

文章编号:1007-1229(2008)03-0038-03

强夯法加固地基的设计理论及数值模拟的研究

汤庆荣, 杨建永

(江西理工大学建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要:自1968年L.Menard提出强夯法以来,强夯法的理论及应用研究也逐步开展,强夯法已经在地基的加固工程中得到广泛应用,但是目前还没有形成比较成熟和完善的理论和设计计算方法.以赣州江源科技发展有限公司(厂房)工程为背景,对该工程强夯加固地基的设计施工参数、强夯效果检测和数值模拟进行系统的研究.

关键词:强夯法;设计理论;数值模拟;FLAC

中图分类号:TU470 **文献标识码:**A

Study on Design Theory and Numerical Simulation of the Ground Improvement with Dynamic Consolidation Method

TANG Qing-rong, YANG Jiang-yong

(Faculty of Architectural and Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Theoretical and application researches of dynamic consolidation method have been done gradually since its creation by L.Menard in 1968. The dynamic consolidation method has been widely applied in ground treatment, but there are no universally applicable theory and accurate design for it. Based on the background of workshop project of the Ganzhou Jiang Yuan Science and Technology Development Ltd, Co. the conduction parameter, the effect detecting and numerical simulation of the project are studied systematically.

Key words: dynamic consolidation method; design theory; numerical simulation; FLAC

0 概述

强夯法也称动力固结(Dynamic Consolidation Method)或动力压实法(Dynamic Compaction Method),这种方法是反复将很重的锤(一般为8-40t)提到一定高度(一般为8-20m,最大可达40m)后使其自由落下,给地基以冲击和振动能量.由于锤的冲击使得在地基土中出现强烈的冲击波和动应力,可以提高地基土的强度,降低土的压缩性,改善砂性土的抗液化条件,消除湿陷性黄土的湿陷性,另外还可提高土层的均匀程度,减少将来可能出现的不均匀沉降.强夯法起源于古老的夯实方法,它是在重锤夯实法的基础上发展起来的一项近代地基处理新技术,但是强夯法与重锤夯实法在很多方面又有着很大的差异,这些差别包括加固原理、加固效果、适用范围和施工工艺等方面.

强夯技术的开发和应用始于粗粒土,随后在低饱和度的细粒土中得到一定应用.迄今为止,强夯法已成功而广泛地用于处理各类碎石土、砂性土、湿陷性黄土、人工填土、低饱和度的粉土与一般粘性土,特别是能处理一般方法难于加固的大块碎石类土及建筑、生活垃圾或工业废料组成的杂填土.实践表明,对于

上述土类为主体的大面积的地基处理,强夯法往往被作为优先、有时甚至是唯一的处理方法予以考虑。

由于强夯法适用的地基土范围广泛,且不同地基土之间存在显著差别,因此关于强夯法加固地基的机理,目前国内外尚未形成统一认识,但公认的是,首先应该区分宏观机理和微观机理,其次对饱和土与非饱和土应该加以区分,而在饱和土中粘性土与无粘性土也应该加以区别。强夯法加固地基是利用重锤自由落下产生的冲击波使地基密实,这种冲击引起的振动在土中是以波的形式向地下传播的。米切尔(J.K.Mitchell)^[1]在 1981 年召开的第十届国际土力学和基础工程学会上所作的“土质改良 - 技术状态”报告中,曾对强夯法的加固机理进行了概括:当强夯法应用于非饱和土时,压密过程基本上同实验室中击实法(普罗克特击实法)相同;对于饱和无粘性土,夯击过程中,土体可能会产生液化,其致密过程与爆破和振动压密过程相似;对于饱和细粒粘土的效果尚不明确,成功和失败的例子均有报道,对于这类饱和的细颗粒土,要求破坏土的结构、产生超孔隙水压力、由裂隙形成排水通道,从而达到使土体致密、固结的效果。

1 强夯设计理论的研究

主要介绍了强夯加固地基的两种基本理论:动力固结理论和震动波压密理论。通过对太沙基模式与动力固结模式相比拟得出动力固结原理,并针对各类土应用其相应的加固机理,尤其详细分析了饱和软粘土的强夯特点,针对透水性能极低的饱和粘土介绍了几种复合式强夯加固技术。

强夯法经过 30 多年的发展,在实践中已经被证实是一种较好的地基处理方法,但到目前为止还没有一套很成熟完善的设计计算理论和方法^[2],国内外的一些强夯计算公式大多是半经验半理论的,使用起来差异很大^[3],因此对于强夯加固地基的设计施工参数的研究具有重要的意义。

强夯加固地基的目的在于根据场地土的不同特性加以处理,以提高地基的承载能力和消除不均匀变形或消除地震液化,或消除湿陷性等。加固后的地基应达到事先规定的指标值,因而对不同的地基和工程有不同的加固要求^[4]。例如:

- (1)对高填土地基,加固后以满足需要的地基容许承载力和消除不均匀变形为主。
- (2)对地震液化地基,加固后应消除液化。
- (3)对湿陷性黄土地基加固,要求消除湿陷性,强夯加固后地基湿陷系数 $\delta_s < 0.015$ 时为消除湿陷性。
- (4)对于软弱土地基加固,着重于提高地基土强度和减少变形。

强夯法虽然已在工程中得到广泛的应用,但有关强夯机理的研究,特别是饱和土强夯加固机理国内外至今尚未取得满意的结果,由于各地土的力学性质差别很大,国内外很多专家、学者大多按不同的土类来研究强夯机理并推导出相应的设计计算方法。常规做法大多是根据土质情况按经验进行设计,再根据试夯结果加以调整,具体分以下几步:

- (1)首先查明场地地质情况(用钻探或原位测试方法)和周围环境影响,以及工程规模的大小及重要性;
- (2)根据已查明的资料、加固用途及承载力与变形要求,初步计算夯击能量,确定加固深度,然后选择必要的锤重、落距、夯点间距、夯击次数等;
- (3)根据已确定的施工参数,制订施工计划和进行强夯布点设计及施工要求的说明;
- (4)施工前进行试夯,并进行加固效果的检验测试(动力触探、静力触探、标准贯入、静载荷试验和波速等原位测试以及钻探取样试验等),通过对加固效果测试资料的分析,确定是否需要修改原强夯设计方案。

通过对我国《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)的深入学习研究,结合工程实践,对强夯加固地基的设计施工参数进行了较为系统的分析研究,得出影响加固效果的因素很多,夯击能、夯击次数、夯点间距、每遍夯击间隔时间以及其它的强夯设计参数都不同程度地影响有效加固深度的大小。因此在具体的工程应用中,应根据不同的土质条件、加固目的、工程实际条件具体问题具体分析。

2 强夯设计的工程应用与效果检测

强夯法加固地基是使地基土体密实,承载力提高,压缩模量增加的一个过程,强夯效果的好坏直接影

响上部结构的稳定与变形,因此对强夯效果的质量检测非常重要.本文结合对强夯设计理论及施工参数研究的成果,对赣州江源科技发展有限公司(厂房)工程的强夯设计施工参数选择做了分析研究.为了检验强夯后的地基土体是否达到上部结构设计所需要地基承载力等性能指标,在强夯施工完成后3-4周对该工程强夯地基进行了重型动力触探试验和静载荷试验.经过对试验数据的整理和分析得出本工程采用强夯法加固地基的效果非常明显,原始地基经强夯法处理后强度得到很大程度的提高,强夯后的地基承载力大于设计要求达到的200kPa,证明采用强夯法处理赣州地区类似的地基土是比较适合的.

3 基于FLAC软件的强夯法数值模拟

数值分析方法在解决工程实际问题的研究中应用极为广泛.在岩土工程中已经发展的数值分析方法主要有有限差分法和有限元方法两大类.FLAC是基于显式有限差分法的数值模拟分析方法,由于不需形成总体刚度矩阵,占用的内存小,特别适合非线性问题、大变形问题和物理不稳定性问题,同时它还有多种材料模型可供选择,因此,在岩土工程领域得到广泛的应用.

FLAC^[5](Fast Lagrangian Analysis of Continuum)是美国Itasca Consulting Group Inc为岩土工程应用而开发的连续介质显式有限差分计算机软件,该程序的基本原理和算法与离散元相似,但它应用了结点位移连续的条件,可以对大变形进行分析.主要适用于模拟岩土类工程地质材料的力学行为,特别是岩土材料达到屈服极限后产生的塑性流动.

FLAC是专门针对岩土工程而开发的一种数值模拟软件.FLAC为岩土工程问题的求解开发了特有的本构模型,总共包含了10种材料模型:①空单元模型;②各向同性弹性材料模型;③横观各向同性弹性材料模型;④德鲁克-普拉格塑性模型;⑤莫尔-库仑弹塑性材料模型;⑥节理化塑性模型;⑦双线性应变软化/硬化节理化塑性材料模型;⑧应变软化/硬化塑性材料模型;⑨双屈服塑性材料模型;⑩修正的剑桥粘土性模型.

以赣州江源科技发展有限公司(厂房)工程为背景,通过FLAC软件对强夯加固地基施工过程进行数值模拟,得出了一些有用的结论,为本工程的强夯施工提供了理论参考和施工指导,并为赣州地区的强夯施工积累了一些经验.

(1)由本次数值模拟对夯坑中心点在整个强夯过程中的竖向位移监测得出:强夯加固地基的过程中存在强夯土体在夯击后竖向位移沉降后又出现反弹的现象.

(2)由本次数值模拟的结果可知,强夯法加固地基存在一个最佳夯击次数,本工程的最佳夯击次数为7次.因此在强夯施工过程中应该通过试夯严格控制夯击次数,以免造成不必要的浪费.

(3)强夯法加固地基存在一定的加固范围.夯击后在夯锤底部土体竖向位移最大并逐渐向四周递减,一定范围以外的土体不受影响.因此在强夯施工过程中应该合理布置好夯点位置,不仅要使夯点下土体得到加固,夯点之间的土体也要得到加固.

(4)随着夯击次数的增加,夯锤下土体竖向位移增长明显,夯锤两侧土体由于挤压作用产生水平位移甚至可能产生隆起现象.

(5)强夯土体的最大主应力最大值出现在夯锤与土体的接触面上,且土体的最大主应力随着深度的增加而逐渐减弱.随着夯击次数的增加应力影响范围越大,直至趋于平稳.

(6)夯锤下6m深处第一击时的最大主应力值接近于0,随着夯击次数的增加而逐渐增加,到第七击时其最大主应力值为 5.4×10^5 Pa,说明6m深处土体强度得到很好的加强,本工程的有效加固深度超过了6m,达到了设计要求.

(7)随着夯击次数的增加,土体模型的塑性变形区也在不断扩大,开始几击增大趋势明显,土体塑性变形区逐渐趋于稳定.