

高填涵洞受力现场测试及有限元计算

刘 静 谢永利 刘保健

(长安大学公路学院, 陕西西安 710064)

【摘 要】 过现场测试结果, 并结合有限元计算, 研究作用与高填涵洞的受力与变形。为实际工程提供合理有效的指导和建议。

【关键词】 现场测试; 有限元; 高填涵洞; 土压力

【中图分类号】 TU 279.72

In-situ Test and Finite Element Calculation for the Pressure Acting on the Culvert with High Embankment

Liu jing Xie yongli Liu baojian

(Highway Institute, Chang'an university, Shanxi Xi'an 710064 China)

【Abstract】 According the in-situ test and the calculating result of the finite element program, the stress and deformation properties of the culvert with high embankment are studied. The reasonable and effective suggestions for the engineering are offered.

【Key Words】 in-situ test; finite element program; the culvert with high embankment; earth pressure

0 引言

随着我国高等级公路建设的迅猛发展, 公路中的涵洞结构物所占比重越来越大。从已建成的高等级公路调查来看, 大约平均 3 座/公里。有些涵洞由于未充分考虑其上土压力大小而导致涵洞强度不够被压裂, 破坏。根据现场调查资料, 运营中约有 63.5% 的涵洞出现裂缝, 其中 70% 是纵向裂缝^[1]; 另外, 有些涵洞由于纵向不均匀沉降过大影响其正常使用。为确保涵洞结构物的安全使用, 准确确定涵顶土压力的大小和合理控制涵洞纵向的不均匀沉降就成为指导工程实践的关键问题。

从土压力角度出发, 公路路堤下涵洞属上埋式结构物。关于上埋式结构物土压力计算的研究已有相当长的历史。从早期的筒仓压力理论到 20 世纪初由美国土木工程协会主席马斯顿教授(M. A. marston)所提出的土压力理论, 以至今日, 国内外许多学者从各种途径对此课题作了大量的研究和试验^[2~4]。在实际工程中, 影响涵洞洞顶土压力和涵洞变形的因素很多: 地基性状, 填土性状, 填土高度, 涵洞性状, 涵洞断面形状, 涵洞埋设地形, 埋设方式,

填土速度, 施工方法等^[2]。本文结合甘肃天谗高速公路高填土路堤下涵洞的实体工程, 选取典型涵洞断面布设测试元件(土压力盒和沉降杯), 通过现场实际测试, 检测作用于涵洞上的土压力及涵洞及周围土体的变形情况。并对涵洞受力进行有限元计算分析, 研究作用于涵洞上的土压力的问题。

1 现场测试

1.1 测试方案

测试涵洞位于甘肃天谗高速公路 K3+550 段。K3+550 处为 1~3 m 混凝土预制块拱涵。在 K3+550 涵洞洞顶处及外侧一定范围内选择 I-I、II-II 断面, 并在涵顶沿涵洞轴线方向(A-A 断面)布设压力盒; 在 K3+550 涵洞洞顶填土 50 cm 处及外侧一定范围内选择 III-III、IV-IV 断面布设压力盒; 在 K3+550 涵洞洞顶填土 25 cm 处及外侧一定范围内选择一断面 V-V 埋设沉降杯。布设情况见图 1。

1.2 现场测试结果

- 1) 涵顶 I-I 断面土压力分布结果见图 2。
- 2) 涵顶 II-II 断面土压力分布结果见图 3。

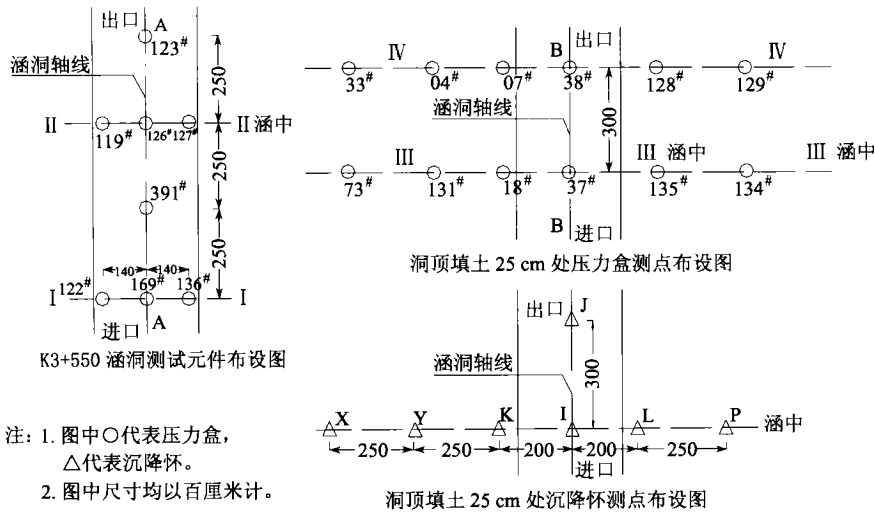


图1 K3+550 涵洞元件布设图

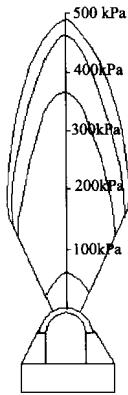


图2 K3+550 涵洞顶 I-I 断面土压力分布图

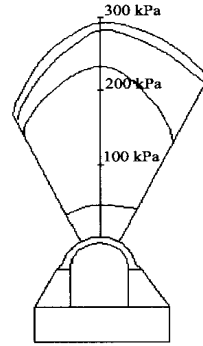


图3 K3+550 涵洞顶 II-II 断面土压力分布图

(注: 填土高度分别是 1.3 m, 7.5 m, 9.7 m, 10.22 m)

3) 涵洞顶填土 50 cm 处 III-III 断面土压力分布

见图 4。

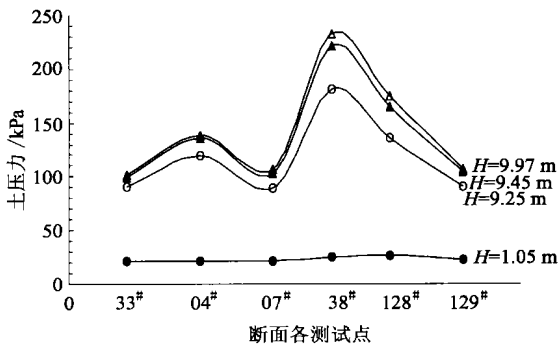


图4 III-III 断面土压力分布图

4) 涵洞顶填土 50 cm 处 IV-IV 断面土压力分布

见图 5。

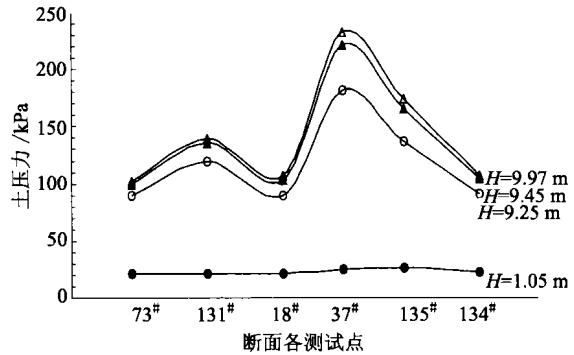


图5 IV-IV 断面土压力分布图

5) 涵洞洞顶涵洞轴向断面(A-A)土压力 P 随填土高度 H 变化见图 6。

6) 涵洞洞顶涵洞轴向断面(A-A)土压力集中系数

K (涵洞实测土压力 σ_z / 填土自重 γH) 随填土高度 H 变化见图 7。

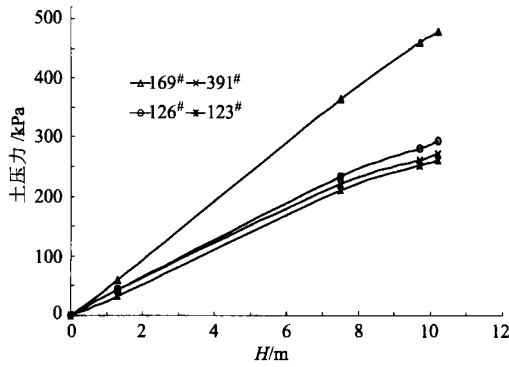


图6 A-A断面P-H变化图

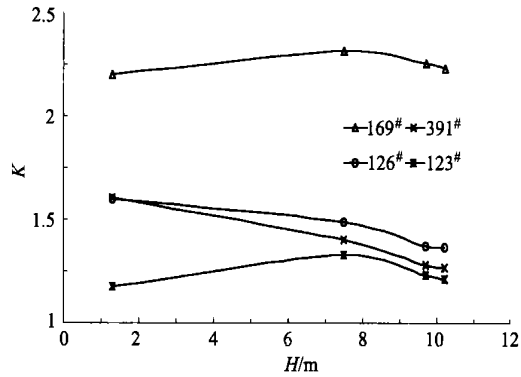


图7 A-A断面K-H变化图

7) 涵洞洞顶填土 25 cm 处 V-V 断面沉降变形见图 8。

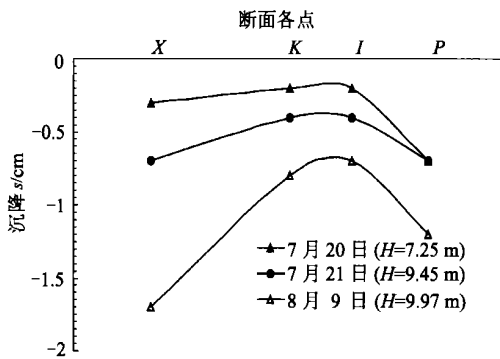


图8 V-V断面沉降变形图

1.3 测试成果分析

1.3.1 涵洞洞顶垂直土压力存在应力集中

由于涵洞及基础刚度远大于其两侧填土刚度,致使填土土层在洞顶范围内沉降变形小于洞顶两侧填土的沉降变形,填土土层形成曲面形式。K3+550 涵洞洞顶填土 25 cm 处 V-V 断面沉降图 8 显示,土层在洞顶处沉降值均小于其两侧各点的沉降值。这种曲线形式引起内外土柱沉降差,根据马斯顿土压力理论,正是由于此变形特性,内土柱相对于外土柱存在向上滑动的趋势,则外土柱对内土柱产生向下的摩阻力。作用在涵顶的土压力除了土柱自重外,还存在这个附加的摩阻力,从而引起涵洞洞顶垂直土压力存在应力集中现象。由 K3+550 涵洞洞顶 III-II 和 IV-IV 断面土压力分布图 4、图 5 可以看到,洞顶中点处土压力均远远大于两侧各点的土压力。从 K3+550 涵洞洞顶涵洞轴向断面(A-A)土压力集中系数 K 随填土高度 H 变化图 7 可以看到,洞顶各点的土压力集中系数 K 均大于 1,在 1.2~2.2 之间。

为减少涵顶土压力应力集中现象,可以采取中松侧实的处理方法,使涵洞洞顶填土的压实度小于

其两侧填土的压实度,例如在施工回填土过程中应认真夯实填土两侧部分填土。或者在涵洞顶部铺筑柔性材料等减压措施,以期达到减小洞顶土压力的目的。另外,对于涵洞地基的处理应慎重考虑。地基刚度越大,涵洞地基在受到填土压力作用下产生的变形越小,导致洞顶土压力增大。因此,对涵洞地基应合理处理,允许地基在运营中有适量变形,以减弱作用在洞顶的垂直土压力。

1.3.2 填土土层将在一定范围内存在内外土柱沉降差

填土土层只在一定高度范围内保持曲面性质,存在内外土柱沉降差,引起洞顶土压力集中现象。从图 7 看到,涵顶各测试点土压力集中系数在填土高度大于 10 m 之后,大体上呈下降趋势。这说明洞顶土压力集中程度随着土层高度的增加而减弱。即填土土层只在一定高度范围内存在内外土柱沉降差,形成曲面性质,此时土压力集中系数 K 不断增大;而当填土超过这一特定高度范围(此高度平面称为等沉面)后则会均匀沉降,不再对洞顶产生附加力,此时土压力集中系数 K 将会随着填土高度的增加而降低。这表明,洞顶土压力集中系数 K 不会随着填土高度增加而无限增大,当填土高度达到这一特定高度时,土压力集中系数 K 将会随着填土高度的增加而减小,但 K 不会降至小于 1 的水平。

2 有限元仿真计算

涵洞埋设在土体中,它与其周围填土、地基共同作用,构成一个变形、受力相互协调,彼此间相互关联、相互影响的统一结构体系,称其为“涵土结构”。在这个体系中,由于填土的工作特性比较特殊,而导致涵洞受力与变形问题的复杂性。填土首先是涵洞埋置其中的材料,其次对于涵洞和地基而言它又是一种外荷载;同时,它又是支撑和传递荷载的介质,它将路面荷载及其重力荷载传递到涵洞结构物和地

基中。由于涵洞与填土和地基共同工作,因此涵洞的受力与变形特性与其周围填土、地基的受力与变形特性息息相关。

本文采用大型高级有限元软件 MARC 对此“涵土结构”进行有限元分析计算,研究其变形与受力特性。由于几何实体具有对称性,因此在建立其几何模型时也取用几何实体的一半。在计算模型取用范围的大小上和单元划分的疏密上进行了不同的尝试。在即能满足计算准确、精度合理,又能尽量减少单元数量的要求下,最终取用图 9 的几何模型进行计算。计算按照平面应变问题来分析。计算宽度为 40 m,填土高度定为 40 m。

2.1 计算土体变形云图

计算几何模型及变形云图见图 9、图 10。

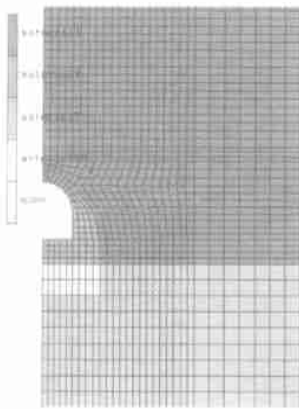


图 9 计算几何图形



图 10 变形云图

由计算云图中可以清楚地看到,土体变形的大致规律和特点。在涵顶处土体的沉降变形小于涵洞两侧的土体,而这种变形特点随着填土高度的增加逐渐减弱。

2.2 计算结果分析

分别选取距涵顶高度为 0.6 m、2.0 m、6.0 m、

12.0 m、20.0 m、30.0 m 和 38.0 m 的填土土层,通过有限元的仿真计算,得到上述各个高度填土土层的沉降变形曲线(见图 11)。

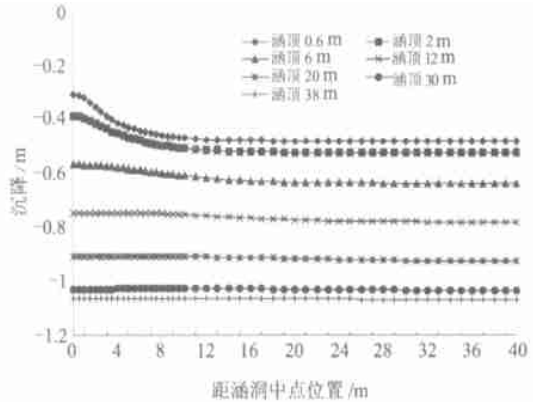


图 11 涵顶各个土层沉降变形曲线

从图 11 中可以看到,距涵顶高度为 0.6 m 至 12.0 m 的土层沉降变形具有明显的曲线性质,土层在涵顶范围内的沉降值明显小于涵顶范围外的沉降值,变形曲线呈现上凸性。与图 8 V—V 断面沉降变形曲线规律一致。这种土层的不均匀沉降在以距涵顶中点 0~8 m 范围内较明显,其范围约为涵洞宽度的 2 倍左右。而在其外范围的土层则近似为均匀沉降。在距涵顶 20 m、30 m 和 38 m 处的土层沉降变形曲线基本为直线,即土层近似为均匀沉降,此即为 Marston 理论中的等沉面以上的均匀变形的土体。

分别选取距涵顶高度为 0.6 m、2.0 m、6.0 m、12.0 m、20.0 m、30.0 m 和 38.0 m 的填土土层,通过有限元的仿真计算,得到上述各个高度填土土层的垂直土压力分布曲线(见图 12)。

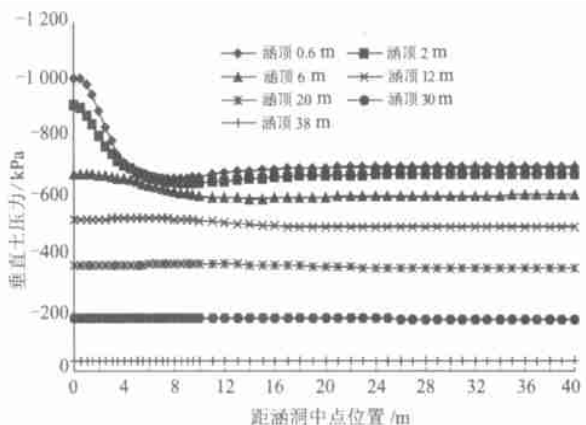


图 12 涵顶各个土层垂直土压力分布

从图 12 中可以看出,涵顶填土各土层的垂直土压力分布曲线变化形式与图 11 的其土层的沉降变形曲线的变化形式一致。距涵顶高度为 0.6 m、

2 m、6 m 和 12 m 处的填土土层的垂直土压力在涵顶处的值大于涵顶范围外的垂直土压力值,而紧邻涵洞处的土压力最小,随着距涵洞距离的增大,土压力又逐渐增大,并趋于稳定值(其上填土自重)。有限元计算结果与实测情况(见图 4 和图 5)规律性完全一致。而涵顶高度为 20 m、30 m 和 38 m 处的填土土层的垂直土压力则均匀分布,与它们的土层沉降变形规律一致。

另通过有限元仿真计算,得到涵洞周围填土及地基的土压力分布图(见图 13)。

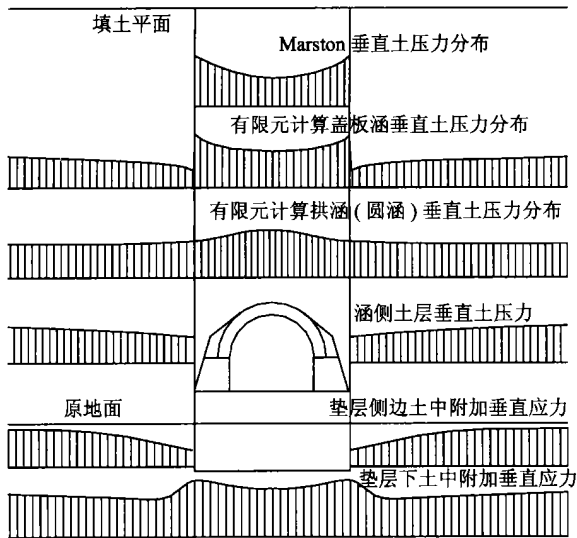


图 13 填土及地基的土压力分布

通过有限元的计算分析,本文得到涵洞的 $K \sim H/h$ (h :涵洞突出地面高度)曲线(见图 14)。

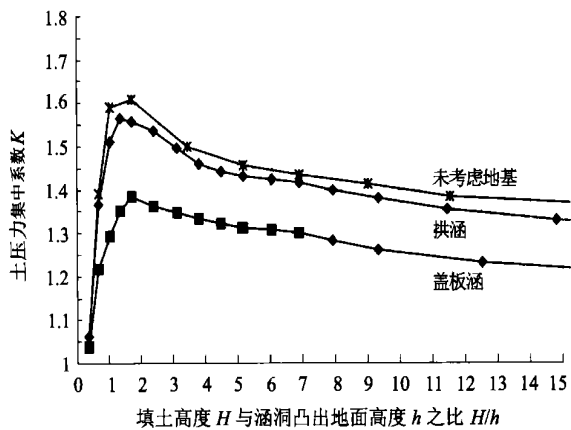


图 14 土压力集中系数 $K \sim H/h$ 曲线

从图 14 中看到,当 H/h 值较小时,涵洞的 K 值随着 H/h 值的增大而迅速增大;当 K 值达到最大值后(此时 H/h 约等于 2 左右),涵洞的 K 值则随着 H/h 值的增大而逐渐减小。从数值上看,拱涵的 K 值大于盖板涵的 K 值,而未考虑地基情况下(即地基为完全刚性)的 K 值大于拱涵的 K 值。

3 结 论

1) 现场测试及有限元计算结果表明,高填土路堤下涵洞洞顶存在的土压力集中现象不容忽视。在实际工程中,应认真夯实填土两侧部分填土,或者采用柔性填料以期达到减少洞顶土压力的效果。

2) 对于拱涵,垂直土压力集中系数 K 在 1.4~2.0 之间,现场测试结果表明在 10 m 左右($H/h=2$ 左右)涵洞的垂直土压力集中系数达到最大。

3) 在实际工程中,可适当考虑各种减荷措施,或尽量选用天然沟谷地形埋设涵洞,沟谷地形对涵洞洞顶的土压力能起到明显的减荷作用。

参 考 文 献

- 1 折学森.重载路基下管拱结构受力状况的现场测试与分析.西安公路学院学报,1991,11(1):56~62
- 2 顾安全.涵洞及洞室垂直土压力研究.岩土工程学报,1981,3(1):3~15
- 3 白 冰.高填土下刚性结构物竖向土压力减荷方法.岩土力学,1997,18(1):35~39
- 4 林选清.高填土下结构物的竖向土压力及结构设计计算方法.土木工程学报,1989,22(4):27~37

收稿日期:2004-03-10