

自重湿陷性黄土场地桩的负摩阻力

马侃彦¹ 张继文² 王东红²

(1. 南广铁路有限责任公司, 广西南宁 530022; 2. 机械工业勘察设计研究院, 陕西西安 710043)

【摘要】 通过对郑州-西安客运专线的关中某地钻孔灌注桩在预湿和后湿状态下的静载试验和同步进行的桩身应力测试,探讨了自重湿陷性黄土中桩侧负摩阻力的发生和发展过程,中性点位置的变化过程及桩侧阻力的发挥规律等,对自重湿陷性黄土中桩侧负摩阻力的理论研究及其工程应用具有重要的参考价值。

【关键词】 自重湿陷性黄土;钻孔灌注桩;负摩阻力;中性点

【中图分类号】 TU 473.1

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.04.001

Negative Skin Friction of pile in Self-weight Collapse Loess Site

Ma Kanyan¹, Zhang Jiwen², Wang Donghong²

(1. Limited Liability Company of Nan-Guang Railway, Nanning, Guang xi 530022, China;

2. China Jikan Geotechnical Institute, Xi'an 710043, China)

【Abstract】 On the basis of vertical static loading test and stress test of bored piles shaft, which built in some places in Guanzhong district along Zhengzhou-Xi'an Railway Passenger Transportation special Line, under prewetting and afterwetting in self-weight collapse loess, the paper discusses the generating and developing procedure of negative skin friction of pile, and changing procedure of neutral point position, and the action law of lateral friction resistance. The theoretical study and engineering application on negative skin friction of pile in self-weight collapse loess can be quite reference value.

【Key words】 self-weight collapse loess; bored piles; negative skin friction; neutral point

0 引言

在湿陷性黄土地区采用桩基会遇到浸水后负摩阻力产生和桩侧摩阻力折减等问题。按照规范要求,在自重湿陷性黄土地进行桩基设计时,不仅不计入自重湿陷地层的正摩阻力,还要扣除负摩阻力,这使得桩的长度大大增加。而根据西安及以东地区的黄土桩基试验结果及工程经验,有些地区自重湿陷性黄土中的桩基摩阻力与已有的认识不尽相同,存在理论与实际之间的矛盾。对自重湿陷性黄土中钻孔灌注桩在浸水条件下负摩阻力的发生和发展过程、中性点的变化过程及桩侧阻力的发挥等规律进行研究,无疑会对保障工程的安全和节约工程投资具有显著的现实意义。

1 试验过程

1.1 场地概况

试验场地位于新建郑西客运专线通过的陕西关中东部某地,地貌单元为渭河 III 级阶地,地下水位约在地面下 73 m 左右。自重湿陷性土层主要为位于深度 33 m 以上的晚更新世黄土。古土壤及中更

新世黄土不具湿陷性,其中深度 17 m 以上湿陷性为中等—严重,湿陷系数为 0.030~0.110,场地地层结构描述见表 1。

表 1 场地地层结构表

地层及编号	地质年代	层底深度/m	土性描述
①砂质黄土	Q ₃	8.0	褐黄色,可塑,土质均匀,浅部可见植物根茎,针状孔隙发育。
②砂质黄土	Q ₃	23.5	褐黄色,可塑,土质均匀,针状孔隙发育,偶见蜗牛壳。
③砂质黄土	Q ₃	33.2	褐黄色,土质均匀,针状孔隙发育,偶见蜗牛壳。
④黏质黄土(古土壤)	Q ₃	36.2	红褐色,块状结构,含较多钙质条纹,少量钙质结核。
⑤砂质黄土	Q ₂	46.5	褐黄色,土质均匀,偶见钙质结核。
⑥砂质黄土	Q ₂	62.3	褐黄色,土质均匀,偶见钙质结核。底部夹薄层粉细砂。
⑦粉质黏土	Q ₂	68.3	黄褐色,坚硬,土质均匀,潮湿,层顶局部含角砾。
⑧粉土夹砂	Q ₂	78.0	黄褐色,中密,底部以细砂层为主。

1.2 试验方法

本次试验研究的试桩及锚桩均布置在浸水试验坑内一侧,试坑形状为椭圆形,长轴为48m,短轴为42m。本次试验在试坑中共布置了5根试桩,试锚桩采用机械旋挖工艺成孔,采用瑞士 Solexperts 公司生产的滑动测微计测试试桩桩身应变,试验平面布置图见图1。

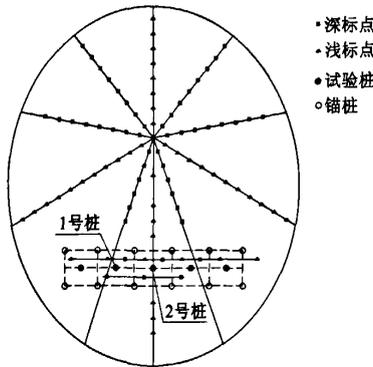


图1 试验平面布置图

本次试验包括桩的天然状态下静载试验、试坑浸水试验及桩基浸水过程静载试验、饱和状态下桩的静载试验、桩在天然及饱和状态下的水平荷载试验等部分组成。试验历时172d,其中试坑浸水试验历时53d,累计注水量近50000m³,采用精密水准仪实测的试坑内地面最大沉降量为358mm,最大自重湿陷的下限深度为16m。

在5根试桩中有两根试桩桩长均为60m,设计桩径均为800mm。本文将以此两根桩的试验结果探讨自重湿陷性黄土地地桩的负摩擦阻力的某些规律。

1号桩在场地土层处于天然状态时施加桩顶荷载3000kN,待桩顶变形稳定后,向试坑内浸水(后湿状态),桩顶在3000kN恒压下降至全部湿陷性土层达到饱和,场地湿陷性黄土自重湿陷变形完成,桩顶下沉稳定,测试浸水过程中桩顶的附加变形和桩身应变。

2号桩在试坑浸水过程中桩顶不加荷,通过桩身应力测试来研究桩侧负摩擦阻力的发生及中性点的发展变化规律(预湿状态)。

在试坑内土层自重湿陷充分发生,满足自重湿陷变形稳定标准后,保持桩周土呈饱和状态,将1号桩从3000kN分级加压至破坏荷载,将2号桩从零荷载分级加压至破坏荷载,测试两根试桩在各级桩顶荷载下的桩身应变,分析摩擦阻力发展过程。

2 负摩擦阻力的发生与发展

2.1 桩荷载试验结果

1、2号试桩的桩顶荷载-桩顶沉降(Q-s)的关系曲线见图2。

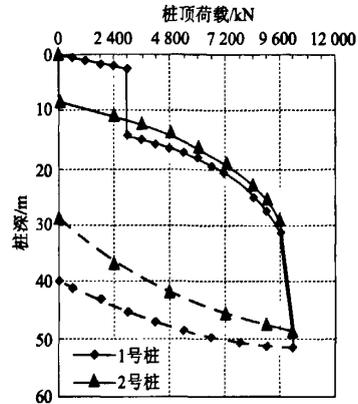
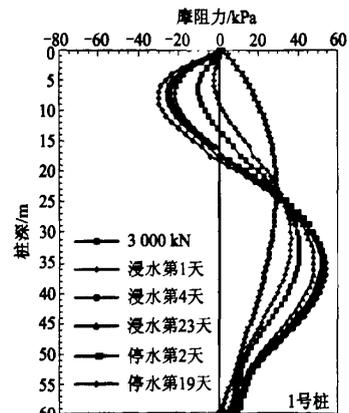


图2 1、2号桩 Q-s 曲线

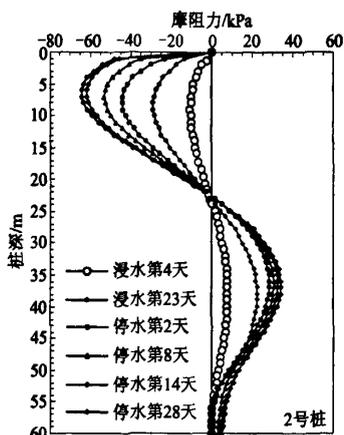
从两根试桩的 Q-s 关系曲线可以看出,浸水饱和后,两根试桩的单桩极限承载力均为9600kN。浸水前,1号试桩在天然状态下分级加载至3000kN,变形稳定后,其桩顶沉降为2.61mm;在整个浸水过程中,1号试桩(桩顶维持3000kN荷载作用)由于黄土自重湿陷而产生的负摩擦阻力使桩顶附加沉降量为11.7mm;2号试桩(浸水前桩顶无荷载作用)由于黄土自重湿陷而产生的负摩擦阻力使桩顶附加沉降量为8.2mm。

2.2 浸水期负摩擦阻力的发生过程

浸水期间1、2号桩桩侧负摩擦阻力沿桩身的发挥曲线见图3。从图3中可以看出,本次试验“后湿”(1号桩)和“预湿”(2号桩)两种条件下“浸水期”负摩擦阻力的发展具以下特征:



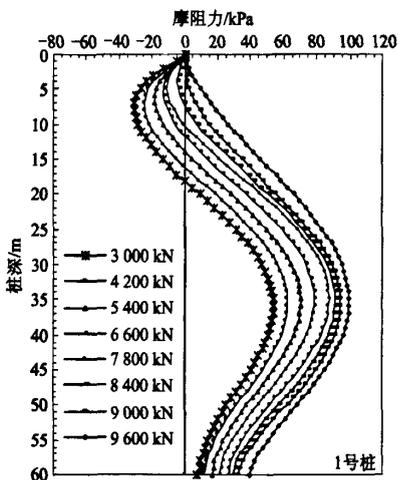
(a) 1号桩的桩侧负摩擦阻力沿桩身的发挥曲线



(b) 2号桩的桩侧负摩阻力沿桩身的发挥曲线

图3 1、2号桩的桩侧负摩阻力沿桩身的发挥曲线

① 两种荷载水平下各试桩的负摩阻力均随着浸水或停水时间的延长逐渐增大;



(a) 1号桩浸水后加载过程中侧阻力沿桩身的变化曲线

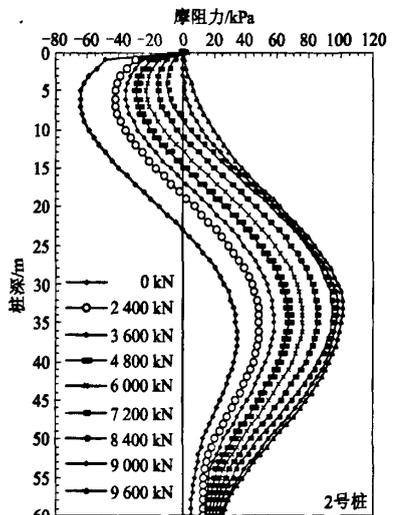
② 从浸水期间的测试结果来看,浸水初期,负摩阻力发展较快,浸水 23 d 以后负摩阻力的增速变缓;

③ 停水后,由于地层释水固结作用,地面继续发生沉降变形,负摩阻力又在原有基础上继续增大,桩顶无荷载的 2 号试桩负摩阻力增加幅度大于桩顶有荷载的 1 号试桩。

④ 停水后地面下沉稳定以后,1 号桩和 2 号桩最大峰值负摩阻力深度分别为 8 m 和 6 m,最大负摩阻力平均值分别为 -24 kPa 和 -44 kPa。

2.3 加荷后负摩阻力的消失过程

试坑浸水结束地面自重湿陷变形稳定以后,1 号桩和 2 号桩在加压过程中侧阻力沿桩身的变化曲线见图 4。从图 4 中可以看出,本次试验“后湿”(1 号桩)和“预湿”(2 号桩)两种情况下加压过程中负摩擦力的发展具以下特征:



(b) 2号桩浸水后加载过程中侧阻力沿桩身的变化曲线

图4 浸水后加载过程中侧阻力沿桩身的变化曲线

① 由于地面变形稳定标准为最后 5 天平均地面沉降小于 1 mm/d,因此在浸水后加载前,桩身仍然存在由负摩阻力带来的下拉荷载,“浸水后”加压过程中负摩阻力并没有立即消失,随着荷载水平的增加,负摩阻力也有一个逐渐减小到消失的过程。

② 由于 1 号桩及 2 号桩在浸水后加压过程中沉降有所不同,其负摩阻力的发展过程也存在差异,1 号桩和 2 号桩均在加压至 9 000 kN 时负摩阻力消失,但二者相同荷载级别下的正侧阻力量值并不相同。

3 桩侧摩阻力与桩土位移的关系

桩土相对位移直接影响摩阻力的发挥,桩土相对位移的方向决定了摩阻力的正与负,因此,桩土相对位移是研究桩基荷载传递机理的基础。通过实测埋设在试桩周围深层标点的变形量及桩顶变形和桩身应变,可以得出桩侧摩阻力与桩土位移的关系。1 号桩地面下 5 m 深度处桩土相对位移与土层侧阻力的变化曲线见图 5。

结合图 3,从图 5 中桩土相对位移与侧阻力关系曲线可以看出:

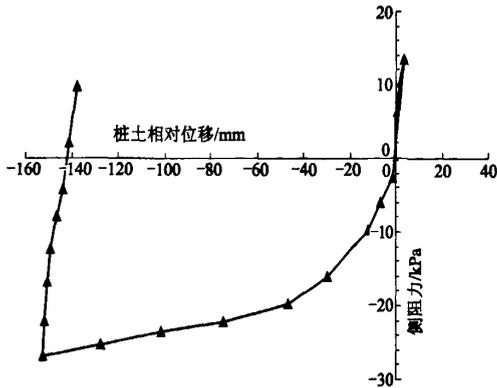


图5 桩土变形与侧阻力关系曲线

①天然状态下,1号桩在3000 kN荷载作用下5 m深度处相对于桩周土仅产生约2 mm的向下位移,桩侧已产生了约15 kPa的正摩阻力,且呈线性增加。这说明在荷载作用下桩土有微小的相对位移,侧阻力就会立即产生,并在一定范围内线性增加。

②当1号桩在3000 kN荷载作用下浸水,并使试坑湿陷性黄土产生自重湿陷变形,随着桩周土层的不断自重湿陷下沉,桩周土层相对于桩产生向下位移,在自重湿陷变形的初期,这种位移微小的变化(仅2~3 mm)就使桩的正摩阻力消除,这种位移的进一步增大,负摩阻力随之产生。正摩阻力消除、负摩阻力增加的趋势近似于“双曲线”形态,即在桩土这种相对位移的初期(位移较小),正摩阻力消除,负摩阻力增加较快;之后随着位移的增大,负摩阻力增加逐渐趋缓,当自重湿陷变形稳定桩土间相对位移达150 mm,负摩阻力达到近30 kPa。

③自重湿陷变形完成后,对1号桩继续加荷,桩相对于桩周土又产生向下位移,随着这种位移的增加,负摩阻力迅速减小,当这种相对位移增至约8 mm时,负摩阻力消除,之后即产生正摩阻力。当这种位移从0增至约11 mm时,桩侧阻力从-28 kPa增至10 kPa。

4 中性点的变化过程

中性点位置是指桩土相对位移为零的深度,它是桩侧负摩阻力和正摩阻力的交界点,直接影响桩的长度。本次研究对预湿和后湿状态下两根桩进行了长期的应变监测,不同时期的中性点相对于桩顶位置变化趋势见图6。

从图6中可以看出中性点变化规律:

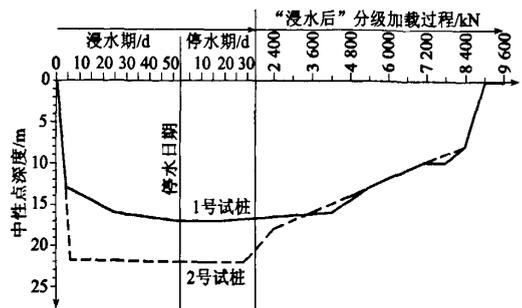


图6 1、2号桩试验过程中中性点变化规律

①浸水初期即从浸水第4天开始,两根桩的中性点位置增加迅速,1号试桩为14 m,2号试桩为22 m;从浸水第4天至第24天,1号试桩中性点下移了2 m,其后基本维持不变;而2号试桩的中性点位置在第4天后基本上停留在22 m处,保持不变。

②整个试验过程中,1、2号试桩中心点的最低位置分别为17 m和22 m;

③1、2号试桩在“浸水后”加载过程中中性点均逐渐向上移动。随着加载级别的增加,负摩阻力逐渐减小,以致消失。1、2号试桩都在桩顶荷载达到9000 kN时,负摩阻力转为正摩阻力,中性点深度为零。

根据室内试验结果,本场地黄土自重湿陷的下限深度在33 m左右,桩顶有荷载的1号试桩的中性点位置约为17 m处,为室内试验确定的湿陷土层厚度的0.52倍;桩顶无荷载的2号桩的中性点位置约为桩顶下22 m处,为室内试验确定的湿陷土层厚度的0.67倍。

5 结论

1)在自重湿陷性黄土场地上,不同浸水状态和荷载状态(“后湿”和“预湿”)的桩基试验表明:桩顶有无荷载会影响浸水自重湿陷过程中桩的负摩阻力引起的附加沉降量,桩顶有设计荷载的附加沉降(本试桩为11.7 mm)大于无荷载的情况(附加沉降量为8.2 mm),但最终的饱和状态单桩极限承载力是一致的。

2)负摩阻力在试坑浸水自重湿陷发生的初期增加较快,之后,负摩阻力的增加趋势减缓;桩顶有荷载的桩侧负摩阻力小于桩顶无荷载的情况。分析桩土相对位移与侧阻力的变化规律发现:负摩阻力与桩土相对位移近似于“双曲线”关系,即初期小位移,负摩阻力增加较快,之后变缓。而产生正摩阻力的相对位移相比较产生负摩阻力的相对位移明显减小。

(下转第177页)

数规律性质,更加适合对沉降速率不断增大的变形数据序列进行预测。

2)在淤泥质土、淤泥质砂土层中采用盾构法施工引起的地表沉降值预测宜采用回归法,不宜采用GM(1,1)模型预测;在中、微风化白垩系岩层中采用矿山法施工引起的地表沉降值预测宜采用指数平滑法;在土层比较均匀、受不确定因素影响较小时,基坑工程采用明挖法施工引起的地表沉降可优先考虑采用线性回归法预测。

3)本文介绍的预测方法均是对正常施工状态下引起的地表沉降进行预测,如果工程中出现特殊情况,如涌水涌沙、管线破裂等,地表沉降规律会发生突变,此时预测方法不再适用。另外,本文论述的三种变形预测方法均是通过拟和历史实测的监测数据变化曲线来进行预测,适用于中、短期预测,如果预报周期过长,会带来较大的累计误差,预测精度会大大降低。

参 考 文 献

- [1] 麻凤海,颜 柳. 城市地铁变形预测的三次指数平滑法[J]. 大连大学学报,2007,28(6):1-4.

- [2] 尹光志,张卫中,张东明,等. 基于指数平滑法和回归分析相结合的滑坡预测[J]. 岩土力学,2007,28(8):1725-1728.
- [3] 李剑锋,张卫中,尹光志. 指数平滑法在滑坡抢险工程中的应用[J]. 重庆交通学院学报,2006,25(5):98-100.
- [4] 潘华志,卫健东,夏治国,等. 动态灰色模型在变形预测中的应用[J]. 测绘科学,2007,32(4):121-123.
- [5] 刘 春,白世伟. 运用GM(1,1)模型预测高填土河堤的沉降研究[J]. 岩土工程技术,2003(6):333-336.
- [6] 伊晓东,李保平. 变形监测技术及应用[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.
- [7] 宋彦辉,杨梅忠. 指数平滑法在西安地面变形预测中的应用[J]. 灾害学,1999,14(4):32-34.
- [8] 王振龙. 应用时间序列分析[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [9] 王建秀,唐益群,王寒梅,等. 高层建筑群诱发地面沉降物理模拟的灰色分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007,35(4):451-454.

收稿日期:2009-05-12

(上接第166页)

3)中性点的深度在浸水初期增加迅速,随着浸水时间的加长,变化不大。在后期加载过程中随着荷载水平的增大,中性点位置逐渐向上移动,在某一荷载水平下,负摩阻力全部转为正摩阻力,中性点位置上移到地表。

4)自重湿陷性黄土中桩基的中性点位置与室内试验确定的黄土地层湿陷下限深度存在一定的关系,本试验场地湿陷下限深度在33m左右,桩顶有荷载桩的中性点深度约为17m,桩顶无荷载桩的中性点深度约为22m,分别为室内试验确定的湿陷土层厚度的0.52和0.67倍。

6 致 谢

试验研究过程中得到张苏民勘察大师、张 炜勘察大师指导;参加试验工作的还有刘争宏、钱春宇、石怀清、万再新等,一并致谢!

参 考 文 献

- [1] 张 炜,隋国秀. 黄土中钻孔灌注桩荷载传递性状的试验研究[G]//岩土工程青年专家学术论坛文集. 北京:中国建筑工业出版社,1998:173-181.
- [2] 张 炜,茹伯勋. 西安地区旋挖钻孔灌注桩竖向承载力特性的试验研究[J]. 岩土工程技术,1999(4):39-43.
- [3] 李大展,腾延京,何颐华,等. 湿陷性黄土中大直径扩底桩垂直承载性状的试验研究[J]. 岩土工程学报,1994,16(2):11-21.
- [4] 程学良,李继良. 桩基设计中考虑负摩阻力时中性点位置的确定[J]. 岩土工程技术,1999(1):34-36.
- [5] M. T. Davisson. 桩的负摩阻力及其设计对策[J]. 军工勘察,1994(增刊):1-10.

收稿日期:2009-06-01