

摩擦桩在卵石地层承载力的影响因素及检测方法探讨

熊炜

上海基础工程集团有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8517

[摘 要] 摩擦桩竖向静载检测一般采用堆载法、自平衡法、锚桩抗拔法、大应变法。本文通过对青城大桥主墩桩基的承载力检测，分析摩擦桩承载力影响的主要因素，包括成孔的设备、成孔的工艺等，并通过不同的承载力检测方法进行论证。

[关键词] 灌注桩 侧摩阻力 侧摩阻抗拔系数 静载试验

Discussion on the influencing factors and detection methods of the bearing capacity of friction piles in pebble formations

Xiong Wei

Shanghai Basic Engineering Group Co., Ltd.

[Abstract] The vertical static load detection of friction piles generally adopts the stacking method, self balancing method, anchor pile pull-out method, and large strain method. This article analyzes the main factors affecting the bearing capacity of friction piles by testing the bearing capacity of the main pier pile foundation of Qingcheng Bridge, including the drilling equipment and drilling process, and demonstrates them through different bearing capacity testing methods.

[Key words] side friction resistance, side friction impedance, pull-out coefficient, static load test of cast-in-place pile

引言

钻孔灌注桩因其桩径大、单桩承载力高，施工质量好且可控，桩基检测方法成熟，广泛应用于大型桥梁基础建设中。摩擦性钻孔灌注桩在施工过程中，成孔质量及桩底沉渣的控制，对桩基竖向承载力的影响最为直接，本文采用倒叙着重从 3 根桩基的承载力检测情况进行分析，总结并分析施工过程中对桩基承载力的影响因素。

1 工程概况

本文以都江堰青城大桥为实例，青城大桥采用原址重建，新建青城大桥为一跨 336m 下承式提篮钢拱桥。基础采用钻孔灌注桩基础，桥址地质以密实卵石层为主。单侧主墩设置 8 根 $\phi 2.5\text{m}$ 桩基，桥台跨中设置 $\phi 1.5\text{m}$ 辅桩。本工程对主墩 PM01-2、PM02-7 $\phi 2.5\text{m}$ 桩以及 Pm01-8 $\phi 1.5\text{m}$ 桩分别进行了竖向静载试验。

表 1 地层分布情况

Pm01 上游地层分布情况			Pm01 下游地层分布情况		
高程	地层分布	层厚 (m)	高程	地层分布	层厚 (m)
718.38~710.28	素填土①-1	8.1	718.28~711.28	素填土①-1	7
710.28~707.98	稍密卵石③-1	2.3	711.28~709.28	稍密卵石③-1	2
707.98~705.58	中密卵石③-2	2.4	709.28~707.28	中密卵石③-2	2
705.58~653.38	密实卵石③-4	52.2	707.28~653.28	密实卵石③-4	54

2 桩基竖向静载试验

根据设计文件,主墩 $\phi 2.5\text{m}$ 桩基设计承载力为30500kN,最大静载为61000kN, $\phi 1.5\text{m}$ 桩基设计承载力为12000kN,最大静载为24000kN。因 $\phi 2.5\text{m}$ 桩基最大静载达到61000kN,堆载法操作难度较大,场地不具备锚桩设置条件,故采用自平衡法对 $\phi 2.5\text{m}$ 桩基进行竖向静载试验。

2.1 自平衡法试验($\phi 2.5\text{m}$ 桩基)

首先对Pm02-7桩进行自平衡试验,试验参照《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738-2009),荷载箱埋设深度在桩底以上6m处,荷载箱上部桩基负摩阻系数依据《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738-2009)按黏土、粉土取0.8计算。本次试验最大加载值取值为27450kN(设计最大桩顶加载值61000kN,计入上段桩身抗拔系数 $a=0.8$),加载分为9级,第一级加载量为最大加载值的1/5,其余每级加载量为最大加载值的1/10,荷载箱上下各设置两个测控点(共4个测控点)监测桩体位移。各级加载值详见表2。

表2 各级加载详表

加载分级	加载值(kN)	加载分级	加载值(kN)
0	0	5	16470
1	5490	6	19215
2	8235	7	21960
3	10980	8	24705
4	13725	9	27450

试验中发现,在加载第3级(10980kN)时,位移始终不满足《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738-2009)判稳定条件,直至荷载箱千斤顶满行程,试验终止。终止时,上段桩身最大上拔量为7.2cm,下段桩身最大沉降量为4.36cm,最大不均匀沉降量为3.18mm。并且上节桩桩体发生扭转产生水平位移,对土体产生较大扰动,按《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738-2009)折减计算,试验终止时桩基承载力达到29600kN,仅约为地勘设计的48%。

对试验数据进行分析:

1) 上节桩负摩阻系数参照《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738-2009)卵石地层应按砂土取0.7,同步参照《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403-2017)全国范围内碎石土参照砂土均值0.58。根据上游2km处鲤鱼沱大桥科研情况(见《桩侧桩端后注浆技术在冲孔灌注桩的应用实测研究》),在都江堰金马河畔这种卵石夹砂且存在漂石的地质条件下,桩侧抗拔系数仅为侧摩阻力1/3左右。

2) 试验过程无明显操作不当,但荷载箱上节桩体产生扭转,对上节桩土体产生扰动,试验终止不及时,应当在位移不均匀时及时停止加载。并且实验数据采集不完整,应在桩顶增加设置2个测控点,以确定桩顶位移,满足《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738-2009)中附录B等效转换方法,将自平衡法获得的两条Q-s曲线等效转换为相应传统静载试验的一条

P-s曲线,见图

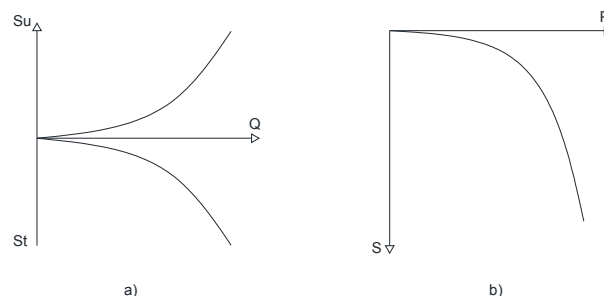


图1 自平衡法结果转换示意图

a) 自平衡法曲线 b) 等效转换曲线

3) 试验参数选取及试验终止时桩体异常,试验结论无法判定Pm02-7极限承载力。需对试验参数进行调整后再进行试验。

Pm02-7自平衡法试验未成功,在Pm01-2桩试验阶段调整荷载箱上节桩附摩阻系数为0.7(考虑安全系数储备,及主要引用规范问题,未采用《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403-2017)中附录选取类似地质0.58平均值,也未选用临近项目试验抗拔系数0.33左右)。荷载箱埋设位置为桩底以上4.2m处。试验终止条件参照《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403-2017)。试验加载分为9级,第一级加载量为最大加载值的1/5,其余每级加载量为最大加载值的1/10。

试验过程加载至第5级,通过荷载箱位移杆处监测下节桩累计沉降1.1cm,上节桩累计上拔量达到4cm,桩顶累计位移达到3.93cm。通过实验数据可见:

1) 自平衡试验荷载箱加载至第5级,上节桩累计位移达到4cm,满足规范要求终止试验;

2) 上节桩下端位移4cm,上端桩位移3.93cm,弹性变形可忽略不计;下节桩沉降稳定在1.1cm,未完全发挥端阻力。至试验终止,可计算桩基承载力的最小值,下节桩按第5级加载值,上节桩按第4级加载值进行计算。

$$3) \text{ 依据规范 } P_{ui} = \frac{Q_{ui} - W_i}{\gamma} + Q_{lui},$$

P_{ui} ——试验桩的单桩极限承载力;

Q_{ui} ——试验桩上段桩的加载极限值;

Q_{lui} ——试验桩下段桩的加载极限值;

W_i ——试验桩上部桩自重,若荷载箱处于透水层,取浮自重;

γ ——试验桩负摩阻力修正系数,取0.7

$P_{ui} = (13300 - 2496) \text{ kN} / 0.7 + 15960 \text{ kN} = 31394 \text{ kN}$,未达到设计值61000kN。

按试验数据可知上节桩极限侧摩阻力为(13300-2496)kN/0.7=15434kN,下节桩端阻力尚未完全发挥端阻力且最小值为15960kN,因此Pm01-2桩自平衡法检测数据可知该桩实际承载力 $P_{实} \geq P_{ui} = 31394 \text{ kN}$ 。

4)、通过 Pm01-2 桩自平衡试验,发现试验终止的数据与设计地勘值差距较大,但是负摩阻系数对试验的结果很敏感。同时,调整后的负摩阻系数仍然未达到上、下节桩的实际平衡点,因此负摩阻系数仅按《基桩静载试验自平衡法》(JT/T 738-2009)取 0.8 进行试验无法达到检测的需求,需同时参照《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403-2017)中卵石、碎石土负摩阻系数相关附录说明,具备条件的时候应做抗拔桩试验明确各土层负摩阻系数。

2.2 桩基堆载试验(ϕ 1.5m 桩基)

通过上述 Pm02-7 和 Pm01-2 两根桩自平衡试验,均未达到检测的目的,无法得出桩基的实际承载力。因此对 ϕ 1.5 桩基进行堆载试验。Pm01-8 桩径 1.5m,桩长 30m,设计承载力 12000kN,最大静载 24000kN,堆载配重 28800kN。试验结果与设计地勘吻合,桩基实际承载力满足地勘设计承载力。

2.3 试验结论

目前,桩基承载力自平衡法检测在黏性土、粉土地域得到有效推广,对于高承载力(堆载难以实施)的桩基承载力检测得到有效验证。但是通过以上 3 次桩基承载力检测试验,在卵石地层短桩采用自平衡法检测很难得出桩基承载力的实际极限值。最大的影响因素在上节桩的负摩阻系数的取值上(决定了平衡点的选取),尤其短桩的试验结果对负摩阻系数很敏感,上述 2 次自平衡法均未测出桩基实际极限承载力,且平衡点明显产生偏差。在实施前宜采取试桩的形式进行抗拔桩的试验,确定各地层的抗拔系数。

3 施工工艺对桩基承载力的影响

3.1 卵石地层施工设备选择

在卵石地层且存在大量漂石的地质下,可选用的成孔设备主要包括旋挖钻、全套管回转钻、冲击钻。在青城大桥桥址地质条件下,旋挖钻机易卡钻,且漂石粒径最大超过 1m,旋挖钻很难处理。同时桩基为摩擦桩,优先选取冲击钻成孔。

3.2 成孔参数的影响

旋挖钻:采用旋挖钻头正循环成孔,人工造浆护壁,成孔垂直度及孔径可控。桩底沉渣易控制。在卵石-漂石含砂地层,成孔阶段人工造浆比重宜在 1.2-1.4,防止成孔期间坍孔。成孔成本高。

全套管回转钻机:全套管钻进,后取土成孔,孔壁光滑且无需泥浆护壁。桩底沉渣易控制。不适合摩擦桩成孔施工。且套管需根据桩径、桩长定加工,成孔成本非常高。

冲击钻:采用五爪冲击钻头冲击成孔,人工造浆护壁,正循环清孔,成孔垂直度及孔径可控,桩底沉渣需在清孔阶段控制。成孔成本经济,且孔壁因冲击钻头刚蹭,相对比其他设备成孔孔壁略粗糙,对摩擦桩有益。

通过成孔的工艺分析,对摩擦桩承载力检测的影响因素主要为成孔及清孔阶段泥浆比重及泥皮厚度,同时桩底沉渣厚度

也是影响承载力检测重要因素之一。在青城大桥卵石地层这种地质条件下,成孔阶段易坍孔,因此成孔阶段泥浆的比重必须较大,参照《公路桥涵施工技术规范》(JTGT3650-2020)控制在 1.2-1.4,清孔后泥浆比重控制在 1.1 左右,不宜超过 1.15(影响成桩质量)。泥皮厚度需满足规范要求不宜厚于 2-3mm。桩底沉渣厚度满足规范、设计要求即可。

4 结论

综上所述,青城大桥桩基采用冲击钻施工,施工阶段各参数满足规范、设计要求,承载力达到设计地勘的预期值。由此可知,在不同的地质条件,选取合适的成孔设备是成功的关键。同时控制好各项施工指标也是成败的关键。除此之外,施工阶段应控制好一清的时间和沉渣的厚度也是主要影响因素,并且应合理控制好钢筋笼、导管的下放时间,不宜过长,尤其二清的时间宜控制在 3-4 个小时左右,清孔时间过长会导致孔壁泥皮过厚,降低侧摩阻力。沉渣厚度需成孔阶段勤测,及时调整泥浆比重。青城大桥桩底沉渣厚度平均控制在 2-3cm,均在 5cm 以内,为后续堆载试验顺利完成做好了铺垫。

其次,在这种特殊地质下,应通过试桩确定各项试验参数。自平衡法在卵石地质短桩情况下失败的可能性较大。宜明确抗拔系数后再进行自平衡试验。堆载法试验结果最直观,但是受作业面限制及配重安全性的影响,不宜在大桩径高承载的桩基上使用。

[参考文献]

- [1]《公路桥涵施工技术规范》(JTGT3650-2020)中华人民共和国交通运输部 2020 年 6 月 18 日
- [2]《基桩静载试验自平衡法》(JT/T 738-2009)中华人民共和国交通运输部 2009 年 1 月 24 日
- [3]《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403-2017)中华人民共和国住房和城乡建设部 2017 年 2 月 20 日
- [4]《公路工程基桩检测技术规程》(JTGT3512-2020)中华人民共和国交通运输部 2020 年 5 月 12 日
- [5]《都江堰市青城大桥改建工程一期 工程地质勘察报告》上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司 2018 年 10 月
- [6]《都江堰市滨江新区基础设施-青城大桥改建工程一期两阶段施工图设计文件》上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司 2019 年 3 月
- [7]《建筑科学第 30 卷第 5 期》-《桩侧桩端后注浆技术在冲孔灌注桩的应用实测研究》万征 2014 年 5 月
- [8]《桩基规范杂记》-《自平衡静载试验测试曲线的简化等效转换方法——国内标准》朱建民,陈新奎 2021 年 7 月
- [9]《岩土力学》-《中美欧自平衡静载试验标准若干问题探讨》朱建明,殷开成,龚维明,谢礼飞