

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.09.006

单侧高填土道路加宽工程的稳定性及变形实测

赵志峰¹, 邵光辉¹, 杨小平²

(1. 南京林业大学 土木学院, 江苏 南京 210037; 2. 南京市市政设计院, 江苏 南京 210008)

摘要: 在软土地基上进行道路加宽面临稳定性不足、不均匀沉降大等问题。以某湖滨路加宽改造工程为背景, 针对单侧加宽和高填土等特点, 对工程的稳定性和变形进行了系统研究。首先通过现场取土进行室内试验确定了土层的岩土力学参数, 然后结合设计资料对拟采取的加固措施进行了数值模拟。数值分析表明, 在坡脚处采用水泥搅拌桩加固可以有效的提高路基的整体稳定性, 并减小加固区的沉降变形。此外, 为了加强新老路堤的结合, 采取老路堤开挖和土工格栅等处理措施很有必要。从施工期的现场监测数据可以看出, 填土部分和坡脚处的变形较大。在保证填土质量和施工进度后, 整个工程的变形属于控制范围内, 竣工后的运行情况良好。

关键词: 道路工程; 软基; 现场监测; 稳定性; 单侧加宽

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)09-0033-05

Stability and Measurement of Deformation in Widening of Unilateral High Filled Road

ZHAO Zhi-feng¹, SHAO Guang-hui¹, YANG Xiao-ping²

(1. School of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China;

2. Nanjing Municipal Designing Institute, Nanjing Jiangsu 210008, China)

Abstract: Some problems such as lack of stability and uneven settlement existing in road widening engineering on soft ground. Based on the widening and rebuilding project of Hubin road, according to the characteristics of unilateral widening and high fill, the stability and deformation is systematically studied. First, the rock mechanical parameters of soil are determined through laboratory test on samples of undisturbed soil. Then, the effect of reinforcement measure is appraised by numerical simulation with design information. The numerical analysis shows that the reinforcement of soft ground on the slope toe through cement mixing pile can increase the stability of road foundation and reduce settlement of reinforcement area. Besides, in order to reinforce the combination of old and new embankments, the measures of excavating old embankment and geogrid layout are necessary. The field monitoring in construction period indicates that the deformations on the new fill part and toe of slope are obvious. Under the condition of construction quality assurance and proper scheduling control, the deformation of road widening is under control, and the road is in good working order after completion.

Key words: road engineering; soft ground; field monitoring; stability; unilateral widening

0 引言

随着交通量的迅速增长, 我国经济发达地区的许多已建成道路已满足不了需求。因此, 从经济效益和长远发展的角度, 对道路进行扩建加宽是我国

公路建设中亟待解决的重要问题^[1]。

在我国江苏、浙江等东部沿海已经建成使用的道路中, 相当一部分是修筑于软土地基上。由于软土地基本身不利的工程性质, 道路加宽工程存在诸多技术问题。尤其是对于在软土地基上的高填土路

收稿日期: 2012-11-15

基金项目: 住房和城乡建设部研发项目(2011-K3-33)

作者简介: 赵志峰(1978-), 男, 湖北宜昌人, 博士, 副教授。(zzf0911@163.com)

堤加宽工程而言,将面临整体稳定性、新老路堤的差异沉降、新老路堤的衔接等一系列问题^[2-3]。

目前国内外在道路拓宽方面的研究大多集中于软土地基上的高速公路加宽工程^[4-5]。但处于软土地基上的普通市政道路,由于投资规模和建设等级等方面与高速公路工程存在明显差异,其实反而面临着更大的施工风险。已有研究中对于这部分道路加宽工程涉及很少,因此很有必要对其进行深入研究。

本文以江苏省某道路改建工程为实例,针对该工程存在的软土地基、单侧高填土等不利情况,在设计方案和施工方案的确定等方面,采用数值分析并结合现场施工工期监测的方法,对单侧高填土道路加宽工程的施工期稳定性及变形特性进行分析研究。

1 工程概况

某湖滨路是固城湖的一道圩堤,于2001年进行了加宽加高,加宽后的大部分路段总宽为13~15 m。因当时加宽是在老圩堤上进行的,未对老路堤修整,导致几年后在新老结构拼接处出现明显的纵向贯穿裂缝。加上交通量的增加,因此当地政府决定对道路进行第2次拓宽改造。拓宽的道路宽20 m,长2 200 m。

1.1 工程特点

(1) 采用单侧加宽改造。在原有道路的一侧将老路基进行部分挖除并进行加宽。

(2) 填土高度大。道路填土高度基本超过8 m,有的标段填土高度在10 m以上。

(3) 路基下方存在软土层,且道路一侧临湖,地下水位较高。

1.2 岩土层分布

在勘察深度内,场地主要岩土层自上而下分述如下:

①填筑土(Q_{4ml})为可塑状硬塑状(局部软塑)粘土、亚粘土,中-高压压缩性,结构较松散;

②淤泥质亚粘土(Q_{4al}),饱和,流塑,高压压缩性。土质不均匀,局部夹少量薄层亚砂土;

③粘土-亚粘土(Q_{3al}),饱和,硬塑,中偏低压缩性。该层以粘土为主,局部为亚粘土;

④强风化泥质粉砂岩(K_{2c}),岩石风化强烈,结构大部分被破坏,岩芯呈硬塑土状。

1.3 水文地质条件

勘察期间实测钻孔内地下水稳定水位标高为

5.80~6.00 m,主要赋存于:①填筑土下部及②淤泥质亚粘土中,为孔隙潜水,③粘土-亚粘土呈硬塑状,④强风化泥质粉砂岩呈硬塑土状,含水微弱。

2 典型断面的地基处理方案及稳定性分析

2.1 计算模型的建立

根据现场勘察情况和设计资料选取了软土层较深的典型断面建立数值模型,如图1所示。

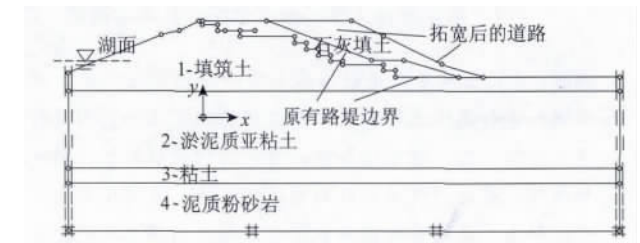


图1 典型计算断面模型

Fig. 1 Computation model of typical section

计算中采用直角坐标系,y轴为竖直方向,向上为正;x轴为水平方向,向右为正。为了减小边界效应的影响,模型选取了较大的范围:70 m×28 m。边界约束条件为底面三向约束,左右两边施加法向约束。为了尽可能模拟实际情况,模型考虑了钻孔范围内涉及的4种典型岩层,各土层的深度按照勘察结果取值。根据地勘报告中的土层分布,各断面在4个深度上钻孔取原状土样。取土后在南京林业大学土工实验室进行室内试验,包括常规土工试验、渗透试验和固结试验。由于在稳定性计算中关键的参数是土层的抗剪强度指标,所以采用了GDS三轴试验系统来量测黏聚力和内摩擦角。考虑到老路堤形成的时间较长,固结已经完成;而加宽扩建工程施工较快,且路堤下方软土的渗透性差,因此抗剪强度的测定采用固结不排水剪试验。最终得到各土层的物理力学参数见表1。

表1 岩土物理力学计算参数

Tab. 1 Physic-mechanical parameters of soil

土层名称	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	压缩 模量 E_s /MPa	泊松比 ν	粘聚力 c /kPa	内摩 擦角 φ /($^\circ$)	渗透系数	
						k_h / ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	k_v / ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
①填筑土	18.9	5.19	0.35	30.8	9.9	3.88×10^{-5}	2.24×10^{-5}
②淤泥质亚粘土	18.2	3.69	0.35	13.2	8.1	1.22×10^{-5}	6.43×10^{-6}
③粘土-亚粘土	20.0	10.93	0.35	70.5	14.8	4.50×10^{-7}	3.00×10^{-7}
④泥质粉砂岩	20.2	50.00	0.30	78.5	35.0	—	—

由于考虑的主要是道路施工过程的稳定性,所以岩土体的本构模型选取常用的摩尔库仑模型。边界条件:左、右边界施加水平向约束,不排水;下边界为竖直向和水平向均固定,不排水;上边界为

自由边界,排水^[6]。

加宽加高的填土采用压密的石灰土,变形模量为 200 MPa,粘聚力为 15 kPa,内摩擦角为 30°。模型左侧水位高度根据湖常见水位选取,右侧地下水位为坡脚地面下 0.5 m,左右侧之间的地下水位按照直线变化考虑。

2.2 地基处理方案

因为拓宽的道路位于较厚的粘土层之上,而粘土层的压缩性很强、抗剪强度较低,加之填土高度大,所以加宽后很可能存在稳定性不足和不均匀沉降等一系列问题。为此拟采用 3 种措施来控制沉降、保证路堤的整体稳定性:

(1) 采取台阶挖除法对老路堤一侧进行逐级开挖,开挖采用高 0.8 m 宽 1.6 m 的台阶,以利于新老路堤的搭接。

(2) 在新老路基的搭接处选取 5 个位置铺设不同长度的土工格栅,土工格栅的强度为 50 kN/m,网格尺寸为 25.4 mm × 25.4 mm。

(3) 在新填方的路基坡脚下方采用水泥搅拌桩对淤泥质亚粘土和亚粘土层进行加固。搅拌桩桩径为 500 mm,桩间距 1.5 m,桩长 18 m,梅花型布桩,弹性模量为 0.4 GPa。

2.3 稳定性计算

为了研究加宽工程的稳定性以及确定最终的地基处理方案,采用强度储备法进行了稳定性计算^[7-8]。 K_f 为强度储备系数,大于 1; φ 、 c 为实际的抗剪强度参数。用 φ/K_f 、 c/K_f 代替 φ 、 c 值进行计算,随着 K_f 值的逐渐增大,可以得出路堤从稳定到破坏的全过程;所得到的整体破坏时的 K_f 值能反映路堤拓宽后的稳定程度。

图 2 为老路堤开挖完成时在不采取地基处理措施和采取地基处理措施 2 种情况下的滑动面示意图。可以看出,坡脚处采用搅拌桩进行地基加固后可以有效的抑制滑动面的发展^[9],使滑动面的范围和形态相比未处理前有明显变化(相比水泥搅拌桩,土工格栅对稳定性的影响很小^[10])。从安全系数的数值来看,未采取处理措施时的安全系数为 1.71,采取加固措施后升至 2.04,说明拟采用的地基处理措施有效。

道路填筑刚完成时一般稳定性较低,也最危险。因此除了比较老路堤开挖时的稳定性外,还进行了新路堤填筑完成后的稳定性对比。由于篇幅关系此处只介绍分析结果:在不采取地基加固的情况下,安全系数为 1.19,不满足稳定性要求;而采取了加固措施后,安全系数升高至 1.68,效果十分明显。

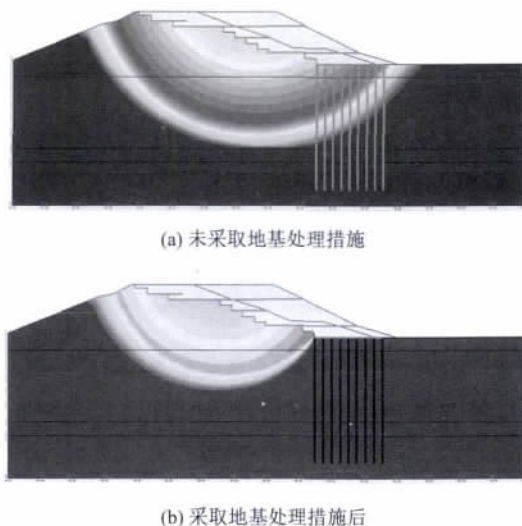


图 2 老路堤开挖完成时的路基滑动面示意图

Fig. 2 Schematic diagram of slide surface of road foundation after excavation of old embankment

对比地基处理前后的数值分析结果可以看出,设计采用的地基处理方案是合理的、有效的,处理后的路堤稳定性能满足施工期的要求,而工程的实际完成情况也充分印证了这一点。

3 加宽工程的变形分析

3.1 数值分析结果

为了较真实地模拟道路加宽过程中的沉降变形,老路堤的开挖和新道路的填筑拓宽均按照实际施工过程进行。第 1 步,近似将自重应力场作为地应力场,并通过固结计算使孔压消散为零,以模拟原有道路的运行情况;第 2 步,清除第 1 步所产生的位移,按照设计要求对原有路堤进行台阶状的开挖;第 3 步,激活搅拌桩单元;第 4 步,激活加宽后的道路单元以模拟填方过程,在每一个填土加载步后,根据实际施工的间歇时间,考虑了新填土的固结过程,整体填土过程历经 120 d。

当填土刚完成时道路的沉降变形如图 3 所示。可以看出由于是单侧填土,所以新填土部分的沉降变形大于老路堤一侧,最大沉降发生在道路加宽后的新路面处,数值为 29.5 cm。即在加宽荷载作用下,地表沉降呈现老路堤中心处小,新路堤形心处大的马鞍形分布,这与前人的研究成果和现场监测数据一致^[11-12]。值得注意的是由于水泥搅拌桩的存在使坡脚下的沉降变形明显减小,这说明水泥搅拌桩形成的复合地基对于提高抗滑稳定性和改善沉降变形有比较突出的效果^[13]。

单侧填土后的水平变形存在明显的分区,新填

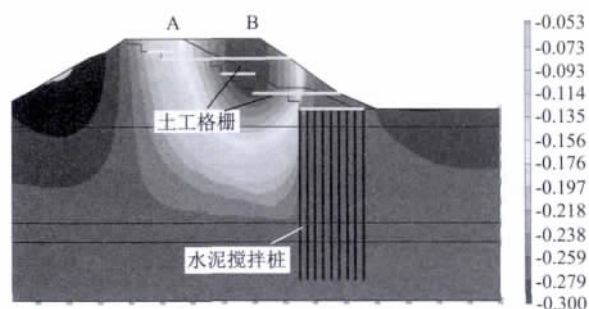


图3 路基填土完成时的沉降变形图(单位: m)

Fig. 3 Settlement of road foundation after the fill completion (unit: m)

土一侧的路基的水平变形指向坡脚处,最大变形位于坡脚、数值为15 cm左右,而老路堤下方地基土的水平变形方向相反。水平变形的分区界限与老路堤的开挖边界比较接近。由于水平位移是导致路面产生纵向裂缝的重要原因,这也解释了道路加宽工程中经常在结合部出现裂缝^[14]。因此,在道路加宽工程中将原有老路堤进行挖除并在新老路堤搭接处采取加强措施非常有必要。

3.2 现场实测结果及对比

为了解道路加宽施工过程中的变形情况,在道路全线和典型断面上布置了变形监测点,主要监测了路面沉降、深层水平位移、坡脚水平位移等项目,此外还进行了竣工后的工后沉降监测。由于是市级道路,现场配合条件不佳,所以监测工作开展得比较困难。

(1) 路面沉降

在老路堤和新填土上分别布置了沉降标(如图3中的A、B所示)来观测沉降变形。当填土刚完成时,左侧沉降标(A点)测得的沉降值为19 cm;右侧沉降标(B点)测得的沉降值为26.5 cm。实测数据说明新老路堤存在着不均匀沉降,但数值属于控制允许范围内。同数值模拟情况进行比较,A点数值模拟的沉降值在14 cm左右,B点为29.5 cm,均大于实测结果。分析原因,可能是没有考虑老路堤开挖后处于超固结状态,所以计算得到的沉降值较大。

(2) 坡脚水平位移

在坡脚处设置了位移观测墩,但由于施工等各方面原因,观测墩在填土达到5 m高度时被损坏从而无法继续监测。从已有的数据来看,监测得到的坡脚累计水平位移为4.4 cm,而数值计算的结果为6.2 cm。

(3) 深层土体水平位移

在坡脚下方设置了测斜管以观测深层土体水平位移,测斜管总长16 m,每0.5 m一个测点。实测

各测点的累计水平位移和数值模拟的结果如图4所示。从图中可以看出,水平位移随着入土深度的增加而逐渐减小,最大的水平位移为57 mm。在浅层部位,数值计算的结果大于实测结果,在距管口9 m深度以下部分,数值计算和实测结果比较接近。由于勘察、土层参数、施工过程、观测等各方面的原因,数值计算的结果与实测存在一定的误差,但基本能反映变形的趋势。

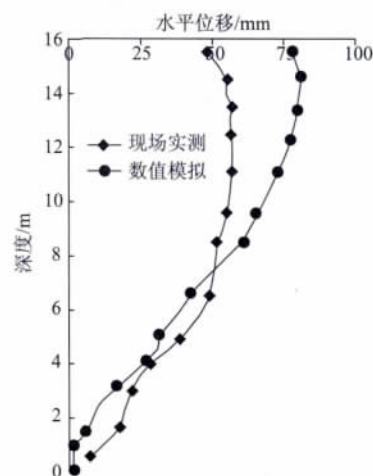


图4 深层土体水平位移

Fig. 4 Horizontal displacement of deep soil

(4) 工后沉降

在加宽工程竣工后,还进行了工后沉降观测,沉降观测点位置同施工期路面沉降的观测点。监测频率为每月1次,共进行了4次观测。以B点为例,4次观测的沉降分别为:11.7、8.3、7.9、6.1 mm,累计沉降为34 mm;数值计算的结果为40 mm左右,计算结果比较接近。A点的沉降与B点基本相同,说明竣工后新老路堤的不均匀沉降控制的较好。

4 结论

(1) 在软土地基上进行高填土道路加宽工程将面临整体稳定性、不均匀沉降等一系列问题,因此采用合理的地基处理方案很有必要。

(2) 数值分析表明,采用水泥搅拌桩对坡脚处的软土进行处理加固可以有效地提高不同施工阶段道路边坡的整体稳定性,并能形成复合地基减小地基沉降。对老路堤进行台阶开挖并铺设土工格栅有助于加强新老路堤的衔接。

(3) 现场实测结果表明,加宽施工过程中新填土部分的沉降变形和坡脚处的水平位移较大,因此应重视对特征部位变形的监测与控制。从施工期和工后沉降的监测结果来看,该工程的变形处于控制

范围之内,道路竣工后稳定性较好。

(4) 将数值模拟同现场监测相结合可以利用各自优点,对工程的设计方案进行优化、对施工期的安全状况进行了解。数值计算不可能与实测结果完全一致,但在保证计算参数、计算步骤准确的前提下,可以得到相对可靠的结果。

参考文献:

References:

- [1] 胡汉兵,饶锡保,陈云. 软土地基新老路堤搭接的岩土工程问题和处理对策 [J]. 岩土力学, 2005, 25 (增2): 321-324.
HU Han-bing, RAO Xi-bao, CHEN Yun. Geotechnical Problems Caused by New Embankment Splicing with Old One on Soft Ground and Treatment Measures [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 25 (S2): 321-324.
- [2] 高翔,刘松玉,石名磊. 软土地基上高速公路路基扩建加宽中的关键问题 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (2): 29-33.
GAO Xiang, LIU Song-yu, SHI Ming-lei. Key Problems in Embankment Widening of Expressway on Soft Ground [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (2): 29-33.
- [3] 贾宁,陈仁朋,陈云敏,等. 杭甬高速公路拓宽工程理论分析及监测 [J]. 岩土工程学报, 2004, 26 (6): 755-760.
JIA Ning, CHEN Ren-peng, CHEN Yun-min, et al. Theoretical Analysis and Measurement for Widening Project of Hang-Yong Expressway [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26 (6): 755-760.
- [4] 张军辉,黄晓明,彭娴. 软土地基上高速公路双侧加宽工程的数值分析 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (3): 20-24.
ZHANG Jun-hui, HUANG Xiao-ming, PENG Xian. Numerical Analysis of Expressway Widened with Two Sides on Soft Soil Foundation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (3): 20-24.
- [5] 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): 1216-1221.
ZHANG Jun-hui. Analysis of Deformation Behavior of Expressway Widening Engineering under Different Foundation Treatments [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32 (4): 1216-1221.
- [6] 章定文,刘松玉. 软土地基高速公路扩建中新老路堤相互作用数值分析 [J]. 中国公路学报, 2006, 19 (6): 7-12.
ZHANG Ding-wen, LIU Song-yu. Numerical Analysis of Interaction between Old and New Embankment in Widening of Freeway on Soft Ground [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19 (6): 7-12.
- [7] DUNCAN J M. State of the Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes [J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, 122 (7): 577-596.
- [8] 迟世春,关立军. 基于强度折减的拉格朗日差分方法分析土坡稳定性 [J]. 岩土工程学报, 2004, 26 (1): 42-46.
CHI Shi-chun, GUAN Li-jun. Slope Stability Analysis by Lagrangian Difference Method Based on Shear Strength Reduction [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26 (1): 42-46.
- [9] 郝玉龙,王立忠,陈云敏,等. 深厚软土水泥搅拌桩复合地基沉降分析及控制 [J]. 岩土工程学报, 2001, 23 (3): 345-349.
HAO Yu-long, WANG Li-zhong, CHEN Yun-min, et al. Analysis and Control of the Settlement in Thick Soft Clay Ground Reinforced by Deep Mixing Cement Piles [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23 (3): 345-349.
- [10] 钱劲松,凌建明,黄琴龙. 土工格栅加筋路堤的三维有限元分析 [J]. 同济大学学报, 2003, 31 (12): 1421-1425.
QIAN Jin-song, LING Jian-ming, HUANG Qin-long. 3D Finite Element Analysis of Embankment Reinforced by Geogrid [J]. Journal of Tongji University, 2003, 31 (12): 1421-1425.
- [11] 刘金龙,张勇,陈陆望,等. 路基拓宽工程的基本特性分析 [J]. 岩土力学, 2010, 31 (7): 2159-2163.
LIU Jin-long, ZHANG Yong, CHEN Lu-wang, et al. Basic Characters of Road Widening Engineering [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31 (7): 2159-2163.
- [12] HJORTNES-PEDERSEN AGI, BROERS H. The Behavior of Soft Subsoil during Construction of an Embankment and Its Widening [C] // Proceedings of Centrifuge 94. Rotterdam: Balkema Rotterdam, 1994: 567-574.
- [13] 龚晓南. 广义复合地基理论及工程应用 [J]. 岩土工程学报, 2007, 29 (1): 1-13.
GONG Xiao-nan. Generalized Composite Foundation Theory and Engineering Application [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29 (1): 1-13.
- [14] ALLERSMA H G B, RAVENSWAAY L, VOS E. Investigation of Road Widening on Soft Soils Using a Small Centrifuge [J]. Transportation Research Record, 1994, 1462: 47-53.