

国内真空预压法加固软土地基的现状与趋势

张延军¹, 张延诘²

(1. 长春科技大学 环境与建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 长春科技大学 测试中心, 吉林 长春 130026)

摘要:真空预压法作为一种近年来兴起的软基处理手段,已成为排水固结法中的重要组成,其适用范围日益扩大。真空预压法的机理、计算方法、效果检测、施工工艺在大量的实验和实测资料对比的基础上不断成熟。真空预压法在微观机理以及三维分析方法等方面有着广阔的发展空间,同时应考虑其环境效应问题。

关键词:真空预压;软基处理;发展趋势

中图分类号:P643.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5589(2000)04-0375-04

1 问题的提出

在我国的东南沿海地区,广泛分布着海相淤泥,强度低、压缩性大、渗透性能差,承载力低,不能满足工程建设要求。天津、深圳、连云港、汕头等地区的港口建设中的对海积软土的处理,及在上海、浙江一带的储油罐的地基处理,都需要准确估计软土的固结变形。目前流行的处理方法主要有:真空预压法、堆载法、二者联合法、粉喷桩法、搅拌桩法、旋喷桩法等多种方法。而真空预压法作为软基处理方法,早在40~50年代就已经由瑞典土工研究所的Kjellman教授提出^[1]。而经过了40多年的探索和实践,尤其是在中国的实验成功,并在沿海地区的大面积推广应用,使之成为软基处理的有效方法。所谓真空预压法是指利用抽真空的方法,使土体中形成一个局部的负压源,通过降低土体中的孔隙水压力而使孔隙水排出,增加有效应力来压密土体的地基加固法。该法虽然与堆载法都属于排水固结方法,但它又不同于堆载法,有其突出特点:加固时间短、造价低廉且不会使地基土体发生破坏,因而近年来发展迅速。该法是借助大气压,通过真空泵将土体中的空气和水抽出,使土体排水固结,提高土体强度,并限制了场地上以后建筑的沉降量。由于该法简单易行、经验丰富,在我国广大的软土地区有着广阔的发展前途。笔者根据自己的认识和理论理解,作一分析,希望有助于该项技术的发展。

2 真空预压法的发展概况及现状

真空预压法一经提出后,在美国费城国际机场的跑道扩建工程中得以实施;在日本大坂南港的填筑工程中采用。前苏联还曾用于解决土坡滑动问题^[2]。由于当时的设备技术条件的制约,主要是由于泵的影响,效果没有预期的显著。我国50年代后期开始试验,但没有工程实用。自1980年开始,天津一航局科研所在天津新港现场实验,1983年列为国家重点科技攻关项目,1985年12月攻关鉴定,在天津新港东堤加固48万m²吹填土地基取得成

收稿日期:2000-03-04

作者简介:张延军,男,1968年生,博士生,主要从事工程地质研究。

功。由于设备的改进,使预压效果逐渐提高,膜下真空度达到 $(7.998 \sim 9.331) \times 10^4$ Pa,加固后十字板剪切强度在浅部提高300%以上。在国内,1986~1990年是该课题研究的高峰时期^①。

2.1 真空预压法机理研究

自80年代开始,对真空预压机理的研究广泛兴起,多层次、多侧面产生了许多研究成果。研究内容主要包括固结模型、试验以及计算方法等方面的探讨。目前已得到共识的是按有效应力原理,在预压过程中,土体的总应力不变,只是降低孔隙水压力,土体逐渐固结。从应力路线分析更明显^[3],加固中降低的孔隙水压力 Δu 等于增加的有效应力,即

$$\begin{aligned}\Delta\sigma' &= -\Delta u, \\ \Delta\sigma &= \Delta\sigma' + \Delta u = 0.\end{aligned}$$

而孔隙水压力是一个球应力,各方向均增加 $\Delta\sigma'$,使应力圆位置向前移 $\Delta\sigma'$,但应力圆的半径无变化,加固后,土强度增加了 $\Delta\tau$ 。另外,由于真空预压法是一种实用性很强的施工技术,固结模型探讨是以试验为基础的,模型和试验是相辅相成的,它们占据了研究的重要位置,在试验技术上解决了关键的抽气设备,用射流泵代替真空泵,解决了气、水分离问题,使膜下真空度稳定在 7.998×10^4 Pa以上之后,开始了野外现场小尺寸(264 m²)、中等尺寸(500 m², 1 250 m²),到最后大尺寸的生产应用(3 000 m²/块)(天津新港)。在生产应用上,单块加固面积由3 000 m²/块扩大到4 000 m²/块、6 000 m²/块、8 000 m²/块直至超过10 000 m²/块。室内实验分为模拟试验和土固结分析试验。模拟试验主要是砵槽试验和离心试验。砵槽试验(4.3 m×1 m×0.8 m)全过程模拟真空预压中的抽水、气的过程,并考虑砂井井距、孔压、沉降的理论机制^[5]。离心试验是在离心机上模拟真空预压下土体的固结沉降过程和大小,在50 g、100 g作柔性及刚性密封膜的对比,进而从讨论固结概念出发,通过离心模型试验结果,得出真空预压过程中的边界与土体间 u 势分布不平衡而引起固结且满足固结微分方程^[4]。同时提出 u 势不平衡的固结模型,从而分析真空预压机理。而土固结分析试验则通过改装的三轴仪上实现三轴试样真空抽水、气的过程,得出一系列土样室内试验结果。真空预压法与正荷载固结过程相似,只是初始条件、边界条件不同^[2]。

真空预压的计算方法也得到了快速发展,早在80年代初,就已开始应用数值法分析真空预压过程。但多数以Terzaghi的一维固结方程为求解依据。后来又利用有限元、边界元法求解Biot固结方程作为突破^[2,5],对一些实际工程进行了设计、监测、结果的分析等,同时采用计算的土的模型从线弹性发展到弹塑性到考虑软土的流变性的粘弹性模型^[2],计算方法不断改进。因而,对真空预压法机理的研究,主要从传统土力学观点给以解释,并以此理论指导试验、计算、效果估计等。尽管机理研究尚待深入,但在目前的工艺水平条件下,其计算精度基本可以满足工程需要。

2.2 真空预压的适用范围与施工工艺现状

除了真空预压法处理大面积港区堆场外,我国科技人员在尝试推广该法在不同地区的应用中进行了不懈的努力,使其应用范围不断扩大。1997年在杭州绕城公路六标段的施工中对500 m地段的软基进行了真空预压处理,效果达到工程要求^[6]。还曾有人利用该法进行了湿排粉煤灰软基的试验研究^[7],以及根据碱渣的室内试验、化学特性、矿物组成、微观

① 南京水利科学研究院土工研究所. 真空预压法加固软土地基的理论与实践, 1988, 10.

结构用真空预压加固碱渣地基,使其可以作为堆场基地使用^[8]。同时,基于真空预压的机制和试验,随着场地深度的加大、加固效果递减的现象,开展了处理深厚淤泥地基方法的探索^[9]。可见,随着人们认识的深入,该法的适用范围不断扩大。

尽管真空预压有许多优点,但该法的局限性也很明显。因而出现了联合堆载法,即把真空预压法和堆载预压法联合起来使用。在汕头港1-2泊位后堆场的软基处理中,采用联合堆载法加固25 m深的软土地基。该方法在表层以内深度的砂层(4~12.5 m)地质条件也是适用的^[10]。另外,还有采用2~3层帷幕灌浆隔离周围水体,以塑料插板代替砂井,都取得良好效果^[11]。目前真空预压效果检测一般采用的检测方法主要以十字板强度测试为主,在不同地区,质量检验还应包括钻探取样室内实验、静力触探等方法^[12]。

3 真空预压法的发展趋势及存在问题

经过多年的努力,真空预压法已渐成为一种有效的软基加固措施。并且随着岩土工程理论水平的进步,该技术还有广阔的发展空间。

从实际的应用范围来看,真空预压法有着越来越广泛的应用趋势。天津一航局科研所已在深圳等地做现场小尺寸真空预压试验,若成功,该工艺将在深圳港的建设中大显身手,可见一旦工程地质条件符合,该法在各地的推广只是一个时间问题。目前对真空预压效果的检测,一般采用的是对土的试验法,不是针对真空预压工艺的,因而它仅能看到最终结果,无法进行加固过程的随时检测监控。应考虑开展无损检测,如面波测试。从真空预压法的机理研究方面而言,表现出越来越细致、全面的分析。有必要对真空预压机制作深入的、微观的分析,以取得土体的抽真空状态下,土颗粒、孔隙、水、空气的微观变化过程。取得定量的微观模型以解决真空下的固结理论,主、次固结的划分,及软土蠕变时限等理论问题等。从土的微观角度针对不同土性、不同边界条件进行加固效果分析,真正解决真空预压场地的沉降、强度的提高等问题。另外,真空泵在抽真空时,抽的是水、气二相物质,目前的固结理论是针对饱和土的,而真空预压时是否会产生局部非饱和带,有待于进一步研究。而对该法的数值分析计算领域,多年来一直是发展的热点。传统的计算分析方法,无外乎是用有限元、边界元法求解 Biot 固结方程。考虑不同的边界条件,简化为平面问题,但一维求解过于简化,二维分析则涉及大量的非常规土性参数,而它们的实验确定一直是比较困难的。因而计算方法的改进方向应该是减少计算量,尽量用实验易于测定的参数。而考虑场地立体渗流、固结变化的三维有限元方法成果未曾见到,其在揭示为一整体的加固场地的仿真变化方面有理论探讨价值。另外,有限元法前、后处理繁琐,由单元划分引起的误差时常发生。考虑用新的无单元法分析固结过程也是发展方向之一。

真空预压法有一定的使用条件限制,现尚存不少有待解决的问题,尤其是环境影响。真空预压工地加固后期周边容易出现裂缝,这是由于四周土体向真空预压场地挤压的结果。若周围有挡坝、堆场、道路,极易发生失稳破坏。这些都是真空预压法应注意的问题。

4 结 语

真空预压加固软基技术是一种快速、简洁、便宜、无污染的软基加固方法。经过我国科技工作者多年的努力,该项技术已达到国际先进水平,为广大的沿海软土地区的工程建设做出了巨大贡献。截止1995年我国用该法成功处理了300多万 m^2 的软基^[13],创造了相当大

的社会、经济效益。可见,该方法有着广泛的发展空间。随着土力学突飞猛进的发展,可以预计由于施工技术的不断成熟、检测手段的更加先进、设计计算方法的日臻完善,该项技术还将发展到一个新水平。

参考文献:

- [1] Kjellman W. Consolidation of clay soil by means of atmospheric pressure[M]. Conference on Stabilization, MIT, 1952.
- [2] 阎澍旺,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,1996,8(2):35~44.
- [3] 薛红波,娄炎.砂井真空排水法加固软土地基的强度特征[J].水利学报,1990,6:61~68.
- [4] 高志义.真空预压法的机理分析[J].岩土工程学报,1989,11(4):45~55.
- [5] 林丰,陈环.真空和堆载作用下砂井地基固结的边界元分析[J].岩土工程学报,1987,9(4):13~22.
- [6] 刘治宝.真空预压法加固软土地基在杭州绕城公路的应用[J].路基工程,1997,(5):40~44.
- [7] 严炳熙.堆载预压法和真空预压法加固试验[J].水运工程,1995,(5):42~45.
- [8] 叶国良,苗中海.碱渣的综合利用[J].港口工程,1998,(1):10~16.
- [9] 杨必宽,周定一.用真空预压法处理深厚淤泥地基[J].特种结构,1995,12(4):49~54.
- [10] 于志强,朱耀庭.真空联合堆载预压法在汕头港1-2泊位后堆场工程中的应用[J].港口工程,1996,6:35~40.
- [11] 璩继立,李国华.塑料排水板真空预压法在顺德市德胜大道路基处理中的应用[J].桂林工学院学报,1998,18(3):266~270.
- [12] 赵忠良,康尚炜.真空预压法在机场地基处理中的应用[J].地基处理,1997,8(4):42~46.
- [13] 叶柏荣.真空预压加固法的发展及工程实录[J].地基处理,1995,6(3):1~10.

Current Situation and Tendency of Improving Soft Foundation by Vacuum Preloading

ZHANG Yan-jun, ZHANG Yan-jie

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026, China)

Abstract: In this paper, vacuum preloading, a newly developed means of treating soft clay, is introduced which has become an important of discharge consolidation. The method will be applied in an increasingly wide range of engineering. Its mechanism, calculation methods, inspection of effects and working technology have been improved continuously, based on the comparison between a large number of experiments and the field results. It is pointed out that the method will give wide scope to the aspects such as microstructure and three - dimension analysis and its environment effect should be considered.

Key words: vacuum preloading; treatment of soft foundation; tendency