



直排式真空预压法在高渗透软黏土地基中的应用

于建海¹, 豆文朋²

(1. 神华黄骅港务有限责任公司, 河北 黄骅 061100;
2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 采用直排式真空预压法对北方某港口高渗透性软土地基进行处理, 该工法取消了水平排水砂垫层, 以真空排水管网与排水板直接连接, 形成排水系统, 真空能量更为快速有效地作用于加固土体, 加固后土体的各项指标均达到了处理目标的要求, 技术经济效果显著, 可为类似高渗透性软土地基处理提供有益的借鉴。

关键词: 直排式真空预压法; 高渗透性软土; 地基处理; 效果

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0181-04

Application of direct vacuum preloading method to soft clay stratum with high permeability

YU Jian-hai¹, DOU Wen-peng²

(1. Shenhua Huanghua Ports Affairs Co., Ltd., Huanghua 061100, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The direct vacuum preloading method was applied to improve the soft clay stratum with high permeability at a harbor in North China. This method cancels horizontal drainage sand cushion and connects plastic vertical drainage (PVD) with sealed pipe network directly. The energy can be transmitted with high efficiency. The characters of the soft clay stratum were greatly improved. The advantages of such method in economical efficiency and technicality were verified. The instance could be used as a reference for similar projects.

Key words: direct vacuum preloading method; soft clay stratum with high permeability; ground improvement; effect

常规真空预压法需大量的优质中粗砂作为水平砂垫层, 中粗砂不仅资源紧缺, 且价格昂贵, 因此, 近几年一种新的软基处理方法——“直排式真空预压地基处理方法”应运而生, 其特点是: 取消水平向排水砂垫层, 把竖向塑料排水板与真空排水管网直接密闭相连, 提高真空荷载的利用能效。本文以北方某港口试验区为例, 介绍直排式真空预压的特点及地基处理的效果。为港区大面积采用直排式真空预压法进行高渗透性软土的加固提供技术储备。

1 工程地质条件

根据试验区勘察资料揭示的地层显示, 依托工程主要地层如下:

①冲填土: 以粉土、粉细砂为主, 夹较多的黏粒, 灰色、局部灰黄色, 该层分布连续, 平均层厚3.47 m。

①₁冲填土: 为冲填淤泥, 灰黄色, 软塑, 局部为粉砂、粉土块。该层分布较为连续, 平均层厚1.16 m。

②淤泥质粉质黏土: 灰色-深灰色, 软塑, 连

收稿日期: 2012-03-06

作者简介: 于建海(1962—), 男, 高级工程师, 主要从事港口工程建设与管理工作。

续分布,层厚不均,平均层厚1.19 m。

③₁粉砂、粉土:灰黄色,松散,颗粒级配较差,局部夹多层厚粉质黏土薄层。该层分布连续,平均层厚2.11 m。

③₂淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土:灰色夹灰黑色,软塑,连续分布,层厚不均,平均层厚0.76 m。

③₃粉土:灰色-深灰色,稍密,颗粒较均

匀,含较多的黏粒,局部夹粉质黏土薄层。分布连续,平均层厚3.82 m。

④淤泥质粉质黏土:灰黑色,软塑,质较纯,局部为淤泥质黏土。分布连续,平均层厚6.01 m。

⑤₁粉土:灰色,稍密,颗粒较均匀,混较多的黏粒,平均层厚1 m。

工程地质剖面如图1所示,主要土层土性指标如表1所示。

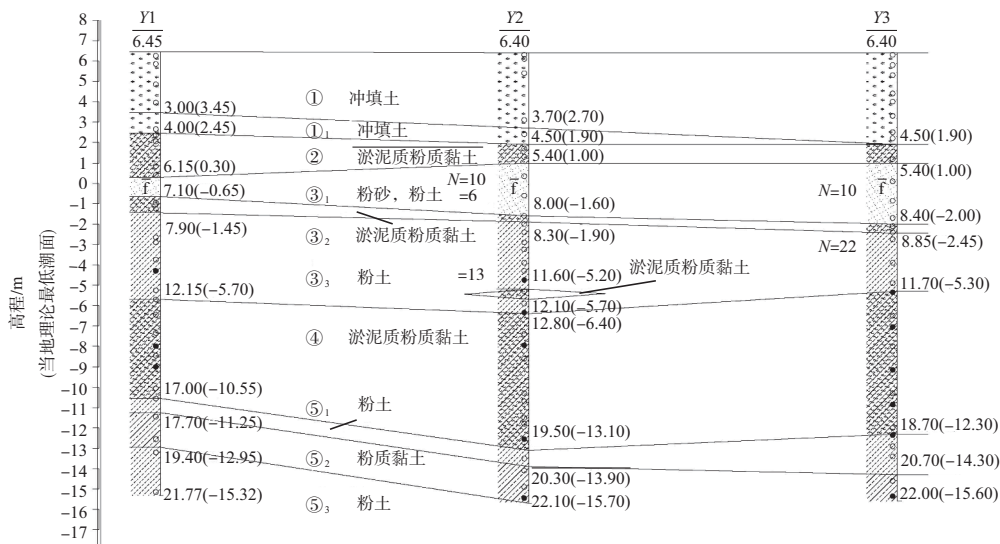


图1 场区工程地质剖面

表1 试验区土层物理、力学指标

土层名称	含水率 $\omega/\%$	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	液限 $\omega_L/\%$	塑性 指数 $I_p/\%$	液性 指数 I_L	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$	快剪 C_u/kPa	快剪 $\Phi_u/(\circ)$
①冲填土	22.9			25.3	7.4	0.60			
① ₁ 冲填土	36.1			34.2	14.6	1.06			
②淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土	39.4	1 800	1.044	35.4	16.7	1.26	2.98	25.0	11.0
③ ₁ 粉砂、粉土	27.6			26.7	8.9	1.12			
③ ₂ 淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土	40.8	1 820	1.019	35.4	16.2	1.38	3.12		
③ ₃ 粉土	24.5	1 980	0.642	27.1	7.7	0.64		12.7	29.1
④淤泥质粉质黏土	38.3	1 800	1.052	35.4	16.5	1.18	3.65	20.8	5.7

场区地层具有以下特性: 1) 表层为新近吹填粉土或粉细砂和淤泥,承载力极低; 2) 原沉积淤泥质土,强度低、砂夹层多、渗透系数大; 3) 吹填土层以及原沉积上层土为高渗透性土,易形成真空预压漏气层,须进行密封处理; 4) 地下水位高,吹填土承载力低,场地作业困难。

2 直排式真空预压法

直排式真空预压法是在常规真空预压法的基

础上对真空压力传递路径的改进。与常规真空预压法相比,直排式真空预压法取消了水平排水砂垫层和滤管,用密闭的主管、支管、连接管与排水板密闭相连,对排水板形成封闭的真空压力传递系统(图2),减少了真空荷载传递过程中的能量损耗,提高了真空荷载的作用能效^[1-3],增强加固效果,而且缩短了工期,节约了工程造价,节能减排效果显著。

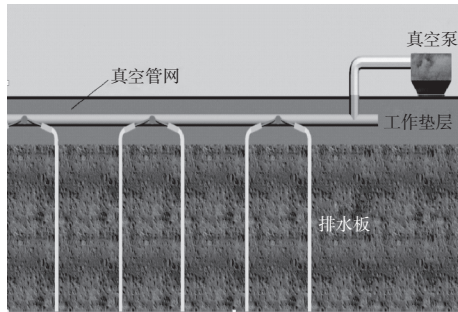


图2 直排式真空预压示意

3 试验方案设计

场区表层吹填土以及③₁和③₃层高渗透软土, 黏粒含量分别为7.3%和10.3%, 针对这种地质的特点, 采用直排式真空预压法处理密封是成败的关键, 2010年选择典型区域现场进行原位试验, 试验目的是研究直排式真空预压法加固该地基土的可行性以及适合该地基处理的成套直排式真空预压法施工工艺, 了解预压过程中地基的固结沉降变化规律。

3.1 直排式真空预压方案设计

采用B型塑料排水板作为竖向排水通道, 正方形布置, 间距1 m, 打设至高程-13.5 m, 打设深度为20.5 m。黏土密封墙拌和深度为14.5 m, 宽度1.2 m。水平排水系统采用主管、支管和连接软管, 通过特制连接器与排水板头密闭相连, 设计膜下真空度85 kPa, 抽真空90 d, 具体抽真空时间可以根据监测结果做适当调整。

根据场区的地质资料在预压荷载作用下的固结、沉降计算采用土力学的太沙基和巴隆的固结理论和(沉降)分层总和法。计算结果见表2。

表2 地基沉降及固结度计算结果

满载预压时间/d	固结度/%	预压沉降/cm	最终沉降/cm
90	90.1	83.8	93.1

3.2 监测仪器的设置

为及时掌握加固过程中地基土固结、土层沉降变形等情况, 确定卸载时间, 实时分析软基加固的效果, 布置了地表沉降、孔隙水压力、膜下真空度、排水板内真空度、深层分层沉降、地下水水位等。整个预压过程连续观测, 并在预压前后

进行了原位取土和标贯、十字板剪切试验、静载荷试验等, 判定地基加固效果。

4 地基处理效果

4.1 沉降固结

地基表层沉降包括打设塑料排水板期间沉降和预压期间沉降, 由于地基土为欠固结土, 且表层为新近吹填, 打设塑料排水板后, 由于排水路径缩短产生固结变形, 再加上黏土密封墙工期延续较长, 致使真空预压开始前, 区内沉降了40.9 cm, 真空预压满载75 d预压期间沉降量为37.3 cm, 总固结沉降为78.2 cm。实测固结沉降曲线如图3所示。

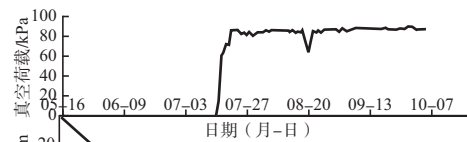


图3 2010年5—9月表层沉降历时曲线

利用实测沉降曲线推算的最终沉降量为81.5 cm, 地基土平均固结度为95.9%。

从上述观测及计算结果可知, 试验区沉降速率衰减较快, 满载50 d后, 沉降速率满足卸载要求, 其原因主要与本地区高渗透软土地基中含砂夹层多、渗透系数大的特性有关。所以插板期沉降量大, 真空预压前期沉降速率大, 总体沉降相对较小, 达到卸载要求的工期较短。另外, 从各土层的分层沉降和超孔隙水压力的消散情况也同样反应了这一规律, 见图4和图5。

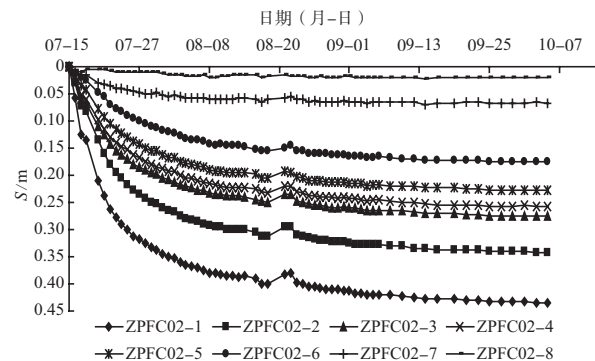


图4 2010年7—10月分层沉降历时曲线 (未包括插板期沉降)

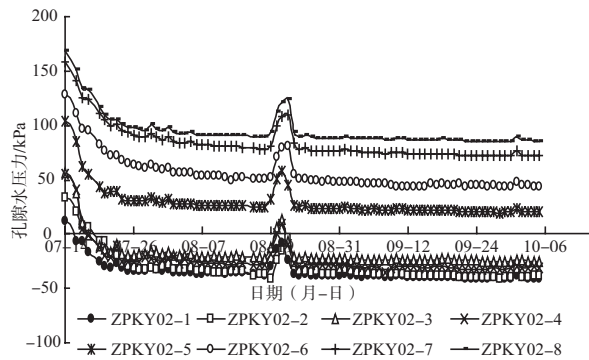


图5 实测总孔隙水压力历时曲线

4.2 加固前后土性指标对比

在地基处理前后，分别在相近位置进行取土，试验区加固前后土样物理力学性指标对比见表3。

表3中试验数据表明：土体经过真空预压加固后，物理力学指标均有较大改良，含水率平均减幅为18.9%，密度平均增加3.6%，孔隙比平均减幅为14.8%，压缩系数平均减幅为41.5%，各土层的检测结果与监测仪器的观测分析结果是基本一致的，这说明了直排式真空预压法适用于此类地

表3 加固前后土体物理、力学指标对比

土层名称	加固阶段	含水率 $W/\%$	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	孔隙比 e_0	液性指数 I_L	压缩系数 $a_{0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$
①吹填粉土、粉砂	加固前	22.9	1.93	0.702	0.60	0.288
	加固后	20.2	2.03	0.567	0.40	0.128
	增幅/ $\%$	-11.8	5.2	-19.2	-33.3	-55.6
① ₁ 吹填淤泥	加固前	36.1			1.06	
	加固后(粉质黏土)	25.4			0.70	
	增幅/ $\%$	-29.6			-34.0	
②淤泥质粉质黏土	加固前	39.4	1.80	1.044	1.26	0.795
	加固后(粉质黏土)	31.9	1.86	0.911	0.96	0.501
	增幅/ $\%$	-19.0	3.3	-12.7	-23.8	-37.0
④淤泥质粉质黏土	加固前	38.3	1.80	1.052	1.18	0.604
	加固后(粉质黏土)	32.4	1.85	0.919	0.74	0.412
	增幅/ $\%$	-15.4	2.3	-12.6	-37.3	-31.8

基，且在可大大的缩短工程工期。

4.3 加固后土体承载力

由于处理后吹填土层及底部原淤泥质土层夹粉土薄层无法进行十字板试验，仅对吹填土层下部的原淤泥质土层进行了十字板试验，对于不能进行十字板检测的吹填土层及底部原淤泥质土层进行了标准贯入试验。加固前后标贯击数随深度变化曲线见图6。

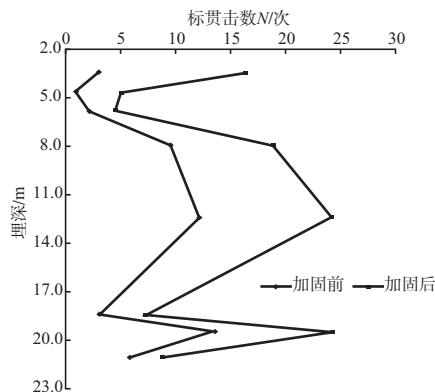


图6 加固前后各分区土层标贯击数对比曲线

从图中可以看出，各土层的强度在加固后均有了大幅度的提高，尤其是表层的冲填土层，增幅基本上在4倍以上，说明直排式真空预压法加固效果良好。

加固后利用载荷板检验地基承载力，试验时采用慢速维持荷载法，分别在场区的边缘和中心设置3个检测点，试验结果见表4，均大于设计要求的80 kPa。

表4 各测点承载力特征值

静载试验点位置及编号	累计沉降量/mm	承载力特征值 f_{sk}/kPa
北侧D1	10.10	≥ 120
南侧D2	2.73	≥ 120
中心D3	3.68	≥ 120

5 结语

1) 本试验应用直排式真空预压法对北方某港区的高渗透性软土地基进行了处理，地基处理效果良好，为类似高渗透性软土地基的处理提供了经济实用的新技术。 (下转第197页)