

[文章编号] 1002-4115 (2001) 03- 0111- 05

浅谈我区工程桩基和复合地基设计与检测中值得注意的几个问题

杨捷¹ 吴晓广²

(1. 广西建筑科学研究设计院 广西南宁 530011;

2. 广西建筑工程质量检测中心, 广西南宁 530011)

摘 要 分析了工程桩基和复合地基设计和检测中常见问题的原因, 并提出相应的要求和注意事项。

关键词 桩基 复合地基 设计 检测

[中图分类号] TU 4 [文献标识码] B

2000年10月底, 我们参加了由区建设厅组织的全区基桩检测单位资质年检工作, 检查了南宁、柳州、桂林等地、市的基桩检测单位。今年4月又陪同国家检测中心派来的李大展和柳春两位桩基专家, 对我区9个受检单位进行了换证复查。我们先后抽检了近百份桩基工程设计图纸和检测报告, 发现在桩基和复合地基设计与检测方面存在不少值得注意的技术问题, 就此谈谈我们的意见, 供同行借鉴。

1 岩土工程设计时应注意的问题

1.1 对桩基础设计规范表达式理解与使用问题

从抽查的六十多个桩基工程的设计图纸中发现, 不同的设计单位, 采用了不同的桩基设计规范, 即: 《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规范》(JGJ4- 80) (以下简称“JGJ4- 80”)、《建筑地基基础设计规范》(GBJ7- 89) (以下简称“GBJ7- 89”)、《建筑桩基技术规范》(JGJ94- 94) (以下简称“JGJ94- 94”)。因而设计图上对单桩承载力的设计要求提法也不一样, 分别有: 单桩容许承载力、单桩竖向承载力标准值、单桩竖向承载力设计值和单桩竖向极限承载力标准值等, 从而造成各地检测人员对桩基础工程进行质量检测评定的混乱, 甚

至出现检测评定错误。要克服上述对建筑桩基础设计规范使用的混乱, 首先要对这几本规范的制定过程有所了解。从我国建筑业发展的历史来看, 自《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68 - 84) 颁布以来, 我国的建筑结构设计已经由单一安全系数过渡到以概率论为基础的极限状态设计方法, 采用分项系数进行, 所采用的符号、单位和术语均与国际接轨。故JGJ4- 80中的单桩容许承载力提法已不适用。因此, GBJ7 - 89中桩基础工程部分为了对应上部结构规范所采用的符号、单位和术语, 相应提出了单桩竖向承载力标准值和单桩竖向承载力设计值等名词。但GBJ7- 89中, 由于桩基础工程设计中考虑地质条件、上部结构类型、荷载特征、施工技术、施工环境、检测条件等多种综合因素较为复杂, 在通过静载试验确定单桩竖向承载力设计值R时只好仍然按单一安全系数的定值设计方法。其设计表达式为:

单桩竖向承载力设计值: $R = 1.2R_k$

单桩竖向承载力标准值:

$$R_k = U_p \sum q_{sili} + q_{pA_p}$$

这时GBJ7- 89中单桩竖向承载力标准值 R_k 与JGJ4- 80中单桩容许承载力 P_a 相等。由此出现了单桩竖向承载力标准值小于设计值的情形, 与上部结构设计计算时材料性能标准值

大于设计值的概念正好相反, 从而引起设计人员在桩基设计时概念上的混乱。

随着我国岩土工程的日益发展, 为使桩基工程标准技术先进、经济合理, 既方便国内应用, 又有利于国际交流接轨, 建设部又颁布了 JGJ94-94。其设计方法是按极限状态设计理论, 采用抗力分项系数进行, 根据土的物理指标确定单桩承载力时, 其设计表达式为:

基桩竖向承载力设计值: $R = Q_{uk} / \gamma_p$

单桩竖向极限承载力标准值:

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$$

这时上述设计表达式与“工程结构设计基本术语和通用符号”标准要求一致, 与上部结构规范的设计表达式也相一致, 此时单桩竖向极限承载力标准值大于设计值, 与人们的“材料性能标准值大于设计值”的习惯思维相一致, 避免了概念上的混乱。

鉴于现行的桩基础设计不同的规范有不同的表达方式, 为避免检测时的误判, 建议设计单位在桩基础设计时, 应注明相应设计规范和设计表达式。

1.2 不同规范同时使用时如何理解与执行问题

从上述的设计表达式分析来看, 不难理解, GBJ7-89 虽是国家标准, 而 JGJ94-94 是部颁标准。但从设计理念来看, 后者采用的是以概率论为基础的极限状态设计方法, 抗力分项系数为 1.6~1.75, 而前者在确定 R 值时仍是按单一安全系数定值方法, 安全系数为 2, 其可靠度和保证率都没有后者高。因此部标 JGJ94-94 在技术上是较先进的, 而且建设部 2000 年 4 月 20 日颁布的工程建设标准强制性条文中“桩基础”部分, 所执行的强制性条文就是 JGJ94-94。因此建议我区在今后桩基础设计中, 均应采用 JGJ94-94, 设计图中表示设计要求为单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk} , 而不应表示为单桩容许承载力或其他非规范用词。

1.3 正确理解复合桩基与复合地基的设计概念问题

JGJ94-94 明确地提出了复合桩基的概

念: 即由桩和承台底地基土共同承担荷载的桩基, 使我国桩基工程从单一安全系数法, 发展到较先进的分项效应系数法和承载力与变形双控制的概率设计理论。它既能发挥桩的传力作用, 又能充分利用桩间土层承载力的补偿作用。这一设计理论的提出与 1992 年建设部颁布的《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91) 中的复合地基的概念有类同之处, 特别是采用竖向增强体 (如深层搅拌桩、旋喷桩、CFG 桩、混凝土刚性疏桩等) 加固的复合地基, 在 JGJ79-91 中, 加固处理的设计引用了类似 GBJ7-89 中有关桩基的二个公式:

$$R_k^d = \eta_{cu} k A_p$$

$$R_k^d = q_s U_p L + \alpha A_p q_p$$

作为理论计算的参数, 去确定竖向增强体复合地基的面积置换率, 其复合地基承载力标准值的最终检验标准应以现场复合地基载荷试验为主。不深入了解这一基本概念及其加固机理, 就会造成复合桩基与复合地基设计上的混乱, 也会造成岩土工程检测中的误评, 以及质量事故原因分析的错判。这样的事例常有发生, 不能不引起我区岩土工程界同行的注意。

复合桩基与复合地基两者都同时考虑了桩和桩间土共同承担荷载, 在设计计算参数时, 又都采用了桩基础的两个抗力公式, 因此很容易让人们混淆不清, 但两者在本质上还是有区别的:

(1) 从构造组成来看: 复合桩基中的基桩与承台相连接, 桩中钢筋是插入承台的, 是基础的一个组成部分, 而复合地基的桩与承台不连接, 是地基的一个组成部分。

(2) 从荷载受力来看: 复合桩基的基桩是将承台上部荷载力传至桩间和桩尖持力层地基上, 属传力的基础。而复合地基中的竖向桩, 是将承台底地基土进行加固, 以满足承台上部荷载承载力的要求, 属受力的地基。

(3) 从计算机理来看: 复合桩基的基桩是按桩基础的两个抗力公式进行计算。当基桩产生压缩变形时, 又增加了承台底地基土的极限阻力, 因而基桩为端承桩时, 复合桩基理论是

不适用的。而复合地基中的竖向加固桩,只是借用桩基础的两个抗力公式进行参数计算,利用桩的挤密作用、置换作用、桩体作用,达到提高软弱地基的强度,减少地基压缩变形的目的。

(4) 从检测方法来看: 复合桩基中的基桩与桩基础的单桩竖向抗压静载荷试验一样,判定标准是用 $Q-S$ 曲线的极限荷载值或沉降量来确定。桩身质量判断可用高、低应变动测试验来检测。而复合地基中的桩,其单桩竖向承载力标准值,只是供设计人员从理论上去推导复合地基承载力,一般可以不检验。主要应该通过现场载荷试验的 $Q-S$ 曲线中比例极限或相对沉降量来确定其复合地基承载力标准值,桩身质量判断一般由预留混凝土试块或现场标贯试验确定。

由此可见,这两者无论是构造、受力、计算机理和试验及取值标准都不一样。在我们抽检的工程中,发现某些勘察、设计单位设计一般六层住宅时,明明是采用深层搅拌桩和 CFG 桩进行复合地基加固,却设计了二十多米的桩长,这显然是对复合桩基和复合地基的概念不清造成的。今后望我区的勘察、设计部门认真注意,加以区别。

2 桩基、复合地基检测时应注意的技术问题

2.1 对工程检测的目的和作用的明确问题

前面提到的岩土工程设计中存在的概念上的混乱,势必也影响到检测上的判断混乱。在我们抽查的检测工程检测试验报告中,发现有的检测单位为了方便荷重块的吊装,将抽检的试验桩都集中在工程场地的一侧,检测出来的数据对整个工程没有代表性。还发现在复合地基和基坑支护中,根本不管桩的类型和作用,只作单桩承载力的试验,检测报告以应付验收为目的,这是对工程检测的作用和目的不明确所造成。一般的工程检测分为仲裁性检验和抽样性检验。它的作用、目的是为法院或政府监督部门提供仲裁数据和为设计部门或建筑物下一

道工序的工程验收提供分析数据。工程检测只对抽样检验数据的准确性和可靠性负责。因此工程检测只是为仲裁和验收提供数据的手段,而不最终目的。这一性质决定了我们检测单位中的检测人员必须具有高度的法律意识和科学务实的检测作风,才能提供准确、可靠的数据,供有关部门参考,这才不会产生误导,甚至造成误判。

2.2 对有关规范和检测机理的理解问题

从我们抽查的检测工程来看,我区不少检测单位对桩基复合地基的有关规范和检测机理不熟,出现动测(含高、低应变)试桩提供单桩承载力时,没有可靠的动、静对比资料,甚至出现动测否定静载荷试验的现象,严重违反了《基桩低应变动力检测规程》(JGJ/T93-95)的规定;进行复合地基现场载荷试验时,没有按图纸标高和垫层厚度来进行试验,造成检测状态与实际受荷状态不相符,改变了桩、土应力比;还有在复合地基中,采用深层搅拌桩、CFG 桩加固地基时,却用桩基础的低应变反射波法去检测其桩身强度等。这些都是对不同规范的不同检测标准不理解的结果。下面对有关桩基、复合地基试验的不同规范,在桩基工程检测时应注意的技术问题作一阐述。

2.2.1 现场静载荷试验

(1) 应注意对照设计图纸所采用的相应桩基础设计规范,试验结果均应为极限承载力。当采用 JGJ4-80 和 GBJ7-89 规范时,对应的单桩承载力标准值为试验极限承载力除以安全系数 2;当采用 JGJ94-94 规范时,对应的单桩承载力设计值为单桩竖向极限承载力标准值除以分项抗力系数 1.6~1.75。在群桩的情况下,基桩承载力设计值还包含了桩间土承载力,应由设计人员去确定。不注意这一点,就很容易造成误判。

(2) 检测报告应注意附上检测依据(以哪个规范作依据)、试验目的(符合性抽样检验或破坏性检验)、加荷装置(锚桩横梁反力装置或压重平台反力装置)、加载方式(快速或慢速维持荷载法)、桩位平面图(标明试桩位置)、综

合柱状图(桩顶标高和桩尖持力层)、试桩、锚桩和基准桩之间距离及相应的实测 $Q \sim S$ 曲线图。

(3) 检测报告的试验结果: 单桩竖向极限承载力应注意按综合分析来确定, 而单桩竖向极限承载力标准值实测值应进行统计分析评价, 并应注意试桩是否具有整个场地代表性。

2.2.2 高应变动测检验

(1) 如上所述, 应注意图纸上所采用的相应桩基础规范。目前国内外衡量各种动测方法的可靠性和准确度时均以直接现场测定方法的对比试验为依据, 应注意收集, 并提供可靠的相同条件的动、静对比验证资料。通常高应变动测提供的实测结果应为单桩竖向极限承载力, 对于评价桩身的结构完整性, 宜用低应变动测为主。

(2) 高应变动测要得到极限承载力, 必须使桩侧土阻力和桩端土阻力得到充分发挥, 因而锤的重量应注意大于预估单桩竖向极限承载力的 1%。为保证贯入度测量精度, 宜采用精密水准仪、激光变形仪来测定。

(3) 现场实测时, 注意成桩至检测的休止时间, 应注意判断采集实测分析曲线的可靠性、准确性和提高实测分析曲线的拟合质量。

(4) 高应变动测报告, 应注意附上检测目的、日期、桩位地质柱状图、平面图, 仪器设备使用情况。每根桩的实测曲线、拟合质量系数, 模拟的静载荷——沉降曲线, 桩身阻抗变化、土阻力沿桩身分布及贯入度实测值与计算值。

2.2.3 低应变动测检测

(1) 低应变动测推算单桩承载力时, 应注意根据不同检测目的和作用, 选择不同的检测方法。我区的桩基础工程检测, 绝大多数是属于抽样性的检测, 为桩基础工程验收提供参考数据。因此采用低应变动测, 加大抽检数量, 对综合分析评价和验收整个桩基础工程都是有好处的, 故认为我区某些地方参照沿海地区, 取消低应变动测推算单桩承载力是不妥的。低应

变动测推算单桩承载力要可靠, 关键是必须有足够的本地区的可靠的承载力动、静对比验证资料, 只有这样才能确保我区的桩基础工程既达到安全, 又不致于过分的保守和浪费。

(2) 低应变动测检测桩身质量时, 应附上实测波形图。当采用反射波法时, 宜使用加速度传感器。如果判断该桩严重缩颈和断裂时, 建议不要去推算单桩承载力。而评价桩身强度等级时, 同一强度的桩身应注意混凝土的波速范围不宜太大, 最后结论应为估计的混凝土强度等级。

(3) 低应变动测既然对桩基础工程的评价验收有好处, 那么不同的检测方法和原理, 在检测数据的处理和推定时就显得尤为重要。机械阻抗法是按导纳曲线低频段确定的动刚度 K_d 除以动~静刚度测试对比系数 n 换算成静刚度, 再乘以单桩容许沉降量 (S) , 求出的是单桩竖向承载力标准值的推算值 R , 其动~静测试对比系数在 0.9~2.0 之间。而动参法是按单质点振动, 根据碰撞原理, 去求出动刚度 m , 再结合动~静测试对比调整系数, 来换算单桩竖向承载力标准值的推算值。而调整系数与仪器性能、冲击能量、桩长、桩尖持力层等多种因素有关, 应通过统计分析, 求出回归分析方程才能得到相应的调整系数, 而不应简单地套用生产厂家提供的调整系数。两种推算单桩竖向承载力标准值的检测方法, 最后确定极限承载力时, 只能乘以单一安全系数 $K=2$, 而不是分项抗力系数。

2.2.4 复合地基工程载荷试验

(1) 复合地基载荷试验的压板面积应注意按检测桩所承担的处理面积确定, 但有时地基处理设计单位在整个工程地基处理时, 布桩数量和尺寸是结合地形来布控的。如果按桩所承担的处理面积确定, 检测部门在同一个工程中, 往往会用多块不同的压板, 造成检测麻烦, 建议检测单位按地基处理设计中的置换率 m 去反推压板面积。

(下转第 118 页)

2.3 β 的取值问题

JGJ/T 93-95 规程中提到“调整系数 β 与仪器性能、冲击能量的大小以及成桩方式有关”，也须预先通过动——静实测对比加以确定。由于单桩竖向承载力标准值 R 的公式推导中，已把共性系数 0.004 纳入公式的推导过程，

即公式 $R = \frac{0.00681f_0^2 (G_p + G_c)}{K} \beta$ 中系数

0.00681 已包含共性系数 0.004。显然，该共性系数不包括“与仪器性能、冲击能量大小以及成桩方式有关”的调整系数 β ，所以将公式中的共性系数 0.004 当作调整系数 β 是错误的。通过动——静对比，经数理统计确定调整系数 β ，才能推算同工地或同地质条件的其它基桩的单桩竖向承载力。由于在 R 的计算公式中已寓含共性系数，所以 β 一般在“1”上下波动，直观

明了。另外，由于在 R 的计算公式中， K 为安全系数（宜取 2），对于已定的基桩类型， K 为定值，所以，对于桩尖下持力层承载力远大于桩侧土承载力时， β 可酌情加大。

2.4 端承桩的竖向承载力 R

由于频率法的适用范围只限于摩擦桩，所以对于桩尖支承在基岩上的端承桩，尽管用仪器可以测得一个“桩——土——岩”体系的固有频率 f_0 ，代入公式也可以计算出一个单桩承载力的具体数值，但这样的计算结果与桩实际承载力相差较大。这种情况下频率法已不适用，单桩竖向承载力 R 由桩材强度和嵌入的岩石层强度控制，可按结构规范另行核算。核算面积应是桩底的投影面积，而不是桩尖的接触表面积。

（上接第 114 页）

（2）应注意保证压板底高程与基础底面设计高程相同，压板底设中粗砂找平层，其厚度应与设计图所标注的中粗砂垫层厚度一致，否则会引起实测的压应力与实际工程中的桩土分配应力不一致，严重时会造成实际工程的不均匀沉降。

（3）复合地基承载力基本值的确定，应注意区别与桩基础载荷试验的判定方法。采用 $Q \sim S$ 曲线来判断时，应以是否有明显的比例极限出现为准，而不是出现明显的陡降起始点。采用变形来判断时，应以相对变形值来确定，而不是实测的沉降量来确定。最终评价复合地基承载力标准值时是以试验点极差不超过平均值 30% 时，取平均值为复合地基承载力标准值。某

个试点超过时，即使是大于设计的承载力标准值，仍有可能产生局部的不均匀沉降，望我区的设计和检测部门注意。

在抽查中，除了上述问题外，还存在一些检测单位的法律意识不强，正式报告没有骑缝章，审核人没有资质证书，管理制度不健全，仪器设备没有定期检定等问题，这里不再细说。仅望文中所述的问题，能引起工程技术人员重视，使桩基工程在我区能健康稳步发展。

参考文献

- 1 黄强.《桩基工程若干热点问题》.中国建材工业出版社, 1996 年
- 2 龚晓南.《复合地基》.浙江大学出版社, 1992 年