

黄土地区墓坑群地基加固处理工程实例

张建英 章杰

(机械工业勘察设计研究院, 西安 710043)

【摘要】 简述了黄土地区墓坑群地基的加固处理, 概述了钻孔夯扩碎石挤密桩复合地基的设计过程, 通过一黄土地区墓坑群地基加固处理的工程实例, 分析了地基加固处理后的效果并提出了黄土地区墓坑群地基作加固处理的有关问题。对类似地基的加固处理具有借鉴作用。

【关键词】 黄土; 墓坑群; 地基处理。

【中图分类号】 TU 472

An Engineering Case of Reinforcing Treatment on Foundation of Tomb Pit in Loess Area

【Abstract】 Reinforcing treatment on foundation of tomb pit in loess area was brief introduced in this paper and the design of composite foundation with drilling ram-expanded gravel piles was generally narrated by an engineering case of reinforcing treatment on that foundation, the results of reinforcing treatment on this foundation was analysed herein and problems existing on that was made. This will be reference worthy on reinforcing treatment of the foundation like this.

【Key words】 loess; a group of tomb pit; foundation treatment

0 引言

我国的黄土主要分布在中、西部地区, 由龙羊峡至三门峡的黄河中游区是我国黄土分布的中心。由于历史的原因, 在这一地区, 分布着大量的墓坑, 主要包括墓葬、填土坑、洞穴、古河及井眼等。对于黄土地区墓坑群地基的加固处理, 主要包括两个方面内容: 一是对墓坑本身的加固处理; 二是对墓坑处理后的整片地基进行二次加固处理。前一方面内容, 目前仍按照1965年2月施行的《建筑地基墓坑探察与处理暂行规程》(Q/XJ104-64) 条文①执行。后一方面内容, 则应根据建筑类型、上部结构情况和工程地质条件综合考虑地基加固处理方案。本文以工程实例揭示了在成桩直径和地基承载力满足设计要求的前提下, 黄土地区墓坑群地基单桩复合地基承载及变形能力差异, 反映了

整片夯扩桩处理前, 墓坑处理规范与实际差异及夯扩桩对浅部墓坑群地基加固的适宜性; 实录了基础下地基中应力不同的墓坑部位第三次加桩情况, 借夯扩桩加固地基实例, 提出了黄土地区墓坑群地基加固建议并求对类似地基加固有所裨益。

1 钻孔夯扩碎石挤密桩复合地基设计计算方法概述

钻孔夯扩挤密桩复合地基是20世纪90年代开发的地基加固处理技术^[1], 黄土地基整片桩加固地基的对象为天然土或经墓坑探察与处理的统一均质地基土, 对于甲、乙类建筑可参照挤密桩消除地基湿陷性及提高地基承载力进行设计。

1.1 桩径

黄土地区钻孔夯扩碎石挤密桩复合地基

成桩工艺,根据试验研究和工程实践,西安地区成孔直径一般 400 mm,成桩直径参照挤密桩消除湿陷性进行设计,常为不小于 550 mm。

1.2 桩距

黄土地区大多为消除地基湿陷性同时提高地基承载力,甲、乙类建(构)筑物地基处理时桩孔一般按等腰三角形布置,孔心距按下式计算:

$$x = \frac{0.866}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\eta_c \gamma_{d \max} - \gamma_d / k^2}{\eta_c \gamma_{d \max} - \gamma_d}} \cdot D \quad (1)$$

式中: x ——桩(孔)心距, cm;

n ——排距系数(即排距 t /桩心距 x);

k ——钻孔夯扩桩扩径系数(即夯扩成桩直径 D /钻孔直径 d , $k \in [1.30, 1.38]$);

γ_d ——加固前各层土的平均干密度, g/cm³;

$\gamma_{d \max}$ ——击实试验确定的最大干密度, g/cm³;

η_c ——桩间土的平均挤密系数,甲、乙类建筑及其它类建筑不宜小于 0.93 及 0.90(桩间土的最小挤密系数要求:甲、乙类建筑及其它类建筑不宜小于 0.88 及 0.84)。

上述指标中 η_c 为主要控制指标,按文献 [2] 标准执行。

1.3 桩孔深度

桩孔深度应根据建筑物对地基要求、建筑场地湿陷类型、地基湿陷等级以及湿陷土深度等条件,按照复合地基理论,并考虑地基变形演算确定。

1.4 桩孔填料

桩孔内的填料,应根据工程要求或地基处理的目的,并考虑场地土质条件后确定,应用压实系数 λ_c 控制夯实质量。

当用砂、碎石及其它填料时宜参照文献 [3] 中的素土和灰土标准执行,建议桩体压实系数 λ_c 不小于 0.95。

1.5 复合地基承载力

钻孔夯扩碎石挤密桩复合地基,桩身破坏模式为桩体鼓胀破坏。按行业标准^[3]复合地基承载力标准值应按现场复合地基静载试验确定或按下式确定。

$$f_{sp,k} = m f_{p,k} + (1 - m) f_{s,k} \quad (2)$$

式中: $f_{sp,k}$ ——复合地基承载力标准值, kPa;

$f_{p,k}$ ——单桩承载力标准值, kPa;

$f_{s,k}$ ——桩间土承载力标准值, kPa, 均通过载荷试验求取;

m ——置换率, 钻孔夯扩桩 $m = (\pi D^2/4)/nx^2$;

$f_{s,k}$ ——桩间土承载力标准值, 当无载荷试验实测资料时, 可选用天然地基土的容许承载力并按下式确定。

$$f_{sp,k} = [1 + m(N - 1)] f_{s,k} \quad (3)$$

式中: N ——桩土应力比, 可取 2~4。

1.6 垫层厚度

为调整地基不均匀变形及优化桩土荷载分担比,宜在基础下铺设一定厚度的砂石垫层,厚度一般 200~500 mm。垫层的质量应用压实系数控制,建议垫层压实系数 λ_c 不小于 0.95。

1.7 复合地基变形演算

复合地基沉降为加固区变形 s_1 、下卧层变形 s_2 和柔性垫层变形 s_3 三部分之和。

对于下卧层的变形 s_2 ,可按文献[4]进行,由于柔性垫层分层压密且累计厚度不大,该部分变形 s_3 很小,可忽略不计。

对加固区的变形,龚晓南^[5]建议采用应力修正法(E_s法)。

$$s_1 = u_s s_{1s} \quad (4)$$

式中: u_s ——应力修正系数, $u_s = 1/[1 + m(N - 1)]$;

s_{1s} ——未加固地基(天然地基)在荷载 Q 作用下沉降量, mm, 可按一般分层总和法计算。

2 工程概况

位于西安市北郊某工程, 拟建建筑物为 A、B 两幢紧邻的住宅楼, 均为 11 层, 设一层地下室, 高度均为 35.0 m, 剪力墙结构, 片筏基础, 基础埋深 -4.10 m, 该建筑物属乙类建筑, 地基为非自重 II 级湿陷性黄土类型。场地地层主要由填土①、黄土(粉质粘土)②、黄土(粉质粘土)③、黄土(粉质粘土)④、持力层古土壤⑤组成。由于该场地属墓坑群非均匀地基, 根据设计要求应先对墓坑按有关规程进行

加固处理, 再对整片地基采用钻孔夯扩碎石桩二次加固处理, 要求处理后的最终复合地基承载力标准值不小于 220 kPa。

3 墓坑群的探查与处理

根据 Q/XJ104-64 条文①要求, 探墓工作采用洛阳铲打孔提取土样并鉴别土质类型。探察范围为基础边缘外不小于 3 m, 探察深度以浅探与深探相结合, 布孔方式为探察范围内 1 m×1 m 的梅花型。经普探后, 发现本场地共有 28 处墓坑, 墓坑群的平面位置详见图 1。

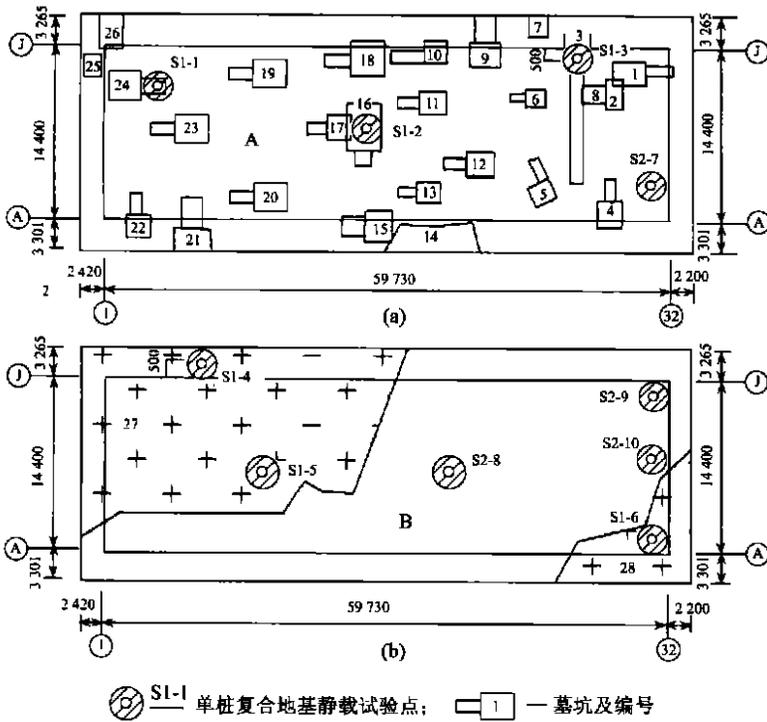


图 1 A、B 场地的墓坑及静载试验点分布图

根据墓坑内充填土的密实程度对墓坑分类为实墓、虚墓或空墓后, 按条文①确定是否处理。本工程 A 楼内按条文①要求对其中的 1[#]、16[#]、25[#] 及 26[#] 空墓墓坑进行了换 1:9 (体积比) 灰土夯填处理, B 楼中对 27[#] 大坑(垃圾坑)进行了换素土夯填处理, 28[#] 垃圾坑在开挖基坑时挖除, 经验收符合设计要求后进行下道整片地基上的钻孔夯扩碎石挤密桩复

合地基施工。

4 钻孔夯扩碎石桩二次加固处理

墓坑群探察与处理后的地基承载性能显然不能满足基底压力的要求, 为进一步提高地基土的承载性能及场地均匀性, 设计采用了整片钻孔夯扩碎石挤密桩复合地基方案。场地钻孔夯扩碎石桩, 按等边三角形布置, 桩心距 1.10 m, 成孔直径 400 mm, 成桩直径不小于

550 mm, 桩长 11.90 m, 桩孔填料为自然级配的碎石, 采用分层回填孔内深层强夯工艺, 上述 A、B 楼二次地基处理的总桩数均为 1 319 根。

5 地基加固效果测试分析

5.1 不同地段复合地基承载性能对比分析

本工程通过单桩的桩土复合地基静载荷

试验对复合地基的承载力进行了检测, 在 A、B 两幢楼的场地范围内共布设 10 组试验点(见图 1), 分布在 3 个不同地段: 未处理的墓坑地段、经换填处理的墓坑地段及原状土地段。进行碎石桩复合地基的承载变形性状比较, 静载荷试验结果汇总见表 1, 试验的 $Q-s$ 曲线见图 2。

表 1 静载荷试验结果汇总表

地 段	试验编号	对应墓坑号	$Q-s$ 曲线特征	承载力基本值 $f_{sp,0}/kPa$	最大加载 Q/kPa	最大加载对应的 最终沉降量 s/mm
未处理的墓坑	S1-1	24	突降明显	274	440	58.40
	S1-3	3	突降明显	232	440	41.91
经换填处理的墓坑	S1-2	16	略有陡降	398	440	35.39
	S1-4	27	近直线型	≥ 440	440	13.51
	S1-5	27	近直线型	≥ 440	440	16.89
原 状 土	S1-6	28	近直线型	374	500	29.04
	S2-7		近直线型	≥ 440	440	13.70
	S2-8		近直线型	≥ 440	440	12.05
	S2-9		近直线型	≥ 500	500	21.41
	S2-10		近直线型	487	500	23.99

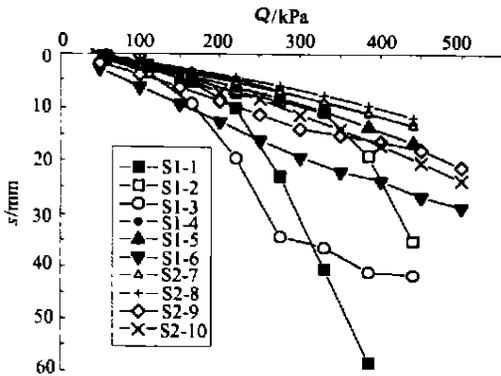


图 2 单桩复合地基静载荷试验 $Q-s$ 曲线图

由表 1 可明显地看到, 未处理的墓坑地段的碎石桩复合地基承载力相对较低, 在最大加载作用下, 其对应的最终沉降量也明显较大, $Q-s$ 曲线突降明显; 而经换填处理的墓坑及在原状土位置上的碎石桩复合地基承载力相对较高, 在最大加载作用下, 其对应的最终沉降

量也明显较小, $Q-s$ 曲线呈近似直线型。这说明墓坑处理后, 地基承载性能有较大改善。

由表 1 还可看到, 在经换填处理的墓坑地段, S1-4 及 S1-5 试验位于 27[#] 垃圾坑位置, 由于该坑深仅 1.0 m 且坑面积较大, 施工机械易于施工, 回填效果较好, 因而其承载性能相近, 而 S1-2 试验点位于 16[#] 墓坑, 墓坑深度为 2.5 m, 且坑面积小, 局部回填效果相对较差, 其承载性能略差。其它位于原状土地段的试验点试验结果表明, 其复合地基承载性能均较好。这说明不同桩间土的侧限作用性质, 提示工程界应重视对黄土地区墓坑群地基处理。

由图 2 可以看到, 各地段复合地基在小压力下沉降量相差不大; 而在大压力下, 不同地段的沉降量出现显著的差异。这主要是由于在小压力下, 复合地基主要表现为由桩承担上部荷载作用; 而在大压力下桩-土共同作用的特性愈加明显, 桩间土的性质对复合地基承载

性能的影响也更加明显。

5.2 挤密前后地基土的性状对比分析

钻孔夯扩碎石挤密桩处理以前,基底下主要持力层的承载力标准值仅 140 kPa,经碎石桩挤密后,复合地基承载力标准值已大于 220 kPa,满足设计要求。根据桩间土静力触探资料,在非墓坑土区,桩间土挤密前后各层土的比贯入阻力对比见表 2。

表 2 桩间土挤密前后比贯入阻力对比表

土层	p_s / MPa		p_s 改善幅度 / %
	挤密前平均值	挤密后平均值	
黄土②	1.70	2.06	21.2
黄土③	0.90	1.03	14.4
黄土④	0.68	0.90	32.3

由表 2 可见桩间土挤密效果较好。

6 墓坑位置加桩处理

静载荷试验结果表明:A 号楼地基中墓坑位置的复合地基承载变形性能与天然地基存在较大差异。为避免地基发生不均匀沉降,检测报告指出在墓坑相应位置进行补桩处理。设计单位设计了桩长 5 m(墓坑最大深度 4.7 m)的钻孔夯扩碎石桩,桩位及桩数由结构设计师根据条文①要求及本工程结构特点确定,其它成桩参数同二次加固处理用桩;第三次墓坑位置加桩处理时 1[#]、16[#]、25[#]及 26[#]因第一次处理过不再加桩处理,另外在结构上除应力较弱的 7[#]、8[#]、14[#]墓坑位置未加桩外,A 号楼其余墓坑上均进行不同程度加桩,共补桩 165 根。

墓坑加桩处理典型工程实例见表 3、图 3。

表 3 墓坑加桩处理典型工程实例

按外围墙轴分	墓坑编号	墓坑位置上加桩数及加桩位置特征	墓坑位置特点
外围墙上	21	5 根, a1 图	横跨室内基础及室外
	22	6 根, a2 图	横跨室内基础及室外
	4	6 根, a3 图	横跨室内基础及室外
	3	7 根, a4 图(静载荷试验 s1-3 位置)	横跨室内基础及室外
	9	11 根, a5 图	横跨室内基础及室外

续表

按外围墙轴分	墓坑编号	墓坑位置上加桩数及加桩位置特征	墓坑位置特点
外围墙上(室内)	2	6 根, b1 图	近边轴及室内基础下
	19	12 根, b2 图	近边轴及室内基础下
	11	6 根, b3 图	近中轴及室内基础下
	24	3 根, b4 图(静载荷试验 s1-1 位置)	近边轴及室内基础下

7 墓坑群地基处理的有关问题

根据本工程实例分析,笔者对黄土地区墓坑群地基提出以下几个方面的问题,以供探讨。

1) 钻孔夯扩碎石挤密桩复合地基浅部施工时,由于上部桩周侧限力影响,桩头密实度往往较低,影响复合地基承载变形性能,特别是对于黄土地区发育于浅部的墓坑群地基影响尤甚。

2) 对于墓坑本身处理, Q/XJ104-64 条文①仅提到了换填处理的方法,而在实际应用中,尚有灌浆法等一次性处理方法,该方法还可应用于高层建筑地基的浅部及深部处理。条文①的编制日期较早(1965 年),当时主要针对低层建筑浅基础的情况而提出的,因而其中的许多内容(如墓坑处理区划分、墓坑的处理深度等)已不适应当前情况。

3) 对于二次加固处理的情况(如本工程实例),浅部墓坑土换填处理应达到的压实系数如何控制?显然,回填土的压实性能较差时,不能满足地基处理要求,而回填土的压实性能较好时,则有可能影响到二次挤密处理施工的可行性。

4) 针对不同的地基处理方案,墓坑土先行处理与否及其验收指标至关重要,从本工程实例的情况看,墓坑土先行处理与否对复合地基承载性能影响较大,且应具有在一次处理(墓坑换填)后,二次处理(碎石挤密桩)前的验收中环刀法密度试验资料。

5) 对于墓坑群的地基处理,应特别注意场地的均匀性,在施工验收的过程中,要合理地

布设原位测试勘探点的位置,以便及时发现问题,必要时在墓坑部位另加桩处理。

6)古代墓坑群地基处理除按 Q/XJ104—64 规程条文①严格执行外,在其上适当数目的载荷试验是决定墓坑群不均匀地基是否再作处理的关键。

7)对于墓坑的处理深度,应根据建筑物的特点,充分考虑地基压缩层的厚度。

8)墓坑开挖时,要注意边坡的稳定性,必要时应采取保护措施,以防安全事故的发生。

致谢:本文在写作过程中得到我院郑建国教授级高工及邢心魁博士的指导,在此谨表谢意。

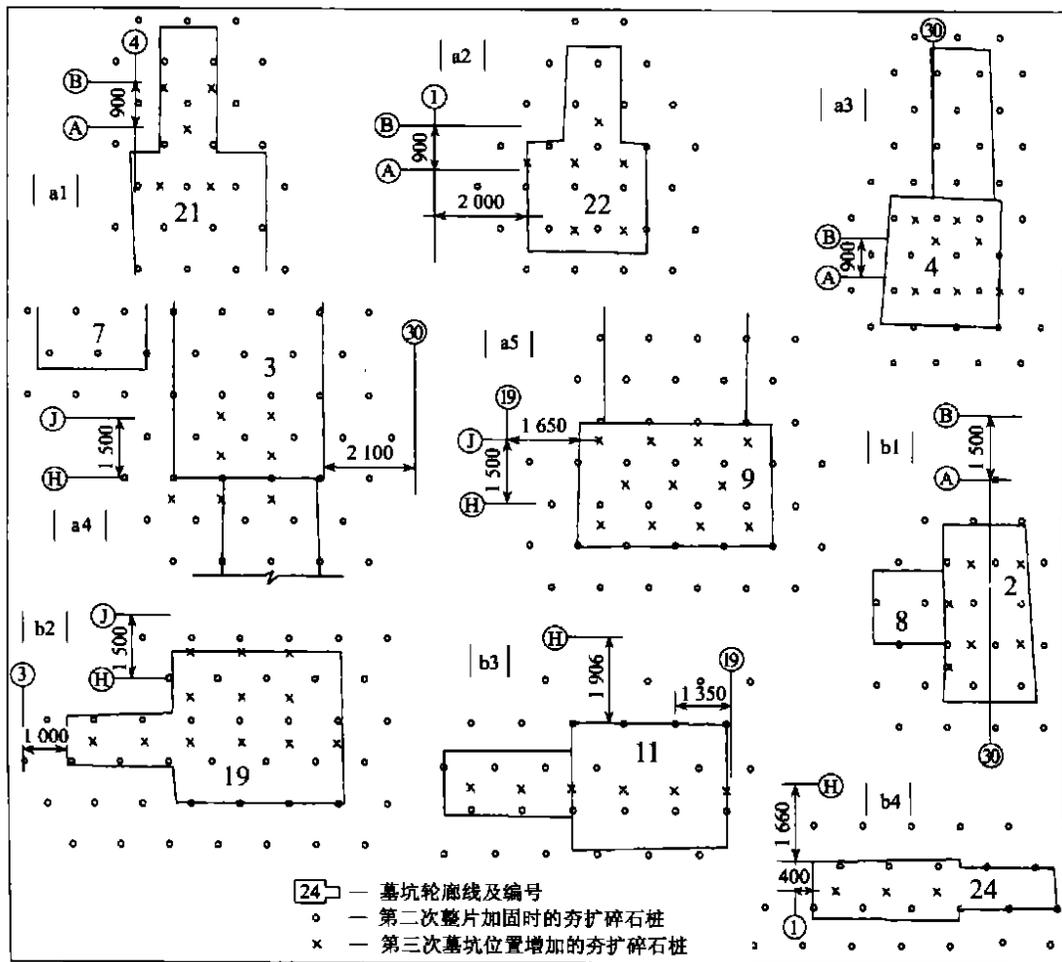


图3 墓坑加桩处理典型实例图(第三次处理)

参 考 文 献

- 1 黄志仑, 檀中文. 钻孔夯扩挤密桩复合地基. 军工勘察, 1996(1): 41~45
- 2 GBJ 25—90 湿陷性黄土地区建筑规范
- 3 JGJ 79—91 建筑地基处理技术规范
- 4 GBJ 7—89 建筑地基基础设计规范
- 5 龚晓南. 复合地基理论概要. 见: 龚晓南编. 第三届地基处理学术讨论会论文集. 杭州: 浙江大学出版社, 1992. 37~42

收稿日期: 2002-03-08