

粗粒料相对密度室内与现场试验对比分析

孙卫江¹, 冯卉², 吴远鹏², 柴龙胜², 李亚运²

(1. 新疆生产建设兵团水利水电工程集团有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830002;

2. 新疆兴农建筑材料检测有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 粗粒料最大干密度是在原型级配料基础上经过缩尺后得到的控制指标, 存在明显的缩尺效应。为研究粗粒料相对密度室内与现场试验的差异, 针对相同坝料, 采用等量替代法, 进行了缩尺室内试验与现场碾压试验的对比。试验结果表明: 现场碾压试验过程中, 由于坝料颗粒粒径更大, 易于压实, 且压实机械、压实能量等方面与室内试验存在差异, 现场碾压试验得到的最大干密度更大, 现场碾压试验得到的最大干密度为 2.35 g/cm^3 , 室内试验得到的最大干密度为 2.31 g/cm^3 , 小于现场碾压试验 0.04 g/cm^3 ; 现场试验最大干密度峰值对应的 P_5 含量为 80%, 室内试验最大干密度峰值对应的 P_5 含量为 70%, 随着粗粒料粒径的增加, 最大干密度峰值对应的 P_5 含量有所增加。

关键词: 粗粒料; 相对密度; 现场试验; 缩尺效应; 室内试验

中图分类号: TV42⁺2; TV641

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)02-0225-04

Analysis of relative density of coarse-grained material in laboratory and field test

SUN Weijiang¹, FENG Hui², WU Yuanpeng², CHAI Longsheng², LI Yayun²

(1. Xinjiang Production and Construction Corps of Water Resources and Hydropower Engineering Group Co., Ltd., Urumqi 830002, China; 2. Xinjiang Sinon Chemical Building Materials Testing Co., Ltd., Urumqi 830052, China)

Abstract: The maximum density of coarse-grained material is the control index obtained after the scale of the prototype on the basis of the ingredients. There are obvious scale effects. In order to study the difference of relative density between the laboratory and field test of coarse-grained dams, the comparison between the laboratory test and field test was carried out for the same dam material using the equivalent replacement method, and the results indicated that in the process of rolling test, because the dam material particle size is bigger and easier to compact, and the compaction machinery, compaction energy and other aspects are different from laboratory tests, the maximum dry density obtained from field compaction test is bigger, whose maximum dry density was 2.35 g/cm^3 , and the maximum dry density was 2.31 g/cm^3 for the laboratory test, which was 0.04 g/cm^3 higher than that of field compaction test. The P_5 content corresponding to the peak value of the maximum dry density in the field test was 80% and the P_5 content corresponding to the peak value of the maximum dry density in the laboratory test was 70%. With the increase of the coarse aggregate size, the P_5 content corresponding to the peak value of the maximum dry density increased.

Key words: coarse-grained materials; relative density; field test; scale effect; laboratory test

1 研究背景

随着施工机械的快速发展, 现场施工条件的快速改进, 坝体填筑料的最大粒径也在不断增大。而室内相对密度的试验方法由于实验仪器的限制, 无

法对原型级配土石料进行相对密度的测定, 需进行一定的缩尺处理。然而, 进行缩尺试验后, 室内试验结果与现场施工质量控制之间存在一定差距^[1-5]。如果以室内试验结果为控制指标, 常常出现相对密度大于 1 的情况^[6-7]。

收稿日期: 2017-07-30; 修回日期: 2017-10-02

作者简介: 孙卫江(1966-), 男, 河南商丘人, 高级工程师, 主要从事水利水电工程施工工作。

已有针对超粒径粗粒土最大干密度的研究提出了一些确定方法。张少宏等^[8]提出采用分段法来确定粗粒土最大干密度。郭庆国等^[9]提出了基于室内最大干密度、最小干密度实测结果及现场实测最小干密度结果确定现场最大干密度的方法。史彦文^[10]利用模型相似理论探讨了砂砾料最大密度与级配模数之间的规律。何建新等^[11]通过试验研究,得出了 ρ_d 与 $\lg d_{\max}$ 之间近似于线性关系,从而可由室内试验结果推求现场试验结果。田树玉等^[12-13]提出了一种采用渐近线辅助确定大粒径骨料最大干密度的方法,克服了已有方法中外差值偏差较大的缺点。但由于粗粒土级配、颗粒大小、形状以及岩石本身的特性变化较大,因此,上述方法并不具有普适性。向尚君等^[14]采用数理分析的方法得出了粗粒料最大干密度、最小干密度与砾石质量分数的关系,同时,也提出所得结论仅适用于当前工程。因此,在施工过程中,仍应该以现场碾压试验结果为主要参考指标,结合室内试验结果,对现场施工质量进行更为有效的控制。

2 试验用料及方法

室内试验:室内试验所用粗粒料为原级配粗粒料将 60 mm 以上超径剔除后得到,采用等量替代法,将超径料进行替换,参照《土工试验规程》^[15]按照振动台法进行相对密度试验。

现场试验:现场试验用料为原级配粗粒料,原级配粗粒料最大粒径为 500 mm, P_5 含量控制在 60%~90% 进行试验,现场相对密度试验筒选择 Q235B 厚度 14 mm 的钢板加工制作,直径为 2 000 mm,高度为 800 mm。过筛出砾石 P_5 (5 mm 以上),按含量 60%、70%、80%、90% 用砂掺配拌制均匀,采用人工虚填法装入现场试验筒,得到现场试验最小干密度。采用 25 t 振动碾以碾压 20 遍时的压实干密度作为最大干密度。现场试验及室内试验的级配曲线如图 1 所示。

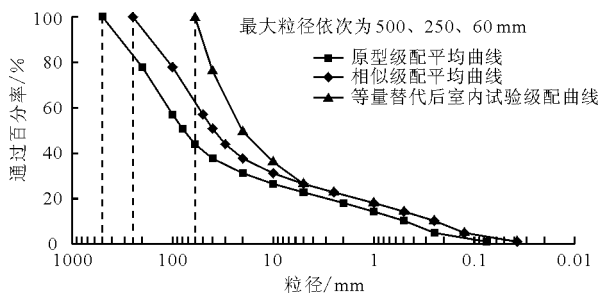


图1 试样级配曲线

3 结果对比与分析

3.1 试验结果

室内相对密度试验结果如图 2 所示。随着 P_5 含量的不断增加,最大干密度不断增大,当 P_5 含量为 70% 时,最大干密度达到最大值,为 2.31 g/cm^3 ,之后随着 P_5 含量的增加,最大干密度数值开始减小。最小干密度数值与最大干密度呈现一致的规律,当 P_5 含量为 70% 时,最小干密度达到最大值,为 1.99 g/cm^3 。

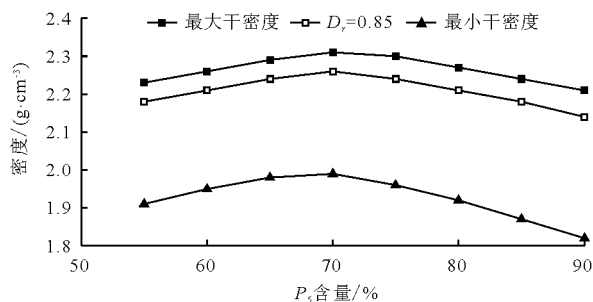


图2 室内相对密度试验结果

现场相对密度试验结果如图 3 所示。随着 P_5 含量的增加,最大干密度不断增大,与室内试验结果不同的是,现场试验结果中 P_5 含量为 80% 时,最大干密度达到最大值,为 2.35 g/cm^3 。最小干密度也是在 P_5 含量为 80% 时达到最大值,最小干密度最大值为 2.04 g/cm^3 。现场试验中骨料最大粒径可达到 400 mm 甚至 500 mm,室内试验骨料的最大粒径仅为 60 mm,随着最大粒径的增大,最大干密度最大值对应的 P_5 含量也在不断增大。表明骨料的最大粒径对 P_5 含量最优值存在一定的影响。随着骨料粒径的增大,试样中的孔隙体积减小,所需要填充孔隙的细料含量就越少, P_5 最优含量也就增大。

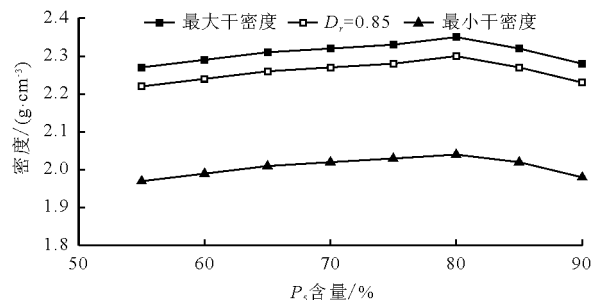


图3 现场相对密度试验结果

3.2 已有最大干密度确定方法的探讨

依据参考文献[4]中确定超径粗粒土最大干密度的计算方法,通过实测模型级配料的最大干密度、

最小干密度和原型级配料的最小干密度,从而获得原型级配料的最大干密度。针对本试验的试验数据,采用上述方法对试验结果进行校核,校核结果如表 1 所示。室内试验实测最大干密度与最小干密度的差值随着 P_5 含量的增加呈增大趋势,并没有维持在一个定值。通过上述方法得到推求现场最大干密度的数值比实测现场最大干密度数值更大,最小值高出 0.01,最大值高出 0.09,平均值高出 0.04 左右。同样,按照规范中控制相对密度在 0.85 时的现场碾压密度也就更高。以现场推求结果为控制指标,以推求结果 $D_r = 0.85$ 干密度为碾压密度,对应

的现场实测最大干密度计算得到的相对密度均高出 0.85, P_5 含量不高于 70% 时,试验结果差距较小,影响不大。 P_5 含量达到 75% 以后,影响越来越明显,当 P_5 含量达到 90% 时,相对密度数值最大值为 1.06。试验结果不够理想。上述超粒径最大干密度的推求方法具有一定借鉴意义,但不是所有的工况都能适用,且同一试验条件下,也存在一定的差距。因此,现场超径骨料的最大干密度的确定方法仍应以现场实测试验结果为依据,结合已有研究的最大干密度推求方法来确定现场最大干密度,且应加强质量控制监测,确保工程质量得到保证。

表 1 试验结果与修正方法对比

项目	P_5 含量/%							
	55	60	65	70	75	80	85	90
室内最大干密度	2.23	2.26	2.29	2.31	2.30	2.27	2.24	2.21
室内最小干密度	1.92	1.85	1.98	1.99	1.96	1.92	1.87	1.82
$\Delta\rho_d$	0.31	0.31	0.31	0.32	0.34	0.35	0.37	0.39
现场最小干密度	1.97	1.99	2.01	2.02	2.03	2.04	2.02	1.98
推求最大干密度	2.28	2.30	2.32	2.34	2.37	2.39	2.39	2.37
现场最大干密度	2.27	2.29	2.31	2.32	2.33	2.35	2.32	2.28
误差绝对值	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.07	0.09
现场结果 $D_r = 0.85$ 干密度	2.22	2.24	2.26	2.27	2.28	2.30	2.27	2.23
推求结果 $D_r = 0.85$ 干密度	2.23	2.25	2.27	2.29	2.31	2.33	2.32	2.30
D'_r	0.88	0.88	0.88	0.91	0.94	0.94	1.02	1.06

注: $\Delta\rho_d$ 为室内试验实测最大干密度与最小干密度的差值; D'_r 为以推求最大干密度控制的 $D_r = 0.85$ 时的干密度对应现场实测最大干密度计算的相对密度。

已有研究的现场超径最大干密度的确定方法有一定的借鉴价值,但在现场施工质量控制中,不能盲目套用,还应该以现场实测结果为依据,进行适当调整。同时应该加强现场施工的质量控制监测,应该做到时时监测、处处监测。

上述方法均应以现场实测结果作为坝体碾压控制的指标更为适当、合理。笔者基于自身工程经历,构思出一种采用室内试验结果为控制指标的方法。即以室内模型级配实测结果为控制指标,在进行原位密度实验时,无论采用灌砂法还是灌水法,将挖出的粗粒料粒径高于室内试验用料粒径的剔除,称量剔除料的质量,通过实测粗粒料的表观密度,进而可以求得剔除料的体积,分别用挖出的粗粒料的总质量减去剔除料的质量,总体积减去剔除料的体积,可获得粒径与室内试验粒径等同的粗粒料的质量和体积,继续计算出密度,再以室内试验结果为控制指

标,计算出对应的相对密度。例如:以本次试验为例,对应 P_5 含量为 70% 时,室内试验结果最大干密度数值为 2.31 g/cm^3 ,最小干密度数值为 1.99 g/cm^3 ,现场试验以直径 200 cm、高度 80 cm 圆环挖坑,总体积为 $2.512 \times 10^6 \text{ cm}^3$,总质量为 5 840 kg,剔除超径粗粒料 1 000 kg,超径粗粒料的颗粒比重为 2.70 g/cm^3 ,则剔除粗粒料的体积为 $3.704 \times 10^5 \text{ cm}^3$,剩余与室内试验粒径相同粗粒料的质量和体积分别为 4 840 kg 和 $2.141 \times 10^6 \text{ cm}^3$,则剩余粗粒料的碾压密度为 2.26 g/cm^3 ,计算得到 D_r 为 0.85,与试验结果相对应。但该方法的有效性和实用性目前还没有得到试验的验证,有待于以后进一步研究。

4 结 论

(1) 相同条件下,粗粒料的最大干密度数值随着 P_5 含量的增加不断增大,室内试验最大相对密度

峰值对应的 P_5 含量为 70%, 而现场试验最大干密度峰值对应的 P_5 含量为 80%, 随着粗粒料粒径的增大, 最优 P_5 含量不断增大。

(2) 根据室内模型级配料的干密度、最小干密度和现场实测最小干密度来推求现场原型级配料最大干密度的方法有一定的借鉴意义, 但并不具有普适性, 施工质量的控制指标还应该以现场碾压试验结果为依据, 并加强施工期间的施工质量控制管理。

参考文献:

- [1] 翁厚洋, 朱俊高, 余挺, 等. 粗粒料缩尺效应研究现状与趋势[J]. 南京: 河海大学学报, 2009, 37(4): 425 - 429.
- [2] 杨建明, 刘录录, 杨海华. 白杨镇水库混凝土面板坝坝料碾压试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(4): 237 - 240.
- [3] 吕立新, 焦恩东. 土石坝坝体填筑料料场选择、试验与施工[J]. 吉林水利, 2008(12): 42 - 46.
- [4] 徐拥军. 浅谈碾压式土石坝填筑常见问题的预防处理措施[J]. 建筑与工程, 2011(17): 303.
- [5] 谢定松, 蔡红, 魏迎奇, 等. 粗粒土渗透试验缩尺原则与方法探讨[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(2): 369 - 373.
- [6] 朱晟. 粗粒筑坝材料现场压实质量的控制标准研究[J]. 水力发电, 2011, 37(12): 22 - 26 + 30.
- [7] 朱晟, 王永明, 翁厚洋. 粗粒筑坝材料密实度的缩尺效应研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(2): 348 - 357.
- [8] 张少宏, 康顺祥, 骆亚生. 分段法确定无黏性超粒径粗粒土最大干密度[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(3): 51 - 53.
- [9] 郭庆国, 刘贞草. 超粒径粗粒土最大干密度的近似测定方法[J]. 水利学报, 1993(10): 70 - 78.
- [10] 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): 53 - 58.
- [11] 何建新, 刘亮, 张敬东. 超粒径粗粒土现场干密度确定方法[J]. 人民黄河, 2012, 34(2): 121 - 122 + 125.
- [12] 田树玉. 用渐近线辅助拟合法确定大粒径砂卵石最大干容重[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(1): 35 - 43.
- [13] 田树玉, 史彦文. 测定粗粒料最大密度之 HUMPHREY 公式的校正[J]. 水力发电学报, 1994(1): 28 - 34.
- [14] 向尚君, 赵兴安, 邱焱兴, 等. 旁多水利枢纽砂砾石坝壳料现场碾压质量控制曲线[J]. 水利水电科技进步, 2011, 31(3): 92 - 94.
- [15] 中华人民共和国水利部. SL237 - 1999 土工试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [2] 沈振中, 邱莉婷, 周华雷. 深厚覆盖层上土石坝防渗技术研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(5): 27 - 35.
- [3] 许强, 陈伟, 张倬元. 对我国西南地区河谷深厚覆盖层成因机理的新认识[J]. 地球科学进展, 2008, 23(5): 448 - 456.
- [4] 白勇, 柴军瑞, 曹镜英, 等. 深厚覆盖层地基渗流场数值分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(S1): 90 - 94.
- [5] 王正成, 毛海涛, 姜海波, 等. 基于流固耦合的坝基中弱透水层对渗流的影响分析[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2017, 32(3): 316 - 324.
- [6] 李铎, 白云, 魏爱华. 基于三维渗流模拟的坝基渗漏和渗透稳定分析——以哇沿水库为例[J]. 水文, 2016, 36(5): 46 - 49 + 78.
- [7] ATHANI S S, SHIVAMANTH, SOLANKI C H, et al. Seepage and stability analyses of earth dam using finite element method[J]. Aquatic Procedia. 2015, 4: 876 - 883.
- [8] 任杰, 沈振中, 王谊, 等. 哈达山水利枢纽右岸三维渗流场特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 89 - 94.
- [9] 任杰, 沈振中, 王谊, 等. 哈达山水利枢纽右岸渗流控制优化方案研究[J]. 水力发电, 2010, 36(8): 28 - 30 + 89.
- [10] 谢兴华, 王国庆. 深厚覆盖层坝基防渗墙深度研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(9): 2708 - 2712.
- [11] 吕海东, 王瑞骏, 李章浩, 等. 深厚砂层坝肩绕坝渗流规律及防渗方案研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(12): 215 - 220.
- [12] 耿计计, 王瑞骏, 赵一新. 土石坝绕坝渗流分析方法及防渗措施研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5): 77 - 81.
- [13] 岑威钧, 和浩楠, 李邓军. 土工膜缺陷对土石坝渗流特性的影响及控制措施[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(3): 61 - 65 + 71.
- [14] 王卓然, 武雄. 周边采煤活动对岳城水库库区大坝和坝基的渗流影响研究[J]. 地学前缘, 2018, 25(1): 276 - 285.
- [15] 温立峰, 范亦农, 柴军瑞, 等. 深厚覆盖层地基渗流控制措施效果数值分析[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(1): 127 - 132.
- [16] 黄梅琼, 柴军瑞, 白勇, 等. 深覆盖层地基防渗措施对渗流场影响数值分析[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(10): 126 - 128.
- [17] 毛海涛, 何华祥, 邵东国. 无限深透水坝基上悬挂式防渗墙控渗试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2014(4): 44 - 51.
- [18] 哈丽木热木·阿布都热西提, 侍克斌, 李玉建. 非均质无限深透水地基上土石坝微透水防渗墙的有限元渗流计算[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(6): 88 - 91.

(上接第 224 页)