



全国高职高专土木工程专业系列规划教材

TULIXUE YU DIJICHU

©刘晓立 主编 ©刘润 副主编

# 土力学与地基基础

(第三版)



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

全国高职高专土木工程专业系列规划教材

# 土力学与地基基础

(第三版)

刘晓立 主 编

刘 润 副主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书为《全国高职高专土木工程专业系列规划教材》之一。针对高职高专的特点,本书在第二版的基础上,根据我国最新相关规范——《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002),重新编写了相关内容,并针对高职高专土木工程专业实践教学的要求,加强了“工程施工及质量检验”的相关内容。全书共12章,主要介绍了土的物理性质及分类,地基的应力、变形,土的抗剪强度,土压力及承载力,地基勘察等。

本书内容简明扼要、实用性强,便于自学。本书可作为高职高专土木工程专业的教材,亦可供土建专业勘察、设计、施工技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/刘晓立编. —3版. —北京:科学出版社,2005  
(全国高职高专土木工程专业系列规划教材)  
ISBN 7-03-014806-1

I. 土… II. 刘… 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(2004)第141701号

责任编辑:童安齐 彭明兰 / 责任校对:彭明兰  
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方上林

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2001年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)  
2003年9月第 二 版 印张:21 3/4  
2005年1月第 三 版 字数:418 000  
2005年1月第五次印刷 印数:13 001—17 000

定价:24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

# 《全国高职高专土木工程专业系列规划教材》

## 编 委 会

主任委员 沈养中

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王志军 邓庆阳 司马玉洲 李继业

李维安 董平 童安齐

委 员 (以姓氏笔画为序)

王长永 王振武 石静 史书阁

田云阁 付玉辉 刘正保 刘念华

李洪岐 李树枫 肖翥 张力霆

张丽华 张献奇 陈守兰 孟胜国

郝延锦 郭玉起 袁雪峰

## 第三版前言

本教材的前两版经过三年的使用,虽得到了读者的认可,但由于时间较紧,加之编者的水平有限,仍有一些不妥和错误之处。故在第三版又进行了进一步的完善和修正。

第三版将第一章绪论、第八章浅基础进行了重新编写,并对其他各章中存在的错误进行了改正。本教材由华北航天工业学院刘晓立任主编,天津大学刘润任副主编。刘晓立编写第六、九、十章,刘润编写第一、三、五、八、十一章,山西阳泉煤炭专科学校王芳编写第二章,华北航天工业学院冯秀玲编写第四、七、十二章。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,希望广大读者提出宝贵意见。

## 第二版前言

本教材第一版于2001年8月出版。2002年2月国家发布了新的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002),并于2002年4月实施。为了使教材与国家现行标准一致,《新世纪高职高专土建类系列教材》编委会决定对本教材进行重新编写。

本教材第一版由原山西阳泉煤炭专科学校、华北航天工业学院、山东农业大学、河北工程技术高等专科学校、原华北矿业高等专科学校及邢台职业技术学院等单位编写,邓庆阳任主编。修订的主要内容有:重新编写了原教材中与新颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)不符的有关内容,并针对高职高专土建专业实践教学的要求,加强了“工程施工及质量检验”的相关内容。本版由华北航天工业学院刘晓立任主编。各章编写人员如下:邓庆阳(第一、八章)、刘晓立(第六、九、十章)、刘润(第三、五、十一章)、王芳(第二章)、冯秀玲(第四、七章)、贺新枝(第十二章)。

在本教材编写和修订过程中,曾得到天津大学、河北工业大学等单位有关同志的热情帮助和支持,在此一并致谢。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,希望使用本教材的师生和广大读者提出宝贵意见。

## 第一版前言

《土力学与地基基础》是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,主要内容包括土的物理性质与工程分类、地基土中应力、地基变形、土的抗剪强度和地基承载力、土压力及土坡稳定、地基的勘察、验槽与局部处理、浅基础设计、桩基础。全书采用了国家(部)最新规范、规程和标准,结合高职高专的特点,强调适用性和实用性。在编写过程中注重理论联系实际,以应用为重点,结合工程实例,做了深入浅出的说明,同时编入了较多的新技术和新方法。另外,由于我国地域辽阔、幅员广大、土质各异、地区性强,编写中为了照顾各地区特点,对软土地基、湿陷性黄土地基、膨胀土地基、冻土地基、山区地基以及人工地基也做了必要的介绍,授课时可结合本地区特点,因地制宜地取舍。本书按76学时编写。

参加本书编写的有阳泉煤炭专科学校邓庆阳(第一、二、八章)、华北航天工业学院刘晓立(第六、十章)、山东农业大学土木工程学院刘福臣(第九、十二章)、河北工程技术高等专科学校张力霆(第七、十一章)、华北矿业高等专科学校刘彭(第三、四章)、邢台职业技术学院田云阁(第五章)。

全书由太原理工大学梁仁旺教授主审,在编写过程中还得到了山西省建筑科学研究院宋大为高级工程师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限,教材中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

# 目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 本学科的形成与发展 .....	1
1.2 本学科的研究对象 .....	2
1.3 本课程的主要内容及学习要求 .....	3
1.4 本教材的主要特色 .....	4
思考题 .....	4
<b>第二章 土的物理性质及工程分类</b> .....	5
2.1 土的成因 .....	5
2.2 土的组成、结构与构造.....	7
2.3 土的物理性质指标.....	12
2.4 基本指标的测定.....	17
2.5 无黏性土的密实度.....	19
2.6 黏性土的物理特性.....	22
2.7 土的渗透性.....	26
2.8 土的压实性.....	28
2.9 土的工程分类.....	31
思考题 .....	35
习题 .....	36
<b>第三章 地基土中的应力计算</b> .....	38
3.1 概述.....	38
3.2 自重应力.....	39
3.3 基底压力.....	44
3.4 地基土中的附加应力.....	47
思考题 .....	63
习题 .....	64
<b>第四章 地基变形</b> .....	67
4.1 土的压缩性.....	67
4.2 地基变形的类型.....	72



4.3	地基最终沉降量计算	75
4.4	地基沉降与时间的关系	82
4.5	建筑物沉降观测	87
	思考题	88
	习题	88
<b>第五章</b>	<b>土的抗剪强度和地基承载力</b>	<b>90</b>
5.1	土的抗剪强度	90
5.2	土的极限平衡条件	91
5.3	抗剪强度指标的确定	96
5.4	地基的临塑荷载和极限荷载	102
5.5	地基承载力的确定	109
	思考题	113
	习题	113
<b>第六章</b>	<b>土压力及土坡稳定</b>	<b>116</b>
6.1	土压力类型	116
6.2	朗肯土压力理论	117
6.3	库仑土压力理论	121
6.4	规范法推荐的土压力计算方法	127
6.5	特殊情况下的土压力计算方法	127
6.6	重力式挡土墙	132
6.7	板桩墙	141
6.8	土坡稳定分析	143
	思考题	149
	习题	149
<b>第七章</b>	<b>地基勘察、验槽</b>	<b>152</b>
7.1	岩土工程勘察阶段与勘察等级	152
7.2	地基勘察方法	154
7.3	地基勘察报告	163
7.4	验槽	165
	思考题	168
	习题	168
<b>第八章</b>	<b>浅基础设计</b>	<b>169</b>
8.1	概述	169
8.2	常用的基础材料	170
8.3	常见的基础类型	172
8.4	基础埋置深度	178

8.5	基础底面尺寸的确定 .....	184
8.6	无筋扩展基础的设计 .....	190
8.7	墙下钢筋混凝土条形基础 .....	192
8.8	柱下钢筋混凝土独立基础 .....	195
8.9	柱下钢筋混凝土条形基础 .....	206
8.10	十字交叉钢筋混凝土条形基础 .....	212
8.11	筏板基础与箱形基础 .....	215
8.12	减少建筑物不均匀沉降的措施 .....	220
	思考题 .....	223
	习题 .....	224
<b>第九章</b>	<b>桩基础</b> .....	<b>226</b>
9.1	概述 .....	226
9.2	桩的类型与特点 .....	227
9.3	单桩竖向承载力 .....	232
9.4	单桩竖向承载力计算 .....	236
9.5	群桩承载力与变形 .....	239
9.6	桩基础设计 .....	245
9.7	桩基工程施工及质量检测 .....	250
9.8	桩基工程验收 .....	264
9.9	深基础简介 .....	266
	思考题 .....	269
	习题 .....	270
<b>第十章</b>	<b>区域性地基</b> .....	<b>271</b>
10.1	软土地基 .....	271
10.2	湿陷性黄土地基 .....	276
10.3	季节性冻土地基 .....	284
10.4	膨胀土地基 .....	285
10.5	山区地基 .....	291
	思考题 .....	294
<b>第十一章</b>	<b>软弱地基处理</b> .....	<b>295</b>
11.1	概述 .....	295
11.2	换土垫层法 .....	299
11.3	石灰桩法 .....	303
11.4	加载预压法和真空预压法 .....	306
11.5	强夯法 .....	309
11.6	挤密法 .....	312

11.7 深层搅拌法.....	315
思考题.....	318
习题.....	318
<b>第十二章 地基与基础质量事故分析.....</b>	<b>319</b>
12.1 概述.....	319
12.2 地基和基础质量控制要点.....	319
12.3 常见地基和基础工程缺陷事故案例分析.....	322
思考题.....	330
<b>参考文献.....</b>	<b>331</b>

# 第一章 绪 论

土力学与地基基础是一门实用性很强的学科,它的研究内容涉及工程地质学、土力学、基础工程学、结构设计、施工技术以及与工程建设相关的各种技术问题。近些年来,随着我国国民经济的飞速发展,兴建了许多大规模的工程,例如:高层建筑、市政公用设施、地铁、桥梁和隧道等等,土力学与地基基础学科的相关理论和方法在这些工程建设中都起到了至关重要的作用。本章将从本学科的形成和发展,主要研究对象,研究内容和学习要求等方面进行介绍。

## 1.1 本学科的形成与发展

土力学与地基基础同其他技术类的学科一样,是人类在长期的生产实践中,经过经验的积累逐渐总结提高形成理论,而后又经过反复地实践验证和理论充实才形成的。

地基基础工程技术远在我国史前就已应用于建筑工程中。新石器时代,人类在劳动中发明了简易工具,开始用土、石材料改善居住条件,创造了夯土技术,开始了土工技术和基础工程。我们的长城、大运河,桥梁、宫殿、庙宇和世界上知名的建筑物,如比萨斜塔、埃及金字塔等的修建,都需要有丰富的有关土的知识 and 建造建筑物的经验。由于社会生产力和技术条件的限制,使这一阶段经过了很长时间。直到十八世纪中叶,还停留在经验积累的感性认识阶段。

产业革命后,大量建筑物的兴建促使人们对土进行研究,把已积累的经验进行理论解释。如 1773 年法国学者库仑(C. A. Coulomb)发表了土的抗剪强度定律和库仑土压力理论;1856 年法国工程师达西(H. Darcy)研究砂土的透水性,创立了达西公式;1885 年英国学者朗肯(W. J. M. Rankine)提出朗肯土压力理论,与库仑共同形成古典土压力理论;1885 年法国布辛奈斯克(J. Boussinesq)求得半无限弹性体在竖向集中力作用下的应力计算公式,为土力学与地基基础学科的形成奠定了基础。

从十九世纪二十年代起,对土的研究迅速发展,发表了许多有关的理论和系统的著作。如 1920 年法国学者普朗特(L. Prandtl)发表了地基滑动面的数学公式;1922 年瑞典费伦纽斯(W. Fellenius)提出计算边坡稳定性圆弧滑动法;1925 年太沙基(K. Terzaghi)发表了《土力学》一书,这本著作比较系统地论述了若干重要的

土力学问题,提出了著名的有效应力原理,是土力学很重要的理论。至此土力学开始形成独立的学科。在其后的 30~40 年间,土力学的研究基本上是对原有理论与试验的充实与完善。

随着电子计算机的出现和新计算技术的飞速发展,使土力学的研究进入了一个全新的阶段,即研究采用新的非线性应力、应变关系,代替原来的弹性理想塑性模型。特别是近十多年来,该学科在理论和技术方面进展较快。

我国从 1962 年开始定期召开全国性土力学与地基基础工程学术会议,交流和总结科研人员在该学科取得的新进展和科研成果。近十多年来,随着我国改革开放的深入和经济建设的发展,建筑、水利、市政交通及港口工程的规模和技术难度越来越大,都不同程度的涉及到了土力学与地基基础方面的技术问题,相关的研究工作逐步开展,涌现出许多与该学科相关的学术团体和科研机构,为解决实际工程中遇到的难题和推动该学科的发展做出了贡献。

但是,由于岩土体具有非常复杂的差异性和易受施工扰动的多变性,与其他学科相比,土力学与地基基础还处于不够完善、不够成熟的阶段。解决问题的技术难度较大,科技发展的潜力也很大。目前,该学科仍采用以工程试验为基础,理论为指导,借助施工监测等手段,不断地反馈和修正设计施工方案的方法来解决实际工程中的问题。因此为从事该学科研究的科技工作者提供了广阔的发展空间。

## 1.2 本学科的研究对象

土是岩石风化后的产物,它是由许多岩石碎屑、矿物颗粒和黏土矿物组成,颗粒间的联系薄弱,故为散体,具有破碎性、孔隙性和多相性的特点。土力学(Soil mechanics)就是研究土的特性及其受力后变化规律的学科。一切工程都修建在地表或埋置于土层之中与土有着紧密的联系,因此研究地表土层的工程地质特征及其力学性质,有非常重要的意义。

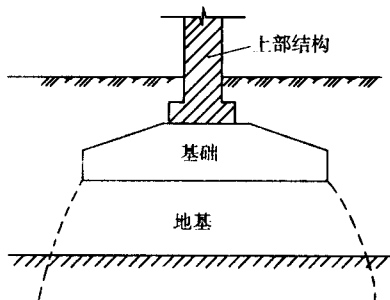


图 1.1 地基基础示意

地基与基础是两个不同的概念。建筑物的修筑使地层一定范围内的应力状态发生变化,这一范围内的地层称为地基。地基就是承担建筑荷重的土体或岩体,具有一定深度与范围。而与地基接触的建筑物下部结构称为基础。基础是建筑物的一部分,由它将建筑物上部结构与地基联结起来(参见图 1.1)。

建筑物的建造使地基中原有的应力状

态发生改变,这就必须运用力学方法来研究在外部荷载作用下地基土的变形和强度问题,以便使地基基础的设计满足以下两个基本条件:

1) 要求作用与地基上的荷载不超过地基的承载能力,保证建筑物不发生倾倒,地基在防止稳定破坏方面具有足够的安全储备。

2) 控制基础沉降使之不超过地基的变形允许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或者影响正常使用。研究土的应力、变形、强度和稳定性以及土与结构物相互作用是本课程的主要内容。

此外,建筑物基础的结构形式很多,设计时应该选择能适应上部结构、符合使用要求、满足地基基础设计两项基本要求以及技术上合理的基础结构方案。通常把埋置深度不大、只须经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建造起来的基础统称为浅基础;将浅层土质不良,而须把基础埋置于深处的好地层时,就要借助于特殊的施工方法,建造各种类型的深基础,如桩基础、沉井和地下连续墙等等。选定适宜的基础型式后,地基不加处理就可以满足要求的,称为天然地基,经过处理的地基,则称为人工地基,例如采用换土垫层法、预压法、强夯法、排水固结法、深层搅拌法、化学加固等方法处理过的地基。

建筑物的地基、基础和上部结构三个部分,虽然各自功能不同、研究方法各异,然而对一个建筑物来说,在荷载作用下,这三方面是彼此联系、相互制约的整体。目前,把三部分完全统一起来进行设计计算还有困难,但在处理地基基础问题时,应该从地基-上部结构相互作用的整体观念出发,全面考虑,才能收到比较理想的效果。

### 1.3 本课程的主要内容及学习要求

《土力学与地基基础》是高等院校土建类专业的一门必修课程,全书共十二章,由三部分组成。第一章绪论;第二章为工程地质学、土质学与土力学三门学科的基础知识;第三章地基中的应力计算、第四章地基变形、第五章土的抗剪强度和地基承载力、第六章土压力及土坡稳定是土力学的经典理论和主要的理论基础;第七章地基勘察;第八章浅基础设计和第九章桩基础讲述的是一般工程建设中都会涉及到的基础工程问题;第十章和十一章对特殊土——软土、湿陷性黄土、季节性冻土、膨胀土、山区地基以及地基处理做了概要的阐述;第十二章为案例分析,针对我国近 20 年来出现的地基基础事故做了典型分析。

在本书的学习过程中,对同学们提出以下几点要求:

1) 理解并牢固掌握土力学中的经典理论和基本原理:土的应力、变形、强度、地基计算、土压力理论等,从而能够运用这些基本概念和原理,分析和解决地基基础问题。

2) 应注重有关工程地质基本知识的学习,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力。

3) 通过学习能结合建筑结构和施工技术等进行一般房屋的地基基础设计并了解相应的施工方法。

4) 我国幅员辽阔,由于自然地理环境的不同,分布着多种多样的土类。某些土类具有不同于一般土的特殊性质,通过本课程的学习应掌握这些特殊土的性质,明确在这些地基上修建建筑物时应注意的问题。

5) 初步掌握常用的地基处理方法及其适用范围。

## 1.4 本教材的主要特色

本书编写采用了国家最新设计规范和试验标准:《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002),《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》(GJ6-99),《岩石工程勘察规范》(GB50021-2001),《建筑桩基检测技术规范》(JGJ106-2003),《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002),《土工试验方法标准》(GB/T50123-1999),《土工试验规程》(SL237-1999)。

本教材是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,在编写中兼顾了各课程之间的先后衔接关系,对部分内容进行了整合,避免重复。

本书首次引入了案例教学。案例反映了典型事故经验和教训,是活的教材,有助于在学习过程中,通过生动的事实,更好地掌握理论知识。案例放在最后一章,在教学中可穿插在有关章节中介绍。

本教材突出体现了适用性、实用性,对基础理论部分以讲清基本原理和基本概念为主,避免繁琐的公式推导;对基础工程部分重在体现对规范的学习掌握和运用规范进行工程设计能力的培养。为了帮助学生掌握,本教材设置了较多的例题,每章后附有一定的思考题和习题。

### 思考题

- 1.1 何谓土力学?土力学包括哪些主要内容?
- 1.2 何谓建筑物的地基?地基基础的设计需满足哪些要求?
- 1.3 何谓建筑物的基础?基础与地基有何不同?

## 第二章 土的物理性质及工程分类

大多数建筑物都是直接建造在地基土上的,因此,土的物理性质及其工程分类,是进行土力学计算、地基基础设计和地基处理等必备的知识。本章主要介绍土的成因、土的组成、土的三相比例指标、无黏性土的密实度、黏性土的物理特性以及土的工程分类。

### 2.1 土的成因

#### 2.1.1 土的概念

工程上所称的土,通常是指地球岩石圈经风化形成的散粒堆积物,包括岩石经物理风化崩解而成的碎块以及经化学风化后形成的细粒物质,粗至巨砾,细至黏粒,统称为土。土虽然是岩石风化后的产物,但具有一种区别于岩石的特性——散粒性。正是由于土的这一基本特性,决定了土与其他工程材料相比具有压缩性大、强度低、渗透性大的特点。

#### 2.1.2 土的成因

土的形成要经历风化、剥蚀、搬运、沉积等作用过程。风化使岩石破碎,剥蚀将风化产物剥脱开来,通过不同的搬运方式将剥落物搬运和迁移,被搬运的物质在搬运过程中遇到不同的环境,从搬运的介质中分离而沉积下来。由于成土的过程错综复杂,形成了各种成因的土。根据地质成因的条件不同有以下几类土。

##### 1. 残积土(图 2.1)

残积土是残留在原地未被搬运的那一部分岩石风化剥蚀后的碎屑堆积物,其成分与母岩相同,一般没有层理构造,均质性很差,孔隙度较大,作为建筑物地基容易引起不均匀沉降。

##### 2. 坡积土(图 2.2)

坡积土是高处的风化碎屑物在雨、雪水或本身的重力作用下搬运而成的山坡堆积物。它一般分布在坡腰或坡脚下,其上部与残积土相接。厚度变化较大,在斜坡陡处厚度较薄,坡脚处较厚。在坡积土上进行工程建设时要考虑坡积土本身的稳定性和施工开挖后边坡的稳定。另外,新近堆积的坡积土具有较高的压缩性。



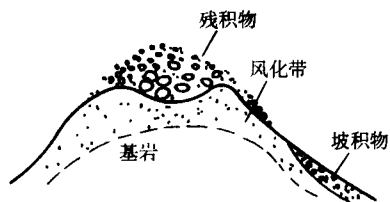


图 2.1 残积土

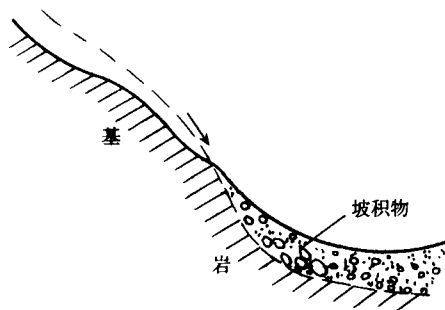


图 2.2 坡积土

### 3. 洪积土(图 2.3)

洪积土是指在山区或高地由暂时性水流(山洪急流)作用将大量的残积物、坡积物搬运堆积在山谷中或山前平原上的堆积物。洪积物质随近山到远山呈现由粗

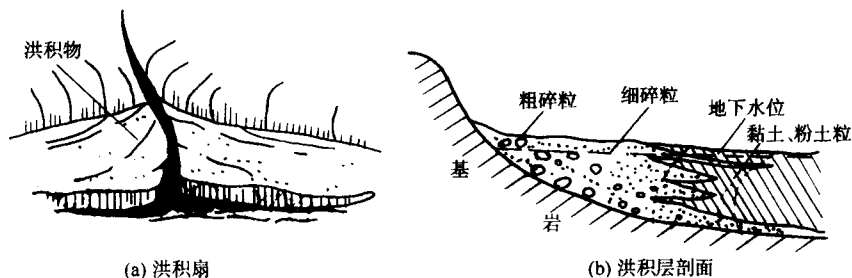


图 2.3 洪积土

到细的分选作用,但由于每次洪流的搬运能力不同,使洪积土具有不规则交错层理。

### 4. 冲积土(图 2.4)

冲积土是由河流流水的地质作用,将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带形成的沉积物。颗粒在河流上游较粗,向下游逐渐变细,分选性和磨圆度均好,呈现明显的层理构造。

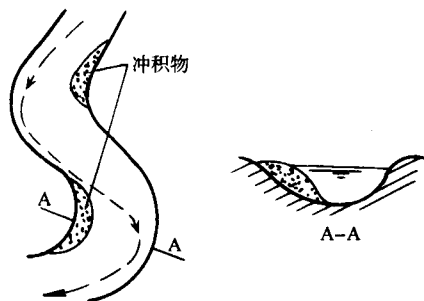


图 2.4 冲积土

除了以上 4 种土的成因类型外,还有湖泊堆积土、沼泽堆积土、滨海堆积土、冰川堆积土和风力堆积土等,这里不再一一介绍。

上述各种堆积或沉积土,一般是在第四纪(Q)地质年代内形成的,而建筑工程