



铁路工程设计技术手册

桥涵地基和基础

QIAOHAN DIJI HE JICHU

铁道第三勘察设计院 编

中国铁道出版社

铁路工程设计技术手册

桥涵地基和基础

铁道第三勘察设计院 编

中国铁道出版社
2002年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是为配合《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—99)的施行,在《桥梁地基和基础》1991年版的基础上修订而成的。书中介绍了地基的分类和性质、地基土中应力的分布和计算、基础沉降计算、山坡上墩台基础位置的确定、明挖基础设计、桩基础设计、弹性地基梁设计、沉井和气压沉箱设计以及特殊地基上的基础设计等内容。本书可供桥涵设计人员和高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥涵地基和基础/铁道第三勘察设计院编. —北京:中国铁道出版社, 2002. 3
(铁路工程设计技术手册)

ISBN 7-113-04564-2

I. 桥… II. 铁… III. 铁路桥—桥涵工程—地基—设计—技术手册 IV. U448.133.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 010301 号

书 名: 桥涵地基和基础
作 者: 铁道第三勘察设计院
出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)
责任编辑: 张 悦 编辑部电话: (市) 010-51873141, (路) 021-73141
封面设计: 冯龙彬
印 刷: 北京市燕山印刷厂
开 本: 787×1092 1/16 印张: 26.75 字数: 964 千
版 本: 2002 年 5 月第 4 版 2002 年 5 月第 4 次印刷
印 数: 18000~21000 册
书 号: ISBN 7-113-04564 2/TU·691
定 价: 68.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

发行部电话: (市) 010-5183169, (路) 021-73169

前 言

本书是根据铁道部铁建函(1999)50号通知的要求和安排,为配合《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—99)的施行,由我院负责,在《桥梁地基和基础》(1991年版,中国铁道出版社出版)*的基础上修订而成的。按照《铁路桥涵地基和基础设计规范》,本书中地基应力分析和基础强度检算均采用容许应力法。

本书共分9章和20个附录,包括:地基土的分类和性质、地基土中应力的分布和计算、基础的沉降和倾斜的计算、墩台下地基滑动的检算和山坡上基础位置的确定、明挖基础的设计、桩基础的设计、弹性地基梁的设计、沉井基础和气压沉箱基础的设计以及特殊地基上的基础的设计等。

本书修订的主要内容有:增加了有关基础沉降计算中部分较为详细的内容介绍;补充了弹性地基梁的部分计算方法;将管柱基础划归为桩基础,取消了原手册中“管柱基础”一章;对近年来国内有关湿陷性黄土地基取得的新的研究成果作了反映;新添了气压沉箱的设计等。此外,还对原手册中欠妥和个别应予增删的地方,作了修改和补充。

本书由胡人礼教授级高级工程师执笔修订。修订过程中,曾向兄弟单位征求意见和收集资料。我院张耀聪教授级高级工程师和吴斌元教授级高级工程师对本书的修订初稿提出了意见和建议。2001年7月铁道部建设管理司召开了本书修订稿的审定会,会后根据会议意见,对部分章节作了局部调整和修改。

桥梁基础的设计理论和方法,随着基础施工机械和建筑材料的发展,应予相应改进和提高,因此,本书只有今后不断进行修改和补充,才能适应桥梁基础建设的需要。我们期望本书通过此次修订,在内容上和编排上能有所改进和提高。但由于力量所限,书中可能仍然存在不妥和错误的地方,欢迎读者给予批评指正。

铁道第三勘察设计院

2002年1月

* 该手册的第一版由人民铁道出版社出版于1978年,第二版由中国铁道出版社出版于1984年,第三版由中国铁道出版社出版于1991年。第三版主编为胡人礼,参编人员为胡人礼、符接翼、丁饶、慎俊、石开枯、朱梅生、周开炯。

目 录

第一章 地基土的分类和性质	(1)	第一节 桩基础的构造和设计的一般要求	(74)
第一节 岩石地基的分类和物理性质	(1)	第二节 桩基础中单桩的受力分析	(81)
第二节 非岩石地基土的分类和物理性质	(4)	第三节 桩基础的受力分析	(113)
第三节 岩石地基的力学性质	(15)	第四节 桩基础分析例题	(138)
第四节 非岩石地基土的力学性质	(16)	第五节 按土阻力确定单桩(包括管柱)的轴向承载力	(157)
第五节 地基土的基本承载力	(21)	第六节 按土阻力确定群桩基础的竖向承载力	(170)
第二章 地基土中应力的分布和计算	(25)	第七节 桩的设计	(171)
第一节 地基土中应力的分布	(25)	第八节 单桩沉降和群桩沉降的分析	(222)
第二节 地基土自重应力的计算	(38)	第九节 地震区桩基础的设计	(223)
第三节 基础底面处地基土应力的分布	(39)	第十节 特殊地区地区桩基础的设计	(235)
第四节 基础底面以下软弱下卧土层应力的检算	(41)	第十一节 板桩围堰的计算	(238)
第五节 桥头路基填土和锥体护坡对桥台基础底面处应力影响的计算	(43)	第七章 弹性地基梁设计	(244)
第三章 基础的沉降计算和倾斜计算	(45)	第一节 弹性地基梁的设计要求	(244)
第一节 基础沉降和墩台顶面水平位移检算的要求	(45)	第二节 弹性地基梁分析方法简述	(245)
第二节 基础最终沉降(总沉降)的分层总和计算法	(45)	第三节 弹性地基梁基于地基按文克尔假设的分析方法	(246)
第三节 桥梁施工期间基础沉降的估算	(53)	第四节 弹性地基梁基于地基按半无限体假设的分析方法	(276)
第四节 根据基础两边缘不等沉降量求算基础倾斜量的方法	(54)	第五节 弹性地基梁的材料强度检算	(327)
第五节 刚性基础的地基弹性抗力、刚性基础弹性转角和弹性侧移的计算	(54)	第八章 沉井基础和气压沉箱基础设计	(330)
第四章 墩台下地基滑动的检算和山坡上基础位置的确定	(58)	第一节 沉井设计的一般要求和构造	(330)
第一节 桥台处地基滑动的检算方法	(58)	第二节 一般沉井的计算	(339)
第二节 山坡滑体对墩台作用的推力	(59)	第三节 带气筒的浮式沉井的计算	(353)
第三节 山坡上墩台基础位置的确定	(60)	第四节 一般沉井基础设计示例	(369)
第五章 明挖基础设计	(62)	第五节 气压沉箱设计	(381)
第一节 明挖基础设计的一般要求	(62)	第九章 特殊地基	(386)
第二节 混凝土和砌体明挖基础底面处地基应力和竖向外力偏心的检算	(64)	第一节 湿陷性黄土地基	(386)
第三节 明挖基础下地基土的容许承载力	(69)	第二节 软土地基	(389)
第四节 建于岩石陡坡上的墩台基础设计	(70)	第三节 多年冻土地基	(400)
第五节 改建既有线、增建第二线的墩台明挖基础	(72)	附录	(408)
第六节 墩台钢筋混凝土明挖基础	(72)	附录 A 基坑坑壁坡度	(408)
第七节 涵洞基础	(73)	附录 B 打入桩施工选用单打汽锤和筒式柴油锤的参考数据	(408)
第六章 桩基础设计	(74)	附录 C 预制打入桩采用的锤重与桩重之比值	(411)
第一节 桩基础的构造和设计的一般要求	(74)	附录 D 振动沉桩选锤参考资料	(412)
第二节 桩基础中单桩的受力分析	(81)	附录 E 预制钢筋混凝土桩接桩采用的硫磺胶泥的物理力学性能指标	(412)
第三节 桩基础的受力分析	(113)	附录 F 钻孔灌注桩的钻、冲孔机具的适用范围	(412)
第四节 桩基础分析例题	(138)	附录 G 基桩的动力试验	(412)
第五节 按土阻力确定单桩(包括管柱)的轴向承载力	(157)	附录 H 钻孔灌注桩钻孔内采用的护壁泥浆的要求	(413)
第六节 按土阻力确定群桩基础的竖向承载力	(170)		
第七节 桩的设计	(171)		
第八节 单桩沉降和群桩沉降的分析	(222)		
第九节 地震区桩基础的设计	(223)		
第十节 特殊地区地区桩基础的设计	(235)		
第十一节 板桩围堰的计算	(238)		

附录 J	沉井下沉过程中采用的泥浆润滑套的泥浆配合比和泥浆性能指标	(414)	附录 R	量之比 n 、钢筋计算强度与混凝土抗压极限强度之比 m	(418)
附录 K	墩台基础和涵洞基础采用的混凝土和砌体材料的最低强度等级	(414)	附录 S	原《铁路桥涵设计规范》(TBJ2-85) 中混凝土标号与《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.4—99) 中混凝土强度等级的换算关系	(419)
附录 L	石料和水泥砂浆的强度等级和抗压极限强度	(414)	附录 T	钢筋的锚固长度及最小弯曲半径	(419)
附录 M	石砌体和混凝土块砌体中心及偏心受压容许应力	(415)	附录 U	临时性桥梁中木桩的容许轴向荷载	(420)
附录 N	混凝土的极限强度、混凝土的弹性模量及钢筋混凝土结构中混凝土的容许应力	(415)	附录 V	钢结构中钢材的容许应力、弹性模量和剪切模量	(420)
附录 P	混凝土的容许应力	(417)	主要参考文献	(421)
附录 Q	钢筋混凝土基础受弯及偏心受压构件的截面最小配筋率 ρ 、钢筋弹性模量与混凝土变形模				

第一章 地基土的分类和性质

第一节 岩石地基的分类和物理性质

一、岩石地基的分类

地基土是桥梁、涵洞和其他建筑物赖以支承的岩石地层和非岩石地层的统称,一般又称前者为岩石地基,后者为非岩石地基。岩石是非岩石地基的主要物质来源。岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积等地质作用所形成的粉末状、颗粒状或碎块状各类疏松体称为非岩石地基或非岩石地基土。在桥涵设计中,通常从狭义概念简称其为“土”,见《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10002.5—99(通常简称《地基基础规范》)。但从广义概念来说,所谓“土”应包括岩石在内。

岩石(岩石地基)是由一种或多种矿物组成,其中以多种矿物组成的居多。地壳内高温的熔融岩浆在地壳内部或地表面处冷却凝结形成的岩石称为岩浆岩或火成岩,这种岩石按其不同深度形成的特点又分为深成岩、浅成岩和喷出岩。先成的岩石(如岩浆岩)受大气、水、生物、化学的分化作用破坏成碎屑沉积于水中或由于流水、风力等搬运到陆地低凹处,再经压密、脱水、胶结等成岩作用重新形成的岩石称为沉积岩或水成岩。地壳内或地表面先成的岩石(如岩浆岩、沉积岩)因地壳运动或岩浆活动时高温、高压作用形成物理化学环境变化,引起其矿物成分、化学成分和结构构造发生改变所形成的岩石称为变质岩,先成的变质岩由于高温和高压的再作用还可能形成另外的变质岩。岩浆岩、沉积岩和变质岩按其结构、矿物成分、组成情况及变质原因等不同又可分为不同

类别的岩石,其主要岩石分类见表1-1。

岩浆岩、沉积岩、变质岩中的

主要岩石分类 表1-1

岩浆岩		沉积岩		变质岩	
深成岩	花岗岩	碎屑沉积岩	砾岩	片状岩	片麻岩
	正长岩		角砾岩		片岩(云母片岩、绿泥片岩、滑石片岩、角闪片岩)
浅成岩	闪长岩	黏土岩	砂岩	页岩	千枚岩
	辉长岩		凝灰岩		板岩
喷出岩	橄榄岩	化学及生物化学沉积岩	页岩	块状岩	大理岩
	辉岩		泥岩		
	斑岩		石灰岩		
	正长岩		泥灰岩		
	玢岩		白云岩		
	辉绿岩				
	流纹岩				
	粗面岩				
	安山岩				
	玄武岩				

二、岩石的物理性质

- (一) 岩石比重(见表1-2)
- (二) 岩石的天然容重(又称容重或重度)(见表1-3)
- (三) 岩石的孔隙率、吸水率、软化系数(见表1-4)
- (四) 岩石的断裂构造

岩石的比重

表1-2

岩石名称	比重 G	岩石名称	比重 G	岩石名称	比重 G
花岗岩	2.5~2.84	玄武岩	2.5~3.3	花岗片麻岩	2.63左右
闪长岩	2.6~3.1	砂岩	1.8~2.75	角闪片麻岩	3.07左右
辉长岩	2.7~3.2	页岩	2.63~2.73	石英片岩	2.6~2.8
橄榄岩	2.9~3.4	石灰岩	2.48~2.76	绿泥石片岩	2.8~2.9
斑岩	2.3~2.8	贝壳灰岩	2.7左右	板岩	2.7~2.84
玢岩	2.6~2.9	泥质灰岩	2.7~2.8	大理岩	2.7~2.87
辉绿岩	2.6~3.1	白云岩	2.78左右	石英岩	2.63~2.84
流纹岩	2.65左右	凝灰岩	2.56左右	蛇纹岩	2.4~2.8

注:比重 $G = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$, 式中 W_s 为岩石固体部分的重量(kN), V_s 为岩石固体部分的体积(不含孔隙)(m^3), γ_w 为水(4℃)的容重(重度)(kN/m^3)。

* 目前,我国工程地质中地基土的分类和地基土的定名,尚无全国性的统一标准,铁路工程地质也是如此。因此,本书此次修订,按《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—99),对地基土的分类和地基土的定名,未作变动。

岩石的天然容重

表 1-3

岩石名称	天然容重 γ (kN/m ³)	岩石名称	天然容重 γ (kN/m ³)	岩石名称	天然容重 γ (kN/m ³)
花岗岩	23~28	玄武岩	26~31	片麻岩	26~33
正长岩	25~30	砾岩	19~23	片岩	23~26
闪长岩	25.2~29.6	砂岩	22~26	板岩	26~27
辉长岩	25.5~29.8	页岩	24~27	大理岩	27左右
辉绿岩	25.3~29.7	石灰岩	18~26	石英岩	28~33
玢岩	24~28.6	泥质灰岩	23~25	蛇纹岩	26左右
粗面岩	23~27.7	白云岩	21~27		
安山岩	27~31	凝灰岩	7.5~14		

注:天然容重 $r = \frac{W}{V}$, 式中的 W 为岩石的重量(kN), V 为岩石总体积(m³)。

岩石的孔隙率、吸水率、软化系数

表 1-4

岩石名称	孔隙率 n (%)	吸水率 W_1 (%)	软化系数 K_d
花岗岩	0.04~2.80	0.10~0.70	0.72~0.97
正长岩		0.47~1.94	
闪长岩	0.18~5.00	0.30~5.00	0.60~0.80
辉长岩	0.29~4.00	0.50~4.00	
辉绿岩	0.29~5.00	0.80~5.00	0.33~0.90
玢岩	2.10~5.00	0.40~1.70	0.78~0.81
安山岩	1.10~4.50	0.30~4.50	0.81~0.91
玄武岩	0.30~7.20	0.30~2.80	0.30~0.95
砾岩	0.80~10.00	0.30~2.40	0.50~0.96
砂岩	1.60~28.30	0.20~9.00	0.93
页岩	0.40~10.00	0.50~3.20	0.24~0.74
石灰岩	0.50~27.00	0.10~4.50	0.70~0.94
泥质灰岩	1.00~10.00	0.50~3.00	0.44~0.54
白云岩	0.30~25.00	0.10~3.00	
凝灰岩	1.50~7.50	0.50~7.50	
片麻岩	0.70~2.20	0.10~0.70	0.75~0.97
片岩	0.02~1.85	0.10~0.20	0.70~0.84
板岩	0.10~0.45	0.10~0.30	0.39~0.79
大理岩	0.10~6.00	0.10~0.80	
石英岩	0.10~8.70	0.10~1.50	0.94~0.96
蛇纹岩	0.10~2.50	0.20~2.50	

注:1. 孔隙率 $n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$, 式中 V_v 为岩石孔隙(含裂隙)的体积(m³), V 为岩石总体积(m³)。

2. 吸水率 $W_1 = \frac{W_{w1}}{W_s} \times 100\%$, 式中 W_{w1} 为吸收的水的重量(kN), W_s 为干燥的岩石重量(kN)。

3. 软化系数 $K_d = R_{\text{饱水}}/R_{\text{干燥}}$, 式中 $R_{\text{饱水}}$ 为岩石在饱水状态下的抗压极限强度(kPa), $R_{\text{干燥}}$ 为岩石在干燥状态下的抗压极限强度(kPa)。《铁路桥涵混凝土和砌体结构设计规范》(TB 10002.4-99)第 1.0.7 条规定:“对于浸水和潮湿地区的石砌体主体工程石料,软化系数应不低于 0.8。”

岩石在大于岩石极限强度的地应力作用下,产生断裂,通常称这种断裂为断裂构造或地质构造。根据断裂的规模和断裂面两侧岩石的相对位移,断裂构造分为节理(或称裂隙)、劈理和断层三类。节理即岩石中的裂缝,节理两侧的岩石没有或仅发生很微小的相对位移。劈理为岩石顺一定方向分割成密集平行薄层的构造,劈理两面的相对位移和相对平行位移的量不太大,最多只有数毫米。断层为岩石发生断裂后其断裂面产生显著的相对位移或相对平行位移的断裂构造。

造。

随着节理宽度的增大,可能加速岩石的风化和破坏,以致降低岩石地基的承载能力。《地基础规范》附录 A 中的表 A. 0.5-1 根据节理宽度将节理分为四级,见表 1-5。根据节理等级能够判定节理发育的程度,从而可以考虑节理对基础工程影响的大小。该规范附录 A 中的表 A. 0.5-2 将节理发育的程度分为四级,见表 1-6。

岩石节理宽度的分级 表 1-5

分 级	节理宽度(mm)
密闭节理	<1
微张节理	1~3
张开节理	3~5
宽张节理	>5

节理发育程度的分级 表 1-6

分级	基 本 特 征	对基础的影响
节理不发育	节理 1~2 组,规则,为构造型,间距在 1 m 以上,多为密闭节理。岩体切割成巨块状	无影响
节理较发育	节理 2~3 组,呈 X 型,较规则,以构造型为主,多数间距大于 0.4 m,多为密闭节理,部分为微张节理,少有充填物。岩体切割呈大块状	影响不大
节理发育	节理 3 组以上,不规则,呈 X 型或米字型,以构造型或风化型为主,多数间距小于 0.4 m,大部分为张开节理,部分有充填物。岩体切割成块石、碎石状	影响较大
节理很发育	节理 3 组以上,杂乱,以风化和构造型为主,多数间距小于 0.2 m,以张开节理为主,一般均有充填物。岩体切割成碎石状	影响严重

劈理的存在会破坏岩体的整体性,加速岩石的风化,并形成边坡沿劈理面产生滑动和坍塌,影响桥涵基础的稳定性,设计时应加强研究分析,不可忽视。

断层的存在对于桥梁特别是对于外静不定桥梁是非常不利的,不仅降低地基的承载能力,而且引起不均匀沉降,甚至影响桥梁的稳定性,尤其是在地震区,当地震发生时断层可能发生移动,致使桥梁倒塌。因此,规范规定桥梁墩台的位置应避免断层。

《铁路桥涵地基和基础设计规范》将岩石受地质构造的影响程度分为四级,见表 1-7。

岩石受地质构造影响程度的划分

表 1-7

影响程度	地质构造特征
轻 微	地质构造变动小,节理不发育
较 重	地质构造变动较大,位于断裂(层)或褶曲轴的邻近地段,可有小断层,节理较发育
严 重	地质构造变动强烈,位于褶曲轴部或断裂影响带内;软岩多见扭曲及拖拉现象;节理发育
很严重	位于断裂破碎带内,岩体破碎呈块石、碎石、角砾状,有的甚至呈粉末泥土状,节理很发育

新鲜岩石抵抗风化的能力分为不易风化和易风化两级。见表 1-8。表中软化系数为岩石在饱和状态下与风干状态下的抗压极限强度之比,该系数为判定岩石抗风化能力的指标之一。

新鲜岩石抗风化能力的分级 表 1-8

指标和特征项目	分 级	
	不易风化的	易风化的
软化系数	>0.75	≤0.75
耐冻性	耐冻的	不耐冻的
岩浆岩的结构	细粒的	粗粒的
造岩矿物	以石英为主	橄榄石、辉石、角闪石较多 长石、黄铁矿、黑云母含量较多
胶结物	硅质的	钙质的 泥质的
耐风化时间	暴露后一二年尚不易风化	暴露后数日至数月即出现风化壳

规范将岩石的风化程度分为五级,见表 1-9。

(五) 岩石按强度的分类

岩石种类很多,对于这些岩石按其未风化状态下的饱和单轴抗压极限强度可分为硬质岩石和软质岩石两大类;硬质岩石又可分为极硬岩和硬质岩,软质岩石又分为软质岩和极软岩,见表 1-10。

岩石风化程度的分级

表 1-9

风化等级	风化程度	野 外 鉴 定 特 征				风化程度参考指标	
		岩石、矿物颜色	结 构	破碎程度	坚硬程度	K_R (压强比) $=R_w/R_f$	K_V (弹性波速比) $=(v_{p1}/v_{p2})^2$
1	未经风化	岩石、矿物及其胶结物,颜色新鲜保持原有颜色	保持岩体原有结构	除构造裂隙外,肉眼见不到其他裂隙,整体性好	除泥质岩类可用大锤击碎外,其余岩类不易击开,放炮才能掘进	>0.9	>0.9
2	轻微风化	岩石、矿物颜色较暗淡。节理面附近有部分矿物变色	岩体结构未破坏,仅沿节理面稍有风化现象或有水锈	有少量风化裂隙,裂隙间距多数大于 40 cm,整体性仍较好	要用大锤和楔子才能剖开。泥质岩类用大锤可以击碎。放炮才能掘进	0.9~0.65	0.9~0.75

风化等级	风化程度	野外鉴定特征				风化程度参考指标	
		岩石、矿物颜色	结构	破碎程度	坚硬程度	$K_R(\text{压强比}) = R_w/R_f$	$K_V(\text{弹性波速比}) = (v_{p1}/v_{p2})^2$
3	颇重风化	岩石、矿物失去光泽,颜色暗淡,部分易风化矿物已变色(如长石、黄铁矿、橄榄石等);黑云母失去弹性变为黄褐色	结构已部分破坏,裂隙可能出现风化夹层。一般呈块状或球状结构	风化裂隙发育,裂隙间距多数为40~20cm,整体性差	可用大锤击碎,用手锤不易击碎。大部分需放炮掘进	0.65~0.4	0.75~0.45
4	严重风化	岩石及大部分矿物变色,形成次生矿物,如斜长石风化成高岭土,黑云母呈棕色	结构已大部分破坏,形成碎块状或球状结构	风化裂隙很发育,岩体破碎,裂隙间距为20~2cm,完整性很差	用手锤即可击碎,用镐就可掘进,用锹则很困难	—	0.45~0.1
5	极严重风化	岩石、矿物已完全变色,大部分发生变异,长石变成高岭土、叶蜡石、绢云母,角闪石绿泥石化,黑云母变为蛭石	结构已完全破坏,仅外观保持有原岩。矿物晶体失去联结,石英松散呈砂状	风化破碎呈屑状或土状	用手可捏碎。用锹就可掘进	—	<0.1

注: R_w ——风化岩石抗压极限强度; R_f ——未风化岩石抗压极限强度; v_{p1} ——风化岩体纵波波速; v_{p2} ——未风化岩体纵波波速。

岩石按强度的分类

表 1-10

岩石分类		饱和单轴抗压极限强度 R (MPa)	代表性岩石	岩石分类	饱和单轴抗压极限强度 R (MPa)	代表性岩石
硬质岩石	极硬岩	大于 60	①花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩浆岩; ②硅质和钙质胶结的砾岩及砂岩、石灰岩、白云岩等沉积岩; ③片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等变质岩	软质岩石	5 以上至 30	①凝灰岩等喷出岩; ②泥砾岩、泥质砂岩、泥质页岩、炭质页岩、泥灰岩、泥岩等沉积岩; ③云母片岩或千枚岩等变质岩
	硬质岩	30 以上至 60			极软岩	5 及以下

注: 1. 试件直径为 5~10 cm, 试件的高度与直径相等。
2. 当地基为软质岩石时, 在确保不浸水的条件下, 可采用天然湿度的单轴抗压极限强度。

第二节 非岩石地基土的分类和物理性质

一、非岩石地基土的分类

岩石经过风化、剥蚀后沉积保留在原地的各类非岩石土称为风化残积土或残积土, 而经自然界力量(风力、流水)搬运至他处沉积形成的各类非岩石土称为运积土。

风化残积土具有与下部基岩没有明显的界限, 而是沿深度渐变, 且没有明显层次, 大、小颗粒混杂在一起, 土粒带有棱角, 土体中存在较大的孔隙, 以及

强度较基岩低得多等诸特点。

运积土按其成因分为:

(一) 坡积土——岩石风化后形成的土经雨水和融化雪水的冲蚀、流水的洗刷沿斜坡向下搬运、移动, 或岩石风化后的土由于自身重力作用从悬崖崩塌, 堆积在斜坡上或坡脚处的沉积层和堆积土均称为坡积土。坡积土一般以岩石风化后形成的黏土和砂黏土为主, 并含有棱角状的大颗粒岩石屑, 其粒径由山坡向下至坡脚逐渐变小。坡积土在山坡上较薄, 在坡脚处

变厚。坡积土的成分与坡积土所覆盖的基岩无关。

(二) 洪积土——岩石风化后形成的土因山洪急流作用顺山沟或河谷搬运至沟口或山前平原时由于山洪流速突然变缓而沉积下来,称为洪积土。洪积土在靠近沟口处往往为较大粒径的块石和碎石与泥砂混杂而成,而渐离沟口则为粒径愈来愈小的砂、石或

黏性土。另外,由于山洪是周期性的,每次山洪的大小是不同的,所以每次堆积下来的土的成分和粒径大小也是不相同的,这样就使洪积土呈现不规则层理,甚至使洪积土中存在夹层、尖灭层和透镜体(其形状如透镜),见图 1-1。

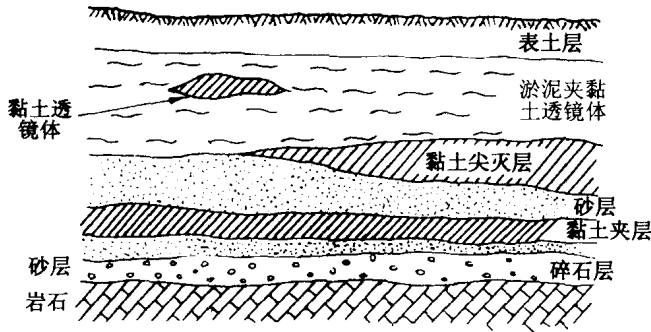


图 1-1

(三) 冲积土——岩石风化后形成的土经河流搬运而沉积于河床坡度比较平缓的地段,通常称其沉积层为冲积土。由于河流将原来带有棱角的土粒经过长距离的滚磨,所以冲积土中以圆形土粒居多,如圆砾、卵石等。

(四) 湖泊沉积土——湖泊四周岩石风化后的土经湖水涨落而缓慢地被带到湖底低洼处所形成的土层称为湖泊沉积土。一般来说,靠近湖岸处沉积土的粒径较大,而湖底中部沉积土的颗粒细小。另外,湖底中心处还存在有机物质,因此形成不仅含水量高、压缩性大而且强度低的软土。

除上述几种运积土外,还有冰川、海洋和风力等搬运作用所形成的沉积土,见有关文献。

二、非岩石地基土的组成

非岩石地基通常由土粒(固体)、水(液体)和空气(气体)组成。这三种物质的性质、相对含量以及他们的相互作用,会影响土的轻重、松密、干湿、软硬等物理性质,也就影响土的力学性能。

(一) 土粒

《铁路桥涵地基和基础设计规范》按土粒的大小所作土颗粒的分类可见表 1-11。

非岩石地基通常由不同土粒组混杂组成。对于主要由粒径大于 0.1 mm 的土粒组成的土,当其中某一土粒组占优势(指所含土粒质量而言,但实际上按土粒的干燥重量计算)时,整个土便主要反映该土粒组的土粒性质;而当土中粒径小于 0.1 mm 的土粒含量占全部土中土粒(指所含土粒的质量而言,但实际上按土粒的重量计算)的 25% 以上时(或粉粒、黏土粒含量占 15% 以上时),则呈现黏性土的特性。《地基基础规范》按土中占优势的土粒组规定土的名称,见表 1-12、表 1-13。注意,在按这两个表确定土名时,应根据土粒粒径分组,由大粒径到小粒径,以最先符合这两个表所述者来确定。

非岩石地基土按颗粒分类 表 1-11

土颗粒分类	粒径(mm)	一般特性
漂石(浑圆或圆棱)或块石(尖棱)	大	大于 800
	中	800~400
	小	400~200
卵石(浑圆或圆棱)或碎石(尖棱)	大	200~60
	中	60~40
	小	40~20
圆砾(浑圆或圆棱)或角砾(尖棱)	大	20~10
	中	10~5
	小	5~2
砂粒	粗	2~0.5
	中	0.5~0.25
	细	0.25~0.05
粉粒	0.05~0.005	透水性小,毛细水上升高度大且较快,湿润时能出现微黏性,遇水膨胀轻微,干燥收缩不多
黏土粒	小于 0.005	几乎不透水,潮湿时呈可塑性和黏性,遇水膨胀和干燥收缩现象均较明显,压缩性大,毛细水上升高度大,但很慢

碎石土的名称 表 1-12

土名	颗粒形状	土的颗粒级配
漂石	浑圆或圆棱状为主	粒径大于 200 mm 的颗粒超过全重 50%
块石	尖棱状为主	

续上表

土名	颗粒形状	土的颗粒级配
卵石	浑圆或圆棱状为主	粒径大于 20 mm 的颗粒超过全重 50%
碎石	尖棱状为主	
圆砾	浑圆或圆棱状为主	粒径大于 2 mm 的颗粒超过全重 50%
角砾	尖棱状为主	

砂土的名称 表 1-13

土名	土的颗粒级配
砾砂	粒径大于 2 mm 的颗粒为全重 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5 mm 的颗粒超过全重 50%
中砂	粒径大于 0.25 mm 的颗粒超过全重 50%
细砂	粒径大于 0.1 mm 的颗粒超过全重 75%
粉砂	粒径大于 0.1 mm 的颗粒少于全重 75%

非岩地基中土粒组的相对含量(指土粒的质量而言,但实际上按土粒的干燥重量的百分数计)称为土的颗粒级配,这种级配的好坏不但影响土的密实度,还影响土的强度、透水性和压缩性。

分析土的颗粒级配时,先确定各种粒径的土粒重量占土的总重量的百分比;通常对于粒径大于 0.1 mm 的土粒采用筛分法来确定,对于粒径小于 0.1 mm 的土粒采用比重计法(又称沉淀法)来确定,见有关文献。根据土的颗粒分析结果绘出颗粒级配曲线,如图 1-2 所示。图中的竖坐标表示小于某粒径的土粒重量占土的总重量的百分比,横坐标表示粒径。当级配曲线平缓如图 1-2 中的曲线 1 时,说明土中各种大、小的土粒都有,颗粒不均匀,大颗粒之间的孔隙为细颗粒所填充,因而土的密度较大,强度较高,透水性和压缩性较小,这就表示其颗粒级配好。反之,当级配曲线较陡如图 1-2 中的曲线 2 时,则说明土颗粒的大小比较均匀,也就表示其级配不好。通常用下列不均匀系数 C_u 衡量颗粒级配的好坏:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

式中 d_{60} ——称为限定粒径,土中小于该粒径的颗粒占土的总重的 60%;

d_{10} ——称为有效粒径,土中小于该粒径的颗粒占土的总重的 10%。

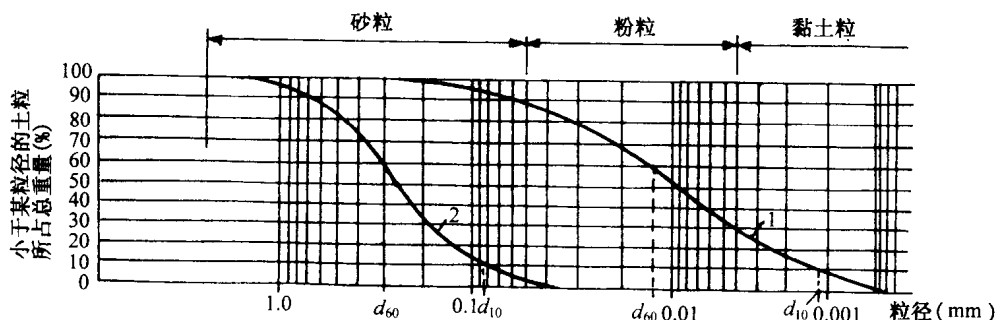


图 1-2

C_u 值愈大,级配曲线就愈平缓,表示颗粒级配较好;反之, C_u 值愈小,级配曲线就愈陡,表示颗粒级配较差。一般将 $C_u > 10$ 的土看作级配良好,而 $C_u < 5$ 的土看作级配很差。

(二) 土中的水

通常,天然土中土粒之间的孔隙内存在水,这种水根据土粒对其有无吸附力作用,又分为结合水和自由水:

1. 结合水——这是因受土粒吸附力作用附于土粒表面上的水,其中直接位于土粒四周的部分称为附着水,它对土的性质影响较小,而位于附着水外面的部分称为薄膜水,它距土粒表面愈远受土粒的吸附力作用就愈小,距土粒表面更远处,则为不受土粒的吸附作用的自由水。薄膜水呈现黏滞性,黏性土中土粒四周的薄膜水较厚,薄膜水不仅影响黏性土的黏性,而且还影响其塑性和压实性。通常认为砂土不存在薄膜水。

2. 自由水——这是土中位于土粒吸附作用影响范围之外的水,其物理性质与普通水相同。位于地下水位以下土粒之间的自由水会因其自身重力作用在

土粒之间移动,所以通常又称自由水为重力水。自由水能传递静水压力,如对土粒产生浮力。自由水对土中的应力以及施工防排水有影响。由于土粒之间孔隙内存在水面表面张力,以致使地下水位以下的自由水沿土粒之间的微小孔隙上升到地下水位以上,这就是通常所说位于地下水位以上的土粒之间存在的毛细水。一般认为粒径大于 2 mm 的土,如漂石、块石、卵石、碎石、圆砾、角砾等,不存在毛细水。毛细水的上升高度,对于砂土不超过 2 m,对于黏性土可达 5~6 m。毛细水对地基的稳定、土坡的稳定以及地基的冻胀等有影响。

(三) 土中的气体

一般来说,土中与大气相通的自由气体对土的性质没有影响,但封闭于土中的气体会增大土的弹性和压缩性,减小土的透水性,黏性土往往出现这种现象。对于含有分解的有机物质的淤泥和泥炭之类软弱土,由于存在微生物作用,从而其内部产生气体,通常因为土中的气体排不出去,所以在其自身重力作用下长期得不到压密,形成高压缩性土,这类土对于桥涵是非常不利的。

三、非岩石地基土的物理性质

(一) 非岩石地基土的一般物理性质指标

用于表达地基土中的土粒、水和空气的组成比例关系的指标称为地基土的物理性质指标,这种指标可以反映地基土的松密、干湿、软硬等物理特性。

为便于说明,将地基土土体划分为土粒、水和空气三部分,如图 1-3 所示。该图中 V 表示土体的总体积 (m^3), V_s 为土体中的土粒体积 (m^3), V_v 为土体中的孔隙体积 (m^3), V_w 为土体中水所占体积 (m^3), V_a 为土体中空气所占体积 (m^3), W 为土体的总重量 (kN), W_s 为土体中的土粒重量 (kN), W_w 为土体中的水重量 (kN), W_a 为土体中的空气重量 (kN), 通常 W_a 可忽略不计。

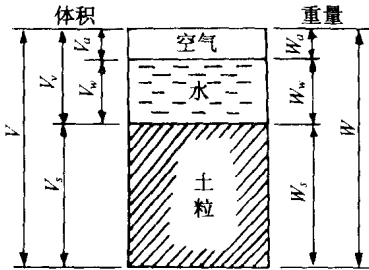


图 1-3

土的物理性质指标的表达式:

1. 土的密度 ρ ——天然状态下土体单位体积的质量 (t/m^3 、 kg/m^3 或 g/cm^3); 用下式表示:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

式中 M 为土体体积 V 中的质量。

2. 土的天然容重 γ (又称容重或重度)——天然状态下土体单位体积的重量 (kN/m^3); 用下式表示:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (1-2)$$

或

$$\gamma = \rho g \quad (1-3)$$

式中 W ——天然状态下土体 V 的重量;

g ——重力加速度 (m/s^2)。

3. 土的饱和容重 γ_{sat} ——土中全部孔隙充满水时土体 V 的单位体积的重量 (kN/m^3); 用下式表示:

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V} \quad (1-4)$$

式中 γ_w ——水 (4°C) 的容重 (重度), 一般可近似采用 $10 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。

4. 土的浮容重 (浮重度) γ' ——水下土受到水浮力作用时, 单位体积土的重量 (kN/m^3); 用下式表示:

$$\begin{aligned} \gamma' &= \frac{W_s - V_v \gamma_w}{V} \\ &= \frac{W_s - (V - V_s) \gamma_w}{V} = \frac{W_s + V_s \gamma_w - V \gamma_w}{V} \\ &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \end{aligned} \quad (1-5)$$

5. 土的干容重 (干重度) γ_d ——干土单位体积的重量 (kN/m^3); 用下式表示:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (1-6)$$

γ_d 愈大, 表示土愈密实。

6. 土粒的密度 ρ_s ——土体单位体积中土粒的质量 (t/m^3 或 kg/m^3); 用下式表示:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (1-7)$$

式中 M_s ——土粒体积 V_s 中的土粒质量。

7. 土粒的容重 (重度) γ_s ——土体单位体积中土粒的重量 (kN/m^3); 用下式表示:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (1-8)$$

或

$$\gamma_s = \rho_s g \quad (1-9)$$

8. 土粒的比重 G ——土体中土粒的重量 (或密度) 与土粒同体积的 4°C 水的重量 (或密度) 之比值, 用下式表示:

$$G = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-10)$$

G 为一纯量。上式中 γ_w 和 ρ_w 分别为水在 4°C 时的容重和密度。

9. 天然含水率 w_n ——天然状态下, 土体中水的重量与土粒的重量之比, 以 % 表达; 用下式表示:

$$w_n = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1-11)$$

水的含水量增大时, 土强度降低。

10. 土的饱和度 S_r ——土中孔隙充水的程度, 用下式表示:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (1-12)$$

上面诸指标中的 γ 、 γ_s 和 w_n 为土的基本物理性质指标, 它们应由试验直接测定。

(二) 由土的基本物理性质指标 γ 、 γ_s 和 w_n 求算土的其他物理性质指标

根据试验直接测定的土的基本物理性质指标 γ 、 γ_s 和 w_n 也可利用前面诸式求算土的其他物理性质指标。从上述土的基本物理性质指标计算看出其计算结果与所取土体体积 (或重量) 的大小无关, 因此可以假设土粒体积 $V_s = 1$, 于是由土体中孔隙体积 V_v 与土粒体积 V_s 之比 (即孔隙比) $e = \frac{V_v}{V_s}$ 得土体的孔隙体积 $V_v = eV_s = e$, 土体的总体积 $V = V_s + V_v = 1 + e$, 为了使用方便用图 1-4 表示。

根据 (1-8) 式, 得图 1-4 中的 $W_s = \gamma_s$, 根据 (1-11) 式, 得图 1-4 中的 $W_w = w_n W_s = w_n \gamma_s$, 图 1-4 中的 $W = W_s + W_w = \gamma_s (1 + w_n)$; 根据 (1-2) 式, 得图 1-4 中的 $V = \frac{W}{\gamma} = \frac{\gamma_s (1 + w_n)}{\gamma}$ 及 $V_v = V - V_s = \frac{\gamma_s (1 + w_n)}{\gamma} - 1$; 根据 $\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$, 得 $V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w_n \gamma_s}{\gamma_w}$ 。注意土的孔隙比 e 不能直接测定, 而由实测的 γ 、 γ_s 和 w_n 三个基本物理特性指标, 用 $e = V_v = \frac{\gamma_s (1 + w_n)}{\gamma} - 1$ 求得。于是

非岩石地基土的物理性质指标

表 1-14

指标名称	符号	表 达 式			单 位	公 式	由基本指标 γ, γ_s 和 w_n 求算土的物理性质指标的公式			备 注
		公 式	公式编号	单 位			公 式	公式编号	单 位	
天然容重 (又称容重 或重度)	γ	$\gamma = \frac{W}{V}$	(1-2)	kN/m ³						γ, γ_s 和 w_n 为土的基本物理性质指标, 由试验直接测定
土粒容重 (重度)	γ_s	$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$	(1-8)	kN/m ³						
天然含水率	w_n	$w_n = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	(1-11)	%						
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100$	(1-18)	%		$n = \frac{e}{1+e} \times 100$	(1-18)			公式中的 γ_s 亦可由 $G\gamma_w$ 代替
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	—	—		$e = \frac{\gamma_s(1+w_n)}{\gamma} - 1$ 或 $e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$ 或 $e = \frac{n}{1-n}$	—			
饱和容重 (饱和重度)	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}$	(1-4)	kN/m ³		$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1+e}$	(1-13)			
浮容重 (浮重度)	γ'	$\gamma' = \frac{W_s - V_v \gamma_w}{V}$	(1-5)	kN/m ³		$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}$ 或 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$	(1-14) (1-14)'			
干容重 (干重度)	γ_d	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$	(1-6)	kN/m ³		$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w_n}$ 或 $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$	(1-15) (1-16)			
土的密度	ρ	$\rho = \frac{M}{V}$	(1-1)	t/m ³ , kg/m ³ 或 g/cm ³						
土粒的密度	ρ_s	$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$	(1-7)	t/m ³ 或 kg/m ³						
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \leq 1$ 范围 $0 \leq S_r \leq 1$	(1-12)	—		$S_r = \frac{\gamma_w w_n}{e\gamma_w} = \frac{Gw_n}{e}$	(1-17)			S_r 往往以百分数表示: $S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$ 范围 $0\% \leq S_r \leq 100\%$
土粒比重	G	$G = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$	(1-10)	—		$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$	(1-10)			

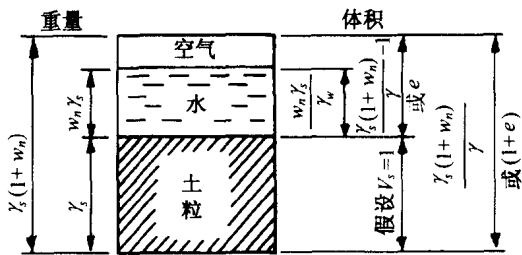


图 1-4

1. 土的饱和容重 γ_{sat} :

由(1-4)式,得

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1+e} \quad (1-13)$$

2. 土的浮容重 γ' :

由(1-5)式,得

$$\gamma' = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1+e} - \gamma_w = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e} \quad (1-14)$$

或

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (1-14)'$$

3. 土的干容重 γ_d :

由(1-6)式,得

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{\gamma_s(1+w_n)} = \frac{\gamma}{1+w_n} \quad (1-15)$$

由(1-6)式,又可得

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} \quad (1-16)$$

4. 土的饱和度 S_r :

由(1-12)式得

$$S_r = \frac{\gamma_s w_n}{e\gamma_w} \quad (1-17)$$

5. 孔隙率 n ——土体中孔隙体积与土体总体积之比,以%表达:

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 = \frac{e}{1+e} \times 100 \quad (1-18)$$

(1-13)式和(1-14)式中的 γ_w 一般可近似采取为 10 kN/m^3 。

关于土的物理性质指标的表达式和根据土的基本物理性质指标 γ 、 γ_s 和 w_n 求算土的物理性质指标的公式见表 1-14。

(三) 砂土、黏性土和碎石土的分类及其物理性质指标 (见表 1-15~表 1-22)

砂土和黏性土的分类及其物理性质指标

表 1-15

土类	孔隙比 e	天然含水率 w_n (%)	天然容重 (天然重度) γ (kN/m ³)	土粒容重 (土粒重度) γ_s (kN/m ³)	饱和容重 (饱和重度) γ_{sat} (kN/m ³)	浮容重 (浮重度) γ' (kN/m ³)	干容重 (干重度) γ_d (kN/m ³)	饱和度 S_r	土粒比重 G	
砂土	粗砂	0.4~0.5	15~18	20.5	26~26.4				2.66	
		0.5~0.6	19~22	19.5						
		0.6~0.7	23~25	19.0						
	中砂	0.4~0.5	15~18	20.5						
		0.5~0.6	19~22	19.5						
		0.6~0.7	23~25	19.0						
细砂	0.4~0.5	15~18	20.5							
	0.5~0.6	19~22	19.5							
	0.6~0.7	23~25	19.0							
粉砂	0.5~0.6	15~18	20.5							
	0.6~0.7	19~22	19.5							
	0.7~0.8	23~25	16.0							
黏性土	粉质黏砂土	0.4~0.5	15~18	21.0	26.5~26.6	18~23	8~13	13~18	0~100%	2.70
		0.5~0.6	19~22	20.0						
		0.6~0.7	23~25	19.5						
	黏砂土	0.4~0.5	15~18	21.0						
		0.5~0.6	19~22	20.0						
		0.6~0.7	23~25	19.5						
砂黏土	0.4~0.5	15~18	21.0	26.7~26.8					2.71	
	0.5~0.6	19~22	20.0							
	0.6~0.7	23~25	19.5							
	0.7~0.8	26~29	19.0							
	0.8~0.9	30~34	18.5							
0.9~1.0	35~40	18.0								

续上表

土类		孔隙比 e	天然含水率 w_n (%)	天然容重 (天然重度) γ (kN/m ³)	土粒容重 (土粒重度) γ_s (kN/m ³)	饱和容重 (饱和重度) γ_{sat} (kN/m ³)	浮容重 (浮重度) γ' (kN/m ³)	干容重 (干重度) γ_d (kN/m ³)	饱和度 S_r	土粒比重 G
黏性土	砂黏土	0.6~0.7	23~25	19.5	26.7~26.8	18~23	8~13	13~18	0~100%	2.71
		0.7~0.8	26~29	19.0						
	0.8~0.9	30~34	18.5							
	0.9~1.0	35~40	18.0							
黏土		0.7~0.8	26~29	19.0	26.9~27.1					
		0.8~0.9	30~34	18.5						
	0.9~1.0	35~40	17.5							
	0.8~0.9	30~34	18.5							
		0.9~1.1	35~40	17.5						

砂土和碎石土均为无黏性的散粒土。

土的密实度对砂土和碎石土的工程性质(主要指地基承载力)具有很大的影响。确定土的密实程度的方法有多种,可根据具体情况采用,也可采用多种方法互相对照判定。土的天然孔隙比可以体现土的密实程度,但通常认为以采用下式所示的相对密度 D_r 来判别砂土的密实程度为好:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (1-19)$$

式中 e_{max} —— 土在最松散状态时的孔隙比,或称最大孔隙比;

e_{min} —— 土在最密实状态时的孔隙比,或称最小孔隙比;

e —— 土在天然状态时的孔隙比,即天然孔隙比。

当 $D_r=0$ 时,表示土处于最松状态;当 $D_r=1$ 时,表示土处于最密实状态。

《铁路桥涵地基和基础设计规范》按表 1-16 用相对密度 D_r 划分砂土的密实程度。

由于实际工作中不易准确确定出砂土的 e_{max} 、 e_{min} 和 e ,特别是地下水位以下的砂土,要取原状土样是困难的。因此,实际工程中多采用标准贯入试验来判断砂土的密实程度。所谓标准贯入试验是先用钻具钻至试验土层高程以上约 150 mm 处,然后将标准贯入器换装于钻杆的下端,用 0.635 kN 的穿心锤以 760

mm 的落距把标准贯入器竖直打入土中 150 mm (此时不计锤击数),以后再打入土内 300 mm,并记录打入此 300 mm 所需的锤击数 $N_{63.5}$ 。当 $N_{63.5}$ 愈大时表示土愈密实,反之,则表示土愈松散,见表 1-16。关于标准贯入试验要点可见本书第六章第五节所述。

砂土密实程度的划分 表 1-16

分 级	相对密度 D_r	标准贯入锤击数 $N_{63.5}$
密 实	$D_r \geq 0.67$	30~50
中 密	$0.67 > D_r > 0.33$	10~29
松 散	稍松	$0.33 \geq D_r \geq 0.2$
	极松	$D_r < 0.2$

对于碎石土(漂石、块石、卵石、碎石、圆砾、角砾),密实度无疑也是确定其工程性质的重要指标,但这类土很难进行室内试验和贯入试验,所以对于这类土,《铁路桥涵地基和基础设计规范》规定按表 1-17 所述凭经验野外鉴定其密实程度。

土的潮湿程度对砂土的工程性质有影响,而对碎石土一般没有影响。对于砂土和碎石土的潮湿程度,《铁路桥涵地基和基础设计规范》规定用饱和度 S_r 按表 1-18 划分。

碎石土密实程度的划分

表 1-17

密实程度	骨架和充填物	天然坡和开挖情况	钻探情况
密 实	骨架颗粒交错紧贴,孔隙填满密实	天然陡坡较稳定,坎下堆积物较少。镐挖掘困难,用撬棍方能松动,坑壁稳定,从坑壁取出大颗粒处,能保持凹面形状	钻进困难,冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动剧烈,孔壁较稳定
中 密	骨架颗粒疏密不均,部分不连续,孔隙填满,但不甚密实	天然坡不易陡立,在陡坎下堆积物较多,但大于粗颗粒的安息角。镐可挖掘,坑壁有掉块现象。从坑壁取出大颗粒后,砂土不易保持凹面形状	钻进较难,冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动不剧烈,孔壁有坍塌现象
松 散	多数骨架颗粒不接触,而被充填物包裹,充填物松散	不能形成陡坎,天然坡接近于粗颗粒的安息角,锹可以挖掘,坑壁易坍塌,从坑壁取出大颗粒后,砂土即塌落	钻进较容易,冲击钻探时,钻杆稍有跳动,孔壁易坍塌

砂土和黏性土的塑限 w_p 、变形模量 E_0 、内摩擦角 ϕ 和黏聚力 C 的常见值 表 1-19

地基土的种 类		孔隙比 e	天然含水率(%) w_n	塑限含水率(%) w_p	变形模量(MPa) E_0	内摩擦角($^\circ$) ϕ	黏聚力(kPa) C	
砂	粗 砂	0.4~0.5	15~18	—	46	42	0	
		0.5~0.6	19~22	—	40	40	0	
		0.6~0.7	23~25	—	33	38	0	
	中 砂	0.4~0.5	15~18	—	46	40	0	
		0.5~0.6	19~22	—	40	38	0	
		0.6~0.7	23~25	—	33	35	0	
	细 砂	0.4~0.5	15~18	—	37	38	0	
		0.5~0.6	19~22	—	28	36	0	
		0.6~0.7	23~25	—	24	32	0	
		粉 砂	0.5~0.6	15~18	—	14	36	5
			0.6~0.7	19~22	—	12	34	3
			0.7~0.8	23~25	—	10	28	2
黏 性 土	黏砂土	0.4~0.5	15~18	9.5~12.4	23	25	7	
		0.5~0.6	19~22	9.5~12.4	16	24	5	
		0.6~0.7	23~25	9.5~12.4	13	23	3	
	砂黏土	0.4~0.5	15~18	12.5~15.4	45	24	25	
		0.5~0.6	19~22	12.5~15.4	21	23	15	
		0.6~0.7	23~25	12.5~15.4	15	22	10	
		0.7~0.8	26~29	12.5~15.4	12	21	5	
		0.5~0.6	19~22	15.5~18.4	39	22	35	
		0.6~0.7	23~25	15.5~18.4	18	21	15	
		0.7~0.8	26~29	15.5~18.4	15	20	10	
		0.8~0.9	30~34	15.5~18.4	13	19	8	
		0.9~1.0	35~40	15.5~18.4	8	18	5	
		0.6~0.7	23~25	18.5~22.4	33	20	40	
		0.7~0.8	26~29	18.5~22.4	19	19	25	
		0.8~0.9	30~34	18.5~22.4	13	18	20	
	0.9~1.0	35~40	18.5~22.4	9	17	10		
	黏 土	0.7~0.8	26~29	22.5~26.4	28	18	60	
		0.8~0.9	30~34	22.5~26.4	16	17	30	
		0.9~1.0	35~40	22.5~26.4	11	16	25	
		0.8~1.1	30~34	26.5~30.4	24	16	65	
		0.9~1.1	35~40	26.5~30.4	14	15	35	

注：1. 表中粗砂和中砂的 E_0 值为土的不均匀系数 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 3$ 时的变形模量值，随 C_u 增大，可考虑酌情加大。

2. 当采用 (3-16) 式、(3-17) 式、(6-8) 式和 (6-9) 式检算基础侧面土的横向压应力时，本表中内摩擦角 ϕ 的值考虑减小 10%，且其减小值不小于 2° 。