

基于填土堆载引起桥墩偏位的专项检测和仿真计算分析

程其瑜^{1,2}, 邓泽城²

(1.江西省高速公路投资集团有限责任公司养护技术研究中心, 江西 南昌 330025;

2.江西省高速公路投资集团有限责任公司)

摘要:以某高速公路桥下大体积填土引起桥墩偏位为实例,首先通过外业专项检测,掌握了墩顶偏位的实际数据和桥梁结构的病害状况。然后,采用 Midas 有限元软件对结构进行仿真分析,计算了3种工况下桥梁下部结构的应力、裂缝宽度和墩顶偏位情况。最后,结合专项检测和仿真计算结果,对桥梁结构的安全性进行综合评估并提出了处治建议。

关键词:桥下堆载;墩顶偏位;仿真计算;安全性评估

1 工程实例

1.1 桥梁概况

某高速公路主线桥,设计荷载为公路—I级。上部结构为15孔25m预应力混凝土连续小箱梁,分3联、分左右幅,单幅每孔横向布置4片小箱梁;下部结构为双柱式桥墩、肋式桥台、钻孔桩基础。桥址区地层主要为第四系全新冲洪积层及残坡积碎屑堆积层,岩性主要为中粗粒花岗闪长岩。

1.2 桥梁病害简述

桥梁例行检查时,发现第3联第11~14跨存在桥下填土,经检查发现以下问题:

(1)某建设工程施工时,在高速公路桥梁第11~14跨范围桥下填土,填方高度4~12m不等,见图1。

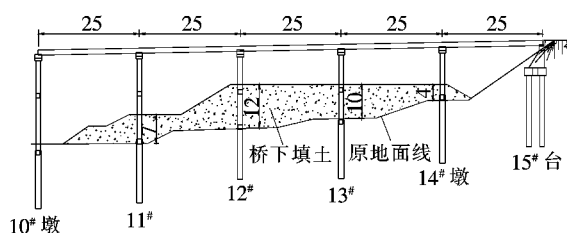


图1 某高速公路桥梁第3联桥下大体积填土(单位:m)

(2)桥面伸缩缝。15#台顶伸缩缝(D80型)型钢间隙:左幅宽度为7.5cm,右幅宽度为8.5cm;10#墩顶伸缩缝(D160型)型钢间隙:左幅宽度为3.9cm,右幅宽度为3.7cm。可以看出:15#台顶伸缩缝间隙超

宽,10#墩顶伸缩缝间隙过窄,接近处于抵死状态。

(3)墩台支座。第15跨主梁梁端(及梁底支座上钢板)相对于15#台支座(四氟滑板支座)往小里程方向产生了5~7cm的滑移;第11跨主梁梁端(及梁底支座上钢板)相对于10#墩支座(四氟滑板支座)往小里程方向产生了5~8cm的滑移,上钢板部分滑出支座范围;其余11#~14#墩顶支座(普通橡胶支座)不同程度地往小里程方向产生了剪切变形。

通过上述检查,初步推测可能存在由于桥下填土引起墩柱及上部结构主梁偏移问题,位移方向为往小里程方向。

2 外业专项检测

发现上述问题后,首先协调相关单位制定方案,对称分层清除填土至原地面。随后组织专业单位对该桥第3联(第11~15跨)的上、下部结构进行专项检测,以评估对桥梁结构的影响。主要包括:各结构构件的裂缝检测、墩身竖直度测量、墩身回弹强度检测、墩身尺寸及保护层厚度检测等。

2.1 各结构构件的裂缝检测

(1)桩基及系梁裂缝检测。由于现场桩基和地系梁均埋于地面以下,基于安全考虑,此次只选取典型的11#墩1#桩进行了开挖。经检查,11#墩1#桩顶及以下2~3m范围和地系梁未发现明显裂缝。

(2)主梁及墩身裂缝检测。对第3联左右幅小箱

收稿日期:2019-03-19(修改稿)

基金项目:江西省交通运输厅科技项目(编号:2018H0043)

作者简介:程其瑜,男,高级工程师。

梁和桥墩通过人工逐一进行外观检查,除发现一些混凝土剥落、细微的温度收缩裂缝外,均未见明显的由于土压力引起的受力裂缝。

2.2 墩身竖直度测量

采用全站仪进行测量,假设桥墩底面或地面线为参考不动点,纵向以墩顶偏向大桩号方向为正,横向以墩顶偏向右幅为正。检测结果见表 1。

表 1 第 3 联桥墩墩顶偏位检测结果

位置		左幅偏位/mm		右幅偏位/mm	
		纵向	横向	纵向	横向
11 [#] 墩	1 [#] 柱	-45.6	31.2	-73.8	-18.6
	2 [#] 柱	-62.3	20.5	-44.7	-18.3
12 [#] 墩	1 [#] 柱	-73.9	5.0	-27.2	9.6
	2 [#] 柱	—	50.7	-55.8	7.3
13 [#] 墩	1 [#] 柱	-47.8	25.4	-33.9	-29.2
	2 [#] 柱	-22.1	-3.3	-51.6	-6.0
14 [#] 墩	1 [#] 柱	-3.1	-8.1	-31.7	-16.6
	2 [#] 柱	-26.3	17.3	-22.4	8.3

从表 1 可看出:左右幅纵桥向 11[#]~14[#]墩顶均往小桩号方向偏位,具有一定的规律性。纵桥向最大墩顶偏位(往小桩号方向):左幅 12[#]墩顶偏位为 73.9 mm,右幅 11[#]墩顶偏位为 73.8 mm。

2.3 墩身回弹强度检测

经现场回弹检测,第 3 联左右幅 10[#]~14[#]墩柱混凝土强度推定值最小为 54.4 MPa,设计混凝土强度等级为 C30,满足规范和设计要求。

2.4 墩身尺寸及保护层厚度检测

(1) 墩身尺寸检测结果:左、右幅 10[#]~14[#]桥墩实测直径与设计尺寸偏差范围为 1~3 mm。

(2) 墩身钢筋保护层厚度检测结果:左、右幅桥墩实测的钢筋保护层平均厚度范围为 41~51 mm,竖向主筋保护层设计厚度为 46.5 mm。

由此可看出:墩身尺寸及保护层厚度基本满足规范和设计要求。

3 数值仿真分析

3.1 计算模型

(1) 模拟工况。利用 Midas 有限元软件对结构进行模拟计算分析,主要分为 3 个计算工况:① 工况 1:最高桥下填土状态恒载工况;② 工况 2:清除桥下填土状态恒载工况;③ 工况 3:清除桥下填土状态荷载组合

工况。

(2) 荷载分析。土压力荷载作用范围为地表至基层。支座摩擦力以集中力的形式施加于盖梁顶面支座垫石位置,其作用方向可根据支座与主梁偏位判断,大小根据支座反力和摩擦力系数等综合确定。采用“m”法模拟桩与土体、基岩相互作用。主要荷载分析示意图见图 2。

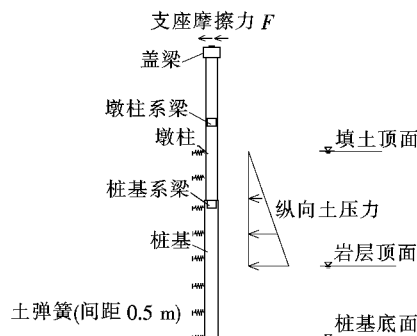


图 2 主要荷载分析示意图

(3) 主要参数。此次桥下填土主要为黏土,原地面土主要为亚黏土,基岩主要为花岗闪长岩。根据现行相关规范,黏土的 m 取 5 000 kN/m⁴,基岩的 m 取 300 000 kN/m⁴,黏土的内摩擦角 φ 取 12°;板式橡胶支座与钢板接触时,摩擦系数取 0.2;聚四氟乙烯板与不锈钢板接触(加硅脂)时,摩擦系数取 0.06;钢筋、混凝土的强度根据 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土和预应力混凝土桥涵设计规范》选取。

(4) 建立模型。模型中所有单元均为梁单元。桩基底部采用一般支撑模拟,岩层顶面至桩基底部范围内的桩基侧面土弹簧刚度采用节点弹性支撑模拟(每间隔 0.5 m 设置一个),其刚度根据“m”法计算得到。桥梁整体模型示意图见图 3。

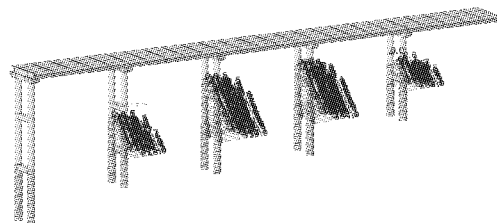


图 3 桥梁整体模型示意图(右幅)

3.2 计算结果

(1) 最高桥下填土状态恒载工况

此荷载工况下,土体对墩柱及桩基产生纵向土压力,荷载作用范围为弃土顶面至基层,墩柱受土压力作用后在弃土顶面产生较大的变形,导致土体顶面附近土弹簧的 m 值减小甚至消失,因此墩柱施加土弹簧的

起始位置只能通过计算确定,直至计算结果与墩顶偏位 及检测结果吻合较好为止。工况 1 的计算结果见表 2。

表 2 最高桥下填土状态恒载工况(工况 1)计算结果

墩号	部位	位置	受拉侧混凝土 拉应力/MPa		受拉侧钢筋 应力/MPa		受拉侧裂缝 宽度/mm		承压侧混凝 土压应力/MPa		墩顶纵 向位 移/mm
			计算值	设计值	计算值	设计值	计算值	设计值	计算值	设计值	
右幅 11# 墩	桩基	土、岩分界面	5.6	1.23	181.2	280	0.221	0.2	-9.3	-11.5	-50.3
	墩柱	墩底	1.5	1.39	—	280	—	0.2	-5.8	-13.8	
右幅 12# 墩	桩基	土、岩分界面附近	2.5	1.23	38.1	280	0.080	0.2	-5.9	-11.5	-50.1
	墩柱	墩底	3.9	1.39	63.0	280	0.090	0.2	-7.7	-13.8	
右幅 13# 墩	桩基	土、岩分界面附近	3.5	1.23	86.1	280	0.128	0.2	-6.8	-11.5	-50.3
	墩柱	墩底	4.4	1.39	86.7	280	0.112	0.2	-8.1	-13.8	
右幅 14# 墩	桩基	土、岩分界面附近	4.9	1.23	152.5	280	0.193	0.2	-8.0	-11.5	-30.5
	墩柱	墩底	1.5	1.39	—	280	—	0.2	-5.1	-13.8	

由表 2 可知:在工况 1 状态下,桩柱受拉侧钢筋应力最大值为 181.2 MPa(小于设计值 280 MPa),桩柱承压侧混凝土压应力最大值为 9.3 MPa(小于设计值 11.5 MPa)。所以,第 3 联第 11#~14# 桥墩及桩基受力性能满足规范要求。但与原设计相比,桩基和墩身在此阶段产生了裂缝,且部分桩基混凝土裂缝超规范

限值,桩柱承压侧混凝土压应力也有较大增加,对桥梁的耐久性有不利影响。

(2) 清除桥下填土状态恒载工况

土体卸载后,墩柱及桩基的变形有恢复至初始状态的趋势,此阶段剩余土体的土弹簧作用范围由土体顶面至基岩面。工况 2 的计算结果见表 3。

表 3 清除桥下填土状态恒载工况(工况 2)计算结果

墩号	部位	位置	受拉侧混凝土 拉应力/MPa		受拉侧钢筋 应力/MPa		受拉侧裂缝 宽度/mm		承压侧混凝 土压应力/MPa	
			计算值	设计值	计算值	设计值	计算值	限值	计算值	设计值
右幅 11# 墩	桩基	土、岩分界面	4.2	1.23	113.9	280	0.155	0.2	-7.9	-11.5
	墩柱	墩底	1.7	1.39	—	280	—	0.2	-6.0	-13.8
右幅 12# 墩	桩基	土、岩分界面附近	2.5	1.23	36.7	280	0.080	0.2	-5.8	-11.5
	墩柱	墩底	1.8	1.39	—	280	—	0.2	-6.1	-13.8
右幅 13# 墩	桩基	土、岩分界面附近	3.2	1.23	71.6	280	0.114	0.2	-6.4	-11.5
	墩柱	墩底	2.9	1.39	30.5	280	0.069	0.2	-6.6	-13.8
右幅 14# 墩	桩基	土、岩分界面附近	3.8	1.23	102.7	280	0.145	0.2	-7.0	-11.5
	墩柱	墩底	2.6	1.39	22.0	280	0.058	0.2	-6.2	-13.8

由表 3 可知:在工况 2 清除桥下填土恒载状态下,桩柱受拉侧钢筋应力最大值为 113.9 MPa,比工况 1 最高填土状态时的 181.2 MPa 减少了 37.1%;桩柱承压侧混凝土压应力最大值为 7.9 MPa,比工况 1 最高填土状态时的 9.3 MPa 减少了 15.1%;受拉侧混凝土裂缝最大宽度为 0.155 mm,比工况 1 最高填土状态时的 0.221 mm 减少了 29.9%。所以,清除桥下填土后,

桩柱的受力状态有了较大的改善。

(3) 清除桥下填土状态荷载组合工况

采用清除桥下填土状态恒载工况的最终计算模型,考虑汽车活载、汽车制动力、温度等荷载效应后,对墩柱现有偏位状态进行结构计算和分析,计算结果见表 4。

表 4 清除桥下填土状态荷载组合工况(工况 3)计算结果

墩号	部位	位置	受拉侧钢筋 应力/MPa		受拉侧裂缝 宽度/mm		承压侧混凝土 压应力/MPa	
			计算值	设计值	计算值	设计值	计算值	限值
右幅 11#墩	桩基	土、岩分界面附近	145.2	280	0.186	0.2	-9.7	-11.5
	墩柱	墩底	36.7	280	0.073	0.2	-8.3	-13.8
右幅 12#墩	桩基	土、岩分界面附近	73.0	280	0.116	0.2	-7.4	-11.5
	墩柱	墩底	61.0	280	0.092	0.2	-8.4	-13.8
右幅 13#墩	桩基	土、岩分界面附近	109.6	280	0.151	0.2	-8.2	-11.5
	墩柱	墩底	87.3	280	0.113	0.2	-9.0	-13.8
右幅 14#墩	桩基	土、岩分界面附近	137.1	280	0.178	0.2	-8.8	-11.5
	墩柱	墩底	63.3	280	0.094	0.2	-8.1	-13.8

由表 4 可知:在工况 3 荷载组合状态下,第 3 联第 11#~14# 桩柱在现有墩顶偏位下的结构受力验算均能满足规范要求。与原设计相比,大部分桩基和墩身均产生了裂缝,但远未达到断桩等严重程度;桩柱承压侧混凝土压应力也有较大增加,对桥梁的耐久性有不利影响。

4 结 论

根据现场外观、实体检测数据以及数值仿真计算分析,可得出如下结论:

(1) 基于桥梁伸缩缝宽度、支座形态以及墩顶偏位检测数据,并结合仿真计算分析结果,可推断出墩顶偏位主要由于桥下填土引起,导致第 3 联 11#~14# 墩顶产生了约 5 cm 的纵向位移(往小桩号方向),进而带动主梁一起往小桩号位移。

(2) 从数值仿真分析可看出,在最高桥下填土阶段以及清除桥下填土后荷载组合工况下,第 3 联第 11#~14# 桥墩及桩基受力性能满足规范要求。与原设计相比,大部分桩基和墩身均产生了裂缝,但远未达

到断桩等严重程度;桩柱承压侧混凝土压应力也有较大增加,对桥梁的耐久性有不利影响。

(3) 建议更换桥梁第 3 联的支座及桥面伸缩缝,并加强桥梁运营过程中的变位观测,视情况对第 11#~14# 桥墩进行复位。

参考文献:

[1] 赵明阶.土力学与地基基础[M].北京:人民交通出版社,2010.

[2] 叶见曙.结构设计原理[M].3 版.北京:人民交通出版社,2014.

[3] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].

[4] JTG D63—2007 公路桥涵地基与基础设计规范[S].

[5] 冯忠居,张永清,李晋.堆载引起桥梁墩台与基础的偏移及防治技术研究[J].中国公路学报,2004(3).

[6] 杨军,张青青.分层地基群桩沉降简化计算模型[J].中外公路,2017(1).

[7] 王培中,陶涛,祁佚飞,等.填土碾压对挡土墙土压力和位移的影响分析[J].中外公路,2016(3).

[8] 冯忠居,李孝雄,苏航州,等.深厚软基区桥梁桩基横轴向承载特性研究[J].中外公路,2018(1).