

# 粗颗粒土混合料最大干密度及压实度研究

蔡 铭<sup>1</sup>, 岳祖润<sup>2</sup>, 叶朝良<sup>2</sup>

(1. 河北省电力勘测设计研究院, 河北 石家庄 050031; 2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

**摘要:** 通过表面振动与振动台两种方法进行粗颗粒混合料最大干密度测试, 试验结果表明: 同一种土湿土法做出的最大干密度明显要大于干土法所测的最大干密度, 表面振动仪法的振密效果要优于振动台法的振密效果。通过高速铁路路基施工现场压实后路基干密度与室内最大干密度测试结果对比, 发现既有路基施工工艺可以达到以表面振动法测试得到最大干密度的95%压实度。

**关键词:** 粗颗粒土; 最大干密度; 压实; 振动

**中图分类号:** TU411 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0103-04

## 0 引言

目前高速铁路客运专线施工中, 路基的刚度及稳定性是影响行车安全和舒适性的一个重要因素。粗粒土是指砂砾石、砂卵石、石渣、爆破开采的石料等粗颗粒土石混合料, 具有粗颗粒间粘结力小、透水性强、透水性强的性质, 具有良好的工程使用性能, 因此粗颗粒土混合料在高速铁路路堤填筑中得到广泛的应用。路基压实度是衡量路基填筑质量的重要指标, 要得出路基压实度首先必须解决填筑路基的最大干密度问题。以往针对粗粒土的最大干密度的研究方法尚不成熟, 1972年, Frost R J<sup>[1]</sup>提出了剔除超粒径的系列延伸法; 1981年, 史彦文<sup>[2]</sup>提出了相似级配系列延伸法; 1987年, 刘贞草<sup>[3]</sup>提出等量代替级配系列延伸法(等量替换法)。以上对超粒径部分进行处理的目的, 均是试图通过小粒径土石混合料推断出大粒径土石混合料的最大干密度。1973年, Stephenson<sup>[4]</sup>针对一定粒径范围内的无粘性粗颗粒土, 采用大型振动台进行最大干密度的实验研究, 但因振动台太大, 影响因素复杂, 没有取得满意的结果。1993年, 郭庆国、刘贞草<sup>[5]</sup>在五年现行粗颗粒土最大、最小干密度试验资料基础上, 根据最大干密度与粗颗粒含量、最大粒径之间的相似性, 提出了其最大干密度确定方法。国内外在粗颗粒土石混合料的最大干密度方面已经开展了相关研究并取得了一些成果, 但有关土性影响、压实机具适用性以及影响粗颗粒土混合料最大干密度值因素等问题仍需进一步深入研究。从室内试验出发, 利用相似级配法对粗粒土的最大干密度进行研究, 主要从两种试验方法(振动台和表面振动仪法)对比的角度出发, 得出推荐的最大干密度检测方法。

## 1 试验方法

首先针对现场的粗颗粒土混合料进行土粒筛分析试验<sup>[7]</sup>, 而后按照《公路土工试验规程 JTG E40—2007》<sup>[8]</sup>中的振动方法进行两种振动试验, 即表面振动仪法与振动台法。具体实验方法如下:

(1) 对现场的粗颗粒土混合料进行土粒筛分析试验, 得出各类土的级配组成。

(2) 在国内外调研和工程调查基础上, 依托工程沿线附近选择几种具有代表性的粗颗粒土混合料进行振动台和表面振动仪法试验, 并进行对比分析, 找出一种较为适合粗颗粒土混合料最大干密度的室内试验方法。

(3) 将室内的实验结果演现场结果作对比, 得出路基压实度从而验证试验方法的可行性。利用相似级配法对超粒径的粗颗粒土混合料最大干密度进行研究。

收稿日期: 2013-02-02

作者简介: 蔡铭 男 1983年出生 工程师

在室内试验基础上,通过资料整理和理论分析,明确粗颗粒土混合料的最大干密度的最佳试验方法。在实验数据以及理论分析的基础上得出明确的结论。

## 2 最大干密度试验结果与分析

### 2.1 土粒分析试验结果

对不同的粗颗粒土填料采用筛分法进行分析,不同粗颗粒混合料土样的筛分结果如图 1 所示。各类土的不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$  如表 1 所示。

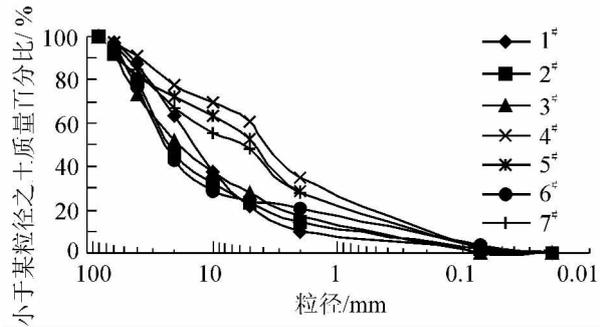


图 1 不同土样的级配曲线图

表 1 不同土样级配系数表

土样编号	不均匀系数 $C_u$	曲率系数 $C_c$	级配情况	填料分组
1#	9	1.6	良好	A 级填料
2#	30	3.2	不良	B 级填料
3#	50	2.9	良好	A 级填料
4#	27	3.2	不良	B 级填料
5#	40	3.0	良好	A 级填料
6#	94	9.8	不良	B 级填料
7#	59	2.1	良好	A 级填料

由表 1 可以看出,在 7 类土中土样 2#、4#、6# 较其他几类土级配组成较差,土样 6# 为卵石土,其他土样为碎石土。(参考文献 [7] 和文献 [8],从工程应用出发,规定:小于 5 mm 以下的颗粒称为细颗粒,大于 5 mm 的颗粒称为粗颗粒)。

### 2.2 表面振动仪法、振动台法试验结果与分析

表面振动仪法试验结果如图 2 所示,振动台法试验结果如图 3 所示。

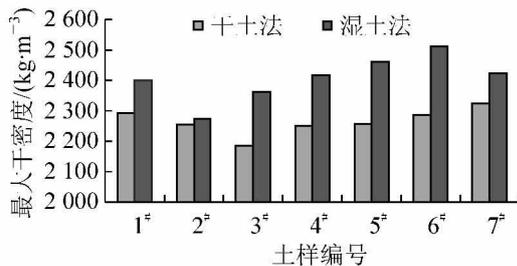


图 2 表面振动仪法最大干密度值

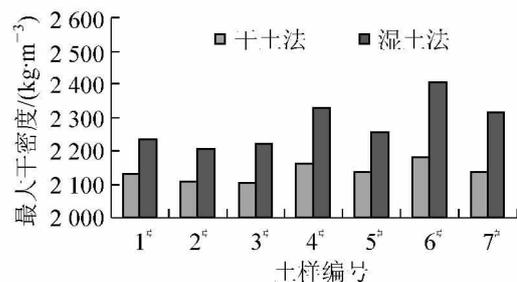


图 3 振动台法最大干密度值

在通常情况下,粗颗粒土混合料结构中粗颗粒通过土黏结在一起,其结构强度在很大程度上取决于石质骨架的强度组成因素,即混合料内摩阻力大小,而该摩阻力又决定于使之颗粒形状及其表面特性等。6# 土样为表面光滑的鹅卵石,其形状多为圆形,当开始振动时,其石块表面的摩阻力较小,因此更能够充分地被振动密实,其干密度值也较其它类土大。其他几组为碎石,因此它们相对于卵石的最大干密度较小。

另外级配相近的土样 4#、5#、7# 其最大干密度极为相近,这说明级配的组成对粗颗粒土混合料最大干密度的影响极大。对于 2#、3#、6# 三种土样而言,最大干密度值相差较大,是因为土料的质地有着根本性差异和级配组成相差较大所致,级配良好土组的最大干密度整体比级配不良土组的最大干密度大。

同时也可以看出,针对同一种土加水后湿土法做出的最大干密度明显要大于干土法所测的最大干密度。这是由于水的介入起到了一定的润滑作用,使得土粒之间的摩阻力减小,定向运动更为容易,因而使得粗颗粒土混合料振动得更加密实。另外,水的介入也起到了一定的填充作用,粗颗粒土中的空隙得到了充分地填充从而更加密实,所以湿土法测得的干密度明显大于干土法所测得的干密度。

图 4 为干土法下振动台法和表面振动仪法所得出的各种土样最大干密度的对比结果,图 5 为湿土法

下振动台法和表面振动仪法所得出的各种土样最大干密度的对比结果。由图 4 和图 5 可以看出同一种粗颗粒土混合料在相同的条件下,表面振动仪法的压实效果要优于振动台法的压实效果。这说明表面振动仪法要略微优于振动台法,即表面振动(振动自上而下传递)要优于底部振动(振动自下而上传递),但是这两种方法得到的最大干密度基本相同。然而表面振动仪法更加便于操作,并且振动机理与现场压实较为相似,因此在针对粗颗粒土混合料做最大干密度振动试验时,推荐使用表面振动仪法。

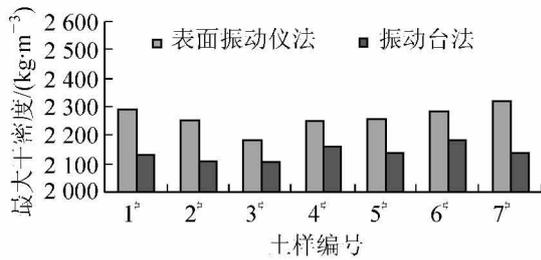


图 4 两种振动方法结果对比图(干土法)

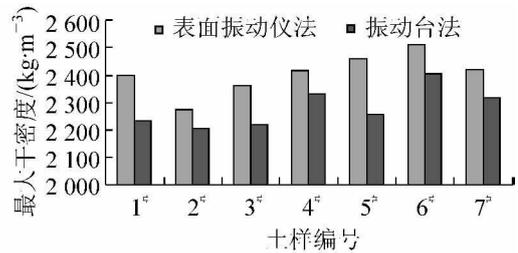


图 5 两种振动方法结果对比图(湿土法)

### 3 颗粒土混合填料路基压实度

针对现场所测最大干密度与实验室内所测最大干密度进行对比,分析其压实度。为了保证级配等因素相同而使得压实度值更有说服力,室内试验将按照现场所给土样级配组成配制土样级配进行试验,从而得到粗颗粒土混合填料路基的压实度<sup>[6]</sup>。

从京石客专正定段施工路基选取 10 个点进行土粒分析试验以及密度试验,其筛分如图 6 所示。

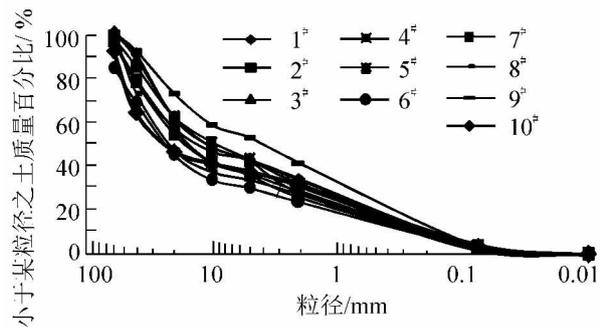


图 6 现场所取 10 个点的级配曲线

表 2 为现场试验所得密度值与室内所得粗颗粒土混合料最大干密度结果对比。

表 2 试验结果对比

编号	现场密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	室内密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	压实度/ %	编号	现场密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	室内密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	压实度/ %
1	2 402	2 471	97.1	6	2 251	2 338	96.1
2	2 432	2 482	97.9	7	2 316	2 364	97.8
3	2 385	2 333	100.1	8	2 345	2 400	97.5
4	2 295	2 385	95.8	9	2 332	2 387	97.4
5	2 434	2 446	99.2	10	2 370	2 434	97.5

通过现场和室内所对应得到的压实度值可以看出,路基压实度都在 95% 以上,3 点室内试验之所以小于现场所得,经分析是由于实验误差导致级配不一致或者现场振动能量大于实验室振动能量引起此种情况。由此可见,表面振动仪法所确定的最大干密度值可以满足实际的施工要求,压实度能够达到依照此法所得最大干密度的 95% 以上时,路基即可满足  $K_{30}$  与  $E_{vd}$  检测。此方法为一种较为理想的粗颗粒土混合料最大干密度确定方法。

### 4 结论

通过室内两种方法试验与现场测试,得出以下主要结论:

(1) 级配良好土组的最大干密度整体比级配不良土组的最大干密度大;同一种土湿土法做出的最大干密度明显要大于干土法所测的最大干密度。

(2) 表面振动仪法的压实效果要优于振动台法的压实效果,针对粗颗粒土混合料做最大干密度振动试验时,推荐使用表面振动仪法。

(3) 既有压实工法可达到以表面振动法所得最大干密度的 95% 压实度,并能满足  $K_{30}$  与  $E_{vd}$  测试标准。表面振动法提供的最大干密度是有效的,施工过程中可以采用此法所得最大干密度来控制路基压实质量。

## 参 考 文 献

- [1] Frost R J. Some testing experiences and characteristics of boulders gravel fill in earth dam [J]. ASTM STP523, 1973: 142-145.  
 [2] 史彦文. 大粒径砂卵石最大密度的研究 [J]. 土木工程学报, 1981(2): 32-34.  
 [3] 刘贞草. 大粒径粗颗粒材料相对密度实验研究 [J]. 土石坝工程, 1987(2): 33-37.  
 [4] Stephenson R J. Relative density tests on rock fill at carter dam [J]. ASTM, 1973 9: 46-49.  
 [5] 郭庆国, 刘贞草. 超粒径粗颗粒土最大干密度的近似测定方法 [J]. 水利学报, 1993(10): 11-13.  
 [6] 周志军. 土石混填路基压实质量控制方法的研究 [D]. 西安: 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室, 2006.  
 [7] 铁道部科学研究院. TB10102—2004 铁路土工试验规程 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.  
 [8] 交通部科学研究院. JTG E40—2007 公路土工试验规程 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.

## Research on Maximum Dry Density and Compaction of Coarse Soil Mixture

Cai Ming<sup>1</sup>, Yue Zurun<sup>2</sup>, Ye Chaoliang<sup>2</sup>

(1. Hebei Electric Power Design & Research Institute, Shijiazhuang 050031, China;

2. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** The maximum dry density was tested by the surface vibration machine and vibration table, and it was indicated that the maximum dry density of coarse grained soil mixture which was obtained by wet method was larger than that obtained by dry method. In addition, the surface vibration's result was better than that from the vibration table. The construction technology could accomplish 95% compaction which was calculated based on the maximum dry density by surface vibration in the high speed railway construction.

**Key words:** coarse grained soil; maximum dry density; compaction; vibration

(责任编辑 车轩玉)



(上接第 93 页)

## Crack Growth Simulation in Concrete Beam Based on Extended Isoparametric Finite Element Method Under Quadrature Without Sub-area

Chang Jianmei, Feng Huaiping

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** Aiming at the drawback of FEM in modeling crack, an extended finite element method for modeling the fracture of a concrete beam is studied. Unified enrichment function is adopted in the approximation of discontinuous field, in which mixing element is avoided and the enrichment freedom has specific significance. A simple integration scheme is used for numerical quadrature of discontinuous zones. This scheme can reduce the complication with acceptable accuracy. At last, based on isoparametric element, crack growth in a concrete beam under displacement loading is simulated. The results agree well with those obtained from other methods. This scheme guarantees accuracy and convergence and simplifies procedure.

**Key words:** isoparametric element; extended finite element method; concrete beam; crack growth

(责任编辑 刘宪福)