

粉质软土粘土条件下深水超长钢板桩围堰施工技术研究

肖正恩¹, 朱江川¹, 王寿武²

(1. 云南云桥建设股份有限公司, 云南 昆明 650101; 2. 昆明理工大学, 云南 昆明 650051)

摘 要: 某公路桥主桥为 (97+176+97)m 三跨连续刚构桥, 两个主桥墩位于河中, 主桥墩常水位水深 12m, 且承台全部置于水下粉质软土粘土中。为了承台和墩柱的施工, 两个主承台均需要采用水中围堰开挖基坑和浇筑承台混凝土等。主墩采用规格为 400×170×15.5mm 的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩做围堰, 围堰平面尺寸为 32.35×22.30m, 设置 7 道水平围檩, 钢板桩长 24m。为了围堰的安全, 施工前采用数值分析计算围堰结构的应力和变形, 施工过程中采用传感器对围堰结构的位移和内支撑轴力进行实时监测。围堰结构计算时, 选取了 8 种荷载工况。计算围堰结构的静水压力和土压力时, 采用水土分别计算。围堰结构的计算和监控结果表明围堰结构及施工符合要求, 实现了钢板桩围堰安全施工。

关键词: 公路桥梁; 承台施工; 钢板桩围堰; 数值分析计算; 实时监测

中图分类号: U445.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 07—0125—03

深水基础施工是跨水桥梁中常碰到的问题, 深水基础的基坑支护有止水要求高、土质差、易管涌等特点, 这也是桥梁承台施工中的一个难点。FSP-Ⅳ型拉森钢板桩围堰重复利用率高、经济性比较好, 施工中被广泛应用。刘福星等^[1]提出了砂层区长 24m 的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩支护施工技术。陈长明^[2]提出了桩长 18 米, 水深 2.5 米, 施工最大水头 9.57m, 粉土、淤泥质粉质粘土地质条件下, 强涌潮地区的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩支护施工技术。周新亚等^[3]提出了淤泥质粉质粘土, 细砂、粉砂等砂性土地质条件下, 长 26m 的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩支护施工技术, 结构计算采用许用力法, 施工最大水头 18.7m。沈维成^[4]提出了软土、细砂、粘土地质条件下, 长 24m 的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩支护施工技术。刘跃武^[5]提出了粉质粘土地质条件下, 长 22m 的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩支护施工技术。夏颂军^[6]提出了淤泥、淤泥质粘土、粗砂地质条件下, 施工水深 8.2m, 长 22m 的 FSP-Ⅳ型拉森钢板桩支护施工技术。围堰粉质软土粘土条件下, 施工水深 12m, 长 24m 的拉森 FSP-Ⅳ钢板桩围堰的数值分析和施工技术, 本文可为类似工程提供施工参考。

1 工程概况

某公路桥全长 4447m, 主桥为 (97+176+97)m 三跨连续刚构桥, 总体布置图如图 1。墩台基础均为钻孔灌注桩基础。21#、22# 主桥墩常水位水深 12m, 且承台全部置于水下土层中。每个承台桩基 12 根, 直径 2.5m, 承台尺寸为 14×19m, 承台间距 1.05m, 高 5.0m。施工

水位 20.73m, 河床面高程 8.73m, 承台底高程 2.835m, 水面到承台底高差为 17.89 米, 钢板桩围堰范围内地质为粉质软土、粘土, 地质条件不良, 各土层参数如表 1。

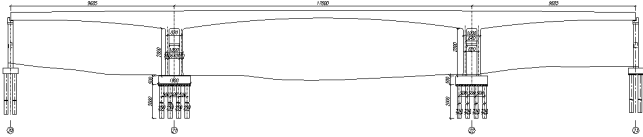


图 1 主桥总体布置图 单位: cm

表 1 土层参数表

层号	土类名称	层厚(m)	重度 (kN/m ³)	粘聚力 (kPa)	内摩擦角(度)
1	河水	12.0	10.0	0	0
2	粉质软土	8.0	19.0	0	20
3	粘土	5.2	18.7	48.6	14.5
4	风化灰岩	4.0	19.5	25.0	35.0

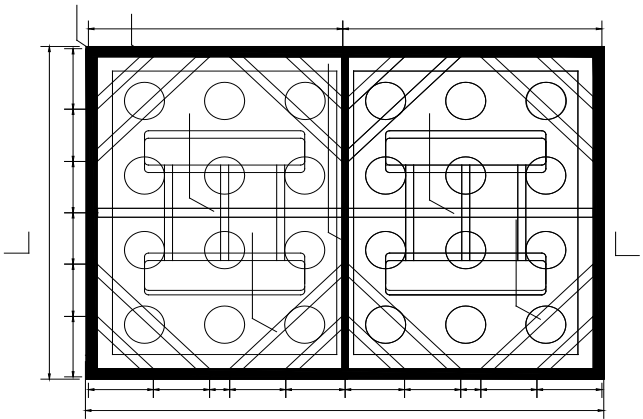


图 2 围堰平面布置图 单位: cm

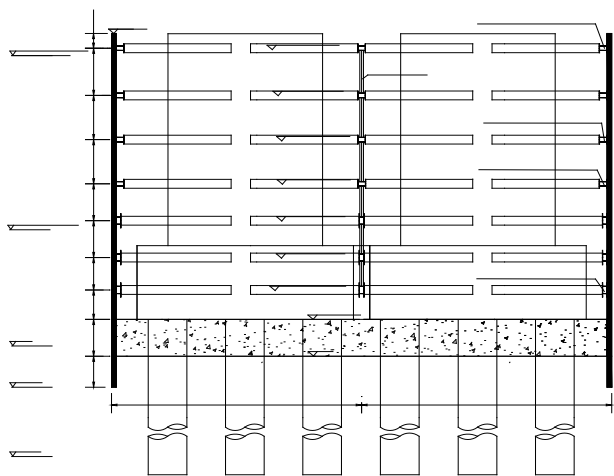


图3 围堰 1-1 断面立面布置图 单位:cm

2 围堰结构计算

2.1 荷载工况

根据围堰结构及施工要求,考虑内侧和外侧静水压力、土压力及迎水面的动水压力,选择8种荷载工况计算围堰结构的应力和变形,找出最不利截面位置和控制值,荷载工况如表2。

2.2 围堰结构水土压力计算

计算点在水位以下,静水压力和土压力采用水土分算。深度 z 处第 i 层土的土压力强度的标准值按公式(1)~(4)^[7]计算。

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a)K_{a,i} - 2C_i\sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (1)$$

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p)K_{p,i} - 2C_i\sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (2)$$

$$K_{a,i} = \tan^2(45^\circ - \phi_i/2) \quad (3)$$

$$K_{p,i} = \tan^2(45^\circ + \phi_i/2) \quad (4)$$

式中: p_{ak} —支护结构外侧,第 i 层土中计算点的主动土压力强度标准值(kPa),当 $p_{ak} < 0$ 时,应取 $p_{ak} = 0$; p_{pk} —支护结构内侧,第 i 层土中计算点的被动土压力强度标准值(kPa); σ_{ak} 、 σ_{pk} —分别为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值(kPa); $K_{a,i}$ 、 $K_{p,i}$ —分别为第 i 层土的主动土压力系数、被动土压力系数; c_i 、 ϕ_i —第 i 层土的粘聚力(kPa)、内摩擦角($^\circ$); u_a 、 u_p —分别为支护结构外侧、内侧计算点的水压力(kPa)。

表2 荷载工况表

序号	工况名称	工况说明
1	工况一	在21.23m处安装第一道支撑后,围堰内抽水至17.53m
2	工况二	在18.03m处安装第二道支撑后,围堰内抽水至14.53m
3	工况三	在15.03m处安装第三道支撑后,围堰内抽水至11.53m
4	工况四	在12.03m处安装第四道支撑后,围堰内抽水至9.03m
5	工况五	在9.53m处安装第五道支撑后,围堰内注水至20.73m,水下开挖至0.33m处
6	工况六	在0.33m~2.83m之间浇筑封底混凝土,待混凝土达到设计强度后,围堰内抽水至6.53m
7	工况七	在7.03m处安装第六道支撑后,围堰内抽水至4.33m
8	工况八	在4.83m处安装第七道支撑后,抽干围堰内水

2.3 动水压力计算

动水压力只作用在迎水面上,其他三个面不考虑动水压力作用。动水压力标准值按公式(5)^[8]计算。

$$P_w = kA \frac{\gamma V^2}{2g} \quad (5)$$

式中: V —设计流速(m/s), A —围堰迎水面积(m^2), g —重力加速度,取 $10(m/s^2)$, K —形状系数。

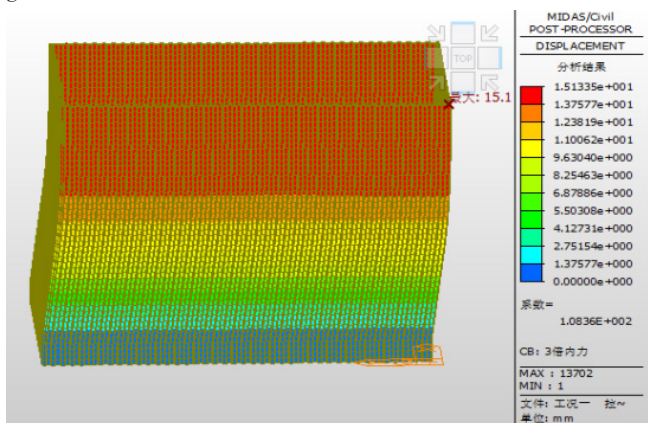


图4 围堰整体最大变形图

2.4 围堰结构内力计算

围堰结构计算采用Midas/civil有限元软件,按8种工况对围堰结构加载。围堰整体最大变形如图4。经计算,围堰结构计算最大位移15.1mm,小于 $\min(h/100,100)=100$ mm。钢板桩计算最大应力203.6Mpa,小于钢板桩设计应力值265Mpa。内支撑最大轴力141.8Mpa,小于Q235钢材设计应力值215Mpa。

3 钢板桩围堰施工监测

钢板桩围堰属于深水基坑,鉴于其复杂性和不确定性,在理论分析指导下有目的地进行工程监测十分必要。监测从安装第一道内支撑开始至大体积混凝土浇筑的整个承台施工全过程。围堰监测可验证支护结构的实际变形与仿真分析计算的符合程度。基坑开挖时,随着围堰内水位变化和土方的挖出,水压力和土压力重分布,钢板桩和内支撑承受水土压力而不断产生变形。为反映施工期间围堰结构变形情况,对钢板桩顶位

移及内支撑轴力进行监测。围堰结构竖向在四个角布置 4 个位移测点,在内支撑每层安装 12 个应变计,测点布置见图 5。8 种工况围堰位移计算值与监测值比较如图 6,8 种工况围堰内支撑轴力计算值与监测值比较如图 7。从图 6 和图 7 可以看出,钢板桩围堰变形及内支撑轴力的理论值与实测值相比偏大。理论值偏大的原因在于采用 Midas/civil 有限元软件建模时土压力的计算假定土体为均质、连续,实际土质情况与模拟存在误差。水的计算流速比实际流速大。实测围堰结构顶最大变形 $14.1\text{mm} < \min(h/100, 100) = 100\text{mm}$ 。内支撑最大应力 $139.2\text{Mpa} < 215\text{Mpa}$,均满足要求。

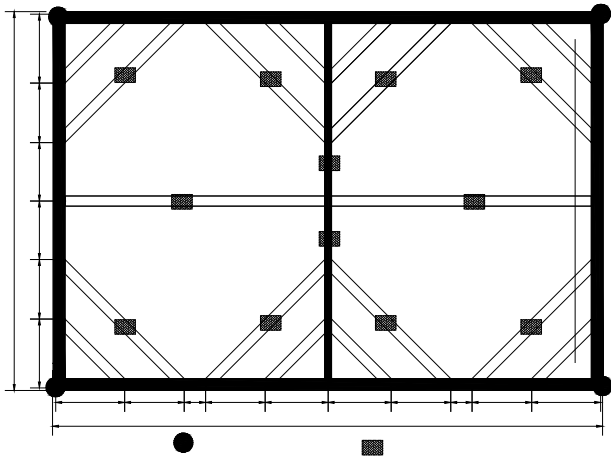


图 5 监测点平面布置图

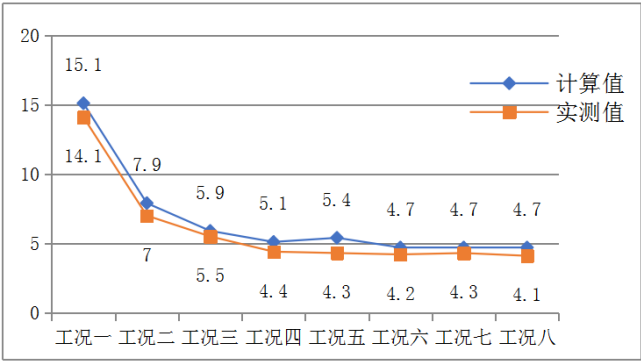


图 6 围堰位移计算值与监测值比较图

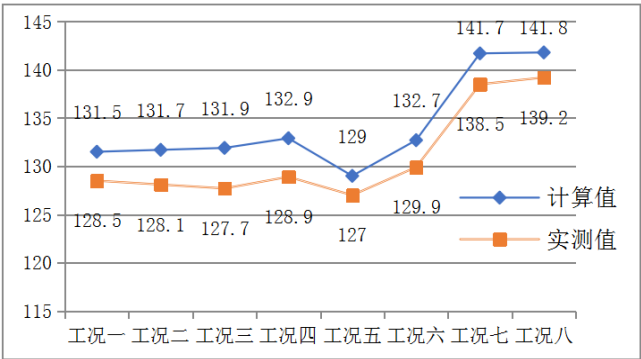


图 7 围堰内支撑轴力计算值与监测值比较图

4 结语

粉质软土粘土地质条件下,水深 12m,可采用桩长 24m,设置 7 道水平围檩的 FSP-IV 型拉森钢板桩。围堰结构计算时,考虑内外侧静水压力、土压力和迎水面动水压力。选取 8 种荷载工况,采用数值分析计算围堰结构的应力及变形。静水压力和土压力计算时,采用静水压力和土压力分别计算。围堰基坑先安装支撑并回灌水至施工水位后再开挖,开挖完成后浇封底混凝土,抽干围堰内的水后浇承台混凝土。施工过程中对围堰结构变形和应力进行实时监测,实时预警,确保钢板桩围堰的顺利实施。数值分析计算和实时监控结果表明围堰结构及施工符合要求。本工程已顺利完成,可为类似工程提供施工参考。

参考文献:

- [1] 刘福星,张延河,杜俊,等.长江砂层区域深基坑钢板桩围堰施工技术[J].世界桥梁,2018,46(04):31-35.
- [2] 陈长明.强涌潮地区拉森Ⅵ型钢板桩围堰施工计算[J].桥梁建设,2009,(05):49-52.
- [3] 周新亚,刘昌箭,钱有伟.深水基础超长钢板桩围堰设计与施工关键技术[J].世界桥梁,2020,48(02):20-24.
- [4] 沈维成.济祁高速淮河特大桥深水钢板桩围堰施工技术[J].公路交通科技,2012,(03):233-235.
- [5] 刘跃武.FSP-IV 型拉森钢板桩围堰在海河春意桥水中墩施工中的应用[J].桥梁建设,2015,42(增):112-115.
- [6] 夏颂军.深厚软弱地质条件下钢板桩围堰设计[J].世界桥梁,2016,44(06):17-22.
- [7] JGJ 120-2012 建筑基坑支护技术规程[S].
- [8] JTGD60-2015 公路桥涵设计通用规范[S].

基金项目:昆明理工大学实验室建设与管理研究项目(SYYJ28)