

1. はじめに

1.1 土の状態を表す諸量とは

土は水分が多いとドロドロの状態に、少ないとサラサラまたはカチカチの状態となる。また、締まり具合やすき間（間隙）の大小で硬さや圧縮性が大きく変化する。このような土の状態は図-3.1に示すように水の含み具合、締まり具合、すき間の量に依存する。



図-3.1 土の状態の考え方

土は図-3.2に示すように土粒子（固体）、水（液体）、空気（気体）の3成分より構成されており、その体積、質量の構成割合から次式のように土の状態を表す諸量を数量化して表わしている。

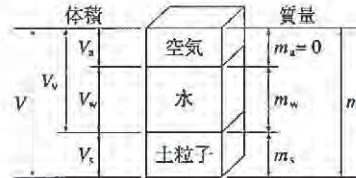


図-3.2 土の構成の模式図

① 含水比 $w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 (\%)$ (3.1) ④ 乾燥密度 $\rho_d = \frac{m_s}{V} (\text{g/cm}^3)$ (3.4)

② 土粒子の密度 $\rho_s = \frac{m_s}{V_s} (\text{g/cm}^3)$ (3.2) ⑤ 間隙比 $e = \frac{V_v}{V_s}$ (3.5)

③ 湿潤密度 $\rho_t = \frac{m}{V} (\text{g/cm}^3)$ (3.3) ⑥ 飽和度 $S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 (\%)$ (3.6)

①～③は本章で扱う試験で直接測定される値であり、④～⑥はこれらをもとに計算で求める。

1.2 各試験方法の概略

(1) 含水比試験：含水比 w は、式(3.1)で定義されるように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わしたものである。この値は次の2種類の方法で求められる。

- ① 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
- ② 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

(2) 土粒子の密度試験：土粒子の密度 ρ_s は、式(3.2)で定義されるように土粒子部分のみの単位体積質量である。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る。

(3) 湿潤密度：湿潤密度 ρ_t は、式(3.3)で定義されるように土全体の単位体積質量であり、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る。体積の求め方は次の2種類がある。

- ① ノギス法：円柱形に作製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
- ② パラフィン法：供試体周面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

1.3 結果の目安

含水比 w 、土粒子の密度 ρ_s 、湿潤密度 ρ_t について表-3.1に日本の代表的な土の測定例を示す。

表-3.1 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 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)	1.2~1.8	1.6~2.0	1.6~2.0	1.2~1.5	0.8~1.3	1.5~2.0	1.2~1.5

図-1.3.6.2. 含水比試験と土粒子の密度試験の解説

1. はじめに

1.1 粒度とは

土を構成する土粒子の粒径の分布状態を粒度といい、土粒子の分布状態を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わされる。粒度は、土の物理的性質や力学的性質と密接な関係がある。図-4.1に土粒子の粒径区分とその呼び名を示す。

実際の土粒子は球形ではなく種々の形状をしており、その粒径は次の値で表す。

- ① 粒径0.075 mm以上の粗粒分の粒径：その粒子が通過できる試験用網ふるいの開き目の寸法
- ② 粒径0.075 mm未満の細粒分の粒径：水中を降下する速度が同じである球形粒子の直径

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)
細 粒 分		粗 粒 分					石 分		

図-4.1 土粒子の粒径区分と呼び名

1.2 試験方法の概略

試験は、高有機質土以外で、粒径が75 mm未満の土を対象とする。

試験の手順を図-4.2に示す。まず、試験料を粒径により2 mm以上と2 mm未満の2つに分ける。粒径2 mm以上の土粒子は水洗いを行った後、ふるい分析を行う。粒径2 mm未満の土粒子は沈降分析を行った後、粒径0.075 mm以上の土粒子を水洗いし、ふるい分析を行う。

試験料は第2章(p.10)によって準備する。

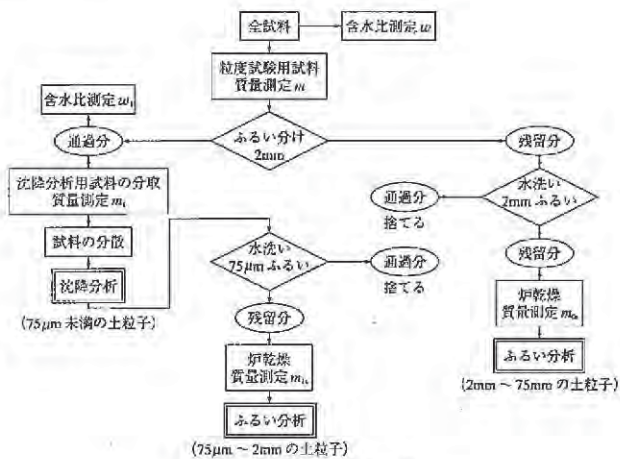


図-4.2 粒度試験の手順

1.3 結果の利用

土の工学的分類のための指標を与える。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できる。

1.4 結果の目安

土の粒径加積曲線は、図-4.3に示すように土粒子の粒径の分布する範囲と分布の特徴が一目でわかるものであり、それにより土の粒度特性が判断できる。

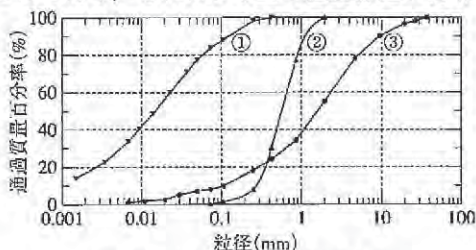


図-4.3 土の粒径加積曲線の例

粒度による土の一般的特徴

- ①：細粒分が多い土
- ②：粒径がせまい範囲に集中している(分級された)締固め特性の悪い土
- ③：粒径が広い範囲にわたって分布する(粒径幅の広い)締固め特性の良い土

1. はじめに

1.1 土のコンシステンシーとは

細粒土は図-5.1に示すように、含水量の多少によりドロドロした液体状、ベトベトした塑性状、ポロポロとした半固体状、さらにカチカチの固体状になる。このような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システンシーという。練返した細粒土のそれらの状態の変化する境界の含水比をそれぞれ液性限界 (Liquid Limit: w_L または LL), 塑性限界 (Plastic Limit: w_p または PL), 収縮限界 (Shrinkage Limit: w_s または SL) と呼び、これらを総称してコンシステンシー限界といい、以下のように定義されている。

- 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をいう。
- 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をいう。
- ③ 収縮限界 w_s (%) : 土の含水比をある量以下に減じてもその体積が減少しない状態の含水比をいう。

本章では、土のコンシステンシー限界のうち、液性限界、塑性限界および塑性指数 (液性限界と塑性限界の差、土が塑性を示す幅を表す) を求めることを目的としている。

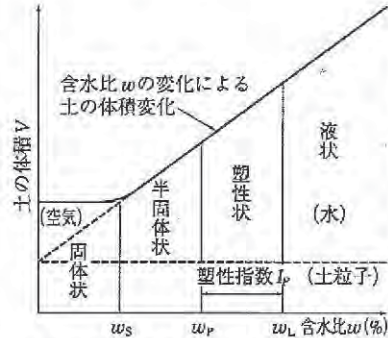
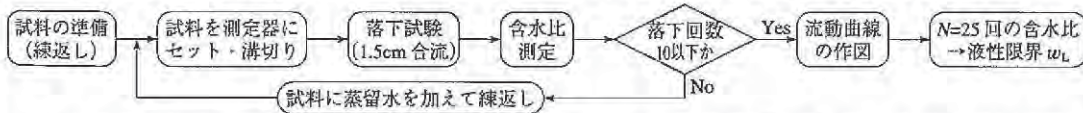


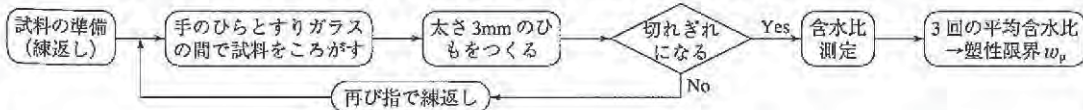
図-5.1 土のコンシステンシー限界

1.2 試験方法の概略 (JIS A 1205)

- ① 液性限界試験：試料を入れた黄銅皿を1 cmの高さから1秒間に2回の割合で落下させ、落下回数が25回の時、二分した溝の底部が長さ1.5 cmにわたり合流するときの含水比を求める。



- ② 塑性限界試験：液性限界試験で用いた同じ試料の塊を、ガラス板上で手のひらで転がしながら直径3 mmにした時、ちょうど切れざれになるときの含水比を求める。



1.3 結果の利用

液性限界、塑性限界および塑性指数から、土の物理的性質を推定することや、塑性図を用いた土の分類などに利用される。

表-5.1 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

1.4 結果の目安

表-5.1に w_L , w_p の測定例を示す。

図-1.3.6.4. 土の液性限界・塑性限界試験の解説

1. はじめに

1.1 圧密とは

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密という。この圧密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と、体積はそのまま形状が変化する場合があります。前者は不飽和土を対象に動的荷重によって間隙空気を追い出して圧縮する締固めと静的荷重によって間隙水を排出して圧縮する圧密があり、後者はせん断によるものである。

粗粒土では透水性が高く、圧縮性が低いため、圧密は短時間で終了し、圧密量は小さいので、あまり問題とならない。しかし、飽和粘性土では透水性が低く、圧縮性が高いため、長時間かかって大きな圧密量が生じる。そこで飽和粘性土が静的荷重を受け、時間遅れを伴って密度を増加する現象を通常、圧密と呼んでいる。

圧密試験は、図-12.1に示すように実地盤から採取した乱さない試料を用いて、実地盤の沈下量や沈下時間の推定に必要な圧縮性と圧密速度などの圧密定数および圧密降伏応力を求めることを目的として行われる。

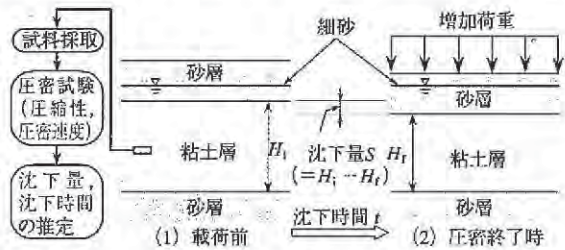


図-12.1 実地盤の圧密現象と圧密試験の目的

1.2 試験方法の概略

本章では、一般的に行われる段階的荷重による圧密試験 (JIS A 1217) を取り上げる (別の方法は7.参照)。この試験は、直径6 cm、高さ2 cmの供試体を用いて、側方変位を拘束し、上下面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 (荷重増分比 $\Delta p/p=1$) 段階的に24時間荷重し、その間の時間と圧密量を測定する方法である (試験結果の整理は、図-12.2参照)。

通常、用いられる圧密圧力 p は次の8段階である。

圧密圧力 p : 9.8, 19.6, 39.2, 78.5, 157, 314, 628, 1256 kN/m²
 (重錘質量 : 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8 kg : レバー比が供試体断面積に等しい場合)

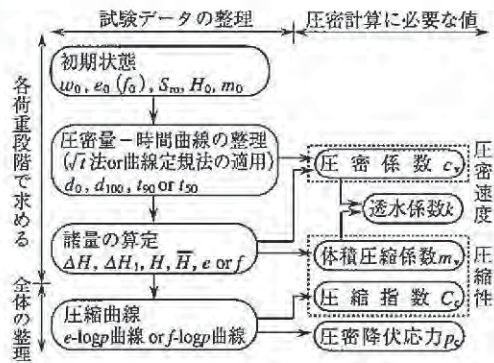


図-12.2 圧密試験結果の整理の概略

1.3 結果の利用

この試験から得られる圧縮性と圧密速度から、図-12.1に示す飽和粘性土地盤の沈下量と沈下時間の推定に利用される (6.1~6.3参照)。また、圧密降伏応力 p_c と地盤内の有効土被り圧との比較から、過圧密粘土、正規圧密粘土の判定に利用される (6.4参照)。

1.4 結果の目安

粘土の圧縮性と圧密速度は、主として塑性に依存し、高塑性の粘土ほど圧縮性は大きく、圧密速度は遅い。圧縮性を表す1つの指標である圧縮指数 C_c は、液性限界 w_L と強い相関関係を有する (第5章6.3 (p.45) 参照)。通常の沖積粘土では、 C_c : 0.3~1.0, c_v : 20~200 cm²/dの範囲にある。

図-1.3.6.5. 土の圧密試験の解説

1. はじめに

1.1 一軸圧縮強さとは

一軸圧縮試験 (unconfined compression test) 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 という。主として乱さない粘性土を対象とするが、練返した試料、または締固めた土、砂質土などの自立する供試体にも適用できる。

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ある。

1.2 試験方法の概略

一軸圧縮試験は、JIS A 1216で規定されており、直径3.5 cmまたは5.0 cm、高さを直径の1.8～2.5倍に成形した円柱形供試体に毎分1%の圧縮ひずみが生じる割合を標準として連続的に圧縮を加える。圧縮中は、変位計で圧縮量 ΔH (cm) と荷重計で圧縮力 P (N) を測定する。その結果から圧縮応力 σ (kN/m²) と圧縮ひずみ ε (%) を算定して応力-ひずみ曲線を描き、最大圧縮応力から一軸圧縮強さ q_u (kN/m²) を決定する。図-15.1に一軸圧縮試験方法の概略を示す。

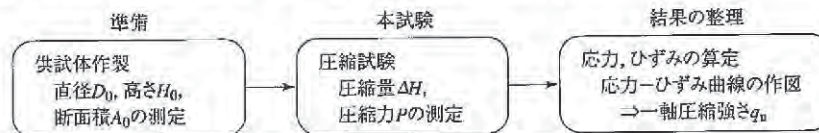


図-15.1 一軸圧縮試験方法の概略

1.3 結果の利用

一軸圧縮強さ q_u から非排水せん断強さ s_u を推定できる (6.1参照) ため、一軸圧縮試験は現在、実用的に最も多く行われている力学試験であり、表-15.1に示すようにUU条件が想定できる短期安定問題や改良土の効果判定に利用されている。

表-15.1 一軸圧縮試験の目的と利用

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。

1.4 結果の目安

正規圧密粘性土の一軸圧縮強さは、その地点の有効土被り圧と強度増加率からおおよその値は推定できる。しかし、過圧密粘土の一軸圧縮強さは有効土被り圧に対応する値より大きくなり、砂質土や中間土では応力解放の影響を強く受けて原地盤の強さより小さくなることもある。表-15.2に粘土に対する一軸圧縮強さの目安を示す。

表-15.2 一軸圧縮強さの目安

軟弱粘土	普通粘土	硬質粘土	固結粘土
20kN/m ² 以下	20～200kN/m ²	200～2000kN/m ²	2000kN/m ² 以上
← 沖積粘土 →		← 洪積粘土 →	

図-1.3.6.6. 土の一軸圧縮試験の解説

1. はじめに

1.1 三軸圧縮試験における粘着力とせん断抵抗角とは

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である。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規準 (p.120の図-1参照) を適用することができる。しかし、三軸圧縮試験では破壊面の測定が難しいため、直接的にせん断強さを求めることができない。そこで、破壊時の拘束圧と圧縮強さ（主応力差の最大値）に基づいて決定されるモール円に対して、モールの破壊理論を適用し、その包絡線を破壊規準としている。これが、モール・クーロンの破壊規準である。土の強度定数である粘着力 c とせん断抵抗角 ϕ は、この破壊規準線の切片と傾きをそれぞれ示している。

1.2 試験方法の概略

土のせん断強さは、せん断に先立って圧密を行うか、さらにはせん断中に排水を許すかどうかによって大きく異なる (p.120参照)。そこで、三軸圧縮試験では、圧密時とせん断時の排水条件および間隙水圧の測定を組み合わせる4種類の試験を規定している。したがって、原位置の状態に近い条件に合わせて試験を行い、その土の強度・変形特性を求めるのが原則である。三軸圧縮試験における作業の流れを図-14.1に、試験の種類、適用土質、試験条件、求められる強度定数を表-14.1にまとめた。本章ではCU試験を除いた3種類の試験方法について説明している。



図-14.1 三軸圧縮試験における作業の流れ

表-14.1 三軸圧縮試験の種類と試験結果の利用例

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			
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	$c_{cu}, \phi_{cu}, s_u/p$	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 (C \bar{U}) 試験	飽和粘性土	開ける	開ける	する	c', ϕ'	上記および有効応力に基づく強度定数を有効応力解析に用いる
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C \bar{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)。

1.3 結果の利用

各三軸圧縮試験の試験結果の利用例を上記の表-14.1にまとめた。

1.4 結果の目安

通常、正規圧密粘土のUU試験による強度定数は $\phi_u = 0^\circ$, $c_u = s_u$ となり、有効土被り圧 p_0 との比 s_u/p_0 は0.36程度となる。CU試験による正規圧密領域における強度増加率 s_u/p は0.2~0.45程度となる。CD試験による強度定数 ϕ_d は土質、間隙比によって26~45°程度となる (図-14.14参照)。

図-1.3.6.7. 三軸圧縮試験の解説