

某分洪道堤防渗流特性及减压井布置方案研究

张 华 沈振中 李琛亮

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,江苏 南京 210098)

摘要 :针对某分洪道堤防堤基土具有明显的二元结构、需要采取渗流控制措施的情况 ,对其建立典型区段的三维有限元模型 ,计算分析了堤体及地层的渗流特性及渗流主要成因 ,考虑采用减压井工程措施以降低渗透坡降。选择分洪道洪水期最不利工况 ,计算得到不同减压井间距下渗流出口的渗透坡降 ,分析其变化规律。计算结果表明 ,减压井直径 0.8 m、间距 12 m 的布置方案可以满足堤防渗透稳定要求。

关键词 渗流 ;有限元法 ;渗透坡降 ;减压井 ;分洪道堤防

中图分类号 :TV872 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2010)02-0067-03

Seepage characteristics and layout schemes of relief wells of a floodway embankment//ZHANG Hua , SHEN Zhen-zhong , LI Chen-liang / *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China*)

Abstract : The foundation soils of a floodway embankment exhibited significant dual structure and some measures should be taken to control seepage. A 3D finite element model for a typical section of the floodway was established. The seepage characteristics of the embankment and soil strata as well as the causes for the seepage were analyzed. Relief wells were considered to be employed to reduce the seepage gradient. The most unfavorable work conditions of the floodway during the flood period were selected. The seepage gradients at the seepage exits under different intervals were calculated , and their variation rules were analyzed. The calculated results show that the layout scheme of relief wells with a diameter of 0.8 m and an interval of 12 m can satisfy the seepage stability requirements of the embankment.

Key words : seepage ; finite element method ; seepage gradient ; relief well ; floodway embankment

分洪道堤防是防洪工程体系的基础 ,是完成分洪任务、确保人民生命财产安全的重要屏障。但由于堤防轴线位置多系历史形成和河势引导所致 ,不能随意选定防渗条件好的堤址 ,因此多数堤防修建在含有深厚透水层或软土层的冲积平原上 ,这就导致堤防的堤基存在某些构造特征或缺陷(如缺乏可靠的渗流控制措施) ,这些构造和缺陷是汛期产生险情的主要原因^[1]。因此 ,在堤防建设或加固工程中 ,掌握堤身及地基的渗流特点 ,采用合理的渗流控制措施是确保堤防安全度汛的重要前提。某分洪道工程位于江苏省扬州市 ,是该城市防洪的重点工程之一。拟建的分洪道是古运河、仪扬河流域的主要排洪通道之一 ,为南北走向 ,北接仪扬河 ,南通长江 ,全长 8.24 km。该分洪道工程所处地区地基为双层地基 ,是由表层弱透水性粉质壤土和下卧中等透水性

砂壤土层组成的二元结构。其典型断面土层分布如图 1 所示 ,其中 A 层和 B 层土体的渗透系数较小 ,C 层和 D 层土体及堤体材料的渗透系数相对较大。由于该分洪道大部分工段为平地开河 ,在开挖过程中极易将弱透水性土层全部或大部挖除 ,使分洪道内水流直接进入下卧中透水性土层 ,从而在汛期堤外弱透水性土层下形成削减慢的高承压水头。由于天然或人为因素 ,一般表层弱透水性土层厚薄不均 ,抗渗强度大小不等 ,在堤后背水侧往往有取土坑形成的水塘、湖泊或低洼地。因此 ,在汛期高水位的长期作用下 ,弱透水性土层的薄弱处有可能被承压水顶穿 ,形成集中出水口 ,发生管涌或流土。近年来的研究表明 ,此类二元结构堤基存在“渗而不流”的现象 ,即具有水头损失小、渗流速度慢、与江河水联系密切、汛期承压水头高且范围大等四大特征 ,需重

基金项目 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项基金(2009586012)

作者简介 张华(1984—)男 ,江苏南通人 ,硕士研究生 ,从事水工结构渗流分析、控制、优化研究。E-mail :zhanhuahuai@163.com

通讯作者 沈振中(1968—)男 ,江苏南京人 ,教授 ,从事水工结构渗流分析、控制、优化研究。E-mail :zhzhshen@hhu.edu.cn

视堤后排水,尽量让水流动起来^[2]。本文根据该分洪道工程的实际情况,选择典型的二元结构堤段,应用三维渗流有限元法对该分洪道堤防渗流特性进行分析,并考虑减压井工程措施,确定了减压井的布置方案,供设计参考。

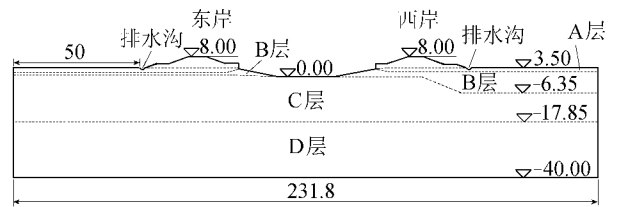


图1 分洪道典型断面地层分布(单位:m)

1 有限元模型

1.1 有限元网格

根据分洪道的实际情况和特点,选取分洪道试验段典型区段50m建立有限元模型。按渗流计算的一般原则,模型范围应是计算水头的2倍以上。由于此工程汛期水头仅有4.4m,为充分展现该工程渗流区的特性,故东西岸边界均截取至排水沟的边界向外50m。另外,底边界截取至底高程-40.00m,顶边界按堤防设计形状和地形选取。堤顶设计高程为8.00m,东堤顶宽6m,西堤顶宽5m,东西两堤内外堤坡及戗台边坡坡比均为1:3,戗台顶高程为5.00m,宽为4m。计算坐标系规定如下:取X轴垂直于分洪道中心线,东岸指向西岸为正;Y轴平行于分洪道中心线,上游指向下游为正;Z轴为垂直方向,向上为正,与高程一致。

在综合分析计算区域内地形地质特征的基础上,按实际情况模拟堤防的主要结构,形成三维超单元网格。三维超单元网格的结点总数为448个,超单元总数为108个。加密细分后形成三维有限元网格,生成的有限元网格结点总数为71565个,单元总数为68292个。计算模型有限元网格如图2所示。

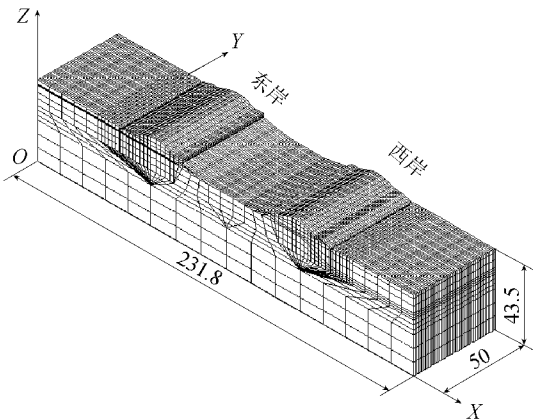


图2 有限元网格(单位:m)

1.2 边界条件

在进行洪水期渗流分析时,考虑稳定渗流,采用求解无压渗流固定网格的截至负压法来进行计算分析^[3-4]。稳定渗流分析的边界类型主要有已知水头边界、出渗边界及不透水边界3种,即:①已知水头边界包括分洪道水位以下的河堤堤岸、河道底以及水平截取边界中地下水位以下的部分;②出渗边界为分洪道水位以上的左、右岸分洪道堤面以及排水沟和地面,此外还有地下水位以上的截取边界;③不透水边界为模型的底边界。

2 计算参数

根据资料,堤址区各地层的渗透系数分别如表1所示。

表1 堤址区各地层的渗透系数

地层及堤体	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	允许渗透坡降
A层(Q4al+pl)	2.3×10 ⁻⁵	0.86
B层(Q4al+pl)	5.3×10 ⁻⁵	0.80
C层(Q4al+pl)	3.5×10 ⁻⁴	0.78
D层(Q4al+pl)	3.1×10 ⁻⁴	0.72
堤体(Q4ml)	1.5×10 ⁻⁵	

3 渗流场特性分析

考虑分洪道洪水期最不利工况,即分洪道内上游水位7.20m,堤外下游水位2.80m(地下水位),典型断面位势分布如图3所示。可见,由于分洪道地基土C层和D层的渗透系数较大,堤体和表层土A层和B层的渗透系数较小,因此,浸润面在堤体入渗点附近降落最为明显,其次是在堤后排水沟附近,这部分渗透坡降较大。在河床底部的地层中,等势线基本是均匀分布的;在渗流出口处(排水沟附近)等势线较为密集,该处水头损失较大。究其原因,在开挖河道过程中该断面弱透水性地层A及地层B被挖除,相对于地层C而言,地层A和地层B本来可起“铺盖”作用,显著地削减水头,减小渗流出口附近的渗透坡降。而在该断面上,地层C失去了地层B的保护,水头损失主要由渗透系数较大的地层C来承担,因此,渗流出口处(排水沟附近)的渗透坡降较大。同样原因也使得该断面东西岸的渗透坡降差别较大。因为东岸地层B的厚度较小,而西岸地层B较厚(见图1),因此东岸排水沟附近的渗透坡降较

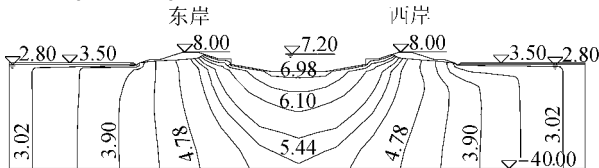


图3 分洪道水位7.20m时典型断面位势分布(单位:m)

西岸大。

当分洪道水位上升到最高洪水位 7.20 m 时 ,东岸排水沟附近的最大渗透坡降约为 0.957。由地质资料可知 ,该断面排水沟附近的土层的允许渗透坡降为 0.80~0.86 ,因此 ,洪水期该区段的渗透坡降不能满足要求。

4 减压井布置方案

为了降低渗流出口附近的渗透坡降 ,防止发生管涌和流土 ,考虑采取减压井工程措施^[5-6]。近几年可拆换过滤器的减压井已在长江中游的荆南江堤应用 ,减压井的淤堵问题得到了较好的解决^[7]。本文计算不考虑减压井淤堵工况 ,认为其充分排水 ,主要研究其布置方案。为了确定减压井的布置方案并构造合理的减压井排渗系统^[8] ,人们进行了大量的测试计算和分析 ,包括间距和横剖面上的位置等 ,这里仅列出部分情况。减压井在横剖面上的布置如图 4 所示 ,其不同间距的计算工况如下 :工况编号 JYJ-1 , JYJ-2 , JYJ-3 , JYJ-4 , JYJ-5 对应的沿堤轴线方向间距分别为 20 m ,15 m ,13 m ,12 m ,10 m ,各工况井底高程均为 -10.00 m ,井截面尺寸均为 1.0 m×0.5 m(长×宽)。减压井的深度设定为穿透地层 B 进入下卧地层 C 约 3.5 m ,拟采用的减压井直径为 80 cm。考虑建模方便 ,将减压井横断面简化为长方形 ,面积与圆形相等。

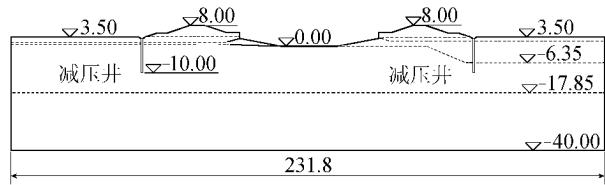


图 4 减压井在横剖面上的位置(单位:m)

4.1 设置减压井时的位势分布

不同减压井布置方案对应的主要计算成果如表 2 所示。表 2 中位势差是指排水沟剖面上同一高程减压井和两相邻减压井中间位置的位势差值。部分工况减压井剖面和两相邻减压井中间剖面的位势分布如图 5~6 所示。

表 2 各工况主要计算成果

工况 编号	最大位势差/m		最大渗透坡降	
	东岸	西岸	东岸	西岸
JYJ-1	0.64	0.88	1.048	1.100
JYJ-2	0.51	0.66	0.759	0.815
JYJ-3	0.44	0.59	0.361	0.595
JYJ-4	0.40	0.58	0.220	0.262
JYJ-5	0.33	0.45	0.126	0.138

从部分工况减压井剖面和两相邻减压井中间剖面的位势分布(图 5~6)来看 ,由于减压井的作用 ,

在减压井剖面上 ,排水沟附近的渗透压力明显降低 ;而在两相邻减压井中间的剖面上 ,排水沟附近的渗透压力最大。渗透压力沿堤轴线方向的分布呈现峰谷交替的波浪状。以减压井间距 20 m 为例 ,减压井之间排水沟剖面的位势分布如图 7 所示 ,其峰和谷的位势差值(西岸)为 0.88 m。减压井的间距越大 ,此位势差值越大。表明离减压井越远其减小渗透压力的作用越弱。从不同间距布置方案的计算成果来看 ,该条件下减压井的影响半径在 7 m 以下。

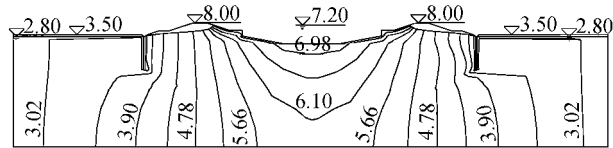


图 5 间距 20 m 减压井剖面位势分布(单位:m)

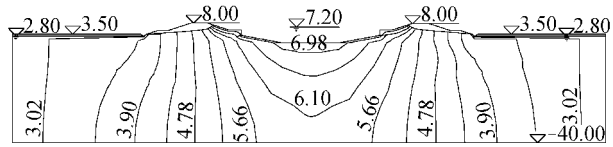


图 6 间距 20 m 相邻减压井中间剖面位势分布(单位:m)

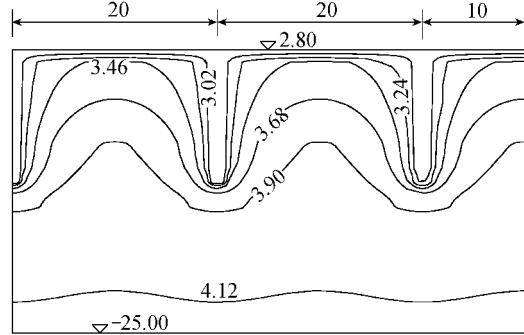


图 7 减压井间距 20 m 时排水沟剖面的位势分布(单位:m)

4.2 减压布置方案

从各布置方案的计算成果来看 ,减压井剖面排水沟附近的渗透坡降最小 ,两相邻减压井中间剖面排水沟附近的渗透坡降最大。渗流出口附近最大渗透坡降随减压井间距的变化如图 8 所示。

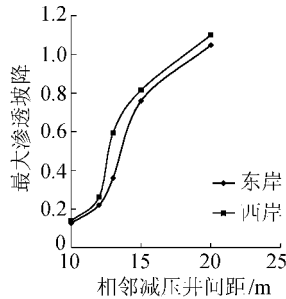


图 8 渗流出口附近最大渗透坡降随减压井间距的变化

由地质资料可知 ,地层 B 土体的允许渗透坡降约为 0.8。因此 ,采取减压井作为减小渗透压力的工程措施 ,减压井的间距不能超过 15 m。(下转第 86 页)

[12] 朱映新. 苏州市降雨径流关系及下垫面变化对径流量影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[13] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 34-39.

[14] 徐志红. 靖江市水稻大田种植期非点源氮污染负荷计算及控制对策[D]. 南京: 南京理工大学, 2002.

[15] 宋孝玉, 康绍忠, 沈冰, 等. 黄土区不同下垫面农田降雨入渗及产流关系的数值模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 1-5.

[16] 黄新会, 王占礼, 牛振华, 等. 水文过程及模型研究主要进展[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 105-108.

[17] 张书函, 康绍忠, 蔡焕杰, 等. 天然降雨条件下坡地水量转化的动力学模式及其应用[J]. 水利学报, 2009, 40(4): 55-62.

[18] 代俊峰, 崔远来. 基于 SWAT 的灌区分布式水文模型: I 模型构建的原理与方法[J]. 水利学报, 2009, 40(2): 145-152.

[19] 王船海, 王娟, 程文辉, 等. 平原区产汇流模拟[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 627-632.

[20] 吴伟, 王雄宾, 武会, 等. 坡面产流机制研究刍议[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 84-86.

(收稿日期: 2009-06-09 编辑: 高建群)

(上接第 69 页)

建议取减压井的间距为 12 m, 井径为 0.8 m, 底高程为 -10.00 m, 沿堤岸边坡排水沟布置。

5 结 语

根据稳定渗流基本理论, 采用等效连续介质模型建立某分洪道典型区段的三维有限元模型, 分析了堤体及地层的渗流特性, 在渗透坡降超出允许值的情况下, 采用减压井措施, 并通过计算确定合理的减压井间距。

a. 在开挖分洪道过程中, 部分区段弱透水性土层全部或部分被挖除。这些区段失去了表面弱透水性地层的“铺盖”作用, 使得下卧中等透水性土层直接面临分洪道内的洪水, 从而导致渗流出口(排水沟附近)的渗透坡降增大, 超出了相应土体的允许渗透坡降。

b. 采取减压井作为减小渗透压力的工程措施, 减压井间距应不超过 15 m。建议取减压井的间距为 13 m, 井径为 0.8 m, 底高程为 -10.00 m, 沿堤岸边坡排水沟布置。此时最危险剖面的最大坡降可减小至

0.60 以下。

参考文献:

[1] 刘铁龙. 堤防渗流控制特点及其设计[J]. 西北水电, 2004(4): 36-38.

[2] 李宁新. 双层堤基渗流与防渗问题分析[J]. 水利规划设计, 2000(2): 44-47.

[3] 速宝玉, 沈振中, 赵坚. 用变分不等式理论求解渗流问题的截至负压流[J]. 水利学报, 1996, 27(3): 22-29.

[4] 沈振中, 毛春梅. 稳定渗流场流网的计算与自动化绘制[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 1994, 22(5): 75-77.

[5] 张秀勇, 曹陈, 刘汉龙, 等. 潮汐对南通长江堤防渗流影响试验分析[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(2): 26-28.

[6] 周志芳, 汪斌. 蚌埠闸减压井减压效果分析评价[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19(2): 29-31.

[7] 张伟, 许继军, 吴昌瑜. 可拆换过滤器减压井的应用研究[J]. 人民长江, 2009, 40(3): 81-83.

[8] MANSUR S I, POSTOL G, SALLEY J R. Performance of relief well systems along Mississippi River levees[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2000, 126(8): 727-738.

(收稿日期: 2009-06-24 编辑: 高建群)

(上接第 81 页)

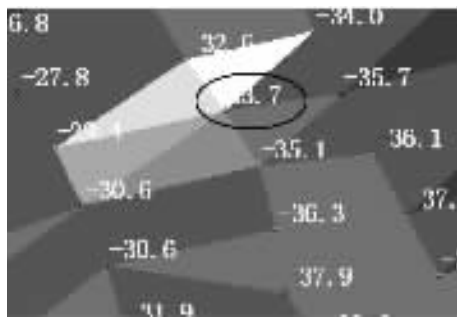


图 7 TIN 中发现错误处(单位: m)

3 结 语

河道地形数据的应用和需求相当广泛, 地形数据是构建高精度 DEM 的基础。笔者对在 CAD 河道地形数据转换入库(GIS)过程中涉及的高程点数据的获取、等高线高程的确定、高程数据粗差探测等方

面进行研究, 实现了在少量人工质量控制的前提下高效率地将 CAD 河道地形数据向 GIS 数据自动转换与入库。该高程数据提取方法具有准确、快捷和实用的特点。

参考文献:

[1] 丁贤荣, 王文, 杨涛, 等. 河道数字地形信息系统与长江镇扬河段 GIS 研制[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 116-119.

[2] 许捍卫, 何江, 柯红军, 等. 长江江苏段河道 DEM 建立方法研究[J]. 测绘工程, 2006, 15(4): 33-36.

[3] 蒋森, 张琴. 基于 ArcGIS Engine 的水下间断等高线自动连接研究[J]. 现代测绘, 2008, 31(3): 32-34.

[4] 杨晓云, 顾利亚, 岑敏仪, 等. 基于不同大小窗口的移动曲面拟合法探测不规则 DEM 粗差的一种方法[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 148-153.

(收稿日期: 2009-05-05 编辑: 高建群)