

 应 用 型 本 科 规 划 教 材

Foundation Engineering

基础工程

(第二版)

主 编 王娟娟
副主编 杨迎晓 张世良 方明



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 简 介

本书作为土木类专业应用型本科系列教材之一,编写过程中紧密结合现行设计规范、行业标准,内容简明、条理清楚、重点突出,各章节均有工程实例分析、思考题与习题,便于自学。全书共分6章:绪论;浅基础;桩基础;沉井基础与地下连续墙;挡土墙;基坑支护设计。

本书可作为高等院校土木工程及相关专业教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 王娟娣主编. —杭州:浙江大学出版社, 2013.5

ISBN 978-7-308-11391-5

I. ①基… II. ①王… III. ①地基(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第080781号

基础工程(第二版)

王娟娣 主编

丛书策划	王 波 樊晓燕
责任编辑	王 波
封面设计	俞亚彤
出版发行	浙江大学出版社 (杭州市天目山路148号 邮政编码310007) (网址: http://www.zjupress.com)
排 版	杭州中大图文设计有限公司
印 刷	富阳市育才印刷有限公司
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	14
字 数	347千
版 次	2013年5月第2版 2013年5月第5次印刷
印 数	6501—9500
书 号	ISBN 978-7-308-11391-5
定 价	27.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

应用型本科院校土木工程专业规划教材

编 委 会

主 任 陈云敏

副主任 王娟娣 许钧陶 魏新江

委 员 (以姓氏笔画为序)

马海龙 王建新 李 强

李立新 李剑敏 李国柱

林贤根 杨云芳 杨迎晓

陈江瑛 周赵凤 郭鼎康

廖 娟

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重要的意义。

应用型本科院校以培养应用型人才为主要目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对土木工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。土木工程专业是以培养注册工程师为目标,国家土木工程专业教育评估委员会对土木工程专业教育有具体的指导意见。针对这些情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校土木工程类专业的教师共同开展了“应用型本科土木工程专业教材建设”项目的研究,探讨如何编写既能满足注册工程师知识结构要求、又能真正做到应用型本科院校“因材施教”、适

合应用型本科层次土木工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校土木工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以注册工程师知识结构为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到相关院校的認可,对于应用型本科院校土木工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任
浙江大学建筑工程学院常务副院长
教育部长江学者特聘教授
陈云敏
2007年1月

前 言

基础工程是土力学的后续课程,也是土木工程、交通市政工程、水利工程等专业重要的专业课。全书包括绪论、浅基础、桩基础、沉井基础与地下连续墙、挡土墙、基坑支护设计等6个章节,教材的编写力尽做到设计原理简明扼要,例题尽量反映工程实例,使学生学会理论联系实际,在工程的氛围中思考问题。

第1章、第4章由浙江大学宁波理工学院王娟娣编写;第2章中2.1至2.7由浙江树人大学杨迎晓编写;第2章中2.8至2.9由浙江树人大学胡敏萍编写;第3章中3.1至3.7由浙江大学宁波理工学院方鹏飞编写;第3章中3.8和第6章由浙江大学城市学院张世民编写;第5章由浙江大学宁波理工学院姜珂编写;全书由王娟娣审校。浙江大学陈仁朋审阅了全书,并提出了许多建设性意见,在此表示感谢。

限于作者水平和经验,书中难免存在错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007年11月

再版说明

本书是在 2008 年第一版的基础上改编而成的。主要根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011)和《建筑桩基技术规范》(JGJ94—2008)、《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)等进行修订。对在使用第一版教学过程中发现的问题作了修改、补充和校正。书中难免有不妥之处,欢迎读者批评、指正。

编者

2013 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 基础工程的现状及发展	3
1.3 本课程的特点与学习要求	6
第 2 章 浅基础	9
2.1 概述	9
2.2 浅基础类型	13
2.3 基础埋置深度的选择	19
2.4 基础底面尺寸的确定	23
2.5 地基变形与稳定验算	29
2.6 刚性基础设计	33
2.7 扩展基础设计	35
2.8 双柱联合基础设计	46
2.9 梁板式基础设计简介	52
第 3 章 桩基础	67
3.1 概述	67
3.2 桩型及成桩工艺	69
3.3 桩的承载力	81
3.4 特殊条件下桩基竖向承载力	100
3.5 桩基沉降计算	104
3.6 独立承台桩基础设计	108
3.7 梁式承台桩基设计	124
3.8 桩基检测及验收	129

第 4 章 沉井基础与地下连续墙	142
4.1 沉井基础	142
4.2 地下连续墙	152
第 5 章 挡土墙	155
5.1 概述	155
5.2 重力式挡土墙	157
5.3 其他类型挡土墙简介	161
5.4 重力式挡土墙设计实例	163
第 6 章 基坑支护设计	168
6.1 概述	168
6.2 基坑支护结构形式与特点	172
6.3 悬臂式支护结构设计	178
6.4 内撑式支护结构设计	194
6.5 基坑支护监测	210
参考文献	214

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

基础工程是研究各类建筑物、桥梁、隧道以及近海工程、地下工程的地基基础设计与施工的一门学科。

基础是指建筑物(构筑物)中与地基相接触的底部结构,基础承担着将上部荷载传递至地基土层的任务,因此基础必须具有足够的强度与刚度。基础按其埋置深度分为浅基础与深基础。一般埋置深度在 5m 以内,直接将荷载扩散分布于浅部地层,经简单施工方法筑成的称为浅基础。而深基础相对埋置深度大,其主要作用是把所承受的荷载相对集中地传递到地基深部。常见的深基础有桩基础、地下连续墙、沉井基础等。

地基是指受上部结构荷载影响的土层,其范围跟基础底面大小、荷载大小、土体性质等因素有关。地基可分为天然地基和人工地基两类。上部结构对地基的要求主要是应满足强度、变形和稳定性。当场地土层为成层地基时,与基础底面直接接触的土层称为持力层,其下土层称为下卧层,持力层和下卧层均承受着通过基础传来的上部荷载与自重。

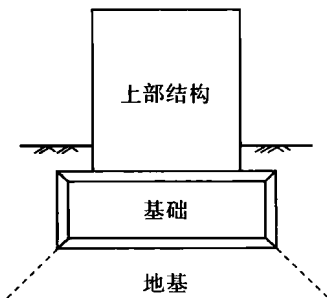


图 1-1 地基基础

上部结构、基础和地基三部分结构如图 1-1 所示。各部位功能不同,设计计算方法也不同,但它们又是建筑物的有机组成部分,彼此共同工作、变形协调。因此,科学合理的方法是将三部分统一起来进行设计计算。然而,依目前的理论水平,还很难做到这一点,现行的《混凝土结构设计规范》、《地基基础设计规范》等都是将上部结构、基础、地基三者脱离开来计算的。尽管如此,我们在处理地基基础问题时,一定要有地基—基础—上部结构相互作用的整体概念,尽可能全面地加以考虑。

一般情况下,天然地基上的浅基础方案最为经济,宜优先选用。天然地基和人工地基上的浅基础的设计原则和方法基本相同,只是当采用人工地基上的浅基础方案时,尚需对选择的地基处理方法进行设计,并处理好人工地基与浅基础的相互影响。

如果建筑场地浅层的土质不能满足建筑物对地基承载力和变形的要求、而又不宜采取地基处理措施时,就需要考虑选择深部坚实土层或岩层作为持力层的深基础方案。桩基础是应用最为广泛的一类深基础。此外,沉井基础在桥梁工程、水上结构物等工程中应用较广。地下连续墙在围护结构、兼作地下室外墙等承重结构方面也得到应用和发展。

基础的设计不能离开地基条件孤立地进行,故谓地基基础设计。地基基础设计是建筑物结构设计的重要组成部分。基础的型式和布置,要合理地配合上部结构的设计,满足建筑物整体的要求,同时要做到受力合理、施工方便、造价降低。

地基和基础是建筑物(构筑物)的根本,一旦它们出现问题,结构的安全和正常使用必然受到影响。国内外许多工程事故实例,大多都跟地基和基础有关。

图 1-2 所示为著名的意大利比萨斜塔,该工程于 1173 年 9 月动工,至 1178 年建至第 4 层中部,高度约 29m 时,因塔身明显倾斜而停工。94 年后,于 1272 年复工,经 6 年时间,建完第 7 层,高约 48m,再次停工。中断 82 年后又于 1360 年复工,至 1370 年竣工。全塔共 8 层,高度约为 55m。塔身为圆筒形,其地基持力层为粉砂,下面为粉土和黏土层。后人发现塔身向南倾斜,南北两端沉降差达 1.80m,塔顶偏离中心线达 5.27m,倾斜 5.5° 。1990 年 1 月 14 日被封闭整修。

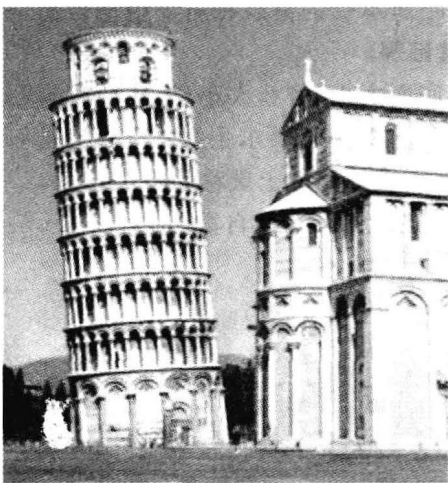


图 1-2 意大利比萨斜塔



图 1-3 地基强度破坏引起建筑物开裂

基础工程属于隐蔽工程,从工程地质勘察到地基基础设计、施工的每一环节,都关系着工程的质量与安全。因地基基础原因造成建筑物和构筑物开裂、倾斜甚至倒塌事故时有报道,图 1-3 所示为因地基强度破坏而引起建筑物开裂事故,图 1-4 所示的地面塌陷、建筑物倾斜,皆因地基失稳所致。

边坡稳定问题是土力学中的一大课题,图 1-5 所示为某路段边坡失稳而导致铁路路基坍塌事故。

因此,地基基础设计必须保证以下几条原则:

- (1) 保证地基承载力满足要求,并具有足够的防止地基破坏的安全储备;



图 1-4 地面塌陷、建筑物倾斜



图 1-5 滑坡地段铁路受毁

- (2) 保证基础沉降不超过地基变形容许值, 不影响结构正常使用;
- (3) 保证挡土墙、边坡、承受水平荷载下的地基基础不致发生地基失稳破坏, 并具有足够的安全储备;
- (4) 受力简洁, 便于施工, 节约能源。

1.2 基础工程的现状及发展

基础工程可以说是一项古老的工程技术。作为一项工艺, 地基基础的历史可以追溯到人类起源。在我国西安半坡村新石器时代遗址的考古发掘中, 发现有土台和石础。古代修筑的万里长城、大运河, 蜿蜒万里, 被誉为亘古奇观, 无不与坚固的地基基础直接有关。

基础工程又是一门年轻的应用学科。在工业与民用建筑、港口工程、水利工程、桥梁隧道工程、公路与铁路等工程中, 都有遇到地基和基础的研究课题。

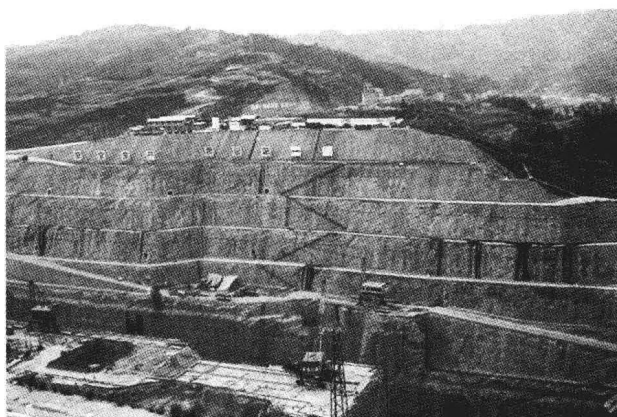


图 1-6 三峡库区建设

三峡大坝建设、杭州湾跨海大桥建设,均在现代土木工程史上写下了辉煌的篇章。图 1-6 所示为三峡库区建设。海上大直径超长钢管桩,直径达 1.6m,桩长达 88m,采用 Q345C 卷板一次卷制成形。在设计、制作、桩身防腐和海上沉桩等方面运用了一系列新材料、新工艺和新设备,为我国的海上基础工程设计与施工技术树立了里程碑。图 1-7 所示为目前世界上最先进的打桩船——天威号正在施工现场作业。

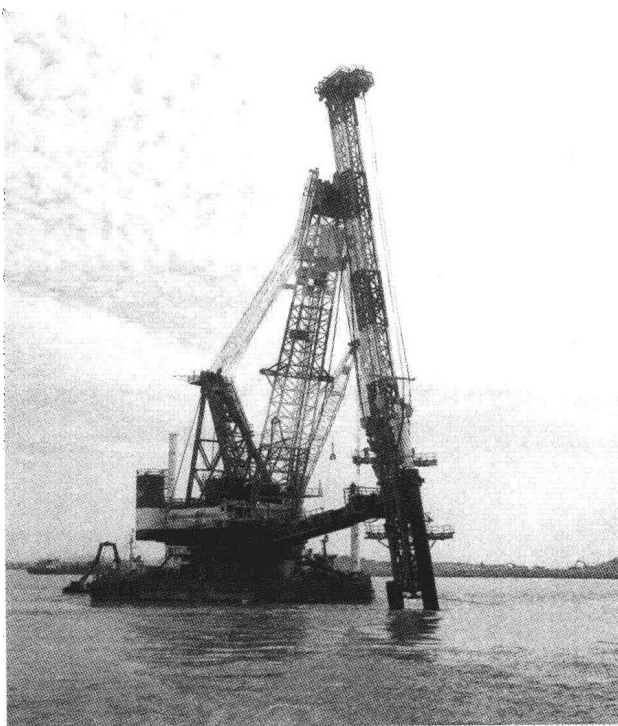


图 1-7 天威号海上打桩船

杭州湾跨海大桥主航道桥墩桩基础采用大直径钻孔灌注桩,直径为 2.8m,桩长达 125m,如图 1-8 图所示。单桩混凝土用量超过 800m^3 ,单桩极限承载力逾 68000kN。采用优

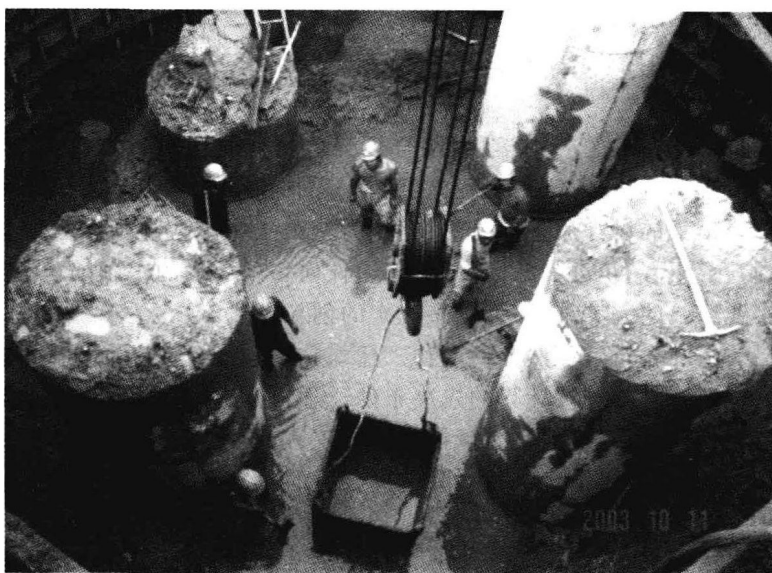


图 1-8 桥墩大直径桩基施工

质海水泥浆护壁和孔底注浆技术,为我国在外海钻孔施工开辟了新途径。

当前,基础工程的关注热点之一是工程设计计算理论研究。随着高层、超高层建筑和一些大跨度结构等工程的建设,对现有的设计理论、方法和施工技术、材料等提出了更高的要求。一些新的设计理论不断得到重视和发展,如新的土体本构模型研究、桩基础按变形控制设计理论、桩基变刚度调平设计理念等。

关注热点之二是地下多层空间开发利用研究。随着经济的发展和人口的增长,城市用地日趋紧张,交通更加拥挤,迫使房屋建筑以及道路交通向高空和地下发展。地下空间被利用于各种用途,如交通、商贸、市政、通信、仓储以及防护工程等。从防灾减灾方面看,地下工程具有较强的抗爆、抗地震灾害能力。从建筑节能方面看,毫无疑问,地下或半地下建筑能够充分利用自然资源,做到冬暖夏凉。表 1-1 列出了城市地下空间应用领域的概况。

关注热点之三是地基基础设计与施工对环境影响问题,环境影响已经作为地基基础方案选择的重要因素。环境岩土工程作为一个研究方向,越来越受到关注。

表 1-1 城市地下空间开发应用领域的概况

应用领域	设施、功能	地下开发深度(m)
交通运输	地铁、地下隧道	10~30
	地下人行道、停车场	3~10
市政设施	给排水管网	2~10
	电力、通信、燃气管路	4~30
	垃圾处理管道、共同沟等	4~30
公共服务	地下商城、文化娱乐设施	6~20
防灾设施	人防工程、蓄水池、指挥所	10~30
储存设施	日用品储存、粮库等	4~20
	能源储存、地下动力厂等	10~30

1.3 本课程的特点与学习要求

基础工程是一门新兴的应用学科,综合性强,内容涉及材料力学、结构力学、工程地质学、土力学、混凝土结构设计、土木工程施工程和工程估价等多学科领域。虽然本教材主要内容仅仅围绕基础工程的设计原理与方法,但作为获得土木工程注册工程师训练的一项基本技能,要学会站在工程的角度考虑问题,要知道任何一项成功的基础工程实施都是各门相关学科和工程实践经验的完美结合,都是一次次的创新实践。

组成地层的土或岩石是自然界的产物。建筑物建造在地层上面,因此建设场地的工程地质条件是决定地基基础设计计算的先决条件。学习本课程首先应掌握能够阅读岩土工程勘探报告,要求学会根据工程地质勘探报告进行工程地质资料分析。图 1-9 和 1-10 所示为某工程地质资料示例,能否结合工程实际选择合适的地基基础方案,是基础工程设计的核心内容。

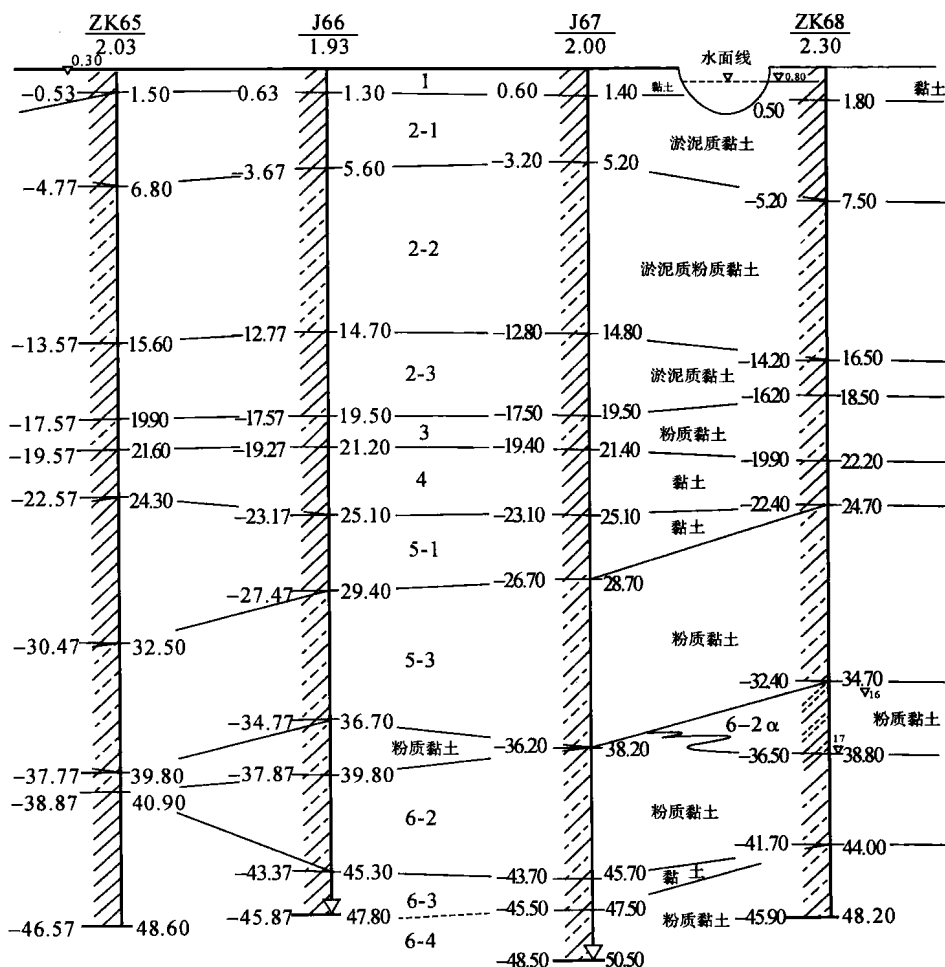


图 1-9 某工程地质剖面图

工程名称: ×××××		工程编号: ×××××																			
钻探孔资料										静探孔资料						建议值					
层次 土层名称	物理指标								力学指标			力学指标			压缩 模量 E_s (MPa)	地基 承载力特 征值 f_{sk} (kPa)	预制桩		钻孔灌注桩		
	天然 含水量 w (%)	天然 重度 γ (kN/m ³)	比重 G_s	孔隙 比 e	液限 w_L (%)	塑限 w_p (%)	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	固快	压缩 系数 a_{1-2} (kPa ⁻¹)	锥尖 阻力 q_c (kPa)	侧壁 摩阻 力 q_s (kPa)	侧壁 摩阻 比 (%)	桩侧 摩阻 力特 征值 (kPa)			桩端 阻力 特 征值 (kPa)	桩侧 摩阻 力特 征值 (kPa)	桩端 阻力 特 征值 (kPa)		
																				c (kPa)	φ (°)
1 黏土	29.7	19.2	2.74	0.858	40.5	21.3	19.2	0.44	37.1	13.6	0.34	730	36.0	4.9	18		16.2				
2-1 淤泥质黏土	50.1	17.1	2.75	1.414	43.0	22.2	20.8	1.33	17.2	0.4	1.31	300	7.5	2.5	7		6.3				
2-2 淤泥质粉质 黏土	37.1	18.4	2.72	1.04	33.0	19.2	13.7	1.26	12.0	12.1	0.67	610	10.9		10		9				
2-3 淤泥质黏土	51.5	17.1	2.75	1.44	41.0	21.8	19.2	1.52	9.8	6.8	1.32	340	6.94		6		5				
3 粉质黏土	32.3	18.9	2.72	0.912	33.7	21.3	12.4	0.88	24.4	17.7	0.47	760	11.4	1.5	8		7.2				
4 黏土	41.4	17.9	2.75	1.17	43.4	22.7	20.7	0.90	16.0	11.2	0.61	1030	26.0		18	500	16	200			
5-1 黏土	30.2	19.1	2.73	0.863	38.2	21.6	16.6	0.52	40.3	17.5	0.25	2520	79.1	3.1	25	1000	22.5	400			
5-3 黏土	33.0	18.8	2.73	0.940	38.7	22.1	16.6	0.74	33.2	16.0	0.35	1500	41.0	2.7	20	700	18	280			
6-2 粉质黏土	33.5	18.8	2.73	0.945	36.0	21.7	14.3	0.82	33.6	16.0	0.37				15		13.5				

图 1-10 各地层物理、力学性质指标图例

在学习本课程时,要掌握地基基础设计的基本原理和方法,学会运用土力学知识、结构知识以及对工程地质资料的分析来判断解决地基基础问题的基本方法,培养实践技能。在学完本课程之后,应掌握浅基础的设计步骤与方法;掌握桩基础设计,熟悉各种常用桩型的特点与应用;掌握挡土墙的设计计算;熟悉沉井基础、地下连续墙设计;掌握基坑支护结构的设计计算;了解基础工程中新技术、新材料的应用。结合课堂学习、现场参观、工程实习等教学环节,加深对知识的理解与掌握。

上部结构、地基与基础是作为一个整体共同工作,变形互相协调。但目前常规设计计算已经做过简单的计算假定,将三者分别考虑。因此,评价计算结果时应该考虑这种误差的存在,结合当地实际工程经验,综合分析。