

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.02.033

某临河基坑止水帷幕失效案例分析

浦春林¹, 李苏春¹, 刘 晖²

(1. 江苏省纺织工业设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128;

2. 中铁建工集团有限公司, 江苏 苏州 215009)

摘要: 基坑工程中,对常规止水帷幕失效的原因分析、研究很多,但对临河基坑的止水帷幕失效案例分析甚少。临河基坑因其所处的特殊周边环境及地质条件,止水帷幕的失效有其特殊原因。以苏州市某临河基坑止水帷幕的失效为案例并结合监测成果进行分析,研究表明,止水帷幕失效的原因为施工前未进行清障导致三轴搅拌桩止水帷幕垂直度受影响进而影响帷幕的搭接长度;临河侧基坑主动区有限土体主动土压力的减少使围护体系受力不平衡,围护体呈现“S”形变形进而剪切止水帷幕。针对上述原因分析,总结了避免临河基坑止水帷幕失效的针对性措施,可供同类基坑围护结构设计及施工时参考。

关键词: 临河基坑;止水帷幕;清障;深层水平位移;高压旋喷桩

中图分类号: TV223.4⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2015)02—0158—04

Case Study on Waterproof Curtain Failure of A Foundation Pit Adjacent to A River

PU Chun-lin¹, LI Su-chun¹, LIU Hui²

(1. Jiangsu Province Textile Industry Design & Research Institute Co., Ltd, Suzhou, Jiangsu 215128, China;

2. China Railway Construction Engineering Group, Suzhou, Jiangsu 215009, China)

Abstract: There are rich studies on conventional waterproof curtain failures in excavation engineering, but rarely on the cases which are adjacent to the rivers. The failures of the waterproof curtains in these foundation pits have their special causes, due to their specific surrounding environment and geological conditions. Based on a case study of the waterproof curtain failure in a foundation pit near the river in Suzhou, the failure mode was analyzed combining the monitoring data. It is found that the obstacles were not cleared out before the construction of the tri-axial mixing pile which influenced the verticality of the pile and then the lap length of the curtain. In addition, the reduction of active earth pressure of some limited soils in active area of the pit caused uneven stress on the retaining system, which led to the “S” shape deformation of the system, and in turn the incision of the retaining body into the waterproof curtain. According to the analysis of the above mentioned reasons, the control measures to avoid waterproof curtain failure in these pits were summarized, which would provide some reference for structural design and construction of similar pits.

Keywords: foundation pit adjacent to the river; waterproof curtain; obstacle clearing; deep horizontal displacement; high pressure jet grouting pile

苏州是个水网密集的城市,多数商业建筑选址于河边。苏州地区微承压含水层(粉土、粉砂层)的顶板埋深大多为6 m~8 m左右,河底与微承压含水层顶板的距离较近(约1 m~2 m),对临河地下2层的基坑,需考虑微承压水及河水对基坑开挖的双重

不利影响^[1]。河道驳岸前期施工时常回填不均匀的填土,且不密实,对后期止水帷幕的施工会造成不利影响。临河基坑的围护结构紧邻河道,对采用内支撑体系的围护结构,有限土体主动区土压力的减少^[2-3]使整个体系受力不平衡对止水帷幕的不利影

响不可轻视。文献[4-8]指出常规止水帷幕失效主要原因大多为水泥土搅拌桩施工冷缝未补强或补强不连续,未待搅拌桩达到初期强度即进行基坑大面积降水使搅拌桩水泥浆被稀释而影响桩体质量,因搅拌桩施工时未进行“两次提升、两次下沉”的施工工艺而影响成桩质量,桩体入土深度过小等。对临河基坑,因其所处的特殊周边环境及地质条件,止水帷幕的失效有其特殊原因,如何做好临河基坑围护结构特别是止水体系的设计,尤为重要。

本文将以苏州市某基坑的止水帷幕失效事故并结合监测成果进行原因分析,从中得到一些启示,供类似基坑在设计、施工时参考。

1 工程、地质、水文概况

1.1 工程概况

苏州市某基坑为地下 2 层,基坑呈正方形,东西最长处约 54 m,南北最宽处约 50 m,基坑周长约 210 m,基坑总面积约 2 700 m²,挖深为 11 m。基坑北侧距离用地红线约 5.1 m,红线外为市政道路,路下埋设多种管线;东侧距离用地红线为 2.7 m,红线外为区内道路,红线外 13.5 m 为已建大楼(10-11 层、下设 1 层地下室,基底埋深约 4 m);西侧距离用地红线为 2.4 m,红线外为区内道路,红线外 6.0 m 为已建大楼(2-11 层、下设 1 层地下室,基底埋深约 4.5 m);南侧为河道,围护结构距离河道驳岸约 3 m。河道驳岸为浆砌片石结构,驳岸深约 5 m,河道水位标高约为 +0.00 m,河水深约 2 m。基坑周边环境详见图 1。

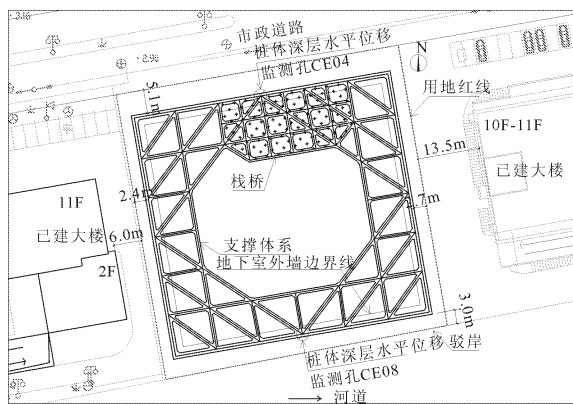


图 1 基坑周边环境图

1.2 工程地质概况

根据勘察报告,场地内对本基坑开挖及变形产生影响的典型土层物理力学性质见表 1。

表 1 典型土层物理力学性质表

层号	层名	重度 γ / (kN·m ⁻³)	C/kPa	ϕ / (°)	渗透系数推荐值 K / (cm·s ⁻¹)
①	素填土	18.7	15.0	10.0	5.0×10^{-5} *
②	粘土	19.8	47.6	10.1	7.3×10^{-8}
③	粉质粘土	19.4	37.2	11.9	6.2×10^{-6}
④-1	粉土	18.8	7.2	24.8	1.7×10^{-3}
④-2	粉土夹粉砂	19.1	24.2	14.1	2.8×10^{-3}
⑤	粉质粘土	20.2	48.9	10.5	1.1×10^{-5}
⑥	粘土	18.7	15.0	10.0	1.3×10^{-8}

注:“*”为经验值。

本基坑底标高位于(4-2)粉土夹粉砂层中,场地典型工程地质剖面图见图 2。

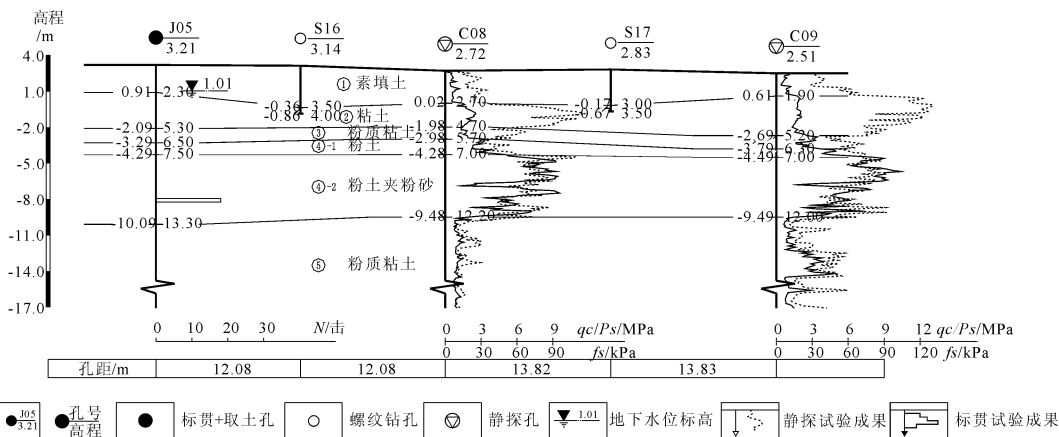


图 2 场地典型工程地质剖面图

1.3 水文地质概况

根据勘探揭露的地层结构,基坑影响范围内场地地下水主要为潜水、微承压水。

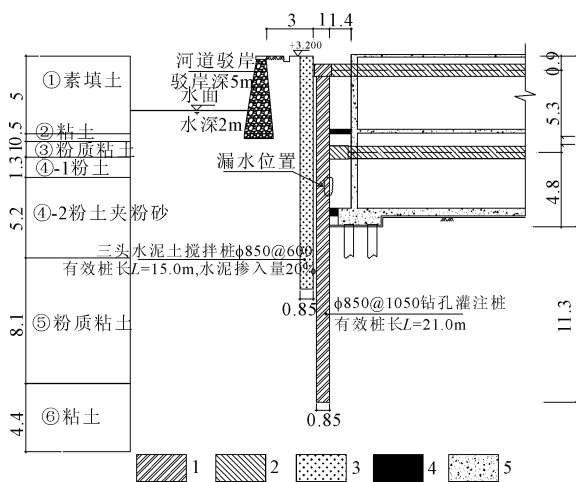
拟建场地浅层孔隙潜水赋存于表层填土层中,勘察期间测得稳定水位标高为 1.51 m~1.75 m。下伏②粘土、③粉质粘土层透水性差,是潜水含水层与

微承压含水层之间的相对较好的隔水层。

场地内较浅的微承压水主要贮存于④-1粉土及④-2粉土夹粉砂层中,测得水头标高 0.50 m ~ 0.70 m。

2 基坑围护结构概况

根据基坑挖深、周边环境、地质条件等特点,确定本基坑支护结构的安全等级为一级^[9],采用 $\Phi 850 \text{ mm} @ 1\ 050 \text{ mm}$ 的钻孔灌注桩 + 两道水平钢筋混凝土内支撑作为挡土结构,采用临时角钢格构柱及柱下钻孔灌注桩作为水平支撑的竖向支承构件。考虑到基坑面积较小,支撑以角撑为主,辅以边桁架加强刚度。北侧在桁架上设置了栈桥,供出土及料场之用。坑内设置 8 口疏干管井,采用全封闭落底式 $\Phi 850 @ 600$ 三轴水泥土搅拌桩止水帷幕。支撑平面布置见图 1、基坑南侧围护剖面图见图 3。



1—围护桩; 2—支撑梁; 3—止水帷幕; 4—换撑块; 5—地下室

图 3 基坑南侧围护剖面图(单位:m)

对一级基坑,须布设桩体深层水平位移监测孔^[10-11],现选取北侧、南侧边跨中位置的监测孔作后续分析之用,具体位置详见图 1 中的“桩体深层水平位移监测孔 CE04、CE08”。

3 止水帷幕失效事故

土方开挖至近坑底后,在侧壁 8 m ~ 9 m 的深度处(即第二道支撑下约 2 m 处)出现三处漏水点,并伴有少量的流砂,见图 2。因漏水点及流砂量并不大,加之驳岸侧的坡顶位移、桩体深层水平位移、水位观测孔的变化量均未达到报警值,施工方并未引起足够的警觉,在对漏水点进行了简单的引流处理(引流管端部设置过滤层,阻止流砂、流土)后继续施工。两天后,先前的侧壁渗漏点突然增大,河水大量

涌入,坑外土体塌陷,当天晚上渗漏点越来越大,驳岸坍塌,涌水量猛增,河水倒灌,直至灌满基坑。

4 原因分析及处理措施

4.1 原因分析

(1) 查阅施工日志,基坑南侧驳岸区施工止水帷幕前未进行清障处理。止水帷幕遇障碍时强行搅拌,桩身垂直度无法得到保证,致使相邻搅拌桩的搭接宽度受影响,尤其是在砂层分布段,搭接处帷幕的止水性能被削弱。查阅三轴水泥土搅拌桩的取芯报告,临河侧的三轴水泥土搅拌桩单轴抗压强度低于其它侧边的强度。基坑开挖前的抽水试验时虽坑外水位孔的水位变化量未达到报警值(1 m),但抽水时间过短(仅 2 d)未能可靠地验证止水帷幕有效性。

(2) 基坑南侧主动区有效土体宽度仅为 3 m,基坑围护结构设计忽视了有效土体土压力的减少使整个体系受力不平衡的不利影响。根据北侧、南侧边跨中的桩体深层水平位移监测孔 CE04、CE08 资料分析,基坑开挖至第二道支撑标高时,南侧、北侧桩体深层水平位移最大值约 6 mm,方向均指向坑内,位于第二道支撑上方约 1 m 处。基坑开挖至坑底标高时,北侧、南侧桩体深层水平位移曲线截然不同,北侧 CE04 桩体深层水平位移变化为常规曲线,而南侧 CE08 桩体深层水平位移呈现“S”形,坑内方向最大位移约 9 mm,位于坑底下约 2 m 处,坑外方向最大位移约 7 mm,位于第二道支撑标高处,上述两种开挖工况下的桩体深层水平位移曲线见图 4。当工

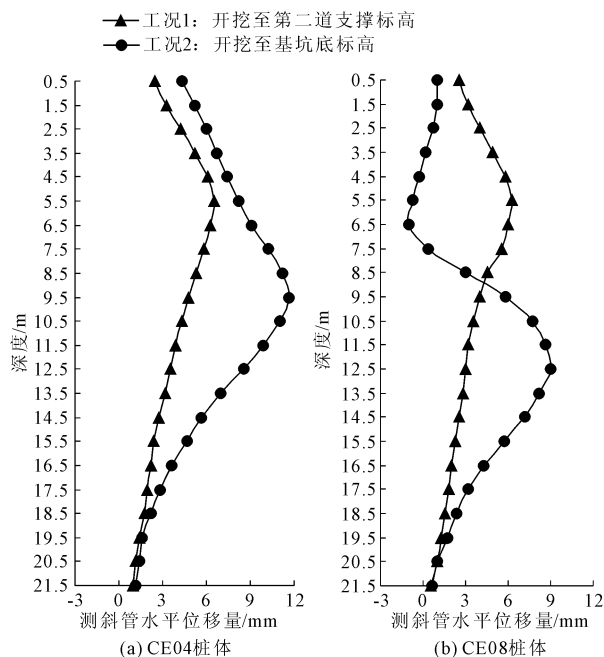


图 4 桩体深层水平位移监测图

况1发展为工况2时,围护体系在不平衡土压力的作用下,南侧边虽桩体深层水平位移的绝对值不大(均未超出监测报警值),但围护桩在约深度8.5 m界限处上下呈现坑内、坑外双向剪切变形,此深度恰为发生漏水、流砂的深度。由此可见止水帷幕在原本较为薄弱的区域因围护体的变形而发生剪切错动并开裂,坑壁的灌注桩桩缝内出现漏水、流流砂,此外,因河底距微承压含水层较近,在流砂到一定程度后河底下陷决裂,河水与承压水贯通,最终帷幕开裂处在水压力的作用下被冲出空洞,进而河水灌入基坑。

(3) 当基坑侧壁出现少量渗流点时,施工单位并未引起足够的重视,未及时采取坑内被动区回土、注浆加固等应急措施,这也是导致河水倒灌的一个重要因素。

4.2 处理措施

驳岸坍塌区立即回填素土至地面,并进行双液注浆加固^[12],沿河道测设置三排双液注浆孔,间距为1 m,梅花形布设,注浆深度为6 m~8 m,注浆时先注内、外两排孔,后注中间排孔,使浆液充分填充空洞。待注浆体达到一定强度后对先前塌方区的钻孔灌注桩后侧进行双重管高压旋喷桩补强止水帷幕^[13-14]。高压旋喷桩设置2排,桩间距控制在0.5 m左右,深度为15 m,进入粉质粘土层约2 m,注浆时适当下调压力,以防损坏先前止水帷幕。

待旋喷桩达到强度后进行坑内长达2周的抽水试验,期间坑外水位观测孔的水位变化较小,验证了坑内外基本无水力联系^[15],及时浇筑基础底板,进行后续施工。

5 结论

本文通过对某临河基坑止水帷幕失效的案例进行分析,得到以下几点启示:

(1) 施工前应详细查明河道驳岸区的地层情况,特别是对先前驳岸开挖回填后填土的成分、密实度等性质的判断。如遇杂填土等障碍,三轴搅拌桩止水帷幕施工前务必进行清障处理,确保搅拌桩的垂直度及搭接宽度。施工前需进行科学的抽水试验,待验证止水帷幕有效后方可进行土方开挖。

(2) 对基坑主动区是有限土体特别是临近河道的围护结构设计,需考虑有限土体土压力的减少而产生围护体系不平衡受力的不利影响,减少围护结构的双重变形进而剪碎止水帷幕,此时需对有限土体侧采取加大围护桩桩径、支撑围檩(尤其是第二道支撑的围檩)截面尺寸等措施以增强该侧的抗变形

刚度。此外,可在有限土体侧坡顶增设一定荷重的堆载(在设计允许荷载范围内),以弥补土压力的不足。

(3) 基坑的空间效应不能忽视,本基坑临河道侧变形最大处发生在围护侧边的中间区域,故在跨中位置建议设置一定的加固墩以较少基坑侧边的长边效应。

(4) 临河侧的填土段用压密注浆加固,作为止水帷幕破坏时的第二道止水防线。临河侧建议增设坑外降水管井作为备用应急措施,当发生漏水时可及时启用,尽可能地减少大规模漏水事故发生的概率。

(5) 双液注浆+高压旋喷桩加固可作为三轴水水泥土搅拌桩止水帷幕失效的有效补救处理措施。

参考文献:

- [1] 李连详,郝晓平,牟强.济南市河道近旁的深基坑工程案例[J].水利与建筑工程学报,2006,4(4):45-48.
- [2] 马平,秦四清,钱海涛.有限土体主动区土压力计算[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S1):3070-3074.
- [3] 李峰,郭院成.基坑工程有限土体主动土压力计算分析研究[J].建筑科学,2008,24(1):15-18.
- [4] 刘国斌,王卫东.基坑工程手册[M].第二版.北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5] 徐勇,王心联.深基坑止水帷幕失效原因分析及处理措施研究[J].地下空间与工程学报,2010,6(6):1251-1255.
- [6] 李苏春,袁运涛.苏州凤凰国际书城基坑监测分析[J].水位地质工程地质学报,2013,40(01):129-133.
- [7] 任志福.软弱土层基坑水泥搅拌桩止水帷幕失效分析[J].施工技术,2014,43(19):45-47,53.
- [8] 陈志强,徐伟,张宇.深基坑水泥搅拌桩止水帷幕失效分析与修复[J].施工技术,2012,41(S1):42-44.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ120-2012.建筑基坑支护工程技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50497-2009.建筑基坑工程监测技术规范[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [11] 中华人民共和国建设部.GB50007-2011.建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [12] 郝哲,王国民,刘斌.土体注浆堵水的可靠性设计[J].岩土力学,2003,24(S2):379-383.
- [13] 朱美花.高压旋喷桩在止水帷幕中的应用[J].太原理工大学学报,1999,30(6):640-642.
- [14] 许凯奇,李启明.钻孔灌注桩与旋喷桩组合止水帷幕的设计和应用[J].工业建筑,2007,37(S1):759-762.
- [15] 缪俊发,崔永高,陆建生.基坑工程疏干降水效果分析与评判方法[J].地下空间与工程学报,2011,7(5):1029-1034,1039.