

尺寸与复合地基载荷试验的荷载板尺寸相同,然后用相对变形值确定桩间土天然地基承载力基本值。原文作者疏忽了天然地基载荷试验中用相对变形值确定地基土承载力基本值时的条件限制,即只有当压板面积为 $0.25\sim 0.50\text{ m}^2$ 时,才适用按相对变形值确定地基土承载力基本值^[1]。

其次, $S = 0.01b$ (b 为复合地基荷载板宽度)和 $S = 0.02b$ (b 为天然地基压板宽度)是有可能相等的。以直径 500 mm 的水泥搅拌桩为例,面积置换率为 20% 时,可用 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 荷载板进行单桩复合地基试验,取沉降 $S = 0.01b = 10\text{ mm}$ 对应的承载力为复合地基承载力基本值。桩间土可用 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} = 0.25\text{ m}^2$ 的压板进行试验,取沉降 $S = 0.02b = 10\text{ mm}$ 对应的承载力为天然地基承载力基本值。这时,二者取用的就是相同沉降对应的桩间土承载力。如果用 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 的压板作桩间土载荷试验,还按相对变形值取沉降 $S = 0.02b = 20\text{ mm}$ 对应的承载力为天然地基承载力基本值,这显然是不正确的。其实,桩间土承载力应该这样得出:当复合地基承载力按相对变形值确定时,由 $S = (0.004\sim 0.01)b$ (b 为复合地基试验的荷载板宽度)得出的沉降值对应到桩间土载荷试验(荷载板面积不受 $0.25\sim 0.5\text{ m}^2$ 的限制)确定的荷载沉降曲线上,从而得出桩间土的承载力。

(2)对于原文2.2中提出的“按照 $S = (0.004\sim 0.01)b$ 确定复合地基承载力的标准,对同一根桩,如果采用不同尺寸的荷载板,则复合地基承载力标准值对应的桩顶反力是不同的,荷载板尺寸越大,使用的单桩承载力越高,反之当桩距越小,即荷载板尺寸越小,使用的单桩承载力越小。”原文认为这造成单桩安全度的不明确,是完全不合理的。其实,对同一根桩,这并不矛盾。

首先,荷载板尺寸越大,说明复合地基的桩距越大,这时,桩的承载力越能充分发挥。当桩距大到一定程度时,桩进入极

限状态,其极限承载力也发挥出来,这就类似于塑性支承桩的概念,这不存在合理不合理的问题,只是设计理念上的差别造成单桩承载力安全度上的不同。而“荷载板尺寸越小,使用的单桩承载力就越小”,这只能说明是设计上的保守或浪费。因为荷载板的尺寸大小是由一根桩所承担的面积确定的。同一个工程,桩距确定以后,荷载板尺寸也就相应确定了,而不可以随心所欲的选择荷载板的尺寸。

其次,在实际工程中,作复合地基载荷试验一般有两种情况。一是施工完工后的检测性试验,这时,一般要求最大加荷为复合地基设计承载力标准值的两倍,而很少加荷至破坏,这时虽然单桩的安全度不明确,但复合地基的安全度还是比较明确的,其安全系数大于 2 。二是工程大面积施工前的试验桩检测,目的是为设计提供依据,这时一般要求复合地基要加荷至破坏,这种情况下,复合地基的安全度就确定了,而单桩的安全度也较容易确定。此外,笔者认为,复合地基作为一个整体,存在着桩、土相互影响,从应力方面讲,桩间土的表面应力在桩侧土中产生的附加应力,使桩身受到一个正向压力增量,导致桩的侧阻力增加。桩间土表面应力在桩端产生的附加应力增量,形成桩端边载效应,减小主应力差,增加桩的端阻力。从应变方面讲,桩间土的表面应力使桩侧土产生沉降,减小了桩、土沉降差,从而有可能使桩侧阻力及桩端阻力减小。同时,桩的沉降及桩侧、桩端的应力扩散必然拉动桩间土的变形及应力变化,故不能割裂地看桩、土的承载力或安全度问题,而应该将其作为一个整体来研究。

以上几点看法提出供大家交流探讨,欢迎批评指正。

参考文献:

- [1] GBJ 7-89, 建筑地基基础设计规范[S].

水泥搅拌桩复合地基承载力与载荷试验关系的几个问题 ——兼答赵占山先生

郑刚

(天津大学 建筑工程学院土木工程系,天津 300072)

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)03-0403-02

作者简介: 郑刚(1967-),男,贵阳人,博士,副教授,天津大学土木工程系副主任。从事岩土工程教学与科研工作。

感谢赵占山同志对“水泥搅拌桩复合地基承载力辨析”一文(以下简称“原文”)的关注与讨论。讨论主要针对了原文中涉及的水泥搅拌桩复合地基载荷试验的几个问题。下面结合讨论对原文中根据相对变形 S/b 确定桩间土承载力的问题和荷载板宽度对复合地基承载力确定的影响分析的质疑,对这些问题作进一步分析。^{*}

(1) 桩间土承载力确定

规范 JGJ 79-91 规定,水泥搅拌桩复合地基承载力标准值应通过现场复合地基载荷试验确定^[1]。规范 GBJ 50007-2002 进一步规定,复合地基承载力特征值可通过现场复合地基载荷试验确定,也可用增强体和其周围土的载荷试验结果结合经验确定^[2]。这就带来一个问题,即采用复合地基载荷试验与采用

增强体和其周围土的载荷试验这两种方法确定的复合地基承载力的差异性。原文中将天然地基载荷试验采用 $S/b = 0.02$ 和复合地基载荷试验采用 $S/b = 0.01$ 时对应的土承载力进行对比,这是考虑到不同的相对变形对应的土反力是不同的。当采用复合地基承载力经验公式(见原文式(1))确定复合地基承载力时,该式中所指天然地基承载力显然应相应于 $S/b = 0.02$ (当采用载荷试验确定时)。忽略桩的影响,在相同荷载板宽度时,复合地基载荷试验 $S/b = 0.01$ 对应的土反力显然小于天然地基 $S/b = 0.02$ 时的土反力。当天然地基载荷试验荷载板尺寸小于复合地基载荷试验荷载板时,如讨论中的 0.25

* 收稿日期: 2001-12-24

~ 0.5 m², 其宽度相当于 0.5~ 0.707 m (方形), 对不同宽度基础沉降 S 的观测结果与试验资料归纳表明^[3], 对均质土, 当基础宽度 b 在 0.5~ 3 m 时, S/b 大体符合弹性理论的关系, 见图 1。即不同宽度基础在相同荷载下其 S/b 大致相同^[4]。

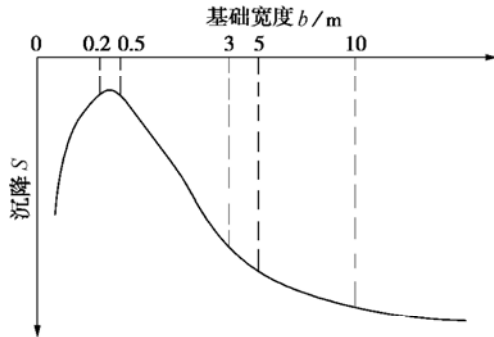


图 1 基础底板宽度对地基沉降的影响

Fig. 1 Effect of width of foundation slab on settlement

根据上述结论可大体推断, 均质土上宽度为 1~ 2 m 的载荷板 (常用于复合地基载荷试验) 与宽度为 0.5~ 0.707 m 的载荷板, 相同压力下其 S/b 大体相同。由此, 忽略桩的影响, 原文将复合地基载荷试验的载荷板下土反力与天然地基载荷试验载荷板下土反力根据 S/b 进行比较是可行的。顺便指出, 讨论中认为 1 m 宽度载荷板对应 $S/b = 0.01$ 和 0.5 m 宽度载荷板对应 $S/b = 0.02$ 在相等沉降 10 mm 时土反力相等, 对应的承载力为天然地基承载力, 这个结论没有注意载荷板宽度对沉降的影响, 因此其建议的桩间土承载力取法是错误的。

(2) 载荷板宽度对复合地基承载力的影响

规范 JGJ 79- 91 条文说明指出, 考虑到国外对天然地基土载荷试验多数按控制变形的方法确定承载力基本值的趋向, 建议主要按规定的沉降比 (即相对变形 S/b) 确定复合地基承载力基本值^[1]。但现在水泥搅拌桩已经向长桩和超长桩发展, 当桩长超过其单桩有效长度时, 以及进入硬持力层的短桩, 单桩承载力一般受桩身强度控制, 而超软土中的短桩, 笔者进行的有限元计算表明, 桩土之间在全长均可能发生桩土相对滑移, 单桩承载力可能受沉降控制。因此, 进行单桩复合地基载荷试验时, 就不能不考虑单桩的破坏模式。试看如下实例。

图 2 是近期笔者搜集到的两根温州某水厂超软土中的超长水泥搅拌桩的单桩载荷试验 $Q-S$ 曲线, 桩长 18 m, 桩身全长取芯试验表明加固效果较好。在两根桩加荷至 160 kN 后 $Q-S$ 曲线均发生了陡降, 卸荷后几乎无回弹量, 桩身在浅部压坏。# 1 桩和 # 2 桩破坏时对应的桩顶沉降分别为 18.24 mm 和 7.32 mm。

现假设采用上述搅拌桩加固软土地基, 桩距 1.5 m, 则应采用 1.5 m × 1.5 m 载荷板进行单桩复合地基载荷试验。如取 $S/b = 0.01$ 对应的荷载作为复合地基承载力标准值, 则对应的桩顶沉降为 15 mm。由于该载荷板的影响深度相对于桩长来说很浅, 远不能达到桩端, 载荷板在土中产生的应力不能使桩产生整体沉降, 而且, 由于桩侧土为超软土, 载荷板下土反力在土中增加的应力对桩的侧向约束很小, 因此, 可以认为在 15 mm 的桩顶沉降下, # 2 桩的桩身早已被压坏, # 1 桩的桩身接近破坏。

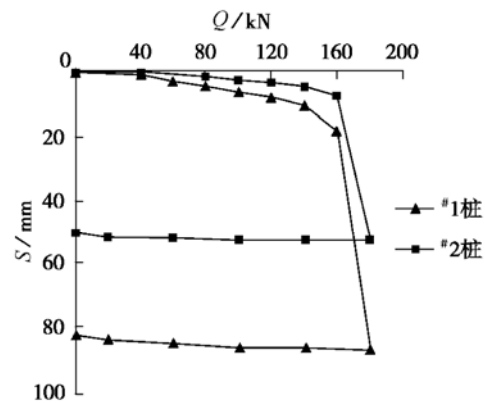


图 2 温州某工程单桩 $Q-S$ 曲线

Fig. 2 Load-settlement curves of cement treated columns in Wenzhou

讨论中认为, 进行载荷试验时, 载荷板尺寸越大, 对应复合地基桩距越大, 桩的承载力越能发挥, 当桩距大到一定程度时, 桩进入极限状态, 类似塑性支承桩的概念。笔者认为, 这个观点忽略了水泥搅拌桩与刚性桩的破坏模式的区别。所谓塑性支承桩应是指摩擦型刚性桩达到极限承载力后, 对桩台系统继续加载, 桩虽然不能吸收更多的荷载, 但是却仍能有效地继续承担其已承担的荷载 (不考虑达到极限承载力后的软化)。对水泥搅拌桩, 就上述两根桩而言, 在达到单桩极限承载力后桩身已发生强度破坏, 已几乎完全失去承载能力, 如对桩台系统继续加载时, 桩不但不能继续承担荷载, 由于桩身压坏, 其原承担的荷载也将转移到土上。只有当单桩极限承载力由沉降控制的水泥搅拌桩, 如超软土中的短桩, 才可能出现塑性支承的情况。

最后应指出, 实际建筑物基础下, 基础宽度相对于载荷板较大, 由于基础、桩、土三者相互作用的影响, 情况要发生如讨论中所述的一些变化, 但正如常规钢筋混凝土桩基础一样, 必须保证群桩中单桩在平均桩顶荷载作用下具有足够的安全度, 即使群桩整体承载力满足要求。当然, 对疏桩基础, 单桩可能在极限承载力下工作 (即所谓塑性支承桩^[5]), 但也应保证在极限承载力状态下桩身强度有足够安全度以及桩土总体承载力的安全度。

正如规范 JGJ 79- 91 条文说明中所指出, 目前国内外还没有一个统一的有关在复合地基上进行载荷试验的规程, 因此, 针对水泥搅拌桩单桩的破坏模式, 对水泥搅拌桩复合地基载荷试验进行研究是必要的。感谢赵占山同志对原文的讨论, 这样的讨论对于提高对复合地基载荷试验的认识是非常有益的。

参考文献:

- [1] JGJ 79- 91. 建筑地基处理技术规范 (98 年版) [S].
- [2] GBJ 50007- 2002. 建筑地基基础设计规范 [S].
- [3] 宰金珉, 宰金璋. 高层建筑基础结构分析与设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [4] 杨岱光. 地基及基础 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [5] 宰金珉. 塑性支承桩——卸荷减沉桩的概念及其工程应用 [J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 273- 278.