

工业与民用建筑专业系列教材

地基与基础

● 主编 杜蜀宾
田新奎
徐卓



中国矿业大学出版社

D
J
J
Y
U
J
C
H
U

工业与民用建筑专业系列教材

地基与基础

主编 杜蜀宾 田新奎 徐 卓

ND13/20



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是工业与民用建筑专业系列教材之一。

本书内容包括:土的物理性质与工程分类、土中应力计算、地基的变形计算、土的抗剪强度和地基承载力、天然地基上浅基础设计、边坡稳定与挡土墙、桩基础与深基础、地基处理、特殊土地基、地基基础的抗震及土工试验指导书。为便于教学,各章后均附有习题。

本书是专科学校、高等职业技术学校和中等专业学校工业与民用建筑专业、村镇建设专业和建筑施工专业的教材,也可供土建类其他专业教学使用,同时可供建筑企事业单位工程技术人员参考。

工业与民用建筑专业系列教材

地基与基础

主编 杜蜀宾 田新奎 徐 卓

责任编辑 宋德淑 张乃新

中国矿业大学出版社 出版发行

新华书店经销 北京市兆成印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14.25 字数 338 千字

1999年1月第1版 1999年1月第1次印刷

印数:1~6 000

ISBN 7-81040-946-8/TU·13

定价:18.20 元

工业与民用建筑专业系列教材

编 审 委 员 会

主 任:牛维麟

副主任(按姓氏笔画排列):

王以功 王作兴 刘社育 刘建平
陈连城 张乃新 袁 文

委 员(按姓氏笔画排列):

王 平	王寅仓	王 强	马文来
邓瑞新	田新奎	吕大英	齐文海
孙世奎	仲兆金	刘伍诚	刘禄生
李万江	李士禄	李永怀	杨文选
杨平均	何绍人	初明祥	邹绍明
邹金钟	宋 群	张文轩	张亚英
张德琦	陈年和	陈俊玉	杜蜀宾
罗达新	赵 杰	侯印浩	徐 卓
高 瞻	曹长春	常跃军	梁珠擎
韩应军	游普元	蔡先治	蔡建国
魏焕成			

前 言

本书是根据工业与民用建筑专业的培养目标和《地基与基础》课程教学大纲的要求编写的。在编写过程中,根据职业技术教育的特点,在介绍必要的基本理论知识时,不进行繁琐的公式推导,从理论联系实际的原则出发,对重点内容,结合实际工程例子,作了深入浅出地叙述。为了满足职业教育的要求,在教材内容的选择上注重实用,加强了动手能力,较强的实验教学内容突出了能力的培养。

本教材编写依据的规范有:《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)、《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)、《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—94)、《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112—87)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ 25—90)、《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)、《土工试验方法标准》(GBJ 123—88)等。本教材适用学时数为60学时,在教学过程中可根据本地区地基的特点有所选择和侧重。

本书由杜蜀宾、田新奎、徐卓任主编,王长平、郭大洲任副主编。编写分工是:绪论、第一章由杜蜀宾执笔,第二章由田新奎执笔,第三章由王长平执笔,第四章由王献民执笔,第五、六章由徐卓执笔,第七章由梁珠擎执笔,第八、九、十章由郭大洲执笔。土工试验指导书由徐卓、王长平执笔。全书由杜蜀宾、徐卓统稿。

由于编写时间仓促及编者水平有限,书中错误及不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1998年11月

目 录

绪论	(1)
第一章 土的物理性质与工程分类	(3)
第一节 土的组成与结构	(3)
第二节 土的物理性质指标	(6)
第三节 无粘性土的特征	(9)
第四节 粘性土的特征	(9)
第五节 粉土的特征	(11)
第六节 土的工程分类	(12)
习 题	(14)
第二章 土中应力计算	(16)
第一节 土中自重应力	(16)
第二节 基底压力分布与简化计算	(18)
第三节 土中附加应力	(21)
习 题	(32)
第三章 地基变形计算	(34)
第一节 土的压缩性及压缩性指标	(34)
第二节 地基变形的计算	(37)
第三节 建筑物沉降观测	(45)
习 题	(45)
第四章 土的抗剪强度和地基承载力	(47)
第一节 土的抗剪强度及其测定	(47)
第二节 土的极限平衡理论	(51)
第三节 地基承载力的确定	(54)
第四节 工程地质勘察报告的阅读	(61)
习 题	(65)
第五章 天然地基上浅基础设计	(66)
第一节 基础设计的原则	(66)
第二节 基础的类型	(70)
第三节 基础埋置深度的选择	(75)
第四节 基础底面积的确定	(78)
第五节 刚性基础设计	(84)
第六节 墙下钢筋混凝土条形基础	(85)
第七节 柱下钢筋混凝土独立基础	(87)
第八节 柱下钢筋混凝土梁式基础的简化计算	(95)
第九节 筏板基础、箱形基础简介	(99)
第十节 减少不均匀沉降的一般措施	(101)

第十一节 浅基础设计示例	(104)
习 题	(107)
第六章 边坡稳定与挡土墙	(110)
第一节 边坡稳定	(110)
第二节 土压力计算	(113)
第三节 挡土墙设计	(124)
习 题	(129)
第七章 桩基础与深基础	(131)
第一节 桩基础类型	(131)
第二节 桩基础设计原则	(133)
第三节 桩基础构造	(135)
第四节 桩基础竖向承载力计算	(137)
第五节 桩基沉降计算	(148)
第六节 桩基础承台计算	(157)
第七节 桩基础设计	(163)
第八节 深基础简介	(171)
习 题	(174)
第八章 地基处理	(175)
第一节 碾压夯实法	(175)
第二节 换土垫层法	(178)
第三节 挤密法	(180)
第四节 排水固结法	(182)
第五节 化学加固法	(184)
第六节 托换法	(186)
习 题	(187)
第九章 特殊土地基	(189)
第一节 软土地基	(189)
第二节 湿陷性黄土地基	(190)
第三节 膨胀土地基	(193)
习 题	(195)
第十章 地基基础的抗震	(196)
第一节 概述	(196)
第二节 地基的震害	(198)
第三节 地基基础的抗震	(198)
习 题	(201)
土工试验指导书	(202)
[试验一] 土的基本物理指标的测定	(202)
[试验二] 粘性土的液限、塑限试验	(207)
[试验三] 土的压缩(固结)试验	(212)
[试验四] 直接剪切试验	(215)
参考文献	(218)

绪 论

一、地基基础的概念

地基和基础是建筑工程中两个不同而又联系密切的概念。任何建筑物都是支承在地层上的,受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基。建筑物的下部通常要埋入地下一定的深度,使之座落在较好的地层上。建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。基础下的土层称为持力层。在地基范围内持力层以下的土层称为下卧层。强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。地基与基础的关系见图 0—1。

二、地基基础设计的基本要求

由于建筑物荷载通过基础传给地基,使地基产生应力和变形。为保证建筑物的安全适用,地基基础设计应满足下列基本要求:

(1) 地基应有足够的强度,在建筑物荷载作用下,地基土不会失稳破坏。

(2) 地基不能产生过大的变形而影响建筑物的安全与正常使用。

(3) 基础结构本身应有足够的强度和刚度,在地基反力作用下基础不会破坏,并具有调整不均匀沉降的能力。

未经过加固处理,直接支承基础的土层,称为天然地基。多数建筑物都采取天然地基。若地基土层较软弱,建筑物的荷载又较大,地基的承载力和变形不能满足设计要求时,需对地基进行人工加固处理,这种地基称为人工地基。

地基与基础的设计,要综合考虑地基、基础和上部结构三者的相互关系,通过方案比较,以便选择一个安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的方案。

三、地基基础在建筑工程中的重要性

地基与基础是整个建筑工程中的一个重要组成部分,它的质量好坏关系到建筑物的安全、经济和正常使用。地基基础属于隐蔽工程,一旦发生事故,难以处理。虽然我国与世界各国在地基、基础设计与施工方面都取得了不少成功的经验,但并不是每一个基础工程都是成功的,许多建筑工程质量事故往往发生在地基基础问题上。例如,加拿大特朗斯康谷仓建筑物于 1941 年建造,由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31 m,平面尺寸长 59.4 m、宽 23.5 m,建造在 16 m 厚的软粘土层上,由于设计时疏忽了地基持力层下部的软弱土层,在建成后第一次装料时,就因软弱下卧层失稳而发生整体倾斜,东侧抬高了 1.5 m,西侧陷入土中 8.8 m,仓身倾斜 27°(见图 0—2),这是地基发生了整体破坏,从而引起建筑物失去稳定性的典型例子;我国江苏苏州名胜虎丘塔,七层砖砌结构,高 47.5 m,底层直径 13.7 m,但目前该塔倾斜严重,塔尖偏离中心线达 2.31 m,经勘探发现,该塔建于倾斜的基岩上,覆盖土层一边厚

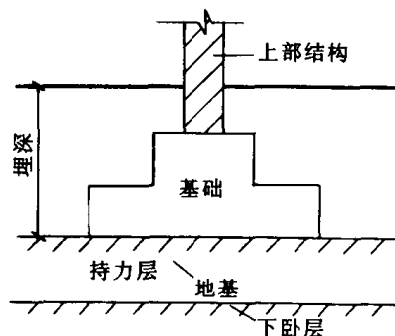


图 0—1 地基与基础示意图

3.8 m, 另一边厚 5.8 m, 因为不均匀沉降产生塔身倾斜; 意大利著名的比萨斜塔, 也是因地基不均匀沉降而造成倾斜的。国内外地基基础工程事故的实例还有很多, 我们应引以为戒, 慎重对待基础工程。

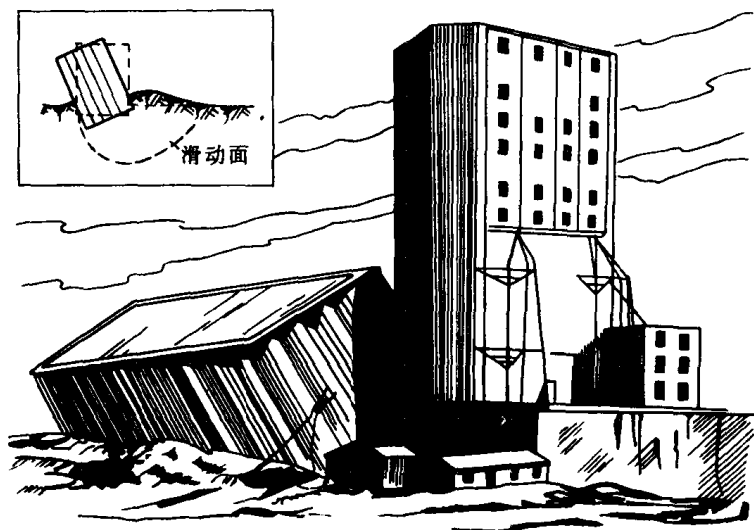


图 0—2 加拿大特朗斯康谷仓倾斜示意图

地基基础的设计工作, 应在调查研究、充分掌握必要的设计资料的基础上进行, 不能生搬硬套, 以免造成工程事故和经济浪费。一般地基基础工程造价约占总造价的 $1/4$, 工期占总工期的 $25\% \sim 30\%$ 。对高层建筑或需地基处理时, 则其造价和工期所占比例更大。因此, 搞好地基基础设计具有重要的经济意义。

四、本课程的特点及任务

地基与基础是一门知识面较广、综合性较强的课程, 它不但涉及到工程地质学、土力学, 还涉及到建筑结构与施工技术等几个学科的知识。地基与基础还是一门有着较强的实践性和理论性的课程。由于地基土形成的自然历史条件不同, 因此它的工程特性是复杂多样的。目前解决地基基础问题主要是依靠经验、土工试验, 辅以理论计算。因此, 课本中有着大量的经验公式、图表和近似计算法。

通过本课程的学习, 应对地基土的物理性质有着深刻的理解和认识; 熟悉土力学的基本原理; 能阅读理解工程地质勘察报告; 了解地基处理的各种方法; 掌握一般地基基础的勘察、设计和施工技能; 学会基本土工试验的操作方法。

第一章 土的物理性质与工程分类

第一节 土的组成与结构

一、土的组成

一般来说,土是由矿物颗粒(固相)、水(液相)和空气(气相)组成的。矿物颗粒构成土的骨架,土粒间的孔隙由水和空气填充,故土为三相体系。当孔隙全部被水充满时,形成饱和土;当孔隙中只有空气时,即为干土。饱和土和干土均属二相体系。土的各项组成部分的性质及它们之间的比例关系决定了土的物理力学性质。

1. 矿物颗粒

土粒粒径大小及矿物成分不同,对土的物理力学性质有着较大的影响。例如,土颗粒的粒径由粗变细时,土的性质可从无粘性变化到有粘性。粒径大小变化的量变,可引起土性质变化的质变。工程上将物理力学性质较为接近的土粒划为一个粒组,粒组与粒组之间的分界尺寸称为界限粒径。

工程上根据粒径大小将土粒分为六大粒组:块石(漂石)、碎石(卵石)、角砾(圆砾)、砂粒、粉粒及粘粒。各组间的界限粒径分别是 200 mm、20 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm。自然界的土通常是由大小不同的土粒组成。土中各个粒组重量(或质量)的相对含量百分比称为颗粒级配。土的颗粒级配曲线可通过土的颗粒分析试验测定。颗粒分析方法目前有筛分法、密度计法或移液管法两种。前者适用于粒径大于 0.075 mm 的土,后者适用于粒径小于 0.075 mm 的土(详见有关土工试验操作规程)。

筛分法是用一套不同孔径的标准筛,将风干的具有代表性的土样倒入筛中,经振摇后,分别称出留在各个筛子上的颗粒重,并算出相应的重量百分比,由颗粒分析结果可判断土粒的级配情况及确定土的名称。标准筛孔径由粗筛孔径(60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm)及细筛孔径(2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.1 mm、0.075 mm)组成。

颗粒分析结果可用表格法或颗粒级配曲线法表示。表 1—1 为表格法表示的某土样的颗粒分析结果,图 1—1 是其颗粒级配曲线表示的结果。图中,纵坐标表示小于某粒径的土重百分比,横坐标表示粒径。由于土颗粒的粒径相差千百倍,甚至更大,故宜采用对数比例尺坐标表示。

若级配曲线平缓,表示粒径大小差别悬殊,各种粒径的土粒都有,颗粒不均匀,即级配良好;若级配曲线陡峻,表示粒径范围较小,颗粒均匀,即级配不好。工程上用不均匀系数 C_u 表示颗粒组成的不均匀程度,即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

式中 d_{60} ——小于某粒径的土粒重量占土总重量 60 % 时相应的粒径,又称限定粒径;

d_{10} ——小于某粒径的土粒重量占土总重量 10 % 时相应的粒径, 又称有效粒径。

表 1-1 颗粒分析表

筛孔直径/mm	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.1	0.075	底盘 <0.075	总计
留筛土重/g	176	198	153	185	226	366	708	652	86	84	2 834
占全部土重的百分比/%	6	7	5	7	8	13	25	23	3	3	100
大于某筛孔径的土重百分比/%	6	13	18	25	33	46	71	94	97	—	—
小于某筛孔径的土重百分比/%	94	87	82	75	67	54	29	6	3	—	—

不均匀系数越大, 土粒越不均匀. 工程上把 $C_u < 5$ 的土看作是均匀的, 级配不好; $C_u > 10$ 的土看作是不均匀的, 级配良好. 图 1-1 中所示曲线表明, 此土样的不均匀系数 $C_u =$

$$\frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.67}{0.13} = 5.15, \text{级配尚好.}$$

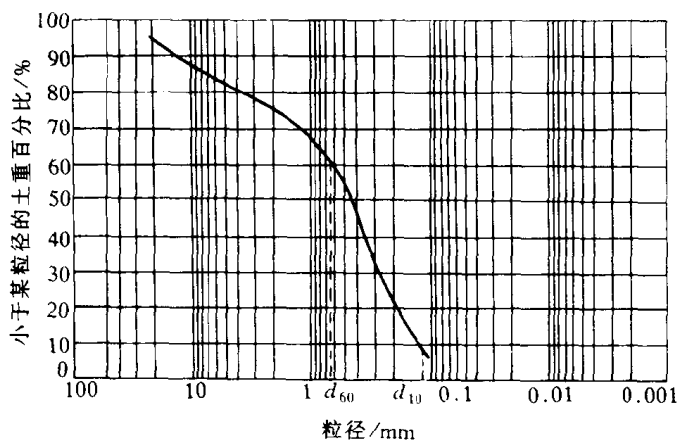


图 1-1 颗粒级配曲线

土中矿物成分可分为原生矿物和次生矿物两大类。原生矿物是岩石经物理风化而成的颗粒, 其矿物成分与母岩相同, 如石英、长石、云母等; 原生矿物性质较为稳定。次生矿物是指原生矿物经化学风化作用后形成的新矿物, 如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅及各种粘土矿物。

对于块石、碎石、角砾等粗大土粒的矿物成分与原生矿物相同。砂粒大部分是原生矿物的单矿物颗

粒, 如石英、长石、云母等。粉粒的矿物成分是不同的, 主要有原生矿物的石英、次生矿物的难溶盐类(碳酸钙、碳酸镁)。粘土粒几乎都是次生矿物的粘土矿物、氧化物、难溶盐及腐植质。其中, 粘土矿物又分为高岭土、伊利土(水云母)和蒙脱土。高岭土是在酸性介质条件下形成的次生粘土矿物, 遇水后膨胀性与可塑性较小; 蒙脱土遇水后具有极大的膨胀性与可塑性; 伊利土的性质介于高岭土与蒙脱土之间, 比较接近蒙脱土。

2. 土中水

土中水主要以液态形式存在, 它分为结合水和自由水两大类。

结合水是指吸附在土粒表面的结合水膜。研究表明, 细小土粒表面带负电荷, 围绕土粒形成电场。在土粒电场范围内的水分子以及水分子中的阳离子一起被吸附在土粒周围。水分子是极性分子, 故受电场作用而定向排列, 且越靠近土粒表面吸附作用越强, 越向外, 吸附能力逐渐减弱。因此, 结合水可从里向外分为固定层和扩散层(见图 1-2)。固定层中的水因直接靠近土粒表面, 受到吸引力很大, 故称为强结合水。其性质接近于固体, 不能传递水压, 具有极大的粘滞性、弹性和抗剪强度。在扩散层中的水因受到的吸引力较小, 故称为弱

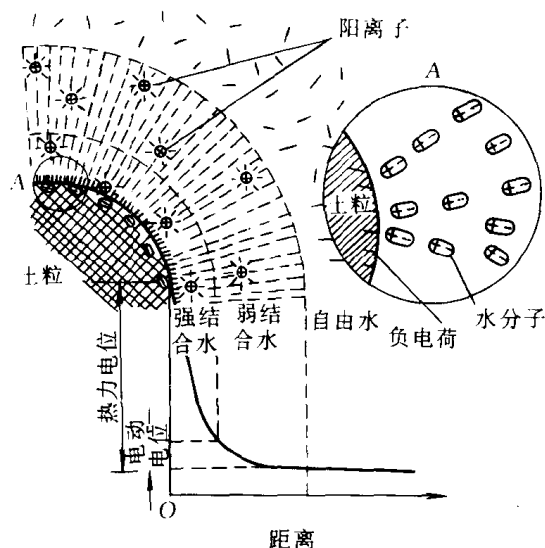


图 1—2 土粒和水分子的相互作用

结合水。其性质呈粘滞体状态,在外界压力下可以挤压变形。弱结合水对粘性土的物理力学性质影响极大。砂土因为表面较小可认为不含弱结合水。

自由水是指在土粒结合水膜之外的水。它又分为重力水和毛细水两种。重力水是在土孔隙中只受重力作用而自由流动的水,它能传递水压力和产生浮力作用。重力水一般存在于地下水位以下的透水土层中。毛细水是土孔隙中受到表面张力作用而存在的自由水,一般存在于地下水位以上的透水土层中。由于表面张力的作用,毛细水在土粒之间形成环状弯液面(见图 1—3)。弯液面与土粒接触处的表面张力反作用于土粒,形成毛细压力(或称毛细粘聚力),使土粒挤紧。土粒间的孔隙是互相连通的,形

成无数不规则的毛细管。在表面张力作用下,地下水沿着毛细管上升。因此,在工程中要注意地基土的湿润和冻胀,同时应注意建筑物的防潮。

3. 土中气体

土中气体存在于土中孔隙未被水占据的地方。粗粒土中的气体常与大气相通,在土受压时可较快逸出,对土的性质影响不大。细粒土中的气体常与大气隔绝而成封闭气泡,不易逸出,因此增大了土的弹性和压缩性,同时降低了土的透水性。在淤泥等含有大量有机质的土中,由于微生物的活动,在土中分解产生了一些可燃气体,如甲烷、硫化氢等,使土层在自重作用下不易压密而形成高压缩性的软土层。

二、土的结构

土粒或土粒集合体的大小、形状、相互排列与连结等综合特征,称为土的结构。土的结构可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构(见图 1—4)。其中,蜂窝结构和絮状结构又称为海绵结构。

单粒结构的土是由较粗大的土粒如碎石、砂粒等组成。因土粒较大,土粒间的分子引力远小于土粒自重,土粒之间几乎没有相互联结作用。土粒排列有疏松状态及密实状态两种。当土粒排列密实时(见图 1—4a),土的强度较大,压缩性较小,是良好的天然地基;当土粒排列疏松时(见图 1—4b),土粒间的空隙较大,土粒不稳定,不宜直接用做地基。

蜂窝结构的土是由粉粒串联而成(见图 1—4c)。由于粉粒较小,土粒之间的分子引力大于土粒自重,使土粒下沉时停止在接触面上形成串联结构。絮状结构的土是由粘粒集合体串联而成(见图 1—4d)。

具有蜂窝结构和絮状结构的土,其土粒之间有着大量的孔隙,结构不稳定,当其天然结构被破坏后,土的压缩性增大而强度降低,故也称为有结构性土。但土粒之间的联结强度往往会由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

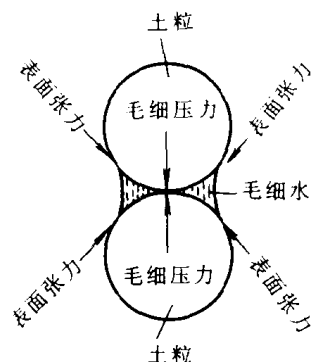


图 1—3 土粒间的毛细水与毛细压力

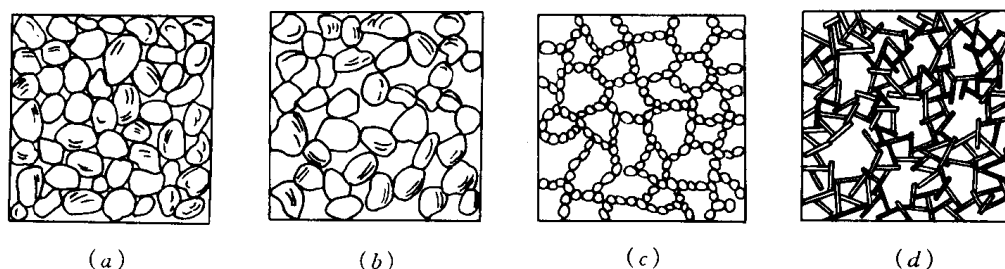


图 1—4 土的结构

a—密实排列的单粒结构；b—疏松排列的单粒结构；c—蜂窝结构；d—絮状结构

第二节 土的物理性质指标

土是由固体颗粒、水和空气组成的三相体系。三相之间的比例，反映着土的不同物理状态：潮湿或干燥、密实或松散。它们对于评定土的物理力学性质有着很重要的意义。因此，为了研究土的物理性质，就应掌握土的三相之间的比例关系。表示三相之间关系的指标，称为土的物理指标。

一、土的三相图

为了便于说明和计算，将土中分散、交错的三相理想化地集合在一起，按重力或体积组成来表示各相之间的数量关系（见图 1—5）。气体因重力较小，可忽略不计。

其中 $V = V_s + V_w + V_a = V_s + V_v$,

$$W = W_s + W_w.$$

二、土的基本物理指标

1. 土的重力密度 γ 与质量密度 ρ

土在天然状态下单位体积的重力称为土的重力密度，简称重度 (kN/m^3)。重度

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s + V_w \gamma_w}{V}. \quad (1-2)$$

水的重度 $\gamma_w = 9.8 \text{ kN}/\text{m}^3$ ，一般土的重度在 $16 \text{ kN}/\text{m}^3 \sim 20 \text{ kN}/\text{m}^3$ 之间。

土在天然状态下单位体积的质量称为土的质量密度，简称密度 (kg/m^3 或 t/m^3)。密度

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1-3)$$

重度 γ 与密度 ρ 的关系为

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g.$$

式中 g ——重力加速度。

2. 土粒相对密度 d_s

土粒质量与同体积的 4°C 时水的质量之比，称为土

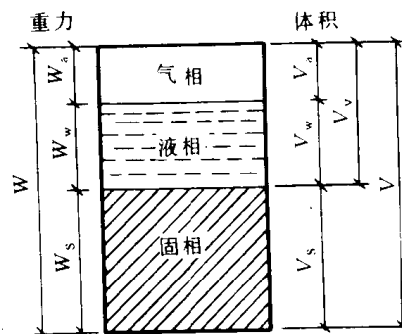


图 1—5 土的三相简图

V —土的总体积, m^3 ;

V_a —土中气体体积, m^3 ;

V_w —土中水的体积, m^3 ;

V_s —土中固体颗粒的体积, m^3 ;

V_v —土中孔隙的体积, m^3 ;

W —土的总重力, kN ;

W_a —土中气体重力近似为零;

W_w —土中水的重力, kN ;

W_s —土中固体颗粒的重力, kN

粒相对密度。土粒相对密度

$$d_s = \frac{m_s}{m_w} = \frac{\frac{W_s}{g}}{\frac{W_w}{g}} = \frac{W_s}{W_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}. \quad (1-4)$$

一般土粒相对密度在 2.6~2.8 之间。

3. 土的天然含水量 w

土中水的质量与土粒的质量之比,称为土的含水量,用百分数表示。土的天然含水量

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{\frac{W_w}{g}}{\frac{W_s}{g}} \times 100\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%. \quad (1-5)$$

土的基本物理指标 γ 、 d_s 、 w 均可由实验测得。

三、土的其他物理指标

1. 干土的重力密度 γ_d

单位体积内土颗粒的重力称为干土的重力密度,简称干土重度(kN/m^3)。干土重度

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}. \quad (1-6)$$

工程上常用干土重度来控制填土紧密程度。

2. 饱和土的重力密度 γ_{sat}

土中孔隙完全被水充满时,单位体积的重力称为饱和土的重力密度,简称饱和土重度(kN/m^3)。饱和土重度

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}. \quad (1-7)$$

3. 水下土的重力密度 γ'

在地下水位以下,土体受到水的浮力作用时土的重度称为水下土重力密度,简称有效重度(kN/m^3)。有效重度

$$\gamma' = \frac{W_s + V_v \gamma_w - V \gamma_w}{V} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w. \quad (1-8)$$

4. 土的孔隙比 e

土中孔隙的体积与土粒体积之比称为土的孔隙比。土的孔隙比

$$e = \frac{V_v}{V_s}. \quad (1-9)$$

孔隙比 e 是反映土的密实程度的指标。一般 $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性的土, $e > 1$ 的土是疏松的高压缩性土。

5. 土的孔隙率 n

土中孔隙的体积与土的总体积之比称为土的孔隙率,用百分数表示。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%. \quad (1-10)$$

6. 土的饱和度 S_r

土中水的体积与孔隙体积之比称为土的饱和度,用百分数表示。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%. \quad (1-11)$$

饱和度是反映土潮湿程度的物理指标。当 $S_r < 0.5$ 时为稍湿的土； S_r 在 $0.5 \sim 0.8$ 之间时为很湿的土； $S_r > 0.8$ 时为饱和的土；若 $S_r = 1.0$ 时，则土处于完全饱和状态。

四、土的基本物理指标与其他物理指标的关系

为求出土的物理指标 $\gamma_d, \gamma_{sat}, \gamma', e, n, S_r$ ，可在基本指标已知的前提下，假设 $V_s = 1$ ，可导出以下物理指标：

$$\begin{aligned} \text{土粒重力} \quad W_s &= d_s V_s \gamma_w = d_s \gamma_w; \\ \text{水重力} \quad W_w &= w W_s = w d_s \gamma_w; \\ \text{土总重力} \quad W &= W_s + W_w = d_s \gamma_w (1 + w); \end{aligned}$$

$$\text{水体积} \quad V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = w d_s;$$

$$\text{土总体积} \quad V = \frac{W}{\gamma} = \frac{d_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma};$$

$$\text{孔隙体积} \quad V_v = V - V_s = \frac{d_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1.$$

$$\text{另有} \quad V_v = e V_s = e,$$

$$\text{则} \quad V = V_v + V_s = 1 + e.$$

因此可推算出各个指标的换算公式：

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{d_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1; \quad (1-12)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V} = \frac{(d_s + e) \gamma_w}{1 + e}; \quad (1-13)$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{d_s \gamma_w}{1 + e} \quad \text{或} \quad \gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}; \quad (1-14)$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1 + e}; \quad (1-15)$$

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \% = \frac{e}{1 + e} \times 100 \%, \quad (1-16)$$

$$\text{或} \quad n = \frac{V_v}{V} \times 100 \% = \left[1 - \frac{\gamma}{d_s \gamma_w (1 + w)} \right] \times 100 \%;$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \% = \frac{w d_s}{e} \times 100 \%. \quad (1-17)$$

〔例 1-1〕 某天然土样，经实验测得其重度 $\gamma = 17.1 \text{ kN/m}^3$ ，天然含水量 $w = 13.6 \%$ ，相对密度 $d_s = 2.69$ ，试求此土样的孔隙比 e 、孔隙率 n 、饱和度 S_r 和有效重度 γ' 。

解

$$\text{孔隙比} \quad e = \frac{\gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.69 \times 9.8 \times (1 + 0.136)}{17.1} - 1 = 0.75;$$

$$\text{孔隙率} \quad n = \frac{e}{1 + e} \times 100 \% = \frac{0.75}{1 + 0.75} \times 100 \% = 42.9 \%;$$

$$\text{饱和度} \quad S_r = \frac{w d_s}{e} = \frac{0.136 \times 2.69}{0.75} = 48.8 \%;$$

$$\text{有效重度} \quad \gamma' = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1 + e} = \frac{(2.69 - 1) \times 9.8}{1 + 0.75} = 9.5 \text{ kN/m}^3.$$

第三节 无粘性土的特征

无粘性土一般是指具有单粒结构的碎石土和砂土。由于土的成分中缺乏粘土矿物而呈松散状,其工程性质取决于土的密实程度。天然状态下无粘性土具有不同的密实程度。当处于疏松状态时,其压缩性较高,强度较低;当处于密实状态时,其压缩性较小,强度较高,是良好的天然地基。工程上常用密实度来评价无粘性土的地基承载力。

碎石土的密实度可根据野外鉴别方法(见表 1—2)来确定,其密实度可分为密实、中密和稍密三种状态。

表 1—2 碎石土密实度野外鉴别方法

密实度	骨架颗粒含量和排列	可 挖 性	可 钻 性
密 实	骨架颗粒含量大于总重的 70 %,呈交错排列,连续接触	锹镐挖掘困难,用撬棍方能松动;井壁一般较稳定	钻进极困难;冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动剧烈;孔壁较稳定
中 密	骨架颗粒含量等于总重的 60 %~70 %,呈交错排列,大部分接触	锹镐可挖掘;井壁有掉块现象,从井壁取出大颗粒处,能保持颗粒凹面形状	钻进较困难;冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动不剧烈;孔壁有坍塌现象
稍 密	骨架颗粒含量小于总重的 60 %,排列混乱,大部分不接触	锹镐可以挖掘;井壁易坍塌,从井壁取出大颗粒后,砂土立即坍落	钻进较容易;冲击钻探时,钻杆稍有跳动,孔壁易坍塌

注:1. 骨架颗粒系指与表 1—6 相对应粒径的颗粒。

2. 碎石土的宽度应按表列各项要求综合确定。

砂土的密实度,以往均用孔隙比 e 的大小来评定,但对砂土很难取得原状土样,因此《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)(以下简称《地基规范》)提出用标准贯入试验锤击数 $N_{63.5}$ 来划分砂土的密实度(见表 1—3)。

表 1—3 砂 土 的 密 实 度

密 实 度	密 实	中 密	稍 密	松 散
标准贯入锤击数 $N_{63.5}$	$N_{63.5} > 30$	$30 \geq N_{63.5} > 15$	$15 \geq N_{63.5} > 10$	$N_{63.5} \leq 10$

第四节 粘性土的特征

粘性土的主要成分是粘粒,土粒间存在粘聚力而使土具有粘性,粘土颗粒较细,土的比表面大(单位体积的颗粒总表面积),土粒表面与水相互作用的能力较强。随着土中含水量的变化,土具有不同的物理性质,因而具有不同的工程性质。

一、粘性土的塑限和液限

随着含水量的变化,粘性土可由一种状态转变为另一种状态,其分界含水量称为界限含

水量。土由流动状态转变为可塑状态的界限含水量称为液限,用 w_L 表示,也称塑性上限含水量。土由可塑状态转变为半固态的界限含水量称为塑限,用 w_P 表示,也称塑性下限含水量。随着含水量进一步减少,土的体积也不断减小,直至土的体积不再减小,即土由半固态转变为固态时的界限含水量称为缩限,用 w_s 表示。粘性土的状态与含水量的关系可见图 1—6。

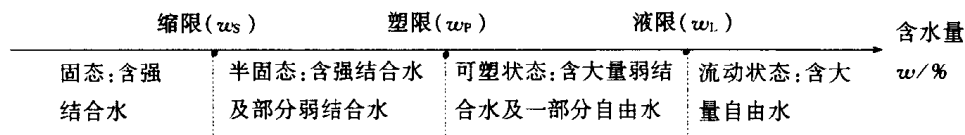


图 1—6 土的物理状态与含水量的关系

当土中仅含强结合水时,土呈固体状态。含有弱结合水时,土呈半固态。当土中含有一定的自由水时,土粒间可相互滑动而不破坏土粒间的联系,土呈可塑状态。若土中含有大量自由水时,土呈流动状态。随着含水量的增加,土可从固体状态经可塑状态变化到流动状态,土的强度亦随之降低。

二、粘性土的塑性指数和液性指数

液限与塑限之差称为塑性指数,用 I_P 表示。塑性指数

$$I_P = w_L - w_P. \quad (1-18)$$

式中 I_P ——塑性指数;

w_L ——液限,计算时不带 %;

w_P ——塑限,计算时不带 %。

塑性指数的大小表示土的可塑性范围,塑性指数愈高,表示土中细颗粒含量增多,含水量变化范围增大,土的粘性与可塑性愈好。塑性指数是粘性土定名的依据,一般粘性土的塑性指数 $I_P > 10$ 。

《地基规范》规定:

$10 < I_P \leq 17$ 为粉质粘土,

$I_P > 17$ 为粘土。

天然含水量与塑限之差同塑性指数之比称为液性指数,用 I_L 表示。液性指数

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} = \frac{w - w_P}{w_L - w_P}. \quad (1-19)$$

液性指数是判别粘土的软硬程度的指标,又称稠度。由式中看出,当 $w \leq w_P$ 时, $I_L \leq 0$,土为坚硬状态。当 $w > w_L$ 时, $I_L > 1$,土为流塑状态。当 $w_P < w \leq w_L$ 时, $0 < I_L \leq 1$,土为可塑状态。工程上根据液性指数 I_L 将粘性土划分为以下五种软硬状态:

$I_L \leq 0$	坚硬状态;
$0 < I_L \leq 0.25$	硬塑状态;
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可塑状态;
$0.75 < I_L \leq 1$	软塑状态;
$I_L > 1$	流塑状态。

三、粘性土的灵敏度

粘性土是具有海绵结构的土,属于有结构性土,其结构性强弱可用灵敏度指标 S_t 衡