

对岩土工程勘察地基均匀性及稳定性的探讨

□马征军

前言

地基的均匀性及稳定性评价是岩土工程勘察中非常重要的一项内容,且《岩土工程勘察规范》(GB50021-20012)(以下简称“勘察规范”)和《建筑地基基础设计规范》(GB5007-2002)(以下简称“地基规范”)对地基的均匀性及稳定性评价均有明确的规定,但两规范均没有具体的评价标准和准则,岩土工程师在对地基的均匀性及稳定性进行评价时也显得无从下手,不知从何处着手,笔者多年从事岩土工程勘察及其报告的编写工作,试图从定性及定量角度对地基的均匀性提出一些浅见,供同行参考。

1 天然地基的均匀性评价

在建筑物的天然地基浅基础设计时,设计人员最关心的是由于地基变形引起的建筑物的变形(沉降量、沉降差、倾斜及局部倾斜),而当前在进行建筑物的变形设计时多采用正常使用极限状态的原则设计,即建筑物的变形是否超过变形允许范围值,而造成地基变形最主要的原因之一就是地基存在不均匀问题;岩土工程师在对地基的均匀性进行评价时由于“勘察规范”和“地基规范”中没有明确的评判标准可供参考,往往仅一笔带过或只停留在定性的评价上,缺乏必要的定量分析,给岩土工程设计带来诸多不便。

1.1 地基均匀性的评价范围

对天然地基的均匀性评价时应首先确定其评价的平面范围和深度范围,天然地基的均匀性评价平面范围与抗震场地评价范围既有相似而又有较大的差异,抗震的建筑场地评价多以自然村或某一街区为单位进行考虑,而建筑地基的均匀性评价时多以建筑物水平投影面积范围为标准,也即通常以建筑物角点包络线所占的面积为评价范围;但地基均匀性的评价深度范围与抗震覆盖层厚度评价具有明显不同的概念,必须有明确的定性概念,假若它的评价范围与抗震覆盖层厚度的评价范围一致,则将造成过大的投资浪费,建筑抗震覆盖层厚度的确定是以地面至地层界面剪切波速大于 500m/s 的岩土层顶面距离为准,而地基均匀性评价深度应掌握以下几条原则:

(1)地基主要受力层情况:对于条形基础为基底下 3b(b 为基础底面宽度),对于独立基础为基底下 1.5b,且评价深度均不小于 5m;

(2)压缩层深度范围:对于天然地基浅基础,独立基础或条形基础其压缩层深度按变形比法确定其评价深度: $\Delta s'_n = 0.025 \sum \nabla s'_i$ (1)

(1)式中符号意义可参考“地基规范”。

(3)对大面积基础其评价深度范围按下式确定: $z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b)$ (2)
式中:b——基础宽度。且对于大面积基础其评价范围应不小于 1 倍基础宽度范围。

(4)对于桩基础按等效实体深基础的底面积按应力比确定评价深度 z_n ,即 z_n 处的附加应力 σ_z 与土的自重应力 σ_c 应符合下式要求:

$$\sigma_z = 0.2 \sigma_c \quad (3)$$

$$\sigma_z = \sum \alpha_i P_i \quad (4)$$

式中: α_i ——附加应力系数,查有关规范确定; P_i ——等效实体基础底面的平均附加应力。

1.2 地基均匀性的评价内容

地基的均匀性评价是岩土工程分析与评价的重要内容之一,在审核岩土工程勘察报告时,发现大部份岩土工程师对该部份的评价显得空洞无物,或者根本就不涉及这方面的内容,使得基础设计时对地基土的均匀性难以进行考虑,给建筑物的安全带来隐患,根据有关规范和基础设计经验,地基的均匀性评价,其实就是地基土的压缩性不均匀问题,结合场地特征,应首先确场地所在的工程地质单元,进而根据建筑物的荷载特征估算地基压缩层深度范围。

(1)工程地质单元的划分。根据现场调绘情况,确定场地是否跨越不同的地貌单元,再根据钻孔揭露资料,绘制场地纵横工程地质剖面图,分析评价岩土质的成因、沉积年代、力学性质,分析地基岩土纵横方向上物理力学性质的差异情况,分析建筑物基础平面是否跨越不同的地貌单元和位于同一工程地质单元。

(2)地基均匀性评价深度的计算。根据建筑物的荷载特征,结合建筑物拟采用的基础型式按式(1)~(4)估算地基岩土层的压缩层深度范围,分析评价压缩层范围内的地基岩土的物理力学性质,进而进行地基均匀性的定性及定量评价。

(3)不均匀地基的评价。按下列要求对地基的均匀性进行定性及定量评价:

①建筑物基础平面跨越不同的地貌单元,岩土层的工程特性在纵横方向上具明显的差异为不均匀地基;②建筑物所在场地构造破碎带(非全新活动断裂带)发育或构造引起的节理/裂隙发育导致岩体极为破碎(非风化破碎岩体)为不均匀地基;③场地内有大面积的软弱粘性土和填土分布、经人工处理过的地基均为不均匀地基;④根据工程地质剖面图,相邻钻孔的压缩层范围内岩土层界面坡度 $>10^\circ$ 时为不均匀地基;⑤建筑物平面范围内各钻孔压缩层范围内压缩模量厚度加权平均值的最大值(E_{\max})与最小值(E_{\min})的比值作为不均匀系数,并结合同一工程地质单元岩土层厚度的统计变异系数进行分析评价,满足表 1 条件的可评判为不均匀地基。

表 1 地基不均匀系数界限值

同一工程地质单元岩土					
层厚度统计变异系数	δ	≤ 0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	≥ 0.5
地基不均匀系数($k = E_{\max}/E_{\min}$)	k	2.50	2.00	1.8	1.5

⑥地基主要受力层范围内的岩土层在基础宽度方向上存在厚度明显不同,层厚统计变异系数大于等于 0.5,并且相邻钻孔间同一工程地质单元的岩土层厚度差值大于等于 0.05b(b 为基础宽度)时,为不均匀地基,即满足下两式要求时为不均匀地基:

$$\delta \geq 0.50 \quad (1)$$

$$|H_1 - H_2| \geq 0.05b \quad (2)$$

式中: H_1 、 H_2 ——相邻钻孔同一工程地质单元岩土层厚度, m;b——基础宽度。

⑦在同一钻孔内的地基土压缩层范围内任意相邻两层岩土层的地基土压缩模量比值满足下式要求为不均匀地基: $E_{s1}/E_{s2} > 3$
式中: E_{s1} ——上层土压缩模量; E_{s2} ——下层土压缩模量。

⑧对于桩基础其桩底高差大于等于下式计算结果时应判定

为不均匀地基: $\Delta H = D \tan \alpha$ (7)

式中: D ——桩径; α ——相邻桩底中点连线与水平线的夹角。

2 不均匀地基的稳定性评价

对于被判为不均匀地基的场地,应按要求进行地基变形的验算评价,以免地基变形失效给建筑物带来安全隐患,地基变形一般包括地基的压缩变形,通常采用规范建议的等效分层总和法进行,而地基失效验算即通常所说的地基稳定性验算;当规范不要求进行地基变形验算的建筑,在基础设计时应采取相应的结构加强措施。

(1)不均匀地基岩土层承载力取值。众所周知,建筑物设计时,最为常用的是简化计算方法,即通常将上部结构、地基和基础三个完整的静力平衡结构体系人为地分为上部结构、地基、基础三部分进行独立求解,假定上部结构的柱是嵌固在基础上的,求解出的结构内力(柱的轴力、弯矩、剪力、转角),这些内力作用在基础梁或基础底板上,基础梁或基础底板同时承受地基反力,地基反力与上部结构荷载(含基础自重及其悬挑部分以上的土自重)保持静力平衡,并假定地基反力是按直线分布,即此时假定基础是绝对刚性,而计算地基变形时又把基础看作是柔性的,即地基反力是均匀分布的;在对地基土进行承载力和变形验算时,所采用的荷载组合也不同,进行承载力验算时采用的是荷载效应的标准组合,而在进行地基的变形验算时,采用的是荷载效应的准永久组合,表明基础刚度的不同地基土的发挥度也不同,也即地基土的承载力非定值,其随基础的刚度不同而变化。

根据上述简化计算方法,仅仅考虑了总荷载与总反力之间的静力平衡条件,而忽略了上部结构与基础以及基础与地基土之间的变形的连续性质,使得在利用地基土承载力取值时把地基土独立看待,承载力取定值,导致地基土承载力取值偏高或偏低,给建筑物留下安全隐患或造成投资浪费,根据多年的设计经验和地基反力观测,地基土反力由于基础刚度的不同,存在不同程度的集中现象,故基础设计时地基土的承载力可根据基础刚度和基础型式不同作如下调整:

- ①当基础刚度较大时地基土承载力可采用偏高值;
- ②当基础刚度较小时地基土的承载力可取偏低值;
- ③对独立基础,地基土承载力可取低值;
- ④而对于条形基础或其它大面积基础地基土承载力取高值。

(2)不均匀地基的稳定性计算。对于被判为不均匀的地基,除应按有关规范要求进行建筑物的沉降、差异沉降、倾斜等特征分析(具体分析计算方法可参照“地基规范”)外,更为重要的是应根据建筑物的重要性进行地基稳定性验算,国内外在这方面的文献记录较少,岩土工程师对这一重要内容往往均以对地基稳定性“有利”与“不利”泛泛带过,显得空洞无物,设计人员无所适从,笔者依据多年从事岩土工程勘察经验及收集的一些文献资料作一简略介绍。

Terzaghi 等国外学者根据地基整体破坏原理,运用刚体平衡理论,假设塑性区展开深度为 $1/3$ 或 $1/4$ 的基础宽度进行地基承载力分析,这对地基整体稳定性分析有极为重要的意义;“地基规范”建议地基稳定性分析采用圆弧法进行验算(图 1),即最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩 M_R 与滑动力矩 M_S 应符合下式:

$K = M_R / M_S \geq 1.2$ 根据图 1 所示,其稳定安全系数可按下式计算:

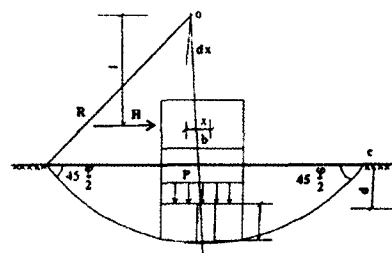


图 1 地基稳定性计算简图

$K = R / (\sum W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i + \sum c_i l_i) (p - p_c) b x + H z$ (10) 式中:

$p - p_c$ ——基底附加压力平均值;

x ——附加压力重心到滑弧圆心的水平距离; W_i ——土条重量;

l_i ——土条内滑弧长度; H ——水平外力;

c_i, ϕ_i ——土的抗剪强度; R ——圆弧半径。

运用该式进行整体稳定性计算时,仅适用于小偏心荷载的建筑物,其关键是滑弧深度的确定,滑弧深度确定了其地基土整体破坏范围也就确定了,根据多项工程地基土圆弧滑动稳定性验算及塑性区展开范围,认为基础外角点底面以下 $1/4$ 基础宽度范围深度内,且该点与地面的连线呈 $45^\circ - \phi/2$ 夹角的验算范围可满足建筑物安全使用要求;若经上式验算所得地基稳定性安全系数小于 1.2,则应加大基础埋深,继续验算直至满足要求止;或采用增强滑带土抗剪强度的办法重新验算地基稳定性安全系数。

3 不均匀地基基础设计时应采取的结构措施

由于不均匀地基的地基岩土在纵向和横向上物理力学性质均有不同程度的差异,地基反力的集中现象比均匀地基更为明显,基础设计若不采取某些结构措施易给建筑物埋下安全隐患,对于此类地基基础设计除应沿基础纵横向而设分布钢筋外,一般情况下,还应避免或采取如下措施:

(1)对于建造于不均地基土上的建筑物基础应加大基础刚度;

(2)建筑物尽量避免采用不同的基础型式;

(3)同一建物基础不应置于岩土性质绝然不同的地基土层上;

(4)对于多层和高层钢筋混凝土结构的房屋单独柱基应沿基础纵横两个主轴方向设置系梁,特别是各柱基重力荷载代表值差异明显的柱基或各柱基埋深差较大的基础;

(5)对于桩基应设置桩帽(单桩)或桩承台(多桩)且沿纵横主轴方向设置系梁,特别是桩底持力层差异较大的桩基础;

(6)对于设置于不均匀地基岩土上的桩基础,其桩顶和桩底应设置不小于 1m 的箍筋加密区,若采用预制桩应采用高强预应力管桩;

(7)对于不均匀地基上的多层砌体房屋和底部框架、内框架房屋和单层或多层厂房宜设置基础圈梁;

(8)对于单层或多层厂房也可采取减小柱距、增加内支撑或斜撑。

以上是笔者多年从事岩土工程勘察及其报告的编写工作和基础设计时的经验体会,其中不免存在许多纰漏或是谬论,在我国大力推行岩土工程体制的今天,若对广大读者有一定的裨益,若能得到广大同行的不吝赐教,为我们国家岩土体制的构建共同努力,我将感到欣慰。■

(作者单位:广东中山地质工程勘察院)