

排水板施工对软黏土扰动的现场试验研究

艾英钵¹ 柯朝辉² 胡 辉³ 邓 彬¹

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098 ; 2. 广州港集团有限公司, 广东 广州 510700 ;
3. 暨南大学土木工程学院, 广东 广州 510230)

摘要 通过软黏土地基上塑料排水板施工过程的孔隙水压力观测及现场十字板强度试验, 研究了排水板施工前后地基土体孔隙水压力增长和消散的规律, 并且从软黏土地基的有效应力变化和结构扰动等方面分析了土体强度损失及恢复过程. 结果表明: 单根排水板施工引起的孔隙水压力增长较小, 仅对表层孔隙水压力影响大, 板群的施工对 4 m 范围内土体孔隙水压力的增长有叠加效应; 排水板施工一方面使软土地基内的孔隙水压力增长, 有效应力减小, 导致软土强度的降低, 另一方面使地基软土结构发生破坏而引起软土强度降低, 孔隙水压力的增长引起的地基土强度损失恢复较快, 而结构扰动引起的强度损失恢复较慢.

关键词 塑料排水板; 施工扰动; 孔隙水压力; 十字板强度

中图分类号: TU471.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2006)03-0311-04

在软黏土地基上修建建筑物时, 需要对地基进行处理, 以提高地基的稳定程度, 而各种地基处理施工都会对天然地基产生不同程度的扰动^[1]. 排水固结法是地基处理中最常用的方法, 竖向排水体多采用袋装砂井或塑料排水板^[2]. 在竖向排水体打设的过程中, 沉管过程会对地基土产生扰动, 另外, 拔出套管后周围土体与排水体之间会产生空隙, 被挤出的土体回缩, 使土体产生进一步的扰动. 施建勇等^[3-4]研究了袋装砂井施工前后土体十字板强度的变化, 指出砂井打设过程中可能使地基土的抗剪强度降低 20% ~ 50%. 刘吉福等^[5]按照平面应力问题, 应用圆孔扩张理论分析了竖向排水体施工的挤土效应. 尽管许多学者对竖向排水体施工扰动做了大量研究工作^[6-8], 但对软黏土的施工扰动机理研究较少. 本文通过对塑料排水板施工过程中孔隙水压力的实时监测和施工前后十字板强度的变化研究, 认为排水板施工扰动引起土体强度降低有两方面的原因: 一方面, 排水板打设过程中土体孔隙水压力上升, 使土体的有效应力降低, 从而导致地基土体强度降低; 另一方面, 排水板打设及拔管过程使土体的结构发生扰动破坏, 导致土体强度降低.

1 试验概况

1.1 工程地质条件

0.00 ~ 1.20 为吹填中粗砂垫层; 1.20 ~ 4.70 为吹填砂, 饱水, 灰色, 以粉细砂为主, 流塑状; 4.70 ~ 6.70 为淤泥夹粗砂, 饱和, 灰黑色, 流塑状; 6.70 ~ 11.20 为淤泥, 偶夹粉细砂, 灰黑色, 饱和, 流塑状; 11.20 ~ 16.20 为淤泥质黏土, 饱和, 软塑状; 16.20 ~ 18.00 为黏土, 可塑状. 主要土层物理力学指标见表 1.

1.2 塑料排水板打设过程

表 1 主要土层物理力学性质指标

Table 1 Physical-mechanical indexes for main soil layer

土层名称	含水率 w/%	密度 ρ / (g · cm ⁻³)	初始孔隙 比 e_0	固结不排水 c_{cu} /kPa	固结不排水 ϕ_{cu} /(°)	固结系数 c_v / (10 ⁻³ · cm ² · s ⁻¹)
- 5 m 以上淤泥	69	1.57	1.613	0.25	21.6	0.81
- 5 m 以下淤泥	67	1.59	1.325	1.20	23.7	4.50
淤泥质黏土	48	1.72	0.563	3.40	25.2	9.83

尺寸略大的菱形管(最大宽度 3 cm). 试验前, 预先埋好孔隙水压力计, 打设塑料排水板时, 按照一定的施工顺

序进行,由远及近,塑料排水板打设按照塑料排水板施工平面图的编号进行(图1中☒为孔隙水压力计位置,数字编号为塑料排水板施工打设顺序)。

1.3 观测仪器布置及测试

观测仪器主要为振弦式孔隙水压力计,沿深度方向共埋设5只孔隙水压力计,深度分别为3 m、7 m、10 m、13 m和16 m,编号分别为 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 、 u_5 ,除7 m处孔隙水压力计处于砂夹层外,其余孔隙水压力计均处于淤泥及淤泥质黏土中。孔隙水压力测量采用能自动记录数据的XP99型频率仪,采集数据最小时间间隔为1 s。另外还布置了十字板强度试验检测孔,十字板检测孔位置在正方形布置的塑料排水板的形心处。

2 试验结果及分析

塑料排水板打设时间包括沉管及拔管时间,约为90 s。在塑料排水板打设过程中,观测到的1号、2号、3号、4号、5号测头的孔隙水压力的变化如图2所示。

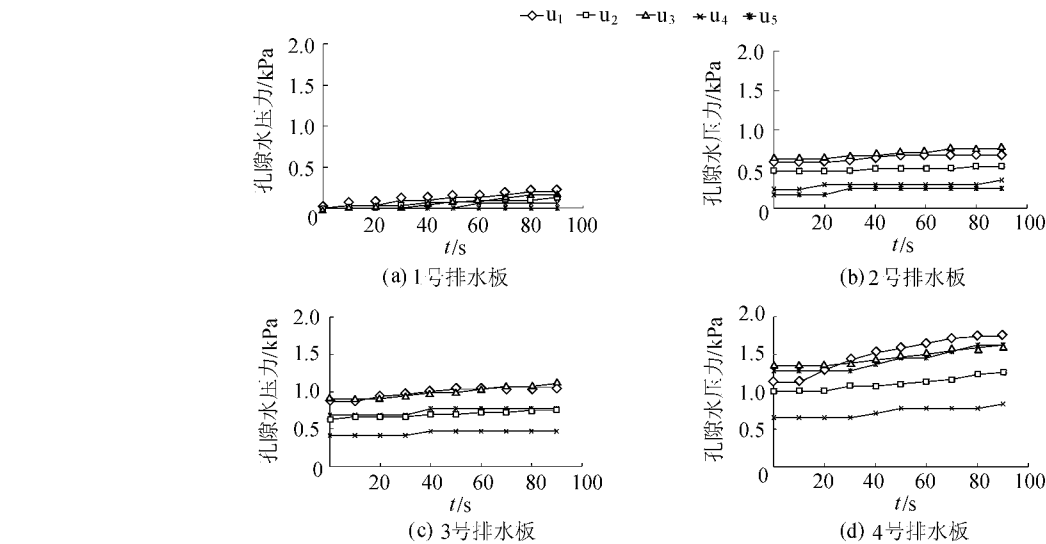


图2 单根排水板施工孔隙水压力变化

Fig.2 Variation of pore water pressure in construction process of single prefabricated vertical drain

2.1 塑料排水板施工距离对孔隙水压力的影响

由图2可知,塑料排水板打设过程中,土体孔隙水压力都有所上升。打设塑料排水板时间约为90 s,插板时间与拔管时间基本相同。从孔隙水压力随时间变化曲线来看,插板时孔隙水压力上升,拔管时孔隙水压力也有所上升,而插板达到设计深度时上升最快,然后缓慢上升,这说明孔隙水压力的增长并未因插板结束而停止,有滞后现象。插板距离对孔隙水压力的影响较大,当距离为4 m时,孔隙水压力最大上升到0.19 kPa;当距离为3 m时,孔隙水压力最大上升到0.75 kPa;距离为2 m时,孔隙水压力上升到1.11 kPa;当距离为1 m时,孔隙水压力最大上升到1.75 kPa,此时上升幅度最大。

图3为单根排水板插板结束时孔隙水压力与距离的关系曲线。当插板距离大于2 m时,孔隙水压力上升相对平缓,而距离小于2 m时,孔隙水压力上升很快。

48	49	50	51	13	52	53	54	55
63	62	61	60	14	59	58	57	56
64	65	66	67	15	68	69	70	71
72	73	74	75	16	80	78	77	76
01	02	03	04	☒	12	11	10	09
47	46	45	44	08	79	43	42	41
33	34	35	36	07	37	38	39	40
32	31	30	29	06	28	27	26	25
17	18	19	20	05	21	22	23	24

图1 塑料排水板施工平面图及编号

Fig.1 Layout of prefabricated vertical drains

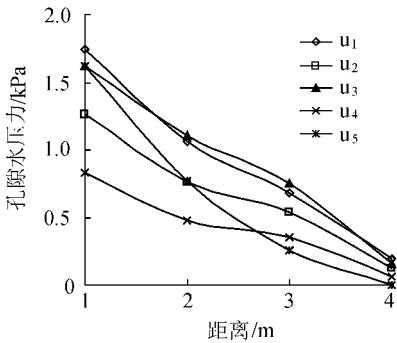


图3 不同距离单根排水板施工后孔隙水压力

Fig.3 Pore water pressure of single prefabricated vertical drain with different distances after construction

从孔隙水压力计深度位置来看,表层 4 m 处孔隙水压力计反应灵敏,16 m 处孔隙水压力上升最快,而其他孔隙水压力计反应不一。

2.2 塑料排水板板群施工对孔隙水压力的影响

图 4 为塑料排水板板群施工过程孔隙水压力变化曲线。当塑料排水板打设到 12 根前,孔隙水压力上升明显;打设 12~45 号塑料排水板时,孔隙水压力上升缓慢;而打设 45~75 号塑料排水板时,孔隙水压力又呈现出明显的上升趋势,此后趋于平缓。这主要是因为前 45 根塑料排水板都集中在孔隙水压力计的一侧,而当另一侧塑料排水板开始打设后,又引起孔隙水压力的较大增长,说明打设塑料排水板对中心点的孔隙水压力影响很大。另外,打设多根排水板引起的孔隙水压力明显比打设单根排水板的大得多,存在板群效应。从图 4 还可以看出,施工到第 45 根塑料排水板时,孔隙水压力最大上升到 12.15 kPa,打设第 80 根时,孔隙水压力最大上升到 23.27 kPa,说明以孔隙水压力计为中心,单侧排水板施工对孔隙水压力的影响基本一致,只是后施工一侧引起的孔隙水压力增长更大些。

2.3 地基土质对孔隙水压力的影响

由图 4 可知, u_1 、 u_5 埋设于淤泥层中,孔隙水压力增长快而且大,而 u_2 、 u_3 埋设于夹砂层中,孔隙水压力前期增长快,后期水压力的增长与消散基本一致,孔隙水压力不再增长。由图 3 和图 4 还可以看出,排水板板群施工时,孔隙水压力增长远大于单根施工引起的孔隙水压力增长。图 3 和图 4 的曲线形状表明,排水板板群施工深层淤泥的孔隙水压力增长快且大,而单根排水板施工,浅层淤泥的孔隙水压力增长快但增幅小。

2.4 塑料排水板施工对土体强度的影响

图 5 为塑料排水板施工前、后及施工后 1 周的十字板强度试验结果。根据试验结果,塑料排水板施工将引起软土强度损失 22.6%~39.9%,而 1 周后,软土强度恢复了原强度的 10.1%~33.7%,平均值为 20.0%,相当于损失强度的 38.4%。众所周知,塑料排水板、袋装砂井、搅拌桩等施工都会使软土强度降低,但这种强度降低采用损伤理论的损伤系数来估计确定的做法不能反映土体因施工扰动而导致强度损失的机理。根据本次排水板施工过程的孔隙水压力试验结果,可以说明施工扰动对软土强度主要产生 2 个方面的作用:一方面使软土地基内的孔隙水压力增长,引起有效应力减小,从而导致软土强度的降低;另一方面,施工扰动使地基软土结构发生破坏而引起软土强度降低。

对 4 m、13 m 及 16 m 处有效应力减小值进行估算,地下水位在原地基表面(砂垫层底面),4 m、13 m、16 m 处的有效应力分别为 22.8 kPa、79.6 kPa、101.2 kPa,排水板施工引起的孔隙水压力分别为 7.79 kPa、16.29 kPa、23.27 kPa,排水板施工引起孔隙水压力增长占有效应力的百分比分别为 34.1%、20.5%、23.0%。由于孔隙水压力增长引起的地基土强度损失是施工扰动的主要因素,并且随着地基土孔隙水压力的消散,损失的这部分地基土强度亦随之恢复,结构扰动的强度损失恢复较慢。

3 结 论

- a. 离排水板不同距离处排水板施工引起的孔隙水压力增长是不同的,距离越近,孔隙水压力增长越高。单根施工引起的孔隙水压力增长较小,但对表层孔隙水压力影响大。
- b. 排水板板群施工时,孔隙水压力增长远大于单根施工引起的孔隙水压力增长,且周围 4 m 左右范围

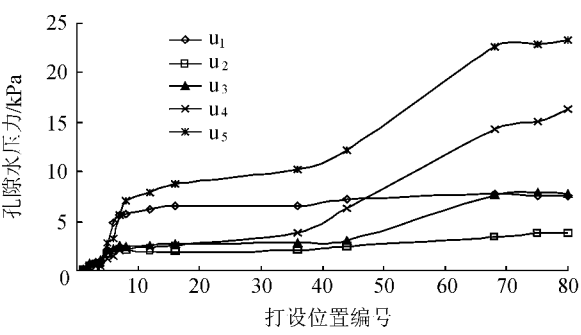


图 4 排水板板群施工过程孔隙水压力变化
Fig.4 Variation of pore water pressure in construction process of group vertical drains

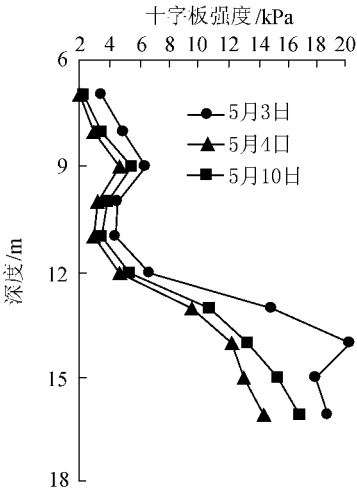


图 5 地基土排水板施工前后十字板试验结果
Fig.5 Results of vane shear testing before and after vertical drain construction

排水板施工对排水板板群形心处孔隙水压力增长有叠加效应 ;以孔隙水压力计为中心 ,单侧排水板施工对孔隙水压力的影响基本一致 ,只是后施工一侧引起的孔隙水压力增长更大些 .

c. 淤泥层中孔隙水压力增长快而且大 ,夹砂层中孔隙水压力前期增长快 ,后期水压力的增长与消散基本一致 .排水板板群施工时 ,深层淤泥的孔隙水压力增长快且大 ,而单根排水板施工时 ,浅层淤泥的孔隙水压力增长快但增幅小 .

d. 施工扰动对软土强度主要产生 2 个方面的作用 :一方面 ,施工扰动使软土地基内的孔隙水压力增长 ,引起有效应力减小 ,从而导致软土强度的降低 ;另一方面 ,施工扰动使地基软土结构发生破坏而引起软土强度降低 .由于孔隙水压力增长引起的地基土强度损失随着地基土孔隙水压力的消散而恢复 ,结构扰动的强度损失恢复较慢 .

参考文献 :

- [1] 孙钧,周健,龚晓南,等. 受施工扰动影响土体环境稳定理论与变形控制[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2004, 32(10): 1261-1269.
- [2] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1988.
- [3] 施建勇,赵维炳,艾英铤,等. 砂井施工对软黏土扰动的研究[J]. 河海大学学报, 1997, 25(2): 30-33.
- [4] 施建勇,赵维炳. 考虑损伤的软土地基变形分析[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 2-5.
- [5] 刘吉福,杨春林. 珠江三角洲地区竖向排水体施工扰动初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(1): 142-147.
- [6] 王育兴,孙钧. 打桩施工对周围土性及孔隙水压力的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(1): 153-158.
- [7] 唐世栋,何连生,傅纵. 软土地基中单桩施工引起的超静孔隙水压力[J]. 岩土力学, 2002, 23(6): 725-729.
- [8] 王立忠,丁利,吴承章. 施工扰动对软土强度的影响[J]. 工业建筑, 2001, 31(9): 48-50.

Field experimental study on soft clay disturbance due to construction of prefabricated vertical drains

AI Ying-bo¹, KE Zhao-hui², HU Hui³, DENG Bin¹

(1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Guangzhou Harbor Group Ltd. Co., Guangzhou 510700, China ;

3. College of Civil Engineering, Jinan University, Guangzhou 510230, China)

Abstract :Pore water pressure monitoring and vane shear testing were conducted during the construction of prefabricated vertical drains. The increase and dissipation of the pore water pressure before and after the vertical drain construction were investigated. According to the effective stress change and structure disturbance of soft ground , the process of soil strength loss and recovery were studied. Some conclusions are drawn : the increase of pore water pressure due to the construction of a single vertical drain is insignificant except for soil near the ground surface ; the construction of group drains is of superposition effect on the increase of pore water pressure within a range of 4m ; the vertical drain construction results in the decrease of soil strength because it increases the pore water pressure , decreases the effective stress , and destroys the soil structure ; the recovery of soil strength loss caused by the increase of pore water pressure is fast , whereas , the recovery of that caused by structure disturbance is slow .

Key words :prefabricated vertical drain ; construction disturbance ; pore water pressure ; vane shear strength