

淮河入江水道运河西堤崇湾段 变真空预压排水固结技术试验研究

宗 珊

(扬州市水利局, 江苏 扬州 225001)

摘要: 本文针对淮河入江水道运河西堤崇湾段深层淤土软弱地基承载力差的特点, 通过变真空预压法与传统真空预压法现场试验区的监测与检测数据对比分析得出: 变真空预压法大幅度提高了真空预压的能效, 对于加固深层淤土地基可以达到降低含水率、提高承载力, 达到堤身稳定的目的, 具有推广应用价值。

关键词: 地基; 真空预压; 排水固结; 试验

中图分类号: TV882.9

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2016) 04-0010-06

Experimental study on drainage consolidation technology with variable vacuum preloading at Chongwan section of Huaihe-into-Yangtze River watercourse

ZONG Shan

(Yangzhou Water Conservancy Bureau, Yangzhou 225001, Jiangsu)

Abstract: Because of poor foundation bearing capacity at Chongwan section of Huaihe-into-Yangtze River watercourse, the monitoring and test data between variable vacuum preloading method and traditional vacuum preloading method is compared in this paper. The result shows that variable vacuum preloading method greatly improves the efficiency of vacuum preloading, so as to reinforce the deep silt foundation through reducing moisture content and increasing the bearing capacity, finally achieving the purpose of the dike stability.

Key words: foundation; vacuum preloading; drainage consolidation; test

0 引言

扬州市境内的淮河入江水道运河西堤崇湾段(桩号 49+580 ~ 50+335)为历史险工段,该段堤身、堤基下 20 m 深度范围内分布软土层,且含水率高、强度低,堤身沉降不稳定。历史上曾对该段堤防采取了培高加厚、水泥土搅拌桩加固等处理方法,但一直未能根本解决堤身沉降不稳定的问题。本次新一轮淮河入江水道整治工程设计采用真空预压排水板法对该段地基进行加固处理,本文就以

该项工程建设为依托,对运河西堤崇湾段“传统真空预压法”和“变真空预压法”软土地基排水固结试验进行了对比研究,根据现场监测和检测的相关数据进行分析比较,从而对地基加固效果得出了综合评价,并对“变真空预压法”提出相关建议。

1 真空预压法

1.1 真空预压法的基本原理

真空预压技术是一种基于土的固结原理而发

收稿日期: 2016-02-01

作者简介: 宗珊(1984-),女,硕士学位,工程师,主要从事水利工程的建设与管理工作。

展起来的经济可靠的软土地基处理方法^[1]。该法主要是在需要加固的软土地基内设置砂井或塑料排水带,然后在地面铺设砂垫层,其上覆盖不透气的密封膜与大气隔绝,通过埋设于砂垫层中带有滤水孔的分布管道,用真空装置进行抽气,形成大气压差,使土中孔隙水通过竖井渗流,使孔隙水压力降低,有效应力提高,使土逐渐固结,直至满足设计要求。

1.2 真空预压技术的研究与应用现状

20世纪80年代初,真空预压法最先在天津港东突堤软基处理工程中取得成功。随后,真空预压法加固软土地基广泛用于港口、高速公路、机场跑道、电厂厂区、石化油罐区等工程。目前,在港口建设工程中,真空预压法加固软土地基使用最为广泛^[2]。20世纪90年代后期,该方法得到很大的发展,从单一的真空预压法加固软土地基发展到真空联合堆载、真空联合降水等加固软土地基等多种方法。

2 试验区工程地质概况

运河西堤崇湾段变真空预压排水固结加固试验深度范围内地层分布主要有:④层(Q^{4ml}),土质较杂,主要为堤身堆土,分布层厚不均,层厚7~9 m。④'层淤泥,饱和,流塑状态,高压缩性,力学强度低。①₂层(Q^{4al-1}),近代冲积~泻湖相粘性土或淤泥质粘性土。其特点是腐殖质含量高,含水量大,灵敏度高,强度低,压缩性大,是本工程中影响大堤安全的关键性土层。①₂'层(Q^{4al-1}),土质较杂,局部为夹粉质粘土薄层,仅在运河西堤古河槽部位的部分钻孔中有揭示,层厚0.6~3.9 m。①₂₁层:淤泥,饱和,流塑状态,高压缩性,有机质含量3.08%~3.88%,力学强度低。①₂₁'层:淤泥,饱和,流塑状态,中压缩性,力学强度低。

3 工程试验

3.1 试验方案

针对运河西堤崇湾段淤土层处理加固深度大、力学指标差、处理难度大等特点,考虑到真空预压的施工特点和设计现状,本次试验研究主要围绕“变真空排水固结技术”来开展。根据工程地质资料,试验场地选择在有较厚淤泥土层的崇湾段南凹,场地分成两块,分别进行传统真空试验和变真空试验^[3]。其中传统真空预压试验区面积

400 m²,变真空试验区面积600 m²,平面位置如图1所示。

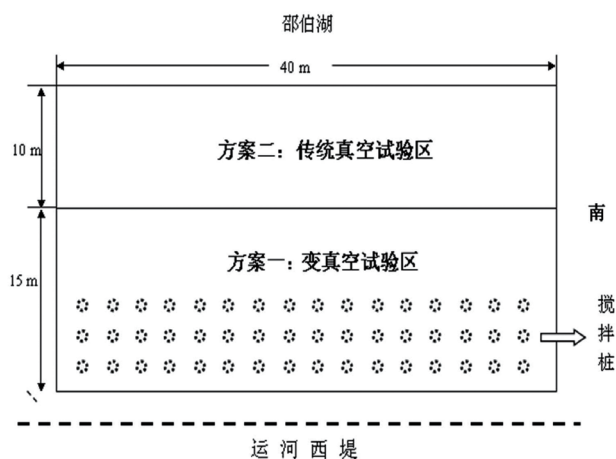


图1 试验场地平面布置示意图

(1)传统真空预压试验区方案:地表铺设0.5 m厚排水中粗砂垫层,塑料排水板采用SPB-C型,板宽100 mm,板厚4.5 mm,纵向通水量大于40 cm³/s;排水板点位呈正方形分布,间距0.9 m,打设深度分别为13 m和20 m。膜下真空压力不小于80 kPa,达到设计真空压力7 d后,开始联合堆载预压(50 kPa)。

(2)变真空预压试验区方案:在地基中打设竖向排水板,用管路代替砂垫层直接和排水板、真空泵相连,用密封膜对场地进行密封,真空荷载通过管路系统和排水板传递到地基深层,使地基发生排水固结。当变真空场地沉降趋于稳定时,开启增压系统,对加固土体进行劈裂,形成新的排水通道,加速土体固结。

3.2 试验过程

按照制定的试验方案,试验小组进行了一系列的场地平整、测量定位、排水板打设、管路系统和增压系统布设、砂垫层实施、土工布铺设、密封膜铺设、连接射流泵及相关数据监测工作。试验于2013年9月开始到2013年11月底完工,累计抽真空时间为78 d。

3.3 试验监测与检测

真空预压试验作了全面的监测与检验布置。在两个对比试验区块中分别布设了土中孔隙水压力计(8个),泵上、膜下和排水板内真空压力观测真空表(12个),地面沉降量监测沉降标(6个),深层分层沉降观测探头(12个),地下水位观测(1个)。同时对加固前、后的土体取样进行相关物理力学指标对比试验。

4 现场试验结果与分析

4.1 真空度变化及分析

4.1.1 传统真空膜下真空度

传统真空预压试验场地的真空荷载采用一次性施加,如图2所示,抽真空前7 d,射流泵上的真空度上升到80 kPa;随着射流泵持续抽气工作,射流泵真空度缓慢增长并逐步稳定在90 kPa左右,其变化规律符合真空预压加固地基的真空度变化的一般规律^[4]。同时,传统真空预压场地的膜下真空度经过3 d的升高后基本不再有明显提升,膜下真空度维持在55 kPa左右,比射流泵上的真空度小35 kPa,真空度从射流泵传递至砂层后发生较为显著的损失。

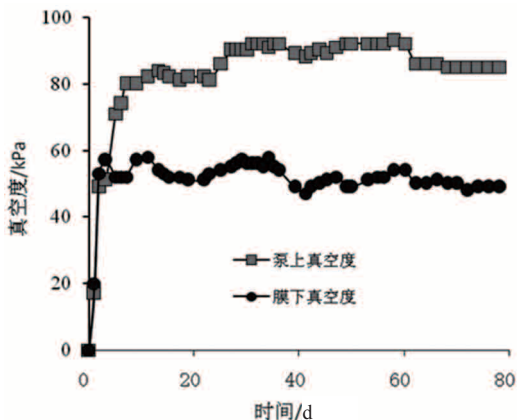


图2 传统真空场地膜下真空度随时间变化曲线

4.1.2 变真空膜下真空度

鉴于本次现场场地淤泥土层经过长时间的自重固结,土体已经形成相对稳定的骨架结构,不存在因真空荷载施加过大而发生淤堵的问题,故本次变真空试验场地真空荷载采用一次性加载,如图3所示,抽真空前7 d,射流泵真空度上升到80 kPa,并随着时间的增长,逐步稳定在90 kPa左右。对比传统真空预压试验场地真空度测试结果可以发现,两个试验场地的泵上真空度变化规律基本一致;同时,变真空试验场地的膜下真空度几乎与射流泵真空度完全相同,并且在场地的不同位置,真空度分布是均匀的。

4.1.3 膜下真空度差异原因分析

图4给出了两个试验场地膜下真空度随时间变化的曲线,从图中看出,变真空场地的膜下真空明显大于传统真空的膜下真空度,前者比后者高出了60%。现场两个试验场地的密封条件完全相同,并且两个试验场地射流泵的真空度数值也基

本一致,因此,变真空试验场地膜下真空度显著大于传统真空试验场,其原因可以归结于:变真空排水固结加固工艺采用了管路系统代替传统真空预压法中砂垫层,管路系统能够减少传递过程中的损失,更为通畅地传递真空荷载,提高地基加固效果。

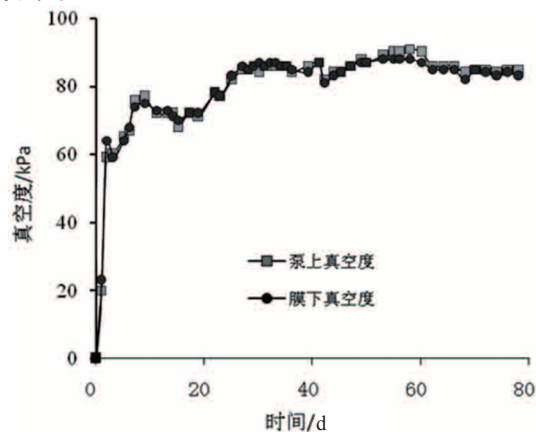


图3 变真空场地泵上真空度和膜下真空度随时间变化曲线

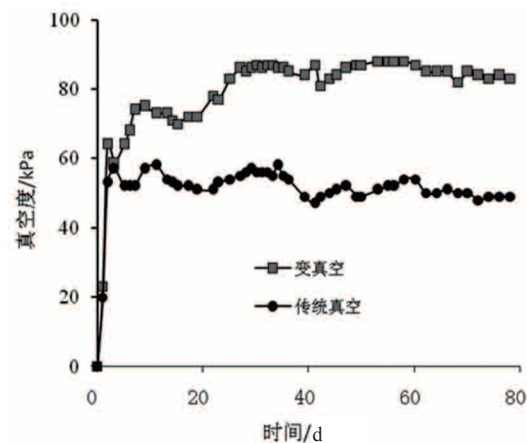


图4 不同工艺的膜下真空度对比图

4.1.4 竖向排水板的真空度沿深度方向上的变化规律

作用在排水板中形成的负压分布直接决定了相应深度土体的固结效果。因此,真空能否在排水板中有效传递是保证深层软土地基加固效果的关键。图5给出了变真空场地排水板不同深度处的真空度随时间变化曲线,由图可知,沿着排水板的深度方向,真空度是递减的。在抽真空35 d后,开始观测到13 m深度的真空度,约10 kPa。在本次现场变真空试验中,0~5 m范围内真空度损失量为10 kPa/m,5 m以下损失量为3 kPa/m,真空度损失量符合目前已有相关研究结果,但损失集中于表层0~5 m的填土层范围内。表明采用管路替代砂层虽然能够满足膜下真空度在较高水平,

但是当真空度沿深度传递时, 1.5 m 深的密封沟未能完全截断 0 ~ 5 m 范围内的填土层的沿程损失, 导致下部排水板真空度相对较低。

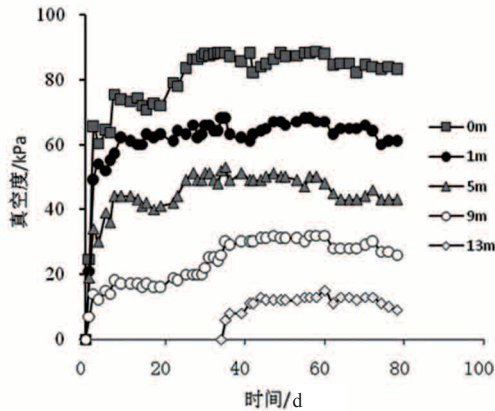


图5 变真空场地不同深度排水板真空度随时间变化曲线

4.2 孔隙水压力变化及分析

孔隙水压力是根据预先埋设的振弦式孔压计测定, 图6和图7显示了两种工艺不同深度孔隙水压力消散值随时间变化曲线, 从图中可以看出: 孔隙水压力消散值随时间的增长逐渐增大, 说明土体的有效应力在不断增大, 土体产生固结^[5]。

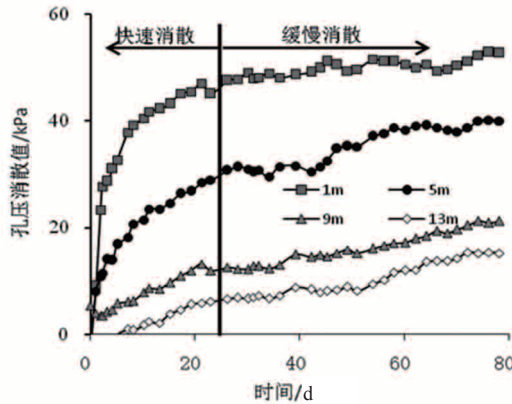


图6 传统真空不同深度孔压消散值变化曲线

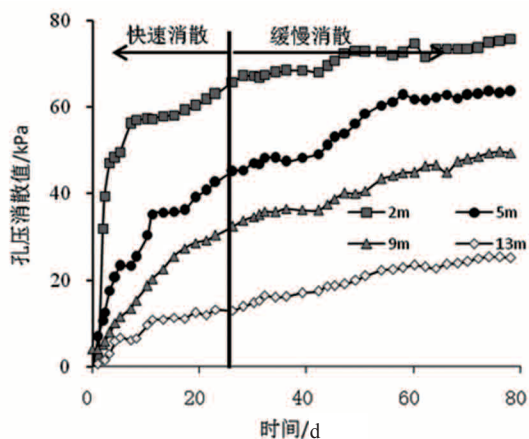


图7 变真空不同深度孔压消散值变化曲线

图8~图11给出两种试验在相同深度下的孔压消散对比曲线, 从图中可以看到, 在相同的深度处, 变真空中的孔压消散值明显大于传统真空中的孔压消散值, 也就是变真空场地土体的有效应力增加值明显大于传统真空场地土体, 由表1的统计数据可知, 变真空孔压消散值(有效应力增加值)比传统真空至少提高46%, 在某些地层甚至提高了100%以上。这表明了采用变真空固结技术加固土体更为有效、更为高效, 起到提高土体固结速率的效果。

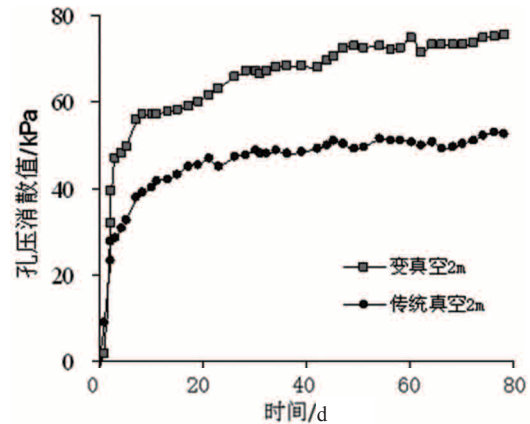


图8 深度2 m处孔压消散情况对比

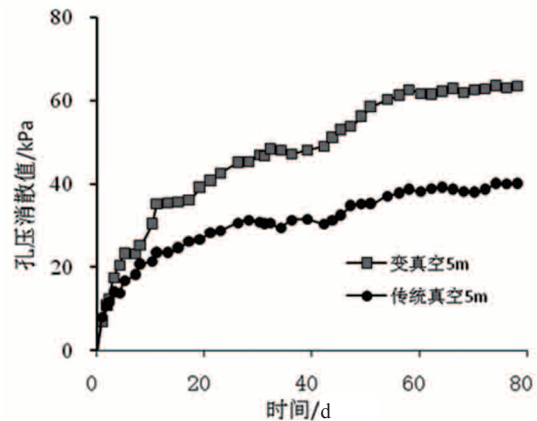


图9 深度5 m处孔压消散情况对比

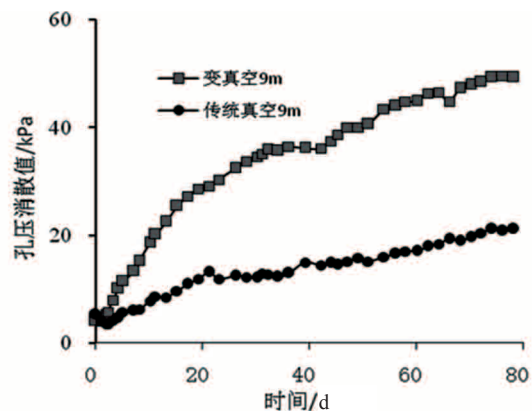


图10 深度9 m处孔压消散情况对比

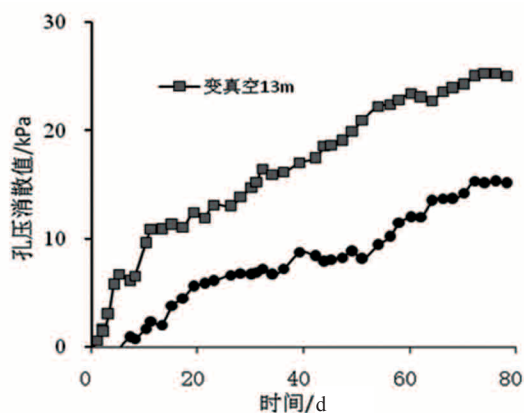


图11 深度13 m处孔压消散情况对比

4.3 地面沉降量变化

地表沉降量为打设塑料排水板期间的平均沉降量和预压荷载作用下产生的平均沉降量之和。根据图12、图13显示的两种工艺中地面沉降量随时间变化曲线显示:传统真空地基最终沉降为52.7 cm,固结度为91.7%;变真空无桩部分最终沉降为64.8 cm,固结度为96.7%;变真空有桩部分地基最终沉降为35.5 cm,固结度为96.8%。经计算,传统真空场地固结度达到90%需74 d左右,而变真空场地固结度达到90%仅需63 d左右,所需时间明显较短。因此,采用变真空工艺可以明显缩短施工工期,提高施工效率,特别对于施工工期紧张的工程项目,该工艺尤为适用。

4.4 分层沉降变化与分析

本次试验在场地的四个不同区域分别埋设了分层沉降仪,由监测数据发现,只有变真空南部分层沉降仪有效,其他仪器失效,可能是由于沉降仪磁环没有很好地嵌入淤土中,导致土层和磁环不能协调沉降。从图14可以看出,随着深度的增加土层沉降量的降低非常显著,到了10 m以下的土层,仅有很少的沉降。

4.5 原位测试及取样分析

固结试验结束后,将表面密封膜和砂层去掉,对场地不同位置以及不同深度的淤泥进行现场取样,并进行了芯样含水率、颗粒分析、比重、固结压缩特性试验研究,为对固结后淤泥的强度特性进行研究。同时进行了静力触探原位试验,并将其与固结试验前进行对比,分析真空预压处理的效果。

4.5.1 含水率测试

为了了解真空预压处理前后土层含水率的变化情况,对试验结束后的土层进行钻孔取样并测

试其含水率,表2给出了下部存在深厚软土层的变真空北试验区域在不同深度处的含水率。通过变真空技术处理,不同土层含水率均有明显降低,含水率最大降低15%,最小降低3%,平均降低约为8%。其中5~10 m淤土层的含水率下降比较明显,整个土层含水率最大降低11%,平均降低约为5%。

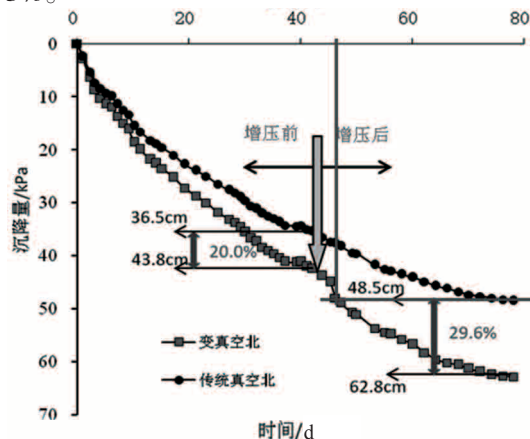


图12 场地北部两种工艺沉降量随时间变化曲线

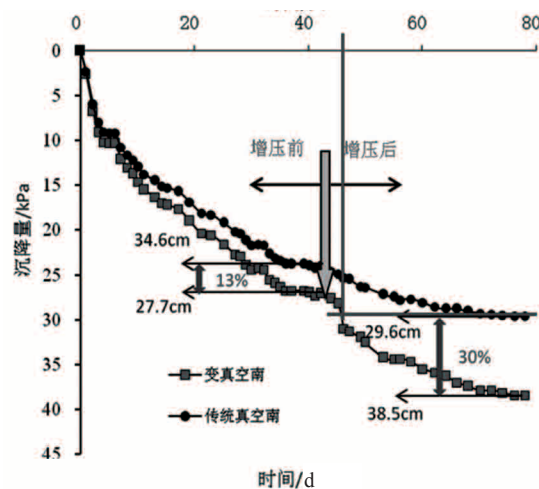


图13 场地南部两种工艺沉降量随时间变化曲线

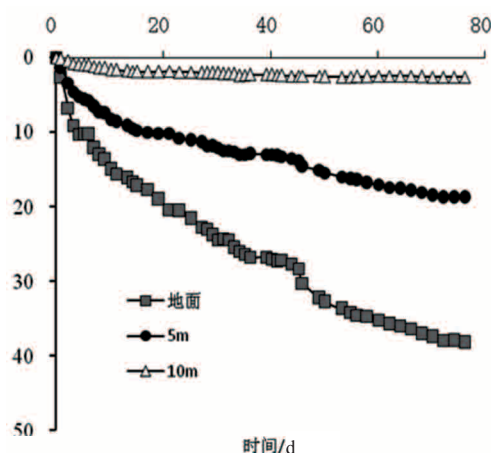


图14 变真空南分层沉降量随时间变化曲线

表 1 传统真空孔隙水压力消散值及有效应力增加值统计

深度 /m	处理前 /kPa	处理后 /kPa	消散值 /kPa	有效应力 增加值/kPa	深度 /m	处理前 /kPa	处理后 /kPa	消散值 /kPa	有效应力 增加值/kPa	有效应力 提高百分比
2	25.7	-23.9	49.6	49.6	2	25.3	-47.3	72.6	72.6	46%
5	60.0	20.0	40.0	40.0	5	56.7	-6.9	63.6	63.6	59%
9	119.5	98.4	21.1	21.1	9	112.0	62.8	49.3	49.3	133%
13	160.1	145.0	15.1	15.1	13	155.4	127.7	27.7	27.7	83%

表 2 变真空北不同深度处理前后的含水率对比

深度/m	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
处理前含水率/%	36.1	41.7	44.7	69.0	60.8	65.5
处理后含水率/%	33.1	38.9	38.2	53.8	52.3	56.7

4.5.2 静力触探测试

为了检测变真空处理后的地基加固效果,在试验前后分别对变真空试验场地中部进行了静力触探试验,图 15 显示了试验前后静力触探结果的对比情况,由图可知,经过变真空技术加固后,软土层的力学性质得到明显提高,锥尖阻力较试验前提高了 20 ~ 40%。

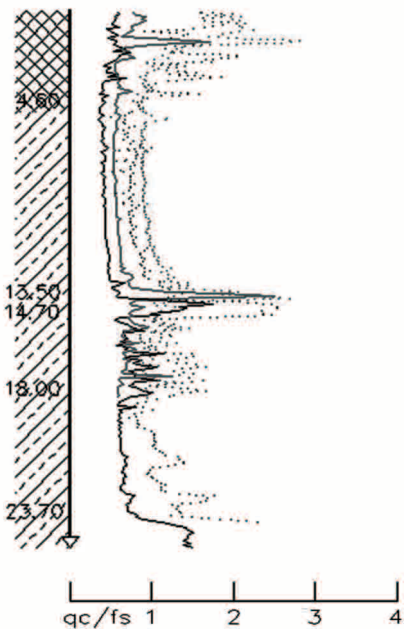


图 15 处理前后锥尖阻力对比图

5 结论和建议

5.1 结论

(1) 变真空技术采用管路系统替代传统真空预压砂垫层的工艺,可以有效降低真空传递的沿程损失,能够保证膜下真空负压在 80 ~ 90 kPa 的设计值,有效地克服了上部填土透气层对膜下真空度的影响,膜下真空度比传统真空预压法可

以提高了 60%。

(2) 变真空固结技术的增压工艺能够较为显著地提高地基的加固效果,增压后地基的沉降速率可以提高一倍,并且持续时间超过半个月。变真空技术处理下的地基沉降变形主要发生在含水率相对较高的淤泥土层和填土层,地基沉降速率要明显快于传统真空预压方法,总沉降量平均比传统工艺高出约 30%。

(3) 变真空固结技术处理后的地基承载力得到明显提高,相比处理前地基承载力提高约 20%,能满足设计要求,且大幅缩短了处理工期,进一步表明该技术在崇湾断堤防加固工程中的适用性和可行性。

5.2 建议

- (1)对技术的关键施工参数进一步深化研究,明确增压时间、增压压力控制的理论依据,为进一步优化施工工艺提供科学依据。
- (2)加强工程后续沉降观测数据的分析,明确技术处理后的堤防基础长期稳定性。
- (3)从经济性、适用性、可行性、社会、生态等方面对变真空预压排水固结加固技术进行系统综合评价,不断促进技术革新。

参考文献:

[1] 胡中雄, 潘林有. 软土地基和预压法地基处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[2] 夏玉斌. 直排式真空预压加固软土地基的试验与研究 [J]. 工程地质学报, 2010, 18 (3): 376 ~ 384.

[3] 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计 [J]. 岩土工程学报. 1998, 20 (1): 108 ~ 110.

[4] 岑仰润, 俞建霖, 龚晓南. 真空排水预压工程中真空度的现场测试与分析 [M]. 岩土力学, 2003, 24 (4): 603 ~ 605.

[5] 徐宏, 邓学均, 齐永正, 赵维炳. 真空预压排水固结软土强度增长规律性研究 [J]. 岩土工程学报, 2010, 2 (2): 285 ~ 290.

(责任编辑: 王宏伟)