



交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

高等职业教育规划教材

土力学与地基基础

主编 周东久 主审 陈晏松



人民交通出版社

China Communications Press

9

交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

高等职业教育规划教材

土力学与地基基础

Tulixue Yu Dijī Jichū

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是交通职业教育教学指导委员会推荐教材,由路桥工程学科委员会组织编写。全书共10章,系统地介绍了土力学的基本理论和公路桥涵常用的基础类型与地基处理方法。内容包括:土中应力;基础沉降量的计算;土的强度与地基承载力;土压力;地基与基础概述;天然地基上刚性浅基础;人工地基;桩基础;沉井基础;土的力学性质试验指导。

本书是高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书,也可供相关专业教学使用,或作为有关专业的继续教育及职业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/周东久主编. —北京:人民交通出版社,2005.7(重印2007.8)

ISBN 978-7-114-05673-4

I. 土… II. 周… III. ①土力学-高等学校:技术学校-教材②地基-基础(工程)-高等学校:技术学校-教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 084431 号

书 名:土力学与地基基础

著 者:周东久

责任编辑:邵 江

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.5

字 数:337千

版 次:2005年8月 第1版

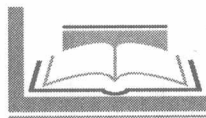
印 次:2007年8月 第4次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-05673-4

印 数:11001~14000册

定 价:25.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



交通职业教育教学指导委员会
路桥工程学科委员会

主 任：柴金义

副主任：金仲秋 李加林 夏连学

委 员：（按姓氏笔画为序）

于敦荣 王 亮 李全文 张贵元

张洪滨 陆春其 周志坚 俞高明

郭发忠 施 斌 梁金江 程兴新

谢远光 彭富强

秘 书：伍必庆



出版说明

CHUBAN SHUOMING

为深入贯彻落实《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》及全国普通高等学校教学工作会议的有关精神,深化教育教学改革,提高道路桥梁工程技术专业的教学质量,按照教育部“以教育思想、观念改革为先导,以教学改革为核心,以教学基本建设为重点,注重提高质量,努力办出特色”的基本思路,交通职业教育教学指导委员会路桥工程学科委员会在总结教育部路桥专业教学改革试点的 6 所交通高职高专院校办学实践经验的基础上,经过反复调研和讨论,制定了三年制“高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学指导方案”,随后又组织全国 20 多所交通高职高专院校道路桥梁工程技术专业的教师编写了 18 门课程的规划教材。

本套教材依据教育部对高职高专人才培养目标、培养规格、培养模式及与之相适应的知识、技能、能力和素质结构的要求进行编写。为使教材中所阐述的内容反映最新的技术标准和规范,路桥工程学科委员会还组织有关人员参加了新技术和新规范学习班。

按照 2004 年 10 月路桥工程学科委员会所确定的编写原则,本套教材力求体现如下特点:

1. 结构合理性。按照道路桥梁工程技术专业以培养技能型人才为主线的要求,对传统的专业技术基础课和专业课程进行了整合,教材的体系设计合理,循序渐进,符合学生心理特征和认知及技能养成规律。所编写的教材更适合高职教育的特点,强调现代教学技术应用的需要和教学课件的应用,以节省教学成本和提高教学效果。每章列有教学要求、本章小结和复习思考题,便于学生学习本章核心内容。

2. 知识实用性。体现以职业能力为本位,以应用为核心,以实用、实际、实效为原则,紧密联系生活、生产实际,及时反映现阶段公路交通行业发展和公路交通科技进步对道路桥梁工程技术专业人才的需要,采用最新的技术标准、规范和规程。加强教学针对性,与相应的职业资格标准相互衔接。在内容的取舍方面,在以适应当前工作岗位群实际需要为主基调的同时,为将来的发展趋势留有接口。

3. 职业教育性。渗透职业道德和职业意识教育,体现就业导向,有助于学生树立正确的择业观。教材中所选编的习题、例题,均来自工程实际,不仅代表性强,而且对解决实际问题具有较强的针对性。在教材编写中注重培养学生爱岗敬业、团队精神和创业精神,树立安全意识和环保意识。

4. 使用灵活性。本套教材体现了教学内容弹性化,教学要求层次化,教材结构模块化,

有利于按需施教,因材施教。

《土力学与地基基础》是高职高专院校道路桥梁工程技术专业规划教材之一,内容包括:土中应力;基础沉降量的计算;土的强度与地基承载力;土压力;地基与基础概述;天然地基上刚性浅基础;人工地基;桩基础;沉井基础;土的力学性质试验指导。

参加本书编写工作的有:河南交通职业技术学院周东久(编写绪论,第一、四、五、六、七章),广东交通职业技术学院张功新(编写第二、十章),山西交通职业技术学院张小文(编写第三、九章),江西交通职业技术学院李慧英(编写第八章)。全书由周东久担任主编,湖北交通职业技术学院陈晏松担任主审。

本套教材是路桥工程学科委员会委员及长期从事道路桥梁工程技术专业教学与工程实践的教师们工作经验的总结。但是,随着各项改革的逐步深化,书中难免有错误之处,敬请广大读者批评指正。

本套教材在编写过程中,得到了交通职业教育教学指导委员会的关心与指导,全国各交通职业技术学院的领导也给予了大力支持,在此,向他们表示诚挚的谢意。

交通职业教育教学指导委员会
路桥工程学科委员会

2005年5月

绪论	1
第一章 土中应力计算	4
第一节 概述	4
第二节 土的自重应力计算	5
第三节 基础底面的压力分布与计算	7
第四节 附加应力计算	9
复习思考题	25
第二章 基础沉降量的计算	27
第一节 概述	27
第二节 固结试验	28
第三节 荷载试验	30
第四节 分层总和法计算沉降	33
第五节 饱和土体渗透固结的概念	37
第六节 由沉降观测值推算最终沉降(简介)	38
复习思考题	39
第三章 土的强度与地基承载力	41
第一节 概述	41
第二节 土的强度与直剪试验	41
第三节 极限平衡条件与三轴剪切试验	44
第四节 地基承载力	48
复习思考题	61
第四章 土压力	63
第一节 概述	63
第二节 静止土压力计算	64
第三节 朗金土压力理论	66
第四节 库仑土压力理论	72
第五节 填土面上有荷载时库仑公式的应用	76
第六节 库仑理论在复杂情况下的近似应用	81
复习思考题	83
第五章 地基与基础概述	85

第一节	基础设计原则	85
第二节	地基与桥梁基础的分类	87
第三节	桥涵设计采用的作用	88
第四节	基础埋置深度的选择	89
	复习思考题	92
第六章	天然地基上刚性浅基础	93
第一节	概述	93
第二节	基础尺寸的拟定	94
第三节	地基与基础的验算	95
第四节	天然地基上浅基础的施工	105
	复习思考题	116
第七章	人工地基	118
第一节	概述	118
第二节	砂砾垫层	119
第三节	砂桩与石灰桩	122
第四节	加固地基的其它方法	123
第五节	湿陷性黄土地基的处理	125
	复习思考题	127
第八章	桩基础	128
第一节	桩基础的组成、作用及适用条件	128
第二节	桩和桩基础的类型与构造	129
第三节	单桩容许承载力的确定	136
第四节	桩的内力和变位计算	147
第五节	桩基础整体承载力的验算	160
第六节	桩基础设计计算步骤	162
第七节	桩基础的施工	167
	复习思考题	186
第九章	沉井基础	187
第一节	概述	187
第二节	沉井的类型与构造	188
第三节	沉井的施工	190
	复习思考题	198
第十章	试验部分	199
第一节	固结试验	199
第二节	直接剪切试验	204
	参考文献	207

绪 论

一、地基与基础的概念

任何结构物都建造在地球表面上。支承结构物并受结构物荷载影响相对较大的地层称为地基,建筑物下部与地层相连的部分称为基础。如图 0-1 所示,为一座桥梁的立面布置示意图,它反映了桥梁下部结构及地基与基础间的相互关系。

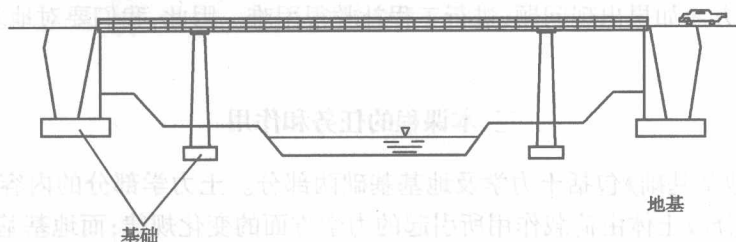


图 0-1 地基与基础

地基与基础受到各种荷载作用后,将产生相应的应力和变形,为保证结构物的正常使用和安全,地基与基础必须具有足够的强度和稳定性,变形也应该在容许的范围内。根据地基土的具体情况、上部结构的要求和荷载特点,选用合适的基础类型,并合理地进行基础设计与施工,是本教材要解决的主要问题。

二、地基基础工程成败实例

1. 意大利比萨斜塔

该塔 1173 年动工修建,当塔筑至 24m 高时发生倾斜。限于当时技术水平,因不知其原因而停工。一百年后续建该塔至塔顶,高约 55m。目前塔北侧沉降 1m 余,南侧下沉近 3m,沉降差达 1.8m(倾斜 5.8°)。近期每年下沉约 1mm。

2. 南京分析仪器厂职工住宅

该住宅为五层砖混结构,建筑面积 1721m^2 。根据正式勘察报告,设计为无埋式板基。1977 年 12 月开工,当主体工程施工至第五层时,于 1978 年 5 月 13 日发现板基断裂而停工。断裂位于住宅东起第四开间,钢筋混凝土板基厚 300mm,南北向整块断裂。

3. 加拿大特朗斯康谷仓

该谷仓长 59.4m,宽 23.5m,高 31.0m,容积 36500m^3 。基础为钢筋混凝土筏基,厚 0.6m,

埋深 3.6m。

谷仓于 1913 年秋完工,当年 10 月装谷子约 32000m^3 时,发现谷仓下沉,24h 内,谷仓西端下沉 7.3m,东端上抬 1.5m,整个谷仓倾斜 $26^\circ 53'$ 。

4. 香港宝城大厦

该大厦建在香港山坡上。1972 年雨季出现连续大暴雨,引起山坡残积土软化而滑动。7 月 18 日早晨 7 点钟,大滑坡下滑,冲毁高层建筑宝城大厦。居住该大厦的银行界人士 120 人当场死亡。这一事故,引起西方震惊,从此对岩土工程倍加重视。

5. 广州白云宾馆

该宾馆为高层建筑,地面以上 33 层,高 140.05m,总重近 10 万吨。地基覆盖层厚薄相差悬殊,最浅 10.0m,最深 27.75m。为适应抗震、抗台风的要求,采用桩基与墩基 287 根。所用钢筋混凝土灌注桩直径 1m,单桩承载力 4500kN。混凝土墩直径 2m 多。宾馆建成后使用良好,沉降小于 4mm。

从以上所列实例,我们可以得到几点启示:一是安全可靠的地基基础是建筑物经久耐用的前提;二是地基与基础如果出现问题,整个结构物都将受到很大影响,甚至会导致灾难性后果;三是地基与基础方面如果出现问题,进行工程补救很困难。因此,我们要对地基与基础给予足够的重视。

三、本课程的任务和作用

《土力学与地基基础》包括土力学及地基基础两部分。土力学部分的内容,概括地说就是研究各种常见的分散土体由荷载作用所引起的力学方面的变化规律;而地基基础部分的内容,则主要是研究常见的桥梁涵洞基础和地基的类型、设计计算和施工方法。由于一般建筑物材料强度高于地基土,所以基础的设计,既要考虑上部结构的情况,更要考虑地基土的特性。对本专业来说,土力学属技术基础课,地基基础属专业课,但由于前者是后者的理论基础,两部分关系十分密切,所以合并为一门课程。

本课程的内容和性质决定了它的特点是:既有理论,又有实验;既有设计,又有施工。例如土力学部分,除了必须具有数学、理论力学、材料力学、结构力学及地质与土质学等课程的基础知识外,还要涉及到弹性理论方面的知识。而弹性理论是我们没有学过的,因此在有关内容中,一般只直接应用其结论,指出其物理意义,而不作理论上的推导和证明。所以在学习这部分内容时,应着重于理解物理概念,学会计算方法,不宜把注意力放到数学演算上去。在学习过程中,还要特别注意土的特性,重视土力学试验。在地基基础部分,则要注意掌握设计和计算原理,学会一般的设计方法,熟悉地基基础主要的施工内容。此外,本课程还与施工机电、桥梁工程等课程有一定关系,在学习时要注意相互间的联系。

由于土力学要直接运用土质学的知识,所以在学习本课程前,要很好复习和熟悉一下有关土的各种物理性质指标的含义和计算方法,以利于本课程的学习。

四、本学科发展简介

早在几千年以前,人类就懂得利用土进行工程建设。我国西安市半坡村新石器时代遗址,发现土台和石础,就是古代的地基基础。公元前 2 世纪修建的万里长城,后来修建的南北大运

河、黄河大堤以及宏伟的宫殿、寺院、宝塔等都有坚固的地基基础,经历地震强风考验,留存至今。隋朝修建的赵州安济石拱桥,由一孔石拱独跨浚河,净跨 37.02m。主拱肩部设置四个小拱,节省材料,减轻桥身自重,造型美观。拱桥采用纵向并列砌筑法,28 道拱圈自成一体,桥宽达 8.4m,桥上可以行车。桥台座落在密实的天然砂砾地基上,基础承载力达 500 ~ 600kPa,1300 多年来,沉降与位移甚微,至今安然无恙。公元 989 年建造开封开宝寺木塔时,预见塔基土质不均会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜,待沉降稳定后,塔身正好垂直。四川采用泥浆护壁钻探法打盐井,西北地区在黄土中建窑洞,以及在建筑中用料石基垫、灰土地基等等,证明我国人民在长期实践中,积累了有关土力学地基基础方面极其宝贵的知识与经验。

18 世纪欧洲产业革命后,城市建设、水利、道路的兴建推动了土力学的发展。1773 年法国库伦根据试验,创立了著名的土的抗剪强度公式和土压力理论;1857 年英国朗金通过不同假定,提出另一种土压力理论;1885 年法国布辛尼斯克求得半无限弹性体在垂直集中力作用下,应力和变形的理论解答;1922 年瑞典费伦纽斯为解决铁路坍方,研究出土坡稳定分析法。这些理论与方法,至今仍在广泛应用。1925 年美国科学家太沙基发表土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。1936 年以来,已召开了十一届国际土力学和基础工程会议,提出了大量论文、研究报告和技术资料。很多国家定期出版土工杂志。世界各地也都召开了类似的专业会议,总结和交流本学科的研究成果。

新中国诞生 50 多年来,为适应我国社会主义建设的需要,土力学地基基础学科有了迅速的发展。全国各地有关生产、科研单位和高等院校总结实践经验,开展现场测试、室内试验和理论研究,在解决工程实践问题的同时也为土力学的理论研究做出了突出的贡献。如全国土力学及基础工程学会前理事长、清华大学黄文熙教授,早在 1957 年就提出了非均质地基考虑土侧向变形影响的沉降计算方法,并于 20 世纪 60 年代初研制成功第一台振动三轴仪,发表了砂土液化理论等。

近年来,世界各国高土坝(坝高大于 200m)、高层建筑与核电站等巨型工程的兴建和多次强烈地震的发生,促使土力学进一步发展。有关单位积极研究土的本构关系、土的弹塑性与粘弹性理论和土的动力特性。同时,各单位研制成功各种各样的勘察、试验与地基处理的设备,如自动记录的静力触探仪、现场孔隙水压力仪、径向膨胀仪、测斜仪、自进式旁压仪,应用放射性同位素测土的物理性指标仪、薄壁原状取土器、高压固结仪、自动固结仪、大型三轴仪、振动三轴仪、真三轴仪、流变仪、震冲器、三重管旋喷器、深层搅拌机、塑料排水板插板机、扩底桩机械扩底机等,为土力学研究和地基加固提供了良好的条件。电子计算机的应用和实验测试技术自动化程度的提高,标志着本学科进入了一个新时期。为实现我国四化建设大业,土力学地基基础学科必将得到新的更大的发展。

第一章

土中应力计算

教学要求

1. 定义并用示例说明自重应力和附加应力；
2. 描述自重应力分布规律，并计算自重应力；
3. 描述基底应力分布及其影响因素，计算刚性基础和柔性基础底面压力分布，计算刚性基础底面压力；
4. 计算竖向附加应力，包括集中力和分布荷载作用下土中应力计算，矩形基础中点和角点下应力计算及角点法计算任意点应力；
5. 描述附加应力分布规律和应力分布线，进行一定埋置深度的基础下的地基应力计算。

● 第一节 概 述 ●

一、土中应力计算的目及方法

土体在自身重力、建筑物和车辆荷载以及其它因素(如土中水的渗流等)作用下,土中产生应力。土中应力的增加将引起土的变形,使建筑物发生下沉、倾斜以及水平位移。土的变形过大时,往往会影响到建筑物的正常使用,甚至导致土的强度破坏,使土体发生滑动失去稳定。因此,在研究土的变形、强度及稳定性问题时,都必须首先掌握土中应力状态。所以研究土中应力分布是土力学的重要内容之一。

目前计算土中应力的方法,主要是采用弹性理论公式,也就是把地基土视为均匀的、各向同性的半无限弹性体。这虽然同土体的实际情况有差别,但其计算结果还是能满足实际工程要求的。

二、土中应力分类

土中应力按其产生原因和作用效果的不同,分为自重应力和附加应力两部分。自重应力是由土体自身重力引起的应力:自土体形成之时,自重应力就一直存在于土中,所以也可称为长驻应力。对长期形成的天然土层来说,土在自重应力作用下其沉降早已稳定,不会引起新的变形或破坏;但当土层的自然状态遭到破坏时,在自重应力作用下土体也有可能失去原来的平衡状态,产生变形甚至破坏。新填土中,自重应力也会促使土体固结稳定。

附加应力是建筑物及其外荷载引起的应力增量。显然,附加应力将打破地基土中原有的平衡与稳定,使地基土产生新的变形,附加应力过大,地基有可能因强度不足而丧失稳定性,使地基产生破坏。土中任意点的应力等于该点的自重应力与附加应力之和(渗流应力等数值很小,一般不予考虑)。

地基应力中影响最大的是竖向应力。下面主要介绍竖向应力的计算。

• 第二节 土的自重应力计算 •

一、均匀土体

假设土体是均匀的半无限体,土体在自重力的作用下任一竖直切面都是对称面,对称面上不存在剪应力。因此,在深度 z 处的自重应力 σ_{cz} 等于单位面积上土柱体的重力 W ,如图1-1所示。

当地基是均匀土时,在深度 z 处的自重应力为:

$$\sigma_{cz} = \frac{W}{F} = \frac{\gamma z F}{F} = \gamma z \quad (1-1)$$

式中: γ ——土的容重(即重度), kN/m^3 ;

F ——土柱体的截面积。

从公式(1-1)知道,自重应力在地面处为零,随深度 z 增加呈线性增加,其分布图形为三角形,如图1-1所示。

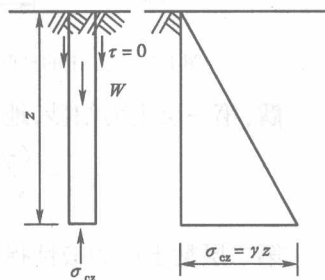


图1-1 均匀土的自重应力分布

二、成层土体

当地基是成层土时,各土层的厚度为 h_i 、容重为 γ_i ,在深度 z 处土的自重应力仍然等于单位面积上土柱体的自重应力,如图1-2所示,其计算公式为:

$$\sigma_{cz} = \frac{(W_1 + W_2)}{F} = \frac{(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2) F}{F} = \sum_{i=1}^2 \gamma_i h_i$$

可推广为:

$$\sigma_{cz} = \frac{(W_1 + W_2 + \dots + W_n)}{F} = \frac{(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n) F}{F} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (1-2)$$

从公式(1-2)知,成层土的自重应力分布是折线形的,如图1-2所示。

三、土层中有地下水

计算地下水位以下土的自重应力时,应根据土的性质确定是否需要考虑水的浮力作用。通常认为水下的砂性土是应该考虑浮力作用的,粘性土则视其所处状态而定。一般认为,若水下的粘性土其液性指数 $I_L \geq 1$,则土处于流动状态,土颗粒之间存在着大量自由水,此时可以认为土体受到水的浮力作用;若 $I_L \leq 0$,则土体处于固体状态,土中自由水受到土颗粒间结合水膜的阻碍不能传递静水压力,故认为土体不受水的浮力作用;若 $0 < I_L < 1$,土处于塑性状态时,土颗粒是否受到水的浮力作用就较难确定,在实践中均按不利状态来考虑。

若地下水位以下的土受到水的浮力作用,则水下部分土的容重应按浮容重 γ' 计算,其它情况下按天然容重计算,计算方法如同成层土的情况。

【例 1-1】某土层及其物理性质指标如图 1-3 所示,试计算土中自重应力。

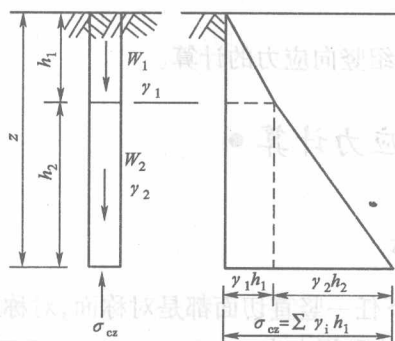


图 1-2 成层土的自重应力分布

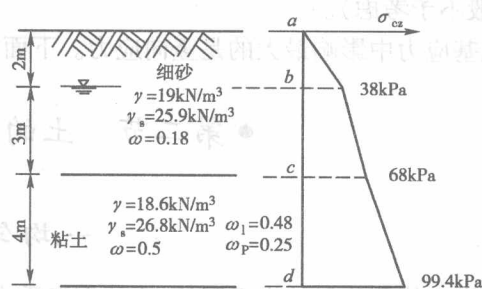


图 1-3 例题 1-1 图

解:第一层土为细砂,地下水位以下的细砂是受到水浮力作用的,其浮容重 γ' 为:

$$\gamma' = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)\gamma}{\gamma_s(1+w)} = \frac{(25.9 - 9.81) \times 19}{25.9 \times (1 + 0.18)} = 10 \text{ kN/m}^3$$

第二层粘土层的液性指数 $I_L = \frac{w - w_p}{w_l - w_p} = \frac{50 - 25}{48 - 25} = 1.09 > 1$,故认为粘土层受到水的浮力作用,其浮容重为:

$$\gamma' = \frac{(26.8 - 9.81) \times 18.6}{26.8 \times (1 + 0.50)} = 7.86 \text{ kN/m}^3$$

a 点: $z=0, \sigma_{cz} = \gamma z = 0$,

b 点: $z=2\text{m}, \sigma_{cz} = 19 \times 2 = 38\text{kPa}$,

c 点: $z=5\text{m}, \sigma_{cz} = \sum \gamma_i h_i = 19 \times 2 + 10 \times 3 = 68\text{kPa}$,

d 点: $z=9\text{m}, \sigma_{cz} = \sum \gamma_i h_i = 19 \times 2 + 10 \times 3 + 7.86 \times 4 = 99.4\text{kPa}$,

土层中的自重应力 σ_{cz} 分布图如图 1-3 所示。

【例 1-2】计算图 1-4 所示水下地基土中的自重应力分布。

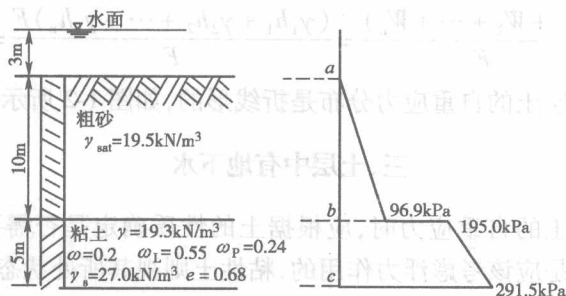


图 1-4 例题 1-2 图

解:水下的粗砂层受到水的浮力作用,其浮容重为:

$$\gamma' = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) = 19.5 - 9.81 = 9.69 \text{ kN/m}^3$$

粘土层因为 $w < w_p, I_L < 0$, 故认为土层不受水的浮力作用, 土层面上还受到上面砂土层中的静水压力作用(砂土层中的水是砂的三相组成之一)。土中各点的自重应力计算如下:

粗砂层中 a 点 $z=0, \sigma_{cz}=0$

b 点 $z=10\text{m}, \sigma_{cz} = \gamma'z = 9.69 \times 10 = 96.9\text{kPa}$ 。

粘土层中 b' 点 $z=10\text{m}, \sigma_{cz} = \gamma'z + \gamma_w h_w = 96.9 + 9.81 \times 10 = 195.0\text{kPa}$ 。

c 点 $z=15\text{m}, \sigma_{cz} = 195.0 + 19.3 \times 5 = 291.5\text{kPa}$ 。

土中自重应力 σ_{cz} 分布图如图 1-4 所示。

粘土层还承受到地面水产生的压力, 其系数值为 $p_w = \gamma_w h_w = 10 \times 3 = 30\text{kPa}$

• 第三节 基础底面的压力分布与计算 •

前面已经指出, 土中的附加应力是由建筑物及其外荷载作用所引起的应力增量, 而建筑物的荷载是通过基础传到土中的, 因此基础底面的压力分布形式将对土中应力产生影响。本章在讨论附加应力计算之前, 首先需要研究基础底面的压力分布问题。

基础底面压力分布问题是涉及到地基土两种不同物体间的接触压力问题, 在弹性理论中称为接触压力课题。这是一个比较复杂的问题, 影响它的因素很多, 如基础的刚度、形状、尺寸、埋置深度, 以及土的性质、荷载大小等。在理论分析中要综合顾及这么多的因素是困难的, 目前在弹性理论中主要是研究不同刚度的基础与弹性半空间体表面间的接触压力分布问题。关于基底压力分布的理论推导过程, 在本课程中将不作介绍, 这方面的内容可参阅有关书籍。本节仅讨论基底分布的基本概念及简化计算方法。

一、基础底面压力分布的概念

若一个基础作用有均布荷载, 假设基础是由许多小块组成, 如图 1-5a) 所示, 各小块之间光滑而无摩擦力, 则这种基础相当于绝对柔性基础(即基础的抗弯刚度 $EI \rightarrow 0$), 基础上荷载通过小块直接传递在地基土上, 基础底面的压力分布图形将与基础上作用的荷载分布图形相同。这时, 基础底面的沉降则各处不同, 中央大而边缘小。因此, 柔性基础的底面压力分布与作用的荷载分布形状相同。如由土筑成的路堤, 可以近似地认为路堤本身不传递剪力, 那么它就相当于一种柔性基础, 路堤自重引起的基底压力分布就是与路堤断面形状相同的梯形分布, 如图 1-5b) 所示。

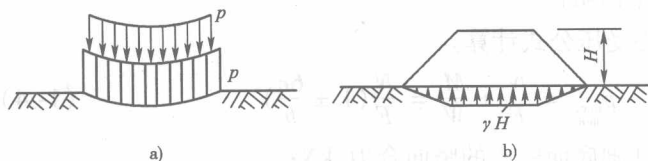


图 1-5 柔性基础下的压力分析

a) 理想柔性基础; b) 路堤下的压力分布

桥梁墩台基础经常采用刚性实体结构(图 1-6), 它的刚度很大(即 $EI \rightarrow \infty$)。刚性基础不会发生挠曲变形, 在中心荷载作用下, 基底各点的沉降是相同的, 这时基底压力分布是马鞍形,

中央部位压力较小(理论上边缘应力为无穷大),如图 1-6a)所示。当作用的荷载较大时,基础边缘由于应力很大,将会使土产生塑性变形,边缘应力不再增加,而中央部位应力继续增大,使基底压力逐渐而呈抛物线形分布,如图 1-6b)所示。若作用荷载继续增大,则基底压力会继续发展呈钟形分布,如图 1-6c)所示。所以刚性基础底面的压力分布形状同荷载大小有关,另外根据试验研究知道,它还同基础埋置深度及土的性质有关。

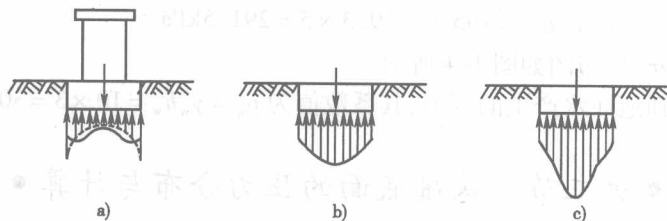


图 1-6 刚性基础下压力分析

a) 马鞍形分布; b) 抛物线形分布; c) 钟形分布

二、基底压力的简化计算方法

从上述讨论可见,基底压力的分布是比较复杂的,但根据弹性理论中的圣维南原理以及从土中应力实际量测结果得知:当作用在基础上的荷载总值一定时,基底压力分布的形状对土中应力分布的影响,只在一定深度范围内有影响,一般距基底的深度超过基础宽度的 1.5~2 倍时,它的影响已很不明显。另外,为保证基础与地基的安全,控制基底压力不能太大,其分布形状多为马鞍形,再加上基础一般都有一定的埋置深度,埋深越大,基底压力越均匀,因此,在实用上对基底压力的分布可近似地认为是按直线规律变化,采用简化方法计算,也即按材料力学公式计算。实用中平面形状为矩形的基础最为常见,下面以矩形基础为例说明基底压力的简化计算方法。

1. 中心荷载时(图 1-7)

基底压力 p 按中心受压公式计算。

$$p = \frac{N}{F} \quad (1-3)$$

式中: N ——作用在基础底面中心的竖直荷载;

F ——基础底面积。

2. 偏心荷载时(图 1-8)

基底压力按偏心受压公式计算。

$$p_{\max/\min} = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{F} (1 \pm \frac{6e}{b}) \quad (1-4)$$

式中: N ——作用在基础底面中心的竖向合力, kN;

M ——作用在基础底面中心的弯矩之和, $M = Ne$, kN·m;

e ——竖向合力的偏心距, m;

W ——基础底面的抵抗矩, 对矩形基础 $W = \frac{ab^2}{6}$;

a ——基础底面长度, m;

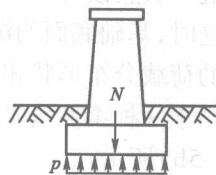


图 1-7 基底压力分布的简化计算

b ——基础底面宽度, m。

从式(1-4)中可知,按荷载偏心距 e 的大小,基底压力的分布可能出现下述三种情况(图 1-8 所示):

(1) 当 $e < \frac{b}{6}$ 时,由式(1-4)知 $p_{\min} > 0, \bar{p} < p_{\max} < 2\bar{p}$,基底压力呈梯形分布,如图 1-8a) 所示。式中 \bar{p} 为平均压应力。

(2) 当 $e = \frac{b}{6}$ 时, $p_{\min} = 0, p_{\max} = 2\bar{p}$,基底压力呈三角形分布,如图 1-8b) 所示。

(3) 当 $e > \frac{b}{6}$ 时, $p_{\min} < 0$,也即产生拉应力(图 1-8c),但基底与土之间是不可能出现拉应力的,说明在这种情况下,不能再用公式(1-4)计算。这时的基底最大压应力 p'_{\max} 可以根据平衡条件求得:

$$p'_{\max} = \frac{2N}{3\left(\frac{b}{2} - e\right)a} \quad (1-5)$$

其压力分布如图 1-8d) 所示,压应力分布宽度 $b' = 3\left(\frac{b}{2} - e\right)$ 。

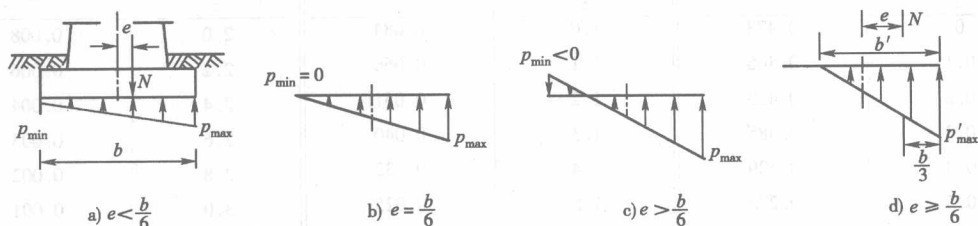


图 1-8 偏心荷载时基底压力分布的几种情况

● 第四节 附加应力计算 ●

土中附加应力的计算,目前直接运用弹性理论的研究对象是均匀的、各向同性的弹性体。弹性体的主要特征是受力后应力和应变呈直线变化。地基土虽然并不是均匀的弹性体,但当地基上受力不大时,其作用与变形之间近似地呈直线关系。所以在加载过程中,基本上符合弹性体关于应力与应变间的线性关系。但当荷载消失时,土体变形却不能完全恢复。因此,对土体可有条件地假定它为“直线变形体”,近似地运用弹性理论公式来计算土中应力。实践证明,当土中应力不太大时,直接用弹性理论成果,具有足够的准确度。

一、集中荷载作用下的应力—布辛尼斯克公式

当一个集中力垂直作用于均匀的、各向同性的半无限弹性体的表面时,弹性体内任意点 M 的应力计算公式,在弹性理论中已经解得,称布辛尼斯克公式。其中竖向应力(σ_z)为:

$$\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi R^5}, \text{kPa} \quad (1-6a)$$