

短文

考虑流变的沉降预测方法研究
Settlement prediction methods considering creep梅国雄^{1,2,3}, 宰金珉¹, 赵维炳², 殷建华³

(1. 南京工业大学土木工程学院, 江苏 南京 210009; 2. 南京水利科学研究所 岩土工程研究所, 江苏 南京 210024; 3. 香港理工大学土木与结构工程系, 香港)

关键词: 流变; 沉降; 时间

中图分类号: TU 433

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)03-0416-03

作者简介: 梅国雄(1975-), 男, 湖北黄梅人, 博士后, 主要从事主要从事沉降预测、土压力理论、固结理论、土与结构物共同作用方面的研究和教学工作。

0 引言*

沉降与时间的关系是工程实践很关心的一个课题, 其计算方法主要有^[1]: ①结合各种土体的本构关系, 再根据固结理论计算沉降与时间的关系; ②根据现有的实测资料来进行下一步预测, 从而得到沉降与时间的关系曲线。前者由于固结理论的复杂性和土体模型参数(特别是现场土体参数)获取的可靠性, 限制了该方法在工程实践中得到广泛运用; 后者由于比较简单, 在工程实践中得到广泛的运用, 目前采取的方法主要有双曲线法、指数曲线法、Asaoka 法等^[2], 但这些方法均未能考虑瞬时沉降和次固结的影响。本文拟根据瞬时加载情况下, 沉降时间的特点, 建立一个新的能考虑瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降的沉降-时间关系预测曲线。

1 模型的建立

1.1 瞬时加载沉降-时间关系曲线的特点

大量的试验证明, 对于瞬时加载条件下, 沉降-时间关系曲线具有以下特点:

(1) 最终沉降由瞬时沉降、固结沉降和最终沉降等三部分组成, 即:

$$S_f = S_{im} + S_{co} + S_{cr}, \quad (1)$$

式中 S_f 为最终沉降; S_{im} 为瞬时沉降; S_{co} 为固结沉降; S_{cr} 为流变沉降;

对于黏土, 三部分表现得较为清楚, 对于砂土, 一般认为

$$S_{im} = S_f, S_{co} = S_{cr} = 0. \quad (2)$$

(2) 沉降随着时间及时间的对数的增长率大于或等于零, 即

$$\left. \begin{aligned} dS_t/dt &\geq 0, \\ dS_t/d(\ln t) &\geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 t 为时间; S_t 为 t 时刻的沉降;

对于黏土取大于零, 对于砂土取为等于零。

(3) 沉降速率越来越慢, 从数学上讲, 即为:

$$d^2 S_t / dt^2 \leq 0. \quad (4)$$

(4) 对于黏土, 沉降-时间对数曲线存在一个拐点, 认为是主次固结的分界点, 记为 T_{eop} , 从数学上讲即:

$$\left. \begin{aligned} \text{当 } t < T_{eop} & \quad \frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} > 0, \\ \text{当 } t = T_{eop} & \quad \frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} = 0, \\ \text{当 } t > T_{eop} & \quad \frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} < 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

1.2 模型的建立

根据以上特点, 建立以下的沉降与时间关系曲线预测模型:

$$S_t = S_f \frac{(t/T_{eop})^b + c}{(t/T_{eop})^b + a + c}, \quad (6)$$

式中 a, b, c 为预测未知参数, 均大于或等于 0; 其余各变量含义同上。

根据大于四组的实测沉降-时间点, 即 $(t_i, S_{t_i}) (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n) (n > 3)$, 即可采用最小二乘优化得到预测参数 a, b, c, S_f 。事实上, 从后面的证明可见 a, b, c 的取值范围是非常小的。

1.3 模型的特点

(1) 能较清楚地反映瞬时沉降、固结沉降和流变沉降:

$$\left. \begin{aligned} \text{当 } t = 0 \text{ 时} & \quad S_t = S_0 = S_f \frac{c}{a+c}, \\ \text{当 } t = T_{eop} \text{ 时} & \quad S_t = S_{T_{eop}} = S_f \frac{1+c}{1+a+c}, \\ \text{当 } t = \infty \gg T_{eop} \text{ 时} & \quad S_t = S_\infty = S_f, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50279021); 江苏省青年科技创新人才项目(BK2003418); 江苏省博士后基金资助项目; 中国博士后基金资助项目(2003034389); 霍英东青年教师基金(91076)

收稿日期: 2003-06-19

从而有:

$$\left. \begin{aligned} S_{im} &= S_0 = S_f \frac{c}{a+c}, \\ S_{co} &= S_{T_{ep}} - S_0 = S_f \frac{a}{(1+a+c)(a+c)}, \\ S_{cr} &= S_{\infty} - S_{T_{ep}} = S_f \frac{a}{1+a+c}. \end{aligned} \right\} (8)$$

对于砂土, 有 $a = 0$, 有 $S_{im} = S_f, S_{co} = S_{cr} = 0$ 。

(2) 沉降随着时间及时间的对数的增长率大于或等于零, 即:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_t}{dt} &= \frac{abS_f(t/T_{ep})^b}{[(t/T_{ep})^b + (a+c)]^2 t}, \\ \frac{dS_t}{d(\ln t)} &= \frac{abS_f(t/T_{ep})^b}{[(t/T_{ep})^b + (a+c)]^2}. \end{aligned} \right\} (9)$$

易知: $\frac{dS_t}{dt} \geq 0; \frac{dS_t}{d(\ln t)} \geq 0$ 。

(3) 沉降率将变得越来越慢:

$$\frac{d^2 S_t}{dt^2} = \frac{abS_f(t/T_{ep})^b}{[(t/T_{ep})^b + (a+c)]^2 t^2} [(a+c)(b-1) - (b+1)(t/T_{ep})^b], (10)$$

若使得 $\frac{d^2 S_t}{dt^2}$ 恒小于零, 必有 $b \leq 1$ 。

(4) 沉降—时间对数曲线存在一个拐点, 即:

$$\frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} = \frac{ab^2 S_f(t/T_{ep})^b}{[(t/T_{ep})^b + (a+c)]^2} [(a+c) - (t/T_{ep})^b], (11)$$

显然有:

$$\left. \begin{aligned} \text{当 } t < T_{ep}(a+c)^{1/b} \text{ 时, } \frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} &> 0, \\ \text{当 } t = T_{ep}(a+c)^{1/b} \text{ 时, } \frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} &= 0, \\ \text{当 } t > T_{ep}(a+c)^{1/b} \text{ 时, } \frac{d^2 S_t}{d(\ln t)^2} &< 0. \end{aligned} \right\} (12)$$

故在 $t = T_{ep}(a+c)^{1/b}$ 处存在拐点。

拐点存在的原因是由于主次固结变形的机理有差别, 对于主次固结比较明显的土类, 故可认为拐点对应的时间为 T_{ep} , 即有: $t = T_{ep}(a+c)^{1/b} = T_{ep}$ 从而有 $a+c=1$ 。事实上, 主固结和次固结通常是同时发生, 只是在刚开始阶段, 主固结占主要部分, 到后面次固结占主要部分而已, 从而导致 $a+c$ 在 1 附近左右波动。

2 模型验证

为了验证所提出的预测模型的合理性, 采用了香港新机场历时 18 个月的固结试验^[3]来验证本文预测方法, 这也是笔者所见历时最长的固结试验。其实测曲线和预测曲线如图 1~5 所示。

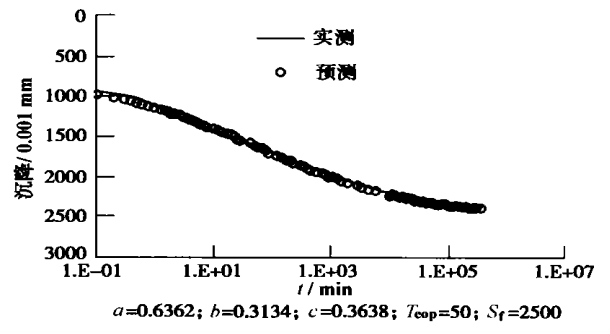


图 1 532B32(10)土样的沉降—时间关系曲线
Fig. 1 s—lgt curve of the sample 532B32(10)

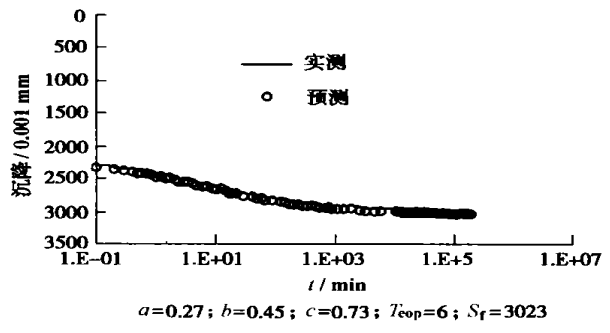


图 2 520ME211 土样的沉降—时间关系曲线
Fig. 1 s—lgt curve of the sample 520ME211

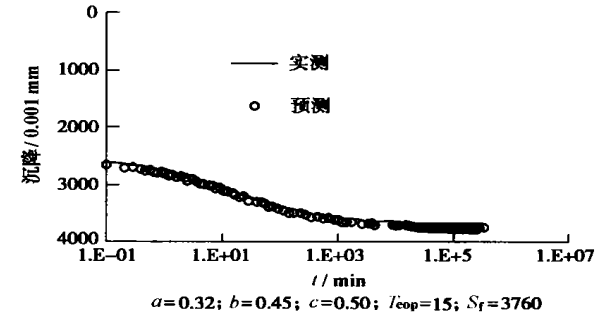


图 3 520ME214 土样的沉降—时间关系曲线
Fig. 3 s—lgt curve of the sample 520ME214

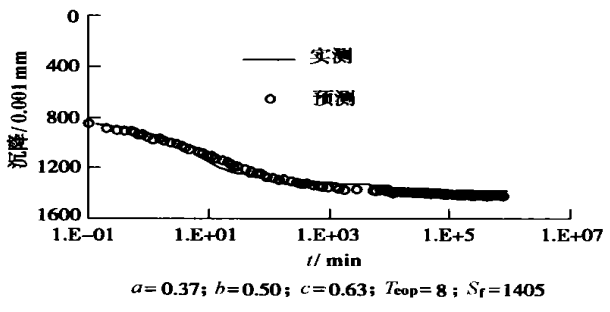


图 4 519B08 土样的沉降—时间关系曲线
Fig. 4 s—lgt curve of the sample 519B08

顺便指出: 对于主次固结比较明显的图 1~4, 有 $a+c=1$, 则瞬时沉降、固结沉降和流变沉降分别为: $S_{im} = S_0 = cS_f; S_{cr} = aS_f/2; S_{ep} = aS_f/2$ 。另有 $S_{T_{ep}} = (1+c)S_f/2$, 易知:

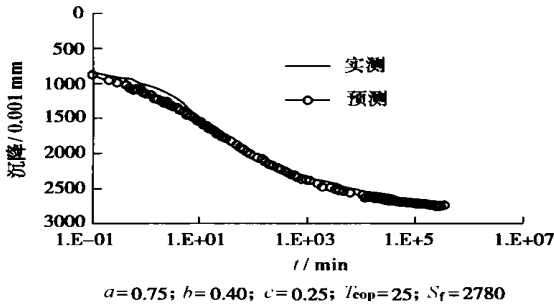


图5 532B32(6)土样的沉降-时间关系曲线

Fig. 5 $s-lgt$ curve of the sample 532B32(6)

$$S_f = 2S_{T_{eop}} - S_{im_0} \quad (13)$$

对于主次固结不太明显的图5,若采用 $a + c = 1$ 的方式进行预测,效果较差一些。

3 参数分析

本预测模型包含的参数有: a, b, c, T_{eop}, S_f , 其中 S_f 的含义比较明确,其大小直接影响沉降的大小。以下对剩下的4个参数对计算结果的影响分析如下,以加深对该模型的感性认识。

为了便于比较分析,以图6~9中未给出的参数即为 $S_f = 100, T_{eop} = 10, a = 0.5, b = 0.5, c = 0.5$ 。

由图6可知, a 的大小将直接影响瞬时沉降的大小, a 越大,瞬时沉降越大。

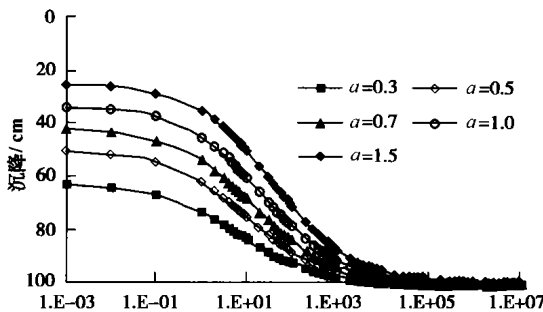


图6 参数 a 的影响

Fig. 6 Effect of parameter a

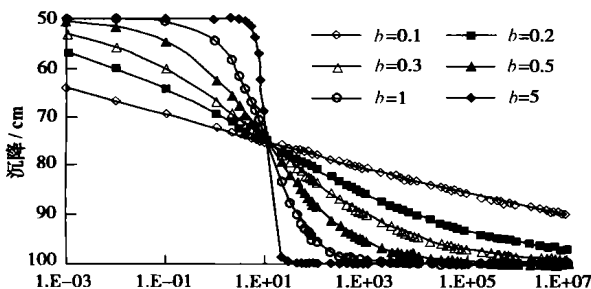


图7 参数 b 的影响

Fig. 7 Effect of parameter b

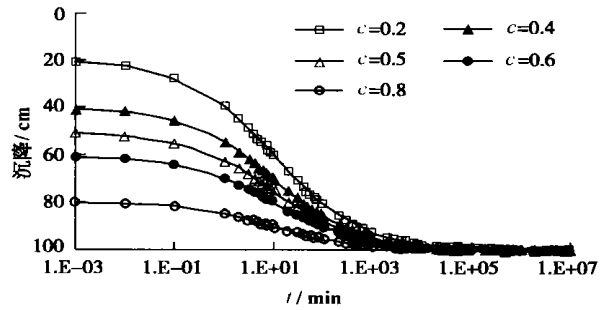


图8 参数 c 的影响

Fig. 8 Effect of parameter c

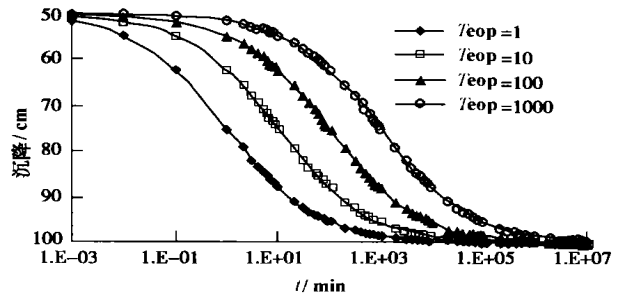


图9 参数 T_eop 的影响

Fig. 9 Effect of parameter T_{eop}

由图7可知, b 的大小将直接影响曲线的曲率, b 越小,曲线的取率越大。

由图8可知, c 的大小将直接影响瞬时沉降的大小, c 越大,瞬时沉降越小。

由图9可知, T_{eop} 的大小将直接影响固结的速率, T_{eop} 越大,固结速率越慢。

4 结论

本文根据流变试验得到的沉降与时间关系曲线的特点,建立了一个简单实用的沉降-时间预测模型,采用历时18个月的香港软土流变试验验证本文的方法,结果证明其预测误差均在3%以内,显示了该方法的合理性,最后详细分析了该模型的特点和模型参数的含义,且模型参数变化幅度较小。

顺便指出:本文的研究虽然是建立在瞬时加荷的基础上,实际的施工荷载可按常规的修正方法去计算。

参考文献:

[1] 宰金珉,梅国雄.全过程的沉降量预测方法研究[J].岩土工程学报,2000,4.
 [2] 龚晓南.高等土力学[M].杭州:浙江大学出版社,1999.
 [3] Lo D O K, Pemchitt J. Long-term consolidation tests on clays from the Chek Lap Kok formation[R]. Geo Report No. 72 Geotechnical Engineering Office Civil Engineering Department, Hong Kong.
 [4] Craig R F. Soil Mechanics[M]. E&FN SPON, Sixth edition, 1997.