

文章编号:1001-1986(2005)03-0048-03

碎石桩复合地基试验及固结分析

邢皓枫, 杨晓军, 龚晓南

(浙江大学建筑工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 碎石桩复合地基在处理软弱地基土中得到相当广泛的应用。为了更好地掌握其规律性, 本文针对某电厂碎石桩复合地基现场试验和桩身应力测试成果, 进行了分析和总结, 得出了饱和粘性土地基中桩土应力比与外荷载大小有关。其形状为上凸抛物线型, 大小一般在3~6之间; 静载荷试验下桩身应力分布特点与天然地基应力分布近似, 影响深度为载荷板宽度的2~3倍。通过用有限元法模拟该复合地基固结性状, 得知碎石桩不仅大大加快粘性土复合地基固结, 而且减小了工后沉降的影响。

关键词: 静力载荷试验; 碎石桩; 地基; 固结

中图分类号: TU472.3 **文献标识码:** A

Field tests and consolidation analysis of gravel pile composite foundation

XING Hao-feng, YANG Xiao-jun, GONG Xiao-nan,

(College of Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The application of gravel pile composite foundation is extensive for reinforcing soft soil. In order to hold its regularity, this paper allows for the stress ratio of pile and its surrounding soil and the characteristic of pile body according to field tests and pile body stress testing of an electric factory. Stress ratio correlates with applied load, its form is a top-protruding parabola and its values are about 3~6. Through static test, the characteristic of pile stress is similar to that of natural foundation and the influencing depth is 2~3 times of loading plate. The consolidation of composite foundation is simulated by finite element method and its characteristic is that the gravel pile will not only greatly quicken the consolidation of composite foundation but also lower the effect of post-construction settlement.

Key words: plate loading test; gravel pile; foundation; consolidation

1 引言

碎石桩复合地基自上世纪70年代开始用于加固粉土和砂性土以来, 已取得了较好的经济效益和广泛的应用, 其理论研究比较广泛和深入, 但是对粘性土地基中碎石桩桩身与桩间土的受力机理、变形性状等方面的研究尚不深入, 且其固结还是一个悬而未决的问题。本文通过某变电所碎石桩复合地基, 对碎石桩处理饱和粘性土后的复合地基采用动静力触探、标准贯入试验和静载荷试验等手段进行了检测; 在桩土中埋置压力盒, 用来分析桩土应力比

在粘性土地基中的变化规律; 通过桩身压力试验, 找到了碎石桩在载荷试验下应力分布趋势。还用有限元法对碎石桩复合地基进行实际的模拟与计算, 得到了其固结特性。

2 工程概况及地层情况

杭州某变电所工程因场地地质条件很差, 且构筑物较多, 考虑到工期时间紧, 主体荷载位置设计方案未最终确定, 计划在整个场地采用碎石桩进行了大面积的地基处理。桩呈矩形布置, 加固深度10 m, 桩径426 mm, 置换率为14%。该变电所主要建(构)

收稿日期: 2004-07-05

作者简介: 邢皓枫(1969—), 男, 河南开封人, 浙江大学博士生, 从事软土和复合地基的研究。

b. 研究区内含盐量的增加可用两种机制来解释: 一是海相蒸发岩的溶解, 即膏溶作用; 二是地下水运移中的咸水的入侵;

c. 渭北东部奥陶系石灰岩地下水硫酸盐的补给来源主要是海相碳酸盐岩石膏层的溶解(东西方向), 南部地区有泻湖相咸水的混入影响(南北方向)。大气硫酸盐及陆地硫酸盐的补给可忽略不计。

参考文献

- [1] 顾慰祖, 林曾平等. 环境同位素硫在大同南寒武—奥陶系地下水研究中的应用[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 14—20.
- [2] 马致远. 环境同位素地下水文学[M]. 西安: 陕西科技出版社, 2004.
- [3] 马致远. 环境同位素技术在干旱半干旱地区地下水研究进展[A]. 鄂尔多斯盆地地下水可持续性利用研究[C]. 西安: 陕西科技出版社, 2004.

表1 地基土物理力学性质表

Table 1 Physic-mechanical properties of ground soil

层号	层厚/m	含水量ω/%	孔隙比e₀	液限指数Ip/%	压缩系数a₁₂/MPa	粘聚力c/kPa	内摩擦角φ/(°)
1	1.2~2.6	29.9	0.91	10.6	0.29	—	—
2	7.6~9.2	38.6	1.08	—	0.42	13.0	26.5
3	10~18	48.3	1.38	18.0	1.09	18.0	14.0
4	2.6~4.7	29.5	0.932	—	0.22	37.0	29.5
5	1.5~18	—	—	—	0.90	25.0	14.0
6	0.7~9.4	26.0	0.776	18.0	0.25	—	—
7	—	26.2	0.751	—	0.17	5.0	33.8

表2 静力触探成果表

Table 2 Results of static cone penetration test

层号	层段岩性	原状土静力触探值		桩间土静力触探值	
		端阻力qₚ/MPa	侧阻力fₛ/kPa	端阻力qₚ/MPa	侧阻力fₛ/kPa
1	粉质粘土	1.5	38.2	2.56	45.5
2	粉土	1.4	21.1	1.88	37.4
3	淤泥质粘土	0.6	11.2	0.46	10.9

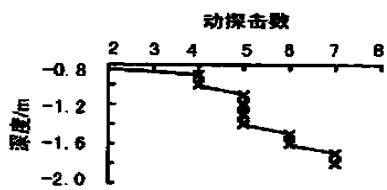


图1 碎石桩动力触探曲线图

Fig. 1 Curve of dynamic penetration test on gravel pile

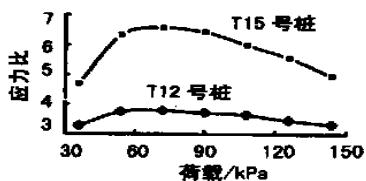


图2 桩土应力比关系图

Fig. 2 Relationship of stress ratio to loading

筑物有: 主控制室, 单位荷载 100 kN/m, 500kV 继电器室, 荷载 75 kN/柱; 21 继电器室, 荷载 75 kN/柱; 500 kV 构架, 荷载 1000 kN/柱, 220 kV 构架荷载 550 kN/柱; 主变压器基础, 总荷载 2500 kN/只; 主变构架荷载 300 kN/柱。主要建(构)筑物因对强度和变形要求较高而采用 PC 预应力混凝土管桩, 配电装置及其他构筑物场地采用沉管砂石桩复合地基。场地土层自上而下为 1 粉质粘土; 2 粉土; 3 淤泥质粘土; 4 粉土; 5 淤泥质粉质粘土; 6 粉质粘土和 7 粉砂。其主要物理力学指标见表 1。

3 现场试验成果及分析

3.1 动静触探成果及分析

动力触探试验采用重型圆锥动力触探试验, 静力触探试验采用双头静力触探仪, 均根据国标《岩土

工程勘察规范》(GB50021—2002) 中的有关规定进行。其测试结果见表 2 和图 1。

从表 2 和图 1 可知, 在同一土层中动力触探随深度的增加锤击数也在不断地增大, 这说明碎石桩强度的发挥由其周围土体作用的周围压力大小决定, 周围压力阻止碎石桩侧向膨胀变形, 从而使碎石桩复合地基桩土共同发挥作用, 这是与粘结材料桩差异最突出的特征; 从静力触探测试结果可知, 处理后地基土强度和摩阻力均有增加, 增加幅值与土层性质有关, 但是对于象淤泥质土这样的软弱土, 由于表现为流塑状态, 敏感性高, 处理后效果不理想。

综合以上分析, 碎石桩复合地基处理软弱地基土适用于粉砂土和软塑以上的粘性土, 对于流塑状土则不适用, 碎石桩强度的发挥程度取决于桩间土紧箍力的大小; 由于经碎石桩的挤密作用, 处理后的地基土强度和摩阻力也得到了加强, 但对高灵敏度土由于其高灵敏性和蠕变性, 力学性质反而略有下降; 由于桩间土对桩的围压是有限的, 故碎石桩复合地基存在有效桩长概念, 有效桩长的大小与地基土性质、桩径、置换率及上部荷载作用大小、方式等因素有关。

3.2 静载荷试验成果及分析

为了了解碎石桩复合地基桩土应力分布情况, 用尺寸为 1.6 m×1.6 m 的载荷板做静载荷试验, 并在桩顶和两侧桩间土中埋置应力盒; 为了搞清复合地基中桩体应力沿深度分布状况, 在碎石桩施工的过程中, 在桩身的不同深度(0、2、4、6、9 和 10 m)放置压力盒, 载荷试验终止荷载为 460 kN, 其测试结果见图 2。

从图 2 可知, 桩土应力比与所施加的荷载大小有关, 且与地基土的性质相关性更大, 一般粘性土的桩土应力比在 3~6 之间, 且近似呈上凸抛物线, 随荷载增加应力比先增大, 到一定值后逐渐减小。桩土应力比反映了碎石桩分担上部荷载的强弱和桩间土对桩身提供紧箍力的大小。从图 3 桩身压力盒测

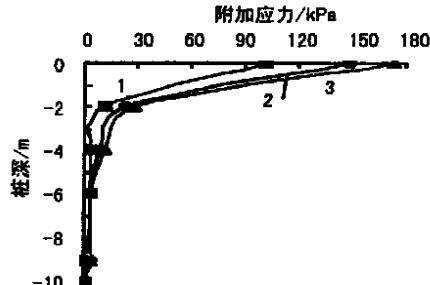


图3 桩身受力曲线图

Fig. 3 Stress curve of gravel pile
1—35.9 kPa; 2—53.9 kPa; 3—65.9 kPa

试结果曲线可知,碎石桩附加应力分布规律与天然地基土载荷试验附加应力规律类同,且附加应力随深度衰减很快,在 4 m 深时其附加应力不及顶部的 1/3,而在 9 m 深时附加应力几乎为零。这说明试验时荷载对碎石桩的影响范围也在 2~3 倍载荷板宽度范围,碎石桩的有效桩长可认为在 8~9 m 范围内。

4 碎石桩复合地基固结有限元分析

碎石桩处理粘性土地基的作用主要是置换和排水,其排水作用表现为超孔隙水压力消散,从而加快地基土的固结。为了确切地掌握碎石桩复合地基的固结性状,本文用有限元法分析其固结问题。

为了更真实地反映场地固结性状,依据对称性取 1/4 体用三维模型进行有限元计算。共划分单元 23 450 个,单元类型是三维空间 8 节点减缩实体单元(C³D⁸RP)。

图 4 是外荷载作用下复合地基加固区和下卧层区超孔隙水压力,随时间不断消散的关系图。从不同时间得出的超孔隙水压力曲线可知,复合地基固结初始阶段超孔隙水压力消散很快,随固结时间增长呈逐渐递减趋势,480 d 时整个场区超孔隙水压力已基本消散;图 4 表明碎石桩处理粘性土地基形成的加固区超孔隙水压力消散非常快,远远超过下卧层区,这是由于碎石桩的强透水性,加快了复合地基加固区排水能力,反映了碎石桩处理粘性土地基的优越性。

图 5 反映 10、50、100、200 和 480 d 时沿深度方向各点的固结度。从固结曲线可知固结度随深度增

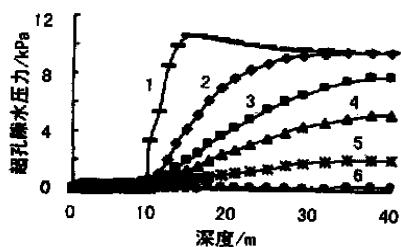


图 4 超孔隙水压力与时间变化关系图

Fig. 4 Relationship of excess pore water pressure to time
1~6 分别为 1、10、50、100、200、480 d

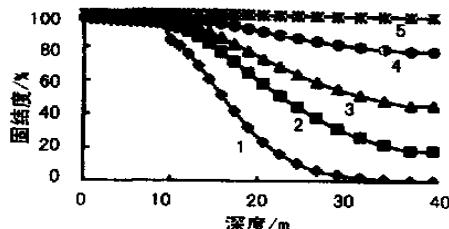


图 5 固结度随时间变化关系图

Fig. 5 Relationship of percent consolidation to time
1~6 分别为 1、10、50、100、200、480 d

加逐渐递减,且固结度增加的幅值也是逐渐减小;但加固区各时间点固结度均近似为水平线,且固结度不小于 90%,这说明加固区固结速率远大于下卧层区固结速率,且加固区深度对其固结度的影响较小,进一步印证了碎石桩的排水效应。

现场测试时针对碎石桩桩身应力进行了试验,其测试结果见图 3,有限元计算的柔性基础和刚性基础两种情况下加固区桩身应力沿深度分布关系见图 6。从图可知,柔性基础下桩身应力沿深度先增大然后再减小,其桩身应力最大值在 3 m 深度范围内;刚性基础桩身应力是桩顶最大,然后逐渐减小,接近底部时应力小于上部的 1/3,这与静载荷试验时测得的桩身应力曲线变化趋势相吻合,只不过载荷试验存在载荷板尺寸效应,其影响深度为载荷板宽度的 2~3 倍。

图 6 为柔性和刚性基础下加固区桩间土附加应力随深度变化关系图。从图可知曲线变化趋势相同,这说明桩间土沿深度方向应力变化曲线与基础刚度关系不大,但是相同荷载下柔性基础下土体应力较刚性基础下土体应力偏大,且底部因桩端作用其应力逐渐变大。这反映了刚性基础下碎石桩分担的荷载,较柔性基础下碎石桩分担的荷载多。

图 7 为在荷载作用下,该电厂碎石桩复合地基表面固结沉降随时间变化的关系,从图可知不同时间沉降变化趋势基本不变,且沉降变形最大值在中部。10、100、300、和 480 d 沉降曲线清楚表明复合地基初始阶段固结很快,固结速率随时间逐渐渐缓,

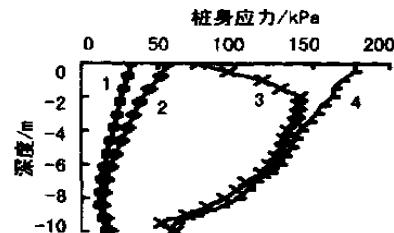


图 6 基础刚度对碎石桩和桩间土应力的影响

Fig. 6 Effect of foundation rigidity on the stress of both

gravel pile and its surrounding soil

1,2—刚性、柔性基础对桩间土应力影响;

3,4—刚性、柔性基础对碎石桩应力影响

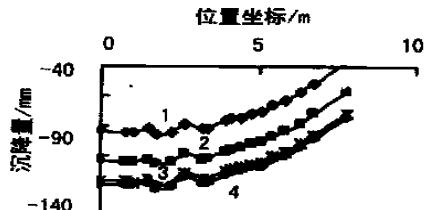


图 7 复合地基地表沉降随时间变化关系

Fig. 7 Relationship of surface settlement with time

1,2,3,4 分别为 10、100、300、400 d

文章编号: 1001-1986(2005)03-0051-03

供水管井设计出水量的确定

黄选明, 邵东梅, 李功宇

(煤炭科学研究院西安分院, 陕西 西安 710054)

摘要: 论述了管井出水能力的概念及确定管井出水量的理论依据。科学合理的出水量设计和避免过量抽水, 是确保管井良好运行、延长管井使用寿命的关键。并以孟加拉国 Barapukuria 电厂水源地为例, 对管井出水量的设计方法进行了详细说明。

关键词: 供水管井; 出水能力; 过滤器; 流速

中图分类号: P641.1 **文献标识码:** A

Determining the water yield from tube-well for water supply

HUANG Xuan-ming, SHAO Dong-mei, LI Gong-yu (Xi'an Branch, CCRI, Xi'an 710054, China)

Abstract: The conception and theory basis of water yield from deep well are analyzed and discussed. The scientific and reasonable design is very important. Avoiding excessively pumping is the key factor for the operation from maintains of tube well, and it will contribute to prolong the lifetime of the tube-well. The design of water yield from the tube-well has been explained through the example of water resource in Barapukuria power plant.

Key words: water supply well; water yield capacity; screen assembly; velocity

1 引言

管井投产后, 其出水量直接关系到管井的运行、维护及使用寿命。过量抽水会导致管井运行管理上的一系列问题, 既增加了运行成本, 又缩短了管井的使用寿命。有些管井投产数年后即告报废, 给建设单位及用户带来经济损失。

我国石家庄市自来水公司、陕西渭河电厂等39眼停产报废井调查报告显示, 除了水质原因外, 过量抽水是管井报废的主要原因。我国学者张锡范先生

对此曾作了大量的调查, 也得出了相同的结果。美国学者 E. B 威廉姆斯在其《水井设计的基本法则》一文中指出: 在供水管井存在的问题中, 最普遍的情况是超量抽水。

目前, 确定管井的出水量在理论与实践中大多单纯地依据于水文地质计算, 很少考虑管井自身的出水能力, 这是造成管井过量抽水的根本原因。在凿井过程中, 许多建设单位认为: 管井出水量越大, 管井质量越好。勘察施工单位为迎合建设方的要求, 不顾及管井的出水能力, 追求短期的管井大出水

收稿日期: 2004-08-10

作者简介: 黄选明(1962—), 男, 陕西临潼人, 煤科总院西安分院高级工程师, 水文地质工程地质专业。

300 d 和 480 d 的固结沉降曲线几乎重合, 这说明此时复合地基固结基本完成。

5 结论

a. 碎石桩处理粘性土地基达到了加固地基目的, 碎石桩用来加固粉土和一般粘性土地基时, 可起到增强复合地基强度和减小变形的效果, 但对于高灵敏性的软弱粘性土不宜用碎石桩处理; 散体材料单桩承载力大小主要取决于桩周土体所能提供的最大侧限力;

b. 碎石桩复合地基在粘性土中的桩土应力比变化曲线呈上凸抛物线型, 其值一般在 3~6 之间, 这反映碎石桩起到了分担外荷载的作用; 载荷试验时碎石桩桩身附加应力分布规律同天然地基土载

荷试验相似, 且影响范围为 2~3 倍载荷板宽度, 碎石桩的有效桩长可取 8~9 m;

c. 碎石桩复合地基可加快粘性土地基排水固结, 加固区在 10 d 左右即完成了固结 60% 以上, 加固区固结大多发生在荷载施加过程中, 从而可大大减小工后沉降的影响。

参考文献

- [1] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 龚晓南. 有关复合地基的几个问题 [J]. 地基处理, 2000, 11(3): 42—48.
- [3] 陈龙珠, 谢得贵等. 振动沉管碎石桩加固饱和粉土地基的机理研究 [J]. 浙江建筑, 2002, (B02): 71—73.
- [4] 池跃君, 宋二祥等. 刚性桩复合地基应力场分布的试验研究 [J]. 岩土力学, 2003, 24(3): 339—343.
- [5] 地基处理手册(第二版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.