

基于 PLAXIS 的灌注桩加固堤防边坡深度优化设计研究

李 锋 李莎莎

(湖北省漳河工程管理局, 湖北 荆门 448156)

【摘 要】 为了优化濂溪河堤防工程边坡灌注桩的设计深度,本文提出采用有限元软件 PLAXIS 对 3 种不同桩体深度下堤防在稳定渗流期和水位消落期两种工况下的边坡稳定性、滑裂面和桩体弯矩进行计算分析。经计算,该工程断面灌注桩最优设计深度为 12m,既能满足稳定性要求,又更加经济合理。计算过程可为同类堤防工程的加固设计提供参考。

【关键词】 堤防;PLAXIS;稳定性;弯矩;安全系数

中图分类号: TV871

文献标识码: A

文章编号: 1005-4774(2017)012-0025-04

Study on depth optimization design of cast-in-place pile reinforced embankment slope based on PLAXIS

LI Feng, LI Shasha

(Hubei Zhanghe River Engineering Authority, Jingmen 448156, China)

Abstract: In order to optimize the design depth of Laixi River levee engineering slope cast-in-place piles, it is proposed that finite element software PLAXIS can be adopted for calculating and analyzing slope stability, critical slip surface and pile bending moment of embankments under three different pile depth during stable seepage stage and water level decrease period. The optimal design depth of the engineering section grouting pile is 12m after calculation. It can meet the stability requirement on the one hand, and it is more economical and reasonable on the other hand. The calculation process can provide reference for the reinforcement design of similar embankment projects.

Keywords: embankment; PLAXIS; stability; bending moment; safety factor

1 工程概况

泸县城区濂溪河堤防工程全长 2.4km,防洪标准为 20 年一遇,堤防工程级别为 4 级,设计堤型为复合式堤型,堤身采用石碴填筑,设计堤线基本沿河岸布置。该堤防工程区地势总体由北向南倾斜,丘顶高程 316.00 ~ 360.00m,相对高差 10 ~ 30m,最大高差

约 70m,区内山梁纵横,山梁之间广布浸蚀洼地,构造剥蚀地貌和侵蚀堆积地貌是区内两大地貌单元。该区构造剥蚀地貌主要受岩性控制,形成园顶山、馒头山及梯状平台地貌景观,山间为宽缓冲沟及洼地。

工程区不良物理地质现象主要为岩体风化、卸荷、崩塌及两处蠕变体等,在陡坎、陡崖段多见有卸荷裂隙。由于构造裂隙的切割及岩层产状的控制,岸坡岩



体在重力作用下零星塌落于坡脚,形成崩塌堆积体,但规模不大。蠕变体成分以粉质黏土为主,顶部多处半饱和状,底部处于饱和状态,后缘出现拉裂缝呈陡坎状,蠕变体后缘拉裂缝出现 30 ~ 50cm 的高差,为不稳定边坡。

堤防边坡稳定性受水位变化影响较大,其稳定性计算相对于一般的工程边坡更为复杂,给堤防灌注桩设计带来不便^[1-3]。因此,有必要对不同工况下堤防边坡的稳定性进行定量计算,为堤防灌注桩的优化设计提供参考。

2 堤防加固方案

堤防部分堤段地质基岩裸露,堤防基础置于基岩良好处,但大部分堤段处于饱水状态,结构松软,承载力低,变形量大,为可塑—软塑状粉质黏土,覆盖层厚度达 7 ~ 11m 左右,特别是下部软塑状粉质黏土层厚度大,位置较深,力学指标差,导致边坡发生深层滑动,需对地基、边坡进行处理。根据地质实际情况,初步拟定采用灌注桩对地基、边坡进行处理,以达到抗滑和提高地基承载力的效果。

参考以往工程的经验,设计采用的抗滑桩桩径为 0.8m,则桩身周长为 2.512m,桩端截面面积(对于扩底桩,取扩底截面面积)为 0.5024m²。通过受力分析计算,并结合抗滑桩单桩轴向受压容许承载力,在河左岸堤防堤左 1 + 770.00 堤段 C30 钢筋混凝土承台下布置单排抗滑桩,桩中心轴间距 2.5m(轴距大于 3 倍抗滑桩桩径),所有桩底部都嵌入基岩弱风化层下 5.0m,可满足抗滑和提高地基承载力要求^[4-6]。

3 灌注桩深度优化设计

3.1 计算模型及参数选取

选取最危险断面作为典型断面进行分析,该断面软塑状粉质黏土层最深最厚。计算采用通用岩土有限元计算软件 PLAXIS 对其进行抗滑稳定计算^[7-8]。计算模型及土体材料分区如图 1 所示,模型长 50m,高 28m,坡比 1:2.5。土体材料从上到下为石碴料、可塑

状粉质黏土、软塑状粉质黏土、砂质粉土和基岩。

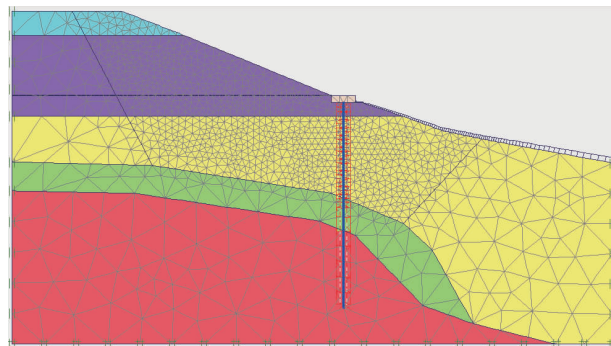


图 1 堤防计算网格模型及土体分区

堤身土体力学参数:石碴料容重 19kN/m³, $C = 10\text{kPa}$, $\varphi = 24^\circ$;可塑状粉质黏土容重 19.2kN/m³, $C = 10\text{kPa}$, $\varphi = 15^\circ$;软塑状粉质黏土容重 19.0kN/m³, $C = 8\text{kPa}$, $\varphi = 6^\circ$;砂质粉土容重 19.1kN/m³, $C = 3\text{kPa}$, $\varphi = 14^\circ$ 。

计算工况选取:正常运用条件(设计洪水位);非常运用条件(水位消落期)。

3.2 计算结果分析

采用 PLAXIS 自带的有限元强度折减功能^[9-10]对设计洪水位下的稳定渗流期和水位消落期堤防边坡的稳定性进行计算,下页表为河道在设计洪水位下稳定渗流期和水位消落期不同灌注桩深度下堤防边坡的稳定安全系数。

分析可知:当灌注桩设计深度为 8m 时,灌注桩底部仅深入地基中砂质粉土,在正常运行条件下(设计洪水位)堤防边坡的稳定安全系数为 1.13,说明此工况下堤防可以维持自身稳定,不会破坏,但安全系数略小于规范允许值 1.15,不满足设计要求。同时在非常运用条件(水位消落期)时,堤防边坡稳定系数仅为 0.86,

表 1 不同灌注桩深度下堤防稳定安全系数

计算工况	灌注桩深度			允许值
	8m	12m	16m	
设计洪水位下的稳定渗流期	1.13	1.31	1.33	1.15
水位消落期	0.86	1.18	1.21	1.05

小于 1,说明在非常运用条件(水位消落期)下堤防不稳定,将发生滑动。灌注桩若按照 8m 深度设计不满足规范和边坡稳定要求。

当灌注桩设计深度为 12m 时,灌注桩底部深入基岩 2m,此时在正常运行条件下,堤防边坡的稳定安全系数为 1.31,说明此工况下堤防稳定性良好,满足规范允许值 1.15 的要求,同时在非常运用条件下,堤防边坡稳定系数为 1.18,同样满足允许值 1.05,说明灌注桩若按照 12m 深度设计,即桩底部深入基岩 2m,可满足规范和堤防边坡稳定要求,且有一定的安全储备。而当灌注桩设计深度为 16m 时,灌注桩底部深入基岩 6m,此时在正常运行条件下和非常运用条件下堤防边坡的稳定安全系数分别为 1.33 和 1.21,同样满足要求,但安全系数比 12m 深时增加不明显。

图 2 为堤防边坡在设计洪水位时的稳定渗流期和水位消落期不同灌注桩深度下堤防边坡达到极限破坏时的滑裂面分布。可见当灌注桩设计深度为 8m 时,稳定渗流期和水位消落期堤防的滑裂面均基本相同,

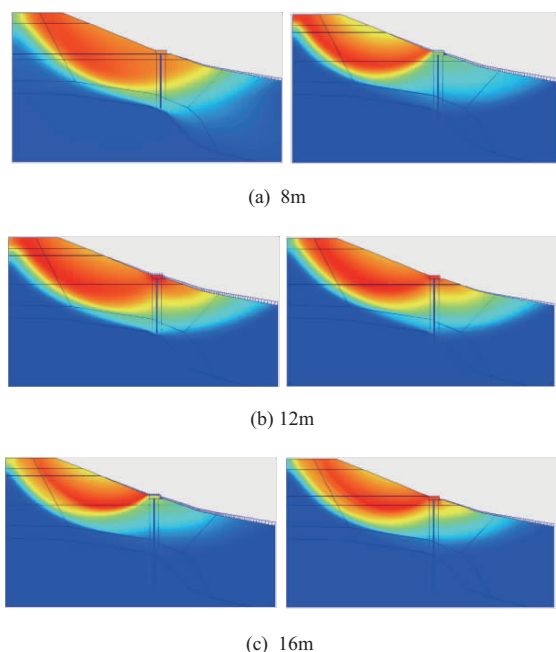


图 2 不同灌注桩深度堤防边坡破坏滑裂面
(左为稳定渗流期;右为水位消落期)

均起于堤防顶部,底部沿砂质粉土剪切滑出,剪切出口位于桩顶下部。当灌注桩设计深度增加到 12m 和 16m 时,堤防在稳定渗流期的主要滑裂面,从抗滑桩顶部平台处剪切滑出,形成一个弧形滑裂面,而在水位消落期时滑裂面均从抗滑桩顶部偏下位置剪出。

图 3 为不同灌注桩深度堤防边坡稳定渗流期和水位消落期两种工况下灌注桩的弯矩大小及分布情况,且桩体根据配筋计算,可以承受 $700\text{kN}\cdot\text{m}$ 左右的弯矩。当灌注桩深度为 8m 时,稳定渗流期和水位消落期工况下桩体的最大弯矩分别为 $6.16\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $58.9\text{kN}\cdot\text{m}$ 。当灌注桩深度为 12m 时,稳定渗流期和水位消落期工况下桩体的最大弯矩分别为 $71.7\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $568.2\text{kN}\cdot\text{m}$ 。而当灌注桩深度增加到 16m 后,两种工况下桩体的最大弯矩分别为 $63.2\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $315.9\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

桩体所受最大弯矩出现在桩深 12m 的水位消落期,大小为 $568.2\text{kN}\cdot\text{m}$,但小于配筋设计对应的最大弯矩承受值 $700\text{kN}\cdot\text{m}$ 。说明灌注桩 8m 深时,桩的弯矩值很小,未发挥抗滑作用,灌注桩 12m 深时,弯矩图显示桩的最大弯矩出现在桩基下部,且桩基弯矩分布合理,当灌注桩增至 16m 深时,通过分析图 3 中(c),最大弯矩出现在桩的中部,而桩基下部几乎没有弯矩分布,说明下部桩基没有发挥抗滑作用,设计不合理。

此外,相对于设计洪水位下的稳定渗流期,在水位消落期工况下堤防边坡灌注桩的弯矩均有大幅度增加,这是由于随着水位降低,孔隙水压力逐渐消散,同时造成堤防边坡自身抗滑力降低,等效于下滑力增大,这与水位消落期堤防的稳定性更差的结论相符。

综合以上对不同灌注桩深度在堤防设计洪水位下的稳定渗流期和水位消落期边坡的稳定性、滑裂面和桩基弯矩计算,确定了灌注桩的最优深度为 12m,此时堤防边坡的稳定性能满足规范要求,桩基深度较为经济合理。

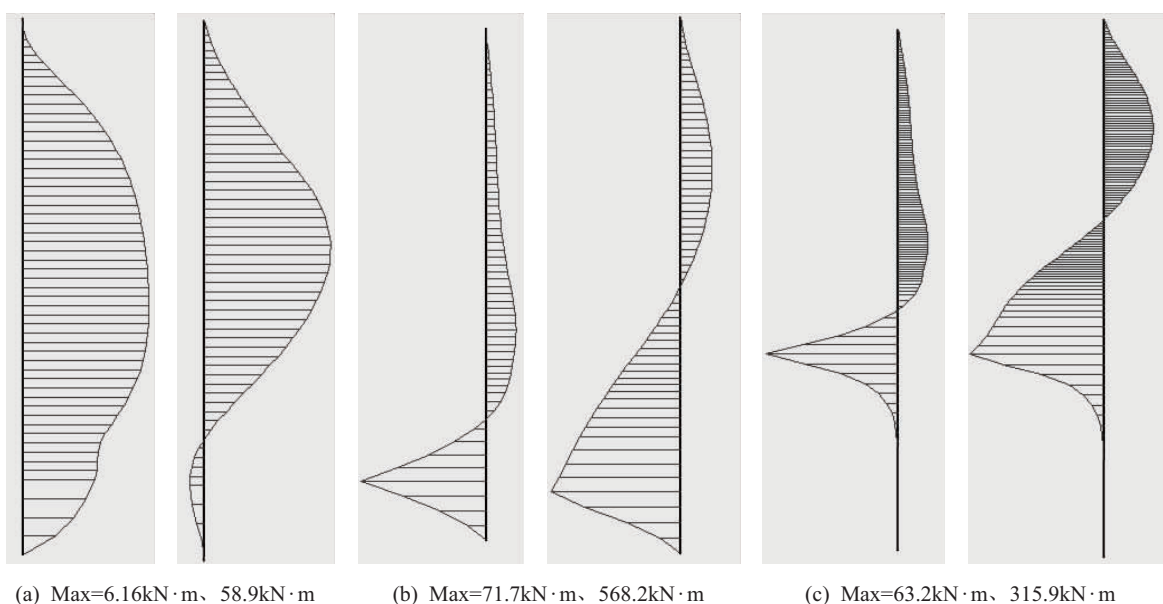


图3 不同灌注桩深度桩体弯矩大小及分布

(左:稳定渗流期;右:水位消落期)

4 结 论

本文以有限元软件 PLAXIS 为计算平台,对濂溪河堤防边坡的灌注桩深度优化设计进行研究,拟选取桩体深度 8m、12m 和 16m 三种深度进行分析,通过计算在设计洪水位下的稳定渗流期和水位消落期两种工况下边坡的稳定安全系数、滑裂面和桩基弯矩,得出了最优的灌注桩深度为 12m,此时堤防边坡的稳定性不但能满足规范要求,而且桩基深度较为经济合理。计算成果可为该次堤防灌注桩的设计提供参考,也可为同类工程的设计提供借鉴。◆

参考文献

- [1] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 刘海宁,王俊梅,王思敬,等. 黄河下游堤防非饱和土边坡渗流分析[J]. 岩土力学,2006,27(10):1835-1840.
- [3] 杨继红,刘汉东,秦四清,等. 黄河堤防边坡稳定性多因素敏感性分析[J]. 人民黄河,2008,30(1):15-17.
- [4] 郑颖人,雷文杰,赵尚毅,等. 抗滑桩设计中的两个问题[J]. 公路交通科技,2005,22(6):45-51.
- [5] 李荣建,于玉贞,李广信. 土质边坡中部与顶部抗滑桩动力响应和边坡变形比较[J]. 山地学报,2010,28(2):135-140.
- [6] 张璐,任旭华,张继勋,等. 考虑抗滑桩埋深的边坡抗滑机理研究[J]. 水电能源科学,2012,30(4):73-75.
- [7] ZHENG H. A three-dimensional rigorous method for stability analysis of landslides[J]. Engineering Geology, 2012, 145(30):30-40.
- [8] 康锋,陶春洁,李志强. 水位降落期堤防上游边坡抗滑稳定初步研究[J]. 水利建设与管理,2016,36(5):22-24.
- [9] 蒋中明,熊小虎,曾铃. 基于 FLAC3D 平台的边坡非饱和降雨入渗分析[J]. 岩土力学,2014,35(3):855-861.
- [10] SUN G, ZHENG H, JIANG W. A global procedure for evaluating stability of three-dimensional slopes[J]. Natural Hazards, 2012, 61(3):1083-1098.