

地面超载对建筑物基础的影响

朱从伟

科盛环保科技股份有限公司, 江苏 南京 210022

[摘要]土的压缩性是指土体在压力作用下体积缩小的特性, 因为土中的土颗粒和土中水的压缩量相对于土层的压缩小到可以忽略不计, 所以土体的压缩就体现在在压力作用下的土中气和土中水的减少, 使得土颗粒重新排列, 相互挤紧。导致土体压缩的压力, 一般可将土层以分为两种状态: 欠固结和正常固结或超固结。

对于欠固结土是在上部土层自重的压力下, 土的压缩还未达到平衡状态, 如填海造地等, 在实际工程中较少出现, 文中不作探讨。对于正常固结土或超固结土, 土层在自重压力下, 已经达到平衡甚至反弹的状态, 只有当土层中应力超过其自重压力或是超固结压力时, 土层才会继续产生沉降。当存在项目设计对地形进行大范围改造(如堆坡地形等), 容易出现地面大面积超载的情况。在进行项目的地基基础设计时, 地上建筑工程所传到至基础的竖向力和基础上的土重导致的沉降, 设计时一般会根据规范和地方经验计算出沉降量。而对于地面超载导致的地基土的压缩的影响, 则在设计中很少考虑, 很容易给工程安全埋下隐患。如果工程项目采用的是浅基础, 会使基础下土层的过量压缩沉降, 而导致建筑物的不均匀沉降或基础倾斜。如果工程项目采用的是深基础, 桩周土层的压缩会导致桩基产生负摩阻力, 也会产生远大于设计估算的计算沉降量。负摩阻力是因为桩侧土层压缩, 从而对桩身产生下拉力的情况, 出现负摩阻力的情况在建筑工程中较为常见, 但是经常被结构设计师所忽视。如果桩端持力层土力学性能较差, 或是桩身承载力不足, 很容易给工程项目埋下安全隐患, 甚至导致工程事故的发生。文章针对负摩阻力对建筑物基础的影响, 结合规范相关内容及实际工程案例, 谈谈对该问题的认识。希望能引起设计师的关注, 认真研究方案设计意图及基地地质条件, 从而从设计阶段就充分考虑其影响, 保证建筑工程的安全性。

[关键词] 负摩阻力; 土压力; 沉降; 桩

DOI: 10.33142/aem.v3i8.4737

中图分类号: TU413.4

文献标识码: A

Influence of Ground Overload on Building Foundation

ZHU Congwei

Kesheng Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210022, China

Abstract: The compressibility of soil refers to the volume reduction of soil under pressure. Because the compression of soil particles and water in soil is negligible relative to the compression of soil layer, the compression of soil is reflected in the reduction of air and water in soil under pressure, which makes the soil particles rearrange and squeeze each other. The pressure that causes soil compression can generally be divided into two states: under consolidation and normal consolidation or over consolidation.

Under the pressure of the self weight of the upper soil layer, the compression of underconsolidated soil has not reached the equilibrium state, such as land reclamation, which rarely occurs in practical engineering and is not discussed in this paper. For normally consolidated soil or over consolidated soil, the soil layer has reached equilibrium or even rebound under self weight pressure. Only when the stress in the soil layer exceeds its self weight pressure or over consolidation pressure, the soil layer will continue to produce settlement. When there is a large-scale reconstruction of the terrain by the project design (such as slope terrain, etc.), it is easy to overload the ground in a large area. During the foundation design of the project, the settlement caused by the vertical force transmitted to the foundation by the aboveground construction works and the soil weight on the foundation will generally be calculated according to the specifications and local experience. The influence of ground overload on the compression of foundation soil is rarely considered in the design, which is easy to bury hidden dangers for the safety of the project. If the project adopts shallow foundation, it will cause excessive compression settlement of soil layer under the foundation, resulting in uneven settlement of buildings or foundation inclination. If the deep foundation is adopted in the project, the compression of the soil layer around the pile will lead to the negative friction of the pile foundation and the calculated settlement far greater than the design estimate. Negative friction is the downward tension on the pile body due to the compression of the soil layer on the side of the pile. The occurrence of negative friction is common in architectural engineering, but it is often ignored by structural designers. If the mechanical properties of the soil layer of the pile end bearing layer are poor, or the bearing capacity of the pile body is insufficient, it is easy to bury potential safety hazards for the project, and even lead to engineering accidents. In view of the influence of negative friction on building foundation, combined with relevant contents of specifications and practical engineering cases, this paper discusses the understanding of this problem. It is hoped to attract the designer's attention and carefully study the scheme design intention and the geological conditions of the base, so as to fully

consider its impact from the design stage and ensure the safety of the construction project.

Keywords: negative friction; earth pressure; settlement; pile

引言

地面的大面积堆载,对于浅基础下的地基土的沉降计算深度,一般都会远大于按基底附加应力影响的深度,而且在浅层土层中,堆载对地基土的应力影响基本没有减小,计算的沉降量也会比较大。地面堆载对地基土的影响深度,一般也只能将堆载假设为浅基础,推算其沉降深度。再根据《地基基础设计规范》给出的角点法分层计算即可。

1 概述

对于深基础的影响,在桩周土层压缩过程中,桩本身的向下的位移量小于周围土体向下的位移量,从而使作用在桩上的摩擦力向下,从而产生负摩阻力。负摩阻力减少了受压桩的承载力,增加了桩上的荷载,可能导致过量的沉降出现。引起负摩阻力的原因很多种,一般有以下几种:

- (1) 桩穿越较厚松散填土、自重湿陷性黄土、欠固结土、液化土层进入相对较硬土层时;
- (2) 桩周存在软弱土层,邻近桩侧地面承受局部较大的长期荷载,或地面大面积堆载(包括填土)时;
- (3) 由于降低地下水位,使得易压缩土层原来由土中水承担的应力转嫁给土颗粒,使得土的有效应力增加,而发生的被动的土层排水固结压缩现象。

以上三种情况,都会导致桩侧土层不断固结沉降,从而产生对桩侧的负摩阻力。对于桩身穿越的土层的固结状态和物理力学性能,应由地质勘察单位提出相关指标才能予以判断。往往需要结合对现场取的 I 级土样,在实验室内完成。通常该类试验数据,对土样的取样级别有更为严格的要求,否则试验结果往往不能反映实际情况,导致对土层的误判,从而直接影响基础设计安全性。该项土样钻取、封样不仅应严格按照规范执行,同时还需结合地区经验,才能做出符合实际的结论。

对于场地土质较差时,土层对上部建筑物或超载较为敏感,对于超过正常固结压力时,土层的压缩固结更为明显,从而对该土层内的桩身产生下拉荷载。大面积堆载常常是由于方案设计大幅提高项目原场地标高所导致。而通常情况下,设计师也很容易忽视大面积堆土对建筑物桩基础的影响。对于大面积地面堆载,压缩土层的影响深度一般均较深,甚至可能超过建筑物基桩的桩长,从而导致桩基随土层固结下沉,带着建筑物一起下沉。而且这种大面积堆载对原土层的固结影响可能持续几年以上。当桩端土层不能提供有效的抗力以抵抗建筑荷载和桩侧负摩阻力或基桩承载力不足,工程事故将无法避免。

负摩阻力对工程安全的影响不可忽视,但由于影响桩身负摩阻力的因素很多,通过理论准确计算其实际数值时,仍存在一定难度。根据大量试验及工程实测表明,桩侧面的摩擦力大小与桩侧有限应力有关,《建筑桩基规范》中 5.4.4 条给出计算公式即是以这种理论为基础。其公式的原理是根据桩端持力层土层的不同性质,确定桩身土层对桩的正负摩阻力分界点,即所谓的中心点深度,计算桩身中心点以上各土层的自重或附加应力,再通过其与负摩阻力系数 ζ_n 的乘积,将各软弱土层中的竖向应力转化为垂直作用于桩身侧面的土压力,即为土层的负摩阻力标准值,并规定该负摩阻力不大于该土层的正摩阻力标准值。规范中直接取负摩阻力标准值与桩的承载力特征值进行验算,以确保安全可靠。桩侧负摩阻力标准值也可以通过在桩身等间距粘贴应变传感器,将桩压入土层内,通过观测桩身混凝土的变形对应变传感器参数的影响,推算出各土层对桩身负摩阻力的试验值,相对更为准确,具体详见《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 中的附录 A 相关内容。

2 实际案例分析

本人经历的一个约 30 万平方米的住宅项目,以满足规划地下车库车位为前提,尽可能的减少地库的建设面积及对场地基坑土方的开挖量,方案设计时将小区住宅正负零从原场地标高抬高约 2.5m,但在小区周边设置 2 层的商业网点,商业网点一楼的后部外墙即为地下室车库外墙,商业二层位于小区设计地面标高以上。设计单位为了优化地库面积,将商业网点后面的地下室取消了一部分,导致商业网点一层外墙背面回土约 2.5m 高的后期园林种植土。二层商业网点基础采用柱下独立桩基承台,承台高度 0.9m,采用 PHC-400(95)AB-C80 预应力管桩,单桩承载力特征值为 650kN,以 5 层粉土或粉砂作为桩端持力层。如右图示意。

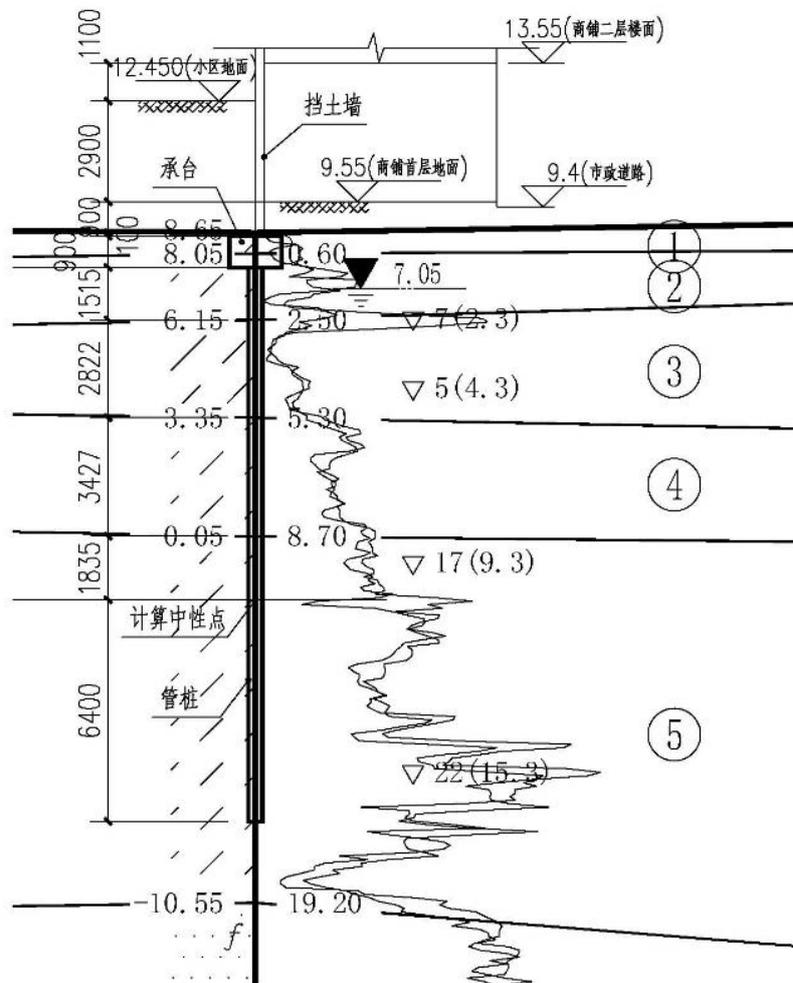


图1 地质剖面图及商铺剖面示意图

地质勘察报告给出的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值，见下表。

表1 桩侧极限侧阻力及端阻力标准值

层号	土层名称	混凝土预制桩		桩长 h (米)
		q_{sik}	q_{pk} 保留原生下标:	
1	填土	20		
2	粉土	40		
3	粉质粘土	25		
4	粉土	45		
5	粉土或粉砂	64	1800	$5 \leq L < 10$
			2200	$10 \leq L < 15$
5-1	粉土	40	1500	$10 \leq L < 15$

根据地质勘察报告显示，5层土为粉土或粉砂，查《建筑桩基技术规范》5.4.4.3条，中性点深度比可取 $1n/10=0.6$ ，桩周土层均为软弱土层，按桩长16m考虑，即 $10=16m$ ，可以推出 $1n=9.6m$ ，各土层的负摩阻力系数均按 $\zeta_n=0.4$ 取用。因商铺后墙两侧覆土厚度不一致，本例按两侧的平均值简化折中考虑，即原场地地表后覆土厚度为2.35m，桩周各土层的负摩阻力标准值计算如下表：

表 2 桩侧负摩阻力标准值计算表

土层编号	土层名称	重度 γ (KN/m ³)	$\sum \gamma_e \Delta Z_e$	$0.5 \gamma_i \Delta Z_i$	$\sigma' \gamma_i$	qsi	Qsi 取值
1	粉质粘土或粉土	19.2					
2	粉土	19.2	64.32	14.5	78.82	31.53	31.53
3	粉质粘土	18.8	93.41	26.51	119.92	47.97	25
4	粉土	19.3	146.42	33.1	179.52	71.81	45
5	粉土或粉砂	19.6	212.53	17.98	230.5	92.2	64

对于有类似经验的工程师不难发现, 这种情况就存在两个不可回避的问题:

第一, 2.5m 高的园林回土对商业外墙的土压力如何平衡

第二, 2.5m 高的园林回土为在原场地标高基础上的超载, 将导致原有正常固结土层成为欠固结土, 势必会对原本承载力偏小的管桩产生负摩阻力。

3 简单分析如下

(1) 商业外墙的填土所产生的土压力

对于建筑结构的挡土墙, 土压力系数应采用静止土压力系数, 即 $K_0=0.5$ 。由于承台底面以上的挡土墙两侧的土压力受力状态不同, 将其分别考虑。对于挡土墙外侧(园林回土一侧)的土压力, 按静止土压力计算如下:

$$E_0=0.5 \times 0.5 \times 19.2 \times 4.8 \times 4.8=110.59 \text{ kN/m}$$

对于挡土墙内侧(商铺首层地面一侧), 由于挡土墙外侧园林填土压力, 挡土墙有向商铺一侧变形的趋势, 理论上使得商铺一层地面以下的土按被动土压力计算, 但是要是挡土墙内侧的填土产生被动土压力, 需要挡土墙产生较大的水平变形, 这种量级的变形对建筑结构而言是不允许的, 所以保守考虑, 挡土墙内侧回土按主动土压力计算, 土压力系数取 $K_0=0.33$, 土压力计算如下:

$$E_a=0.5 \times 0.33 \times 19.2 \times 1.9 \times 1.9=11.44 \text{ kN/m}$$

挡土墙结构所承受的土压力为:

$$E=E_0-E_a=99.15 \text{ kN/m}$$

作用于 8.4m 跨的单柱水平力为:

$$F=99.15 \times 8.4=832.86 \text{ kN}$$

此水平力对商铺主体结构形成的弯矩为:

$$M=832.86 \times (4.8/3-1)=499.72 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

其对主体结构的影响需将其输入模型中核实。

对由挡土墙传递给承台水平力, 可由两根边柱和一根中柱下的桩基共同承受, 考虑到建筑桩基允许的水平位移一般控制在不大于 10mm, 且紧邻挡墙承受水平力较大, 对于刚度较弱的框架结构, 越远离挡墙的桩基受力越小, 且水平力导致的抗剪属于脆性破坏, 按不利考虑, 水平力全部由挡墙下的桩基承受, 即:

$$F_2=832.86/3=277.62 \text{ kN}$$

(苏 G03-2012 图集给出的抗剪承载力设计值为 168kN)

桩基承受的水平剪力已超过其管桩的强度设计值, 同样存在安全隐患。

显然, 挡土墙上的土压力不可忽视, 特别是对于这种结构刚度较弱的框架结构及预应力管桩基础。

(2) 负摩阻力形成对桩的下拉力分析

负摩阻力产生的对桩的下拉力为:

$$Q_g=0.4 \times \pi \times (1.52 \times 31.53 + 2.82 \times 25 + 3.43 \times 45 + 1.84 \times 64) = 490.5 \text{ kN}$$

负摩阻力与单桩承载力特征值比值为:

$$Q_g/R_a=490.5/650 \times 100\%=75\%$$

通过上面的分析可知, 由于后期覆土会导致桩基增加 490.5kN 的下拉荷载, 占设计承载力特征值的比重为 75%, 已大到不可忽视。即单桩承载力特征值需达到 $R'_a=490.5+650=1140.5 \text{ kN} < 2 \times R_a=1300 \text{ kN}$, 才能满足实际要求。扣除中心点

以上的土层对基桩的正摩阻力,中性点以下的正摩阻力理论上已经远不能满足设计的承载力特征值要求。如果设计没有考虑这部分的覆土对基桩产生的负摩阻力影响,直接的后果是紧临商铺后墙的桩基独立承载会因为负摩阻力的影响,产生的沉降会远大于计算值,且大于中柱和临市政道路边的边柱,直接的后果是两层的框架结构商铺基础会产生较大的不均匀沉降,导致填充墙体首先开裂,甚至框架结构的梁柱开裂。这就给结构安全埋下了隐患。

此问题被发现后,随即安排设计单位考虑上述两点因素对结构安全的影响,经过多次沟通协调,最终的处理方案是:直接将地库外扩至商铺后墙处,即商铺后墙为地下车库外墙,地库自重及顶板覆土引起的对原地面的超载数值大幅度减小,基本可以忽略不计,避免了潜在的安全风险,给参与其中的结构设计相关人员也上了一课。

4 结束语

随着国内近二十年的建设工程项目数量的爆发式增长,给相关设计行业的设计人员带来了发展机遇,设计师们没日没夜的赶图,无暇静下心来思考一些可能涉及结构安全的基本问题。希望通过本文的简单探讨,能够引起设计师对这类问题的关注,更多的思考、交流,提高专业水平,确保设计项目的结构安全可靠。

[参考文献]

- [1]周景星.基础工程[M].北京:清华大学出版社,2010.
 - [2]中国建筑工业出版社.建筑桩基技术规范:JGJ 94-2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
 - [3]中华人民共和国建设部.建筑地基基础设计规范:GB50007—2002[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
 - [4]中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB50021-2009[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
 - [5]中国有色金属工业西安勘察设计研究院.岩土工程勘察技术规范:JGJ106-2014[S].北京:中国计划出版社,2014.
 - [6]中国建筑科学研究院.建筑桩基检测技术规范:JGJ 106-2003[S].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- 作者简介:朱从伟(1980.12-)男,南京工业大学,土木工程,工程师,中级。