

平成 15 年度

土・調べのてびき

土に関する調査
および試験そして
結果の利用例
が満載だよ！



土質調査及び試験

室内土質試験

地盤に関わる問題
実施する調査および試験
結果の利用例

はじめに

土木工事の施工中に地盤に変状が生じたために工事を一時中断して、対策が必要になる例や、供用後に構造物に変状が生じてしまう例の多くは、地盤の土質・地質に問題があり、事前の地盤調査不足で地盤条件を十分に把握しないまま設計・施工を行ったことに原因があると考えられます。

昨今、建設財源をめぐる情勢が厳しくなるなか、公共のものづくりは、手もどりを極力なくし、より良質であり、かつ経済的であることが要求されています。このためには、土木構造物の多くが土質・地質からなる地盤すなわち「土」を相手にすることから、十分な地盤調査に基づく地盤条件の把握が必要と考えられます。

土は、「掘ってみないとわからない」とよく言われるように、生成過程やその後に被った続成作用、風化侵食環境、新たな土の堆積環境などの違いのため、場所により千差万別であり、このため、数メートル離れただけで地盤状況が変化することは、現場でよく遭遇する事実です。

ボーリングや各種試験を密に実施することは、複雑な地盤状況を把握するひとつの方法ですが、必ずしもこうした調査を実施できる場合ばかりではありません。

そこで、事前の地盤調査では、計画するそれぞれの土木構造物の設計施工を行うにあたって、土について何が問題となるのかを把握して、効果的な調査を心がけることが必要です。

すなわち、地盤調査の目的（何のために）と、そのためにどのような項目について調査するか（何を）を整理した上で、必要となる具体的な調査手段（どんな方法で）を計画することが重要です。さらに、地盤調査計画の立案にあたっては、土木構造物の計画に照らして、資料調査の他、現地の地物や地形状況について吟味することも重要です。

本資料は、このように地盤調査が益々重要となっていく状況を踏まえ、「土木・建設事業の計画・設計を進める上で、どんな地盤調査が必要なのだろうか」と思われた時に参考になればと、必要となる土質・地質の地盤調査および試験についてとりまとめたものです。調査計画立案時等にご活用頂ければ幸いです。

目 次

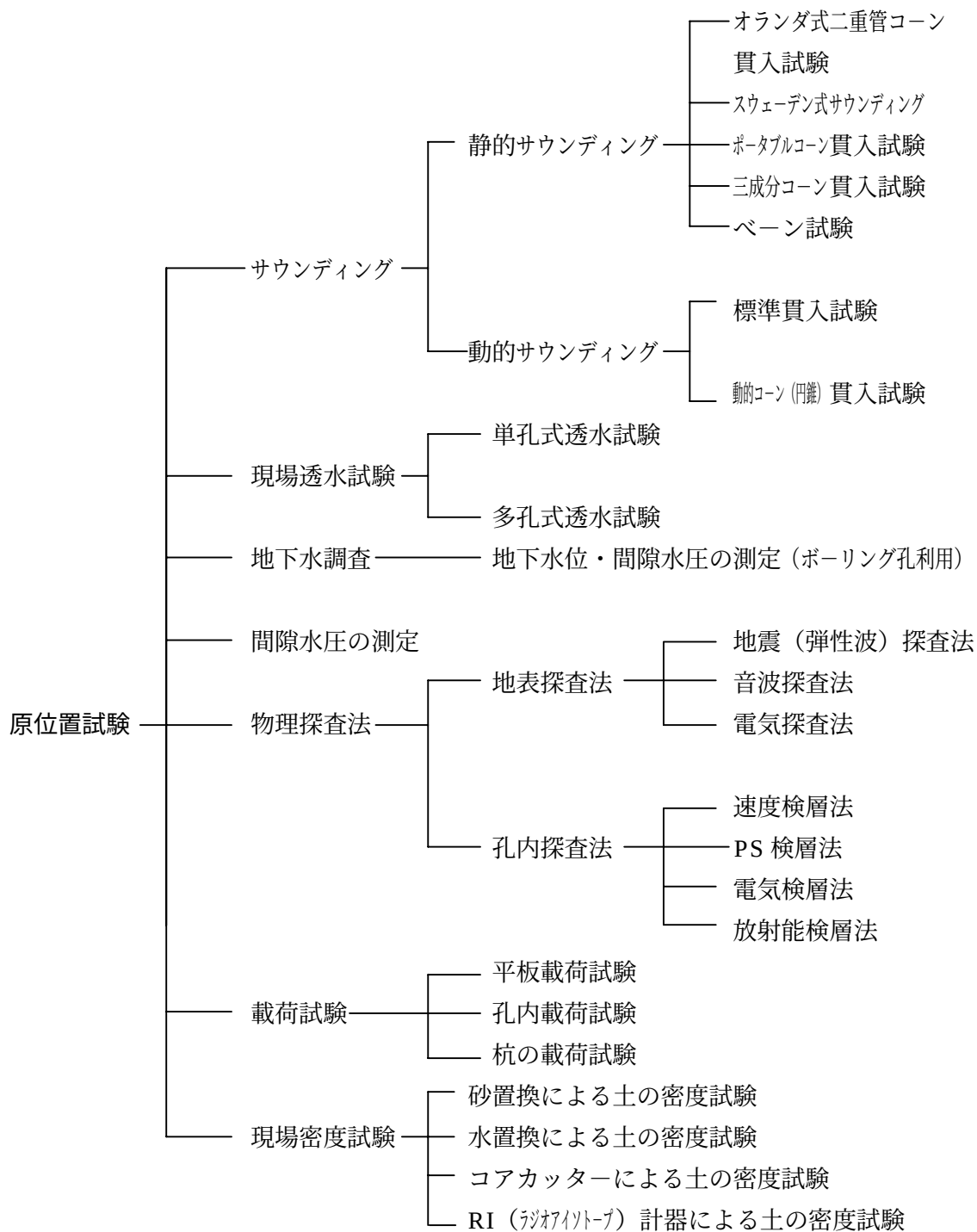
(1) 地盤調査の種類	1
(2) 土質調査および試験	3
サウンディング・物理探査	3
地下水調査・現地計測	4
ボーリング・サンプリング	5
載荷試験・現場密度試験	6
(3) 室内土質試験	7
アースダムや河川堤防	7
橋梁構造物の基礎・土留工の基礎	7
擁壁構造物・軟弱地盤上の道路の盛土	8
アスファルト舗装の構築	8
掘削・切土・地盤の環境	9
(4) 各種調査・試験方法の概要	10
オランダ式二重管コーン貫入試験とは？	10
スウェーデン式サウンディング試験とは？	11
ポータブルコーン貫入試験とは？	12
電気式静的コーン貫入試験とは？	13
ベーンせん断試験とは？	14
標準貫入試験とは？	15
簡易動的コーン（円錐）貫入試験とは？	16
地震（弾性波）探査法とは？	17
音波探査法とは？	18
電気探査法とは？	19
弾性波速度検層法とは？	20
電気検層法とは？	21
放射能検層法とは？	22
砂質地盤の地下水位測定とは？	23
電気式間隙水圧計による間隙水圧の測定とは？	24
透水試験とは？	25
ルジオン試験とは？	26
湧水圧による岩盤の透水試験	27
観測井による砂質地盤の地下水位測定とは？	28
揚水試験とは？	29
地表面の変位・変形測定とは？	30
地中の変位測定とは？	31

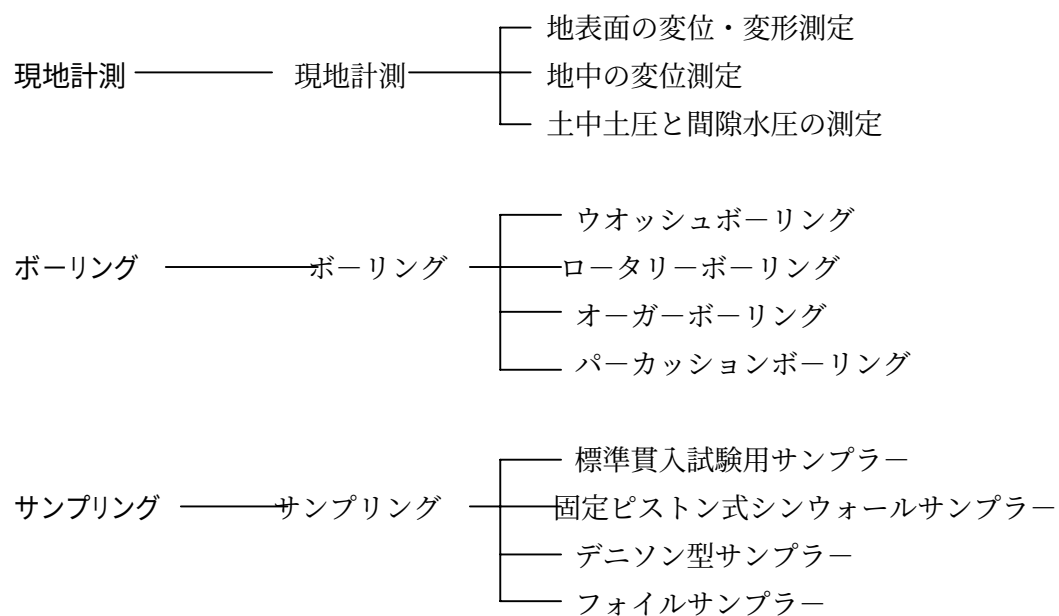
土中土圧と間隙水圧の測定とは？ -----	32
ハンドオーガーボーリングとは？ -----	33
ロータリー式機械ボーリングとは？ -----	34
粘性土のサンプリングとは？ -----	35
砂質土のサンプリングとは？ -----	36
地盤の平板載荷試験とは？ -----	37
道路の平板載荷試験とは？ -----	38
土の密度試験とは？ -----	39
土の状態を表す諸量を求める試験 -----	40
土の含水比試験とは？ -----	41
土粒子の密度試験とは？ -----	42
土の湿潤密度試験とは？ -----	43
土の粒度試験とは？ -----	44
土の液性限界・塑性限界試験とは？ -----	45
土のpH 試験とは？ -----	46
突固めによる土の締固め試験とは？ -----	47
C B R試験とは？ -----	48
土の圧密試験とは？ -----	49
土の透水試験とは？ -----	50
土の一面せん断試験とは？ -----	51
土の三軸圧縮試験とは？ -----	52
土の一軸圧縮試験とは？ -----	53

(1) 地盤調査の種類

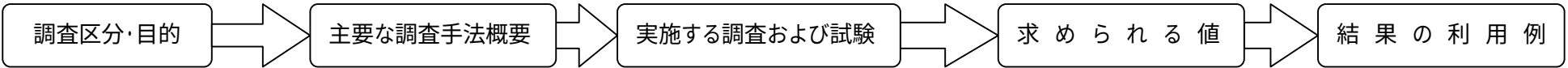
参考文献；土質地盤の調査・試験とその応用

H4.3 理工図書





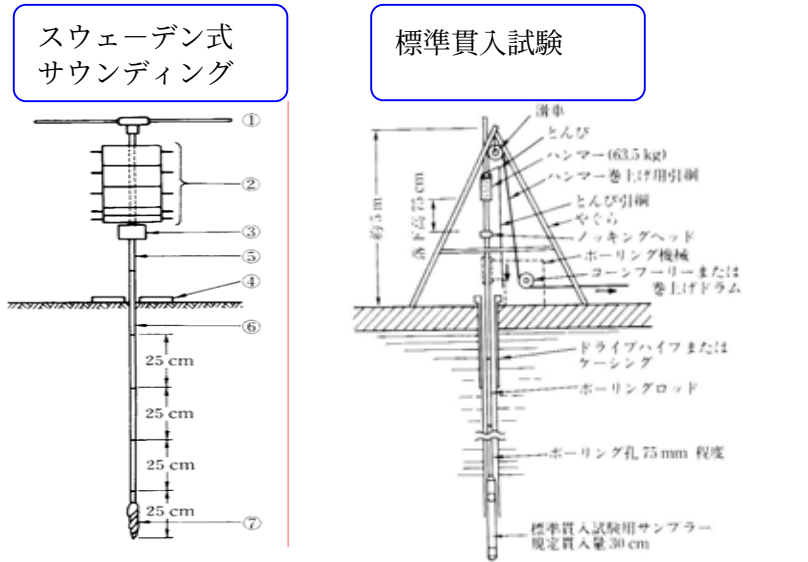
(2) 土質調査および試験



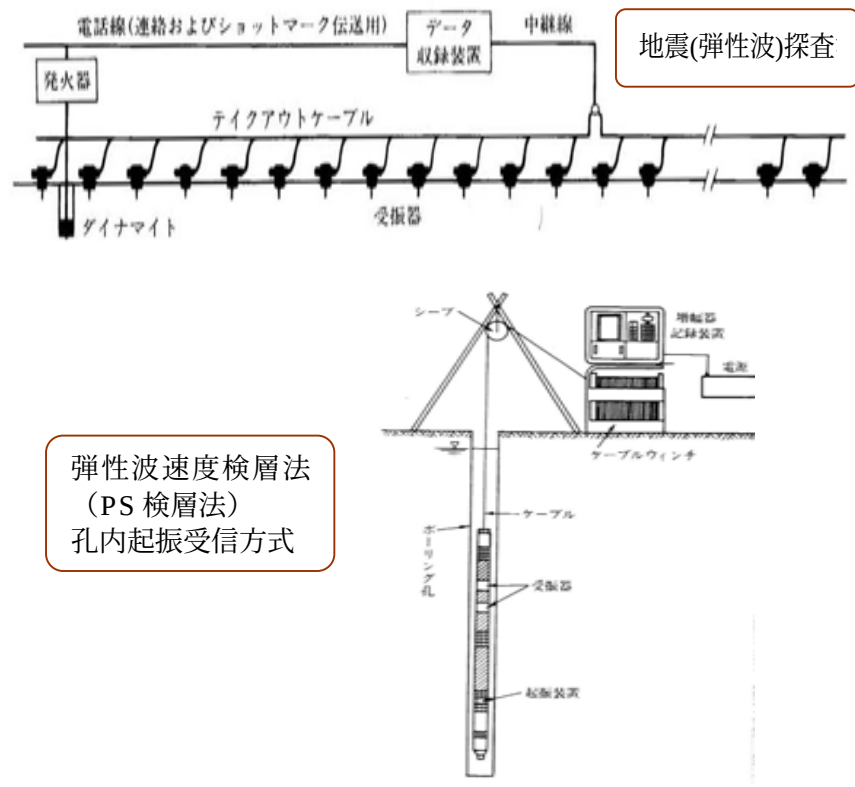
参考文献；土質地盤の調査・試験とその応用 H4. 3 理工図書
地盤の調査実習書 H8. 3 (社)地盤工学会

土
質
調
査
及
び
試
験

サ
ウ
ン
デ
ィ
ン
グ



物
理
探
査
法



サウンディング

土の硬軟など基本特性の推定
ボーリング調査を補間する簡易的な土層判別

パイプまたはロッドの先端に取り付けた抵抗体を、それぞれに決められた試験法により地盤中に貫入し、そのときの抵抗から土の硬軟などを推定する。

物理探査法

物理的なパラメータを介して地下構造の推定する。地表探査法は、点の調査であるボーリングと併用するなどして、地下構造の広がりや推定する。孔内探査法は、ボーリング孔を利用して各種物性値を把握する。

弾性波、電位差・電流、音波、電磁波、放射能などを地中に入射し、その応答から地下構造や物性値を推定する。

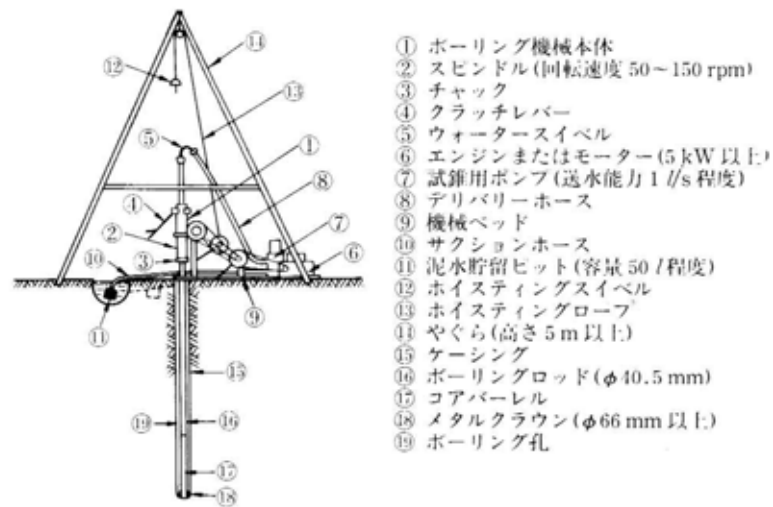
静的 サウ ン デ ィ ン グ	オランダ式二重管 コーン貫入試験	P10 参照	コーン貫入抵抗 q_c	土の硬軟・締まり具合 土層構成・非排水強度
	スウェーデン式 サウンディング	P11 参照	静的貫入抵抗 W_{sw} (錘の重量)と N_{sw} (半回転数)	土の硬軟・締まり具合 土層構成・ N 値・ q_u
	ポータブルコーン 貫入試験	P12 参照	コーン貫入抵抗 q_c	軟弱土層構成・ q_u 粘着力・トリアクビティ
	電気式静的コーン試験 (三成分コーン貫入試験)	P13 参照	先端抵抗 q_t 間隙水圧 u	土の硬軟・締まり具合 土層構成・非排水強度
	ベーンせん断試験	P14 参照	せん断強さ τ_v	地盤の粘着力
動的 S D	標準貫入試験	P15 参照	打撃回数 N 値 土試料の採取	土の硬軟・各種地盤定 数の推定・支持層等
	簡易動的コーン (円錐)貫入試験	P16 参照	打撃回数 N_d 値	土の硬軟・締まり具合 N 値・風化層調査
地表 探 査 法	地震(弾性波)探査法	P17 参照	P波速度 S波速度	地下構造の推定・岩盤 分類・斜面安定評価
	音波探査法	P18 参照	デジタル処理	海上での石油探査・海 岸構造物の地盤調査
	電気探査法	P19 参照	見掛け比抵抗 ρ_a	滞水層・概略地質・地 質構造の推定・管理
孔 内 探 査 法	弾性波速度検層法 (PS 検層法)	P20 参照	P波速度・S波速度 ポアソン比	地盤の分類・動的定数 の把握・地震時挙動の モデル化
	電気検層法	P21 参照	見掛け比抵抗 ρ_a	地層の区分・変質部の 検出資料・施工管理
	放射能検層法 (密度・水分検層)	P22 参照	γ 線強度 熱中性子数	地盤の密度 含水量



土質調査及び試験

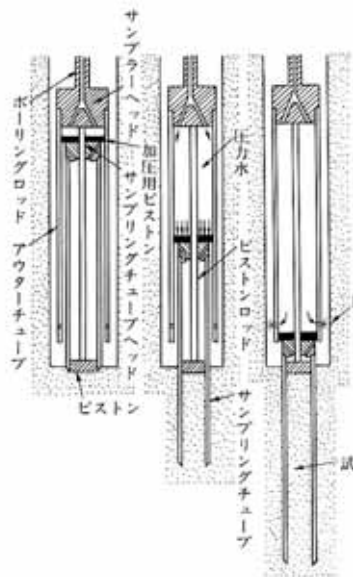
ボーリング

ロータリー式機械ボーリング

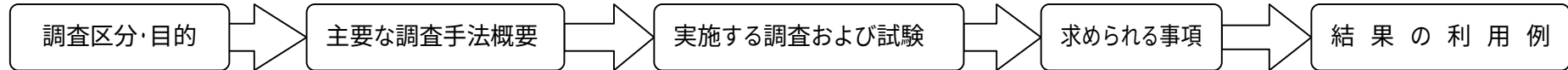
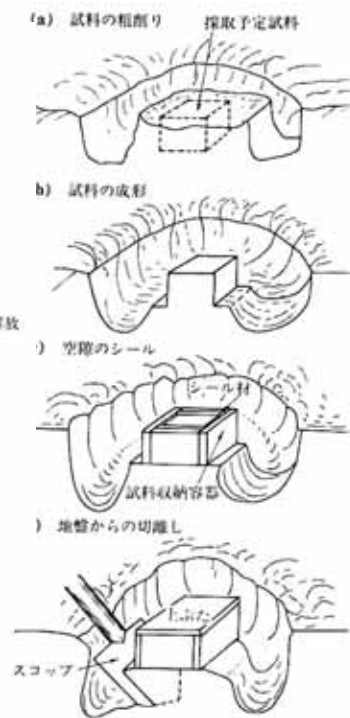


サンプリング

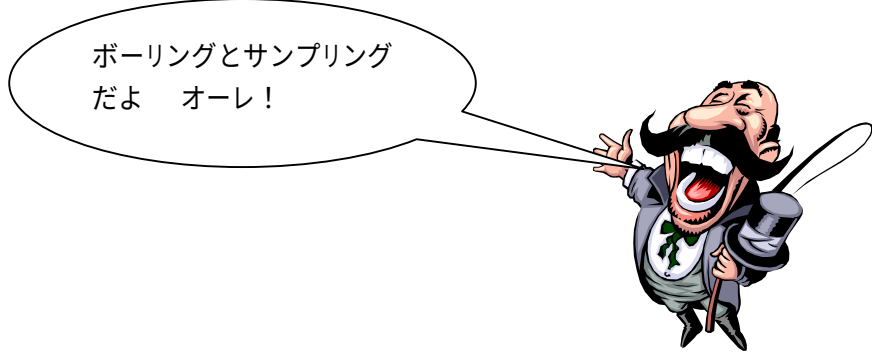
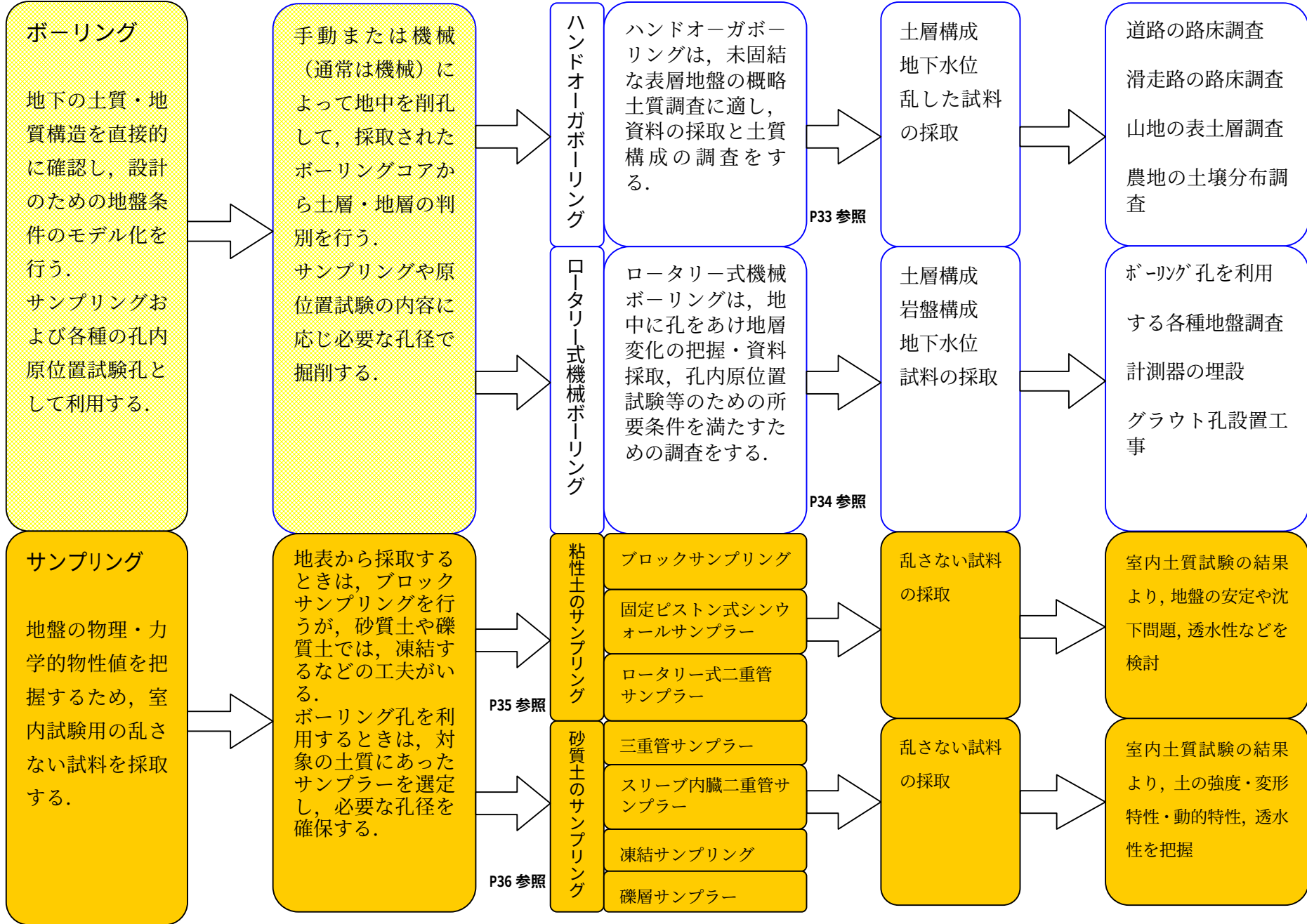
固定ピストン式シンウォールサンプラー (水圧式サンプラー)

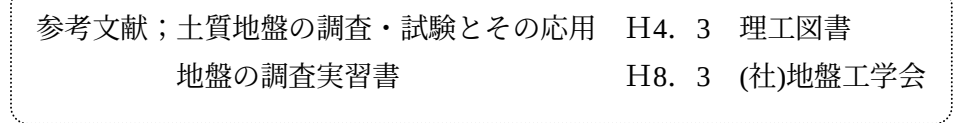


ブロックサンプリング

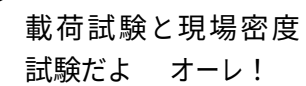
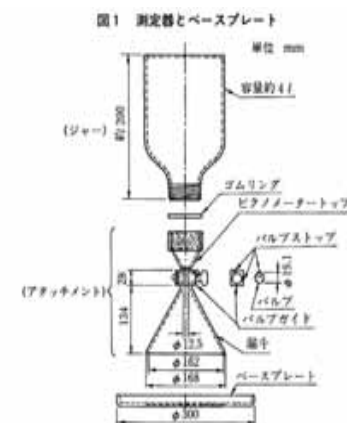


参考文献；土質地盤の調査・試験とその応用 H4. 3 理工図書
地盤の調査実習書 H8. 3 (社)地盤工学会

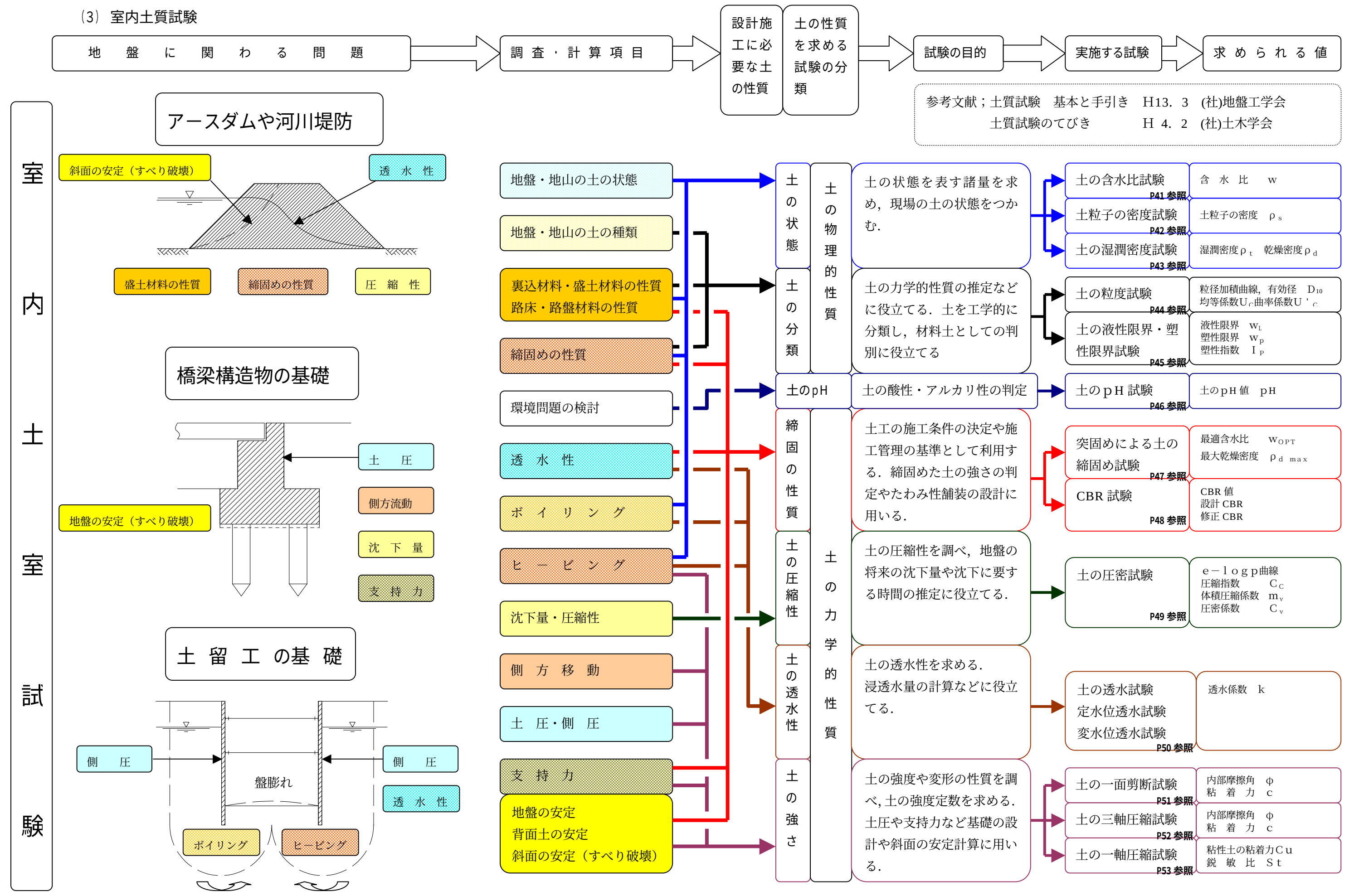


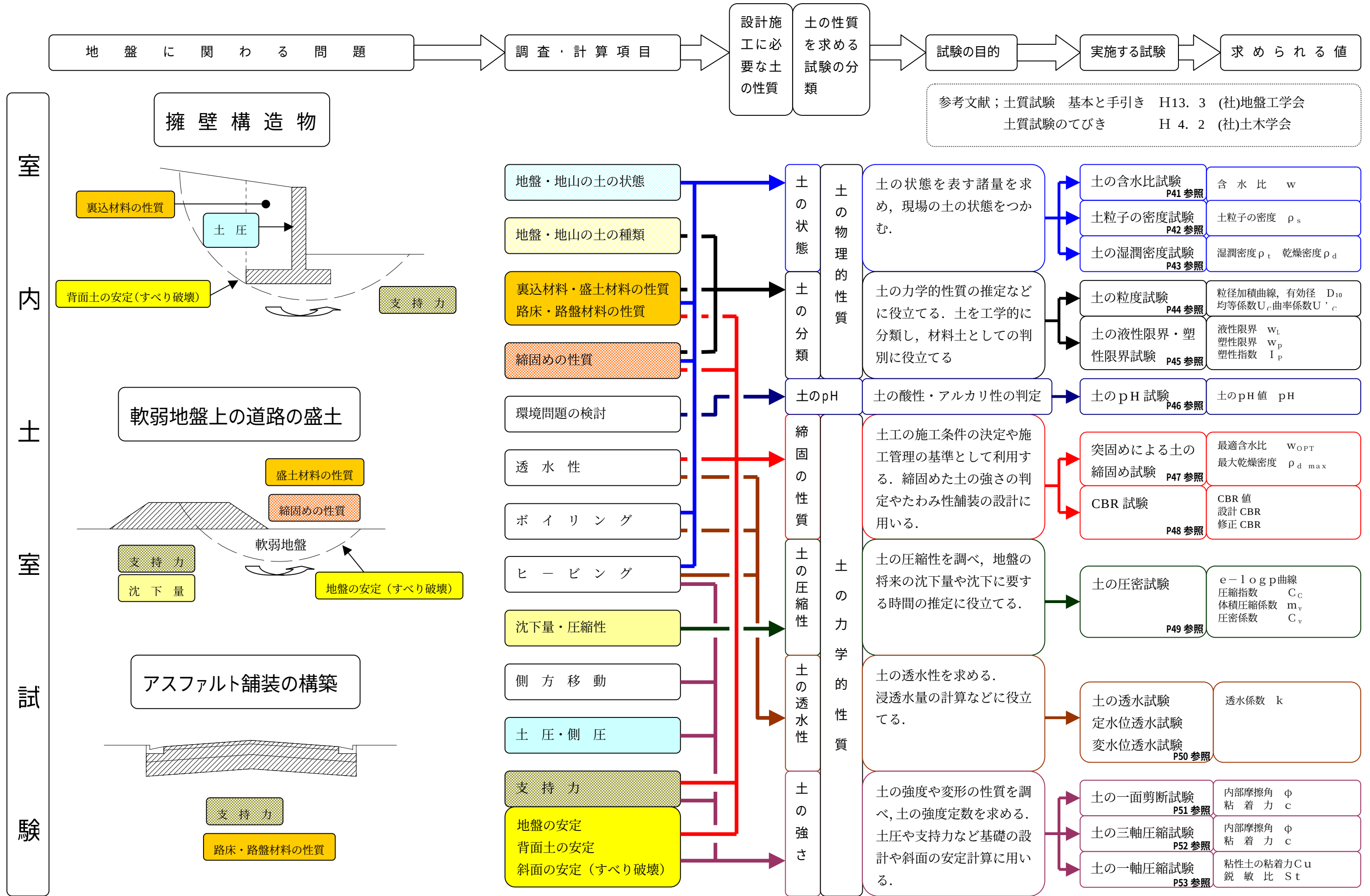


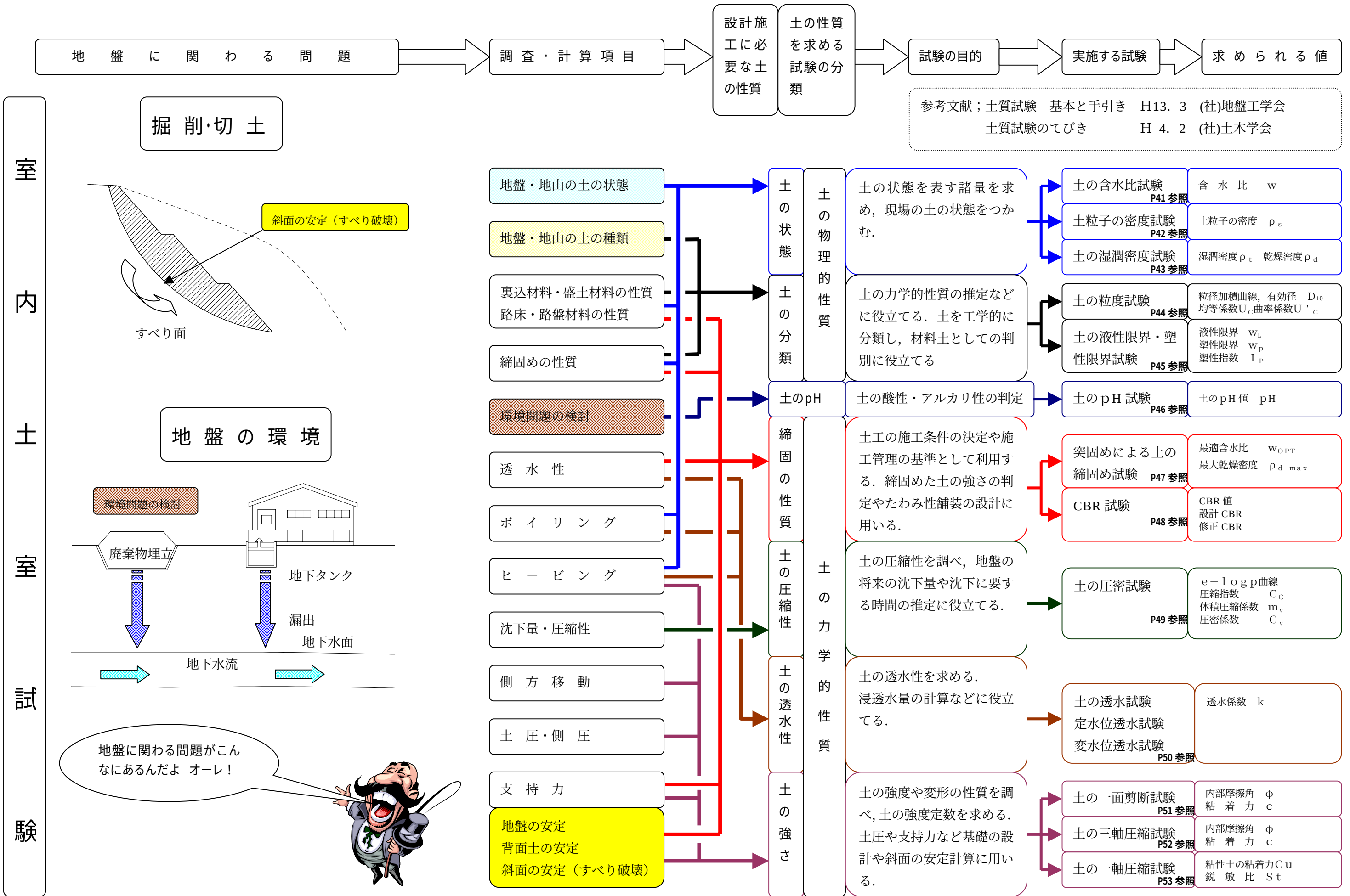
砂置換による土の密度試験



(3) 室内土質試験







(4) 各種調査・試験方法の概要

オランダ式二重管コーン貫入試験とは？



オランダ式二重管コーン貫入試験とは、静的コーン貫入試験の一つであり、オランダのパレンセンが開発したものであり、1956年に我が国に導入されて以来、国内で広く利用されています。

機種は、100kN（10tf）用と 20kN（2tf）用の2種類があります。

下図のように、装置をスクリーアンカーで地盤に固定し、ハンドルを回転することでロッドに取り付けたコーンを貫入します。二重管のため、フリクションの無い貫入抵抗が測定できます。

有効深度は、100kN タイプで 30m、20kN タイプで 20m程度です。

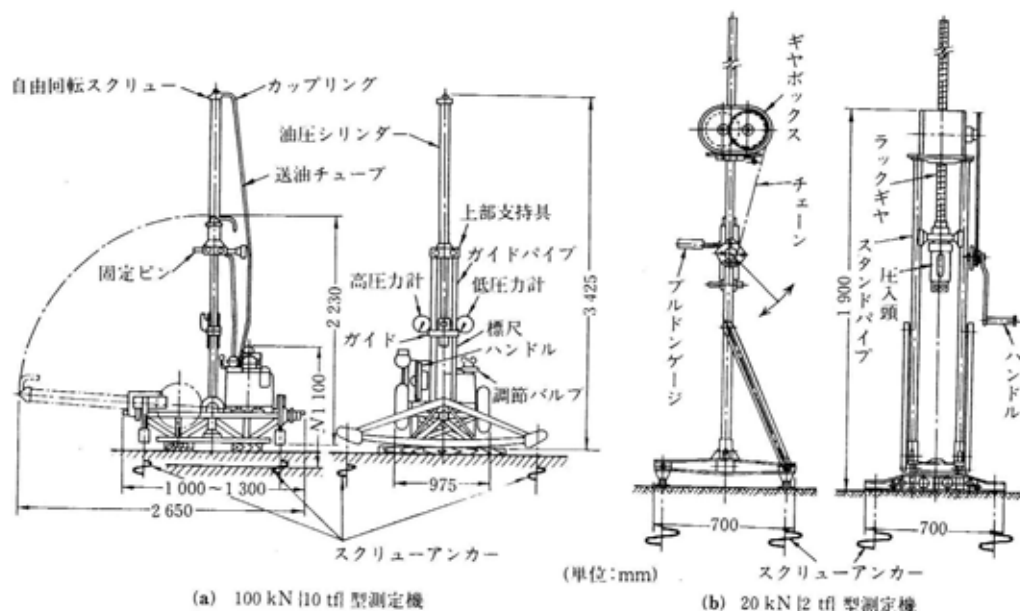


図 オランダ式二重管コーン貫入試験機

表 オランダ式二重管コーン貫入試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
オランダ式二重管コーン貫入試験	粘性土地盤や砂質土地盤	コーン貫入抵抗	土の硬軟、締めり具合、土層構成の判定 粘性土の非排水強度の推定

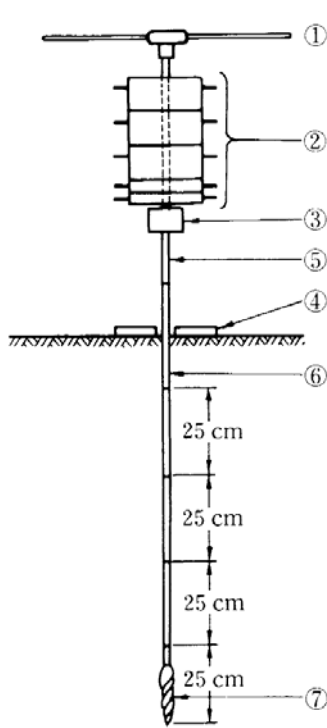
※コーン貫入抵抗：抵抗体（先端の円錐形のコーン）を地盤中に一定速度で貫入したときの抵抗

スウェーデン式サウンディング試験とは？



スウェーデン式サウンディング試験とは、原位置における土の静的貫入抵抗を求める、比較的簡易で多様されるサウンディング手法です。

スクリーポイント装着したロッドにおもりを段階的に載荷し、おもりが満載された以降は、ハンドルで回転を与えて、静的貫入抵抗を得ます。



- ①ハンドル
- ②おもり (10 kg- 2 個, 25 kg- 3 個)
- ③載荷用クランプ (5 kg)
- ④底 板
- ⑤ロッド (φ19mm, 長さ1m)
- ⑥スクリーポイント用ロッド
- ⑦スクリーポイント

静的貫入抵抗とは、1kN(100kgf)以下の荷重で貫入する場合の荷重 W_{sw} と $W_{sw}=1\text{kN}(100\text{kgf})$ の荷重で貫入がとまった後、所定の目盛線まで回転貫入させた時の半回転数から換算した貫入量 1mあたりの半回転数 N_{sw} を総称していいます。

この試験は、静的サウンディングの一種で、貫入能力に優れ、深さ 10m程度以浅の軟弱層を対象に概略調査または補足調査などに用いられます。

図 スウェーデン式サウンディング試験機

表 スウェーデン式サウンディング試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
スウェーデン式 サウンディング試験	10m程度以浅の軟 弱層	静的貫入抵抗 (W_{sw} と N_{sw})	・土の硬軟、締まり具合、土層構成の判別 ・N 値・一軸圧縮強さの推定

ポータブルコーン貫入試験とは？



ポータブルコーン貫入試験とは、静的コーン貫入試験の一つであり、米国陸軍技術本部水路局が開発したものが原型であり、鉄研Ⅰ型（単管式）と鉄研Ⅱ型（二重管式）の２種類は、現在でも多用されています。

下図に示したハンドルを持って、コーンを人力で地盤に鉛直に押し込みます。

施工時のトラフィカビリティーの評価に多用されます。

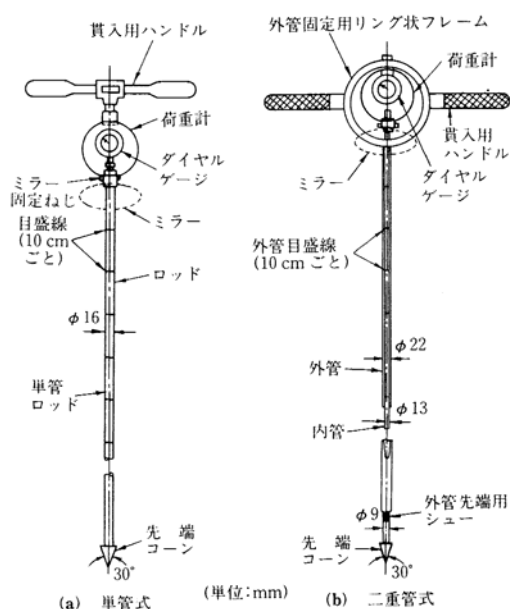


図 ポータブルコーン貫入試験機

表 鉄研Ⅰ型と鉄研Ⅱ型の特徴

試験方法	特 徴
鉄研Ⅰ型 (単管式)	深くなるにつれてロッドの周面摩擦が大きくなり、信頼できる測定深さは3～5m程度である。試験機は軽量で携帯に便利で一人でも測定できる。
鉄研Ⅱ型 (二重管式)	ロッドの周面摩擦の影響をとり除くためにロッドを二重管にしたものである。

表 ポータブルコーン貫入試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
ポータブルコーン貫入試験	粘性土や腐植土などの軟弱地盤	コーン貫入抵抗	軟弱層の土層構成や厚さ 粘性土の粘着力 建設機械のトラフィカビリティー

※コーン貫入抵抗：抵抗体（先端の円錐形のコーン）を地盤中に一定速度で貫入したときの抵抗

電気式静的コーン貫入試験とは？



電気式静的コーン貫入試験とは、ひずみゲージなどを使って電氣的に直接先端抵抗が測定できるようになり、これに加えて、間隙水圧や周面摩擦力も同時に測定できるコーンが開発され基準化したものである。

下図のような貫入機構部をクローラーに上載したタイプや、ボーリング機械で貫入するタイプもあり、他のサウンディングと比べて薄い層も高い精度で判別できます。

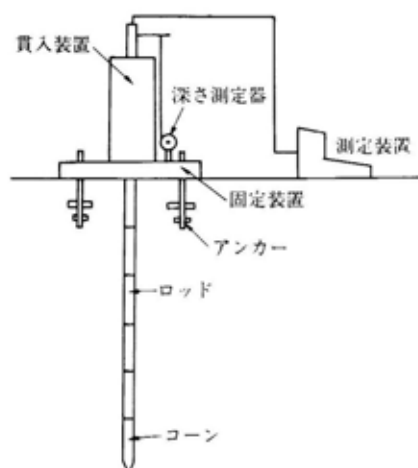


図 電気式静的コーン貫入試験

表 電気式静的コーン貫入試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
電気式静的コーン貫入試験	粘性土地盤や砂質土地盤	先端抵抗・間隙水圧	土の硬軟、締まり具合、土層構成の判別 粘性土の非排水強度の推定

ベーンせん断試験とは？



ベーンせん断試験は、無機質で軟弱な粘性土地盤の原位置でのベーンせん断強さを求めるものであり、断面が十字形の羽根（ベーン）のついたロッドを地中に押し込み、回転させたときの回転抵抗から、羽根によって形成される円筒形のせん断面に沿うせん断抵抗（粘着力）を求める試験です。

この試験は、一軸圧縮試験の「ボーリング→サンプリング→運搬→供試体成形→試験」における誤差と、めんどろな手順をとり除くことができ、経済的に行なえる利点があります。

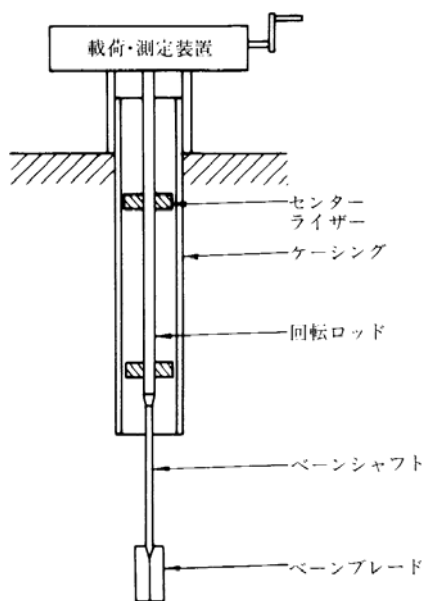


図 ボアホール式ベーンせん断試験概略図

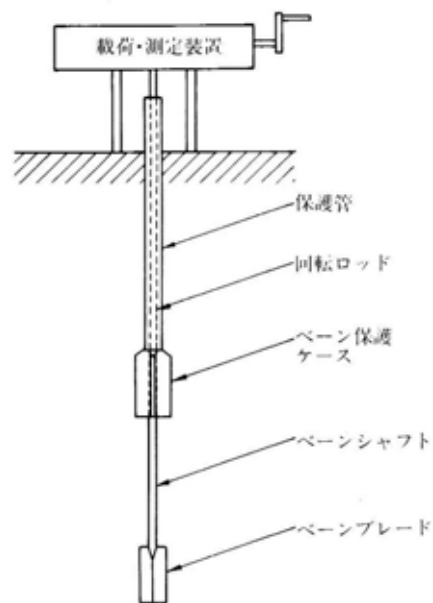


図 押込み式ベーンせん断試験概略図

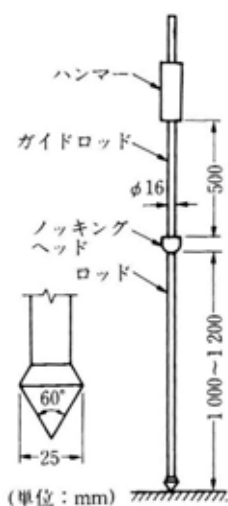
表 ベーンせん断試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
ベーンせん断試験	軟弱な粘性土地盤	ベーンせん断強さ	- 安定解析や支持力の計算 - 一軸圧縮強さとの比較

簡易動的コーン（円錐）貫入試験とは？



この試験は、原位置における土の貫入抵抗を求めるために行なうサウンディングであり、貫入量と打撃回数から地盤の硬軟、締まり具合を調べるものです。



先端角 60° 、底面直径 25mm の先端コーンを付けたロッド（直径 16mm）を質量 5kg のハンマーの自由落下（落下高 50cm）により打ち込み、10cm 貫入に要する打撃回数 N_d 値を求める。

図 簡易動的コーン（円錐）貫入試験機

表 簡易動的コーン（円錐）貫入試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
動的貫入試験	未固結の表層地盤	N_d 値	- 土の硬軟、締まり具合、N 値などの推定 - 斜面崩壊地の風化層調査

地震（弾性波）探査法とは？



地震（弾性波）探査法とは、地盤中の弾性波の伝播特性を利用して、地下構造を推定する物理探査技術です。地震（弾性波）探査法は、利用する弾性波の種類や測定形態（振源や受振器の配置法）によっていくつかの方法に分類されています。

地震（弾性波）探査法のうち土木分野の地質調査で最もよく利用されているのが屈折法弾性波探査です。

下図のように、弾性波を受振するピックを地盤の表面に配置し、ダイナマイトやカケヤで弾性波を起振します。

各受振器での弾性波観測記録を解析して地下構造を推定します。

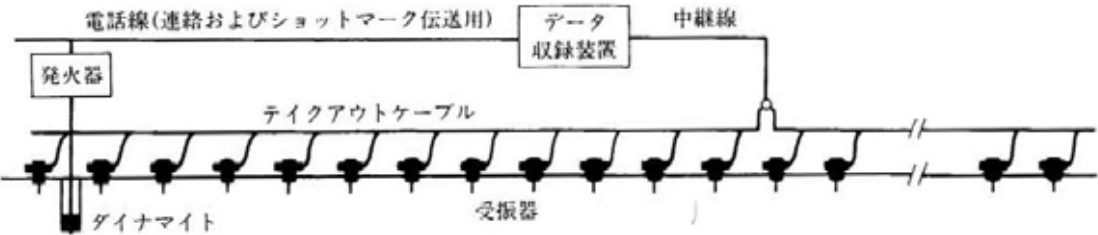


図 屈折法弾性波探査測定概念図

表 地震（弾性波）探査の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
地震（弾性波）探査法	すべての地盤	P 波速度 S 波速度	・ 地下構造（弾性波速度とその分布）の推定 ・ 岩盤分類、切土法面の安定性評価

表 屈折法探査の利用

対象	探査で把握するもの	設計・施工上の適用	対象	探査で把握するもの	設計・施工上の適用
ダム	風化岩盤の分布	掘削レベルのゾーニング、 原石山の評価	地すべり	基盤岩の分布	すべり土塊の分布 地質考察上の資料
トンネル	基盤の岩盤状況	破碎帯の有無 岩盤区分（施工区分）	港湾	堆積岩の分布	堆積層厚の分布 基盤物性の把握
造成 切取り	風化層の分布	掘削工法の検討 掘削土量の算出	橋梁	風化層の分布	基礎岩盤の支持力、 安定検討上の資料

音波探査法とは？



音波探査法とは、物理探査法のうち海上において実施される反射法弾性波探査の一種で、海底下の地質構造を把握する手段として多用されます。

下図のように、マルチチャンネル式では、調査船でエアガン等の震源と受振点多数（24～48個）を等間隔に並べたケーブル（ストリーマケーブル）を曳航し、発振を繰り返しながら測線を航行します。

デジタル地震探査器に記録し、この記録に対して各種補正を行い、CDP重合により反射断面図を作成します。

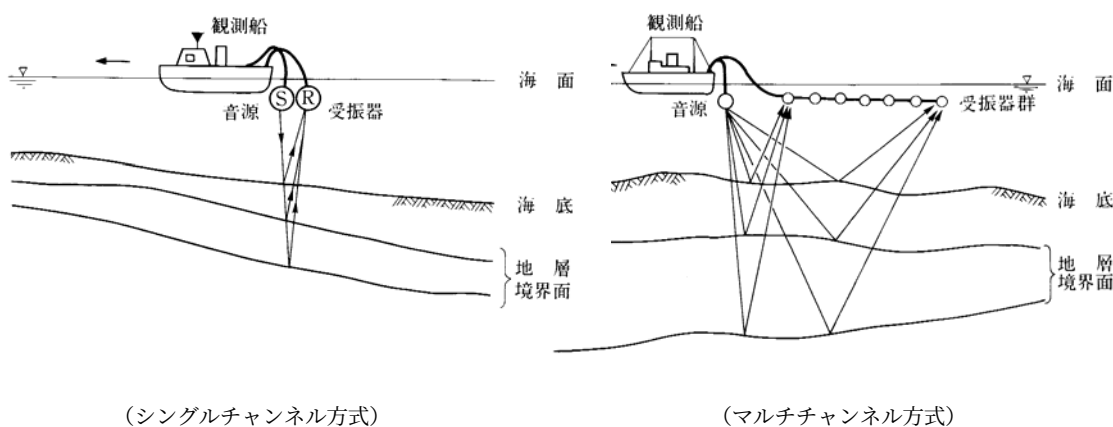


図 音波探査法概念図

表 音波探査の結果利用例

試験方法	得られる値	結果利用例
音波探査法	デジタル処理	・海底下の地層構造の把握 ・石油探査・海岸構造物の地盤調査

電気探査法とは？



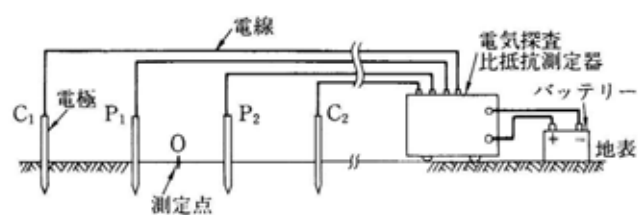
電気探査法とは、地質によって電気性質が異なることを利用して、地盤の構造を探索する方法です。

電気探査法のうち、土木分野の地質調査で最もよく利用されているのが比抵抗法であり、電気探査法といえば比抵抗法を指すことが多いです。

下図のように、地面に電流を流すことで発生する電位から、地下の電気抵抗を探ります。

表 主要な岩石・土・水の比抵抗

岩石・土の種類	比抵抗 ($\Omega \cdot m$)	岩石・土・水の種類	比抵抗 ($\Omega \cdot m$)
花崗岩	$3 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$	頁岩	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^1$
閃緑岩	$1 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4$	砂利	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$
安山岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$	砂	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^3$
玄武岩	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$	粘土	$8 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^2$
ローム	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$	表土	$2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$
礫岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^4$	石灰岩	$6 \times 10^1 \sim 5 \times 10^5$
砂岩	$3 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$	地下水	$2 \times 10^1 \sim 8 \times 10^1$
泥岩	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^2$	海水	3×10^{-1}



C_1, C_2 : 電流電極 P_1, P_2 : 電位電極

図 電気探査装置の概念図

通常、電気検層法で測定される比抵抗は、ボーリング孔内に挿入した電極周辺の平均的な値であること、孔内水や孔径の影響を受けていることなどにより見掛けの比抵抗である。

表 電気探査の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
電気探査法	すべての地盤	見掛け比抵抗	・ 滞水層、概略の地質・地質構造の推定 ・ 土構造物の施工管理・保守管理資料

弾性波速度検層法とは？



弾性波速度検層法とは、単一のボーリング孔を利用し地盤内を伝播する弾性波（P 波及び S 波）の速度を測定するものです。

下図のように、ボーリング孔内に受振器を挿入し、地上から弾性波を起振するダウンホール方式や、起振装置と受振器を内蔵したゾンデを用いるサスペンション方式が多用されます。

表 代表的な弾性波速度検層法

試験方法	起振	受振	試験方法	起振	受振
ダウンホール法	地表	孔内	アップホール法	孔内	地表
孔内起振受振法	孔内	孔内	クロスホール法	複数のボーリング孔を利用	

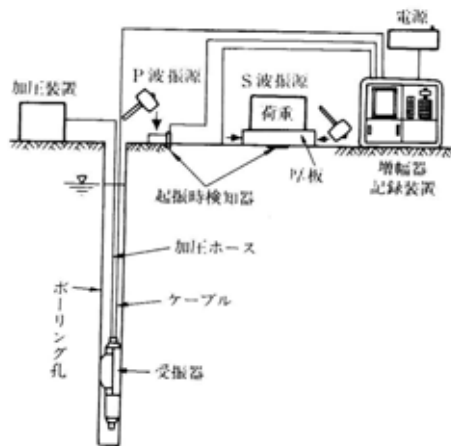


図 ダウンホール方式の例

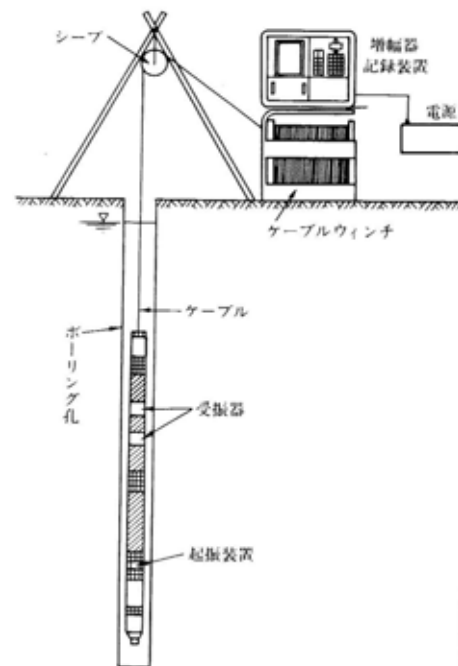


図 孔内起振受振方式の例

表 弾性波速度検層の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
弾性波速度検層法	すべての地盤	P 波速度、S 波速度、ポアソン比、せん断弾性係数、ヤング率	・地盤の分類、動的定数の把握 ・地盤の地震時挙動のモデル化 ・人工的な振動源による地盤の挙動の把握

電気検層法とは？



電気検層法は、ボーリング孔内での地層の比抵抗を測定する比抵抗法と自然電位法に分かれています。土木調査のための電気検層法は、比抵抗を測定する方法が一般的です。

この電気検層法の基本的な原理は、電気探査法と同じで、孔壁面にゾンデを用いて電流を流すことで、発生する電位から、地下の電気抵抗を探ります

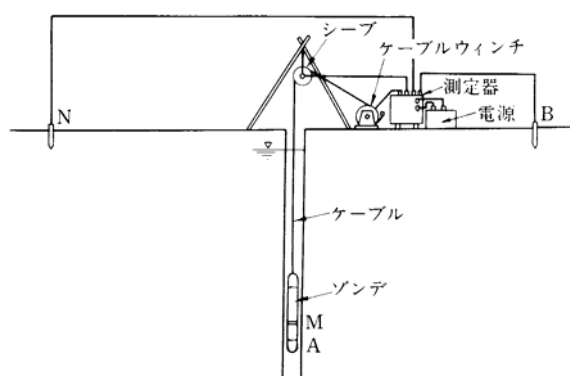


図 電気検層装置の例

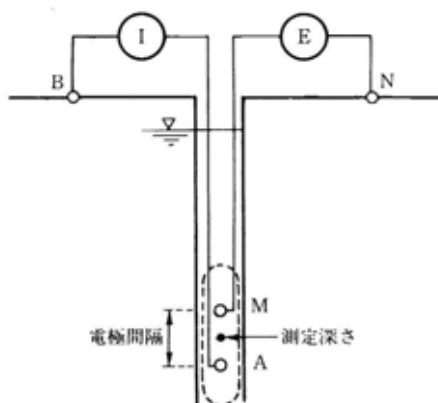


図 電気検層法の電極配置（ノルマル検層）

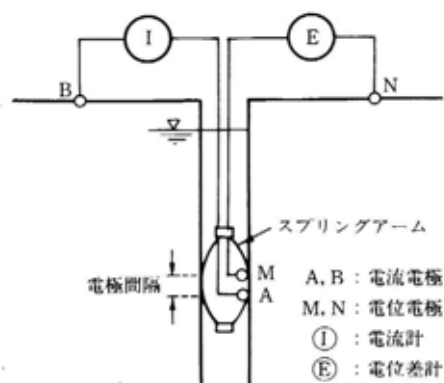


図 電気検層法の電極配置（マイクロ検層）

表 電気検層の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
電気検層法	すべての地盤	見掛け比抵抗	- 地層の区分および変質部の検出資料 - 土構造物の施工管理・保守管理資料

放射能検層法とは？



放射能検層法とは、放射性同位元素を用いて、地盤の密度や含水量を測定する検層です。

密度検層は、 γ 線の線源と検出器を内蔵したゾンデを使用し、 γ 線のコンプトン効果を利用して地盤の密度を測定するものです。

水分検層は、中性子線の線源と検出器を内蔵したゾンデを使用して、地盤中の水素原子の量を測定することで、地盤の含水状態を求めます。

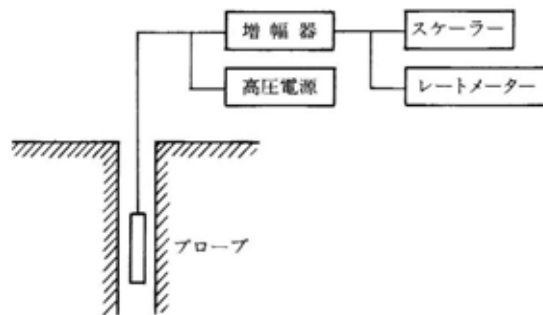
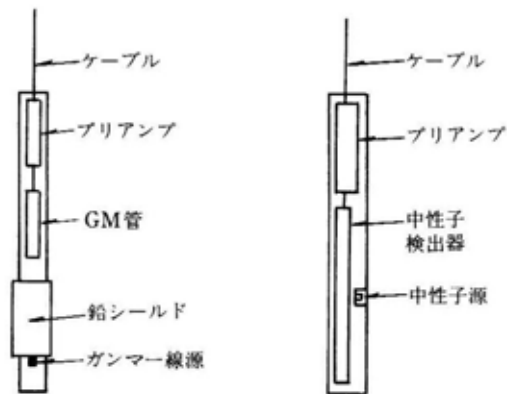


図 放射能検層法



a) 密度検層用プローブ (b) 水分検層用プローブ

図 密度検層（ガンマー検層）と水分検層（中性子検層）

表 放射能検層の結果利用例

試験方法	結果利用例
密度検層（ガンマー検層）	地盤の密度を測定するもの
水分検層（中性子検層）	地盤の含水量を測定するもの

砂質地盤の地下水位測定とは？



この測定は、ボーリング孔底の砂質地盤を対象に、ボーリング孔を利用し、砂質地盤の地下水位を求めることを目的とした測定です。

地下水位とは、砂質地盤中の間隙水のもつ水頭をいい、ボーリング孔内の平衡水位を測定することにより求めます。

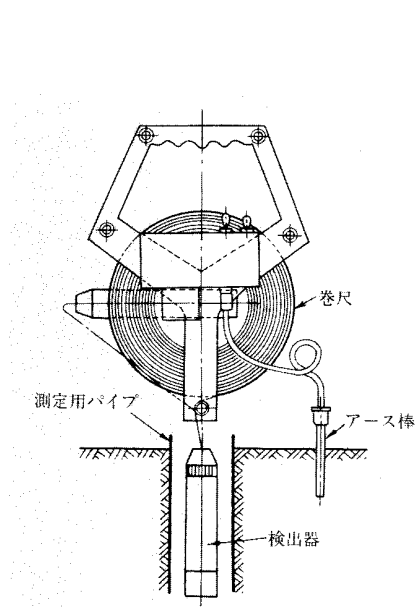


図 手動式測定器の例

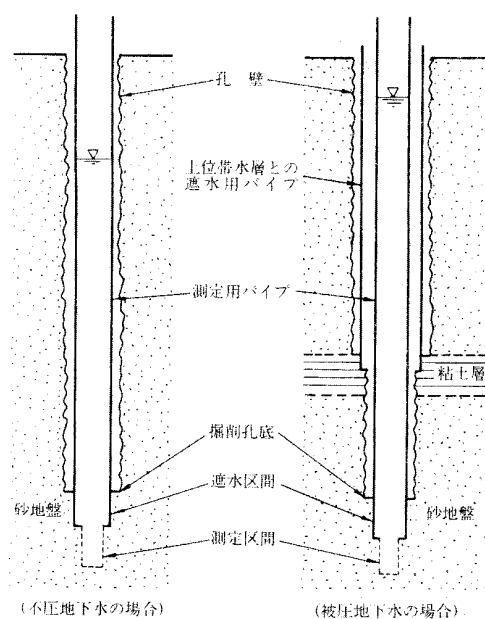


図 遮水方法の例

表 砂質地盤の地下水位測定の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
砂質地盤の地下水位測定	砂質地盤	地下水位	地盤沈下、掘削時の底盤安定性の検討

電気式間隙水圧計による間隙水圧の測定とは？



この測定は、ボーリング孔底の飽和土を対象に、ボーリング孔を利用し電気間隙水圧計を用いて、間隙水圧を求めることを目的として測定します。

間隙水圧とは、土の間隙水のもつ圧力をいいます。

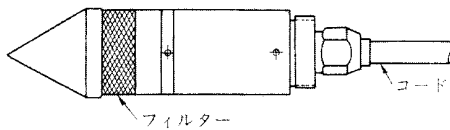


図 電気式間隙水圧計の例

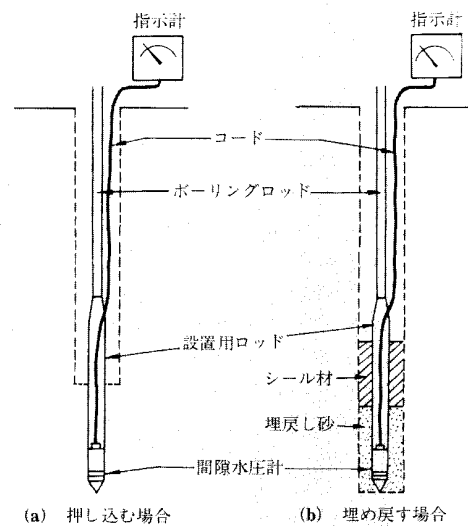


図 間隙水圧計の設置例

表 間隙水圧測定の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
電気式間隙水圧計による間隙水圧の測定	飽和土	間隙水圧	盛土・構造物の沈下、掘削時の排水、地すべりなどの検討 地震時の間隙水圧測定

透水試験とは？



試験方法の種類には、非定常法と定常法とがあります。前者は、孔内水位を一時的に低下させて水位の経時変化を測定し、後者は、孔内水を一定流量で揚水し続け、孔内水位が一定となった時の水位を測定するものです。

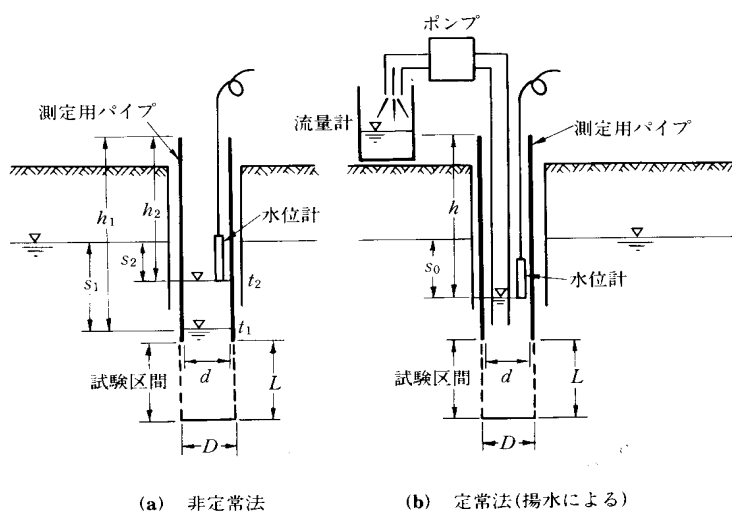


図 透水試験方法の例

1本のボーリング孔で地下水面下にある地盤の透水係数を求めるための試験として、単孔式原位置透水試験が広く普及していますが、測定結果に個人誤差が入りやすいため、砂質地盤を対象にこの試験が基準化されたものです。

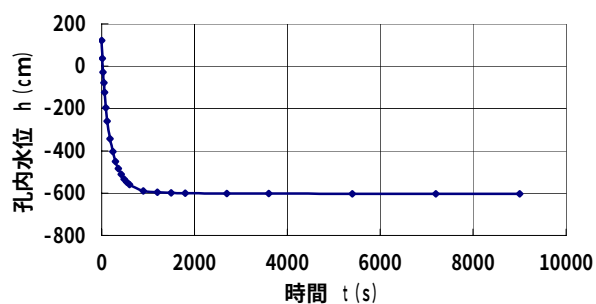


図 $h \sim t$ 曲線の例

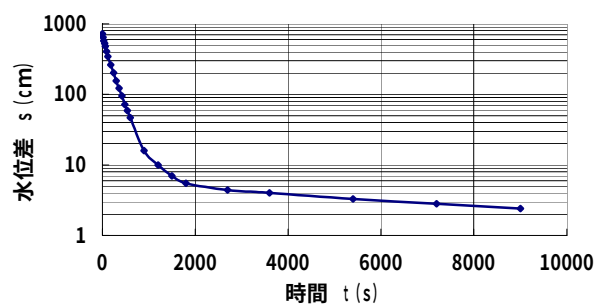


図 $\log s \sim t$ 曲線の例

表 透水試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
透水試験	飽和砂質地盤	透水係数	- 地下掘削時の湧水量・水位低下量の算定 - 排水工の概略設計、薬液注入効果の確認

ルジオン試験とは？



この試験は、岩盤の透水性の指標であるルジオン値を求めることを目的として行われます。

ルジオン値とは、試験区間内に 0.98MN/m^2 の圧力で注水し、試験区間 1m 当りの 1 分間の注水量 (1) のことをいいます。

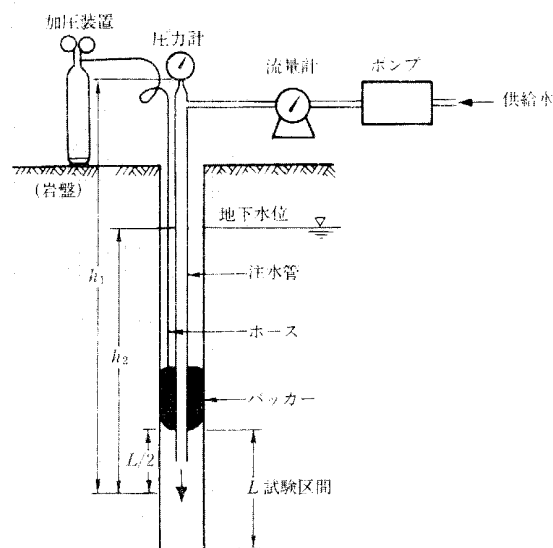


図 ルジオン試験装置の例

この試験結果より、透水性分布図であるルジオンマップを作成します。ルジオンマップはダム位置の選定、堤体基礎掘削の深さおよびグラウチングの計画などに用いられます。

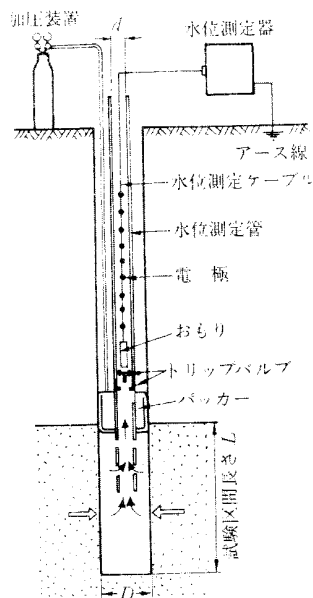


湧水圧による岩盤の透水試験



この試験は、地下水位以下の岩盤を対象とし、岩盤の平衡水位および透水係数を求めることを目的として行われます。

試験方法は、下図のように、ボーリング孔の試験区間の上（あるいは上下）をパッカーで止水して、トリップバルブを開放した直後からの水位測定管内の水位変化を測定するものです。



透水係数とは、土の中を水が移動する速度を表したものです。土中の間隙は連続しているので、水はその間隙をぬって連続して流れます。このように土の中を水が流れる性質を土の透水性といいます。

図 測定装置の概要

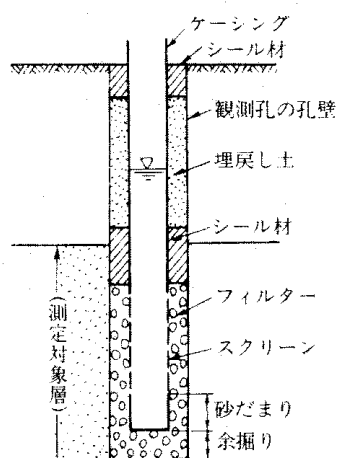
この試験は、推定したトンネル湧水量の妥当性の評価、深い根切りに伴う排水量の推定、薬液注入効果の確認に利用されます。



観測井による砂質地盤の地下水位測定とは？



この測定は、飽和した砂質地盤を対象に、観測井を用いて長期的に地下水位を求めることを目的として測定します。



地下水位とは、間隙水のもつ水頭をいいます。

図 観測井の例

表 ボーリング孔を利用した地下水位・間隙水圧測定の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
観測井による砂質地盤の地下水位測定方法	飽和砂質地盤	長期的な地下水位	地下水保全・開発のための資料 地盤沈下・地すべり・斜面安定の検討

揚水試験とは？



揚水試験は、Darcy（ダルシー）の法則に基づく井戸理論を用いて、揚水量と地下水低下量の測定結果を解析するもので、試験結果の解析方法には、Theis（タイス）の方法、Jacob（ヤコブ）の方法、平衡式による回復式による方法があります。

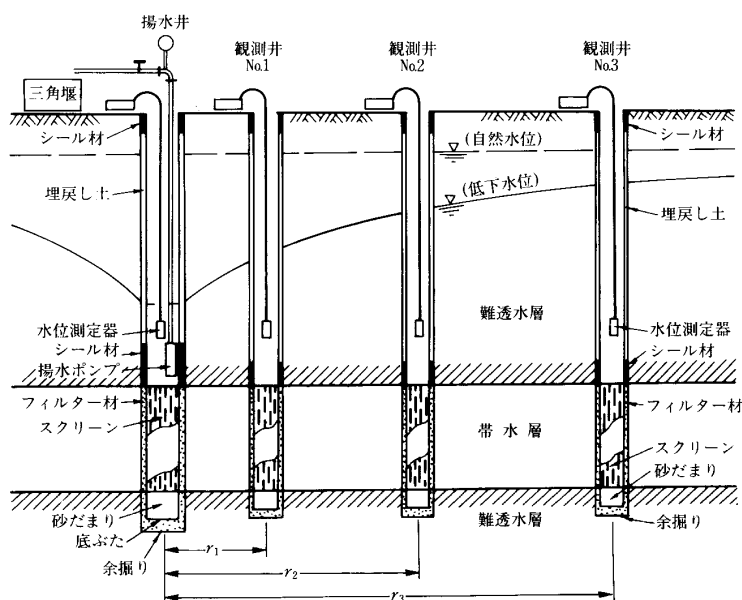


図 揚水井と観測井

この試験は、揚水井と複数の観測井を用いて行う大規模な原位置透水試験で、広い範囲の地盤の透水量係数（または透水係数）と貯留係数を精度よく求めることができます。

表 揚水試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
揚水試験	砂質地盤および礫質地盤	透水量係数（透水係数）、貯留係数	・地盤掘削工事における地下水圧の軽減、湧水の防止などのための排水工法の設計

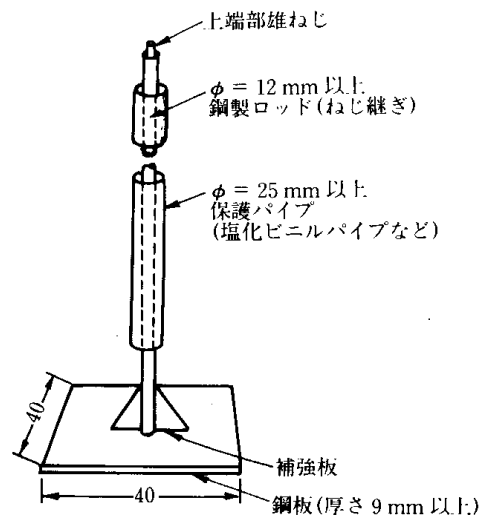
地表面の変位・変形測定とは？



地表面の変位・変形の測定は、盛土や埋立てによる地盤の沈下量や側方流動の程度を知ることにより、工事中の施工管理や工事完了後の維持管理に役立てるほか、地すべり地での土塊の移動量を測定して、斜面のすべり破壊の予測に役立てるものです。

下图は、盛土や埋立て時の沈下量を現場で実測する時に多用される沈下板を示しています。

沈下板は、盛土や埋立て前に原地盤に設置します。土工の進行に合わせてロッドと保護パイプを順次継ぎ足します。沈下量の計測は、不動地盤に設置した基準レベルと、ロッド先端のレベル差を測定することで算出できます。



(単位:cm)

図 沈下板の例

表 地表面の変位・変形の測定の結果利用例

試験名	適応範囲	得られる値	結果利用例
沈下板を用いた地表面沈下量測定方法	主に軟弱地盤	地表面沈下量	長期沈下量の推定、沈下土量の把握
変位杭を用いた軟弱地盤の地表面変位測定方法	主に軟弱地盤	地表面の鉛直および水平変位	盛土工事や掘削に伴う周辺地盤変形管理
伸縮計を用いた地表面移動量測定方法	自然地盤および造成地盤	地表面移動量	斜面のすべり破壊の予知
水管式地盤傾斜計を用いた地表面の傾斜移動量測定方法	自然地盤および造成地盤	地表面の傾斜変動量	地すべり発生の早期検知 地すべり発生範囲の把握

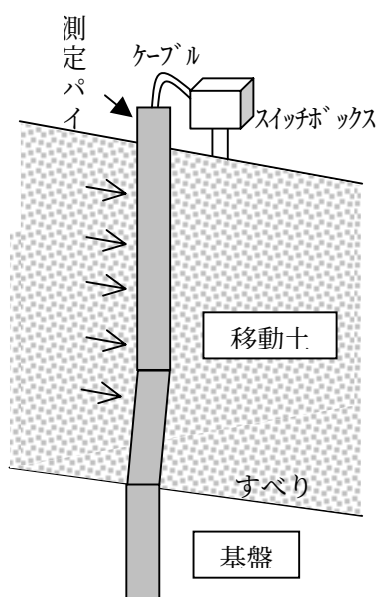
地中の変位測定とは？



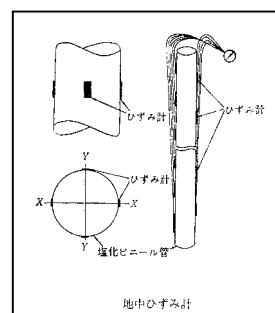
地中の変位測定は、地盤の鉛直および水平変位を測定するために行います。地盤の挙動は三次元的であるため、有効な計測方法の組合せと計測方法の特性を考慮した設置位置の選定が重要となります。

下図は、地中の横方向への変位を測定するときに多用されるパイプ歪計を示しており、例えば地すべり地等においてすべり面の位置を調べるときなどに多用されます。

この装置は、パイプに貼り付けた歪ゲージにより深度毎の変位量を測定するものです。



パイプひずみ計使用例



地中ひずみ計

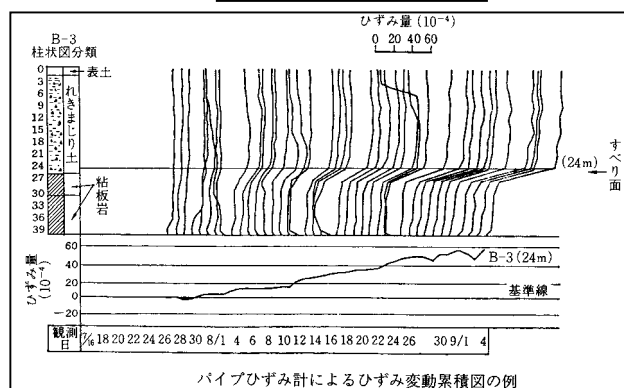


図 パイプ歪計の測定模式図

表 地中の変位測定の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
クロスアーム式沈下計を用いた盛土内鉛直変位測定方法	主に高盛土	盛土内鉛直変位	盛土の沈下・破壊の把握
地中ひずみ計を用いた地すべり面の測定方法	地すべり地域の地盤	地中ひずみ計の変動量	地すべり面および地すべりの滑動状況の把握

土中土圧と間隙水圧の測定とは？



土構造物の設計で最も重要な要素の一つが土圧、水圧の設定です。しかし、土圧・水圧を事前に正確に予測することは困難であることから、種々の建設工事に際して、実際に測定し確認することが行なわれています。

下図は、電気式間隙水圧計を示しており、ボーリング孔を利用するなどして、目的の地盤に圧入し、地盤中の間隙水圧の変化を測定するものです。

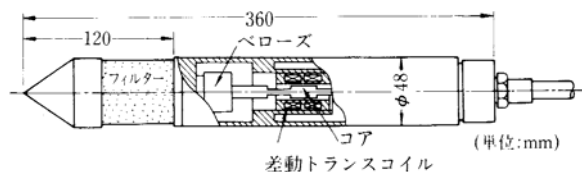


図 電気式間隙水圧計の構造

土中土圧、間隙水圧を測定する目的は、対象とする基礎地盤または土構造物の応力状態を知ることによって、設計の妥当性やその適用限界を検証することと、施工中あるいは施工後における安全管理や経済性を加味した最適設計を目指すことなどです。

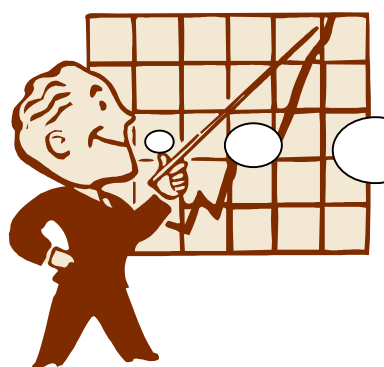
表 土中土圧と間隙水圧の測定の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
土中土圧と間隙水圧の測定	基礎地盤および土構造物	土中土圧、 間隙水圧	・ 設計の妥当性や適用限界の検証 ・ 施工中・施工後の安全管理

ハンドオーガーボーリングとは？



ハンドオーガーボーリングとは、オーガーボーリングのうち、機械を使わないで、単純かつ軽量の器具だけを用い、作業のすべてを人力で行う方式の簡易式ボーリング方法をいいます。



この方法は、未固結な表層地盤の概略土質調査に適用されるもので、未固結土の代表的試料の採取と土質構成の調査を目的としています。

表 オーガーボーリングの方法

試験方法	使用機械等
ハンドオーガーボーリング	機械を使わないで、単純かつ軽量の器具だけを用い、作業のすべてを人力で行なう方法（人力式）
マシンオーガーボーリング	専用または万能型のボーリング機械を使う方法（機械式）
パワーヘッドオーガーボーリング	回転力は小型エンジンに、押込みと引上げ操作は人力に依存する方法（動力・人力折衷式）

表 ハンドオーガーボーリングの結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
ハンドオーガーボーリング	未固結の表層	土層構成、地下水位	・道路や滑走路の路床調査 ・山地の表土層調査、農地の土壌分布調査

ロータリー式機械ボーリングとは？



ロータリー式機械ボーリングとは、地中に孔をあけながら土質および地層の変化を把握すること、あるいはボーリング孔を利用する各種の試料採取、孔内原位置試験、計測器埋設、工事などのためのそれらの所要条件を満たす孔を地中にあけることを目的としています。

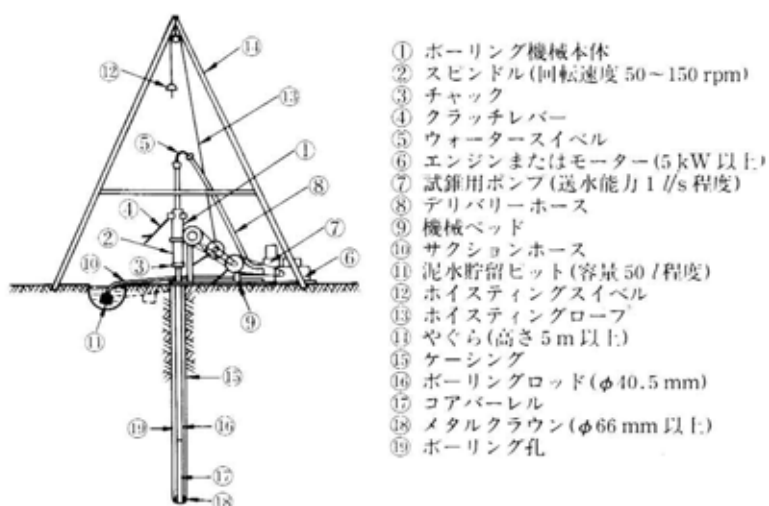


図 ロータリー式機械ボーリング装置一般図

表 ロータリー式機械ボーリングの結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
ロータリー式機械 ボーリング	すべての地盤	土層・岩盤構成	・ボーリング孔を利用する各種地盤調査 ・計測器埋設・グラウト孔設置工事

粘性土のサンプリングとは？



地盤調査におけるサンプリングの目的は、基礎地盤の設計や施工に必要な地盤情報を得るために土の観察や室内試験に供する試料を採取することです。

比較的軟らかい粘性土の乱さない試料の採取に、固定ピストン式シンウォールサンプラーが広く用いられています。

表 粘性土を対象とする主なサンプリング方法とその特徴

サンプリングの方法	ピストンの有無と状態	適応地盤	採取試料の状態	特徴
1. オーガーボーリング	—	固結土を除く	乱した試料	浅い位置の乱した試料の採取によく用いる。作業が手軽である。
2. 標準貫入試験用サンプラー	無	ほとんどすべての土		物理的特性を知るための試料採取法として最も普遍的である。
3. ブロックサンプリング	—	軟岩を含む ほとんどすべての土	A	斜面の露頭、掘削底面、横坑内の切羽等で塊状の試料を多量に採取できる。
4. 固定ピストン式シンウォールサンプラー	固定	N=0~8の粘性土 N<10のゆるい砂質土	A	チューブ押し込み時にピストンが固定され、高品質の試料が採取できる。最も広く普及し、信頼度も高い。
5. ロータリー式二重管サンプラー	無	N=4~8以上の粘性土	A~B	二重管式のサンプラーの外管先端のクラウンより内管が突出しており、内管の地盤への貫入に伴い、外管で周りの地盤を削り取る。硬質粘土の採取に多用される。

(注) A：ほぼ原地盤の状態を保つとみてよいもの。

B：Aに比べて乱れやすいが、注意深い操作が行なわれた場合、比較的良質のサンプルが得られるもの。

砂質土のサンプリングとは？



基礎や構造物における設計の合理化に反映させるために、砂質土、礫質土地盤に対する乱さない試料採取の需要が高まっています。

最近では、凍結サンプリングが、砂質土に対し極めて良質な乱さない試料が採取できる手法の一つとして注目されています。

表 砂質土を対象とする主なサンプリング方法とサンプラーの仕様

サンプリングの方法	構造	ピストンの有無と状態	押し込み方法	適応地盤	採取試料の状態	試料径 (mm)	ボーリング孔径 (mm)	備考
1. 三重管サンプラー	三重管	無	ロータリー式	N=4~8 以上の粘性土 N>10 以上の砂質土 N>30 以上の砂礫	A~B	50、70	86	
2. スリーブ内蔵二重管サンプラー	二重管	無	ロータリー式	N=4~8 以上の粘性土 N>30 以上の砂質土 岩盤	A~B	50、68 92,125	66,86 116,146	
3. 凍結サンプリング	—	—	—	砂、砂礫	A	任意	—	極めて良質な乱さない試料採取可、費用が高い
4. バスケット型コアキャッチャー付き固定ピストン式サンプラー	単管	有	静的	砂質土、礫混じり土	A~B	68、81	86,116	主に珊瑚砂まじり土
5. 礫層サンプラー	二重管	有	ロータリー式	砂礫土	A~B	97	146	大口径もある

(注) A：ほぼ原地盤の状態を保つとみてよいもの。

B：Aに比べて乱れやすいが、注意深い操作が行なわれた場合、比較的良好品質の試料が得られるもの。

地盤の平板載荷試験とは？



地盤の平板載荷試験は、原位置地盤に剛な載荷板を設置して荷重を段階的に加え、その荷重ごとの載荷板の沈下量と荷重強さとの関係から、基礎地盤の地盤反力係数や極限支持力などの支持力特性を求めることを目的としています。

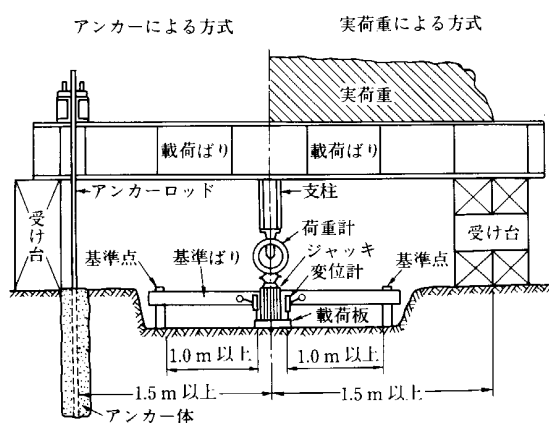


図 載荷装置の例

地盤反力係数とは、単位面積当りの荷重変化に対する沈下量の変化の割合をいいます。

また、極限支持力とは、「荷重－沈下曲線」で、沈下が急激に増大し始めるとき、もしくは、載荷板やその周辺地盤の状況が急激に変化し、所定の荷重を維持することが困難になり始めたときの強さをいいます。

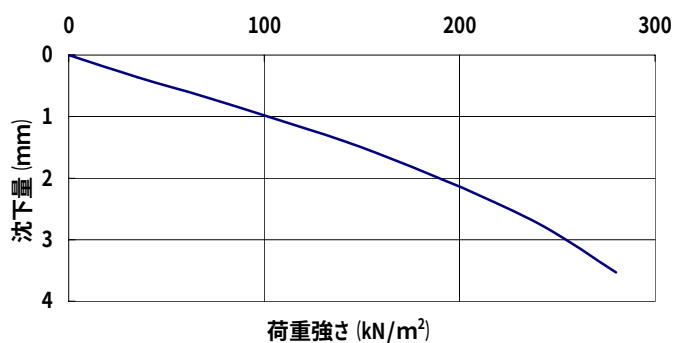
表 地盤の平板載荷試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
地盤の平板載荷試験	構造物基礎 地盤	地盤反力係数、 極限支持力	・ 構造物の直接基礎設計 ・ 施工段階における支持力管理

道路の平板載荷試験とは？



道路の平板載荷試験は、地盤に剛な載荷板を設置して荷重を段階的に加え、その荷重強さと沈下量の関係から、地盤反力係数を求めることを目的としています。



この試験は、地盤の平板載荷試験とは、載荷方法や荷重段階、荷重時間が異なるため、試験用具および地盤反力係数の算出方法が異なります。

図 荷重強さ－沈下量曲線例

表 載荷板の直径と地盤反力係数を算定する沈下量

構造物の種類	道路舗装路盤		鉄道路床	空港滑走路路床	タンク構造物 基礎地盤
	セメント コンクリート舗装	アスファルト コンクリート舗装			
地盤反力係数を算定 する沈下量 S (mm)	1.25	2.5	1.25	1.25	5
載荷板の直径 (cm)	30		30	75	30

表 道路の平板載荷試験の結果利用例

試験方法	適応範囲	得られる値	結果利用例
道路の平板載荷 試験	道路の路床、 路盤	地盤反力係数	- 道路・空港滑走路の路盤の設計 - 鉄道盛土地盤や空港滑走路地盤の品質管理

土の密度試験とは？



土の密度試験は、土の密度を現場において直接求めるために行う試験です。試験法は、測定地盤の土を掘り起こして穴をあけ、その土の質量と試験孔の体積から求めます。

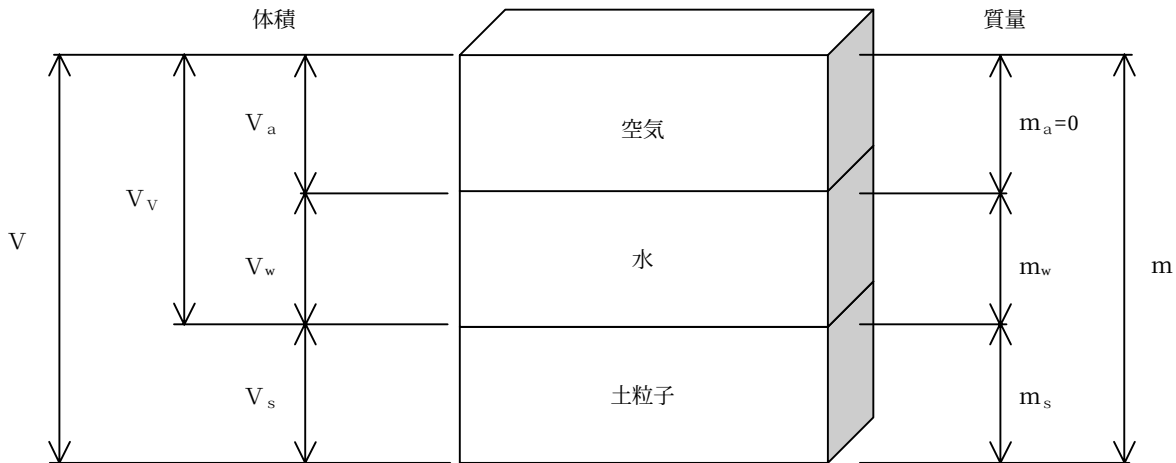
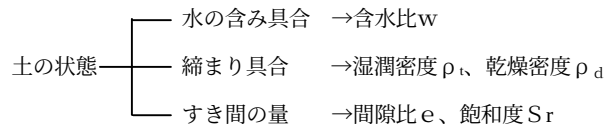
表 各試験法の特徴

測定の種類	適用の範囲				特 徴	規格・基準番号
	粘土 シルト	砂	礫	巨石 粗石		
砂置換による土の密度試験方法 〈砂置換法〉	←→ 最大粒径53mm				- 標準的な方法であり広く用いられている - 特定の測定用具と粒度調整した置換用の砂を用いる - 孔壁を乱さぬよう試験孔（置換孔）を慎重に作製する	JIS A 1214
突き砂による土の密度試験方法 〈突き砂法〉	←→ 最大粒径150mm				- 砂置換法よりも迅速性に優れる - 粒度調整した置換用の砂を用いる - 孔壁を乱さぬよう試験孔（置換孔）を慎重に作製する	JGS 1611
水置換による土の密度試験方法 〈水置換法〉	砂置換法などが困難な土				- 岩石質材料を含む土に適しており、フィルダムなどに主に用いられる - 試験孔を慎重に作製することと、シートを孔に密着させることが重要	JGS 1612
コアカッターによる土の密度試験方法 〈コアカッター法〉	←→ 細粒土				- 試験孔を必要としないので迅速性に優れる - 主に細粒土に用いられるが、粗粒土があってもコアカッター内に試料が適切に採取できる場合には問題ない	JGS 1613
RI 計器による土の密度試験方法 〈RI 法〉	←→ すべての土質材料				- 短時間に測定する事ができる - 測定値に個人誤差がほとんどない - 非破壊検査であるので、同一箇所でも繰り返し測定可能	JGS 1614

最大粒径 53mm以下の地盤を対象に、湿潤密度・乾燥密度・含水比が得られ、これにより路床・路盤・土構造物の締めり具合の推定および、盛土の品質管理に用いられます。



土の状態を表す諸量を求める試験



①含水比 $w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (\%)$ ④乾燥密度 $\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (g / cm^3)$

②土粒子の密度 $\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (g / cm^3)$ ⑤間隙比 $e = \frac{V_v}{V_s}$

③湿潤密度 $\rho_t = \frac{m}{V} \quad (g / cm^3)$ ⑥飽和度 $S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (\%)$

表 代表的な土の w 、 ρ_s 、 ρ_t の測定例

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	15~30
土粒子密度 $\rho_s (g/cm^3)$	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 $\rho_t (g/cm^3)$	1.2~1.8	1.6~2.0	1.6~2.0	1.2~1.5	0.8~1.3	1.5~2.0	1.2~1.5

土の含水比試験とは？



含水比 w は、土粒子の質量に対する間隙に含まれる水の質量の割合を百分率で表したものです。

表 含水比の算出方法

名 称	方 法
炉乾燥法	110±5℃の炉乾燥によって水を蒸発させて求める方法
電子レンジ法	電子レンジによる加熱で水を蒸発させて求める方法

※両者の相対誤差はおおむね4%程度以内であるが、電子レンジ法は炉乾燥法に比べて含水比が大きくなる傾向にある。

含水比 w (%) は、次式で算出する。

$$w = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100$$

m_a : 試料と容器の質量 (g)

m_b : 乾燥試料と容器の質量 (g)

m_c : 容器の質量 (g)

土の自然状態における含水比を自然含水比と呼びます。自然含水比によって大まかな土質の判定の目安となります。



土粒子の密度試験とは？



土粒子の密度 ρ_s とは、土粒子部分のみの単位体積質量をいいます。土粒子質量は炉乾燥して求め、その体積はピクノメーターを用いて同体積の水の質量を測定することで求めます。

表 土を構成する主な鉱物の密度

造岩鉱物	ρ (g/cm ³)	粘土鉱物	ρ (g/cm ³)
石英	2.7	カオリナイト	2.6
正長石	2.6	モンモリロナイト	2.5
斜長石	2.7	イライト	2.8

土粒子の密度 ρ_s (g/cm³) は、次式で算出する。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$$

m_s : 炉乾燥試料の質量 (g)

m_b : 温度 T (°C) の蒸留水と試料を満たしたピクノメーターの質量 (g)

T : m_b を測定をしたときのピクノメーターの内容物の温度 (°C)

土粒子の密度は、次のような土質試験の整理にも用いられます。

- ・ 粒度試験の沈降分析における粒径の算出
- ・ 締固め試験：ゼロ空気間隙曲線などの作図
- ・ 圧密試験：供試体の実質高さ H_s の算定



土の湿潤密度試験とは？



土の湿潤密度 ρ_t とは、土全体の単位体積質量をいいます。自立する塊状の土を対象とし、その体積と質量を測定して求めます。

表 土の湿潤密度試験の体積を求める方法

名称	方法
ノギス法	円柱形に製作した供試体の寸法をノギスで直接測定して体積を求める方法
パラフィン法	供試体周囲にパラフィンを塗布し、塗布前の質量と見かけの水中質量から体積を間接的に求める方法

ノギス法で求めた供試体の体積 V (cm³) を次式で算出する。

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

D ：平均直径 (cm)

H ：平均高さ (cm)

パラフィン法で求めた供試体の体積 V (cm³) を次式で算出する。

$$V = \frac{(m_1 - m_3 + m_2)}{\rho_w} - \frac{(m_1 - m)}{\rho_p}$$

m ：供試体の質量 (g)

m_1 ：パラフィン塗布後の供試体の質量 (g)

m_2 ：水中における質量測定用容器の見かけ質量 (g)

m_3 ：水中におけるパラフィン塗布後の供試体と質量測定用容器の見掛け質量 (g)

T ：温度 (°C)

ρ_w ：温度 T (°C) における水の密度 (g/cm³)

ρ_p ：パラフィンの密度 (g/cm³) (=0.869 g/cm³)

表 湿潤密度 ρ_t と乾燥密度 ρ_d の値と結果の利用例

種別	値の内容	結果の利用例
湿潤密度 ρ_t	間隙に含まれる水の量によって変化する値	湿潤密度 ρ_t を重量で表した湿潤単位体積重量 γ_t として、斜面安定、土圧、支持力、圧密沈下検討時の土被り圧の算出などに利用されます。
乾燥密度 ρ_d	間隙に水がいくらあっても土粒子のみの質量を考える場合の密度	乾燥密度 ρ_d は、盛土施工時における土の締め具合の判定などに利用されます。

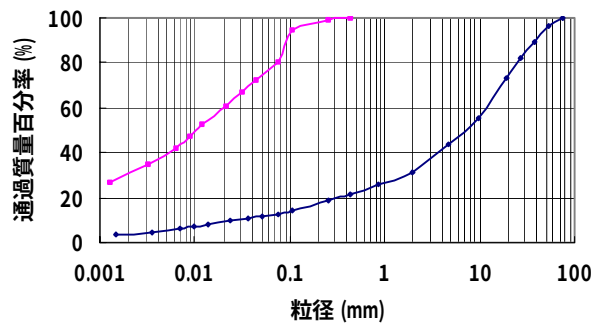
土の粒度試験とは？



土を構成する土粒子の粒径の分布状態を粒度といい、土粒子の分布状態と粒径とその粒径より小さい粒子の質量百分率の関係を示した粒径加積曲線で表されます。

粒 径 (mm)									
0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.75	19	75	300	
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石 (コブル)	巨石 (ボルダー)
		砂			礫			石	
細粒分		粗粒分						石分	

図 土粒子の粒径区分と呼び名



$n\%$ 粒径 D_n : 通過百分率 $n\%$ のときの粒径を表します。

均等係数 U_c : 粒径加積曲線の傾きを表します。

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

曲率係数 U_c' : 粒径加積曲線のなだらかさを表します。

$$U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

図 土の粒径加積曲線の例

この結果は、土の工学的分類のための指標を与え、また、土の締固め特性や透水性および液状化強度などの力学的性質の推定、建設材料としての適性の判定や掘削工・基礎工などの施工法の決定に利用されます。



土の液性限界・塑性限界試験とは？



土のコンステンシーとは、土の含水量の変化による状態の変化や変形に対する抵抗の大きさを総称してコンステンシーといいます。液性限界・塑性限界・収縮限界を総称してコンステンシー限界と呼びます。

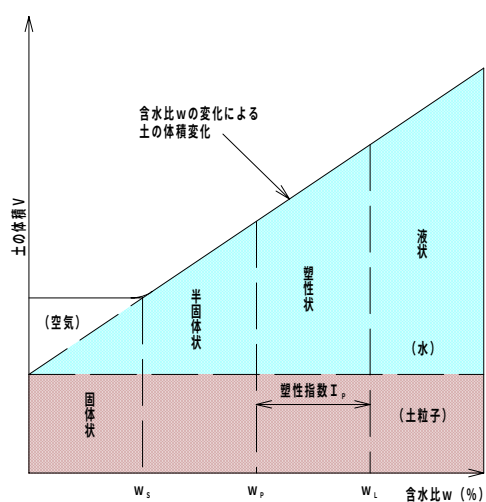


図 土のコンステンシー限界

- ①液性限界 w_L (%)：土が塑性状から液状に移るときの境界の含水比
- ②塑性限界 w_P (%)：土が塑性状から半固体状に移るときの境界の含水比
- ③収縮限界 w_S (%)：土の含水比をある量以下に減じてその体積が減少しない状態の含水比
- ④塑性指数 I_P ：液性限界 w_L と塑性限界 w_P の差

表 液性限界・塑性限界の測定例

土の種類	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)
粘土 (沖積層)	50～130	30～60
シルト (沖積層)	30～80	20～50
粘土 (洪積層)	35～90	20～50
関東ローム	80～150	40～80

表 土の液性限界・塑性限界試験の結果利用例

試験方法	得られる値	結果利用例
土の液性限界・塑性限界試験	液性限界、 塑性限界、 塑性指数	・土の物理的性質を推定 ・塑性図を用いた土の分類

土のpH試験とは？



土の化学的性質には、土粒子の鉱物成分や界面化学的性状、含有有機物の成分、pH・電気伝導率などの性質があります。

表 強熱減量の測定例

試料土	場所	強熱減量 (%)
泥炭	札幌	93.3
泥炭	大宮	72.4
黒ぼく	大宮	23.9
黒ぼく	勝田	16.1
関東ローム（褐色）	青梅	6.2
しらす	えびの	3.5
まさ土	福山	1.6
土丹（砂屑性泥岩）	横須賀	11.9
土丹（砂質泥岩）	横浜	4.0
へどろ	福山	8.0

強熱減量とは、700～800℃で炉乾燥試料土を強熱した時の減少質量を強熱前の質量に対する百分率で表したものです。

表 土懸濁液のpH・電気伝導率の測定例

試料土	場所	pH	電気伝導率[mS/m]
ローム	日立	6.7	8.6
ローム	千代田	6.9	14.7
泥岩	大磯	9.3	42.9
泥岩	東京	4.0	174.0
まさ土	大津	6.8	0.68
黒ぼく	清瀬	6.3	6.3
沖積粘土	倉吉	7.0	7.3
沖積粘土	品川	8.4	43.0
沖積粘土	大阪湾	8.1	445.0
有機質粘土	横浜	6.2	20.2

pHとは、水素イオンのモル濃度 $[H^+]$ (mol/l) を示す指標で、水溶液の酸性・アルカリ性の度合いを示すものです。そして、電気伝導率とは、電気の通しやすさを示す指標です。

表 強熱減量試験およびpH・電気伝導率試験の結果利用例

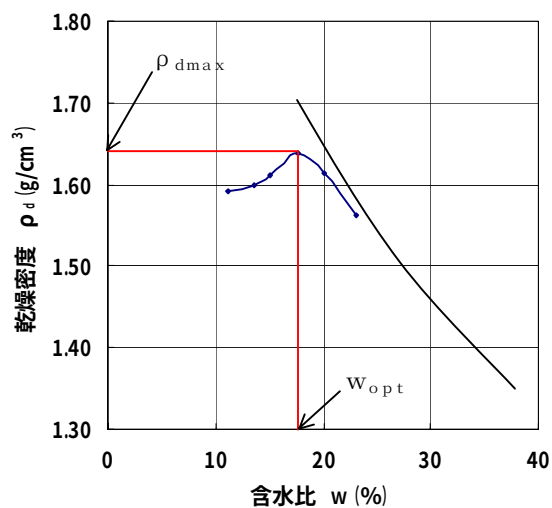
試験名	結果利用例
強熱減量試験	有機物量により物理化学的性質や力学的性質が異なるため、工学的性質を知る目安として用います。
pH・電気伝導率試験	コンクリートの劣化や鋼材の腐食、軟弱地盤を化学的に安定処理する場合の土質改良効果等の検討に用います。

突固めによる土の締固め試験とは？



土構造物の造成では、強度、支持力、遮水性などの改善を目的として土の締固めが行なわれます。

この際、同じ土を同じ方法で締固めてもその程度は土の含水比によって異なります。



最適含水比 w_{opt} : 最も効率的に締固め得る含水比

最大乾燥密度 ρ_{dmax} : 最適含水比のときの密度

図 締固め曲線の例

この試験の結果は、土の締固め特性を把握するとともに、現場における施工時含水比や施工管理基準の基になる密度の決定に利用されます。



C B R試験とは？



C B Rは「所定の貫入量における荷重強さを、標準過重強さで除した百分率」と定義され、供試体表面に直径 5.0 cmの貫入ピストンを 2.5mmまたは 5.0mm貫入させたときの荷重強さを、標準荷重強さに対する百分率で表したもので下式で示されます。

C B R（％）は、次式で算出する。

$$C B R = \frac{\text{荷重強さ(または荷重)}}{\text{標準荷重強さ(または標準荷重)}} \times 100(\%)$$

標準荷重強さ及び標準荷重の値		
貫入量 mm	標準荷重強さ MN/m ²	標準荷重 kN
2.5	6.9	13.4
5.0	10.3	19.9

表 C B R試験の結果利用例

C B R試験	結果の利用	結果の目安
設計C B R	各地点の路床土のC B Rから、アスファルト舗装の厚さの設計のために求められるC B R値	設計C B Rが3未満の路床土は舗装の基礎として不適当である。路床土の設計C B Rと5年後の大型車の交通量に応じて舗装の厚さが設定される。左下表参照
修正C B R	路盤に用いる材料の品質を判断するのに求められるC B R値	路盤材料の修正C B Rの概略値を右下の表に示す。

表 目標とするT_A

設計C B R	L交通	A交通	B交通	C交通	D交通
(2)	(17)	(21)	(29)	(39)	(51)
3	15	19	26	35	45
4	14	18	24	32	41
6	12	16	21	28	37
8	11	14	19	26	34
12	11	13	17	23	30
20	11	13	17	20	26

表 修正C B Rの概略値

材 料	修正C B R（％）
砕 石	70 以上
鉄鋼スラグ	80 以上
砂利、切込み砂利	20～60
砂	8～40

土の圧密試験とは？



土に荷重が加わることによって、土粒子がつくる土骨格が縮む現象を圧縮といいます。この圧縮には、間隙中の空気や水が抜けて体積が減少して密度が増加する場合の圧縮を圧密といいます。

この試験は、直径 6cm、高さ 2cm の供試体を用いて、側方変位を拘束し、上下の排水を許した状態で（一次元圧密）、荷重を初期値から順に 2 倍ずつ段階的に 24 時間载荷して、時間と圧密量の関係を想定します。

試験結果は、沈下量、沈下時間の計算や、過圧密地盤の判定などに用いられます

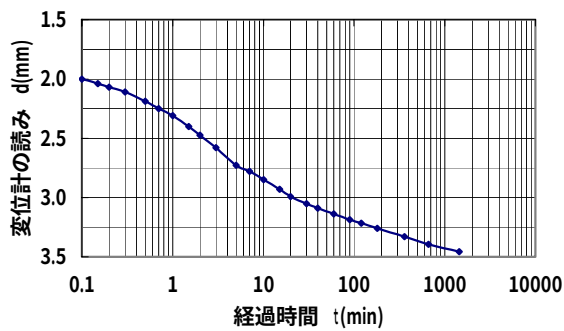


図 圧密量－時間曲線の例

体積圧縮係数 m_v (m^2/kN) は、次式で求める。

$$m_v = \frac{\Delta \varepsilon / 100}{\Delta p}$$

Δp : 各载荷段階の圧密圧力の増分 (kN/m^2)

圧縮係数 c_v (cm^2/d) は、次式で求める。

$$c_v = 0.848 \left(\frac{H}{2} \right)^2 \frac{1440}{t_{90}} \quad c_v = 0.197 \left(\frac{H}{2} \right)^2 \frac{1440}{t_{50}}$$

($\sqrt{t}$ 法の場合)

(曲線定規法の場合)

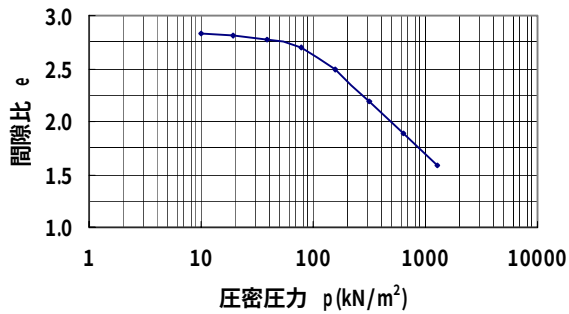


図 圧縮曲線の例

圧縮指数 C_c は、次式で求める。

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{\log(P_b/P_a)}$$

表 土の圧密試験の結果利用例

試験方法	得られる値	結果利用例
土の圧密試験	圧縮性 圧密速度	・ 飽和粘性土地盤の沈下量と沈下時間の推定
	圧密降伏応力 地盤内の有効土被り圧	・ 過圧密粘土、正規圧密粘土の判定

土の透水試験とは？



土中における自由水の移動のしやすさを表す土の性質を透水性と呼びます。土の透水性は、透水係数として定量的に表されますが、土の種類、密度や飽和度によって大きく異なります。

本試験は、締固めた試料や乱さない試料の飽和状態における透水係数を求めるものです。

試験方法は、対象土の透水性の大小より、下図のような、定水位法と変水位法があります。

供試体を浸透する水の量や水頭差と時間の関係を測定して、土の透水係数を算定します。

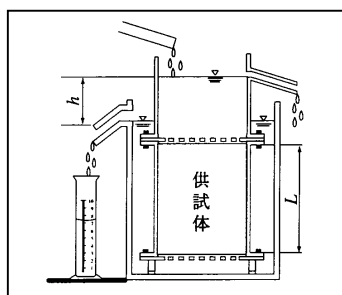


図 定水位透水試験による測定例

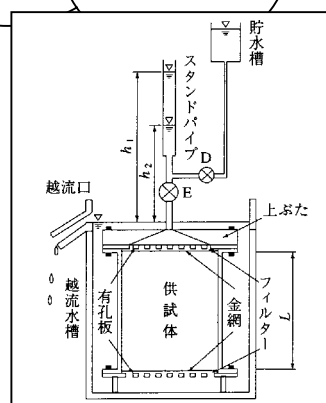


図 変水位透水試験による測定例

表 透水係数kの目安

10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2
実質上不透水		非常に低い		低い			中位		高い		
粘性土		微細砂、シルト 砂－シルト－粘土混合土				砂および礫			清浄な礫		

表 土の種類と浸透流の状態

試料	砂質土、シルト	砂		砂礫	礫		
		細	粗		中	粗	巨
D_{10} (mm)	0.075~0.02	0.25	0.6	2.0	9.5	26.5	75
浸透流の状態	通常の i では常に層流	緩い砂では $i < 0.2 \sim 0.3$ 、 密な砂では $i < 0.3 \sim 0.5$ で層流			実質的には常に乱流		

表 土の透水試験の結果利用例

試験方法	透水係数 k	得られる値	結果利用例
定水位透水試験	$10^{-3} \sim 10^{-1}$ の砂や砂質土	透水係数	アースダムや堤防、道路、埋立地といった人工造成地盤の透水性、浸透水量の推定
変水位透水試験	$10^{-7} \sim 10^{-3}$ のシルトや細粒分を含む土		

土の一面せん断試験とは？



一面せん断試験とは、上下に分かれたせん断箱に土供試体を納め、垂直応力を載荷した状態で、可動箱を固定箱に対して水平に移動させてせん断する試験をいいます。圧密定体積一面せん断試験と、圧密定圧一面せん断試験があります。

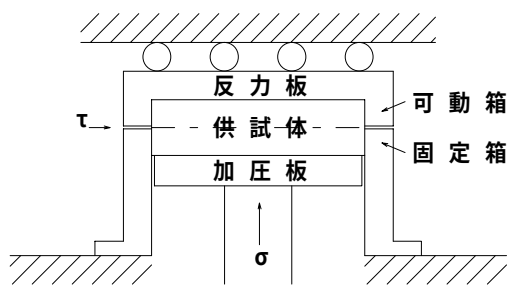


図 一面せん断試験の機構

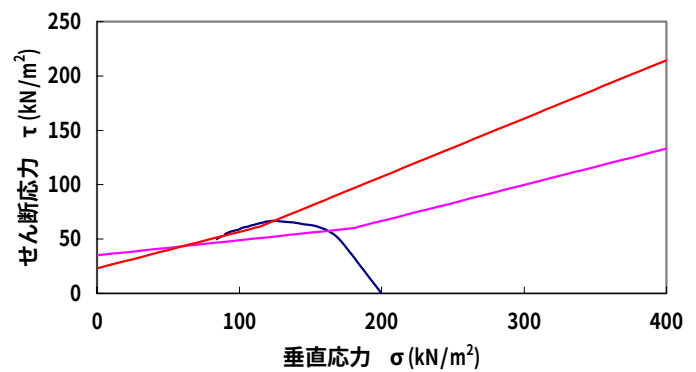


図 定体積試験（強度特性）の例

試験から得られた強度定数 c 、 ϕ は、斜面の安定計算、擁壁の土圧計算、基礎の支持力計算に利用されます。粘性土地盤を圧密させてから盛土を急速施工する場合の安定計算には定体積試験、砂質土地盤や粘性土地盤の長期的な安定計算には定圧試験による c 、 ϕ を用います。



土の三軸圧縮試験とは？



土のせん断強さとは、破壊時において破壊面上に作用しているせん断応力をいいます。いくつかの拘束圧のもとでのせん断強さを求めることができれば、その結果を連ねることによりクーロンの破壊基準を適用することができます。（下図）

下図のような試験装置を使用して、拘束圧をあたえながら圧縮を行います。

また、せん断に先立って圧密を行うか、せん断中に排水を許すかで下図のように4つの試験条件があります。これらの試験条件のうち、原位置の状態に近い条件を選定して、試験を行うことが大切です。

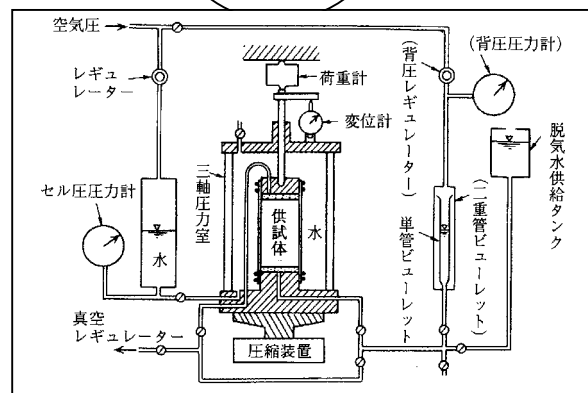


図 三軸圧縮試験機の構成例

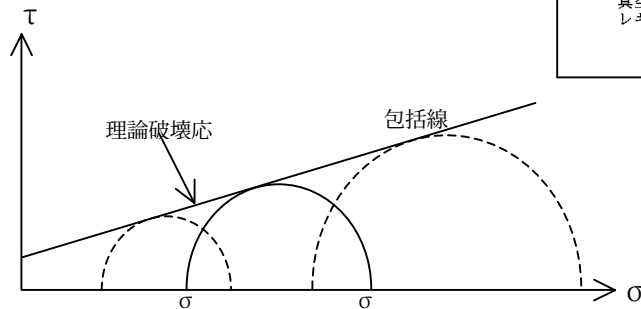


図 モール・クーロンの破壊基準

粘着力 c ：破壊基準線の切片（左図）

せん断抵抗角 ϕ ：破壊基準線の傾き（左図）

表 三軸圧縮試験の結果利用例

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				
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}	—	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_u/p の推定
圧密非排水 ($\overline{CU}$)試験				する	ϕ_{cu} s_u/p	c' 、 ϕ'	
圧密排水 (CD)試験	飽和土	開ける	開ける	しない	c_d 、 ϕ_d	—	砂質土地盤の安定問題、盛土の緩速施工、粘性土地盤掘削時の長期安定問題

注) CU試験と $\overline{CU}$ 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)

土の一軸圧縮試験とは？



一軸圧縮試験とは、自立する供試体に対して拘束圧が作用しない状態で圧縮する試験であり、その最大圧縮応力を一軸圧縮強さ q_u といいます。自然状態の地盤から採取した乱さない粘性土試料を用いて一軸圧縮強さを調べ、その試料の地盤状態での非排水せん断強さ s_u を推定することが主な目的です。

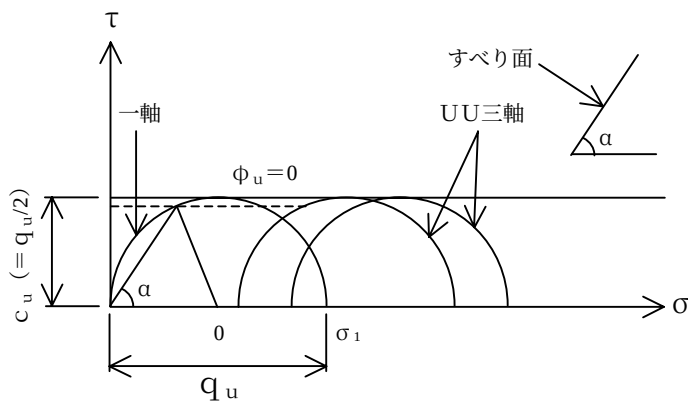


図 一軸圧縮試験とUU三軸圧縮試験のモール円

飽和粘性土の一軸圧縮試験は、圧密をさせず、比較的速い速度で圧縮するため、非圧密非排水（UU）試験と見なすことができ、UU三軸圧縮試験の側方向応力 $p_r = 0$ の条件に相当する。したがって、飽和粘性土を対象に一軸圧縮試験と σ_r を変えたUU三軸圧縮試験を行なうと、全応力に関するモールの破壊応力円の包括線は水平になる。

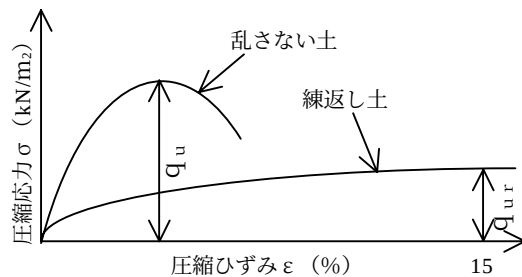


図 乱さない土と練返し土の応力-ひずみ曲線

鋭敏比 S_t とは、粘土の骨組構造、すなわち土粒子間の結合力や粒子配列などの働きが強度に寄与する度合いの指数を表します。土の鋭敏比 S_t は、次式で算出します。

$$S_t = \frac{q_u}{q_{ur}}$$

q_u : 乱さない試料の一軸圧縮強さ (kN/cm^2)

q_{ur} : 練返し試料の一軸圧縮強さ (kN/cm^2)

表 一軸圧縮試験の結果利用例

対象とする試料	試験の目的	結果の利用
自然地盤から採取した乱さない試料	自然地盤の非排水せん断強さを求める	地盤の土圧、支持力、斜面安定などの強度定数に利用する
締固めや化学的処理によって人工的な改良を加えた土	圧縮強さを求める	改良の効果の判定、改良地盤の安定性の評価に利用する

適用文献

地盤の調査実習書	H.8.3	(社)地盤工学会
土質試験 基本と手引き	H.13.3	(社)地盤工学会
土室試験の手引き	H.4.2	(社)土木学会
土質地盤の調査・試験とその応用	H.4.3	理工図書

参考文献

初心者のための地盤調査と土質試験講習会 講演資料	H.14.5	(社)地盤工学会
地盤調査法 第8刷発行	H.12.12	(社)地盤工学会
土質試験の方法と解説 第1回改訂版	H.13.6	(社)地盤工学会



(株)昭和土木設計

〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南 4 丁目 1 番 23

TEL (019)638-6834 FAX (019)638-6389

問い合わせ先 技術部 第2グループ 菅原 弘

E-mail:sugawarah@showacd.co.jp

第2グループ 松村 春道

E-mail:matsu@showacd.co.jp