

含超粒径非均质混合土最大干密度的计算方法

于林平¹, 李胜德², 高潮¹, 刘秀民¹, 韩秋³

(1. 大连水产学院 土木工程学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连水产学院 理学院, 辽宁 大连 116023;

3. 大连海泰控股有限公司, 辽宁 大连 116020)

摘要: 根据含超粒径非均质混合土压实的试验结果, 分析了非均质混合土的压实规律, 总结出考虑颗粒级配确定非均质混合土最大干密度的拟合公式。所给公式模型清晰, 概念明确, 可供参考。

关键词: 非均质混合土; 压实试验; 干密度

中图分类号: TU411.99

文献标识码: A

非均质混合土是山区及丘陵地区常见土的类型, 其粒径特征表现为粗细混杂。近年来, 该土以高强度、低渗透性、易施工、抗病害等特点, 被广泛用于公路工程、水利水电工程、建筑工程等土石方填筑工程中, 尤其在公路路堤与路基工程中的应用更为普遍。

工程实践证明, 混合土的压实直接关系到各类土石方填筑工程的施工质量、造价及工期。而混合土最大干密度是填筑工程质量控制的重要参数。准确确定最大干密度需进行室内击实试验, 但当土中含有较大土粒时, 特别是当最大土粒粒径超过了击实仪内径的 $1/6 \sim 1/4$ 倍时, 该土则成为含超粒径非均质混合土, 此类土难以采用常规击实仪器测定最大干密度, 必须有大型击实设备与之匹配, 而且该试验工作量大、耗时长、试验用土数量多。因此, 当混合土中含超粒径土粒时, 常采用剔除超粒径土粒, 测定剩余细粒部分的最大干密度, 再利用相应公式计算混合土最大干密度的方法。

目前, 常用的公式计算方法是建立在考虑混合土中粗粒含量与最大干密度相关关系的基础上^[1,2], 忽略了混合土土粒级配对最大干密度的影响。为此, 笔者以公路土石方填筑工程常用的非均质混合土为研究对象, 借助击实试验, 通过分析并总结土粒级配对最大干密度的影响, 提出含超粒径混合土最大干密度的计算方法, 为工程实际应用提供参考依据。

1 试验方法与结果

1.1 非均质混合土的基本特征

天然状态下, 所采用试验土的平均含水量为 10 % 左右, 小于 5 mm 土粒的平均相对密度为 2.65 左右, 大于 5 mm 土粒的平均相对密度为 2.62 左右, 颗粒组成大小混杂, 粒径分布范围较宽, 不均匀系数均大于 10。

1.2 试验方式与仪器

考虑公路建设中各高等级公路填筑施工时所用的碾压设备普遍重型化及越来越繁重的交通需要, 依据《公路土工试验规程》JTJ051-93^[3]选择重型击实试验。所用仪器为电动击实仪, 其性能指标为: 锤重 4.5 kg, 落高 457 mm, 试筒内径 152 mm, 试筒高 116 mm, 试筒体积 2 104 cm³, 最大粒径 38 mm。

收稿日期: 2004-02-27

基金项目: 辽宁省教育厅高等学校科学研究项目 (20101519)

作者简介: 于林平 (1964-), 女, 讲师。E-mail: ylp@dlfu.edu.cn

1.3 试样的制备

1) 试样制备方法选择 试样的制备方法有 3 种：(1) 干土法（试样重复使用）；(2) 干土法（试样不重复使用）；(3) 湿土法（试样不重复使用）。由于所取土样天然含水量较低（均不超过 10 %），且为避免反复击实造成土粒破碎而影响试验结果，故笔者在击实试验中采用第二种干土法（试样不重复使用）。

2) 含超粒径土样的制备 本试验中所用仪器对试验土样的最大粒径有一定限制。根据击实试验所遵循的原则，试筒内径与试样最大粒径 d_{\max} 之比应为 4 ~ 6。因此，土样的最大粒径应为 38 mm。由于常规颗粒分析试验中没有孔径为 38 mm 的筛，故以 40 mm 的筛代替，即最大粒径实际为 40 mm。制备试样时以 40 mm 筛将大于 40 mm 超粒径土粒筛出，并采用等重量替代法将超粒径部分以粒径为 30 ~ 40 mm 土粒代替。击实试验共制备 26 组不同级配的混合土试样，试验结果见表 1。

表 1 混合土最大干密度的实测值与计算结果

Tab. 1 The measured and calculated values of the maximum dry density for the heterogeneous soil g/ cm³									
序号	颗粒组成含量			实测值 d_{\max}	实测值 $d_{1\max}$	JTJ051 - 93 推荐公式 ^[3]		作者建议公式	
	< 5 mm	5 ~ 40 mm	> 40 mm			d_{\max}	误差 ¹⁾	d_{\max}	误差 ¹⁾
1	1.00000	0.00000	0.00000	1.98400	1.98400	1.98400	0.00000	1.98400	0.00000
2	0.90000	0.10000	0.00000	2.01100	2.01100	2.01100	0.00000	2.01100	0.00000
3	0.90000	0.00000	0.10000	2.03200	1.98400	2.03300	- 0.00100	2.03749	- 0.00549
4	0.80000	0.20000	0.00000	2.05700	2.05700	2.05700	0.00000	2.0570	0.00000
5	0.80000	0.10000	0.10000	2.06400	2.02000	2.06700	- 0.00300	2.06947	- 0.00547
6	0.80000	0.00000	0.20000	2.07100	1.98400	2.05800	- 0.01400	2.07118	- 0.00018
7	0.70000	0.30000	0.00000	2.09100	2.09100	2.09100	0.00000	2.09100	0.00000
8	0.70000	0.20000	0.10000	2.09800	2.06700	2.11100	- 0.01300	2.09517	0.00283
9	0.70000	0.10000	0.20000	2.10400	2.02500	2.12100	- 0.01700	2.10549	- 0.00149
10	0.70000	0.00000	0.30000	2.11300	1.98400	2.13900	- 0.02600	2.10996	0.00304
11	0.60000	0.40000	0.00000	2.12800	2.12800	2.12800	0.00000	2.12800	0.00000
12	0.60000	0.30000	0.10000	2.13800	2.10900	2.15200	- . 01400	2.13813	- 0.00013
13	0.60000	0.20000	0.20000	2.14700	2.08300	2.16800	- 0.02100	2.14541	0.00159
14	0.60000	0.10000	0.30000	2.16000	2.03900	2.18400	- 0.02400	2.16745	- 0.00745
15	0.50000	0.50000	0.00000	2.14400	2.14400	2.14400	0.00000	2.14400	0.00000
16	0.50000	0.40000	0.10000	2.15800	2.13600	2.17800	- 0.02000	2.15604	0.00196
17	0.50000	0.30000	0.20000	2.17300	2.11900	2.20300	- 0.03000	2.17214	0.00086
18	0.50000	0.20000	0.30000	2.18600	2.09500	2.22900	- 0.04300	2.18368	0.00232
19	0.40000	0.60000	0.00000	2.16700	2.16700	2.16700	0.00000	2.16700	0.00000
20	0.40000	0.50000	0.10000	2.17800	2.16700	2.20500	- 0.02700	2.17176	0.00624
21	0.40000	0.40000	0.20000	2.19000	2.14400	2.22500	- 0.03500	2.19320	- 0.00320
22	0.40000	0.30000	0.30000	2.20000	2.13200	2.25800	- 0.05800	2.19499	0.00501
23	0.30000	0.70000	0.00000	2.16800	2.16800	2.16800	0.00000	2.16800	0.00000
24	0.30000	0.60000	0.10000	2.18200	2.16770	2.20500	- 0.03800	2.18680	- 0.00480
25	0.30000	0.50000	0.20000	2.19500	2.16720	2.24500	- 0.05000	2.19474	- 0.00247
26	0.30000	0.40000	0.30000	2.20900	2.16200	2.28200	- 0.07300	2.20983	- 0.00083

注：1) 为实测值 d_{\max} 与公式计算值 d_{\max} 之差。

2 最大干密度的计算方法

2.1 沃尔克 (F. C. Walker) 和霍尔兹 (W. G. Holle)^[4]的计算公式

沃尔克 (F. C. Walker) 和霍尔兹 (W. G. Holle) 曾假定混合土受一定功能击实时, 粗粒间孔隙完全为细粒所充填, 而且细粒的压实干密度达到细粒用标准击实功能单独击实的最大干密度 $d_{1\max}$ 。则混合土最大干密度的计算公式为

$$d_{\max} = \frac{1}{\frac{p}{G_{s2} - \rho_w} + \frac{1-p}{d_{1\max}}}, \quad (1)$$

式中: d_{\max} 为混合土最大干密度的理论计算值 (g/cm^3); p 为粗粒含量 (粗粒烘干重与混合土全料烘干重的比值); G_{s2} 为粗粒相对密度; ρ_w 为水的密度 (g/cm^3); $d_{1\max}$ 为细粒 ($d \leq 5 \text{ mm}$) 用标准功能单独击实试验所测得的最大干密度 (g/cm^3)。

显然, 公式 (1) 只需测定小于 5 mm 细粒部分的最大干密度和大于 5 mm 粒径的相对密度, 就可以在常规的设备条件下, 确定含超粒径混合土的最大干密度。但是, 公式 (1) 是在假定超粒径土粒的孔隙完全被细粒所填充的理想状态下推出的, 据已往的研究证实, 当混合土的组成不满足该假定条件时, 公式计算值与实测值会产生一定误差^[4]。

2.2 JTJ051-93 推荐公式^[3]

如前所述, 混合土是否含有超粒径土粒是相对击实筒的内径而言, 对大型击实仪 (内径为 152 mm), JTJ051-93 规定: 当土料中大于 38 mm 的土粒含量为 0~30% 时, 对小于 38 mm 部分的土进行击实试验, 并按下面公式对试验所得的最大干密度加以修正。

$$d_{\max} = \frac{1}{\frac{p}{G_s} + \frac{1-p}{d_{1\max}}}, \quad (2)$$

式中: d_{\max} 为校正后的最大干密度 (g/cm^3); $d_{1\max}$ 为用粒径小于 38 mm 土样试验所得的最大干密度 (g/cm^3); p 为土样中粒径大于 38 mm 颗粒的百分数 (%); G_s 为粒径大于 38 mm 颗粒的相对密度。

显然, 公式 (2) 沿用了公式 (1) 形式, 只是将划分超粒径土粒的界限值调整为 38 mm。

作者以实测值代入式 (2), 所得计算结果列于表 1。从表 1 可见, 当小于 5 mm 土粒的含量相同时, 最大干密度随超粒径土粒含量的增加而增加, 而当超粒径土粒含量相同时, 最大干密度随混合土中 5~40 mm 土粒含量的增加而增加, 却随小于 5 mm 土粒含量的增加而减少; 将实测值与理论计算值对比后发现, 当小于 5 mm 土粒含量相同时, 计算值与实测值之差会随着超粒径土粒含量的增加而增大, 而超粒径土粒含量相同时, 计算值与实测值之差会随小于 5 mm 土粒含量的增加而减少。因此, 混合土的级配是影响其最大干密度的关键因素, 若仅以超粒径土粒含量多少确定混合土最大干密度, 不符合混合土的压实规律。

2.3 统计分析所得到的拟合公式

考虑到非均质混合土的颗粒级配对最大干密度的影响, 笔者以击实试验所得的试验数据为基础, 利用统计软件 SPSS, 进行多元统计分析, 得到了当超粒径土粒含量为 0~30% 时, 混合土最大干密度的拟合公式:

$$d_{\max} = \frac{1}{\frac{p}{G_s} + \frac{1-p}{d_{1\max}}} - 0.07 \times \left(\frac{0.05 + p_{40}}{p_{0.05}} \right)^{0.12} \left(\frac{p_{40}}{p_{0.05}} \right)^{0.9}, \quad (3)$$

式中: ρ_{dmax} 为超粒径土粒为 40 mm 混合土的最大干密度 (g/cm^3); p_{40} 为大于 40 mm 土粒的含量 (以小数计); $p_{0.075}$ 为小于 0.075 mm 土粒的含量 (以小数计); ρ_{d1max} 为小于 40 mm 土粒单独击实时的最大干密度 (g/cm^3); G_s 为粒径大于 40 mm 颗粒的相对密度。

2.4 关于拟合公式的评价

1) 在公式 (2) 的基础上, 充分考虑到实测值与公式 (2) 的计算值之差, 得到了修正后的拟合公式 (3)。式中第二项考虑了超粒径土粒 (大于 40 mm 土粒) 含量与小于 0.075 mm 土粒含量, 使计算结果更为准确, 计算结果列于表 1。经计算, 修正后的拟合公式与试验数据的相关系数 R 为 0.97471, 相关显著;

2) 由公式 (3) 所得到的计算值与实测值之差不超过 $\pm 0.00745 \text{ g}/\text{cm}^3$;

3) 公式 (3) 是以作者所进行的 26 组试验为基础, 通过对试验结果的拟合求得的, 因此, 具有一定的代表性和实用性。

3 结论

1) 由于试验设备等条件限制, 对于含超粒径非均质混合土采用公式计算其最大干密度仍将是一种重要方法。

2) 试验表明, 混合土最大干密度与颗粒级配密切相关, 作者同时考虑了超粒径土粒含量与细粒土含量的影响, 并据此提出超粒径土最大干密度的经验拟合公式, 符合含超粒径非均质混合土的压实规律, 具有一定的实用性。

参考文献:

- [1] 赵久柄, 王正良. 西宝高速公路粗粒土路基压实度的试验研究[J]. 国外公路, 1996, (6): 19 - 22.
- [2] 马松林, 王龙, 王哲人. 土石混合料室内振动压实研究[J]. 中国公路学报, 2001, (1): 5 - 8.
- [3] JTJ 051 - 93, 公路土工试验规程[S].
- [4] 杨荫华. 土石料压实和质量控制[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1992. 25 - 28.

A calculation method of maximum dry density of heterogeneous soils with extra - large size particles

YU Lin-ping¹, LI Sheng-de², GAO Chao¹, LIU Xiu-min¹, HAN Qiu³

(1. School of Civil Engineering, Dalian Fisheries Univ., Dalian 116023, China; 2. School of Science, Dalian Fisheries Univ., Dalian 116023, China; 3. Dalian Haitai Holdings Limited Company, Dalian 116020, China)

Abstract: Based on a number of compaction tests, the compaction behaviour of heterogeneous soil is investigated in this paper. Then an empirical formula for assessing the maximum dry density of heterogeneous soil is proposed. It is shown that the proposed formula is practically applicable.

Key words: heterogeneous soil; compaction test; dry density