

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.03.015

软土地基上堤防拓宽工程变形协调措施研究

占鑫杰^{1,2}, 腾昊³, 李文炜⁴, 徐超⁵

(1. 南京水利科学研究院 岩土工程研究所, 江苏 南京 210029;

2. 水文水资源与水利工程国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

3. 中国水利水电第一工程局有限公司基础工程分局, 辽宁 大连 116041;

4. 河海大学 土木和交通学院, 江苏 南京 210098;

5. 中铁十一局集团第一工程有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要:以南京市某长江堤防拓宽工程为例,采用FLAC软件建立堤防拓宽的数值计算模型,分析了拓宽新堤与老堤的相互作用特性。在此基础上提出在新老堤防结合部开挖台阶,并铺设土工格栅增强横向连接的措施。采用数值软件对以上工程措施进行了分析验证。结果表明:新堤防填筑后,由于附加应力作用使老堤堤身和路面产生附加变形,老堤防路面的不均匀沉降为13.7 cm,路面的坡度为1.7%,整体向堤中心线倾斜。在新老堤结合部铺设土工格栅加筋后,堤防的最大沉降位置由堤顶路面处发展到堤身内部,新堤路面变形和堤身不均匀沉降大幅减小。

关键词:软土地基;堤防拓宽;数值模拟;变形协调

中图分类号:TV871

文献标识码:A

文章编号:1672—1144(2020)03—0082—05

Deformation Coordination Measures of Embankment Widening Project on Soft Soil Foundation

ZHAN Xinjie^{1,2}, TENG Hao³, LI Wenwei⁴, XU Chao⁵

(1. Geotechnical Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210029, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing, Jiangsu 210029, China;

3. Sinohydro Bureau 1 Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116041, China;

4. College of Civil Engineering and Transportation, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;

5. The 1st Engineering Ltd. of China Railway 11th Bureau Group, Wuhan, Hubei 430000 China)

Abstract: By taking a dike widening project in Nanjing as an example, the numerical calculation model of dike widening of a certain section is established by using FLAC software, and the interaction characteristics between the new dike and the old dike are analyzed. The measures of excavating steps at the joint of new and old dikes and laying geogrid to strengthen the transverse connection are then proposed. The above engineering measures are analyzed and verified by numerical software. The results show that after the filling of the new dike, the body of the old dike and the road surface have additional deformation due to the action of additional stress, the minimum and maximum settlement of the old dike pavement is 10.5 cm and 24.2 cm respectively, the uneven settlement is 13.7 cm, and the slope of the pavement is 1.7%. The whole is inclined to the center line of the dike. After the geogrid reinforcement is laid at the joint of the new and old embankments, the maximum settlement position of the dike develops from the top road to the interior of the dike body, and the deformation of the new dike road surface and the uneven settlement of the dike body are greatly reduced.

Keywords: soft soil foundation, embankment widening; numerical simulation; deformation coordination

收稿日期:2020-01-03

修稿日期:2020-02-27

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1508504);南京水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费重点项目(Y320012)

作者简介:占鑫杰(1986—),男,湖北浠水人,博士,高级工程师,主要从事地基处理、基础工程和环境岩土研究工作。

E-mail: xjzhan@nhri.cn

目前南京市长江干堤防洪能力提升工程已经全部完成,长江南京段堤防只有部分主江堤多年未曾治理,在 2015 年、2016 年长江高水位期发生险情,严重威胁居民的生命财产安全。为适应社会经济发展的需要,保障人民生命财产安全,进行堤防消险加固建设已迫在眉睫。堤防除险加固的工程内容包括:堤身加固,加宽培厚堤身,拟进行消险加固的堤段总长 23.1 km,拓宽堤防基本维持原堤线走向,局部进行裁弯取直和圆润。

软土地基上堤防加宽培厚工程中新老堤结合面是工程的薄弱面。由于老堤防结合部存在填筑施工时间的差异,导致地基固结度和堤防压缩程度不同而产生不均匀沉降,使结合部出现裂缝、破损并引起渗漏等现象,影响堤防稳定安全并造成堤防路面水平的降低。而软土地基上新老堤防的拼接还可能引起堤防的失稳和滑坡。所以堤防拓宽工程中新老堤的变形协调至关重要。国内外虽然有一些工程实践^[1-2],但大多倚重于工程经验,且多借鉴高速公路路堤拓宽的工程措施,对公路拓宽宽度、加固材料、地基处理方式等相关因素进行了定性分析,而对堤防拓宽后变形协调措施的研究报道较少^[3-8]。对新老堤防变形协调措施需要进行深入研究,进而提出系统的设计方案和施工工艺。

本文以南京市某堤防拓宽工程为例,采用 FLAC 软件建立堤防拓宽的数值计算模型,分析了拓宽新堤与老堤的相互作用特性。为保证新、老堤防拼接后的变形协调,提出在新、老堤防的结合部开挖台阶,并在台阶处铺设土工格栅增强横向连接力的措施,采用数值软件对以上工程措施进行了分析验证。

1 工程背景

南京市某长江堤防拓宽断面如图 1 所示。老堤防顶面宽度为 8 m,迎水面坡比为 1:3,背水面坡度比为 1:2.5。在老堤防的背水面进行拓宽,新堤防的顶面宽度为 5 m,坡比为 1:2。堤防顶部高程为 11.8 m,坡脚高程为 8.1 m,堤身总高度(含路基结构层 0.5 m)为 3.7 m,堤防路面车辆荷载按照 15 kPa 考虑。

地基土层分布如图 1 所示,其中淤泥质粉质黏土层的厚度为 3.5 m,粉质黏土层的厚度为 5.5 m,砂土层的厚度为 11.5 m。

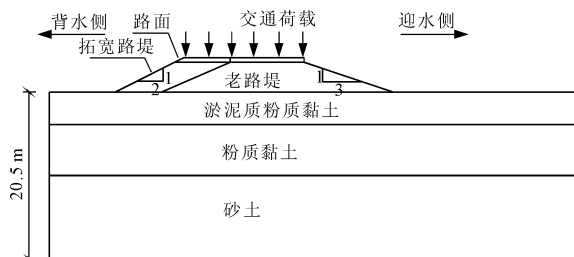


图 1 堤防拓宽断面示意图

2 计算模型

2.1 数值模型

为研究拓宽新堤和老堤的相互作用及变形协调措施的有效性,拟分别建立新堤拓宽计算模型(如图 2 所示)和新老堤变形协调措施计算模型(如图 3 所示)。

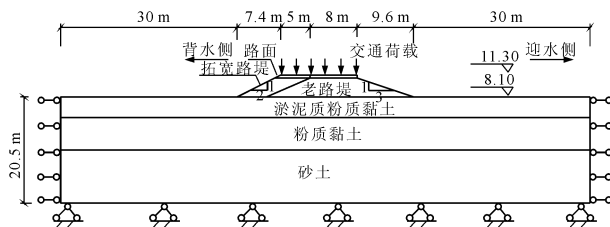


图 2 新堤拓宽计算模型示意图

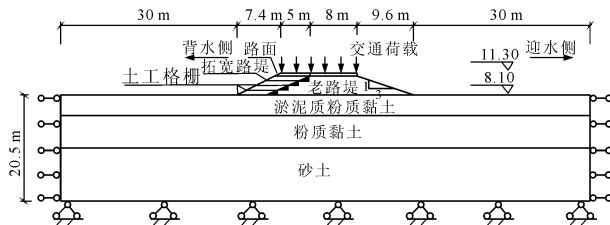


图 3 新老堤变形协调措施计算模型示意图

由于路堤足够长,采用平面应变模型^[9-10]来研究堤身和地基的应力和变形规律。堤身和地基均采用 FLAC 程序中的四边形网格,其中堤防以下地基中网格划分较密,总体上是中间较密两边稀疏(如图 4 所示)。在老堤防变形协调措施数值计算模型中,老堤防沿坡面自下往上开挖 4 层台阶形成阶梯状结合面(见图 3 阴影部分),1-4 层台阶的高度为 0.8 m,宽度为 2.0 m。在每层台阶处(共 4 层)铺设土工格栅来增加新、老堤横向嵌固力;老堤中土工格栅的嵌固长度为 2.0 m。数值模拟中重点分析新老堤结合部的应力变形特性,不同位置土工格栅的受力变形特性。

2.2 数值计算流程

FLAC 软件的计算流程包括以下步骤:(1) 初始数据输入;(2) 计算网格划分;(3) 材料赋值;(4) 施加初始应力场及边界条件;(5) 将堤身土层设置为 Null,进行地基土层的初始应力场平衡;(6) 将初始应力场计算的速度和位移清零,进行老堤堆载;(7) 激活新堤单元来模拟新堤堆载;(8) 施加路面荷载和车载荷载;(9) 计算结果输出。

2.3 土体分层及材料赋值

堤身和地基均采用 Mohr - Coulomb 模型^[11-12],其物理力学参数如表 1 所示。

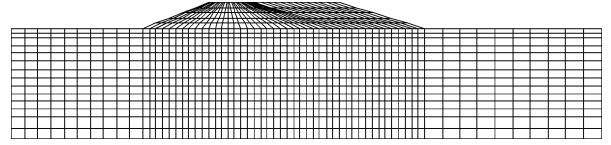


图 4 FLAC 软件中网格划分示意图

表 1 堤防拓宽断面土层及堤身物理力学参数

工程类别	土层	厚度 /m	密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 /MPa	泊松比	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
地基	淤泥质粉质黏土	3.5	1830	1.9	0.35	12.2	10.7
	粉质黏土	5.5	1910	3.5	0.30	3.5	25.2
	砂土	11.5	1960	7.2	0.25	2.3	24.2
堤身和路面	老堤 - 粉质黏土	—	1900	3.5	0.30	13.5	10.7
	拓宽新堤 - 填土	—	1970	10.0	0.25	5.0	30.0
	路面 - 沥青混凝土	—	2500	1200.0	0.26	190.0	30.0

变形协调措施中土工格栅采用 FLAC 绳索单元^[13-14]来模拟,土工格栅与堤防填土接触面关系为:

$$c_a = ac \quad (1)$$

$$\tan \delta = a \tan \varphi \quad (2)$$

式中: c_a 为土工格栅与新堤防填土的界面黏聚力, kPa; δ 为土工格栅与新堤防填土的界面摩擦角, (\circ); c 为新堤防填土的黏聚力, kPa; φ 为新堤防填土的摩擦角, (\circ); a 为作用系数,其值视土工格栅与填土的相互作用程度而定,可取 0.8。根据设计文件,土工格栅材料的厚度为 4 mm,弹性模量为 112.5 MPa,极限抗拉强度为 45 kN/m,拉伸率为 10%,粘结刚度为 20 MN/m/m。汇总得到土工格栅及其接触面的参数如表 2 所示。

表 2 土工格栅材料及接触面参数

厚度 /m	弹性模量 /MPa	黏聚力 /kPa	摩擦角 /(\circ)	粘结刚度 /($\text{MN} \cdot \text{m}^{-2}$)	极限抗拉强度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)
0.004	112.5	4	24	20	45

2.4 初始应力场及边界条件

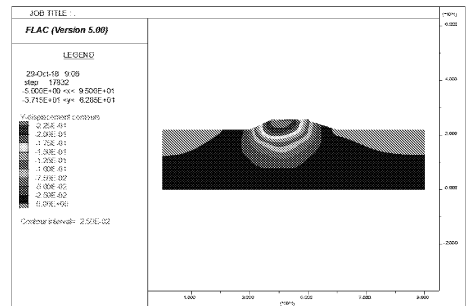
模型地基土层中初始应力场根据土体有效重度计算。模型底部采用位移边界条件,即水平和垂直方向的位移均约束;模型的侧面仅约束水平方向位移。

3 计算结果及分析

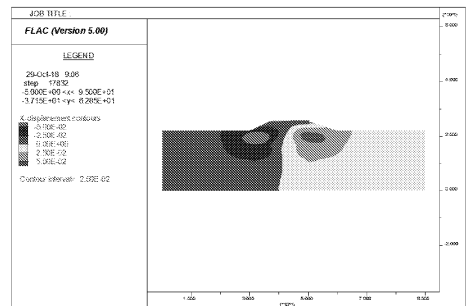
3.1 堤防拓宽模拟结果及分析

根据数值模拟结果中的位移场、堤顶路面变形、地基变形,对堤防拓宽后新堤和老堤的相互作用进行了分析。新堤拓宽后的竖向位移场、水平位移场

如图 5 所示。从图 5 中可知,拓宽新路堤和老堤防有明显的差异变形。



(a) 竖向位移场



(b) 水平位移场

图 5 新堤拓宽后的位移场

拓宽后堤防路面的沉降曲线如图 6 所示。从图 6 可知,老堤防(宽度 8 m)路面的最小、最大沉降分别为 10.5 cm、24.2 cm,不均匀沉降为 13.7 cm,路面的坡度为 1.7%,整体向堤中心线倾斜。新路堤(宽度 5 m)路面的最小、最大沉降分别为 22.6 cm、24.3 cm,不均匀沉降为 1.7 cm,路面坡度为 0.6%,整体向堤中心线倾斜。新堤防填筑后,由于附加应力

作用使得老堤防路面产生了附加沉降,会引起行车不适。

堤防拓宽后,新老堤防表面的水平位移曲线如图 7 所示。由于附加应力作用,新老路堤表面均向老堤一侧发生水平移动,最大水平位移为 1.7 cm。

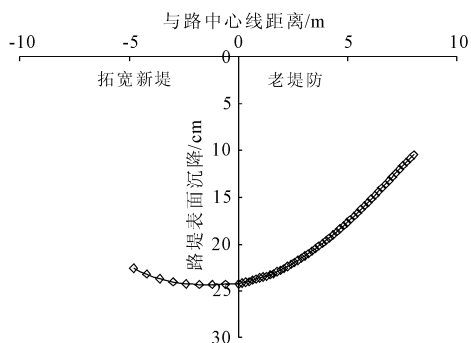


图 6 堤防拓宽后路面的沉降曲线

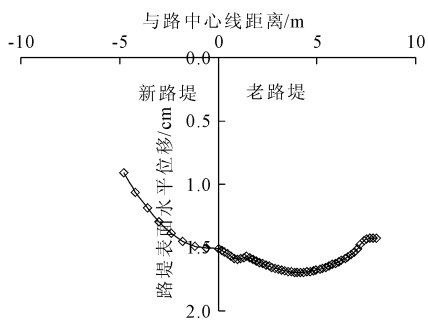


图 7 堤防拓宽后路面的水平位移曲线

堤防拓宽后,地基的沉降曲线如图 8 所示。从图 8 可知,新堤地基的最大沉降为 18.3 cm,发生在新老堤防的界面处。新堤拓宽后,由于附加应力作用使老堤防地基产生了附加沉降,最大附加沉降约为 21.9 cm。

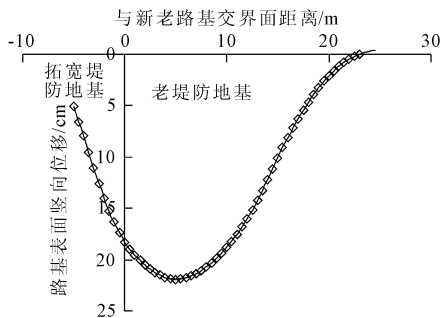


图 8 堤防拓宽后地基的表面沉降曲线

堤防拓宽后,新老堤交界处地基的深层水平位移曲线如图 9 所示。从图 9 可知,地基的最大深层水平位移约为 6.3 cm,深度约为 2.7 m 处,在淤泥质粉质黏土层中。

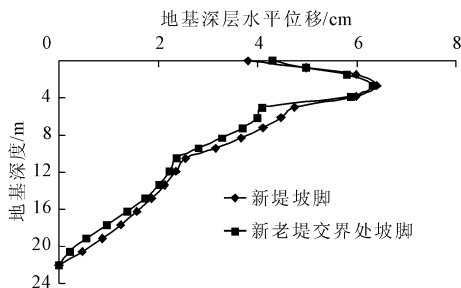
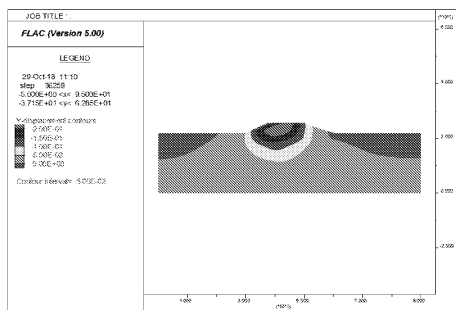


图 9 新堤拓宽后地基的深层水平位移曲线

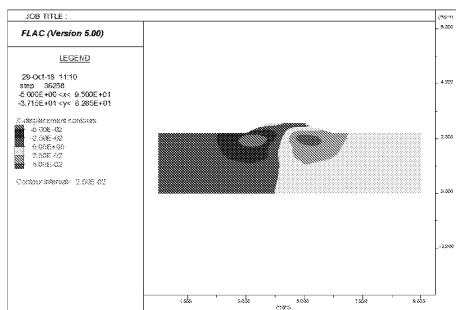
3.2 新堤老堤变形协调措施模拟结果及分析

在 3.1 节基础上,考虑阶梯状结合面和铺设土工格栅材料,对新老堤变形协调措施进行了模拟分析。模拟结果中包括地基和路面变形、差异变形及土工格栅拉力分布等。

新堤拓宽后的竖向位移场和水平位移场如图 10 所示。从图 10 可知,由于土工格栅的加筋作用,堤防的最大沉降位置由堤顶路面处发展到堤身内部。



(a) 竖向位移场



(b) 水平位移场

图 10 新堤拓宽后的位移场

堤防拓宽后路面的沉降曲线如图 11 所示。从图 11 中可知,老堤防(宽度 8 膜 m)的最小、最大沉降分别为 10.6 cm、24.7 cm,不均匀沉降为 14.1 cm,路面的坡度为 1.8%,整体向堤中心线倾斜。新路堤的最小、最大沉降分别为 14.5 cm、24.7 cm,不均匀沉降为 10.2 cm,路面坡度为 2.0%,整体向堤中心线倾斜。对比图 13 和图 7 可知,铺设土工格栅后,新堤一侧路面的沉降大幅减小,老堤一侧的路面沉降基本不变。

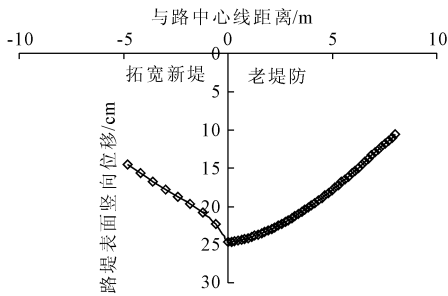


图 11 堤防拓宽后路面的沉降曲线

堤防拓宽后,地基的表面沉降曲线如图 12 所示。从图 12 可知,新路基的最大沉降为 17.9 cm,发生在新老路基的界面处。新堤拓宽后,使得老堤防地基产生了附加沉降,最大附加沉降约为 21.9 cm,发生在距离新、老路基结合部 5 m 位置。对比图 8 和图 12 可知,在堤身铺设土工格栅加筋后,地基表面沉降曲线基本不变,其主要原因是土工格栅仅仅是增强堤身的整体性,对地基的影响较小。

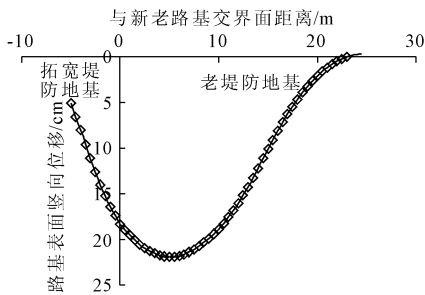


图 12 堤防拓宽后地基的表面沉降曲线

(2) 土工合成材料拉力分布

拓宽堤防中不同位置土工格栅(见图 4)的拉力分布如图 13 所示。底层(1 层)土工格栅的最大拉力为 4.9 kN/m,2 层、3 层、4 层土工格栅的最大拉力分别为 3.5 kN/m、3.0 kN/m、1.8 kN/m,其中底层土工格栅发挥的作用最大。根据模拟结果可知,土工格栅的拉力均没有超过格栅材料的抗拉强度(45 kN/m)。

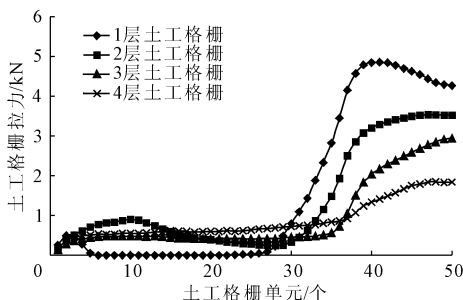


图 13 土工格栅拉力分布

4 结 论

(1) 新堤填筑后,由于附加应力作用使得老堤防的堤身和路面产生附加沉降,老堤路面的平均坡度分别为 1.7% ~ 3.7%,会引起行车不适。

(2) 在堤身分层开挖台阶并铺设土工格栅加筋后,拓宽堤身的最大沉降由新堤一侧的路面发展到堤身内部;新堤的路面沉降和堤身不均匀沉降减小。

(3) 堤身底层土工格栅的拉力较大,其值为 5 kN/m 左右;表层土工格栅的拉力最小,其值为 1 kN/m ~ 2 kN/m,均未超过土工格栅的抗拉强度。在水平方向,土工格栅的最大拉力位置在新老堤结合处。

参考文献:

- [1] 李 昂,花剑岚,卢发周.新老堤防结合面加固措施探究—以南京长江干提防洪能力提升工程为例[J].水利技术监督,2013,21(5):73-75.
- [2] 周 骥.从西险大塘一期加固工程看老堤防加固扩建工程技术[J].水利管理技术,1997,17(6):43-45.
- [3] 张军辉.不同软基处理方式下高速公路加宽工程变形特性分析[J].岩土力学,2011,32(4):1216-1222.
- [4] 苏 阳.广佛高速公路扩建工程软基路段施工简介[J].水运工程,2001(2):51-55,58.
- [5] 曲向进.沈大高速公路改扩建工程技术方案研究[D].大连:大连理工大学,2003.
- [6] 安 军.土工合成材料在高速公路改建中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2015,11(11):24-25.
- [7] 郝 伟,樊恒辉,党进谦.加宽堤防渗流与变形特征数值分析[J].中国农村水利水电,2018(12):149-155,160.
- [8] 刘倩倩.城市道路新老路基路面结合处差异沉降处治技术研究[D].合肥:合肥工业大学,2010.
- [9] 章海明.高速公路软土路基沉降及处治数值分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(6):211-215.
- [10] 郎志伟.东港高速公路软土地基处理技术与综合评判研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2017.
- [11] 曹 洋,郑林达.钉型水泥土搅拌桩加固软土路堤的数值分析[J].水利与建筑工程学报,2019,17(4):217-222.
- [12] 周 冕,修占国,沈臻鑫,等.路堤段地基土的变形计算方法研究[J].路基工程,2018(4):85-89.
- [13] 马 驰,朱亚林,彭雪峰.地震作用下土工格栅加筋高土石坝的稳定性分析[J].长江科学院院报,2019,36(11):125-131.
- [14] 马 驰,朱亚林,李端洲,等.强震作用下土工格栅加固高土石坝效果分析[J].水电能源科学,2018,36(2):93-96.
- [15] 堤防工程设计规范:GB 50286—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.