

分层总和法在路基沉降计算中应注意的几个问题

陈开圣¹ 刘宇峰²

(1. 长安大学公路学院, 陕西西安 710054; 2. 中港第四航务工程局, 广东广州 510000)

【摘要】 在应用分层总和法对路基沉降计算中应注意的问题: 梯形断面荷载附加应力的计算、压缩层厚度的确定、压缩模量的确定, 进行了初步的探讨, 对公路路基设计施工具有实际的指导意义。

【关键词】 分层总和法; 公路路基; 沉降计算

【中图分类号】 TU 433

Several Problems of Layerwise Summation Method in Settlement Calculation

Chen Kaisheng¹ Liu Yufeng²

(1. Highway College of Chang'an University, Xi'an Shanxi 71006;

2. No. 4 navigational engineering bureau of China harbor, Guangzhou Guangdong 510000 China)

【Abstract】 Several problems of layerwise summation method in settlement calculation are discussed, such as the calculation of echelon section additional load, the lower limit of compressed layer, the modulus of compressibility. This work gives a practical reference for subgrade design and construction.

【Key Words】 layerwise summation method; subgrade; settlement calculation

高速公路路基的沉降量及沉降过程的预估是个重要且尚未解决好的问题, 沉降控制尤其是工后沉降量和沉降稳定时间的预测对加速高速公路建设具有重要意义^[1]。目前虽已有能考虑较复杂因素的沉降计算的方法, 如应力路径法、有限元法等, 但准确确定数学模型和选取有关参数较困难, 并且要求有高质量的试样和测试手段相配合, 使得以上方法还不能在地基设计中广泛采用^[2,3]。由于分层总和法原理简单, 计算简便, 在生产单位中获得了广泛的应用。因此路基设计规范规定在路基沉降计算时仍采用分层总和法⁴。作者结合近几年的工程实践, 在应用分层总和法对路基沉降计算中应注意的问题进行了初步的探讨。

1 梯形断面荷载附加应力的计算

路堤断面 $agcd$, 填土高为 h , 顶宽为 $2d'$, 底宽为 $2b$, 将边坡 ag 、 cd 延长后交于 e , 三角形 $\triangle aed$ 的高为 h' $h+h'=H$ (见图 1)。

根据三角形分布条形荷载下附加应力计算公式为:

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} \left[n' \left(\arctan \frac{n'}{m} - \arctan \frac{n'-1}{m} \right) - \frac{m(n'-1)}{(n'-1)^2 + m^2} \right] \quad (1)$$
$$\sigma_z = a_s P$$

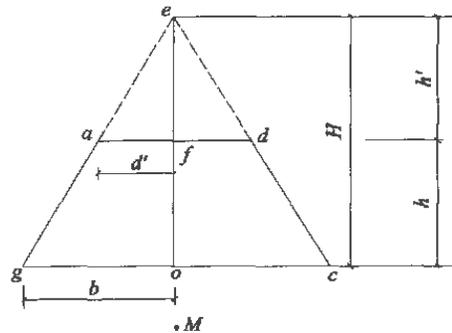


图 1 路堤断面示意图

$$a_s = \frac{1}{\pi} \left[n' \left(\arctan \frac{n'}{m} - \arctan \frac{n'-1}{m} \right) - \frac{m(n'-1)}{(n'-1)^2 + m^2} \right]$$

式中: a_s 为应力系数, P 为三角形荷载最大值。

$n' = \frac{x}{b}$, $m = \frac{z}{b}$, b 为荷载分布宽度 (坐标原点在三角形荷载的零点处)。

将梯形荷载 $agcd$ 分解为两个三角形荷载 egc 和 ead 之差, 利用三角形分布条形荷载的附加应力计算公式并根据对称性有^[5,6]:

$$\sigma_z = 2[\sigma_z(ego) - \sigma_z(eaf)] = 2[a_{s1} \cdot \gamma H - a_{s2} \cdot \gamma H \cdot \frac{b'}{b}] = \gamma h \cdot \frac{2}{[1 - \frac{b'}{b}]} [\alpha_{s1} - \alpha_{s2} \cdot \frac{b'}{b}] \quad (2)$$

式中: a_{s1} 和 a_{s2} 分别对应 $\triangle egc$ 和 $\triangle eaf$ 的应力系数。

将式(1)代入式(2), 经整理可得路堤中线下深度 z (M 点) 处的附加应力系数 α_z 为:

$$\alpha_z = \frac{2}{\left[1 - \frac{b'}{b}\right]} \cdot \frac{1}{\pi} \left[\arctan \frac{1}{m_1} - \frac{b'}{b} \arctan \frac{1}{m_2} \right] \quad (3)$$

式中: $m_1 = \frac{z}{b}$, $m_2 = \frac{z}{b'}$

设 $\frac{b'}{b} = A$, $\frac{H'}{b} = B$ (H' 为地基压缩层厚度) 代入式(3), 可得中线下 $z = H'$ 处的附加应力系数为:

$$\alpha'_H = \frac{2}{1-A} \cdot \frac{1}{\pi} \left[\arctan \frac{1}{B} - A \cdot \arctan \frac{A}{B} \right]$$

2 压缩层厚度的确定

对于压缩层厚度的确定有应力比法和变形比法, 应力比法一般按附加应力 σ_z 小于 0.1 ~ 0.2 倍的自重应力 σ_{cz} 来控制压缩层深度, 即 $\sigma_z \leq (0.2 - 0.1) \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i$ 。然而应力比方法没有考虑土层的构造和不同压缩性的影响, 如在地层深部的硬层中, 由于压缩性低, 土层的变形急剧减小, 同时由于硬层的扩散应力作用, 硬层以下土层的变形也就很小了, 但如按应力比的方法, 则压缩层的深度远大于硬层的深度。在软土地区高速公路沉降计算中按应力比法

确定的压缩层深度过大。现行《公路软基规范》(JTJ 017—96)^[7] 采用变形比法来确定压缩层厚度比较符合实际, 即

$$\Delta S_n / \sum_{i=1}^n \Delta S_i \leq 0.025$$

式中: n 为地基层总数, ΔS_n 为从压缩层底向上取 1.0 m 的土层计算的最终变形量, ΔS_i 为第 i 层土层的最终压缩变形量。

3 压缩模量的确定

压缩模量 E_s 是反映土的压缩性的一个主要指标, 是进行地基和建筑物沉降计算时需要确定的一个主要土性参数。其测试数据的准确性与工程建筑物的稳定和正常使用有着密切的关系。然而在很多教材和文献中^[8~10], 有关压缩模量的确定一直存在分歧, 尽管其表达形式相似, 即 $E_s = \frac{1+e_1}{a}$, 但对 e_1 的解释非常模糊, 认为 e_1 是在应力 σ_1 作用下的孔隙比, 而 σ_1 却没有明确指出它的含义, 可认为是自重应力, 也可认为是某种有效附加应力。但工程应用中常使用的分层总和法用的是自重应力作用下的天然孔隙比。

压缩模量是指土在完全侧限的条件下竖向应力增量 $\Delta\sigma$ 与相应的应变增量 $\Delta\epsilon$ 的比值, 即 $E_s = \Delta\sigma / \Delta\epsilon$ (见图 2)。其推导过程如下:

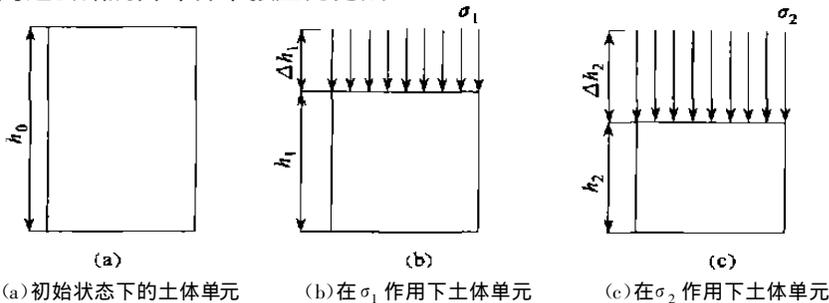


图 2 不同应力作用下土体单元图

在 σ_1 作用下: $\epsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h_0}$; $e_1 = e_0 - \frac{\Delta h_1}{h_0} (1 + e_0)$

在 σ_2 作用下: $\epsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h_0}$; $e_2 = e_0 - \frac{\Delta h_2}{h_0} (1 + e_0)$

$$e_1 - e_2 = \left[\frac{\Delta h_2}{h_0} - \frac{\Delta h_1}{h_0} \right] (1 + e_0) = (\epsilon_2 - \epsilon_1) (1 + e_0) = \Delta\epsilon (1 + e_0)$$

$$\Delta\epsilon = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0}$$

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{e_1 - e_2} (1 + e_0) = \frac{1 + e_0}{a} \quad (4)$$

对比 $E_s = \frac{1 + e_1}{a}$ (5)

二者存在差别:

1) 如果 σ_1 所对应的荷载为自重应力, 那么 e_1 为天然孔隙比, 式(4)与式(5)相同。

2) 如果 σ_1 所对应的荷载不是自重应力, 在应力 σ_1 到 σ_2 作用下, 土样的变形值 Δh 与初始高度 h_0 之比, 才是反应应变的变化。因为 h_0 是土体处于自重应力作用下原始高度, 其应变为零, 孔隙比为天然孔隙比, 而把非自重应力状态下的土样高度作为初始高度计算, 这就是式(4)和式(5)的差

别所在。

通过上述分析推导, 压缩模量的正确表达式为:

$$E_s = \frac{1+e_0}{a}$$

式中: e_0 为土体的天然孔隙比。

在具体计算压缩模量时, 应取实际压力变化范围, 即初始应力 P_1 为自重应力, 加荷后的应力 P_2 为自重应力加附加应力。从压缩曲线上找出 P_1 和 P_2 所对应的孔隙比 e_1 和 e_2 。

4 结 论

1) 梯形断面荷载附加应力计算公式为

$$\sigma_z = \gamma h \cdot \frac{2}{\left[1 - \frac{b}{b'}\right]} \left(\alpha_{s1} - \alpha_{s2} \cdot \frac{b}{b'} \right)$$

2) 路基沉降计算中压缩层厚度的确定应采用变形比法, 即 $\Delta S_n / \sum_{i=1}^n \Delta S_i \leq 0.025$ 。

3) 压缩模量的正确公式为 $E_s = \frac{1+e_0}{a}$, (e_0 为土体的天然孔隙比, 其压力变化范围应取实际的压力

变化范围。

参 考 文 献

- 1 白双信. 黄土地区高速公路施工新技术—宣大高速公路河北段工程实践. 北京: 人民交通出版社, 2001. 5~8
- 2 折学森. 软土地基沉降计算. 北京: 人民交通出版社, 1998. 12~15
- 3 洪毓康. 土质学与土力学(第二版). 北京: 人民交通出版社, 1990. 30~32
- 4 JTJ 013—95 公路路基设计规范
- 5 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算(第二版). 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 25~27
- 6 黄文熙. 土的工程性质. 北京: 水利电力出版社, 1983. 45~48
- 7 JTJ 017—96 公路软土地基路堤设计与施工技术规范.
- 8 杨英华. 土力学. 北京: 地质出版社. 1986. 18~20
- 9 唐大雄. 工程岩土学. 北京: 地质出版社, 1987. 55~58
- 10 高大钊. 土力学与基础工程. 北京: 中国建筑出版社, 1998. 60~64

收稿日期: 2004-11-17

(上接第 42 页)

本文分别计算了朗肯主(被)土压力值和新主(被)土压力值, 两者计算值与本文试验值进行比较, 其中以朗肯主(被)土压力值为最大, 试验值为最小, 而且被动土压力值与试验值相差较大, 这可能是试验尚未达到极限状态。另外, 利用朗肯主(被)土压力和新主(被)土压力所计算出的最小桩长分别为 11.30 m 和 9.33 m。

7 结 论

1) 桩墙体弯矩随时间的测试值与计算值的结果表明, 本文采用的增量算法模拟实际基坑开挖过程是有效的。也说明了基坑开挖分步与设计计算模式保持一致, 是基坑开挖安全的保证。

2) 水平位移测试结果与计算值的比较表明, 桩墙体在较深层土体中的本构模型有待进一步修正, 使其计算值逼近工程实际。在本文中未做此项工作。

3) 作用在围护结构上的主要荷载土压力, 本文进行了现场测试, 结果表明朗肯主(被)土压力计算

值较测试值差值较大, 建议本地区采用杨光华根据地基理论中的 Prandtl 滑动面及强度理论的思想, 提出的计算主(被)动土压力新的公式。

参 考 文 献

- 1 JGJ 94—94 建筑桩基技术规范
- 2 YB 9258—97 建筑基坑工程技术规范
- 3 JGJ 120—99 建筑基坑支护技术规程
- 4 JGJ/T 111—98 建筑与市政降水工程技术规范
- 5 GB50010—2002 混凝土结构设计规范
- 6 李筱艳. 考虑耦合作用的深基坑土体变形预测. 岩土工程技术, 2003(3): 138~141
- 7 胡 强, 刘 宁, 李锦辉. 超变形法及其在深基坑开挖中的应用. 岩土工程技术, 2003(3): 167~170
- 8 李思平, 周 辉, 李 川. 基坑水平位移与土钉拉力的现场测试分析. 岩土工程技术, 2003(5): 305~封3

收稿日期: 2004-10-28