

文章编号:1671-8879(2006)03-0017-04

上埋式公路涵洞地基及基础的设计

刘保健¹, 谢永利¹, 程海涛¹, 刘怡林²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 交通部 公路科学研究所, 北京 100088)

摘 要:为了探讨上埋式公路涵洞的地基及基础的工作机理、提高设计水平,分析了目前地基承载力的确定与地基及基础的设计方法;通过首次给出的涵洞、填土体、地基及基础共同工作机理模型,分析了公路涵洞的受力及其与土体的共同工作性状。结果表明:公路涵洞工程的地基及基础设计不能套用基底压力小于地基承载力的原有原则;涵洞与地基刚度越大,涵顶上作用的土压力就越大。建议涵洞上部土压力按顾安全公式计算;地基承载力确定原则为涵洞基础下与涵侧土堤下地基承载力相等。

关键词:道路工程;地基与基础;涵洞;填方路堤;地基承载力

中图分类号:U417.3 **文献标识码:**A

Design of Soil-foundation System of Culvert under High Embankment

LIU Bao-jian¹, XIE Yong-li¹, CHENG Hai-tao¹, LIU Yi-lin²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Research Institute of Highway, Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: In order to analyze special mechanics of groundsill and foundation of culverts under high embankment and to increase design technique, the current methods for determining foundation bearing capacity are analyzed. The model of working mechanics of culvert with groundsill and foundation is proposed. Based on the model, the behavior of culvert and soil is analyzed. The results show that the principle that pressure under foundation must be lower than foundation bearing capacity is not suitable for culvert projects. The vertical earth pressure on the culvert increases with the growth of the rigid of culvert and the foundation, it can be calculated with GU An-quan formula. Foundation bearing capacity of foundation under the culvert should be equal to capacity of foundation beside the culvert. 2 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; groundsill and foundation; culvert; filled embankment; foundation bearing capacity

0 引 言

建筑物的地基、基础和上部结构三部分,虽然功能不同,研究方法相异,但对建筑物来说,在荷载作

用下,它们却是彼此联系、相互制约、共同工作的整体。了解这一点,就能全面分析地基及基础的设计问题,因此研究公路涵洞工程地基及基础的设计问题,就是按路堤工程特征对其进行分析。公路涵洞

收稿日期:2005-04-10

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200231881224)

作者简介:刘保健(1953-),男,陕西蓝田人,教授,博士。

工程的地基与基础工作特性与传统概念上地基与基础工作特性有很大的不同,而现行的公路规范确定方法^[1]却忽略了这一点,甚至在学术研究上也没有引起应有的重视。为此,本文通过模型分析及相关课题研究^[2]分析研究公路涵洞工程的地基与基础工作特性及其设计问题。

1 地基承载力确定方法

地基承载力的确定方法有多种选择,采用什么方法与建筑物的设计安全等级有关。工程的安全等级越高,地基承载力的确定方法就越可靠,花的费用就越高。

建筑地基基础设计规范规定:地基承载力的特征值(设计值)可由载荷试验或其他原位测试、公式计算,并结合工程实践经验等方法综合确定。

公路桥涵地基与基础设计规范规定:桥涵地基的容许承载力可根据地质勘测、原位测试、野外载荷试验、邻近旧桥涵调查对比以及既有的建筑经验和理论公式的计算综合分析确定。如缺乏上述数据时,可用地基土的物理和力学指标,按规范总结的经验数理统计成果查表选取^[3]。

学术研究中地基承载力的确定方法可归纳为:实测数理统计法(规范查表法)、现场载荷试验法、理论公式法、当地经验参考法。

由此可以看出,建筑规范取消了适用于全国性的地基承载力查表法,而公路行业还保留着全国性的地基承载力查表确定方法;还可以看出,地基与基础的设计核心是要保证基底压力小于地基的承载力。因此,地基承载力的确定及如何采取工程处理措施,提高地基承载力就是一般工程地基与基础设计的设计思想。通常认为,地基与基础强度越高,工程就越安全,设计就越成功,但涵洞工程却正好相反。

2 涵洞工程地基及基础工作机理

涵洞是横穿路基的公路工程构造物,现行的涵洞地基及基础设计被并入桥梁地基与基础设计一类,按传统方法进行设计。本文通过课题《山区高填方路堤涵洞结构的研究》的研究,认为涵洞地基与基础的工作性态与传统概念上的地基基础工作性态不同,若采用传统方法进行设计可能会导致涵洞结构受力不利,严重的会导致涵洞结构破坏。

在极限地基承载力公式推导中,先假设地基的破坏面和破坏面上的受力状态、抗剪强度,地基土沿

着假设的破坏滑动面被挤向地面(图1中虚线所示),这时,根据静力平衡关系可求出地基的极限承载力 P_u 及相应的承载力表达式。图1所示的理论计算模式也为试验和实践所证实。但本文通过研究,认为它不适用于涵洞地基和基础的计算。由于涵洞是空心的路堤下埋构造物,它的基底压力 P 一般情况下都小于基础两边的旁压荷重 q ,对于明涵(涵顶上填土厚度小于0.5 m的涵洞)更是如此。因此,不会出现理论公式所假设的滑动面和地基土被挤出地面的现象。所以传统的地基极限承载力理论计算方法不适用于涵洞工程。

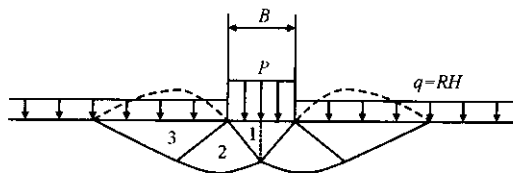


图1 地基和基础工作示意图

以上是极限承载力情况,若不按极限情况考虑涵洞的地基承载力,而按其他传统方法确定的地基承载力是否适用于上埋式涵洞工程呢?本文对此进行了分析。

图2为涵洞、填土体、地基及基础共同工作机理。图中 m_2 为涵洞的质量(密度与体积的函数); m_{1i} 为填土体的质量(密度和单位面积厚度的函数); m_{32} 、 m_{31} 、 m_{33} 分别为涵洞地基、基础和原状地基的质量(密度和单位面积深度的函数); K_{1i} 为填土体的刚度($K=P/s$, P 为荷重, s 为变形); K_2 、 K_{3i} 分别为涵洞、地基与基础的刚度; τ_i 表示填土体竖向抗剪切力。

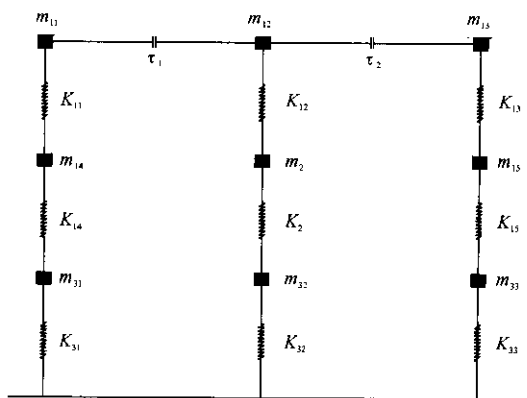


图2 涵洞、填土体、地基基础共同工作机理图

若填土为均质,则 m_{1i} 为常量, K_{1i} 和 τ_i 也为常量。若取 K_{3i} 为无穷大(极限假设),则表示假设的地基和基础为刚性体(经过地基处理)。这时,因为 m_{11} 、 m_{14} 、 m_{31} (m_{13} 、 m_{15} 、 m_{33})的竖向位移量之和大于 m_{12} 、 m_2 、 m_{32} 的竖向位移量之和,则作用在涵顶的土

压力 P 就不是上覆土柱重 m_{12} 。这是因为土剪力传递的结果,作用在涵顶的土压力 $P = m_{12} + \tau_1 + \tau_2$, 表示涵顶的土压力大于上覆土柱的压力,而公路桥涵设计规范规定涵顶竖向土压力 $P = \gamma H$ (上覆土柱压力)。可以看出,设计的涵洞地基和基础的刚度越大,基础设计得越宽,涵洞下地基的沉降就越小,与涵体两侧填土和地基的竖向位移差越大, τ_1 、 τ_2 也就越大,这时作用在涵顶的土压力超出按规范设计的压力就越大,就越容易引起涵洞结构的破坏。传统地基及基础的设计概念是要求地基和基础的刚度越大(地基处理得越好),基础底面越宽(基础压力越小,基础沉降越小),上部构造物就越安全,而实际上涵洞的工作状况刚好相反,这就是本文认为按传统的地基基础设计思想设计涵洞地基与基础是不科学的原因。事实证明这也是产生涵洞病害的原因之一。例如,有部分坐在软基上的涵洞工程,设计上为满足地基承载力的要求采用了桩基础,经调研发现,凡是在软基上采用桩基础的涵洞工程,现已全面遭到破坏^[4]。

根据图2所示的涵洞横断面受力分析模型,若涵洞地基及基础的刚度不是无穷大,而是与涵侧地基土的刚度一样,即 $K_{32} = K_{31} = K_{33}$, 则涵洞两侧地基土 m_{31} 、 m_{33} 的沉降变形就不会影响 τ_1 、 τ_2 值,这时仅 m_{14} 、 m_{15} 、 m_2 的沉降变形影响 τ_1 、 τ_2 值。这样,作用在涵体顶部的土压力 P 值就较前一个工况要小些,但还是大于涵顶的上覆土柱压力 m_{12} 。因为 m_{14} 、 m_{15} 是填土,其变形量较涵洞结构 m_2 要大,所以不采用传统设计与地基处理的强涵地基与基础,将非常有利于减少作用在涵洞上部的土压力。而传统的地基设计思想是在不多花费的情况下,将地基处理为承载力越高、变形量越小就越好,显然涵洞工程这样设计不妥^[5-8]。

3 设计方法

由于公路涵洞地基与基础的受力工作特性与一般的建筑物地基与基础的受力工作特性不同,因此公路桥涵地基与基础规范中的基底压力和地基承载力验算方法与原则不适合于涵洞工程。具体地说,规范中基础的埋置深度设计方法、基础的沉降计算方法、基础的稳定性计算方法仍适用于涵洞工程,但地基承载力的确定和基础设计原则不适用于涵洞工程,建议按下列方法进行设计。

(1)在无法得出涵顶土压力分布与基底土反力分布结果时,可将作用在涵洞上的土压力和基底土

反力仍按线性分布考虑,但在结构受力分析中要考虑调整安全系数。这时,作用在涵洞上部的土压力可按长安大学的顾安全公式确定

$$\sigma_v = \gamma H + \Delta\sigma_c = \gamma H + \frac{\delta E}{\omega_c D (1 - \mu^2)} = \gamma H + \frac{\gamma (H + h/2) h E}{\omega_c D (1 - \mu^2) E_h} \eta$$

式中: γ 为填土容重; H 为涵上填土高度; $\Delta\sigma_c$ 为涵顶附加土压力; δ 为沉降差; ω_c 为与刚性管道的长宽比 (L/D) 有关的系数; h 、 D 分别为涵体高度及宽度; E 、 E_h 分别为涵顶以上填土及涵洞两侧同高度 h 的填土变形模量平均值; μ 为涵顶填土的侧膨胀系数(泊松比); η 为涵洞界面(包括基础)的外形影响系数, $\eta = D_1/D$, 其中 D_1 为截面换算宽度,按地面以上的截面面积 A 与涵洞凸出地面高度 h 之比确定,即 $D_1 = A/h$, 对矩形截面的涵洞,显然 $\eta = 1$ 。

(2)对于细粒填土体,若每填实一层土后,沿涵洞边墙位置将填土体切一小缝隙,则相当于人工切断填土体因沉降差而产生的竖向剪切力(其作用及可行性经离心模型试验已得到证明)。这时作用在涵顶的土压力可按公路规范的上覆土柱压力确定。

(3)涵洞地基承载力的确定原则是涵洞基础下的地基承载力等于涵侧土堤下的地基承载力,不能在设计中处理成强涵基(涵下地基)、弱路基(涵侧土堤下地基)的状况。地基承载力不足,不能仅处理涵洞下的地基。正确的做法是涵洞两侧一定范围内(经验为处理宽度等于路堤填土高度)的地基都要进行同样标准的处理。例如,未经特殊处理或特别论证决不允许在软基上用桩作为涵洞基础。

(4)涵洞地基与基础验算的原则不是基底压力小于地基容许承载力,而是涵顶水平面上涵体与两侧填土体的沉降差应尽量小,其最小沉降差的量值可根据经验用顾安全公式反算得到。

(5)在地基及基础设计中,还应验算涵洞基础的平均总体沉降量要小于过水,或交通对涵体沉降的要求。

4 结 语

(1)首次对公路涵洞地基和基础的工作性状进行了机理分析,分析依据是大量的试验数据和实际涵洞工程调研。

(2)以基底压力小于地基承载力为原则的地基设计方法不适用于涵洞工程。

(3)结合涵洞、填土体、地基及基础共同工作机

理模型分析,提出了涵洞地基与基础的设计方法与原则。

(4)本文建议的涵洞地基与基础设计方法,还有待今后的工程验证和进一步完善。

参考文献:

References:

[1] JTJ024-85. 公路桥涵地基与基础设计规范[S].
JTJ024-85. Specifications for Design of Groundsill and Foundation of Highway Bridges and Culverts[S].

[2] 刘保健,谢永利,杨晓华. 山区高填方路堤涵洞结构的研究[R]. 西安:长安大学,2005.
LIU Bao-jian, XIE Yong-li, YANG Xiao-hua. Structural Study of Culvert under Mountain High Fill Embankment[R]. Xi'an: Chang'an University, 2005.

[3] GB50007-2002. 建筑地基基础设计规范[S].
GB50007-2002. Code for Design of Building Foundations[S].

[4] 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): 3-15.
GU An-quan. Investigation of the Vertical Earth Pressure on Projecting Conduit and Underground Chamber under a High Embankment [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,1981,3(1):3-15.

[5] 谭冬莲,方志. 钢筋混凝土圆管涵竖向土压力计算方

法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(1): 40-42.
TAN Dong-lian, FANG Zhi. Calculation Method of Vertical Earth Pressure on Circular Reinforced Concrete Culvert[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(1):40-42.

[6] 葛折圣,黄晓明. 含 EPS 夹层台背回填材料的离心模型试验[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):11-14.
GE Zhe-sheng, HUANG Xiao-ming. Centrifugal Modeling Test on Abutment Backfill with EPS Inclusion [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004,4(1):11-14.

[7] 陈仁朋,许峰,陈云敏,等. 软土地基上刚性桩—路堤共同作用分析[J]. 中国公路学报,2005,18(3):7-13.
CHEN Ren-peng, XU Feng, CHEN Yun-min, et al. Analysis of Behavior of Rigid Pile Supported Embankment in Soft Ground[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005,18(3):7-13.

[8] 夏永旭,薛连旭,胡长顺,等. 涵洞、通道上的沥青混凝土路面结构[J]. 长安大学学报:自然科学版,2002,22(3):16-20.
XIA Yong-xu, XUE Lian-xu, HU Chang-shun, et al. Structure of Asphalt-concrete-pavement over Culvert or Underpass[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002,22(3):16-20.

=====

(上接 16 页)

HU Li-qun, SHA Ai-min. Experiment and Mechanism Analysis for Anti-erosion of Cement Stabilized Soil Material Base-course of Bituminous Pavement [J]. China Journal of Highway and Transport, 2003,16(1):15-18.

[3] 倪富健,郭咏梅,曾兰英,等. 聚丙烯晴纤维 SMA 路用性能[J]. 交通运输工程学报,2003,3(3):7-11.
NI Fu-jian, GUO Yong-mei, ZENG Lan-ying, et al. Road Performance of SMA Mixture with PAN Fiber [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003,3(3):7-11.

[4] JTJ014-97. 公路沥青路面设计规范[S]. 1997.
JTJ014-97. Specification of Design Methods for Bitu-

minous Pavement[S]. 1997.

[5] 刘红瑛,戴经梁. 骨架密实二灰稳定碎石混合料配合比设计方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(2):11-16.
LIU Hong-ying, DAI Jing-liang. Design Methods of Mixture Skeleton Densified with Lime-flyash and Crush Rock[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(2):11-16.

[6] 张登良,郑南翔. 半刚性材料抗裂性能研究[R]. 西安:长安大学,1988.
ZHANG Deng-liang, ZHENG Nan-xiang. Study on Anti-cracking of Semi-rigidity Base Course[R]. Xi'an: Chang'an University,1988.