

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.03.005

全填塘换填路基抗浮数值分析研究

刘振华¹, 王帅², 陈泽¹, 修占国²

(1. 中建五局华东建设有限公司, 浙江 平湖 312400;
2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要:以浙江平湖乍浦至上海兴塔的混凝土公路为背景,研究公路的全填塘换填路基的抗浮情况。根据平湖乍浦至上海兴塔的混凝土公路(01省道至平兴公路段)K8+110.000—K16+780.185路段工程的情况,借助ABAQUS有限元软件,以全填塘换填路基为模型,模拟了用不同材料如粉质黏土、砂土或宕渣换填路基对路基抗浮的影响情况,并分别对每种情况进行分析研究,从而得出在粉质黏土、砂土、宕渣等换填材料中,宕渣的抗浮效果最好,为最理想的换填材料。

关键词:公路;全填塘;换填法;抗浮;数值模拟

中图分类号:U416.1

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2019)03-0033-04

Numerical Analysis of Anti-floating of Subgrade with Full-filled Ponds

LIU Zhenhua¹, WANG Shuai², CHEN Ze¹, XIU Zhanguo²

(1. Huadong Building Co., Ltd. of China Construction Fifth Engineering Bureau, Pinghu, Zhejiang 312400, China;
2. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China)

Abstract: Taking the concrete road from Pinghu to Shanghai Xingta in Zhejiang as an example, the anti-floating condition of the roadbed filled with full-filled ponds was tested in this paper. According to the K8+110-K16+780.185 section of the concrete road from Pinghu to Shanghai Xingta, the ABAQUS finite element software was adopted to replace the subgrade with the full filling pond. The effect of subgrade on the anti-floating of subgrade is replaced with different materials such as silty clay, sand or slag, and each case is analyzed and studied, so that the filling of silty clay, sand and slag can be obtained. Among the materials, the slag has the best anti-floating effect and is the most ideal replacement material.

Keywords: high way; replacement method; anti-floating; numerical simulation

在地下水位较高的地区,尤其是闽江浙地区,修建公路不可避免地会遇到一项重大的技术问题——浮力。如何避免浮力过大危及公路安全成为现在公路发展的焦点问题。而对于一些软弱地下土层,水浮力过大问题将更加凸显。对于这一问题,可采取的措施有以下几种:(1)路基下排水^[1-2]:将路基下的水全部排出,降低路基下地下水位,但此方法只适用于地下水位较低的地区,江浙等东南沿海地下水位较高地区,想要使水位降低,需要花费的代价过大;(2)路基压实^[3-6]:填好路基后,用机械将路基压实,再填筑再压实,如此循环以达到抗浮目的;(3)换填路基^[7-8]:挖出路面以下的软弱土层,用换填材

料来进行填筑,以提高路基的黏聚力、防水性以及耐久性。

鉴于此,本文以全填塘这种软弱地基为例,来对路基换填的抗浮效果进行数值模拟分析。本文以全填塘换填路基为模型,不断变换路基换填材料,以此来改变换填部分的弹性模量、重度、黏聚力和内摩擦角,通过比较分析找出影响全填塘换填路基抗浮效果的主要因素以及得到最理想的换填材料。

1 工程概况

平湖市位于其辖区内的嘉兴市,南邻杭州湾,水系复杂,水位较高。本项目为平湖乍浦至上海兴塔的

混凝土公路(01 省道至平兴公路段)K8 + 110.000—K16 + 780.185 路段,依据原交通部颁布的《公路工程技术标准》^[9](JTG B01—2003)一级公路的标准,又考虑到城市道路部分功能,所以除局部受限的路段(K2 + 850—K3 + 600 杭浦跨线桥处)设计速度是 60 km/h 外,余下路段的设计速度都取 80 km/h。由于

距该路段 5 m 处存在一个小型水塘,故该路段路面以下 2 m 处存在大量淤泥,且路面以下地下水位较高,严重影响了路基的承载能力,故根据工程需要,对该路段公路进行路基换填设计。具体的横断面布置情况如图 1 所示。

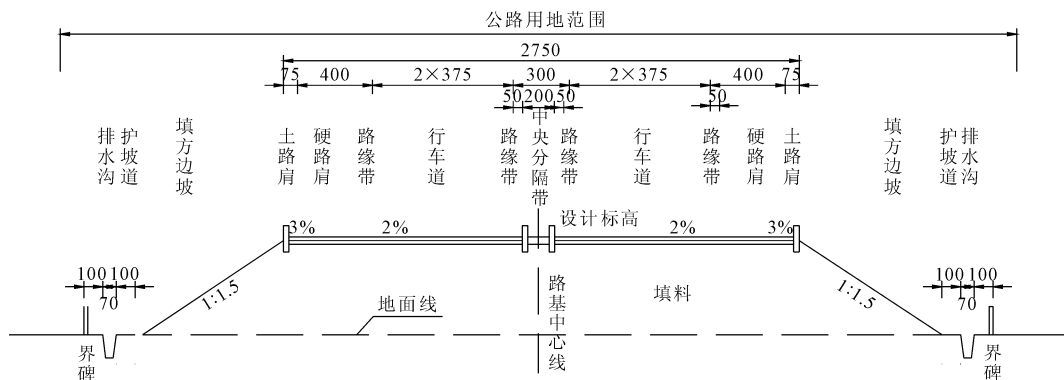


图 1 K8 + 110.000—K16 + 780.185 标准横断面(单位:cm)

K8 + 110.000—K16 + 780.185 段路基宽度 27.5 m,路幅布置如下:0.75 m 土路肩 + 4.00 m 硬路肩(含 0.50 m 路缘带) + 2 × 3.75 m 行车通道 + 2 × 3.75 m 行车通道 + 4.00 m 硬路肩(含 0.50 m 路缘带) + 0.50 m 路缘带 + 0.75 m 土路肩 + 2 m 中央分隔带。

根据图 1 路基标准横断面图,可以得出路基的各部分尺寸及参数,进而可以建立如图 2 所示的路基换填模型图。

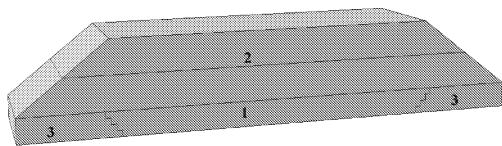


图 2 换填路基模型

2 全填塘换填路基设计

2.1 路基抗浮稳定性计算

对于该项目地下水位较高地区,路基抗浮的验算与地下结构抗浮的验算相似。路基的浮起开裂不仅是地下水的浮力作用,而且在基坑回填土未夯实的情况下或路基周边为富含水的深厚杂填土等透水土层及在雨水等地面水的长期作用下,路基路面都会发生浮起、结构损坏的现象,因此路基路面设计时也应进行抗浮验算^[10-13]。

抗浮验算包括整体抗浮稳定验算和局部抗浮稳

定验算以及路基内结构构件的强度、刚度验算。这里主要对整体抗浮稳定验算和局部抗浮稳定验算做简要概括。

2.1.1 整体抗浮验算

对于常年地下水位较高地区(如广东、上海等),按照广东省规范^[14]进行整体抗浮验算:

$$\frac{W}{F} \geq K_w \quad (1)$$

式中: W 为换填宕渣重量与宕渣上其余活荷载重量之和; F 为地下水的浮力; K_w 为抗浮稳定安全系数,一般取 1.05。

在本论文中,可以取 2 m 长路基进行验算,经现场测量,换填前路基总重量 W 为 2 437 kN,而地下水浮力可以通过下面公式进行计算:

$$F = \rho gh \times S = 2 695 \text{ kN}$$

则: $\frac{W}{F} = \frac{2437}{2695} = 0.904 < 1$,故换填前路基不满足抗浮要求,需要进行换填处理。

对于路基总重量大于水浮力的路段,应注意施工期间的降排水措施,主体结构施工期坑槽尚未回填,一旦停止降水,地下水位将很快回升。而且规范中要求,如果单纯考虑施工期间的浮力,需要以一个水文年的最高水位来预测抗浮设防的水位^[15]。

2.1.2 局部抗浮验算

局部上浮是指路基总重量大于水浮力,但某一段路基直接承受水浮力且其压力小于浮力,整段路基不同部位抗浮承载力不均衡,出现局部位移。这时路面往往会发生局部浮起,因此应特别注意局部

稳定性的验算,在路基整体稳定性得到保证的前提下,对路基表面进行强度和抗裂验算^[16]。

2.2 填料

2.2.1 填料材料

路基直接填筑填料的液限应小于等于 50,塑性指数小于等于 26。有些材料不能直接填筑路基,如:泥潭、淤泥、土中有机土的含量超过允许值的土等。

(1) 粉质黏土。当本项目 K8 + 100.000—K16 + 780.185 路段采用粉质黏土填筑时,粉质黏土要求黏粒含量在 30% ~ 40% 之间,且砂粒组的含量小于粉粒组的含量,塑性指数介于 12 ~ 15 之间。

(2) 砂土。当本项目 K8 + 100.000—K16 + 780.185 路段采用砂土填筑时,砂土最大粒径要求不大于 35 mm,不小于 15 mm,颗粒级配良好。

(3) 宕渣。当本项目 K8 + 100.000—K16 + 780.185 路段采用宕渣填筑时,宕渣要求粒径不大于 150 mm,含泥量小于等于 10%,粒径大于 40 mm 石块的含量不小于 30%。

2.2.2 地基表层处理

(1) 路基填土前应考虑先清理草皮、树根及腐殖土等,一般填方路段清表应按 20 cm 考虑。清表后,在其下 20 cm 土层中加 5% 石灰进行翻拌整平。然后再进行碾压至密实,碾压下沉应按 10 cm 考虑,基底压实度(重型)不应小于 90%。

(2) 在原始地面上直接填筑路堤要求地面横向的坡度小于 1:5.0,而当地面横坡坡度较小时,如 1:5.0 ~ 1:2.5 时,需要在原地面铺设台阶,台阶挖成

向内侧倾斜的样式,且其坡度为 4%,且台阶的宽度应大于 2 m。

(3) 清除的表土需要结合附近的地形进行集中堆放,以方便绿化防护(边坡、中央分隔带等部位),禁止用于路基填筑。

3 全填塘换填路基模型建立及数值分析

路堤经过的水塘路段,需先开始围堰、排水及清淤处理,清淤换填及河塘用砂土、粉质黏土或宕渣来进行填筑。然后分别对这三种材料填筑后的路基建立模型,进行数值模拟分析,比较三种情况下路基所受压应力及其位移大小,从而找出抗浮的最优填筑材料。

3.1 模型建立

运用 ABAQUS 软件,对路基建立 1:1 比例的模型。填塘路基的路基宽度 B 为 27.50 m,塘基平均处理宽度 L_1 为 28.4 m,塘深 h 为 1.8 m。假定地下水位与地表齐平,且路基是一个均匀、连续、完全弹性的整体,其弹性在所有各个方向都相同,且其位移和变形是微小的。此外,由于路基面积较大,重度较高,故路基上表面和侧面位移和转角相对较小,所以假定路基上表面和侧面的位移和转角均为 0。

依据上述假定,建立如图 2 所示的路基模型。

然后将模型分为三部分:1 部分为换填部分;2 部分为地表以上路基部分;3 部分为地表下路基换填部分两侧路基。模型中三部分土体的本构关系均采用摩尔-库仑模型,具体参数见表 1。

表 1 模型各部分参数

区域	材料类型	弹性模量 /GPa	泊松比	密度 ρ /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^\circ$)
1	砂土	15	0.30	1630.99	12.5	9.5
	粉质黏土	20	0.40	1325.18	32.0	16.0
	宕渣	30	0.25	1997.96	5.0	35.5
2	混凝土	25	0.20	2534.86	1000.0	35.0
3	素土	5	0.35	1515.49	15.0	14.0

3.2 加载及网格划分

由于地下水的渗透,全填塘换填路基所受水浮力为路基 1、3 部分整体受到的水浮力。下面给出水的重度 γ :

$$\gamma = \rho g = 9.81 \text{ N/m}^3$$

由于路基面积较大,重度较高,故道路上表面和侧面位移相对较小,可忽略不计,故在道路上表面和

侧面加上约束三个方向位移均为 0 的边界条件。

网格划分采用 C3D6(六节点三棱柱)楔形单元,扫掠划分网格,共划分 1 374 个单元。模型网格划分见图 3。

3.3 数值模拟分析

分别对用粉质黏土、砂土和宕渣填筑的路基模型进行数值模拟分析。

(1) 以粉质黏土为路基填筑材料得到模拟结果如图 4 所示。

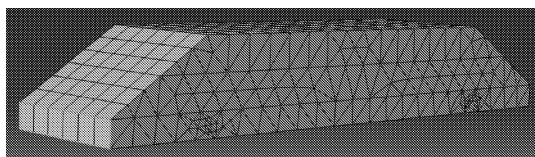


图 3 模型网格划分图

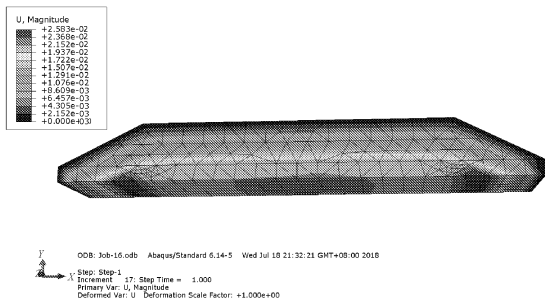


图 4 以粉质黏土为材料模拟位移图

由图 4 可知:路基换填部分产生的位移稍小于未换填部分产生的位移,相差 6 mm 左右。由此可以看出:用粉质黏土换填路基虽然可以增大换填部分的弹性模量与重度、减小换填路基的变形,但对变形的减小并不明显。

此外,换填部分中心区域出现变形较大的情况,说明换填的粉质黏土强度不足,对路基抗浮提高不大。

(2) 以砂土为路基填筑材料,得到图 5 所示路基模型位移云图。

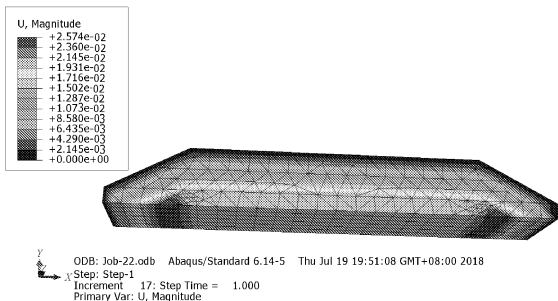


图 5 以砂土为材料模拟位移图

由图 5 可以发现:以砂土为路基填筑材料,填筑部分位移虽然也是稍小于两侧未填筑部分位移,但是换填中心区域位移为 8 mm 左右,未出现较大变形,可见换填砂土后的路基强度明显高于用粉质黏土换填后的路基强度。

(3) 以宕渣为材料来填筑路基,经过 ABAQUS 模拟计算得到图 6 所示位移云图。

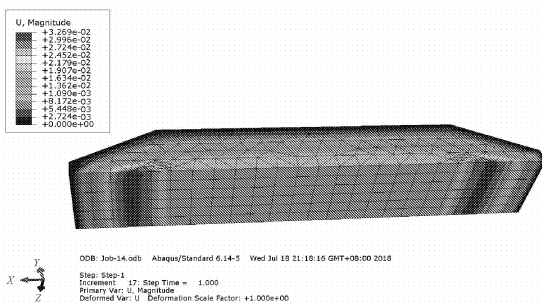


图 6 以宕渣为材料模拟位移图

由图 6 可知:采用宕渣换填路基后,换填部分位移相比于未换填部分位移有明显降低的趋势,减小 20 mm 左右。说明宕渣是路基换填抗浮的可靠材料。

而从路基上表面及路基两侧面位移几乎为零可以看出是约束条件起了作用。路基地面两端出现位移急剧下降的现象则是由于路基两侧面均采用铰接的方式固定边界。

由以上三种换填材料对比分析后,可得出宕渣作为路基换填材料较为合理。

至于 1 部分与 3 部分的交界处,则是换填路基的最薄弱处。从图中也可看出其位移较大,在后续研究中可以考虑采用锚杆或桩基横向固定交界处的措施。

4 结 语

本文主要研究换填材料对路基抗浮效果的影响情况,借助 ABAQUS 软件对分别用粉质黏土、砂土、宕渣等材料进行换填后的路基模型进行模拟后,可以得出结论:换填的粉质黏土强度不足,对路基抗浮提高不大;换填砂土后的路基强度明显高于用粉质黏土换填后的路基强度;而换填砂土后的路基强度又高于用其余两种材料换填后的路基强度。进而可以得出:在换填的粉质黏土、砂土、宕渣等材料中,宕渣的抗浮效果最好。

参考文献:

- [1] 龚明焱.山区高速公路路基排水设施研究[D].西安:长安大学,2015.
- [2] 朱柳柳.公路路基排水设计及施工问题分析[J].江西建材,2014(8):197,203.
- [3] 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.
- [4] 傅海龙.软黏土路基现场强夯置换试验分析[J].水利与建筑工程学报,2018,16(5):52-56.

参考文献:

- [1] 刘建锋,翟俨伟,裴建良,等.不同频率循环荷载下大理岩动力学特性试验研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2014,33(4):432-436.
- [2] 谷中元,周科平.单向循环加载下花岗岩力学特性及红外分析[J].中国安全生产科学技术,2018,14(8):148-153.
- [3] 葛修润,蒋宇.周期荷载作用下岩石疲劳变形特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(10):1581-1585.
- [4] 章清叙,葛修润,黄铭,等.周期荷载作用下红砂岩三轴疲劳变形特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(3):473-478.
- [5] 葛修润,卢应发.循环荷载作用下岩石疲劳破坏和不可逆变形问题的探讨[J].岩土工程学报,1992,14(3):56-60.
- [6] 马振洲,钟红,李云途.循环荷载下含裂缝缺陷的混凝土断裂特性试验研究[J].水利与建筑工程学报,2018,16(2):157-161.
- [7] 李润,简文彬.含裂隙类岩材料疲劳损伤过程声学特性研究[J].水利与建筑工程学报,2014,12(3):115-120,124.
- [8] 林大能,陈寿如.循环冲击荷载作用下岩石损伤规律的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(22):4094-4098.
- [9] 尤明庆,苏承东.大理岩试样循环加载强化作用的试验研究[J].固体力学学报,2008,29(1):66-72.
- [10] 藕明江,周宗红,王友新,等.单轴循环加、卸载条件下大理岩力学以及声发射特征研究[J].中国钨业,2017,32(6):34-39.
- [11] 李春阳,周宗红,刘松.花岗岩单轴循环加、卸载试验及声发射特性研究[J].煤矿机械,2016,37(11):67-70.
- [12] 左建平,谢和平,孟冰冰,等.煤岩组合体分级加、卸载特性的试验研究[J].岩土力学,2011,32(5):1287-1296.
- [13] 徐速超,冯夏庭,陈炳瑞.矽卡岩单轴循环加、卸载试验及声发射特性研究[J].岩土力学,2009,30(10):2929-2934.
- [14] 李涛,马永君,刘波,等.循环荷载作用下冻结灰砂岩强度特征与弹性模量演化规律[J].煤炭学报,2018,43(9):2438-2443.
- [15] 周家文,杨兴国,符文熹,等.脆性岩石单轴循环加、卸载试验及断裂损伤力学特性研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(6):1172-1183.
- [16] 汪泓,杨天鸿,刘洪磊,等.循环荷载下干燥与饱和砂岩力学特性及能量演化[J].岩土力学,2017,38(6):1600-1608.
- [17] 郭保华,李小军,苏承东.岩石裂隙法向循环加载本构关系试验研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(S1):2973-2980.
- [18] 葛修润.岩石疲劳破坏的变形控制律、岩土力学试验的实时X射线CT扫描和边坡坝基抗滑稳定分析的新方法[J].岩土工程学报,2008,30(1):1-20.

(上接第36页)

- [5] 赵丽雅,许宏发,晋学辉,等.盾构隧道下穿铁路群的路基加固及沉降分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(4):85-90.
- [6] 刘少明.公路工程路基路面压实施工技术分析[J].山西建筑,2019,45(4):158-159.
- [7] 卢汉文.试析路基换填技术在公路施工中的应用[J].中国高新技术企业,2016(12):101-102.
- [8] 肖金宝.海砂换填道路软基的方案设计与施工应用[J].福建交通科技,2017(3):31-32,44.
- [9] 公路工程技术标准:JTG B01—2003[S].北京:人民交通出版社,2003.
- [10] 建筑地基基础技术规范:DB21/T 907—2015[S].沈阳:辽宁科学技术出版社,2015.
- [11] 建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [12] 戴成元,刘鹏博.地下车库结构抗浮稳定性[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2017,36(3):304-309.
- [13] 李增涛,付长波,马孝云,等.半地下水池抗浮稳定性分析与研究[J].工程建设,2016,48(4):40-43.
- [14] 建筑地基基础设计规范:DBJ 15—31—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [15] 高层建筑岩土工程勘察规程:JGJ 72—2014[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [16] 梁妍妍.地下结构的抗浮研究与优化分析[D].广州:广州大学,2016.