

高层建筑桩基沉降值的概率统计预测法

阳 吉 宝

(同济大学 上海 200092)

【提要】本文通过对上海地区30幢高层建筑桩基础沉降值的统计分析,提出高层建筑桩基础沉降值的概率统计预测法,可供工程设计人员参考。

【Abstract】 The probability statistical method for forecasting the settlement of the pile foundation of high building is proposed based on the statistical analysis to the settlements of the pile foundation about 30 high buildings in Shanghai area in this paper.

0 前言

随着浦东开发开放的不断推进,上海城市建设日新月异,高层建筑如雨后春笋般拔地而起。上海地处长江三角洲,第四纪土层厚度约150~400m,高层建筑一般采用桩基。目前,群桩基础沉降计算理论较多,但限于岩土参数的离散性和随机性,施工因素的影响以及理论模型的不完善等,计算所得到的桩基沉降值与建筑物沉降实测值往往相差较大。鉴于目前上海市已建成几百幢高层、超高层建筑,且相当一部分建筑物都有最终沉降值的实测资料,本文运用贝叶斯(Bayes)概率公式,通过对上海30幢12~25层高层建筑实测沉降值的统计分析,提出高层建筑桩基沉降值的概率统计预测法。

1 基本原理

设影响桩基沉降的因素共有 n 个,每个因素又可分为若干特征, n 个因素共有总数为 N 个特征。用 $T_i (i=1, 2, \dots, N)$ 来表示每个特征。自然,桩基沉降特征可用 T_i 的总体来描述。

桩基沉降值的变化有一定范围,这个范围可划成若干区间 $S_j (j=1, 2, \dots, m)$ 。对于沉降值的每个区间 S_j 可以算出特征 T_i 落入该区间的概率。用 P_{ij} 来表示该区间 S_j 内的这个概率。若已知各因素在整个沉降值范围内每一个区间 S_j 的分布规律,则可求出这种因素值下沉降区间的概率,即 P_{ij} 。

表1列出了用于预测的原始资料,它包括特征值 T_i 和移动区间 S_j 。该表是综合考虑

按圆形截面配筋面积 = 228.22
[cm²]

按等效矩形截面配筋结果:

受拉面配筋面积 = 92.24[cm²]

受压面配筋面积 = 24.71[cm²]

配筋面积 = 116.95[cm²]

总桩数 = 62

桩材料造价 = 848012.99元

底部隆起值 = 2.17[cm]

地基承载力安全系数 = 5.37

桩顶位移 = 73.59(mm)

4 结语

该软件的研制成功,将给护坡桩工程带来更大的经济效益。

该软件已在北京南银大厦护坡桩工程、北京有色冶研院西区宿舍楼护坡桩工程中得到应用,经实践检验证明该软件是高效和可靠的、产生的效益是显著的。

参 考 文 献

- 1 秦四清等著. 非线性工程地质学导引. 西南交通大学出版社, 1993

影响桩基沉降各因素而得到的。

表 1 影响桩基沉降的特征概率

| 沉降 区 间 | 影响 桩 基 沉 降 特 征 | | | |
|-----------|----------------|--------------|-----|--------------|
| | T_1 | T_2 | ... | T_N |
| S_1 | $p(T_1/S_1)$ | $p(T_2/S_1)$ | ... | $p(T_N/S_1)$ |
| S_2 | $p(T_1/S_2)$ | $p(T_2/S_2)$ | ... | $p(T_N/S_2)$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| S_n | $p(T_1/S_n)$ | $p(T_2/S_n)$ | ... | $p(T_N/S_n)$ |

桩基沉降值落入第 j 个区间内的概率按贝叶斯公式确定:

$$P_j = \frac{P(S_j) \prod_{i=1}^n P_{i,j}}{\sum_{j=1}^n P(S_j) \prod_{i=1}^n P_{i,j}} \quad (1)$$

式中 $P(S_j)$ ——落入区间 j 内的先验概率;
 $P_{i,j}$ ——当沉降区间为 S_j 时, 从试验中已知的特征 T_i 的概率。

如果对于 S 来说, 先验概率的分布为未知, 则认为所有沉降区间的概率是相等的, 可将贝叶斯公式写成下列形式:

$$P_j = \frac{\prod_{i=1}^n P_{i,j}}{\sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n P_{i,j}} \quad (2)$$

因此, 按式(2)可确定桩基沉降落入每个区间的概率, 最后, 概率最大的沉降区间即为桩基沉降预测值。

2 桩基沉降的特征概率

根据统计到的30幢建筑物实测沉降值分析, 可将桩基沉降值划分为四个区间, 即: $S_1 < 10$, $10 \leq S_2 < 20$, $20 \leq S_3 < 30$, $30 \leq S_4 \leq 40$ 沉降值以 cm 计。

影响高层建筑物桩基沉降的因素很多, 如: 建筑物荷载、土体力学参数、基础形式和桩长、桩径、桩数等。根据统计到的有关资料, 现选五个因素, 即: 高层建筑物层数, 单位面积桩数、桩型、桩长以及桩端持力土

层的性质。每个因素的特征及其概率如表 2~6 所示。

值得指出的是, 为保证每个特征概率都大于零, 对零值的特征概率赋值为 0.001。

表 2 对应于建筑物层数的特征概率

| 建筑物层数 沉降区间 | <18 | 18~20 | >20 |
|---------------|-------|-------|-------|
| | 0~10 | 0.571 | 0.428 |
| 10~20 | 0.091 | 0.818 | 0.091 |
| 20~30 | 0.001 | 0.001 | 0.998 |
| 30~40 | 0.001 | 0.998 | 0.001 |

表 3 对应于单位面积桩数的特征概率

| 单位面积 桩数 沉降区间 | <0.1 | 0.1~0.2 | 0.2~0.3 | >0.3 |
|--------------------|-------|---------|---------|-------|
| | 0~10 | 0.142 | 0.715 | 0.142 |
| 10~20 | 0.001 | 0.154 | 0.768 | 0.077 |
| 20~30 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.997 |
| 30~40 | 0.061 | 0.001 | 0.499 | 0.499 |

表 4 对应于桩型的特征概率

| 桩 型 沉降区间 | 砼 预 制 桩 | 钻 孔 灌 注 桩 |
|-------------|---------|-----------|
| | 0~10 | 0.714 |
| 10~20 | 0.999 | 0.001 |
| 20~30 | 0.999 | 0.001 |
| 30~40 | 0.999 | 0.001 |

表 5 对应于桩长的特征概率

| 桩长(m) 沉降区间 | <10 | 10~20 | 20~30 | >30 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0~10 | 0.001 | 0.001 | 0.166 |
| 10~20 | 0.001 | 0.001 | 0.714 | 0.284 |
| 20~30 | 0.001 | 0.001 | 0.997 | 0.001 |
| 30~40 | 0.997 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |

表 6 对应于持力层的特征概率

| 持力土层 沉降区间 | 砂 性 土 | 粘 土 | 粉 土 |
|--------------|-------|-------|-------|
| 0~10 | 0.428 | 0.144 | 0.428 |
| 10~20 | 0.001 | 0.692 | 0.307 |
| 20~30 | 0.001 | 0.001 | 0.998 |
| 30~40 | 0.998 | 0.001 | 0.001 |

3 实例

现已知一20层建筑物，其基础面积为： $26.6 \times 25.3m^2$ ，基础下共布有174根砼预制桩，桩长24.0m，持力层为暗绿粉质粘土。试根据上述方法求出该建筑物沉降值。

通过对影响该建筑物沉降因素分析，首先得到表7所示的各因素特征概率值。

表 7 影响桩基沉降各因素特征概率

| 因素 沉降区间 | 建筑物 层数 | 单位面 积桩数 | 桩 型 | 桩长 | 持力层 土 性 |
|------------|-----------|------------|-------|-------|------------|
| 0~10 | 0.428 | 0.142 | 0.714 | 0.166 | 0.144 |
| 10~20 | 0.818 | 0.768 | 0.999 | 0.714 | 0.692 |
| 20~30 | 0.001 | 0.001 | 0.999 | 0.997 | 0.001 |
| 30~40 | 0.998 | 0.499 | 0.999 | 0.001 | 0.001 |

根据贝叶斯公式确定建筑物桩基沉降量落入区间 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 中的概率：

$$P_1 = \frac{\prod_{i=1}^n P_{i1}}{\sum_{j=1}^4 \prod_{i=1}^n P_{ij}} = \frac{0.007307}{0.317397} = 0.023$$

$$P_2 = \frac{\prod_{i=1}^n P_{i2}}{\sum_{j=1}^4 \prod_{i=1}^n P_{ij}} = \frac{0.31008}{0.317397} = 0.975$$

$$P_3 = \frac{\prod_{i=1}^n P_{i3}}{\sum_{j=1}^4 \prod_{i=1}^n P_{ij}} = \frac{0.000001}{0.317391} = 0.001$$

$$P_4 = \frac{\prod_{i=1}^n P_{i4}}{\sum_{j=1}^4 \prod_{i=1}^n P_{ij}} = \frac{0.000001}{0.317391} = 0.001$$

最大概率 $P_2 = 0.975$ ，是在 $10 \leq S_2 < 20cm$ 沉降值区间内。因此，所设计的建筑物最终沉降值预计为 $10 \sim 20cm$ 。经实测，该建筑物最终沉降值为 $13.8cm$ 。

实例证明，概率统计预测法所得到的计算结果符合工程设计要求。

4 结论与讨论

概率统计预测法是一种统计分析方法，它计算结果的正确与否很大程度上取决于桩基沉降值与影响其各因素的统计量的多与少，统计样本越多，特征及沉降区间划分越合理，则预测的沉降值越可信。随着城市建设的发展，高层建筑桩基沉降实测值资料会越积越多，利用本文所提出的方法来预测建筑物沉降的前景也越来越广阔。

本文所提的方法具有简便、实用等优点，在这方面是其它计算方法可望而不可及的。笔者相信，运用概率统计法来预测高层建筑物桩基沉降很值得应用和推广。

参 考 文 献

- 1 宋俊杰. 统计信息分析(上). 天津: 南开大学出版社, 1986
- 2 冯克康. 上海高层住宅桩筏(箱)基础预估值最终沉降值. 结构工程师, 1991, No.2

(上接第5页)

强，有显著的经济效益和社会效益，特别在施工场地狭窄及条件限制大型机械无法进场施工时，更能显出土钉墙支护技术的优越性。

参 考 文 献

- 1 程良奎等. 岩土加固实用技术. 地震出版社, 1994
- 2 林宗元主编. 岩土工程治理手册. 辽宁科学技术出版社, 1993