

大直径复合载体夯扩桩的试验研究

王继忠 杨启安

(北京波森特岩土工程有限公司 102218)

[提要] 大直径复合载体夯扩桩采用特定的工艺增大了桩端载体计算面积,故承载力较大。通过大直径复合载体夯扩桩试验介绍了该技术的施工设备、施工工艺,提出了其承载力计算公式。

[关键词] 复合载体夯扩桩 三击贯入度 等效计算面积 承载力

Experimental Research on Large Diameter Ram-composite Piles with Composite Bearing Base /Wang Jizhong, Yang Qi'an(Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: The large diameter ram-compaction pile with composite bearing base increases the equal area of the top of the composite bearing base constructed by particular equipment, so that the bearing capacity of the pile increases. The construction equipment and craft of the technique are introduced, and the calculation formula is presented for the base of large diameter pile.

Keywords: ram-compaction piles; composite bearing base; three drive penetration; equal area; bearing capacity

市政、桥梁等土建工程中地基承载力设计值要求往往比较大,多为2 000~5 000kN,传统采用旋挖大直径混凝土灌注桩施工工艺,该工艺施工速度慢、成本高,且施工过程中产生的泥浆会对周围环境产生污染。随着复合载体夯扩桩技术的发展,如何改进传统复合载体夯扩桩施工技术,发明一种大直径、高承载力的复合载体夯扩桩的工艺是一项新的研究课题。

一、大直径复合载体夯扩桩工艺的原理

复合载体夯扩桩的承载力主要来源于桩端载体。受桩端持力层的土性和施工工艺的影响,单桩复合载体夯扩桩桩端等效计算面积不能无限增大,单桩承载力也不可能无限增大。根据施工和实践统计,普通桩径为 $\phi 410$ 的复合载体夯扩桩根据不同的加固土层其等效计算面积约 $1.5\sim 2.5\text{m}^2$,如果能将三根桩同时施工,联成一体,桩端载体的受力面积必将大大提高,桩的承载力也将相应得到较大提高。

北京波森特岩土工程公司在原有复合载体夯扩桩基础施工设备的基础上进行改进,将原来的一组主卷扬、副卷扬和护筒增加为三组,通过一个操作系统机对这三套设备同时进行操作,保证施工的同时性。该施工设备能施工三桩联体的大直径复合载体夯扩桩,其承载力可达4 000~5 000kN。下面所介绍的大直径复合载体夯扩桩指三桩联体大直径桩,其中的单桩指大直径复合载体夯扩桩中单根桩。

二、大直径复合载体夯扩桩的试验研究

为进一步了解大直径复合载体夯扩桩的受力机理与计算,检验施工设备的可操作性与高效性,北京波森

特岩土工程公司在北京市黄村老街危改工程工地进行了该工艺设备的实际操作与成桩试验。

1. 工程地质概况

该场区位于黄村老街,西侧为兴丰大街、东侧为龙河路。场区内土层的物理力学指标见表1,地下水位于地面下19.5m。试桩位于黄村危改7#楼内。

土的物理力学指标

表1

土层	厚度(m)	天然密度(g/cm ³)	孔隙比	含水量(%)	压缩模量(MPa)	承载力(kPa)
① ₂ 房渣土填土	1.7	-	-	-	-	-
①填土	1.0	1.82	0.75	17.5	9.8	-
②粉质粘土	2.5	1.94	0.70	23.5	5.7	110
③粘质粉土	2.7	2.0	0.62	20.0	14.0	200
③ ₁ 粉质粘土	0.7	2.0	0.63	20.6	8.2	160
④细砂	4.9	-	-	-	35.0	300
⑤卵石	>5.2	-	-	-	75.0	360

2. 施工工艺与施工参数

按常规复合载体夯扩的工艺进行施工,其施工工艺为:1)分别在1#,2#,3#桩位进行成孔,由于场地锤击成孔较为困难,施工时采用螺旋钻成孔到设计标高;2)通过反压将护筒沉到设计标高。为避免桩底载体标高不一致造成载体间的上下挤压,将三护筒顶部焊接牢固;3)在三个护筒内同时填料、夯击,三击贯入度控制在10cm以内;4)在三个护筒内填入干硬性混凝土(塌落度为10~16cm),同时夯击,直至锤出护筒2~5cm,重复进行直至填满 0.9m^3 的干硬性混凝土,冬天干硬性混凝土的强度发展较慢,干硬性混凝土施工时

紧密结合,桩端采用3cm的钢板对管桩底部进行焊接密封,并对桩顶进行夯击,为防止桩顶破坏,采用低落距锤击。

三桩联体中各单独桩体的施工控制参数见表2。

表2 三桩联体施工控制参数

桩号	护筒 (m)	桩径 (mm)	桩长 (m)	三击 (cm)	填砖 (块)	干硬性混凝土 (m ³)
1#	10.0	400	10.0	8	108	0.3
2#	10.0	400	10.0	8	105	0.3
3#	10.0	400	10.0	9	105	0.3

3. 现场试验

分别对大直径复合载体夯扩桩进行载荷试验和低应变完整性检测,以确定大直径复合载体夯扩桩的受力情况。为避免应力集中,在桩顶施加一刚度较大的混凝土板。静载荷试验采用堆载法,用现场钢筋作为堆载配重,由堆载、主次梁、高压油泵和千斤顶组成反力装置进行加载,由位移传感器测读桩的沉降,加载控制由JGQ静载荷测试仪自动完成。采用慢速维持荷载法进行控制试验,载荷试验Q-s曲线见图1。低应变完整性检测采用反射波法,通过反射波信号的强弱检测桩身的质量和桩身与载体的结合情况。低应变完整性检测曲线见图2。

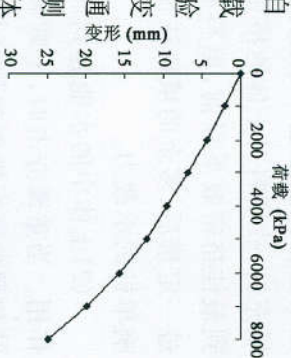


图1 载荷试验Q-s曲线

4. 试验结果分析

由于现场加载用钢筋有限,故试验时最终加载为8000kN。由Q-s曲线可见,当加载到8000kN时,变形为24.65mm,桩并未达到极限破坏,极限承载力大于8000kN,故大直径单桩承载力特征值大于4000kN。检测曲线表明,由于预应力管桩底部封底的钢板采用点焊与管桩预留件连接,有空隙,故桩底呈现同相反射。

在单独施工单根桩时,由于单根桩周围土体强度

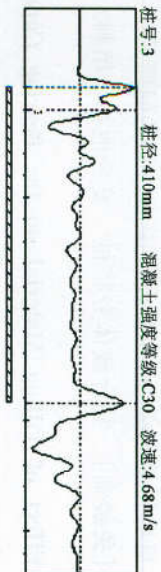


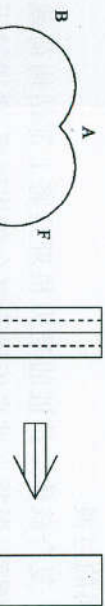
图2 低应变完整性检测曲线

桩身传递到联体的复合载体,再扩散到深层持力层。故三桩联体的大直径复合载体夯扩桩计算与普通复合载体夯扩桩的计算一样,可以等效为一扩展基础,它通过特定的设备在深层土体中形成一个大型独立基础。

大直径复合载体夯扩桩计算简图见图4,其施工护筒长10.0m,其等效基础计算深度为12.0m,桩端位于细砂层,承载力为300kPa,根据《建筑地基基础设计规范》对桩端土体进行深度修正:

$$\begin{aligned}
 f_a &= f + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \\
 &= 300 + 3.0 \times 19.2 \times 9.5 \\
 &= 847 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

大直径复合载体夯扩单桩承载力 R_a 为桩端地基土承载力与等效计算面积的乘积,故可以反算出桩端等效计算面积 $A'_e = 4.73 \text{ m}^2$ 。对比发现:三桩联体大直径复合载体夯扩桩虽然由三个单根复合载体夯扩桩组成,但其等效计算面积并非3根单独施工的复合载体夯扩桩等效计算面积 A_e 之和。桩径为410mm,桩长为12.0m,三击贯入度为9cm的普通复合载体夯扩桩等效计算面积 $A_e = 1.9 \text{ m}^2$, A'_e 比3倍 A_e 略小。单独施工复合载体夯扩桩时,由于周围没有约束,填料多,载体基础为圆形。而大直径复合载体夯扩桩,由于三



距与载体埋深选择最佳的填料量。

四、不同土性中填料的控制

土的物理力学参数中各指标对填料的影响都较大,特别是含水量和孔隙率。相同的土层中,相同的三击贯入度下,不同土体含水量和孔隙率将直接导致填料量的不同。

一般来说,要得到相同的三击贯入度,当土层含水量较低时,填料量较少;当土层含水量较高时,填料量较多。这是因为含水量较低时,土体在重锤的夯击作用下,固结速度很快,土中超孔隙水压力的消散很快,土体的强度能够很快地提高,因此在很短的时间内就能够达到设计要求的三击贯入度。当含水量较高时,土体在重锤的夯击作用下,土中超孔隙水压力的消散很慢,加固土体中水压力的增加使土体的固结速度变慢,因此需要较多的填料量才能够达到设计要求的三击贯入度。经过一定的时间,当土体固结后,加固土体的强度得到恢复,复合载体夯扩桩的承载能力将会逐渐提高。

对于粘粒含量较大的土体,当土体的含水量达到土体的液限时,土体在重锤的反复夯击作用下,土体的结构容易破坏,变成液化土层或橡皮土,即使填再多的填充料,也无法满足设计要求的三击贯入度。在这种情况下,应当控制填料量和夯击能量,以减少对原状土体的扰动。通过大量的试验对比,在这类土中复合载体夯扩桩应该以填料量和干硬性混凝土的体积作为主要控制指标,以三击贯入度作为辅助控制指标,设计之前必须分析同类地质条件下复合载体夯扩桩载荷试验的数据,作为设计参考。

五、填料的成份

复合载体夯扩桩的主要特点是对土体的挤密加固,填料的目的是填充土体间空隙,增加挤密效果。挤

密效果控制的参数为三击贯入度,因此填料的成份只要不影响土体的加固效果就可以采用。一般情况下,建筑垃圾、砖、碎石、钢渣、甚至砂和土均可利用,因此可以就地取材、利用废物,这也是复合载体夯扩桩的一个显著特点。

填料并不是复合载体夯扩桩的必须工序,当土体中含水量较小时,特别是在砂层和卵石层等粗颗粒土体中,即使以原状土体作为填料甚至不填料,在成孔过程中,由于重锤的竖向夯击,使得桩孔中土体向下挤密填充,在护筒沉至设计标高后,三击贯入度只要满足设计要求,即可以直接夯填干硬性混凝土。

不论何种填料成份,在重锤的夯击作用下,均会全部或部分变成粉末状,虽然形状有所改变,但不会影响到填料的填充和挤密作用,由于填充料均为无机物,在地下水及化学物质的作用下,也不会产生腐蚀现象,体积也不会发生变化,因此,复合载体的强度不会因为材料而改变。

六、结语

复合载体是复合载体夯扩桩承载能力的重要保证,只有形成满足设计承载力要求的复合载体,上部荷载才能有效地传递到承载力高的持力层。填料夯击是形成复合载体的关键,是复合载体承载力的重要保证。实际设计施工时应根据土层的特性、结合桩的布置与试桩情况,合理确定施工填料。填料的成份可因地制宜,不限制具体的填料成份。

参 考 文 献

1. 复合载体夯扩桩试桩研究(内部资料).北京波森特岩土工程公司,2004.
2. 复合载体夯扩桩设计规程.中国建筑工业出版社,2001.
3. 王继忠等.复合载体夯扩桩的应用研究.施工技术,2002.

(上接第17页)

桩距离近,施工时载体相互影响,单桩载体基础不可能为圆形载体基础,为如图3所示等效基础形状,故图3中ABCDEF面积比3个单独施工的复合载体夯扩桩等效计算面积之和小。

5. 大直径复合载体夯扩桩承载力的计算

大直径复合载体夯扩桩承载力同样来源于桩端载体的等效计算面积 A'_e 。等效计算面积 A'_e 受桩端影响土体的土性、填料量、夯击能量和护筒直径等诸多因素的影响,无法准确计算。常规的复合载体夯扩桩等效计算面积已经有相当的经验,规范JGJ/T135—2001提供了参考计算面积。可以借鉴常规复合载体夯扩桩的等效计算面积,采用如下公式对大直径复合载体夯扩桩单桩承载力进行计算:

$$R_a = 3\alpha q_{pa} A_e$$

式中: A_e 为常规直径为400mm的等效桩端计算面积(m^2); α 为受载体相互影响,桩端等效计算面积的折减系数,须根据大量的试验数据统计确定。

三、结语

(1) 大直径复合载体夯扩桩可提高桩的承载力,单桩最大承载力可达4 000~5 000kN。

(2) 设计计算时,大直径复合载体夯扩桩的等效计算面积可以参考常规的复合载体夯扩桩的 A_e ,并乘以 3α 系数进行设计计算。

参 考 文 献

1. 建筑桩基技术规范.中国建筑工业出版社,2001.
2. 刘金砺.桩基计算手册.中国建筑工业出版社,1999.
3. 建筑地基基础设计规范.中国建筑工业出版社,2001.
4. 桩基工程手册编写委员会.桩基工程手册.中国建筑工业出版社,1995.