

文章编号:1001-7372(2002)01-0096-01

涵洞、通道上水泥混凝土路面结构研究

夏永旭, 尤占平, 胡长顺, 王秉纲

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要:应用有限元数值方法,详细地研究了涵洞、通道上水泥混凝土路面的结构性能,并和实验测试结果进行对比,得出了一些改进涵洞、通道上水泥混凝土路面设计与施工的重要结论。

关键词:涵洞;通道;水泥混凝土路面;结构

中图分类号:U416.216 **文献标识码:**A

Study of structure of cement concrete pavement over
culvert or underpass

XIA Yong-xu, YOU Zhan-ping, HU Chang-shun, WANG Bing-gang

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Using finite element numeric method, the structure properties of the cement concrete pavement over the culvert or underpass are studied. The results are compared with the experiment results. Some important conclusions for the design and construction are given.

Key words: culvert; underpass; cement concrete pavement; structure

随着中国公路建设等级的提高,涵洞、通道等过路构造物所占的比重越来越大。仅就数量而言,高等级公路每公里所含涵洞和通道已接近5座之多。对于这些构造物,其主体工程的设计和施工,均有相应的规范或标准可遵循。但对于构造物上的路面结构,虽然文献[1,2]均有不同程度的叙述,但存在问题较多,也无完善的施工技术规程可资利用。由于缺乏科学的依据,许多路面建成通车不久,就在涵洞、通道处出现不同程度的病害。这些病害极大地影响了交通运营和安全,同时也给养护维修带来了很大的困难。笔者将从数值和试验两方面,研究涵洞、通道上水泥混凝土路面的结构性能。

1 数值分析

1.1 计算模型

涵洞、通道上水泥混凝土路面的计算按照均质线弹性连续体模型,板和各层间连续接触。边界条件:沿行车方向无水平位移,土基底面完全固定,平行于行车方向的两侧面可自由变形,混凝土板四边

自由,板上承受矩形均布荷载作用。计算中用综合基础模量代替原来的基层模量和土基的回弹模量。计算过程在SAP Alogr93有限元程序上实现。

1.2 计算结果

1.2.1 板的临界荷位和相对通道位置

(1)临界荷位

普通混凝土路面板的最不利荷载位置,在沿行车方向长边的中点处,即图1中的位置2。当构造物存在,通过对集中荷载和均布荷载不同荷位的反复

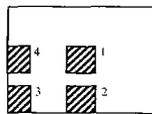


图1 荷载作用位置

试算,板角3及横边中点4应作为考察点。对于角隅,由于两侧约束降低,必然产生较大的挠度。而位置2和4比较,虽然2处于长边中点,但由于构造物的存在,提高了基础的支撑刚度,2点的变形必然小于4点。考虑到路面的实际情况,2、3点处于路边缘,荷载作用的机率远小于4点,故而将4点作为临界荷位点。

收稿日期:2001-01-12

作者简介:夏永旭(1954-),男,陕西武功人,长安大学教授,工学博士。

(2)板的相对位置

为了研究构造物上方水泥混凝土板接缝的预留位置对板内力的影响,分别考虑如下三种情况:板相对于构造物轴线对称放置、侧移板长一半放置,完全放置在构造物轴线一侧,并取计算参数,混凝土板尺寸 $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 0.2\text{ m}$,弹性模量 $E_c = 30\,000\text{ MPa}$, $\mu_c = 0.15$;地基模量 $E = 100\text{ MPa}$, $\mu = 0.35$;通道尺寸 $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,厚度 $d = 0.25\text{ m}$,模量 $E_m = 33\,000\text{ MPa}$, $\mu_m = 0.15$;板上荷载分布区域为 $0.267\text{ m} \times 0.267\text{ m}$,荷载集度 0.7 MPa 。从计算可见,不论荷载作用于板中还是横边中部,当板对称放置时,板的挠度最小,完全侧移放置时挠度最大,但始终小于无构造物时的挠度。主应力值也是完全侧放时值最大,对称放置时值最小,见图 2、3。

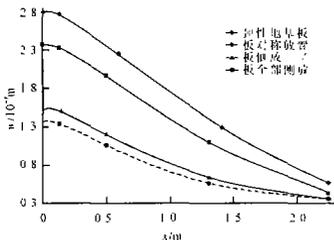


图2 横边荷载作用下不同位置板的挠度

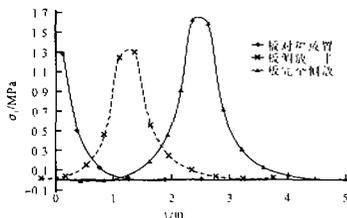


图3 横边荷载作用下不同位置板的主应力

1.2.2 填土高度及地基模量对板弯曲特性的影响

(1)构造物上的填土高度

构造物的存在是跨构造物路面和普通路面的主要差别,而构造物上填土高度的大小,是影响其差别程度的主要因素。图 4、5 给出各种填土高度的板的挠度、弯矩变化曲线。从图 4 可见,随着 H 的增大,板的最大挠度逐渐增大,当 $H > 1.2\text{ m}$ 后,逐渐趋于平缓。从图 5 可以看到,和最大挠度相反,随着 H 的增大,板的正弯矩迅速降低,而降低的程度可分为三个阶段:从 $0 \leq H < 0.4\text{ m}$ 最为剧烈; $0.4\text{ m} \leq H <$

1.2 m 较缓慢; $H \geq 1.2\text{ m}$

后,完全趋于稳定。即当结构物上的填土高度大于 1.2 m 后,就完全可以按照普通水泥混凝土路面对待。之所以板的挠度增加正弯矩变小,是由于随着填土高度的逐渐增加,基础的刚度降低,而构造物上的水泥板由悬臂板过渡为弹性基础板。

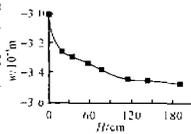


图4 最大挠度与 H 的关系

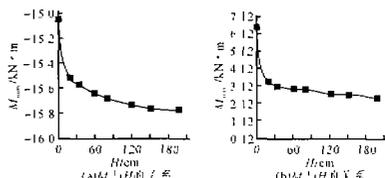


图5 最大弯矩与 H 的关系

(2)地基模量的变化

为了考察地基模量对板力学特性的影响,分别取地基综合模量 E , 为 $100, 300, 500, 700, 900\text{ MPa}$ 进行计算,其余参数不变。从图 6 可见,随着地基综合模量的增加,板的挠度明显地减小,且曲线在 $100 \sim 300\text{ MPa}$ 范围内斜率很大,减幅达 48.65% 。从 700 MPa 到 900 MPa , 曲线变得平缓,减小幅仅为 16.89% 。板的应力值也与地基的综合模量成反比例的关系。从图 7 可以看到,当地基综合模量从 100 MPa 增加到 300

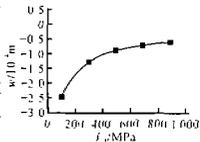


图6 板的挠度与 E_0 的关系

MPa , 板的最大弯拉应力从 1.66 MPa 减小到 1.34 MPa , 降低了 23.88% 。但当模量从 700 MPa 增大到 900 MPa 时, 应力值仅减小 8% 。图 8 所给出的 y 方向的应力值及剪应力值也符合这一规律。为了分析提高地基综合模量对降低板的挠度及应力的效果, 以 50 MPa 为步长, 从 100

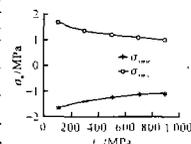


图7 板应力 σ_x 与 E_0 的关系

MPa 到 350 MPa 详细地

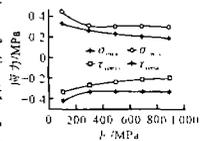


图8 板应力 σ_x, σ_y, τ 与 E_0 的关系

计算了板的挠度及应力,板的弯拉应力分别减小了19%、10%、5%、3%。表明当地基综合模量大于250 MPa时,对板的力学特性影响很小。

1.2.3 构造物尺寸影响

为了研究构造物的几何尺寸对路面板力学性能的影响,取构造物的平面尺寸分别为5.0 m×5.0 m和2.0 m×2.0 m,其余参数同前,计算结果见表1。

表1 横边荷载作用下不同尺寸构造物上板的应力、挠度

通道平面尺寸	应力、挠度			
	σ_x /MPa	σ_y /MPa	τ_{xy} /MPa	$w \times 10^{-4}$ /m
5.0 m × 5.0 m	1.560462	0.294170	0.308010	-1.9712
2.0 m × 2.0 m	1.698870	0.351110	0.327421	-2.7037
相对误差	8.15%	11.15%	5.93%	27.04%

由表1可见,2.0 m×2.0 m的通道所对应的板的内力及挠度均比5.0 m×5.0 m的通道值大,但除挠度差别较大外,板应力值误差并不大于12%。

1.2.4 混凝土板参数的确定

在进行跨构造物水泥混凝土路面结构分析时,水泥混凝土板的几何、物理参数是首先必须确定的。下面研究这些参数对板力学特性的影响。

(1) 板的厚度

混凝土路面的厚度关系到板的抗弯刚度,并直接影响到板的变形和内力。为了研究板厚对弯曲挠度和内力的影响,取填土厚度 $H=0.35$ m,其余参数不变。分别计算了不同板厚情况下板的挠度和应力随坐标变化的关系,结果见图9、10。从图中可见,随着板的厚度增大,板的挠度和应力均随之减小。

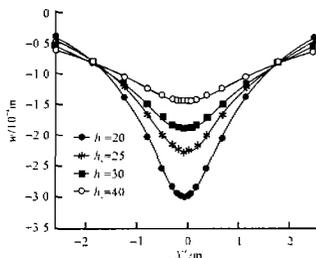


图9 不同厚度板的挠度曲线

(2) 板弹性模量

取填土高度 $H=0.35$ m,混凝土板尺寸4.5 m×5.0 m×0.25 m, $\mu_c=0.15$, 模量 E_c 分别取20 000、25 000、30 000、33 000、35 000、40 000 MPa,其余参数不变。计算结果表明,板的最大挠度随着板

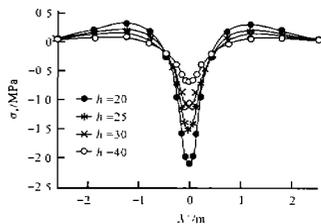


图10 不同厚度 σ_x 分布曲线

的弹性模量增加而减小,而应力分量随着弹性模量的增加而增大,但幅度较小,见图11、12。

(3) 板的长度

取填土高度 $H=0$;混凝土板厚 $h=0.2$ m,弹性模量 $E_c=30000$ MPa,板的宽度5.0 m,长度从5.0~10.0 m,荷载仍作用于横边中部。通过计算,从图13可以看到,板的最大挠度与板的长度成正比,且当板长从5.0 m增长到7.0 m段,增加幅度很大。当板长大于7.0 m后,挠度几乎不再增加。板中 x 方向的拉应力分量变化随着板长的增加而增加。而 y 方向的拉应力分量却减小,同样是在5.0~7.0 m之间变化急剧,大于7.0后平缓,见图14。

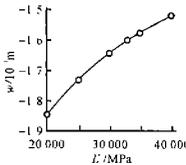


图11 最大挠度 w 与模量的关系

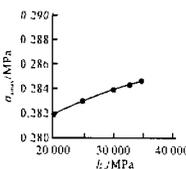


图12 σ_x 与板模量的关系

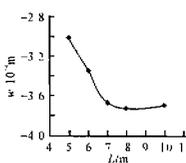


图13 最大挠度与板长的关系

2 实验研究

2.1 原理及模型

实验按照非相似原理进行。实验模型与实际模型几何相似比为1:5,材料参数通过实际量测确定。

实验在室内试槽中进行,过路构造物用陶瓷圆管来模拟,圆管半径分别为 $R=0.150$ m、 $R=0.125$ m。弹性模量 $E=40000$ MPa,泊松比 $\mu=0.15$ 。用

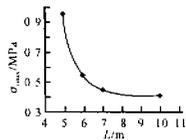


图14 最大应力与板长的关系

夯实素土代替土基,圆管上填土高度 $H=0.05\text{ m}$ 。基层为 0.05 m 厚的石灰土,回弹模量 $E_2=264\text{ MPa}$,泊松系数 $\mu_2=0.25$ 。水泥混凝土板用有机玻璃板模拟,板上下表面共粘贴了 18 个应变片。

2.2 测试结果分析

前后共进行 10 次试验,每次试验荷载作用位置为板中心、板纵边中部和横边中部,荷载作用形式为圆形均布荷载和条形均布荷载,另外,涵洞尺寸分别为 0.25 m 、 0.30 m 以及没有涵洞情况。所有试验数据表明,板的应变与荷载有良好的线性关系。就条形均布荷载作用于板中心处,荷载平行于涵洞的轴线方向为例,测定结果见图 15。可见,位于板顶面的测点 ch1、ch2、ch7、ch12、ch16 及 ch18 的应变随着所施加荷载的增加而增加,两者之间几乎呈直线变化。

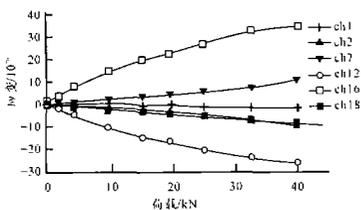


图 15 应变值与荷载的关系

在相同条件下,荷载位置在板横边中部处时,最大挠度、最大应变和最小应变的绝对值比荷载位置在板纵边中部处和板中心处大。对圆形均布荷载,见图 16,荷载位置在板横边中部处的最大挠度比荷载位置在板纵边中部处和板中心处大,这与有限元解的结论一致。

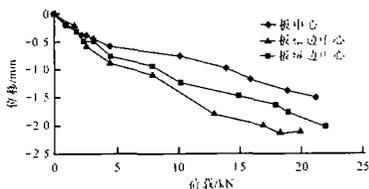


图 16 荷载位置对板挠度的影响

图 17 是沿 $x=0$ 板上的测点, ch0~ch4 的应力试验值和计算值的比较。从图中可见,不论是测试值还是计算值, σ_x 、 σ_y 关于板中心均有很好的对称性,而且测点 ch1、ch2 的 σ_x 值相对误差不大于 1.36% ;

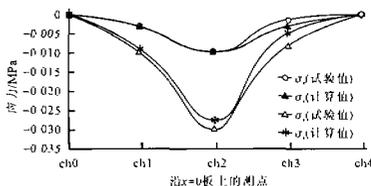


图 17 试验值与计算值比较

σ_y 的相对值误差不大于 11.0% ,但测点 ch4 误差很大, σ_x 、 σ_y 分别达 49.83% 和 41.87% 。

3 结语

(1) 构造物上方填土高度对混凝土路面板的力学特性有很大的影响。随着填土高度 H 的增加,板的挠度增大,但正弯矩降低, $0 \leq H \leq 0.40\text{ m}$ 时最为剧烈; $0.40 < H \leq 1.20\text{ m}$ 时较缓慢;当 $H > 1.20\text{ m}$ 后影响非常小。因而必须特别注意 $0 \leq H \leq 0.40\text{ m}$ 时板的变形与内力,并应采取一定的措施。当 $H > 1.2\text{ m}$ 后,可以按照普通水泥混凝土路面设计。

(2) 提高地基的综合模量可以降低板的挠度和内力,计算表明地基的综合模量不宜小于 100 MPa 。

(3) 板与构造物的相对位置对板的挠度和内力均有较大影响。当板对称放置时,板的挠度、内力均比例缩小,因而构造物上的板应尽可能对称放置。

(4) 板的挠度与内力随着板厚的增加逐渐减小,在 $0.20\text{ m} < h < 0.30\text{ m}$ 范围内变化较大,其后并不明显。因而当构造物上的填土不大于 1.20 m 时,应注意板的设计厚度。

(5) 板的长度与板的挠度成正比,同时沿板长方向的拉应力随板长的增加而增加,但沿板宽度方向的拉应力逐步减小,且在板长大于 7.0 m 后趋于平缓,因而板长以不大于 7.0 m 为宜。

(6) 小尺寸构造物对板的力学特性影响略大于大尺寸的构造物,但总的相差不是很大。

参考文献:

- [1] 日本道路协会,杨益余,杨春华,等.水泥混凝土路面设计施工纲要[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [2] JTJ 032-94,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [3] 夏永旭,涵洞、通道上路面结构研究[D].西安:西安公路交通大学,2000.