

葵花拱桥拱上填料模拟方法研究

张 坤¹, 李文静²

(1.中国联合工程有限公司, 浙江 杭州 310052; 2.天津城建设计院有限公司, 浙江 杭州 310052)

摘 要: 拱桥作为一种传统的桥型,因具有良好的受力性能在世界各地广泛应用。拱上填料如何在电算程序中既便捷又准确地模拟,一直是桥梁设计行业中存在争议的话题。以开化县芹江大桥老桥的桥梁为例,提供了土柱+虚拟梁法和变截面连续梁法两种模拟方法,通过在相同条件下进行建模分析,对比了在恒载作用下和在恒载+汽车荷载+人群荷载作用下桥梁墩台的反力与典型截面内力,分析了两种模拟方法下计算结果的差异,供相关从业者参考。

关键词: 葵花拱桥;拱上填料;虚拟梁;土柱;变截面连续梁

中图分类号: U448.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)02-0059-03

0 引言

实腹式拱桥^[1,2]自身具备非常鲜明的特点。首先为结构上的特点,桥面系与拱上填料直接接触,在外部荷载作用下,两者共同传递荷载;拱上侧墙和填料又与拱圈直接接触,因此结构受力特点为拱上侧墙和填料与拱圈的联合作用。其次因为材料特点,除了拱圈、墩柱等采用钢筋混凝土比较容易模拟外,填料、桥面材料均为非线性材料,影响因素较多,利用杆系单元^[3]难以精确模拟。车道荷载如何在软件中添加,也是一个比较复杂的问题。为了找出合理、简单的电算方法,设计采用了土柱+虚拟梁法和变截面连续梁法两种建模方法对拱上填料与桥面系采用 Midas Civil 2019 进行了模拟,以期通过计算对比找出比较合适的拱上填料模拟方法。

1 工程概况

开化县芹江大桥老桥建成于 1978 年,为 7 × 25 m 圬工拱桥,全长 206.0 m,设计荷载等级:汽-15 级,挂车-80 级。随着经济的快速发展,旧桥已不能满足日益增大的承载力与交通量的需求,需拆除重建。新建桥梁主桥采用五跨(29+34+38+34+29)m 实腹上承式葵花拱桥,拱圈为变厚度钢筋混凝土板,板宽 26.5 m。主拱圈在拱顶处厚度为 0.7 m,在拱脚处厚度为 1.0 m;边拱圈在拱顶处厚度为 0.6 m,在拱脚处厚度为 1.0 m。主拱采用上缘线、中心线、下缘线三条悬链线组合而成,拱轴系数^[4]均为 3.0。

收稿日期:2020-06-30

作者简介:张坤(1979—),男,本科,高级工程师,从事道桥设计工作。

主拱上设置腹拱,腹拱圈厚度为 0.45 m,圆曲线半径为 12 m。桥墩采用实体墩,厚度有 2.2 m、2.6 m 两种,墩高 3m。柱墩基础采用 21 根 $\phi 1.0$ m 钻孔灌注桩基础。桥台基础与拱座相结合形成整体式框架浅基础。桥梁总体图见图 1。

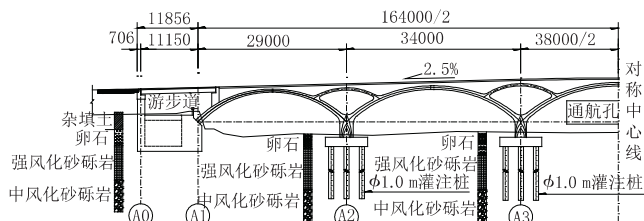


图 1 总体布置图(单位:mm)

2 技术标准

(1)设计行车速度:40 km/h。

(2)设计荷载:城-A 级;人群荷载按《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)第 10.0.5 条规定选用。

(3)地震烈度:地震基本烈度 VI 度,地震动峰值加速度为 0.05g。

3 计算方法选择

3.1 土柱+虚拟梁法

该方法主拱圈、腹拱圈、桥墩、承台、桩基均采用数值截面模拟,材料选用 C40 钢筋混凝土;填料采用自定义材料,填料容重、弹性模量、泊松比等参数均按实际输入;桥面铺装定义为虚拟梁,虚拟梁与拱圈通过竖向填料土柱单元直接连接。为保证土柱单元不传递弯矩,释放掉土柱单元转角约束,车道荷载直接加载在虚拟梁上,通过各个填料土柱向下传递。

该方法模型图,见图 2。

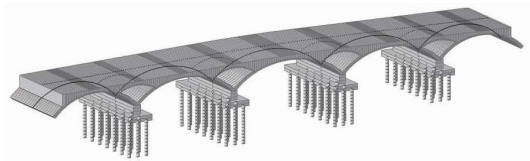


图2 土柱+虚拟梁法模型图

3.2 变截面连续梁法

该方法主拱圈、腹拱圈、桥墩、承台、桩基仍采用数值截面模拟,材料选用C40钢筋混凝土;拱上填料定义成变截面连续梁,采用自定义材料,容重、弹性模量、泊松比等参数均按实际输入;填料形成的变截面连续梁与拱圈之间采用只受压的弹性连接模拟。车道荷载直接加载在填料形成的变截面连续梁上,通过只受压的弹性连接向下传递。

该方法模型图,见图3。

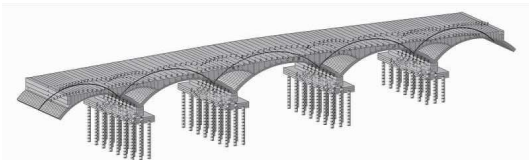


图3 变截面连续梁法模型图

4 计算结果对比

4.1 反力对比

通过同等条件下建模计算分析,可以得出两种模拟方法下的桥梁在恒载、恒载+汽车荷载+人群荷载作用下各墩台的水平反力对比(见表1)和竖向反力对比(见表2)。

表1 水平反力对比

项目	墩台号	土柱+虚拟梁法 FX/kN	变截面连续梁法 FX/kN	差值百分 比/%
恒载	0号台	33 278	32 932	-1.04
	1号墩	10 526	11 028	4.77
	2号墩	6 360	6 409	0.77
	3号墩	-6 419	-6 164	-3.97
	4号墩	-10 882	-11 333	4.14
	5号台	-32 892	-32 524	-1.12
恒载+ 汽车 荷载+ 人群 荷载	0号台	35 692	35 369	-0.91
	1号墩	14 508	13 848	-4.55
	2号墩	8 389	8 325	-0.76
	3号墩	-7 772	-8 093	4.13
	4号墩	-15 161	-14 559	-3.98
	5号台	-32 648	-34 964	7.09

从水平反力对比表中可以发现,在恒载作用下,各墩台水平反力相差不大,采用变截面连续梁法模拟计算结果比采用土柱+虚拟梁法模拟计算结果最多高出4.77%。在恒载+汽车荷载+人群荷载作用

表2 竖向反力对比

项目	墩台号	土柱+虚拟梁法 FZ/kN	变截面连续梁法 FZ/kN	差值百分 比/%
恒载	0号台	30 853	30 992	0.45
	1号墩	77 586	77 131	-0.59
	2号墩	89 920	89 025	-1.00
	3号墩	89 433	88 895	-0.60
	4号墩	76 279	75 467	-1.06
	5号台	26 818	26 967	0.56
恒载+ 汽车 荷载+ 人群 荷载	0号台	32 742	32 898	0.47
	1号墩	82 690	83 178	0.59
	2号墩	94 403	95 353	1.01
	3号墩	94 772	95 346	0.61
	4号墩	81 065	81 938	1.08
	5号台	28 635	28 802	0.58

下,采用变截面连续梁法模拟计算的最大水平反力比采用土柱+虚拟梁法模拟的最大水平反力最大高出7.09%。

从竖向反力对比表中可以看出,两种模拟计算方法,竖向反力非常接近。无论是在恒载作用下,还是在恒载+汽车荷载+人群荷载作用下,两者计算结果最大偏差1.06%。

4.2 内力对比

4.2.1 弯矩对比

(1)恒载作用下弯矩对比,见图4、图5。

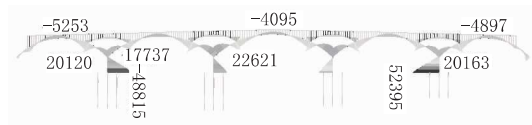


图4 土柱+虚拟梁法My计算结果(单位:kN·m)



图5 变截面连续梁法My计算结果(单位:kN·m)

(2)恒载+汽车荷载+人群荷载作用下最小弯矩对比,见图6、图7。

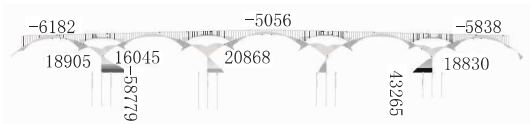


图6 土柱+虚拟梁法My_min计算结果(单位:kN·m)

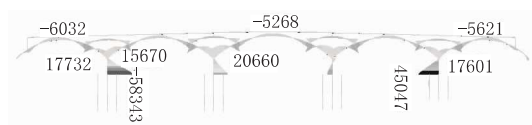


图7 变截面连续梁法My_min计算结果(单位:kN·m)

(3)恒载+汽车荷载+人群荷载作用下最大弯矩对比,见图8、图9。

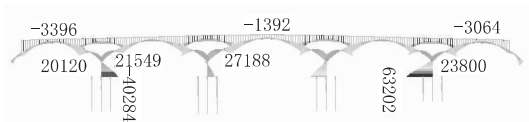


图8 土柱 + 虚拟梁法 $M_{y_{max}}$ 计算结果 (单位:kN·m)

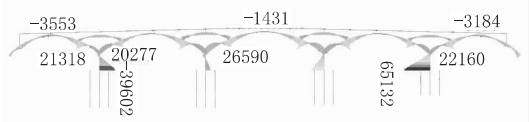


图9 变截面连续梁法 $M_{y_{max}}$ 计算结果 (单位:kN·m)

从以上不同荷载作用下关键节点的弯矩对比可以看出,两种建模方法计算得出的弯矩值有一定差异,但均在7%以内。最大偏差出现在恒载作用下第五跨腹拱拱脚与主拱交点处,两者 M_y 分别为 20 163 kN·m 和 18 756 kN·m,采用土柱 + 虚拟梁法模拟比采用变截面连续梁法模拟 M_y 大 6.98%。

4.2.2 轴力对比

(1)恒载作用下轴力对比,见图 10、图 11。

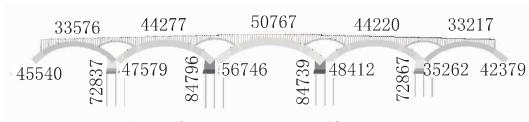


图10 土柱 + 虚拟梁法 N_x 计算结果 (单位:kN)

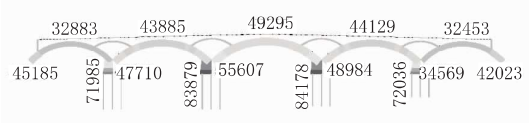


图11 变截面连续梁法 N_x 计算结果 (单位:kN)

(2)恒载 + 汽车荷载 + 人群荷载作用下最小轴力对比,见图 12、图 13。

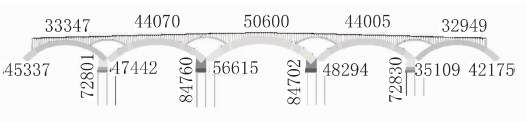


图12 土柱 + 虚拟梁法 $N_{x_{min}}$ 计算结果 (单位:kN)

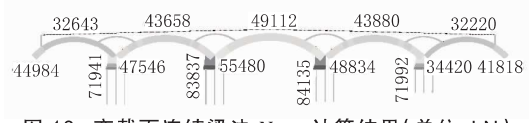


图13 变截面连续梁法 $N_{x_{min}}$ 计算结果 (单位:kN)

(3)恒载 + 汽车荷载 + 人群荷载作用下最大轴力对比,见图 14、图 15。



图14 土柱 + 虚拟梁法 $N_{x_{max}}$ 计算结果 (单位:kN)

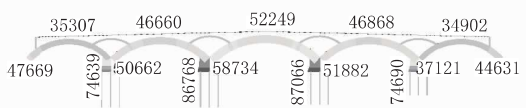


图15 变截面连续梁法 $N_{x_{max}}$ 计算结果 (单位:kN)

从以上不同荷载作用下关键节点的轴力对比可以看出,两种建模方法计算的轴力值均在5%之内,最大偏差仅3.88%。

5 结论分析

(1)在模拟拱桥拱上填料时,土柱 + 虚拟梁法与变截面连续梁法都可以使用,在同等条件下,两者建模计算结果偏差在7%以内。

(2)两种方法模拟拱上填料均未考虑拱上侧墙与拱圈的联合作用,而是把侧墙作为荷载施加于拱圈之上,因此两者计算结果均偏于安全。

(3)两种方法模拟拱上填料时,均必须根据实际情况自定义填料力学特征值和边界条件,否则很容易发生填料与拱圈联合作用,从而导致计算结果偏差。

参考文献:

[1] 李国豪.中国桥梁[M].上海:同济大学出版社;香港:建筑与城市出版社,1993.
[2] 陈宝健,许有胜,陈宝春.日本钢筋混凝土拱桥调查与分析[J].中外公路,2005(4):96-101.
[3] 程懋方,陈俊卿.大跨径刚架拱桥的设计与施工[J].有色冶金设计与研究,1995(2):43-49.
[4] 顾安邦,孙国柱.公路桥涵设计手册——拱桥[M].北京:人民交通出版社,2000.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com