

强夯法在深圳中兴花园大面积厚填土地基加固处理中的应用

郑惜平¹, 慎乃齐², 陈 奇²

(1. 深圳市建设土石方机械工程有限公司 广东 深圳 518028 2. 中国地质大学 北京 工程技术学院 北京 100083)

摘 要 通过深圳中兴花园住宅小区地基处理工程实践, 阐述了强夯加固大面积厚填土地基的设计方案、施工工艺和应用效果。实践证明, 采用强夯法处理填土地基是行之有效的。

关键词 强夯法 填土 地基处理

中图分类号: TU472.3⁺1 文献标识码: B 文章编号: 1000-3746(2002)S1-0231-03

1 工程概况

中兴花园住宅小区位于深圳市龙岗区, 拟建 14 幢 8 层住宅楼, 1 幢 6 层写字楼和单层商铺, 以及道路、停车场等附属设施。地基面积约为 36100 m², 地面高程 52.33~60.33 m。地基是在坡地和河沟上经人工填土而成, 填土厚度 2~15 m。由于填土松散、厚度大且不均匀, 需要对填土地基进行处理。根据设计要求, 地基承载力标准值 ≤ 180 kPa/m², 建筑物建成后的剩余沉降量 < 10 cm, 差异沉降量 $< 2\%$ 。在对多种处理方案进行技术、经济对比后, 最后采用高能强夯法进行地基加固处理。经工程检测, 加固效果令人满意。

2 场地工程地质条件

根据地质勘察报告, 该场地土层自上而下为:

(1) 人工填土(Q^{ml}): 由粉质粘土和强风化砂岩碎块组成, 干, 松散状态, 层厚不均匀, 厚度 2.70~15.00 m, 平均厚度 8.2 m, 承载力标准值 90 kPa;

(2) 植物层(Q^{pd}): 由含砾粉质粘土组成, 含植物根系, 层厚 0.40~1.70 m, 层底埋深 2.70~15.60 m, 承载力标准值 100 kPa;

(3) 含砾粉质粘土层(Q^{dl+pl}): 可塑状, 层厚 0.8~12.00 m, 层顶埋深 2.00~15.60 m, 承载力标准值 170 kPa;

(4) 粉土层(Q^{dl+pl}): 局部含朽木, 呈透镜体展布, 层厚 1.80~3.60 m, 层底埋深 12.0~20.50 m, 承载力标准值 140 kPa;

(5) 砾质粘土层(Q^{dl}): 局部含铁质、泥质结核, 硬塑状, 承载力标准值 200 kPa;

(6) 砂质粘土层(Q^{cl}): 上部呈可塑~硬塑状, 低压缩性; 下部呈流塑~软可塑, 层厚 1.00~11.00 m, 埋深 19.8~37.70 m, 承载力标准值 90 kPa;

(7) 下伏石炭系砂岩、粉砂岩和大理岩。

现场钻探期间, 地下水埋深 5.50~11.00 m。

3 强夯参数的设计

强夯是利用高能量的冲击作用, 使地基土压密和振密, 以达到提高地基土的强度, 降低其压缩性, 改善地基土性状的目的。

强夯法加固地基的关键在于合理设计强夯技术参数^[1]。根据现场的地质条件和工程使用要求, 结合以往的经验, 确定以下主要设计参数。

3.1 单点夯击能

单点夯击能(即夯锤和落距的乘积)应根据工程要求加固深度确定^[2], 经验公式为:

$$Z = \alpha \sqrt{0.1MH}$$

$$E = MH$$

式中: Z ——加固影响深度, m; M ——锤重, kN; H ——落距, m; α ——深度修正系数, 取值 0.28~0.85; E ——单点夯击能, kN·m。

由于本场地地基强夯加固的主要对象是人工填土, 其厚度分布极不均匀, 场地的东西两侧厚度 2~3 m, 而中部可达 15 m。因此按填土厚度将场地划分为 2 个不同能量的强夯区处理较为适宜。根据工

收稿日期: 2001-03-27

作者简介: 郑惜平(1966-), 男(汉族), 广东饶平人, 深圳市建设土石方机械工程有限公司工程师, 工程地质专业, 从事岩土工程勘察、设计、施工、监理工作, 广东省深圳市红岗路红岗西村(0755)2268146。

程需要达到的加固深度分为:夯区 I:填土厚度 >8 m,最大埋深达 15 m,选用锤重 $M=250$ kN,落距 $H=24$ m,取系数 $\alpha=0.55$,单点夯击能 $E=MH=6000$ kN·m;夯区 II:填土厚度 <8 m,选用锤重 $M=150$ kN,落距 $H=20$ m,单点夯击能 $E=MH=3000$ kN·m。

3.2 夯点布置

强夯按正方形网格布置夯点。在 6000 kN·m 能量夯区,夯点间距在楼房基础底面范围以内及其底面以外分别为 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$ 和 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$;在 3000 kN·m 能量夯区,夯点间距则分别为 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 和 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$ 。

3.3 夯击遍数与夯点击数

工程分 3 遍夯实。第 1、2 遍为点夯,单点击数为 9~11 击,夯点夯击采用间隔跳打进行;第 3 遍为低能量(<2500 kN·m)满夯,锤印搭接,每点击夯数不超过 4 击,以不形成地面隆起为原则。

3.4 点夯收锤标准

以最后两击平均夯沉量 >10 cm 的击数为控制击数。当夯不下去且周围隆起过大时,单点总夯击数 ≤ 15 击。

3.5 夯击间歇时间

间歇时间主要取决于孔隙水压力消散的时间,而孔隙水压力的消散与夯击能及土的性质有关。根据场地地质条件,参考有关工程经验,该工程每遍点夯之间间歇时间 ≤ 2 周。

4 施工工艺

该工程按住宅楼分 15 个作业区,拟采取分期施工。首先通过 2 个试验区试夯确定强夯参数。

4.1 施工主要设备

采用 500 kN 及 1000 kN 履带式起重机、自动脱钩装置、推土机、碾压机,夯锤采用 150 kN 及 250 kN 圆柱型钢锤,锤底直径分别为 2.0 m 和 2.5 m。

4.2 工艺流程

平整场地 \rightarrow 测量场地高程、放点 \rightarrow 第 1 遍点夯 \rightarrow 回填推平、测量场地高程、恢复点位 \rightarrow 第 2 遍点夯 \rightarrow 回填推平、测量场地高程、恢复点位 \rightarrow 满夯 \rightarrow 推平、碾压、测量场地高程 \rightarrow 检测 \rightarrow 竣工验收。

4.3 施工要点

夯击时,落锤应平稳,点位偏移 >5 cm,若发现因坑底倾斜造成夯锤歪斜时,应及时将坑底整平。施工中,单点夯击能、击数、收锤标准必须符合设计要求,当夯坑达到 2 m 左右或拔锤困难时,应及时回填

碎石土,以保证夯击质量;由于场地填土厚度大,结构松散,每遍夯实后需要采用推土机平整场地,碾压机随后碾平,夯点复位偏差 >5 cm;有组织按顺序夯击,并进行详细的施工记录,避免偏夯、漏夯。雨期施工时,若夯坑或场地有积水,应及时排除;根据检测结果,对场地改良不理想地段必须进行补夯,以确保达到设计要求。

5 加固效果评价

为了检验强夯的加固效果,强夯后对场地分别进行了荷载试验、标贯试验、瑞雷波检测和室内土工试验。

5.1 荷载试验

强夯后,在不同能量夯击的填土地基上取 4 个点进行了大型荷载试验,荷载板面积为 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 。在 $S-P$ 曲线(图 1)上 4 个试验点的最大加载力为 250 kPa,曲线未出现拐点。根据《深圳地区地基处理技术规范》(SJG 04-96)规定,按沉降量与荷载板宽度之比 $S/b=0.010$ 确定地基承载力标准值,则夯后地基承载力标准值 >180 kPa,相应的变形模量为 34.0~73.1 MPa,压缩模量为 8.4~12.1 MPa,完全满足建筑设计的要求。

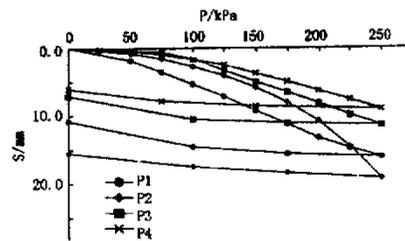


图 1 荷载试验 $S-P$ 曲线

P1、P2、P3 —— 6000 kN·m 夯区试验点; P4 —— 3000 kN·m 夯区试验点

5.2 标准贯入试验

由表 1 可得,填土强夯后,强度有明显提高。基础底面持力层夯前的标贯击数平均为 5.2~6.5 击,夯后提高到 14.5~33 击,为原来的 2.4~5.4 倍,下卧层亦有明显的改善。6000 kN·m 夯区的夯击有效加固深度为 13 m 左右,3000 kN·m 夯区的夯击有效加固深度为 9 m 左右,满足了设计要求,也表明有效深度修正系数的取值基本上符合本工程的实际情况。

5.3 瑞雷波检测

场地内布设瑞雷波测试点 172 个,占强夯加固区总面积的 21.1%。测点瑞雷波检测结果(表 2)表

表 1 夯后、夯前平均标准贯入击数对比

深度 /m	3000 kN·m 夯区			6000 kN·m 夯区		
	$N_{前}/击$	$N_{后}/击$	$N_{后}/N_{前}$	$N_{前}/击$	$N_{后}/击$	$N_{后}/N_{前}$
3.0	6.0	32.5	5.4	6.0	31.0	5.2
6.0	5.2	24.0	4.6	6.2	22.2	3.6
9.0	6.5	21.0	3.2	5.5	17.1	3.1
13.0	11.0	14.4	1.3	6.0	14.5	2.4
15.0	14.3	15.4	1.1	7.5	10.0	1.3
17.0				7.0	9.1	1.3
≥17.0				10.2	9.5	0.9

明,强夯后地基承载力标准值在 184.4~237.0 kPa 之间,变形模量在 11.8~20.2 MPa 之间。由波速-深度曲线分析得到的强夯加固深度范围,在 3000 kN·m 能量区为 8.5~10.2 m,在 6000 kN·m 能量夯区为 12.3~14.0 m,与上述标贯试验取得的结果基本吻合。

5.4 室内土工试验

如表 3 所示,强夯前后各土层的物理力学性质都有不同程度的变化,填土层反映较明显。填土在夯后孔隙比降低了 18%,压缩系数减少了 48%,压

缩模量相应提高了 67%,这对于减少工后沉降量起到了显著效果。填土下卧的薄层植物层和厚层砾质粘土层在夯后的密度和强度也略有增加。

表 2 典型测点瑞雷波检测结果

夯击能 /(kN·m)	测点号	深度范围	f_k /kPa
		/m	
3000	A113-1	0.0~10.0	211.9
		10.0~16.0	219.5
	A113-2	0.0~10.0	219.5
		10.0~15.5	227.2
A113-3	0.0~9.0	197.1	
	9.0~15.0	204.4	
A113-4	0.0~9.0	211.9	
	9.0~15.0	189.8	
6000	A011-1	0.0~13.0	242.9
		13.0~17.0	182.6
	A011-2	0.0~13.0	227.2
		13.0~16.0	182.6
	A011-3	0.0~14.0	235.0
		14.0~17.0	189.8
	A011-4	0.0~15.0	242.9
		15.0~19.0	197.1

表 3 地基土强夯前、后物理力学性质指标

土层	$\rho_d/(g \cdot cm^{-3})$		e		a_{1-2}/MPa^{-1}		E_s/MPa		$\varphi/^\circ$		c/kPa	
	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后	夯前	夯后
人工填土	1.62	1.65	0.72	0.59	0.33	0.17	5.7	9.5	24.8	23.4	35.5	38.3
植物层	1.35	1.55		0.70		0.25		8.1		16.5		39.1
砾质粘土	1.66	1.62	0.63	0.65	0.27	0.22	6.6	8.1	14.8	16.7	35.0	69.0

5.5 强夯地基变形验算

强夯地基及下卧层沉降量计算,采用《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-96)推荐的分层总和法进行计算。根据地基强夯后的检测成果,选取区内填土层分布变化大的方向及存在软弱土层地段的 A1~A8、A11~A13 等 11 幢楼地基进行沉降验算,结果表明,建筑物工后剩余沉降量为 5.3~8.2 cm,差异沉降量为 0.1‰~0.4‰,符合设计要求。

6 结语

(1)采用高能量强夯法处理大面积厚填土非均匀地基是可行的,其加固效果显著,施工简单,质量易控制,费用低廉。

(2)检测结果表明,随着夯击能的增加,强夯的

影响深度明显增大。3000 kN·m 能量夯击区的有效加固深度约 9 m,6000 kN·m 能量夯击区的有效加固深度约 13 m。场地填土深度修正系数约 0.55。

(3)强夯施工过程中,由于向夯坑内回填碎石土,使得一定深度内的填土得以置换改良,这不仅避免了高能量作用下夯坑沉降量过大、地面隆起等影响,而且有利于孔隙水压力的消散,提高了加固效果。

参考文献

- [1] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [2] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.