

文章编号:1007-3071(2007)02-0062-04

刚性桩与柔性桩复合地基共同作用研究现状

胡仁众

(沈阳市建筑设计院 沈阳 110031)

摘要 刚性桩与柔性桩共同作用的复合地基是一项新的地基处理技术,是现在学术界和工程界研究的热点。本文通过对其特性、设计参数、理论研究和工程实践等各个方面进行了讨论,提出了自己的一些观点。

关键词 刚性桩 柔性桩 复合地基 研究现状

中图分类号 TU473.1

文献标识码 A

1 概述

龚晓南指出:复合地基是指天然地基在处理过程中部分土体得到增强,或在天然地基中设置加筋材料,加固区由基体(天然地基土体)和增强体两部分组成的人工地基^[1]。在荷载作用下,增强体和基体保持共同承担荷载作用是形成复合地基的基本条件。根据地基中增强体的方向,复合地基可以分为水平向增强体复合地基和竖向增强体复合地基两种^[2]。段继伟根据桩体相对刚度 K 与桩的沉降关系的研究,建议柔性桩和刚性桩的判别准则为 $K < 1.0$ 为柔性桩, $K > 1.0$ 为刚性桩^[3]。鉴于竖向增强体复合地基中的三种类型桩(即散体材料桩、柔性桩和刚性桩)的承载能力和变形特性不同,但是对我们岩土工程界的人士来讲,每种地基处理方法各有千秋。

作为一种较先进的设计方法,刚-柔性桩复合地基具有良好的应用前景,它将成为我国土木工程领域的一个研究热点^[4]。虽然近些年来对这一问题在理论分析、试验研究及工程实测等方面进行了一些探讨,并取得了一些成果,在工程设计中也得到了应用,但到目前为止,人们对这一崭新的设

计理念的认识还停留在初步阶段,对其基本机理的认识还不够全面和深入,也未形成比较完善的设计理论和计算方法,研究工作仍处于探索阶段,许多问题有待与深入的研究^[5]。目前,对于刚-柔性桩复合地基的研究主要集中在承载力的计算和沉降计算方法上,并且大都是基于一种桩型复合地基的复合模量法和复合求和法。本文作者认为:对于刚-柔性桩复合地基,只有弄清楚复合地基中刚性桩、柔性桩、土和承台的相互作用的机理,桩、土、荷载的传递规律,桩-土-垫层-承台共同作用的机理,才能全面的发展复合地基的承载力以及沉降计算理论。

2 刚-柔性桩复合地基的特性

近年来我国土木工程界提出了将刚性桩和柔性桩相结合,采用柔性桩对基础下的软弱土层进行加固,提高表层土层的承载力,并可消除局部软弱土引起的不均匀沉降;而刚性桩则落在强度较高、压缩性较小的土层上,将荷载通过桩身向地基深处传递,得到提高地基承载力和控制沉降的目的。设计时根据实际工程情况,确定布桩方案,一般采用的柔性桩(如水泥搅拌桩、砂石桩等),采用的刚性桩(混凝土预制桩、钢桩等)^[6]。同时为了防止承台脱空,充分发挥桩间土的承载能力,调整和改善桩

收稿日期 2007-03-08

作者简介 胡仁众(1962—),男,主要从事岩土工程勘察与研究。

万方数据

土的应力分担,可在承台下设置褥垫层,形成如图1所示的新型复合地基。

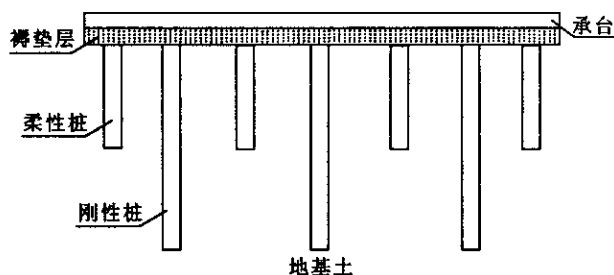


图1 刚 - 柔性桩复合地基构成示意

Fig.1 sketch map showing the complex foundation by rigid pile coexisted with the flexible pile

刚 - 柔性长短桩复合地基以沉降量为控制指标,考虑刚性桩、柔性桩与土的共同作用来确定刚性桩的布桩量,强度则是通过复合地基承载力验算来核定或者审核。柔性桩主要是用于提高基础或承台(浅基础)持力层的土体强度,刚性桩主要是用于减少建筑物的沉降量,同时由于刚性桩本身的刚度和强度较高,对复合地基承载力的提高也有较大的贡献。

3 刚 - 柔性桩复合地基设计的主要参数

3.1 桩长 L

在设计时,应使刚性桩和柔性桩的桩端落在较好的持力层上。使刚性桩落在承载力较好的持力层上,控制沉降,使柔性桩落在承载力次好的持力层上,改善和提高地基的承载力。

3.2 桩径 D

刚性桩桩径的确定取决于本地区能够采用的施工设备,一般设计桩径为 350 ~ 600 mm;柔性桩我们大多采用水泥土桩和水泥搅拌桩。

3.3 桩间距

主次桩间距 b 一般取 $3D \sim 5D$,桩间距的大小取决于设计要求的复合地基承载力和变形、土性与施工机具等。一般设计要求的承载力大时 b 取小值,但必须考虑施工时相邻桩之间的影响。就施工而言,希望采用大桩距大桩长,因此 b 的大小应综

合考虑。一般情况下可采用等距离布置。

3.4 桩体强度

原则上,桩体配比按桩体强度控制,最低强度等级按 3 倍的桩顶应力 σ_p 确定。即 $f_{cuk} \geq 3\sigma_p$ 。 f_{cuk} 为桩身试块标准养护 28 d 无侧限抗压强度标准。

3.5 褥垫层厚度及材料

褥垫层厚度一般取 100 ~ 300 mm。当桩径、桩间距大时,褥垫层厚度应取大值。褥垫层材料宜用粗砂、中砂、碎石、级配砂石等。碎石、级配砂石最大粒径不宜大于 30 mm。

一般认为褥垫层的作用表现在 (1)保证桩土共同承担荷载 (2)调整桩土的荷载分担比 (3)减少基底的应力集中 (4)调整桩土水平荷载的分担比。它充分的发挥桩间土的承载作用和避免刚性桩基础的冲切作用,关键的是不设置褥垫层的刚 - 柔性桩复合地基桩间土的承载力需要大量的折减,桩间土的承载力得不到充分的利用。设置褥垫层可以充分的发挥桩间土的承载力,提高刚 - 柔性桩复合地基的承载力,节约工程造价。

4 刚 - 柔性桩复合地基的应用研究现状

4.1 刚 - 柔性桩复合地基的承载力的确定

第一种情形是考虑刚性桩分担一定的荷载,根据刚性桩的类型及地质条件采用经验参数法计算单桩承载力,扣除刚性桩承受的荷载后,剩余荷载由柔性桩形成的复合地基承担。

第二种情形是将刚性桩的承担作用作为安全储备,仅考虑柔性桩和土形成的复合地基承担上部结构的荷载。

4.2 刚 - 柔性桩复合地基的变形的确定

第一种计算方法是采用复合模量法计算加固区土层压缩量 s_1 ,采用改进的 Geddes 法计算下卧土层的压缩量 s_2 ;

第二种计算方法为实用简化计算方法,即将总荷载扣除桩承担的荷载后的剩余荷载作用在复合地基加固区上,其加固区土层和下卧土层的附加应力计算方法与天然地基中的应力计算方法相同,再

利用分层综合法计算沉降。

第三种计算方法是将刚 - 柔性桩复合地基沿竖向的沉降计算区域分为 3 个:刚柔桩区域 h_1 , 刚桩区域 h_2 , 下卧土层区域 h_3 , 并基于复合模量法提出了刚柔组合的沉降计算方法。

4.3 刚 - 柔性桩复合地基的数值计算

以数值方法为工具,通过建立刚 - 柔性长短桩复合地基的计算模型,探索了刚 - 柔性长短桩复合地基桩土相互作用的机理,荷载传递的性状及附加应力分布的规律,为群桩复合地基的优化设计提供理论基础^[2]。

采用 ABAQUS 有限元分析程序对土体引入 Drucker - Prager 弹塑性模型,系统地研究了单承台下刚 - 柔性长短桩复合地基的工程性状,同时分析了复合桩基的有关参数,比如桩的长度和变形模量,褥垫层的厚度和模量等各个参数对沉降和荷载分担比的影响。作为新兴的桩型,刚 - 柔性长短桩复合地基在我国的浙江沿海一带得到尝试,并取得了很好的效果,然而由于承台、桩和土的相互作用的复杂性,使得这种桩型尚未达到理论上的成熟和技术上的完善,因而限制了其广泛的推广。得出结论(1)通过在承台下设置褥垫层,减小了上部荷载在刚性桩上的应力集中作用,并重新分配各桩上的应力,从而提高了复合地基的承载力。计算结果表明,刚性桩上的应力分担比 30 ~ 40%, 柔性桩应力分担比 50 ~ 60%, 桩间土应力分担比 5 ~ 18%。(2)增大刚性桩的桩长可以明显降低复合地基的沉降,效果非常显著,而且刚性桩的应力分担比也有明显的增大。但是当桩长增大到一定的程度上时,沉降和应力分担比都不再增加,可见对刚性桩而言,在控制沉降和承载力上存在一临界桩长,工程实际中应合理选择刚性桩的长度。(3)随着垫层模量的增大,地基沉降的减小,土的荷载分担比也开始增大。在垫层厚度不大的情况下,增大垫层的厚度可以使刚性桩的应力分担比明显减小,但再开始增大的时候,曲线趋于平缓。工程实践对于垫层的厚度的设置,应该在选择合适厚度的基础上尽量增大垫层的模量。既能使土体承受更多的荷载,能最大限度的减少复合地基的沉降。

4.4 刚 - 柔性桩复合地基的大型现场试验

万方数据

通过对带褥垫层刚 - 柔性桩复合地基工程性状的大型试验研究提出了用柔性桩处理浅层软弱土、刚性桩控制沉降、褥垫层调整和改善桩间土应力分担比的带褥垫层刚 - 柔性桩复合地基形式,通过对地基基底埋设压力盒进行现场观测。实测数据表明,在垫层的作用下,桩土荷载分担比在加载初期的弹性阶段近似按照各自的相对刚度分配,随着上部荷载的增加,浅层地基土和柔性桩逐渐进入非线性状态新的,新的荷载主要由刚性桩来承担。

5 刚 - 柔性桩复合地基的发展方向

随着刚 - 柔性桩复合地基在我们的实际工程中的应用发展的需要,对于其的研究也受到岩土工程学术界和广大工程技术人员的重视。尽管国内外的学者和专家在刚 - 柔性桩复合地基的理论,进行了许多有益的摸索并结合我们的实际工程提出了一些相应的设计计算方法。但是我们要看到一些缺点,关于刚 - 柔性桩复合地基的室内模型试验以及现场的足尺试验,至今没有见到报道,尤其是关于刚 - 柔性桩复合地基中桩、土荷载传递规律、桩 - 土 - 垫层 - 承台共同作用机理以及分析方法、桩型以及布桩的方式对刚 - 柔性桩复合地基的承载力和沉降的影响,都有待我们去深入的研究^[7]。由于刚 - 柔性桩复合地基的复杂性,需要从以下几方面来研究:

(1) 刚 - 柔性桩复合地基的室内模型试验以及现场的足尺试验有待深入的探讨。

(2) 在动力荷载和地震荷载作用下的刚 - 柔性桩复合地基桩土共同作用问题。

(3) 对刚 - 柔性桩复合地基的数值分析方法。在数值分析中,根据我们所选的桩型、桩周土的性状以及受力特性,选取比较符合实际土体的本构关系以及合理利用现场原位测试和室内土工试验测定土的各种参数,进而合理的分析桩及桩周围的土的性状具有重要的工程和理论意义。

(4) 我们现在还大多停留在研究单桩的基础上得出的结论,今后必须要对在群桩共同作用下的性状作进一步的研究。

6 结尾语

刚 - 柔性桩复合地基是一项新的地基处理技术,我们的工程实践要早于我们的理论研究,但是我们现在在理论设计方面和工程实际方面还有很多的不足,需要我们进一步去研究和完善。

参考文献

- [1] 建筑地基处理技术规范 JGJ79 - 2002[M]. 北京 : 中国建筑科学出版社 2003.
- [2] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京 : 中国建

筑科学出版社 , 2002.

- [3] 段继伟. 柔性桩复合地基的数值分析[D]. 浙江大学博士学位论文 , 1993.
- [4] 刘吉福 , 周正忠. 沉管灌注桩 - 深层搅拌桩 - 褥垫层复合地基工程实例[J]. 岩土工程技术. 1999 , 第 2 期.
- [5] 刘 杰 , 何 杰. 多元复合地基的研究现状及发展动态[J]. 株洲工学院学报 , 2005 , NO. 1.
- [6] 郑俊杰 , 刘志刚. 石灰桩与深层搅拌桩联合加固杂填土[J]. 施工技术 , 1997 , NO. 9 .
- [7] 王步云 , 赵宿芹. 砂石桩与低强度混凝土桩组合型复合地基在软土地基上的应用[J]. 岩土工程技术 , 1997 , NO. 2.

Study on the Present Situation of Complex Foundation with the Rigid Pile and Flexible Pile

HU Ren - zhong

(Shenyang Institute of architectural design , Shenyang 110031 , Liaoning , China)

Abstract : The complex foundation of the rigid pile coexisted with the flexible pile is a new technical way of the foundation bed treatment and it is a studying hot point for the academic and engineer circles about this aspect. In this paper present a view point by the author researching the specific character , design parameter and theory of the engineering construction to the present situation of foundation bed treatment.

Key words : present studying situation ; rigid pile ; flexible pile , complex foundation