

# DEIPA 外加剂改性水泥搅拌桩 强度特性试验研究

董武俊

(中铁十一局集团有限公司, 湖北 武汉 430061)

**摘要:**为提高深厚软土路基水泥搅拌桩加固效果,选择氯化钙、氢氧化铝、生石膏和二乙醇单异丙醇胺(DEIPA)等外加剂进行室内试验研究。无侧限抗压强度试验表明,DEIPA外加剂对水泥土强度提高的效果最优,最优掺入比为0.04%。同时,通过现场取芯试验、静载荷试验验证其应用效果。现场试验结果表明,钉形水泥搅拌桩的桩身强度沿深度分布不太均匀。静载荷试验中荷载-沉降曲线呈缓变型,桩顶沉降较小,桩土未出现明显破坏,回弹率均在40%以上。说明含DEIPA外加剂的钉形水泥搅拌桩桩身质量较好,承载力和强度满足设计要求。研究成果可为相似工程提供借鉴。

**关键词:** DEIPA; 地基加固; 钉形水泥搅拌桩; 外加剂

**中图分类号:** TU472

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2096-7195(2020)01-0065-06

**作者简介:**董武俊(1973-),男,湖北武穴人,本科,高级工程师,研究方向:地基处理。E-mail: dongwj73@163.com。

## Experiment research on strength of deep mixing cement pile with DEIPA additive

DONG Wu-jun

(China Railway 11 Bureau Group CO. LTD, Wuhan 430061, China)

**Abstract:** In order to improve the reinforcement effect of cement piles applied on deep soft soil roadbeds, additive such as calcium chloride, aluminum hydroxide, raw gypsum, and diethanol monoisopropanolamine (DEIPA) were selected for laboratory test. Unconfined compressive strength test shows that the DEIPA additive has the best effect on improving the strength of cement soil and that the optimal blending ratio is 0.04%. At the same time, its application effect was verified by core drilling test and static load test. The field test results show that the strength along the T-shaped deep mixing pile is nonuniform. The load-settling curve is slowly changed, the pile top settlement is small, the pile-soil surface has no obvious damage, and the rebound rate is greater than 40%. It shows that the composite cement mixing pile with DEIPA additive has good quality, and its bearing capacity and strength meet design requirements. The research results can provide reference for similar projects.

**Key words:** DEIPA; foundation improvement; T-shaped mixing cement pile; additive

## 0 引 言

水泥搅拌桩是加固软土地基的一种有效方法,它以水泥为固化剂,水泥与软土经强制搅拌后发生一系列物理和化学反应,使软土硬结为具有一定强度和稳定性水泥土,从而有效提高地基强度和减少地基沉降<sup>[1-2]</sup>。

针对传统水泥搅拌桩存在地面普遍冒浆、桩身强度竖向分布不均、处理深度较浅、桩间距较小等缺点,刘松玉等<sup>[3]</sup>提出了钉形水泥土搅拌桩的施工工艺。基于软黏土的物理特性和钉形水泥搅拌桩的

施工工艺,较高的塑性指数和有机质含量都会影响水泥土强度的形成,而且位于地下的水泥土强度增长缓慢,水泥土结构中也会存在缺陷,影响水泥土桩的质量,而添加外加剂是有效提高水泥土强度的主要手段<sup>[4-7]</sup>。

本文针对宁波深厚软土地铁路基加固工程,设计采用钉形水泥土搅拌桩加固方案,选择外加剂二乙醇单异丙醇胺(以下简称 DEIPA)、氯化钙、氢氧化铝和生石膏,利用室内试验研究外加剂对水泥

土强度的提高效果, 遴选最优外加剂。同时利用现场取芯试验和静载荷试验研究外加剂的应用效果。

## 1 试验段工程地质概况

试验段位于沿海深厚软土地区, 场地属冲湖积平原, 大部分位于农田内, 场地地形平坦开阔。场地土层自上而下可分为: (1) 填土: 杂色, 以灰黄色及灰褐色为主, 松散~稍密, 成色杂, 厚度 0.3~1.5 m; (2) 黏土: 灰黄色, 可塑, 下部渐变成软塑, 岩性以黏土为主, 含较多植物根茎, 高压缩性, 平均厚度 1.17 m; (3) 淤泥质黏土: 灰色, 流塑, 偶见半碳化物腐殖质, 厚度 1.4~5.5 m; (4) 黏土: 灰色, 软塑, 高压缩性, 厚度为 0.5~2.4 m; (5) 淤泥: 灰色, 流塑, 厚层状, 含少量贝壳碎屑。场地内均有分布, 高压缩性, 层厚 1.60~8.00 m; (6) 淤泥质黏土: 灰色, 流塑, 厚层状, 局部相变为淤泥或淤泥质粉质黏土, 高压缩性, 厚度 2.00~9.00 m; (7) 粉质黏土: 灰色, 流~软塑, 鳞片状或厚层状构造, 土质不均一, 局部粉粒含量较高, 夹较多粉土, 高压缩性, 厚度 2.00~3.00 m; (8) 淤泥质粉质黏土: 灰色, 流塑, 高压缩性, 厚度 4.60~21.80 m; (9) 黏土: 灰色, 软~流塑, 含少量碳化物, 黏塑性较好, 高压缩性, 厚度 1.70~15.10 m; (10) 粉质黏土: 褐灰色, 软塑为主, 局部地段下部呈可塑状, 中压缩性, 厚度 0.60~5.30 m。场地各土层的物理力学指标见表 1 所示。

从表 1 可以看出, 场地软土层厚度达 30 余米, 地基承载力低, 部分土层含少量有机质, 且土层含水量较高, 结合土层情况和地区经验, 本工程适宜采用水泥搅拌桩进行地基加固<sup>[1-3]</sup>。

## 2 水泥土室内试验

### 2.1 试验目的

地基加固采用钉形水泥搅拌桩方案。试验土采用场地典型的淤泥层, 经室内配合比试验, 并结合类似工程经验, 设计采用 PO42.5 普通硅酸盐水泥, 水泥掺入比 18%, 水灰比 0.55。考虑到现场土层含水量高、塑性指数较高(部分黏土达 22.2)等特点, 为提高水泥土的加固效果, 进行外加剂的遴选试验。

### 2.2 试验方案

根据已有的研究成果<sup>[5-11]</sup>, 选取 DEIPA、氯化钙、氢氧化铝和生石膏等外加剂进行试验。外加剂掺入比(外加剂质量/水泥质量)见表 2 所示。土样风干、捣碎, 过 2 mm 筛后备用, 试模规格为 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm<sup>[12]</sup>。每个配比分别制备三个试样进行平行试验, 共制样 156 个, 龄期分别为 7 d、28 d 和 90 d。另制备不掺外加剂的水泥土试样作为基准组, 分析不同外加剂、不同龄期下水泥土强度的变化规律。

试样成型前, 试模内表面涂一薄层机油, 利于拆模。装样时先向试模内装一半试料, 然后按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣 15 次, 插捣时保持插棒竖直。然后把该试模放在振动台上振实 2 min, 试模顶部刮平后盖上塑料薄膜, 防止水分蒸发过快。试样静置 24 h 后脱模编号, 在标准养护室进行水养<sup>[12]</sup>。

无侧限抗压强度试验采用 SYE-2000 型压力机, 加荷速率为 0.1 kN/s。取 3 个试样测试值的算术平均值作为该组试件的无侧限抗压强度值。

表 1 各土层物理力学指标

Table 1 Physical and mechanical parameters of each soil layer

序号	土层	厚度 /m	含水量 /%	重度 /(kN/m <sup>3</sup> )	孔隙比	液限 /%	塑限 /%	固结快剪		压缩模量 <i>E</i> <sub>s0.1-0.2</sub> /MPa
								内摩擦角 <i>φ</i> /°	黏聚力 <i>c</i> /kPa	
(2)	黏土	0.3~2.0	38.6	18.4	1.073	49.2	27	12.9	31.6	3.49
(3)	淤泥质黏土	1.4~5.5	53.4	17.0	1.495	52.6	29.2	6.8	14.2	1.9
(4)	黏土	0.5~2.4	40.7	18.0	1.161	43.3	24.2	11.7	19.5	3.26
(5)	淤泥	1.6~8.0	59.3	16.5	1.668	48.6	27.2	7.2	15	1.68
(6)	淤泥质黏土	2.0~9.0	46.3	17.4	1.311	37.5	22.4	7.6	15.9	2.17
(7)	粉质黏土	2.0~3.0	35.7	18.2	1.027	31.4	18.7	8.7	17	3.22
(8)	淤泥质粉质黏土	4.6~21.8	40.2	17.8	1.136	42.6	24.0	8.5	16.8	2.6
(9)	黏土	1.7~15.1	47.2	17.3	1.346	43.5	22.4	9.7	20.4	2.63
(10)	粉质黏土	0.6~5.3	29.2	18.8	0.863			14.7	23.8	5.01

### 2.3 试验结果及分析

室内试验结果如表 2 所示,  $q_u$  为无外加剂水泥土的无侧限抗压强度,  $q_{ua}$  为外加剂改性水泥土的无侧限抗压强度。

图 1~图 4 为不同外加剂的水泥土无侧限抗压强度与龄期的关系曲线。从图 1 可以看出, 生石膏掺入比为 2%、3% 时, 可有效提高水泥土 7 d、28 d、90 d 的抗压强度, 掺入比为 4% 时, 7 d 和 28 d 的抗压强度有提高, 但 90 d 时抗压强度比无外加剂时要小, 说明水泥土强度与生石膏外加剂掺入比之间并不存在线性关系, 而是存在一最佳掺入比。随氯化钙掺入比的增加, 水泥土的无侧限抗压强度随之增大, 对 7 d、28 d 的强度影响幅度较大, 而对 90 d 强度的影响幅度较小, 并不存在单调线性关系, 如图 2 所示。氢氧化铝外加剂对水泥土 7 d 强度的提升效果要明显好于对后期强度的作用, 随着氢氧化铝掺入比的增加, 水泥土的前期抗压强度会有一定提升, 但后期强度却有微小的降低。可见, 随着氢氧化铝掺入比的增加水泥土强度并不是一直增大, 在后期会有波动, 如图 3 所示。

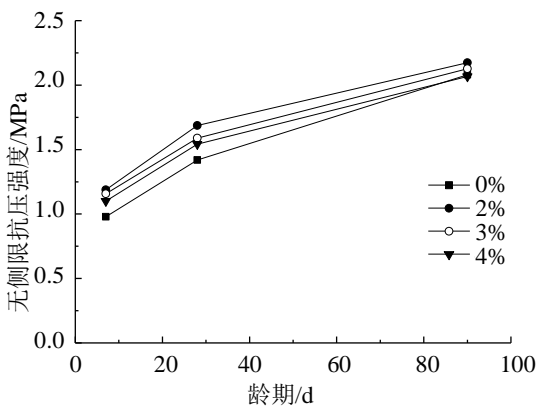


图 1 不同生石膏掺入比水泥土无侧限抗压强度与龄期  
Figure 1 Unconfined compression strength versus curing age for cemented soil mixing with different gypsum content

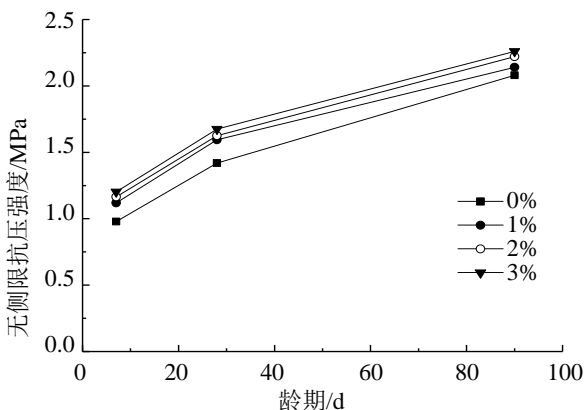


图 2 不同氯化钙掺入比水泥土无侧限抗压强度与龄期关系  
Figure 2 Unconfined compression strength versus curing age for cemented soil mixing with different  $CaCl_2$  contents

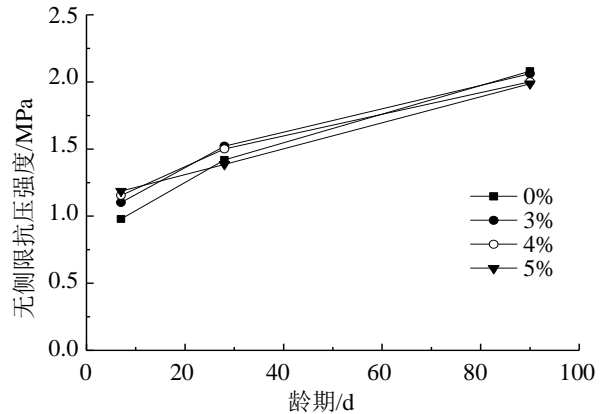


图 3 不同氢氧化铝掺入比水泥土无侧限抗压强度与龄期关系  
Figure 3 Unconfined compression strength versus curing age for cemented soil mixing with different  $Al(OH)_3$  contents

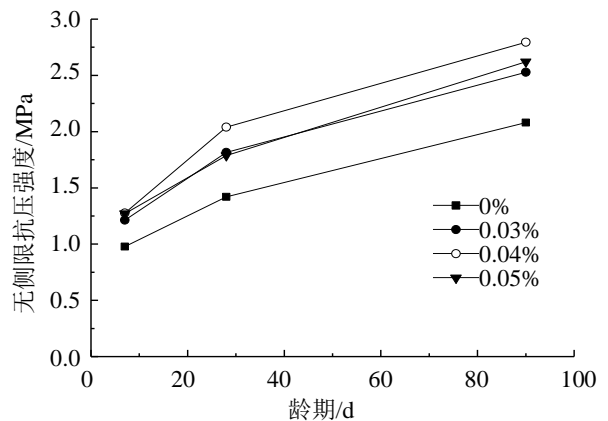


图 4 不同 DEIPA 掺入比水泥土无侧限抗压强度与龄期关系  
Figure 4 Unconfined compression strength versus curing age for cemented soil mixing with different DEIPA content

表 2、图 4 可以看出, 同一 DEIPA 掺入比, 随着龄期的增加, 水泥土无侧限抗压强度逐渐增大。DEIPA 掺入比不同时, 水泥土 7 d、28 d 和 90 d 的无侧限抗压强度明显大于掺入比多的生石膏、氯化钙和氢氧化铝改性水泥土的强度。DEIPA 掺入比分别为 0.03%、0.04% 和 0.05% 时, 水泥土 90 d 的无侧限抗压强度分别为 2.527 MPa、2.794 MPa 和 2.621 MPa, 远大于掺入生石膏 (掺入比 3%)、氯化钙 (掺入比 3%) 和氢氧化铝 (掺入比 3%) 的水泥土强度。可见, 选用 DEIPA 作为水泥土外加剂时, 在掺入比明显小于生石膏、氯化钙和氢氧化铝情况下, 获得的强度增长效果要明显优于其他外加剂。室内试验表明, 四种外加剂中 DEIPA 效果最优, 其次是氯化钙、生石膏, 最小的是氢氧化铝。从表 2 还可看出, 随着 DEIPA 掺入比从 0.03%、0.04%、0.05% 逐渐增加, 7 d、28 d 和 90 d 水泥土无侧限抗压强度均表现为先增加后减小的规律, 其最优掺入比为 0.04%。

表2 水泥土无侧限抗压强度试验结果

Table 2 Results of unconfined compression strength test for cemented soil

外加剂		无侧限抗压强度/MPa			$q_{ua}/q_u$		
类型	掺入比/%	7 d	28 d	90 d	7 d	28 d	90 d
无外加剂	0	0.978	1.419	2.081	1	1	1
生石膏	2	1.188	1.687	2.174	1.215	1.189	1.045
	3	1.157	1.588	2.127	1.183	1.119	1.022
	4	1.100	1.542	2.067	1.125	1.087	0.993
氯化钙	1	1.119	1.595	2.141	1.144	1.124	1.029
	2	1.164	1.626	2.221	1.190	1.146	1.067
	3	1.202	1.676	2.261	1.229	1.181	1.086
氢氧化铝	3	1.101	1.521	2.061	1.126	1.072	0.990
	4	1.155	1.500	2.001	1.181	1.057	0.962
	5	1.186	1.385	1.987	1.213	0.976	0.955
DEIPA	0.03	1.213	1.814	2.527	1.240	1.278	1.214
	0.04	1.277	2.041	2.794	1.306	1.438	1.343
	0.05	1.271	1.787	2.621	1.300	1.259	1.259

## 2.4 DEIPA 作用机理

从表2可以看出,掺加外加剂后水泥土强度都有不同程度的提高,其中DEIPA外加剂的效果最好,7 d、28 d、90 d的水泥土无侧限抗压强度能增加25.9%~43.8%。DEIPA经常用作水泥助磨剂,对水泥土的增强作用主要表现在:一是能提高水泥中熟料矿物的水化速率,生成了高Ca/Si比的C-S-H凝胶;二是有机分子所包含的极性基团与Ca(OH)<sub>2</sub>形成络合物,提高钙离子的活性,加速各类矿物的水化,能改善水泥浆体的微观结构,促使浆体更加致密,提高水泥硬化体的强度<sup>[9]</sup>。

## 3 现场试验

### 3.1 试验方案

根据室内试验结果,现场地基处理设计方案采用钉形水泥土双向搅拌桩进行加固,梅花形布置,扩大头桩径为1000 mm,下部桩径为600 mm,桩间距1.8 m,扩大头高度6 m,桩长18 m。采用PO42.5普通硅酸盐水泥,水泥掺入量18%,水灰比0.55,DEIPA掺入比0.04%。

为检验地基处理方案的实施效果,现场分别进行钻芯试验、单桩竖向静载荷试验和单桩复合地基静载荷试验。单桩竖向静载荷试验采用慢速维持荷载法<sup>[13]</sup>,单桩复合地基静载荷试验方法按照《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)的要求进行<sup>[14]</sup>。

### 3.2 试验结果与分析

#### (1) 钻芯试验

钉形水泥搅拌桩经28 d龄期后,进行钻芯试验。

表3为12号、13号和14号试桩的钻芯试验结果。钻芯取样结果显示,水泥土样呈灰色,搅拌均匀,芯样呈柱状。芯样检测结果表明,钉形水泥搅拌桩的桩身强度沿深度分布不太均匀,离散型较大,10 m以上水泥土芯样较连续,10 m以下芯样不完整,强度明显小于浅部的芯样。从表3可以看出,不同深度水泥土芯样的无侧限抗压强度均满足设计要求,说明掺加外加剂的钉形水泥搅拌桩桩身质量较好。

表3 钻芯试验结果

Table 3 Results of core drilling test

桩号	钻芯位置/m	无侧限抗压强度/MPa	设计强度/MPa
12号	0.4~0.6	2.11	1.0
	4.1~4.3	1.92	1.0
	10.8~11.0	1.50	0.7
	16.7~16.9	0.85	0.7
13号	0.3~0.5	1.67	1.0
	4.5~4.7	1.42	1.0
	8.8~9.0	0.89	0.7
	16.4~16.6	0.81	0.7
14号	0.4~0.6	1.83	1.0
	4.9~5.1	1.71	1.0
	10.5~10.7	0.93	0.7
	16.3~16.5	0.86	0.7

#### (2) 单桩竖向静载荷试验

分别对3根(1号、2号、3号)单桩进行竖向静载荷试验。试验结果如图5所示。从图5可以看出,试验最大荷载加载至最大设计荷载(360 kN)

时, 荷载-沉降曲线呈缓变性, 没有出现明显的向下转折段, 也没有出现第二拐点, 说明桩土没有达到极限状态。所以三根试桩的单桩竖向抗压承载力特征值均大于 180 kN。表 4 为各单桩试验结果汇总情况。

从表 4 可以看出, 1 号、2 号、3 号桩的最大荷载均达到设计荷载的最大值, 桩顶最大沉降分别为 2.09 mm、5.47 mm 和 2.56 mm, 沉降量较小。卸载后残余沉降分别为 0.89 mm、3.12 mm 和 1.44 mm, 回弹率为 57.42%、42.96% 和 43.75%。说明 3 根钉形水泥搅拌桩桩身质量较好, 桩身弹性压缩量较大, 桩身回弹率高<sup>[3]</sup>, 单桩竖向承载力满足设计要求。

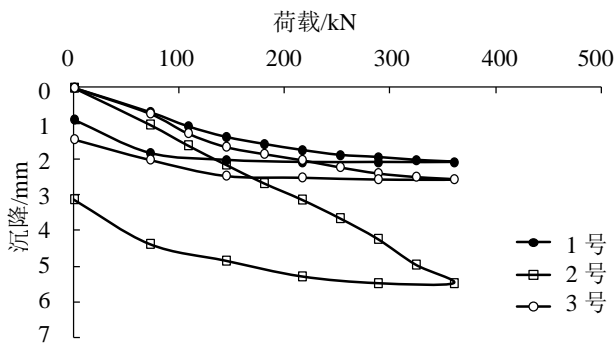


图 5 单桩静荷载试验荷载-沉降曲线

Figure 5 Load-settlement curves of static load test for single pile

表 4 单桩竖向静荷载试验结果

Table 4 Results of static load test for single pile

桩号	最大荷载/kN	最大沉降/mm	最大回弹量/mm	回弹率/%	残余沉降/mm
1	360	2.09	1.20	57.42	0.89
2	360	5.47	2.35	42.96	3.12
3	360	2.56	1.12	43.75	1.44

(3) 单桩复合地基静荷载试验

图 6 为 62 号、63 号和 64 号单桩复合地基静荷载试验荷载-沉降曲线。从图 6 可以看出, 当荷载加至设计最大荷载 (240 kPa) 时, 桩土未出现明显破坏, 荷载-沉降曲线呈缓变型, 没有出现第二拐点, 没有达到极限状态。所以三根试桩的单桩复合地基承载力特征值均大于 120 kPa。

从表 5 可以看出, 3 根试桩的单桩复合地基静荷载试验最大荷载均达到设计荷载的最大值, 桩顶最大沉降分别为 12.15 mm、15.44 mm 和 9.55 mm, 沉降量较小。卸载后残余沉降分别为 6.83 mm、8.23 mm 和 3.6 mm, 回弹率为 42.8%、46.7% 和 62.3%。试验过程中, 钉形水泥搅拌桩与土协同作用, 单桩复合地基承载力符合设计要求。从图 6 还可看出, 桩顶荷载相同时, 桩顶沉降较小的桩, 回弹率相对

较高。说明此时桩身质量较好, 桩土产生的塑性变形量小, 回弹率相应就高<sup>[3]</sup>。

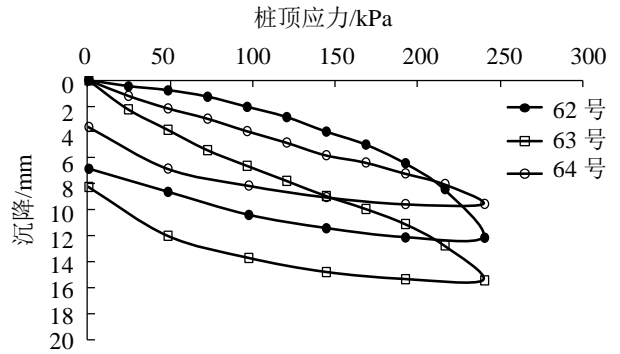


图 6 单桩复合地基静荷载试验荷载-沉降曲线

Figure 6 Load-settlement curves of static load test on single composite foundation

表 5 单桩复合地基静荷载试验结果

Table 5 Static load test for single pile composite foundation

桩号	最大荷载/kPa	最大沉降/mm	最大回弹量/mm	回弹率/%	残余沉降/mm
62	240	12.15	5.32	42.80	6.83
63	240	15.44	7.21	46.70	8.23
64	240	9.55	5.95	62.30	3.6

4 结 论

本文对宁波深厚软土地区某地铁路基加固工程进行水泥搅拌桩外加剂遴选室内试验的基础上, 通过现场试验 (钻芯试验、单桩竖向静荷载试验和单桩复合地基静荷载试验), 对掺加外加剂的钉形水泥搅拌桩应用效果进行验证。

(1) 掺加不同外加剂的水泥土强度都有不同程度的提高, 其中 DEIPA 外加剂的效果最优, 7 d、28 d、90 d 的水泥土无侧限抗压强度增加 25.9%~43.8%, 最优掺入比为 0.04%。

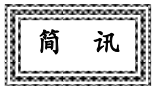
(2) 钻芯试验表明, 掺加外加剂的钉形水泥搅拌桩桩身质量较好, 不同深度水泥土芯样的无侧限抗压强度均满足设计要求。

(3) 单桩竖向静荷载试验中, 三根试验桩均没有达到极限状态, 单桩竖向抗压承载力特征值均大于 180 kN。试验过程中, 桩顶最大沉降分别为 2.09 mm、5.47 mm 和 2.56 mm, 沉降量较小, 均满足设计要求。

(4) 单桩复合地基静荷载试验荷载-沉降曲线呈缓变型, 没有达到极限状态, 其单桩复合地基承载力特征值均大于 120 kPa。最大试验荷载对应的桩顶最大沉降分别为 12.15 mm、15.44 mm 和 9.55 mm, 沉降量较小, 而且卸载后回弹率较高, 说明桩身质量较好。

## 参考文献:

- [1] 地基处理手册编委会. 地基处理手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] Rezaeimalek S, Huang J, Bin-Shafique S. Evaluation of curing method and mix design of a moisture activated polymer for sand stabilization[J]. Construction and Building Materials, 2017(146): 210-220.
- [3] 刘松玉, 朱志铎, 席培胜, 等. 钉形搅拌桩与常规搅拌桩加固软土地基的对比研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(7): 1059-1068.
- [4] Phutthananon C, Jongpradist P, Yensri P, et al. Dependence of ultimate bearing capacity and failure behavior of T-shaped deep cement mixing piles on enlarged cap shape and pile strength[J]. Computers and Geotechnics, 2018(97): 27-41.
- [5] Gilazghi S T, Huang J, Rezaeimalek S, et al. Stabilizing sulfate-rich high plasticity clay with moisture activated polymerization[J]. Engineering Geology, 2016(211): 171-178.
- [6] 叶观宝, 陈望春, 徐超, 等. 水泥石添加剂的室内试验[J]. 中国公路学报, 2006, 19(5): 12-17.
- [7] 梁仕华, 林坚鹏, 龚星, 等. 不同水泥基外掺剂固化广州南沙有机质软土的对比试验研究[J]. 工业建筑, 2019, 49(2): 93-97.
- [8] 丁修. 基于 PAM-有机硅改性水泥土的抗渗特性研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [9] 裴向军, 吴景华. 搅拌法加固海相软土水泥外掺剂的选择[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(3): 319-322.
- [10] 解国梁, 陶传迁, 申向东. 硅粉对中低掺量水泥土早期强度的影响[J]. 混凝土, 2012(5): 88-90.
- [11] 潘俊辉. 四种醇胺类物质对水泥水化及强度性能影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJT 233-2011. 水泥土配合比设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 106-2014 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 79-2012 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.



## 第十六届全国地基处理学术讨论会（一号通知）

2013年9月和10月由中国国家主席习近平分别提出建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的合作倡议。“一带一路”旨在借用古代丝绸之路的历史符号，高举和平发展的旗帜，积极发展与沿线国家的经济合作伙伴关系，共同打造政治互信、经济融合、文化包容的利益共同体、命运共同体和责任共同体。铁路、公路、水利、港口、矿产等重大基础设施的建设是落实“一带一路”倡议的重要抓手。“一带一路”贯穿亚欧非大陆，沿线地质条件差异大，地质构造活跃，地形地貌特殊，气候分异明显，给沿线基础设施建设的地基处理带来了新的挑战。我国大规模工程建设如火如荼，工程建设的迫切需求促使我国地基处理技术取得了长足发展，涌现了一批有突出影响力的创新成果。

为加强地基处理的学术交流，提供新理论、新技术、新理念、新设备的探讨平台，中国土木工程学会土力学及岩土工程分会将于2020年5月在重庆举办第十六届全国地基处理学术讨论会。会议以“一带一路地基处理的机遇与挑战”为主题，展示地基处理领域的最新研究成果与发展趋势。

**会议时间:** 2020年5月22~24日(22日报到)

**联系地址:** 重庆市沙坪坝区沙北街83号重庆大学B区岩土馆

**邮箱:** cgis2020@163.com

**联系人:** 丁选明(13996171067)

周航(15808004371)