

复合桩基与复合地基

周 峰 宰金珉 梅国雄

(南京工业大学土木工程学院,南京 210009)

【摘要】 鉴于目前复合桩基、复合地基概念上的混淆,从不同侧面,讲述了复合桩基和复合地基之间的联系和区别。为区分这两种新型的基础形式,进而更合理的利用它们,提供一些有益的参考。

【关键词】 复合桩基;复合地基;桩基础;地基

【中图分类号】 TU 473.1; TU 472

The Composite Ground and the Composite Pile Foundation

Zhou Feng Zai Jinmin Mei Guoxiong

(Civil Engineering Institute, Nanjing University of Technology, Nanjing Jiangsu 210009 China)

【Abstract】 In order to supply some available suggestions for common engineers to differentiate the composite ground and the composite pile foundation, the contact and difference between the composite ground and the composite pile foundation are narrated from distinct ways.

【Keywords】 the composite pile foundation; the composite ground; pilefoundation; ground

0 引言

上个世纪末到本世纪初,随着人们对基础工程研究的不断深入,出现了很多新的、日趋成熟的基础形式。比较典型的就是复合桩基与复合地基。这两种基础形式由于各自具有比较显著的优点,所以得到了广泛的应用,创造了巨大的社会、经济效益。但是,在工程应用过程中,很多工程技术人员对复合桩基和复合地基没有一个明确的概念,不了解它们之间的联系和区别,更有甚者,还有人将它们混为一谈,给复合桩基和复合地基各自的进一步发展带来了一定的障碍。笔者从工程应用角度出发,在总结前人研究成果的基础上,试图从不同侧面论述复合桩基和复合地基之间的联系与区别,以给广大工程技术人员提供一些有益的参考。

复合地基与复合桩基的具体定义、具体分类在学术界还有一定的争议,所以希望本文的论述能起到抛砖引玉的作用。

1 复合地基简述

复合地基技术于 19 世纪 30 年代起源于欧洲^[1]。当时为了处理松散的软土地基,出现了砂桩加固法。其后经过很长一段时间的发展,砂桩于 20

世纪 50 年代引进我国,在交通、水利、建筑中获得了广泛的应用。“复合地基”一词 1962 年国外首先开始使用。20 世纪 70 年代中后期被我国工程界采用,至今已有 30 余年。复合地基因其具有适应面广、造价低等优点,深受工程界和业主们的欢迎,所以复合地基也就得到了广泛的应用和巨大的发展。

目前,在工程建设实践中,被冠以“复合地基”名称的基础形式非常多,但是能够被工程界和学术界公认的却不是很多。何谓复合地基,复合地基如何分类等学术界都尚未达到共识。现在对复合地基比较权威的定义为^[2]:复合地基是指天然地基在地基处理过程中部分土体得到增强,或被置换,或在天然地基中设置加筋材料,加固区是由基体(天然地基土体)和增强体两部分组成的人工地基。从这个定义可以得出,复合地基有两个基本特点:1)加固区是由基体和增强体两部分组成,是非均质和各向异性的;2)在荷载作用下,基体和增强体共同承担荷载的作用。前一特征使它区别于均质地基,后一特征使它区别于桩基础。从荷载传递机理看,复合地基实际上介于天然地基和纯桩基之间。

根据地基中增强体的方向可以将复合地基分为

基金项目:江苏省“六大人才高峰”资助项目(51213028)

作者简介:周 峰,1979 年生,男,汉族,江苏阜宁人,南京工业大学在读博士研究生,主要从事桩土共同作用方面的理论研究和工程应用。E-mail:jx_crab@163.com

竖向增强体复合地基和水平向增强体复合地基。竖向增强体复合地基根据增强体的强度和材料组成,又可以分为三类。

1.1 柔性桩复合地基(散体土类桩)

主要有碎石桩复合地基、砂石桩复合地基、卵石桩复合地基、钢渣桩复合地基。施工方法有振冲置换,振动挤密,干冲挤密等。

1.2 刚性桩复合地基(混凝土类桩)

主要有 CFG 桩复合地基、素混凝土桩复合地基。

1.3 半刚性桩复合地基(实体桩)

主要有灰土桩复合地基,土桩复合地基,石灰桩复合地基,二灰土桩复合地基,旋喷桩复合地基,深层搅拌桩(粉喷和浆喷)复合地基以及夯实水泥土桩复合地基等。对于半刚性桩复合地基,如果桩体强度较大时,其特性类似于刚性桩复合地基;反之则类似于柔性桩复合地基。因此,半刚性桩复合地基具有双重特性。

由于其它类型的复合地基一般不会和复合桩基相互混淆,也为了表述上的方便,本文以下所讲的复合地基如不作特殊说明,都是指刚性桩复合地基。

2 复合桩基简述

复合桩基^[3]的定义一般来讲比较明确:系指按大桩距(一般在 5~6 倍桩径以上)稀疏布置的低承台摩擦群桩或端承作用较小的端承摩擦桩与承台体共同承载的桩基础。

复合桩基在国际上也被称为附加摩擦桩的补偿基础(compensated foundation with friction piles)^[4]、减少沉降量桩基础(settlement reducing piles)^[5]、桩筏体系(pile-raft system)^[6]等。对其最早研究开始于上世纪 50 年代中期,当时墨西哥 Zeevaert 教授就提出了适用于软土地基上中高层建筑物的附加摩擦桩的补偿基础方案,并在 1957 年举行的第四次国际土力学基础工程学术会议上作了工程实例报道^[7]。我国对复合桩基的研究大概始于上世纪 70 年代末期,至今同样也有 30 余年。在这 30 余年间,复合桩基一直受到工程界和学术界的关注,很多学者对其进行了广泛的研究,得出了一些研究成果。如刘金砺^[8]等(1995)通过对粉土和软土中不同桩距、不同桩长的原型和模型群桩竖向荷载下变形试验研究得出了复合桩基的变形特征;宰金珉^[3](1995)在研究复合桩基单桩承载力和沉降的基础上系统地提出了

按单桩极限承载力计算的复合桩基非线性设计方法;黄绍铭等^[9]①于上个世纪 80 年代将复合桩基在上海地区进行了局部推广应用,得出了一些地方经验等等。虽然如此,由于复合桩基的实际受力状态的复杂性以及在工程实践应用中出现的各种实际问题,人们对它的认识还停留在初步阶段,对其基本机理的认识也还不够全面和深入,也未形成比较完善的设计理念和计算方法。

3 复合桩基和复合地基的联系与区别

从对复合地基和复合桩基简单的介绍,可以看出两者之间有很多的相似之处。复合地基和复合桩基都是在天然地基承载力不能满足设计要求的情况下而采用,都是考虑桩土共同承担上部结构荷载(两者所采用桩型的范围不同),所以复合地基和复合桩基都是介于天然地基和纯桩基之间的过渡型的基础形式。这也是为什么在复合桩基和复合地基前都加上“复合”的原因。

虽然复合桩基和复合地基有许多的相似点,但是两者无论在基本概念、受力特性还是设计思路,都有本质的区别。现在个别学者提出了诸如:复合地基将取代复合桩基;复合桩基等同于钢筋混凝土复合地基,是复合地基的一个分支的说法。对此本文作者持有不同的看法。

3.1 概念上的区别

从各自概念上看^②,复合地基是一种人工地基,属于地基的范畴;而复合桩基是一种桩和承台体共同承载的桩基础,属于桩基础的范畴。显然,地基和桩基础之间是有本质区别的。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—94)和《地基基础设计规范》(GB 5007—2002)都对桩基础有明确的定义:由设置于岩土中的桩和联接于桩顶端的承台组成的基础,称为桩基础。从桩基础的定义可以看出:桩基础不是指单纯意义上的桩,而是由桩和联接于桩顶端的承台共同组成的。所以判断桩基础和地基的标准就是:桩与桩顶端的承台是否联接,联接称之为桩基础,不联接则应叫作地基。

3.2 受力特性的区别

从复合桩基和复合地基的受力特性看,两者也存在显著的差异。正因为复合桩基中的桩和承台之间的有效联接,复合桩基才有了明确的传力路径。上部荷载首先由承台传给桩,当桩达到极限承载力,发

①黄绍铭,裴捷.影响图法计算桩基础沉降量.上海市民用建筑设计研究院,1982

②周与诚.复合地基释义.地基基础工程,1997,8(3):48~51

生一定的刺入沉降时,荷载才开始逐渐向桩间土转移,并且最终桩土之间有明确的荷载分担。目前通常假定当作用在复合桩基上的外荷载小于承台下各桩的单桩极限承载力之和时,外荷载全部由桩来承担;当作用在复合桩基上的外荷载超过承台下的单桩极限承载力之和时,承台下各桩将始终保持分担相当于各桩的极限承载力之和的外荷载,而承台下地基土则分担余下之荷载,这也就是常说的塑性支承载^[12]的概念。复合地基中承台和桩体是通过褥垫层来过渡,故桩间土一开始就承担了较大比例的荷载,在正常使用状态下,上部结构的荷载始终由桩和桩间土共同承担。两者受力特性上的差异见图1。

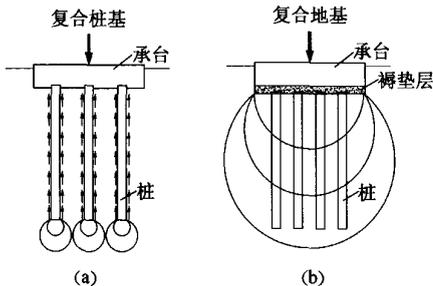


图1 复合桩基和复合地基概念与受力特性对比

3.3 设计思路的区别

从利用复合桩基和复合地基的出发点看,两者亦有很大差别(即设计思路不同)。复合地基主要是对薄弱土层进行改造加固,以增强地基土的承载力。复合地基的主要受力部位还在加固体内,进行复合地基设计时主要考虑的是地基土。复合桩基则是将桩的承载力用到极限,然后利用其较大的沉降来使桩间土来承担一部分的荷载,以减少工程桩的使用数量,从而达到节省造价的目的。所以复合桩基设计主要还是考虑桩。

3.4 确定承载力方法的区别

复合桩基所用桩型常为预制桩或质量可靠的灌注桩,这与常规桩基并无区别。确定常规桩基承载力的静载荷试验仍然适合于复合桩基。复合地基虽也形成明确的桩体,但套用静载荷试验的方法确定其承载力并不合适。究其原因,主要是复合地基通常由桩土共同作用承担上部结构荷载,受荷最终并没有明确的荷载分担。仅仅确定复合地基中单根桩的承载力的意义不大。目前常用荷载板试验的方法确定复合地基的承载力。

3.5 计算方法的区别

复合桩基与复合地基在承载力计算、沉降计算方面亦不尽相同。

复合地基的极限承载力计算方法有很多种(引自龚晓南.刚性桩复合地基若干问题.“上部结构-桩-土相互作用研究及其设计方法”高级研讨会论文集.2003),但是利用最多、最广的还是下式

$$Q_u = K_1 m p_u + K_2 \lambda (1 - m) f \quad (1)$$

式中: p_u ——单桩极限承载力, kPa;

f ——天然地基承载力, kPa;

K_1 ——复合地基中桩体极限承载力修正值;

K_2 ——桩间土极限承载力修正值;

λ ——复合桩基破坏时,桩间土强度发挥度;

m ——置换率。

复合桩基的极限承载力计算可按下式进行

$$Q_u = 2.5 f A + n p_u \quad (2)$$

式中: n ——桩数; A ——基础底板面积。

从式(1)式(2)可以看出:复合地基由于比较接近于地基的特性,计算其极限承载力时,只是使用了置换率 m ,而没有形成明确的桩数;而复合桩基更接近于桩基础,桩型常采用预制桩和质量可靠的灌注桩,桩径较小且桩距较大(常大于 $6d$)。计算承载力时使用明确的桩数,且不考虑“群桩效应”。计算承台下地基土的承载力时,桩体所占的体积也可忽略不计。

复合地基和复合桩基的沉降计算方法目前有很多种,但是均尚欠完善,有待进一步发展。值得注意的是两者沉降计算中所包含的内容亦有差别:复合桩基沉降主要由桩体向下刺入量和桩下土层的压缩量组成(桩体的压缩量较小,可忽略不计);复合地基沉降主要由垫层的压缩量,桩体的压缩量,桩上、下端的刺入量,以及桩下土层的压缩量组成。

另外,复合地基与复合桩基在筏板的处理上还有不同。复合地基一般在筏板中不设承台梁,复合桩基却象常规桩基一样,常常需要设置承台梁来满足筏板中较大的冲剪力。

4 结 论

1)复合桩基和复合地基都是强调地基土承载力的充分利用,两者都属于桩土共同作用的范畴。复合桩基和复合地基无论在概念、受力特性还是设计思路和设计方法上,又都有显著的差别。笔者认为:要区别复合桩基和复合地基的最简单最有效的方法就是看其是否有明确的传力路径,即桩与承台是否有可靠的联接。

2)复合地基在实际工程设计计算中,还是属于地基的范畴。复合桩基却更接近于桩基。所以这几种基础形式比较合理的关系应该是:纯地基—复合地基—复合桩基—桩基^[13]。(下转第151页)

支盘的承载力接近或达到极限值时,增加的荷载由下面的支盘承担。当某个支盘的承载力充分发挥时,其他支盘的承载力不一定得到充分发挥,在计算时不能简单地把各支盘的最大承载力叠加。

2)支盘桩由于支、盘的存在,把提供侧阻力的土层分割成若干段,桩身的侧阻力由于承力盘的影响大大减小。当桩达到极限承载力时,侧阻力不能达到理论计算的极限承载力。因此在设计多支盘桩时,应注意对侧阻力进行折减。

3)支盘桩的上盘在承担荷载中发挥着重要的作用,盘下土体的性质极大影响盘的承载力。因此设计时,第一个承力盘的大小和所处的土层位置的确定十分重要。

4)支盘桩达到极限承载力时,上盘承载力的发挥程度高于下盘。因此,应根据工程土层实际情况,把承力盘的直径设计成上盘大,下盘小的形式,不仅可以节约材料,而且能保证承载力的充分发挥。

参 考 文 献

- 1 葛忻声,陈 然,杨金龙.软土地区挤扩支盘灌注桩现场试验研究.岩土工程技术,2002(4):187~190
- 2 钱德玲,崇劲松.用球形孔扩张理论估算支盘桩扩孔挤压效应.合肥工业大学学报,2003,26(1):53~56
- 3 徐至钧,张晓玲.挤扩支盘桩在工程中的应用.建筑结构,2002,32(7):13~16
- 4 DLGJ 153—2000 火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定
- 5 钱德玲.利用数值仿真系统实现支盘桩的荷载传递性状.土木工程学报,2004, 37(7): 68~72
- 6 卢成原,孟凡丽,等.不同土层对支盘桩荷载传递影响的模型试验研究.岩石力学与工程学报,2004, 23(10): 3547~3551
- 7 卢成原,孟凡丽,王章杰,等.非饱和粉质粘土模型支盘桩试验研究.岩土工程学报,2004,26(4):522~525

收稿日期:2005-02-06

(上接第 143 页)

参 考 文 献

- 1 叶书麟,韩 杰,叶观宝.地基处理与托换技术.北京:中国建筑工业出版社,1994.72~128;515~540
- 2 《地基处理手册》编写委员会.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,2000.1~32
- 3 宰金珉.桩土明确分担荷载的复合桩基及其设计方法.建筑结构学报,1995,16(4):66~74
- 4 Zeevaert L. Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions, Van Nostrand-Reinhold Co. 1973. 424~433.
- 5 Burland J B, Broms B B, De Mello V H B. Behaviour of Foundations and Structures, Proc. 9th Int. Conf. S. M. F. E, 1977, II (2).
- 6 Poulos H G, Davis E H. Pile Foundation Analysis and Design, New York. 1980
- 7 Zeevaert L. Compensated Friction Pile Foundation to Reduce Settlement of Buildings on the Highly Compressible Volcanic Clay of Mexico City, Proc. (16) ICOSOMF, London. 1957, II (3):81~86
- 8 刘金砺,黄 强,李 华,等.竖向荷载下群桩变形性状及沉降计算.岩土工程学报,1995,17(6):1~13
- 9 黄绍铭,王迪民,裴 捷,等.减少沉降量桩基础的设计与初步实践.第六届全国土力学及基础工程学术会议论文集.北京:中国建筑工业出版社,1991.405~414
- 10 宰金珉.塑性支撑桩-卸荷减沉桩的概念及其工程应用.岩土工程学报,2001,23(5):273~278
- 11 黄运飞.复合桩基能挑战复合地基吗.岩土工程界,1999(10):7~9

收稿日期:2005-01-13