

土塞效应在基坑工程中的应用

张世彬

(临沂市园林环卫保障服务中心, 山东 临沂 276000)

摘要: 狭小面积的基坑在平面与坑深尺寸上类似于沉井、沉箱等施工方法,但基坑围护桩插入土体的深度远高于沉井的设计要求。实际上,狭小的基坑在坑底可以形成相对紧致的土塞,该部分土体在受挤压后可以为基坑围护桩提供较大的被动土压力,对基坑整体稳定属于有利作用。通过对该类型基坑的土塞效应进行理论分析和数值计算,并通过工程案例进行了验证,对类似工程的应用有一定借鉴意义。

关键词: 土塞效应;基坑工程

中图分类号: TU46+3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)08-0329-04

1 研究背景

土塞效应经常发生于狭小地下结构施工中。当土被挤压至很小的范围时,随着土体受到挤压力,其性质逐步变得致密。例如在开口管桩、压入式沉井中的土塞效应,常常造成施工困难。国内外针对这种土塞已有很多理论研究和工程实践。朱合华等^[1]对软土超长PHC桩打桩进行现场试验,发现影响土塞高度的主要因素是土性。但管桩中的土塞受挤压的形态和机理与基坑工程差异较大。

在狭小空间里的基坑工程,由于围护桩下部土体受到挤压产生的土塞对基坑的稳定性起到一定的有利作用,这方面已有工程人员进行分析研究。陈震等^[3]通过对土层参数进行调整,从理论上分析了利用坑底土体挤压产生的“土塞效应”,达到减小插入比的目的,并在黄河冲积互层地区的深基坑中进行了应用。潘卫康等^[4]针对狭小深基坑的挤土效应进行了理论分析,并进行了工程应用。

然而,工程中仍然普遍把狭小深基坑当作普通基坑进行设计,在没有其他因素制约时,并不会主动减小插入比。因此,积累相关类型的工程设计与施工经验,对今后类似基坑工程的应用有一定的借鉴意义。

2 围护结构插入比对基坑开挖的影响

通常情况下,基坑需按照基坑围护结构的断面进行设计,内支撑的刚度由平面框架进行试算。然而

实际情况中,由于地下工程施工过程需避让现状埋地构筑物,并非所有围护桩都有条件插入至较深位置;或者基坑围护桩已经施工完成,由于种种原因,基坑需要增加开挖深度。这些情况都使围护结构插入比小于常规所需值。工程中面对这种情况时,从技术层面分析,一般有两种解决办法:(1)通过增加措施,使基坑在小插入比情况下满足基坑整体稳定和变形控制要求;(2)废除该基坑方案,另外选址重新开挖基坑。随着城市空间日益密集,地下空间往往被各种建(构)筑物所占据,另选址开挖深基坑的做法通常要付出很大代价。因此,工程技术人员希望利用现有基坑,通过计算分析、增加措施等方法,对原基坑方案进行修改和优化。

3 基坑面积对桩插入比的影响

常规的基坑工程,在设计时均采用围护断面与支撑平面框架分别计算的形式进行(见图1)。其中,围护断面中的支撑刚度由平面框架计算出的平均刚度结果反向迭代。在这种计算方式中,基坑围护桩受力与变形、支撑轴力弯矩与剪力、整体稳定性、抗倾覆、抗渗流、抗突涌等一系列指标均从该断面计算中得出。这样的计算模式在大型基坑中可以比较准确地反映实际情况,但在小面积基坑、狭窄沟槽基坑中,未能有效考虑基坑平面整体性,结果往往偏于保守。但在工程设计中,在条件允许的情况下,工程技术人员宁可采用保守但偏安全的方案,于是仍然采用该方法进行设计,不再进行进一步优化。

但是,由于各种各样的原因,实际工程中并非所有基坑围护桩都可以顺利打入土层中的设计标高,导

收稿日期: 2021-04-22

作者简介: 张世彬(1970—),男,本科,高级工程师,从事建筑园林工程管理工作。

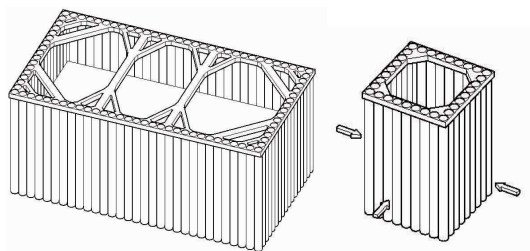


图1 大面积与小面积基坑围护桩对坑底下土体作用力示意图

致常规的基坑围护设计不成立。于是,工程中往往会采用“无围护桩”的形式,如沉井法、气压沉箱法、非开挖管道施工法、放坡开挖法等方式(见图2)。其中,沉井法、气压沉箱法与小面积的基坑有一定的相似性。沉井的外壁与刃脚在某种程度上可以看作基坑围护桩的另一种形式,区别在于刃脚往往远小于上部壁板高度,而基坑围护桩插入坑底下部的长度往往大于坑底以上长度,即围护桩插入比大于1。造成这种差异的根源,一方面在于沉井结构为整体预制,整体性高于零散的围护桩体;另一方面在于沉井往往区格较小,不像大开挖的基坑有较大的开挖面。在沉井下沉过程中,刃脚可以对所包裹的土体不断进行挤压,形成致密的土塞,使其对刃脚的作用力高于静止土压力。当挖除部分该土体后,沉井由于底部压力释放而继续下沉,再次将下方土体挤压至新的平衡状态。

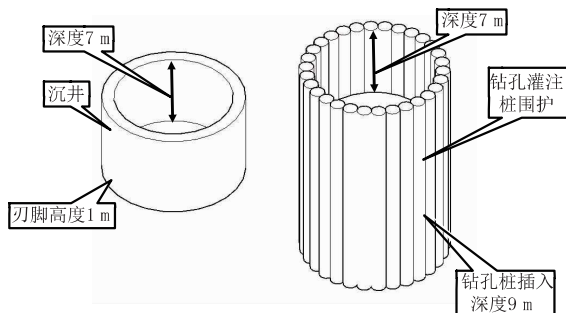


图2 沉井与基坑围护桩对比

当开挖作业面积小、基坑围护桩体连接较紧密时,这种基坑与尺寸近似的沉井在受力形式上的差异相对较小,从理论上应该可以寻求一定的可比性,即研究是否可以考虑围护桩底部土体受到一定挤压,对其产生较大的被动土压力,从而在计算基础上分析减小围护桩插入比的可能性。

在工程设计中,尽管从理论上可以考虑基坑平面效应,甚至围护桩对坑底土体挤压所形成的“土塞效应”。但由于基坑工程属于危大工程,安全性要求始终高于经济性,且土塞效应的效果不能根据简单的计算直接断定。因此,必须采用较小插入比时的基坑设计,往往仍会人为加强坑底土塞的效果,即采用

深厚坑底土加固措施,使其本身也具有足够高的强度。此时在桩体挤压下可以进一步加强,形成“土塞效应”双保险,充分保障基坑施工安全。

4 工程案例

上海某工程需埋设数十千米长的大直径管道,管道埋深约15~20 m,采用顶管法分段实施。其中一处顶管井,埋深18.9 m,采用 $\phi 1\ 200$ 钻孔灌注桩实施,原设计方案采用启明星FRWS软件,截取围护断面进行计算。计算简图见图3。

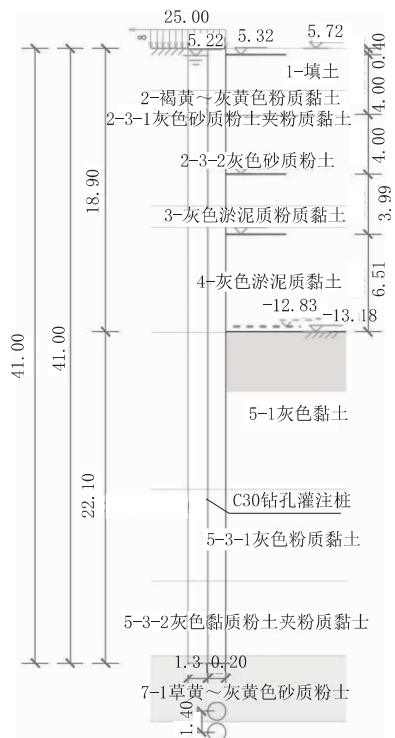


图3 上海某顶管井基坑断面(单位:m)

根据该计算结果,围护桩桩长为41 m,插入比约为1:1.17。根据该计算结果进行基坑设计,基坑形式为圆形, $\phi 1\ 200$ 钻孔灌注桩与双排 $\phi 850@600$ 三轴搅拌桩止水帷幕,坑底4 m厚三轴搅拌桩满堂加固。在该方案中,基坑的受力与变形均在规范允许范围内。具体形式见图4。

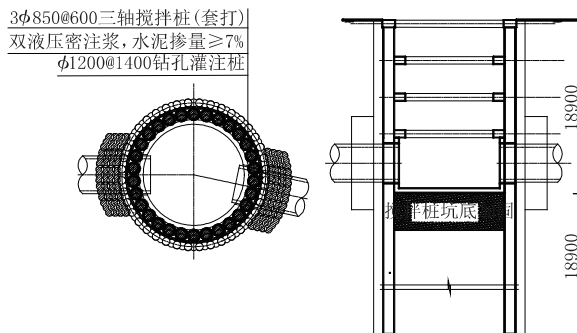


图4 已施工完成的顶管井平、剖面图(兼作工作井和接收井)(单位:mm)

然而,该顶管井实施完成后,顶管开始顶进时,顶管机头遇到不明障碍物而无法继续顶进。在各方协调后,采用了总管线下凹避让该障碍物,因此该顶管井需加深至 24.6 m。若直接按原 41 m 的围护桩长分析,桩的插入比已经到 1 : 0.67,远小于基坑常规的插入比经验值,必须加上一些非常规的措施,如顶管进出口洞口加固措施加强、坑底加固标准提高等。从基坑受力原理上讲,围护桩底部对坑底土体有一定挤压作用,若采用整体建模的方式进行分析,减小插入比后仍有可能满足基坑整体稳定要求。

本工程采用了 Midas GTS 对该基坑进行整体建模计算,土体采用修正摩尔 - 库仑模型,围护结构采用等效刚度地连墙(将钻孔灌注桩等效成等刚度地连墙),基坑围护坑底暂按原状土性质考虑,四周及底板施加约束,计算外扩尺度约为开挖深度的 3 倍,采用强度折减法来模拟桩底所形成的天然土塞效应,以及该基坑最终的变形、受力与稳定性分析情况(见图 5、图 6)。

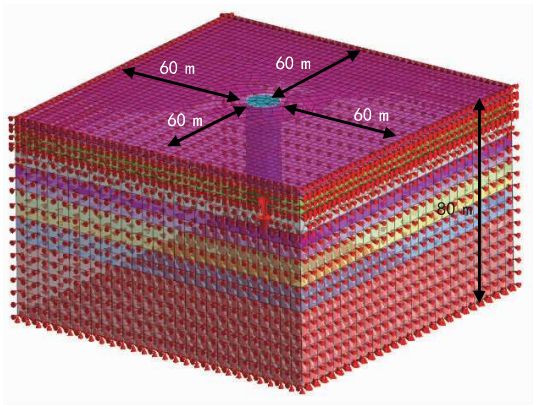


图 5 计算模型

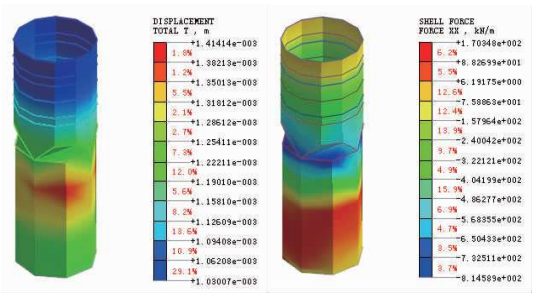


图 6 等效围护墙体变形与弯矩

针对原基坑设计方案和超挖后的基坑设计方案分别建模,用强度折减法分析基坑整体稳定情况。分析发现,原设计方案围护桩插入比约为 1 : 1.17,超挖后的基坑围护桩插入比约为 1 : 0.67,但基坑整体稳定系数 FOS 均为 6.0,并未因插入比变化而减弱。从土层剖面剪应变云图(见图 7、图 8)中可以看出,桩体两侧土体向坑底形成挤压效应,形成一块“土

塞”,对基坑整体稳定起到了有利作用。

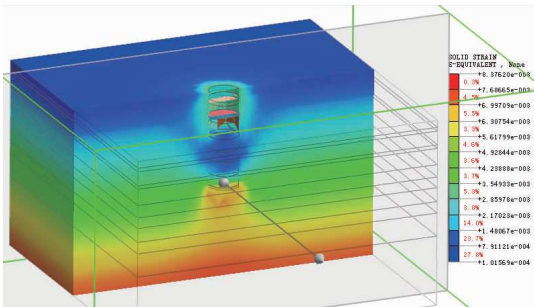


图 7 超挖前土体剪切破坏应变云图(插入比 1 : 1.17, 稳定系数 FOS=6.0)

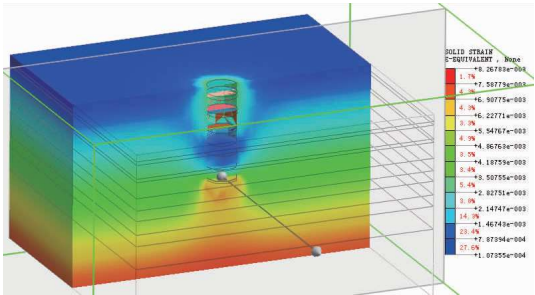


图 8 超挖后土体剪切破坏应变云图(插入比 1 : 0.67, 稳定系数 FOS=6.0)

经计算,发现基坑尽管插入比减小了很多,但由于开挖作业面较小,整个基坑呈竖向瘦长、横向狭小的形态,坑底土体应力显著高于坑外土体,而变形则限制得比较好。经对比,在原基坑断面计算时,分析出的水平位移与竖向沉降均达到 70 mm 左右,超过了规范允许值,而在考虑基坑空间效应的有限元整体模型中,基坑外围土体的变形趋势造成坑底土体受到轴向挤压,形成土塞效应,对基坑是一个有利作用,最终各方向的位移分析值均非常小(见图 9、图 10)。因此可以认为,基坑整体的稳定、变形均可以控制在规范允许范围内。

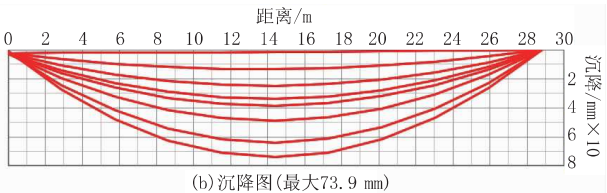
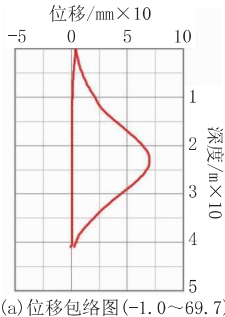


图 9 按基坑断面分析的水平位移与竖向沉降计算值

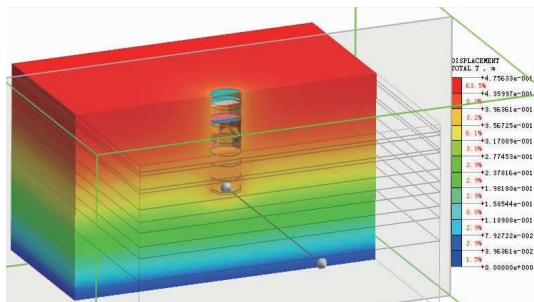


图 10 有限元整体建模分析的变形结果

然而,毕竟如此小插入比的基坑形式案例不多、经验较少,现场施工时,仍然对坑底进行了深厚土体人工加固,采用高压旋喷桩方式,从而对基坑的安全施工人为增加了一道保险(见图 11)。

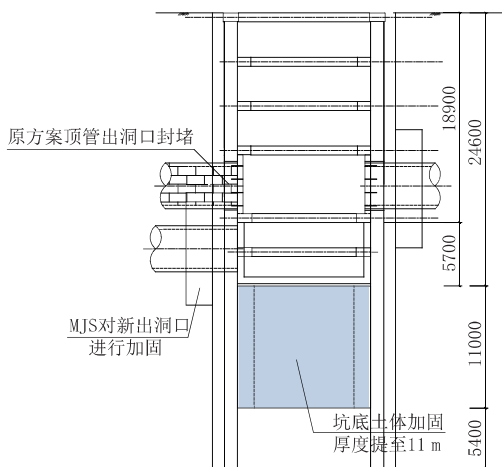


图 11 变更后的基坑围护断面(单位:mm)

最终,顶管井采取了“11 m 厚的坑底加固”方案,使坑底土体在进一步开挖之前就达到质量可控的“土塞”状态,并在钻芯检验合格后再进行开挖。值得一提的是,该顶管井在二次开挖后,1 倍坑深范围内已有重要构筑物,基坑环境保护等级从二级变为一,客观上需要严控基坑自身和周边构筑物的变形。而在采取此方案实施后,基坑开挖至新的设计标高时,未产生超过规范允许的变形,验证了设计过程中的分析假定,其结果与设计推测基本相符,对后续工程的实施具有一定借鉴意义。

5 结 语

影响基坑安全的因素有很多,本文论述的可考虑土塞效应的基坑通常为小面积基坑、狭窄的沟槽。这种情况下,从经验上可以采用较小的插入比进行设计,而基坑开挖深度、人工坑底加固参数取值、基坑形状对坑底土塞的形成都有一定程度的影响。本文所选的案例采用的是圆形基坑平面,其整体效应在各种形状基坑中最牢固。此时坑底土体可受到四周均匀挤压,形成圆柱形的土塞,压应力显著高于围护桩外的土体,在有限元分析时,变形可小于同深度情况下的其他形状或大面积的基坑。因此,在相同情况下,开挖面小、平面较规则(如圆形、正多边形等)的基坑更容易形成坑底土塞,从而达到减小围护桩插入比的目的。

天然土塞效应对基坑围护结构属于直接有利作用。实际上,工程设计中往往忽略该部分的有利作用,直接按主动土压力进行考虑。这也是基于基本的工程安全进行考量。然而,当环境复杂、方案无法按常规方式进行考虑时,基坑围护结构必须采用比常规方案更激进的形式进行实施,一方面可以通过计算,考虑由基坑空间整体效应和坑底土塞效应带来的效果,分析基坑在数值计算中的整体稳定和变形控制等指标;另一方面,可以通过人为坑底加固的形式,形成人工土塞,从而进一步提高基坑整体稳定性。

参考文献:

- [1] 朱合华,谢永健,王怀忠. 上海软土地基超长打入 PHC 桩工程性状研究[J]. 岩土工程学报, 2004(6): 745-749.
- [2] 张忠苗,刘俊伟,俞峰,等. 静压预应力混凝土管桩土塞效应试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(8): 2274-2280.
- [3] 陈震,王国富,路林海,等. 黄河冲积互层深基坑围护桩插入比优化分析[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(4): 97-103.
- [4] 潘卫康,赵保元. 狭小深基坑桩基施工挤土效应数值模拟分析[J]. 施工技术, 2018, 47(S1): 157-159.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com