

# 排水粉喷桩复合地基沉降特性分析

杜广印<sup>1,2</sup>, 蔺宁君<sup>3</sup>, 李家伟<sup>3</sup>, 刘松玉<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 东南大学岩土工程研究所, 南京 210096;  
3. 连云港市高速公路指挥部, 连云港 222001)

**摘要:**将粉喷桩与排水固结法有机地结合起来, 成为一种全新的软土地基处理技术——排水粉喷桩复合地基工法(简称 2D 工法)。本文通过试验段的现场测试结果, 与常规粉喷桩复合地基沉降对比分析可以看出, 2D 工法在加速地基固结和控制沉降方面的作用。

**关键词:**排水粉喷桩; 沉降; 软土地基

**作者简介:**杜广印(1964—), 男, 江苏徐州人, 副教授, 在职博士研究生, 主要从事岩土工程的科研和教学工作。

## 0 引言

粉喷桩是一种利用压缩空气输送粉体固化材料, 并通过搅拌叶片使固化材料与软土搅拌混合在一起形成水泥土桩体加固软土地基的方法。这种方法自从瑞典工程师 Kjeld Paus 1967 年发明以来, 在国内外的铁路、公路, 市政工程、港口码头等各类软土地基加固工程中得到了广泛的应用。我国自 20 世纪 70 年代末期引进该方法以来, 在铁路、公路、工业与民用等工程中也得到了推广应用。在我省高速公路工程中, 粉喷桩是一种大量采用的较为成熟的软土地基加固方法<sup>[1]</sup>。

排水固结法也是一种加固软土地基的经济有效的方法, 它主要利用排水通道(排水板、砂井、砂垫层等)在上覆荷载作用下排水固结, 提高软土地基的强度, 减小沉降量。

大量工程实践表明, 粉喷桩法具有施工简单、快速、振动小等优点, 能有效地提高软土地基的稳定性, 减少和控制沉降量。然而粉喷桩价格昂贵, 限制了该方法的大量应用, 另一方面, 在施工过程中常出现意想不到的问题: ①当存在临空面时, 粉喷桩施工会引起边坡失稳; ②在已有构筑物附近施工, 会引起地面开裂, 构筑物出现受损等现象; ③施工完后的粉喷桩会突然下沉等。

因此提出塑料排水板与粉喷桩相结合的一种新型软基处理工法——排水粉喷桩复合地基工法

(简称 2D 工法)<sup>[2~4]</sup>。该法利用塑料排水板作为排水导气通道, 使粉喷桩施工过程中, 在喷桩压力的作用下, 对桩周土体产生劈裂作用, 水泥粉的入侵以及桩周土体超静孔隙水压力的迅速消散, 使得桩周土体的强度得以快速提高。同时由于塑料排水板的作用, 使水泥粉的喷出得以顺畅, 保证了粉喷桩桩身质量, 特别是深度的桩身质量。

## 1 试验段概括

作为一种新型的软土地基处理工法, 用其处理软土地基后的效果如何, 与常规粉喷桩有何区别? 需要通过工程实践进行检验和验证。因此本文拟通过现场试验, 通过沉降观测数据进行验证分析。在淮盐高速公路的软基处理中, 利用 2D 工法处理的现场试验段的测试结果, 并对利用 2D 工法处理与常规粉喷桩处理软基的沉降进行了对比分析。

现场试验位于江苏淮盐高速公路 K19+760 以及 K23+100 处进行。

试验段内土层主要可分为三层, 其中②层土可分为二个亚层, 现分述如下:

①层土, 为灰黄-黄褐色亚黏土, 上部含少量植物根茎, 可塑, 层厚 1.5~2.0 m。

②-1 层土, 为灰-灰黑色亚黏土, 含少量贝壳, 软塑, 层厚 0.8~1.1 m, 层底埋深 2.6~3.0 m。

②-2 层土, 为灰-灰黑色淤泥质亚黏土, 局部

为淤泥,流塑,层厚 8.0~8.9 m。

③ 层土,为灰-灰绿色亚黏土,含少量贝壳,可塑,未揭穿。

表 1 为试验段软土层的物理力学性质统计表。由表中数据可知,试验段的软土层具有含水量高、孔隙比大和压缩性大等特点。

表 1 软土层物理力学性质

	天然含水量 $W(\%)$	液限 $W_L$	塑限 $W_p$	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$	天然孔隙比 $e_0$	固结快剪		无侧限抗剪强度 (kPa)	压缩系数 $a_{1-2}$ ( $MPa^{-1}$ )	压缩模量 $E_s(MPa)$
							$C(kPa)$	$\phi(^{\circ})$			
最大值	79.1	77.8	30.2	48.3	1.31	2.087	12	21	36.07	4.91	4.79
最小值	49.4	55.9	20.3	26.2	0.5	1.295	0	5	2.14	0.55	0.91
平均值	63.0	68.9	27.4	39.9	0.87	1	7.5	13.5	16.52	2.34	1.68

## 2 现场测试结果分析

由现场沉降观测数据表明,到 2005 年 2 月底,2D 工法复合地基路堤填筑高度为 4.0 m,2D 工法附近相邻段落的常规粉喷桩复合地基填土高度如表 2 所示。

为分析 2D 工法处理软土地基后的效果,抽取了与 2D 工法处理路段附近的,利用常规粉喷桩处理后的复合地基随填土高度变化的沉降曲线进行了对比分析,如表 2 为各路段的填土高度与最大沉降量统计表。

表 2 各断面粉喷桩处理参数及沉降量统计

断面位置	桩长 (m)	桩间距 (m)	填土 高(m)	最大沉 降量(mm)	备 注
K16+700	9.0	1.3	5.23	134	常规粉 喷桩
K16+840	9.0	1.3	5.42	162	
K17+900	9.0	1.3	4.55	135	
K19+720	12.0	1.5	3.95	124	
K20+100	13.0	1.3	4.40	136	
K24+000	8.0	1.3	3.93	93	
K28+760	8.5	1.3	3.68	163	
K19+760	13.0	2.2	4.00	141	2D 工法

与 2D 工法最为相近的常规粉喷桩处理路段为 K19+720,该段土层的物理力学性质可近似认为与 2D 工法处理段(K19+720~K19+780)一样的。因此复合地基性质间的差异完全可以说明两种工法处理的效果。两段的填土高度仅差 0.07 m,两个剖面也只相隔 400 m,而常规粉喷桩的桩间距为 1.5 m,在预压 10 个月后,常规粉喷桩复合地基的沉降左为 124 mm,中间为 110 mm,右为 76 mm。而 2D 工法处理路段的沉降左为 109 mm,中间为 141 mm,右边为 101 mm。2D 工法处理路段的粉喷桩桩间距为 2.2 m,通过比较可

以发现,2D 工法复合地基与 K19+720 段处的常规粉喷桩复合地基处理后的效果基本是一致的。图 1 为采用 2D 工法路堤的沉降曲线。图 2~图 5 为其他段落常规粉喷桩复合地基沉降曲线。

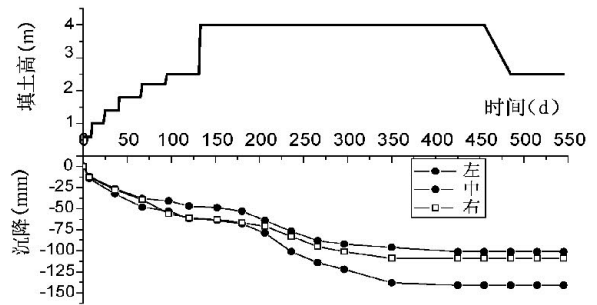


图 1 K19+760 2D 工法复合地基沉降曲线

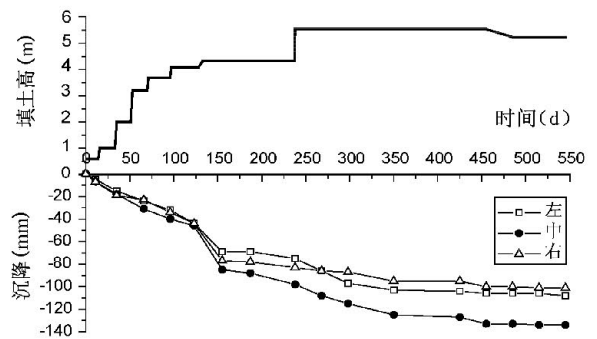


图 2 K16+700 常规粉喷桩复合地基沉降曲线

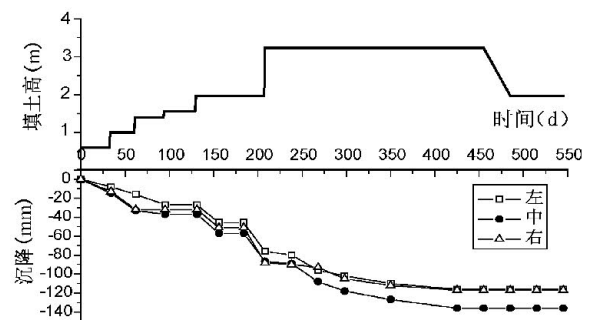


图 3 K20+100 常规粉喷桩复合地基沉降曲线

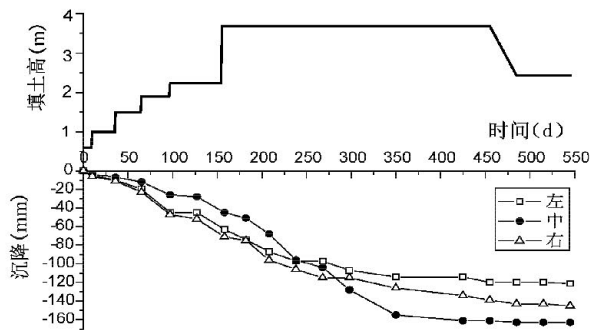


图4 8K28+760 常规粉喷桩复合地基沉降曲线

从曲线的变化趋势不难看出,2D工法复合地基左、中、右的沉降差异与其他段落相对而言是较小的,而且沉降的曲线很平缓,并没有出现现象图2、图3、图4那样的陡降曲线,而且在预压10月后,沉降曲线已趋于平缓,沉降已基本达到了稳定。由此可以看出,2D工法复合地基虽然把粉喷桩桩间距加大到了2.2 m,但是处理后的复合地基与桩间距为1.5 m以及1.3 m的常规粉喷桩复合地基的性能相差不大,同样可以达到处理软基的目的,经济效益明显。

### 3 结论

从2D工法复合地基与多点常规粉喷桩复合

地基沉降量随填土高度变化曲线对比来看,2D工法的沉降曲线趋势并没有出现陡降,而且在整个填土过程,沉降曲线都是处于一个平稳逐渐下降过程,在经过月预压后,沉降已趋于平稳,可见2D工法在软土地基处理中的优越性。

### 参考文献

- [1] 刘松玉主编.公路地基处理[M].南京:东南大学出版社,2000.
- [2] 刘松玉,杜广印,洪振舜,等.排水粉喷桩加固软土地基(2D工法)的试验研究[J].岩土工程学报,2005,27(8).
- [3] 杜广印,吴燕开,刘松玉.排水粉喷桩(2D工法)加固软土地基对桩周土强度的影响.工程地质学报[J],2006,114(1):122~127.
- [4] 刘松玉.排水粉喷桩复合地基操作方法:中国,ZL03152854.6[P].