

真空预压加固地基固结简化计算方法

艾英铎¹, 刘 兵², 刘加才¹

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 广州港务集团有限公司, 广东 广州 510730)

摘要 将均质软黏土地基有限元方法与常规计算方法进行对比分析, 研究真空预压与堆载预压之间计算荷载值及加载速率的等效关系。研究表明, 等量瞬时荷载下, 堆载引起的地基沉降要比抽真空所引起地基竖向沉降大, 等效线性加载条件下, 较为符合抽真空条件下的地基固结沉降过程, 由此提出了一种真空预压地基固结计算的简化方法。应用简化计算方法对某真空预压处理软基试验工程进行固结沉降计算, 结果表明, 简化计算方法计算结果与实测结果基本吻合。

关键词 地基加固; 固结计算; 真空预压; 等效堆载; 有限元法; 简化计算方法

中图分类号 :TU472 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2005)06-0060-03

Simplified calculation method for consolidation of soft ground improved by vacuum preloading // AI Ying-bo¹, LIU Bing², LIU Jia-cai¹ (1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Guangzhou Harbor Group Co. Ltd., Guangzhou 510730, China)

Abstract : A comparative study of the finite element method and the conventional calculation method for consolidation of homogeneous soft clay was carried out to analyze the equivalent load and loading rate between vacuum and surcharge preloading. The calculated results show that, under the same instantaneous loading condition, the settlement of foundation in vertical direction induced by surcharge is greater than that induced by vacuum pressure, and that with the equivalent linear loading rate, the consolidation settlement process accords well with the reality under vacuum pressure. Thus, a simplified calculation method for consolidation of soft ground by vacuum preloading was proposed. The present was applied to consolidation settlement calculation for a soft ground improved by vacuum preloading, and the calculated results are in good agreement with the measured data.

Key words : ground improvement; consolidation calculation; vacuum preloading; equivalent surcharge loading; FEM; simplified calculation

自真空预压处理软弱地基问世以来,随着抽真空设备和技术的发展,现场施工工艺的改进,以及设计计算理论和方法的不断提高,真空预压技术水平在单块加固面积、真空度传递深度、真空度控制技术等方面已经有了量和质的变化^[1,2]。其应用领域也在不断拓展,涵盖了交通、港口、水利及工业与民用建筑等工程。然而大量的工程实践表明,真空预压地基的固结计算结果与实测结果还存在较大差距,往往表现为计算的总沉降量偏大,计算的固结速率偏慢,计算得到固结完成所需要的预压期偏长,导致实际施工时真空预压的卸载标准只能借助于对现场测试结果的分析来进行控制,难以在设计计算阶段做出合理的评估,造成一些不必要的经济损失。

1 常规计算方法存在的问题

目前,真空预压的有限元^[3]分析(一般是二维分析)在高校或科研单位里做得比较多,而在设计、施

工或生产单位里,对于真空预压的设计计算(尤其是初步设计计算)通常都是采用比较简单和普遍熟悉的常规计算方法,即利用太沙基一维固结理论,直接将真空压力等值的荷载作用在地基上进行地基的固结沉降分析。也就是说,将真空预压当作堆载预压来进行地基的固结计算。这种计算荷载的处理是没有办法而为之的。因为在常规计算方法里无法考虑实际由抽真空引起的超静负孔压的增长,即相应土颗粒之间的有效应力增长而引起地基沉降,除非在有限元分析当中,可以通过结点的孔压来模拟抽真空的过程。

在常规计算方法中将真空压力全部直接等值为堆载预压荷载的主要依据是地基土体有效应力的增长与相应真空压力传递的大小是等值的。但值得注意的是,抽真空引起地基土体有效应力的增长是(各个方向都有的)球应力的增长^[4,5],而常规计算方法只能模拟由竖向荷载引起地基竖向应力的增加所产生

作者简介:艾英铎(1965—),男,辽宁辽阳人,助理研究员,从事软土地基处理与研究工作。

的固结沉降.因此,在采用常规计算方法时,简单地将真空压力全部等值为竖向荷载来进行计算是不合理的.此外,真空压力下地基的固结过程与竖向荷载作用下地基的固结过程也有区别,因此在常规计算分析中将真空压力作为竖向荷载施加时,并不能直接按照真空压力的施加速率来施加竖向荷载.由此可见,在进行真空预压的一维设计计算分析时,如何将真空压力等效为竖向荷载,并采用什么样的速率施加,关系到真空预压计算的合理性.本文对这两个问题进行研究,并最终提出真空预压的简化计算方法.

2 真空压力的等效堆载压力

由于真空预压下地基的固结沉降主要是球应力增加作用下的结果,而堆载预压下地基的固结沉降主要是竖向应力增加作用下的结果,前者将使地基产生竖向沉降和侧向内缩,而后者将使地基产生竖向沉降和侧向外胀.因此,在相同大小的真空压力和堆载作用下,地基的固结沉降必然不同.为了计算分析真空压力作用下的固结沉降,必须要知道真空压力等效为多少堆载时,才能得到符合实际的固结沉降.为此目的,这里首先采用能够较真实反映地基固结过程,基于比奥固结理论建立的有限单元法分别对真空压力和堆载作用下的地基固结沉降进行了分析.

分析的对象为一均质软土地基.不失一般性,将地基土体作为弹性材料来模拟,其主要材料参数为:弹性模量 $E = 1.0 \text{ MPa}$;泊松比 $\nu = 0.3$;渗透系数 $k = 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$.有限元分析采用文献[6]提供的方法将空间分布的塑料排水板模拟为等效的平面砂墙地基.有限元分析的网格剖分如图1所示.计算的加载范围为28.9m.对于真空预压情况,在地基表面所施加的真空压力为 -85 kPa ,瞬时施加;对于堆载情况,在地基表面所施加的荷载为 85 kPa .

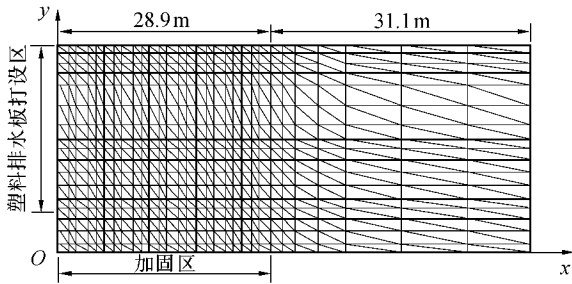


图1 有限元分析计算网格

图2为瞬时抽真空与瞬时堆载作用下的固结沉降过程有限元计算结果.图中可以清楚地看出,在瞬时堆载作用下,地基将产生较大的瞬时沉降;而且,虽然真空压力值与堆载压力值的大小也一致,计算参数和计算条件都一致,但是堆载引起地基竖向沉降要比抽真空所引起地基竖向沉降大.这是因

为堆载会引起地基土体的侧向外胀变形,而抽真空则引起地基土体的侧向内缩变形.总体而言,由抽真空引起地基竖向总沉降比由堆载引起的竖向总沉降小约10%.因此,在将真空压力,比如 85 kPa 作用下的地基固结沉降等效为堆载作用下的固结沉降来进行计算时,堆载压力可取真空压力值的90%,即

$$\text{等效堆载压力值} = 0.9 \times \text{真空压力值} \quad (1)$$

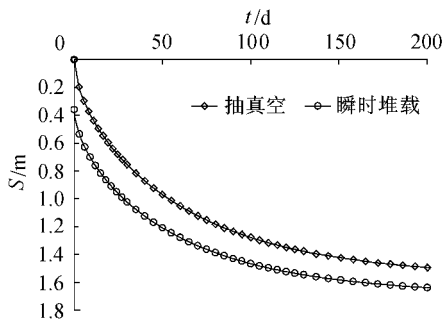


图2 瞬时抽真空与堆载作用下的固结沉降过程

3 真空压力的等效堆载加荷速率

图2的结果还表明,采用瞬时堆载来进行计算,将会产生明显的瞬时沉降,与实际真空荷载作用下的地基固结沉降过程不符.因此有必要采用通常的线性加载的方式来达到模拟固结过程的目的.图3为线性堆载作用下的固结过程与真空压力作用下的固结过程的比较,其中的堆载大小采用的是式(1)中的等效堆载压力值.从图中可见,采用等效堆载压力值后,计算的地基总沉降量与抽真空引起地基总沉降量较为接近.但是,固结过程线却明显受堆载速率的影响.堆载速率越慢,前期固结沉降量越小.从图中可以看出,20d线性堆载的计算结果与抽真空的计算结果大部分相当吻合,只不过在线性加载期间的计算沉降量较抽真空下的计算沉降量要小.实际抽真空时,膜下真空度不可能瞬时达到预定值,因此,实际抽真空下初期的沉降应该会比图中的计算沉降要小,而与20d线性堆载作用下的计算结果接近.

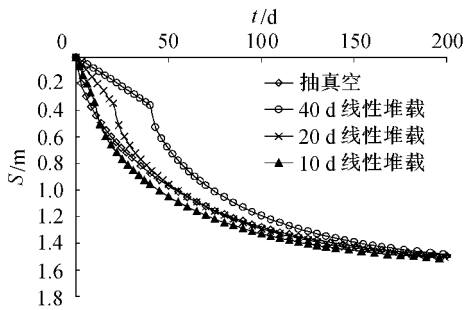


图3 瞬时抽真空与线性堆载作用下的固结沉降过程

因此,将真空压力值的90%作为等效堆载,20d线性施加来进行计算,可以得到较为符合抽真空条件下的地基固结沉降过程.

4 应用实例

采用上述的简化计算方法,将真空压力等效为堆载并采用常规方法,对某真空预压加固软土地基试验工程的两个断面进行了计算分析.加固区域如图 1 所示.两个断面的计算参数如表 1 和表 2 所示.计算结果如图 4 和图 5 所示,计算结果与实测结果基本吻合,表明本文简化方法是合理的.

表 1 断面 1 土层的计算参数

土层序号	层厚/ m	浮密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	孔隙比 e	压缩系数 $a_{v0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$ ($\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	固结系数/ c_v
①	4	0.80	1.00	0.35	6.00×10^{-2}
②	10	0.65	1.66	1.16	6.80×10^{-2}
③	3	0.85	1.10	0.55	1.50×10^{-3}
④	6	0.93	0.82	0.48	1.24×10^{-3}
⑤	3	0.93	0.84	0.34	1.32×10^{-3}

注:固结系数为 100 kPa 压力下的值.

表 2 断面 2 土层的计算参数

土层序号	层厚/ m	浮密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	孔隙比 e	压缩系数 $a_{v0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$ ($\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	固结系数/ c_v
①	4	0.80	1.00	0.35	6.00×10^{-2}
②	10	0.58	2.03	1.48	2.93×10^{-2}
③	3	0.96	0.71	0.35	1.15×10^{-3}
④	6	1.03	0.66	0.35	1.30×10^{-3}
⑤	3	0.88	1.03	0.46	3.08×10^{-3}

注:固结系数为 100 kPa 压力下的值.

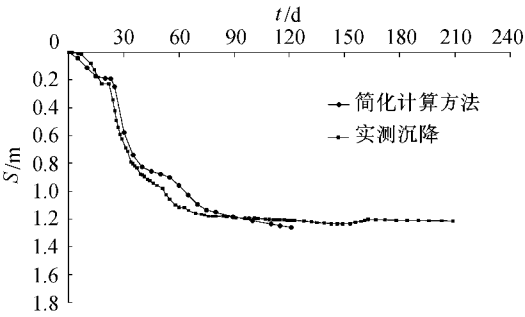


图 4 断面 1 采用简化方法计算得到的固结沉降过程

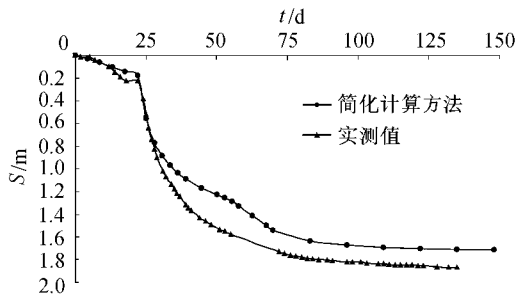


图 5 断面 2 采用简化方法计算得到的固结沉降过程

5 结 论

本文通过有限元法计算,分析了相同荷载和相同地基条件下真空预压与堆载预压所引起地基固结沉降与固结过程的不一致性,提出了真空预压计算

的简化方法,即将真空压力值的 90% 作为等效堆载,20 d 线性施加来进行计算,可以得到较为符合真空条件下的地基固结沉降过程.实际应用时,也可将真空压力完全等值为堆载,20 d 线性施加来进行计算,并将计算的固结沉降值乘以 0.9 的系数.

参考文献:

[1] 赵维炳,施建勇.软土流变理论及其在排水预压加固分析中的应用[J].水利水电科技进展,1996,16(3):12—17.
[2] 何良德,宋少华,熊国平,等.真空预压地基最终应力和位移的解析解[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(2):194—197.
[3] 徐立新,陈云敏,吕庆雷,等.真空预压法加固高速公路软基的有限元分析[J].河海大学学报(自然科学版),2004,32(5):587—591.
[4] Lei G H, Shi J Y. Discussion of " Vacuum and surcharge combined one-dimensional consolidation of clay soils " [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41(4): 769—770.
[5] 姜炎.真空排水预压法加固软土技术[M].北京:人民交通出版社,2002.
[6] 赵维炳,雷国辉,陈永辉,等.土工织物加筋与塑料板排水联合加固软基的计算方法研究[J].岩土工程学报,1998,20(3):61—65.

(收稿日期:2005-05-13 编辑:马敏峰)

· 简讯 ·

南水北调淮阴三站工程贯流泵机组技术方案论证会在宁召开

为了进一步完善南水北调淮阴三站贯流泵机组设计方案,2005 年 12 月 5 日,江苏水源公司邀请国务院南水北调办公室、水利部水利水电规划设计总院、江苏省水利厅、江苏省南水北调办公室、淮河水利委员会、河海大学、江苏大学、扬州大学,以及淮阴三站建设处、江苏省水利勘测设计院、淮安市设计院、徐州市设计院的 20 余名泵站工程专家,在南京召开了淮阴三站贯流泵机组技术方案论证会,国务院南水北调办公室总工程师汪易森亲自到会指导.会上江苏水源公司贯流泵机组技术方案专家组及淮安市设计院,汇报了淮阴三站贯流泵机组前期工作情况和近期与国内外厂家的技术交流和调研成果,专家组围绕贯流泵机组水力性能、灯泡体放置形式、传动方式、招标方式等关键技术问题进行了深入讨论,提出了意见和建议,为下阶段设备招标和工程建设的顺利开展提供了依据.

(本刊编辑部供稿)