

喷粉桩复合地基的群桩效应的探讨及其载荷试验研究

潘纪顺¹, 吕芝全^{1,2}, 刘长来²

(1. 中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026; 2. 中国地震局地球物理勘探中心, 郑州 450002)

[摘要] 从复合地基的基本原理出发, 讨论了群桩效应现象在复合地基存在的可能性, 并通过喷粉桩复合地基的单桩、多桩复合地基载荷试验的对比研究, 揭示了复合地基中的群桩效应现象。

[关键词] 复合地基 承载力 沉降 载荷试验 群桩效应

[中图分类号] TU473.1 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2002)02-0085-03

深层搅拌法由于具有施工速度快, 价格低廉, 加固效果好, 施工时振动小、噪音小、污染小、投资少而效益高等特点, 20 年来, 深层搅拌桩被广泛应用于处理淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、杂填土等地基和路基的加固, 以及基坑开挖前的挡土结构、止水帷幕和堤坝的稳定加固、防渗等方面, 是目前各种软土地基处理方法中最具活力的一种方法。根据不同的工艺, 深层搅拌法又分为湿法(又称水泥浆液搅拌法或喷浆桩法)和干法(又称水泥粉体搅拌法或喷粉桩法)。由于深层搅拌水泥土桩的工作性能和各项指标, 具有较强的地区性和经验性, 且受施工条件的影响, 致使在工程实践中, 要么由于过于保守的设计, 造成巨大的浪费, 要么由于设计不当, 给工程带来潜在的隐患, 甚至造成严重的工程事故。因此, 对深层搅拌桩, 尤其是粉体水泥土深层搅拌桩的工作性能作进一步的研究是非常必要的。

目前, 工程设计人员极少要求进行多桩复合地基载荷试验, 绝大多数的工程往往只进行单桩复合地基试验, 借此评价整个场地内的复合地基承载力标准值。然而, 由于单桩承载力较小, 为得到较高的复合地基承载力, 设计人员往往一味减小桩中心距, 使之常常接近、甚至小于 2 倍桩径, 而多数情况下, 深层搅拌桩为摩擦桩或端承摩擦桩, 此时, 其侧、端阻力的群桩效应不容忽视。本文正是通过对比相同条件下的喷粉桩单、多桩复合地基静载荷试验, 揭示了群桩效应这一现象的存在。

1 复合地基的作用原理及其存在群桩效应的可能性分析

所谓复合地基, 一般认为由两种刚度(或模量)不同的材料(桩体或桩间土)所组成, 在刚性基础下两者共同分担上部荷载, 并协调变形的地基。复合地基中桩体的刚度较周围土体大, 在刚性基础下等量变形时, 地基中应力将按材料模量进行分布, 因此, 产生应力集中现象, 大部分荷载将由桩体承担, 桩间土上应力相应减小。这样就使得复合地基承载力较原地基有所提高, 沉降有所减少。

复合地基承载力标准值 $f_{sp,k}$ 由单桩承载力标准值 R_k^d 和桩间天然地基土承载力标准值 $f_{s,k}$ 复合而成, 计算公式如下:

$$f_{sp,k} = m R_k^d / A_p + (1 - m) f_{s,k} \quad (1)$$

式中: m —深层搅拌桩的面积置换率; A_p —桩的横截面积; α —桩间土承载力折减系数。 R_k^d —单桩承载力, 是由桩端承载力和桩侧摩擦力组成:

$$R_k^d = A_p q_p + \sum_i u_p h_i q_{si}$$

式中: α —桩端天然地基土的承载力折减系数; q_p —桩端土的承载力标准值; u_p —桩的横截面周长; h_i —第 i 层土层厚度; q_{si} —第 i 层土层桩周土摩擦力标准值。

从以上复合地基作用原理可知, 当上部荷载传递到复合地基上, 分担到单桩的载荷由桩侧面的摩擦力将其传布到桩围及桩端的土层中。一般可认

[收稿日期] 2001-01-01; [修订日期] 2001-02-10; [责任编辑] 李石梦。

[第一作者简介] 潘纪顺(1968年-), 男, 1992年毕业于桂林冶金地质学院物探系, 现在中国科学技术大学地球与空间科学系攻读硕士学位, 主要从事基桩检测和研究工作。

为,桩侧摩阻力在土中引起的附加应力 E 是按某一角度,沿桩长向下扩散分布,当桩距较大时,附加应力在桩侧和桩端互不重叠,此时不存在群桩效应现象。然而,笔者结合多年试验经验认为,尤其小于2倍桩径时,附加应力 E 就会发生重叠,从而产生群桩效应,使得群桩复合地基的承载力小于各单桩复合地基承载力,沉降也大于单桩复合地基的沉降。

2 粉喷桩的单、多桩复合地基载荷试验的对比研究

2.1 工程概况及工程地质概述

表1 场地地层结构表

层号	层名	层厚	基本特性描述
第层	新近沉积粉土	0.8~2.2 m,平均厚度1.3 m	褐黄色,湿 很湿,稍密,含氧化铁、腐植质、植物根
第层	新近沉积粉质粘土	1.0~3.0 m,平均厚度2.0 m	褐黄 黄褐色,饱和,可塑 软塑状态,含铁质、腐植质
第层	新近沉积粉土	平均厚度4.8 m	褐黄色,很湿,稍密,含铁质、云母、蜗牛壳,局部夹褐黄色粉质粘土或砂透镜体
第层	粉土	平均层厚4.5 m	灰色 黄褐色,很湿,中密,含铁氧化物、腐植质、云母、姜石、蜗牛壳,局部夹粉质粘土
第层	含有机质粘土	平均层厚1.4 m	灰色 深灰色,饱和,可塑状态,含大量腐植质、钙质条纹
第层	含有机质粉质粘土	平均层厚4.5 m	灰色,饱和,可塑状态,含铁质、腐植质、姜石,勘探深度内未揭露层底

试验仪器采用国内先进的JQC-503C全自动静载荷测试仪,试验装置采用压重平台反力装置,3.2MN油压千斤顶加压,压力由置于千斤顶顶部的轮幅式压力传感器测定,桩顶沉降由DSB-25型电子位移传感器测量。现场复合地基静载荷试验均在设计标高处进行,所试验各桩的龄期均为28天,且属于同一台机器所打。在试验过程中,承压板的形状和面积依据单桩或多桩承担的处理面积和布桩的形状来确定,承压板的尺寸与置换率相当,其中,1#桩和2#桩的两组单桩复合地基载荷试验均采用面积为 0.64 m^2 ($0.80\text{ m} \times 0.80\text{ m}$)的正方形承压板;3#和4#桩两桩复合地基载荷试验采用 1.28 m^2 ($0.80\text{ m} \times 1.60\text{ m}$)的矩形承压板;5#、6#、7#和8#桩四桩复合地基载荷试验采用 2.56 m^2 ($1.60\text{ m} \times 1.60\text{ m}$)的正方形承压板。压板下采用中粗砂作找

H工程为一综合楼,楼高7层,砖混结构,该工程采用粉喷桩复合地基,设计桩径为500 mm,有效桩长为9.00 m,桩间距为800 mm等间距布桩,布桩总数为2080根,桩体采用425#抗硫酸盐水泥做固化剂,每米桩长水泥用量不得小于50 kg,桩端持力层为粉土层,设计要求经处理后的复合地基承载力标准值 f_k 185 kPa。

场地勘探深度内的地层划分为6个工程地质单元层,见表1。场地内的地下水属潜水型,稳定水位在天然地坪下1.3~2.0 m之间。

2.2 复合地基载荷试验

平处理。加荷等级为10级,最大加荷量为设计要求的2倍,测试沉降量的时间及稳定标准、终止试验条件、卸荷(分3级)等均严格按照《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91)附录一的有关条文进行。

四组复合地基载荷试验的概况见表2,复合地基载荷试验成果见表3,所得的复合地基静载荷试验 $Q-s$ 曲线见图1。

表2 复合地基载荷试验的概况表

试验桩号(#)	1#单桩	2#单桩	3#和4#两桩	5#、6#、7#和8#四桩
最大加荷值(kPa)	370	370	370	370
总沉降(mm)	8.22	10.41	20.97	50.67
回弹量(mm)	3.87	4.39	2.92	9.45
残余沉降量(mm)	4.35	6.02	18.05	41.22
弹性变形(%)	47.08	42.17	13.92	18.65
塑性变形(%)	52.92	57.83	86.08	81.35
历时(minutes)	1470	1410	1950	3210

表3 复合地基载荷试验成果表

Q/kPa	37	74	110	148	185	222	259	296	333	370	259	148	0
单桩1# s (mm)	0.43	1.06	1.71	2.33	2.69	3.43	4.39	5.41	6.71	8.22	7.78	6.81	4.35
单桩2# s (mm)	0.19	0.47	0.94	1.66	2.39	3.44	4.72	6.39	8.33	10.41	9.85	8.73	6.02
两桩3#和4# s (mm)	0.51	1.23	2.18	3.23	4.47	6.33	8.79	12.25	15.61	20.97	20.37	19.48	18.05
四桩5#、6#、7#和8# s (mm)	0.71	1.93	3.22	5.59	8.76	13.41	18.55	23.94	30.56	50.67	48.43	46.57	41.22

从图1可以看出,1#桩和2#桩两组单桩、以及3#和4#桩两桩复合地基静载荷试验的 $Q-s$ 曲线的形态均是比较平缓的光滑曲线,看不出明显的拐点,相邻两级载荷所对应的沉降量之比亦无一定的规律,并且 $Q-s$ 曲线上无明显的比例极限,即从 Q

$-s$ 曲线上无法确定其极限荷载。因此,依据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91)的规定,按相对变形值确定复合地基承载力基本值,均取 $s/b=0.004$ 对应的荷载值为其复合地基承载力基本值,即1#单桩复合地基承载力基本值为210.1 kPa;2#单

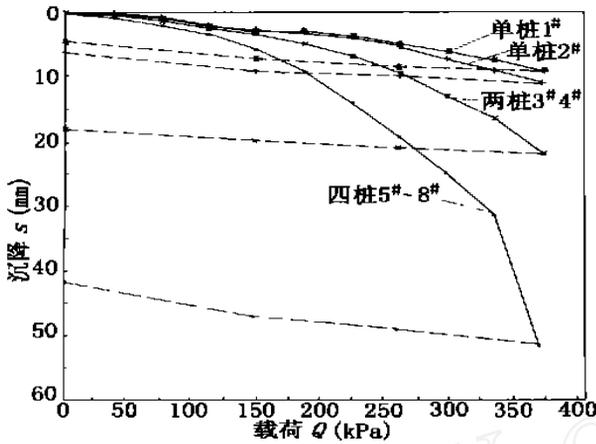


图 1 喷粉桩复合地基载荷试验 $Q - s$ 曲线
 桩复合地基承载力基本值为 213.5 kPa; 3# 和 4# 桩
 两桩复合地基承载力基本值为 186.0 kPa。

5#、6#、7# 和 8# 桩四桩复合地基载荷试验在加荷至 333.0 kPa 时,压板周围土体出现明显的裂缝,且 $Q - s$ 曲线上有明显的极限拐点(载荷 333.0 kPa 对应处),取其极限荷载的一半即 166.5 kPa 为该试验点处的复合地基承载力基本值。

从试验结果可以看出,该场地内随着试验桩数的增加,其复合地基承载力基本值呈下降的趋势,而其沉降量却呈增加的趋势,其柱状图见图 2、图 3。

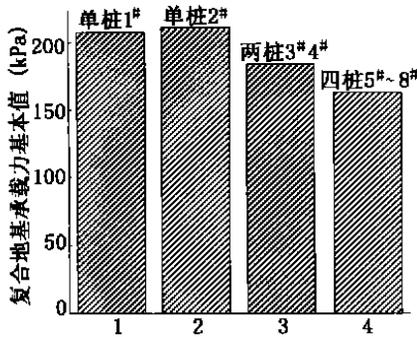


图 2 单、多桩复合地基载荷试验的承载力对比图
 两桩复合地基承载力基本值约是单桩复合地基
 承载力基本值的 88%,四桩复合地基承载力基本值
 约是单桩复合地基承载力基本值的 78%。而加载
 至设计要求值的 2 倍时,单桩复合地基的累计沉降
 量约是两桩复合地基的累计沉降量的 44%,亦约是

四桩复合地基的累计沉降量的 18%。这表明,如果是单桩复合地基载荷试验来评价场地复合地基承载力标准值时,相对于两桩复合地基载荷试验的结果来讲,会过高评价 12% 的承载力值,过低评价 56% 的沉降量;而相对于四桩复合地基载荷试验的结果来讲,会过高评价 22% 的承载力值,过低评价 82% 的沉降量。笔者分析,这一现象是在桩中心距 (800 mm) 小于 2 倍桩径 (1000 mm) 情形下,由于群桩效应的存在所造成的。

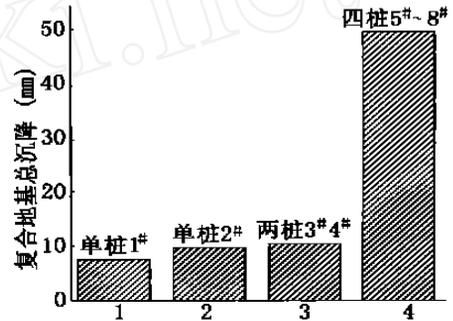


图 3 单、多桩复合地基载荷试验的沉降量对比图

3 结论与建议

1) 当桩中心距小于 2 倍桩径情形下,群桩效应是不容忽视的,复合地基承载力需以多桩复合地基载荷试验为准,而不宜仅仅只做单桩复合地基载荷试验,否则会过高评价场地的复合地基承载力,过低评价场地复合地基的沉降量,造成不安全因素,给工程带来潜在的隐患。

2) 当桩间距很小,为减小群桩效应的影响,建议采用缩小 500 mm 的桩径为 350 ~ 400 mm,同时提高桩体强度的措施。

[参考文献]

[1] 郑俊杰,袁内镇,张曦映. 深层搅拌桩设计与施工[J]. 岩土工程技术, 1999, 21.
 [2] 高大钊. 软土地基理论与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
 [3] 华南理工大学、东南大学、浙江大学、湖南大学. 地基及基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.

THE DISCUSSION ABOUT THE MULTI - EFFECT OF SPOUT - POWDERED PILE COMPOSITE GROUND AND THE RESEARCH OF ITS LOADIND TEST

PAN Ji - shun¹, LU Zhi - quan^{1,2}, LIU Chang - lai²

(1. The Department of Earth and Space of USTC, Hefei 230026; 2. Reserch Center of Exploration Geophysics, CSB, Zhengzhou 450002)

Abstract: The probability of multi - pile effect exist in compo site ground is discussed based on the basic principle, and the phenomenon of mul ti - pile effect in composite ground is also discussed by the comparing research b etween single - pile and multi - pile loading test of the composite ground.

Key words: composite ground, loading capacity, subside, loadi ng test, multi - pile effect