

堆载预压下软土地基固结研究

杨大明

(中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110015)

摘要:对塑料排水板堆载预压法作用下的软土地基,采用竖向平均固结度计算公式对分级加载的软土地基的不同时刻的固结度进行推算和预测,并利用实测数据对其检验对比,分析地基土的固结程度,预测地基土达到稳定要求的时间。

关键词:软土;地基;固结;塑料排水板;堆载预压法;固结度

中图分类号:TU472.3⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)07-0073-03

Study on Consolidation of Soft Soil Foundation with Surcharge Preloading/YANG Da-ming (CCTEG Shenyang Engineering Co., Ltd., Shenyang Liaoning 110015, China)

Abstract: For the soft soil foundation under plastic drainage plate surcharge preloading, the consolidation degrees of soft soil foundation with step loading at different time are calculated and predicted by formula of vertical average degree of consolidation, which are compared to the in-situ data to analyze the consolidation degree of the foundation soil and estimate the time required for foundation soil stability.

Key words: soft soil; foundation; consolidation; plastic drainage plate; surcharge preloading method; consolidation degree

软土具有高压缩性、高含水量、强度低、透水性差等特点,这类土层在荷载作用下会产生很大的沉降和差异沉降,且沉降持续的时间长。其强度过低往往不能满足工程设计所要求的地基承载力和稳定性。因此,软弱地基通常须进行地基处理。堆载预压法是一种处理效果好、技术简便、造价低廉的处理方法,适用于大面积的软粘土地基处理。

1 工程概况

拟建工程场地位于福州罗源海湾,地势大致呈西北高、东南低,场地区主要分布第四纪全新世滨海相沉积形成的灰色淤泥(Q_4^m)。场地的主要土层从上而下描述如下。

(1)淤泥:灰色,饱和,流塑,滑腻,含腐植物,具臭味。局部含少量粉细砂和贝壳碎片。本层分布连续,厚度大。厚度在 5.00~25.90 m。

(2)碎砾石:灰色、灰黄色,稍密~中密,饱和。碎石含量 50%~70%,成分多为中、微风化凝灰岩、花岗岩。棱角状。分选性差。层厚在 0.30~8.30 m。

(3)碎砾石混粘性土:灰黄色,灰色,饱和。以碎砾石为主。混粘性土,含量不均,成分多为中、微风化凝灰岩、花岗岩。棱角、次棱角状,层厚 5.50~21.30 m。

(4)全风化花岗岩:灰黄色为主,灰白色次之,稍湿,坚硬土状。粗粒结构,风化强烈,层厚 1.10~13.90 m。

2 塑料排水板堆载预压法处理软基的机理

塑料排水板堆载预压法^[1]是排水固结法中的一种,塑料排水板堆载预压法的加压系统为预压土石,排水系统为砂垫层和塑料排水板。固结机理为软土受上部荷载的作用而压缩,孔隙水受压而沿塑料排水板、水平砂垫层排出,孔隙水压力 u 随之减少了 Δu ,相应有效应力增长 $\Delta \sigma$,且随着孔隙水压力逐渐向有效应力的转化,软土得到固结。如图 1 所示。

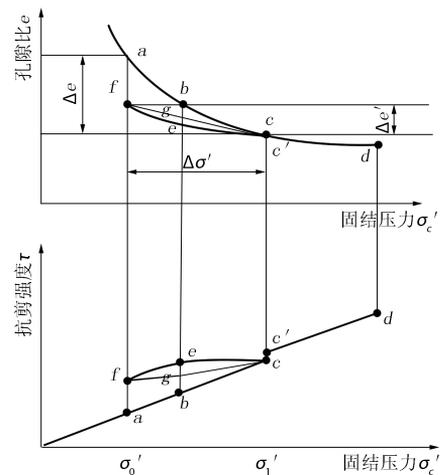


图 1 排水固结法加固软土原理图

应力系统转化的流程为:

开始时, $\sigma = u_0 + \sigma'_0$;

固结期间, $\sigma = (u_0 - \Delta u) + (\sigma'_0 + \Delta \sigma)$;

收稿日期:2013-12-18

作者简介:杨大明(1983-),男(汉族),辽宁鞍山人,中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司工程师,岩土工程专业,硕士,从事岩土工程设计研究工作,辽宁省沈阳市沈河区先农坛路12号,84843164@qq.com。

结束时, $\sigma = \sigma' + u_i$ 。

饱和软土地基在天然固结压力 σ_0' 作用下, 其孔隙比为 e , 相应的强度为 τ_0 , 如图 1 中 a 点所示。当施加荷载 p 后, 软土地基承受的总应力增加, 形成超静孔隙水压力, 随着孔隙水压力逐渐消散, 有效应力增加 $\Delta\sigma'$, 固结终了时, 变为 c 点, 地基土的孔隙比减小 Δe , 曲线 abc 称为压缩曲线。同时抗剪强度与固结压力成比例地由 a 到 c 点。所以, 土体在受压固结时, 一方面孔隙比减小产生压缩, 一方面抗剪强度得到提高。

3 固结度推算预测

3.1 按改进高木俊介法推算固结度

古典固结理论是太沙基固结理论^[2,3], 建立在许多简化假设的基础上, 只考虑孔隙水竖向流动引起的竖向变形。随着科学技术的发展和固结理论的深入研究, 逐渐形成准三维固结理论且提出一系列的假设。但准三维固结理论所计算出的固结是在假设荷载一次瞬间加足的, 实际过程中, 荷载通常是分级加载, 必须加以修正。

对于逐级加载条件下地基竖向平均固结度的计算采用曾国熙 1975 年提出的改进高木俊介法^[4]。此种方法理论上是精确解, 且无需先计算瞬时加载条件下的固结度, 再根据逐渐加载条件进行修正, 而是两者合并计算出修正后的平均固结度。

$$\bar{U}_i = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\sum \Delta p} [(T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta T_i} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}})] \quad (1)$$

式中: \bar{U}_i —— t 时间地基的平均固结度; q_i ——第 i 级荷载的加载速率, kPa/d; $\sum \Delta p$ ——各级荷载的累加值, kPa; T_{i-1}, T_i ——分别为第 i 级荷载加载的起始和终止时间(从零点算起), d, 当计算第 i 级荷载加载过程中某时间 t 的固结度时, T_i 改为 t ; α, β ——参数, 根据地基土排水固结条件选用, 在竖向和行内径向排水固结(竖井穿透受压土层)时, 可由下式表示:

$$\alpha = 8/\pi^2 \quad (2)$$

$$\beta = 8c_h/(F_n d_e^2) + \pi^2 c_v/(4H^2) \quad (3)$$

$$F_n = [n^2/(n^2 - 1)] \ln n - [(3n^2 - 1)/4n^2]$$

式中: c_h ——土的径向排水固结系数, cm^2/s ; c_v ——土的竖向排水固结系数, cm^2/s ; H ——土层竖向排水距离, cm ; n ——井径比。

塑料排水板的当量换算直径可按下式进行计算:

$$d_p = 2(b + \delta)/\pi \quad (4)$$

式中: d_p ——塑料排水板当量换算直径, mm ; b ——

塑料排水板宽度, mm ; δ ——塑料排水板厚度, mm 。

当排水为等边三角形或正方形布置时, 竖井的有效排水直径 d_e 与间距 l 的关系为:

等边三角形排列, $d_e = 1.05l$;

正方形排列, $d_e = 1.13l$;

井径比 n 为, $n = d_e/d_p$ 。

最后通过式(1)计算任意时刻 t 地基土在总荷载作用下的平均竖向固结度。

选择整个工程场地中最早开始加载的区域为研究区域, 研究区在此期间共完成了 3 次加载, 总共历时约 160 天。每级荷载为等速率加载, 堆载高度为 2 m, 堆载石料的容重为 18 kN/m^3 。第三级荷载在 60 天左右已完成加载, 之后施工停止, 地基土层在三级荷载作用下进行排水固结。地基处理场地的塑料排水板^[6]采用等边三角形布置, 间距为 1 m, 排水板宽 100 mm, 厚 4 mm, 排水固结加固土层为淤泥层。根据场地勘察资料可知, 淤泥层的竖向固结系数为 $0.00057 \text{ cm}^2/\text{s}$, 水平向固结系数为 $0.00049 \text{ cm}^2/\text{s}$ 。沉降标布置见图 2, 加载速率见图 3。

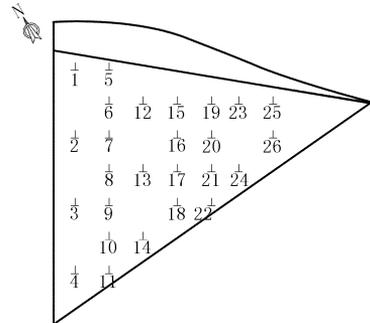


图 2 研究区地表沉降标点位置示意图

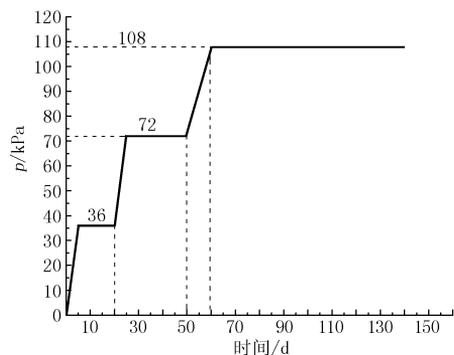


图 3 研究区加载速率曲线图

按改进高木俊介法推算研究区部分沉降标点处的淤泥土层在逐级加载条件下不同时刻的固结度如表 1 所示。

根据表 1 的计算结果绘制出其中一个沉降标固结度随时间变化的曲线(见图 4)。

表 1 研究区部分沉降标点位固结度计算表 /%

时间 /d	6 号 点位	10 号 点位	18 号 点位	23 号 点位	时间 /d	6 号 点位	10 号 点位	18 号 点位	23 号 点位
10	28.8	26.6	27.2	27.5	170	91.5	90.7	85.8	87.7
50	53.6	51.3	47.8	51.6	200	93.6	92.3	88.9	91.4
100	72.0	71.5	68.5	69.8	250	97.2	95.1	93.3	95.6
140	83.2	84.6	78.3	81.6	300	98.5	97.9	96.1	98.1
150	86.7	86.8	81.7	82.8	350	99.7	99.0	97.9	99.3
160	88.9	89.0	84.2	85.9					

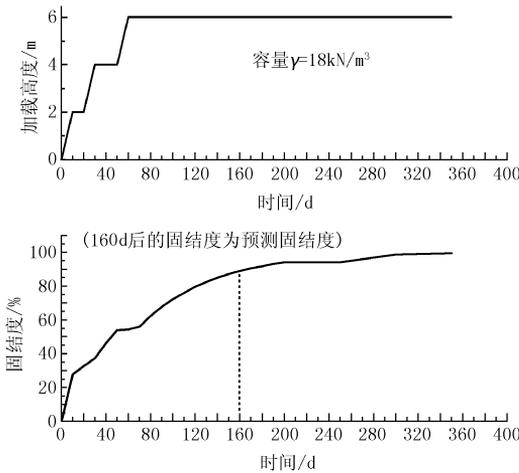


图 4 6 号沉降标固结度随时间变化曲线图

加载 100 天以内的资料,选取一组孔隙水压力变化曲线见图 5。选取埋设位置为 9.6 m 处的孔隙水压力探头的变化曲线,在其加载高度为 1.5 m 时的消散曲线上选取 2 点(43, 114.07)与(46, 111.91)代入式(6)求出 $\beta = 0.00637$,并利用式(1)得出加载 40 天时土层固结度为 0.3566。根据场地勘察报告资料数据,利用改进高木俊介法公式计算出的 $\beta = 0.00689$,40 天时的固结度为 0.3636。可见由实测超静孔隙水压力求得的土层固结度与改进高木俊介法求得的结果相近。

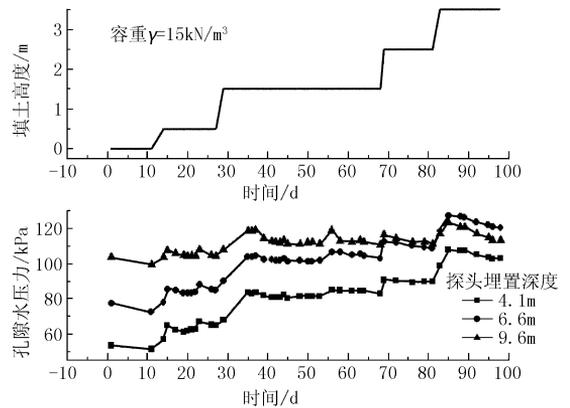


图 5 一组孔隙水压力变化曲线图

从表 1 及图 4 可以看出,研究区的固结度在加载 160 天后基本都达到了 85% 以上,通过应用改进高木俊介法的计算理论,可以预测整个场地在后期的固结度变化情况;表 1 可以看出 250 天后固结度基本达到 95% 左右,说明地基土的处理效果相当好。

3.2 按实测孔隙水压力推算固结度

饱和土的固结就是孔隙水压力的消散和有效应力相应增长的过程。从饱和土的渗透固结的原理来看,地基土在外部荷载作用下其孔隙水压力的变化情况可以反映土的渗透固结情况^[2]。

对于地基土层的固结度^[5],可以在把土体看做是弹性体的情况下利用孔隙水压力的消散程度来反映,即:

$$U = (u_0 - u) / u_0 \quad (5)$$

$$u_1 / u_2 = e^{-\beta(t_2 - t_1)} \quad (6)$$

则有: $\beta = \ln(u_1 / u_2) / (t_2 - t_1)$

式中: U ——土层固结度; u_0 ——初始孔隙水压力,即孔隙水压力曲线上的最高点; u —— t 时刻的平均孔隙水压力。

β 与公式(3)中的参数相同,取实测孔隙水压力消散曲线上的任意两点 (u_1, t_1) , (u_2, t_2) 得到 β 值,再代入公式(1)可求得土层的固结度。

本次工程场地的孔隙水压力观测资料只有施工

4 结论

(1) 采用塑料排水板堆载预压法处理饱和软土地基是可行的,达到一定时间后,地基土固结程度较高,地基土的承载力也相应地提高。

(2) 利用改进高木俊介法和实测孔隙水压力资料对于塑料排水板分级加载加固软土地基的固结度进行预测,两者所求得的结果比较接近,精度较好,可以用来对场地任意时刻的固结度进行推算,预测地基土达到稳定标准的时间,同时两种方法可以起到相互检验的效果。

参考文献:

- [1] JGJ 79 - 2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 龚晓南. 地基处理手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 56 - 108.
- [3] 孟庆山, 王吉利, 汪稔, 等. 排水固结法加固饱和软粘土地基固结度分析[J]. 岩土工程界, 2001, 4(10): 51 - 52.
- [4] 李晨, 黄真萍, 简文彬, 等. 福州罗源湾 2 × 5 万 t 级码头堆载预压加固软土地基固结沉降预测[J]. 岩土工程界, 2007, 10(8): 42 - 44.
- [5] 吴春勇, 王清, 吕洪斌. 真空预压作用下软土地基固结的分形研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(12): 6 - 9.
- [6] 王树理, 夏柏如, 王强. 塑料插板堆载预压排水固结法在深圳湾填海区软基处理中的应用[J]. 探矿工程, 2000, (4): 11 - 12, 14.