

夯实水泥土桩在加固某工程杂填土地基中的应用

①④
57-60

张家柱 朱士彬 黄忠赤

(安徽省、水利部淮委水利科学研究所 蚌埠 233000)

TU449
TU447.2.31

摘要 结合用夯实水泥土桩来加固杂填土地基的工程实例,对用夯实水泥土桩加固地基的原理、设计计算以及施工中的有关问题进行了详细的论述;同时根据加固后的桩体及复合地基的检测结果,评价和论证了用夯实水泥土桩加固杂填土地基不仅地基承载力提高,沉降减少,而且造价低,对周围环境影响少,是值得推广应用的地基加固技术。

关键词 地基加固 夯实水泥土桩 复合地基 压实系数 承载力 杂填地基、综合楼

安徽省某开发区综合楼工程为 7 层框架结构,采用柱下独立基础。建筑场地处于淮河支流——沱河一级阶地地貌单元上,地面以下以杂填土、粉质粘土、粉细砂为主要地层结构。浅层地基为杂填土,结构松散、压缩性高、工程性质差且不均匀,仅依靠天然地基已不能满足要求。为此,采用夯实水泥土桩来加固杂填土层,以提高地基承载力,减少其沉降量和不均匀性。该工程已于 1995 年建成并交付使用,效果良好。该工程实践表明,采用夯实水泥土桩加固杂填土地基是一种行之有效的地基加固技术。

1 场地地基土特性

工程场地原系居民区,地基土自地表向下 10 m 范围内可分为 3 层:①杂填土,黑色、黄灰色,可塑-软塑状态,内夹碎砖块、瓦片、煤渣及草木灰,结构松散,不均匀,工程性质差;底部有素填土,层厚 5.6 ~ 7.7 m,层底标高 23.56 ~ 25.09 m,该层 $N_{63.5}$ 一般为 13 ~ 30 击, $N_{63.5}$ 为 4.52 ~ 13.0 击, p_s 值一般为 0.51 ~ 4.04 MPa, $E_s = 3.0$ MPa,承载力标准值 $f_k = 80$ kPa;②粉质粘土,灰黄色,可塑状态;含氧

化铁、铁锰结核及少量钙核,层厚 2 m 左右,层底标高 22.7 ~ 23.3 m, $N_{63.5}$ 一般为 4.35 ~ 13.0 击, p_s 值为 1.35 ~ 2.41 MPa, $E_s = 7.5$ MPa,承载力标准值 $f_k = 150$ kPa;③粉细砂,褐黄色、中密、饱和,内夹杂有云母片;该层未钻穿, $N_{63.5}$ 为 12.57 ~ 25.5 击, p_s 值为 5.38 ~ 15.88 MPa, $E_s = 12.0$ MPa,承载力标准值 $f_k = 200$ kPa。场地地面高程在 30.18 ~ 31.06 m 之间,呈东高西低,地下水属上层滞水及潜水型,水位升降受大气降雨影响。施工期间地下水位在 23.5 ~ 24.06 m 高程处。

2 地基处理方案的确定

根据建筑物场地的工程地质条件及建筑物上部荷载的要求,决定对杂填土层进行加固处理,以达到提高地基承载力、减少地基的不均匀性和沉降量。为此,进行方案的选择:①第一方案,振冲碎石桩加固,除了造价高外,施工中产生的振动将影响邻近建筑物的安全和周围居民的生活;另一方面,施工中冲孔时所产生的泥浆也会污染城市主干道和居民生活区,将给施工带来很多不便。②第二方案,夯实水泥土桩加固,此法可以弥补上述

第一作者简介:张家柱,男,工程师,从事土力学与地基基础试验研究,曾发表《灌注桩充盈系数计算方法探讨》等论文。

方案许多不足,而且施工设备简单、造价较低、工期短,符合城市文明施工的要求。最终确定采用第二方案。

3 地基加固设计

夯实水泥土桩加固地基的原理是:在规定的位置挖出一系列桩孔,再向孔内填入拌和均匀的水泥土并经人工强力夯实到设计要求的干密度,最后在地基中形成夯实水泥土桩复合地基,共同承担上部建筑荷载;并按协同变形的原则,由压缩性小的夯实水泥土桩分担大部分荷载,从而减轻了作用于桩间土的荷载,提高了原地基的承载力,消除了持力层内产生大量的压缩变形等不利影响。夯实水泥土桩加固地基的设计就是根据加固的目的,确定桩的尺寸和平面布置形式;根据建筑物荷载的要求,加固后的复合地基承载力 $f_{sp,k} = 180 \text{ kPa}$ 。

3.1 设计桩径

根据施工工艺和设备情况,本工程的设计桩径采用 $d = 350 \text{ mm}$ 。

3.2 桩长的确定

根据地质条件,设计有效桩长 L 为 4.5 m ,桩端落在粉质粘土层不少于 0.5 m 。

3.3 设计计算

该桩的横截面积 $A_p = 0.096 \text{ m}^2$,周长 $U_p = 1.099 \text{ m}$,桩侧平均摩阻力 $\overline{q_s}$ 按勘察部门提供的经验数据取 15 kPa ,桩端落在可塑状态的粉质粘土层中 q_p 取 150 kPa ;单桩承载力 R_k^d 按摩擦-端承型桩计算;

$$R_k^d = U_p \cdot \sum q_{si} \cdot l_i + \alpha A_p q_p = 95 (\text{kN}) \quad (1)$$

桩身水泥土设计强度

$$f_{cu,k} = \frac{R_k^d}{\eta \cdot A_p} = 1980 (\text{kPa}) \quad (2)$$

根据试验室内配比试验,相应于 $f_{cu,k} = 1980 \text{ kPa}$ 的水泥土配方为水泥与干土之比为 $1:7$ 的水泥掺入比(采用 425 号普通硅酸盐水泥),拌和后水泥土的最优含水量为 $16\% \sim$

19% ,且夯实后的水泥土干密度不应低于 1.53 g/cm^3 。

夯实水泥土桩复合地基的面积置换率:

$$m = \frac{f_{sp,k} - \beta f_{s,k}}{\frac{R_k^d}{A_p} - \beta f_{s,k}} = 0.165 \quad (3)$$

式中 β 为桩间土承载力折减系数,取 0.25 ; $f_{sp,k}, f_{s,k}$ 为复合地基和桩间土天然地基的承载力标准值; $f_{sp,k} = 180 \text{ kPa}, f_{s,k} = 80 \text{ kPa}$ 。

3.4 桩的平面布置

该建筑物基础采用独立基础,根据上部建筑荷载情况,要求加固处理后的复合地基承载力 $f_{sp,k} = 180 \text{ kPa}$,因此夯实水泥土桩沿每一独立基础下布置呈正方形,桩距 0.75 m 。为了有利于基底应力的扩散和传递以及加强对每一基础边缘地基土的约束作用,在基础外缘分别设置 2 排或 3 排护桩。

4 夯实水泥土桩的施工

施工设计主要是按布桩形式确定夯孔的施工方法,选定土料、确定夯实指标。根据上述要求结合工艺性试验桩的情况,桩的施工由柱基周边向中间,按间隔 1 孔的施工顺序进行;用洛阳铲成孔,桩端进入粉质粘土层不少于 0.5 m ,水泥土中的土料选用塑料指数 $I_p > 10$ 的粘性土,分层填入,分层夯实,每层虚铺厚度不超过 250 mm ,夯实标准按夯沉量小于或等于 10 mm/5 击。

工程实际施工工期为 20 d ,成桩 1499 根,每延米的水泥用量为 22 kg 。

5 质量控制和加固效果检验

工程的质量控制分成两种情况,一种是施工过程的质量控制,主要以随机检查桩身 3.0 m 以上不同深度内夯实水泥土的干密度,计算出压实系数来评价桩身质量;另一种是施工结束后 15 d 通过静载荷试验来确定单桩和单桩复合地基的承载力。

5.1 桩身干密度检测

对每一批水泥土桩施工完成后,按工艺

性试桩的要求随机抽取 1~2 根桩(总计抽取 8 根桩体),用洛阳铲在桩体内沿不同深度处用长柄环刀取样,测得其桩身夯实水泥土的干密度值一般为 $1.52 \sim 1.61 \text{ g/cm}^3$,压实系数 $\lambda_c = 0.93 \sim 0.98$,能满足要求,其中的 68 号桩的检测结果见表 1(水泥土的最大干密度 $\rho_d = 1.64 \text{ g/cm}^3$)。

表 1 68 号桩检测结果

取样深度 /m	含水量 $w/\%$	干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	压实系数
0.8	15.6	1.57	0.96
1.5	17.3	1.54	0.94
2.0	17.8	1.61	0.98
2.5	18.1	1.58	0.96
3.0	17.1	1.57	0.96

5.2 静载荷试验

为确定复合地基的承载力,在成桩 15 d 后,在场地随机选取了 1 根单桩和 3 个单桩复合地基进行垂直静载荷试验,试验结果见表 2 和表 3 及图 1 和图 2。

表 2 单桩静载荷试验结果

桩顶荷载 Q/kN	沉降量 s/mm	桩顶荷载 Q/kN	沉降量 s/mm
40	1.019	160	6.793
60	1.558	180	8.776
80	2.303	200	11.695
100	3.188	215	15.165
120	4.196	230	18.885
140	5.389	245	40.015

表 3 单桩复合地基静载荷试验结果

压板荷载 p/kPa	累计沉降量 s/mm		
	1 号	2 号	3 号
72	0.669	0.401	0.665
108	1.119	0.701	1.110
144	1.620	1.104	1.511
180	2.623	1.581	1.926
216	3.850	2.208	2.404
252	6.487	3.184	3.064
288	12.567	4.570	5.388
324	23.410	6.433	23.120
360	34.100	8.960	桩头压碎
极限荷载 /kPa	≥ 360	≥ 360	288
承载力基 本值/kPa	≥ 180	≥ 180	180

由表 2 和图 1 可见,单桩的极限承载力

$Q_u = 230 \text{ kN}$,承载力基本值 $Q_0 = 115 \text{ kN}$,此试验结果接近于公式(1)的理论计算值。由表 3 和图 2 可知:加固后的复合地基承载力标准值达到 180 kPa 以上,是天然地基承载力标准值的 2.25 倍以上,加固效果显著。另外,根据复合地基静载荷试验结果,经计算表明:加固后地基的沉降量仅为未加固天然地基的 $1/3.4 \sim 1/4$;相邻柱基的差异沉降仅为 $3 \sim 7.5 \text{ mm}$ 。

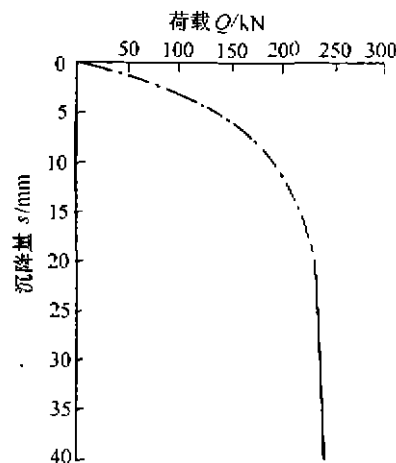


图 1 单桩 $Q \sim s$ 试验曲线

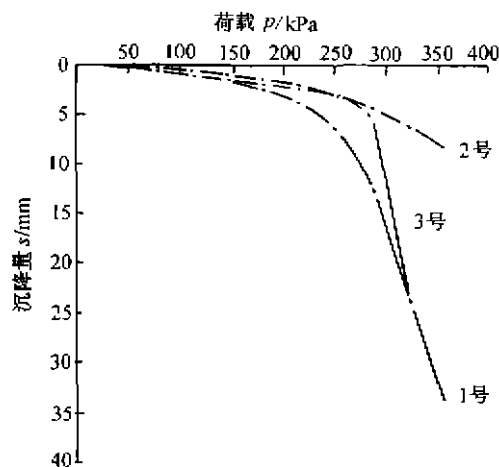


图 2 单桩复合地基 $p \sim s$ 试验曲线

6 结 语

a. 夯实水泥土桩具有刚性桩体的作用,其复合地基的承载力是原天然地基承载力的 2.25 倍以上,提高了地基的强度,减少了沉降量和不均匀性。

b. 夯实水泥土桩加固杂填土地基的施工速度快、工期短、经济合理,比碎石桩方案节省投资 35%。

c. 无污染、无振动,对附近建筑物无影响;施工设备简单,易于操作。

总之,用夯实水泥土桩加固杂填土地基技术上是可行的,效果明显,是一项值得推广的地基加固技术。

参考文献

- 1 地基处理手册编写委员会.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,1988.120~160
- 2 JGJ79—91 建筑地基处理技术规范
- 3 叶书麟编著.地基处理.北京:中国建筑工业出版社,1988.39~132

(收稿日期:1998-08-25 编辑:熊水斌)

·小资料·

世界各国(地区)水力发电量占总发电量比重

%

非 洲		亚洲、大洋洲		欧 洲		北、南美洲	
布隆迪	100	不丹	100	挪威	99.6	巴拉圭	100
扎伊尔	99.9	塔吉克斯坦	97.8	冰岛	95	巴西	97.4
赞比亚	99.8	斯里兰卡	94	阿尔巴尼亚	87.5	危地马拉	94
马拉维	99.5	亚美尼亚	90	拉脱维亚	74	洪都拉斯	90.8
刚果	99.5	老挝	90	奥地利	68	乌拉圭	88
喀麦隆	98.5	斐济	89.3	格林兰	59	秘鲁	85
乌干达	98	格鲁吉亚	89	瑞士	59	苏里南	81
卢旺达	98	尼泊尔	85.7	瑞典	52	厄瓜多尔	80
加纳	97	巴布亚新几内亚	75	克罗地亚	42	巴拿马	77.6
莫桑比克	92.2	越南	72.1	费罗群岛	40	哥伦比亚	76.1
纳米比亚	90.1	阿富汗	68	南斯拉夫	35.4	哥斯达黎加	75
埃塞俄比亚	87	新西兰	66	波黑	35	委内瑞拉	72
坦桑尼亚	85	韩国	60	斯洛文尼亚	33.3	加拿大	62
中非共和国	81	巴基斯坦	45.5	罗马尼亚	28.7	玻利维亚	59
肯尼亚	80	叙利亚	45	葡萄牙	25.6	萨尔瓦多	55
加蓬	80	土耳其	41	西班牙	20	海地	50
安哥拉	75	马来西亚	30	芬兰	19	阿根廷	44.7
马达加斯加	75	菲律宾	26	意大利	18.6	墨西哥	28.8
苏丹	71	印度	25	斯洛伐克	18	尼加拉瓜	25
马里	69.6	泰国	20	法国	15.4	多米尼加	15
留尼汪	61	中国	18	马其顿	13.8	美国	9.9
圣多美和普林西比	53	印尼	13.7	希腊	9.3	牙买加	2
利比亚	43	黎巴嫩	13	乌克兰	8.7	波多黎各	2
尼日利亚	37	伊朗	12.9	卢森堡	7.2		
几内亚	32	乌兹别克斯坦	12	保加利亚	6		
摩洛哥	25	澳大利亚	11	立陶宛	5.5		
埃及	20	孟加拉	10	爱尔兰	5		
津巴布韦	20	哈萨克斯坦	10	德国	4.2		
毛里塔尼亚	18	日本	9.2	捷克	4		
斯威士兰	15	中国台湾省	4	波兰	1		
科摩罗	13	朝鲜	3	英国	0.5		
毛里求斯	12.8	约旦	1	比利时	0.4		
多哥	12	沙罗门群岛	1	荷兰	0.2		
赤道几内亚	11	柬埔寨	<1	塞浦路斯	0.1		
索马里	6	以色列	>0	匈牙利	0.1		
塞拉里昂	1	蒙古	>0	爱沙尼亚	0.02		
南非共和国	1			白俄罗斯	>0		
阿尔及利亚	0.9			丹麦	>0		
突尼斯	0.3						

(摘自《Hydropower & Dams 1997 World Atlas & Industry Guide》)