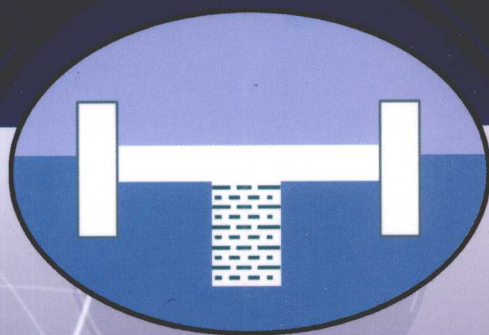


水利水电工程质量检测人员
从业资格考试培训系列教材

中国水利工程协会 主 编
丁 凯 曹征齐

岩土工程类 (地基与基础)

YANTU GONGCHENG LEI



黄河水利出版社

水利水电工程质量检测人员
从业资格考试培训系列教材

岩土工程类

(地基与基础)

中国水利工程协会 主编
丁 凯 曹征齐

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本书共分六章,主要内容包括地基承载力、地基原位测试、地基处理及质量检验、基桩检测、防渗墙(截渗墙)质量检测、锚杆(索)、土钉检测。主要作为水利水电工程质量检测人员从业资格注册的考核培训专用教材,也可作为大专院校相关专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程类. 地基与基础/中国水利工程协会主编.
郑州:黄河水利出版社,2008.12
(水利水电工程质量检测人员从业资格考核培训系列教材)
ISBN 978-7-80734-563-3

I. 岩… II. 中… III. ①地基-技术培训-教材②基础(工程)-技术培训-教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 213947 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:22.75

字数:525 千字

印数:1—2 000

版次:2008 年 12 月第 1 版

印次:2008 年 12 月第 1 次印刷

定价:96.00 元

水利水电工程质量检测人员
从业资格考试培训系列教材
岩土工程类(地基与基础)

编写单位及人员

主持单位 中国水利工程协会
编写单位 北京海天恒信水利工程检测评价有限公司
黄河水利委员会基本建设工程质量检测中心
中国地质大学(北京)
黄河水利委员会黄河水利科学研究院
河南建筑科学研究院有限责任公司
中国核工业勘察研究院
河南省济源市水利局

主 编 丁 凯 曹征齐
编 写 (以姓氏笔画为序)
丁 凯 孙进忠 兰 雁 刘君利
冷元宝 冷 凝 沈细中 张清明
周 杨 郭宝霞 赵海参

统 稿 冷元宝 孙进忠 郭宝霞
工作人员 王龙照 陶虹伟 邵德敏 刘洪斌

序

水利水电工程的质量关系到人民生命财产的安危,关系到国民经济的发展和社会稳定,关系到工程寿命和效益的发挥,确保水利水电工程建设质量意义重大。

工程质量检测是水利水电工程质量保证体系中的关键技术环节,是质量监督和监理的重要手段,检测成果是质量改进的依据,是工程质量评定、工程安全评价与鉴定、工程验收的依据,也是质量纠纷评判、质量事故处理的依据。尤其在急难险重工程的评价、鉴定和应急处理中,工程质量检测工作更起着不可替代的重要作用。如近年来在全国范围内开展的病险水库除险加固中对工程病险等级和加固质量的正确评价,在今年汶川特大地震水利抗震救灾中对震损水工程应急处置及时得当,都得益于工程质量检测提供了重要的检测数据和科学评价意见。实际工作中,工程质量检测为有效提高水工程安全运行保证率,最大限度地保护人民群众生命财产安全,起到了关键作用,功不可没!

工程质量检测具有科学性、公正性、时效性和执法性。

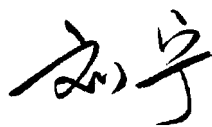
检测机构对检测成果负有法律责任。检测人员是检测的主体,其理论基础、技术水平、职业道德和法律意识直接关系到检测成果的客观公正。因此,检测人员的素质是保证检测质量的前提条件,也是检测机构业务水平的重要体现。

为了规范水利水电工程质量检测工作,水利部于2008年11月颁发了经过修订的《水利工程质量检测管理规定》。为加强水利水电工程质量检测人员管理,中国水利工程协会根据《水利工程质量

检测管理规定》制定了《水利工程质量检测员管理办法》，明确要求从事水利水电工程质量检测的人员必须经过相应的培训、考核、注册，持证上岗。

为切实做好水利水电工程质量检测人员的考核培训工作，由中国水利工程协会主持，北京海天恒信水利工程检测评价有限公司组织一批国内多年从事检测、试验工作经验丰富的专家、学者，克服诸多困难，在水利水电行业中率先编写成了这一套系列教材。这是一项重要举措，是水利水电行业贯彻落实科学发展观，以人为本，安全至上，质量第一的具体行动。本书集成提出的检测方法、评价标准、培训要求等具有较强的针对性和实用性，符合工程建设管理要求和社会实际需求；该教材内容系统、翔实，为开展质量检测人员从业资格考核培训工作奠定了坚实的基础。

我坚信，随着质量检测人员考核培训的广泛、有序开展，广大水利水电工程质量检测从业人员的能力与素质将不断提高，水利水电工程质量检测工作必将更加规范、健康地推进和发展，从而为保证水利水电工程质量、建设更多的优质工程、促进行业技术进步发挥巨大的作用。故乐为之序，以求证作者和读者。



2008 年 11 月 28 日

前 言

随着我国水利水电事业的蓬勃发展、众多水利水电工程的兴建,工程的质量与安全问题越来越受到国家和社会的广泛关注,质量检测工作也日益得到重视。水利水电工程的质量检测工作是保证工程质量与安全的重要措施,是工程建设、运行过程中的重要环节,而水利水电工程质量检测人员的职业道德和业务素质则是保证质量检测工作科学和公正的前提条件。为加强水利水电工程质量检测管理,规范质量检测行为,2008年11月水利部第36号令颁布了《水利工程质量检测管理规定》(以下简称《规定》),自2009年1月1日起施行。中国水利工程协会随即颁发了《水利工程质量检测员管理办法》(以下简称《办法》)也将同步施行。

《规定》中明确要求从事水利工程质量检测的单位,应当按照本规定取得相应资质,并在资质等级许可的范围内承担质量检测业务。水利工程质量检测单位资质分为岩土工程、混凝土工程、金属结构、机械电气和量测共5个类别,每个类别分为甲级、乙级2个等级。《规定》和《办法》中还明确要求从事水利水电工程质量检测的专业技术人员,应当具备相应的质量检测知识和能力,按照行业自律管理的要求,必须经过中国水利工程协会统一组织的从业资格考试合格、注册,持证上岗。

为了使质量检测人员系统地掌握相关专业知识和能力,由中国水利工程协会主持,北京海天恒信水利工程检测评价有限公司组织国内多年从事工程质量检测试验工作的一批专家学者,编写了《水利水电工程质量检测人员从业资格考试培训系列教材》,作为水利水电工程质量检测人员从业资格注册的考核培训专用教材,也可作为大专院校相关专业的教材或参考书。

本系列教材的编写历经三年多的时间,部分类别教材,如混凝土工程类、岩土工程类(岩石、土工、土工合成材料)及量测类等,已经过实际试讲与反复修改,是诸位专家学者结合自己多年的实践经

验,在相应的规程规范基础上编写而成的。教材全面介绍了相应专业类别的各种检测试验方法,并指出了质量检测过程中的重点、难点、关键点,与相应的规程规范配合使用,是从事水利水电工程质量检测试验人员指导实际工作的工具书。教材部分内容还前瞻性的涉及某些专业领域质量检测方法技术的研究前沿和发展方向。

本系列教材按检测单位资质的分类,并考虑到内容与篇幅,将分类分册陆续编写出版,暂分为以下各册:质量检测工作基础知识、混凝土工程类、岩土工程类(岩石、土工、土工合成材料)、岩土工程类(地基与基础)、量测类、金属结构类(制造与安装)、金属结构类(无损检测)、机械电气类。

本系列教材在编写过程中,得到了水利水电行业有关部门领导和单位的重视与关怀,尤其是得到了编写人员所在单位的支持与帮助,在此一并表示感谢!

受编写人员水平所限,教材中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正,以便改进。

编 者

2008 年 11 月 28 日

目 录

序	刘宁
前 言	
第一章 地基承载力	(1)
第一节 地基土的破坏形式	(1)
第二节 按塑性开展深度确定地基承载力	(3)
第三节 地基极限承载力的确定	(5)
第四节 按规范表格确定地基承载力	(8)
第二章 地基原位测试	(11)
第一节 概 述	(11)
第二节 土体原位密度试验	(14)
第三节 土体原位渗透试验	(22)
第四节 土体原位冻胀量试验	(25)
第五节 原位冻土融化压缩试验	(27)
第六节 原位土体剪切试验	(30)
第七节 十字板剪切试验	(35)
第八节 静力载荷试验	(40)
第九节 静力触探试验	(47)
第十节 圆锥动力触探试验	(50)
第十一节 标准贯入试验	(59)
第十二节 旁压试验	(69)
第十三节 波速测试	(79)
第十四节 压(注)水试验	(88)
第三章 地基处理及质量检验	(97)
第一节 概 述	(97)
第二节 碾压法与夯实法	(99)
第三节 换土垫层法	(102)
第四节 排水固结预压法	(104)
第五节 挤密法和振冲法	(107)
第六节 高压喷射注浆法与水泥土搅拌法	(109)
第七节 其他地基处理方法	(112)
第八节 复合地基载荷试验	(113)
第四章 桩基检测	(115)
第一节 桩的基础知识	(115)

第二节	基桩检测概论	(126)
第三节	基桩动测的基本理论	(135)
第四节	桩身完整性检测	(149)
第五节	单桩承载力试验	(201)
第五章	防渗墙(截渗墙)质量检测	(251)
第一节	防渗墙施工技术	(251)
第二节	防渗墙质量检测	(266)
第三节	工程实例	(284)
第六章	锚杆(索)、土钉检测	(297)
第一节	概 述	(297)
第二节	拉拔试验	(312)
第三节	锚固质量无损检测技术	(326)
参考文献		(349)

第一章 地基承载力

第一节 地基土的破坏形式

在建筑物荷载作用下,因地基土的破坏而导致上部结构的破坏形式有两种:一是地基土在建筑物荷载作用下产生过大的沉降量或沉降差,致使上部结构开裂、倾斜;二是地基土在建筑物荷载作用下产生剪切破坏,导致上部结构毁坏。

地基承载力是指地基土单位面积上承受荷载的能力。

通过对现场载荷试验 $p-s$ 曲线的分析,可以了解地基破坏的机理。地基土破坏的结果表明,地基土丧失承载能力是由于基底以下土层在外载作用下发生剪切破坏所致。

一、地基的主要破坏形式

根据土质的差异,地基土的破坏形式一般分为整体剪切破坏、局部剪切破坏和冲剪破坏三种,如图 1-1 所示。

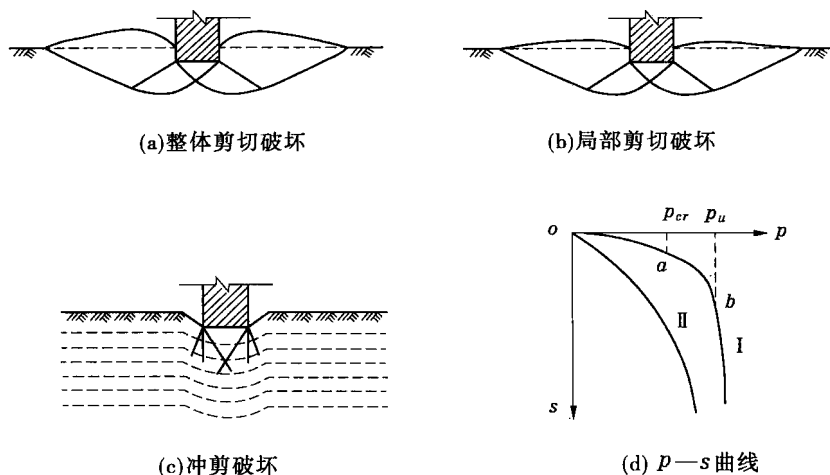


图 1-1 地基破坏形式

(一) 整体剪切破坏

图 1-1(a)为整体剪切破坏的特征。当地基荷载(基底压力)较小时,基础下形成一个三角区,随同基础压入土中,荷载沉降 $p-s$ 曲线呈直线关系。随着荷载的增加,塑性变形(即剪切破坏)区先在基础底面边缘处产生,然后逐渐向侧面、向下扩展,这时基础的沉降速率较前一阶段增大,故 $p-s$ 曲线表现为明显的曲线特征。最后,当 $p-s$ 曲线出现明显的陡降段(转折点 p_u 后阶段)时,地基土形成连续的滑动面,并延伸到地表面。土从基础

两侧挤出,并造成基础侧面隆起,基础沉降速率急剧增加,整个地基产生失稳破坏。对于压缩性较小的地基,如密实的砂类土和较坚硬的黏性土,且当基础埋置较浅时,常常会出现整体剪切破坏。

(二)局部剪切破坏

图 1-1(b)所示为局部剪切破坏。随着荷载的增加,塑性变形区同样从基础底面边缘处开始发展,但仅仅局限于地基一定范围内,土体中形成一定的滑动面,但并不延伸至地表面,如图 1-1(b)中虚线表示。地基失稳时,基础两侧地面微微隆起,没有出现明显的裂缝。其相应的 $p-s$ 曲线,直线拐点 a 不像整体剪切破坏那么明显,曲线转折点 b 后的沉降速率虽然较前一阶段加大,但不如整体剪切破坏那样急剧增加。当基础有一定埋深,且地基为一般黏性土或具有一定压缩性的砂土时,地基可能会出现局部剪切破坏。

(三)冲剪破坏

冲剪破坏也称刺入破坏。这种破坏形式常发生在饱和软黏土、松散的粉土、细砂等地基中。其破坏特征是基础周边附近土体产生剪切破坏,基础沿周边向下切入土中。图 1-1(c)表明,只在基础边缘下及基础正下方出现滑动面,基础两侧地面无隆起现象,在基础周边还会出现凹陷现象。相应的 $p-s$ 曲线无明显的直线拐点 a ,也没有明显的曲线转折点 b 。总之,冲剪破坏以显著的基础沉降为主要特征。

应该说明的是,地基出现哪种破坏形式的影响因素是很复杂的,除了与地基土的性质、基础埋置深度有关外,还与加载方式和速率应力水平及基础的形状等因素有关。如对于密实砂土地基,当基础埋置深度较大,并快速加载时,也会发生局部剪切破坏。而当基础埋置很深,作用荷载很大时,密实砂土地基也会产生较大的压缩变形而出现冲剪破坏。在软黏土地基中,当加荷速度很快时,由于土体不能及时产生压缩变形,就可能会发生整体剪切破坏。如果地基中存在深厚软黏土,厚度又严重不均匀,且一次性加载过大,则会发生严重不均匀沉降,致使建筑物倾斜(倒),如有名的加拿大特朗斯康谷仓倾倒,以及意大利比萨斜塔的倾斜等。

二、地基的破坏过程

由地基破坏过程中的荷载沉降 $p-s$ 曲线(见图 1-2)可知,地基无论以哪种形式失稳破坏,破坏的过程一般应经历 3 个阶段,即压密阶段(弹性变形阶段)、剪切阶段(弹塑性混合变形阶段)和破坏阶段(完全塑性变形阶段)。

(一)压密阶段

$p-s$ 曲线上的 oa 段,因其接近于直线,称为线性变形阶段。在这一阶段,土中各点的剪应力均小于土的抗剪强度,土体处于弹性平衡状态,基础的沉降主要由土体压密变形引起(见图 1-2(a))。此时将 $p-s$ 曲线上对应于直线段(弹性变形)结束点 a 的荷载称为临塑荷载 p_{cr} (见图 1-2(d)),它表示基础底面以下的地基土体将要出现而尚未出现塑性变形区时的基底压力(界限荷载)。

(二)剪切阶段

$p-s$ 曲线上的 ab 阶段称为剪切阶段。当荷载超过临塑荷载($p > p_{cr}$)后, $p-s$ 曲线不再保持线性关系,沉降速率($\Delta s/\Delta p$)随荷载的增大而增加。在剪切阶段,地基中的塑性变

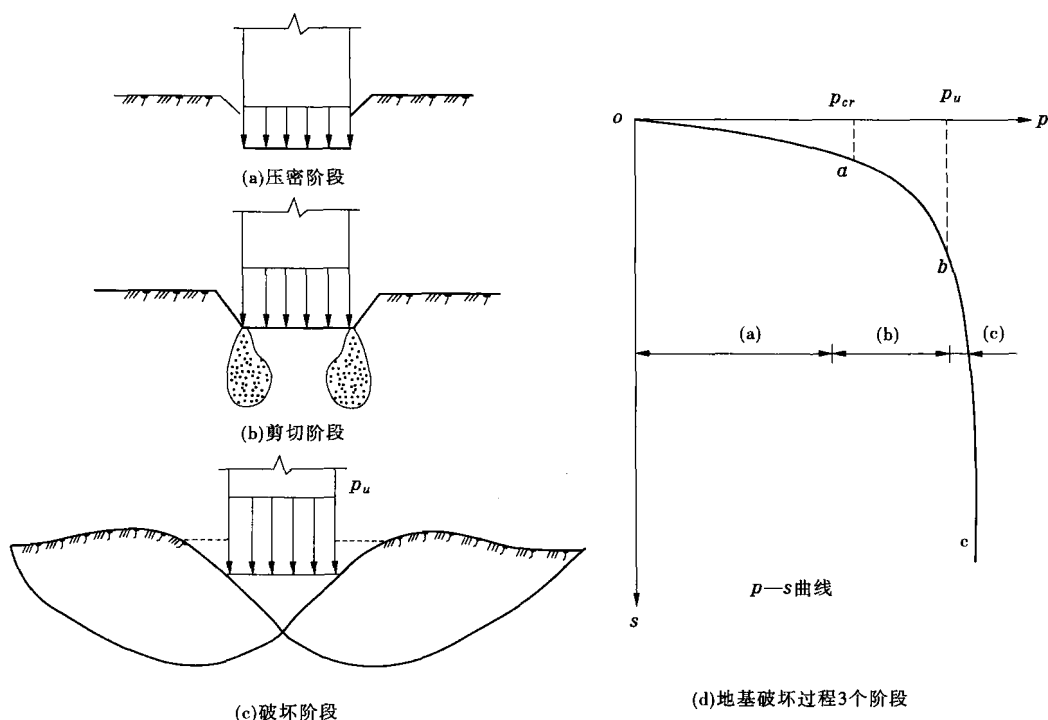


图 1-2 地基的破坏过程

形区(也称剪切破坏区)从基底侧边逐步扩大,塑性区以外仍然是弹性平衡状态区(见图 1-2(b))。就整体而言,地基处于弹塑性混合状态(弹性应力状态区域与极限应力状态区域并存)。随着荷载的继续增加,地基中塑性区的范围不断扩大,直到土中形成连续的滑移面(见图 1-2(c))。这时基础向下滑动,边界范围内的土体全部处于塑性变形状态,地基即将丧失稳定。相应于 $p-s$ 曲线上的 b 点(曲线段的转折点)的荷载称为极限荷载 p_u ,它表示地基即将丧失稳定时的基底压力(界限荷载)。

(三) 破坏阶段

$p-s$ 曲线上超过 b 点的曲线段称为破坏阶段。当荷载超过极限荷载 p_u 后,将会发生或是基础急剧下沉,即使不增加荷载,沉降也不能停止;或是地基土体从基础四周大量挤出隆起,地基土产生失稳破坏。

从以上叙述可知,地基的 3 个变形阶段完整地描述了地基的破坏过程。同时也说明了随着基础荷载的不断增加,地基土体强度(承载能力)的发挥程度。其中提及的两界限荷载,即临塑荷载 p_{cr} 和极限荷载 p_u 对研究地基的承载力具有重要的意义。

第二节 按塑性开展深度确定地基承载力

地基承载力的确定方法一般有理论公式法、原位试验法及规范表格法三种。理论公式法即按上述地基土的荷载与变形间的关系采用理论公式确定相应的地基承载力;原位

试验法即利用现场测试手段确定地基土的承载力;规范表格法是根据各类土的大量载荷试验资料及工程经验经过统计分析而得到的。本节重点介绍理论公式法。

在外荷载作用下,地基土中塑性区的范围将随荷载的增加自基础边缘向深处不断扩展。所以,不同的塑性开展深度对应着相应的基底压力,该基底压力即为所要求的地基承载力。

设条形基础基底面处作用有均布荷载 p ,如图 1-3 所示,基础宽度为 b ,埋深为 d ,地基土的凝聚力为 c ,内摩擦角为 φ 。根据弹性理论,任意点 M 处由基底净压力 $p_0 = p - \gamma_0 d$ 引起的大、小主应力分别为

$$\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2} = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi} (2\beta \pm \sin 2\beta) \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——埋深范围内土的容重, kN/m^3 ;

β —— M 点与基底两侧连线的夹角,称为视角。

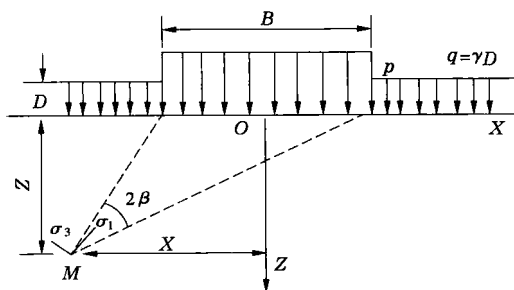


图 1-3 塑性区中的应力状态

对于 M 点,除了外荷载引起的应力,还有基底面下地基土本身自重所引起的自重应力, $\sigma_z = \gamma z$, $\sigma_x = k_0 \gamma z$ 。若假定土的侧压力系数 $k_0 = 1$,即认为土的自重应力如同静水压力一样,各个方向都相等,均为 γz 。这样,当考虑自重时, M 点总的大、小主应力为

$$\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2} = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi} (2\beta \pm \sin 2\beta) + \gamma(d + z) \quad (1-2)$$

式中 γ_0 ——基底面下土的容重,地下水位以下取为浮容重。

若 M 点位于塑性区的边界上,即该点处于极限平衡状态,应满足土的极限平衡条件,将式(1-2)代入极限平衡条件,整理后得塑性区的边界线方程为

$$z = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi \gamma} \left(\frac{\sin 2\beta}{\sin \varphi} - 2\beta \right) - \frac{c}{\gamma \tan \varphi} - d \quad (1-3)$$

当条形基础的均布荷载 p ,内摩擦角 φ 、埋深 d 及土的指标 γ_0 和 c 为已知时, z 值仅为 β 的单值函数,假定不同的 β 值,即可求出塑性区的开展范围。实用上,并不一定需要知道整个塑性区边界,只需要了解在一定基底压力下,塑性区开展的最大深度。为此,将式(1-3)对 β 求导,并令其导数为零,即

$$\frac{dz}{d\beta} = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi \gamma} \left(\frac{\cos 2\beta}{\sin \varphi} - 2 \right) = 0 \quad 2\beta = \frac{\pi}{2} - \varphi \quad (1-4)$$

由此可得 $\cos \beta = \sin \varphi$, 即 $\beta = \pi/2 - \varphi$ 。

将 β 值代入公式(1-3),即可求得地基中塑性区最大开展深度 $z_{\max}$ 的表达式:

$$z_{\max} = \frac{p - \gamma_0 d}{\pi \gamma} \left(\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi \right) - \frac{c}{\gamma \tan \varphi} - d \quad (1-5)$$

若令 $z_{\max} = 0$, 即塑性区开展深度为零, 此时地基所能承受的基底压力为临塑荷载 p_{cr} 。将 $z_{\max} = 0$ 代入式(1-5), p 即为临塑荷载 p_{cr} :

$$p_{cr} = \frac{\pi(\gamma d + c \cot \varphi)}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi} + \gamma d = \gamma d N_q + c N_c \quad (1-6)$$

$$N_c = \frac{\pi \cot \varphi}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi}, N_q = \frac{\cot \varphi + \frac{\pi}{2} + \varphi}{\cot \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi} \quad (1-7)$$

式中 N_c, N_q ——承载力系数。

第三节 地基极限承载力的确定

地基的极限承载力即前面所讲的极限荷载 p_u 。确定极限荷载的理论公式很多, 其求解途径主要有下述两种: 一是按极限平衡理论求解; 二是按假定滑动面方法求解。下面介绍几种常见的极限承载力计算公式。

一、普朗特极限承载力公式

1920年, 普朗特(Prandtl)根据塑性理论, 研究了刚性物体压入均匀、各向同性、较软的无重量介质时, 导出了当介质达到破坏时的滑动面形状及其相应的极限承载力公式。其结果推广到求解地基的极限承载力中, 可归纳为: ①地基土是均匀、各向同性的无重量介质, 即认为基底下土是容重 $\gamma = 0$, 只有 c, φ 的材料; ②基底面完全光滑, 即基底面与地基土之间不存在摩擦力。因此, 水平面为大主应力面, 竖直面为小主应力面; ③当地基土处于极限平衡状态时, 将出现连续的滑动面, 其滑动区域将由朗肯主动区 I、径向剪切区 II 及朗肯被动区 III 三部分组成, 如图 1-4(a) 所示。其中滑动区 I 的边界 ad (或 $a_1 d$) 为直线并与水平面成角; 滑动区 II 的边界 de (或 de_1) 为对数螺旋曲线, 其曲线方程为 $\gamma = \gamma_0 e^{\theta \tan \varphi}$, γ_0 为起始矢径 ($\gamma_0 = \overline{ad} = \overline{a_1 d}$); 滑动区 III 的边界 ef (或 $e_1 f_1$) 为直线并与水平面成 $(45^\circ + \varphi/2)$ 角; ④若基础有埋深 D , 此时将基底面以上的两侧土体用相当的均布荷载 $q = \gamma D$ 来代替, 如图 1-4(b) 所示。

根据上述假定, 将图 1-4(b) 中所示的滑动土体的一部分 $odeg$ 视为刚体, 并考察刚体 $odeg$ 的平衡, 作用在刚体 $odeg$ 上的力有: ① oa_1 面 (即基底面) 上的极限承载力的合力; ② od 面上的主动土压力; ③ $a_1 g$ 面上的均布荷载的合力; ④ eg 面上的被动土压力; ⑤ de 面上土的凝聚力的合力; ⑥ de 面上的反力的合力。根据以上分析, 即可推求地基的极限承载力 f_u 为

$$f_u = \gamma D N_q + c N_c \quad (1-8)$$

式中 γ ——基础两侧土的容重, kN/m^3 ;

D ——基础的埋置深度, m ;

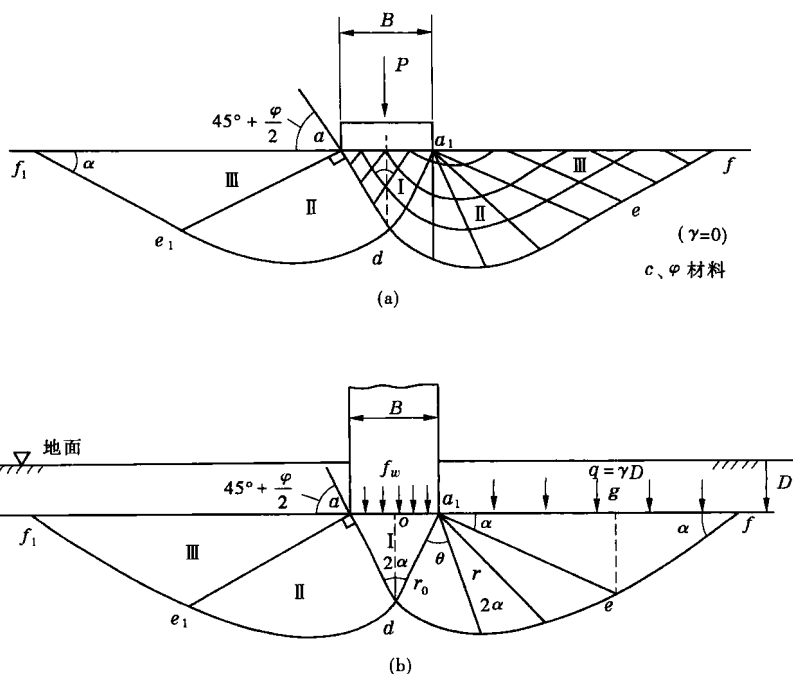


图 1-4 普朗特承载力图

N_q 、 N_c ——承载力系数,是土的内摩擦角 φ 的函数,可查表,其中:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-9)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (1-10)$$

由地基极限承载力的一般式可知,当基础放置于无黏性土的表面时,地基承载力将为零,这显然是不合理的。这种不合理现象的出现,主要是将地基土当做无重量介质所引起的。因此,普朗特公式只是一个近似公式。在普朗特公式的基础上,许多学者如太沙基(Terzaghi, 1943)、泰勒(Taylor, 1948)、迈耶霍夫(Meyerhof, 1951)、汉森(Hansen, 1961)以及魏塞克(Vesic, 1973)等继续进行了许多研究工作,对承载力公式作了修正和发展,使其逐步得到完善。以下仅介绍太沙基公式。

二、太沙基极限承载力公式

Terzaghi 在推导均质地基土上的条形基础、受中心荷载作用下的极限承载力时,把土作为有重量的介质,即 $\gamma \neq 0$,并作了如下假设:

(1) 基础底面粗糙,即基础与土之间有摩擦力存在。因此,当地基土达到破坏并出现连续滑动面时,基底下部分土体将随着基础一起移动而处于弹性平衡状态,这部分土体称为弹性楔体。弹性楔体的边界为滑动面的一部分,它与水平面的夹角为 ψ ,而 ψ 值的大小与基底面的粗糙程度有关。当把基底面看做完全粗糙时, $\psi = \varphi$; 当把基底面看做是完全光滑时, $\psi = 45^\circ + \varphi/2$; 一般情况下, $\varphi < \psi < 45^\circ + \varphi/2$ 。

(2) 当把基底看做是完全粗糙时,则滑动区域由径向剪切区 II 和朗肯被动区 III 所组

成。其中滑动区域Ⅱ的边界为对数螺旋曲线,朗肯被动区Ⅲ的边界为直线,它与水平面呈 $(45^\circ + \varphi/2)$ 角。

(3) 当基础有埋深时,基底面以上的土体用相当的均匀荷载来代替。

对于完全粗糙的基底,根据力的平衡条件,可导出太沙基极限承载力计算公式为

$$\begin{aligned} p_u &= 2P_p \cos(\psi - \varphi) + 2c - W \\ &= 2P_p \cos(\psi - \varphi) + cB \tan \psi - \frac{1}{4} \gamma B^2 \tan \psi \\ &= 2P_p + cB \tan \psi - \frac{1}{4} \gamma B^2 \tan \psi \end{aligned} \quad (1-11)$$

式(1-11)两边除以基础宽度 B , 即得地基的极限承载力:

$$f_u = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + q N_q + c N_c \quad (1-12)$$

式中 q ——基底面以上的土体两侧的均匀荷载, $q = \gamma_0 D$;

B, D ——基础的宽度和埋深;

N_c, N_q, N_γ ——承载力系数;

φ ——土的内摩擦角。

其中, N_q, N_c 也可按下列公式计算:

$$N_q = \frac{e^{(\frac{3}{2}\pi - \varphi) \tan \varphi}}{2 \cos^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \quad (1-13)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (1-14)$$

而对于承载力系数 N_γ , 太沙基未给出公式。

当假定基底面为完全光滑时,基底以下的弹性楔体就不存在,而成为朗肯主动区,整个滑动区域与普朗特爾的情况完全相同。此时,由 c, q 所引起的承载力系数即可直接取用普朗特爾的结果,而由土的容重 γ 所引起的承载力系数则采用下列半经验公式来表示,即

$$N_\gamma = 1.8 N_c \tan^2 \varphi \quad (1-15)$$

将式(1-9)及式(1-10)中的承载力系数关系式代入(1-12)中,即可求得基础底面完全光滑情况下的地基极限承载力,承载力系数可由太沙基公式承载力系数表查得。

上述太沙基极限承载力公式是在假定地土发生整体剪切破坏的条件下得到的。对于局部剪切破坏时的极限承载力,太沙基建议将土的强度指标按下列方法进行修正,即

$$c^* = \frac{2}{3} c \quad (1-16)$$

$$\tan \varphi^* = \frac{2}{3} \tan \varphi \quad \text{或} \quad \varphi^* = \arctan\left(\frac{2}{3} \tan \varphi\right) \quad (1-17)$$

然后用修正后的强度指标计算局部剪切破坏时松软土地基极限承载力,即

$$f_u = \frac{1}{2} \gamma B N'_\gamma + \gamma_0 D N'_q + c^* N'_c \quad (1-18)$$

式中 N'_γ, N'_q, N'_c ——修正后的承载力系数,可以由修正后内摩擦角 φ^* 直接查承载力系数图得,也可查表得;