

巨粒混合土的压实标准研究

朱崇辉, 严宝文, 刘俊民

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院 陕西 杨凌 712100)

摘要 受试验动力条件的限制,目前还无法直接对巨粒混合土进行最大干密度试验研究,如何选用巨粒混合土的压实标准,对其进行施工质量控制,是目前岩土工程界亟待解决的试验和施工质量控制难题。为了寻求巨粒混合土的合理压实标准,采用剔出巨粒组土料,对剩余细料进行相对密度试验和现场检测的方法,得出以细料最大干密度控制压实程度是合理的结论。对密度检测中遇到的巨粒组料参与检测而与试验标准不相符的问题,提出了合理的处理措施。经检验,该方法具有较强的合理性和可操作性。

关键词 巨粒混合土;延伸法;最大干密度;剔除法

中图分类号: TU411.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2007)S2-0089-03

巨粒混合土是指土中巨粒组含量介于 15% ~ 50% 之间的粗颗粒土^[1]。随着水利水电工程设计能力、施工技术和材料试验水平的不断提高,巨粒混合土已成为土石坝工程的主要建筑材料。巨粒混合土中,巨粒组颗粒的下限为 60 mm,上限则并未限制,目前实际工程中所用到的巨粒混合土最大粒径达到 1000 mm 左右,例如:碧口土石坝堆石料最大粒径达 1000 mm;小浪底斜心墙堆石坝堆石料最大粒径达 1000 mm;石头河土石坝坝体砂卵石料最大粒径达 1000 mm;黑河大坝坝壳料最大粒径达 800 mm;克孜尔土石坝上坝砂卵石的最大粒径达 300 mm^[2],且大于 60 mm 的巨粒组含量大都超过了 15%,属于巨粒混合土的范畴。由于巨粒混合土与粗粒土和细粒土相比,存在较大的不均匀性特点,尤其是巨粒组的颗粒直径较大,受试验动力条件的限制,目前还无法直接对巨粒混合土进行最大干密度试验研究,如何选用巨粒混合土的压实标准,并对其施工质量控制,是目前岩土工程界亟待解决的一个试验和施工质量控制难题。

1 国内外研究现状

由于巨粒混合土的最大干密度测定在理论上滞后,目前对巨粒混合土的处理方法研究者主要从两个方向着手进行着试验研究。一个方向是通过加大

仪器,使可测定的土最大粒径增大到部分巨粒混合土最大粒径的范围,但由于土的体积与颗粒半径成立方关系,当可测定土的最大粒径增大 1 倍时,试验用土质量会以数量级的速度增加,受振动的动力条件限制,可研究的最大粒径范围会受到制约,使得该方向的研究受到试验条件限制而难以进行,如 Stephenson 就进行过采用大型振动台的试验研究,但并未取得满意的结果^[2]。另一个方向是采用现有试验条件,通过测定粗粒土最大干密度与粒径的相关变化规律,外推巨粒混合土料的最大干密度。如 1981 年史彦文^[3]提出了相似级配系列延伸法;1987 年刘贞草^[4]提出等量代替级配系列延伸法;1992 年田树玉^[5]提出了渐近线辅助拟合法;1993 年郭庆国等^[6]提出了三点近似测定法。上述各方法可归结为两类,一类为直接法,另一类为间接法。间接法中,前 4 种方法尽管各采用的模型级配、方法和延伸规律不同,但都是以小粒径系列模型资料,按某种规律延伸出原级配巨粒混合土的最大干密度,可统称为系列延伸法。郭庆国等的三点近似测定方法是根据粗粒粒径增大,粗料质量百分含量会增加的原理,由粗料含量的变化对最大干密度的影响规律,延伸出巨粒混合土的最大干密度。上述各方法都是以直接或间接测定原级配料最大干密度为目的,又可称之为原级配测定法。由于直接法的研究受到试验条件

基金项目 陕西省自然科学基金研究项目(2005D06)

作者简介 朱崇辉(1971—),男,四川资阳人,工程师,硕士,从事岩土工程教学与研究。E-mail: zcha008@sina.com

和手段的限制,研究者少有再从该方向进行研究的,间接法成为了研究的主流。

2 系列延伸法的缺陷分析

在工程中由于缺少压实标准,很难对巨粒混合土的施工质量进行定量控制,基本依靠经验进行施工。以室内测定的最大干密度和最小干密度,用相对压实度作为压实标准,在土石坝的反滤料、过渡料和砂砾石等狭义粗粒土的填筑中应用较多,而在堆石料、超大粒径坝体填筑料的填筑中并未得到使用。主要因为堆石料大都属于巨粒混合土,粒径超大严重,巨粒组颗粒含量较高,目前尚无成熟的作为规范标准的测定其最大干密度的合理方法,故多用经验或依靠现场碾压试验确定压实标准。经验有时会产生较大误差,在前期可行性研究阶段或设计阶段往往不可行,另外并非所有工程都具有碾压试验所需的条件,故还需在理论上与实践上另寻出路。

在系列延伸法试验方法中,无论使用何种具体试验方法,首先应满足下列3个基本要求:一是试验方法应当有合理的理论支撑,即按某种规律的外推符合实际;二是测定结果与实际应当相符;三是能指导工程建设的实践,质量控制具有可行性和可操作性。前面所提到的各种系列延伸法均存在一个共同特点,即寻找目前室内试验可以测定的粒径范围内的最大干密度与粒径大小相关性规律,并将此规律延伸至巨粒混合土范围,推算出原巨粒混合土的最大干密度。但基本未考虑对其进行施工控制的可行性和可操作性,测定结果的实际代表性存在以下缺陷。

a. 由于巨粒混合土超粒径料的含量和颗粒直径很大,以室内极小范围内的试验资料规律推算原级配料最大干密度的系列延伸法,本身的可靠性是存在问题的。因为超径粗粒料的最大干密度与级配模数(超粒径土的最大粒径/试验部分土的最大粒径,即 d_H/d_m)并非都呈现出单对数线性关系,或者线性关系,有的是驼峰型、二次型或其他类型,粒径相差越大非线性关系越突出,级配模数越大外推误差越大,可见系列延伸法用于超大粒径巨粒混合土在理论上不够完善,其误差限度很难估计。

b. 试验测定过程中,无论那种系列延伸法都必须先知道原料级配的组成情况,而原级配的组成情况由于巨粒组的存在是异常复杂的,要想取得一组有代表性的土样几乎是不可能的。因为巨粒混合土组成本身具有极大的不均匀性特点,土样要具有代表性必须取到最大料,对于最大粒径达 1 000 mm 的堆石料,单个最大粒径料初步估计其质量可达 2 t 以上,再加上其他相对较小粒径的土石料,一组

原级配料的筛分试验用料将达到 10 t 甚至更高,试验难度可想而知。实际上巨粒混合土原级配颗粒分曲线超粒径部分含量大都是估计值。

c. 即便是通过努力获得了原级配料的级配曲线,并通过文中所列的各种延伸法,推算出原级配料的_{最大干密度},但要以此为依据对施工质量进行控制难度也是非常大的。因为要对填筑质量以原级配最大干密度进行质量控制,必须通过干密度检测进行衡量,检测过程同样会受取代表性土料取料过大问题的困扰而不具可行性,如此大量土体含水量的测定也存在困难。

d. 由于巨粒混合土其本身存在极大的不均匀性特点,填筑时,巨粒组颗粒所占据的空间内,密度较大,数值上等于其相对体积质量,可达 $2.6 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$,而其间细料部分密度会相对较小,可能小于 2.0 g/cm^3 ,差距是明显的,不像细粒土在较小的一个微小单元内密度可达到均匀。原级配土料的最大干密度,实际代表的是较大体积范围内土体的平均最大干密度。由于巨粒混合土密度上的不均匀性和离散性特点,整体代表性对巨粒混合土不太适用,应当考虑局部代表性问题。故以原级配料的最大干密度对巨粒混合土进行质量控制,在理论上是存在缺陷的,在实践上也存在较大的难度,应当换位思考。

3 本文观点与试验检验

当然,巨粒混合土的压实也不是不可衡量和控制的,但如何进行控制,以什么标准进行控制,为了寻求巨粒混合土的合理压实标准,本文采用剔出巨粒组土料,对剩余细料进行相对密度试验和现场检测的方法,得出以细料最大干密度控制压实程度是合理的结论。对密度检测中遇到的巨粒组料参与检测而与试验标准不相符的问题,提出了合理的处理措施。

经过分析发现,对于在坝壳料中使用的巨粒混合土存在一个显著的特点,即级配极不均匀,往往曲率系数不满足级配良好的要求,中间粒径较少,曲率系数大都不在 $1 < C_c < 3$ 的良好级配范围,而实际上也需要其级配不良,满足排水性要求。巨粒混合土在压实前,细料(相对于巨粒组较细的粗粒组料和细粒组料)处于一种疏松状态,压实过程中,巨粒组料作为骨料通过机械振动力对细料的挤压使细料朝向最紧密状态移动,细料逐渐被压实,当细料被压实后,整个土体处于一种细粒组料包裹粗粒组料、粗粒组料包裹巨粒料的密实状态。巨粒组料颗粒粗大,其所占空间密度并不发生变化,压实过程实际是细料从疏松到密实的变化过程,巨粒组料只是起到骨

架移动并传递压力而使细料压密的作用。故当细料被压实后,土体在整体上已经完全处于密实状态。由此可通过测定细料的压实情况对整体压实情况作出综合判断,而不必测定巨粒混合土全级配料的相对密实度。事实上,巨粒混合土本身存在不均匀性,在全料压实到最密实的情况下,各部分土的干密度存在较大的不均匀性,细料与粗料从相对密度上看都处于密实状态,但干密度差距是明显的。由于检测粒径范围的缩小,在控制标准上,可通过目前室内试验手段,使用粗粒料最大干密度的试验方法进行压实标准的测定。取代表性土样,将其中的巨粒组土料剔出,对余下的土料进行相对密度试验,由设计相对压实度大小,可计算出施工中细料最小干密度,试验步骤和计算过程在各类土工试验规范中都有详细说明,此处不再赘述。施工质量控制中的检测环节是关键,从前面的分析中知道,当细料被压实后,整个土体是完全处于密实状态的,检测时就只需检测细料的干密度情况,而不必考虑巨粒组干密度,检测选点时对巨粒组料选择避让的方法,选择细料多而巨粒组料少的点进行检测。检测过程中由于应尽量取试验范围内的全级配料,会不可避免地取到大于60 mm的巨粒组料,建议用以下方法处理:检测时将所取土样的少量巨粒组料剔除,剔除部分的体积按剔除部分的质量除以相对密度值大小的密度计算扣除。细料部分的干密度按式(1)计算。

$$\rho_d = \frac{m_1 - m_2}{\left(V - \frac{m_3}{G_s} \right) (1 + w)} \quad (1)$$

式中: ρ_d 为检测土样中细料的干密度, g/cm^3 ; m_1 为含部分巨粒组检测样总湿土质量, g ; m_2 为含部分巨粒组检测样中超粒径土的湿土质量, g ; m_3 为含部分巨粒组检测样中超粒径土的干土质量, g ; V 为检测试样总体积, cm^3 ; G_s 为含部分巨粒组检测样中巨粒组料的相对密度; w 为检测样中细料的平均含水量。

表1 杨凌河滨路路基巨粒混合土干密度检测结果

序号	m_1/g	m_2/g	$m_h/\%$	$w/\%$	V_z/cm^3	V_1/cm^3	m_s/g	V_s/cm^3	$\rho_w(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$\rho_d(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$
1	70 004	14 980	21.4	2.1	29 478.0	5 568.8	55 024	23 909.0	2.30	2.25
2	66 100	12 890	19.5	2.2	27 798.8	4 791.8	53 210	23 007.2	2.31	2.26
3	72 076	12 398	17.2	1.5	30 579.0	4 608.9	59 678	25 970.4	2.30	2.26
4	64 090	11 856	18.5	1.3	27 253.6	4 407.4	52 234	22 845.8	2.29	2.26
5	76 304	20 144	26.4	1.7	31 804.2	7 488.5	56 160	24 315.8	2.31	2.27
6	62 472	13 932	22.3	1.6	26 272.2	5 179.2	48 540	21 093.2	2.30	2.26
7	82 424	19 616	23.8	1.3	34 581.8	7 292.2	62 808	27 289.2	2.30	2.27
8	85 072	17 610	20.7	1.5	35 981.8	6 546.5	67 462	29 435.4	2.29	2.26
9	70 096	17 944	25.6	1.1	29 445.2	6 670.6	52 152	22 774.4	2.29	2.27

注: m_1 为试样总湿土质量; m_2 为试样中巨粒组湿土质量; m_h 为巨粒组质量百分含量; w 为试样中细料的平均含水量; V_z 为试样总体积; V_1 为试样中巨粒组的计算体积; m_s 为剔除巨粒组后试样质量; V_s 为剔除巨粒组后试样体积; ρ_w 为试样细料湿密度; ρ_d 为试样细料干密度。

(下转第 137 页)

该计算法从理论上看是合理的,因为巨粒混合土在填筑时,其所占体积与颗粒本身的体积相同,故其密度在数值上等于其相对密度。

在理论分析的基础上,结合杨凌河滨路路基巨粒混合土的实际施工进行了试验和检测验证。杨凌河滨路路基填筑土料巨粒组含量在30%~40%左右,室内相对密度试验取小于60 mm代表样进行,试验方法和过程严格按照中华人民共和国行业标准SL237—1999《土工试验规程》^[1]进行。室内试验测得最大干密度为2.38 g/cm^3 ,最小干密度为1.92 g/cm^3 ,按相对压实度大于0.75的设计要求计算的填筑干密度为不小于2.25 g/cm^3 。现场碾压试验采用15 t的振动碾碾压,碾压行进速度为2.5 km/h。对碾压进行了过程检测,检测发现细料部分干密度随碾压遍数的增加逐渐增大,当碾压达到5遍时,所检测点干密度结果的相对压实度均达到设计要求,碾压遍数增加,干密度几乎不发生变化,检测试验数据见表1。实践证明,按细料相对密度控制巨粒混合土填筑标准的方法是切实可行的,具有较强的理论合理性和质量控制上的可操作性。

4 结 语

通过对系列延伸法求取巨粒混合土原级配料最大干密度,并以此为控制标准对施工压实质量进行控制的理论缺陷和不可行性分析,指出该类试验方法存在理论上的缺陷和实践上的不可操作性,根据巨粒混合土压实后密度仍呈不均匀性的特点,对压实过程中土的干密度变化情况进行分析,得出巨粒混合土压实过程是细料处于最后被压实,压实后各部分土体仍处于密度极不均匀的结论。提出以剔除巨粒组的细料最大干密度试验为标准,对施工压实质量进行细料最小干密度控制的观点。经检验,该方法具有较强的合理性和可操作性。

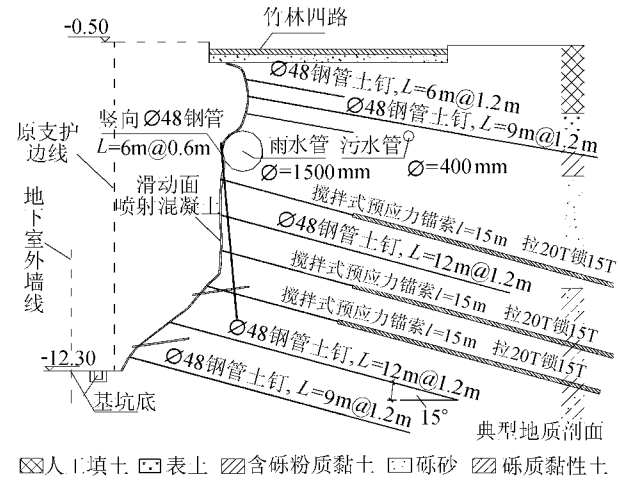


图3 基坑西侧失事后抢险加固示意图

4.3 加固施工及加固处理效果

由于场地砂层较厚,水量丰富,并且存在先前施工的土钉和锚索,若采用传统的施工方法,容易破坏土层的稳定性。所以本次加固工程的预应力锚索采用搅拌式预应力锚索施工工艺^[3-4]。施工步骤如下:

- ①首先采用三叶钻头钻进(见图4),一次性快速成孔到底;
- ②接上一次性钻头和钢绞线进行下锚,若遇砂层,喷浆搅拌钻进,边搅边钻进边喷水泥浆,若遇黏性土层,用钻机将一次性钻头和钢绞线放置至设计深度;
- ③一次注浆:钻进到设计深度后,一次性钻头和钢绞线留在钻孔内,将钻杆退出,边退边注水泥浆;
- ④二次高压注浆:待一次注浆的浆体初凝以后进行二次注浆,一次、二次注浆的时间间隔宜为4~5h,注浆压力宜为1.5~2.0 MPa,注浆至孔口返浆或注浆量大于0.6 m³方可停止;
- ⑤钢梁采用28a的单条槽钢作支撑梁,槽钢安放平直,并用钢板和螺栓锚固锁紧;
- ⑥在内锚段灌浆达7d龄期同时预留的水泥净浆试块强度大于17.5 MPa后再进行框锚索张拉。

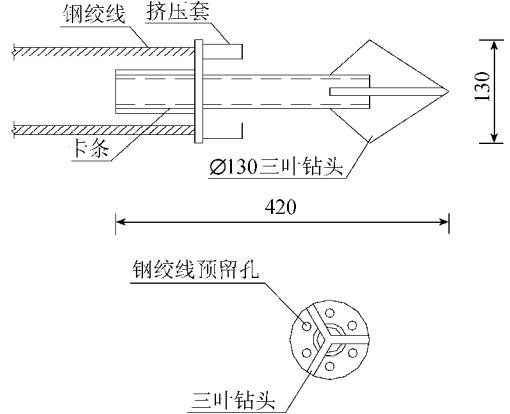


图4 搅拌式预应力锚索的一次性钻头(单位:mm)

为随时掌握基坑及市政道路的变形情况,进行了信息化施工。在整个加固过程中,布设10个基坑变形观测点、8个市政道路沉降观测点。观测资料

表明基坑加固期间,基坑顶水平累计位移-2.2~-11.1 mm,基坑沉降累计变形-1.0~-8.9 mm,道路沉降累计变形-0.2~-2.9 mm。由此可见,经过加固处理后的基坑已控制住了变形,满足地下室的使用要求,保证了周围市政道路的安全。

5 结 语

搅拌式预应力锚索施工具有对土体扰动小、适用地层广、下锚索容易、浆体饱满、抗拔力高等优点,有较高的推广价值。本工程实践表明加固工程是成功可靠的。基于岩土工程具有不可预见性,在进行基坑设计时应摸清楚基坑周围的管线情况、基坑的深度,选取典型的地质剖面,施工中对质量严格把关,及时反映异常情况,加强信息化施工,选择因地制宜、安全可靠的支护方案。

参考文献:

- [1] 范永波,杨素春,胡社荣.建筑基坑土钉支护时机探讨[J].水文地质工程地质,2006(1):5-7.
- [2] 李海深.复合型土钉支护工作性能的研究[D].长沙:湖南大学,2005.
- [3] 徐云.预应力锚索施工技术[J].长沙铁道学院学报:社会科学版,2006,7(3):212-213.
- [4] 苏志满,徐林荣.预应力锚索优化设计统一理论探讨[J].水文地质工程地质,2006(5):26-29.

(收稿日期:2006-12-04 编辑:骆超)

(上接第91页)

参考文献:

- [1] SL237—1999,土工试验规程[S].
- [2] 郭庆国.粗粒土的工程特性及应用[M].郑州:黄河水利出版社,1999:15-60.
- [3] 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):55-60.
- [4] 刘贞草.大粒径粗粒材料相对密度试验研究[J].土石坝工程,1987(2):45-48.
- [5] 田树玉.用渐近线辅助拟合法确定大粒径砂卵石最大容量[J].岩土工程学报,1992(1):37-45.
- [6] 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):72-80.

(收稿日期:2006-08-08 编辑:熊水斌)