

地下水对基坑开挖的影响以及防治措施的研究

范加冬 张令刚

(中国矿业大学建筑工程学院土木工程系,江苏徐州 221006)

【摘要】 基于地下水的不同类别及其特性,分析了包气带水、潜水以及承压水的影响及其预防措施。分析表明,对于包气带水和潜水其影响主要是引起基坑渗流,通过打隔水桩截断之即可收到很好的效果;对于承压水其影响主要是引起基坑突涌,分析了传统降水法(明沟排水、深井排水等)的效果及其存在的弊端。在新方法的研究中,基于球形颗粒理想化最松散堆积模型,研究了弹性条件下饱和土的力学特性。研究表明,基坑的破坏主要有两种方式,弯矩破坏和剪力破坏。利用材料力学原理分别计算出其最小隔水厚度 h'_{min} 、 h''_{min} ,理论分析表明,只要通过增设压板改变最大弯矩的值可以使 h'_{min} 、 h''_{min} 降到 h_{min} 。

【关键词】 地下水;渗流;隔水桩;基坑突涌;传统降水法;球形颗粒理想化最松散堆积模型

【中图分类号】 TU 46

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.03.007

Impactions of Groundwater on Excavation and Preventive Measures

Fan Jiadong Zhang Linggang

(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221006, Jiangsu, China)

【Abstract】 Based on different types of groundwater and its characteristics, the impaction of of vadose zone water, diving water as well as confined water and their preventive measures are analyzed. The results show that the vadose zone water and diving water's impaction is mainly caused by seepage Through the cut-off pile, good results can be received; and the confined water is mainly caused by the impaction of sudden foundation chung. The traditional preventive method (river drainage, deep well water and so on) and their disadvantages are analyzed. In the study of new ways, we studied the Mechanical properties of unsaturated soils under the condition of flexibility based on spherical particles loose accumulation of the most idealized model show that there are two main damage modes, bending and shear damage. The materials mechanics are applied to calculate separately the minimum riser h and h_{min} , through theoretical analysis we know that, as long as change the value of maximum bending moment the thickness could be reduce to the minimum by adopting additional plates.

【Key words】 groundwater; seepage; impermeable pile; sudden chung of foundation; traditional precipital method; the most loosely idealized spherical particle packing model

0 引言

地下水是地质环境的重要组成部分,且最为活跃。在许多情况下地质环境的变化是由地下水引起的,因此地下水是影响地质工程稳定性的重要条件。地质体内的地下水可以由于开挖而涌出或突出;也可以由于人类活动而向地质体内充水,增加湿度,提高地下水水位。地基土中的水能降低土的承载能力,地基涌水不利于工程施工;地下水又常常是滑坡、地面沉降和地面塌陷的主要原因;一些地下水还腐蚀建筑材料,这些都可以引起地质灾害。在地质工程设计或地质灾害防治设计中都必须慎重地考虑

地下水这个因素。

地下水对基坑工程的影响是一个综合性的岩土工程难题,既涉及土力学中的强度与稳定问题,又包含了变形和渗流问题,同时还涉及到土与支护结构的共同作用。例如,在城市改建时,深基坑开挖不仅要保证基坑的稳定,还要满足变形控制的要求,以确保基坑周围建筑物、构筑物、地下管线和道路等的安全。

地下水治理的基本原则在基坑设计过程中,治理地下水的基本原则是疏堵结合。堵主要用于地下水为潜水、包气带水或者是承压水水压不太大的情

况下,指通过有效手段在基坑周围形成止水帷幕,将地下水止于基坑之外,如粉(浆)喷桩帷幕、高压旋喷桩、沉井法、花管注浆、灌浆法以及地下连续墙等;疏主要用于承压水水压很大时,为防止基坑突涌,则将基坑范围内的地表水与地下水排除,如采用明沟排水、井点降水等。由于井点降水尤其是深井降水相对成本较高,施工难度较大,且极易埋下隐患,笔者结合工程实践与理论研究提出一种防治的新措施。

1 地下水对基坑的影响^[1]

潜水以及上层滞水对建筑工程的作用有以下特点:周期性、多变性、长期性;直接作用和间接作用;瞬时作用和缓慢作用;参与作用的地下水类型的复杂性和研究的广泛性。其主要影响(以排桩加锚杆为例^[2]):

1)在支护结构的设计中,无论采取何种计算方法,地下水的存在和状态都会影响水平荷载的取值大小。从而可能直接造成支护结构的失效或过大的位移。

2)地下水可能引起锚杆或周围土体之间握裹力的降低从而降低抗拔力。

3)地下水的存在可能造成施工的困难,常常会使支护结构在嵌固深度不足条件下工作。

4)地下水的存在可能降低支护体系的整体稳定性。

5)地下水控制不当,可能造成潜蚀,严重时威胁体系的整体稳定性。

6)对于槽底土质为粉土或砂土时,可能造成基地的管涌或基坑隆起失效。

7)由于施工降水失当,造成基坑侧面变形过大,引起临近建筑、道路或地下设施的破坏。

另外,在各类软土分布区,因降水十分困难(空隙细小且富含结晶水)不得不采取特殊方法(如电渗析法)而使造价提高。与此同时,还可能出现以下不良作用:①强侵蚀性地下水及环境水渗入,对施工管材和基础产生侵蚀、腐蚀作用。②因排水导致地下水动力条件改变,促使细颗粒地基土形成流砂。③深开挖时下伏承压水可能产生突涌。④施工降水可导致毗邻自然边坡或人工边坡失稳。⑤排水引至场外任意流失渗漏,可成为邻区地基变形新隐患。同时需要注意的是,在基坑开挖支护中,某些管道的渗漏有时候比渗透更具有危险性和不可预测性。

2 传统防治措施分析

建筑施工中,为维护工程场地的稳定常采取截断渗流(如打隔水桩)和降水(如井点排水)的方法。

2.1 截断渗流法

截断渗流法主要适用于基坑开挖深度较小,承压水对工程威胁不大的情况,其主要目的是消除包气带水和潜水的影。工程施工中通常采用水平旋喷桩堵水帷幕^[3]的方法,水平旋喷咬合桩帷幕主要

以改善地层及止水为目的,增强回填杂土与粉砂地层的稳定性,降低地层的渗透系数,防止开挖过程中流泥、流沙及坍塌,保证施工和地面、构筑物的安全。施工采用双重管无收缩双液注浆 WSS 工法,对结构拱部进行水平旋喷处理,形成一圈咬合的旋喷桩止水帷幕,使拱部松散饱和土形成具有一定强度、渗透系数较小的复合土层,以达到稳定土体并止水的效果。

2.2 降水法

降水法主要包括明沟排水和井点排水,不同的地质有其不同的降水要求。降水方案的选用要求见表 1。

表 1 降水方案^[4]

基坑开挖深度/m	粘土、淤泥质土、淤泥砂	粉质粘土、粉砂	细砂、中砂、粗砂、砾砂
≤6	单层井点、电渗法	单层井点、电渗法	单层井点、表面排水
6~12	多层井点、喷射井点	多层井点、喷射井点	多层井点、管井
12~20	喷射井点、深井点	喷射井点、深井泵	喷射井点、深井泵
≥20	深井点、喷射井点	深井泵、喷射井点	深井泵

当采用降水方案时,为减少对工程本身的不利影响,井点施工必须执行现行国家标准《地基和基础工程施工及验收规范》的规定,严格控制出水的含泥量。

当工程施工需要开挖基坑后的坑底隔水层的厚度小于安全厚度时,为防止基坑突涌,必须对承压水层进行预先排水,以降低承压水头压力。基坑中心承压水位降深 S 必须满足

$$S \geq H_0 - \frac{\gamma}{\gamma_w} h_0^{[5]}$$

式中: H_0 为承压水头; γ 为土的重度, kN/m^3 ; γ_w 为水的重度; kN/m^3 ; h_0 为隔水层安全厚度。

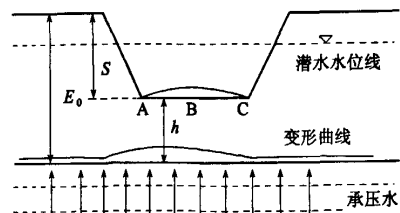


图 1 基坑受力图

根据试验^[6],可以看出随着含水量的增加,基坑土体的物理力学性质在不断的降低。试验工况为某

一围压下,施加水头,并保持进、出水量相同(试验过程约 3h),然后去除水头压力,孔隙水压力为零时,进行剪切试验。试验所选取的物理参数见表 2。试验结果见图 2、图 3。

表 2 试验参数表

含水量 $w/\%$	湿密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	干密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	孔隙比 e	饱和度 $S_r/\%$	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_P/\%$	塑性指数 $I_P/\%$	渗透系数 $/(\times 10^{-4} cm \cdot s^{-1})$	剪切速率 $/\%$
30.42	1.95	1.50	0.81	100	36.0	21.7	14.3	2.1	0.012~0.003

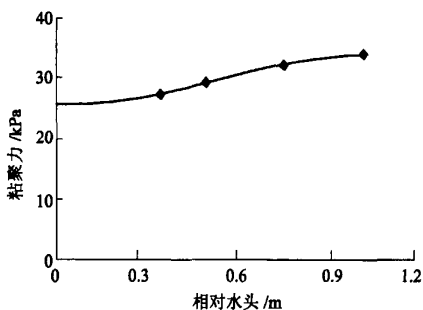


图 2 水头-粘聚力关系曲线

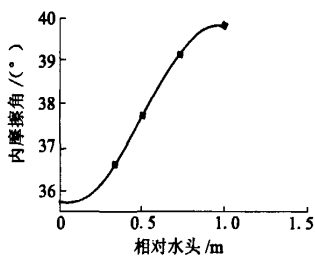


图 3 水头-内摩擦角关系曲线

由图 2 与图 3 可见,土体的物理力学参数随着水头的增大而增大,表明固结后的土体颗粒发生移动和位错,颗粒间的联锁作用得到加强。可见,降水对基坑稳定性是有一定作用的。

3 新防治措施的理论研究

根据 2.1 所述截断渗流法虽然成本较低,安全度大,但对基坑突涌却无能为力;而 2.2 中的降水法固然可以防止基坑突涌,但其施工成本高,操作难度大,且极易发生事故。这种方案引起的事故在工程中不为少数。

基于上述方法的缺陷,笔者认为还可以通过增设压板来提高基坑的稳定性。其理论依据如下:取土体以最简单的九颗粒排列单元体为研究对象,由于受基坑突涌威胁较大的多是地基深部,其土为饱和土体,所以极少存在缺位现象,可以忽略这种情况的影响,因此基坑底部土体可以近似看做是均匀的、连续的。由土体一般力学特性^[7],在受力不太大时,其应力与应变近似成正比关系(见图 4),所以可以将其当做线弹性处理。

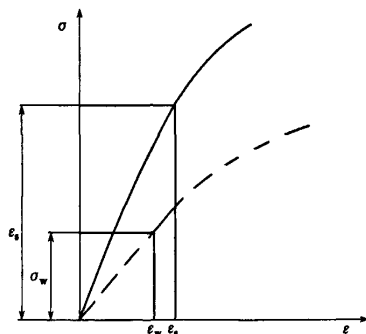


图 4 土体抗弯和抗剪 σ - ϵ 示意图^[7]

承压水对基坑的破坏主要有两种形式:弯矩破坏和剪力破坏。

3.1 弯矩破坏

随着基坑深度的增加,其底部承受的弯矩不变,但最大正应力却随之增大。当 $\sigma_{max} > [\sigma]$ 时,基坑底部土体不足以抵抗静水压力,即会出现基坑突涌。如图 1 所示,假设此基坑深度已达到 2.2.1 中所述的最小厚度 h_0 , M_{max} 表示最大弯矩, W 表示抗弯截面系数,它的大小与几何形状有关。则最大正应力:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} = \frac{3q_1 l}{2h_0^2}$$

$$S \leq H_0 - h_0$$

在实际施工中,由于工程稳定性的要求,基坑深度必须大于 S 时,可以在基坑中点加一压板,使压力 F 抵消其剪力。如此,其最大正应力为

$$\sigma_{man} = \frac{M'_{max}}{W'} = \frac{3ql}{4h_1^2}$$

$$S' \leq H_0 - h_1$$

$$h_1 = h_0 / \sqrt{2}$$

在某一特定地质条件下, σ_{max} 的值可由试验室测到,为常数。

3.2 剪力破坏

在基坑开挖过程中,外界条件一定时,基坑底部中间处承受剪力最大, $F_{max} = ql \cdot q/2$ 为承压水压力线密度, l 为基坑底部宽度,如图 1 所示。以九颗粒单元体为研究对象^[8],假设单元体体积为 1,受到外界静水压力为 P ,则作用在每个颗粒上的力为 $f = P/9$,

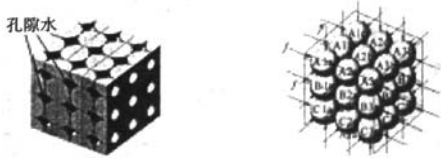


图5 九颗粒单元体模型

设其摩擦因素为 η , 则单元体在直剪条件下由于摩擦而产生的抗剪强度为 $\tau=9 \times P/9 \times \eta=P\eta$, 其中 η 的值在实际施工中可以通过取试样在实验室中测得; 静水压力的值可以由查表而得。其值与深度有关。则

$$\frac{1}{2}ql \leq \tau \cdot S_1$$

其中 S_1 为剪切面面积。所以

$$\frac{1}{2}ql \leq P \cdot \eta \cdot h$$

设 P_x 表示深度为 x 时的静水压力, 则

$$h_{min} \geq \frac{ql}{2P_x \eta}$$

综上 3.1、3.2 所述, 在计算最小隔水厚度时需要综合考虑剪力和弯矩的破坏。基坑深度已达到 2.2.1 中所述的最小厚度 h_0 时, 通过增设压板法可以在向下开挖 h_0-h_1 的深度, 即最小隔水厚度降为 h_1 。如果还不能满足要求, 可类似地在 A、B、BC 中点再加压板, 深度可再增加, 依次进行下去, 则最小隔水厚度将逐渐趋近于 h_{min}^* 。

施工时, 可先在没设压板的地方开始, 待地基压力足以抵抗水的压力时, 即可撤去压板。

4 结论

在深基坑设计和施工过程中, 上层滞水和承压水对基坑的施工和地下室施工都有显著的影响, 需要注意:

1) 地下水的治理要遵循疏堵结合的方法, 强行封堵或听之任之都是不可取的;

2) 上层滞水的补给水源较多, 设计时应应对基坑周边进行调查, 提出具体措施;

3) 承压水的治理多采用深井降水和半落地止水帷幕的方案, 设计时要防止坑壁侧涌和坑底管涌;

4) 在基坑施工前 施工单位要制定抢险预案, 贮存一定的物资, 如木桩、麻袋、水玻璃等。

对于大多数土体而言, 其抗剪强度 σ' 远大于抗弯强度 σ_w , 一般情况下由剪力引起基坑最小安全厚度 h_{min}^* 远小于由弯矩引起的 h_{min} , 即 $h_{min}^* \ll h_{min}$ 。所以通过增设压板的方法, 可以使 h_{min}^* 逐渐降低直到逼近 h_{min}^* , 避免有土体抗弯强度 σ_w 过小而引起的施工瓶颈。

鉴于地下水及其地质作用对建筑工程一系列的不良影响, 我们必须对水文地质工程地质的整体化进行研究, 紧密结合室内实验、模拟试验与现场原位测试、长期监测工作, 重点解决影响地基土力学性能及建筑物安全稳定性的地下水参数, 提高定量评价精度和预测预报准确性。同时应不断探索、创新, 利用新的施工方法以提高施工效率和安全性。

参考文献

- [1] 顾晓鲁. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2006:145-146.
- [2] 贺明侠, 王连俊. 地下水及地质作用对建筑工程的影响[J]. 土工基础, 2007, 19(3):19-21.
- [3] 梁云生. 城市地铁旋喷桩施工技术[J]. 隧道建设, 2007, 27(3):84-87.
- [4] 孔宪立, 石振明. 工程地质学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007:325-326.
- [5] 王树旺. 地下水对基坑稳定性的影响分析[J]. 地基基础工程, 2006, 9(4):52-55.
- [6] 史如平. 土木工程地质学[M]. 南昌: 江西高校出版社, 2004:126-127.
- [7] 秦爱芳, 蒋晨旭. 基坑开挖卸荷影响深度分析[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2008, 14(4):206-209.
- [8] 李顺群, 等. 粒间吸引力对非饱和土变形及强度的影响分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, 32(6):1169-1172.

收稿日期: 2009-03-30