

碎石桩处理砂性土和粘性土的机理探讨

叶观宝 胡 斌

(同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

【摘要】 在对江苏省徐宿高速公路碎石桩施工质量的检测中, 利用现场检测得到的第一手资料, 结合室内土工试验及文献资料, 探讨碎石桩处理砂性土和粘性土的机理。

【关键词】 挤密作用; 置换作用; 标贯击数; 内摩擦角; 地基处理

【中图分类号】 TU472

The Ground Treatment Mechanism of Gravel Piles Acting on Sandy Soil and Clayey Soil

【Abstract】 Through checking gravel piles of Xusu motorway in Jiangsu province, using original data of checking soil among them, observing the effects of them acting on sandy soil and clayey soil, analysing factors of gravel piles improving sandy soil and clayey soil.

【Key words】 compact action, replacement action, SPT number, angle of internal friction; ground treatment

0 引言

振动沉管碎石桩作为地基处理的一种手段是近几十年发展起来的, 由于其具有施工简单、加固效果好、节省三材、成本低廉、无污染、工期短等特点, 而被广泛应用于路堤、码头、仓库、厂房、住宅和油罐等工业和民用建(构)筑物的地基加固。近些年来, 我国大力发展基础设施建设, 给高速公路飞速发展提供了难得的机遇, 振动沉管碎石桩在高速公路建设的地基处理中得到了广泛运用。对于碎石桩对砂性土和粘性土的处理机理, 前人已做了有益的研究, 但对于在微观上的解释不多, 笔者将从微观上作进一步的探讨。

1 理论探讨

从整体上来说, 碎石桩虽然都适用于处理砂性土地基和粘性土地基, 但对它们的作用机理却不尽相同, 碎石桩加固砂性土地基主要是提高地基土承载力、减少变形和增强抗液化性。碎石桩加固砂土地基抗液化的机理主要

有三个方面的作用^[1]：

①挤密作用: 成桩过程中桩对周围砂层产生很大的横向挤压力, 桩管中的碎石挤向桩管周围的砂层, 使桩管周围的砂层孔隙比减少, 密实度增大, 干密度和内摩擦角增大, 土的物理力学性能改善。

②排水减压作用: 碎石桩加固砂土时, 桩孔内充填碎石等反滤性较好的粗颗粒料, 在地基中形成渗透性较好的人工竖向排水减压通道, 可有效地消散和防止超孔隙水压力的增高和砂性土产生液化, 并可加快地基的排水固结。

③砂基预震效应: 在振冲法施工时, 施工过程使填土料和地基土在挤密的同时获得强烈的预震, 这对砂土增强抗液化能力是极为有利的。对于粘性土地基(特别是饱和软土), 碎石桩的主要作用不是使地基挤密, 而是置换。碎石桩置换法是一种换土置换, 即以性能良好的碎石来替换不良地基土; 它是通过成桩机械

将不良地基土强制排开并置换,而它对桩间土的挤密效果并不明显,在地基中形成具有密实度高和直径大的桩体,桩体与原土体构成复合地基而共同工作^[2]。

从微观上可以进一步分析碎石桩对砂性土和粘性土的作用机理和效果。通过对两种土的微观观察和分析,结合原位测试、室内土工试验和文献资料^[3],综合分析表明粘粒表面附着大量的结合水,特别是外层的弱结合水(薄膜水)对粘粒的物理性质影响比较大。当附着较多的弱结合水时,对粘粒起到了润滑作用。正因为弱结合水的润滑作用,减少了粘粒移动时所受到的阻力,使粘粒的可移动范围增大,表现出抗剪切能力较弱,内摩擦角较小。在桩身的挤压下,含粘粒较多的土由于其内摩擦角较小,抗剪切能力较小,剪切变形将很大,所以土颗粒可以有相当大的位移,而向四周做局部或整体移动,有的土颗粒甚至可以移出超固结应力所影响的范围。这样,虽然土体发生了较大的变形,但主要是剪切变形,所以土体自身的体积变化不大,孔隙比也变化不大,有时候甚至因为机械的振动,桩身的挤压破坏了土的原有结构,反而使土体强度降低。虽经过碎石桩加固处理,但对土体本身,其物理性质指标并没有得到较大幅度的改善。而对于粒径较大的土颗粒,由于其表面的结合水很少,就缺少了在土颗粒间起到润滑作用的介质,土颗粒的移动性受到了较大的限制,表现出抗剪切能力较强,内摩擦角较大,在桩身的挤压下,土颗粒可移动的范围较小,不可能作大范围的移动,只能在超固结压力作用下被迫作小范围的调整,侵占孔隙的空间,使孔隙得到压缩,土体孔隙比减小,土体得到挤密。这样,土颗粒与土颗粒间咬合得更加紧密,更加有效地相互限制,表现出内摩擦角增大,抗剪切能力增强,土的物理性

质得到改善。

2 工程实例

江苏省徐宿高速公路碎石桩地基处理段地层,同时存在有砂性土和粘性土,且均为工程地质不良地层,均需采用碎石桩予以处理,为做碎石桩对砂性土和粘性土的处理机理的比较提供了宝贵的机会。通过对现场资料的分析比较,可以进一步验证和研究碎石桩对砂性土和粘性土的加固原理。

2.1 徐宿高速公路睢宁三标

2.1.1 工程地质条件简况

徐宿高速公路睢宁三标起于睢宁县梁集镇高楼村西北塘河西岸,终止于睢宁县沙集镇王圩村前,线路段全长22.70 km,途经袁庄、南李、刘庄、史庙、陆楼等二十五个自然村庄。本线路段上部浅层为全新统连云港组冲积(Q_4^{al})、冲湖积(Q_4^{al+1})物,厚度14.0~27.0 m,该层以冲积(Q_4^{al})低液限粉土、及冲湖积(Q_4^{al+1})淤泥质高液限粘土为主,地下水位较高,上层粉土较松散,为易液化地层^[4];下层淤质粘土工程性质较差。为了高速公路的安全性,需对地基进行处理,依据不同的地质环境条件对其采用了强夯、振动沉管砂石桩等处理手段。碎石桩设计参数为桩长10 m,桩距1.5 m,桩径0.50 m,排距1.30 m。

2.1.2 资料分析

当碎石桩施工结束,龄期达到15 d之后,对其施工质量进行了检测。在桩间土进行了原位标贯试验,以评价碎石桩对桩间土的处理效果。现场收集了大量数据并将其进行统计处理,得到具有代表意义的标贯击数,将其与中交第一公路勘察设计研究院勘察期间得到的标贯数据进行比较(见表1)。

表1 处理前后标贯击数

土名	埋深/m	试验深度 h/m	w(粘粒)/%	处理前 标贯击数 N	处理后 标贯击数 N
黄色粉质粘土	0.00~2.35	1.65	12.60	3.00	6.30
黄色粘质粉土	2.35~5.10	3.65	8.50	3.79	13.40
灰色粉土	5.10~6.35	5.65	6.50	2.50	25.30
灰色粉土	6.35~8.50	7.65	5.90	2.55	13.80
深灰色粘土	8.50~10.00	9.65	25.70	16.20	18.50

利用表 1 数据可绘制出碎石桩对桩间土的处理效果比较(见图 1)。

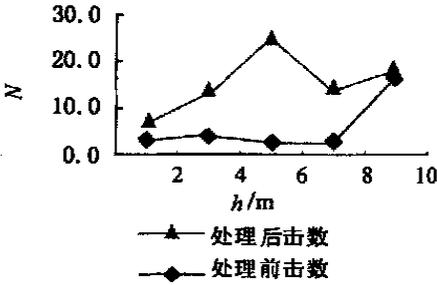


图 1 处理效果比较曲线图

从图 1 可以很直观的看出,对粘性土来说处理前和处理后的标贯击数变化幅度不大,最大不超过 3.3 击。对于砂性土来说,处理前后的标贯击数变化幅度很大,最大可达 22.8 击,对砂性土来说这样的效果是令人满意的。

2.2 徐宿高速公路宿迁二标

2.2.1 工程地质条件简况

徐宿高速公路宿迁二标宿迁南枢纽立交桥位于宿迁市宿豫县埠子镇北约 2 km。该枢纽立交桥位于废黄河南侧,地貌单元属黄泛冲积平原。地势开阔平坦,沟渠纵横,地下水埋深

0.50~3.70 m,由勘察所揭露的地层均为第四系地层,包括全新统、上更新统,地层特征如下:全新统(Q_4^{al} 、 Q_4^{al+1})冲湖相沉积层:表层为亚砂土、亚粘土,厚 2.90~6.70 m,软塑-硬塑,中段夹黄褐色软粘土薄层,下段为灰色~褐灰色淤泥质粘土,厚 3.00~9.00 m,轴线方向往东逐渐变厚,软-流塑状。上更新统(Q_3^{al})冲积层:上部为灰黄~棕黄~褐黄色,软塑~硬塑的含少量铁锰质结核及钙质结核的粘性土。由于存在有工程地质不良地层,均需进行地基处理加固。据实际情况采用粉喷桩和碎石桩进行了处理。碎石桩设计参数为桩长 10 m,桩距 1.5 m,桩径 0.50 m,排距 1.30 m。

2.2.2 资料分析

当碎石桩施工结束,龄期达到 15 d 之后,对其施工质量进行了检测,在桩间土进行了原位标贯试验,以评价碎石桩对桩间土的处理效果。现场收集了大量数据并将其进行统计处理,得到具有代表意义的标贯击数,将其与中交第一公路勘察设计院勘察期间得到的标贯数据进行比较(见表 2)。

表 2 处理前后标贯击数

土名	埋深/m	试验深度 h/m	w(粘粒)/%	处理前标贯击数 N	处理后标贯击数 N
亚砂土	0.00~3.00	1.15	5.60	4.60	19.00
粘质粉土	3.00~4.70	3.15	10.50	3.60	12.00
软粘土	4.70~5.60	5.15	17.60	2.70	8.30
淤泥质粘土	5.60~8.85	7.15	20.50	1.80	6.50
粘土	8.85~10.10	9.15	35.20	10.90	11.50

利用表 2 数据可以绘制出碎石桩对桩间土处理效果比较(见图 2)。

从上面对比可以很明显地看出,在亚砂土段,处理前后的标贯击数变化较大,变化幅度最大达到 14.4 击,增加 313%。而对粘性土来说,处理前后的标贯击数却变化不大,变化幅度最小只有 0.6 击,增加 5.5%。

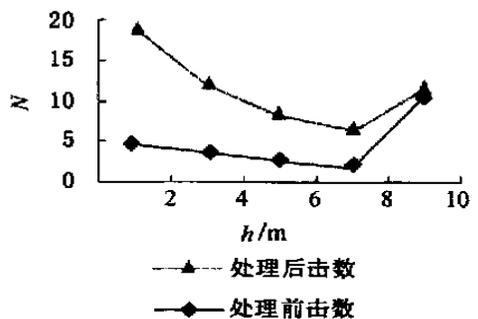


图 2 处理效果比较曲线图

下, 沉降量很小, 沉降差满足使用要求。

河流 I 级阶地的地层一般呈典型的“二元”结构, 浅部的粉土或粘性土一般较软弱, 下部粗颗粒土层(如卵石层)埋深浅。在这种地层下, 复合载体夯扩桩较以往常见桩型更具优势。虽然不同地区的卵石层性质有所不同, 但粒状土的工程性质取决于其密实程度, 故其它地区的 I 级阶地稍密~中密卵石上夯扩桩与本文中讨论的桩条件相同时可能也会具有本文所述的这些性质。

由于夯扩体及影响土层的高度难知, 卵石层的压缩(变形)模量难以取得, 《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T 135-2001)提出的沉降计算不易实现。实用的沉降计算方法有待在工程实践中进一步研究。

参 考 文 献

- 1 JGJ/T 135-2001 复合载体夯扩桩设计规程

收稿日期: 2002-03-07

(上接第 174 页)

3 结 论

通过以上分析和工程实例我们可以知道, 碎石桩对砂性土和粘性土的处理机理是不一样的, 对砂性土而言, 挤密机理起主要作用, 使桩间土的物理力学性质得到明显改善, 提高了地基土的承载力和抗液化能力; 而对粘性土而言, 置换作用是第一位的, 通过形成复合地基, 增强粘性土地基的整体稳定性, 但桩间土的物理力学性质得不到大幅度的改善。因此, 在实际工程设计中应根据不同工程地质情况和实际要求区别对待, 充分考虑碎石桩加固砂性土和粘性土时所起的主要作用的差异性。既要考虑到工程的安全性, 又要考虑到工程的经济

性, 把安全性、经济性和适用性完美地结合起来。

参 考 文 献

- 1 叶观宝, 叶书麟. 地基加固新技术. 北京: 机械工业出版社, 1999. 31~54
- 2 叶书麟主编. 地基处理工程实例应用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. 110~119
- 3 陈希哲编著. 土力学地基基础(第三版). 北京: 清华大学出版社, 1998. 35~55
- 4 JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范. 12~16

收稿日期: 2002-02-27

更 正

‘本刊 2001 年 12 月 10 日讯 刊于《岩土工程技术》2001 年第 1 期《对岩土工程概率取值的几个问题的探讨》论文(作者: 刘福臣, 潘东兴) 获得在北京《中国现代精英文库》科学档案馆永久性陈列、收藏、入库的荣誉, 并在首都“北京第二届中国现代精英文库代表作大会”上被评为一等奖。《岩土工程技术》编辑部特向论文的作者刘福臣、潘东兴先生表示祝贺。’《对岩土工程概率取值的几个问题的探讨》论文实刊于《岩土工程技术》2000 年第一期, 特此向读者与作者致歉。

《岩土工程技术》编辑部
2002-04-26