

真空-堆载联合预压法加固机理讨论

彭 劼,刘汉龙,陈永辉

(河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要 根据真空-堆载联合预压现场试验及孔压、沉降测试结果,对真空-堆载联合预压法加固机理中一些有争议的问题,如抽真空时地下水位的变化过程和加固深度范围等,进行了探讨.结果表明:真空预压的直接作用范围可达地表以下 18 m;真空预压期间地下水位是下降的,且下降幅度小于 2 m;停止抽真空使地基横向约束放松,从而导致向外变形,且此变形会消除卸真空引起的回弹现象;负孔压的恢复如同正超孔压的消散一样,需要一个过程,即不会瞬时完成.

关键词 真空预压法;真空-堆载联合预压法;加固机理;地下水位;有效加固深度

中图分类号 :TU473 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2003)05-0560-04

真空预压法最早由杰尔曼教授于 1952 年提出.早期由于密封工艺及真空产生技术上的问题,未能在工程中得到广泛应用.我国从 20 世纪 50 年代末开始研究这一方法,直到 1980 年才在工程应用上获得成功.该项技术于 1985 年 12 月通过国家技术鉴定^[1].我国 1983 年开始对真空-堆载联合预压法进行研究,近几年已将其广泛应用于工程实际.相对于工程应用成果来说,真空-堆载联合预压法的理论研究成果还比较少,其加固机理至今尚有许多不太明确的地方.为此,本文结合现场试验孔压、沉降等观测数据,对涉及真空预压加固机理的一些问题进行讨论.

1 现场试验结果及分析

1.1 现场试验情况

现场试验地点位于杭金衢高速公路萧山段 K32+281.0~K32+417.5.该路段地基工程地质条件为:第 1 层为填土,厚 0.6 m,在进行真空-堆载预压处理前被挖除;第 2 层为粘土,厚 2.0 m;第 3 层为淤泥质粘土,厚 10.4 m;第 4 层为淤泥质亚粘土,厚 8.6 m;第 5 层为亚粘土,厚 1.6 m;第 6 层为砾砂,未钻穿.在预压施工前,按照三角形排列,间隔 1.2 m 打入 22 m 长的塑料排水板.真空-堆载联合预压施工的加载曲线如图 1 所示^[2].

现场试验断面为 K32+415.在试验断面分别埋设了表面沉降仪及边桩,在地基不同深度处放置了孔压计.其中孔压计在正负压力下均经过标定,因此可以测出低于大气压的流体压力.为防止串气,每个钻孔只放置一个孔压计并用粘土球封住钻孔.孔压计的平面埋设位置位于三角形分布的 3 根塑料排水板的中间.

1.2 测试结果及分析

测得的各个时期的孔压数据如图 2 所示.图中编号 U04C02 表示该孔压计位于加固区中心处地下 2 m 深处,其他编号含义依此类推.总的来看,地基中的孔压变化可分为 4 个阶段:首先抽真空,各深度处的孔压开始降低;然后随着堆载荷载的施加,孔压逐渐升高;堆载完毕后,孔压又逐渐降低;最后随着抽真空的停止,地

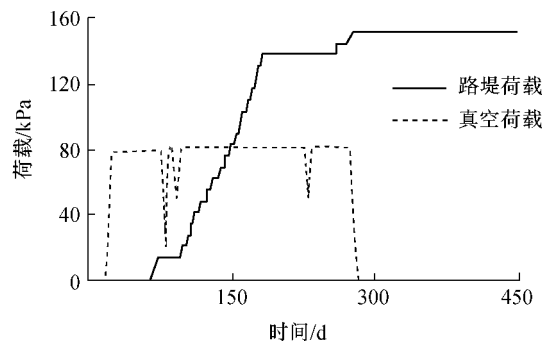


图 1 工程加载曲线

Fig.1 Loading curve

基中的孔压有所回升,此后还略有下降,直至稳定。

从图 3 可知,越接近地表,抽真空导致的孔压下降幅度越大,在地下 2 m 处,孔压下降了 53 kPa,到地下 14 m 处,下降幅度仍有 20 kPa。该孔压差由 2 部分组成:一是由抽真空令塑料排水板中孔压降低并向四周扩散所引起的孔压差,随深度递减;二是由水位变化所引起的孔压差,不随深度而变。

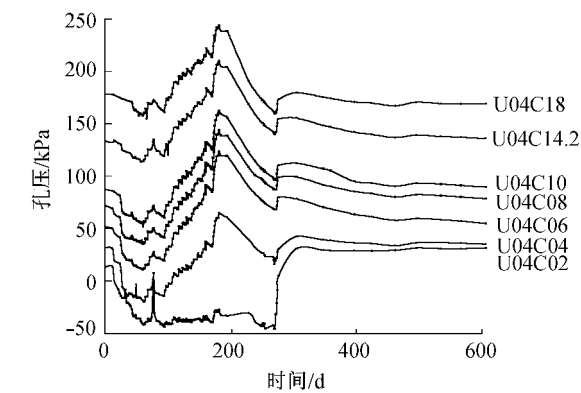


图 2 地基中总孔压变化情况
Fig.2 Total PWP of foundation

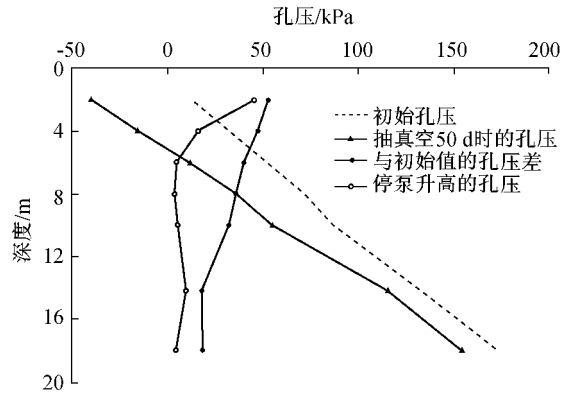


图 3 各深度孔压情况
Fig.3 PWP at different depths

抽真空期间曾停过泵,停泵导致地基中孔压回升(图 3),6 m 以上孔压上升较大,6 m 以下孔压上升较小。由孔压观测结果可知,抽真空将导致地基中孔压下降,下降幅度沿深度递减。停止抽真空后各处孔压值均有所回升,地基上部回升幅度大,测得的最大回升值达 51 kPa,地表 6 m 以下的孔压回升幅度较小,且降低幅度很接近,平均回升约 5 kPa。这现象说明,不仅抽真空导致地基孔压下降需要一个过程,而且停止抽真空后地基孔压的回升也需要一个过程,并非抽真空一停止孔压就会立刻恢复到静水压力状态。此外,地基较浅处受膜下真空度变化影响反应较快,地基较深处受膜下真空度变化影响反应则较慢。较深处的孔压回升幅度基本一致,说明停泵时较深处的孔压变化仅受水位上升的影响。地基孔压沿深度变化的不均匀表明抽真空的有效范围至少会达到地表下 18 m 处。

真空预压区的水位,至今还没有合适的测量方法,但是对它的认识存在两种观点:一是认为真空预压时水位会上升,二是认为真空预压时水位会下降。从笔者试验停泵时的孔压回升情况来看,抽真空时水位是下降的,停止抽真空使水位上升了 0.5 m 左右。从地表下 18 m 处的孔压变化来看,抽真空 50 d 时孔压下降了 18 kPa。这说明,即使完全不考虑真空降低孔压的作用,水位下降的幅度也会小于 1.8 m,即抽真空导致的水位下降幅度是有限的。

路堤堆载从 2000 年 10 月 23 日开始,至 2001 年 1 月 17 日结束。路堤填筑高度为 6.2 m,堆荷载为 117.8 kPa。堆载结束时与堆载前及初始情况的孔压差,以及理论上堆载引起的附加应力如图 4 所示。与初始孔压相比,堆载引起的孔压已有一定程度的消散;与堆载前相比,附加应力引起的孔压消散程度并不大。从孔压测量结果来看,堆载过程中真空预压的作用似乎只在 6 m 以上有效。堆载结束时,根据附加应力面积及消散的孔压面积估算出此时的固结程度为 49%,而根据加固区中心处的表面沉降计算的固结度则已达到 72%,如图 5 所示。这说明,在真空预压下堆载存在 2 种现象:(a)真空预压后,堆载会导致沉降显著增加。这是因为真空预压下地基的横向变形受到约束,甚至会在加固区边缘形成裂缝,即加固区内外之间会有一个比较薄弱的过渡带,堆载施加上去以后,横向变形的约束小于正常的堆载,从而会导致大的横向变形及竖向变形,且竖向瞬时变形会很大。图 6 所示为距加固区 1.8 m 的边桩的水平位移,负值为向加固区的水平位移。观测结果表明,抽真空阶段水平位移向内,从而约束了竖向沉降的发展,而堆载后,向外的水平位移发展很快;在卸除真空荷载时,有一个明显的向外水平位移的趋势。这正说明真空预压对地基的向外水平位移有明显的约束作用。(b)由于真空压力是作用在土体中的水气流体上而不是直接作用在土体骨架或颗粒上,因此随着水气的抽出及时间的持续,土体颗粒间的孔隙逐渐增大,甚至可能出现非饱和情况,即孔隙水虽然被抽出,但土骨架并没有随之完全被压缩。堆载施加以后,土颗粒之间的直接有效作用增加,因此土体颗粒密实,从而产生较大的沉降。

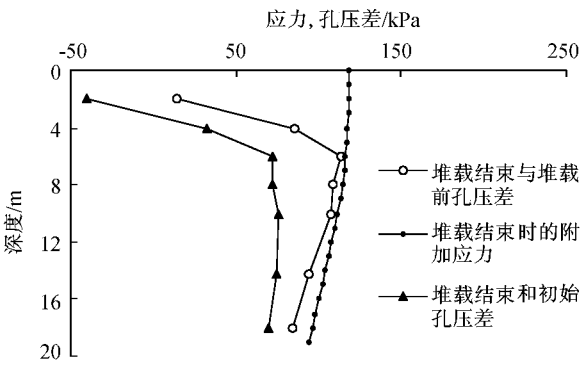


图4 附加应力及孔压差

Fig.4 Additional stress and PWP difference of the foundation

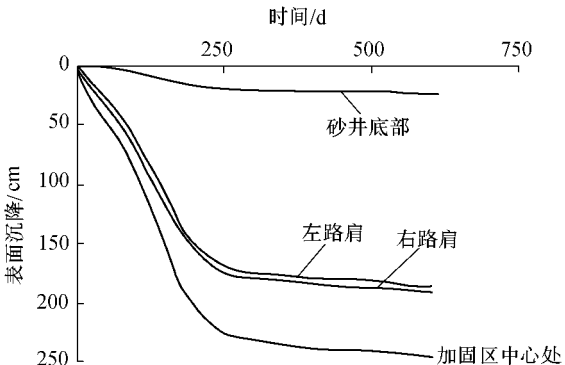


图5 表面沉降曲线

Fig.5 Surface settlement curve

堆载结束后,进入真空-堆载联合预压阶段.这个阶段,孔压迅速消散,沉降也有所发展,但沉降速率已明显低于堆载阶段,如图7所示.

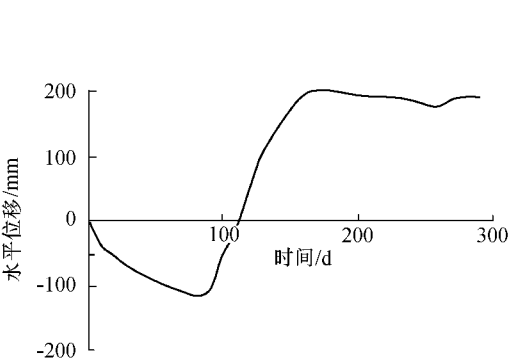


图6 边桩位移情况

Fig.6 Lateral displacement of border pile

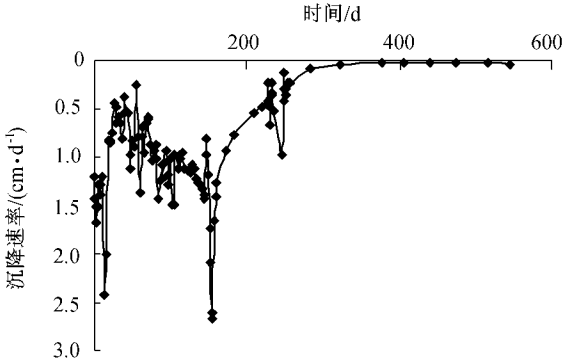


图7 表面沉降速率曲线

Fig.7 Surface settlement rate curve

卸真空后与初始孔压差,以及卸真空造成的孔压回升如图8所示.与停泵期间的孔压回升情况类似,接近地表处的孔压回升很大,而较深处的回升量较小且比较接近.那么是否说明真空预压仅在接近地表的土层中有效呢?如图2所示,在停泵1个月之后,孔压比刚卸真空且膜下真空度恢复为0时的孔压还略高些.由此可知:(a)如同土体超孔隙水压力的消散一样,土体负孔压的回升也需要时间,并非一停止抽真空就恢复到静水压力状态.(b)停止抽真空时有水位上升现象,这再次说明,抽真空时地基水位是下降的.(c)接近地表的孔压恢复很快,首先是由于其接近大气,流体压力的恢复更迅速,其次是其上部可能为非饱和区.(d)在总应力不变的情况下,理论上卸真空、负孔压回升会导致土骨架松弛即土体回弹,但实际观测结果未出现土体回弹现象,即使在单一的真空预压期,停泵也没有导致土体回弹,而水平位移却有向外的变化趋势.此现象说明,真空预压卸除令地基的横向约束释放,其导致的沉降与可能的回弹有所抵消.此外,在堆载作用下卸真空,既有土体中的孔隙水排出造成骨架压缩的趋势,又有卸真空导致吸水的趋势,两种趋势有所抵消,总趋势还是土体压缩,所以测不到回弹现象.

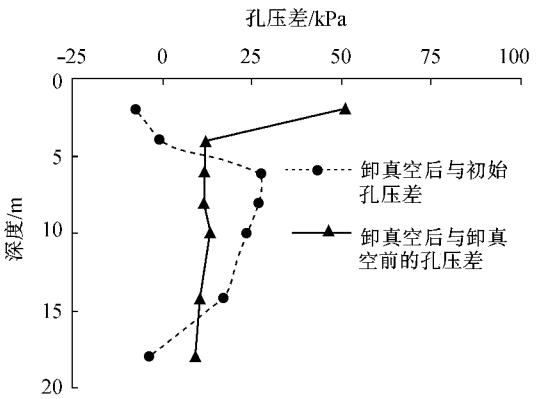


图8 孔压差随深度变化曲线

Fig.8 Change of PWP with depth

2 结 论

本文研究的真空预压的直接作用范围可达地表以下18m,抽真空导致的孔压差随深度逐渐递减,真空预

压期间地下水位是下降的 ,据本文孔压分析 ,在抽真空阶段及堆载前 ,下降幅度小于 1.8 m ;停止抽真空使地基横向约束放松 ,从而导致向外变形 ,此变形会与卸真空引起的回弹相互抵消 ,因而观测不到土体回弹现象 ;抽真空可能会使土体颗粒间产生空洞 ,而随着堆载的施加 ,这些空洞会逐渐被压缩 ,从而会产生较大的沉降 ;在真空预压基础上堆载 ,瞬时沉降及横向向外变形会很大 ,从而出现孔压消散不大而沉降很大的现象 ;负孔压的恢复如同正超孔压的消散一样 ,需要一个过程 ,即不会瞬时完成 .

参考文献 :

[1] 吴跃东 ,赵维炳 .真空-堆载联合预压加固高速公路软基的研究 [J].河海大学学报(自然科学版) ,1999 27(6) :77—81 .
[2] 彭劼 .真空-堆载联合预压法加固机理与计算理论研究 [D].南京 :河海大学 ,2003 .

Mechanism of foundation strengthening by vacuum-surchage preloading method

PENG Jie , LIU Han-long , CHEN Yong-hui

(Geotechnical Research Institute of Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :Based on the measured data of pore water pressure and surface settlement from field vacuum-surchage preloading tests , some issues in dispute on the vacuum-surchage preloading strengthening method are discussed , including the variation of groundwater table during the process of vacuumization and the depth of foundation to be consolidated . Some conclusions are drawn :the effective depth of foundations to be consolidated by the vacuum preloading method can reach 18m under the ground surface ;the groundwater table declines during the process of vacuum preloading , the range being less than 2m ; the stop of vacuumization releases the lateral restriction on the foundation , and further results in its outward deformation , which can eliminate the rebound phenomenon induced by vacuum unloading ; and a duration of time is needed for the restoration of the negative pore water pressure , just as for the dispersion of the positive excess pore water pressure .

Key words :vacuum preloading method ; vacuum-surchage preloading method ; mechanism of foundation strengthening ; groundwater table ; effective depth to be consolidated