

某基坑工程流砂的成因分析及处理措施

王维成¹, 刘勇健¹, 夏继君²

(1. 广东工业大学 建设学院, 广东 广州 510006; 2. 广东省基础工程公司, 广东 广州 510620)

摘要: 结合广州市某重点工程的流砂实例, 从基坑开挖过程中发生流砂所具备的水文地质条件入手, 着重从理论方面分析流砂形成的原因, 并总结提出了紧急回填、复打止水旋喷桩、裂缝注浆和挂网喷混凝土等 4 个有效控制流砂的处理措施。

关键词: 基坑工程; 流砂; 流砂成因; 控制流砂

中图分类号: TU 753. 8

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2008)02-0082-04

近年来, 随着高层建筑迅速发展, 深基坑开挖日益频繁, 建筑场地日趋复杂. 当采取坑内抽水时, 坑(槽)下面的土在动水力的作用下, 有可能变成流动状态, 随地下水一起涌进坑内, 出现边挖边冒, 无法挖深的现象. 发生流砂时, 土体失去承载力, 不但使施工条件恶化, 还会影响基坑工程的稳定性, 严重时会引起基坑边坡塌方, 土坡侧向位移与沉降急剧增大, 附近建筑物会因地基被掏挖而下沉、倾斜, 甚至倒塌, 危及工程的安全和施工的顺利进行. 由此可见, 在某些深基坑工程施工过程中, 对流砂进行有效控制和及时处理至关重要. 本文针对基坑工程中常常会遇到的流砂问题, 结合珠江三角洲地区某深基坑工程实例, 分析了流砂成因, 提出了相应的措施.

1 工程概况及地质条件

广州某重点工程, 地上 43 层办公楼, 框架-剪力墙结构, 地下 2 层, 总用地面积约 1.5 万 m². 施工场

地四面临近公路, 无建(构)筑物. 基坑长约 150 m, 宽约 100 m, 开挖深度 9.0 m, 基底标高 -10.0 m(相对标高, 下同). 深基坑采用桩径 1 000 mm、桩心间距 1 150 mm 的冲孔灌注桩加预应力锚索支护方式(一桩一锚), 其中灌注桩桩底嵌入强风化岩不少于 3 000 mm. 以桩径 1 150 mm、桩心间距 1 150 mm 的三重管高压旋喷桩作为止水帷幕, 桩底穿过砂层进入强风化以上岩层 1 000 mm. 工程桩为人工挖孔扩底桩.

本场为河漫滩地貌单元, 与最近河涌的距离仅有 100 m 左右. 场地地层从地表自上而下情况见表 1. 地下水与河涌地表水联系较紧密, 主要接受大气降水、河涌水的补给. 地下水位埋深约 2.5 m, 据勘察资料显示在 -5.00 ~ -11.00 m 范围内为粉、细砂层, 其透水性强, 傍河地段的地下水丰富、活动频繁, 这为流砂的形成创造了有利的条件.

表 1 场地地层分布及主要物理性质指标

层号	土层名称	平均厚度 /m	状态	平均重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
①	人工填土层	3.0	松散	19.0	10	17
②	淤泥、淤泥质土	1.0	流塑	17.2	7	8
③	粉质黏土	0.5	软塑	19.2	14	13
④	粉、细砂	6.0	松散~密实	18.5	0	30
⑤	中粗砾砂	1.0	松散~密实	19.0	0	32
⑥	粉质黏土、粉土	—	可塑~硬塑	20.0	18	18
⑦	粉砂岩、细砂岩	—	全风化~微风化	—	—	—

2 基坑开挖及流砂现象

本工程支护及止水桩如图 1(第 83 页)所示. 基

坑支护桩施工前场地已整平至 -1.00 m, 施工工序依次是灌注桩、旋喷桩、锚索的施工. 在土方开挖过程中, 先 1:1 放坡, 坡高 2 m, 表面挂网喷混凝土处

收稿日期: 2007-11-13

基金项目: 广东省岩土工程重点学科基金资助项目

作者简介: 王维成(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为地基与基础工程.

理, 故支护桩顶有效标高为 -3.00 m 。基坑开挖至约 -7.00 m 时, 局部支护桩的缝隙出现漏水流砂, 此时流砂现象较轻微。随着土方继续开挖, 支护桩脚开始慢慢有少量细砂冒出, 开挖越多流砂越严重, 于是局部不得不紧急回填。由于赶工期, 此时基坑其它地段的开挖仍在继续进行, 险情很快出现, 流砂由基坑边的局部扩大到整体的 60% 区域, 基坑工程的稳定性和施工安全受到巨大的影响, 如果再继续开挖, 则可能酿成严重工程事故。此时, 指挥部决定基坑开挖暂时停止, 必须立即查明原因, 采取补救措施。

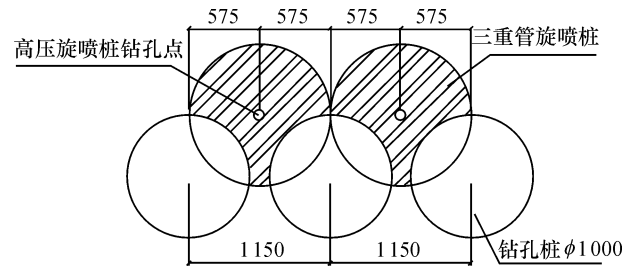


图 1 桩间高压旋喷桩与钻孔桩搭接大样 (单位: mm)

经多方查找流砂原因, 主要是由于止水帷幕出现问题。有以下两个现场方面的可能性: 一方面, 可能是在灌注桩完成后的旋喷桩施工放线有一定的偏差。当时放线是在 -1.00 m 处, 虽然能看到灌注桩的桩头, 但实际上施工时其桩头在 -1.00 m 处已经出现了“大脑袋”的现象, 这对旋喷桩施工放线造成一定的错觉; 另一方面, 可能是在旋喷桩的施工过程中, 施工人员对地质的复杂情况重视不够, 提管速度和喷浆压力控制不当, 旋喷桩止水没有达到预期的效果。

3 流砂成因分析

流砂是地下水渗流变形破坏形式之一, 是一种土的活动。存在于地下水位以下的粉细砂、粉土等土层在自下而上的动水压力作用下土粒处于悬浮状态, 是土体随水流动的一种地质现象。基坑开挖施工中, 可将流砂程度划分为 3 个等级^[1]。

1) 轻微程度的流砂: 支护墙体缝隙不密, 有一部分细砂随地下水一起穿过缝隙流入基坑, 造成坑边外侧水土流失, 并增加坑内泥泞程度。

2) 中等程度的流砂: 在基坑底部, 尤其是靠近支护墙体底部的地方, 有一堆细砂缓缓冒出, 仔细观察可以看到细砂堆中有许多细小水槽, 冒出的水夹带着细砂颗粒慢慢流动。

3) 严重程度的流砂: 在发生中等程度的流砂后未采取措施而继续下挖, 有时可能会造成基底冒出

的流砂速度很快, 基坑底部呈现流动状态, 无法正常施工, 并有可能由于水土流失严重而造成周围建筑物或地下管线沉降过大而破坏。

根据大量的工程实践及理论研究表明, 关于流砂形成的原因归纳为如下几点: 1) 当坑外水位高于坑内抽水的水位, 坑外水压力向坑内流动的动水压力等于或大于颗粒的浮重度, 使土体悬浮失去稳定变成流动状态, 随水从坑底或四周涌入坑内。如果施工时采取强挖, 抽水愈深, 动水压力愈大, 流砂越严重。2) 由于土体颗粒周围附着亲水胶体颗粒, 饱和时胶体颗粒吸水膨胀, 使土粒密度减小, 因而在一个不大的水冲力下就能使土粒处于悬浮状态。3) 饱和砂土在振动作用下, 土体结构遭到破坏, 使土体颗粒悬浮于水中并随水流动。

根据摩尔-库仑强度理论, 砂土的抗剪强度与作用在剪切面上的法向应力和內摩擦角有关^[2], 即

$$\tau = \sigma' \operatorname{tg} \varphi' = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad (1)$$

式中, τ 为土的抗剪强度, σ' 为有效应力, φ' 为有效內摩擦角, σ 为剪切面上的法向应力, u 为孔隙水压力。

当地下水在自下而上渗流过程中, 动水压力 G_D 方向产生向上, 与重力的方向相反, 动水压力 G_D 大小为

$$G_D = i \gamma_w \quad (2)$$

式中, i 为水力坡降, γ_w 为水的重度 (kN/m^3)。

当动水力 G_D 的数值等于或大于土的浮重度 γ' 时, 同时水力坡降也达到或超过临界水力坡降 i_{cr} , $\tau = 0$ 此时, 土体呈现为悬浮状态, 即成为流砂。其中临界水力坡降可按式 (3) 计算^[3]:

$$i_{cr} = \frac{(G_s - 1)}{(1 + e)} \quad (3)$$

式中, i_{cr} 为临界水力坡降, G_s 为土的相对密度, e 为土的孔隙比。

根据常发生流砂地区的工程实践及土工分析, 影响流砂现象的因素较多, 主要是土的颗粒级配、土层结构及埋藏条件等。当开挖时的水力坡降超过临界水力坡度, 又具有以下条件时, 就很容易产生流砂。

1) 土的颗粒组成中, 黏粒含量小于 10% , 粉砂粒含量大于 75% ; 2) 土的不均匀系数 $\frac{D_{60}}{D_{10}} < 5$; 3) 土的水质量分数 $\omega > 30\%$; 4) 土的孔隙比 $e > 0.75$ (或土的孔隙率 $n > 43\%$); 5) 在黏性土有砂夹层的土层中, 砂土或粉土层的厚度大于 25 cm 。

因此,开挖面的标高与场外地下水位的标高差越大、动水压越大,流砂越严重.一般的处理措施:一是降低场外的地下水位,使场外地下水位的标高低于开挖面的标高,使动水压力降低;二是设置止水帷幕,切断场外地下水与开挖面处的水力联系,以解决砂随水流动的问题^[4],本工程采用的是第二种措施.

4 处理措施

经流砂成因和程度分析,根据本工程条件和场地的工程地质条件与水文地质条件,采取了如下综合处理措施.

1) 紧急回填

基坑周围开挖面出现了局部较严重流砂时,立即用挖机紧急回填.对于后来发现基坑边约 60% 的范围内(约 300 m 长)均有流砂情况且比较严重时,应采取大面积回填的措施,以待进一步研究并采取相关措施,回填土方量以能阻止流砂为标准.

2) 复打止水旋喷桩

经业主、监理、设计和施工各方共同研究决定,在冲孔灌注桩的背后沿流砂严重的地方复打直径 600 mm、桩心间距为 500 mm 的旋喷桩,采用双管和三管两种形式,漏水严重的地方用三管,轻微的地方用双管,以尽可能降低造价,旋喷桩打入不透水层至少 1 000 mm.三重管法高压水射流的压力为 30 MPa 气压为 0.6~0.8 MPa 水泥浆压为 0.7~1.0 MPa 提升速度为 10~12 cm/min 每米水泥掺入量为 400 kg

3) 裂缝注浆^[5]

复打旋喷桩达到一定强度后继续开挖,但在开挖时又出现了问题——局部继续漏水流砂,这主要是前期支护结构背后的土流失较多所致.所以,注入的水泥浆不能有效地与土发生物理化学作用而形成止水的水泥土,部分水泥浆已经随水流走.为了阻止继续流砂,采取裂缝注浆法.在流砂口钻直径 40 mm 的孔出支护桩入墙后土层 2 000 mm,然后插入外径 30 mm 的注浆管,注浆管采用 PVC 管,且在插入前将入土层中的管打孔,以便浆液喷出.同时,用超早强水泥砂浆封住注浆管和支护桩之间的间隙.然后用双液浆泵注入水泥浆和水玻璃胶体的混合物,按 1:0.3(体积比)进行配比,注浆压力为 40 MPa 采用 425 号普通硅酸盐水泥,水灰比 0.7,水玻璃的浓度为 42 波美度.注入的浆体能很快凝结,从而有

效地遏制漏水和流砂.

4) 挂网喷混凝土

在前几项补救措施完成之后,为了进一步巩固成果,从 -7.00 m 至基坑底对临基坑面的灌注桩表面采用双向直径 8 mm、间距 200 mm 钢筋、C20 混凝土、厚度 80 mm 的挂网喷混凝土的处理.通过挂网喷混凝土,支护结构的整体稳定性得到进一步增强.

从监测结果来看,本工程基坑顶部的最大水平和沉降位移均没有超过 21 mm 的警戒值(控制值为 30 mm)^[6],处于安全控制范围之内,流砂处理取得成功,有效地保证了后续工程的顺利施工.

5 结语

深基坑支护应综合考虑基坑特点、工程地质条件、周围环境、施工条件及工程造价等因素,因地制宜,选用技术可靠、经济合理、安全适用的支护形式.基坑开挖前,应认真阅读和分析场地的工程勘察报告,掌握场地的工程地质和水文地质条件,对有较厚的细、粉砂层和地下水较丰富的基坑工程以及流砂的危害应有充分的认识.对有可能产生流砂的地段,思想应高度重视,宜采取有效的预防措施.应严格控制施工质量,不能盲目追赶工期.

本工程采用封闭的止水帷幕止水设计方案.没有选择降水法,其主要原因是该地区地下水十分丰富,降水工程量及预算支出都比较大.如果基坑周围条件允许,为了减小支护结构的压力,可以酌情移去支护结构背后的部分土方,即坡顶卸荷.在选择流砂处理措施时,应根据工程的具体情况,因地制宜地采取有效的处理措施,在能及时有效控制流砂的同时兼顾好经济效益.

参考文献:

- [1] 北京土木建筑学会.地基与基础工程施工技术措施[M].北京:经济科学出版社,2005.
- [2] 杨小平.土力学[M].广州:华南理工大学出版社,2001.
- [3] 赵治缙,应惠清.简明深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [4] 叶志德.基坑工程流砂处理方案及效果[J].建筑技术,2005,36(8):625-626.
- [5] 徐凤昌,董锋.深基坑施工渗水、流砂等病害分析和处理[J].上海地质,2007(1):33-35.
- [6] 林宗元.岩土工程试验监测手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.

Cause Analysis and Measures of Sand Flow in an Excavation Engineering

Wang Wei-cheng¹, Liu Yong-jian¹, Xia Ji-jun²

(1 Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006 China)

(2 Foundation Engineering Company in Guangdong Province, Guangzhou 510620, China)

Abstract With a focus on the sand flow in the excavation process in mid-stream sand, starting with the hydrological and geological conditions, it analyses in theory the causes of sand flow, and sums up four effective control measures to deal with flow of sand: an emergency back fill, a complex rotary sealing spray piles, cracks jet grouting and concrete network.

Key words excavation engineering; quicksand; the causes of sand flow; control sand flow

(上接第 61 页)

Research on Database Retrieval for Complex-Element

Tan Jian-xin, Li Wei-hua, Liu Zong-mei

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract As the basis for a formal description of complex questions, Complex-element of Extension is important to solving contradiction problems. It presents the formal description of complex-element class. In order to use complex-elements to solve contradiction problems in computers, it proposes the method to retrieve composite-elements effectively in databases, and gives relevant examples.

Key words Extension; Complex-element; database