

宁波岩土工程技术新进展 (一)

沈昌鲁

孔清华 桂淞莉

(宁波大学地基处理中心 宁波市 315211) (宁波市地基基础研究所 宁波市 315211)

【提要】近年来宁波市处于大规模建设之中,使市区及开发区内普遍分布的厚层海相软土地基处理成为突出问题,作者结合近几年实践经验,介绍了处理软土地基具有代表性的成果,供同行借鉴。

【关键词】宁波市 干取土灌注桩 预承力钻孔灌注桩 钻孔植桩法 跑桩法

【Abstract】 During the city construction in recent years, dealing with the thick marine deposit soft soil ground becomes outstanding problem. This paper introduces the typical cases of dealing with soft soil ground in Ningbo city based on the another's practice.

【Keywords】 Ningbo city, Dry soil sampling pile, Prestressed bored pile, Bored pile method

0 前言

宁波地处我国东部沿海地区,是一个具有深水良港的重要港口城市。改革开放前,宁波市的城市建设处于停滞状态,多数房屋均建于天然地基上,层高一般不超过4~5层。建筑物沉降大,稳定慢,建筑物产生倾斜和出现裂缝者也时有发生。改革开放以后,特别是近几年来,宁波市加快了发展步伐,正向着建设国际港口城市迈进。随着大量外资的引进,开发区保税区的建设,城市改造的加速进行,大量具有实力的乡镇企业的迅速发展,使宁波市处于大规模建设之中。以7层为主的住宅建设成片开发,中心城市高层建筑大量兴建,以及众多工业项目的建设使软基处理成为一个突出问题。宁波市区及开发区内普遍分布着厚层的海相淤泥质粘性土。对于一般的工业与民用建筑,较好的桩基持力层在地下20~30m左右,而对于荷载大的工业建筑和高层建筑,良好的持力层则往往要达到地下50~60m。建设形势的要求和自然条件给宁波岩土工程工作者提供了用武之地,为宁波岩土工程技术的发展创造了客观条件。

本文将概述近几年来我市在岩土工程技术方面具有代表性的一些成果,供同行借鉴。

1 地基处理方面

1.1 水泥搅拌桩法和石灰桩法是本地区地基处理的普遍方法

截止到80年代末,宁波市对于5层以上的建筑一般均采用桩基础。桩基属于深基础范畴,其造价与持力层深度密切相关。对于大量的住宅建筑,当持力层深度在地下20m左右时,采用震动沉管灌注桩把建筑物荷载传递到持力层上,在我市已为大量的工程采用,证明在经济上、技术上都是合理的。由于地层分布上的变化,在有些地区如北仑区、江东黄鹂新村等地区,持力层深度多在地下25~30m以上。这不仅给施工造成困难,也使工程造价提高。我们面临的问题是:结合我市的地质条件对于多层建筑采用桩基础并加大桩长、桩径是否是解决深持力层问题的唯一途径。经过分析并借鉴国内其它地区的经验,我们选择了地基处理的方案,即在基础下一定深度范围内(一般为地下10~12m)

作者简介:沈昌鲁,男,教授级高级工程师。1951年毕业于天津北洋大学(现天津大学)土木系结构专业。现任宁波大学地基处理中心主任,长期从事岩土工程勘察和研究,重点是软土地基处理。

人工加固出一个承载能力和压缩模量都大大高于天然地基的复合地基,以此来承受和传递上部结构的荷载。在众多的地基处理方法中,结合我市的情况,我们优选了水泥搅拌桩和石灰桩的方案。并围绕这两种方法紧密结合工程的应用,开展了一系列研究,取得了一批具有实用价值的科研成果。

1.2 在大量工程实践的基础上编制了《宁波市水泥搅拌桩法加固地基设计、施工和质量验收暂行细则》

用水泥搅拌桩加固地基在我国已是一项成熟技术。1989年初,我们首先把此项技术引进我市。尽管这项技术在国内其它地区已取得不少经验,但对我市来说,由于地质情况的差异,能否适用以及经济上的合理性尚需验证。我们通过一系列的室内试验,研究在宁波的地质条件下水泥土的强度规律,取得设计参数。继而在几项4~6层建筑中试点应用,证明这一地基处理方法在宁波是适用的,并有广阔发展前景。为了进一步推广,我们与鄞县建筑设计院、温岭六建公司建立了设计、施工、监理、检测相结合的协作关系,共同开发这项技术。从1991年以后经鄞县设计院设计,在邱隘、高桥、钟公庙、五乡、陈婆渡、姜山、莫枝、石矸、宋诏桥、望春、福明和宁舟新村等地大面积推广应用,已竣工的建筑物在百幢以上。从已建成的建筑物沉降观测资料看,一般沉降均在4~7cm以内,小的仅2cm,沉降比较均匀。与此同时,在北仑地区,由于软土层厚度很大,也积极采用了水泥搅拌桩地基处理方法,推广使用的面积在全市处于领先地位。在这项工作中我们始终坚持了与设计、施工单位紧密结合,并承担了搅拌桩的质量检测工作。1993年受市城乡建委委托,在总结大量工程经验的基础上,我们主编了《宁波市水泥搅拌桩法加固地基设计、施工和质量验收暂行细则》,结合我市具体情况对设计、施工中的一系列问题作出了规定,为在我市全面推广这一技术创

造了条件。

1.3 围绕水泥搅拌桩在工程应用中的问题积极开展研究,提出了一系列有实用价值的研究成果

1.3.1 几种常见土水泥搅拌桩侧壁摩阻力的取值

国家行业标准规定,桩周土的平均摩阻力标准值(kPa),一般淤泥可取5~8,淤泥质土可取8~12。这两种土都是宁波地区常见的土。如果按此取值,则单桩承载力偏大,置换率降低,将导致建筑物的过大沉降。我们根据几十组载荷试验资料取 $S/D=0.01$ 对应的荷载为单桩承载力标准值,反算出不同土的侧壁摩阻力,在我市《细则》中规定淤泥取值可小于或等于5kPa,淤泥质土可取5~8kPa,并规定土质较差及桩较长时取小值。从大量工程实践的结果来看,这样取值比较符合我市的实际情况,有助于避免建筑物产生过大的沉降。

1.3.2 用载荷试验确定单桩及单桩复合地基承载力的评价标准

静载荷试验确定承载力,一般采用的方法是试验的极限荷载除以安全系数作为承载力评价标准。水泥搅拌桩一般均在软粘性土中成桩,纯摩擦桩居多, $Q-s$ 曲线呈圆滑型下降、第二拐点不明显,甚至不出现。工程桩一般不允许试验到极限荷载,因此采用沉降比(s/d)评价。这样,必须解决用未达到极限荷载时的 $Q-s$ 曲线判断桩的承载力评价方法的可靠性问题。国家行业规程“软土地基深层搅拌加固技术规程”(YBJ225-91),提供的标准是以沉降比 $s/d=0.004\sim 0.01$ 对应的荷载为评价桩承载力标准,当总加载小于该荷载值的1.5倍时,取总加载量的一半。为进一步验证这个标准的可靠性,我们在北仑、鄞县地区作了专门试验,试验均达到极限荷载或终止试验条件,共取得了29组对比试验资料,其中单桩19组,单桩复合地基10组,分析这些试验资料得出的结论

是: 在保证安全系数达到2的前提下, 对于单桩可以 $s/d=0.008\sim 0.012$ 作为评价其承载力标准值的标准, 对于单桩复合地基 s/d 一般不应超过0.01。

1.3.3 龄期对桩承载力的影响

按有关“规范”规定, 水泥土的标准龄期一般为90天, 90天以后水泥土强度虽然仍在增加但幅度较小。由于工期的限制, 工程中不可能等到水泥土达到标准龄期后进行载荷试验。显然, 在水泥土的强度尚未完全形成的情况下, 试验结果承载力是偏低的。倘若试验结果不能满足设计要求时, 建设、设计及施工单位往往提出这样的问题: 当桩身龄期达到标准龄期时, 承载力可否提高, 提高多少? 为了解决这个问题, 我们在宁大校园内选定一块场地试验, 打设了一批试验桩, 进行不同龄期的专门对比载荷试验, 试验结果说明:

(1) 一年龄期承载力比一个月龄期承载力平均提高42.7% (去掉最高、最低值的平均值)。

(2) 三个月龄期承载力比一个月龄期增长20.3% (子样不够, 仅供参考)。

(3) 标准龄期之后, 承载力仍有较大幅度的提高。

原因是除桩体强度随龄期增长而增强外, 桩周土强度恢复后的时间效应也不能排除。

由于经费的限制, 试验数量不足, 在解决工程问题时不应简单地引用这些数据, 但试验结果可以为实际问题的处理提供一定依据。

1.3.4 桩体材料配料的改进

水泥搅拌桩造价中水泥费用占60%~70%, 在保证桩体强度的前提下, 改进配料是一个重要课题。

根据工程实践的初步经验, 我们此次在桩体材料的配料方面重点研究了加入粉煤灰的效果及加入SN-201的效果。SN-201系浙

江大学研制开发的一种无色液体添加剂。

(1) 粉煤灰的试验结果

粉煤灰取自北仑电厂即通常工程中使用的优质粉煤灰。试验的目的是研究最佳的粉煤灰掺入量。试验结果是: 一个月龄期时, 当粉煤灰含量为水泥掺入量的30%时, 试块强度最高。

(2) SN-201的试验结果

进行了两种龄期的试验, 一种为3天龄期的, 一种为30天龄期的。试料均为淤泥质粘性土, 试块尺寸均为70.7cm的立方体。

经过试验得出了以下结论:

(1) 加入SN-201对提高水泥土强度有良好效果, 加入量以水泥重量的4%为宜。

(2) 水泥掺入量为15%时加入4%的SN-201, 水泥土强度约相当于水泥掺入量为15%, 并加入水泥重量30%粉煤灰时的水泥土强度, 或水泥掺入量达22%时的强度。

在几项工程中的应用, 证实了以上结论是正确的。

1.3.5 研制了断浆报警器

水泥搅拌桩施工中由于喷浆孔堵塞可能造成水泥浆断流。断流1秒钟将可能造成桩体1.6cm长度内缺少水泥即造成断桩。这是水泥搅拌桩方法中必须防止的问题。浆液因堵塞断流将造成泵压迅速上升。根据这一现象我们研制了以压感元件制成的报警器, 当泵压超过一定限度时即发出警报。

1.4 开发研制了变径水泥搅拌桩

鉴于地基中的应力分布是自上而下递减的, 地基中靠近基础的部分在总沉降中所占比例较大, 因此, 加固深度范围内采用相同的置换率是不经济的。如果采用上部直径较大, 下部较小的变径桩在保证工程质量的基础上, 将会取得较好的经济效益。由于施工上的困难, 目前实际工作中常以变水泥配比的办法来解决这个问题, 即桩身上部一定深

度内多喷一次浆以提高其水泥含量,增加桩身强度。

变径水泥搅拌桩系宁波大学地基处理中心于1993年初向国家专利局申请的发明专利项目。发明人为宁波大学地基中心主任沈昌鲁同志。该项专利已于1994年5月11日在专利公报上公开。从1993年开始经过了近一年来的试验,从工艺、设备上都作了一系列改进后,打了一组共10根试验桩,其中5根为0.5m的等径桩。

本专利采用的桩型是上部直径为0.6m,断面 $0.2^{\circ}2m^2$,下部直径为0.424m,断面 $0.141m^2$ 的单轴变径桩。如果桩长为10m,0.6m直径的部分可以取为5m,或更多。搅拌叶片为两组,上组叶片直径为0.6m,下组直径为0.424m。两组叶片的距离根据桩长确定。对于一般的民用建筑,常用桩长为10~12m,这样两组搅拌叶片的距离可取5~6m。每组叶片下均设喷浆眼,由两台泵分别供浆。

桩长为10m时变径桩较直径为0.5m的等径桩单桩承载力约可提高20kN。每根10m,长的变径桩搅拌方量为 $2.1m^3$,等径桩为 $1.96m^3$,水泥平均含量均按15%计,两者水泥用量分别为494kg和515kg。由于变径桩桩数较少,工程综合造价可节约13%~18%左右。每根变径桩搅拌喷浆时间比等径桩可减少10min(10m桩长时)。在试验的基础上通过了一项工程的应用,达到了预期效果。

这项成果曾在1995年于广东肇庆召开的全国地基处理会议上作了大会介绍,获得了同行的重视。

1.5 承担了宁波市科委下达的石灰桩加固软基的研究课题,在石灰桩的理论和实践方面取得了进展

(1)石灰桩加固软基以置换作用为主,桩间土加固作用为辅。对于非纯石灰组成的桩体在通常采用的置换率和应力比时,桩的

置换作用在提高承载力中所占份额一般可达80%以上。

(2)桩间土的加固与所用桩体材料和置换率有关。对于沿海地区的软粘土,在通常采用的置换率(10%~15%)和桩体材料中大量掺入粉煤灰等材料时,桩间土一般可在原有基础上提高10%左右。

在置换作用为主的情况下,保证桩体的必要强度成为石灰桩加固方法成败的关键。保证桩体强度的主要因素是桩体的密实程度和配料组分。桩体材料达到干重度 $11\sim 12kN/m^3$ 且限制向上膨胀的条件下可以达到足够的强度。

(3)桩体材料中大量加入粉煤灰(可达70%)或铁粉(硫酸厂废料),并加入少量水泥,单轴抗压强度可达600kPa。在三向受力条件下桩体应力达到1000kPa时不会发生剪切破坏。

桩体材料中大量加入粉煤灰、铁粉使石灰桩造价降低。

(4)提出了根据桩体材料吸水量计算桩间土含水量降低,承载力提高的计算公式和计算参数,经一批工程复合地基载荷试验结果验证是可行的。当置换率为10%~15%时,加固后复合地基承载力约为天然地基(软粘性土)的1.5~1.9倍。

(5)采用 N_{10} 触探检查短龄期(15天以内)的桩体强度,当 N_{10} 大于25时可认为桩体质量满足要求。

(6)在软土地基上石灰桩施工设备及工艺应能保证桩体材料顺利下入并保证其密实度,这是确保工程质量的关键。

本课题通过了市级鉴定。由国内著名专家组成的鉴定委员会认为:本课题的研究广度深度和系统性在同类研究中达到国内先进水平。该项课题获宁波大学1993年度科研成果一等奖。

(未完待续)

收稿日期:1996-06-08