

EPS板在上埋式涵洞土压力减荷中的应用与分析

郭婷婷^{1,2}

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要 对排水涵洞这类上埋式构筑物的受力特点进行分析, 为其垂直土压力与侧向土压力的减荷寻找到 EPS 板这种新型减荷材料。通过现场公路涵洞试验, 研究了有、无减荷措施(涵顶、侧铺设 EPS 板), 以及有减荷措施但 EPS 板铺设厚度不同情况下的涵洞顶垂直土压力与涵洞侧向土压力的大小与分布。综合运用有限元方法, 数值模拟了测试涵洞的垂直土压力与涵洞填土变形云图。试验与计算结果表明, EPS 板能够有效地减小涵洞顶垂直土压力以及涵洞侧的侧向土压力, 并且能够消除涵洞在路堤纵向引起的沉降差, 是有效的上埋式涵洞土压力的减荷材料。

关键词 EPS 板; 高填土涵洞; 土压力; 减荷

中图分类号 TV652.2

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2011)01-0074-05

Application of EPS blocks in load reduction of earth pressures on culverts under high-stacked soil/GUO Ting-ting^{1,2}
(1. Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China; 2. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

Abstract : Through the analysis of the force characteristics on drainage culverts under high-stacked soil, EPS blocks were regarded as the new materials for load reduction of their vertical and lateral earth pressures. Based on the field tests on highway culverts, the magnitude and the distribution of the vertical and lateral earth pressures of the culverts are studied with or without load reduction measures (EPS blocks laid on the top and sides of culverts) under different thicknesses of EPS blocks. The vertical earth pressure and the soil deformation of the culverts were simulated and analyzed by using the FEM. The test and calculated results indicate that the EPS blocks can effectively reduce the vertical and lateral earth pressures of culverts and eliminate the longitudinal differential settlement of the embankment induced by culverts, and they are feasible and effective materials for load reduction of earth pressures on culverts.

Key words : EPS block; culvert under high-stacked soil; earth pressure; load reduction

高填土涵洞是山区高等级公路的特殊排水构筑物。随着我国高原、山区高速公路建设的迅速发展, 高填土涵洞这类构筑物被广泛采用, 高填土路堤下涵洞的受力、变形、沉降等作为山区高速公路建设的常见问题已引起相关部门的普遍关注。从受力分析角度可知涵洞属于平面问题的上埋式构筑物, 在上覆填土较高的情况下, 垂直土压力是决定结构断面尺寸的控制因素。因此, 采取适当的减荷措施, 人为地减小涵洞周土压力、调整土压力的横向分布、改善涵洞纵向不均匀沉降^[1-6], 具有重要意义。

发泡聚苯乙烯(expanded polystyrene, 简称 EPS) 是一种热塑性材料, 具有质轻、比强度高、隔热保温性能好、化学稳定性较强等优点。近年来, EPS 板在公路、铁路、民用建筑等方面得到了广泛应用^[6-9]。

许多专家学者对 EPS 颗粒轻质混合土的蠕变与土动强度等特性进行了对比试验研究, 并取得大量研究成果^[10-12]。目前该材料作为保温隔热材料已广泛应用于建筑工程, 作为轻质填料应用于路基工程, 较好地解决了路基差异沉降等问题。

笔者综合考虑了 EPS 板材的性能, 结合涵洞这类上埋式构筑物的受力要求与特点, 将 EPS 板铺设在涵洞顶、涵洞侧作为减荷材料, 应用于高速公路工程的高填土涵洞减荷试验中。通过现场试验, 研究在有、无减荷措施(涵顶、涵洞侧铺设 EPS 板), 以及有减荷措施但 EPS 板铺设厚度不同情况下的涵洞顶垂直土压力与涵洞侧向土压力的大小及分布。综合运用有限元方法, 数值模拟了测试涵洞的垂直土压力与涵洞填土变形云图。该项研究成果为减小涵洞垂

不同厚度 EPS 板的减荷效果进行对比。如图 3 所示,采用 EPS 板作为减荷材料,将其铺设于涵洞洞顶,且涵洞各测试段 B4、B5、B6、B7 的涵顶、涵侧的 EPS 板厚度不同,涵顶铺设厚度 δ_{EPS} 依次为 20 cm、0 cm、30 cm、10 cm,涵侧铺设厚度依次为 10 cm、0 cm、15 cm、5 cm。通过涵洞横、纵断面上布置的土压力传感器,经数据转化与计算,获取各测试段的涵顶、涵侧土压力数值。

2.3 测试结果分析

将 B 涵洞逐层填土后实测的 4 个测试段垂直土压力的断面平均值 σ_v 及侧向土压力的断面平均值 σ_h 绘于图 4、图 5 中。其中,涵顶与涵侧各测点的土压力均为 6 个测点的平均值。

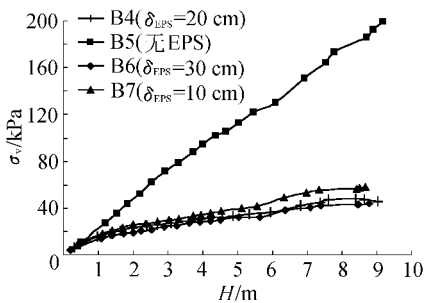


图 4 B 涵洞顶垂直土压力 σ_v 与填土高度 H 关系曲线

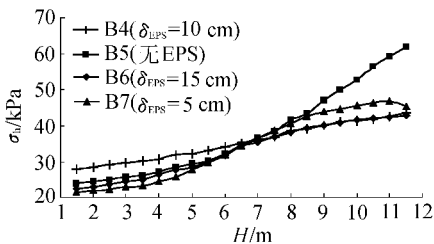


图 5 B 涵洞侧向土压力 σ_h 与填土高度 H 关系曲线

2.3.1 垂直土压力分析

a. 从图 4 可以看出,未采取减荷措施的 B5 测试段涵洞断面的洞顶垂直土压力测值明显高于采取减荷措施的其余断面测值;当填土高度达到 8~9 m 时,采取减荷措施的洞顶土压力测值约为前者的 1/3,说明洞顶铺设 EPS 板对减小垂直土压力具有显著效果。

b. 从图 4 中各条曲线高低比较可以看出,曲线 $B6 < B4 < B7$ (三者洞顶铺设的 EPS 板厚度依次为 30 cm、20 cm、10 cm),表明在同一涵洞顶部,减荷材料 EPS 板的厚度与减荷效果成正比,即 EPS 板越厚则减荷效果越好,但减荷增量变小。在本次试验中,鉴于 B 涵洞条件(涵洞的高宽比、地基与涵侧回填砂卵石层的压缩性等),洞顶 EPS 板的厚度为 7~8 cm 即可有效减小洞顶的垂直土压力,从而有效地解决涵洞在路堤中引起的沉降差问题。

2.3.2 侧向土压力分析

a. 从图 5 可以看出,当填土高度小于 6.5 m 时, B 涵洞侧采取减荷措施的测试段 B6 和 B7 的侧向土压力值明显低于未采取减荷措施的测试段 B5,而测试段 B4 的侧向土压力值比测试段 B5 的大,原因在于:与涵侧正常填土下的涵洞相比,右侧存在岩坎的涵洞涵顶平面外土柱与内土柱的沉降差较小,即外土柱带给涵顶的附加摩阻力较小,因此涵顶的垂直土压力也较小,继而涵洞右侧的侧向土压力也相对较小。但是当填土达到最终高度 11.6 m 时洞侧采取减荷措施的侧向土压力值约为前者的 1/2,说明洞侧铺设 EPS 板对减小侧向土压力有明显的效果,但不如顶部 EPS 板对减小垂直土压力的效果大。

b. 从图 5 中各条曲线高低比较可以看出,填土后期是 $B6 < B4 < B7$ (三者的 EPS 板厚度依次为 15 cm、10 cm、5 cm),但三者也非常接近,说明由于涵洞侧向土压力小,且后期增长慢,故 EPS 板无需太厚,在本试验条件下有 4~5 cm 厚足够,再厚减荷效果也不明显,且不经济。

3 有限元模拟

采用 ANSYS 大型有限元计算软件对本试验中 B 涵洞垂直土压力及其填土变形进行数值模拟,并将模拟结果与实测结果进行对比分析。

3.1 材料模型的确定

高填土路堤下埋设涵洞是一种填土、涵洞与地基的组合结构。B 涵洞的基础均坐落在岩基上,因此计算过程中将地基按刚性考虑,将涵洞与基础按理想弹性模型考虑,将路堤填土选择为理想弹塑性模型^[13]。有限元网格划分采用同时适用于线弹性材料和弹塑性 Drucker-Prager 材料模型的 Plane42 单元。在有限元求解过程中选取牛顿-拉弗森迭代法。

3.2 几何模型的确定

对于高填土路堤下的涵洞,可按照平面应变问题来考虑。考虑到几何模型网格大小、疏密程度对计算结果的准确性和精度有较大影响,故在既能满足计算精度,又能使计算量尽可能减少的情况下,对 B 涵洞进行不同大小的网格划分,并作计算比较,从而获得较好的几何模型,如图 6 所示。

3.3 计算参数的选取

计算所用参数如表 1 所示。

3.4 计算结果分析

3.4.1 垂直土压力分析

将 B 涵洞 8 个测试断面的洞顶垂直土压力系数

K_v 计算结果($K_v = \frac{\sigma_v}{\rho g H}$)与实测结果进行比较,如

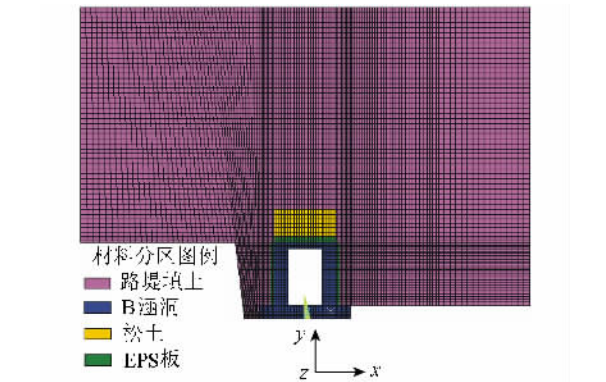


图6 B涵洞几何模型及网格划分示意图

表1 计算所用参数

材料	E/MPa	μ	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
EPS板	0.15	0.20			20
松土	1	0.33	15	15	1300
路堤填土	12.5	0.30	15	30	2132
碎石、砂土	40	0.22	0	38	2100
砂卵石	100	0.22	0	38	2300
B涵洞结构材料	28000	0.16			2500

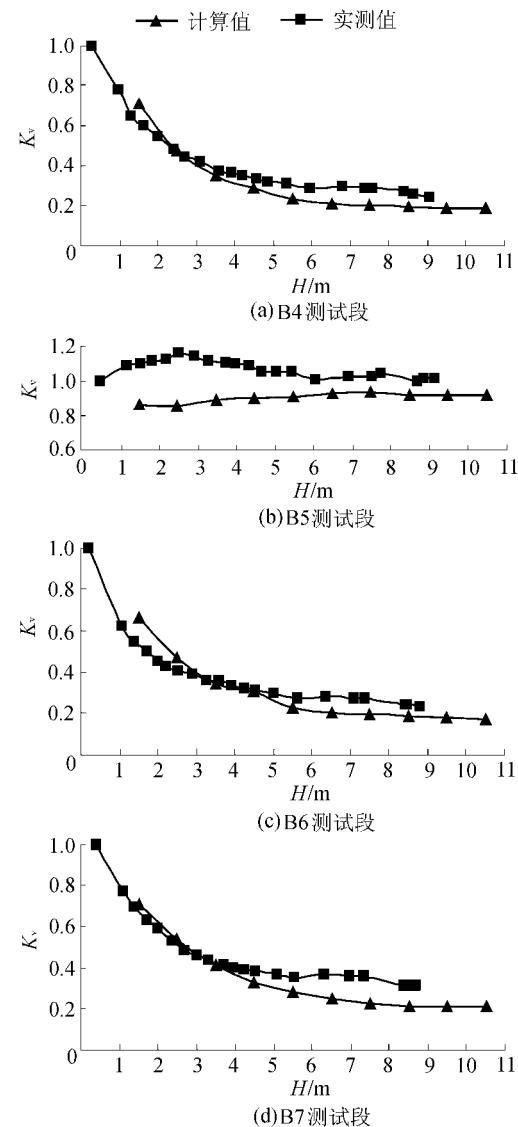


图7 B涵洞顶各测试段有限元计算与实测 $K_v \sim H$ 曲线

图7所示。从图7可以看出:洞顶有无EPS板以及EPS板的厚度对洞顶垂直土压力有很大的影响,洞顶铺有EPS板时其垂直土压力系数均远小于1,洞顶无EPS板时垂直土压力系数略大于1或接近1;同样填土高度时,洞顶垂直土压力系数随着EPS板厚度的增加而减小。有限元计算结果与实测结果一致,较好地反映了EPS板的减荷作用以及不同EPS板厚度的减荷效果。

3.4.2 填土变形分析

B涵洞各断面洞顶与洞侧填土的变形云图如图8所示。从变形云图中可以明显地看出,洞顶有无减荷材料EPS板、减荷材料厚度、地形条件以及为保护B5断面洞顶土压力传感器所铺填的松土等因素对洞顶平面内外土柱间沉降差的影响。

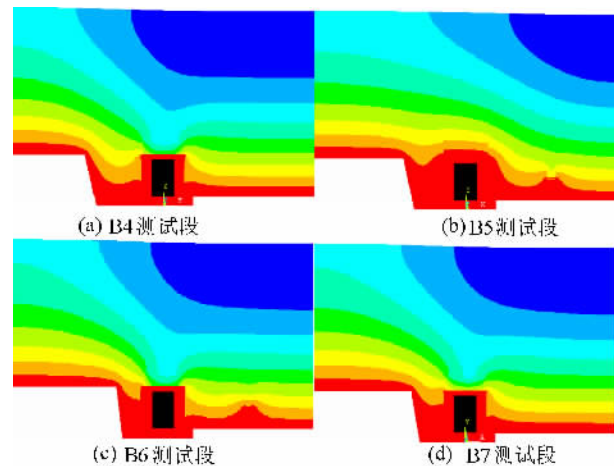


图8 B涵洞各测试段洞顶及两侧填土变形云图

a. 有无减荷材料EPS板对变形的影响。从变形云图中可以看出当洞顶无EPS板时,洞顶及洞两侧填土间的沉降差最大值出现在外土柱(涵洞侧面的土体)中,为 $+\delta$ (图8(b))。由于此次测试的B涵洞两侧一定范围均填有弹性模量较大的砂卵石填料,使得外土柱压缩变形的最大值与涵洞轴线间的距离加大,有利于涵洞受力。当洞顶有EPS板时,洞顶及洞两侧填土间的沉降差最大值出现在内土柱中,为 $-\delta$ (图8(a)(c)(d)),从而说明试验中采用EPS板进行减荷是有效的,表现在其垂直土压力系数的计算与实测结果均远小于1。

b. 减荷材料EPS板厚度对变形的影响。从变形云图中可以看出:当洞顶的EPS板厚度逐渐增大时,在同样的填土高度下洞顶平面内外土柱间的沉降差 $|\delta|$ 值在增大,故其减荷效果也越加显著,这与实测及计算所得的垂直土压力系数规律是一致的。

c. 地形条件对变形的影响。从变形云图中可以看出,远离涵洞一定距离后,涵洞的存在对填土变形的影响可以忽略。另外,在图8(a)(c)(d)中显示

左侧沟槽宽度对填土变形的影响,即随着沟槽宽度的增大,涵洞对左侧填土变形的影响范围也增大。

4 结 语

a. 试验证明,在刚性涵洞顶部铺设 EPS 柔性材料板具有显著的减荷效果,在本次试验条件下约减小了1/2~2/3的垂直土压力;在涵洞两侧铺设 EPS 板也有明显的减荷效果,在本次试验中约减小了1/2的侧向土压力;随着 EPS 板厚度的增加,减荷效果逐渐增加,但增幅渐小。

b. 在本涵洞试验条件下(如涵洞的高宽比、地基与涵侧回填砂卵石层的压缩性等),洞顶 EPS 板的厚度为 7~8 cm 即可;涵洞侧面铺设厚度为 4~5 cm 的 EPS 板就足够了,再增加厚度所取得的减荷效果增加值并不大,而且不经济。

c. 试验结果表明,涵洞顶部所铺设的 EPS 板在起到减荷作用的同时还可消除涵洞在路堤纵向引起的沉降差,以确保路面平整。

d. 涵洞垂直土压力的有限元计算结果与实测值比较接近,进一步验证了洞顶有无 EPS 板及 EPS 板厚度对洞顶垂直土压力的影响情况,这与测试结果也是一致的。从变形云图中可以看出洞顶有无减荷材料 EPS 板、减荷材料厚度、地形条件等因素对洞顶平面内外土柱间沉降差的影响情况。

以上现场试验与计算分析结果表明,EPS 减荷材料能够有效地减小涵洞顶的垂直土压力以及涵侧的侧向土压力值,并且能够消除涵洞在路堤纵向引起的沉降差,是上埋式涵洞土压力的有效减荷材料,具有较广泛的应用前景,值得进一步深入研究与推广应用。

参考文献:

[1] 顾安全. 上埋式管道及洞室垂直土压力的研究 [J]. 岩土工程学报, 1981, 3(1): 4-14.

[2] 王晓谋, 顾安全. 上埋式管道垂直土压力减荷措施 [J]. 岩土工程学报, 1990, 12(3): 84-89.

[3] 白冰. 减荷条件下上埋式圆形结构物周边土压力分析 [J]. 长江科学院院报, 1998(2): 14-17.

[4] 顾安全, 金滨, 冯瑞玲. 减荷措施在高填土涵洞中的应用研究 [C] // 中国岩石力学与工程学会. 中国岩石力学与工程学会第七次学术大会论文集. 北京: 科学技术出版社, 2002: 503-506.

[5] 郭婷婷. 涵洞土压力与变形及其减荷措施的试验研究 [D]. 西安: 西北农林科技大学, 2004.

[6] 杜骋, 杨军. 聚苯乙烯泡沫(EPS) 的特性及应用分析 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2001, 31(3): 138-142.

[7] 王武祥. EPS 颗粒-粉煤灰复合屋面保温材料的研究与应用 [J]. 新型建筑材料, 2005(11): 56-58.

[8] 任建民, 李劲遐, 张海斌. EPS 板粘贴外墙外保温施工中新技术的应用 [J]. 新型建筑材料, 2006(1): 51-52.

[9] 刘文白, 周健, 郝万喜, 等. EPS 板在多年冻土地区道路工程中的应用试验 [J]. 新型建筑材料, 2003(1): 30-32.

[10] 高洪梅, 刘汉龙, 刘金元. EPS 颗粒轻质混合土蠕变特性试验研究 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(4): 402-406.

[11] 周云东, 何奇宝, 丰士根, 等. EPS 颗粒混合轻质土动强度特性对比研究 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(6): 810-813.

[12] 李明东, 朱伟, 张春雷, 等. 击实参数对砂土 EPS 颗粒混合轻质土的影响 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(6): 814-817.

[13] 颜云辉, 谢里阳, 韩清凯. 结构分析中的有限单元法及其应用 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2000.

(收稿日期: 2010-04-23 编辑: 高建群)

(上接第 61 页)

[7] 阮龙飞, 王永庆. 中远船务启东海工基地坞口围堰工程的设计与施工 [J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(6): 90-94.

[8] 缪绪樟, 曾鹏九, 鄢泰宁, 等. 回填砂卵石层固结灌浆 [J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(4): 60-64.

[9] 赵元弘. 小南海水库地震堰塞坝体防渗处理 [J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(5): 39-44.

[10] 刘顺义, 李千, 范洪国, 等. 建平白山水库坝址渗漏基流分析 [J]. 水利水电科技进展, 2010, 28(s1): 77-79.

[11] 施建勇, 冒俊. 水泥垃圾土强度特性试验研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30(7): 1951-1966.

[12] DIXON N, LANGER U, GOTTELAND P. Classification and mechanical behavior relationships for municipal solid waste: study using synthetic waste [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2008, 134(1): 79-90.

[13] ZEKOS D, BRAY J D, ATHANASOPOULOS G A, et al. Compositional and loading rate effects on the shear strength of municipal solid waste [C] // 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Thessaloniki, Greece: Proceedings of ICEGE, 2007.

[14] 陈云敏, 高登, 朱斌. 城市固体废弃物的复合指数应力-应变模型及其应用 [J]. 岩土工程学报, 2009, 31(7): 1020-1029.

[15] 孙秀丽, 孔宪京, 邹德高, 等. 城市固体废弃物应力-应变模型研究 [J]. 岩土工程学报, 2008, 30(5): 726-731.

[16] 旦增顿珠, 介玉新, 魏弋峰, 等. 垃圾土的强度特性试验研究 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(9): 1538-1541.

[17] 冒俊. 人工改良垃圾土强度特性研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.

(收稿日期: 2010-01-01 编辑: 方宇彤)