

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.04.068

结构地基设计关键控制因素

于国亮

(中铁十二局集团有限公司勘测设计分公司, 山西 太原 030024)

摘要: 地基基础不仅关系到上部结构的安全性和耐久性,而且对整体结构的使用有着非常重要的作用。对设计规范中的几种地基极限承载力的计算方法与地基变形的计算理论进行简要归纳,同时总述了地下水对土体有效应力的不利影响,并提出了设计人员在地基设计过程中应该注重的关键点。

关键词: 地基基础;地下水;有效应力;地基设计

中图分类号: TU470

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)04-0254-03

0 引言

“结构的概念设计”是从整体考虑、全局思维,不局限于一点一面,而地基设计就是重要的起步。地基设计,大到建筑(群)选择,小到基础处理,都至关重要,既关系到建筑物(群)的安全可靠,又影响其经济造价。本文探讨与建筑物安全性关系最为密切的基层沉降控制,分析设计中应考虑的关键因素。

1 定义

地基是直接和基础发生互相作用的部分,传导上部建筑荷载,确保沉降和承载力满足要求。对于一般天然土层,自重应力引起的压缩变形在地质历史上早就形成并已稳定,如无特殊情况,不会再引起地基沉降;附加应力则是地基内新增加的应力,因此它是引起地基方式变形的重要因素。根据研究,不同类型荷载在地基内引起的附加应力不同。

2 设计关键控制参数

2.1 地基的承载力

地基的承载力是指地基土承担上部结构荷载的基本能力。通常区分为两种能力:一种是极限地基承载力,它是指整个地基将要失去整体或局部稳定时的承载力;一种是容许承载力,它是指地基土稳定有一定的安全度储备,而且地基的变形控制在容许范围内^[1]。

在地基承载力设计中有3种设计理论,即正常的使用极限状态的容许承载力理论、承载能力极限

状态的承载力理论(单一安全系数法)和承载能力极限状态的承载力理论(分项系数法),各表达式如下^[2]:

$$\text{容许承载力: } p \leq f_u$$

$$\text{安全系数法: } p \leq f_u / K$$

$$\text{分项系数法: } S \leq R, S = \gamma_s S_k, R = R_k / \gamma_R$$

各参数意义可参考《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2018)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011),这里不赘述。

由于铁路、公路、建筑等不同行业的发展差异和实际需要不同,因此采用不同的设计理论。这里重点阐述分项系数法。分项系数法实际是基于可靠度理论,对随机分布的变量荷载 S_k 有多少可能性大于抗力 R_k 而失效做出判断。正态分布失效概率可用可靠度指标来表示,如图1所示。

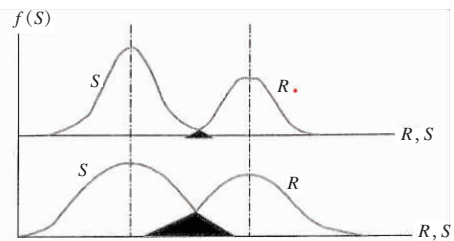


图1 可靠度示意图

从图1可以发现,采用安全系数法和分项系数法,在正态分布荷载和抗力相同的情况下,其安全系数相同,但失效概率不一样(见图1阴影部分),可见分项系数法更合理。

在工程应用中,不需要绘出整个区域的影响轨迹。根据土力学可知临界荷载:

$$p_{cr} = \gamma D \left(1 + \frac{\pi}{\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} \right) + c \left[\frac{\pi \text{ctg} \phi}{\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} \right] \quad (1)$$

假设最大发展深度为 $B/4$ 或 $B/3$, 代入式(1)可得:

收稿日期: 2022-09-16

作者简介: 于国亮(1979—), 男, 学士, 总工程师, 高级工程师, 从事结构设计及技术管理工作。

$$p_{1/4} = \gamma B \frac{\pi}{4 \left(\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi \right)} + \gamma D \left[1 - \frac{\pi}{\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} \right] + c \left[\frac{\pi \text{cgt} \phi}{\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} \right]$$

$$p_{1/3} = \gamma B \frac{\pi}{3 \left(\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi \right)} + \gamma D \left[1 - \frac{\pi}{\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} \right] + c \left[\frac{\pi \text{cgt} \phi}{\text{cgt} \phi - \frac{\pi}{2} + \phi} \right]$$

将以上化简可得:

$$p = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} + q N_q + c N_c$$

$$q = \gamma D$$

地基中极限平衡区刚开始发展为临塑荷载时,发展范围不大于临界荷载,可发现临界荷载在应用中有相当大的安全储备作为地基容许承载力的初值。

2.2 地基变形

土工试验中,测量土的压缩性质有侧限压缩试验(固结试验)和三轴压缩试验(三轴剪切试验)两类试验方法。两类试验方法的应力-应变关系曲线对比见图2。

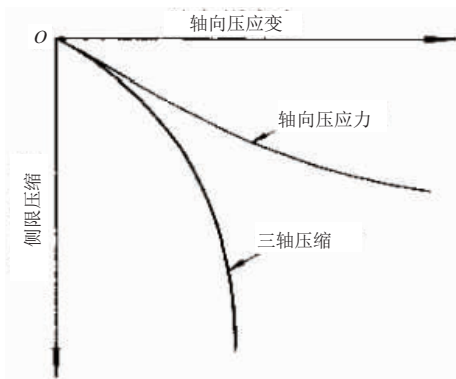


图2 两类试验方法的应力-应变关系曲线图

土的压缩模量(压缩性)和受力条件有密切关系。土层中各点的受力条件既不完全符合侧限压缩试验条件,也不同于三轴压缩试验。建立完整的本构关系数学模型,实现数解法,目前尚在研究中,不能用于生产实际,因此采用简化方法求解。简化为非线性弹性模型,然后用数解法求解(可详细了解E-B模型)。

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)中的地基沉降计算是基于—维压缩基本课题(均匀土层在连续均匀布置荷载作用下的压缩变形)。图3为土层压缩变形示意

基于以上假设,得出压缩变形量S与土的孔隙

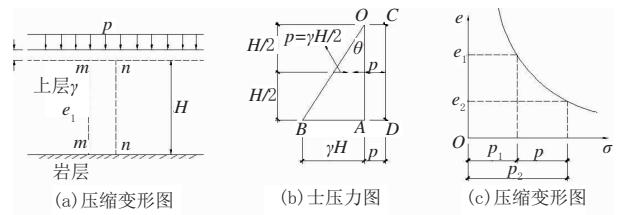


图3 土层压缩示意图

比变化之间的关系为:

$$S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H \tag{2}$$

沉降计算分层总和法是目前最常用的地基沉降计算方法。可查《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)具体了解。这里提出几个注意点:一是对于超固结土,应根据应力-孔隙曲线要求,得到先期固结压力,然后根据超固结的程度,分情况进行沉降计算。二是在基础面积和埋深均较大时,由于基坑开挖保持开敞状态的时间较长,地基土有足够时间回弹,因此计算时要考虑回弹和再压缩量。

3 地下水是重要关注对象

地下水是岩土工程中必不可少的因素。从宏观来看有承压水和浅层滞水,从微观来看有孔隙水和渗流等,还有冻胀、液化等问题。绝大部分岩土工程事故都与水存在关系。

3.1 有效应力原理

有效应力原理内容:一是饱和土体内任一平面上受到的总应力可分为有效应力和孔隙水压力两部分,期间关系式满足 $\sigma = \sigma' + \mu$,各参数参考土力学教程^[3];二是土的变形(压缩)与强度的变化都只取决于有效应力的变化。

有效应力原理看起来简单,却是土力学中极其重要的原理。在国内外,有效应力原理已很好地应用于饱和土中,单对于非饱和土的应用还有待研究。

3.2 在工程建设中对地下水注意的几点

地下水,无论在工程建设中还是运维使用期间都是要重点关注的因素^[4]。重视潜水的同时,更要重视上层滞水和承压水。例如各种管线的泄漏往往是造成基坑坍塌的重要因素。

基坑工程应验算坑底的管涌和流土问题,更要注意渗流破坏^[5]。

对于特殊岩土,要结合当地工程经验,审慎设计。例如湿陷性黄土、盐渍土、膨胀土等^[6]。

工程降水对周边环境影响因素应重点考虑。这

里不再赘述。

4 工程沉降计算案例

4.1 工程概况

某工程为地下3层、地上31层的钢筋混凝土剪力墙结构,屋面相对标高96.0 m,采用1.2 m厚钢筋混凝土筏板基础。地基处理采用0.4 m直径的CFG桩,桩长15.5 m。相对标高±0.000同绝对标高749.35 m。地基处理后褥垫层顶绝对标高为737.6 m,自然地面绝对标高为743.207 m。

4.2 土层情况

工程土层情况见表1。

表1 土层情况表

土层	岩土名称	均厚/m	层底绝对标高/m	侧阻力标准值/kPa	端阻力标准值/kPa	承载力特征值/kPa
1	粉土	7.55	735.657	30		130
2	粉土	2.01	733.647	42		160
3	粉土	5.33	728.317	54		180
4	粉土	5.40	722.917	60	650	210
5	卵石	2.13	720.787	130	2 000	300
6	粉质黏土	12.46	708.327	66	750	240
7	粉质黏土	7.66	700.667	70	1 200	270
8	粉质黏土	8.04	692.627	75	1 400	290
9	粉质黏土	6.16	686.467	85	1 600	320
10	粉质黏土	未揭露		90	1 700	340

4.3 基本数据

本工程地基处理采用CFG桩整片处理,桩径0.4 m,有效桩长15.5 m,间距1.2 m,呈正三角形布桩。筏板采用整片钢筋混凝土筏板,局部加设地基梁,筏板厚1.2 m。根据PKPM-JCCAD计算数据得知,筏板底净反力453 kPa。

4.4 CFG桩计算

(1)计算公式

复合地基承载力特征值:

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad (3)$$

式中: f_{spk} 为复合地基承载力特征值,kPa; m 为面积置换率; R_a 为单桩竖向承载力特征值,kN; A_p 为桩的截面面积, m^2 ; β 为桩间土承载力折减系数; f_{sk} 为处理后桩间土承载力特征值,kPa。

单桩竖向承载力特征值:

$$R_a = \mu_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p A_p \quad (4)$$

式中: μ_p 为桩的周长,m; n 为桩长范围内所划分的

土层数; q_{si} 、 q_p 为桩周第*i*层土的侧阻力、桩端端阻力特征值,kPa; l_i 为第*i*层土的厚度,m。

(2)计算结果

计算结果见表2。

表2 计算结果

单桩承载力 R_a /kN	天然地基承载力 f_{sk} /kPa	置换率/ m	复合地基承载力特征值 f_{spk} /kPa
614.9	130.0	0.101	581.1

4.5 沉降计算

复合土层的分层与天然地基相同,各复合土层的压缩模量等于该层天然地基压缩模量的 ζ 倍。 ζ 值的确定按式(5)计算:

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (5)$$

式中: f_{ak} 为基础底面下天然地基承载力特征值,kPa。

计算可得:

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} = \frac{580}{130} = 4.47$$

考虑安全因素,取 $\zeta=3.5$ 。

根据地质报告和土层附加应力,计算土层压缩模量(见表3)。

表3 土层压缩模量计算表

层号	未处理的压缩模量/MPa	桩体处理范围的压缩模量/MPa	备注
1	10.182	35.637	计算到层底
2	12.540	43.890	计算到层底
3	13.274	46.459	计算到层底
4	13.308	46.578	计算到层底
5	38.000	114.000	计算到层底
6	13.000	39.000	计算到层底
7	14.948	52.318	计算到层底
8	12.797	44.780	计算到层底
9	13.670	47.845	计算到层底

取: $\psi=0.2$

$$S' = 4P_o \sum_{i=1}^n \frac{Z_i \overline{\alpha_i} - Z_{i-1} \overline{\alpha_{i-1}}}{E_s i} = 621.7 \text{ mm}$$

$$S = \psi \cdot S' = 0.2 \times 417.3 = 0.2 \times 621.7 = 124.34 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$$

满足设计要求。

5 结语

地基基础不仅关系到上部结构的安全性和耐久性,而且对建筑物整体结构的使用也有着非常重要的作用。设计人员不能仅仅知道规范是如何规定的,

(下转第264页)

表 1 分析区域亮度仿真结果 单位:cd/m²

序号	分析区域	平均照度(维持值)	最小照度	最大照度
1	“N”字造型	26.00	6.76	34.40
2	主塔正立面	16.80	3.28	43.30
3	主塔侧立面	6.06	1.56	28.10
4	吊索	8.80	0.41	96.50

接入城市亮化控制系统的条件;通过光纤或 5G 通信连接区级分控,重大活动时可具备市级总控的直控能力。

全面采用节能 LED 灯具,光源以 RGBW 为主,灯具可单灯单控、全动态实时控制;可根据需要制定平日模式、节假日模式、灯光秀演绎模式等多种灯光场景,以先进控制技术为保障,搭配先进可拓展的灯控系统,实现智能互联,节能环保。

6 结 语

本文结合南京仙新路长江大桥的区域地标属性,设计了 2 个夜景照明主题方案。待方案明确,进行施工图设计时,要进一步综合考虑养护、风力、振动等相关因素,细化灯具选型与灯位安装位置,避免眩光干扰;同时结合“双碳”节能要求,根据时段、季节或节假日等设计具体的开灯模式,制定各灯光场景下的灯具组合控制策略,以实现丰富的夜景照明效果。

参考文献:

[1] 中铁大桥勘测设计院集团有限公司.南京仙新路过江通道工程加劲梁施工图[Z].武汉:中铁大桥勘测设计院集团有限公司,2020.
 [2] 中铁大桥勘测设计院集团有限公司.南京仙新路过江通道工程主塔 N 字钢施工图[Z].武汉:中铁大桥勘测设计院集团有限公司,2022.
 [3] 赵茜茜,吴越文.沪苏通长江公铁大桥夜景照明设计[J].城市道桥与防洪,2022(4):105-107.

(上接第 256 页)

对基本原理也应熟练掌握并正确应用,做好理论和实践紧密结合。例如,地基的宽深修正,国家规范和北京规范就有区别,这就需要理解宽深修正的基本原理是什么,知其然更知其所以然。

参考文献:

[1] 李广信.土力学:第三版[M].北京:清华大学出版社,2022.

[2] GB 50021—2001,岩土工程勘察规范[S].
 [3] 陈仲颐.土力学[M].北京:清华大学出版社,1994.
 [4] 刘金波,孙威,刘丰敏,等.地下水对地基基础工程的危害及事故预防[J].施工技术,2017,46(3):122-127.
 [5] 刘庆海,孙大博.简述地下水对地基基础设计的影响[J].工业建筑,2016(增刊 II):544-546.
 [6] 王跃.住宅地基结构设计的相关探讨[J].建材与装饰:中旬刊,2008(6):52-53.