

砂雨法制备砂样的控制要素及均匀性分析

赵 维^{1,2}, 李志阳^{1,2}

(1. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点试验室, 辽宁 大连 116024; 2. 大连理工大学 岩土工程研究所, 辽宁 大连 116024)

摘要:常规砂雨法能制备出中密、密实状态的砂样。为获得相对密实度范围更大的砂样,利用自主研发的撒砂装置,在讨论常规影响因素如流量、落距等的基础上,进一步研究了出砂头移动速度、路径、筛网等因素对砂样相对密实度的影响。通过改变这些因素制出了松散状态的砂样。分别通过不同大小的圆盒与 CPT 方法对砂样的均匀性进行检测,结果表明制备出的砂样均匀性较好。分析对比不同的均匀性检测方法表明,圆盒检测方法简单易操作,但检测结果误差较大,而 CPT 方法较为真实可靠。

关 键 词:砂雨法; CPT; 均匀性; 模型试验; 相对密实度; 松砂

中图法分类号: TV32

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.13.019

土工模型试验中,地基制备方法及其均匀性对试验结果有直接影响。砂土模型的成样方法有多种,如振动法、击实法、插捣法、砂雨法等。其中砂雨法能制备出均匀性较好的砂样,在土工模型试验,尤其是离心模型试验中应用最为广泛。吴建平等指出砂雨法的影响因素有漏斗形状和落距^[1]。濮家骝等研究了槽孔宽度和落距对砂土密实度的影响^[2]。徐光明、杨俊杰、Madabhushi、Zhao 等学者在试验中均对砂雨成样方法进行了研究并利用此方法进行装样,得到了理想的试验结果^[3-11]。

以往的研究成果表明,控制相对密实度的主要因素为落距、流量等,改变这些影响因素能制备出中密、密实状态的砂样。松散状态的砂样制备较为困难,且成样质量难以保证。本文在以往研究成果的基础上,利用自主研发的自动撒砂装置进行了多组对比试验,在讨论落距、流量等常规因素的基础上,进一步研究了出砂头移动速度、筛网层数、出砂头移动路径等因素对相对密实度的影响。通过调整影响因素制备出了相对密实度较低的砂样,经检测其均匀性较好。进一步分别利用大小不同的两套模型盒和微型 CPT 方法对均匀性进行了检测,并比较了各种检测方法的特点与优劣。

1 试验材料及设备

1.1 试验材料

试验用砂为福建标准砂,基本物理指标见表 1。试验前将砂土烘干,使其含水率为零。

表 1 试验砂基本参数

| 平均粒径/mm | 土粒比重 | 最大孔隙比 | 最小孔隙比 |
|---------|-------|-------|-------|
| 0.16 | 2.633 | 0.952 | 0.607 |

1.2 试验设备

图 1 为大连理工大学岩土工程研究所自主研发的自动撒砂装置。

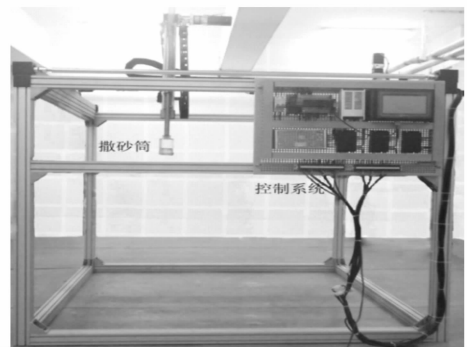


图 1 自动撒砂装置

该装置可实现横向、纵向、竖直 3 个方向的运动。在控制系统面板输入参数时,可控制撒砂筒的移动速率、路径、行程等运动参数。砂土通过上部软管流入撒砂筒内,经筒体下部带有筛网的出砂头分散后均匀落入模型箱内。筛网孔径为 1 mm,可布置成单层或双层,也可将筛网去掉,砂土直接落入模型箱内。筛网双层放置时距离为 20 mm。

在撒砂筒上部进砂口放置孔径不同的薄片可控制砂土流量。喷嘴薄片内径与流量的对应关系见表 2。

表 2 薄片内径 - 流量对应关系

| 内径/ mm | 流量/ (kg · min ⁻¹) | 内径/ mm | 流量/ (kg · min ⁻¹) | 内径/ mm | 流量/ (kg · min ⁻¹) |
|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|
| 4 | 0.117 | 6 | 0.345 | 8 | 0.654 |
| 5 | 0.222 | 7 | 0.480 | | |

1.3 出砂头移动路径

撒砂筒在平面内 ($X - Y$ 平面) 按 $a - b - a$ 的轨迹往复运动,如图 2(a) 所示,每一个循环撒砂筒自动沿竖直方向 (Z 轴) 上升 Δh ,使出砂头与砂面之间的距离保持不变。

图 2(b) 为标定盒在模型箱中放置位置。标定盒有两种,分别为圆盒①,圆盒②,高均为 20 mm,直径分别为 60,20 mm。

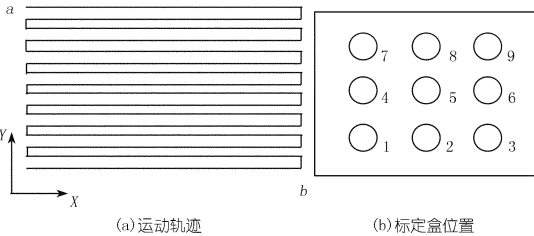


图 2 出砂头运动路线

2 试验方法及结果

2.1 最佳移动路径的确定

出砂头移动路径如图 2(a) 所示。相邻横向条纹之间的距离为 Δy 。控制其他因素不变,通过改变 Δy 大小来研究移动轨迹对相对密实度及均匀性的影响,评价指标为变异系数。在同一平面内布置 9 个①号圆盒,如图 2(b) 所示。各组试验落距均为 40 cm, X 方向速度 $V_x = 50$ mm/s。针对单层筛网、无筛网两种情况,在 0.345,0.480,0.654 kg/min 这 3 种流量下分别进行试验。各组试验 Δy 值在 5 ~ 60 mm 之间变化。

试验结果见图 3。变异系数的比较见图 4。

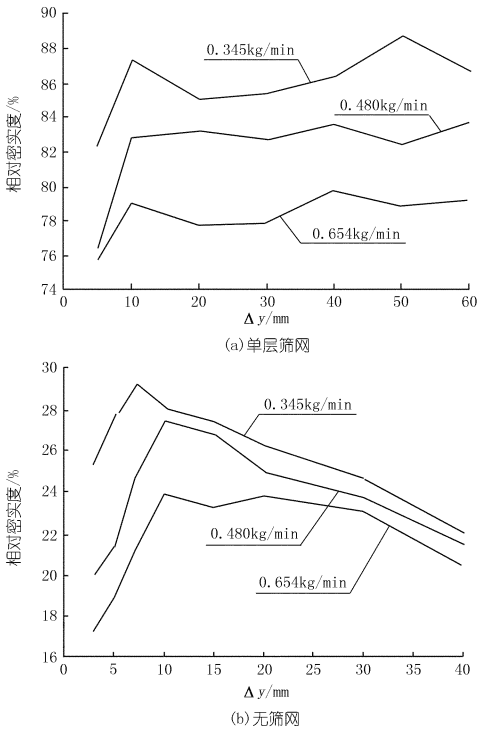


图 3 Δy 对相对密实度的影响

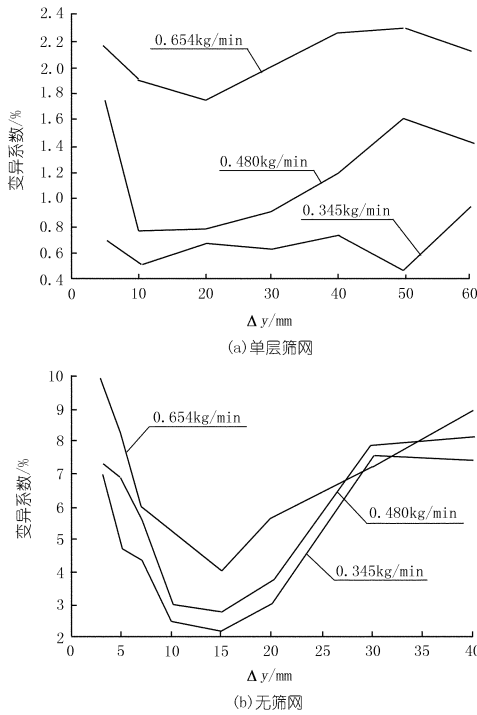


图 4 Δy 对均匀性的影响

由图 3 可知,无筛网时,不同 Δy 值所对应的相对密实度变化趋势较为明显,相对密实度均在 Δy 为 10 mm 左右时达到峰值。有筛网时,相对密实度先随 Δy 值的增大而增大,随后趋近平缓。图 4 为 Δy 值变化对

均匀性的影响。有筛网时,不同流量下的变异系数均不超过 2.4,说明 Δy 值的改变对均匀性影响较小。无筛网时, Δy 值的改变对均匀性影响较为显著, Δy 在 10 ~ 20 mm 之间时,均匀性较好。整体而言,无论有无筛网,均匀性均随着流量的增大而变差,有筛网时均匀性优于无筛网的情况。

根据试验结果,单层筛网时,宜取 Δy 为 20 mm,此时 Δy 即使轻微改变,相对密实度无突变,且变异系数小,空间均匀性好。无筛网情况下,选择合理的 Δy 值为 15 mm,理由同上。本文所有试验均在合理 Δy 值下进行。

2.2 出砂头移动速度对相对密实度的影响

保持落距为 40 cm,通过改变 V_x 大小,得出 $V_x - D_r$ 标定曲线,如图 5 所示。由标定结果可知,各流量下,相对密实度均随 V_x 的增大而增大。单层筛网时,当 V_x 大于 50 mm/s 时, X 方向速度的改变对相对密实度影响较小。在无筛网情况下, V_x 大于 70 mm/s 时, V_x 的改变对相对密实度的影响变小。

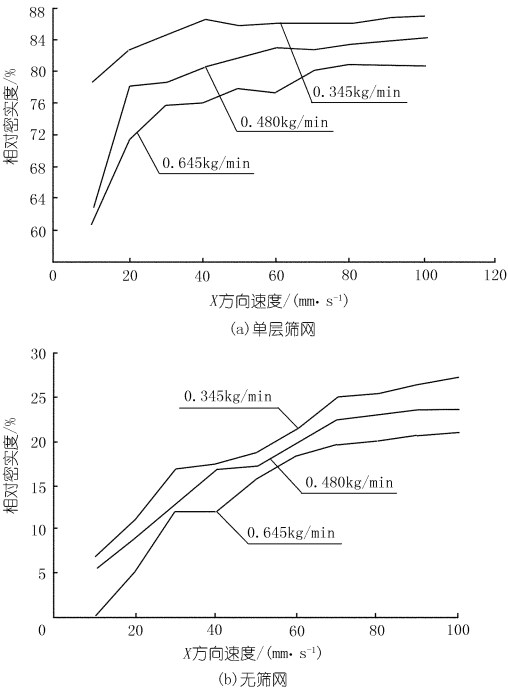


图 5 X 方向速度 - 相对密实度曲线

2.3 松散砂样的制备

改变落距、流量、筛网层数、出砂头移动速率等因素,得出不同因素影响下的标定曲线,如图 6 所示。

图 6 (a) 曲线与其他学者的研究成果趋势一致^[8-10]。此方法为有筛网的情况,通过改变落距与流量,得出均匀性较好的砂样。但由于受落距等因素限制,只能制备出中密、密实状态的砂样。如图 6 (b)、(c) 所示,本试验通过改变出砂头移动速率、筛网层

数,得出了相对密实度在 1% ~ 55% 之间的标定曲线。在有筛网情况下,各流量下当落距大于 30 cm 时,随落距的增加,相对密实度趋于稳定。但无筛网时,相对密实度始终随落距的增大而增大。

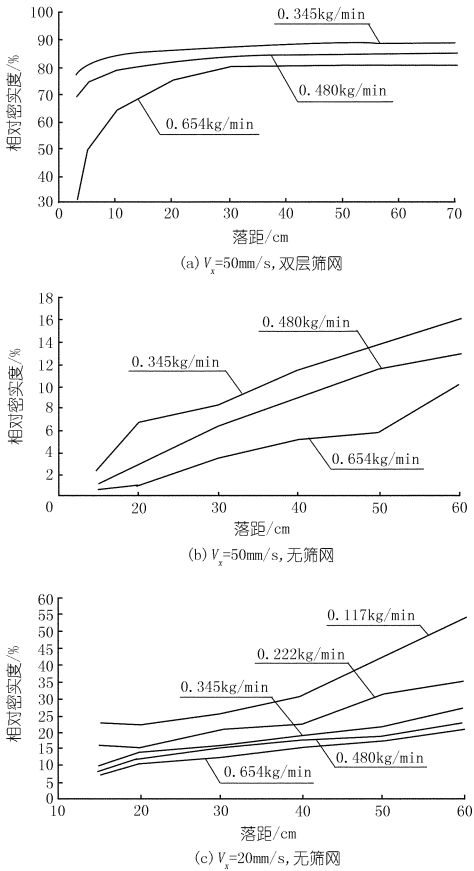


图 6 流量影响下的落距 - 相对密实度曲线

如图 2 (b) 所示,在模型箱内不同位置布置 9 个圆盒①,分别针对图 6 (a)、(b) 两种情况进行均匀性检测,检测结果见图 7。

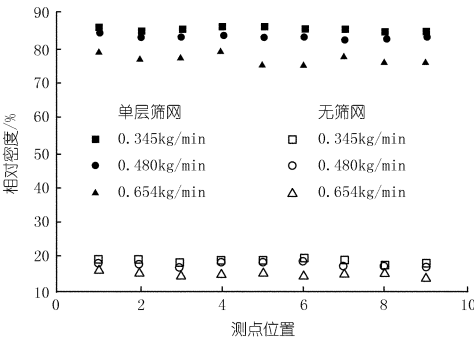


图 7 不同位置的相对密实度

在有筛网的情况下,不同位置相对密实度在均值的 4% 以内波动;无筛网情况下相对密实度在均值的 8% 以内波动。结果表明此方法能制备出均匀性较好的砂样。

2.4 不同均匀性检测方法的对比

分别采用圆盒①、圆盒②、CPT 三种方案进行均匀性检测。各方案在不同流量下进行 3 组试验。模型箱尺寸为 290 mm×310 mm×200 mm。将小圆盒分两层放入模型箱底部,上部留 14 cm 进行 CPT 检测,CPT 检测深度为模型上部 10 cm。均匀性检测位置空间布置见图 8,各检测条件均相同:落距为 40 cm, $V_x = 50$ mm/s,单层筛网。CPT 检测结果见图 9,各种检测方法的变异系数比较见图 10。

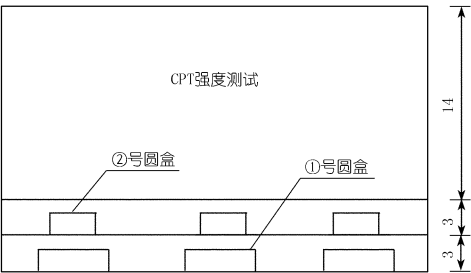


图 8 检测点空间分布 (单位:cm)

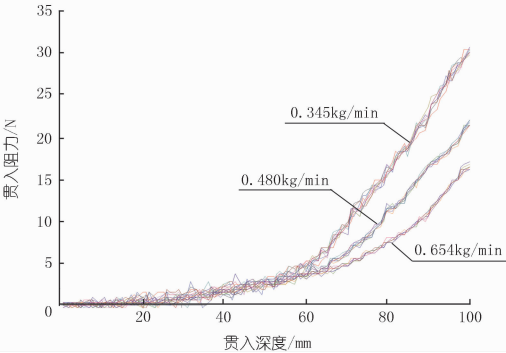


图 9 CPT 结果

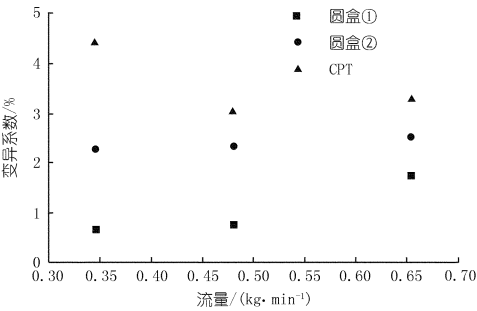


图 10 变异系数比较

由图 9 可知,CPT 贯入深度在 0~20 mm 范围内,贯入阻力很小,近似为零。深度在 20~60 mm 范围内,不同流量制出的砂样的锥尖阻力区分度不大。当贯入深度大于 60 mm 时,贯入阻力随贯入深度的增加其大小差异趋于显著。贯入深度在 0~50 mm 范围内时贯入阻力较小,由于数据采集设备与 CPT 精度限制,此范围变异系数波动性较大。因此选择 50~100 mm 范围内各测点贯入阻力的变异系数进行比较,以

此代表砂样的空间均匀情况。

由图 10 可知,各流量下不同检测方案变异系数从大到小的顺序均为 CPT,②号圆盒,①号圆盒。模型箱内砂样的制备条件一致,制备出的砂样空间分布情况一致,但不同尺寸的检测设备得出了不同的结果。造成此结果的原因是,标定盒尺寸越大,检测结果越偏向于大范围空间上的均匀性;检测设备尺寸越小,检测结果越反映不同小范围空间的相对密实度差异性。此试验结果也反映了在宏观较大范围内,所制得的砂样均匀性较好,但 CPT 结果更符合空间各点均匀性的真实情况。因此,在有条件的情况下,应尽可能使用 CPT 方法进行均匀性检测。

3 结 论

本研究采用自主研发的砂雨设备进行了多组试验,探讨了 Δy 值对均匀性的影响,给出了合理的 Δy 大小,确定了最佳移动路径。研究了落距、流量、筛网、出砂头移动速度等因素对砂样相对密实度的影响,通过改变这些影响因素制备出了相对密实度在 1%~90% 之间均匀性较好的砂样,并给出了不同均匀性检测方法对检测结果的影响。

(1) 出砂头的移动路径对相对密实度及均匀性均有影响,无筛网情况下影响更为显著。在砂样制备前,应先针对不同的 Δy 值进行均匀性讨论,确定最佳移动路径,以最大程度减小移动路径对均匀性的影响。

(2) 除了落距、流量等因素,筛网情况、出砂头移动速度等也对砂样的相对密实度大小有显著影响。通过调整这些影响因素,可以制备出相对密实度范围更大的砂样,经验证其均匀性与可重复性均较好。

(3) 均匀性检测结果会随检测方法的不同而不同。CPT 方法为点式检测,最为精确,其结果最能反映出砂样均匀性的真实情况,但该方法较为复杂,因此可以根据试验对模型精度的要求选用合适的检测方法。

参考文献:

[1] 吴建平,顾宪章,余祖国. 砂雨法成型中影响试样密度的因素[J]. 水电自动化与大坝监测, 1995, (3): 33-39.

[2] 濮家骊,高汉桢. 浅基础承载力离心模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 1988, 10(6): 1-18.

[3] 徐光明,章为民. 离心模型中的粒径效应和边界效应研究[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(3): 80-86.

[4] 杨俊杰,柳飞,丰泽康男,等. 砂土地基承载力离心模型试验中的粒径效应研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(4): 477-483.

[5] 柳飞,郑西来,杨俊杰,等. 基础埋深对承载力离心模型试验中粒径效应的影响[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(10): 1621-1627.

[6] Madabhushi S P G, Houghton N E, Haigh S K. A new automatic sand pourer for model preparation at University of Cambridge[C]// International conference on physical modeling in geotechnics, The

[7] Zhao Y, Elshafie M Z E B, Deeks A D, et al. Calibration and use of a new automatic sand pourer[C]// International conference on physical modeling in geotechnics, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 2006.

[8] 曾虹静,王忠涛,罗强,等. 自制砂土装样设备及其控制要素分析[J]. 人民长江, 2012, 43(11): 66 – 70.

[9] 赵守正, 栾茂田,王忠涛,等. 自动撒砂装置的研制和测试[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(5): 178 – 182.

[10] 马险峰,孔令刚,方薇,等. 砂雨法试样制备平行试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(10): 1971 – 1811.

[11] 李浩, 罗强, 张正,等. 砂雨法制备砂土地基模型控制要素试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(10): 1872 – 1878.

(编辑:郑毅)

Controlling factors of sand pouring method in sand sample preparation and uniformity analysis

ZHAO Wei^{1,2}, LI Zhiyang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Conventional sand pouring method can produce sand samples in medium and dense state. In order to produce sand samples with wider range of relative density, the self – developed sand pourer device was used. Aiming to the newly developed device, on the base of discussing conventional influential factors such as drop height, flow rate, etc, the influences of sand head moving rate and moving path, sieves, etc on relative density of sand samples were further studied. By changing these factors, the sand samples of loose state were produced. The uniformity of produced sand samples were tested by small boxes of different sizes and CPT method, which showed that the uniformity was good. By comparing these two uniformity test methods, it is demonstrated that the method of small boxes is easy to be operated, but the error is larger, and CPT method is credible and reliable.

Key words: sand pouring method; CPT; uniformity; modeling test; relative density; loose sand

(上接第 41 页)

Analysis of movement characteristics of collapse rockfall in Maliugou earthquake

ZHANG Qingyu¹, TANG Shiming¹, SHEN Junhui²

(1. Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610072, China; 2. Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: According to Maliugou valley’s slope body structure, distribution of earthquake rockfall and its trajectory etc. , the movement characteristics of earthquake rockfall is studied by kinematic theory. The results show that the movement of earthquake collapse rock falls is more complex than the gravitational collapse rock falls. The movement of Maliugou earthquake collapse rock falls can be divided into the horizontal throwing stage and rolling stage. The movement of different scale rock falls varies because of the size and shape. The large rockfall always falls down and remain at the landing place so the initial speed can be converted. The small rockfall remains near its landing place because their energy is small and would be consumed quickly. The movement of the medium rockfall with small eccentricity is influenced by shape, size and slope, and the moving distance is larger. The collapse rockfall induced by earthquake is not affected by the earthquake force in rolling phase, so the movement is the same as the gravity collapse rock falls.

Key words: earthquake collapse rockfall; gravitational collapse rockfall; movement characteristics; Maliugou valley in Sichuan Province