

越南格更 1 号桥桩基竖向抗压承载力检测

缪云^{1,2}, 谢礼飞², 殷开成³, 靖从英³

(1.江苏城市职业学院 建筑工程学院, 江苏 南京 210036; 2.南京东大自平衡桩基检测有限公司;
3.南京赛宝液压设备有限公司)

摘要: 越南胡志明市格更 1 号桥采用钻孔灌注桩基础,经方案比选后,采用 O—cell 法(自平衡法)进行竖向抗压承载力检测。对作为检测依据的国内外桩基检测规范进行了说明,并按中国 JT/T 738—2009《基桩静载试验 自平衡法》进行了现场静载试验。试验结果表明:试桩的承载力满足设计要求。对于极限承载力的确定和等效转换曲线,比较了 Ocell 法和中国方法的异同。建议当上、下段桩的位移大小差别明显时,可假定位移小者在最大荷载作用下发生陡变破坏,再按照位移相等时荷载相加的原则进行等效转换,所得结果将偏于安全、保守。

关键词: O—cell 法; 自平衡法; 承载力; 等效转换曲线

1 工程概况

格更 1 号桥(CA CAM 1 BRIDGE)位于越南胡志明市第七郡富美兴新富街,是一座全长 101 m 的 5 跨斜交桥,上跨格更河(CA CAM RIVER)。

该桥基础形式为钻孔灌注桩,平面布置见图 1,其中:A1、A2 两桥台处桩径 1 200 mm,桩长分别为 53、48 m;P1~P3 墩处桩径 1 500 mm,桩长 53 m;P4 墩处桩径 1 500 mm,桩长 51 m。

为了检验工程桩承载力是否满足设计要求,在 A2 桥台处选取了 1 根试桩 TP1 进行竖向抗压静载试验,其平面位置见图 1,主要设计参数见表 1。

表 1 试桩 TP1 设计参数

桩径/ mm	桩长/ m	桩顶标 高/m	桩底标 高/m	设计荷 载/kN	试验荷 载/kN	混凝土 等级
1 200	48	-0.3	-48.3	3 000	6 000	C30

2 地质情况与方案比选

邻近钻孔揭示的试桩 TP1 处地层分布情况见图 2。该桩在河岸边,地下水位接近地表。

由图 2 可知:桩身上部约 14 m 范围内为流塑淤泥;中部约 22 m 范围内为硬塑黏土和中密细砂,标贯击数为 10~20 击;下部约 12 m 为坚硬黏土和中密~密实细砂,标贯击数有明显波动,平均值>30 击。

在确定静载试验方案时,有堆载法、锚桩法、O—cell 法(即中国自平衡法)3 种方案可供选择。若采用堆载法,因浅表土层为性质很差的流塑淤泥(图 2),需要对一定深度范围内的地基进行加固处理,花费代价较高;若采用锚桩法,因试桩 TP1 周边没有合适的工程桩提供反力(图 1),需要另外打设锚桩,花费代价也较高;综合衡量之后,决定采用 O—cell 法(自平衡法)进行检测,以避免场地方面的不利条件。

3 试验原理

O—cell 法(自平衡法)的试验原理如图 3 所示。

该法的加载装置是一种特制的荷载箱,在成桩过程中已预埋在桩身平衡点处,故此地面上没有反力系统,对场地条件要求不高,适合该项目的试桩检测。

试验时,荷载箱将桩身分成上、下两段,利用上段桩的侧阻和自重、下段桩的侧阻和端阻互相提供反力进行加载;分别测得上、下段桩的承载力后,再计算出整桩承载力。

收稿日期:2019-04-12

基金项目:江苏省高职院校青年教师企业实践培训资助项目(编号:2018QYSJXPX004);江苏省大学生创新创业训练计划项目(编号:201814000001Y);江苏省建设系统科技项目(编号:2018ZD272)

作者简介:缪云,女,硕士,讲师.E-mail: cloudmiao@foxmail.com

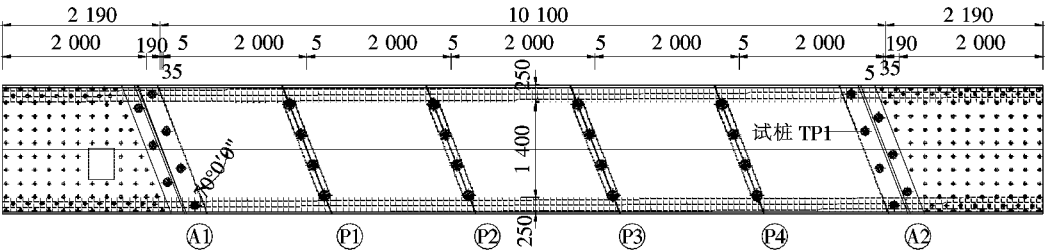


图 1 格更 1 号桥桩基础平面布置图(单位:cm)

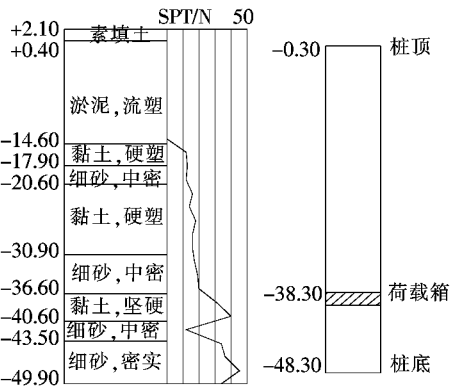


图 2 地层情况及试桩标高(单位:m)

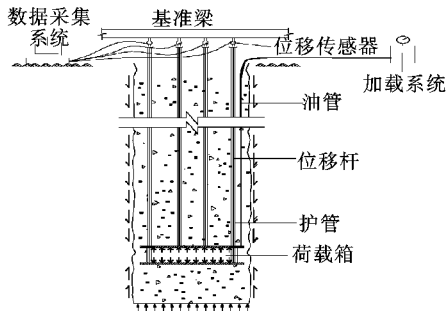


图 3 自平衡法示意图

试桩 TP1 的设计安全余量较大,经计算,将荷载箱置于桩底以上 10 m 处即可满足向上、向下各 3 000 kN 的加载要求,荷载箱位置见图 2。

4 检测方案

4.1 检测依据

试桩 TP1 的竖向抗压承载力检测,应遵循越南规范《Piles — Standard test method in situ for piles under axial compressive load》(TCVN 9393:2012,以下简称越南 TCVN 规范),该规范专门适用于轴向受压桩的承载力检测。

一般情况下,越南项目也可参考或使用其他国家的相关规范,较为常见的有美国 ASTM 标准《Standard test methods for deep foundations under static

axial compressive load》(ASTM D1143/D1143M — 07,以下简称美国 ASTM 规范)。另外,中国的桩基检测规范,如 JGJ 106—2014《建筑基桩检测技术规范》、JT/T 738—2009《基桩静载试验 自平衡法》等也可用于越南的桩基检测。

在该项目实施过程中,前期方案主要基于越南 TCVN 规范,同时参考了美国 ASTM 规范;后考虑到试桩采用 O—cell 法(自平衡法)检测,而中国已有此方面的专门规范,故修改为按中国 JT/T 738—2009《基桩静载试验 自平衡法》进行。

该文仍对前期方案进行简要介绍,以增加对越南桩基检测规范要求的了解。

4.2 基于越南规范的前期方案

试桩 TP1 前期方案的加/卸载要求见表 2。

表 2 试桩 TP1 前期方案加/卸载要求

加/卸载	荷载/kN	持荷时间/min
预加载	0	—
	200	—
	0	10
	600	≥60,位移变化 ≤0.25 mm/h 且时长 ≤120
加载	1 200	同上
	1 800	同上
	2 400	同上
	3 000	同上
	3 600	同上
	4 200	同上
	4 800	同上
	5 400	同上
	6 000	≥60,位移变化 ≤0.25 mm/h 或时长 1 440;取大者
	4 800	30
卸载	3 600	30
	2 400	30
	1 200	30
	0	30~60

(1) 试验流程

试验流程分为预加载、加载、卸载三部分。

越南 TCVN 规范对预加载有明确规定,一般可取设计荷载的 5%,主要用来检验仪器设备的工作状况等。该项目预加载值 200 kN,稍高于设计荷载的 5% (150 kN)。

预加载之后正式开始试验,荷载均分 10 级施加,其持荷时间的要求包含两项内容:① 稳定标准。位移变化 ≤ 0.25 mm/h 时认为已稳定;② 持荷时长。持荷时间不得小于 1 h,最大荷载之前每级最多 2 h,最大荷载为 24 h。

前 9 级加载时,达到稳定标准和本级时长中的任一项便可施加下一级荷载。在第 10 级最大荷载作用下,同时满足两项条件才认为满足了设计要求,可以正常卸载。

卸载均分 5 级进行,每级持荷时间 30 min,卸载至零后可延长观测时间至 60 min。

此处,位移变化 ≤ 0.25 mm/h 的稳定标准和最大荷载之前持荷 2 h 的要求,越南 TCVN 规范和美国 ASTM 规范的规定相同;最大荷载作用下持荷 24 h,越南 TCVN 规范并无此项规定,美国 ASTM 规范则有此项可供选择。

(2) 测读时间

在每级荷载作用下,按下述间隔测读位移:

① 0~30 min,每隔 10 min 测读;② 30~60 min,每隔 15 min 测读;③ 60~600 min(10 h),每隔 60 min 测读;④ >600 min(10 h),每隔 120 min 测读。

此处,位移测读时间来自越南 TCVN 规范。

(3) 终止加载条件

上、下段桩的终止加载条件有如下 6 项:① 荷载不变,位移持续增大;② 经 24 h 仍未满足位移增量 ≤ 0.25 mm/h;③ 位移值达到桩径的 10% (120 mm);④ 本级总位移不小于上级总位移的 5 倍;⑤ 加载至 6 000 kN 且位移稳定;⑥ 桩身材料破坏。

此处,终止加载条件并非完全对应越南 TCVN 规范或美国 ASTM 规范的条款,而是设计方结合该项目特点具体给出的要求。

4.3 基于中国规范的实施方案

该项目的正式实施,按中国 JT/T 738—2009《基桩静载试验 自平衡法》进行。试验过程中的荷载分级、位移观测、稳定标准、终止加载条件等详见参考文献[2],此处不赘述。

5 试验过程和结果

5.1 试验过程

试桩 TP1 于 2018 年 4 月 9 日开始试验,分级荷载 2×300 kN,第一级按分级荷载的 2 倍施加。当加载至试验要求的最大荷载 $2 \times 3\,000$ kN 时,持荷 2 h 达到稳定标准,荷载箱处向下位移 19.17 mm,向上位移 2.56 mm,桩顶位移 0.43 mm,满足加载终止条件;之后分 5 级卸载。

现场实测的荷载—位移曲线见图 4。

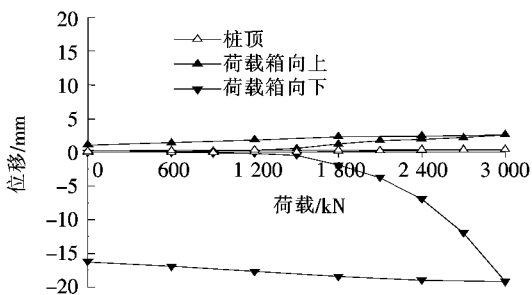


图 4 实测荷载—位移曲线

5.2 结果分析

(1) 承载力发挥

由桩基承载力发挥机理可知,桩侧摩阻力充分发挥所需的位移,黏性土为 5~10 mm,砂土为 10~20 mm;桩端承载力充分发挥所需位移约为桩径的 10%,即该试桩为 120 mm 左右。

从地层分布情况和测试曲线可知,上段桩对应土层为黏土和细砂,试验产生的最大位移仅 2.56 mm,远小于侧阻充分发挥所需的位移,因此上段桩侧阻并未完全发挥;下段桩桩侧土层为黏土和细砂,桩端持力层为细砂,试验产生的最大位移为 19.17 mm,可见其侧阻已发挥较完全,但端阻仍未充分发挥。

总体来看,此次试验仅按设计要求对工程桩承载力进行了检验,并未测出试桩 TP1 真正的极限承载力。

(2) 极限承载力

按中国自平衡标准,此种情况下可根据最大加载值给出试桩的极限承载力,所得结果是偏于安全、保守的;美国 O-cell 法则不是根据加载值直接计算极限承载力,而是要结合桩顶等效转换曲线来判断。

根据 JT/T 738—2009《基桩静载试验 自平衡法》,试桩的极限承载力 P_u (kN) 按式(1)计算,结果见表 3:

$$P_u = (Q_{uu} - W) / \gamma + Q_{lu} \quad (1)$$

式中: Q_{uu} 、 Q_{lu} 分别为上、下段桩的加载极限值(kN); W 为上段桩有效自重(kN); γ 为修正系数。

表 3 试桩 TP1 极限承载力

Q_{uu} /kN	Q_{lu} /kN	W /kN	γ	P_u /kN
3 000	3 000	623	0.77	6 087

试桩 TP1 的极限承载力 6 087 kN > 6 000 kN, 满足设计要求。

(3) 等效转换曲线

不论是美国 O-cell 法还是中国自平衡法, 总体上都是按照上、下段桩位移大小相等时荷载相加的原则进行等效转换。对试桩 TP1 而言, 其上段桩最大位移明显小于下段桩最大位移, 因此需对数据处理后才能转换。

按照美国 O-cell 法, 应先将上段桩的荷载—位移曲线外推至与下段桩位移量相等, 然后再对荷载进行叠加, 计算桩身压缩量等。现上段桩的实测最大位移为 2.56 mm, 若将其外推至下段桩的最大位移 19.17 mm, 外推量为实测最大位移的 7 倍多, 所得结果不一定安全可靠。同时, O-cell 法基于等效转换曲线给出承载力, 此种情况下也不一定是安全的。

从安全保守的角度考虑, 进行等效转换时, 可假定在最大荷载作用下, 试桩 TP1 的上段桩向上陡变破坏, 此时可按式(2)、(3)计算桩顶等效荷载 P (kN) 和桩顶沉降 s (m):

$$P = (Q_u - W) / \gamma + Q_l \quad (2)$$

$$s = s_l + \frac{[(Q_u - W) / \gamma + 2Q_l] L}{2E_p A_p} \quad (3)$$

式中: s_l 为荷载箱处向下位移(m); L 为上段桩桩长(m); E_p 为桩身弹性模量(kPa); A_p 为桩身横截面面积(m²)。

由此得到的等效桩顶荷载—沉降曲线见图 5。

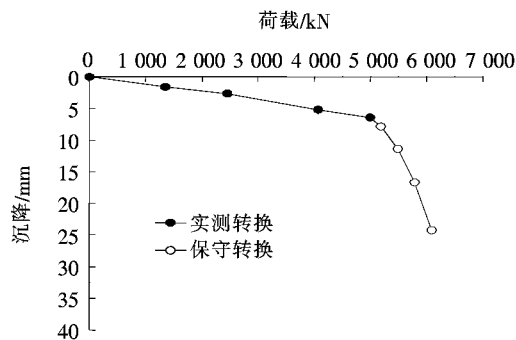


图 5 等效桩顶荷载—沉降曲线

由图 5 可知: 在桩顶设计荷载 3 000 kN 作用下, 对应桩顶沉降为 3.49 mm; 在 2 倍设计荷载 6 000 kN 作用下, 保守估计的沉降量为 22.07 mm。

6 结论

(1) 对于浅表地基软弱, 周边又无合适的工程桩提供反力的情况, 采用堆载法或锚桩法进行试桩的代价较高, 此时自平衡法具有明显的优势。

(2) 越南 TCVN 规范对预加载有明确要求, 其稳定标准、持荷时间、位移测读时间、终止加载条件均有别于中国规范。

(3) 中国自平衡标准可以根据加载值直接给出试桩极限承载力, 美国 O-cell 法则需结合等效转换曲线判断。

(4) 美国 O-cell 法和中国自平衡法, 都是按照上、下段桩位移大小相等时荷载相加的原则进行等效转换。当上、下段桩最大位移明显不等时, O-cell 法先对位移较小者外推, 由此得到的承载力不一定安全可靠。从保守角度考虑, 可假定在最大荷载作用下位移较小者发生陡变破坏, 由此得到的结果是偏安全的。

参考文献:

- [1] 龚维明, 戴国亮. 桩承载力自平衡测试技术研究与应用[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [2] JT/T 738—2009 基桩静载试验 自平衡法[S].
- [3] JGJ/T 403—2017 建筑基桩自平衡静载试验技术规程[S].
- [4] 张晓伟. 济洛高速公路黄河特大桥试桩试验研究[J]. 中外公路, 2006(4).
- [5] TCVN 9393:2012 Piles — Standard Test Method in Situ for Piles Under Axial Compressive Load[S].
- [6] ASTM D1143/D1143M — 07 (2013) Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load[S].
- [7] JGJ 106—2014 建筑基桩检测技术规范[S].
- [8] 甘七零. 越南金瓯化肥项目试桩成果分析[J]. 工程设计与设计, 2011(5).
- [9] 张利洁, 边智华, 景锋, 等. 越南海防热电厂二期工程超长直径灌注桩荷载传递机理试验研究[J]. 长江科学院院报, 2012(3).
- [10] 龚维明, 于清泉, 戴国亮. 越南大翁桥桩基承载性能试验研究[J]. 岩土力学, 2009(2).
- [11] 龚晓南. 桩基工程手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.