

钢波纹管涵洞受力与变形特性现场试验分析

乌延玲^{1,2}, 冯忠居¹, 王彦志², 贾彦武¹, 熊山铭¹

(1. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 赤峰市公路管理处, 内蒙古 赤峰 024000)

摘 要:为搞清公路路基钢波纹管涵洞在填土荷载作用下的受力与变形特性, 结合工程实际, 通过现场试验, 研究其在路基填筑过程中的工作性能。试验结果表明: 钢波纹管涵洞内侧主要承受压应力, 外侧主要承受拉应力; 最大填土高度时, 拉、压应力均在 30 MPa 左右; 断面内、外侧的应变应力出现相反的拉压变化规律, 且涵顶两侧 45° 位置为受力薄弱点。说明实际钢波纹管涵洞设计与施工中应给予关注, 特别是在高填土荷载作用下, 应对相应的部位进行加强或从施工工艺上采取措施。

关键词:路基工程; 钢波纹管涵洞; 现场试验; 受力与变形特性

中图分类号: U449.83

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0513-04

公路工程建设中, 涵洞工程多采用的形式为钢筋混凝土涵洞和圬工砌体涵洞, 设计方法及施工技术已基本完善, 但其也存在弊端: 基础条件要求高, 施工周期长, 施工工艺控制不当易发生开裂和跳车, 寒冷地区冻胀病害严重, 后期运营及养护成本高等。近年来, 钢波纹管涵洞由于具有结构简单、运输方便、施工工艺易控制且对基础承载力要求不高、施工工期短、环境影响范围小等特点, 已普遍应用于内蒙古自治区各等级公路中。但国内外对该类型涵洞的工程适用性、受填土荷载以及行车荷载作用下受力与变形特性系统性研究较少。通过现场试验, 探讨分析钢波纹管涵洞在不同填土荷载作用下的受力与变形特性, 为工程使用提供科学依据。

1 试验方案及测试

1.1 试验概况

试验涵洞为内蒙古自治区赤峰市克什克腾旗热水镇至经棚镇一级公路的钢波纹管涵洞, 涵洞基础采用 30 cm 厚级配良好的砂砾, 砂垫层的压实度不小于 97 %。钢波纹管涵洞采用 Q235A 热轧钢板制作, 钢板屈服强度不小于 235 MPa, 抗拉强度不小于 375 MPa。材料防腐采用表面热浸镀锌, 镀锌量大于 600 g/m², 平均厚度不小于 63 μm。连接方式采用螺栓法兰轴向连接, 现场安装前内外涂涮两遍沥青。

试验涵洞桩号 K1037+453.917, 涵底纵坡 5 %, 内径 1.0 m, 长度 30 m, 涵顶设计路基填土高度 2.6 m。波纹参数为: 厚度 3.5 mm, 波距 125 mm, 波高 25 mm。材料参数: 弹性模量 $E=2.1 \times 10^8$ kPa, 泊松比 $\mu=0.3$ 。

1.2 试验测试方案

1.2.1 试验断面选取及测点布设

试验涵洞测试断面 A—A 断面设置在距路基中心线 8.0 m 处, 如图 1 所示。试验断面设置 15 个测试点, 涵洞内侧设置 8 个点, 外侧设置 7 个点(限于现场条件, 外侧涵底位置未布设); 每个测点共粘贴四个应变片, 分别设置在波峰和波谷处, 每处按“T”形轴向和环向布设。试验断面内侧测点位置及编号如图 2 所示, 外侧与内侧相同(外侧管底未布设测点)。

*收稿日期: 2010-12-22 修改稿日期: 2011-06-07

基金项目: 内蒙古自治区赤峰市交通建设科技基金资助项目(2009-KY029)

作者简介: 乌延玲(1971-), 女, 内蒙古赤峰人, 高级工程师, 博士研究生。从事公路建设管理和岩土工程问题的研究。

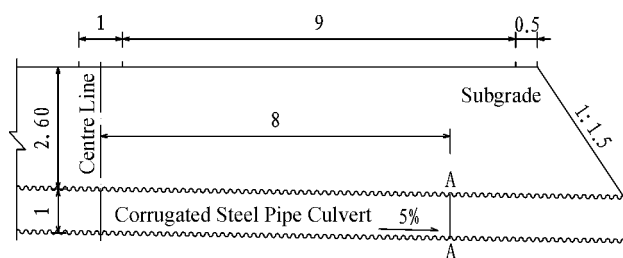


图 1 试验断面示意图(图中尺寸为 m)

Fig. 1 The test section diagram/m

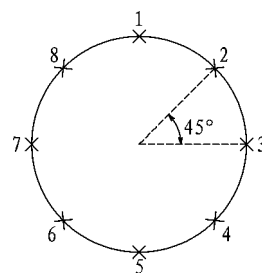


图 2 测点位置及编号示意图

Fig. 2 Test points and numbers diagram

1.2.2 测试步骤及试验工况

测试应变量的主要步骤:接通电源→进入测试软件主界面→检查应变片的成活情况,确保可用→测试应变初始值→分层填土、压实→测试各种工况下的应变值,保存并转换数据。

根据现场的施工过程,试验工况见表 1。

表 1 试验工况

Tab. 1 Test working conditions

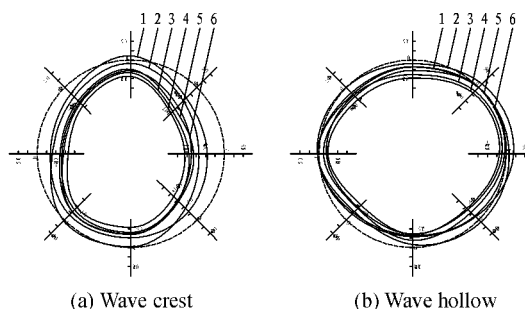
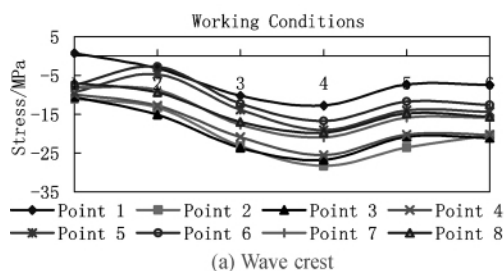
Working conditions	Height of fill H/m	Unit weight $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	Degree of compaction/%
1	0.34	23.1	98.2
2	0.69	22.9	97.3
3	1.03	23.0	97.8
4	1.68	23.3	99.1
5	2.33	23.5	99.6
6	2.98	23.2	98.7

2 公路工程钢波纹管涵洞受力特性分析

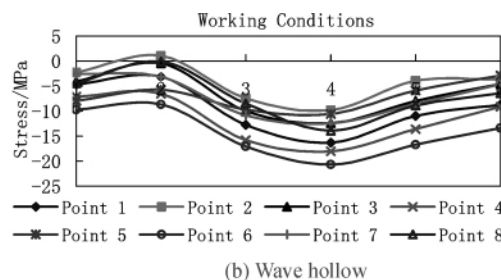
根据现场测试数据分析得出,试验断面各测点内外侧轴向与环向的变化规律基本相同,以 A-A 断面在填土荷载下内外侧各测点轴向应力与应变变化规律分析为例。

2.1 钢波纹管涵洞内侧轴向应力应变分析

A-A 断面在填土荷载下内侧各测点轴向应变与应力分布规律分别如图 3 和图 4 所示。图 3 中数字表示工况,虚线仅示意试验涵洞横截面形状(下同),文中各测点的应变及应力值,受拉为正、受压为负。

图 3 试验断面填土荷载下内侧轴向应变/ $\mu\epsilon$ Fig. 3 Inside axial strain of test section with filled load/ $\mu\epsilon$ 

(a) Wave crest



(b) Wave hollow

图 4 试验断面填土荷载下内侧轴向应力分布规律

Fig. 4 Inside axial stress distribution of test section with filled load

由图 3 和图 4 中可以看出,随着填土高度的增加,A-A 断面内侧轴向测点应变量的分布规律整体呈增大趋势,且均为压应变;波峰与波谷测点在工况 4(涵顶填土高度为 1.68 m)时压应变较大,最大

值为 $106\ \mu\epsilon$;波峰测点 2 和测点 3 的压应变较大,且应力值出现最大值 $28\ \text{MPa}$,波峰处测点应力大于波谷处. A-A 断面内侧轴向波峰与波谷处应变以压应变为主,所受应力以压应力为主.

2.2 钢波纹管涵洞外侧轴向应力应变分析

A-A 断面在填土荷载下外侧各测点轴向应变与应力分布规律分别如图 5 和图 6 所示.

由图 5 和图 6 中可以看出,工况 1(填土高度为 $0.34\ \text{m}$)时,A-A 断面外侧轴向波峰及波谷处拉应变达到最大,分别为 $100\ \mu\epsilon$ 、 $108\ \mu\epsilon$. 波峰与波谷处的应力基本小于 $20\ \text{MPa}$,各测点的受力情况较好,测点 2、3 和测点 6、7 承受拉应力较大,波峰测点 2 与波谷测点 3 承受最大拉应力,分别为 $30\ \text{MPa}$ 、 $33\ \text{MPa}$. 上述情况表明,A-A 断面外侧轴向应力以拉应力为主;涵顶两侧 45° 位置,应力出现最大值的机率较大, 45° 位置为受力薄弱点.

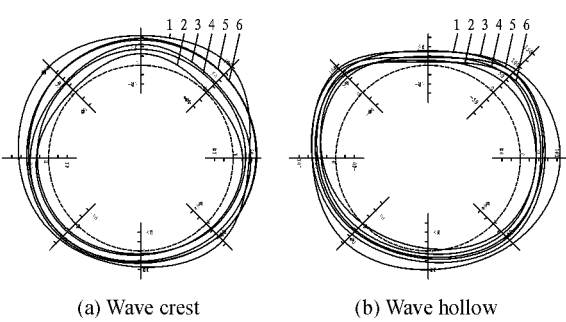


图 5 试验断面填土荷载下外侧轴向应变/ $\mu\epsilon$
Fig. 5 Outside axial strain of test section with filled load/ $\mu\epsilon$

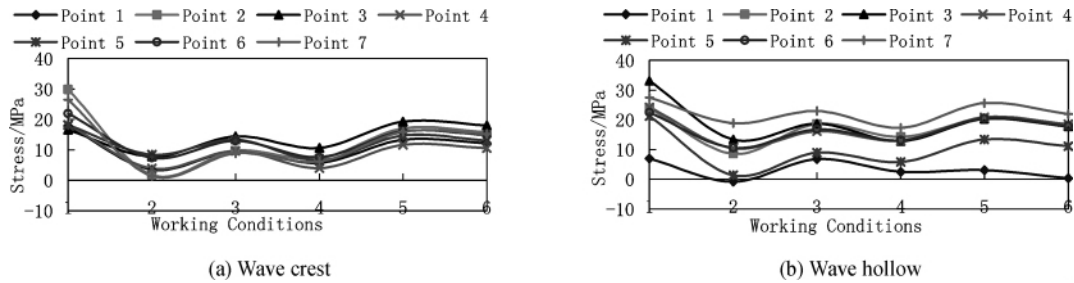


图 6 试验断面填土荷载下外侧轴向应力分布规律
Fig. 6 External axial stress distribution of test section with filled load

3 公路工程钢波纹管涵洞变形特性分析

为研究钢波纹管涵洞在不同荷载作用下的变形规律,在距 A-A 断面沿路基中心线方向 $1.5\ \text{m}$ 处增加涵洞变形观测面. 试验时在涵洞内侧按正交布设了相应的变形观测点,如图 7 所示;分别在未填土和填土完成下用精密水准仪对试验涵洞进行了变形观测,观测成果见表 2,表中 Δ 为填土完成与未填土状态的差值;变形规律如图 7 所示,图中 S_1 表示填土完成的变形规律.

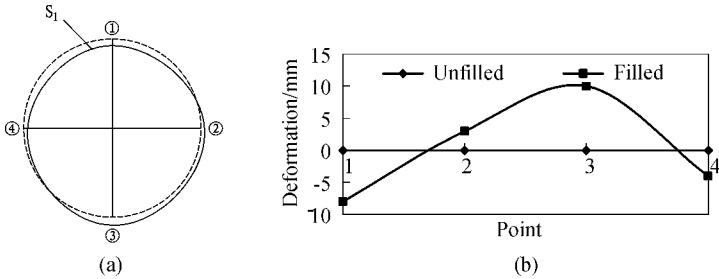


图 7 钢波纹管涵洞变形规律
Fig. 7 Strain rules of corrugated steel pipe culvert

表 2 变形观测成果/mm
Tab. 2 Results of deformation/mm

Conditions	Point ①		Point ②		Point ③		Point ④	
	Dates	Δ	Dates	Δ	Dates	Δ	Dates	Δ
Unfilled	4 150	0	4 152	0	4 149	0	4 150	0
Filled(s_1)	4 142	-8	4 155	+3	4 159	+10	4 146	-4

由图 7 分析得出:填土完成后,试验涵洞有整体下沉的趋势. 位置①受到涵洞顶部填土的直接作用出现 $8\ \text{mm}$ 的竖向变形;位置③下沉是因涵洞基础砂砾垫层在竖向荷载作用下引起的;位置②、④出现的

横向变形主要是由偏压加载引起,说明偏压荷载对涵洞有影响,因此建议填土碾压施工中应对称施工。

4 结 论

(1)填土荷载作用下,钢波纹管涵洞内侧承受压应力,外侧承受拉应力,所承受的拉压应力最大值均在 30 MPa 左右,且均小于涵洞制作材料的屈服强度 235 MPa。此类涵洞基础垫层采用凹形地基,两侧 3 倍涵洞直径范围内和管底楔形区域采用级配良好的砂砾,确保涵洞与基础垫层密切吻合,达到整体适应变形的目的。

(2)钢波纹管涵洞横断面内、外侧的应变应力出现相反的拉压变化规律。

(3)钢波纹管涵洞涵顶两侧 45°位置为受力薄弱点。涵顶及涵洞两侧填土施工时,应填料均匀、分层摊铺、对称逐层碾压,分层厚度宜为 15~25 cm,其压实度不应小于 97%,并对其进行有效处理与重点防护。

参考文献 References

- [1] 李祝龙,刘百来,李自武. 钢波纹管涵洞力学性能现场试验研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(3): 79-82.
LI Zhu-long, LIU Bai-lai, LI Zi-wu. Field mechanical performance test of corrugated steel culvert[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(3): 79-82.
- [2] 刘成志. 钢波纹管涵洞在公路建设中应用技术分析[J]. 公路交通技术, 2009(4): 103-105.
LIU Cheng-zhi. Technical analysis of application of corrugated steel tube culvert in highway construction[J]. Technology of Highway and Transport, 2009(4): 103-105.
- [3] SEZEN H, YEAU K Y, FOX P J. In-situ load testing of corrugated steel pipe-arch culverts[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2008(22): 391-397.
- [4] KANG J, PARKER F, YOO C H. Soil-structure interaction for deeply buried corrugated steel pipes Part II: Imperfect trench installation[J]. Engineering Structures, 2008(30): 588-594.
- [5] 陈团海,陈国明. 复合荷载下 T 型管节点应力集中系数研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2010, 42(2): 272-277.
CHEN Tuan-hai, CHEN Guo-ming. Stress concentration factors in tubular T-joints under combined loadings[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2010, 42(2): 272-277.
- [6] 河北省交通规划设计院. JTG/T D65-04—2007, 公路涵洞设计细则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
Hebei provincial communications planning and design institute. JTG/T D65-04—2007. Guidelines for design of highway culvert[S]. Beijing: China Communications Press, 2007.

Field force and deformation characteristic test of corrugated steel pipe culvert

WU Yan-ling^{1,2}, FENG Zhong-ju¹, WANG Yan-zhi², JIA Yan-wu¹, XIONG Shan-ming¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Chifeng Highway Department, Chifeng, 024000, China)

Abstract: In order to know the force and deformation characteristic of corrugated steel pipe culvert in road with the filling load and based on field test, its performance was studied in the actual roadbed construction. The result shows that pulling stress is mainly borne at inside and outside endure pressure stress. The contrary variation of tension and pressure have been obtained of the stress and strain of inside and outside of corrugated steel pipe culvert, and 45 degrees position on either side of the culvert top is regarded as the stressed weak point. The design and construction of corrugated steel pipe culvert will be concerned and should take measures on construction technology especially with high filled load.

Key words: subgrade engineering; corrugated steel pipe; culvert; field test; force and deformation characteristic

*Biography: WU Yan-ling, Candidate for Ph. D., Xi'an 710064, P. R. China, Tel.: 0086-476-5890671, E-mail: 1214493345@qq.com