

引用格式: Luo Weigang, Fan Haibo, Han Jianping, *et al.* Self-Balance of Big Tonnage Bearing Pile Foundation on Pebble Bed of Yellow River[J]. Journal of Gansu Sciences, 2015, 27(1): 095-099. [罗维刚, 范海波, 韩建平, 等. 兰州黄河岸边卵石层大吨位桩基自平衡法试验研究[J]. 甘肃科学学报, 2015, 27(1): 095-099.] doi: 10.16468/j.cnki.issn/1004-0366.2015.01.021.

兰州黄河岸边卵石层大吨位桩基自平衡法试验研究

罗维刚^{1,2}, 范海波², 韩建平^{1,2}, 刘云帅^{1,2}, 周茗如^{1,2}

(1. 兰州理工大学 甘肃省土木工程防灾减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要 对兰州深安黄河大桥进行桩基自平衡法试验。在对黄河岸边的岩土层进行桩基试验时, 对桩基的极限侧阻力和端阻力标准值的取值提出建议, 并在兰州地区进行自平衡法桩基试验时, 对桩基侧摩阻力的取值提出建议。

关键词 极限侧阻力; 极限端阻力; 自平衡法

中图分类号: TU375.4

文献标志码: A

文章编号: 1004-0366(2015)01-095-05

传统桩基承载力测试方法主要有堆载法、锚桩法、高应变法等。传统的静载试验法确定桩基承载力时可靠性高, 在工程实际中应用最为广泛, 但也存在对试验场地要求多、周期长、成本较高的缺点, 如堆载法耗时长, 对大吨位桩基很难实现等^[1]。20 世纪 80 年代中期, 美国首先开展了桩基平衡测试法的系统研究, 它的主要特点是装置简单, 不需要堆载法的配重和锚桩法的反力架, 试验周期短, 不占用场地, 对水上、坡地、试验场地狭窄、大吨位条件下的桩基试验, 其经济、方便、安全的优越性最为显著^[2], 目前该法已应用在钻孔灌注桩、钢桩、预制桩中^[3]。近几年欧洲及日本、加拿大等国也广泛使用该法。在国内, 龚维明等^[3,4]于 1996 年率先成功地将该技术实用化并将其命名为自平衡试桩法。根据近年的实践经验, 自平衡试桩法适用于钻孔灌注桩、人工挖孔桩、沉管灌注桩。但是, 由于自平衡法测试桩基承载力时, 上半段桩的修正系数的不确定性和自平衡法检测时, 使桩称为断桩影响桩基的承载性能^[5,6], 所以自平衡法检测桩基承载力被许多专家所质疑, 至今没有列入国家规范中。研究结合兰州深安大桥钻孔灌注桩, 运用自平衡法对其中四根桩进行了承载力试验, 结合对桩身的应力应变测试, 得出各个土层的计算参数, 并分析了桩基的荷载传递特点, 为在兰

州地区的特殊地质条件下进行自平衡法测试桩基承载力结果的转换积累一定的经验。

1 工程概况

兰州深安黄河大桥位于兰州市西固区与安宁区之间, 是连接这两个区的主要桥梁, 是城市骨干路网规划位于城区西部的一条城市主干道。根据勘察单位提供的场地岩土工程勘察报告可知, 桥址区范围地层结构较为简单, 地基土主要由第四纪冲洪积成因的砂、砾、卵石土等组成, 表层分布有人工堆填土及滩面新近沉积的粘性土和粉土; 勘探深度范围内, 地基土自上而下依次分为杂填土①₁、细粒素填土①₂、粗粒素填土①₃、黄土状粉土②、粉土③₁、粉质粘土③₂、中粗砂③₃、圆砾③₄ 和卵石③₅。

2 测试方案

2.1 桩基及土层参数

依据设计文件选取其中四根桩进行桩基承载力试验, 桩径分别为 1.2 m 和 2.0 m, 承载力极限值分别为 2 500 t 和 5 000 t, 桩身混凝土强度等级为 C30, 具体参数见表 1。

根据勘察单位提供的场地岩土工程勘察报告, 场地内在桩长范围内主要分布地层中土的参数及摩

收稿日期: 2014-02-10; 修回日期: 2014-03-12.

作者简介: 罗维刚(1975-), 男, 甘肃景泰人, 副教授, 研究方向为工程结构健康检测、鉴定与加固、结构动力测试与分析等. E-mail: luowg@lut.cn.

阻力推荐取值见表2~表5。

表1 兰州市深安黄河大桥工程试桩主要参数

试桩编号	SZ1	SZ2	SZ3	SZ4
墩号	PM10	PM28	PM16	PM17
桩径/mm	1 200	1 200	2 000	2 000
桩长/m	22.15	21.15	45.15	45.15
荷载箱	桩端向上	桩端向上	桩端向上	桩端向上
埋设位置	3 m	4.5 m	12 m	12 m

表2 PM10 主要地层分布

层号	层底标高 /m	层底深度 /m	分层厚度 /m	摩阻力 /kPa
① ₃	1 523.41	5.50	5.50	50
③ ₅	1 510.51	18.40	12.90	160
③ ₄	1 507.61	21.30	2.90	150
③ ₅	1 493.91	35.00	13.70	220

表3 PM16 主要地层分布

层号	层底标高 /m	层底深度 /m	分层厚度 /m	摩阻力 /kPa
③ ₅	1 473.07	50.00	50.00	160 或 220

注:20 以上取 160;20 以下取 220。

表4 PM17 主要地层分布

层号	层底标高 /m	层底深度 /m	分层厚度 /m	摩阻力 /kPa
③ ₅	1 518.43	4.01	4.01	160
③ ₄	1 516.09	6.35	2.34	150
③ ₅	1 471.64	50.80	44.45	220

表5 PM28 主要地层分布

层号	层底标高 /m	层底深度 /m	分层厚度 /m	摩阻力 /kPa
① ₃	1 530.31	2.90	2.90	50
① ₂	1 529.31	3.90	1.00	20
③ ₅	1 498.21	35.00	31.10	220

2.2 荷载方案

试验采用的荷载箱为通莫公司自行研制,其中荷载箱直径与钢筋笼外径相同,高约 65 cm,行程 15 cm,见图 1。荷载箱埋设位置依据地勘资料中提供的侧摩阻力推荐值进行计算得到,具体埋设位置见表 1。



图1 荷载箱

Fig. 1 Load box

采用分级加载,每级加载量为预估最大加载量的 1/10,第一级取 2 倍分级荷载加载,并按 2 个加载级的荷载值卸载。

稳定标准:①每级加(卸)载的向上、向下位移量在时间内均不大于 0.1 mm;②桩端为巨粒土、粗粒土或坚硬黏质土,最后 30 min;③桩端为半坚硬黏质土或细粒土,最后 1 h。

加载的终止条件为总位移量大于或等于 40 mm,且本级荷载的位移量大于或等于前一级荷载的位移量的 5 倍时,加载即可终止。取此终止时荷载小一级的荷载为极限加载值^[7]。

2.3 观测方案

(1)桩身轴力及桩侧阻力测量 为了测定桩侧摩阻力,给桩体的钢筋安装钢筋计,通过钢筋计测得在各级荷载作用下钢筋计的应变值,假设钢筋的应变和混凝土的应变相等,通过胡克定律得出桩身截面处的应力,由应力可得出各个截面的轴力,进而求出桩身截面处的轴力差,轴力差即为桩侧的摩阻力,从而得出桩侧摩阻力随着荷载和深度变化的规律。在不同性质土层的界面处设置桩身断面,在每个断面处埋置 3 个钢筋计。各桩钢筋计的布置位置见表 6~表 9。

表6 PM10 钢筋计布置断面位置

部位	断面 1	断面 2	断面 3	荷载箱	断面 4
高程/m	-3	-9	-15	-19	-21

表7 PM16 钢筋计布置断面位置

部位	断面 1	断面 2	断面 3	断面 4	断面 5
高程/m	-5	-10	-15	-20	-25
部位	断面 6	荷载箱	断面 7	断面 8	
高程/m	-30	-33	-38	-43	

表 8 PM17 钢筋计布置断面位置

Table 8 PM17 steel bar arrangement section positions

部位	断面 1	断面 2	断面 3	断面 4
高程/m	-5	-10	-15	-20
部位	断面 5	断面 6	荷载箱	断面 7
高程/m	-25	-30	-33	-43

表 9 PM28 钢筋计布置断面位置

Table 9 PM28 steel bar arrangement section positions

部位	断面 1	断面 2	断面 3	荷载箱	断面 4
高程/m	-3	-8	-12	-16.5	-20

注:假设桩顶标高为±0。

(2) 桩的位移的测量 通过对桩体的桩顶、荷载箱处以及桩底安装位移传感器,测得桩基在荷载作用下上半段桩的荷载箱处及桩顶处的位移和下半段桩荷载箱处的位移,如图 2 所示。在进行位移传感器固定结构的设计和安装时,保证位移测量值只受桩体位移和基准梁运动的影响。

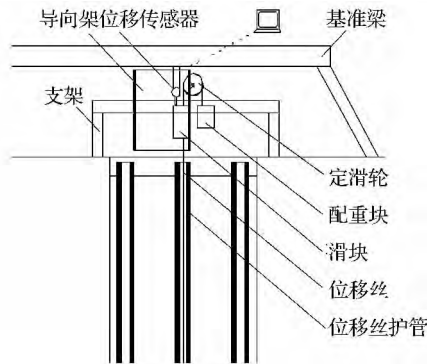


图 2 位移测量原理

Fig. 2 Principle of displacement measurement

每级加(卸)载后在第 1 h 内在第 5 min、10 min、15 min、30 min、45 min、60 min 测读位移,以后每隔 30 min 测读一次,达到相对稳定后方可加(卸)下一级荷载。卸载至 0 后应至少观测 2 h,测读时间间隔同加载。

3 测试结果及数据分析

3.1 桩的竖向极限承载力

对于采用自平衡法试验的 4 根桩,结合试验所测的结果,根据《基桩静载试验 自平衡法》^[7]中单桩竖向极限承载力的确定方法,各桩的竖向极限承载力计算式为

$$Q_u = \frac{Q_{u上} - W}{\gamma} + Q_{u下},$$

其中: Q_u 为单桩竖向抗压极限承载力(kN); $Q_{u上}$ 为

荷载箱上段桩的实测极限承载力(kN); $Q_{u下}$ 为荷载箱下段桩的实测极限承载力(kN); W 为荷载箱上段桩的自重; γ 为荷载箱上段桩侧阻力修正系数,对于粘土、粉土取 0.8,对于砂土取 0.7。

根据兰州地区土层状况,4 根桩荷载箱上段桩侧阻力修正系数均取 $\gamma = 0.7$ 。4 根桩的竖向抗压极限承载力见表 10。

表 10 桩的竖向抗压极限承载力

Table 10 Vertical compressive bearing capacity limit of piles

项目桩号	SZ1	SZ2	SZ3	SZ4
$Q_{u上}/kN$	6 750	7 500	15 000	12 500
$Q_{u下}/kN$	6 750	7 500	15 000	12 500
W/kN	520	452	2 499	2 499
γ	0.7	0.7	0.7	0.7
Q/kN	15 650	17 568	32 429	26 788

3.2 桩身轴力、桩侧摩阻力及桩端阻力

(1) 各级荷载下桩身混凝土的轴力为

$$P_h = A_h \cdot E_h \cdot \epsilon_h,$$

$$\epsilon_h = \epsilon_s,$$

其中: A_h 为混凝土的截面积(m^2); E_h 为混凝土的弹性模量(MPa); ϵ_h 为试桩混凝土应变变量; ϵ_s 为钢筋应变变量。

由以上公式计算出各级荷载下桩身混凝土的轴力,进而计算得各截面的桩身轴力。

(2) 桩侧摩阻力由各截面的轴力计算桩侧摩阻力为

$$f_s = \frac{\Delta P}{A_{侧}},$$

其中: ΔP 为相邻截面间的轴力差(kN); $A_{侧}$ 为相邻截面间的侧面积(m^2)。

根据测试结果,其中 PM16 和 PM10 墩位的桩基在不同荷载作用下桩侧摩阻力沿深度变化的曲线如图 3、图 4 所示。

从图 3 和图 4 可以看出,用自平衡法测试桩基承载力时,荷载箱以上部分桩体,从荷载箱处沿桩身越往上桩侧摩阻力越小,在离桩顶一段距离处桩身的侧摩阻力特别小甚至达到 0,说明桩侧土层较弱,由于这部分桩身对桩身上半段桩的侧摩阻力有一定的影响,上半段桩的承载力主要由桩侧摩阻力来提供,这与试验时上半段桩达到极限,而下半段桩并没达到极限正好相符,所以自平衡法中上半段桩的转化修正系数需考虑这方面因素。桩侧摩阻力随着荷载的加

大也逐步加大,直到达到极限侧摩阻,所以对桩提供荷载的大小对桩身侧摩阻力的发挥有很大的影响。

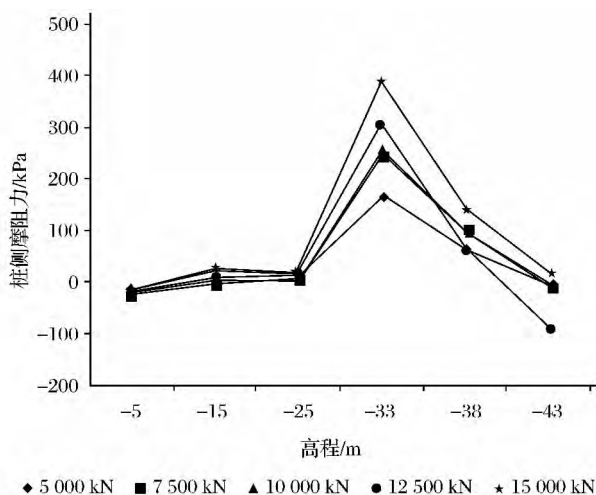


图3 PM16 桩侧摩阻力分布

Fig. 3 PM16 pile side friction distribution diagram

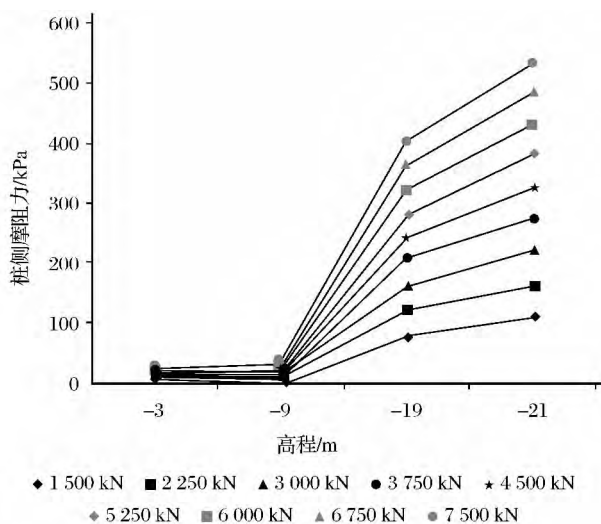


图4 PM10 桩侧摩阻力分布

Fig. 4 PM10 pile side friction distribution diagram

对比图3与图4可以看出,图3中桩侧摩阻力从荷载箱处到桩底越往下桩的侧摩阻力越低,而图4中桩侧摩阻力从荷载箱处沿桩身越往下桩的侧摩阻力越大。从表1中看出PM10下半段桩桩长相对于PM16下半段桩桩长较短,PM10桩端提供的承载力较多,由于端阻力发挥的增强也会导致侧摩阻力的增强^[8],所以PM10桩周土层的侧摩阻力相对于PM16发挥的更好。

3.3 关于 γ 的取值分析和讨论

用自平衡法测试桩基承载力试验时,最为关键的就是上半段桩的转化修正系数。而交通行业出版

的《基桩静载试验 自平衡法》^[7]中,有关转化系数的取值只根据上半段桩周土层的类型确定;通过试验,我们研究认为转化系数取值时,应该考虑以下几个方面:

(1)桩周土层的分布情况和深度,例如兰州地区地表存在较多的泥沙土层,导致上半段桩的相当一部分长的桩侧摩阻力特别小;

(2)应该考虑按照桩周土的分层情况考虑转化系数,不能简单的按照规范取值;

(3)桩成空工艺和桩类型对桩侧的摩阻力都有较大的影响。

4 结论

从试验可以得出以下结论:

(1)由于兰州地区处于黄河岸边这种特殊的泥沙地段,研究认为这种泥沙和水的作用使得桩身的侧摩阻力大大减小甚至为0,所以建议上半段桩侧摩阻力的修正转化系数应当比规范中的有所减小;

(2)由于在距离桩顶一定距离处桩的侧摩阻力相对于其他部分较小甚至为0,所以研究认为桩侧摩阻力的修正系数不能统一取值,应当分段取值。

试验对兰州地区进行自平衡法提供了一定的参考依据。

参考文献:

- [1] 鲍育明,刘亚文,李志成,等.自平衡法在桩基承载力检测中的应用[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2003,4(3):54-59.
- [2] 费香泽,丁士君,程永锋.桩基承载力堆载法和自平衡测试法的对比实验研究[J].武汉大学学报:工学版,2005,38(S1):183-187.
- [3] 龚维明,戴国亮.桩承载力自平衡法测试技术及工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 龚维明,戴国亮,蒋永生,等.桩承载力自平衡法测试理论与实践[J].建筑结构学报,2002,23(1):313-318.
- [5] 罗文军.桩基承载力自平衡测试有关问题的探讨[J].长沙铁道学院学报:社会科学版,2011,12(4):200-201.
- [6] 徐风云.桩基承载力自平衡法的可靠性之质疑[J].公路,1997,12(3):12-19.
- [7] 中华人民共和国交通运输部.JT/T 738-2009 基桩静载试验 自平衡法[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [8] 吴兴序.桩的端阻和侧摩阻的相互作用及其工程应用价值[J].西南交通大学学报,1997,32(3):313-318.

Self-Balance of Big Tonnage Bearing Pile Foundation on Pebble Bed of Yellow River

Luo Weigang^{1,2}, Fan Haibo², Han Jianping^{1,2}, Liu Yunshuai^{1,2}, Zhou Mingru^{1,2}

(1. Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Mitigation of Gansu,
Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract The pile self-balance experiments were conducted on the Lanzhou Shen'an Bridge over the Yellow River. The pile foundation was tested on the rock and soil bed of the Yellow River and the evaluation of pile ultimate lateral resistance and end resistance standard values were discussed. Finally, suggestions were offered on the evaluation of pile side friction resistance when the self-balance of piles was tested in Lanzhou.

Key words Ultimate lateral resistance; Ultimate end resistance; Self-balanced method

(上接第 57 页)

Formal Synthesis of Indolizidine 167B Precursor

Ma Bowen

(Gansu Polytechnic College of Animal Husbandry & Engineering, Wuwei 733006, China)

Abstract The formal synthesis of Indolizidine 167B was achieved from Boc-L-proline through the substitution reaction of Ethynyl magnesium bromide, intramolecular aza-Michael addition reaction and intermolecular Michael addition reaction. The key midbody of Indolizidine 167B with two chiral centers was obtained at a rate of 46.74% through the 4 reactions.

Key words Indolizidine167B; Synthesis; L-proline