

真空-堆载联合预压加固区形状对加固效果的影响

王 强¹, 顾长存¹, 张伟东²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 浙江省宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要:运用真空-堆载联合预压法加固软土地基, 设计及施工人员主要从做好加固区密封和减少排水通道的阻力两方面入手, 来提高软土地基的加固效果. 在影响软土地基加固效果的诸多因素中, 加固区形状对加固效果也有较大影响, 结合江苏省淮河入海水道卢扬涵闸软土地基加固工程, 从沉降速率、孔隙水压力变化和强度增长等方面对该问题进行了研究, 认为应避免不规则加固区形状, 使加固区形状尽量接近正方形、面积尽量大.

关键词:真空-堆载联合预压; 形状系数; 边界效应; 塑料排水板

中图分类号: TU471

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2004)01-0064-03

随着我国国民经济的发展, 在广大深厚淤泥质软土地区需修建大量建(构)筑物. 对这种软土地基(以下简称软基)的加固处理, 目前多采用技术较为成熟的排水固结法, 包括真空预压法、堆载预压法及真空-堆载联合预压法. 真空预压法是瑞典人 Kjellman^[1]首先提出的, 此后该技术由于抽气设备、密封材料及竖向排水通道等方面不过关而发展缓慢. 20世纪80年代初, 交通部第一航务工程局等单位对该法加固机理进行了深入研究, 利用射流泵代替原来的气水分离真空泵, 使抽气的效率大大提高. 由于真空预压比堆载预压具有明显优势, 80年代后期在港口工程软基处理中得到广泛应用. 但真空预压法所能提供的荷载(80 kPa左右, 相当于4~5 m填土荷载)往往有限, 当不能满足承载力及沉降等方面的要求时, 需辅以堆土荷载, 理论研究和工程实践都表明该两种荷载可联合应用^[2]. 真空-堆载联合预压法是在真空预压和堆载预压法基础上发展起来的, 目前该方法广泛应用在高等级公路、围海造陆、大型油罐堆场、港口涵闸等水工构筑物的软基加固工程中.

运用真空-堆载联合预压法加固软基, 设计及施工人员主要从以下两个方面着手来提高加固效果: ①保证加固区的膜面及土体深层密封; ②尽量减小水平和垂直排水通道的阻力, 使真空度传到深部土层过程中损失最小. 此外, 大量的工程实践表明加固区形状对加固效果也有较大影响, 本文结合江苏省淮河入海水道卢扬涵闸软基加固工程就加固区形状对加固效果的影响进行探讨.

1 真空-堆载联合预压法加固机理简介

通过抽真空在加固区的土体内造成负压, 使边界的孔压降低, 土体中的原始孔压和边界的孔压形成一定的压力差并且发生不稳定渗流. 根据太沙基有效应力原理^[3]:

$$\sigma = \sigma' + u \quad (1)$$

式中: σ 为总应力; σ' 为有效应力; u 为孔隙水压力. 对式(1)取微分得:

$$d\sigma = d\sigma' + du \quad (2)$$

对于真空预压阶段, σ 为常数, 因而 $d\sigma' = -du$, 即孔隙水压力降低值就是有效应力的增加值^[4]. 因此, 真空预压的机理实质上就是土中孔隙水压力变化的机理, 抽真空前有效应力 σ' 等于土的自重压力, 随着时间的增长, 土体中的孔压逐渐降低, 降低的孔压转变为土体的有效应力, 抽真空后土体固结过程完成时, 真空压力全部转化为有效应力. 对于天然地基, 地基土一般处于固结状态. 由于孔隙水压力是球应力, 所以真空预压时减小的孔压(增大的有效应力)是各向相等的, 因此地基中土体单元的莫尔圆大小并没有改变, 只是向右发生平移, 当荷载卸除后, 被加固土体由正常固结状态变为超固结状态, 和加固前相比, 强度增加了 $\Delta\tau$. 由于真空预压不会使土体产生剪应力, 因此即使真空荷载一次性施加上去, 地基也不会发生剪切破坏. 真空-堆载联合预压法通过真空压力(负压)和堆载(正压)使土体孔隙与竖向排水体之间产生压力差, 孔隙水在这种压力差作用

作者简介: 王强(1977—), 男(满族), 辽宁北宁人, 硕士研究生, 主要从事软土地基处理研究.

下通过竖向排水体逐渐向外排出,从而使土体产生固结变形;同时土体在真空负压作用下只受到球应力的作用,土体产生向场地内的收缩变形,可抵消堆载引起的向场地外的挤出变形,可以提高加荷速率,大大缩短工期^[5].

2 真空-堆载联合预压法施工工艺

a. 补勘.为了查明加固区内是否分布有透水性较强土层(粉土,粉砂等),应进行详细的工程地质补充勘察,目的是查明透水层深度、范围,以及是否需要采用帷幕等封堵措施.

b. 砂垫层施工.对加固区进行场地平整,铺设砂垫层厚度约 50 cm,要求表面高差为 ± 10 cm.

c. 排水板施工.排水板垂直下插入至设计标高,垂直度偏差不得超过 ± 1.5%.塑料排水板施工应严格遵守《塑料排水板施工规程》^[6]的规定.

d. 真空预压施工.前期工作完成后即可进行密封沟开挖、排水管安埋、铺设前层土工布、密封膜埋设、真空泵安装及架设真空表测头等工作,然后开始抽真空.

e. 真空-堆载联合预压施工.当膜下真空度稳定在 80 kPa 左右时,在抽真空 10 d 后可进行上部堆载施工.

3 加固区形状对加固效果的影响

真空-堆载联合预压加固后的土体,加固区中心的效果明显好于边缘.因为在现有的施工技术条件下,不能保证边界的膜面及深层土体的绝对密封,必然导致在边界处真空负压向加固区外扩散.这种“边界效应”不仅对加固区边缘有影响,对整个场地的加固效果的影响也是显著的.大量的工程实践表明:在加固区面积相同的情况下,加固区周长越小,即场地越接近正方形,加固效果越好^[7].为了综合反映上述因素,这里定义两个加固区形状系数:

$$\alpha = \frac{S}{C} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{S}{a/b} \tag{4}$$

式中: S 为加固区面积; C 为加固区边界总长; a 为加固区长边长度; b 为加固区短边长度.

3.1 工程概况

卢扬涵闸软基加固工程包括芦扬地龙(A区)和芦扬泵站(B区),入海水道桩号分别为 82 + 330 和 82 + 210. A, B 两加固区相对位置见图 1. 卢扬涵闸软基加固区场地形状参数及各土层的物理力学性质指标见表 1 和表 2. 为了能更好地完成土体前期固结,

减少工后沉降,根据设计采用塑料排水板作为竖向排水体,运用真空-堆载联合预压法进行加固处理. 该工程从 2002 年 6 月下旬开始软基加固施工准备工作,包括:清表,铺设砂垫层(厚度 50 mm 左右)作为横向排水体,打设塑料排水板(间距 1.0 m,梅花形布置, A 区长度 24.5 m, B 区长度 25.5 m),排水滤管埋设,密封膜铺设及真空系统安装等. A 区于 7 月 23 日开始抽真空,至 12 月 19 日联合预压结束, B 区于 7 月 26 日开始抽真空,至 12 月 31 日加固结束,具体加荷过程见图 2 和图 3.

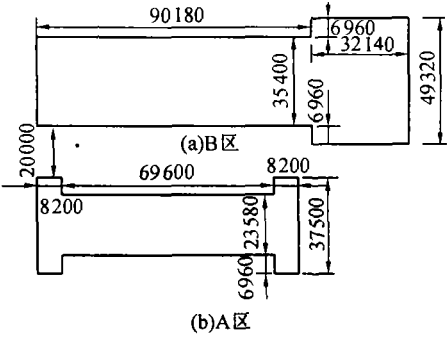


图 1 卢扬涵闸软基加固区平面示意图(单位:mm)

表 1 卢扬涵闸软基加固区形状参数

加固区	加固区面积 S/m ²	周长 C/m	长宽比 n = a/b	形状系数 α	形状系数 β	加固历时 /d
A 区	2256.168	274.84	3.647	8.209	618.637	150
B 区	4777.517	307.88	3.455	15.517	1382.784	158

表 2 卢扬涵闸软基加固区各土层物理力学性质指标

土层名称	层厚 /m	密度 /(kg·m ⁻³)	孔隙比 e	塑性指数 I _p	固结系数 /(10 ⁻³ cm ² ·s ⁻¹)/MPa ⁻¹	压缩系数
粘土	1.44	16.9	1.35	17.7	0.985	1.23
淤泥质粘土	2.20	17.3	1.49	17.5	2.44	1.79
淤泥质粉质粘土	10.62	17.6	1.40	17.2	3.69	1.89
细砂	0.70					
淤泥质粉质粘土	6.95	17.9	1.23	16.3	2.14	0.73
粉质粘土	8.83	18.0	0.91	18.3	3.06	0.49
粉土	8.83	18.4	0.76	16.2	21.40	0.30

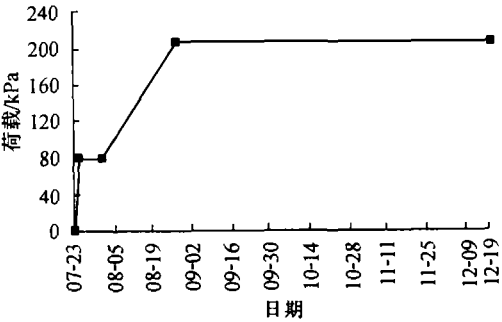


图 2 A 加固区加载曲线

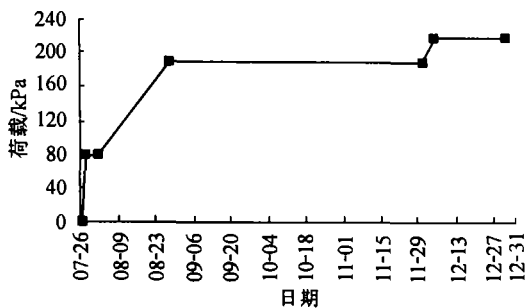


图3 B加固区加载曲线

3.2 加固区形状对沉降速率的影响

表面沉降观测是软基沉降分析的基础,其变化规律是控制施工进度和安排后期施工的重要指标,沉降速率也是加固效果最直接的反映之一.从表3可以看出,在7月和8月加固期,B区比A区的平均沉降速率高30%,经过了9月份的持荷稳定期后,B区的表面沉降收敛速率明显快于A区.至于12月份,B区沉降速率高于A区,主要是由于在B区进行了第二次填土.

表3 卢扬涵闸软基加固区形状对沉降速率的影响

加固区	最终平均沉降量/mm	沉降速率/(mm·d ⁻¹)					
		7月22~31日	8月	9月	10月	11月	12月
A区	1570	25~30	12~18	8~15	4~7	2~5	0~2
B区	1707	25~40	12~30	8~15	3~6	1~3	1~3

3.3 加固区形状对孔隙水压力的影响

孔隙水压力变化是了解土体固结状态最直接的手段,根据孔隙水压力的变化规律,分析地基土体的固结机理,进一步判断加固土体的加固效果.A,B两加固区中分别布置了3孔共18个孔压计,选取埋设在两加固区中心处深度为5.9m的孔隙水压力变化值列于表4.由表4可以看出,在A,B两加固区加荷速率相同的情况下,B区的孔隙水压力消散量明显大于A区,B区的初期固结度完成量是A区的1.3倍.

表4 卢扬涵闸软基加固区形状对孔隙水压力的影响

加固区	形状系数		抽气前孔压/kPa	5d后孔压/kPa	孔压消散/kPa	初期固结度完成量/%
	α	β				
A区	8.209	618.637	35.85	14.33	21.52	60.03
B区	15.517	1382.784	36.74	9.27	27.47	74.77

3.4 加固区形状对强度增长的影响

大量的工程实践表明,现场十字板剪切试验是检验软弱土层强度的有效手段.为了检验本工程软基加固效果,加固前和卸载后分别在A,B两加固区进行了现场十字板剪切试验,将所选取的两加固区中心处地面以下4m深度处的试验强度指标列于表5.从表5可以看出,B区的膜面平均沉降量明显比A区大,B区的强度增长幅度比A区高31.3%.

表5 卢扬涵闸软基加固区形状对强度增长的影响

加固区	形状系数		膜面平均沉降量/mm	C_u /kPa		强度增长量/%
	α	β		加固前	加固后	
A区	8.209	618.637	1570	25.63	47.57	85.6
B区	15.517	1382.784	1707	20.21	43.84	116.9

综上所述,A,B两加固区土层的物理力学性质指标相同,从人员编制到机械设备及其他设计参数大体一样,但因两加固区的面积、周长、长宽比不同,计算出的形状系数相差很大(B区的 α 和 β 值均大于A区).反映在加固效果上,B区的沉降及沉降速率、孔压变化量、强度增长量均好于A区.加固效果与加固区形状系数成正比,形状系数越小,由密封质量引起的这种“边界效应”越显著,边界处真空负压向加固区外扩散越严重,加固区“能量”损失越大,加固效果越不理想.

4 结论

a. 运用真空-堆载联合预压法加固软基,应在条件允许的情况下,要使加固区面积尽量大,加固区周长尽量小,即加固区形状尽量接近正方形.

b. 避免不规则形状.不规则的边界外形一方面增大了周长,使加固区形状系数变小;另一方面给施工(主要是密封沟开挖及填埋)带来不便,致使边界密封质量下降,加剧了“边界效应”,导致加固效果不理想.

参考文献:

- [1] Kjellman W. Consolidation of clay by means of atmospheric pressure[A]. Proc Conference on Soil Stabilization MIT[C]. Boston, 1952. 258~263.
- [2] 阎谢旺,陈环.用真空加固软土地基的机制与计算方法[J].岩土工程学报,1986,8(2):35~43.
- [3] 钱家欢.土力学[M].第二版.南京:河海大学出版社,1995.51~52.
- [4] 陈环.真空预压法机理研究十年[J].港口工程,1991(4):17~25.
- [5] 刘汉龙,陈永辉,彭吉力.真空-堆载联合预压法的研究现状及其在高速公路软基加中的应用[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(增刊):21~23.
- [6] JTJ/T256—96,塑料排水板施工规程[S].
- [7] 娄炎.真空排水预压法加固软土技术[M].北京:人民交通出版社,2002.69~71.

(收稿日期:2003-05-06 编辑:张志琴)

