

深厚淤泥质粉质黏土河道边坡 抗滑措施研究

郑宏伟, 李 昱, 宋黎明

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128)

摘要:新孟河延伸拓浚工程南延段河道工程属于平地开河,为满足工程需求,河道设计采用放坡复式断面,沿线局部河段存在深厚淤泥质粉质黏土,该土层力学性能较差,河道边坡整体抗滑稳定安全系数难以满足规范要求。应用水泥土搅拌桩、预制钢筋混凝土方桩与地下连续墙等作为不同河道边坡抗滑措施,并从河道边坡整体抗滑稳定、边坡抗滑措施工程造价等方面进行多角度的对比分析,阐述工程采用地下连续墙进行河道边坡抗滑的优越性,为类似工程设计提供参考。

关键词:淤泥质粉质黏土;河道;边坡稳定;工程造价;地下连续墙

中图分类号:TV85

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)07-0010-04

Study on anti-sliding measures of deep muddy silty clay river slope

ZHENG Hongwei, LI Yu, SONG Liming

(Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Suzhou 215100, China)

Abstract: The south extension section of Xinmeng River Extension and Dredging Project belongs to the river opening on flat ground. In order to meet the engineering requirements, the river channel design adopted the slope-relief composite section. There were deep muddy silty clay in the local reaches along the line. The mechanical properties of the soil layer were poor, and the overall stability safety factor of the river slope was difficult to meet the specification requirements. Soil-cement mixing piles, precast reinforced concrete piles and underground continuous wall and so on were used as a different channel slope anti-sliding measures, and a multi-angle comparative analysis was carried out from the aspects of the overall anti-sliding stability of the river slope and construction cost of the anti-sliding measures of the slope. The advantages of using underground continuous wall for anti-sliding of river slope were expounded, which could provide reference for similar engineering design.

Key words: muddy silty clay; river; slope stability; construction cost; underground continuous wall

1 工程概况

新孟河延伸拓浚工程北起长江,沿老新孟河拓浚至京杭运河,立交过京杭运河后新开河道向南延伸至北干河,拓浚北干河连接洮湖、滬湖,拓浚太滬运河和漕桥河入太湖。本文涉及深厚淤泥质粉质黏土河道段采用全断面放坡结构, $\nabla -3.00 \sim \nabla 4.50$ m为1:3

土坡, $\nabla 4.50$ m设2 m宽亲水平台, $\nabla 4.50 \sim \nabla 8.00$ m为1:2土坡。河道标准断面详见图1。该段河道堤顶往下分别分布④重粉质壤土、①₂轻粉质壤土、②₁淤泥质粉质黏土以及④₄粉质黏土等土层,其中②₁淤泥质粉质黏土力学性能较差,河道边坡整体抗滑稳定安全系数难以满足规范要求。河道断面及土层分布见图1,土层地质参数见表1。

收稿日期:2020-11-16

作者简介:郑宏伟(1988—),男,工程师,硕士,主要从事水工结构设计工作。E-mail:zhw214@163.com

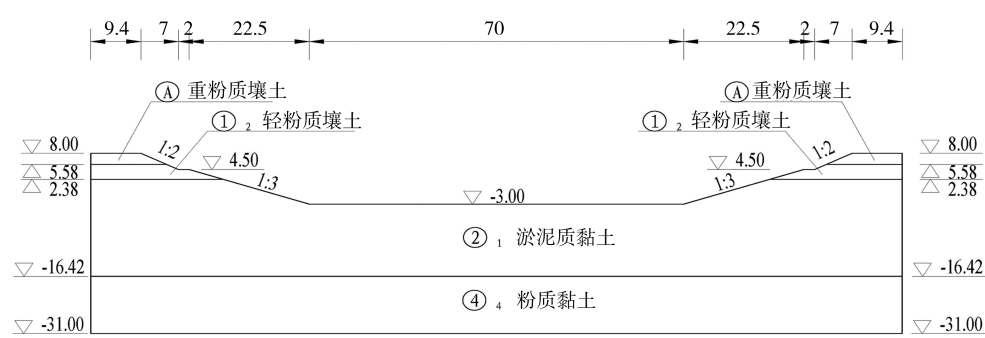


图 1 河道标准断面(单位:m)

表 1 土层地质参数

| 土层 | 容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$) | 黏聚力/ kPa | 内摩擦角/ ($^{\circ}$) |
|----------------|--|-------------|-------------------------|
| ① | 19.1 | 21.8 | 11.5 |
| ① ₂ | 18.9 | 12.3 | 19.4 |
| ② ₁ | 18.2 | 13.8 | 6.4 |
| ④ ₄ | 19.2 | 19.4 | 11.3 |

2 河道边坡整体抗滑稳定分析方法

河道边坡整体抗滑稳定的分析方法包括极限平衡法、应力应变分析以及图解法,工程上常用极限平衡法^[1]。河道边坡比较常见的破坏类型是圆弧剪切滑动,常用于圆弧剪切滑动分析的极限平衡法包括瑞典圆弧滑动法、简化毕肖普法和改良圆弧法等^[2]。瑞典圆弧滑动法不考虑土条之间的作用力,并且假设滑裂面为圆弧面。抗滑稳定安全系数为所有土条在滑裂面上产生的抗滑力矩之和与外荷载及滑动土体在滑裂面上所产生的滑动力矩和之比。计算公式如下:

$$F = \frac{\sum [c_i' l_i + (W_i \cos \alpha_i - \mu_i l_i) \tan \varphi']}{\sum_{i=1}^N W_i \sin \alpha_i} \quad (1)$$

式中: c_i' 、 φ' 为第 i 土条底滑面部位土的有效抗剪强度指标; l_i 、 b_i 分别为第 i 土条底滑弧长度、宽度; W_i 为第 i 土条的重量,浸润线以上为天然容重,浸润线以下为饱和容重; α_i 为第 i 土条的底圆弧切线与水平面夹角; μ_i 为第 i 土条下部孔隙水压力。当采用有效应力法计算时,孔隙水压力不为 0;当采用总应力法计算时,孔隙水压力为 0。

本文将采用河海大学边坡稳定计算分析软件 Autobank 进行河道边坡整体稳定计算,并对计算结

果进行综合分析。

3 河道边坡抗滑方案

根据《堤防工程设计规范》GB50286—2013^[2],并且结合本工程的实际情况,计算工况见表 2。

表 2 河道边坡稳定计算工况

| 工况 | 水位组合 | |
|-----|-------|------|
| | 堤前/m | 堤后/m |
| 运行期 | 2.80 | 3.30 |
| 施工期 | -3.00 | 7.00 |
| 地震期 | 3.51 | 4.01 |

根据河道边坡型式与土层参数等,不同工况河道边坡稳定计算滑动面如图 2 所示,对应河道边坡抗滑稳定计算结果见表 3。

表 3 河道边坡稳定计算结果(无处理)

| 工况 | 水位组合 | | 最小抗滑稳定安全系数 | 允许抗滑稳定安全系数 |
|-----|-------|------|------------|--------------|
| | 堤前/m | 堤后/m | K_{\min} | $[K_{\min}]$ |
| 运行期 | 2.80 | 3.30 | 0.96 | 1.20 |
| 施工期 | -3.00 | 7.00 | 0.70 | 1.10 |
| 地震期 | 3.51 | 4.01 | 0.86 | 1.05 |

注:表格中允许抗滑稳定安全系数根据《堤防工程设计规范》GB50286—2013 所取^[2](下同)。

根据表 3 计算结果,无处理的河道边坡稳定计算结果不满足规范要求,施工期最危险滑动面较深,根据以往工程经验,该河道边坡必须采取抗滑稳定措施。河道边坡抗滑工程中,较为常见的有抗滑桩墙、改变滑坡范围内土的工程性质等技术^[3-4]。本文将采用水泥土搅拌桩、预制钢筋混凝土方桩与

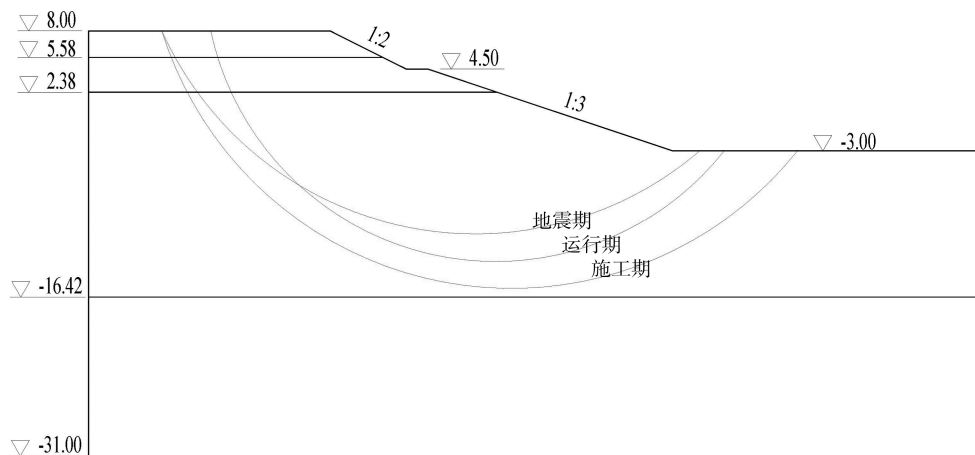


图2 河道边坡稳定计算结果(无处理,单位:m)

地下连续墙等抗滑桩墙体系进行河道边坡抗滑稳定计算分析,并比选最佳河道边坡抗滑方案。

3.1 水泥土搅拌桩

水泥土搅拌桩通过加强原土体强度指标形成复合土体进行河道边坡抗滑^[5]。根据前述计算结果合理布置水泥土搅拌桩,将其深入至持力层。本文中水泥土搅拌桩沿河坡高程 2.00 ~ -3.00 m 采用梅花型布置,水泥土搅拌桩共 16 排、直径 60 cm、间距 100 cm。水泥掺量不小于 15%,桩身水泥土 28 d 龄期无侧限抗压强度不小于 1.2 MPa。水泥采用普通硅酸盐水泥,强度等级不低于 42.5 级,技术指标执行《通用硅酸盐水泥》GB175—2007。水泥土搅拌桩形成的复合土体的抗剪强度指标根据相关规范及土工原理进行计算,水泥土搅拌桩桩体黏聚力取 150 kPa、内摩擦角取 25°。不同工况河道边坡稳定计算滑动面如图 3 所示,对应河道边坡抗滑稳定计算结果见表 4。

根据表 4 计算结果,采用水泥土搅拌桩处理后,由于处理范围内土体强度增大,施工期滑动面

位置下移穿越较好土层、运行期及地震期滑动面后移使滑动面变浅,3 种工况河道边坡稳定计算结果均满足规范要求。

表4 河道边坡稳定计算结果(水泥土搅拌桩)

| 工况 | 水位组合 | | 最小抗滑稳定 | 允许抗滑稳定 |
|-----|-------|------|-------------------|-----------------------|
| | 堤前/m | 堤后/m | 安全系数 K_{min} | 安全系数 [K_{min}] |
| 运行期 | 2.80 | 3.30 | 1.25 | 1.20 |
| 施工期 | -3.00 | 7.00 | 1.14 | 1.10 |
| 地震期 | 3.51 | 4.01 | 1.06 | 1.05 |

3.2 预制钢筋混凝土方桩

预制钢筋混凝土方桩是一种效果较好的传统滑坡加固型式^[6]。根据前述计算结果合理布置预制钢筋混凝土方桩,将其深入至持力层。本文中预制钢筋混凝土方桩沿河坡高程 2.00 ~ 0.33 m 采用梅花型布置,预制钢筋混凝土方桩共 6 排,尺寸 40 cm × 40 cm,间距 100 cm,混凝土强度等级为

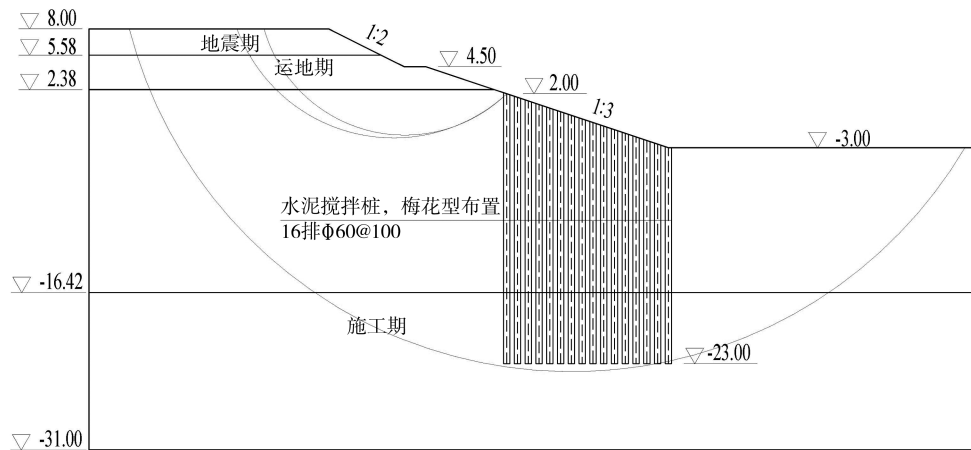


图3 河道边坡稳定计算结果(水泥土搅拌桩,单位:m)

C30, 钢筋采用 HRB400 级。不同工况河道边坡稳定计算滑动面如图 4 所示, 对应河道边坡抗滑稳定计算结果见表 5。

预制钢筋混凝土方桩与地下连续墙等抗滑桩墙体系理论上均可使河道边坡抗滑满足规范要求, 故本文主要从工程投资方面对上述河道边坡加固措施

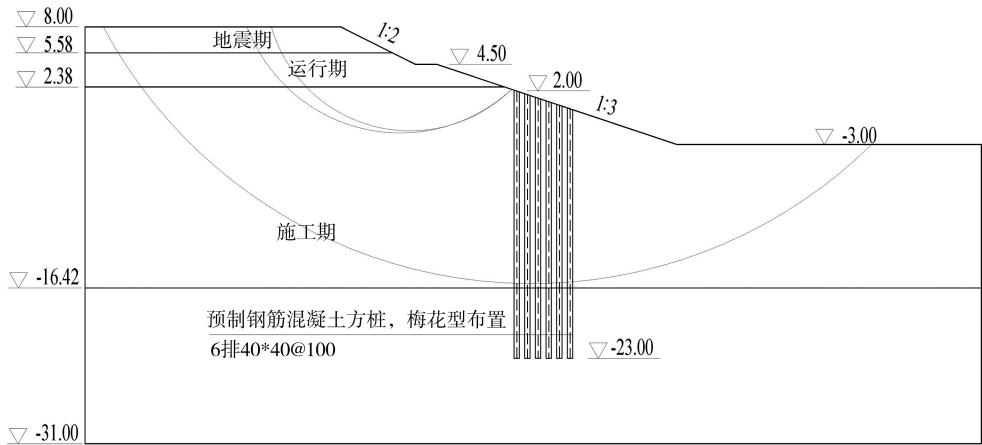


图 4 河道边坡稳定计算结果(预制钢筋混凝土方桩,单位:m)

| 表 5 河道边坡稳定计算结果(预制钢筋混凝土方桩) | | | | |
|---------------------------|-------|------|-----------|-------------|
| 工况 | 水位组合 | | 最小抗滑稳定 | 允许抗滑稳定 |
| | | | 安全系数 | 安全系数 |
| | 堤前/m | 堤后/m | K_{min} | $[K_{min}]$ |
| 运行期 | 2.80 | 3.30 | 1.27 | 1.20 |
| 施工期 | -3.00 | 7.00 | 1.11 | 1.10 |
| 地震期 | 3.51 | 4.01 | 1.07 | 1.05 |

根据表 5 计算结果,采用预制钢筋混凝土方桩处理后,由于抗滑桩的阻滑作用,施工期滑动面位置下移且经过桩身、运行期及地震期滑动面后移使滑动面变浅,3 种工况河道边坡稳定计算结果均满足规范要求。

3.3 地下连续墙

地下连续墙整体稳定性比较好,结构比较简单,施工技术成熟^[7]。根据前述计算结果合理布置地下连续墙,将其深入至持力层。本文中地下连续墙布置于河坡高程 2.00 m 处,厚度 45 cm、长 25 m,混凝土强度等级为 C30。不同工况河道边坡稳定计算滑动面如图 5 所示,对应河道边坡抗滑稳定计算结果见表 6。

根据表 6 计算结果,采用地下连续墙处理后,由于地下连续墙的阻滑作用,施工期滑动面位置下移穿越较好土层、运行期及地震期滑动面后移使滑动面变浅,3 种工况河道边坡稳定计算结果均满足规范要求。

3.4 河道边坡抗滑方案比选

根据上述计算结果分析,采用水泥土搅拌桩、

| 表 6 河道边坡稳定计算结果(地下连续墙) | | | | |
|-----------------------|-------|------|-----------|-------------|
| 工况 | 水位组合 | | 最小抗滑稳定 | 允许抗滑稳定 |
| | | | 安全系数 | 安全系数 |
| | 堤前/m | 堤后/m | K_{min} | $[K_{min}]$ |
| 运行期 | 2.80 | 3.30 | 1.27 | 1.20 |
| 施工期 | -3.00 | 7.00 | 1.15 | 1.10 |
| 地震期 | 3.51 | 4.01 | 1.07 | 1.05 |

进行比选。

方案一:水泥土搅拌桩估算造价 32 294.15 元/m。根据工程经验,水泥土搅拌桩处理深度一般不超过 15 m,若超过 15 m,端部成桩质量难以控制。本文中水泥土搅拌桩桩长需达到 20 ~ 25 m,端部成桩质量可能难以控制。

方案二:预制钢筋混凝土方桩估算造价 42 188.02 元/m。预制钢筋混凝土方桩单桩长度一般不大于 15 m,但可通过接桩方式达到设计要求。本文中预制钢筋混凝土方桩桩长需达到 23.33 ~ 25 m,可通过接桩方式满足设计要求。

方案三:地下连续墙估算造价 12 305.13 元/m。本文中地下连续墙高需达到 25 m,根据施工经验,本文中地下连续墙易于实施。

综上所述,方案一难以控制成桩质量,方案二与方案三从技术上均可实施,但方案三造价低。故本文采用方案三即地下连续墙作为河道边坡抗滑措施。
(下转第 18 页)