

砂性土地区堆山工程地基承载力计算及沉降观测

林 敏

(南通市市级政府投资项目建设中心, 江苏 南通 226000)

摘 要: 人工堆山工程具有土方体积大、荷载分布广、固结时间长等特点。同时堆山工程对于地基要求较高, 极易发生地基承载力不足或土体抗剪强度不够等重大工程事故。结合南通市中央创新区紫琅公园内人工山体堆筑工程, 通过地质条件分析、地基承载力计算及周边地面沉降观测, 研究利用天然地基处理方案进行堆山工程的可行性。通过长期观测数据分析得出, 周边地面沉降均在容许沉降范围内, 因此砂性土地区堆山工程堆筑 20 多米山体时可采用天然地基进行堆筑, 可为相关砂性土地区堆山工程地基处理提供类似参考。

关键词: 砂性土; 堆山工程; 地基承载力; 沉降观测

中图分类号: TU433

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0264-04

0 引 言

随着城市化进程的加快, 城市居民对于绿化景观需求加剧, 而土方造型是园林绿化中重要的基础, 能体现园林整体构架。因此平原地区的堆山造景工程越来越多, 规模越来越大, 要求越来越高。

堆山工程中采用分层填筑, 具有土方体积大、荷载分布广、固结时间长等特点。因此地基会产生沉降和位移, 如果处理不当, 严重的可能产生地基塌陷、河道的河底部隆起等其他问题^[1]。对于地基处理, 根据不同的地质条件采用不同的施工工艺。其中排水固结法为处理地基最常用的方法, 又细分为竖向排水及水平排水。如采用塑料排水板^[2]、碎石桩^[3]、砂井^[4]、砂垫层^[5]等, 主要是加快地基排水, 使得地基固结后强度增加, 提高地基承载力, 减少相应沉降。

本文以南通市中央创新区内景观山体填筑为例, 进行地基处理方案研究。通过地质条件分析及地基承载力计算, 最终采用天然地基进行堆筑, 并观测三座山体周边地基沉降及位移情况, 为砂性土地区山体堆筑提供重要的参考价值。

1 工程概况

南通市中央创新区重点打造的紫琅公园占地面积 2.66 km², 其中紫琅公园北区占地约 23 万 m², 见图 1。周边河道 2 m 以下区域 8 万 m², 河岸 2 m 以上 15 万 m²。该区域拟建三座山体, 最高点高程(85 国

家高程)分别为 26.0 m、15.0 m 和 13.0 m 三座山体。26.0 m 与 15.0 m 山体之间的 13.0 m 等高线内有 12.8 m 建筑广场。山体填筑采用南区湖体开挖出的砂土填筑, 表层采用耕植土覆盖。在 4 m 等高线以上 12 万 m² 区域用近 80 万 m³ 的土方堆筑三座山体, 其中 26 m 山体顶部离新开开挖河驳岸区域(2 m 高程)的距离只有 152 m, 堆筑的坡度在 1 : 6.3。

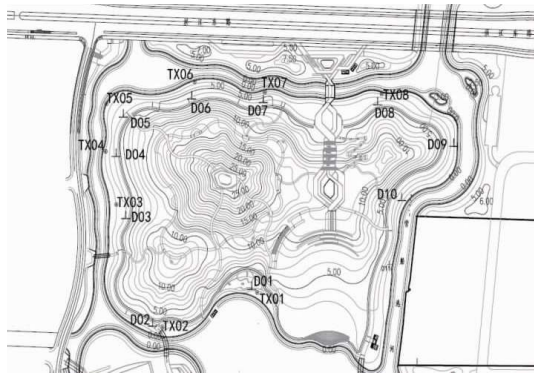


图 1 工程平面图及监测点布置图

在山体四周为新开挖河道, 河床底标高为 -1.0 m, 山体堆筑完成并待沉降稳定后进行河道开挖施工。河道的实施打破了地基原本的整体性, 把堆筑区域与其他区域隔离出来, 使得堆筑区域持力层受到破坏, 使得堆筑难度系数增加、施工工期延长。

2 地质条件

在勘探范围内, 勘探深度之间可分为 2 个工程地质层(11 个工程地质亚层, 4 个透镜体), 除表层填土、淤泥外, 其余属第四纪长江冲积层, 根据勘探资料得出场地和地基较为稳定。场地稳定潜水位一般位于(85 国家高程)2.3 m 左右, 年地下水变化幅度 1.0 m

收稿日期: 2022-11-24

作者简介: 林敏(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程项目管理工作。

左右,近 3~5 年最高地下水位约为 2.5 m,本地区历史最高地下水位约为 3.0 m,地下水 and 土对钢筋混凝土结构及钢筋混凝土结构中的钢筋具有微腐蚀性。

场地处于同一地貌单元,地基基本均匀。现状地形平均标高在 4.0 m 左右,根据土工试验成果,各土层平均厚度、岩土性质指标、强度参数、变形参数、地基承载力值见表 1。

表 1 各项岩土性质指标及有关参数建议使用值

层序	土层名称	平均 层厚 /m	含水量 $w/\%$	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	抗剪强度 q		地基承载力特征值 p/kPa
	土名						c/kPa	$\varphi/(\circ)$	
① ₋₁	素填土	2.08							
① ₋₂	淤泥	0.83							
② ₋₁	黏质粉土	3.14	32.6	18.1	0.29	6.71	14.6	15.9	120
② ₋₂	粉土夹粉砂	3.82	31	18.5	0.18	10.6	8.4	23.5	155
② _{-2T}	黏质粉土	1.58	32.7	18.1	0.26	7.68	14.2	15.5	120
② ₋₃	粉砂夹粉土	5.57	29.4	18.6	0.15	12.36	5.7	27	175
② _{-3T}	砂质粉土	1.46	31.6	18.4	0.21	9.32	10	21.2	135
② ₋₄	粉砂	7.81	28.5	18.7	0.14	13.44	5.2	28.7	185
② _{-4T}	粉土夹粉砂	1.01	31.9	18.4	0.23	8.27	11.6	17.7	135
② ₋₅	粉质黏土夹粉土	4.26	33.6	17.8	0.34	6.08	16.8	13.6	120
② ₋₆	粉土夹粉质黏土	4.95	32.7	18.1	0.29	6.87	14.6	16.2	130
② _{-6T}	粉土夹粉砂	4.85	31.2	18.4	0.2	9.7	9.7	21.7	150
② ₋₇	粉砂	8.66	28.2	18.7	0.13	14.42	4.5	30.2	185
② ₋₈	粉土夹粉砂	6.54	30.4	18.5	0.16	11.68	7.5	25.4	150
② ₋₉	粉细砂	>3.80	27.9	18.8	0.11	16.51	3.2	30	190

3.1 地基承载力计算(26 m 处)

根据估算,受附加荷载作用,根据不同的堆土高度,主要为 25~40 m 以浅土层所产生的变形量,除主山体(标高 26 m)及其周边区域外,影响土层主要位于 25 m 以浅,以粉砂、粉土为主,一般为中等压缩性,局部为中等偏高压缩性,力学强度为一般~较高;约 25~36 m 深度范围内以粉土、粉质黏土为主,中等偏高压缩性土,力学强度较低;其下 40 m 以浅土层以粉砂为主,中~中偏低压缩性土,力学强度较高。

本文以天然地基为基础计算地基承载力。根据力的极限平衡为基础计算,地基承载力与土的容重与强度指标(摩擦角、黏聚力)等有关。在小偏心下根据土体抗剪强度指标确定地基承载力设计值公式为^[6]:

$$f_a = M_b \gamma_b + M_d \gamma_0 d + M_c c_k \tag{1}$$

式中: M_b 、 M_d 、 M_c 为承载力系数; c_k 为基底下一倍短边宽度的深度范围内土的粘聚力标准值。

本工程 c_k 取一倍短边 6 m 范围内土层 c_k 标准值,经计算 c_k 为 19.4,查表可得: $M_b=0.49$ 、 $M_d=3.02$ 、

3 地基土分析

本场地②₋₁ 层土工程特性差异不显著,各处地基土压缩性无较大差异,地基可评价为均匀地基。根据估算山体最大堆高 22 m,土的容重按实验室测得的压缩后最大容重 17 kN/m³ 计算,地基最大荷载约 374 kPa。

$M_c = 5.52$,得 $f_a = 192.5$ kPa。因此地基承载力极限值 $P_{u1/4}$ 为 385 kPa,大于 374 kPa。

因式(1)按照太沙基及汉森理论进行计算,偏于保守,且 26 m 堆载区域为中间局部,从土体深宽修正的理论出发,周边土体回填于 26 m 处起到一个反压的作用,为有利因素。且堆山土体容重小于计算值。因此天然地基满足地基承载力要求。

3.2 地基沉降计算

地基的沉降计算可按《建筑地基基础设计规范》^[7] 中公式 5.3.5 进行:

$$s = \varphi_s s' = \varphi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \tag{2}$$

式中: s 为地基最终变形量(mm); s' 为按分层总和法计算出的地基变形量 (mm); φ_s 为沉降计算经验系数; p_0 为相应于作用的准永久组合时基础底面处的附加压力 (kPa); n 为桩基沉降计算深度范围内所划分的土层数; E_{si} 为等效作用底面以下第 i 层土的压缩模量(MPa); z_i 为桩端平面荷载至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离(m); α_i 为桩端平面荷载计算点至第 i 、

$i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数。

若单独考虑主山体 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 范围的堆土对地基的作用,等效作用面从②₋₁ 层黏质粉土层顶起算,山体填土重度为 17 kN/m^3 ,该范围平均填筑高度取 22 m ,附加压力为 374 kN/m^2 ,取每米计算沉降小于总计算沉降量的 0.025 时停止计算,根据初步计算,止算深度为 38 m 。因此按照附加应力法计算得到各层土体沉降量见表 2。计算 38 m 深度范围内的土体最终沉降量为 398.5 mm 。

4 沉降及位移观测

经计算,本项目天然地基土承载力及沉降计算,均满足要求。同时根据初步分析,剪切应力的影响一般在 25 m 以浅,该范围内土层抗剪强度中等,山体的设计坡比较缓,抗剪一般可稳定。同时,利用土体的自重固结和堆载对地基土的固结效应,结合排水措施将回填土中的孔隙水及地基土中的(超)孔隙水逐渐排水,并达到新的力学平衡。因此可以采用天然地基做为本堆山工程基础。

在采用天然地基施工的过程中,需要同步观测地基沉降及水平位移。因考虑山体填筑时监测点易受影响,因此山体填筑范围内不布置监测点。本工程在堆山区域周边代表性部位布设 10 个地面沉降监测点(埋石点)及 8 个深度达到 15 m 的深层水平位

移监测孔(测斜孔),以确定堆山过程中地基稳定及土体抗剪情况。本工程在堆山区域周边代表性部位布设 10 个地面沉降监测点(埋石点)及 8 个深度达到 15 m 的深层水平位移监测孔(测斜孔),以确定堆山过程中地基稳定及土体抗剪情况。

监测点平面布置见图 1,编号分别为 D01-D10 和 TX1-TX8。水平位移监测孔可兼做地下水位观测点。

三角高程测量采用南方 NTS-341R10A 型全站仪(NO:157889);垂直位移监测采用 DS05 自动安平水准仪(NO:361475)及配套 2 m 钢钢条纹尺;深层水平位移监测采用 CX-3C 基坑测斜仪(NO:5338)。

沉降观测根据项目布设的 3 个基准点,和地面沉降监测点构成闭合水准线路,经连续 3 次观测,3 个基准点及所有监测点观测值较稳定,取其平均值作为初始值。监测时,基准点与监测点处于同一高程系统。

水平位移观测是将测斜仪的探头导轮放置在测斜管内,高导轮对准山体变形方向(与山体等高线垂直);导槽为正向,按 1 m 间隔记录,正反方向各测录一次,通讯至电脑生成深层位移图表。

采用一定的施工措施进行山体堆筑后,得到最终沉降数据见表 3。最终水平位移数据见图 2(水平位移正数代表朝山体外侧位移),过程沉降数据见图 3。

表 2 各层土体沉降量

层号	② ₋₁	② ₋₂	② _{-2T}	② ₋₃	② _{-3T}	② ₋₄	② _{-4T}	② ₋₅	② ₋₆	② _{-6T}
土层厚度 /m	3.14	3.82	1.58	5.57	1.46	7.81	1.01	4.26	4.95	4.85
深度 /m	3.14	6.96	8.54	14.11	15.57	23.38	24.39	28.65	33.60	38.45
附加应力 /kPa	374	374	374	374	374	374	374	374	374	374
自重应力 /kPa	56.52	68.76	28.44	100.26	26.28	140.58	18.18	76.68	89.10	87.30
压缩模量 /MPa	6.71	10.60	7.68	12.36	9.32	13.44	8.27	6.08	6.87	9.70
沉降 /mm	43.75	33.70	19.24	42.14	14.65	54.33	11.42	65.51	67.37	46.75

表 3 各沉降监测点最终沉降量

点号	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10
原始高程 /m	3.47	3.62	4.19	4.43	4.82	5.25	5.28	4.43	5.06	4.42
测量高程 /m	3.46	3.58	4.14	4.37	4.77	5.05	5.23	4.37	5.03	4.37
沉降 /mm	9.40	41.20	47.12	56.61	47.77	201.68	56.28	57.51	26.82	53.79

根据图 2 及图 3 各观测点的水平位移及沉降数据可知,TX5 及 TX6 观测点深度为 1 m 处水平位移较大,分别为 94.30 mm , 92.18 mm 。DX6 最终沉降为 201.7 mm 。

因 5# 点及 6# 点处为整个堆山工程最危险区域,在山体堆筑完成后未沉降稳定后进行土方开挖

导致该处地基出现滑移,经监测报警后采取土方回填。所以该处位移及沉降出现较大数值。

根据测斜报告 12 月份完成全面堆山后,3 月份以后各点变化速率由 0.08 mm/d 到 6 月份逐渐趋近与 0 mm/d ,最大水平位移为 TX1。根据沉降观测报告,4 月份后沉降量最大为 D01 点的 0.8 mm/m 至 6

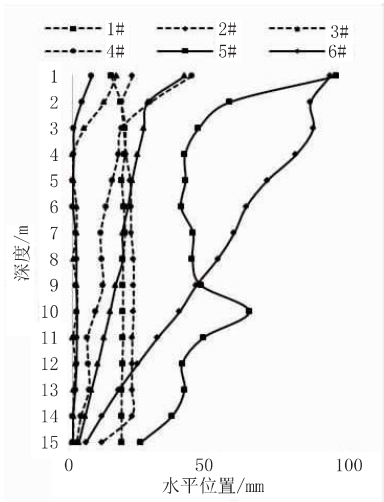


图 2 各水平观测点最终水平位移数据

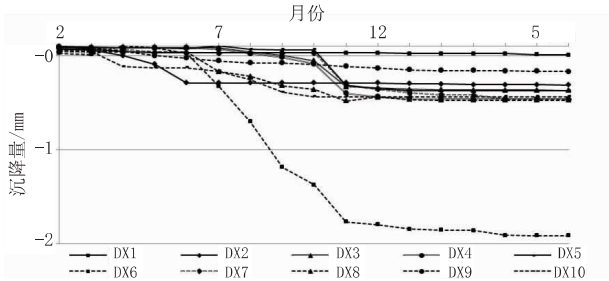


图 3 各沉降观测点沉降过程

月份为 0 mm/m。因山体主要以种植苗木为主,辅以园路及平台,该沉降量在容许范围内,可以认为沉降收敛,趋于稳定。

5 结 论

本工程通过理论分析地质条件、地基承载力计算及实际监测周边地面沉降、水平位移观测结果相

结合,分析得到以下认识:

(1)水平位移观测点除 TX5 及 TX6 外,平均值为 22.35 mm。地基沉降除 DX6 外,平均值为 39.7 mm。观测点数据远小于理论计算最终沉降量 398.5 mm,满足工程地基沉降要求。

(2)堆山工程荷载大,地基发生固结时间较长,应合理安排施工工序及施工周期,使地基充分固结后进行下一道工序,并结合工程地质特点,采用相关措施加速地基固结,提高地基承载力,缩短工期。

(3)通过后期绿化种植后长期观测数据分析得出,周边地面沉降均在容许沉降范围内,因此砂性土地区堆山工程堆筑 20 多米山体时可采用天然地基进行堆筑,可为相关砂性土地区堆山工程地基处理提供类似参考。

参考文献:

[1] 顾凤祥,阎长虹,王彬,等.江苏某市人工堆山坍塌机理分析[J].工程地质学报,2011,19(5):697-702.
[2] 乐超,徐超,吴雪峰,等.两种塑料排水板滤膜淤堵特性试验研究[J].岩土力学,2014,35(9):2529-2534.
[3] WEBER T M,PLOTZE M, LAUE J.Smear zone identification and soil properties round stone columns constructed in-flight in centrifuge model tests[J].G é otechnique,2010,60(3):197-206.
[4] 许波,雷国辉,郑强,等.考虑涂抹区压缩及渗透系数变化的堆载预压固结解[J].岩土力学,2014,35(6):1607-1616.
[5] 蒙宇涵,陈征,冯健雪,等.初始孔压非均布下一维地基砂垫层优化研究[J].岩土力学,2019(12):1-9.
[6] 汪莹鹤,赵新益,曾长贤.地基承载力确定方法综述[J].铁道工程学报,2013,30(7):16-21,64.
[7] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com