

地基沉降变形 计算

邱发兴 编著

DIJI CHENJIANG BIANXING
JISUAN

四川大学出版社



TU433

2

2007

责任编辑：王怀斌
封面设计：王怀斌
版式设计：王怀斌

地基沉降变形

地基沉降变形计算

计算

邱发兴 编著

DIJI CHENJIANG BIANXING
JISUAN

四川大学出版社



责任编辑:周树琴 马 娜
责任校对:王 平
封面设计:罗 光
责任印制:杨丽贤

图书在版编目(CIP)数据

地基沉降变形计算 / 邱发兴编著. —成都: 四川大学出版社, 2007.1

ISBN 978-7-5614-3634-9

I. 地… II. 邱… III. ①地基-沉降(土建)-计算②地基变形-计算 IV. TU433

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 003985 号

书名 地基沉降变形计算

编 著 邱发兴
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行 四川大学出版社
书 号 ISBN 978-7-5614-3634-9/TU·8
印 刷 成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸 185 mm×260 mm
印 张 13.75
字 数 366 千字
版 次 2007 年 2 月第 1 版
印 次 2007 年 2 月第 1 次印刷
印 数 0 001~1 000 册
定 价 28.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电 话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

◆网址:www.scupress.com.cn

前 言

地基基础沉降,直接影响到工程的结构安全和建设项目的社会效益,而关于地基沉降的研究经历了数十年的发展,虽然有了一些理论和计算方法,但尚需不断地发展和完善。

笔者作为战斗在建设工程基层的工作者,在学习、实践和科研活动中,通过对地基变形沉降长期的研究和总结,对沉降理论有了一些新的认识。

2004年,笔者参加了四川省2004年第二批重点攻关项目(04SG031—002)“控制地基沉降、楔形桩、压力灌浆”的研究工作,在这个过程中感到:一方面有关地基沉降变形理论方法颇为丰富,另一方面却又未见一本系统的著述;尤其当拙文《沉降学原理》(西部探矿工程,2006年第6期)发表后,深感其中的浅陋和不足,于是萌动了编写本书想法。

与一般土力学书籍相比,本书系统地总结了国内外的一些新的科研成果,提出了一些新的变形沉降理论、观点和计算方法,进一步完善了关于沉降理论的内容。本书的主要特点是一个“新”字,概括起来表现在如下几方面:

1. 采用了一些新的沉降分析方法

(1)从能量学的角度思考地基沉降问题:地基的沉降变形问题,可以理解为建筑物在建筑物荷载与地基反力作用下的一个功(能量)的问题。

(2)用运动学的方法分析地基沉降问题:地基的沉降变形问题,是一个随着时间发展变化直至停止沉降的过程,因此可以从运动学的角度予以分析。

(3)从气体分子运动论的途径研究地基沉降问题:土体在荷载作用下开始沉降时的瞬时沉降,一般认为是土体的弹性变形所致,但是我们也可以根据土体一般是由空气、水和土颗粒三相物质组成的规律,认为它是空气的压缩变形所致,这样就能够运用气体分子运动理论对沉降进行研究。

(4)从三相物质特征的情况理解地基沉降问题:既然土体是由空气、水和土颗粒三相物质组成,那么就能够建立一个运用三相沉降论的计算办法。

2. 从空间变形的角度认识地基沉降

沉降问题是一个空间变形问题,这是一个众所周知的常识,这样,我们将沉降变形从通常的一维竖向沉降计算发展为空间变形计算,也就是顺理成章的。

3. 沉降变形的系统作用和新地基承载力公式

影响沉降变形的因素众多,它既与土的初始强度与强度变化、渗透与空气压缩、荷载的大小作用方式、应力分布特征等方面息息相关,又与土的应力有关。因此,采用系统的分析是必要的,而其中最基本的是荷载、强度、沉降这三者之间的相互作用关系。

本书通过对地基强度的控制作用分析,建立了一个新地基承载力公式。这个公式的优点在于:

(1) 该公式既可用于地基土体,也可用于除土体外的其他介质,有较广泛的适用性。

(2) 与现行地基承载力的理论公式比较,该公式能够适用于地基的整体剪切、局部剪切破坏模式,对冲剪也可作出一定的解释。

(3) 一般而言,与现行地基承载力的理论公式比较,该公式的计算值较大,这样就为有效地提升地基的利用价值和资源的节约提供必要的理论基础。

(4) 该公式可适用于多种形状的地基基础类型。

(5) 该公式表明,地基承载力不仅与基底土层有关,也受基础周边土层影响,这样就为地基基础设计提供了一个新思路。

4. 沉降变形区和沉降变形稳定条件

沉降变形的分析,应当根据土性条件和荷载状况等因素,首先进行沉降变形的合理分区,然后选择相应的理论计算模型进行计算,而现行的沉降计算理论对此问题都没有涉及,本书弥补了关于沉降变形的合理分区理论的空缺。

本书还提出了关于沉降变形稳定条件的观点,即地基沉降变形稳定取决于最终荷载与土体必然处于弹性状态(相对平衡)。

5. 沉降计算深度确定

应变比法、应力比法确定沉降计算深度的孰优孰劣,无论是理论上还是实践应用,一直未有定论,本书提出的综合法能够兼顾应变比法和应力比法二者的优点,使用十分简便。

6. 沉降研究的最终目的

沉降研究的最终目的是在沉降可控的前提下,寻求地基的最大承载力,以达到地基基础设计的最佳技术经济效益。

7. 建立了沉降变形学的基本理论框架

对于地基沉降变形的研究,其理论是十分丰富的,从工程运用角度看,方法也众多,但一直未有系统的总结。

本书可作为注册土木、建筑、结构等专业工程师的专业考试参考资料,同时还能作为大中专学生、教师、科研工作者的参考书。

对于本书的有关观点和认识,希望得到同仁们共同探讨。当然,由于作者的水平和条件有限,对于书中的不足之处,敬请指正。

在此,我要特别感谢恩师曾月进多年来对我的关心,感谢李辉博士、康景文博士、阳友奎博士、杜先云博士和周世光、冯礼恭及丁世振先生的帮助。

邱发兴

2006年2月25日

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 变形沉降学概念与内容	(1)
1.2 沉降变形特征	(1)
1.3 沉降作用与沉降效应	(2)
1.4 沉降变形原则	(2)
1.5 沉降学的理论路径	(2)
1.6 沉降分类	(3)
1.7 沉降运动及其运动指标	(3)
第 2 章 影响沉降的基本要素——土性	(4)
2.1 土的组成	(5)
2.2 土的结构	(7)
2.3 土的构造	(8)
2.4 土的物理性质指标	(8)
2.5 土的压缩变形特性指标	(12)
2.6 受荷抗压性(强度特性)	(19)
2.7 应力应变的本构关系	(22)
第 3 章 沉降作用中的荷载与应力	(26)
3.1 沉降作用系统圈	(26)
3.2 基础底面压力分析	(27)
3.3 地基中的应力状态	(29)
3.4 荷载作用下的地基附加应力场	(29)
3.5 荷载作用下的地基位移场	(31)
3.6 典型分布荷载竖向附加应力计算	(32)
3.7 地基应力作用准则	(36)
3.8 地基应力对于荷载的控制	(37)
3.9 关于地基承载力的新研究	(40)
第 4 章 地基线沉降计算方法	(44)
4.1 线沉降计算方法分类与计算原则	(44)

4.2	压缩变形法	(46)
4.3	应力历史法	(53)
4.4	应力路径法	(58)
4.5	弹性理论法	(62)
4.6	时间阶段法	(63)
4.7	剑桥模型法	(64)
4.8	现场试验法	(66)
4.9	曲线拟合法	(68)
4.10	三相沉降法	(71)
4.11	地基沉降计算的简评	(76)
第5章	地下水与变形沉降	(80)
5.1	土的自重应力与有效应力原理	(80)
5.2	孔隙水压力与有效自重应力	(81)
5.3	孔隙水压力场对压缩模量的影响	(84)
5.4	孔隙水压力场对沉降计算深度的影响	(84)
5.5	孔隙压力与孔隙水压力分析	(85)
5.6	渗流条件下的地基沉降计算	(92)
第6章	饱和土与非饱和土渗流分析	(93)
6.1	土体中水的流动	(93)
6.2	地下水流动的分类	(94)
6.3	渗流基本定律	(94)
6.4	渗流系数	(96)
6.5	不均匀土层的一维渗流组合	(98)
6.6	渗流稳定性分析	(99)
6.7	饱和土的渗流分析	(101)
6.8	非饱和土的渗流分析	(105)
第7章	体沉降与沉降运动和功	(109)
7.1	体沉降概念	(109)
7.2	变形空间守恒原则	(109)
7.3	地基体沉降的力学表达式	(110)
7.4	地基中附加应力的求解途径	(111)
7.5	体沉降的应力边界确定	(111)
7.6	常见均布荷载体沉降的计算方案	(112)
7.7	空气压缩的体沉降	(116)
7.8	饱和土渗透的体沉降	(118)

7.9	非饱和土的体沉降	(119)
7.10	沉降运动	(119)
7.11	地基的功(能)与体沉降	(122)
7.12	剑桥模型中的能量研究方法	(125)
7.13	结论和问题	(126)
第8章	桩基础沉降计算	(128)
8.1	桩基础沉降计算方法	(128)
8.2	单桩沉降计算的荷载传递方法分析	(141)
8.3	沉桩的土体变形问题	(143)
第9章	特殊沉降变形问题	(146)
9.1	高层建筑的沉降问题	(146)
9.2	大面积荷载的沉降问题	(150)
9.3	复合地基的沉降问题	(151)
9.4	多年冻土地基的沉降问题	(154)
9.5	膨胀土地基的沉降变形问题	(156)
9.6	湿陷地基的沉降问题	(159)
9.7	公路地基的沉降问题	(162)
9.8	港口地基的沉降问题	(165)
9.9	土石坝的沉降问题	(167)
9.10	地层损失的地表沉降问题	(173)
9.11	地面沉降问题	(183)
第10章	沉降变形控制	(185)
10.1	沉降控制的目的	(185)
10.2	沉降控制的原则	(185)
10.3	地基沉降控制的标准	(188)
10.4	采用孔隙比进行沉降控制的方法	(191)
10.5	沉降变形的控制措施	(194)
第11章	沉降变形监测	(199)
11.1	沉降变形监测概论	(200)
11.2	基坑的沉降变形监测	(201)
11.3	沉桩监测	(205)
11.4	水平位移监测	(206)
11.5	全站仪法倾斜监测	(208)
参考文献		(210)

第1章 绪论

世界是物质的,物质世界是丰富多彩的,丰富多彩的物质世界一般可以分为固体、液体和气体三种状态,按照人们的需要进行分类利用。但是地基土这种物质却是一种由固体、液体和气体物质组成的混合体,一般只能整体利用,因此我们必须作为整体来研究。

地基土这种特殊物质,由于其生成年代、生成环境以及物质成分的不同,其工程特性就显得十分复杂多变。各种物理、力学方法理论,都可以在一定范围内应用于地基土的工程特性分析,都有其用武之地,然而每一种物理、力学都无法准确对其进行分析。因此,才有“对于土力学,与其说是一门技术,不如说是一门技艺”之说。

地基土的变形、承载力和稳定性是土力学的核心且又是最基本的问题,大量的工程实践表明,由于地基变形造成建筑物上部结构的破坏和裂缝的事例很多。因此《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)规定:应把控制地基变形作为地基基础设计的主要原则,尤其对于“设计等级为甲级、乙级的建筑物,均应按地基变形设计”;对于丙级建筑物,则视情况决定是否进行沉降计算。

随着近年来对于沉降研究的深入和发展,作为土力学发展的必然结果,建立一门专门研究地基变形和基础沉降的学科——变形沉降学的条件已经基本具备,下面就有关概念做一个简要说明。

1.1 变形沉降学概念与内容

变形沉降学,是一门以建筑地基与基础的沉降变形特征为研究对象的科学。它采用弹性力学、弹塑性力学、流变力学、流体力学、运动学、水力学、气体分子运动理论,以及动力学等理论方法,通过理论研究、室内试验、现场试验和现场监测等手段,按照系统分析的思路对地基基础的沉降变形进行研究,根据工程的需要对于建筑地基与基础进行沉降控制,是土力学的一个重要分支。

1.2 沉降变形特征

沉降变形特征是沉降变形学的研究对象,是沉降变形大小的量度指标,分为理论研究采用的变形特征和工程控制采用的变形特征两类。

理论变形特征,包括如下几种:

(1)线沉降:即一般地基基础所说的沉降量,它是地基基础在垂直方向上的位移变形

指标,单位为 mm(或者 cm)。现行地基基础规范,一般称之为沉降量,习惯上也有直接使用“沉降”这一称谓的。

(2)平均线沉降:同一基础上各点的线沉降的算术平均值,即

$$\bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + \cdots + S_n}{n}$$

(3)水平位移:它是地基基础在水平方向上的位移变形指标,单位为 mm(或者 cm)。

(4)体沉降:它是地基在三维空间中的变形指标,单位为 m^3 。

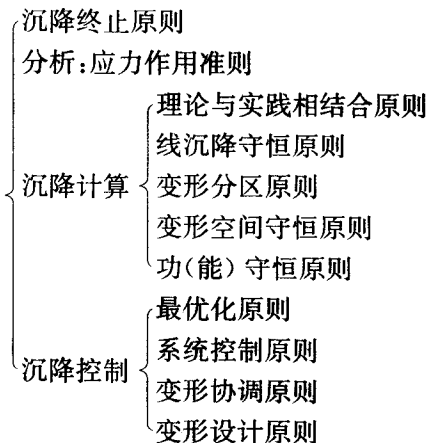
1.3 沉降作用与沉降效应

基础沉降是在外部荷载和外部(风力、日照等)作用,以及地基反力等多因素的共同作用下产生的,为了分析方便起见,本书将基础上的所有作用力统称为沉降作用力。

地基的变形包含了地基的荷载、应力、强度以及渗透等各类因素的相互作用,它是地基在基础沉降作用下的一种变化状态,可称之为沉降效应,其具体内容可以采用沉降作用效应系统圈说明,见第3章图3.1。

1.4 沉降变形原则

本书中提出的沉降变形原则,是指下面的内容:



沉降终止原则:对于地基而言,如果存在塑性变形,沉降必然会继续发生,因此,地基沉降的终止,必然是处于弹性平衡状态或者极限平衡状态。

1.5 沉降学的理论路径

沉降变形分析的理论路径,包含下面三个方面的内容。

(1)强度理论路径:从地基的强度角度出发,分析地基的强度对于地基应力、应变的控制作用,目的是研究地基的荷载、变形和强度的相互关系,要考虑强度的变化因素。

(2)应力应变理论路径:从变形区特征出发,只考虑相应的应力应变模型,一般不考虑强度的变化作用,目的是建立与实际情况基本吻合的理论模型,用于进行沉降计算。

(3)沉降变形计算路径:按照理论与实践经验相结合的原则,依据理论模型、应力状况(应力历史、应力路径、应力水平),综合考虑土性(土的类别、强度、水文气象条件、地质环境)条件、荷载条件、地区经验情况和人类活动状况,按照工程计算目的选择变形特征指标,最后根据计算条件选择沉降变形计算方法。

1.6 沉降分类

(1)按照沉降产生的机理,可将其划分为:

- ①荷载沉降:外部荷载作用下产生的沉降。
- ②地层损失沉降:采空区、隧道、地下工程和基坑开挖等产生的沉降。
- ③自重沉降:土体在自重应力作用下产生的沉降。
- ④水文沉降:由于地下水的水位上升或者下降产生的沉降。

(2)按照沉降表示方法,可将其划分为:

①正沉降:即一般所说的沉降,是指土体压缩产生的沉降,如地下水下降情况就属于该类型。

②负沉降:如基坑开挖土体隆起、沉桩土体隆起、膨胀土膨胀,以及地下水上升情况。

(3)按照沉降过程,可将其划分为:

- ①施工期沉降。
- ②竣工后沉降。

(4)按照沉降发生的时间可将其划分:

- ①瞬时沉降。
- ②主固结沉降。
- ③次固结沉降。

当然,还可以采用其他分类方法,如沉降特征表述指标划分、基础类型划分等。

1.7 沉降运动及其运动指标

世界是物质的,物质世界是不断运动的,因此不难理解,当地基在外部荷载作用下、或者由于地层内部因素影响,或者由于土层中的地层损失等变化,地基的沉降变形就是一种运动。本书讲的沉降运动,一般是指建筑地基的沉降运动,包括下面三个运动指标。

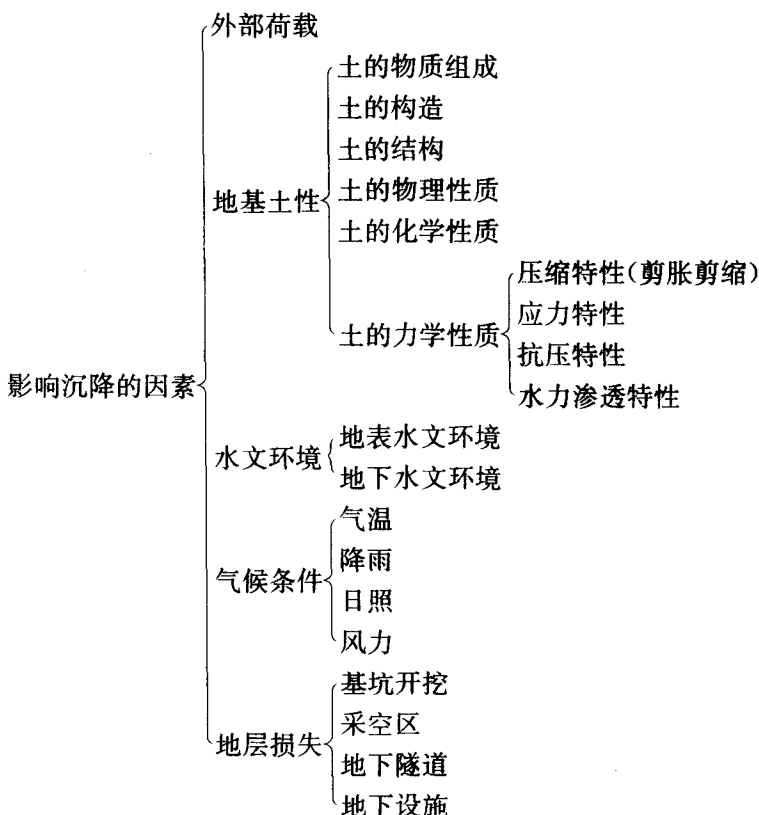
(1)沉降速度:沉降运动中,单位时间内的线沉降,单位为 m/s 。

(2)沉降加速度:沉降运动中,单位时间内的线沉降速度,单位为 m/s^2 。

(3)渗透速度:沉降运动中,孔隙水渗透的快慢程度,直接影响到沉降运动的快慢,地基的渗透是地基沉降运动的一种独特的沉降变形运动。渗透速度的单位为 m/s 。

第2章 影响沉降的基本要素——土性

地基的变形沉降,是由外部荷载、地基土性、水文环境、气候条件和地层损失这五个方面的因素共同作用 and 控制的。由地层损失因素产生的沉降,一般采用专门研究的办法。



广义的地基土性是对土的性质、状态的简称,包括地基土的物质组成、物理和化学性质以及土性参数关系等方面。地基的土性,通常是由地形地貌、区域地质环境和地质构造以及地质历史决定的,也受人类活动程度的影响。

建设工程中的外部荷载,通常采用建筑物、构筑物、设备等的基础底面的压力来表述,除满足结构和使用功能的要求外,其设定是在充分考虑了地基土的物质组成和土性条件下取用的;进行地基处理时,即使地基土不能满足设计要求,也必须首先搞清土层条件。换言之,地基土性对于荷载存在一定的主导和控制作用。

对于水文环境,不论是地表水还是地下水,在沉降变形的分析过程中,一般不考虑它对于土层物理化学性质的影响,只注重它的水位改变所引起土层的力学状态的变化以及

对于沉降作用影响。根据分析的需要,有时将土中的水从土层中分离出来单独分析,有时又将它作为土层的一部分,统一按照某一类型土进行分析,并不单独考虑。

气候条件对于沉降的影响一般是通过大气降雨和气温的变化对地基的力学性质的改变而实现的,它属于影响沉降的外部因素。对于高层建筑物和结构物地基,大气条件也通过对建筑物或者构筑物的作用,改变外部荷载的大小和作用方式,从而对沉降变形产生影响。

地层损失所造成的沉降变形与外部荷载所造成的沉降的机理是不同的,它是由于土层条件本身发生变化而引起的,一般需要专门研究。

综上所述,我们不难理解,地基沉降变形的大小,主要受控于外部荷载和地基土层条件,而土层条件是其中最基本和最重要的因素。因此本章着重围绕力学性质,介绍土的物质组成,以及土常用的本构关系。

2.1 土的组成

所谓土的组成是指土的组成成分,是它沉降的物质条件。

从物质状态来讲,土由三相物质组成,它是固态物质颗粒、液态物质水和气态物质组成的混合物,这是土与其他物质的较大区别,见图 2.1。

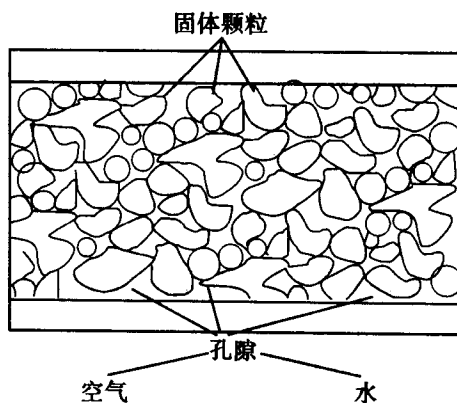


图 2.1 土的三相物质组成

从土中各态物质的空间体积关系来说,土由两部分组成:固体颗粒部分和孔隙部分。由液态物质水和气态物质组成的孔隙部分,由于外部条件(如荷载作用)和内部条件(如渗流作用)容易引起体积的变化,使地基产生沉降。而对于固体颗粒部分,通常认为是不可压缩的。

从土中孔隙部分分析,如果土中不含有水,即孔隙中只含有空气,称之为干土。如果土中不含有空气,即孔隙中只含有水,称之为饱和土。如果土中孔隙既含有空气,又含有水,称之为非饱和土。

2.1.1 固体颗粒(固相)

从颗粒角度看固体颗粒,土是不同粒径、不同形态的土颗粒的混合物。工程上,一般根据土颗粒的不同粒径、不同形态将其划分为不同类别,见表 2.1。

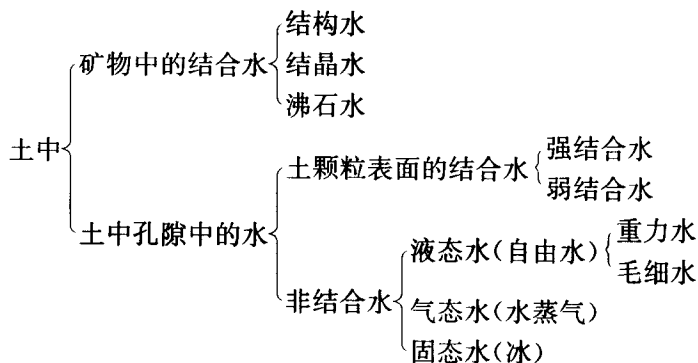
表 2.1 粒组划分

粒组	粒组划分	粒径(mm)	主要特性
巨粒组	漂石、块石	$d > 200$	透水性大,无粘性 无毛细水,不易压缩
	卵石、碎石	$200 \geq d > 60$	
粗粒组	砾粒	粗砾	透水性大,无粘性 不能保持水分,压缩性小 毛细水上升不超过粒径
		中砾	
		细砾	
	砂粒	粗砂	易透水,混入云母时透水性减小,压缩性增加 无粘性,干燥时松散,随着粒径变小压缩性增大 毛细水上升高度不大,随着粒径变小而增大;无膨胀性
		中砂	
		细砂	
细粒组	粘性粒	粉粒	透水性小,湿时有粘性;毛细水上升高度较大,有冻胀现象
		粘粒	透水性差,有粘性和可塑性; 毛细水上升高度大,遇水膨胀,失水收缩

从土的矿物成分看固体颗粒,固体颗粒是大地矿物衍生的。按照其成因和化学成分,可分为原生矿物、次生矿物和有机质等。一般较粗大的颗粒属于原生矿物,细小颗粒属于次生矿物。

2.1.2 水(液相)

一般来说,自然界中的土,都不同程度地含有水,所含水的类型可以划分为:



结构水、结晶水和沸石水是矿物的组成部分,一般影响土的性质,对于地基的强度有影响。

土颗粒表面的强结合水,牢固地附着在土颗粒的表面,密度大($1.5\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$),类似固体,具有极大的粘滞性、弹性和抗剪强度,不会因自身重力流动,一般可以认为,对于沉降不产生直接的影响。

弱结合水,密度较大($1.3\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.74\text{g}/\text{cm}^3$),具有一定的粘滞性、弹性和抗剪强度,不因自身重力流动,对沉降产生一定影响。

土中自由水(包括重力水和毛细水)、气态水,对于沉降产生直接影响。固态水受气候条件和冻土环境影响,对沉降产生间接影响。

2.1.3 土中气体(气相)

土中气体,按照其所处的状态和结构特点,可以分为:

- (1)自由气体,可以在孔隙中自由流动,与大气连通,对变形有影响。
- (2)封闭气体,为土颗粒、水封闭,其体积受周围压力控制,影响变形和渗流。
- (3)吸附气体,位于土颗粒表面,受环境压力和土颗粒特性控制,对变形的影响不明显。
- (4)溶解气体,溶解于水中的气体,受环境温度和压力的影响,对变形的影响不明显。

2.2 土的结构

不同方式的土排列、土联结和土基本单元组成不同土的结构,所具有的力学性质有一定的差别,从而对于沉降产生不同的影响。

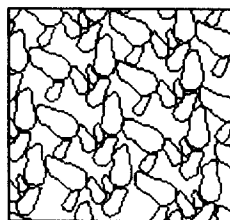
所谓土的结构,通常是对于土的微观结构而言,它是指土的物质成分土颗粒部分组成的基本单元(单颗粒)或者结构单元(集颗粒),与孔隙部分在空间的排列、联结等的综合特征。显然,不同的土结构对沉降作用的影响不一致。

基本单元可以分为碎屑颗粒(刚性)、凝聚体(半刚性)、外包颗粒(塑性单元)、叠聚体、絮凝体、联结体六种。

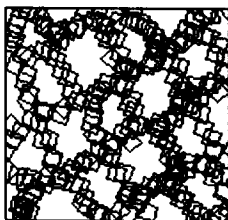
土的联结一般分为接触联结、毛细水联结、结合水联结、胶结联结、冰联结和链条联结六种。

土的排列分为单粒排列和片状结构排列。

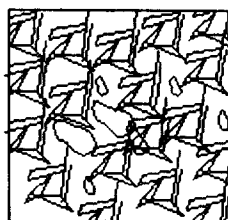
土的结构分类有较多的模型,如单粒结构、絮状结构、蜂窝结构、凝块结构、叠片结构、磁畴结构、团聚结构、团粒结构、海绵结构等。其中单粒结构、絮状结构和蜂窝结构为土的三种最基本类型,见图 2.2。



(a) 单粒结构



(b) 蜂窝结构



(c) 絮状结构

图 2.2 土的基本结构模型

1993 年, Mitchell 在土的结构研究中,提出了一个土组构概念,组构表示的是土中颗粒、颗粒群和孔隙在土中的排列与分布。

2.3 土的构造

土的构造也称为土体的结构,是指土体形成过程中,同一土层的物质成分和颗粒大小都相近的各部分之间的相互关系,它包括了土的三相物质特征和节理、裂隙等不连续面在土体中的排列、组合特征。一般用肉眼或者放大镜可以直接观察的土的构造,属于土的宏观结构。

土的构造最主要的特征是分层性,是土在形成过程中由不同阶段、不同物质、不同颗粒大小、不同颜色和不同的密实状态等因素作用,在竖直方向上呈现出的分层特点。土的分层性,一般通过土的工程分类来表示,见表 2.2。不同土层类型,其沉降特征有较大的区别。

表 2.2 土的工程分类

土类	土名	依据:颗粒、塑性指数、有机质含量
碎石土	漂石	圆形及椭圆形为主,粒径 $d>200\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	块石	棱角形为主,粒径 $d>200\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	卵石	圆形及椭圆形为主,粒径 $d>20\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	碎石	棱角形为主,粒径 $d>20\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	圆砾	圆形及椭圆形为主,粒径 $d>2\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	角砾	棱角形为主,粒径 $d>2\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
砂土	砾砂	粒径 $d>2\text{mm}$ 的颗粒,质量占总质量的 25%~50%
	粗砂	粒径 $d>0.5\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	中砂	粒径 $d>0.25\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
	细砂	粒径 $d>0.075\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 85%
	粉砂	粒径 $d>0.075\text{mm}$ 的颗粒,质量大于总质量的 50%
粉土		粒径 $d>0.075\text{mm}$ 的颗粒,质量小于或等于总质量 50%,且塑性指数 $I_p \leq 10$
粘性土	粉质粘土	塑性指数 $10 < I_p \leq 17$
	粘土	塑性指数 $I_p > 17$
有机质土	淤泥质土	有机质含量 $5\% \leq W_u \leq 10\%$,含水量 $\omega > \omega_L$,孔隙比 $1 \leq e < 1.5$
	淤泥	有机质含量 $5\% \leq W_u \leq 10\%$,含水量 $\omega > \omega_L$,孔隙比 $1.5 \leq e$
泥炭质土	弱泥炭质土	有机质含量 $10\% < W_u \leq 25\%$
	中泥炭质土	有机质含量 $25\% < W_u \leq 40\%$
	强泥炭质土	有机质含量 $40\% < W_u \leq 60\%$
泥炭土		有机质含量 $60\% < W_u$

2.4 土的物理性质指标

狭义的土性,是指土的物理性质、力学性质和化学性质。

土的物理性质、力学性质对建筑物的沉降产生直接影响,是我们研究的主要对象。

土的化学性质一般通过间接的作用对沉降产生影响,在沉降的一般分析中均难以定量分析,只有在地基处理中给予适当考虑。

2.4.1 基本物理指标

含水率 ω 和相对密度(也称为比重) G_s ,是通过试验直接测定的物理指标。具体的测定方法见《土工试验方法标准》(GB50123-1999),其物理意义和计算方法见图2.3和表2.3。

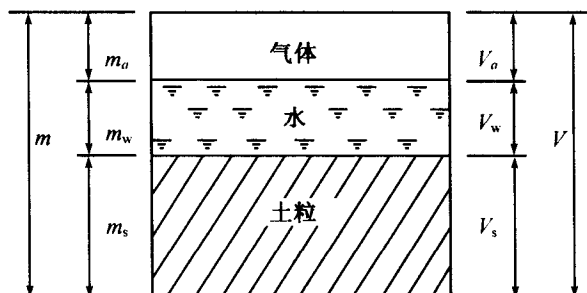


图 2.3 土的三相关系示意图

表 2.3 基本物理指标

名称	单位	物理意义	公式	测试方法	土样要求
含水率	%	土中水的质量 m_w 与土颗粒质量 m_s 的比值	$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100$	烘干法 酒精燃烧法 比重瓶法	天然湿度
相对密度	—	土粒质量 m_s 与同体积的 4℃ 时水的质量的比值	$G_s = \frac{m_s}{V_s \cdot \rho_w}$	比重瓶法 浮称法 虹吸筒法	扰动土
密度	g/cm ³	土的总质量 m 与其体积 V 的比值	$\rho = \frac{m}{V}$	环刀法 蜡封法 注砂法	I ~ II 土样

在相同的荷载作用下,含水量较大的土,其沉降一般也较大;而密度(或者重度)愈大的土,其沉降一般较小。

对于同一类型土,相对密度通常变化幅度并不明显。对于不同类型的土,其相对密度的差距也不太大。当无实验情况下,相对密度可参照表 2.4 取值。

表 2.4 土的相对密度参考值

土名称	砂土	粉土	粘性土		有机土	
			粉质粘土	粘土	有机质土	泥炭质土
相对密度	2.65~2.69	2.70~2.71	2.72~2.73	2.74~2.76	2.4~2.5	1.5~1.8

2.4.2 计算物理指标

土的物理性质指标还包括:天然重度(简称重度) γ ,有效重度(也称浮重度) γ' ,有效密度(也称浮密度) ρ' ,干密度 ρ_d ,干重度 γ_d ,饱和重度 γ_{sat} ,饱和密度 ρ_{sat} ,孔隙比 e ,孔隙率 n ,饱和度 S_r 等。这些指标可以根据基本物理指标换算求得。