

一种软土地基沉降预测的反演方法

李荣玉¹, 顾长存¹, 吕庆雷²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 温州市高速公路指挥部, 浙江 温州 325000)

摘要 根据太沙基固结理论, 结合公路路堤工程实际, 提出一种软土地基沉降的反演预测计算方法. 该方法利用早期的沉降观测数据和准确的加载信息可以预测更长时间内的软土地基的沉降情况, 同时也可以推算出一些重要的土体变形参数. 工程算例表明, 本文方法是可行的.

关键词 软土地基; 沉降预测; 反演分析

中图分类号: TV223 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2003)07-0015-03

在公路路堤工程中, 软土地基沉降是一个很重要的土工问题. 根据 TJT017-96《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》的规定, 高速公路、一级公路路面设计使用年限内残余沉降(也称工后沉降)应满足: 路堤处小于或等于 30 cm; 涵洞或箱型通道处小于或等于 20 cm; 桥台与路堤相邻处小于或等于 10 cm. 由于软土的复杂性, 其物理力学模型以及通过室内外试验确定的计算参数都存在很大的不确定性, 要对软土地基沉降进行准确预测还是很困难的.

通过实际观测信息反演确定物理力学模型参数, 再对后期进行预测的反分析方法是目前在实际工程应用方面研究得较多的一种方法. 本文根据太沙基弹性固结理论, 结合工程实际建立了一种软土地基固结沉降反演预测计算公式, 利用前期沉降观测信息反演确定计算参数, 可以对后期任一时刻的沉降、最终沉降量进行预测. 通过实际工程算例分析表明, 该方法是可行的.

1 原 理

根据堆载预压法和真空堆载联合预压法处理软土地基的施工工艺^[1~2], 前期都是地基打设排水板后在没有加载的情况下, 已引起部分沉降 S_0 . 此沉降的机理较复杂, 与太沙基固结机理^[3]有较大差别, 为了更准确地预测地基沉降, 使模型更符合堆载预压法、真空堆载联合预压法沉降过程, 符合太沙基固结理论, 本文采取如下模型:

$$S_t = S_0 + a_0 q H \left[1 - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \right] \quad (1)$$

式中: $a_0 = \frac{1}{E_0}$; $M = \frac{2m-1}{2} \pi$; S_0 为堆载开始时刻前

地基的沉降; q 为地表均布荷载; H 为压缩层厚度;

$$T_v \text{ 为时间因素, } T_v = \frac{C_v t}{H^2}, \text{ 其中 } C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} = \frac{(i+e)k}{\gamma_w a_v},$$

γ_w 为水的容重, k 为渗透系数, e 为孔隙

比. 若令: $a = a_0 H = \frac{H}{E_0}$, $b = \frac{M^2 C_v}{H^2}$, 则式(1)变为

$$S_t = S_0 + a q \left[1 - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-bt) \right] \quad (2)$$

式(2)是用计算参数 a , b 代替需要通过勘察或实验等手段确定的参数 H , k , E_0 , e . 这种简化不是对太沙基单向固结的简化, 而是为了便于进行参数反演计算, 同时参数 a 和 b 也具有独立的物理意义.

由于真空堆载预压法中荷载并不是一次瞬时加载的, 真空预压阶段可以认为是瞬时加载的, 而真空堆载联合预压时其荷载是分级加载的.

根据叠加原理, 变荷载作用下的沉降计算公式为

$$S_t = S_0 + \int_0^t a \left\{ 1 - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp[-b(t-\tau)] \right\} \frac{dq}{d\tau} d\tau \quad (3)$$

设线形加载历时 t_c , 根据式(3)可得线形加载条件下的沉降计算公式:

① 当 $0 < t \leq t_c$ 时,

$$S_t = S_0 + a q \left\{ \frac{t}{t_c} - \frac{1}{t_c} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2 b} [1 - \exp(-bt)] \right\} \quad (4)$$

② 当 $t > t_c$ 时,

$$S_t = S_0 + a q \left\{ 1 - \frac{1}{t_c} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2 b} [1 - \exp(-bt_c)] \exp(-bt) \right\} \quad (5)$$

作者简介: 李荣玉(1976—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 从事软土地基沉降研究.

假定参数 a 和 b 在加载过程中为常量,利用叠加原理可以进一步将上述沉降公式推广到多级加载的情况.设 n 为加载级数 Δq_i 为第 i 级荷载增量, t_i 为第 i 级加载的起始时刻, t_{ci} 为第 i 级加载终止时刻.当 $t_{ci} = t_i$ 时,为瞬时加载;当 $t_{ci} > t_i$ 时为线形加载.只需对式(2)~(5)作如下变量替换: $\Delta q_i \rightarrow q$; $(t - t_{ci}) \rightarrow t$ ($t_{ci} - t$) $\rightarrow t_c$,就成为第 i 级加载引起的沉降计算公式.利用叠加原理,多级加载条件下的沉降计算公式为

$$S_t = \sum_{i=1}^n s_i(t) \tag{6}$$

最终沉降量计算公式为

$$S_\infty = S_0 + \sum_{i=1}^n a\Delta q_i \tag{7}$$

2 参数反演

以沉降计算值和观测值的绝对误差采用最小二乘法建立目标函数:

$$J = \sum_{i=1}^n (s_i - \hat{s}_i)^2 \tag{8}$$

式中: n 为沉降观测的总数; s_i 为第 i 时刻的沉降计算值; $\hat{s}_i$ 为对应于 s_i 的沉降观测值. s_i 是计算参数 a 和 b 的函数,则目标函数 J 也是 a 和 b 的函数,对目标函数求极小,即是对 a 和 b 的寻优.

由于目标函数 J 的参数不多,计算量不是太大,根据单纯形法理论,编制了程序,其基本原理及具体步骤见文献[4].

3 工程实例

某软基工程,地势平坦开阔,河流水道纵横,沉积以海湖相沉积物居多,地质条件极为复杂,变化较大,软土层深厚.软基采用堆载预压法加固.

根据软基分布特点,考虑 K74+483 断面的工程典型性,本次预测分析确定采用上述断面为反演计算断面.该断面施工加载情况见图 1.在计算过程,考虑了土体次固结对沉降(特别对工后沉降)的影响,计算结果的可靠性主要体现在累计沉降、工后沉降预测拟合结果的准确性上,用相关系数表示.下面是对预测结果的讨论.

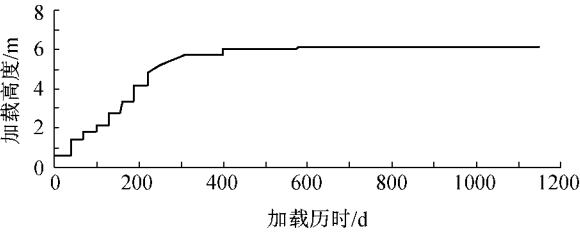


图 1 加载过程曲线

a. 累计沉降实测与预测拟合曲线对比见图 2.从图 2 可以看出,与实测结果相比,累计沉降预测拟合结果是相当精确的,数值上最大误差不超过 3%,说明上述沉降预测拟合方法是合理的.

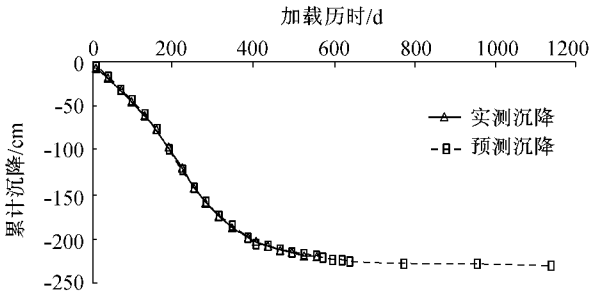


图 2 累计沉降实测与预测拟合曲线

b. 该断面土体参数反分析结果见表 1,预测拟合通车后 1a 和 15a 沉降值以及工后沉降、最终沉降值见表 2.

表 1 反分析计算的土体参数

反分析参数	目标函数	平均压缩系数 α_v	平均固结系数 C_v	相关系数
$a/(\text{m} \cdot \text{MPa}^{-1})$	J	$/\text{MPa}^{-1}$	$/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	R
18.4524	0.0405	114.08	1.48	2.77×10^{-3}
				0.9995

表 2 工后沉降及最终沉降预测拟合结果

断面桩号	淤泥层厚/m	通车时累计沉降/cm	通车 1a 后累计沉降/cm	工后沉降/cm	15a 后累计沉降/cm	最终沉降/cm
		实测	预测	实测	预测	
K74+483	31	224.95	225.74	230.63	229.70	9.95
						234.36
						235.69

通过与工后沉降监测结果的对比,至 2002 年 12 月 6 日通车 1 周年时,预测拟合沉降量与实测沉降量最大误差只有 0.5% 左右,因此,有理由相信预测拟合的最终沉降和工后沉降具有较高的可靠性.

4 结 语

上述工程算例的分析结果表明,采用本文提出的反演预测分析方法是可行的.其存在误差的原因是由于本文所建立的反演预测模型没有考虑软土的流变、剪胀等特性[5,6],并假定任何地基情况都可等效为单向排水均质地基,因此,反演所得参数为整个软土地基的综合参数,而不代表软土层的实际工程性质.此外,非线性和结构性主要表现在软土加载变形的初期,对加载完成后的固结变形(工后沉降)影响不大.因此,从实际工程应用的角度而言,本文提出的反演分析方法是可行的,其预测结果具有较高的准确性.

在实际工程应用中,随着观测信息量的不断增加,上述反演预测分析结果的可靠性也不断提高.利用预测的最终沉降量可以确定路面施工的有利时间,并且可以确定地基的预抛高.

参考文献:

- [1] 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,2002.75~94.
- [2] 高宏兴.软土地基加固[M].上海:上海科学技术出版社,1990.70~74.
- [3] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].北京:中国水利水电出版社,1996.199~213.

- [4] 胡中辑,邵伯敏,林冬青,等.最优控制原理及应用[M].杭州:浙江大学出版社,1988.100~102.
- [5] 赵维炳,施建勇.软土固结与流变[M].南京:河海大学出版社,1996.178~179.
- [6] 龚晓南.反分析确定固结过程中土的力学参数[J].浙江大学学报,1989(6):841~848.

(收稿日期 2003-07-09 编辑:马敏峰)

(上接第7页)

上游水位越高,闸门的开启角度越大,下泄流量也越大;当上游水位逐渐降低,闸门的开启角度也随之变小.在整个运动过程中,随着上游水位的变化,闸门始终维持着某种平衡状态,而且这种平衡状态的变化,总是不停地进行着.因此,连杆滑块式水力自控翻板闸门克服了因气囊振荡引起闸门震动这一难题,大大提高了闸门的使用寿命和运行可靠性.

近年来对连杆滑块式水力自控翻板闸门的广泛应用表明,连杆滑块式水力自控翻板闸门在水利水电工程,特别是在低水头电站上应用,具有很好的社会效益.四川达州市松石洞电站原坝高2m,水头6.3m,1997年底建成了翻板闸门,闸门高1.5m,水头7.8m,2000年的发电量就增加了30%.同时连杆滑块式翻板闸门具有在较为复杂的水力条件下安全稳定运行的性能,因此,值得推广使用.

5 运用翻板闸门应注意的几个问题

水力自控翻板闸门由于其特有的优点,在中小型水利工程中越来越受到欢迎.例如,作为小型水库除险加固,将翻板闸门装设在水库溢洪道上,达到加大泄洪与控制运用,在灌溉、发电、水运、城市环保等工程中也起到了较好的作用.但在推广应用翻板闸门时,需要注意以下几个问题:

a. 根据以往的经验与实地观察,翻板闸门的“宽高比”控制在2~3.5之间较为理想,这样有利于闸门运行的稳定性.若门高定得太高,全开水位也因此太高,不但会淹没农田,还会影响泄洪;若门高定得太低,又会无谓地损失水量及水头.

b. 设计闸门时,启动水位最好高于门顶,若启动水位低于门顶,门前将会积存来自上游的漂浮物等,启动后大部分水流挟带漂浮物从门底经过,容易堵塞大轮影响运行.为了防止漂浮物堵塞,也可以在铰座四周加设拦污栅.

c. 翻板闸门的“全开水位”最好控制在门顶水深 $\Delta H = (0.18 \sim 0.2)H$ (H 为门高),以免影响闸门的稳定与泄流.

d. 翻板闸门是借助水力和重力作用,在一定的水位条件下自动启闭的,它不能“随意”控制泄量和开度,倘若要提前排放泄量,必须用专门机具由人工操作拉开闸门.

e. 在浇制翻板闸门时,要严格控制其重量、尺寸,因翻板闸门活动部分的重心位置和重量直接影响着关门力矩,所以在浇制各门体构件(如闸门面板、支腿等)时,除控制设计尺寸外,还需要严格控制其材料密度,浇入模内的砂石等均应按计算规定配料.

f. 不要把翻板闸门建设在河流的弯道处,以免翻板闸门因水流侧流的影响而失稳,从而影响闸门的安全运行.

g. 要使河床中部的翻板闸门先开、后关,由三扇门以上组成的闸坝工程,为了避免冲刷河岸,应采取必要的措施以保证中间的门先开而后关.在设计中可以有意使位于中间部分的闸门门顶比两边的门顶低约2cm.为防止因施工、制造的误差,使得两边门顶低于中部门的门顶,或因门的重心的差异等原因致使靠两岸的门先开而后关,造成冲刷河岸时,应对下游消能问题有足够的重视和可靠的措施.

参考文献:

- [1] 李宗健,江仪贞,王长德,等.水力自动闸门[M].北京:水利电力出版社,1987.30~85.
- [2] 植成杰.新型连杆滚轮水力自控翻板闸门的推广应用[J].广东水利水电,2001(2):34.
- [3] 马思伟.新型水力自控翻板闸门及其应用[J].四川水利,2001(5):26~27.

(收稿日期 2003-08-29 编辑:马敏峰)

