

平成24年度 公共調達スキルアッププログラム
「測量・地質調査研修」
2012年6月29日

地質調査における 室内土質試験と 報告書の読み方について

山形県地質土壌調査業協会
技術委員 沖田 圭右

1

本日の講習内容

地盤調査の目的と流れ
室内土質試験の種類と内容
各検討の流れと必要な試験
報告書の読み方について

DVD放映 約30分

「建築設計のための地盤調査」

- 室内土質試験・調査報告書の読み方 -

* ~ で約35分

2

地盤調査の目的と流れ

3

地盤調査の目的

構造物の計画・設計・施工のための調査

構造物支持地盤を見つけたり、構造物設計に必要な地盤の各種物性値を求めるための調査。

構造物の維持管理のための調査

土構造物をはじめとした既設人工構造物の劣化原因、度合いを調べ、対処方法を考えるための調査。

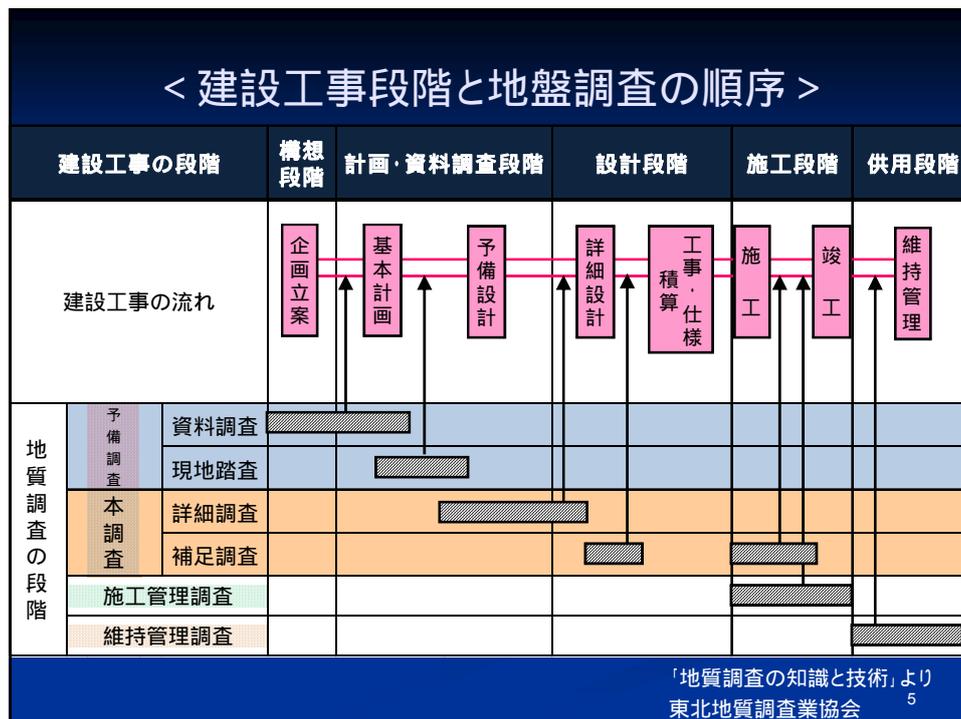
地盤環境保全のための調査

地下水汚染や土壌汚染など人類の営みが周辺環境に与える影響度合いを調べ、対処方法を考えるための調査。

災害(防災)調査

地盤災害が生活環境や構造物に与える外力規模、影響規模を求めるための調査。

4



現地調査計画の留意点

予備調査 - 出来るだけ広範囲に、より粗い(大雑把な)調査を実施する

- * 路線全体の断面図作成と、本調査の計画を提案
- * 既往資料、地形図、地質図、空中写真などを活用
- * ボーリング、各種サウンディング試験などを大まかに計画

本調査 - 計画構造物配置を考慮し、より精度の高い調査を実施する

- * 設計・施工に必要な情報を把握し、追加調査の必要性を判断
- * 各構造物毎に現地調査を実施
- * ボーリング、各種原位置試験、室内土質試験が主体

追加調査 - 本調査でも得られなかった情報を得るための調査を実施する。

- * 出来るだけこの調査を行わないことが望ましい

(施工管理、維持管理調査については割愛する)

6

ボーリング

- ボーリングは、地中に孔をあけて掘り進み、土や岩の試料を観察したり、**地中で試験を行って土の強度などを調査**するために行う。
- ボーリング孔を利用した調査は、計測や試験の種類によっては掘削孔径が異なるなど、孔壁保護・直線性保持技術などが要求される。

各計測毎の削孔径

計測項目	削孔径 (mm)
ボーリング	66 ~ 116 が主流
標準貫入試験	66
サンプリング	86 ~ 116 サンプリング採取方法により決定される
孔内水平載荷試験	66 ~ 86 試験方法により決定される
現場透水試験	主に86

7

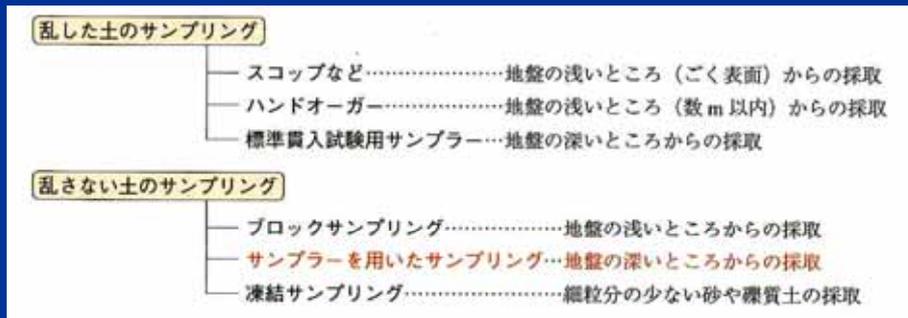
標準貫入試験結果(N値)について

- 標準貫入試験は、ボーリング時に最も実施される試験。地盤の硬軟、締まり具合、N値を求める
- N値の利用例
 - * 支持地盤の判定 (良質な支持地盤)
砂質土・礫質土 N 30 粘性土 N 20
 - * 土の強度推定 (室内土質試験結果との相関がある)
(例)
せん断抵抗角 $= (15 \cdot N) + 15$ (旧建設省の式 N 5)
粘着力 $C = 6N \sim 10N (\text{kN/m}^2)$

8

サンプリング

- 試料には「乱した土」と「乱さない(乱れの少ない)土」の2種類があり、サンプリングの方法は以下に示すものがある



サンプリングの方法

「土質試験基本と手引き」より
社団法人地盤工学会

9

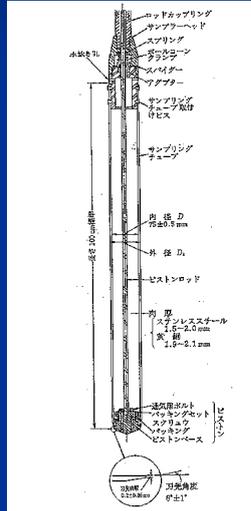
サンプリング計画

- **乱した試料(標準貫入試験試料)及び乱れの少ない試料でできる試験項目**
土粒子の密度, 含水比, 粒度分析(フルイ, フルイ+沈降), 液性限界, 塑性限界
 - ・土の一般的な物理特性の把握に適用
 - ・粒度は、(1)がフルイ+沈降分析で、試験対象土は粘性土であり、(2)はフルイ分析で、試験対象土は砂質土である
- **乱れの少ない試料でしかできない試験項目**
土の湿潤密度(ノギス法), 力学試験(一軸・三軸・圧密), 動的試験
 - ・対象となる地層の性状にあったサンプリング方法を計上する
 - ・土の原位置における特性を求める

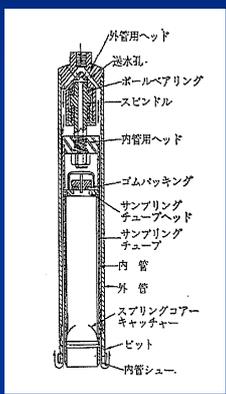
10

サンプラーの模式図

シンウォールサンプラー

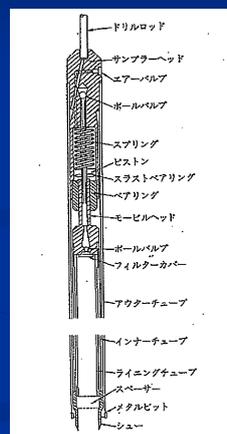


デニソン式サンプラー



**ボーリング孔とは別の
サンプリング孔での実施が
望ましい**

トリプル式サンプラー



「地質調査の知識と技術」より
東北地質調査業協会

室内土質試験の種類と内容

土質力学と土質試験の役割

- 構造物の設計・施工時の地盤に関わる問題は次の5つに大別される

土で構造物を作る 材料としての問題
地盤が構造物を支える 支持地盤としての問題
土を掘る・土を留める 安定の問題
土は水を通す 地下水の問題
地盤で廃棄物を受け入れる 地盤環境の問題



土質力学と土質試験の関係

「土質試験基本と手引き」より
社団法人地盤工学会 13

室内土質試験の種類

- 室内土質試験は大きく以下の4つに分類される。
 - 1) 物理試験
土の分類、特性・状態の判定、力学試験結果の基礎資料
 - 2) 力学試験
土の強さ、圧縮性、締め固め特性等の把握
 - 3) 動的試験
地盤の振動特性等の把握
 - 4) 化学試験
土の化学的性質

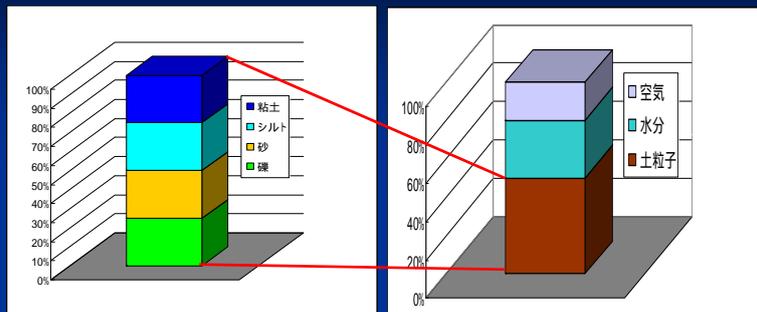
1) 物理試験とは

土の状態を求めたり、土の分類特性を調べる試験

項目	試験名
土の状態の諸量を求める	含水比試験 土粒子の密度試験 湿潤密度試験
土を分類する	粒度試験 液性限界・塑性限界試験
その他	最小密度・最大密度試験 保水性試験

15

土の分類とは



- 一般には、「礫」「砂」「シルト」「粘土」の4つに分類され、この混合状態で変わる。
- この分類は、土粒子の粒径(粒の大きさ)で決める。
- 「礫」は径2 mm以上,
- 「砂」は径0.075 ~ 2 mm,
- 「シルト」は、径0.005 ~ 0.075 mm,
- 「粘土」は、径0.005 mm以下。

16

粒度試験

フルイ分析, 粒径0.075mm以上の礫
や砂分の分析

目の大きさの違うフルイを通して,
各粒径ごとの重さを測定する



沈降分析, 粒径0.075mm未満のシル
トや粘土分の分析

時間とともに変化する比重を測定
ストークスの法則で粒径を算出



粒度試験結果は土の工学的分類に使用されるほか、透水係数の推定に用いられる。

フルイ分析は液状化判定に必要となる。

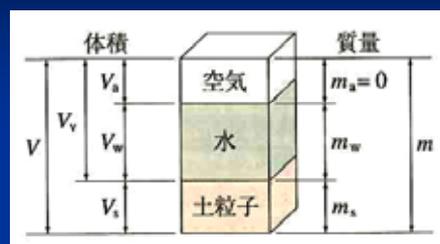
17

含水比試験

土粒子の質量 m_s に対する、水の質量 m_w の割合である含水比を求める試験

土の種別や、状態の判定に用いられる。

緩い粘土や有機質を多く含む場合、100%以上を示すこともある。



土の構成の模式図

代表的な土の含水比・土粒子密度・湿潤密度

土の種類	沖積粘土	洪積粘土	砂質土	関東ローム	泥炭	まさ土	しらす
含水比 w (%)	50~80	30~60	10~30	80~150	110~1300	6~30	15~50
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.5~2.75	2.5~2.75	2.6~2.8	2.7~2.9	1.4~2.3	2.6~2.8	2.3~2.5
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.5~1.8	1.6~2.0	1.6~2.0	1.3~1.5	0.8~1.3	1.5~2.0	1.0~1.7

「土質試験基本と手引き」より
社団法人地盤工学会 18

湿潤密度試験

土の湿潤密度を求める試験、ノギス法・パラフィン法等がある。

得られた湿潤密度は、重力加速度9.8をかけると単位体積重量となる。



土の単位体積重量 (kN/m^3)

地盤	土質	緩いもの	密なもの
自然 地盤	砂及び砂れき	18	20
	砂質土	17	19
	粘性土	14	18
盛 土	砂及び砂れき	20	
	砂質土	19	
	粘性土	18	

「道路橋示方書・同解説 共通編」より
社団法人日本道路協会

ノギス法(乱れの少ない試料による) 「土質試験基本と手引き」より
社団法人地盤工学会

19

土粒子の密度試験

土粒子(土の粒)の単位体積重量を求める試験、土粒子がどのような鉱物または有機物で構成されているのかを調べる。

主な鉱物と土粒子の密度

鉱物名	密度 ρ_s (g/cm^3)	土質名	密度 ρ_s (g/cm^3)
石英	2.6~2.7	豊浦砂	2.64
長石	2.5~2.8	沖積砂質土	2.6~2.8
雲母	2.7~3.2	沖積粘性土	2.50~2.75
角閃石	2.9~3.5	洪積砂質土	2.6~2.8
輝石	2.8~3.7	洪積粘性土	2.50~2.75
磁鉄鉱	5.1~5.2	泥炭(ピート)	1.4~2.3
クロライト	2.6~3.0	関東ローム	2.7~3.0
イライト	2.6~2.7	まさ土	2.6~2.8
カオリナイト	2.5~2.7	しらす	1.8~2.4
モンモロロナイト	2.0~2.4	黒ぼく	2.3~2.6

「地盤材料試験の方法と解説」より
社団法人地盤工学会

泥炭など有機物が多い土は値が小さくなるものの、
実際には殆どが2.7前後をしめしている。

20

液性限界・塑性限界試験

液性限界試験

含水比を変えて、黄銅皿に載せ、振動を与えて中央に切った溝が閉じるまでの回数を測定し、25回相当の含水比を w_L とする



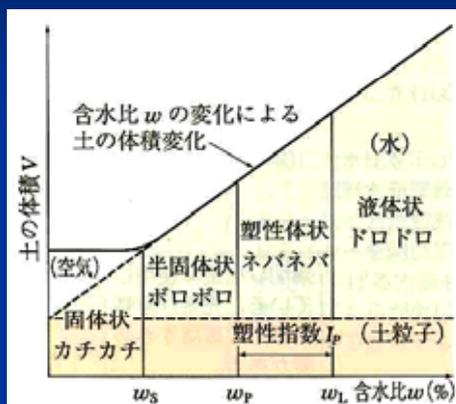
塑性限界試験

土の塊を手のひらでひも状に延ばし、直径3mmで切れぎれになったときの含水比を w_p とする



21

液性限界・塑性限界試験



粘性土を対象に、液性限界 w_L 、塑性限界 w_p を求める試験

液性限界 w_L : ネバナバとドロドロの境の含水比

塑性限界 w_p : ポロポロとネバナバの境の含水比

「土質試験基本と手引き」より
社団法人地盤工学会

試験結果は地盤材料の工学的分類に使用されるほか、液状化判定にも用いられる。

22

2) 力学試験とは

土の力学的性質を求める試験

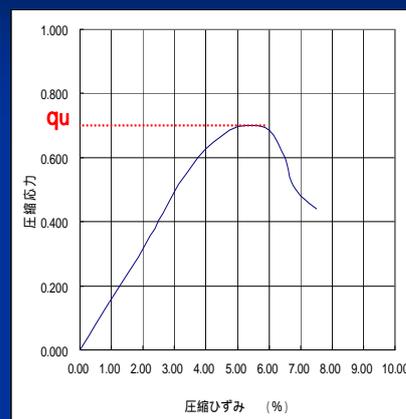
項目	試験名
土の強さと変形性を調べる	一軸圧縮試験 三軸圧縮試験 一面せん断試験
土の圧縮性と圧縮に要する時間を調べる	圧密試験
土の締固め特性を調べる	CBR試験 締固め試験
土の透水性を調べる	透水試験

23

一軸圧縮試験

乱れの少ない試料を円柱状に成形して用い、縦方向に圧縮する試験

荷重と軸変位量を測定する



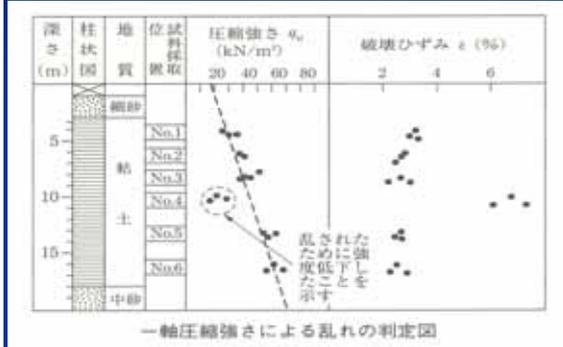
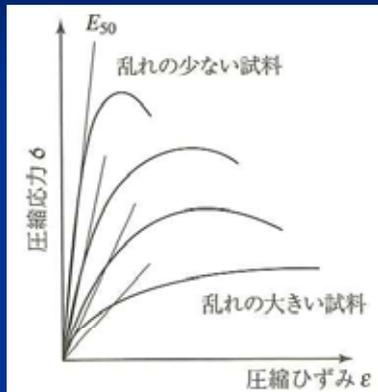
一軸圧縮試験の $\sigma - \epsilon$ 曲線

一軸圧縮強さ q_u や、変形係数 E_{50} が求められる。

グラフのピークから求められた q_u は粘着力 C の推定にも利用される。

24

試料の乱れと一軸圧縮強さ



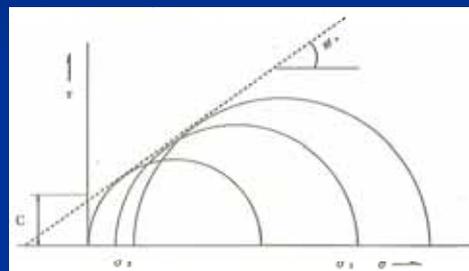
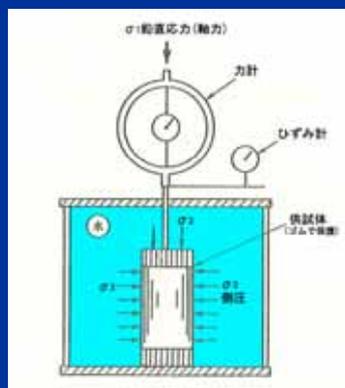
一軸圧縮試験はボーリングやサンプリングによる応力解放や、試料運搬や成形による機械的乱れによって供試体に乱れが入りやすい試験であるため、試験結果が妥当であるか評価する必要がある。

25

三軸圧縮試験

基本的に乱れの少ない試料を用いる。

ゴムで保護した供試体に水圧により側圧を加えながら、鉛直方向に圧力をかけ、破壊強度を求め。側圧は変化させて3供試体以上試験を行う。



モール応力円と粘着力 C ・せん断抵抗角

粘着力 C は切片、せん断抵抗角 ϕ は接線の傾きから求まる。

26

三軸圧縮試験の種類

三軸圧縮試験の種類と結果の利用例

試験の種類	適用土質	排水バルブの状態		間隙水圧の測定	求められる強度定数		試験結果の利用例
		圧密過程	軸圧縮過程		c_u, ϕ_u	c', ϕ'	
非圧密非排水 (UU) 試験	飽和粘性土	閉じる	閉じる	しない	c_u, ϕ_u	-	非排水せん断強さの推定、粘性土地盤の短期安定問題、支持力・土圧の算定
圧密非排水 (CU) 試験	飽和粘性土	開ける	閉じる	しない	c_{cu}, ϕ_{cu}	-	粘性土地盤を圧密させてからの短期安定問題、強度増加率 s_v/p の推定
圧密非排水 (CU) 試験				する	s_v/p	c', ϕ'	
圧密排水 (CD) 試験	飽和土	開ける	開ける	しない	c_c, ϕ_c	-	砂質土地盤の安定問題、盛土の連続施工、粘性土地盤掘削時の長期安定問題

注) CU 試験と $\bar{C}U$ 試験では、間隙水圧の測定の有無と軸ひずみ速度が異なる (CU 試験では 1%/min)。

「土質試験基本と手引き」より
社団法人地盤工学会

強度定数として粘着力C、せん断抵抗角 ϕ 等が求まる。

UU試験は状態が変わらない短期的なせん断強度

CU試験は粘性土の圧密されたあとの短期的な強度

CD試験は粘性土の圧密されたあとの長期的な強度や砂質土の強度が得られる。

27

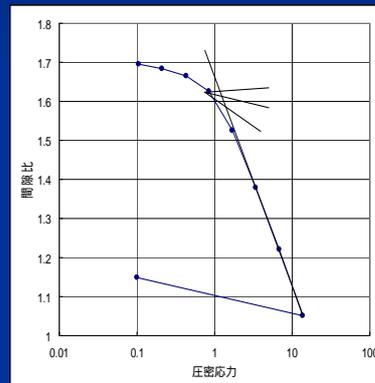
土の圧密試験

乱れの少ない試料を用いる。

重りで荷重をかけて、一定時間放置し、圧縮量を変位計で測定し、荷重を倍々に増加させる



圧密試験の $e - \log P$ 曲線



圧密は1段階24時間で8段階実施する。試験により圧密指数、圧密降伏応力等が求められ、粘性土の沈下量や沈下時間の推定に用いられる。

28

3) 動的試験とは

土の振動・変形特性を調べる試験

項目	試験名
土の液状化強度特性を求める	繰返し非排水三軸試験
土の変形特性を求める	変形特性を求めるための繰返し三軸試験 変形特性を求めるための繰返しねじりせん断試験

道路橋示方書に記載されている液状化判定式は凍結サンプリングによる試料を用いた非排水繰返し三軸試験結果と地震事例分析結果に基づいている。

→通常は殆ど実施されない

29

4) 化学試験とは

土の化学的性質を調べる試験

項目	試験名
土の化学的性質を求める	土の強熱減量試験 土混濁液のpH試験 土混濁液の電気伝導率試験

地中構造物の劣化等耐久性の検討が必要な場合等に土の化学的性質を調べるための用いられる

30

各検討の流れと必要な試験

31

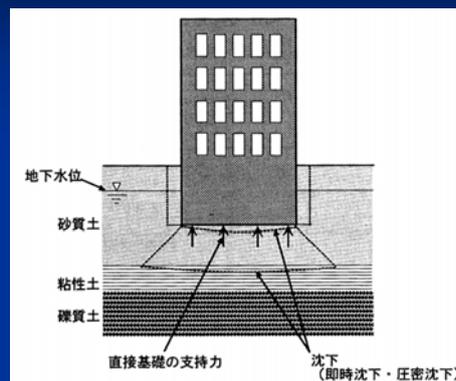
支持力検討(直接基礎)

直接基礎の場合基礎直下が支持層となり、支持層の強度定数から許容支持力の算定を行う。

検討に必要な値
支持層の粘着力C(粘性土)
支持層のせん断抵抗角 (砂質土)



両方とも標準貫入試験結果(N値)から推定が可能。

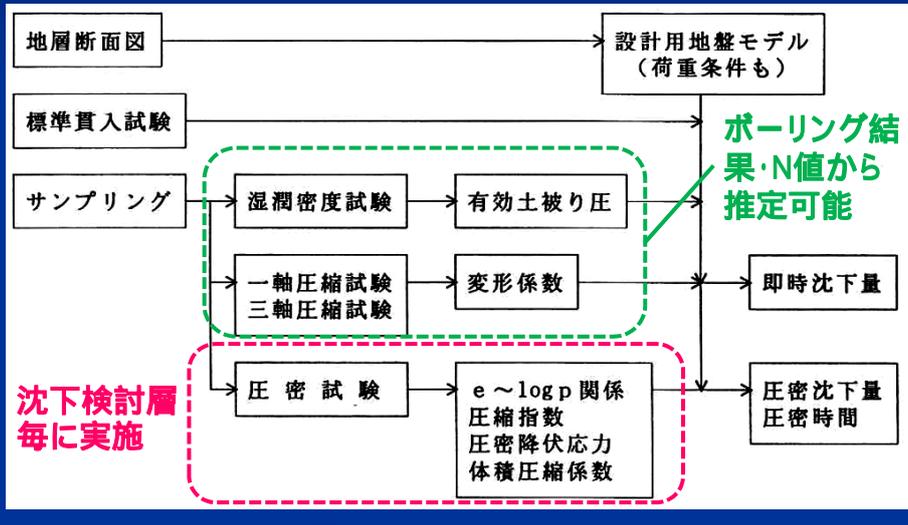


粘性土の粘着力は一軸・三軸試験より求めることが可能。
砂質土のせん断抵抗角は三軸試験により求めることが可能だが、殆ど実施されない

32

圧密沈下検討

構造物の荷重による沈下には、粘性土の圧密沈下と、主に砂質土の即時沈下がある。



液状化検討

【液状化とは】
地震動による間隙水圧の上昇により、飽和した砂質土層等がせん断強度を失うこと、検討によって液状化への抵抗率を求める。

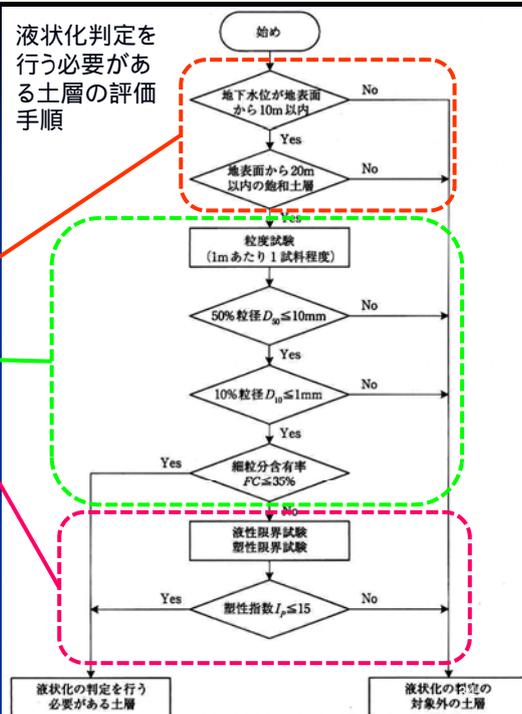
ボーリングにより確認

粒度試験により確認

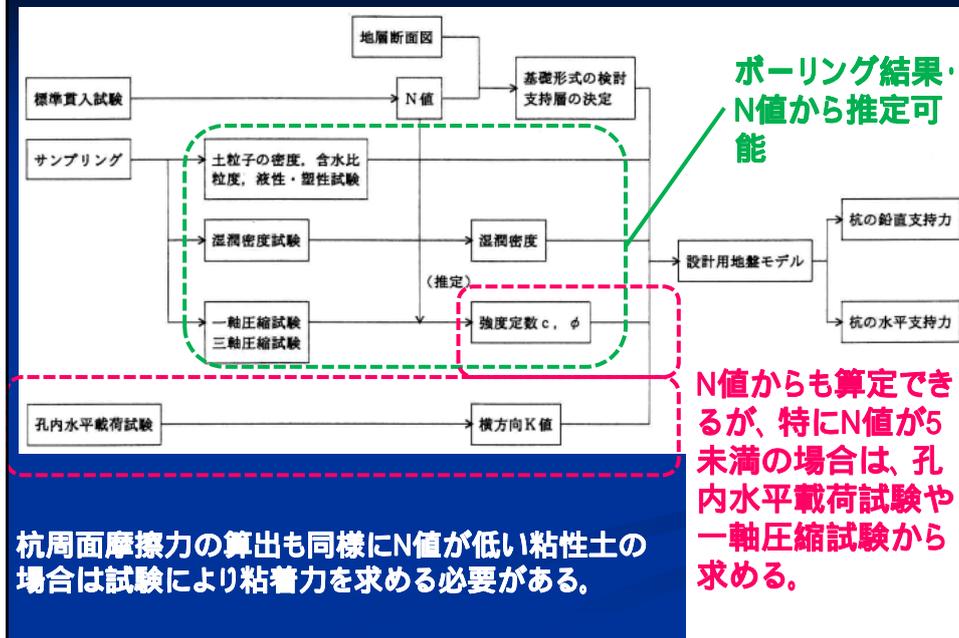
液性・塑性試験により確認

液状化検討はボーリング結果から実施可能。詳細に実施する場合は、繰り返し三軸試験やPS検層等を実施する

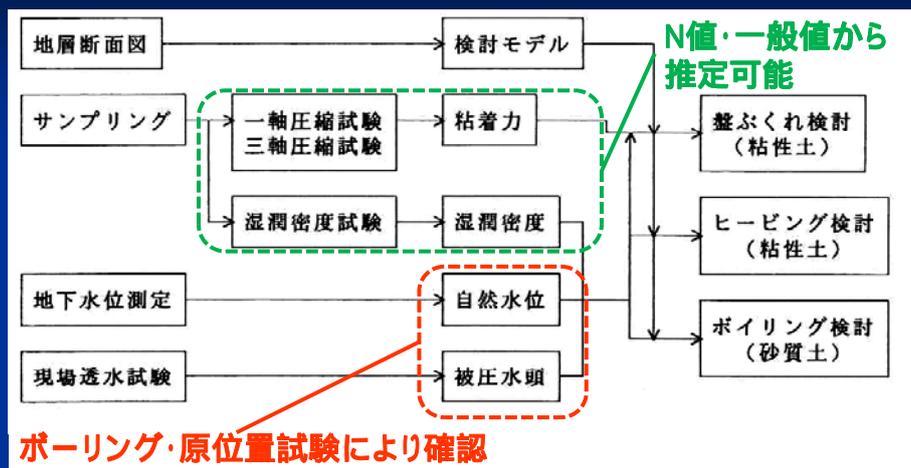
液状化判定を行う必要がある土層の評価手順



支持力検討(杭基礎)



根切り面の安定検討



粘性土の粘着力はN値からも推定できるが、特にN値が低く、軟弱な場合は試験により粘着力を求める必要がある。

室内土質試験結果の留意点

室内土質試験は土層内の一部をサンプリングして実施している。土層状況は一樣ではないため、一つの土質試験結果が必ずしも土層の代表値にはならない。

乱れの少ない試料を用いた試験は、サンプリングの乱れによって試験結果に影響がでる。

室内土質試験結果から土層の物性を判断するためには、同一層で複数回試験を実施し、評価する必要がある。

37

報告書の読み方について

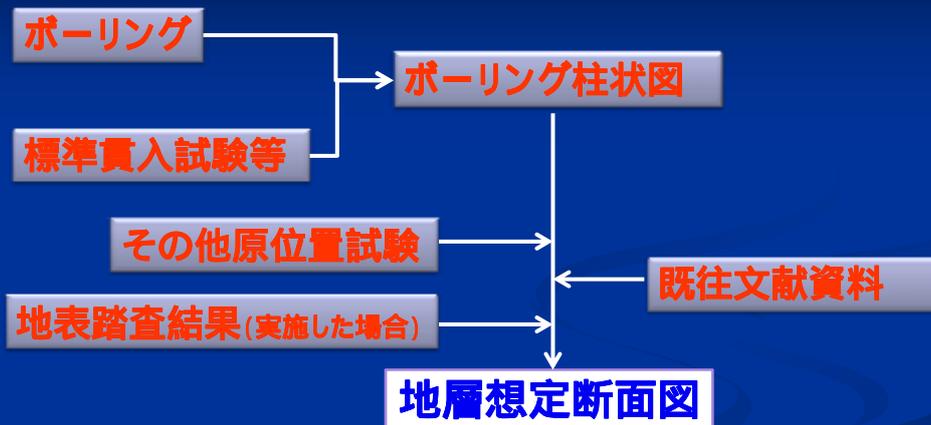
38

調査報告書の主な内容

報告項目	内 容
調査概要	件名、場所、目的、内容、数量、工期等
調査方法	各調査の方法、手順、装置等
調査結果	地形・地質概要、各調査の結果、妥当性の評価等
考察・検討	地層想定断面図、設計用土質定数、支持力・沈下等の検討、留意事項等
巻末試料	柱状図、土質試験結果、各試験結果等

39

地層想定断面図の作り方



点の情報(柱状図)を面(断面図)に広げるために、
様々な資料を参考にする必要がある

40

既往文献資料(表層地質図)



地質図から分かること

- ・表層の地質及び地質の堆積年代
- ・岩盤の走向・傾斜(傾き・方向)、背斜・向斜軸、断層等

41

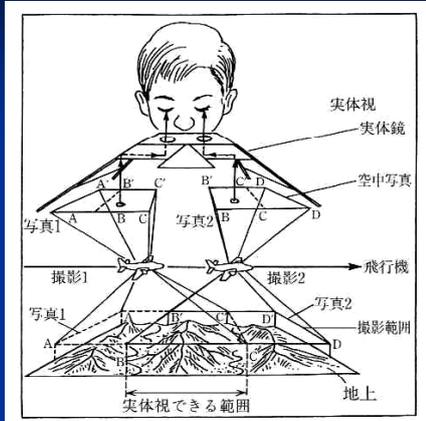
既往文献資料(地形図)



地形から、どのような地層が堆積してるのか推定する材料となる

42

既往文献資料(空中写真)



空中写真から分かること(立体視)

- ・詳細な微地形判読
- ・リニアメント(線状特徴)、斜面形、傾斜変換線等

43

土層名について

粘土混じり砂
粘土質砂
砂質粘土
どう違うのか？



粘土混じり砂とは
5% 粘土分 < 15% の砂主体層

粘土質砂とは
15% 粘土分 < 50% の砂主体層

砂質粘土
15% 砂分 < 50% の粘土主体層

質量構成比	分類表記
15%以上50%未満	質
5%以上15%未満	まじり
5%未満	特に表記しない

■ 名称の最後が最終分類名

44

DVD放映「建築設計のための地盤調査」 (日刊工業新聞社 発行)

第2巻 室内土質試験・調査報告書の読み方

3. 室内土質試験

- 3.1 土質試験の種類と適用
- 3.2 物理試験
- 3.3 力学試験
- 3.4 化学試験

4. 調査報告書の読み方

- 4.1 調査報告書の構成
- 4.2 結果の表示と解釈
- 4.3 調査結果に基づく工学的検討
- 4.4 設計・施工に際しての留意点



45

謝 辞

- 長時間に渡り、つたない話をお聞き頂きまして誠にありがとうございました。
今日のお話が、実際の業務に少しでも役立って頂ければ幸いです。
- 本日のお話でまだ不明な点がございましたら、当協会のホームページでご確認頂くか、メールでお問い合わせ頂ければと思います。

山形県地質土壌調査業協会

<http://www.yamagata-geo.jp>

46