

CFG 桩复合地基褥垫层工作性状研究

詹云刚

(南京工业大学 土木工程学院, 江苏 南京 210009)

摘 要:总结了刚性基础下 CFG 桩复合地基中褥垫层的作用机理,采用数值模拟的方法研究了柔性基础下褥垫层的不同工作特点,对褥垫层的合理设置提出了几点建议。

关键词:CFG 桩;复合地基;褥垫层;工作性状

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2004)08-0001-03

Research on Working Mechanism of Cushion in CFG Composite Foundation/ZHAN Yun-gang (Nanjing University of Technology, Nanjing Jiangsu 210009, China)

Abstract: The author generalized the working mechanism of granular material cushion of CFG pile composite foundation under rigid foundation. The difference between the former and embankment loads is analyzed with finite element modeling method. Some suggestions on cushion setting are offered.

Key words: CFG pile; composite foundation; the cushion; working mechanism

自 CFG 桩复合地基推广以来,发展较快,近几年逐渐推广应用到高速公路路基处理。褥垫层技术是 CFG 桩复合地基的关键技术,对刚性基础下褥垫层在复合地基中的作用机理探讨较多,但对路堤下的褥垫层工作性状研究较少。本文简要介绍刚性基础下褥垫层的作用机理,然后采用数值模拟的方法重点分析柔性基础下 CFG 桩复合地基褥垫层工作性状的不同。

1 刚性基础下褥垫层的工作性状

复合地基与复合桩基或减小沉降量桩基虽然都是桩与土共同承担上部荷载,其根本的差别是复合桩基和减小沉降量桩基与承台是保持刚性连接的,其实现桩与土的共同作用要求桩体必须向下产生刺入变形。而为保证复合地基中刚性、半刚性桩与土能共同作用,必须在桩顶设置一层砂砾石褥垫层(图 1)。褥垫层的设置,为桩体向上的刺入变形提供了通道,变形过程中,垫料不断调整补充到桩间土上,以保证在任一荷载下桩和桩间土始终共同工作,从而改变复合地基的承载力特性、变形特性。

1.1 保证桩土共同承担荷载

若基础下面不设置褥垫层,基础直接与桩和桩间土接触,在垂直荷载作用下,其承载特性和桩基差不多。如果桩端落在坚硬土层或岩石上,桩的沉降很小,桩上的荷载向土上转移数量很少,桩间土承载

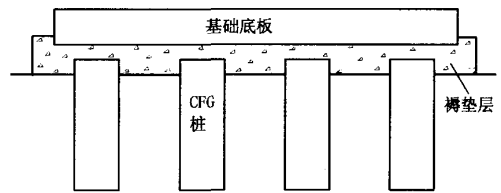


图 1 复合地基示意图

力很少发挥。当基础下设置了褥垫层,即使桩端落在坚硬土层上,也能保证一部分荷载通过褥垫作用在桩间土上,借助褥垫调整作用,使桩和桩间土按一定比例分担荷载。

1.2 调整桩土对垂直荷载的分担

复合地基承受的总荷载等于桩分担荷载与土分担荷载之和,荷载的分担比例与面积置换率、桩土应力比有关。

$$P_p = mnP/[1 + m(n-1)] \quad (1)$$

$$P_s = p(1-m)/[1 + m(n-1)] \quad (2)$$

式中: P_s —— 桩间土分担的荷载; P_p —— 桩分担的荷载; P —— 总荷载; m —— 面积置换率; n —— 桩土应力比。

文献[1]以弹性理论为基础,推出等沉面以上、以下桩土的竖向变形协调方程,得出:随褥垫层厚度的增大,桩身最大应力位置下移,桩身最大应力增大,桩土应力比减小;随褥垫层模量的增大,负摩擦区长度减小(即桩身最大应力位置上移),桩端应力

收稿日期:2004-03-31

作者简介:詹云刚(1971-),男(汉族),山东日照人,南京工业大学硕士在读,岩土工程专业,研究方向为软土地基的处理,江苏省南京市南京工业大学虹桥校区 223 信箱,13851740963,zygseastar@126.com。

减小,应力比增大。对群桩复合地基来说^[2],褥垫层更起到了均匀各桩顶荷载分配的作用,使边角处桩顶荷载大幅度减小,避免了边角处桩体的首先破坏,提高了复合地基的整体承载力。

1.3 减小基础底面的应力集中

当无褥垫层时,桩对基础的应力集中很显著,需要考虑桩对基础的冲切破坏。当设置褥垫层并逐渐增加厚度时,基础底面的应力集中不明显,厚度增加到某一值时,基底反力接近天然地基的反力分布,但此时不能充分发挥桩体的承载能力。

1.4 调整桩土水平荷载

当无褥垫层时,水平荷载主要由桩来分担。当褥垫层增加到一定数值时,作用在桩顶和桩间土上的剪应力相差不大,桩顶所受剪力占水平荷载的比例大体与面积置换率 m 相当。

2 柔性基础下褥垫层工作性状有限元分析

本文计算过程采用 ADINA 大型有限元分析软件,它有较强的非线性功能,含有 Drucker - Prager 等 3 种岩土材料模型,其曲线材料模型可以让用户输入不同的岩土材料模型。

2.1 模型的建立

以某高速公路工程为计算背景(图 2),CFG 桩按等模量简化为桩墙,这样可将承受路堤荷载作用下的复合地基模型认为是一个平面应变问题,取其一半进行分析。取 2 倍载荷作用宽度作为有限元解域侧面边界,解域的底部边界取值为软土深度。

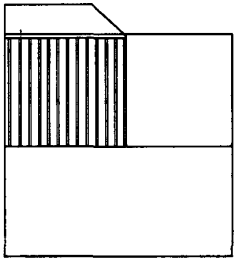


图 2 有限元计算模型

简化后桩墙厚 0.3 m,间距 1.7 m,加固区深度为 14.5 m,下卧层厚度 15 m。路堤顶宽 15.3 m,底宽 21.4 m。

2.2 有限元计算假定

(1)假定土体、褥垫层均为理想弹塑性体,采用 Mohr - Coulomb 模型,符合广义 Von Mises 屈服准则;(2)假定 CFG 桩体为线弹性体,符合广义虎克定律;(3)假定桩与桩周土之间变形协调,不产生相对

滑移;(4)假定桩、土、褥垫层都为均质、各向同性;(5)考虑路堤提供的刚度。

2.3 计算参数、模拟类型

计算段地层为亚粘土、粘土及亚粘土、粘土交互层,计算简化取为 2 层。CFG 桩、路堤、褥垫层参数选择参考文献[2、3],具体参数如表 1。

表 1 有限元计算参数

地基部位	模量 /MPa	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)	泊松比
CFG 桩	800			0.3
褥垫层	55		35	0.3
路堤	9.5	19.6	29	0.35
亚粘土	2.9	5.2	3.1	0.4
粘土	5.1	27.4	9.8	0.4

路堤填土容重为 20 kN/m³,褥垫层的容重为 31 kN/m³,上部结构及路面荷载取 1.5 kPa/m²。

模拟过程分为褥垫层模量变化、厚度变化两种类型。模量为 55 MPa 时,褥垫层厚度分别取 0.0、0.2、0.5、0.8 m;褥垫层厚度为 0.5 m 时,分别考虑模量为 25、40、55 MPa。

2.4 计算结果分析

2.4.1 褥垫层厚度对桩土应力比的影响

如图 3 所示,与刚性基础下桩土应力比随褥垫层厚度变化趋势相反,在柔性基础下,随褥垫层厚度的增加桩土应力比增加。与刚性基础下为减少基础底面应力集中相反,褥垫层使荷载向 CFG 桩集中,利用桩体作用传至深部土层,减少了上部土层的压缩量,提高了复合地基的承载力。但当褥垫层厚度 > 500 mm 后,桩土应力比增长较少,即过厚的褥垫层对减小沉降量没有很大帮助。

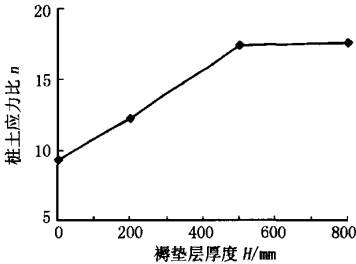


图 3 褥垫层厚度与桩土应力比的关系

2.4.2 褥垫层模量变化对桩土应力比的影响

图 4 给出了桩土应力比随褥垫层模量的变化趋势。可见,在柔性基础下随褥垫层模量的增加,桩承担的荷载增大,模量增加有助于上部荷载向桩顶集中。刚性基础下,褥垫层的模量小于基础底板,而柔性基础下其模量大于基础,这说明褥垫层具有水平

向加筋作用。因此,厚度一定的褥垫层要根据桩间土承载力的大小选用不同的垫层材料级配,调整模量大小。

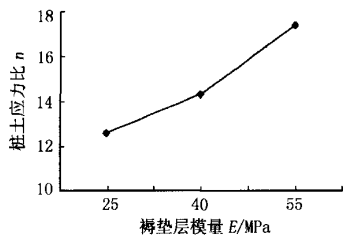


图4 褥垫层模量与桩土应力比的关系

3 褥垫层设置

从以上分析可知,褥垫层厚度、模量影响了复合地基承载性能的发挥,在设置褥垫层时,应综合考虑桩体强度、桩间土及桩端土的土质。褥垫层材料一般采用砾石、级配砂石、粗砂,砾石最大粒径 ≥ 30 mm,厚度一般在 100 ~ 300 mm。褥垫层的宽度应满足基底压力扩散的要求,防止边角垫料挤出,垫层失效。褥垫层的宽度比基础宽出部分一般取褥垫层厚度。

对于桩间土质较好,桩体强度相对较低的情况,刚性基础可适当增加褥垫层厚度或选用模量较低的级配砂石、粗砂,缓解桩端应力集中,充分发挥桩间土的承载力,而柔性基础则需适当减小褥垫层的厚度。

对于桩体强度较高,桩端土质较好的情况,可以选用模量较高的砾石垫料,刚性基础可减小褥垫层

厚度,柔性基础则适当增加褥垫层厚度,以充分发挥桩体及桩端土的承载力,减少基础的沉降。对土质不均匀的地基,通过褥垫层厚度调整与不同加固措施相结合,可调整基础的差异沉降,使之满足规范要求。褥垫层铺设后,要进行压实,使之达到复合地基设计的承载力标准值,其控制指标为压实系数 λ 。(表2)。

表2 褥垫层材料压实系数及承载力标准值

垫层材料	压实系数 λ_c	承载力标准值 f_k /kPa
碎石	0.94 ~ 0.97	200 ~ 300
级配砂石	0.94 ~ 0.97	200 ~ 250
粗砂、砾砂	0.94 ~ 0.97	150 ~ 200

4 结语

褥垫层技术是刚性、半刚性桩复合地基的一项核心技术,不设置褥垫层,刚性基础不能充分发挥土的承载作用,柔性基础则不能发挥桩的承载作用,形不成桩土共同承载的复合地基。充分认识褥垫层对复合地基承载、变形特性的影响,采用不同厚度、不同模量的褥垫层,可以有效地减少基础的沉降及差异沉降,提高复合地基的承载力。

参考文献:

[1] 刘杰,张可能.复合地基中垫层作用机理[J].中南工业大学学报,2001,32(6):568-572.
[2] 王金山.粉喷桩复合地基沉降数值分析[D].武汉:武汉理工大学,2002.
[3] 王成锡.CFG桩地基和基础共同作用沉降机理的研究[D].北京:北京科技大学,2002.

国务院批准上海建“南隧北桥”钻越长江天堑

日前,上海崇明越江通道工程的可行性研究报告已经国务院批准。崇明越江通道工程采用“南隧北桥”方案,是目前世界上最大的桥隧工程。工程建成后,驱车从浦东五号沟至崇明陈家镇,不到 30 min。

受长江天堑阻隔,上海至今没有一条连接崇明岛进而沟通长江以北地区的陆路通道。目前,崇明岛和上海市区间的交通联系仅靠轮渡,通行能力低。

工程建成后,崇明越江通道将与崇启大桥、启启高速连接,形成我国沿海大通道的一部分。

崇明越江通道工程起自浦东五号沟,接上海郊区环线,过长江南港水域,经长兴岛再过长江北港水域;止于崇明岛陈家镇,衔接陈海公路,全长 25.5 km。经过对桥梁和隧道多方比选,综合地质、水文、河势、通航等建设条件,工程最终确定采用“南隧北桥”方案——以隧道形式穿越南港水域,长约 9 km,设计时速为 80 km/h;以桥梁形式穿越北港水域,长约

10 km,设计方案为技术成熟的斜拉桥桥型,设计时速为 100 km/h;长兴岛陆域及两端接线公路长约 6.5 km;全线在浦东五号沟、长兴岛、陈家镇等 3 处设置互通式立交。项目总投资约 123.1 亿元。

崇明越江隧道的隧道部分将采用盾构法施工,工程所需的盾构将是世界上最大的盾构,国内外目前尚无成熟的工程实践经验。经过深入研究和相应的科学试验,一系列国际先进技术将运用于这条隧道。这条隧道的设计也充分体现人性化。据介绍,根据隧道通风要求,南港隧道在长江近长兴岛侧浅滩处将设置一座造型独特的通风井,届时施工人员将在江中修建一个直径为 80 m 的人工岛,形成一道独特的景观。目前,崇明越江通道工程项目公司正在积极组织该工程的初步设计评审上报工作和盾构的国际采购准备工作。

(据 新华网 2004 年 8 月 16 日)