

Bai

工程建设百问丛书

地下与 基础工程百问

赵志缙 于晓音 主编

Wen

中国建筑工业出版社

工程建设百问丛书

地下与基础工程百问

赵志缙 于晓音 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下与基础工程百问/赵志缙, 于晓音主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2001.8

(工程建设百问丛书)

ISBN 7-112-04651-3

I. 地… II. ①赵… ②于… III. ①地下工程-
工程施工-问答②基础(工程)-工程施工-问答
IV. TU-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第25898号

工程建设百问丛书

地下与基础工程百问

赵志缙 于晓音 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京云浩印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 13 $\frac{3}{4}$ 字数: 366 千字

2001年8月第一版 2002年2月第二次印刷

印数: 4,001—7,000册 定价: 24.00元

ISBN 7-112-04651-3

TU·4085 (9808)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书是工程建设百问丛书之一。

本书由三部分组成，即地基工程、基础工程和地下工程，内容包括：天然地基、地基处理、浅基础、桩基础和沉井基础、深基坑工程、地下建筑工程等，共提出并回答了 247 个问题。

本书可供广大工程建设技术与管理人员学习之用。

* * *

责任编辑 周世明

出版说明

为了推动工程建设事业的发展，满足广大读者对这类图书的需要，我社拟陆续出版“工程建设百问丛书”。这套丛书共定为 17 册（见封四），范围包括建筑工程、安装工程和建筑管理等学科。丛书涵盖的专业面较广，内容比较全面，并有一定深度，主要供工程技术人员、管理人员和工人阅读。本期拟推出其中 8 册，分别是：

- 《地下与基础工程百问》
- 《给排水·暖通·空调百问》
- 《施工现场专业配合及管理百问》
- 《建筑防水工程百问》
- 《建筑施工安全生产百问》
- 《工程项目管理百问》
- 《工程招标与投标百问》
- 《建筑工程合同管理百问》

此前，先期推出的 8 册，已于 2000 年 6 月起陆续出版发行：

- 《建筑结构工程施工百问》
- 《装饰工程百问》
- 《建筑工程质量事故百问》
- 《建筑消防百问》
- 《电工技术百问（强电）》
- 《电工技术百问（弱电）》
- 《建筑工程概预算百问》
- 《工程建设监理百问》

丛书的作者在编写每册图书时均针对该学科应掌握的政策法

规、标准规程、专业知识和操作技术，并根据专业技术人员日常工作中遇到的疑点、难点，逐一提出问题，并用简洁的语言辅以必要的图表，有针对性、一事一议地给予解答。

以问答形式叙述工程技术问题的图书，预期会受到读者的欢迎。它的特点是问题涉及面广、可浅可深，解答针对性强、避免冗长。读者可带着问题翻阅，从中找出答案，增长才干；初学者可以从阅读中汲取知识和教益，满足自学的欲望。希望我们这套丛书的问世，能帮助读者解决工作中的疑难问题，掌握专业知识，提高实际工作能力。为此，我们热诚欢迎读者对书中不足之处来信批评指正，如有新的问题也请给予补充，协助我们把这套丛书出得更好。

中国建筑工业出版社

2001年6月

前 言

近年来由于我国在高层建筑和市政工程方面建设工程量急剧增大,基础工程和地下工程的设计、施工水平提高很快,出现了很多新的、先进的设计方法和施工技术,使我国不少城市面貌得以迅速改变,现代化水平有了很大提高。同时,一大批反映基础和地下工程学科新理论、新成就的科技图书与读者见面。但目前尚缺少与之相应的解答疑难问题的图书,这种图书虽不能完整而全面地阐述基本理论、设计方法和施工技术,但由于是以问答方式编写的,针对性强,查阅方便,特别适用于初、中级技术人员使用。

为帮助读者有针对性地了解近年来我国在基础工程和地下工程方面的发展水平、设计知识和施工技术,提高分析问题和解决问题的能力,我们编写了这本《地下与基础工程百问》。

本书分三篇共247道问答与题解,对天然地基、地基处理、浅基础、桩基础和沉井基础、深基坑工程、地下建筑工程(盾构、沉管和顶管施工)的有关方面做了全面和较详细的介绍,对重点问题介绍得较细,还编入了一定数量的计算题,并对一些新理论、新工艺和新技术做了介绍。

本书由赵志缙、于晓音主编,第一篇由赵志缙编写,第二篇由刘匀、金瑞君、于晓音、吕凤梧、林跃忠编写,第三篇由于晓音、徐伟、林跃忠、胡晓依、侯峻玉、阮永辉编写。最后由赵志缙对全书进行了整理加工。书中照片均由徐伟摄制。

由于本书题量大,涉及面广,实践性强,加之时间仓促和编者水平有限,错误和不当之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正,以便不断修正和提高。

目 录

第一篇 地基工程

1 天然地基	1
1.1 土的基本特性	1
1.2 地基承载力和变形	8
1.3 工程地质勘察	10
2 地基处理	22
2.1 一般问题	22
2.2 换土垫层法	27
2.3 深层密实法	30
2.4 排水固结法	38
2.5 化学加固法	46

第二篇 基础工程

1 浅基础	70
1.1 刚性基础（无筋扩展基础）	72
1.2 柔性基础	79
1.2.1 钢筋混凝土扩展基础	79
1.2.2 柱下条形基础	92
1.2.3 筏形基础	97
1.2.4 箱形基础	112
1.3 基础埋深设及与上部结构共同作用	123
2 桩基础和沉井基础	135
2.1 桩基础的结构形式和传力特点	135
2.2 混凝土预制桩和细管桩	149
2.3 混凝土灌注桩	167
2.4 沉井基础	193

第三篇 地下工程

1	深基坑工程	209
1.1	深基坑工程的勘察特点	209
1.2	无支护基坑工程	211
1.3	有支护基础工程	215
1.4	地下连续墙	291
1.5	土层锚杆（土锚）	320
1.6	基坑加固与环境保护	332
2	地下建筑工程	348
2.1	一般问题	348
2.2	盾构法施工	351
2.3	沉管隧道施工	383
2.4	顶管施工	406

第一篇 地基工程

1 天然地基

1.1 土的基本特性

1. 在建筑地基基础设计规范中土（岩）分为哪几类？

在《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)中，将作为建筑地基的土（岩），分为岩石、碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土等。

岩石为颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理裂隙的岩体。根据其风化程度，分为微风化、中等风化和强风化。根据其坚固性，分为硬质岩石（花岗岩、石灰岩、石英砂岩、石英岩等）和软质岩石（页岩、粘土岩、云母片岩等）。

碎石土为粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。碎石土分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾。

砂土为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50% 的土。砂土分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。砂土的密实度，按表 1-2 分为松散、稍密、中密、密实。

砂 土 的 分 类

表 1-1

土 的 名 称	粒 组 含 量
砾 砂	粒径大于 2mm 的颗粒占全重 25%~50%
粗 砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过全重 50%
中 砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过全重 50%
细 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%
粉 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50%

砂土的密实度

表 1-2

标准贯入试验锤击数 N	密 实 度
$N \leq 10$	松 散
$10 < N \leq 15$	稍 密
$15 < N \leq 30$	中 密
$N > 30$	密 实

粘性土为塑性指数 I_P 大于 10 的土。按表 1-3 分为粘土、粉质粘土。粘性土的状态按表 1-4 分为坚硬、硬塑、可塑、软塑、流塑。

粘 性 土 的 分 类

表 1-3

塑 性 指 数 I_P	土 的 名 称
$I_P > 17$	粘 土
$10 < I_P \leq 17$	粉质粘土

粘 性 土 的 状 态

表 1-4

液 性 指 数 I_L	状 态
$I_L \leq 0$	坚 硬
$0 < I_L \leq 0.25$	硬 塑
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可 塑
$0.75 < I_L \leq 1$	软 塑
$I_L > 1$	流 塑

淤泥为在静水或缓慢流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的粘性土。当天然孔隙比小于 1.5 但大于或等于 1.0 的土为淤泥质土。

粉土为塑性指数小于或等于 10 的土。其性质介于砂土和粘性土之间。

人工填土根据其组成和成因，分为素填土、杂填土、冲填土。素填土为由碎石土、砂土、粉土、粘性土等组成的填土。杂填土为含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土。冲填土为由水力冲填泥沙形成的填土。

2. 有关土的主要指标分哪几类？各包括哪些指标？

土的主要指标分为物理性指标、压实性指标、渗透性指标、力学性指标等几类。其各类包括的指标如下：

物理性指标 包括颗粒相对密度、天然重度、含水量、液限、塑限、有效粒径、限定粒径等。

压实性指标 包括最佳含水量、最大干密度。

渗透性指标 包括渗透系数（必要时分为水平和垂直渗透系数）、固结系数。

力学性指标 又分为变形指标和强度指标。变形指标包括压缩系数、压缩模量、压缩指数、回弹指数、切线模量、变形模量；强度指标包括快剪、固结快剪、慢剪、不排水剪、固结不排水剪、排水剪等。

3. 土中的水分为哪几类？各有何特性？

土中水与固体颗粒并非机械混合，而是有机地参加上的结构，对土的性状产生巨大影响。土中水分为四类：强结合水、弱结合水、毛细水和自由水。

强结合水是指紧靠土颗粒表面的水，它牢固地结合在土粒表面，有极大粘滞性，无溶解能力，不传递静水压力。

弱结合水是紧靠强结合水外围的一层水膜，它仍不能传递静水压力，但水膜较厚的弱结合水能向邻近的较薄的水膜处缓慢转移。

毛细水是受水与空气交界面上表面张力作用的自由水。毛细水弯液面和土粒接触处的表面张力反作用于土粒，使之相互挤紧，这种力称为毛细压力。在工程中毛细水上升高度对建筑物底层防潮、路基冻胀等有重要影响。

自由水又称重力水，其性质和普通水相似，能传递静水压力，具有溶解能力。

4. 土的压实性有何工程意义？土的压实性如何测定？

在修筑路堤、土填、回填土工程时，需了解土的压实性。土的压实，即采用一定的压实方法，以一定的压实功，将具有一定级配和含水量的松土压实到具有一定强度的土层。土的压实效果

与颗粒级配和含水量有关。级配良好的土容易压实，这是因为土压实时颗粒重新排列，粗颗粒之间的孔隙被细颗粒充填，可以得到较高的密实度和强度。含水量对土的压实有明显的影响，由于水膜的润滑作用可以促使颗粒移动，但孔隙中出现自由水时，又会阻止土的压实。

土的压实性可通过夯击试验测定。将过 5mm 筛的 3~3.5kg 土样，加水润湿至预计的制备含水量，分三层装入击实仪，按规定进行分层夯实，会得出一条压实曲线，它是土的干重度和含水量的关系曲线，曲线峰值对应的为最大干重度和最佳含水量，表明当土的含水量等于该最佳含水量时压实效果最好。

5. 土中的固体颗粒如何划分？

土中的固体颗粒按其大小分为若干个粒组：砾、砂粒、粉粒和粘粒。常用粒组划分界线标准如表 1-5 所示。

土 粒 颗 粒 划 分		表 1-5
粒 组 名 称		粒 径 范 围 (mm)
漂石或块石颗粒		>200
卵石或碎石颗粒		200~20
圆砾或角砾	粗	20~10
	中	10~5
	细	5~2
砂 粒	粗	2~0.5
	中	0.5~0.25
	细	0.25~0.10
	极细	0.10~0.05
粉 粒	粗	0.05~0.01
	细	0.01~0.005
粘 粒		<0.005

土粒的形状往往不规则，很难直接量测土粒的大小，只能通过一些分析方法来定量描述土粒的大小。常用的方法有两种：对大于 0.1mm 的土粒可用筛分方法；对小于 0.1mm 的土粒则采用沉降分析法。

6. 土的渗透性有何工程意义?何谓渗透系数?如何测定?

土是一种多孔介质,固体颗粒组成的骨架间的孔隙是连通的,孔隙中的水在本身重力和其他外力作用下可以流动,此即水的渗流运动,土中水的渗透性对地下结构防水、工程施工降低地下水位等都有重要意义。

渗透系数是表示水在土中单位时间渗流距离的数值,其单位为 cm/s。其数值可由达西定律求得:

$$k = \frac{Q}{iAt} \quad (1-1)$$

式中 Q ——流量;

i ——水力梯度 $= \frac{\Delta H}{l}$;

ΔH ——水头差;

l ——渗流长度;

A ——渗流截面积;

t ——时间;

k ——渗透系数。

渗透系数 k 的测定,也是以达西定律为依据,室内试验是把一已知水力梯度 i 的流体施加到已知截面积为 A 的土样上,测定其流量 Q ,根据式 (1-1) 即可计算 k 值。渗透系数 k 亦可在现场以抽水试验来测定。此外,还可以通过室内压缩试验的时间-沉降曲线计算得到。

7. 土的压缩性如何测定?

土的压缩性是土的主要特性之一。地基沉降即主要由于地基土在上部结构和使用荷载作用下体积压缩变形引起的。用压缩系数、压缩模量、变形模量等指标来评价的压缩性。土的压缩性可通过室内试验或现场试验来测定。

室内压缩试验是把钻探取得的原状土样,即天然结构未破坏的土样装入压缩容器内,土样顶面和底面设透水石,作为土样压缩过程中孔隙水排出的通道,通过加荷横梁及顶部的加荷活塞将

压力施加到土样上，土的压缩量由顶部的测微表测得，在无侧向膨胀条件下进行压缩，可测定土的应力、应变和时间关系以及有关的压缩性指标。无侧向膨胀的试验称单向压缩试验。同样，亦可进行两个方向或三个方向的压缩试验。

现场载荷试验是在现场挖一个坑，使其达到预先考虑的基础埋置深度，在整平的地基持力层上放承压板，面积约 $0.25 \sim 1.0 \text{ m}^2$ ，在承压板上加荷测定沉降。

8. 何谓土的抗剪强度？如何测定？

地基的破坏表现为土体的滑动，所以，土的强度问题实质上是土体内一部分土体与另一部分土体之间相对滑动的抵抗力，即抗剪强度。

土抗剪强度试验的主要目的是确定破坏包线及相应的强度指标粘聚力 c 和内摩擦角 φ 。室内试验的主要方法是直剪试验和三轴剪切试验。

直剪试验用的剪切盒由上下两部分组成，上盒固定不动，下盒可以自由移动。土样（直径 64mm、厚 25mm）装在上下盒之间，试样底部和顶部设透水石，通过承压板对土样施加竖向荷载，推动下盒施加剪切力 T ，土样破坏时，在上下盒之间形成剪切面，即破坏面。破坏面上的竖向应力 $\sigma = P/A$ ，剪应力 $\tau = T/A$ 。取 3~4 个同一类土，分别在不同竖向荷载作用下进行剪切，就可得到土的抗剪强度与法向应力的关系，从而求得土的强度指标。

三轴剪力试验的基本原理，是土样在两个主应力作用下达到破坏，再从破坏状态下的应力条件出发，确定破坏面和破坏面上的法向应力和剪应力，从而得到土的抗剪强度包线及其强度指标。

9. 土压力分为几种？各有何特征？如何计算？

挡土墙、建筑物地下室外墙、支护结构的挡墙、船闸、桥台等主要承受土侧向压力。土压力的大小及其分布是一个比较复杂的问题，它与挡墙的位移、墙后土的性质以及墙土之间的摩擦特性等因素有关。

土压力分为静止土压力、主动土压力和被动土压力三种。

静止土压力 挡墙在墙后土体作用下，墙保持原来位置不发生任何移动，墙后土体处于静止状态，此时墙背所受的土压力称为静止土压力。按照在竖向自重应力作用下计算侧压力的方法来计算静止土压力：

$$p_0 = K_0 \gamma z \quad (1-2)$$

式中 K_0 ——土的静止侧压力系数，可通过室内试验直接测定，
在无条件时，亦可按 $K_0 = 1 - \sin \varphi'$ 经验公式计算，
其中 φ' 为土的有效内摩擦角；

γ ——墙后土的重度；

z ——计算点距地表面的距离。

在匀质土中静止土压力沿墙高呈三角形分布，取单位墙长，则作用在墙上的静止土压力合力 E_0 为：

$$E_0 = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_0 \quad (1-3)$$

式中 H ——挡墙的高度。

$K_0 = 1 - \sin \varphi'$ 的经验公式，对于砂性土有一定的可靠性，而对于粘性土有较大的误差。

主动土压力 挡墙在墙后土体作用下逐渐向前移动（或变形），土压力随之减小，直至墙后土体达到极限平衡状态，形成滑动面，土压力达到最小值，此时土体对墙背施加的土压力称为主动土压力。主动土压力按下式计算：

$$p_a = \gamma z \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-4a)$$

对于无粘性土 ($c=0$)，则

$$p_a = \gamma z \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-4b)$$

令主动土压力系数 $K_A = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ ，则上述公式可写成

$$p_a = \gamma z K_A - 2c \sqrt{K_A} \quad (1-4c)$$

$$p_a = \gamma z K_A \quad (1-4d)$$

式中 γ ——墙后土的重度，地下水以下用有效重度；

c 、 φ ——土的粘聚力和内摩擦角；

z ——计算点距地表面的距离。

取单位墙长计算，砂性土的主动土压力合力 E_A 为

$$\left. \begin{aligned} E_A &= \frac{1}{2} \gamma H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ \text{或} \quad E_A &= \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

单位墙长上粘性土的主动土压力合力 E_a 为

$$E_a = \frac{1}{2} (H - h_0) (\gamma H K_a - 2c \sqrt{K_a})$$

式中 H ——墙深；

$$h_0 \text{——临界直立高度, } h_0 = \frac{2c}{\gamma \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}。$$

被动土压力 挡墙在外力作用下被推向土体，作用在墙上的土压力随之增大，直至墙后土体达到极限平衡状态，形成滑动面，土压力达到最大值，此时土体对墙背施加的土压力称为被动土压力。被动主压力按下式计算：

$$\text{无粘性土} \quad p_p = \gamma z \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \gamma z K_p \quad (1-6a)$$

$$\begin{aligned} \text{粘性土} \quad p_p &= \gamma z \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \gamma z K_p + 2c \sqrt{K_p} \end{aligned} \quad (1-6b)$$

式中 K_p ——被动土压力系数， $K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)。$

1.2 地基承载力和变形

10. 何谓地基承载力？如何确定？

地基承载力是地基土单位面积上承受荷载的能力。在工程设计中，必须使建筑物基础底面压力不超过规定的承载力，以保证地基土不致破坏。