

地基处理理论与技术进展

DEVELOPMENT OF GROUND IMPROVEMENT
THEORY AND TECHNOLOGY

第10届全国地基处理学术讨论会论文集

Proceedings of the 10th China National Conference of
Ground Improvement

(南京 2008)

(Nanjing 2008)

主 编：龚晓南 刘松玉

副主编：杜延军 俞建霖



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

地基处理理论与技术进展

DEVELOPMENT OF GROUND IMPROVEMENT THEORY AND TECHNOLOGY

第 10 届全国地基处理学术讨论会论文集
Proceedings of the 10th China National Conference of
Ground Improvement

主 编: 龚晓南 刘松玉

副主编: 杜延军 俞建霖

东南大学出版社
• 南京 •

内 容 提 要

2008 第 10 届全国地基处理学术讨论会于 2008 年 11 月 1 日~2 日在南京召开,会议由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会地基处理学术委员会主办,东南大学交通学院、东南大学岩土工程研究所承办,河海大学岩土工程科学研究所、南京水利科学研究院岩土工程研究所、南京地基基础测试协会、南京东大岩土工程技术有限公司、江苏省岩土力学与工程学会协办。会议共收到论文 130 篇,经审查后录用 126 篇,内容包括现有地基处理技术进展,地基处理新技术的开发和应用,复合地基理论与实践新发展,地基处理工程勘察技术、设计计算、施工设备、质量检验等方面的新发展,地基处理其他方面的发展共 5 个主旨。

图书在版编目(CIP)数据

地基处理理论与技术进展:第 10 届全国地基处理学术讨论会论文集/龚晓南,刘松玉主编. —南京:东南大学出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-5641-0990-5

I. 地… II. ①龚…②刘… III. 地基处理—学术会议—文集 IV. TU472-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 152066 号

地基处理理论与技术进展

出版发行	东南大学出版社
出 版 人	江 汉
网 址	http://press.seu.edu.cn
电子邮件	press@seu.edu.cn
社 址	南京市四牌楼 2 号
邮 编	210096
电 话	025-83793191(发行) 025-57711295(传真)
经 销	全国新华书店
排 版	南京理工大学印刷厂
印 刷	江苏省通州市印刷总厂有限公司
开 本	890mm×1240mm 1/16
印 张	36
字 数	1050 千字
版 次	2008 年 10 月第 1 版
印 次	2008 年 10 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5641-0990-5/TU·180
定 价	135.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

2008 第 10 届全国地基处理学术讨论会

10th China National Conference of Ground Improvement

主办单位：中国土木工程学会土力学及岩土工程分会地基处理学术委员会

承办单位：东南大学交通学院

东南大学岩土工程研究所

协办单位：河海大学岩土工程科学研究所

南京水利科学研究院岩土工程研究所

南京地基基础测试协会

南京东大岩土工程技术有限公司

江苏省岩土力学与工程学会

2008 第 10 届全国地基处理学术讨论会组织 委员会和学术委员会

学术委员会

主 任：龚晓南

副主任：侯伟生 邝健政 刘 波 史存林 滕延京 杨晓东 叶观宝 张在明 周国然

委 员：常 璐 陈 轮 陈高鲁 陈国靖 陈景雅 陈如桂 陈文华 陈振建 方永凯

冯光愈 高宏兴 龚一鸣 顾湘生 韩晓雷 何新东 霍启联 贾庆山 赖正发

李贤军 李学志 李耀良 梁仁旺 刘国楠 刘吉福 刘松玉 陆 新 罗宇生

马华民 孟庆山 潘秋元 彭大用 裘慰伦 饶锡保 施建勇 苏振明 孙瑞民

滕文川 涂光祉 王吉望 王 梅 王盛源 王 园 王 钊 王明森 王占雷

吴廷杰 夏可风 谢永利 徐 超 薛 炜 阎明礼 杨成斌 杨 军 杨守华

杨素春 杨志银 叶柏荣 袁内镇 叶阳升 俞建霖 曾昭礼 张 敬 张金接

张永钧 张咏梅 张作镭 赵明华 赵维炳 郑 刚 郑尔康 周国钧 周洪涛

周虎鑫 周载阳 朱向荣 朱象清 朱彦鹏

组织委员会

主 任：刘松玉

副主任：杜延军 俞建霖 施建勇 赵维炳

委 员：洪振舜 腾玉明 缪林昌 方 磊 石名磊 朱志铎 经 绯 邵 俐

鲁安顺 李仁民 童立元 雷国辉 朱宜生 杜广印 邓永锋 李 宏

目 录

现有地基处理技术进展

高真空击密法处理吹填土浅基现场试验研究	叶观宝, 王世威, 廖星樾(3)
复合桩基沉降特性的模型试验研究	王文良, 刘增荣, 蔡东艳, 王 鑫(7)
水泥搅拌桩加固软弱地基的室内试验研究	张季超, 陈 燃, 王可怡, 杨作用(11)
堆载预压法和真空-堆载联合预压法处理淤泥软基效果的比较分析	余文天, 熊 明, 丁 明(16)
干振挤密碎石桩桩间土挤密效果实测分析	蔡江东, 余跃心, 陈亚东, 岳晨曦(21)
某抛石填海造陆工程异形锤高能级强夯置换试验研究	詹金林, 水伟厚, 何立军(24)
填海碎石土地基上大型船舶工场强夯处理试验研究	王亚凌, 水伟厚, 詹金林, 何立军(29)
树根桩在地基加固和托换技术上的应用	邱秀钦(33)
粉喷桩在粉煤灰地基中的应用	赵连华, 孟凡明, 李敬东, 赵 娜, 王和文, 王红军(36)
强夯法处理风化砂岩块石抛填方地基	肖美跃, 杨印旺, 安 明(39)
CFG 桩复合地基承载力的神经网络预测研究	齐宏伟, 王 印(45)
CFG 桩复合地基桩身材料配合比室内试验研究	王 飞, 杨金利(49)
大面积强夯地基处理前的试夯浅析	赵宏涛(55)
软土中 PTC 预应力管桩打桩引起的孔压分布规律	杨 武, 吴亚东, 余 闯, 杜广印(58)
某硬土地基锤击预应力管桩的挤土效应	付文光, 赵苏庆, 张 俊(62)
强夯处理后黄土动力特性试验的影响因素	王 鑫, 刘增荣, 蔡东艳, 徐亚利(66)
强夯法处理湿陷性填土的试验研究	吴大庆, 郑建国, 王 婷, 张丽娜(71)
含有机质软土水泥配比及掺砂试验研究	韩志方, 邵 俐, 刘志彬, 经 绯(75)
郑西铁路客运专线石灰改良黄土路基填料的室内及现场试验研究	郭建群, 郑 琼, 陶福金, 杨有海(80)
内蒙古丰泰电厂储灰坝涌水治理	赵同新(85)
高速公路挖方段高边坡上采空区危害性评价及注浆治理效果数值分析	邱 钰, 童立元, 朱宜生, 刘松玉(88)
超载预压处理后地基次固结特性与计算方法研究	陈 蕾, 刘松玉(92)
大能量强夯在地基处理工程中的应用	阎爱荣, 齐志宏, 张宏勋(101)

地基处理新技术的开发和应用

利用工业废渣制备软土地基固化剂原理探讨	黄 新, 李战国, 赵永生, 宁建国(109)
真空与覆水联合加固工业厂房软基的试验研究	倪洪波, 姜 炎, 王承军(115)
污泥化学固化处理的研究进展	孙士玲, 雷学文, 孟庆山(121)
预应力管桩联合砂桩处理山间谷地软土实例分析	吴燕开, 孙宗军(127)
新型螺旋挤土桩(SDSP)技术	刘 钟, 张 义, 李志毅, 赵琰飞(131)
双排管桩在软土深基坑支护工程中的应用	汪新平, 张 俊, 杨志银, 张兴杰(137)

砖石古塔的纠偏工程	张旭强, 张 荫, 卢俊龙(140)
新型固化剂加固连云港地区海相软土试验对比分析	谢胜华, 刘松玉, 杜广印(143)
排水粉喷桩复合地基沉降特性分析	杜广印, 蔺宁君, 李家伟, 刘松玉(147)
浅谈我国软土地基处理技术新进展	余 闯, 潘林有, 蔡建明, 王 赞(150)
强夯后填土 CFG 桩复合地基加固技术	骆永生, 郑 平, 吴旭君(154)
变截面双向水泥土搅拌桩在申嘉湖杭高速公路软基处理中的应用	向 玮, 刘松玉, 经 绯, 刘志彬(158)
钉形水泥土双向搅拌桩处理软土地基设计	朱志铎, 刘松玉, 席培胜, 蔡 志, 叶文勇(163)
钉形水泥土搅拌桩复合地基的三维数值模拟	易耀林, 刘松玉(167)
SMC 劲性复合桩实用专利技术在软土地基处理中的应用	钱于军, 凌国华, 邓亚光(172)
十字尖平底大头桩靴沉管灌注桩的应用	叶建尧(178)
钉形水泥土双向搅拌桩单桩承载力特性的数值模拟研究	张 善, 宋宁生, 孙 鹤, 赵 峰(181)
水泥固化处理重金属污染土的研究进展	杜延军, 谭钟扬(185)

复合地基理论与实践新发展

有机质含量对水泥土力学性能的影响	徐 超, 孟凡祥, 郭宏峰(191)
亚音速时速度对列车引起的地基动应力的影响	王常晶, 陈云敏(195)
掺纤维砂土强度特性室内试验研究	李玉萍, 施建勇(200)
变荷载下不排水端承桩复合地基固结分析	杨 涛, 石 磊, 李国维(206)
石灰砂桩非线性组合地基处理技术的应用研究	代国忠, 李文虎, 史贵才(210)
基于性能的桩承式路堤设计方法研究	曹卫平(215)
利用钢渣和磷石膏固化软土的试验研究	赵永生, 牛晨亮, 李战国, 黄 新(219)
真空降水动力固结法处理软土的时效性研究	詹金林, 水伟厚, 何立军, 周同行(224)
柔性基础下基于平衡条件的桩土应力比研究	郭院成, 李永辉, 李明宇, 周同和(228)
黄土地区地基工程中挤土效应及其影响	冯志焱, 兰 嵩, 林在贯(232)
改进的 BP 神经网络在砂土液化评价中的应用	刘 娟, 沙月进(235)
成层土地基承载力的计算机模拟	王英浩, 杨永新, 齐海峰(238)
土工织物袋充砂围堤的稳定分析方法	彭良泉, 何子杰, 尚 钦, 张元波(243)
刚性桩复合地基桩顶上刺入量的实用计算方法	周同和, 郭院成, 李明宇, 王卫中, 李永辉(248)
基于实测沉降的软基沉降规律研究方法分析	曾玲玲(252)
现浇薄壁管桩复合地基沉降的联合求解法	刘春原, 韩占永, 赵 磊(259)
软土地区加筋土工格栅对高填土侧压力减小作用的理论分析与应用	梁永辉, 水伟厚, 詹金林, 何立军(263)
南京地铁砂性地基处理方法探讨	喻 军, 刘松玉, 童立元(267)
水泥搅拌桩施工扰动效应研究综述	关云飞, 赵维炳, 唐彤芝(271)
群桩水平承载力计算方法研究进展	张鹤年, 刘松玉, 季 鹏(275)
比萨斜塔治理方案的讨论	门 楷, 贺可强, 郭 栋, 孙林娜(279)
搅拌桩复合地基简化数值计算等效土体参数确定方法	邓永锋, 刘松玉(285)
公路地基处理后评价初探	张 轩(289)
盐渍土环境下水泥搅拌桩的试验研究和工程实践	邝健政, 薛 炜, 杨元龙(294)
路基土毛细水上升高度计算分析	陈晋中, 刘松玉, 朱志铎, 彭宇一(300)

地基处理工程勘察技术、设计计算、施工设备、质量检验等方面的新发展

岷江上游金龙潭水电站厂房裂缝病害成因分析	魏云杰, 陶连金, 韩俊艳(307)
水泥土搅拌法处置软土路基双控优化设计方法	叶观宝, 吴家府, 高彦斌(310)
南京地铁 2 号线某站深基坑开挖安全监测	崔伯华, 范明桥, 王艳芳(314)
穿越流沙层人工挖孔桩施工工法	朱 奎, 潘三豹, 陈中华, 陈 林(318)
灌浆法在地基处理上的应用	赵同新(323)
韩店水库土坝灌浆加固技术	卢 超, 王洪恩(326)
钻孔桩配合 SMW 工法在铁路沿线软土深基坑支护工程中的应用	胡仲春(329)
复杂环境条件下某深基坑支护方案设计分析	付 怀, 董 可, 龙丽娜, 田 亮(333)
CFG 桩在太原地区软土地层中的应用探讨	王茂桑, 王敏泽, 梁大伟(338)
预应力管桩在郑州东区软土地基中的应用及存在问题探讨	王荣彦, 张 波(341)
粉喷桩的工程事故及质量隐患剖析	黄洪兵, 赵建生, 胡宏伟, 周洎铨(344)
基于 CFG 桩复合地基沉降协同计算的基础底板厚度设计研究	胡 恒, 白晨光, 贾立宏(350)
高层建筑沉降特征的有限差分分析	王 林(354)
强夯法在加固砂土地基中的应用	苏建峰, 杨 艳(361)
徐州市新城区某办公楼预应力管桩设计与检测	朱雪蕻, 薛 峰, 訾剑华(365)
地基处理方案中预制桩的比对检测	王坤昂, 谢义兵, 赵志忠(370)
施工振动安全监测方法和判定标准研究	何立军, 詹金林, 水伟厚(373)
某港口工程真空降水强夯法地基处理设计试验研究	张文龙, 水伟厚, 何立军(377)
多功能 CPTU 测试技术在软土工程性质评价中的应用研究综述	蔡国军, 汪春桃, 刘松玉, 童立元, 杜广印(382)
电阻率静力触探技术在污染土评价中的应用	涂启柱, 刘松玉, 蔡国军, 童立元(388)
SASW 法在路基裂缝处治效果评价中的应用研究	童立元, 赵俊明, 邱 钰, 叶海霞(393)
基坑支护工程的换撑施工技术	张 东(396)
三段式土层中钻孔灌注桩的沉渣控制	徐倩乐, 王建祥, 邱良佐(399)
现浇筒桩的工程应用	徐先平, 吴锦和(402)
灌注桩与预应力锚杆在超深基坑支护中的应用	邱学习, 张永火(405)
挤扩支盘灌注桩的质量控制	柳和礼, 王对山(409)
白云山隧道洞口管棚方案的确定和施工	陶倩微, 徐 正, 胡哲峰, 刘克贞(412)
锚杆静压桩在某办公楼纠偏加固中的应用	郑东明, 张邦通, 胡明亮, 晏 俊(415)
港口物流园区软土地基处理设计与试验	时 伟, 刘继明, 李瑞军(418)
CFG 桩施工过程中孔隙水压力的变化	孙瑞民, 杨凤灵, 姚爱国(422)

地基处理其他方面的发展

吹填土地基处理技术的宏观机理初步研究	周 健, 王 磊, 贾敏才(429)
离心试验土工格栅模型材料的选择	陈建峰, 叶铁锋, 俞松波, 石振明, 夏启星(433)
公路软土地基处理专家系统知识库构建	尹利华, 张留俊, 王晓谋(436)
超深基坑开挖支护及其对临近桥墩的影响数值模拟研究	李雨润, 杨贵生, 梁 艳(442)
高速公路路桥横向互相影响评价实例	陈国臻, 林 飞, 辛丽华(447)
水泥土搅拌桩复合地基工程实例与分析	孙 鹤, 张 峰(453)
亳阜高速公路粉土的工程性质	查甫生, 崔可锐(458)

基于改进集对分析方法的膨胀土胀缩性评价模型	汪明武, 李 丽, 金菊良(461)
基于结构性假设的路基沉降“S”型曲线证明	孙 强, 冶小平, 王媛媛(466)
污染土的修复技术研究现状	韩文君, 刘松玉, 严红霞(469)
影响砂土静态液化因素的研究	李光范, 卫 宏, 韩建刚, 续建新, 夏小兵(473)
寡涌闸涵基础处理的经验及教训	黄岳文(478)
低路基毛细水影响与治理	羊 晔, 刘松玉, 邓永锋(484)
公路隧道工程风险管理浅析	程 远, 刘松玉, 童立元(489)
结构性黄土无侧限抗压强度试验过程的电阻率研究	冯松涛, 刘松玉, 刘志彬(493)
影响工业污染土工程行为的物理化学作用概述	刘志彬, 刘松玉, 王 洋(498)
随机场理论在岩土工程中的应用	张继周, 缪林昌, 王华敬(504)
软土地基沉降分析与数值计算方法探讨	王 勇(510)
合肥新桥国际机场膨胀土的矿物成分研究	管政亭, 崔可锐, 赵广顺(513)
地基沉降的几种预测方法的可靠性分析	黄广军(516)
抽水地面沉降试验初探	吕伟华, 王 非(521)
非开挖定向钻技术在城市道路工程污水管道铺设中的应用	周 霄, 纽剑伟, 邱秀钦(526)
对真空预压法中真空度的一些认识	胡康虎, 唐一波, 毛建全, 周 霄(529)
非半无限空间集中荷载下地基附加应力理论计算	孙 强, 马 平, 王媛媛(532)
岩土力学与工程学科研究方法刍议	蔡晓鸿, 朱 赋, 蔡勇斌, 蔡勇平(535)
高含水量吹填淤泥自重沉积的室内试验研究	洪鹏云, 吉 锋(541)
基于落锥试验的黏土不排水强度预测研究	吉 锋, 洪鹏云, 徐 飞(545)
土与结构物接触面应力应变关系研究	袁运涛, 施建勇(549)
PTC 预应力管桩在地基处理中施工控制研究	邹允祥, 季 鹏(555)
生石灰改良过湿土技术分析研究	焦华丽(559)

现有地基处理技术进展

高真空击密法处理吹填土浅基现场试验研究

叶观宝^{1,2}, 王世威³, 廖星樾^{1,2}

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092;
3. 西北电力设计院, 西安 710002)

摘 要: 以江苏省某电厂的吹填土地基处理为例, 利用现场试验对高真空击密法加固饱和吹填土地基的效果进行了检验。通过对试验场地的沉降和超孔隙水压力等监测数据分析, 以及标准贯入试验、静力触探试验和载荷试验结果的探讨, 分析了高真空击密法的加固效果和加固特点, 研究结果可以为类似的地基处理工程提供参考和依据。

关键词: 高真空击密法; 吹填土; 地基处理; 现场试验

作者简介: 叶观宝(1964—), 男, 安徽歙县人, 教授, 博士生导师, 主要从事地基处理与托换技术研究。

0 引 言

随着基础建设的高速发展, 土地资源越来越宝贵, 利用滩涂或者直接围海造田的工程越来越多, 吹填法形成大面积陆域作为经济成熟的工艺被广泛采用。由于形成陆域的吹填砂一般比较疏松, 不能满足工程需要, 必须进行处理才能使用, 所以吹填砂地基的加固方法显得尤为重要。

高真空击密法是降水与强夯相结合的一种地基处理工法。先对需要处理的土层进行抽真空降水, 并与之结合施加数遍相应的变能量击密, 达到降低土体含水量, 提高土体密实度和承载力, 减少地基的工后沉降与异沉降量的地基处理工法。高真空排水-击密的多遍循环, 两道工序的有机结合和相互作用是该法的独特机理。该项技术已经在诸多重大工程的软土地基处理中得到了成功应用。

本文就是结合江苏省某近海电厂的大面积吹填土地基处理现场试验, 通过对高真空击密法处理后的加固效果检测以及施工过程中的监测, 对高真空击密法处理大面积吹填砂的适宜性、地基处理特点及加固机理进行了探讨, 为类似地质条件的地基处理工程提供参考和依据。

1 场地工程地质条件

该电厂2年前完成围堤吹填, 目前回填土经过固结后强度提高很大, 大面积吹填地基承载力特征值达到80 kPa, 且存在中等—严重液化现象。根据电厂设计要求, 需要使该吹填砂地基承载力特征值大于等于130 kPa, 因此需要对该层土进行地基处理以提高承载力。根据厂区勘察资料, 厂区地基土层分布情况如表1所示。

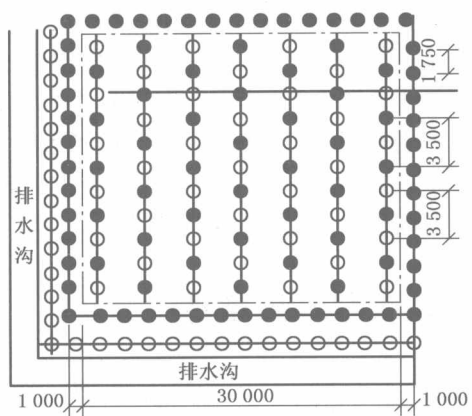
表1 土层分布表

地层编号	岩土名称	厚度(m)	岩性描述	平均标贯击数
1	粉砂	2.8~5.9	为吹填土, 松散, 上部潮湿, 下部饱和	3.7
①1	粉细砂	3.4~5.8	灰、灰绿色, 饱和, 稍密	12.4
①2	粉砂	3.6~6.9	灰色, 饱和, 稍密	12.2
②	粉质黏土夹粉土	3.9~7.3	灰、褐灰色, 可塑, 粉砂、粉土含量较大	10.6
③	粉砂	6.2~8.7	青灰、灰色, 中密, 饱和	16.5

2 现场试验概况

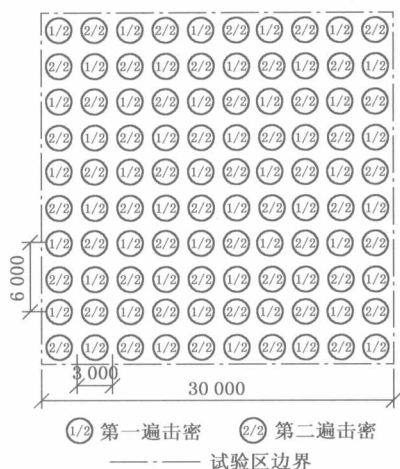
根据场地情况,在大规模施工前,对两个 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的试验区域进行了高真空击密试验。两个试验区采用同一夯锤和能量(锤重 16.5 t ,落距 16.97 m ,能量 $2\,800\text{ kN}\cdot\text{m}$)夯实,夯点间距分别为 3.0 m 和 3.5 m ,分别记为试验一区 and 试验二区。

施工区内真空管深浅间隔布置,深管 $6\sim 7\text{ m}$,浅管 $3\sim 4\text{ m}$,外围采用真空井点封水,真空井点间距约 1.75 m ,共设 2 排,以防止试验区停止降水强夯期间外部地下水涌入场地。其真空管布置和夯点布置如图 1 所示。图中,深管长度为 $6\sim 7\text{ m}$,浅管长度为 $4\sim 5\text{ m}$;真空管滤头为 1 m 。验场区在第一次降水达到要求后,拔出降水管进行第一遍



● 深管 ○ 浅管 ——— 试验区边界 ——— 卧管

图 1 高真空击密法真空管平面布置(单位:mm)



①/② 第一遍击密 ②/② 第二遍击密
——— 试验区边界

图 2 高真空击密夯点布置(单位:mm)

强夯,第一遍强夯完毕后插入降水管进行第二次降水,第二次降水完毕后拔出降水管进行第二遍强夯,第二遍强夯后进行搭接满夯。在降水和强夯期间,外围真空井点封水始终处于工作状态。图 2 为高真空击密夯点布置图。

3 现场监测结果

3.1 土体沉降监测

两个试验区均按 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 网格对处理前和处理后的场地地面标高进行了测量,具体结果详见表 2。由表 2 可以看出,二遍夯后和满夯后皆有较为明显的沉降发生,这说明二夯和满夯都是很有必要的。一区沉降要大于二区,这与一区夯点布置较为密集相符合。但是,二区的二夯和满夯后沉降要比一区的二夯和满夯后沉降相对小一些。这也说明二区的一夯就已经产生了相对较大的影响。

表 2 地表沉降监测数据

单位:cm

试验区	一遍夯后 沉降	二遍夯后 沉降	满夯后 沉降	累计 沉降
试验一区	37.9	14.9	8.6	61.4
试验二区	30.5	15.6	9.1	55.2
平均值	34.2	15.25	8.85	58.3

3.2 地下水监测

试验中对地下水位进行了监测,施工第一次降水水位深度达到 2.3 m 左右,用时 3 天,第二次降水达到 2.1 m 左右,用时 2 天。

同时,试验中对土体超孔隙水压力进行了监测,由于抽真空的原因,此次孔隙水压的监测并不能如实反映地下水受夯击时产生的孔压上升以及消散的情况,但是从局部来看还是可以反映出夯击的影响深度和加固效果,如图 3、图 4 所示。从孔隙水压力监测上来看,一区孔隙水压力上升得

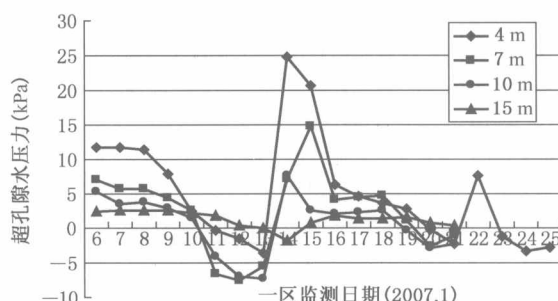


图 3 一区超孔隙水压力变化规律

比二区高,这个与一区夯间距比二区小符合。而且由于抽真空的原因,试验区内孔压呈幅度比较大的波动状态。

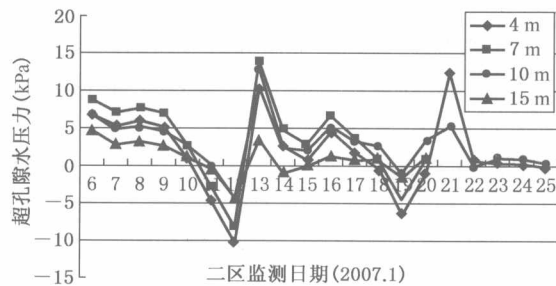


图4 二区超孔隙水压力变化规律

出处理后各层土的平均标贯击数,如表3所示。从标贯试验对比结果可以看出本次地基处理达到了设计要求,取得良好的加固效果。而且两个分区的加固效果相差不多,试验一区加固效果稍微好于试验二区。

表3 标准贯入试验结果

土层编号	土层名称	处理前		处理后				
		击数	击数	一区		二区		一、二区平均值
				加固效果比	击数	增长率	平均值	加固效果比
◎1	粉砂	4.4	23.0	5.2	21.0	4.7	22.0	5.0
①1	粉细砂	13.7	16.2	1.2	15.7	1.1	16.0	1.1
①2	粉砂	15.7	19.5	1.2	19.7	1.3	19.6	1.2

4 地基处理效果检验

4.1 标准贯入试验检验

为更好地研究其处理效果以及加固效果的增长趋势,地基加固完毕后,在两个高真空击密试验区分别进行了标准贯入试验,为减少偶然误差每个分区试验做两组。根据初勘地层的划分,整理

4.2 静力触探试验

为比较地基加固效果,在场地平整完毕,地基处理之前进行了一组静力触探试验,地基处理完毕后再次做了静力触探检测,对检测范围内的锥尖阻力 q_c 和侧壁摩阻力 f_s 进行了加权平均,试验结果见表4和表5。

表4 锥尖阻力 q_c 平均值

土层编号	土层名称	处理前		处理后				
		q_c (MPa)	q_c (MPa)	一区		二区		一、二区平均值
				加固效果比	加固效果比	加固效果比	加固效果比	
◎1	粉砂	1.63	7.28	4.5	4.24	2.6	5.76	3.5
①1	粉细砂	3.97	7.74	1.9	6.89	1.7	7.32	1.8
①2	粉砂	4.47	4.53	1.0	4.12	0.9	4.34	1.0

表5 侧壁摩阻力 f_s 平均值

土层编号	土层名称	处理前		处理后				
		f_s (kPa)	f_s (kPa)	一区		二区		一、二区平均值
				加固效果比	加固效果比	加固效果比	加固效果比	
◎1	粉砂	15.4	67.4	4.4	40.9	2.7	54.2	3.5
①1	粉细砂	45.7	91.0	2.0	77.8	1.7	84.5	1.8
①2	粉砂	58.1	62.1	1.1	54.8	1.0	58.7	1.0

从静探数据分析和静探曲线可以看出,一区上部吹填土锥尖阻力 q_c 从处理前的1.63 MPa增加到7.28 MPa,增幅很明显,增量约为350%;二区吹填土部分锥尖阻力增幅约为160%。一区吹填土侧壁摩阻力 f_s 从原来的15.4 kPa增加到67.4 kPa,增幅明显,增量约为340%;二区吹填土部分侧壁增幅约为170%。①1和①2土层加固效

果远没有吹填部分加固效果明显,甚至是①2土层的 q_c 和 f_s 值还有下降的趋势,分析原因是①2已经为非吹填部分,这层土为原浅海表层砂,这部分砂土长年在海浪的冲刷下,已经变得相当密实且具有相当的强度,这次强夯的能量传递到该部分土层的时候破坏了原土体结构,但是又没有足够的能量使其变得更加致密,从而使得该部分土锥

尖阻力和侧壁摩阻力变小。虽然此两部分土并非本次地基加固的重点,但是如何在既加固吹填部分,又尽量地减少施工过程中对非吹填部分的坏的影响,是一个值得考虑的方面,这就需要合理地选取工艺参数。

4.3 载荷试验

利用高真空击密法所确定的承载力确定方法,根据各试验区各点载荷试验 $p-s$ 和 $s-\lg t$ 曲线,确定各区域地基承载力特征值见表 6。由于误差的存在,使得每个载荷试验点所确定的地基承载力特征值不相同,但是每个试验点所确定的承载力特征值均大于设计承载力(130 kPa),这说明采用高真空击密法处理饱和吹填土地基能够达到期望的目的,满足设计要求。

表 6 载荷试验结果

试验区域	试验点号	$S/b = 0.01 \sim 0.015$ 所对应荷载(kPa)	最大加载量(kPa)	载荷板面积(m^2)	承载力特征值(kPa)
一区	L10	152	390	1.21	152
	L11	150	390	1.21	150
	L12	162	390	1.21	162
二区	L13	157	360(破坏)	1.21	157
	L14	165	360(破坏)	1.21	165
	L15	180	360(破坏)	1.21	165

5 结 论

(1) 高真空击密工法处理后的吹填土浅地基

有了很明显的改善。使地基承载力从不到 80 kPa 上升到 150 kPa 以上,达到设计要求。也减少了工后沉降。

(2) 高真空击密法施工过程中要进行真空抽水,降低水位。其综合了塑料排水板固结、强夯、真空预压、动力排水等多种饱和软土加固方法的优点。

(3) 从高真空击密施工过程中的孔压、沉降监测以及地基加固施工完毕后的标贯、静探、载荷试验结果可以发现,两个试验区均能很好地满足承载力设计要求,而且两个试验区的加固效果有一定的差异,但是差异并不明显。故基于优化设计和经济因素的考虑,在大面积施工时,可采用试验区二区的施工工艺参数。

参 考 文 献

- [1] 代韶华. 高真空击密法在兴华港区二期工程软基加固中的应用[J]. 中国港湾建设, 2005, (4): 41~43.
- [2] 虞剑英, 陆渊. 高真空击密法处理沿海软土地基的试验研究. 水运工程[J], 2007, (4): 75~83.
- [3] 吴价城, 武亚军, 吴名江. 高真空击密法——一种软土地基处理新工艺[J]. 地球与环境, 2005, 33(z1): 496~501.
- [4] 陆豪杰, 褚庆元, 王龙泉, 王磊. 高真空击密法在北仑港区四期工程软基加固中的应用[J]. 水运工程, 2007, (8): 108~116.

复合桩基沉降特性的模型试验研究

王文良, 刘增荣, 蔡东艳, 王 鑫

(西安建筑科技大学土木工程学院, 西安 710055)

摘 要: 复合桩基的沉降特性是一个非常复杂的问题, 尤其是在有地下水的回升状况时更为突出。通过室内复合桩基的模型试验对复合桩基在竖向荷载作用下有地下水回升状况的沉降进行了分析, 实验表明: 复合桩基的 $Q-S$ 曲线一开始就呈现出明显的非线性性质, 且曲线斜率随荷载的增加呈增大趋势, 曲线呈现明显的陡降形。与没有地下水回升的情况相比, 在有地下水上升的情况下, 基础的沉降中不可恢复的塑性变形占的比例较大。在荷载不变的情况下, 地下水的回升会造成复合桩基中桩的端阻力和侧阻力明显下降, 基础沉降迅速增大数倍, 对建筑物的安全使用影响很大。

关键词: 复合桩基; 模型试验; 沉降; 地下水

作者简介: 王文良(1981—)男, 山东聊城人, 硕士研究生, 岩土工程专业, 目前从事桩基工程研究。

0 前 言

复合桩基设计方法特别是沉降计算方法还不成熟, 而刚性桩复合地基的设计往往由沉降控制, 所以对其沉降计算方法的深入研究很有必要。由桩、土与垫层组成的复合桩基, 在竖向荷载作用下, 其沉降变形性状是桩、垫层、地基土之间相互影响的综合结果^[1]。目前, 复合桩基沉降的计算方法主要有复合模量法、双层应力法及半理论半经验方法等^[1, 2]。而这些方法因其各自不同的假定条件而存在其相应的不足。在很多时候都会遇到地下水的回升问题, 这还会对复合桩基的沉降有很大的影响。但由于现场试桩耗资巨大, 且很难达到极限荷载, 采用模型试验研究就成为研究复合桩基的一种简洁而高效的方法。本文通过模型试验, 分析了黏土中复合桩基的沉降和地下水

回升时对沉降的影响, 期望能对复合桩基的沉降研究有一定借鉴作用。

1 模型试验概况

模型试验在室内高 1 m, 长宽均为 1.5 m 的模型箱内进行, 模型箱采用钢板焊接而成, 模型桩采用铝管, 其长度均为 50 cm, 桩入土深度为 49.5 cm, 管材为空心管, 外径 2 cm, 壁厚 0.1 cm, 模型桩长径比 $l/d = 25$, 桩周采用钢锉拉毛做粗糙处理。承台采用 1 cm 厚的钢板, 面积为 50 cm × 50 cm。

模型桩尺寸及平面布置和土层分布如图 1 和图 3 所示。模型试验用的土为中砂、古土壤和黄土, 它们的主要物理和力学性能参数如表 1 中所示。模型桩成桩过程为先在模型箱内分层填土夯实, 底层中砂按照控制密实度夯实, 古土壤和黄土

表 1 试验用砂及土各项参数

名称	比重 G_s	含水量 (%)	干密度 ρ_d (g/cm ³)	孔隙比 e	塑性指数 W_p	黏聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)	压缩系数 a (MPa ⁻¹)	压缩模量 E (MPa)	渗透系数 k (cm/s)
中 砂		3.51	1.78				30.1			
古土壤	2.71	12.16	1.51	0.776	10.5	48.39	27.9	0.21	8.59	7.70×10^{-5}
黄土一	2.70	19.25	1.47	0.844	11.2	42.92	28.9	0.46	5.37	2.25×10^{-5}
黄土二	2.70	18.89	1.51	0.722	11.3	49.86	29.0	0.25	7.60	1.60×10^{-5}

按照控制含水量和密度分层夯实;然后钻孔把模型桩放入其中,并灌入适量泥浆放置足够长时间让其完全固结;在桩顶铺设 1.5 cm 厚的中砂垫

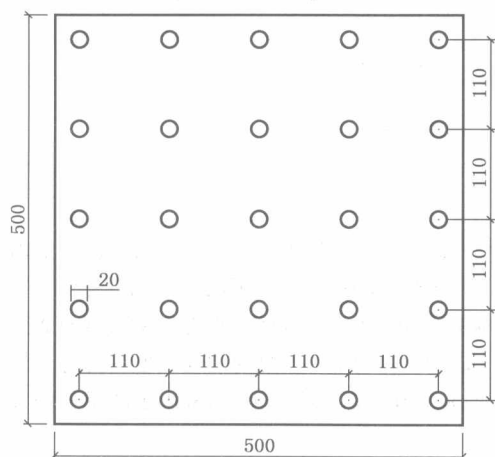


图1 模型桩基平面布置图

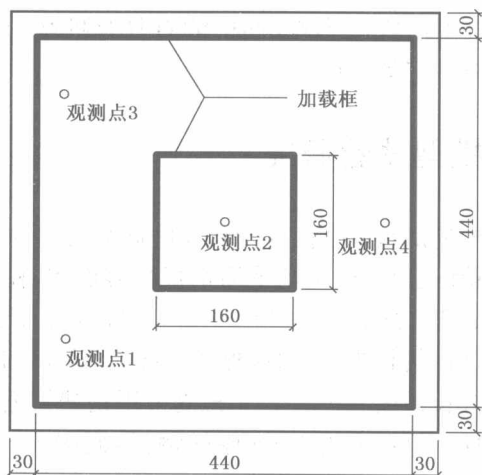


图2 沉降测点布置图

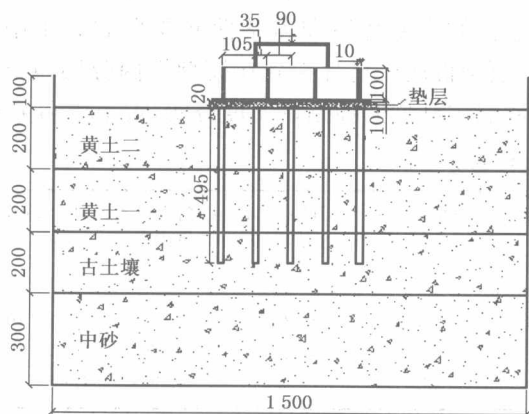


图3 模型桩布置及土层剖面图

层。桩顶位移测读采用百分表,测点位置如图2所示;加载方式采用慢速维持载荷法,由两个钢板框模拟框筒结构加载,内框和外框的尺寸见图2,其承担的荷载比例为3:1。

试验分为地下水下降后与地下水回升中两个阶段,地下水的回升由水通过模型箱底部的两个入水孔向上回渗来模拟。

2 试验结果分析

2.1 Q-S 曲线分析

复合桩基竖向位移由桩间土压缩变形和桩底平面地基土整体压缩变形两部分组成。由试验结果得出的 Q-S 曲线见图4和图5。图4为地下水水位很低时的曲线,图5为包括地下水回升及卸载过程的 Q-S 曲线。

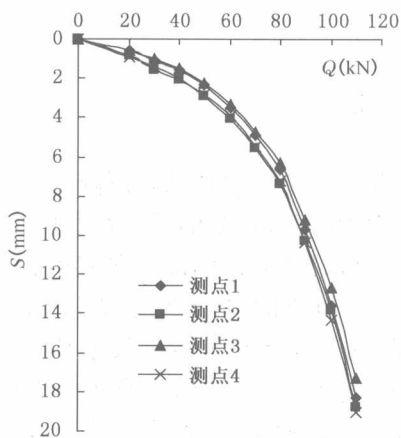


图4 地下水未回升时 Q-S 曲线

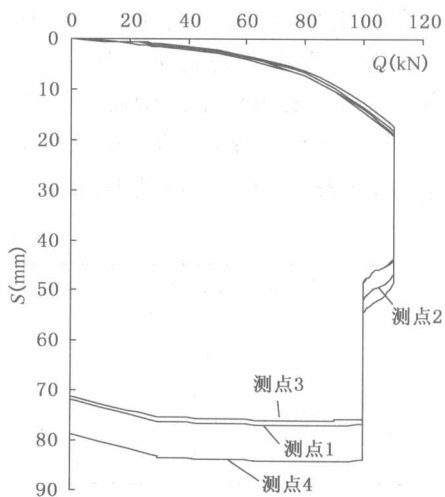


图5 包括地下水回升及卸载过程的 Q-S 曲线