

文章编号: 1000-7598-(2006) 08-1407-04

桥台台背土压力的试验研究

陈雪华, 律文田, 王永和

(中南大学 土木建筑学院, 长沙 410075)

摘 要: 快速铁路桥台台后填土的填料选择、施工控制、质量监测等方面均不同于常规铁路, 由于对桥台台背土压力研究并不多见, 再加上影响土压力的因素比较复杂, 目前的土压力理论还难以准确地反映土压力分布的实际情况。因此, 结合现场试验, 对快速铁路桥台台背土压力进行长时间观测, 分析了土压力随时间的变化、土压力随填土高度变化以及填土完成后台背土压力的大小和分布情况。分析结果表明, 台背土压力沿桥台深度方向呈非线性分布, 土压力随着至桥台顶部距离的增大而增加, 但到达一定深度后, 随着深度的增大, 土压力反而减小; 土压力合力作用点要比理论上的土压力合力作用点有所上移, 在 0.41 倍填土高度处。

关 键 词: 土压力; 桥台; 高速铁路; 合力作用点

中图分类号: TU 432

文献标识码: A

Experimental research of earth pressure behind bridge abutment

CHEN Xue-hua, LÜ Wen-tian, WANG Yong-he

(School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: The embankment behind the bridge abutment of the high speed railway is different from the general railway in the aspects of padding, construction control and quality supervision. However, there is a little experimental research of the earth pressure behind abutment; and there are a lot of factors influencing the earth pressure also; and the distribution of the earth pressure is not exact predicted through actual earth pressure theories. Therefore, a long-time in-situ observation was practiced to gain the first materials. Based on the experiment results, the changing of the earth pressure with time and the height of embankment, the magnitude and distribution of earth pressures behind the abutment are given. Test results show, the earth pressure behind abutment is nonlinearity with the depth of abutment. To begin with, the earth pressure of abutment increased with the depth of abutment, later, it minished with the depth increasing of abutment. The comparison are made between formula presented with the experimental observations; the points of application of the resultant earth pressures have significantly difference; the height of actual action point of resultant earth pressure is 0.41 of the embankment height.

Key words: earth pressure; abutment; high speed railway; action point of resultant force

1 引 言

土压力的研究, 若以库仑理论为起点, 迄今已有 200 多年的历史。挡土墙型式不同, 作用在其上的土压力大小和分布也不同, 为了弄清楚土压力的实际大小和分布, 国内外学者进行了大量的试验研究^[1~6], 试验结果表明: 作用于挡土墙上的土压力大小、分布及合力作用点等受挡墙的变位方式和变位大小的影响很大。快速铁路桥台台后填土的填料选择、施工控制、质量监测等方面均不同于常规铁路, 由于对桥台台背土压力研究并不多见, 再加上影响土压力的因素比较复杂, 目前的土压力理论还

难以准确地反映土压力分布的实际情况。因此, 为了弄清楚桥台土压力的大小和分布, 有必要对桥台土压力进行现场测试研究。本文结合某快速铁路桥台台背土压力的现场试验, 简单介绍了土压力盒的埋设, 并根据实测结果分析了土压力的大小和分布规律, 以及土压力随填土高度和时间的变化, 分析结果可以为土压力理论分析和类似工程设计作参考。

2 现场试验概况

2.1 土压力测点的布置

本试验在承台与路基相邻一侧和台背共布置 36 个土压力盒, 共设 9 层, 每层 4 个。承台顶及承

台底各布置一层土压力测点,从桥台顶面开始向下每隔 0.8 m 布置一层土压力传感器,每层设 4 个测点,即第 1~4 列(图中标为①~④)①-7 表示第 1 列第 7 层,压力测点位置距离结构的边沿 0.6 m,第 1 列与第 2 列间距为 1.0 m,第 3 列和第 4 列间距为 1.0 m。详细布置如图 1 所示。

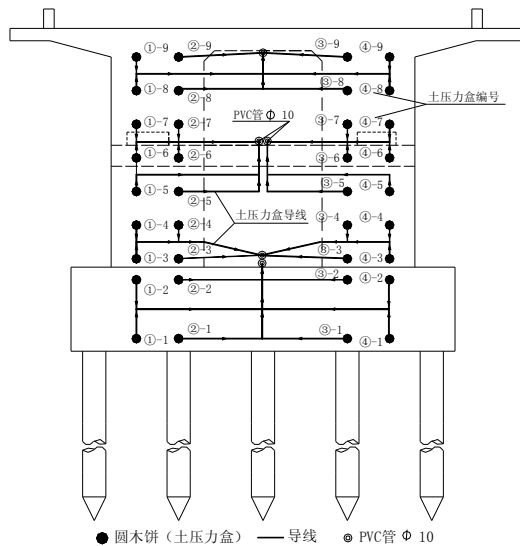


图 1 台背土压力盒布置图
Fig.1 The arrangement of earth pressure cells

2.2 土压力盒的选用与埋设

根据本工程的特点,选用丹东市三达测试仪器厂生产的GYH-2型钢弦式土压力盒,其工作原理是土压力作用于压力盒感应膜,膜片变形使弹性钢弦的张力发生变化;根据钢弦振动频率和钢弦张力的关系,通过测定钢弦振动频率来确定土压力。

在桥台立模施工时,根据桥台台背土压力测点布置图(图 1)预留土压力盒埋设位置。预留孔尺寸为:孔深=土压力盒厚度-(1~2) mm;孔径=土压力盒直径+25 mm,并考虑土压力盒引线问题;同时还要保障预留孔孔底平整垂直。具体埋设过程如下:

- (1) 根据测点布置图选定对应线长的土压力盒,并测读埋设前的初始读数。
- (2) 作好土压力盒的防水保护措施,在土压力盒接头处,涂防水胶,并拧紧接头。
- (3) 拆模后,凿掉预先埋设圆木饼,清理预留孔,在孔边凿出一小槽,以利于土压力盒导线的引出。
- (4) 将土压力盒的感应面朝外,把土压力盒嵌入预留孔内,并压紧,用水泥砂浆或环氧树脂填塞土压力盒与预留孔的缝隙(如图 2 和图 3 所示)。
- (5) 为避免压力盒导线被碎石划破,必须外套

保护管。土压力盒埋设完毕后,导线按设计图将其固定,并通过桥台预留孔引出到桥台侧面。



图 2 土压力盒嵌入预留孔内
Fig.2 A earth pressure cell in pore space



图 3 土压力盒埋设实物图
Fig.3 Photograph of a earth pressure cell

2.3 桥台台背填土

选择台后填料为级配碎石加 3 % 的水泥,配合比为:碎石(粒径 20~40 mm)、碎石(粒径 16~31.5 mm)、碎石(粒径 5~16 mm)和石粉的比例是 1: 2: 3: 4。分层夯实,每一层夯实后的平均厚度为 25 cm,碾压方式为先静压 2 遍,再振动、压实。台背后填土形状为倒置的三角形,压实后的重度大约为 21.5 kN/m³,填土的内摩擦角为 33°。在台后填土期间,当填土面离土压力盒中心 15 cm 时,在土压力盒前堆积 5 cm 厚、并高出土压力盒中心 15 cm 的砂堆,以保证压力能够真实、有效地传到土压力盒上。

3 试验结果分析

通过对桥台土压力系统的长期观测,得到了桥台台背土压力随时间的变化和稳定情况、土压力随填土高度变化以及填土完后台背土压力的大小和分布情况。

3.1 土压力随时间变化

在台背填土结束后,继续对台背土压力的变化

情况进行观测。图4为填土工作结束以后,实测土压力随时间变化情况。

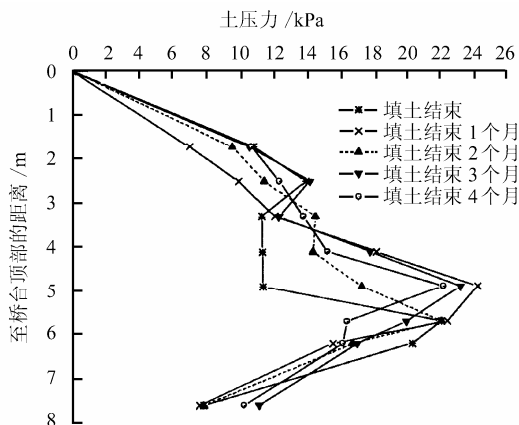


图4 土压力随时间变化

Fig.4 The change of earth pressure with time

从图4可以看出,土压力呈非线性分布。根据经典的土压力理论,土压力呈线性分布,这是由于没有考虑墙、土之间力与位移协调以及土进入塑性状态的结果。台背下部土压力减小的主要原因有三点:一是台背、土接触面的剪切力与一部分垂直土压力平衡,使桥台附近的垂直土压力小于静止压力 γh (γ 为填土的重度, h 为计算点的埋深),直接引起侧向土压力减小;二是台背下部土体的摩擦阻碍作用,使得靠近台背的填土向桥台侧的位移减小,引起土压力的减小;三是在本课题中桥台,承台下地基土软弱,承台底侧面的填土在自重作用下,有向软基土中滑入的可能,造成应力释放,使得桥台下部土压力减小。桥台上部和下部土压力随时间增加,其变化不大;桥台中部土压力随时间的增长却变化较大。总的来看,在填土结束2~3个月后,各测点的土压力基本上处于稳定状态。文献[7]认为随着时间的增长,主动土压力逐步增大,而被动土压力逐步减小;当时间趋于无穷大时,不管是主动土压力还是被动土压力都将趋于静止土压力,并给出了考虑时间的土压力计算公式。通过实测结果也说明在计算桥台台背土压力时,应该考虑时间因素。

3.2 土压力分析

土压力的实际大小和分布受很多因素的制约。张军等^[8]提出挡土墙土压力分布可能是三角形、抛物线或双曲线分布,其形状取决于填料、填土面倾角、墙背与土体之间的摩擦角、墙背倾角等因素。Fang 和 Ishibashi (1986 年)^[1]对砂性填土刚性挡土墙的主动土压力进行了模型试验。结果表明,主动土压力为非线性分布,其分布形式取决于挡土结构

的变位方式;但不同挡土结构变位方式达到主动土压力状态所需的位移量基本相同,土压力合力作用点随着土密度的增加而上升。文献[9, 10]中的一些现场测试资料也认为土压力沿墙背为曲线分布,到某一深度后土压力强度开始逐渐减小,到墙底接近于0。从图4可以看出,台后土压力沿桥台深度方向的分布呈非线性的变化趋势,土压力随着深度增大而增加,当达到一定深度后,随深度的增大土压力反而减小。这与洪锦祥等^[5]对整体式桥台桥梁的台后被动土压力研究得出的结论,以及20世纪60年代前苏联学者查嘎列尔进行的挡土墙土压力试验的结论基本一致。

土压力的计算广泛采用库仑(Coulomb)和朗肯(Rankine)公式,假设土压力沿墙背呈线性分布,在没有超载的情况下,土压力合力的作用位置在墙底以上1/3墙高处。本次试验桥台台背填土高度为7.63 m(从最下面一层土压力盒为起点,到填土顶面),那么根据库仑土压力理论^[11],土压力合力作用点在从填土顶面往下5.09 m处,而实测土压力合力作用点在从填土顶面往下4.5 m处,也就是说实测土压力合力作用点在0.41倍填土高度处。由此可见,实测土压力的合力作用点较理论计算的土压力合力作用点有所上移。关于土压力合力作用点的位置,国内外均有报道。如以下试验^[12]:湖南省某码头挡土墙土压力试验,土压力作用点在0.4~0.5倍的填土高度处;前苏联普利列亚耶夫试验,土压力合力作用点在1/3~1/2墙高处;肯坎年试验,土压力合力作用点在0.4~0.5墙高处;美烈什科夫试验,土压力合力作用点在0.42~0.43倍的填土高度处;卡岗试验,土压力合力作用点在0.37~0.43倍的填土高度处;前苏联水利设计院试验,土压力合力作用点在0.36~0.45倍的填土高度处。这些试验都说明了实测土压力合力作用点要比理论计算的土压力合力作用点有所上移。本次试验实测土压力合力作用点位置与其他学者的结论比较吻合,这也从侧面说明了本次试验结果的合理性。

3.3 土压力随填土高度变化

为了分析土压力随填土高度的变化情况,从埋设的压力盒中选出有一定代表性的4组土压力盒所测的土压力进行分析。图5(a)和图5(b)表示第2列和第4列土压力盒随着填土高度的增加,所测的土压力的变化。图5(c)和图5(d)给出的是第6层和第3层土压力盒随着填土高度的增加,所测得土压力的变化曲线。

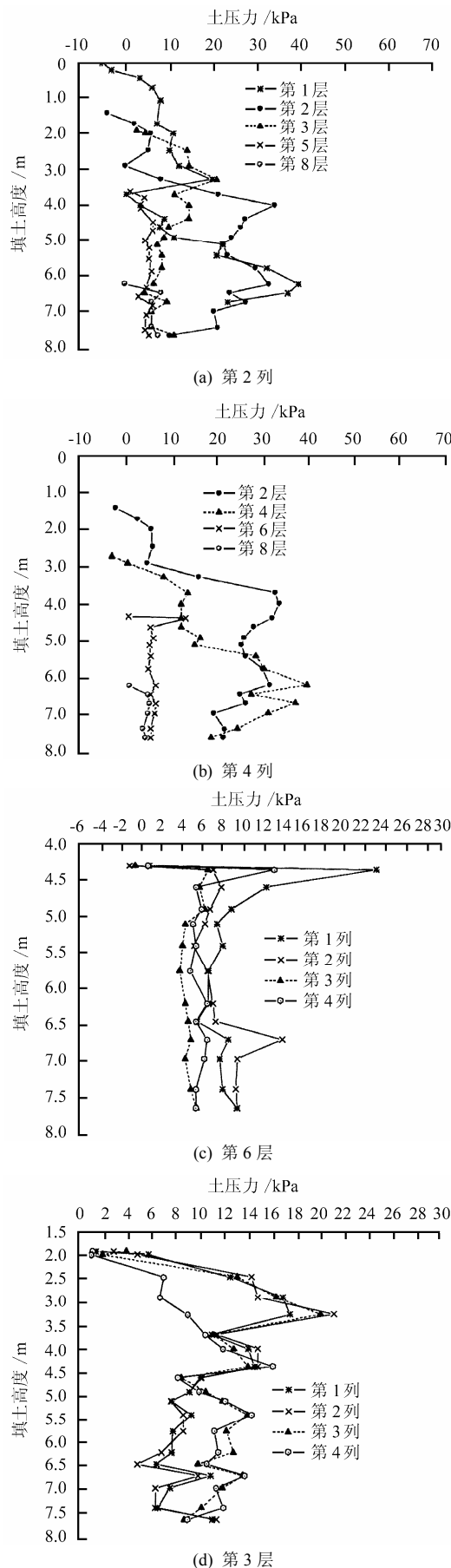


图5 土压力随填土高度变化

Fig.5 The change of earth pressures with embankment height

从图 5 (a) 和图 5 (b) 可以看出, 两图均表明, 随着填土高度的增加, 土压力值并不是一直增加, 而是有一些波动。2~4 层的土压力盒所测出的土压力值随着填土高度增加, 呈增加趋势, 但当填土高度超过 6.10 m 时, 土压力值呈现减小趋势。5~8 层土压力值随着填土高度的增加, 土压力值变化不大。从图 5 (c) 和图 5 (d) 可以看出, 即使同一层的 4 个压力盒所测的土压力大小在同一填土高度也不完全相同, 这主要是因为各压力盒所处外部条件 (如压力盒前填土的密实度) 不可能完全相同, 以及其他偶然因素影响所致, 土压力值呈非线性变化, 近似呈“勺状”分布。开始阶段, 土压力值随着填土高度的变化逐渐增加, 当填土高度超过土压力测点一定距离后, 土压力值基本上保持不变。从图中还可以看出, 相近的 2 个土压力盒测出的土压力大小和分布基本一致, 而相距较远的土压力盒所测出的土压力大小和分布差别较大, 这当然有施工方面的原因, 可能是填土时两侧压实不均匀所致。

4 结 论

通过对桥台台背土压力的试验研究, 分析结果表明:

(1) 台背填土结束以后的开始阶段, 台背土压力随时间有较大变化, 但 2~3 个月以后, 各测点的土压力值趋于稳定。

(2) 台背土压力沿桥台深度方向的分布呈非线性变化趋势, 土压力随着深度增大而增加, 当达到一定深度后, 随深度的增大土压力反而减小; 实测土压力合力作用点要比理论计算的土压力合力作用点有所上移, 在 0.41 倍填土高度处。

(3) 随着填土高度的增加, 土压力值呈非线性变化。

(4) 由于桥台土压力现场试验做得较少, 本文得出的结论难免具有局限性, 以后应加强这方面的研究, 进一步深化土压力计算理论。

参 考 文 献

- [1] Fang Y S, Ishibashi I. Static earth pressures with various wall movement[J]. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 1986, 112(3): 317—333.
- [2] Roscoe K H. The influence of strains in soil mechanics[J]. *Geotechnique*, 1970, 20(2): 129—170.
- [3] Ching S Chang, Sao-Jeng Chao. Discrete element analysis for active and passive pressure distribution on retaining wall[J]. *Computers and Geotechnics*, 1994, 16(4): 291—310.

- [4] 徐日庆, 陈页开, 杨仲轩, 等. 刚性挡墙被动土压力模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(5): 569—575.
XU Ri-qing, CHEN Ye-kai, YANG Zhong-xuan, et al. Experimental research on the passive earth pressure acting on a rigid wall[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2002, 24(5): 569—575.
- [5] 洪锦祥, 彭大文, 汪新惠. 整体式桥台桥梁的台后被动土压力研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2003, 31(6): 721—725.
HONG Jin-xiang, PENG Da-wen, WANG Xin-hui. Passive earth pressure behind abutment of integral abutment bridges[J]. **Journal of Fuzhou University (Natural Science)**, 2003, 31(6): 721—725.
- [6] 陆培毅, 严驰, 刘润. 砂土基于室内模型试验土压力分布形式的研究[J]. 土木工程学报, 2003, 36(10): 84—88.
LU Pei-yu, YANG Chi, GU Xiao-lu. Sand model test on the distribution of earth pressure[J]. **China Civil Engineering Journal**, 2003, 36(10): 84—88.
- [7] 赵建平, 梅国雄, 宰金珉. 考虑变形与时间效应的土压力计算方法研究[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2003, 16(4): 55—57.
ZHAO Jian-ping, MEI Guo-xiong, ZAI Jin-min. Earth pressure model considering settlement and time effect[J]. **Journal of Yancheng Institute of Technology Natural (Science Edition)**, 2003, 16(4): 55—57.
- [8] 张军, 王贻荪. 确定挡土墙主动土压力分布的薄层分析法[J]. 湖南大学学报, 1998, (5): 147—153.
ZHANG Jun, WANG Yi-sun. Determination of active earth pressure distribution against retaining wall by thin layer method[J]. **Journal of HuNan University(Natural Science)**, 1998, (5): 147—153.
- [9] 克列因 F K. 散粒体结构力学[M]. 陈万佳译. 北京: 人民交通出版社, 1983.
- [10] 王元战, 李新国, 陈楠楠. 挡土墙主动土压力分布与侧压力系数[J]. 岩土力学, 2005, 26(7): 13—16.
WANG Yuan-zhan, LI Xin-guo, CHEN Nan-nan. Active earth pressure on a retaining wall and lateral coefficient of earth pressure[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(7): 13—16.
- [11] 陈希哲. 土力学地基基础(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [12] 方玉树. 挡土墙背土压力作用点位置[J]. 工业建筑, 1994, (8): 34—36.