

深层搅拌桩复合地基的现场试验研究

孙 军¹, 应后强¹, 邹 坚²

(1. 南京市公路建设处, 江苏 南京 210008; 2. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:结合雍六高速公路长江二桥江北接线工程, 对填土荷载下复合地基的应力、变形特性进行了长期现场观测研究. 结果表明: 路基经深搅桩加固后, 沉降变形得到有效控制. 加固区沉降量较小, 下卧层沉降量较大, 总沉降量满足设计及规范的要求; 柔性路堤下桩与桩间土的沉降规律有差别, 桩身上部桩周土沉降较大, 随着深度增加, 桩周土沉降逐渐小于桩的沉降, 在这个过程中, 桩与桩周土存在等沉面; 在填土加荷过程中, 桩与土各自分担的应力处在动态的变化之中: 加荷时, 桩上应力相对集中; 间歇期, 桩土应力比减小; 体现了荷载传递过程中桩与土是相互协调作用的.

关键词:深层搅拌桩; 复合地基; 桩土应力比; 雍六高速公路

中图分类号:TV223.2+2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)06-0052-03

雍六高速公路长江二桥的江北接线工程, 建设在高含水量的软土地带, 为了能在很短的时间内将7~8m高的路堤填筑完成, 并保证施工期不滑坡, 完工后沉降能满足公路运行的技术要求, 采用了深搅桩地基加固方案. 为便于深搅桩的理论研究并指导施工, 在工程现场选择了两个试验断面, 埋设相关仪器进行现场跟踪观测. 主要观测: ①填土过程中路基沉降变形规律; ②复合地基的桩土应力比随荷载的变化规律.

处地面高程0.198m, 设计路面标高6.798m, 填土高度6.60m, 自地表向下打设深搅桩, 桩径500mm, 间距1.3m, 布置形式为正方形, 断面见图1. 沉降环及压力传感器埋设位置见图2.

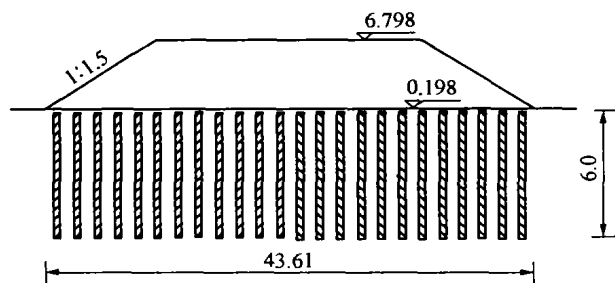


图1 试验段剖面设计图(单位:m)

试验内容包括: 填土过程中复合地基的分层压缩量、桩土应力和孔隙水压力观测.

1.3 填土荷载

本段深搅桩施工完毕后, 填土自1999年4月至同年12月止, 沉降过程线如图3所示, 荷载可分为6级: ① $\Delta P_1 = 20.02$ kPa, 高约1.0m; ② $\Delta P_2 = 19.80$ kPa,

1 工程地质条件及试验方案

1.1 试验断面工程地质条件

试验控制断面为K10+100和K12+200, K10+100处土质以灰黄色粉质粘土和灰色粉质粘土为主, 其状态为软塑, 20m以下夹有亚砂土薄层. 土层划分为6层, 每层的物理力学性质指标见表1. 该段地下水位埋深较浅, 初见水位0.00m, 稳定水位0.60m.

1.2 试验方案

试验断面底宽43.61m, 边坡1:1.5, K10+100

表1 原状土层物理力学特性指标

层号	土层名称	层厚 h/m	含水量 w/%	容重 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	塑性指数 I/%	压缩系数 a/MPa^{-1}	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	粘聚力 c/kPa	容许承载力 f/kPa
1	粉质粘土	2.4	26.5	19.6	0.701	9	0.20	26	40	140
2	粘土	10.8	48.7	16.7	1.379	19	1.10	2	25	75
3	粘土	4.5	27.5	19.4	0.752	19	0.17	10	90	250
4	粉土	10.6	22.8	19.7	0.643	6	0.10	41	0	170
5	粉质粘土	6.5	25.3	19.0	0.744	9	0.35	24	35	97
6	粉质粘土	5.4	25.6	19.2	0.730	8	0.28	31	40	140

作者简介: 孙军(1964—), 男, 江苏南京人, 工程师, 主要从事地基处理研究.

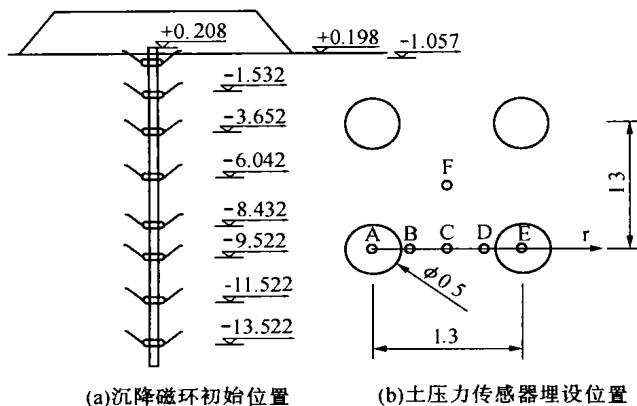


图2 沉降环初始位置和土压力传感器埋设位置(单位:m)
 高约 1.0m;③ $\Delta P_3 = 19.92$ kPa, 高约 1.0 m;④ $\Delta P_4 = 24.89$ kPa, 高约 1.25 m;⑤ $\Delta P_5 = 23.88$ kPa, 高约 1.25 m;⑥ $\Delta P_6 = 20.88$ kPa, 高约 1.1 m.

施工时,分层填土,分层碾压,每层约 25 cm,压实平均容重 19.6 kN/m^3 .

2 现场观测成果及分析

2.1 路基沉降观测

2.1.1 地表沉降

K10+100 断面路中心处 1 号沉降环实测得到的地表沉降过程线如图 3 所示.可以看到,填土初期复合地基沉降大致呈线性变化;随着填土荷载的增加,其沉降量逐步增大,填土过程结束后,继续产生工后沉降,但沉降曲线渐趋缓和.

根据前后两次测得的地表沉降差与时间间隔的比值,可大致估算不同施工阶段复合地基的沉降速率,在填土过程中出现过 4.3 mm/d 的高沉降速率,在允许的范围以内,施工期地基是稳定的.

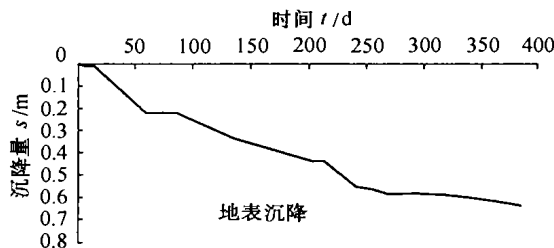


图3 地表沉降~时间曲线

2.1.2 分层沉降

根据地基土不同深度处埋设的深层沉降磁环的位置改变,可得到各土层的层面分层沉降量和土层分层压缩量.沉降管及各沉降磁环的初始位置如图 2(a)所示.本研究从填土开始起观测,至填土完成以后又进行了持续观测,观测结果如图 4 所示.随着深度增加,分层沉降量不断减小.由桩长为 6m,确定第 4 号沉降环以上为加固区;根据 5 号沉降环(高程为 -8.432 m 处)的实测数据,桩底附近的沉降量仍然

很大,体现了软弱下卧层在顶部附加应力的作用下发生了较大的沉降,桩起到了传递部分荷载的作用,这是符合实际情况的.

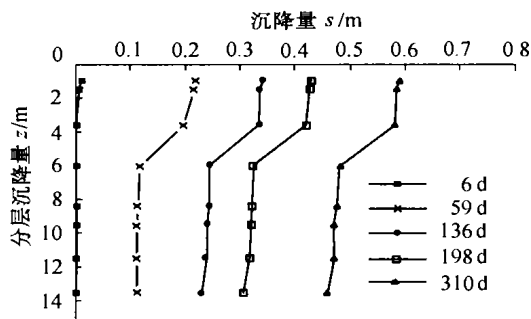


图4 分层沉降曲线

由分层沉降量可以整理得到加固区和下卧层的压缩量随时间变化规律.随着荷载的增大,压缩量比逐渐减小;填土结束后,渐趋于稳定,保持在 0.22 左右.

可以看出,在填土结束后,加固区压缩量约为 11 cm,此时桩体范围内的压缩量基本完成.由于本试验未在桩身埋设沉降环,无法反映桩本身的变形规律.根据在济南绕城高速公路深搅桩加固地段的现场实测结果^[2],可知桩与桩间土的沉降规律:①桩与桩间土的沉降并不是完全相等的.在地面附近桩间土沉降量较大,但随着深度增加,桩的沉降量逐渐超过桩间土的沉降量;在此变化过程中有等沉面出现.②桩上最大压缩量发生在 3~5 m 之间,说明桩体范围内沉降主要发生在上部,这与本试验结果也是一致的.③桩端以下土层中的沉降量较附近土中的沉降量大,说明桩端以下一定区域内出现应力集中现象.

总体上看,由于深搅桩的打设,加固区范围内的土质得到改善,附近应力场发生改变.同时,下卧层的附加应力分布规律也产生了变化,从本试验下卧层的沉降量较大可以推断,下卧层内并未出现应力扩散现象.

2.2 填土过程中桩土应力测试

2.2.1 土压力观测

为了了解填土过程中荷载在桩与桩间土之间的分配规律,对桩顶和桩周土表面的土压力进行了长期观测.采用抗外界干扰的钢弦式土压力传感器,布置形式如图 2(b)所示.由于填土施工过程中施工机具对传感器引线的破坏,同时考虑到几何位置和荷载的对称性,这里仅给出 A, B, C, F 共 4 个传感器的观测数据,土压力时间过程线如图 5 所示.

由图中可看出,总体上随着填土荷载的增加,桩顶压力越来越大;在距桩边缘仅 7.5 cm 的 B 处,测得的土压力与桩顶压力的变化趋势非常接近;而在

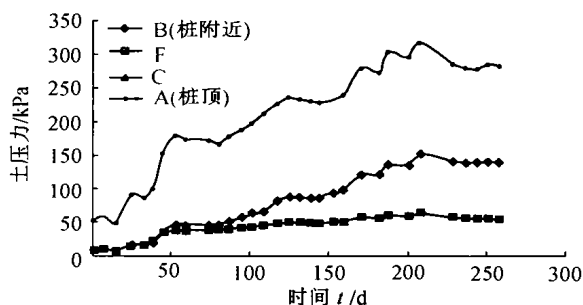


图5 土压力~时间曲线

距桩较远的C、F处,桩间土分担的压力值较小且变化不大.当某一级填土完成后,桩分担的荷载逐渐减小,土分担的荷载缓慢增加,即荷载从桩向土(由近及远)缓慢转移,此过程中桩土压力的差值有所减小.从整个填土过程看,图上所反映的这一桩土压力分担规律十分明显,表明荷载传递理论对于水泥土桩复合地基是适用的.由于C处($r = R_1$, R_1 为影响半径)和F处($r = 1.414R_1$)的土压力过程线几乎重合,且压力值随荷载变化很小,可见在F处桩对土的影响已经很小了,即柔性路基下水泥土桩桩身的影响范围较小,可仅在 R_1 范围内考虑.

由图中还可以看到,桩间土压力是随离桩的距离不同而变化的.离桩越远,压力值越小;填土荷载越大,桩附近的土压力变化幅度也越大.

2.2.2 桩土应力比分析

桩土应力比 n ,即桩顶应力与桩间土平均应力之比,是反映复合地基工作状态的一个重要参数,其实质是指作用在桩体上的荷载密度与作用在桩间土上的荷载密度之比.在复合地基沉降计算中,桩土应力比是一个重要指标.影响桩土应力比的因素很多,如荷载水平、桩土模量比、面积置换率、基础刚度等.国内外学者结合具体的地基处理形式,根据各自的假定条件提出了一些计算公式,由于桩和土的实际应力应变关系比较复杂,至今尚无一个被工程界接受的较完善的计算模式.实际工程中桩土应力比的确定仍要依赖于现场测试.

根据本试验的实测土压力值,整理得到桩土应力比在填土过程中的变化. n 随着填土荷载的增大而增大,在填土间歇期又有所降低;在整个填土时间内变化不大,范围为3.5~4.5;填土结束之后基本不再改变,保持在3.55左右.说明桩身应力和桩间土应力很快就进入了稳定期,从而也体现了水泥土桩加固法见效快和桩土可以协调作用的特点.

3 结 论

水泥土桩复合地基在路堤荷载下的工作状态一直是公路路基设计和研究者们关心的问题.本试验

通过对深搅桩加固地段在填土过程中各项重要指标的现场长期观测,认为水泥土桩作为软弱及不良地基的一种加固方法是十分有效的,在我国公路建设中具有推广应用的价值,并得出以下结论:

a. 路基经深搅桩加固后,沉降变形得到有效控制.加固区沉降量较小,为10.7 cm,下卧层沉降量较大,为48.6 cm,但总沉降量满足设计及规范的要求.

b. 本试验中加固区、下卧层压缩量比稳定在0.22左右.从加固区桩和桩间土的沉降变形特点看,柔性路堤下桩与桩间土的沉降规律有差别.桩身上部桩周土沉降较大,随着深度增加,桩的沉降逐渐赶上并超出;在这个过程中,桩与桩周土存在等沉面.

c. 从下卧层压缩量大于加固区几倍这一结果看,下卧层附加应力发生了较大变化,常规的应力扩散理论无法给出合理的解释,需要提出新的求解途径.

d. 桩土应力比与荷载水平、桩土模量比、面积置换率、基础刚度等因素有关.在填土加荷过程中,桩与土各自分担的应力处在动态的变化之中:加荷时,桩上应力相对集中;间歇期,桩土应力比减小.体现了荷载传递过程中桩与土是相互协调作用的.

e. 本试验得到的桩土应力比范围为3.5~4.5.由于土的压力是平均值,无法反映桩间土压力分布的不均匀性.实际上,桩间土压力与距桩的远近有关,离桩越远,土压力越小,说明桩有一定的影响范围.

参考文献:

- [1] 林琼,潘秋元.水泥搅拌桩复合地基工程特性初探[A].中国土木工程学会,土力学及基础工程学会.第六届全国土力学及基础工程学术会议论文集[C].上海:同济大学出版社,1991.
- [2] 宋修广.水泥粉喷桩的理论研究与分析[D].南京:河海大学,2000.

(收稿日期:2001-12-11 编辑:傅伟群)

