

文章编号:1671-6833(2007)01-0056-04

高速液压夯实机(RHIC)夯实效果的试验研究

冯忠绪¹, 刘本学¹, 赵侃², 刘怀志¹

(1. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 西安 710064; 2. 交通部公路科学研究院 试验中心, 北京 100088)

摘要: 提出一种适合桥头夯实的设备—RHIC, 并建立动力学模型. 对高速液压夯实机(RHIC)的夯实效果进行试验研究, 得到夯击次数与每层沉降量及压实度的关系曲线. 从曲线可知, 随着夯击次数的提高, 每层的沉降量也迅速增加, 在夯击15次时总沉降量最大; 夯击12次时整体压实度较高, 表层压实度达95%, 平均压实度可达93%, 基本满足1.5 m回填夯实时的施工要求, 说明高速液压夯实机(RHIC)适用于桥台夯实, 夯实效果好, 影响深度深.

关键词: 高速液压夯实机; 回填压实; 压实度; 沉降量

中图分类号: U 415.521

文献标识码: A

0 引言

随着交通运输事业的发展, 我国高等级公路里程已逾4万 km, 道路中的桥梁数量也在不断增加. 桥头跳车现象的存在, 直接影响行车速度、舒适与安全, 严重时还会造成行车事故, 并导致公路使用寿命减短^[1,2]. 造成桥头跳车的原因很多, 其中台背填土处碾压不到位, 使桥台与路基联结位置形成工后沉降是造成这一现象的重要原因之一.

目前, 由于大型设备无法进入上述区域, 而小型设备施工时铺层较薄, 且较薄的铺层分层回填时, 前一层压实度虽然检测时达到了规范的要求, 但随着回填土的再次压实, 下层被压实过的土壤在振动力的作用下又有了松动. 当上层土层被压实时, 由于小型设备能量较小, 无法向更深层传播, 无法保证下层的土壤也达到与上层一样的压实度^[3,4]. 针对这种现象, 笔者提出了一种新型夯实设备来解决铺层较薄、压实度不足的问题.

1 RHIC 工作原理及对桥台夯实的特点

1.1 目前桥台分层回填压实的特点

桥台回填压实的施工方案如图1所示, 通常在施工中, 桥台与路基之间会留有长为 L_m 的未压实路段, 为后来换土回填后压实区域. 回填距离

与桥台高度有关, 在 L_m 区域内, 大型设备无法进入或进入后对桥台影响较大. 长久以来, 对此段连接处的处理方案是: 铺层较薄(施工规范中为25~45 cm), 利用小型压实设备分层碾压. 由于土壤弹性和阻尼的存在, 小型设备的能量无法向深层传播, 只使表面较浅位置被压实, 只有表层压实度达到要求, 而下层被压实的土壤在上层虚铺层和振动力的作用下又会渐渐变松, 造成每一层的压实度虽然在检测时都达到了规范要求, 但整体压实度可能达不到规定压实度^[5]. 如果铺层较薄, 当分层碾压时, 层与层之间的压实度不同还将引起层间滑移, 破坏整体强度.

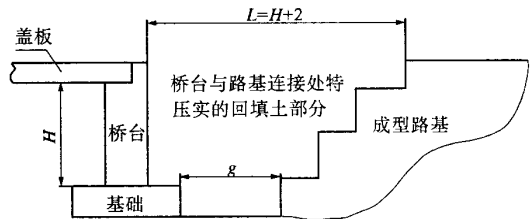


图1 桥台与路基连接图

Fig.1 Binding of abutment and subgrade

1.2 高速液压夯实机性能简介

高速液压夯实机(Rapid Hydraulic Impact Compactor, 简称RHIC)的基本工作原理是: 液压缸在液压与电控系统的作用下将夯锤提升至设定

收稿日期: 2006-10-30; 修订日期: 2006-12-21

课题来源: 国家“863”高科技研究发展计划资助项目(2001422010).

作者简介: 冯忠绪(1949-), 男, 陕西凤翔人, 长安大学教授, 博士研究生导师, 主要从事工程机械的理论及应用研究.

高度后,液压系统换向,夯锤在重力和加力系统的共同作用下加速下落,最后击打在带有缓冲垫的夯板上,通过夯板夯实地面。夯锤上升前,先对蓄能器充液保压,至设定压力后,开始上升,工作原理如图2所示。因此,RHIC可以大于自由落体加速度下落,提高了打击能量及单位时间内的打击次数。夯击完成后,又可在液压系统的作用下对夯实后的土壤保压以避免夯后应力反弹。

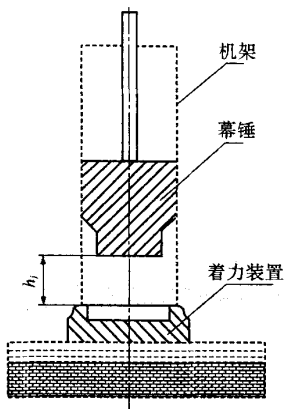


图2 液压夯实机作业原理图

Fig.2 Working for RHIC

与传统的夯实技术(强夯等)相比,RHIC作用力峰值小,作用时间长,具有作用柔和、不易剪切填层流线且移位方便等特点。每分钟的高频率作用次数又可弥补其能量不足,使得每个夯点的压实度高而均匀。与传统的表层碾压设备(压路机等)相比,其贯穿能力强而均匀,在基础处理中不易形成表层硬结,可在较大的深度范围内获得较均匀的密实度^[7]。

1.3 高速液压夯实机动力学模型

夯锤在液压系统作用下以大于自由落体速度夯在着力装置上,这一过程作用时间短,产生较大冲击力,使土壤颗粒产生运动,最终被压实。

设夯锤的质量为 m_1 ,作用装置的质量为 m_2 ,作用装置半径为 r_0 ,液压系统的加力系数为 μ 。根据碰撞理论有

$$m_1 v_{11} + m_2 v_{21} = m_1 v_{12} + m_2 v_{22} \quad (1)$$

夯锤受自重及液压系统的作用力,在与作用装置碰撞前瞬间有

$$\frac{1}{2} m_1 v_{11}^2 = (1 + \mu) m_1 g h_j \quad (2)$$

夯锤下落与作用装置碰撞前的速度为 v_{11} 单位m/s,底座此时速度为 $v_{21} = 0$ 。碰撞瞬间极为短暂,土壤的变形可以忽略。

此时,

$$v_{12} = v_{22} = \frac{m_1 v_{11}}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{(1 + \mu) g h_j} \quad (3)$$

式中: v_{12} 、 v_{22} 为碰撞后落锤与作用装置的速度,两速度相等。

根据参考文献[6]可知,被压实材料的表面的最大应力表达式为

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= m_1 \cdot \sqrt{\frac{6Egh_j}{m_0 A \delta}} \cdot \frac{1 + \mu}{(1 + 1/\alpha + 1/\alpha^2)} \\ &= m_1 \cdot \sqrt{\frac{6Egh_j}{(m_1 + m_2 + m/3) A \delta}} \cdot \frac{1 + \mu}{(1 + 1/\alpha + 1/\alpha^2)} \end{aligned} \quad (4)$$

由式(4)可推导出土壤压实深度的表达式为

$$\delta = \frac{6m_1^2 Egh_j}{\pi r^2 (m_1 + m_2 + m/3) \sigma_0^2} \cdot \frac{1 + \mu}{(1 + 1/\alpha + 1/\alpha^2)} \quad (5)$$

式中: m 为被压实材料柱的质量,kg; μ 为液压系统的加力系数; h_j 为落锤的下落高度,m; E 为变形模量,Pa; σ_0 为被压实材料表面上的最大应力,N/m²; α 为被压材料的上下层应力比值; δ 为被压实土厚,m。

从式(5)可以看出,RHIC对土壤的压实深度值与其自身的参数如行程高度 h_j 、加力系数、夯锤与底座重量以及冲击底座的最大应力值、材料的变形模量及沿被压层深度分布的应力等都有很大关系。

2 试验方案

为验证RHIC对铺层回填压实的性能,对该设备进行相应的试验研究。根据JTJ033-95《公路路基施工技术规范》试验规程要求,在级配良好试验用土上(级配曲线如图3所示),采用标准重锤法测定试验用土的含水量与干密度的关系。试验土的击实试验曲线如图4所示:则其最大干密度为1.922 g/cm³,最佳含水量为13.6%。

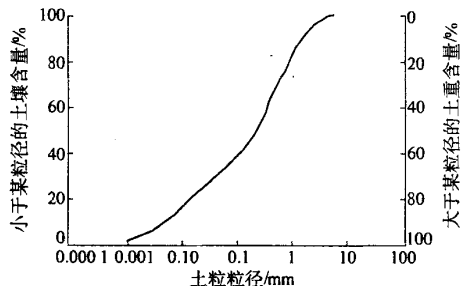


图3 试验用土的级配曲线图

Fig.3 Soil gradation curve

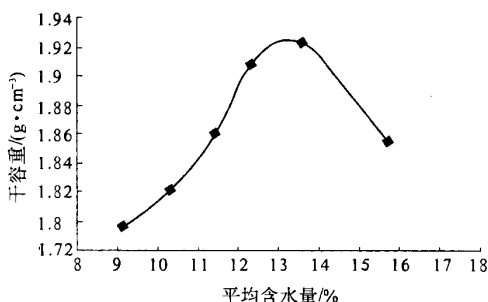


图4 击实试验曲线

Fig. 4 Compaction test curve

在试验室中,取长、宽、高尺寸分别为400 cm、400 cm、150 cm 的土槽,在此土槽上分6层回填. 每层填厚为25 cm,分9个点均布夯实,其布点及分层顺序如图5所示. 试验过程中,测量每个测点的沉降量和压实度.

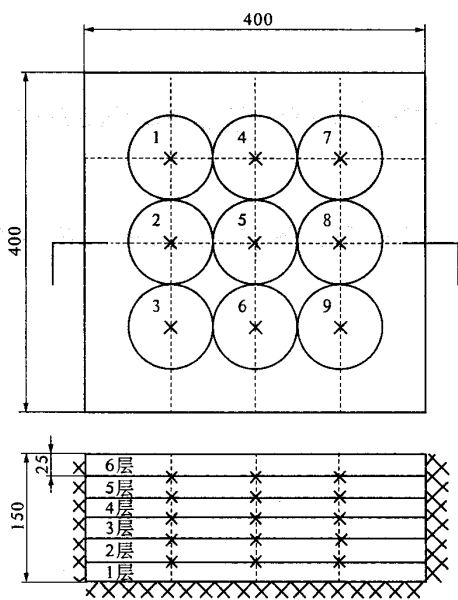


图5 夯实机压实试验沉降量布点图

Fig. 5 Dot of settlement about RHIC

3 试验数据及结果分析

3.1 夯击次数对沉降量的影响分析

图6给出了RHIC夯击时沉降量与夯击次数之间的关系曲线. 由图可知,土槽中回填土的总沉降量随夯击次数的增加先增大后减少,在第15次夯击处,沉降量达到最大值. 说明对于地基压实后的补强或预消除工后沉降量,RHIC法15次夯击能达到施工要求.

万方数据

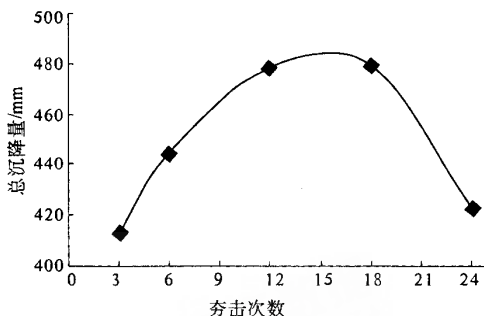


图6 夯击次数与总沉降量关系曲线

Fig. 6 Curve of beating times and general settlement

为了得到RHIC对土壤深度的影响,分别对回填1.5 m的土坑分6层检测不同夯击次数时土壤的变形量. 从图7可以看出,夯击次数对深度不同的土壤沉降量影响较大. 如夯击3锤时,各层绝对沉降量与其层数近似成直线上升关系. 这是因为,夯击3锤时,土壤比较松软,能量由于几何阻尼和土壤的黏性阻尼衰减较快,上部因吸收能量多,沉降量大;下部吸收能量较少,沉降量较小. 6锤以后,各层变形量随着夯击次数的增加均呈现出先增大后减小的趋势,主要是六锤之后,表层土壤基本成弹性土或刚性土,土壤形变不大,能量向更深处传播. 从图可以看出,第三、四层的变形较大,而考虑到RHIC工作装置重量较轻、提升高度只有1.2 m,能量衰减较快. 因此,底层变形量较小,能量大部分被上层土壤吸收. 仅当上层土壤成绝对刚性时,次下层土壤才会不断被夯实.

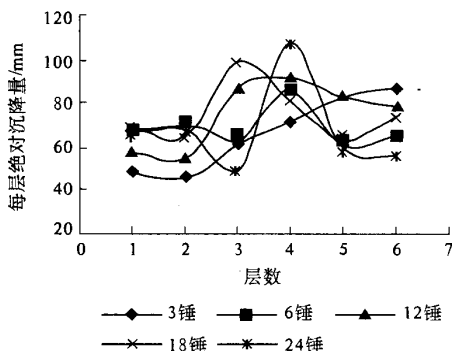


图7 夯击次数与每层绝对沉降量关系曲线

Fig. 7 Curve of beating times and absolute settlement

3.2 夯击次数对压实度的影响分析

RHIC对土壤的夯实性能及对土层不同深度的影响规律如图8所示,从图可以看出,不同的夯击次数下,土壤的压实度与其层数(即区间深度)

基本成直线关系。当夯击次数较少,如3锤时,其直线的斜率较大,即表层影响较大,而深层影响较小,这与沉降量变化基本一致。随着夯击次数的增多,斜率平缓,而压实度整体有较大提高,说明能量向更深层土壤传播,因此,RHIC 适合深层压实。

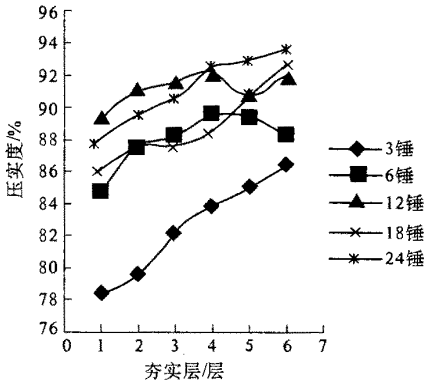


图8 压实度与压实层的曲线

Fig. 8 Curve of compaction degree and compaction layer

夯击次数对压实度的影响关系如图9所示,可以看出,在每一层中,压实度随压实次数的增加,总体呈上升趋势。在12次夯击处,土壤压实度达到第一个峰值,说明此时的压实度基本达到了很好的压实效果。如果要求更高的压实度,则需要有更多的夯击次数才能满足。因此,可以认为12次的夯击为较好的施工次数。这与强夯理论中“一定的落高、底面半径及重量的夯锤其影响深度是一定的”基本吻合^[8],说明试验结果可靠。此类RHIC设备用于桥头台背回填施工时,可以选择1.5 m填方,每点夯击12次的方案。该方案能保证较大的压实度,较大的沉降量以及较低的能耗。

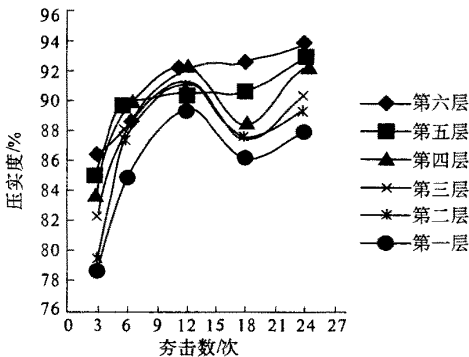


图9 夯击次数与压实度的曲线

Fig. 9 Curve of beating times and compaction degree

4 结论

(1)建立RHIC设备的动力学模型,得到其影响深度的理论公式。

(2)试验结果表明:RHIC在对1.5 m深填方土基处理时,在15次夯击时土壤总沉降量达到最大。

(3)夯击次数对压实度的影响较大。随着夯击次数的增加,深层压实度增加很快,说明RHIC设备适合深层土壤压实。

(4)夯击12次时整体压实度较高,表层压实度达95%,平均压实度可达93%,基本满足1.5 m回填夯实时施工要求,推荐以后在桥台施工时,可采用1.5 m回填夯击12次方法施工。

参考文献:

- [1] 郑健龙. 桥头台背填土加筋的竖向布网间距设计方法研究[J]. 中国公路学报. 1999, 12(增刊): 55 - 61.
- [2] 谢弘帅, 宰金璋, 刘庆华, 等. 真空降水堆载联合预压加固高速公路桥坡软基技术研究[J]. 中国公路学报. 2003, 16(2): 27 - 31.
- [3] CHEN S H, SHAHROUR I, EGGER P, et al. Elastoviscoplastic block element method and its application to arch dam abutment slopes[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering. 2002, 35(2): 171 - 193.
- [4] THILAKASIRI H S, GUNARATNE M. Investigation of impact stress induced in laboratory dynamic compaction of soft soil. Int J numer anal methods geomech, 1996, 20(10): 753 - 767.
- [5] BEMENT R A P, SELBY A R. Compaction of granular soils by uniform vibration equivalent to vibrodriving of piles [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 1997(15): 121 - 143.
- [6] 张世英, 陈元基. 筑路机械工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [7] ZOLOTAREVSKAYA D I, IVANTSOVA N N. Investigation and calculation of the stressed - strained state and compaction of viscoelastic disperse media as a result of relaxation processes[J]. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2005, 78(5): 916 - 925.
- [8] MIAO L C, GONG C, ZHEN S H. Application of dynamic compaction in highway: A case study [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2006(24): 91 - 99.

(下转第63页)

- plate[J]. Composite Structures, 2004(65):205-215.
- [5] EL-HACHA R, WIGHT R G, GREEN M F. Innovative system for prestressing fiber-reinforced polymer sheets [J]. ACI Structural Journal, 2003, 100(3):305-313.
- [6] 黄培彦, 周绪平, 赵琛. FRP 片材在土木工程中应用的几个关键力学问题[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2002, 30(11):101-105.
- [7] TRIANTAFILLOU T C, DESKOVIC N. Innovative prestressing with FRP sheets innovative prestressing with FRP sheets: mechanics of short-term behavior [J]. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 1991, 117(7):1652-1672.
- [8] 陈翠峰, 黄培彦. 碳纤维薄板增强钢筋混凝土梁的抗弯刚度分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2003, 31(增刊):10-13.
- [9] 郭馨艳, 黄培彦, 郑小红. 预应力 FRP 片材加固 RC 梁的受力分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2005, 33(7):6-10

Interfacial Shear Stresses Analysis of RC Beams Strengthened with Prestressed FRP

GUO Xin-yan, HUANG Pei-yan, YANG Yi, ZHENG Xiao-hong

(College of Traffic & Communications, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Bonding prestressed fiber reinforced polymer (FRP) plate can be used to strengthen and repair civil engineering structures effectively. Based on the theoretical analysis, this paper deduces computing formulas to discuss the distributions of shear stresses on interfacial layer between the prestressed FRP plate and concrete members of strengthened RC beams, and validates the interfacial shear stresses of the RC beams strengthened with carbon fiber laminate (CFL) by FEM. The research discusses the applied prestress value, the thickness of CFL and adhesive affecting the interfacial shear stresses.

Key words: interfacial stress; FRP plate; prestress; RC beam

(上接第 59 页)

Experimental Study on Rapid Hydraulic Impact Compaction (RHIC)

FENG Zhong-xu¹, LIU Ben-xue¹, ZHAO Kan², LIU Huai-zhi¹

(1. Key Laboratory for Highway Construction Technique and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Research Institute of Highway, Ministry of Communication, Beijing 100088, China)

Abstract: This paper puts forward a new device-RHIC adapting to the abutment compaction, and establishes the dynamic model. According to the experiment data of RHIC, it analyses the relationship between the impacting times, the value of settlement and the degree of compaction. The data indicates that the more the impacting times is, the more the total value of settlement is. The maximum settlement will be obtained after the 15th impacting is completed. However, the degree of compaction is above 95% on the surface and the average degree of compaction is above 93% after the 12th impacting is completed, and the degree of compaction can meet the challenge of the construction when the backing depth is about 1.5m. It shows that RHIC has the characteristic of the good compatibility effects and the high compaction depth.

Key words: rapid hydraulic impact roller (RHIC); backing compaction; the degree of compaction; settlement