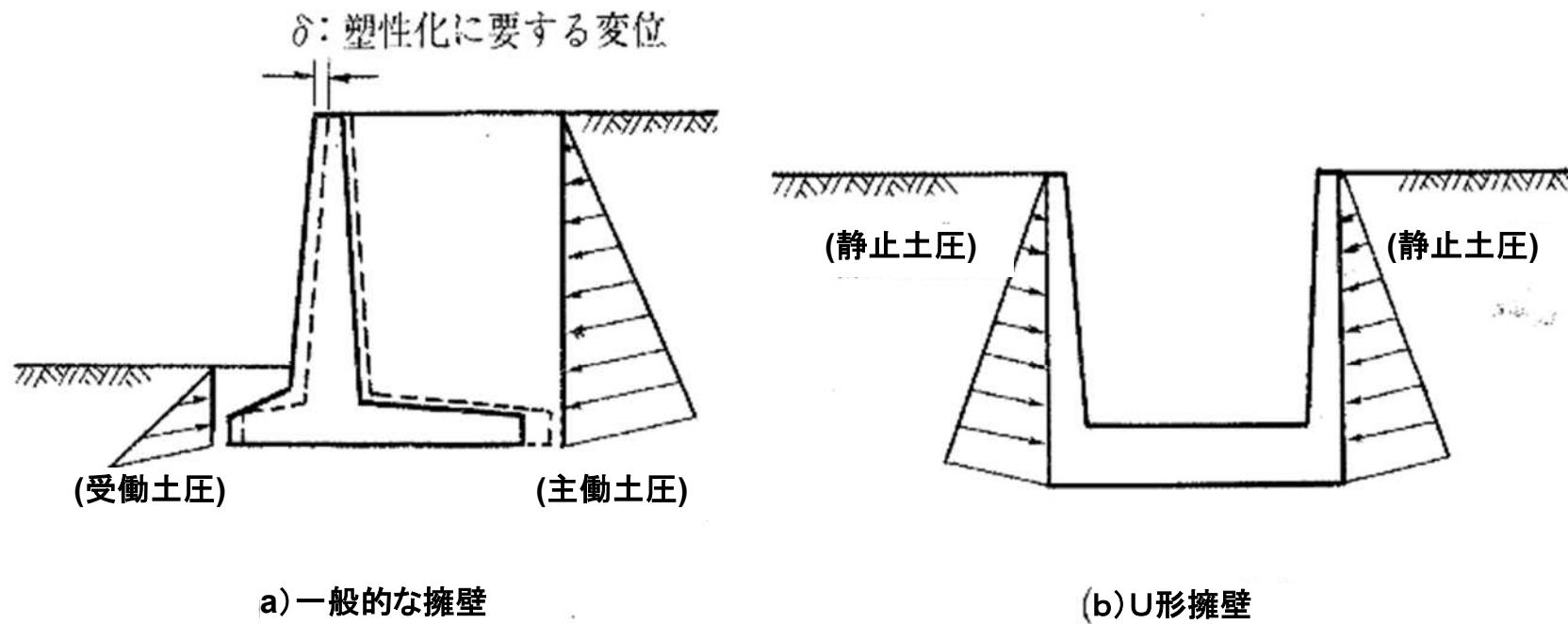
表 1-4 土圧係数の一例(標準的な砂質土の場合)

土圧の種別	記号	範囲
主動土圧	K_a	0.3~0.4
静止土圧	K_0	0.4~0.6
受動土圧	K_r	2.5~3.7

式 $c=0 \text{ kN/m}^2$, $\phi=25\text{--}35^\circ$ として計算
 $K_a = 1 - \sin \phi$, $K_0 = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$, $K_r = \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$

主動土圧 < 静止土圧 < 受動土圧





設計土圧の考え方

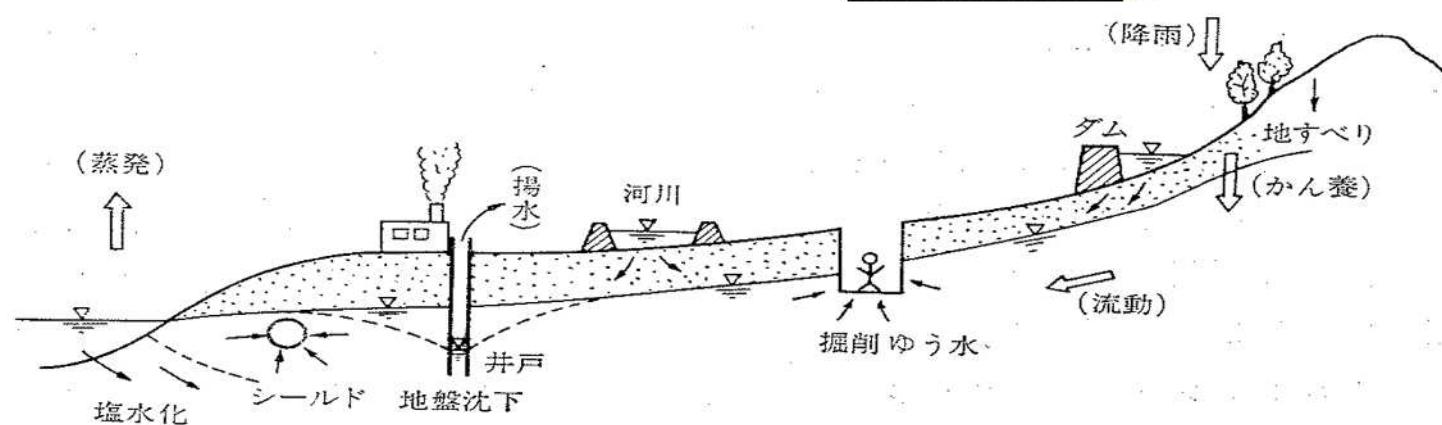
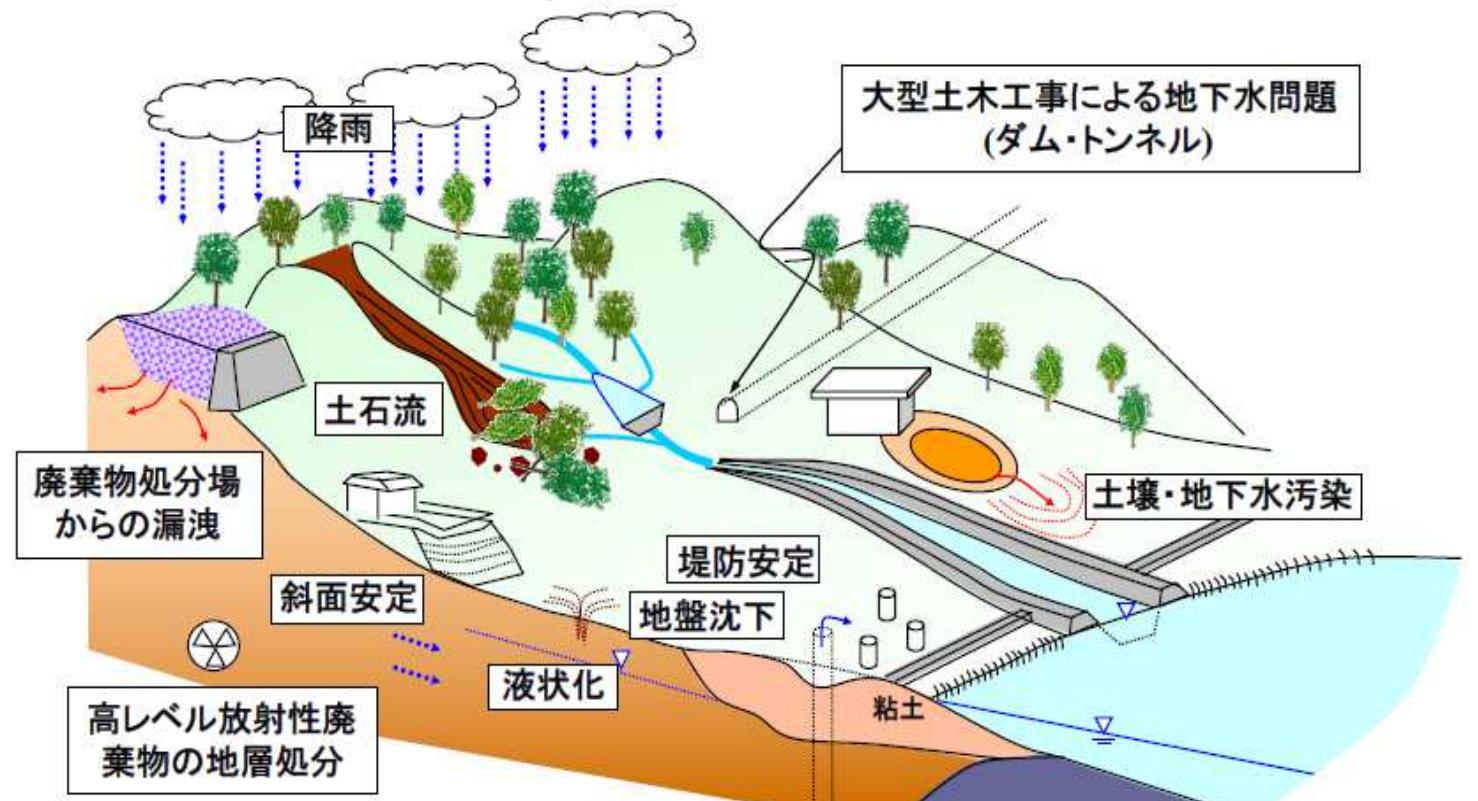
【土圧の使われ方】

擁壁・山留壁の設計→背面主働土圧、前面受働土圧⇒**仮設設計に用いる。**

ボックス・地下ピット → 静止土圧

⑤ 地下水について

＜地下水は邪魔や？→地下水は何処から来るの？＞

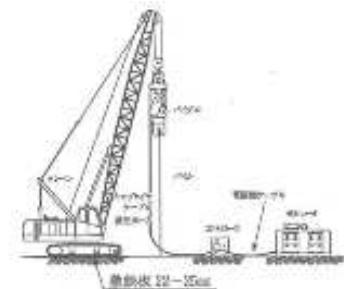
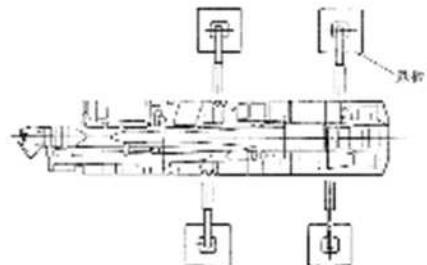


5) 地盤調査

仮設設計を行うには、今まで説明した土を工学的性質を把握しないといけませんが、現場の土は見ただけではわかりません。

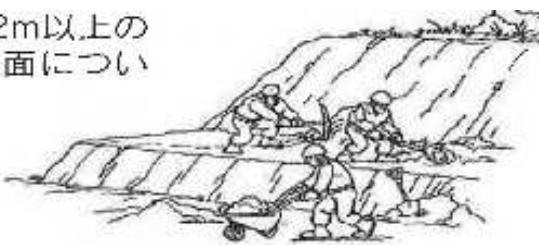
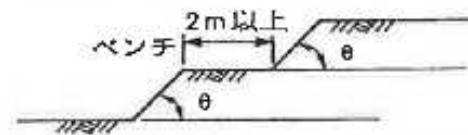
現場の土が強いのか？弱いのか？掘削したときにどの程度の土圧がかかるのか？
現場の土がどのような土なのかを把握しないと、どんな仮設構造物を作つてよいのか？
わかりません。（地盤は固い？柔かい？自立するのか？地盤は重たい、軽いのか？）

例えば、現場でクレーン作業をする場合、例えば、100Tクローラクレーンを搬入する場合、現場の地盤が粘性土で柔かければ、地盤にめり込み、搬入することができません。その場合、地盤を改良するのか、敷き鉄板を敷かないといけないのか、わかりません。



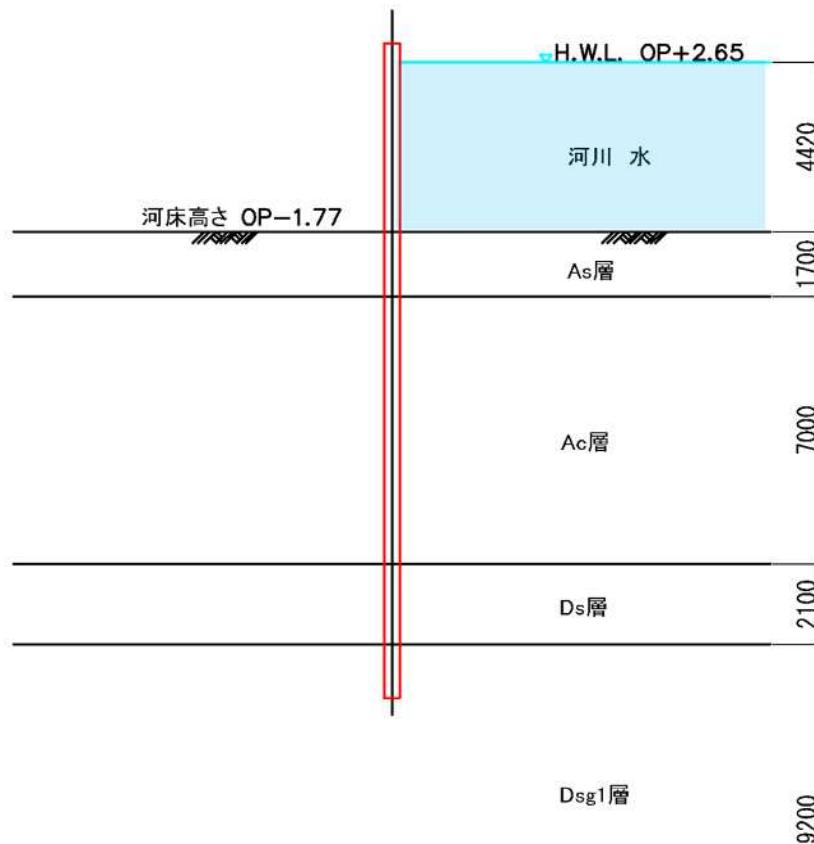
オープン掘削を行うのに、法面勾配は5分、1割、1割5分にすればよいのかもわかりません。山留掘削するときの山留壁は鋼矢板Ⅲ、Ⅳ型？ 支保工はH-300、400？

- 手掘り掘削（掘削面に、奥行きが2m以上の水平な段がある時は、段毎の掘削面について適用）の場合



そこで、**現場の地盤**を知るために「**地盤調査**」を実施しないと判断できません。

＜土の工学的判断の指標＞



【土の指標】

- ① 土の層厚
- ② 地盤の地下水位
- ③ 土のN値
- ④ 内部摩擦角(ϕ °)
- ⑤ 粘着力(C kN/m²)
- ⑥ 変形係数(E kN/m²)
- ⑦ 透水係数(s cm/sec)

地層	深度 (m)	層厚 (m)	N値	単位体積重量		内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	変形係数 $\alpha \cdot E_0$ (kN/m ²)
				湿潤	水中			
				(kN/m ³)				
河床高さ	OP-1.77	—	—	—	—	—	—	—
As層	OP-3.47	1.70	8	17	7	31	—	20,000
Ac層	OP-10.47	7.00	3	16	6	—	51	7,500
Ds層	OP-12.57	2.10	15	18	8	32	—	37,500
Dsg1層	OP-21.77	9.20	30	19	9	36	—	97,500

5-1) 地盤調査とは

地盤調査とは対象地盤の地形・地質構造・土質の分布や地下水の状況、地盤を構成する土や岩盤の工学的性質を明らかにするために行う調査全般をいう。

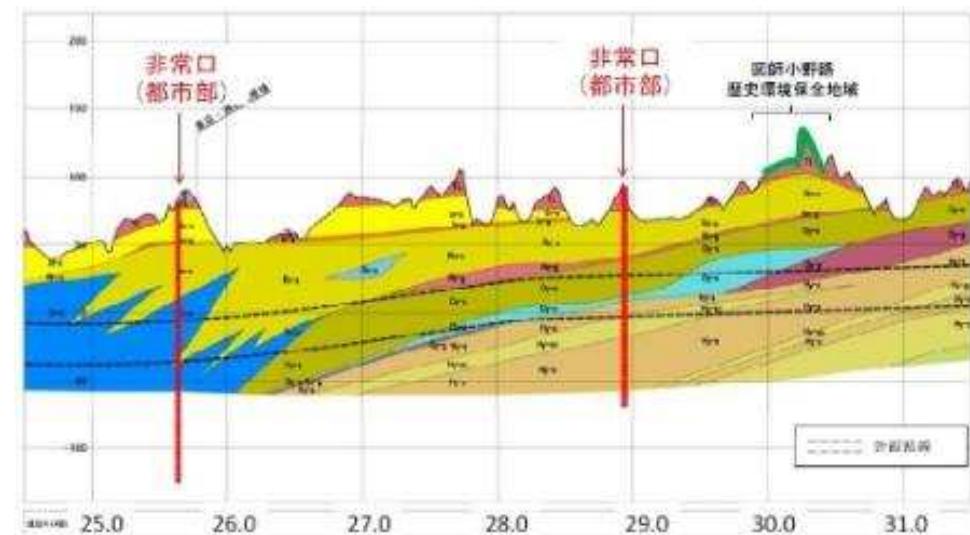
地盤調査は以下の表のように分類される。

項目	地盤調査	調査内容
5-3)	原位置試験	調査対象の現地で直接的に地盤の性能を調べる。
5-4)	土質試験	調査地点で土質試料を採取して、室内の土質試験で調べる。

皆さんご存知の「地質調査報告書」と「ボーリング柱状図」は地盤調査の報告書です。下図が地質調査報告書によく載っている地質分布図と地質縦断図です。



ある地域の地質分布図



地質縦断図

5-2) ボーリング柱状図で、何が判るか？

- ・ボーリング柱状図が現場の土を物語っている。
- ・設計・施工の手がかりである。

- ①敷地全体の地盤構成を予測する。
- ②地下水位高さを把握する。被圧水層がないか？
- ③地盤に適した構造物設計をする。
- ④地盤に適した施工方法であるか？施工方法を変更する。

図1 岩盤のボーリング柱状図

- ・ボーリング孔の高さ
- ・岩種
- ・地層の深度、層厚
- ・RQD(1m当たりの岩亀裂高さ)
- ・岩盤は固いのでN値の測定ができない。

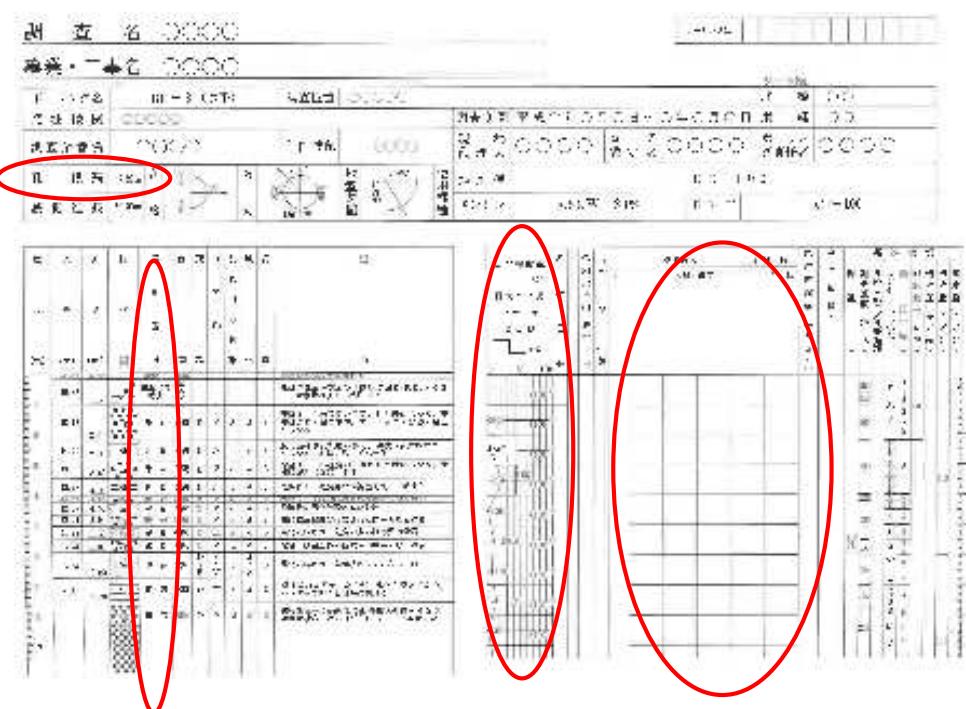
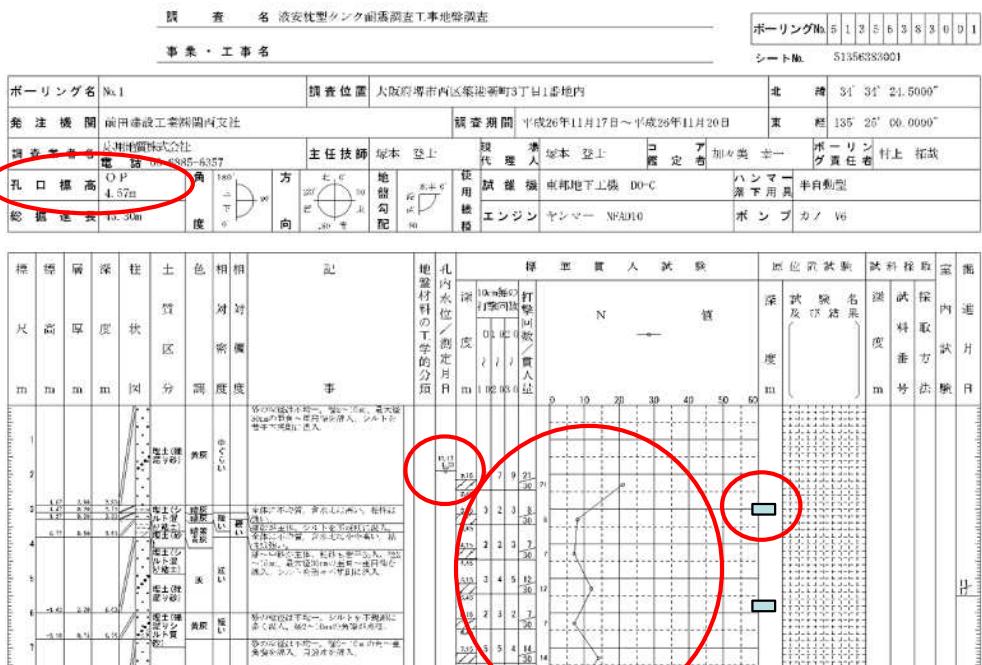


図2 土砂のボーリング柱状図

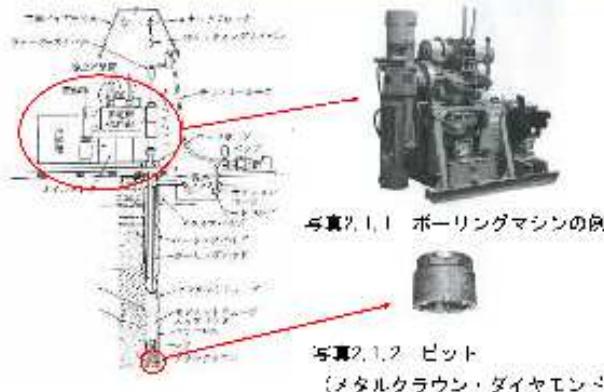
- ・ボーリング孔の高さ
- ・孔内水位
- ・地層の深度、層厚
- ・N値(自立性、支持地盤)
- ・力学試験、物理試験の深度



5-3) 原位置試験

①ボーリング調査 → コア採取で、地層厚と土質性状

- (1) ピットを回転させ掘削、コア採取を行う。
 (2) 掘削孔は各種原位置試験孔としても利用する。



ボーリングコア

②標準貫入試験 → N値

- (1) 質量63.5kgのハンマーを760mmの高さからアンビルに自動落下させSPTサンプラーを打ち込む。
 (2) N値はSPTサンプラーを300mm打ち込むのに要する打撃回数。

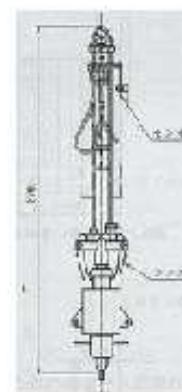
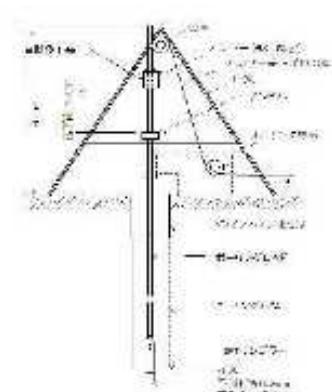
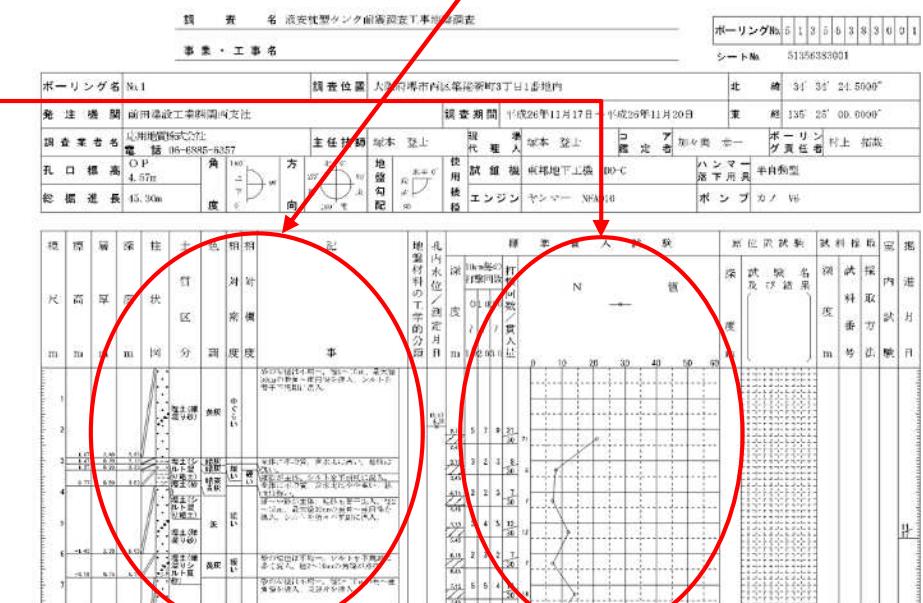


図2.2 標準貫入試験装置の例

写真2.3 自動落下装置の例



ボーリング柱状図

5-4) 土質試験(土の室内試験)

① 土の粒度試験 土層の性質：均一な砂、バランスよく混ざった粒度分布、流動化しやすいとか？



写真-2 しらいをや



写真-3 粒度分布

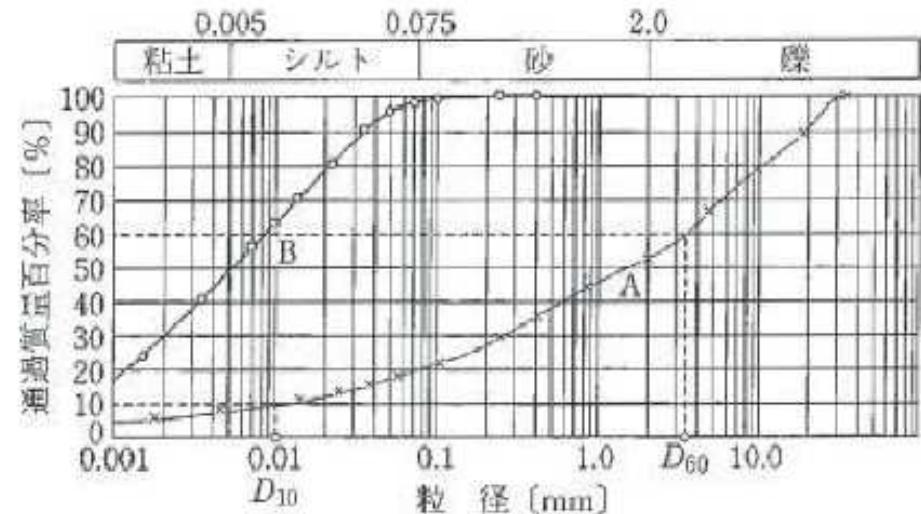
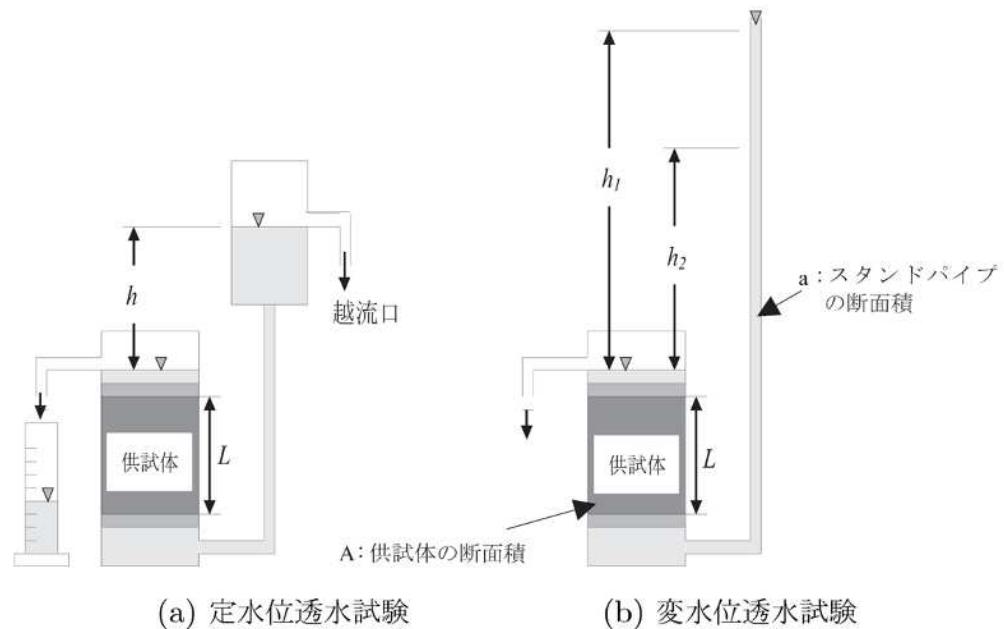


図-2 粒径加積曲線の例

② 土の透水試験 土の透水性を把握。



【土の透水係数】

砂 : $1 \times 10^{-0} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

シルト・粘土 : $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$

不透水層とは : $1 \times 10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$

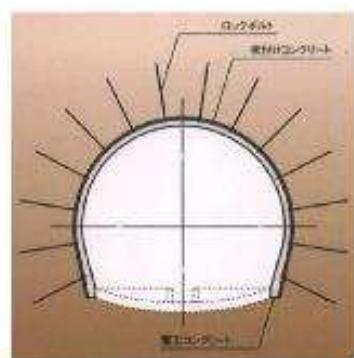
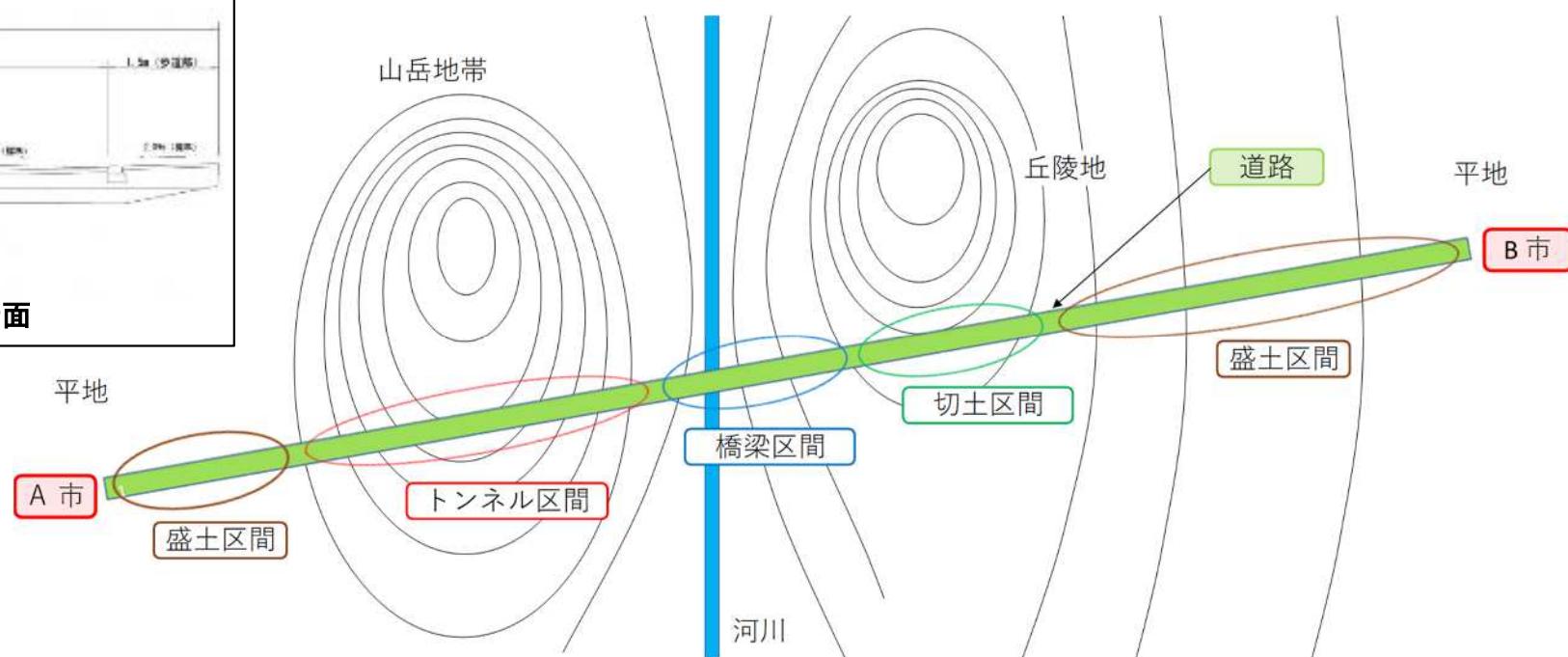
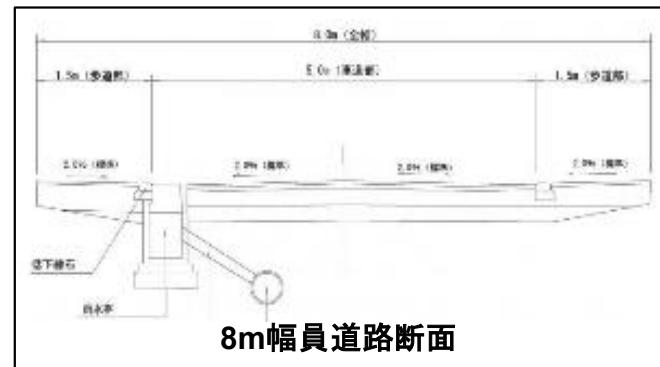
第3章 土木において土質を把握する必要性とは？

1) 何故、土質・地盤を把握する必要があるのか？

A市B市との間に、幅員8mの道路を計画するとします。

その2つの市の間に山、川などがあり、以下のような多くの土木構造物(トンネル・橋梁・切土・盛土等)を作る必要があります。

これらの土木構造物を作るには、その土木構造物を支持する地盤(岩盤、土砂)を把握・理解する必要があります。



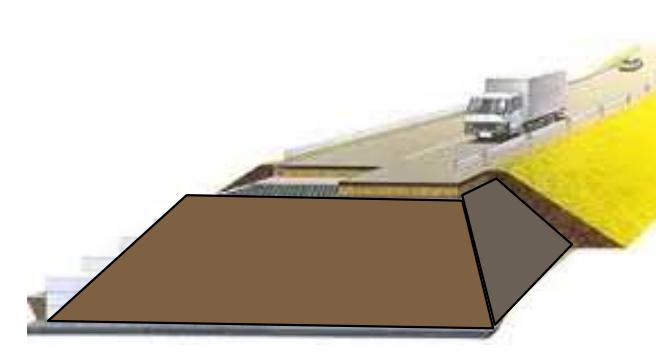
トンネル区間



橋梁区間



切土区間



盛土区間

2) 橋梁では、地盤調査で橋梁基礎形式が決まる。

橋梁基礎部の地盤性状を調査して、地盤に適した橋梁基礎形式とする。

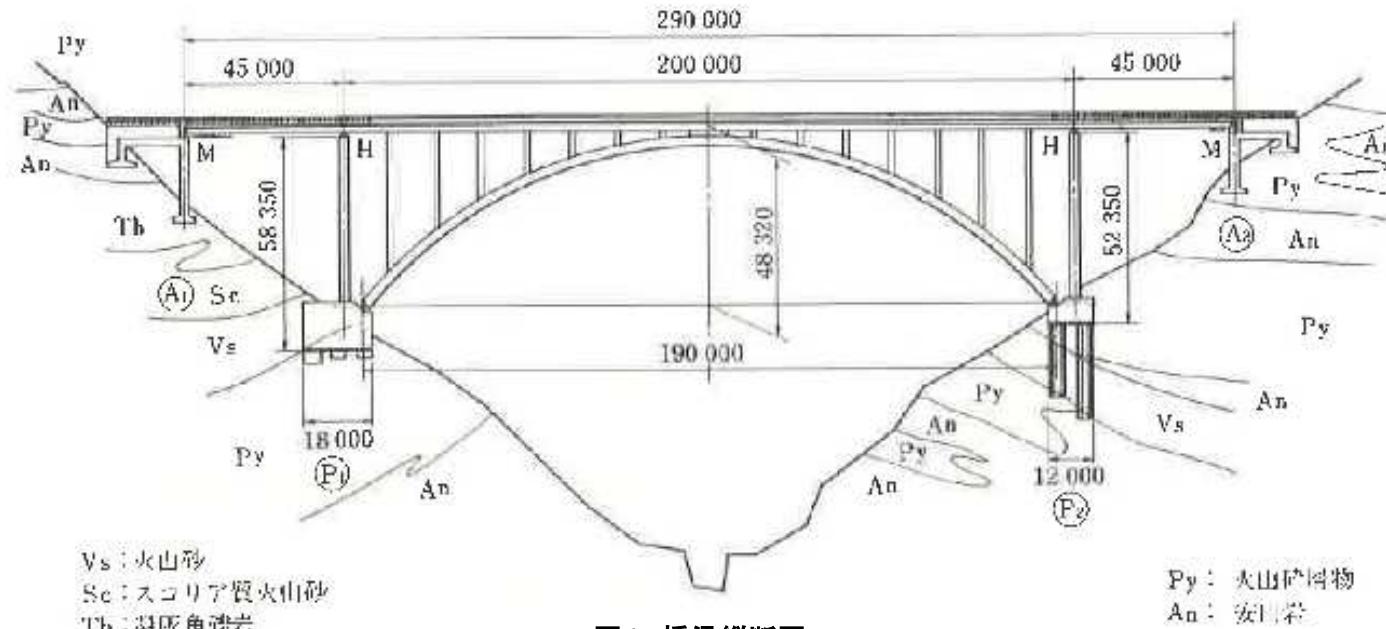


図1 橋梁縦断図

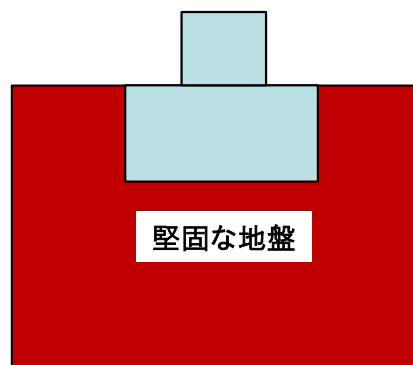


図2 直接基礎

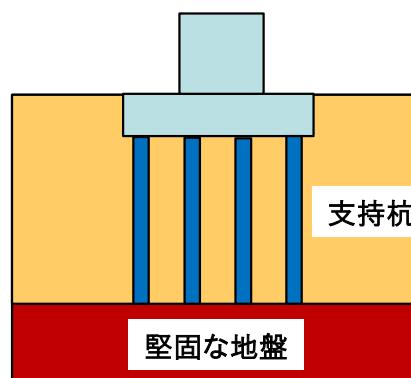


図3 杭基礎(支持杭)

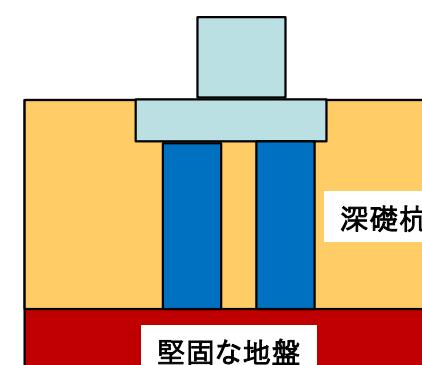


図4 深基礎杭基礎

3)トンネルは岩盤調査でトンネル覆工仕様が決まる

トンネル区間の岩盤性状(A～D級の岩級区分との亀裂により、トンネルの設計・施工方法が決定する。

図1 岩盤等級と主な物理定数

岩盤等級	岩盤の変形係数 (kg/cm ²)	岩盤の静弾性係数 (kg/cm ²)	岩盤の粘着力 (kg/cm ²)	岩盤の内部摩擦角 (°)	岩盤の弹性波速度 (km/sec)	ロックテスト ハンマー 反発度	孔内載荷試験による		引き抜き 試験による せん断強度 (kg/cm ²)
							変形係数 (kg/cm ²)	接線弾性係数 (kg/cm ²)	
A～B	50,000以上	80,000以上	40以上	55～65	3.7以上	36以上	50,000以上	100,000以上	20以上
C _H	50,000～ 20,000	80,000～ 40,000	40～20	40～55	3.7～3	36～27	60,000～ 15,000	150,000～ 60,000	
C _M	20,000～ 5,000	40,000～ 15,000	20～10	30～45	3～1.5	27～15	20,000～ 3,000	60,000～ 10,000	20～10
C _L	5,000以下	15,000以下	10以下	15～38	1.5以下	15以下	6,000以下	15,000以下	10～5
D									5以下

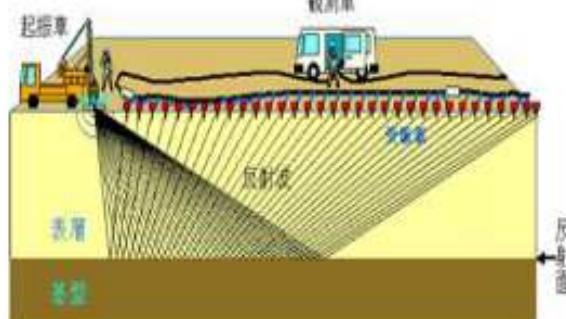


図3 陸上反射法による探査の模式図

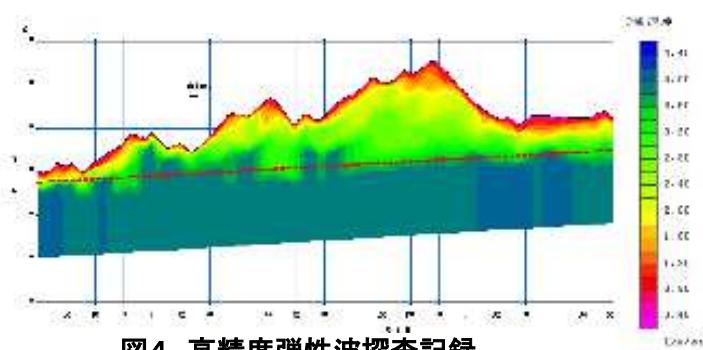


図4 高精度弾性波探査記録

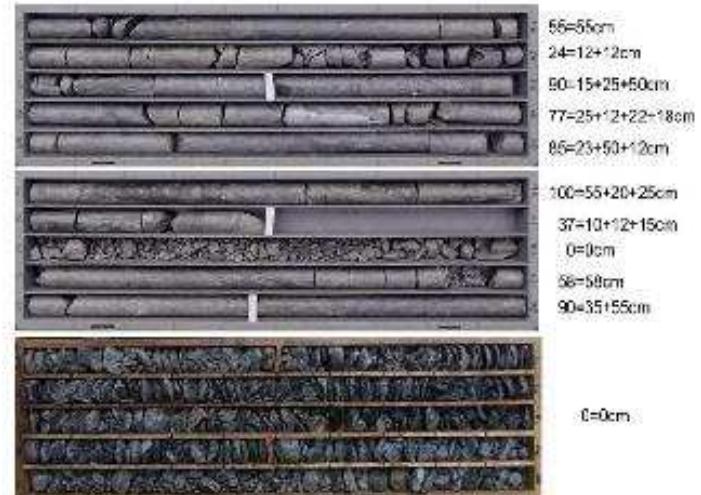
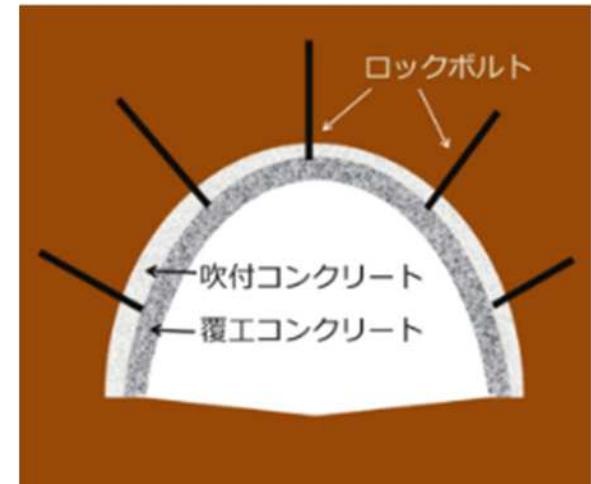
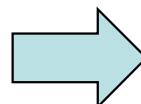


図2 ボーリングコアとRCD



NATM

4)トンネルの標準的な施工順序

①掘削

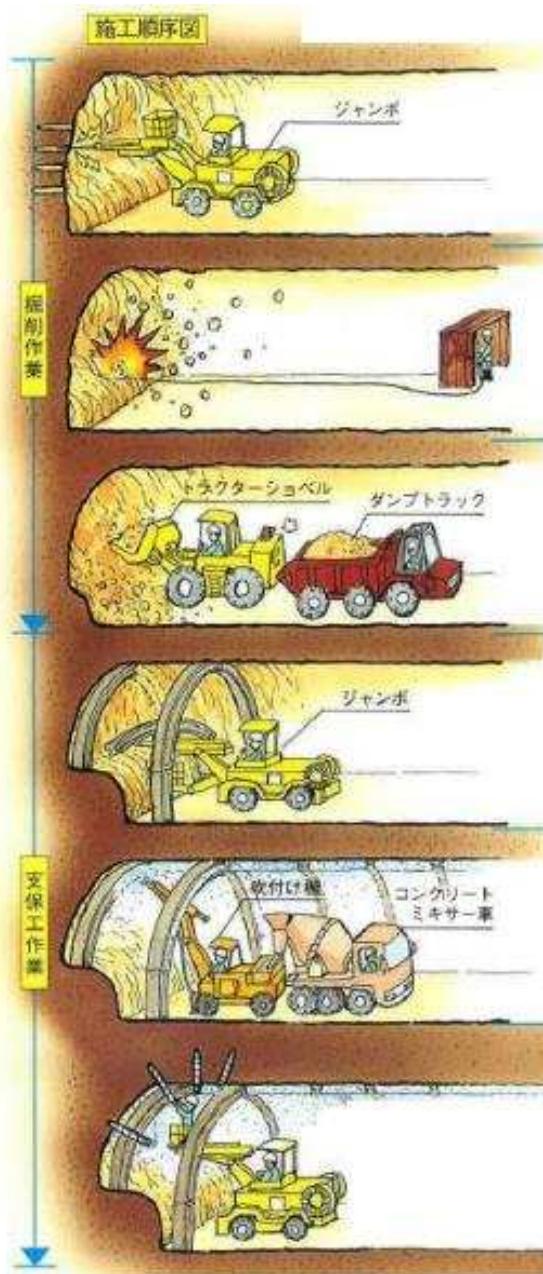
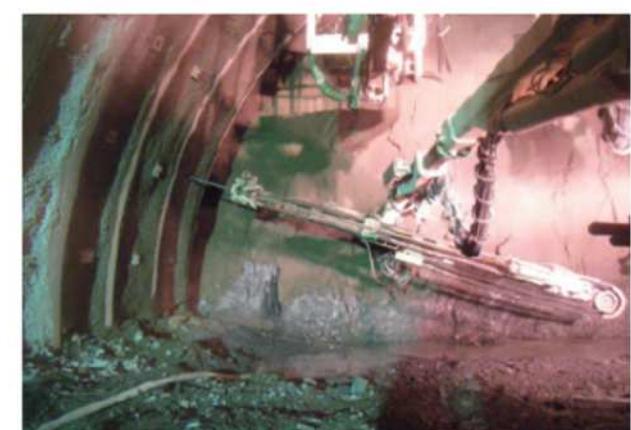
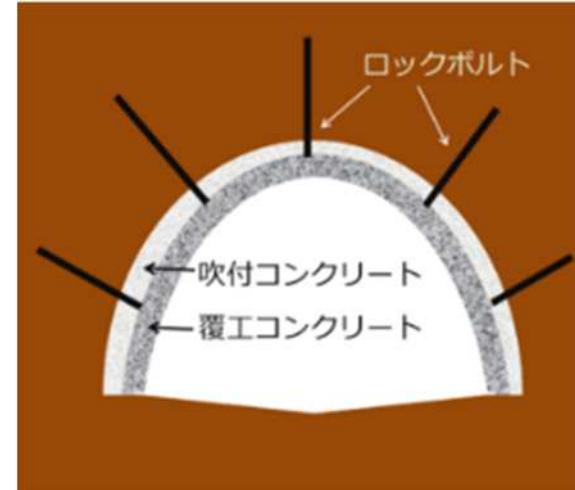


図5 トンネルの施工方法及びフロー図



第4章 道路維持補修工事について

1) 道路維持補修工事の種類

日本では、以下の工事が道路維持補修工事の標準積算対象工事となっています。それについて簡単に述べます。

①道路舗装に関する補修工事



舗装路面の切削工事



コンクリートカッタ機による舗装路面切断工事



大型ブレーカによる舗装壊し工事



タイヤローラによる道路路盤締固め工事



ロードローラによる道路路盤締固め工事



ロードローラによる舗装締固め工事

②道路舗装・道路施設の補修工事



舗装路面の清掃工事



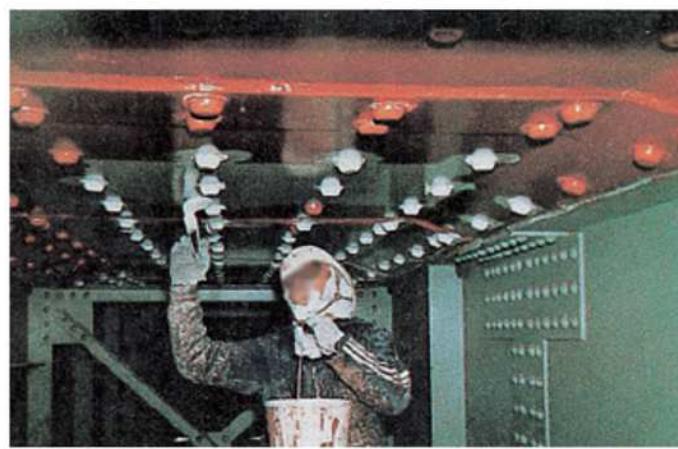
舗装路面クラックのアスファルト溶材注入工事



落石防止柵支柱の塗装工事



ガードレールの塗装工事



鋼製床版の塗装工事



コンクリート床版の炭素繊維シート補強工事

③橋梁の補強・補修工事



橋脚のコンクリート補強・鉄筋アンカーエ



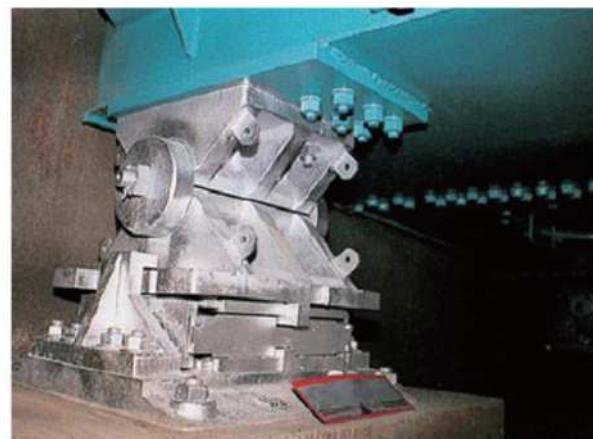
橋脚のコンクリート補強・鉄筋組立工



橋脚のPC鋼棒による落橋防止工



橋梁の支承交換(旧支承)



橋梁の支承交換(新支承)



橋脚のチェーンによる落橋防止工

④道路清掃工・トンネル設備補修工事



肩掛式草刈機による道路除草作業



ブラシ式路面清掃車による道路清掃作業



バキューム車による道路側溝清掃作業



高所作業車によるトンネル照明确保作業



トンネル覆工ひび割れ防止注入工



高所作業車による防水板設置作業

⑤道路埋設管設置工・グルーピング工事



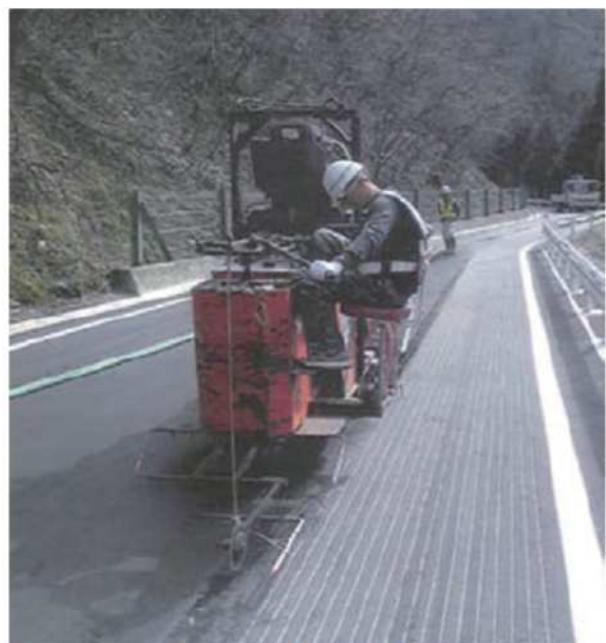
電線・光ケーブル等のさや管設置工事



電線・光ケーブル等のさや管設置工事



歩道橋階段補修工事



グルーピング工法溝切削工事



グルーピング工法

注)グルーピング工法は路面に6mm B × 4mm Hの溝を切り、その溝に路面排水を流すことで、路面の制動性能を増す工法です。また、横方向にグルーピングすることにより、ドライバーの居眠り運転・速度違反を警告することができる工法です。

1. 盛土部の安定

道路盛土の材料は2種類あります。

- ①岩 : 岩盤を最大粒径600mm以下に岩碎にして、細粒分土砂を混せて盛土します。
- ②土砂 : 土砂の細粒分含有率・含水率を管理して盛土します。

盛土をする場合、基礎地盤の地耐力と盛土自体の締固め度が盛土の安定に重要な要素となる。

- ①基礎地盤の地耐力、沈下
- ②盛土の安定:円弧辺り、盛土の沈下

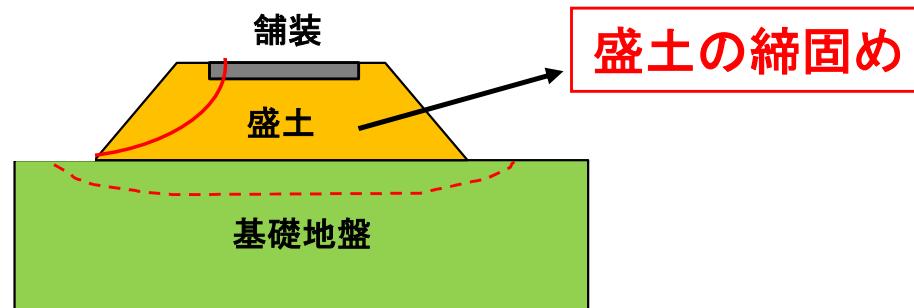
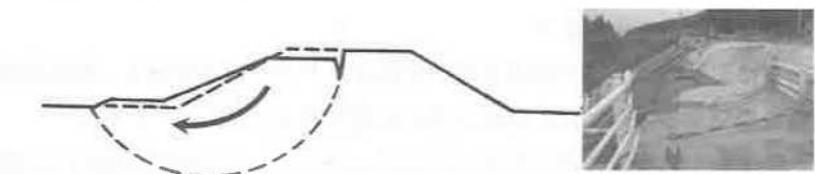


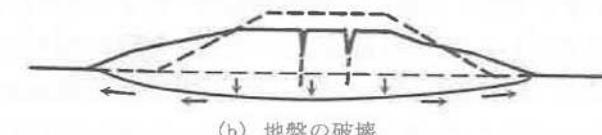
図1 盛土部



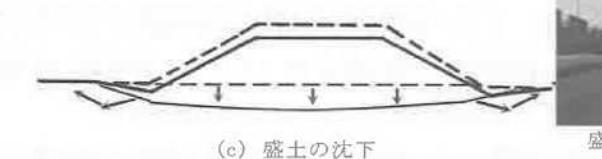
図2 盛土断面



(a) 盛土の崩壊



(b) 地盤の破壊



(c) 盛土の沈下



盛土の沈下に伴う側方変位の例

図3 軟弱地盤上の盛土の変状例

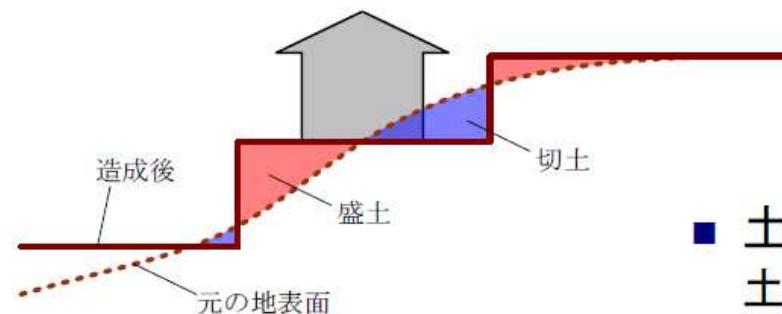
2. 土の締固めとは

1) 土の締固めの概念

- 住宅地の造成: 土を盛る(盛土), 土を削る(切土)

→ 変形しにくい締まった状態にすることが重要

(他にも鉄道・道路, ダム, 堤防など)



■ 締固めの効果

- 圧縮性の低下: 沈下しにくい
- せん断剛性・強度の増加: 壊れにくい
- 透水性の低減: 水を通しにくい

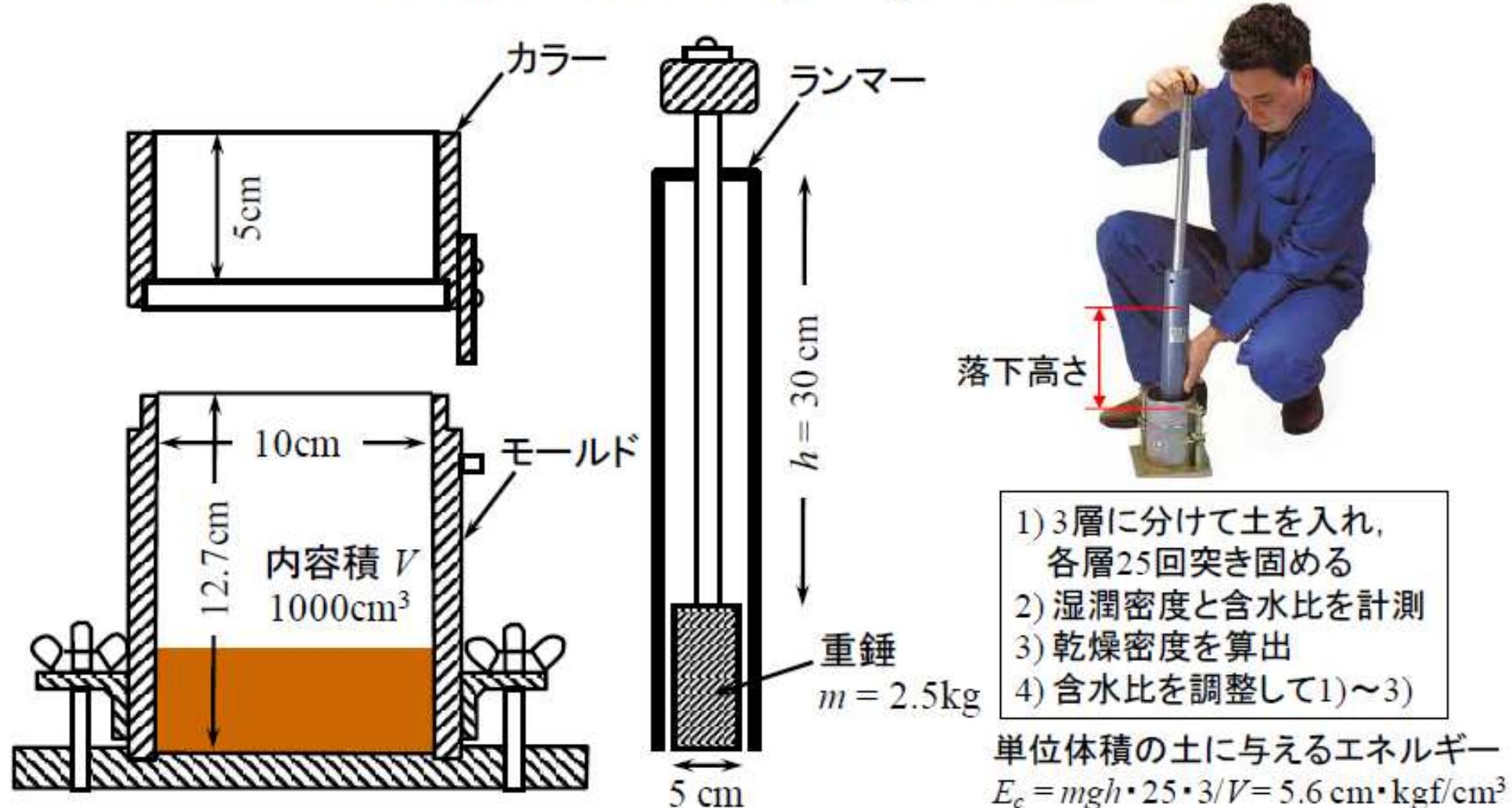
- 土の締固め(soil compaction)とは?
土に力を加えて間隙空気を追い出して密度を高めること

- 良い盛土を作るには土の種類と締固め方法が重要
 - 土の種類によって締固め特性が大きく異なる
 - 締固めエネルギーと含水量(含水比)が大きく影響

- プロクター(Proctor)による締固めの基本概念(1933)
ある一定のエネルギーで締固めると, 密度が最大になる
含水比(最適含水比, optimum water content)が存在(含
水比が締固め度合いを支配)

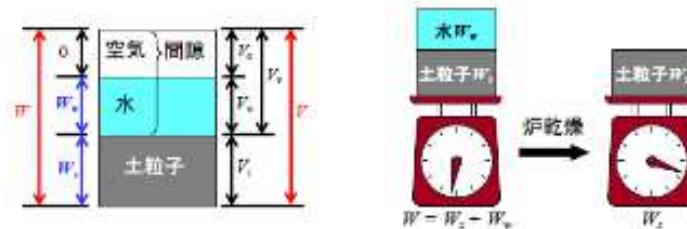
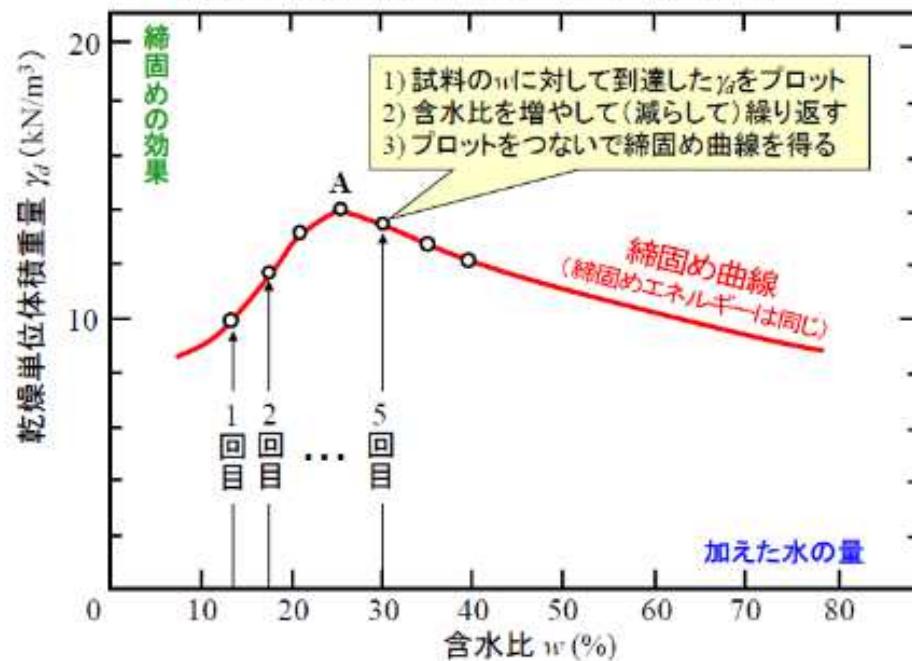
2) 土の締固め試験の方法

土の締固め試験(compaction test)



3) 土の締固め試験の結果

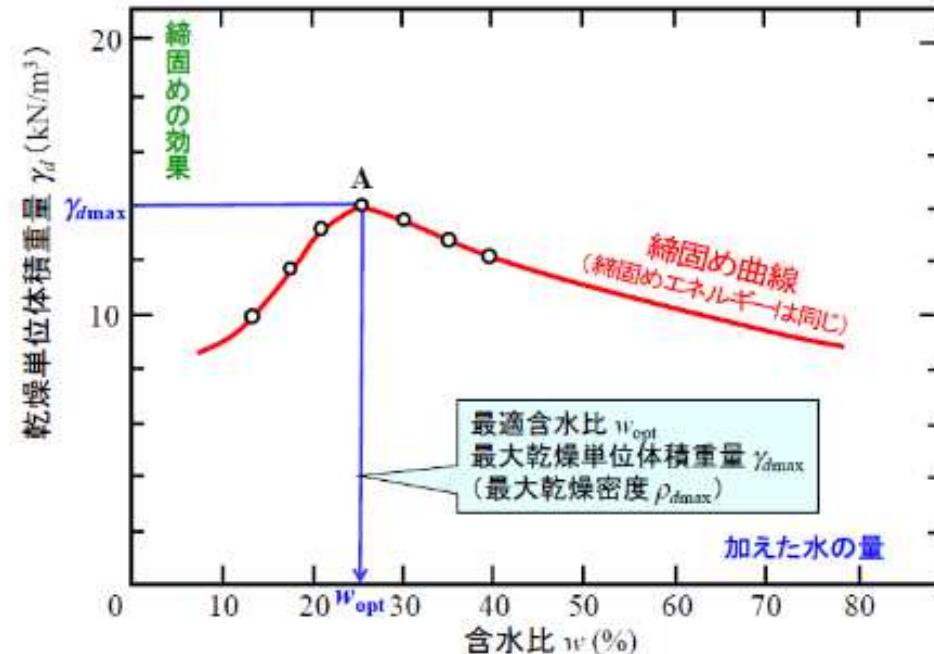
締固め試験の整理 (w - γ_d 関係)



■ 湿潤単位体積重量 $\gamma_t = \frac{W}{V}$

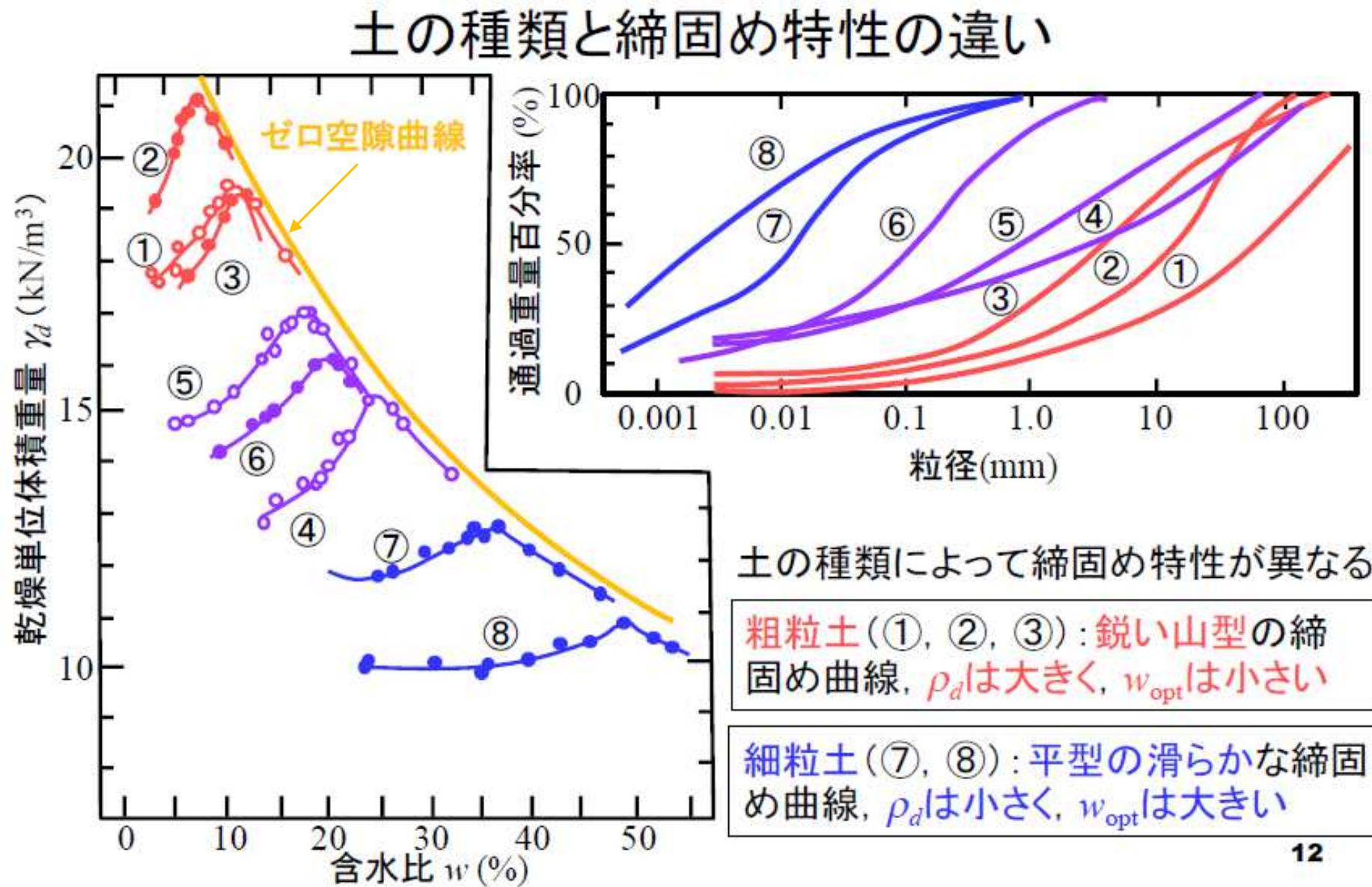
■ 含水比 $w = \frac{W_w}{W_s}$

■ 乾燥単位体積重量 $\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma_t}{1+w}$



締固め試験の整理(最適含水比と最大乾燥密度)

4) 土の締固めの特性



5) 盛土締固め管理方法

- ・土砂は密度が詰まった状態になると、土砂の強度が強くなります。(図1参照)
- ・この性状を利用して盛土自体の強度を高めます。この行為を「**土砂の締固め**」と言います。
- ・盛土の施工において、使う盛土材毎に決まる最適乾燥密度に近づける施工をすることが『**盛土の締固め管理**』なのです。

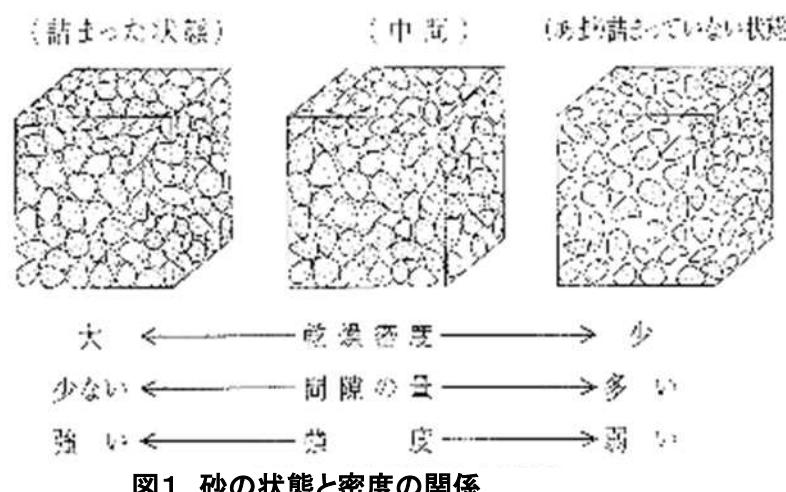


図1 砂の状態と密度の関係

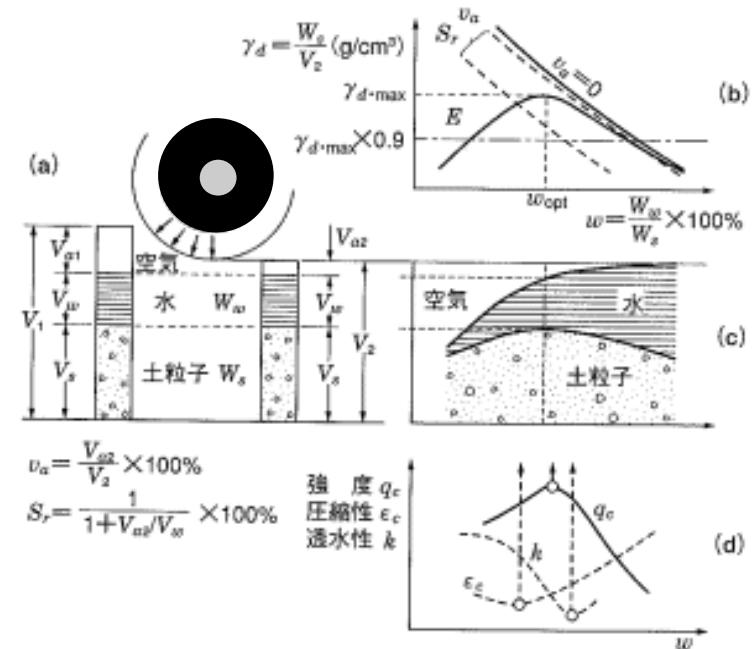


図4 砂の状態と密度の関係

〈土質区分と盛土・路体に適応した締固め機械一覧表〉

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	被けん引式	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	
			自走式	非牽引式	自走式	被けん引式	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	
			転圧力(kN)			転圧力	転圧力	転圧力	転圧力	転圧力	転圧力	
盛土 ・ 路 体	岩塊などで、転圧によっても 容易に細粒化しない	100~60	◎	◎								硬岩
		60~30	◎	◎	○							
盛土 ・ 路 体	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	30	○	○	○	○		大	大			軟岩 脆弱岩
		60~30	◎									
盛土 ・ 路 体	単粒度の砂、細粒分の欠けた 切込砂利、砂丘の砂など	30	○	○	○	○		□	□	大	大	砂 礫混じり砂
		60~30	○									
盛土 ・ 路 体	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	30	○	○	○	○		□	□	大	○	砂質土 礫混り砂質土
		60~30	○									
盛土 ・ 路 体	細粒分が多いが鋭敏性の低い土、 低含水比の関東ローム、ぐだき やすい土丹など	30				○	○	○		□	大	粘性土 礫混り粘性土
		30									○	
盛土 ・ 路 体	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
		30										
盛土 ・ 路 体	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
		30										



図5 土砂の締固め重機・機械

6) 実際に行われている現場の盛土締固め管理

工事現場においては、以下の①～③の「盛土の締固め管理」があり、そのいずれかを実施します。

- ① 原位置試験で、現場密度試験(砂置換法、水置換法)と現在含水比試験を実施することで、盛土地盤の湿潤密度と含水比を求とめる。(図1、2)
- ② 放射性同位元素 RI 試験機により、盛土地盤の密度・含水比を測定して求める。
(放射性同位元素ガンマ線が土中を通過するときに、土の密度に応じて透過量が変化することと、中性子線が水素原子と衝突して熱中性子線に変化する性質を利用して、土の湿潤密度水比を計測する方法) (図3、4)



図1 現場密度試験



図2 現場含水比試験



図3 RI試験機

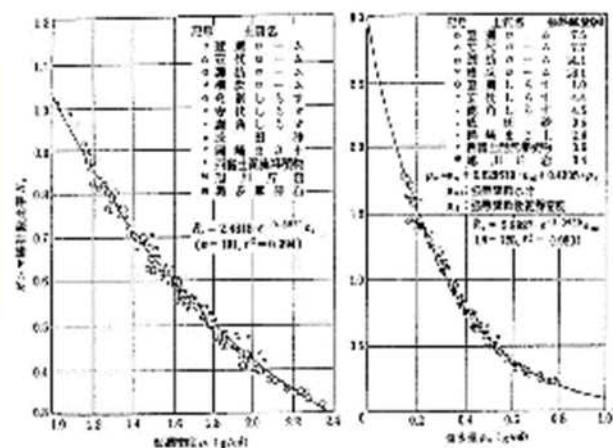
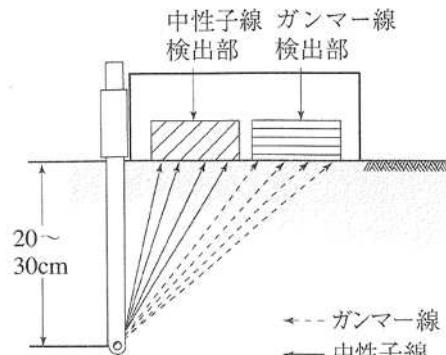
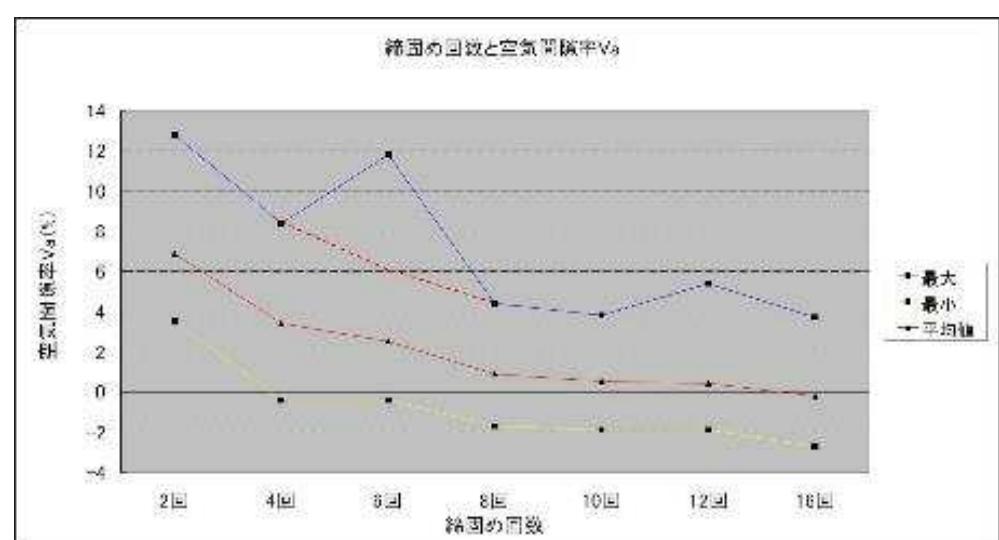
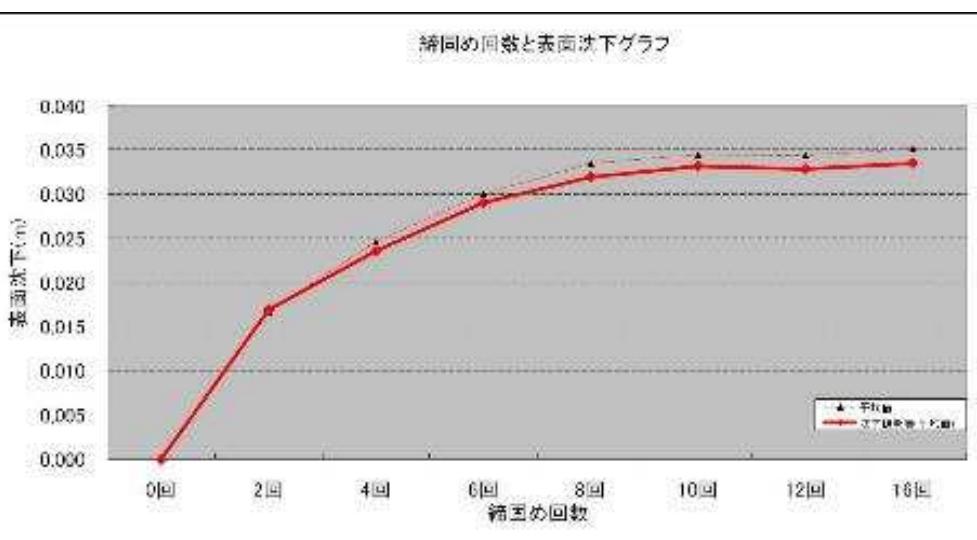
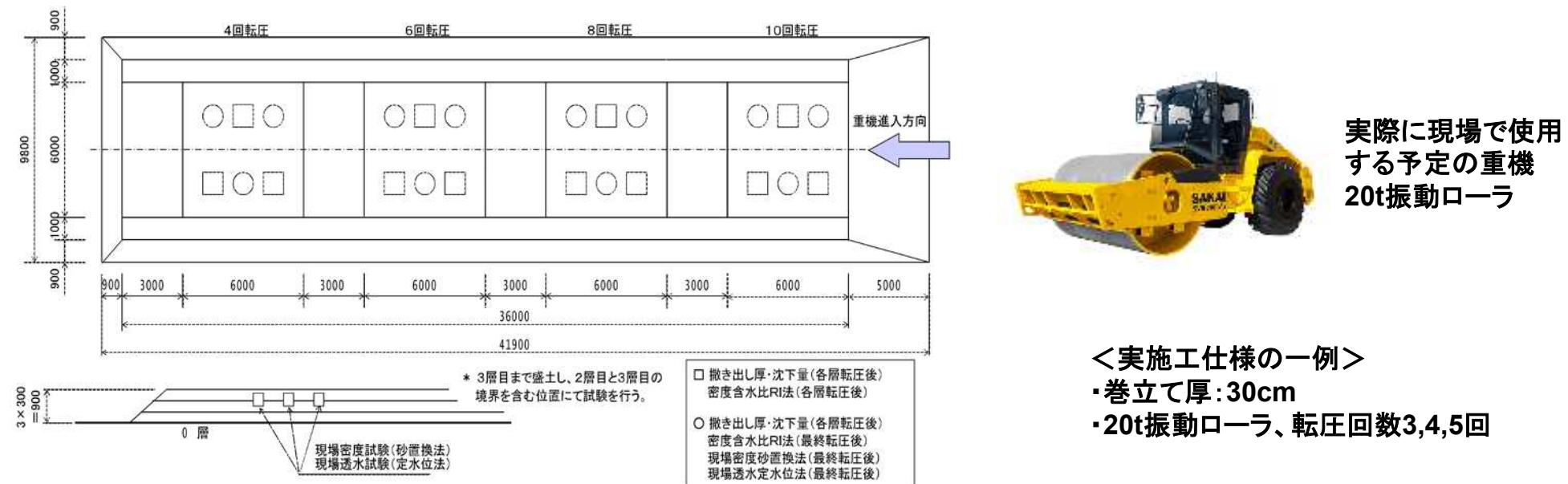


図4 盛土材の湿潤密度・含水量とRI係数値

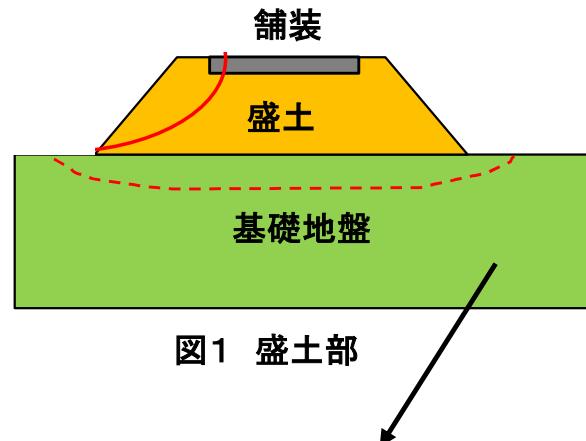
- ③その現場において、実際に使用する転圧機械と盛土材料(岩碎・土砂)を使った現地盛立試験を実施して、巻立て厚さと使用重機と転圧回数を決定する。
 (巻き立て厚さ 岩碎:600mm、土砂:300mm)



3. 基礎地盤の安定

盛土をする場合、基礎地盤の地耐力と盛土自体の締固め度が盛土の安定に重要な要素となる。

- ①基礎地盤の地耐力、沈下
- ②盛土の安定:円弧辺り、盛土の沈下



<基礎地盤の強度を確認>

- ・基礎地盤の一軸・三軸圧縮強度試験を実施する。
- ・直接、地盤の平板載荷試験を実施する。

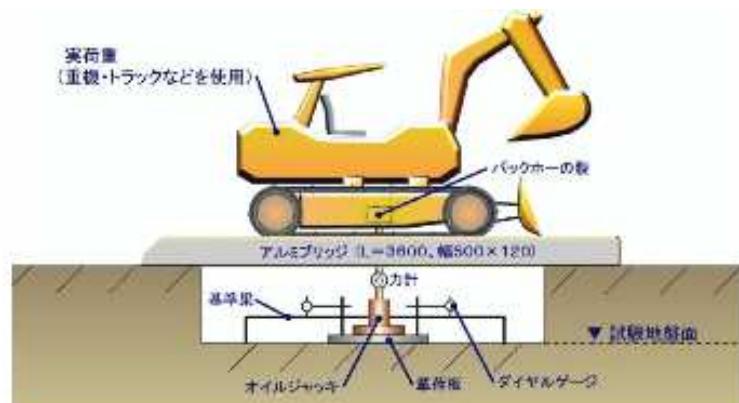


図2 平板載荷試験方法

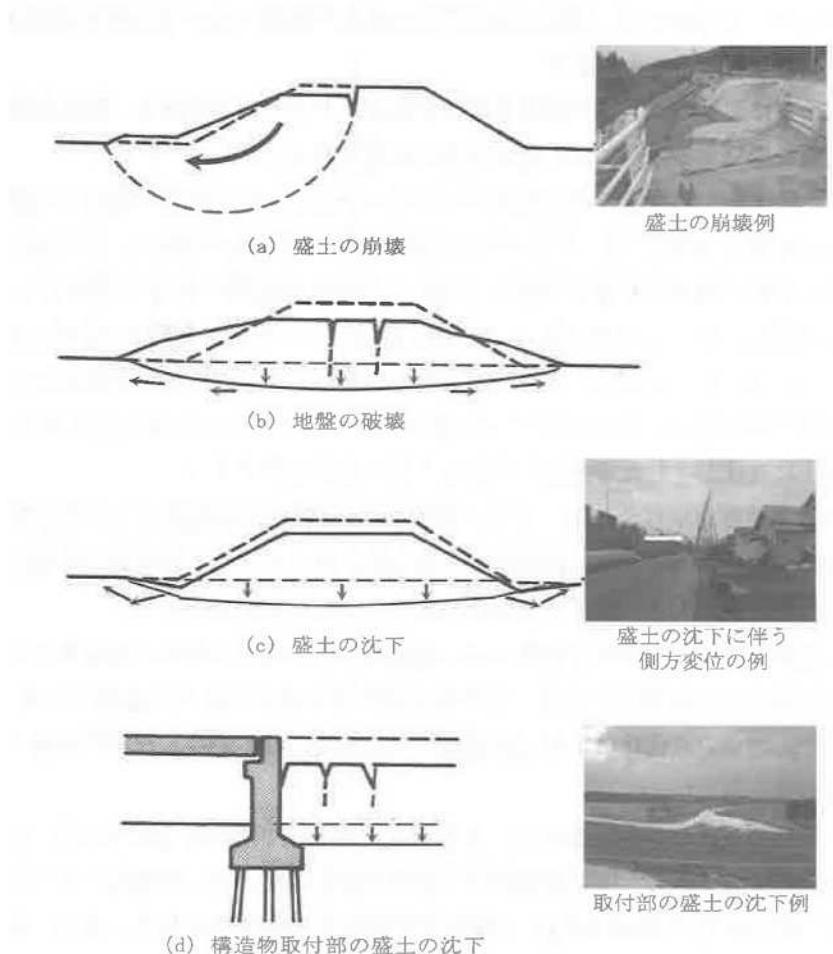


図3 軟弱地盤上の盛土の変状例

1) 降雨による地下水の流れ

→ 地すべりの発生の可能性が高まる。

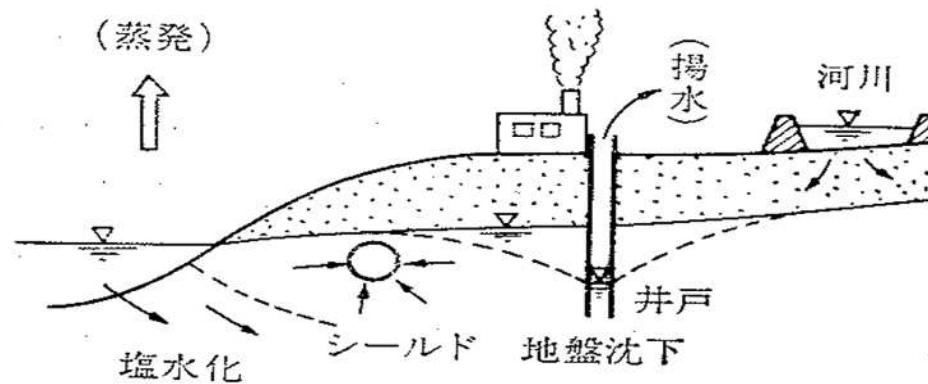


図1 地下水の循環と土木工事

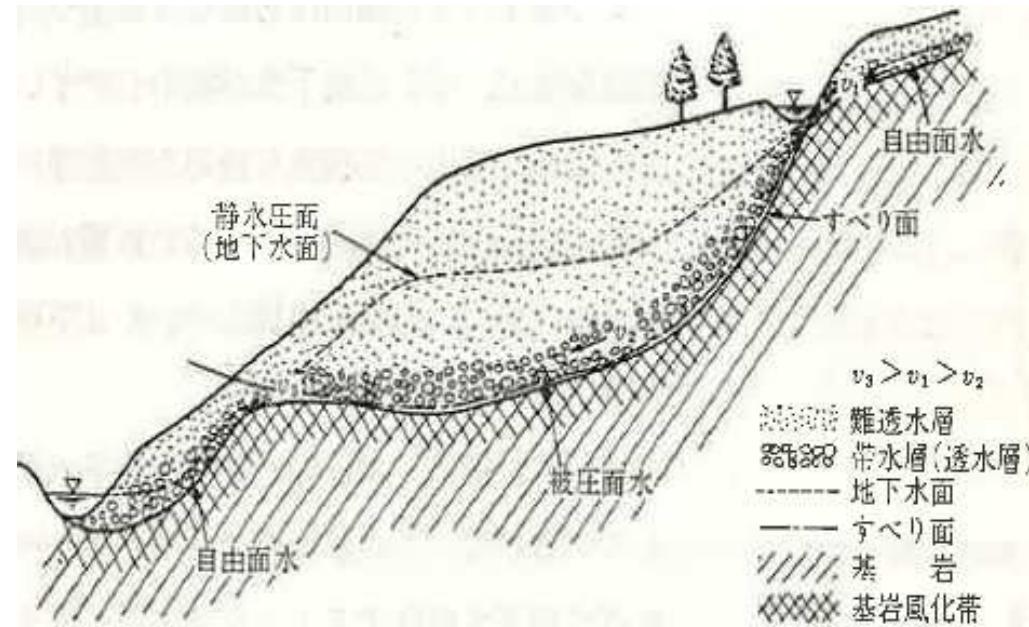


図2 地滑り地の地下水分布

2) 地下水の影響による盛土の変状

地下水の上昇が「法面の崩れ、盛土の崩壊」に繋がる。

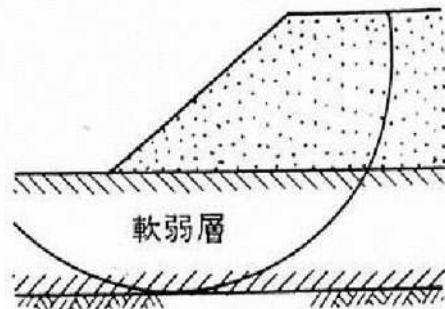


図-1 基礎を含む深いすべり

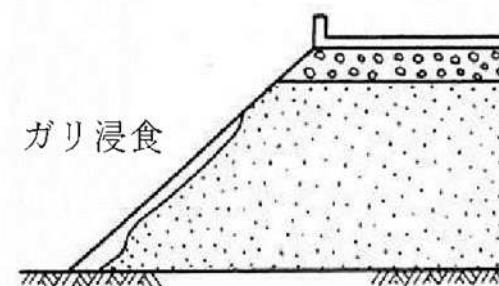


図-2 法面表層の深いすべり

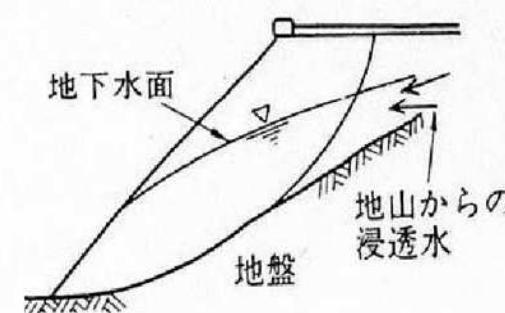
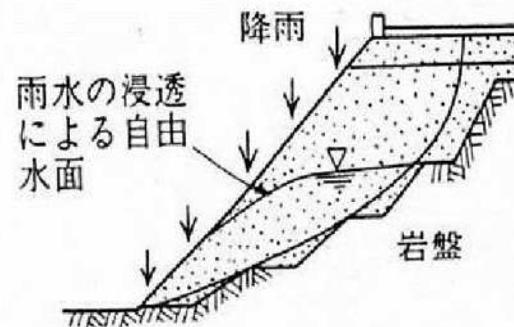
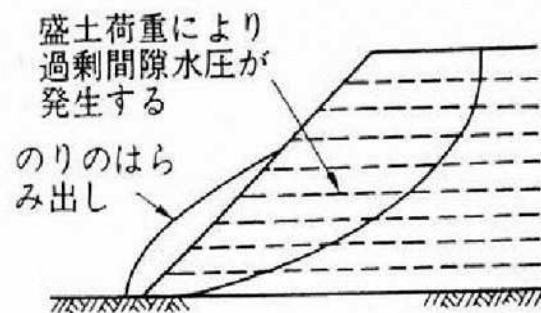
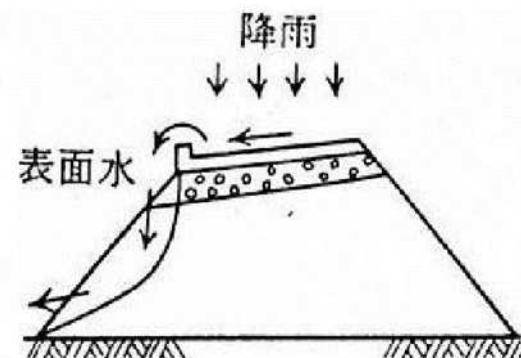


図-3 盛土内部を含むすべり

3) 雨が降ると何故、斜面が崩れやすいの？

地滑り事例01：

大分県豊後大野市朝地町

綿田地区の地滑り(2017年5月)

100mm/hrの豪雨が直接的な原因で、地中深層部に地滑りが発生。



※市の資料を基に作成

写真1 ■上空から見た様子。5月24日にドローンを使用して撮影
(写真:下も大分県)



応急対策のイメージ

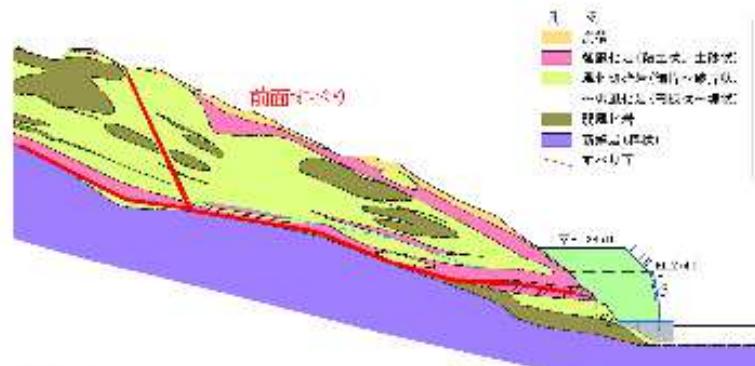


写真2 ■土木研究所の専門家チームによる現地調査の様子。右の写真も5月24日に撮影

地滑り事例02: 奈良県大滝ダム川上村白屋地区の地滑り(2002年頃)

大滝ダム: 堤高100mのコンクリート重力ダム

- ・ダム堤体完成後、湛水により、白屋地区の**地下水位が上がり、大規模な地滑り**が発生した。
- ・大規模な地滑り対策(地盤改良、法枠、アンカー)を行ったが、最終的には住民37戸が隣接地移住で決着。



1) 道路の土砂崩れ

原因 ①地震による土砂崩れ ②大雨による崖崩れ、土石流 ③地層の境目で起こる土砂崩れ



北海道地震により起きた山体崩壊



地震で起きた道路盛土の崩壊



地震で起きた崖崩れ



大雨で地盤が緩んだ崖崩れ



大雨により発生した土石流

2) 地すべり地形の特徴と兆候

地すべりが活動している目安

- ①急崖・段差・亀裂が鋭く角張ってる。
- ②亀裂・陥没凹地が二次堆積物で埋められてない。
- ③斜面末端部で、隆起や小規模な崩壊がある。
- ④地元での活動履歴の聞き込み調査

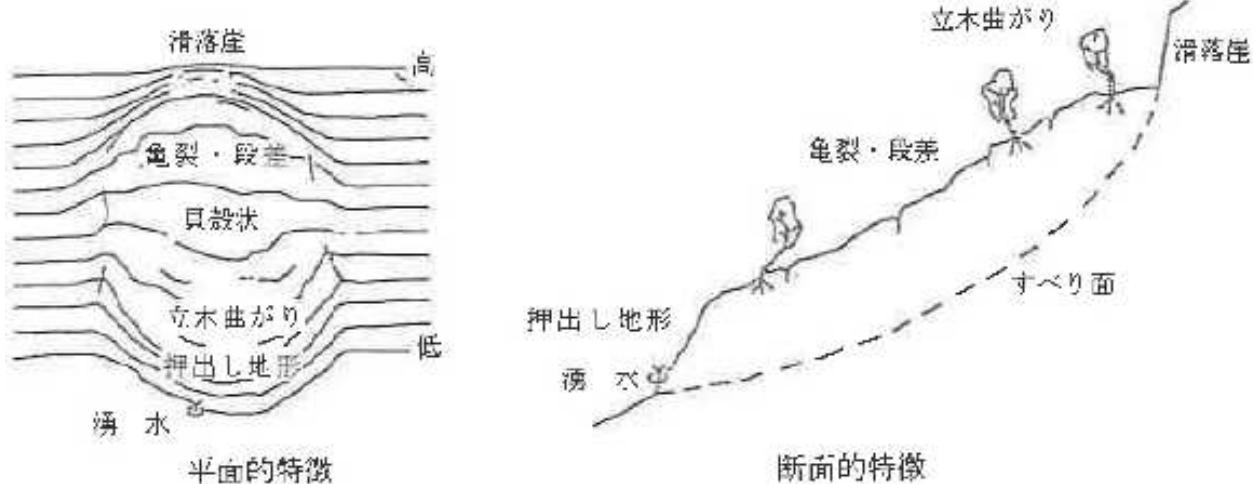


図1 地すべり地形の特徴

(1) 良い例

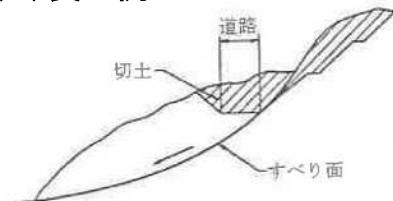


図2 頭部での切土

地すべり地の頭部を切土することで、地すべり力を低減する。

(2) 悪い例

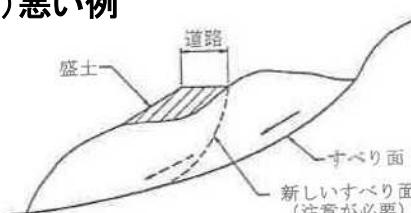


図4 中間部での盛土

地すべり中間部に盛土することで、地すべりを誘発する可能性がある。

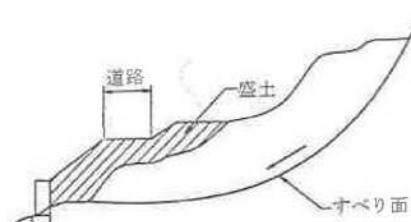


図3 末端部での盛土

地すべり末端部に盛土することで、抑え盛土となり地すべりを安定させる。

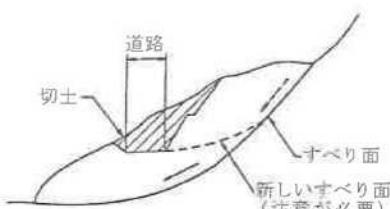


図5 中間部での切土

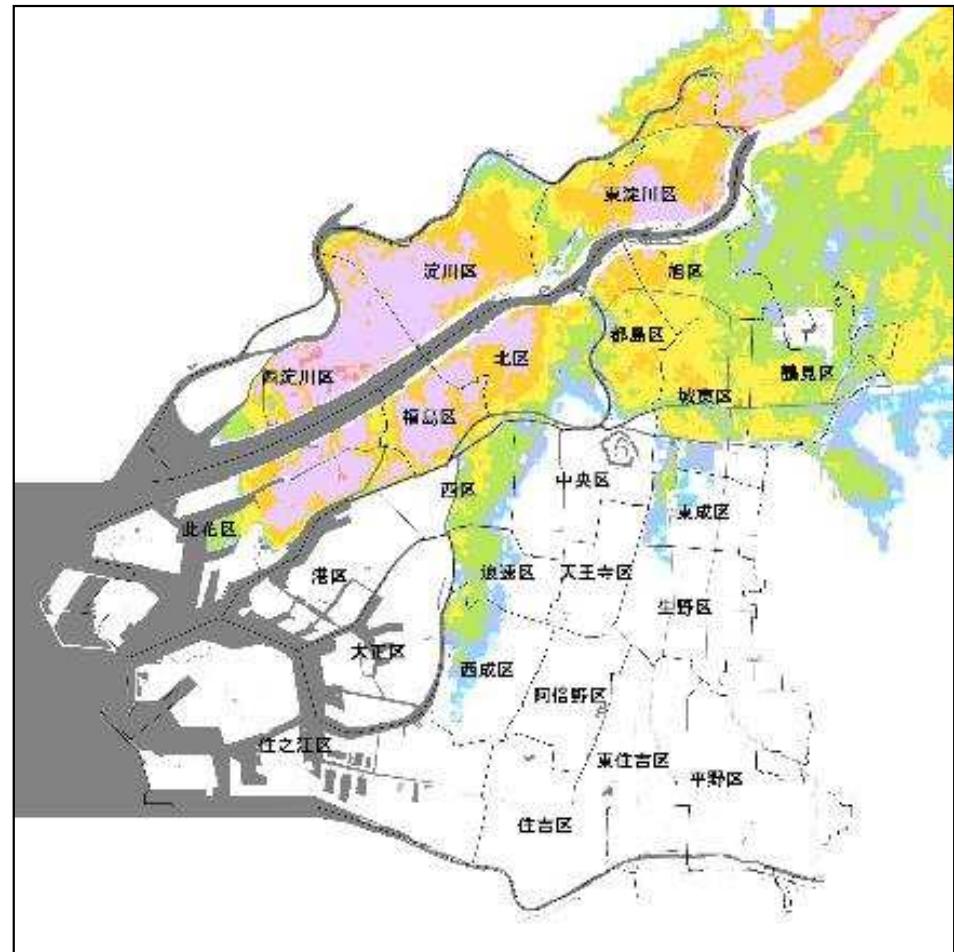
地すべり中間部を切土することで、地すべりを誘発する可能性がある。

3) 道路路線上の災害ハザードマップ

道路維持管理には、道路に起こり得る災害を予測し、道路災害に備えなければいけません。
そのためには、いろいろな災害ハザードマップを作成しなければいけません。



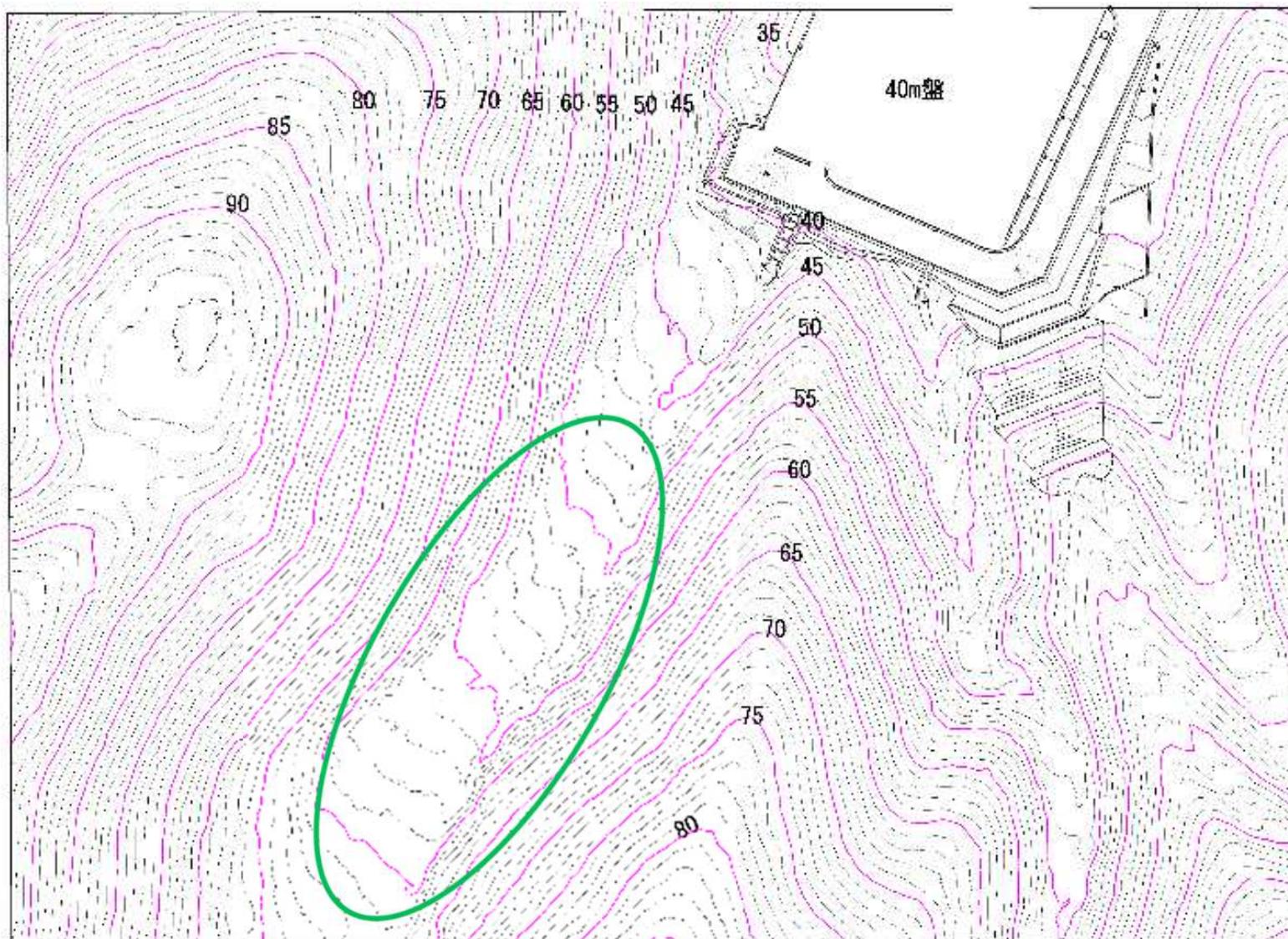
実例①：土砂崩れ・津波ハザードマップ



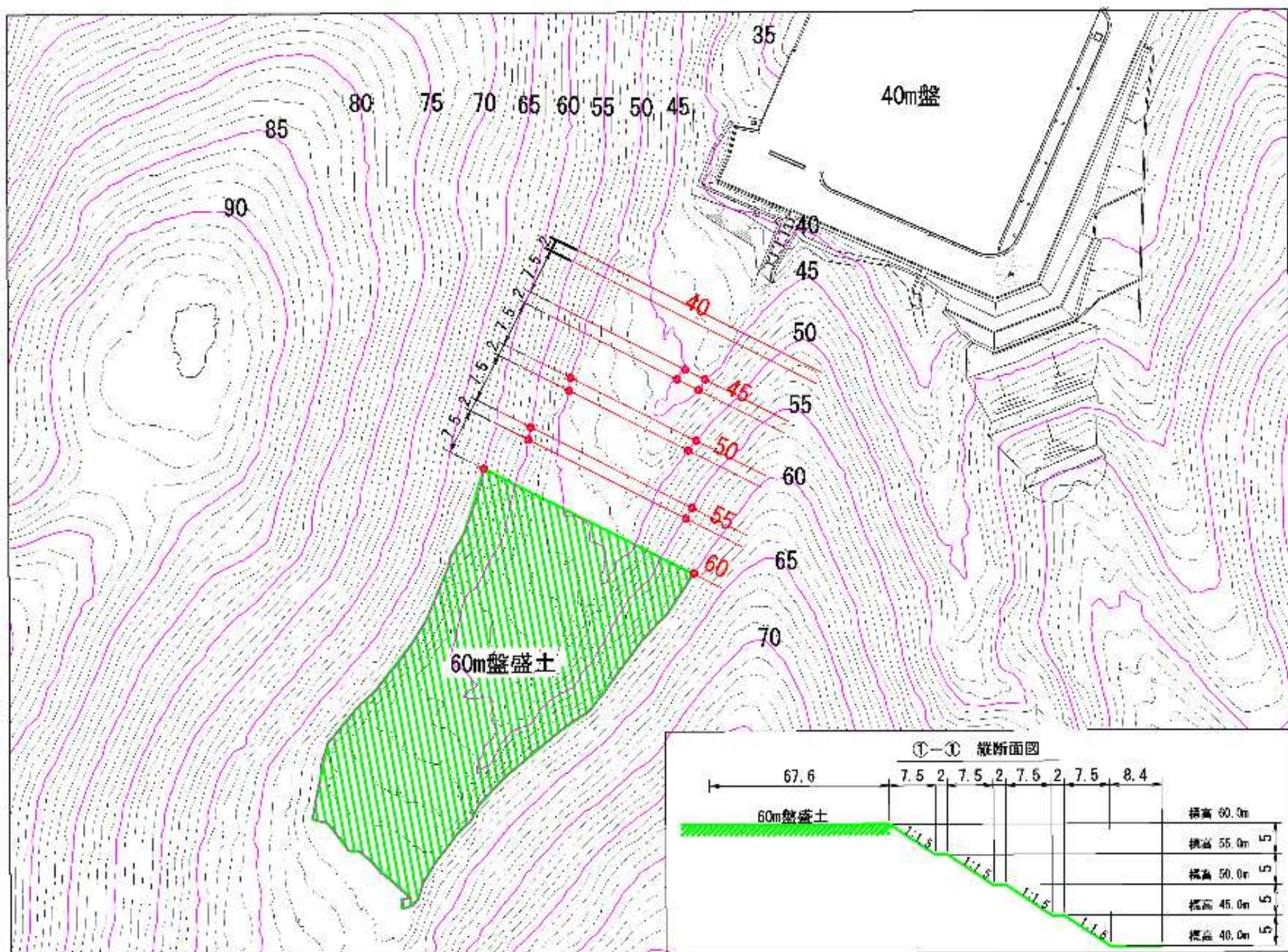
実例②：河川の洪水ハザードマップ

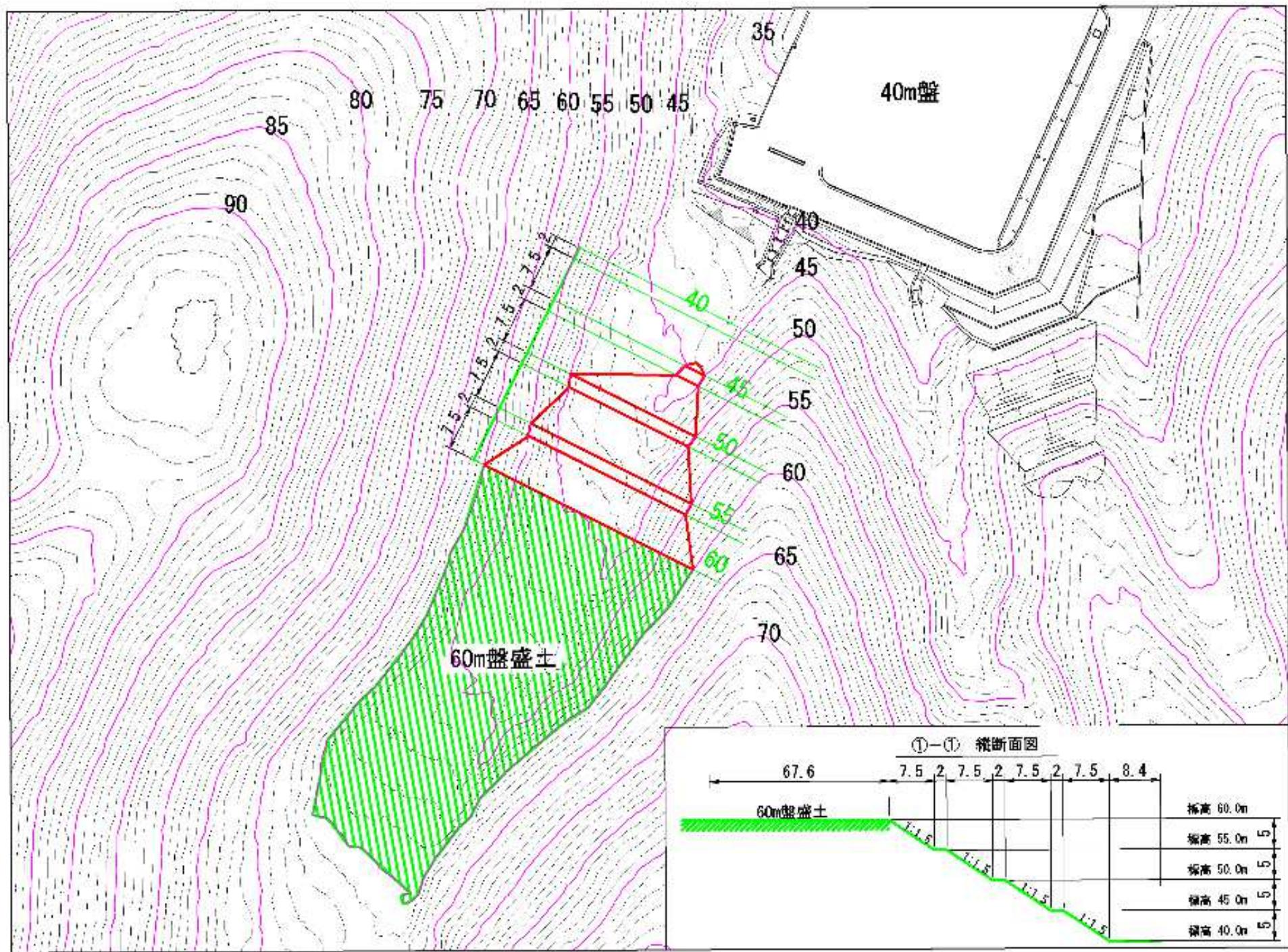
1) 盛土平面図の作成

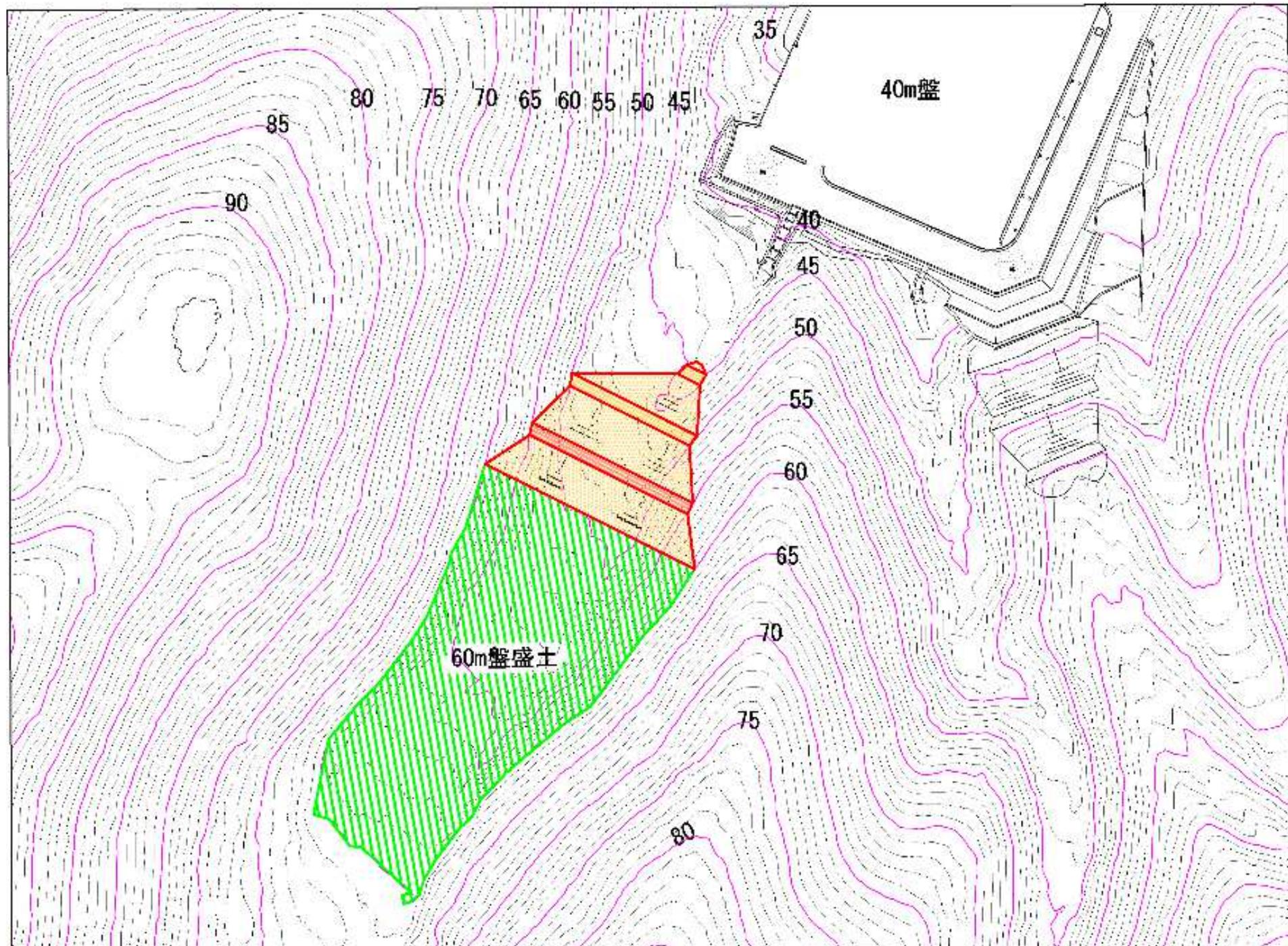
下図の沢部60m盤に盛土を造成してください。その形状を書いてください、
盛土法面勾配は1.5割勾配です。





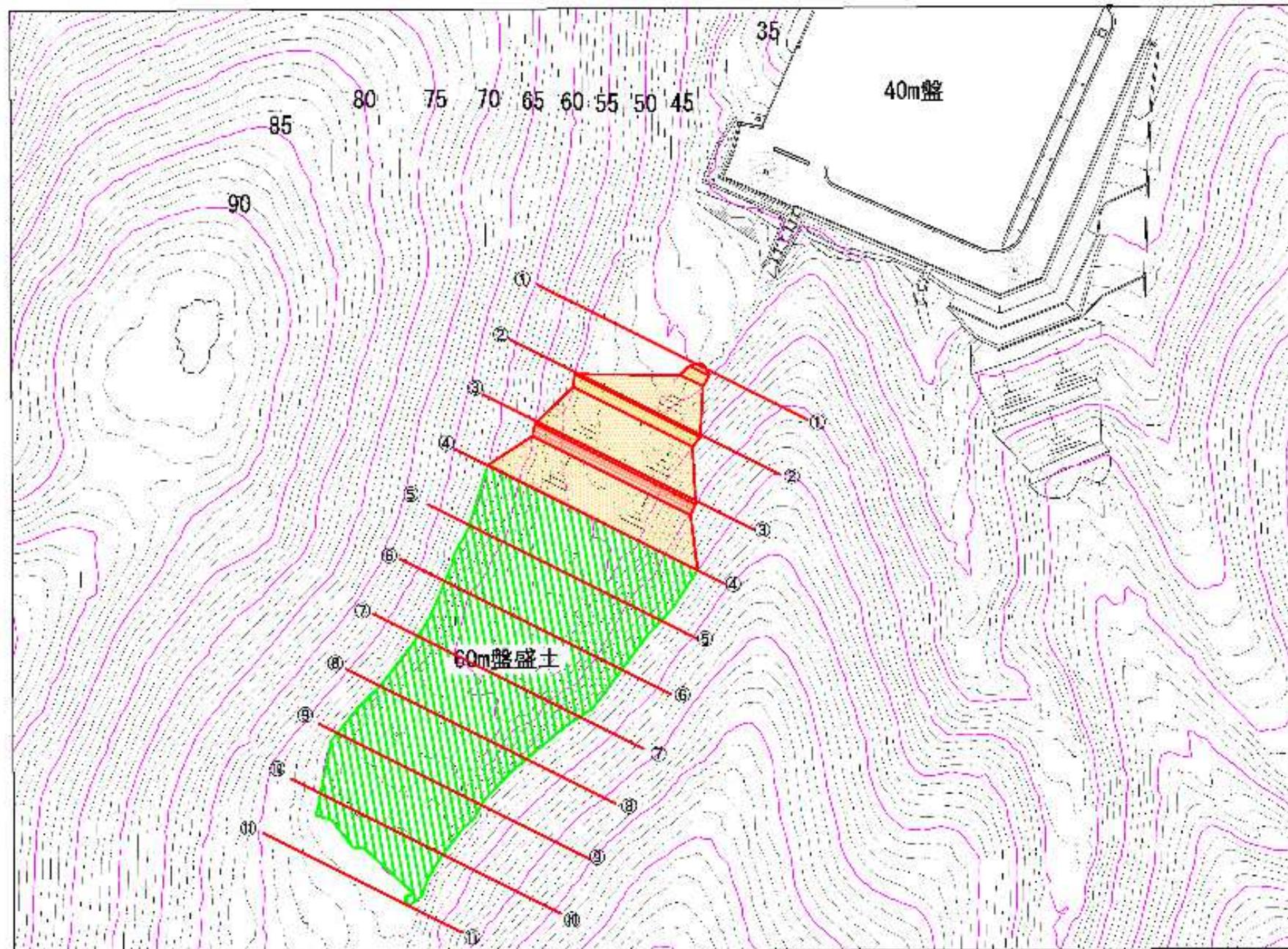






2) 盛土土工量の算出

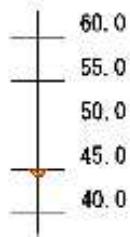
① 断面スライス法による土量計算



断面スライスの断面図

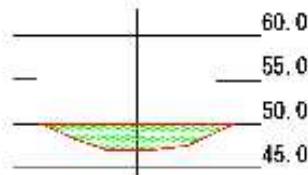
①

$$A=1.03\text{m}^2$$



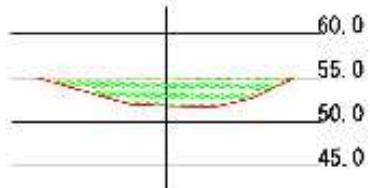
②

$$A=44.79\text{m}^2$$



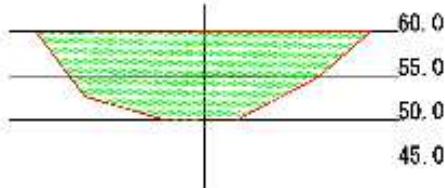
③

$$A=63.46\text{m}^2$$



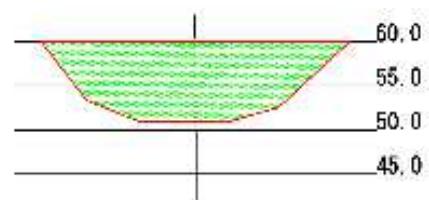
④

$$A=296.61\text{m}^2$$



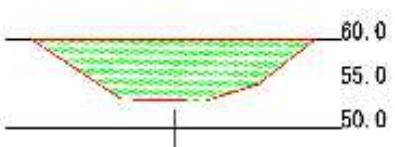
⑤

$$A=252.24\text{m}^2$$



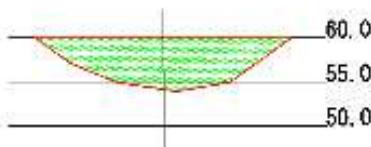
⑥

$$A=150.86\text{m}^2$$



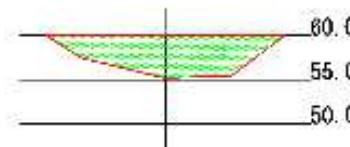
⑦

$$A=119.98\text{m}^2$$



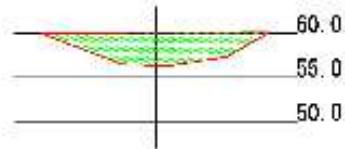
⑧

$$A=88.21\text{m}^2$$



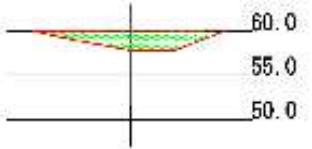
⑨

$$A=64.35\text{m}^2$$



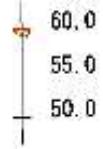
⑩

$$A=30.96\text{m}^2$$

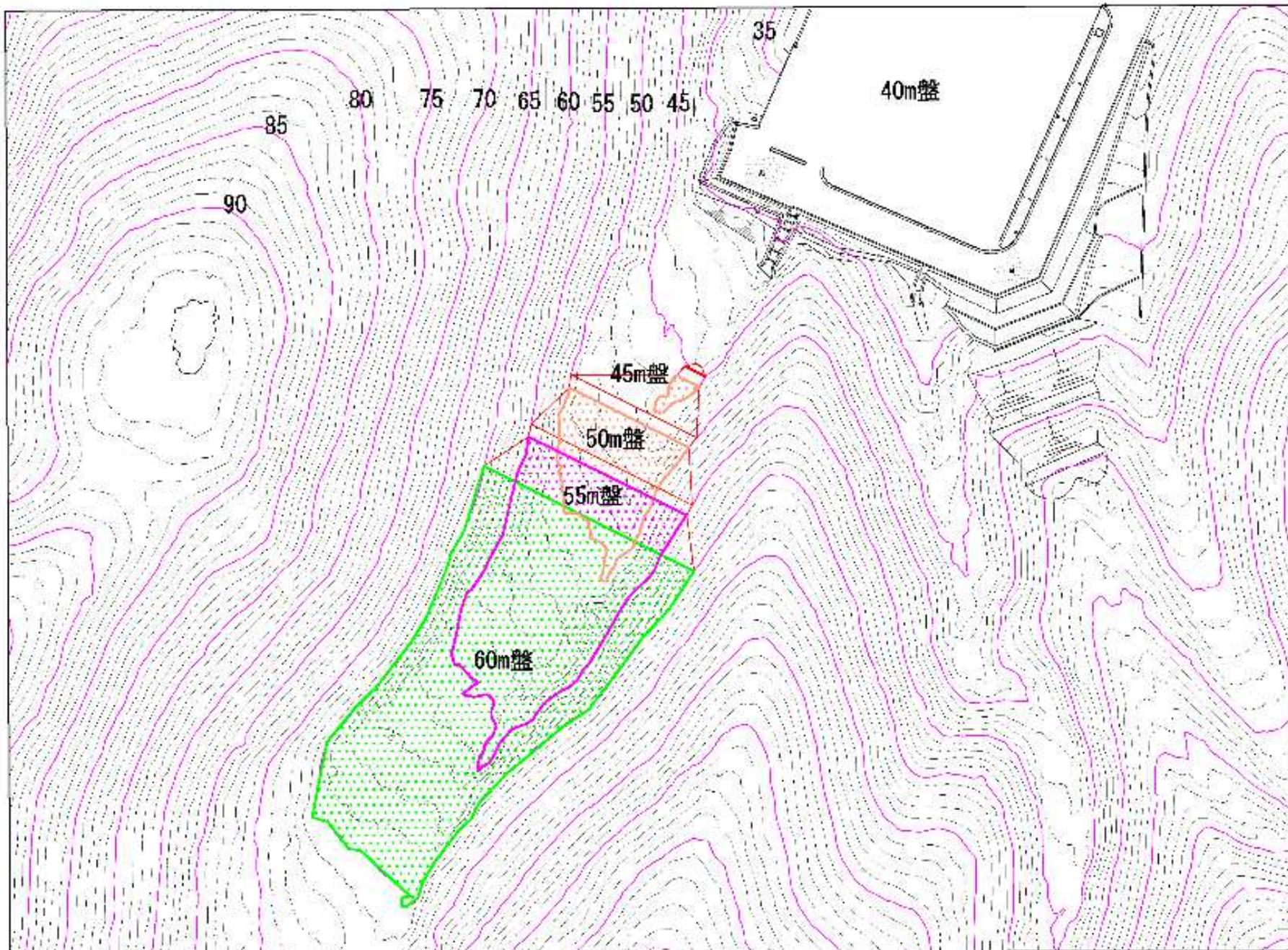


⑪

$$A=1.21\text{m}^2$$



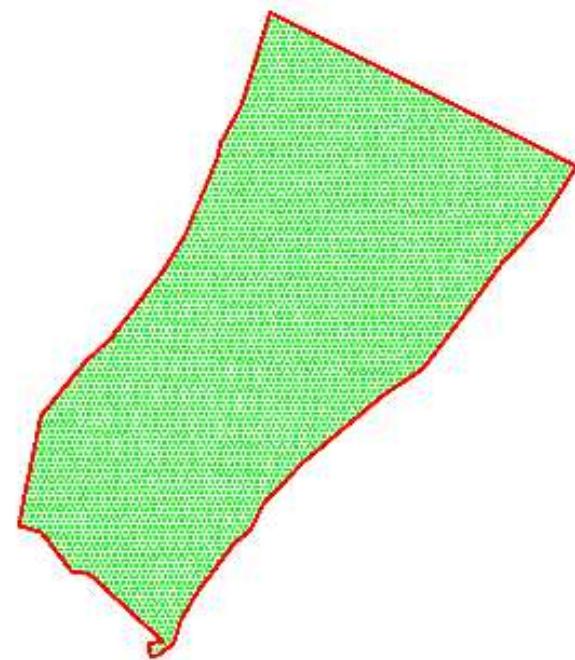
② 平面スライス法による土量計算



平面スライスの平面図

① 60m盤

$A= 1922 \text{ m}^2$



② 55m盤上

$A= 965 \text{ m}^2$



③ 55m盤下

$A= 1021 \text{ m}^2$



④ 50m盤上

$A= 344 \text{ m}^2$



⑤ 50m盤下

$A= 389 \text{ m}^2$



⑥ 45m盤上

$A= 19 \text{ m}^2$



⑦ 45m盤下

$A= 27 \text{ m}^2$



1) 断面スライス法

$$V1 = (A① + A②) / 2 \times 10m$$

$$\sum V = V1 + V2 + \dots + Vi \dots + V11$$

断面	断面積	①②平均	延長	区間体積
	(m ²)	(m ²)	(m)	(m ³)
①	1.03	22.91	10.00	229.10
②	44.79	54.13	10.00	541.30
③	63.46	180.04	10.00	1800.40
④	296.61	274.43	10.00	2744.30
⑤	252.24	201.55	10.00	2015.50
⑥	150.86	140.42	10.00	1404.20
⑦	129.98	109.1	10.00	1091.00
⑧	88.21	76.28	10.00	762.80
⑨	64.35	47.66	10.00	476.60
⑩	30.96	16.09	10.00	160.90
⑪	1.21	—	—	—
計				11226.10

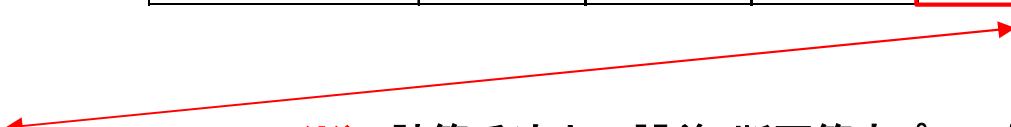
2) 平面スライス法

$$V1 = (A① + A②) / 2 \times 5m$$

$$\sum V = V1 + V2 + \dots + Vi \dots + V11$$

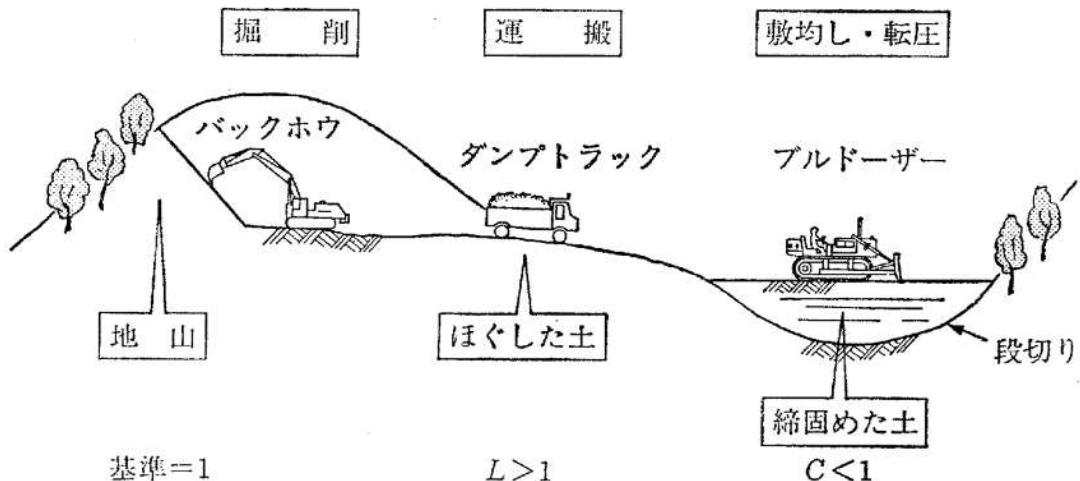
断面	断面積	①②平均	延長	区間体積
	(m ²)	(m ²)	(m)	(m ³)
①	60m	1922	1444	5.00 7220.00
②	55m盤上	965		
③	55m盤下	1021	682.5	5.00 3412.50
④	50m盤上	344		
⑤	50m盤下	389	204	5.00 1020.00
⑥	45m盤上	19		
⑦	45m盤下	27	13.5	5.00 67.50
⑧	44m盤	0		
計	1.21	—	—	11720.00

※) 計算手法上の誤差: 断面算定ピッチを細かくすれば、最終的には同じ値となる。



3) 施工中の土量の変化について

土はその施工状態により、土量が変化します。



土の一般的な変化率

(道路土工指針より)

土質	L ; ほぐした土の変化率 (ほぐし土／地山)	C ; 締固め土の変化率 (締固め土／地山)
岩石	硬岩	1.70~2.00
	中硬岩	1.55~1.70
	軟岩	1.30~1.70
礫質土	礫質土	1.15~1.20
	固結礫質土	1.25~1.45
砂		1.10~1.20
砂質土		1.20~1.30
粘性土		1.25~1.35
粘土		1.20~1.45

この体積変化の比率を土量の変化率といい通常 L と C で表わす。

$$L = \frac{\text{ほぐした土量 (m}^3\text{)}}{\text{地山の土量 (m}^3\text{)}}$$

$$C = \frac{\text{締固め後の土量 (m}^3\text{)}}{\text{地山の土量 (m}^3\text{)}}$$

【実際の土量変化】(一般的な土砂; $L=1.2$ 、 $C=0.95$ とすると)

- ①地山掘削量: $V=1,000\text{m}^3$
- ②土砂運搬量: $V=1,200\text{m}^3$ (ほぐれた量)
⇒掘削土量から計画したダンプより多い台数が必要となる。
- ③盛土量: $V=950\text{m}^3$ (締め固めた後の量)
⇒盛土の土が足らない。

長時間、ご清聴ありがとうございました。

このセミナーを聞いていただいて、皆さんの土質への知識
が高まり、「道路維持補修」のお役に立てれば 幸いです。

セミナー講師 堀田 孝