

软基沉降计算中压缩层厚度确定方法探讨

余 旱 雨 张 荣 堂

(华侨大学土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要 沿海地区平原水网区高速公路的软土路基, 其压缩层范围与应力控制法确定的深度通常相差很大, 而与应变控制法确定的厚度比较吻合. 规范规定的应力控制比值与一些实际情况不符, 对大宽度路基条件下的软基不太适用, 导致用应力控制法计算出的沉降量比实际沉降大许多. 文中结合工程实例, 研究出现这一问题的机理, 并给出建议.
关键词 压缩层厚度, 地基沉降, 软土, 应力控制法, 应变控制法
中图分类号 TU 431; TU 447 文献标识码 A

在我国东南沿海的平原水网区, 高速公路多采用填方路基, 而且高速公路规格往往是双向 6~ 8 车道. 高填方路段的路基宽度通常大于 40 m, 比一般工民建的条形基础宽度大很多. 理论计算和工程实践证明, 现在普遍采用的地基沉降和压缩层厚度的计算方法, 对这种大宽度路基条件下的软基不太适用, 存在一些问题和不足.

1 常用压缩层厚度确定方法

1.1 应力控制法

目前, 工程界采用的公路路基沉降计算方法是应力控制的分层总和法. 根据《JTJ 017- 96 公路软土地基路堤设计与施工技术规范》^[1] (以下简称《公路规范》) 规定, 地基压缩层厚度自基础底面算起, 到附加应力等于土层自重应力的某一比值作为沉降计算的终止条件, 其附加应力与有效自重应力之比不大于 0. 15. 计算完压缩层厚度, 再将压缩层范围内的地基土层分成若干层, 分层计算土体竖向压缩量. 然后, 求和得到主固结沉降 S_c , 再乘以沉降系数 m , 可得总沉降量 S . 即

$$S = mS_c, \quad S_c = \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} \cdot \Delta h_i \tag{1}$$

在式(1)中, m 为经验系数, 它与地基条件、荷载强度、加荷速率等因素有关, 其范围值为 1. 1~ 1. 7, 可根据现场沉降观测资料确定. n 为地基沉降计算分层层数; Δh_i 为地基沉降计算分层第 i 层计算分层厚度; e_{0i} 为地基中第 i 层分层中点, 在自重应力作用下稳定时的孔隙比; e_{1i} 为地基中第 i 层分层中点, 在自重应力与附加应力共同作用下稳定时的孔隙比.

1.2 应变控制法

分层总和法中对于压缩层厚度的确定方法除应力控制法外, 还有应变控制法. 应变控制法是指地基压缩层厚度自基础底面算起, 算到某一厚度土层的压缩量满足一定条件作为沉降计算的终止条件. 国家标准《GB 50007- 2002 建筑地基基础设计规范》第 5. 3. 6 条规定^[2], 地基沉降计算深度 Z_n 应符合下式要求, 即

$$\Delta s'_n \leqslant 0. 025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i. \tag{2}$$

在式(2)中, $\Delta s'_i$ 为在计算深度范围内, 第 i 层土的计算变形值; $\Delta s'_n$ 为在由计算深度向上取厚度为 Δz

的土层计算变形值. 式(2)说明, 在深度 Z_n 处向上取规定的计算深度 Δz 所得的土层, 其计算变形值 $\Delta s'_n$ 不大于 Z_n 范围内总的压缩量的 2.5%. 当满足式(2)时, 深度 Z_n 即作为压缩层厚度.

2 工程实例分析

在软土地基上, 理论确定的压缩层计算深度与实际情况相比通常有较大误差, 经常导致计算沉降量过大. 尤其在高速公路这类路基宽度比较大的情况下, 误差尤为明显. 以下根据某个高速公路软土路基沉降计算实例, 来探讨这个问题.

2.1 工程概况

福州) 厦(门) 漳(州) 诏(安)高速公路, 长约 400 km, 是沿海大通道的一部分. 线路通过河口海湾平原软土地带, 软基路段占总路线的 20% 左右, 选择了两个长度分别为 2.7 km 和 8 km 的软基试验路段. 试验段的代表性地基土层自上而下, 分为如下 3 层: (1) 硬壳层, 由粘土或亚粘土组成, 厚 1~ 2 m; (2) 淤泥和淤泥质土层, 厚度 3~ 24 m, 压缩系数 $\alpha_{1-2} = 0.85 \sim 2.20 \text{ MPa}^{-1}$, 渗透系数 $k = 10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, 有机质质量分数为 0.005~ 0.053, 地基承载力标准值 $f_k = 50 \sim 80 \text{ kPa}$; (3) 亚粘土和砂质粘性土. 填土设计高度 4~ 7 m, 路堤顶面宽 26 m, 边坡为 1: 1.5, 地下水位在地表下约 1.5 m. 以上各土层的物理力学特性如表 1 所示. 表中 w 为水的质量分数, ρ 为湿密度, w_l 为液限(质量分数), I_p 为塑性指数, α_{1-2} 为垂直压缩系数, C_v 为固结系数, c 为土的粘聚力, φ 为土的内摩擦角.

表 1 土层物理力学特性表

土层	w	$\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	w_l	$I_p/(\%)$	$\alpha_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	$C_v/10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
亚粘土	0.262	1.95	0.372	16.3	0.27	0.005 00	35.9	13.7
淤 泥	0.696	1.57	0.534	24.7	2.09	0.000 59	15.0	2.8
砂质粘性土	0.257	1.82	0.374	16.4	0.31	0.006 58	26.0	23.0

2.2 地基压缩层厚度计算结果与实测值的比较

沉降观测采用分层沉降管和磁性爪目标(以下简称磁环)测量分层沉降, 分层沉降管埋至残积粘土层中, 磁环基本上按 3 m 间距埋设. 在地基表面放置了沉降盘, 同时测量地基总沉降. 路堤填土过程历时 240 d, 其中 1# 断面填土设计标高 6.2 m, 分 6 层填筑; 而 2# 断面设计标高 6.0 m, 分 8 层填筑. 在每层填土开始前测量其沉降值, 填筑至设计标高后再继续监测 300 d. 算例中, 公路路基宽度约 45 m, 是地基高压缩性土层(即淤泥层)厚度的两倍以上, 比较符合单向固结条件. 根据实测沉降值画出 $t'/S'-t'$ 关系图, 曲线后段近似直线, 如图 1 所示. 应用双曲线法对实测沉降值进行拟合, 求得实测地表最终沉降

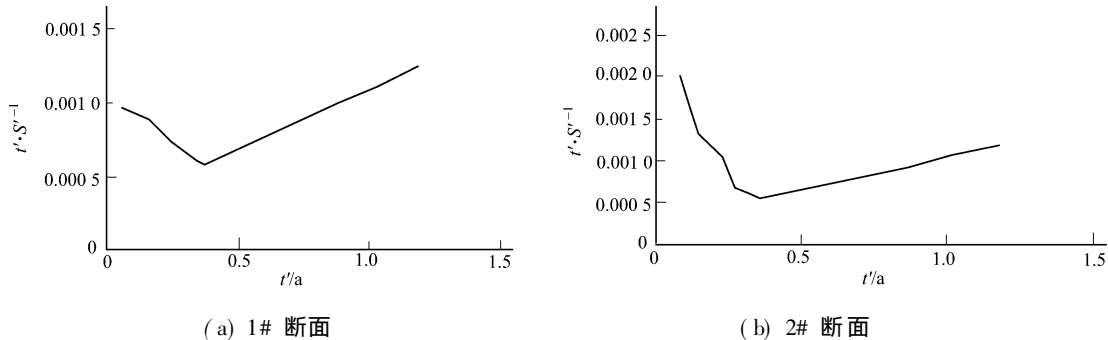


图 1 $t'/S'-t'$ 关系图

量, 取累计沉降为总沉降的 99% 处深度作为实测压缩层厚度. 分析结果如表 2 所示. 据拟合结果绘制的

表 2 按不同方法计算的沉降和压缩层厚度与实测值的比较

断面号	h/m	S_t/mm			d/m		
		应变控制法	应力控制法	实测值	应变控制法	应力控制法	实测值
1	3.1	—	—	—	16	24.55	—
2	3.0	—	—	—	15	22.30	—
1	6.2	1 314	1 632	1 387	16	33.30	17.48
2	6.0	1 175	1 442	1 192	15	32.69	17.47

最终沉降量沿土层深度分布曲线详, 如图 2 所示. 表 2 分别为根据应变控制法和应力控制法^[3] 计算的两个断面路基中点处, 在不同填高时的最终沉降量(S_f)和相应的压缩层厚度计算值. 计算时不考虑经验修正系数 m , 表中 h 为填土高度. 为便于比较, 表中还列出了相应实测值.

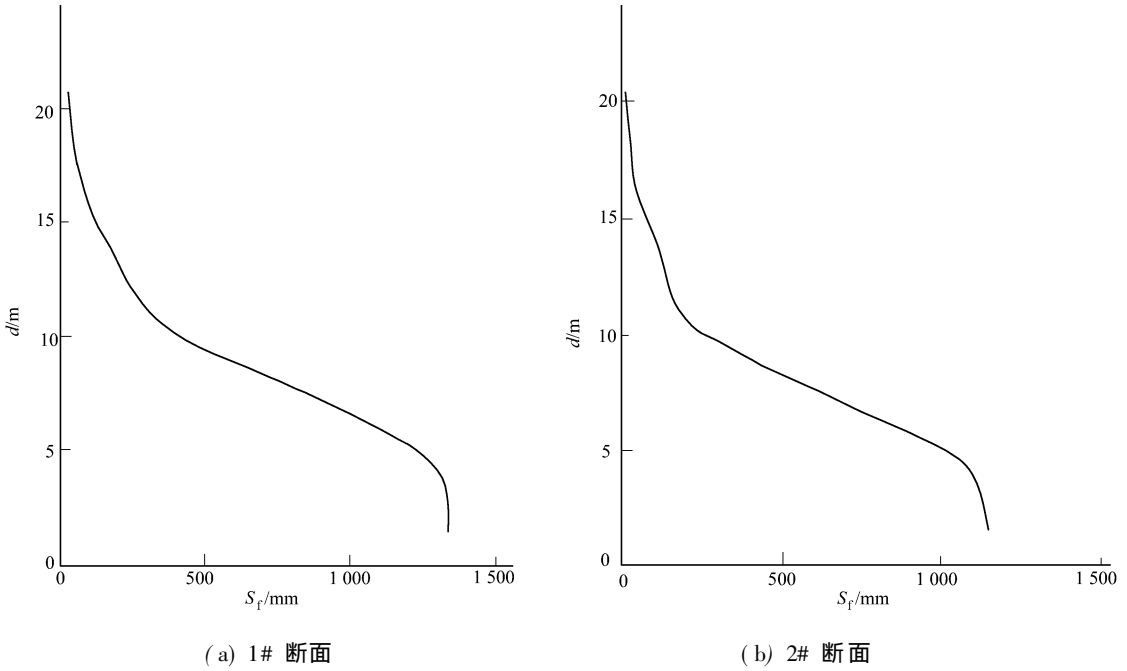


图 2 最终沉降量沿土层深度变化图

从表 2 可知, 依照应力控制法计算的沉降值超出实测值许多, 与实测值的比值约是 1.3 : 1. 根据应力控制法算出的压缩层厚度更是大大超出实测值, 与实测值的比值达到了 1.9 : 1; 而应变控制法算出的结果与实测值十分接近. 另外, 用应力控制法确定的压缩层厚度, 随着路堤填土高度的增大而显著增大, 而用应变控制法计算出的压缩层厚度与路堤填土高度基本无关. 这是因为后一种方法确定的压缩层厚度, 主要取决于地基土的物理力学特性^[4]. 这点可由下面的推导证明, 即

$$S = mS_c = m \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} \Delta h_i = mS_c = m \sum_{i=1}^n \frac{p_0 \alpha_i}{E_{si}} \Delta h_i, \tag{3}$$

$$\Delta s'_n = m \frac{p_0 \alpha}{E_{si}} \Delta h_n \leqslant 0.025 \sum_i^n \Delta s'_i. \tag{4}$$

在上两式中, α_i 和 E_{si} 是第 i 土层中点的附加应力系数和侧限压缩模量, 只和基础形式、计算点深度及土层性质有关, 而和基底附加应力 p_0 无关. 将式(3)代入式(4), 可得

$$\frac{p_0 \alpha_i}{E_{si}} \Delta h_n \leqslant 0.025 \sum_{i=1}^n \frac{(p_0 \alpha_i)}{E_{si}} \Delta h_i.$$

消去公式两边的 p_0 , 可得到

$$\frac{\alpha_i}{E_{si}} \Delta h_n \leqslant 0.025 \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{E_{si}} \Delta h_i.$$

由此可见, 应变控制法确定地基沉降的压缩层厚度, 只和基础形式及土层的物理力学特性有关, 而与基底附加应力无关. 这样就减小了由于应力扩散产生的误差给沉降计算带来的影响. 由图 2 可知, 地基的压缩量主要集中在 6# 磁环以上的约 16 m 范围内, 而 6# 磁环(约 16 m 深) 以下的沉降极小, 几乎可以忽略不计. 而按应力控制法计算得出的压缩层厚度却达到了约 33 m, 几乎是实测值的一倍. 由此可见, 应力控制法的附加应力与自重应力的比值不能局限在 0.15, 而应该根据各地不同的地质条件选取不同的比值. 在本文的算例中, 实测压缩层深度处附加应力与自重应力的比值约为 0.5~ 0.6, 比《公路规范》要大. 分层总和法在计算附加应力时, 是将地基看作均匀的各向同性的半无限线弹性体, 然后根据基底中点下地基中的附加应力计算的^[5]. 根据布辛奈斯克解, 在荷载作用区域划分计算单元, 在中心

点处迭加求得,以中心点的附加应力为计算依据.在实际工程中,相邻土层性质往往不一致,甚至差异很大,应力扩散使得实际应力值与理论解相差颇大.在本文的工程实例中,土层固结集中发生在上部土层和 ,在下部土层 中很小甚至没有.这说明,由于土层 的模量和刚度比土层 大许多,地基土层上硬下软,附加应力扩散得很快.土层 中的附加应力已不足以使土体发生大的压缩变形.在理论计算中,土层 还有相当大的附加应力足以使土层发生变形.由于应力控制法是根据附加应力等于土层自重应力的某一比值作为沉降计算的终止条件,因此计算出的压缩层厚度会大于实际厚度.厚度增大,理论上累加的变形值也增大.这些不存在的变形累加后,使得用应力控制法计算出的沉降和压缩层厚度比实际情况要大了许多.由此可见,虽然应力控制法计算较为简单直观,但是在复杂的地质条件下误差较大^[6].应变控制法确定地基沉降的压缩层厚度只和土层的物理力学特性有关,而与基底附加应力无关.这样就减小了应力扩散的误差给沉降计算带来的影响.虽然应变控制法在计算上要比应力控制法复杂些,但更为精确,并且不易受复杂地质条件的影响.

3 结 束 语

目前在工程实践中对地基沉降计算多采用应力控制法,因为它计算方便直观,易于操作.可是应力控制法对地基土层复杂性的适应性不足,当遇到含有压缩模量相差很大的成层土层时,会导致计算沉降量远远大于实际沉降的情况发生.应变控制法则要相对稳定,确定的压缩层厚度只和基础形式及土层的物理力学特性有关,而与基底附加应力无关.这样就减小了应力扩散的误差给沉降计算带来的影响.虽然应变控制法计算上比应力控制法复杂些,但是要较为精确,并且不易受复杂地质条件的影响,对各种土体的适应性也比应力控制法好.因此本文建议,应尽量采用应变控制法来确定压缩层的厚度.如果采用应力控制法,则应该根据各地区土层的特性,确定该地区的附加应力和自重应力的比值,而不宜一概套用《公路规范》中不大于 0.15 的规定.

参 考 文 献

1 交通部第一公路勘测设计院. JTJ 017- 96 公路软土地基路堤设计与施工规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1997. 21~ 30
2 中国建筑科学研究院. GB 50007- 2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 25~ 29
3 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 54~ 67
4 胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997. 132~ 172
5 刘全林, 魏焕卫. 地基沉降计算中压缩层厚度确定方法的比较[J]. 岩土工程技术, 2001, (4): 210~ 211
6 翁 升, 马时冬. 福建高速公路软土特征及处理方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2002, 23(1): 60~ 61

The Method for Determing Thickness of Compressed Layer in
Calculating Settlement of Soft Soil Roadbed

Yu Hanyu Zhang Rongtang

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract Generally, the thickness of compressed layer in soft soil roadbed of expressway in the water net region of coastal plain differs greatly from the depth determined by the method of control stress, while it matches relatively with the thickness determined by the method of control strain. The control stress ratio stipulated in the code disagrees with some actual circumstances, isnt quite applicable to the soft soil roadbed with large width. As a result, the settlement calculated by the method of control stress is significantly greater than the actual one. Integrating with the practical engineering, the authors investigate the mechanism of this problem, and also offer the corresponding suggestions.

Keywords thickness of compressed layer, foundation settlement, soft soil, method of control stress, method of control strain