

水泥搅拌桩复合地基承载力的试验确定

马克生 梁仁旺 白晓红

(太原理工大学土木工程系 太原 030024)

摘要 能否正确合理地确定水泥搅拌桩复合地基承载力是确保其安全性的一个重要问题。对文献中见到的通过静力载荷试验确定复合地基承载力的方法进行了分析探讨,在此基础上对在工程中如何通过静力载荷试验确定水泥搅拌桩复合地基承载力提出了一些建议:对试桩作单桩和复合地基静力载荷试验;对工程桩只作复合地基静力载荷试验。

关键词 土力学, 复合地基, 承载力, 静力载荷试验

分类号 TU 472

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2004)15-2652-03

DETERMINATION OF BEARING CAPACITY OF DEEP CEMENT MIXING COMPOSITE FOUNDATION BY TEST

Ma Kesheng, Liang Renwang, Bai Xiaohong

(Department of Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024 China)

Abstract It is important to reasonably determine the bearing capacity of deep cement mixing composite foundation for the safety of building. The existing methods for bearing capacity determination of deep cement mixing composite foundation by static load test are discussed in the paper. Some valuable advices are proposed based on the discussion on both static load tests of single pile and composite foundation. The static load tests of both single pile and composite foundation should be made for testing pile, but only static load tests of composite foundation made for engineering piles.

Key words soil mechanics, deep cement mixing composite foundation, bearing capacity, static load test

1 引言

水泥搅拌桩是利用深层搅拌机械将水泥浆或水泥粉输送到地基深处与软土强制搅拌,利用与软土间的物理化学反应,使软土硬结为具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土。水泥搅拌桩与桩间土共同承担上部结构传来的载荷,形成复合地基。这种地基处理技术具有设备简单、操作方便、质量可靠、施工速度快、成本低、无污染、无振动以及对周围环境无不良影响等优点,尤其适用于当前对环

境问题日益重视的城市工程建设,已经成为国内多层建筑地基处理技术中应用最为广泛的技术之一,取得了良好社会效益。广大工程技术人员针对这项技术在理论和工程应用方面已经发表了大量的论文,取得了很大的发展。但由于问题的复杂性,目前无论是设计计算理论,还是质量检测技术都远远落后于工程实践的发展,不能满足工程建设的要求。其中,质量检测是确保工程安全性的重要环节,对此进行分析研究对促进水泥搅拌桩复合地基的进一步发展有重要的现实意义,然而文献中关于这方面的报道却很少。本文对当前的水泥搅拌桩复

2003年1月9日收到初稿,2003年2月27日收到修改稿。

作者 马克生 简介:男,33岁,博士,1994年毕业于太原工业大学工民建专业,现任副教授,主要从事岩土工程方面的教学与科研工作。E-mail: mkxing@163.com。

合地基承载力的试验确定进行了分析探讨, 并对存在的问题进行了分析。

2 复合地基承载力试验方法存在的问题

现在公认确定复合地基承载力最真实可靠的方法是现场静力载荷试验。文[1]中规定在满足终止加荷条件时, 水泥搅拌桩复合地基承载力基本值可以按照如下标准确定:

(1) 当 $Q-S$ 曲线上有明显的比例极限时, 可取该比例极限载荷所对应的载荷;

(2) 当极限载荷能确定, 而其值又小于对应比例极限载荷值的 1.5 倍时, 可取极限载荷的一半;

(3) 按相对变形值确定: 可取 S/b 或 $S/d = 0.004 \sim 0.01$ 所对应的载荷。

按照上述标准确定是有一定缺点的^[2]。如按相对变形确定时, 对于桩间土而言, 由于天然地基承载力基本值对应的沉降为 $0.02b$, 使得复合地基载荷试验中桩间土的承载力发挥不出来。而对于桩顶反力, 由于复合地基载荷试验是根据桩距(一根桩承担的处理面积)来确定载荷板的宽度 b 的, 因此, 如果采用不同尺寸的载荷板, 沉降就会不同, 对应的桩顶反力也是不同的。然而按桩来计算单桩承载力标准值(规范经验公式亦如此), 而且此承载力标准值应该是明确的, 但在载荷试验中却变化了。使用的单桩承载力与其极限承载力相比, 其相对大小是未知的, 即其安全度是不明确的。如果发生承载力不满足设计要求的时候, 原因究竟是施工责任、设计责任还是试验过程中桩间土承载力发挥不出来, 不易查明。但它也有一个非常大的优点, 即试验结果直接与图纸设计要求对应, 具有强大的说服力和客观性。在评判复合地基承载力是否合格这个问题上无疑是最有说服力和权威性的。

文[2]建议水泥搅拌桩复合地基静力载荷试验应类似刚性桩, 试验方法应该考虑单桩达到极限承载力后的破坏形式:

(1) 对于长桩(桩长大于 6 m, 软土中大于 8 m)和桩端进入硬持力层的短桩, 不宜进行复合地基试验, 应进行单桩静力载荷试验, 主要根据材料强度确定单桩承载力极限值, 桩体压坏时载荷-沉降曲线出现陡降段。

(2) 对于短桩, 如无较好桩端持力层, 单桩承载力一般由沉降控制, 置换率低时宜进行单桩试验, 置换率高时采用天然地基承载力判定标准复合地基

承载力(载荷板尺寸按单桩处理面积确定)。例如, 无法判定极限承载力时, 可取 $S/b = 0.015 \sim 0.020$ 确定承载力基本值; 当极限载荷可以确定, 而其值又小于对应比例极限载荷值的 1.5 倍时, 可取极限载荷的一半。

由单桩静力载荷试验得到单桩承载力后, 可利用下式推算复合地基承载力, 即

$$f_{sp, k} = m \frac{R_k}{A_p} f_{p, k} + \beta(1-m)f_{s, k} \quad (1)$$

式中: β 为桩间土承载力折减系数, 建议取 $0 \sim 0.5$ 和 $0.5 \sim 1.0$, 并根据建筑物预估沉降量大小分别取高值或低值。

然而这种方法也是有一定缺点的。首先, 试验前判断单桩达到极限承载力后的破坏形式就有一定的困难, 设计时遵循的原则一般是尽量使桩身材料和桩周土提供的承载力接近, 这种情况下应该判定哪种破坏模式呢? 其次, 式(1)中 β 的影响因素很多, 不易确定, 不同的人差异可能很大, 因此, 最终推算出的复合地基承载力的安全度并不明确。最重要的是设计图纸一般要求的是复合地基承载力, 这种方法却是通过经验计算公式间接计算确定, 这样的计算结果有多少说服力呢? 另外, 对于复合地基极限承载力而言, 尽管桩顶反力与桩距无关, 可是桩间土的发挥度却会发生变化, 这是因为如果不考虑单桩对土承载力的影响, 桩顶反力和土体反力达到极限值所需要的沉降与载荷板尺寸的关系不一样。

总体看来, 无论单桩静力载荷试验还是复合地基静力载荷试验都按照规范进行比较合理。

3 试验确定复合地基承载力的目的与建议

在工程建设中进行复合地基试验的目的不尽相同^[3~15], 一种情况是对试桩进行试验确定复合地基极限承载力, 目的是为设计方案提供试验依据, 这是在当地缺乏工程经验的情况下才进行的。如果结果满足并与设计预期的性能指标一致, 则按预定方案进行工程桩的施工, 否则若不满足设计要求, 或比设计要求超过很多, 则根据情况可能会修改设计方案。另外一种情况是针对施工完成后的工程桩进行试验, 其目的是检验工程桩的性能能否达到设计要求, 如果结果达到设计预期的性能指标, 则按预定方案进行下一步的施工, 否则要根据情况进行补

桩,或做一些其他相应的补救措施,解决复合地基承载力不足的问题。因此,可依据不同目的采用不同方法确定复合地基的承载力。

3.1 单桩和单桩复合地基静力载荷试验比较

由水泥搅拌桩的施工工艺可知,该桩属于一种非挤土桩,桩间土承载力大小与施工质量无关,可以根据地质勘察报告确定,桩身本身质量则与施工质量密切相关。因此与单桩复合地基静力载荷试验相比,单桩静力载荷试验更能够准确地反映问题所在。而单桩复合地基静力载荷试验可直接得出复合地基承载力,便于客观地与图纸要求的复合地基承载力相比较,从而令各方信服地作出是否能满足设计要求的结论。由于单桩复合地基静力载荷试验结果涉及桩与桩间土的共同作用,使得试验结果分析起来比较困难。但如果把二者结合起来,则可更加深入地分析复合地基的承载能力。

3.2 试桩复合地基承载力的确定

这种情况在工程中遇到的较少,由于试桩复合地基静力载荷试验是为最终确定设计方案并为确定设计计算参数和施工工艺服务的。因此,试验要求较高,单桩和复合地基静力载荷试验都应该进行,前者只反映桩承载能力,后者反映了桩土共同作用下复合地基的承载能力,将二者结合起来便于更为深入地了解复合地基在静力载荷作用下桩间土的承载力发挥情况以及桩身本身的承载力发挥情况。对于分析设计公式中的参数确定、施工单位的施工质量、复合地基的受力机理大有好处。为了全面了解复合地基承载机理,更好地为选择确定设计方案服务,2种试验都应该进行到规范要求的终止加载条件。

3.3 工程桩复合地基承载力的确定

工程中绝大多数情况属于此类。由于只是对由按照设计要求施工的工程桩构成的复合地基的承载力是否能达到设计要求进行检验,所以,只需要进行复合地基静力载荷试验,并且试验的最大加载量可只加到设计载荷的2倍。若没有出现极限载荷,则可根据规范规定按照沉降比或比例极限确定单桩复合地基承载力。这样做虽然单桩承载力的安全度不明确,但复合地基中的水泥搅拌桩毕竟还是以桩土共同作用的形式承担上部载荷的,复合地基承载力这个指标更能符合工程实际承载机理,即复合地基承载力的安全度显得更为重要。这种做法得出的使用载荷下单桩复合地基的安全度还是比较明确的,即安全系数大于2。而且这种做法的好处还有

事前载荷试验的最大加载量容易确定,相应试验费用和试验时间容易确定,试验内容明确简单,在工程实践中易于为各方接受。

4 结 语

通过试验确定复合地基承载力的方法合理与否对于确保既能合理有效地发挥复合地基的承载力、节约工程造价,同时又能保证工程具有足够的安全度具有重要的意义。目前,在这方面所作的系统的理论和试验研究还非常少,远远不能满足工程建设水平和质量要求迅速发展的要求。本文在这方面的工作只是初步的探索。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国行业标准编写组.地基处理技术规范(JGJ79-91)[S].北京:中国计划出版社,1992
- 2 郑刚,顾晓鲁,姜忻良.水泥搅拌桩复合地基承载力辨析[J].岩土工程学报,2000,22(4):487~489
- 3 郑刚,顾晓鲁.复合桩基设计若干问题分析[J].建筑结构学报,2000,43(5):75~79
- 4 郑刚,顾晓鲁.对刚性桩复合地基承载力检验方法的辨析[J].建筑结构学报,2001,44(1):93~96
- 5 郑刚,姜忻良,顾晓鲁.水泥搅拌桩荷载传递机理[J].土木工程学报,2002,35(5):82~86
- 6 郑刚,王长祥,顾晓鲁.软土中超长水泥搅拌桩复合地基承载力研究[J].岩土工程学报,2002,24(6):675~679
- 7 郑刚,姜忻良.水泥搅拌桩复合地基承载力研究[J].岩土力学,1999,20(3):46~50
- 8 郑刚,顾晓鲁.对水泥土桩承载力确定的几个问题的分析[J].东南大学学报,2001,31(5):62~66
- 9 李飞,刘松玉.水泥土桩复合地基承载力确定的几个问题[J].东南大学学报,1999,29(增):94~98
- 10 李宁,韩焄.复合地基中褥垫作用机理研究[J].岩土力学,2000,21(1):10~15
- 11 郑俊杰,区剑华,吴世明等.多元复合地基的理论与实践[J].岩土工程学报,2002,24(2):208~212
- 12 郑俊杰,袁内镇,张小敏.多元复合地基的承载力计算及检测方法[J].岩石力学与工程学报,2001,20(3):391~393
- 13 郑俊杰,袁内镇,刘志刚.石灰桩复合地基设计及检测方法[J].华中理工大学学报,1997,25(5):91~93
- 14 阎明礼.地基处理技术[M].北京:中国环境科学出版社,1996
- 15 段继伟,龚晓南,曾国熙.水泥搅拌桩的荷载传递规律[J].岩土工程学报,1994,16(4):1~8