

地基承载力的确定和应用

孟大勇

(黄河勘测规划设计有限公司地质勘探院, 河南 洛阳 471002)

摘 要:从地基承载力特征值的确定入手,对承载力特征值的深宽修正进行探讨,提出了不同地质条件和基础形式下的深度修正方法,并就如何利用承载力确定基础尺寸及变形控制进行了论述。

关键词:地基承载力;特征值;太沙基理论;深宽修正;变形控制

中图分类号:TU473.1*1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)SI-0222-04

地基承载力是地基基础设计中相当重要的一个参数,其数值大小不仅关系到建筑物的安全而且决定了建筑物的基础形式和成本。地基承载力特征值的建议值通常是由勘察人员在岩土工程勘察报告中提出来的,因此,如何确定和应用地基承载力是我们每一位工程勘察技术人员所必须掌握的基本功。下面就笔者多年工作的体会和经验对以上问题进行初步的探讨。

1 地基承载力的确定

地基承载力系保证地基强度和稳定条件下地基承受荷载的能力。在不同历史时期,不同设计规范中,也出现了不同的地基承载力概念,比如:容许承载力、承载力标准值、承载力设计值、承载力特征值等,根据文献[2],我们在这里主要讨论地基承载力特征值。

文献[2]定义承载力特征值为:由载荷试验测定的地基土压力变形曲线($p-s$ 曲线)线段变形段内规定的变形所对应的压力值,其最大值为比例极限。由该定义看出,地基承载力特征值主要由载荷试验所确定。但在工程实践应用中,由于载荷试验价格昂贵,试验复杂,耗时太长,规范规定在甲级建筑物中必须采用,在乙、丙级建筑物中可采用其他方法综合确定。

1.1 载荷试验法

载荷试验是确定承载力最准确、最直接的一种方法。它是利用一套加压装置测定一定面积承压板下的应力主要影响范围内的地基压力变形曲线,从而确定地基承载力特征值。它分为浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、螺旋板载荷试验3种,其中

浅层平板载荷试验适用于地下水位以上浅层地基土,深层平板载荷试验适用于埋深 ≥ 3 m和地下水位以上的地基土,螺旋板载荷试验适用于深层地基土或地下水位以下的地基土。3种方法的试验要点及取值方法可参见文献[2]和工程地质手册。

1.2 理论公式计算法

理论公式计算法主要根据土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值。该方法可分为2类:一类为采用极限平衡理论求得地基极限承载力,再除以某安全系数(2~3),可得地基承载力特征值,该法最早由普朗特于1920年根据极限平衡理论导出,后由太沙基、汉森、魏锡克等人多次补充,该法优点是安全度明确,是国外确定地基承载力的主流,在文献[4]中推荐采用,公式为 $f_u = N_c \zeta_c b + N_q \zeta_q r_0 d + N_c \zeta_c C_k$ (f_u 为承载力极限值);另一类是按控制地基中塑性区发展范围的方法确定地基承载力特征值,往往选用临塑荷载或比临塑荷载稍大的临界荷载 $P_{1/4}$ 和 $P_{1/3}$ 作为地基承载力,该方法应用广泛,积累了大量的工程经验,在我国的地基基础设计规范中推荐了以该方法为理论基础的计算公式,公式为 $f_k = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k$ (f_k 为承载力特征值)。

以上2种方法均利用土的抗剪强度指标计算承载力。因此,科学合理地选用地基土的抗剪强度指标是准确确定地基承载力的基础。根据工程经验,应采用三轴剪切试验测定的土的抗剪强度。对于施工加荷速率快,排水条件较差的粘土、粉质粘土等,宜采用不固结不排水(UU)试验;对于施工加荷速率较慢、排水条件较好的砂土,可根据其固结程度采用固结不排水剪。

1.3 根据土工试验、原位测试数据查表法

收稿日期:2007-05-30

作者简介:孟大勇(1971~),男(回族),河南洛阳人,黄河勘测规划设计有限公司地质勘探院高级工程师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程与工程地质勘察工作,河南省洛阳市。

这是一种最常用的根据经验确定承载力方法,它是利用土工试验指标和原位测试结果,根据相应手册、规范中提供的承载力表,查取承载力。由于其方便快捷,省时省力而得到广泛的应用。使用这种方法需要注意 2 个问题:一个是承载力表的代表性,因为各种承载力表均是以荷载试验资料为基础,然后进行数据回归分析,建立经验关系,并且与土的抗剪强度计算进行比较,与建筑物沉降实测变形进行分析比较,综合得到的反映某一类土特征的承载力表,但由于我国地域辽阔,各地土层条件差别很大,很难编写适合全国的承载力表,这也是新规取消承载力表的主要原因,但是反映地区土层承载力表还是容易得到的,比如上海、北京、深圳都有适合于本地区的承载力表,因此我们在查取承载力时,一定要注意表格的代表性;另一个是所测的土工试验指标一定要真实反映地层情况,这就要求我们现场取样、土样运送、土工试验一定要严格控制,按规范要求操作,否则会得到一个错误的结果,比如,在钻机取样中,经常会出现压密土样、指标偏大的情况。

以上是勘察人员确定地基承载力特征值经常用到的 3 种方法,这 3 种方法应根据建筑物的重要性进行合理选用。确定承载力特征值不存在唯一可靠的方法,因为土具有碎散性、多相性和自然变异性,这就需要勘察人员根据地质条件、测试数据、基础和上部结构的特点结合工程经验综合判断确定。

2 地基承载力的应用

2.1 深宽修正

2.1.1 深宽修正的实质

根据文献[2],当基础宽度 $> 3 \text{ m}$ 或埋置深度 $> 0.5 \text{ m}$ 时,承载力特征值应进行深宽修正,为什么要进行修正呢?

我们知道建筑物的破坏形式可分为整体剪切破坏、局部剪切破坏和冲切剪切破坏 3 种,对于密实砂土和硬塑、坚硬粘性土地基,通常表现出整体剪切破坏形式,而对于压缩性比较大的松砂和软弱土,通常表现出局部或冲切剪切破坏形式。在工程中一般选择密实砂土和硬塑、坚硬粘性土作为基础持力层,因此,地基破坏的形式多为整体剪切破坏。

整体剪切破坏特征是:当基础上的荷载较小时,荷载与沉降的关系近乎直线,此时属弹性变形阶段,随着荷载的增大并达到某一数值时,首先在基础边缘开始出现剪切破坏,随着荷载的继续增大,剪切破坏区也相应扩大,此时荷载与沉降呈曲线状,属弹塑

性变形阶段,荷载再次继续增大,这种剪切破坏区也不断地扩大,当荷载达到最大值时,基础急剧下沉,并突然向一侧倾倒而破坏,在地基中出现连续滑动面,基础两侧土体向上隆起。

按太沙基理论,地基破坏时滑动面的形状如图 1,图中显示滑动体共分 3 区:

I 区:基础下的楔形压密区,由于土与基底的摩擦力作用,该区的土不进入剪切状态而处于压密状态,形成压实核,边界线与基底所成角度为 φ ;

II 区:滑动面按对数螺旋线变化, B 点处螺旋线的切线与 I 区边界线垂直, C 点处螺旋线的切线与水平线成 $(45^\circ - \varphi/2)$ 角;

III 区:底角与水平成 $(45^\circ - \varphi/2)$ 角的等腰三角形。

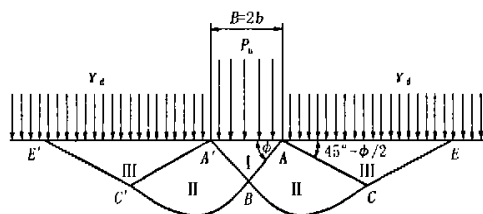


图 1 太沙基理论地基破坏模型示意图

根据力的平衡条件,得到公式:

$$P_u + \gamma b^2 \tan \varphi - 2E_p - 2bctan \varphi = 0 \quad (1)$$

式中: P_u ——基底最大压力; $\gamma b^2 \tan \varphi$ ——I 区土的自重; $2E_p$ ——II、III 区土滑动时,区内土和基础两侧超载 (γd) 对斜面 $AB(A'B)$ 的被动土压力竖向分力; $2bctan \varphi$ —— $AB(A'B)$ 面上土的粘聚力在垂直向上的分力。

按土压力理论,可得极限承载力计算公式:

$$P_u = (1/2) N_\gamma \gamma b + N_q \gamma d + N_c C \quad (2)$$

式中: N_γ 、 N_q 、 N_c ——承载力因数。

由式(2)可以看出,公式右边第一项和第二项分别为基础宽度与基础埋深对承载力的贡献,也就是说,承载力不但与土的抗剪强度有关,而且是基础宽度和基础埋深的函数,基础宽度越大,埋深愈深,承载力值愈高。由图 1 可以看出,基础埋深越大,基础两侧超载作用的被动土压力越大,阻止基础下部土体被挤出的能力越强,宽度越宽,塑性区展开区深度加大,滑动面愈不易连起来,因此,承载力越大。

2.1.2 深度修正的平面范围

由上述分析知道了承载力修正的实质,但基础两侧超载多大范围内对承载力提高有效呢?从图 1 可以看出,地基土沿 BCE 滑动面滑动破坏,也就是说, $AE(A'E')$ 长度范围内的基础两侧超载对承载力

提高是有作用的。由于 $\triangle ACE$ 和 $\triangle AA'B$ 为等腰三角形,可得:

$$AE = 2AC \cos(45^\circ - \varphi/2) \quad (3)$$

$$AB = b / \cos \varphi \quad (4)$$

由于 BE 为对数螺旋曲线,则:

$$AC = AB \exp(\theta \tan \varphi) \quad (5)$$

联立(3)、(4)、(5)式,计算 AE ,结果见表1。

表1 有效超载范围 AE 计算表

内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	有效超载范围 AE
10	1.1B
15	1.5B
20	1.9B
25	2.5B
30	3.3B

由表1可以看出,当基础两侧超载范围为(1~3)B时,对承载力提高是有作用的。在文献[2]中,

将基础两侧超载范围定为 $2B$ 。

2.1.3 如何进行深宽修正

在前节承载力特征值确定方法中,由于理论公式法中已经考虑了基础宽度与埋深,所以对于荷载试验和根据土工试验、原位测试数据查表法确定的承载力应该进行深宽修正,文献[2]推荐了地基承载力特征值的修正公式,为:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma_d (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5) \quad (6)$$

在(6)式中,对于基础宽度 b 的修正,当 $b > 6$ m时,按6 m修正,并未按实际宽度进行修正,主要原因是当基础宽度增加时,基础的沉降也在加大,为保证地基变形不会太大,规范作出了上述规定。

在实际工程中,根据基础两侧超载 $2B$ 范围内建筑物基础形式、场地地质条件的不同,在进行深度修正时,基础埋深选择见图2。

情况	①	②	③	④
图形				
说明	地下室,采用独立基础	地下室,采用筏板基础	填土在基础施工前完成	填土在上部结构完成后施工
修正深度的选择	d_2	d	d_1	d_2
情况	⑤	⑥	⑦	⑧
图形				
说明	在基础宽度方向 $2B$ 距离内,上层厚度不同	基础两侧土层厚度不同	主裙楼一体,主裙楼采用筏板基础, d_2 为裙楼荷载折算成土上的高度	主裙楼一体,主楼采用筏板基础,裙楼采用独立基础或条形基础
修正深度的选择	d_2	d_2	选择 d_1 、 d_2 中的小值	主楼选择 d_1 ,裙楼选择 d_2

图2 地基承载力深度修正示意图

2.2 确定基础尺寸

2.2.1 轴心荷载

根据地基基础设计规范,得到:

$$p_k \leq f_a \quad (7)$$

式中: p_k ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均压力值; f_a ——修正后的地基承载力特征值。

$$p_k = (F_k + G_k) / A \quad (8)$$

式中: F_k ——相应于荷载效应标准组合时,上部结构传至基础顶面的竖向力值; G_k ——基础自重和基础上的土重; A ——基础底面面积。

以上两式联立,对于条形基础,得到基础宽度:

$$b = F_k / (f_a - \gamma_c d)$$

式中: γ_c ——基础及上覆土体的混合重度,一般取

20 kN/m³。

对于独立基础,可得:

$$A = bl = F_k / (f_a - \gamma_c d)$$

式中: l ——基础长度。

2.2.2 偏心荷载

当偏心荷载作用时,除符合式(7)要求外,还应符合下式要求:

$$p_{kmax} \leq 1.2 f_a \quad (9)$$

式中: p_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面边缘的最大压力值。

$$p_{kmax} = (F_k + G_k) / A + M_k / W \quad (10)$$

$$p_{kmin} = (F_k + G_k) / A - M_k / W \quad (11)$$

式中: M_k ——相应于荷载效应标准组合时,作用于

基础底面的力矩值; W ——基础底面的抵抗矩;
 p_{kmin} ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面边缘的最小压力值。

当偏心矩 $e > b/6$ 时, p_{kmax} 应按下式计算:

$$p_{kmax} = 2(F_k + G_k)/(3la) \quad (12)$$

式中: l ——垂直于力矩作用方向的基础底面边长;
 a ——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离。

2.3 地基承载力与变形控制

承载能力极限状态是保证地基具有足够的强度和稳定性,正常使用极限状态是保证地基的变形值在容许范围内,两者必须同时满足,缺一不可,需要我们同时进行承载力和基础沉降计算,做到地基承载力与变形的双控制。但是由于地基承载力特征值的确定过程当中含有变形控制,因此在有些情况下,满足了地基承载力的要求,变形要求也就自然满足,这时承载力是控制条件,不需要进行变形计算。比如持力层是低压缩性的粘性土,地基承载力和压缩模量都比较高,不存在软弱下卧层,地层分布连续稳定,建筑物为多层砖混结构,只要基底压力小于地基承载力特征值,变形将远远小于规范规定的地基变形允许值,对于这种情况,地基承载力控制是起主要作用的。但如果持力层下存在下卧软弱层,地层分布不连续,建筑物体形复杂,虽然承载力满足强度要求,但变形超过了规范规定的地基变形允许值,建筑

物是不安全的,这时,变形控制是起主要作用的。

由于以上原因,文献[2]规定:

(1)所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。

(2)设计等级为甲级、乙级的建筑物均应按地基变形设计。

(3)表2所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算,如有下列情况之一时,仍应作变形验算:

①地基承载力特征值 < 130 kPa,且体型复杂的建筑;

②在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大,可能引起地基产生过大的不均匀沉降时;

③软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时;

④相邻建筑距离过近,可能发生倾斜时;

⑤地基内有厚度较大或厚薄不均的填土,其自重固结未完成时。

(4)对经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等,以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物,还应验算其稳定性。

(5)基坑工程应进行稳定性验算。

(6)当地下水埋藏较浅,建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时,还应进行抗浮验算。

表2 可不作地基变形计算设计等级为丙级的建筑物范围

地基主要受力层情况			建筑类型						
地基承载力特征值 f_{sk}/kPa	各土层坡度/%	砌体承重结构、框架结构 (层数)	单层排架结构(6 m 柱距)				烟囱	水塔	
			单跨		多跨		高度	高度	容积
			吊车额定起重量/t	厂房跨度/m	吊车额定起重量/t	厂房跨度/m	/m	/m	/m ³
$60 \leq f_{sk} < 80$	≤ 5	≤ 5	5 ~ 10	≤ 12	3 ~ 5	≤ 12	≤ 30	≤ 15	≤ 50
$80 \leq f_{sk} < 100$	≤ 5	≤ 5	10 ~ 15	≤ 18	5 ~ 10	≤ 18	≤ 40	≤ 20	50 ~ 100
$100 \leq f_{sk} < 130$	≤ 10	≤ 5	15 ~ 20	≤ 24	10 ~ 15	≤ 24	≤ 50	≤ 30	100 ~ 200
$130 \leq f_{sk} < 160$	≤ 10	≤ 6	20 ~ 30	≤ 30	15 ~ 20	≤ 30	≤ 75	≤ 30	200 ~ 300
$160 \leq f_{sk} < 200$	≤ 10	≤ 6	30 ~ 50	≤ 30	20 ~ 30	≤ 30	≤ 75	≤ 30	300 ~ 500
$200 \leq f_{sk} < 300$	≤ 10	≤ 7	50 ~ 100	≤ 30	30 ~ 75	≤ 30	≤ 100	≤ 30	500 ~ 1000

3 结语

(1)地基承载力特征值可通过静载试验、理论公式计算和土工试验、原位测试查表法得到,但需要勘察人员根据地质条件、测试数据、基础和上部结构的特点结合工程经验综合判断确定。

(2)根据太沙基理论,对勘察资料中所提出的地基承载力特征值应根据实际岩土条件及基础形式进行深宽修正,勘察设计人员可根据地质条件和基础形式的不同,合理确定基础埋深。

(3)建筑物的地基基础设计,均需要满足正常

使用极限状态和承载能力极限状态的要求,虽然地基承载力特征值的确定含有变形控制,但由于建筑物的不同和地质条件的差异,多数建筑物仍需进行变形控制计算。

参考文献:

- [1] 顾晓鲁,等.地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] GB 50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [3] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].
- [4] JGJ 72-2004,高层建筑岩土工程勘察规程[S].