

桥梁桩基础沉降计算方法探讨

罗书学

(西藏大学工学院 西藏拉萨 850000)

摘要 全面分析了桥梁桩基础各种沉降计算方法的原理和特点,根据秦沈线桥梁设计要求和工程地质情况,提出了桥梁桩基础沉降计算方法,给出了工程计算实例,其研究成果可为工程设计和施工提供有益的参考。

关键词 桥梁 桩基础 沉降

中图分类号 U442 **文献标识码** A **文章编号** 1005-5738(2003)-04-0063-08

引言

过去,由于考虑到桥梁桩基础的稳定性好,沉降小而均匀,很少开展沉降分析和计算。随着秦沈线列车速度的提高,为满足平稳性和舒适性要求,《暂规》对桥梁桩基础沉降提出了更加严格的控制标准。因此,开展对桥梁基础沉降计算方法研究很有必要。

由摩擦桩与承台组成的群桩基础(如图1略),在竖向荷载作用下,其沉降性状是桩、承台和地基土之间相互影响的综合结果,是一个非常复杂的问题,它涉及到众多因素。如:群桩的几何尺寸(桩间距、桩长、桩数、桩基础宽度与桩长的比值),成桩工艺,桩基础施工、土的分类与性质,荷载的大小及作用时间等。因此,群桩的沉降计算与单桩不同,要比单桩沉降计算复杂得多。

在低承台群桩条件下,群桩中各桩顶荷载通过侧摩阻力与端阻力传递给地基土和相邻桩,由此产生应力重叠且改变了桩和土的受力状态,这状态又反过来影响群桩侧摩阻力和端阻力的大小与发展过程。由于承台与地基土的接触及接触应力的存在,影响着桩、承台和地基土之间的相互作用,承台不仅限制了桩上部与土的相对位移,从而使桩上部的侧摩阻力减小,而且还改变了荷载传递过程。即随着外荷载的增大,侧摩阻力以桩中、下部开始逐步向上和向下发挥。同时,承台底面接触应力也改变了地基土和桩的受力状态,进而影响侧摩阻力和端阻力。因此,低承台群桩效应改变了单桩侧摩阻力从桩上部逐步向下发挥的荷载传递过程,也改变了侧摩阻力的大小、分布、发展过程以及端部阻力的大小、发展过程。同时,还使地基土的受力状态发生变化。

一、桥梁桩基础沉降计算

1、等代实体深基础模式

基本原理 如图1略所示,当外荷载 $P >$ 总抗剪力 T 时,沿基础周边深度方向的总抗剪力 T 抵抗不住外荷载 P 的作用,基础周边土产生很大的剪切应变,此刻群桩桩长范围外的周围土体和群桩长度范围内的桩间土的整体性受到破坏。不过群桩桩长范围外的周围土仍有残余抵抗力在抵抗桩基础的下沉,这个抵抗力的合力即为总抗剪力 T 。在这种情况下,桩基础可以看作是实体深基础。这种计算模式即为实体深基础模式。

* 收稿日期:2003-09-10

作者简介:罗书学(1957--),男,汉族,重庆市人,援藏干部,教授,博士,主要从事土力学及岩土工程教学、设计和科研工作。

计算方法 竖向附加应力的计算 竖向附加应力从桩尖平面算起,附加应力的计算采用布西奈斯克(Boussinesq)解或明特林(Mindlin)解,设计中,为简化计算采用布西奈斯克解计算。桩尖平面处土的竖向附加应力 σ_0 用下式计算:

$$\sigma_0 = \frac{P+G-T}{A} - \sigma_{\alpha 0} \quad (1)$$

式中 G 为包括桩间土在内的群桩实体的重量; P 为作用在承台底面中心的竖向荷载; T 为土的总抗剪力; A 为承台底面积; $\sigma_{\alpha 0}$ 为桩尖平面处土的自重应力。

桩基沉降计算 不考虑桩间土的压缩变形,桩基础的最终沉降量计算从桩尖平面算起,采用分层总和法计算。

压缩层厚度 Z_n 的计算 压缩层厚度考虑取桩顶至桩尖平面下竖向附加应力等于 0.1 倍土自重应力处之距。压缩模量 E_{si} 采用地基土在自重应力加附加应力时对应的模量。总抗剪力 T 与土体抗剪强度有关,根据土的抗剪强度理论有 $t = \sigma \tan \varphi + c$ 。其中 c 、 φ 分别为土的粘聚力和内摩擦角, σ 为土的法向应力。若将土近似看作横向各向同性土,则土的竖向抗剪强度与土的水平自重应力可分别写成

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{\beta} = k_0 \sigma_z, \quad \tau_z = \sigma_{\alpha} \tan \varphi + c = \sigma_{\beta} \tan \varphi + c = k_0 \sigma_z \tan \varphi + c \quad (2)$$

其中 k_0 为土的静止侧压力系数。

由于分层土中各层土自重应力是线形分布的,故总抗剪力 T 的计算式为

$$T = U \int_0^l \tau_z dz = U \sum_{i=1}^n (k_0 \bar{\sigma}_{\alpha i} \tan \varphi_i + c_i) h_i \quad (3)$$

式中 $\bar{\sigma}_{\alpha i}$ 为承台底到桩尖范围内第 i 层土的平均自重应力; U 为承台周边长度; h_i 为第 i 层土的厚度; φ_i 、 c_i 分别为第 i 层土的内摩擦角和粘聚力。

2 等代墩基法

基本原理 视全桩长或部分桩长群桩内部不出现桩土相对位移,即等代墩基范围内桩间土不发生压缩变形,如同实体墩基,其沉降计算方法与浅基础的沉降计算方法相同。有两种计算模式:

其一,不考虑桩间土的压缩变形,等代墩基底面设定于桩端,认为桩基变形完全由桩尖下地基整体压缩引起。此种方法即为文献^[3]计算方法,如图(2(a)略)所示;其二,考虑桩间土的压缩变形,将等代墩基底面设定位置提高到桩端以上某一高度 h ,将桩间土产生的压缩变形合并为整体压缩变形进行计算的一种简化计算模式,(如图(b)略)所示。

计算方法

墩基底面积计算 考虑桩基侧面摩阻力的扩散作用,按 $\theta/4$ 角度向下扩散,与扩展墩基底平面相交的面积作为扩展墩基的底面积。

对于矩形承台桩基础,扩展墩基底面积为:

$$F = A \times B = (a + 2L \tan \frac{\theta}{4})(b + 2L \tan \frac{\theta}{4}) \quad (4)$$

式中: A 、 B 分别为假想扩展墩基底面的长度和宽度(m); a 、 b 分别为群桩桩顶外围矩形面积长度和宽度(m); L 为承台底面至扩展墩基底面的距离(m); θ 为群桩侧面土层内摩擦角的加权平均值。

竖向附加应力计算 竖向附加应力从假想扩展墩基底平面算起,采用布西奈斯克解计算。假想扩展墩基底面处的竖向附加应力为:

$$\sigma_0 = \frac{p+G}{F} - \sigma_{\alpha} \quad (5)$$

式中 p 为作用在承台底面中心的竖向荷载; G 为扩展墩基自重,包括承台底面至扩展墩基底面间的土重和桩重; F 为扩展墩基底面积; σ_{α} 为假想扩展墩基底面处的土的自重应力。

桩基沉降量计算 桩基础的最终沉降量计算从假想扩展墩基底面处算起,采用分层总和法计算、可采用压缩模量计算,也可采用土工试验得出的压缩曲线计算。

采用压缩模量计算沉降公式为:

$$s = m_s \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} h_i \quad (6)$$

式中: n 为基础宽度内,假想扩展墩基底面至计算土层的土的分层数; E_{si} 为第*i*层土的压缩模量(kPa); h_i 为第*i*层土的厚度(m); σ_{zi} 为第*i*层土中的平均竖向附加应力(kPa); m_s 为沉降修正系数,取 $m_s=1.3$ 。

采用压缩曲线计算沉降公式为:

$$s = m_s \sum_{i=1}^n \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} h_i \quad (7)$$

式中: e_{1i} 为第*i*层土在自重应力下土的孔隙比,从压缩曲线上读取; e_{2i} 为第*i*层土在自重应力加竖向附加应力下土的孔隙比,从压缩曲线上读取,其余符号意义向上。

3 等效作用法

由于传统的计算方法如等代墩基法等计算简单又具有实用性特点,应用较为广泛,但存在对桩基主要变形影响因素考虑不周,特别是竖向附加应力计算采用布西奈斯克(Boussinesq)解偏大。因此,《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)推荐采用等效作用法计算群桩沉降量。

基本原理 此法将均质土中群桩沉降的明特林(Mindlin)解与均布荷载下矩形基础沉降的布西奈斯克(Boussinesq)解之比用以修正等代墩基的基底竖向附加应力,然后按一般分层总和法计算群桩沉降。

计算方法

① 竖向附加应力计算 竖向附加应力从桩端平面算起,桩端平面以下的附加应力采用布西奈斯克(Boussinesq)解。忽略桩基自重所产生的附加应力,因此桩端底面的竖向附加应力 σ_0 为:

$$\sigma_0 = \frac{N}{F} - \sigma_{c0} \quad (9)$$

式中: N 为作用在承台底面中心的竖向荷载(kN); F 为扩展墩基底面积(m^2); σ_{c0} 为假想扩展墩基底面处的土的自重应力(kPa)。

② 沉降量计算公式 桩基础的最终沉降量计算从桩端底面算起,采用分层总和法计算。矩形承台桩基础中心沉降计算公式:

$$s = 4\psi_s \psi \sigma_0 \sum_{i=1}^n \frac{z_i c_i - z_{i-1} c_{i-1}}{E_{si}} \quad (10)$$

式中: φ_s 为桩基沉降计算经验系数,对非软土地区和软土地区桩端有良好持力层时, $\varphi_s=1.0$;对软土地区桩端无良好持力层,当桩长 $L \leq 25m$ 时, $\varphi_s=1.7$;当桩长 $L > 25m$ 时, $\varphi_s=(5.9L-20)/(7L-100)$; ψ 为桩基等效沉降系数; σ_0 为桩基底面的竖向附加应力(kPa); n 为桩基沉降计算深度 z_n 范围内所划分的土层数; z_i, z_{i-1} 分别为自基础底面至*i*层土、*i-1*层土底面的距离; c_i, c_{i-1} 分别为自基础底面至*i*层土、*i-1*层土底面深度范围内平均附加应力系数; E_{si} 为基础底面以下受压土层第*i*薄层土的压缩模量(kPa),根据压缩曲线确定,采用地基土在自重应力加附加应力时的压缩模量。

③ 压缩层厚度 z_n 的计算 压缩层厚度取桩尖平面下竖向附加应力等于0.2倍土的自重应力处。

④ 桩基等效沉降系数 ψ 桩基等效沉降系数定义为:弹性半空间中刚性承台群桩基础按明特林(Mindlin)解计算沉降量 w_m 与刚性承台下等代墩基按布西奈斯克(Boussinesq)解计算沉降量 w_b 之比,

$$\psi = w_m / w_b \quad (11)$$

ψ 与桩的距径比 S/d 、桩的长径比 L/d 、矩形承台的长宽比有关。

⑤ 当桩基形状不规则时,可采用等效矩形面积计算,等效矩形的长宽比可根据承台实际形状确定。

从上述可以看出,将附加应力折减产生的桩基等效沉降系数引入等代墩基法,不仅使得等效作用面法具有能考虑群桩几何特性诸因素(包括桩长、桩径、桩间距、桩数及承台的长宽比)对桩基础沉降的影响,而且使得该法便于将计算参数编制成表格,易于推广使用的优点。此外,该法还兼有等代墩基法考虑持力层以下土层对桩基沉降影响的特点。

4 弹性理论法

基本原理 群桩中任一根桩的桩侧剪应力和桩端压应力除引起自身沉降外,还会影响其应力传递范围内的桩也产生一定的沉降,从而导致群桩沉降增大。在工作荷载下,由于桩侧和桩端土体中的塑性变形不明显,故可近似应用线弹性理论和叠加原理进行沉降分析。将群桩中每一根桩由自身荷载引起的沉降和受其他桩荷载影响所产生的沉降叠加起来,求得群桩沉降。

计算方法 基于两根桩相互影响分析(一般用 Mindlin 解),采用叠加原理扩展至群桩的沉降计算:

由 i 桩自身单位荷载对 i 桩所引起的沉降为 δ_{ii} , j 桩上单位荷载对 i 桩所引起的沉降 δ_{ij} , 如图 5 所示。

对于桩 i 和桩 j 组成的桩群,定义相互作用系数 α_{ij}

$$\alpha_{ij} = \frac{\text{邻近桩引起的附加沉降}}{\text{桩在自身荷载下的沉降}} \quad (12)$$

这样,就有 $\delta_{ij} = \delta_{ii} \alpha_{ij}$ (13)

α_{ij} 根据桩数、桩间距、桩土模量比以及泊松比等参数从 Poulos 已经计算好的图表查得。

对于 n 根几何尺寸相同的群桩,令 $S_i = \sigma_{ii}$, 那么桩 k 的沉降 S_k 利用叠加法可表示为:

$$S_k = S_1 \sum_{i=1}^n \alpha_{ki} p_i \quad (14)$$

式中: S_1 是单位荷载下孤立单桩的沉降, p_i 是桩 i 的荷载, α_{ki} 是相应于桩 i 与桩 k 之间的相互作用系数,其中 $\alpha_{kk} = 1$ 。

因此,对于所有桩的沉降可用矩阵表示如下:

$$\{s\} = S_1 [\alpha] \{p\} \quad (15)$$

式中: $\{s\}$ 是桩沉降矢量, $\{p\}$ 是桩荷载矢量, $[\alpha]$ 是相互作用系数 n 阶方阵。

根据承台竖向荷载与各桩荷载之和相等的平衡条件,得:

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \quad (16)$$

对于刚性承台,承台下各桩的沉降量相等,则:

$$s_i = s_G \quad (i = 1 \sim n) \quad (17)$$

对于柔性承台,承台下各桩的桩顶荷载相等,则

$$p_i = \frac{P}{n} \quad (i = 1 \sim n) \quad (18)$$

联立(2.4.4)、(2.4.5)和(2.4.6)或(2.4.7),便可求的群桩沉降 S_G 。

9 剪切变形传递法

基本原理 与弹性理论法相类似,剪切变形传递法也认为在工作荷载下,桩侧和桩尖处的土体塑性变形不明显,故近似采用线弹性理论和叠加原理进行沉降分析;将群桩中每根桩由自身荷载引起的沉降和受其它桩荷载影响所产生的沉降叠加起来,求得群桩沉降。与弹性理论法所不同的是,剪切变

形传递法能考虑群桩基础桩间土分层和桩对土“加筋效应”,桩与桩相互作用系数 α 能够不借助于计算机手工计算出来,从而使计算得到简化。

计算方法 基于两根桩相互作用分析,可以得到考虑“加筋效应”时如图7所示成层土中桩与桩相互作用系数 α 。

分析如图7中两相同桩组成的桩基础,桩周土分为 n 层,每层土剪切模量和泊松比为 G_i, ν_i ,厚度为 L_i ,桩长为 l ,桩半径为 r_0 ,桩尖离刚性层距离为 h_b ,基底土弹性模量和泊松比为 E_b, ν_b ,两桩相距为 s ,桩的弹性模量和面积为 E_p, A_p ,并认为桩土界面充分接触,不发生滑移。

经分析,对于如图7所示的两根桩,其相互作用系数 α 为

$$\alpha = -\frac{l_{31}}{l_{33}} - \frac{l_{32}}{l_{33}} \cdot \frac{l_{11}}{l_{12}} \quad (28)$$

式中 $l_{11}, l_{12}, l_{31}, l_{32}, l_{33}$,为传递矩阵 $[L]$ 中的元素。传递矩阵 $[L]$ 由下式确定:

$$[L] = [L_b] \prod_{i=n}^1 [L_i] \quad (29)$$

$$[L_b] = \begin{bmatrix} 1 & -k_b^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -k_b^{-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$[L_i] = \begin{bmatrix} [T_i] & 0 \\ [F_i] & [T_i] \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$[F_i] = \frac{\zeta(s)}{2} \begin{bmatrix} -\mu_i l_i sh(\mu_i l_i) & \frac{1}{E_p A_p \mu_i} [\mu_i l_i ch(\mu_i l_i) - sh(\mu_i l_i)] \\ E_p A_p \mu_i [\mu_i l_i ch(\mu_i l_i) + sh(\mu_i l_i)] & -\mu_i l_i sh(\mu_i l_i) \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$[T_i] = \begin{bmatrix} \cosh(\mu_i l_i) & -\sinh(\mu_i l_i) / E_p A_p \mu_i \\ -E_p A_p \mu_i \sinh(\mu_i l_i) & \cosh(\mu_i l_i) \end{bmatrix} \quad (33)$$

式中:桩土特征量 $\mu_i = (2\pi G_i / E_p A_p \ln(r_m / r_0))^{0.5}$, l_i 是第 i 层土层厚度;下标 i 指相应的土层; G_i 为土层 i 剪切模量; r_0 为桩半径; E_p, A_p 是桩弹性模量和截面积; r_m 为单桩沉降影响半径
 $r_m = \chi \rho l (1 - \nu)$, χ 为系数,当桩尖以下2.5 l 范围内存在刚性层时, $\chi=2.0$,对均质半无限空间土 $\chi=2.5$;对成层土 $\rho = \sum_{i=1}^n (G_i l_i) / (G_m l)$,是各土层中最大的剪切模量;泊松比 ν 根据现场土质情况取值。

$$\zeta(s) = \frac{\ln(r_{mg} / s)}{\ln(r_{mg} / r_0)} \quad (34)$$

式中: s 为桩距; r_0 是桩半径; r_{mg} 是群桩的影响半径, $r_{mg} = r_m + r_g$, r_g 取群桩基础等价半径的三分之一。

$$\text{桩尖土的刚度} \quad k_b = \frac{4r_0 G_b}{1 - \nu_b} (1 + 1.3 \frac{r_0}{h_b})$$

式中: G_b, ν_b, h_b 分别是桩尖以下土的剪切模量、泊松比、桩尖距刚性层距离。

对于均质土中群桩基础,根据式(28),其两桩相互作用系数为

$$\alpha = \zeta(s) \frac{2\mu l + sh(2\mu l) + 2\eta[ch(2\mu l) - 1] + \eta^2[sh(2\mu l) - 2\mu l]}{2sh(2\mu l) + 4\eta ch(2\mu l) + 2\eta^2 sh(2\mu l)} \quad (36)$$

式中: $\eta = k_b / (E_p A_p \mu)$, $\mu = (2\pi G / E_p A_p \ln(r_m / r_0))^{0.5}$

对于成层土中群桩,可以利用式(28)求得任意两桩之间的相互作用系数 α ;对于均质土中群桩,可以利用式(36)计算任意两桩之间的相互作用系数 α 。

在求出了任意两桩之间的相互作用系数 α 后,对于由 n 根几何尺寸相同的桩组成的群桩,其中桩 k 的沉降 s_k 利用叠加法可表示为:

$$s_k = s_1 \sum_{i=1}^n \alpha_{ki} p_i \quad (37)$$

$$s_1 = \frac{1 + \eta th(\mu l)}{E_p A_p \mu [\eta + \rho th(\mu l)]} \quad (38)$$

式中, s_1 是单位荷载下孤立单桩的沉降; η, μ 与式(36)中意义相同; p_i 是桩 i 的荷载; α_{ki} 是相应于桩 i 与桩 k 之间的相互作用系数,由式(28)或(36)计算,其中 $\alpha_{kk} = 1$ 。

因此,各桩的沉降可用矩阵表示如下:

$$\{s\} = s_1 [\alpha] \{p\} \quad (39)$$

式中, $\{s\}$ 是桩沉降矢量; $\{p\}$ 是桩荷载矢量; $[\alpha]$ 是相互作用系数 n 阶方阵。

此外,根据竖向平衡条件,群桩基础总荷载 p 与各桩荷载之和相等,有

$$p = \sum_{i=1}^n p_i \quad (40)$$

对于柔性承台群桩,各桩承受荷载相等,故各桩荷载 $p_i = p/n$,因而由式(39)可直接求出各桩的沉降值;对于刚性承台群桩,各桩沉降相等,由式(39)(40)就组成一个以荷载 p_i 为未知数的完备方程组,解这个方程组就可以得到荷载 p_i ,相应地就求出了各桩的沉降。

值得注意的是,剪切变形传递法仅适用于桩尖以下土层不存在软弱层的情况,如果桩尖以下存在软弱层,那么,计算群桩沉降时除了用剪切变形传递法计算的沉降外,还应该用分层总和法计算软弱层的沉降,两者之和才是群桩的总沉降。

三、算例

中国建筑科学研究院等单位在山东济南洛口镇曾作过大比例尺钻孔灌注桩模型试验,如图所示是粉质粘土中 3×3 刚性承台群桩基础,每根桩桩径为 0.25m,桩长为 4.5m,桩间距为 0.75m,桩身弹性模量为 30GPa,桩身打入深厚的粘土层中,土的剪切模量为 8MPa,泊松比为 0.35,粘聚力为 4kPa,内摩擦角为 33.2° ,容重为 18kN/m^3 ,群桩承受的外荷载为 940kN,求该群桩基础的最终沉降。

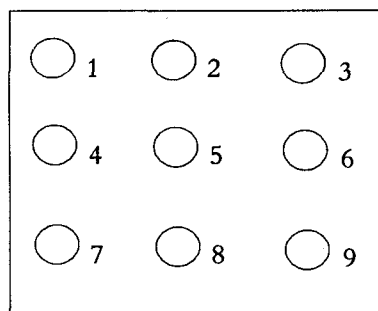
【解】

A. 剪切变形传递法

图中 9 根桩可分为 3 种类型,认为桩 1,3,7,9 属于类型 A,桩 2,4,6,8 属于类型 B,桩 5 属于类型 C,那么根据式(36),取 $r_m = 2.5l(1-\nu) = 2.5 \times 4.5 \times (1-0.35) = 7.313$,可以得到桩 1,桩 2,桩 5 与其它桩的相互作用系数, α_{1j} , α_{2j} , α_{5j} ,如下表

设 A 类桩荷载为 p_A , B 类桩荷载为 p_B , C 类桩荷载为 p_C ,那么桩 1 (或桩 A) 的桩顶沉降根据式(36),有

$$\begin{aligned} s_A &= s_1 \{ p_A (1.0 + 0.371 + 0.371 + 0.296) + \\ &\quad p_B (0.521 + 0.521 + 0.347 + 0.347) + p_C \cdot 0.446 \} \\ &= s_1 (2.038 p_A + 1.736 p_B + 0.446 p_C) \end{aligned} \quad (a)$$



	桩 1 (类型 A)	桩 2 (类型 B)	桩 5 (类型 C)
桩 j	α_{1j}	α_{2j}	α_{5j}
1	1.0	0.521	0.446
2	0.521	1.0	0.521
3	0.371	0.521	0.446
4	0.521	0.446	0.521
5	0.446	0.521	1.0
6	0.347	0.446	0.521
7	0.371	0.347	0.446
8	0.347	0.371	0.521
9	0.296	0.347	0.446

同理,有桩 B,桩 C 的桩顶沉降为

$$s_B = s_1 \{p_A(0.521 \times 2 + 0.347 \times 2) + p_B(1.0 + 0.446 \times 2 + 0.371) + p_c \cdot 0.521\} \quad (b)$$

$$= s_1(1.736p_A + 2.263p_B + 0.521p_c)$$

$$s_C = s_1 \{p_A(0.446 \times 4) + p_B(0.521 \times 4) + p_c \cdot 1.0\} \quad (c)$$

$$= s_1(1.784p_A + 2.084p_B + p_c)$$

根据式(35),可以得到单位荷载下单桩沉降

$s_1 = 1.833 \times 10^{-8}$ m,刚性承台各桩沉降相同,各桩荷载之和等于总荷载,故有 $s_A = s_B = s_C = s$

$$p_A + p_B + p_c = p = 9.4 \times 10^5 \text{ Pa} \quad (d)$$

联立式(a)至(d),可以解得群桩沉降 $s = 8.3 \times 10^{-3} \text{ m} = 8.3 \text{ mm}$

沉降试验实测值是 6.0mm,考虑到试验时间较短,试验完成时沉降尚未全部完成,因此,沉降实测值与计算值是比较吻合的。另外,剪切变形给传递法还可以求得群桩

基础内各桩的荷载分布情况,各桩荷载为: $p_A = 1.478 \times 10^5 \text{ N}$, $p_B = 8.274 \times 10^4 \text{ N}$, $p_c = 1.599 \times 10^4 \text{ N}$

B.弹性理论法

弹性理论法的计算过程与剪切变形传递法差不多,只不过弹性理论法计算桩与桩相互作用系数 α 时须将桩土接触面进行离散,借助于计算机才能求出相互作用系数 α ;或者借助于有关文献提供的计算图表得到相互作用系数,但这些图表都是按特定计算参数值计算得到的,通常不容易直接通过图表查到实际计算所需的数值,因此弹性理论法不如剪切变形传递法简便。

C.等代墩基法

根据已知条件,扩展墩基底面积为

$$F = (a + 2ltg \frac{\varphi}{4})(b + 2ltg \frac{\varphi}{4})$$

$$= (7 \times 0.25 + 2 \times 4.5 \times tg \frac{33.2}{4}) \times (7 \times 0.25 + 2 \times 4.5 \times tg \frac{33.2}{4})$$

$$= 9.382$$

桩及桩间土自重 G 近似按下式估算,桩与土综合容重近似取 19 kN/m^3 ,

$$G = \gamma Fl = 1.9 \times 10^4 \times 9.382 \times 4.5 = 8.022 \times 10^5 \text{ N}$$

根据式(2),扩展等代墩基底面处的竖向附加应力为

$$\sigma_0 = \frac{p + G}{F} - \sigma_{\infty 0}$$

$$= \frac{9.4 \times 10^5 + 8.022 \times 10^5}{9.382} - 1.8 \times 10^4 \times 4.5$$

$$= 1.047 \times 10^5 \text{ Pa}$$

根据等代墩基法沉降计算公式,有 $s = m_s \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} h_i$

其中,沉降经验系数 $m_s = 1.1$,经计算土压缩模量 $E_s = 34.7 \text{ MPa}$,压缩层深度按附加应力等于自重应力的 1/10 计算,最后得到按等代墩基法计算的群桩沉降为 $s = 10.4 \text{ mm}$ 。

D.等效作用法

等效作用法实际上是考虑附加应力按 Mindlin 公式计算以对附加应力按 Boussinesq 计算进行修

正,其计算式可以写为 $s = \psi_s \psi s'$ 。

式中: ψ_s 是桩基沉降计算经验系数,取 $\psi_s = 1.0$; ψ 是桩基等效沉降系数,它与桩长、桩间距等有关,查桩基工程手册,可以得到,本例应取 $\psi = 0.235$; s' 是取承台底面附加应力为等代墩基基底附加应力、不考虑桩基侧面的扩散作用得到的沉降。

s' 的计算过程如下:

$$\text{附加应力 } \sigma_0 = \frac{p}{L_c \cdot B_c} = \frac{9.4 \times 10^5}{(9 \times 0.25) \times (9 \times 0.25)} = 1.857 \times 10^5 \text{ Pa}$$

将桩及基底以下土层分层,压缩层深度按附加应力等于自重应力的 1/10 计算,用分层总和法可以计算出沉降 $s' = 12.6 \text{ mm}$

因此,等效作用法计算的沉降 $s = \psi_s \psi s' = 1.0 \times 0.235 \times 12.6 = 3.0 \text{ mm}$

F. 等代实体深基础法

等代实体深基础法是将群桩基础视为实体深基础,考虑该实体侧面与土的抗剪力 T 对沉降的影响,根据式(1),其附加应力计算公式为

$$\sigma_0 = \frac{p + G - T}{A} - \sigma_{cz0}$$

其中外荷载 $P = 9.4 \times 10^5 \text{ N}$, 根据等代墩基法计算结果,实体基础底面积 $A = L_c \times B_c = (9 \times 0.25)^2 = 5.063 \text{ m}^2$, 实体基础自重 $G = \gamma A l = 4.329 \times 10^5 \text{ N}$, 土的总抗剪力

$$\begin{aligned} T &= U \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_{csi} \tan \varphi_i + c_i) h_i \\ &= 2 \times (L_c + B_c) \times (0.5 \gamma l \tan \varphi + c) l \\ &= 2 \times (9 \times 0.25 \times 2) \times (0.5 \times 1.9 \times 10^4 \times 4.5 \tan 33.2^\circ + 4 \times 10^3) \\ &= 2.878 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

因此等代实体基底附加应力

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \frac{p + G - T}{A} - \sigma_{cz0} \\ &= \frac{(9.4 + 4.329 - 2.828) \times 10^5}{5.063} - 1.8 \times 10^4 \times 4.5 \\ &= 1.343 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

利用分层总和法,土压缩模量 $E_s = 34.7 \text{ MPa}$, 压缩层深度按附加应力等于自重应力的 1/10 计算,可以求得总沉降为 $s = 9.1 \text{ mm}$ 。

四、结语

根据对各种桥梁桩基础沉降计算公式的分析、比较,结合工点结构、荷载和地质条件,参照国内外学者的研究成果,可考虑选择:

对于桥梁钻孔灌注桩群桩基础沉降,采用剪切变形传递法和等代实体基础法较好。前者考虑了影响群桩沉降的众多因素,计算公式较简单、方便,计算结果也较准确,有较大的实用和推广价值;后者考虑了群桩侧面剪应力的影响,计算模式和公式简单。但上述公式和方法有待秦沈线桥梁桩基础沉降观测后最后确定。

从本算例可以看出,剪切变形传递法的计算结果与实测值比较接近,等代实体基础法的计算结果也可以接受,而等效作用法的计算结果与实测值相比偏小,因此偏于不安全,而弹性理论法使用不便。

因此,以本算例而言,剪切变形传递法计算简便,结果也比较可靠,是群桩沉降计算的比较理想的方法,另外,等代实体深基础法也是比较好的群桩沉降计算方法,当然,这些方法优劣还有待工程实践的进一步检验。

(下转 74 页)

界,一个优秀的多媒体软件就此产生了。

参考文献:

- 【1】谢幼如等.多媒体教学软件设计[M].电子工业出版社.1999年.
- 【2】钟玉琢.多媒体计算机技术[M].清华大学出版社.1998年.
- 【3】张玉祥.Author ware 多媒体实用开发技术[M].云南科技出版社.1999年.

On multimedia Courseware developing

Pu Ci Ren ,Ni Ma Zha Xi

(Institute of Engineering, Tibet University, Lhasa Tibet, China, 850000)

Summary: The computer-assisted instruction is the important component of the modern education skill; it is an important respect of the reform in education of the school at present too. With computer technology especially rapid development of multimedia technology, all types of school pay attention to the computer-assisted instruction more and more. A lot of school make the investment and build campus network and multimedia classroom. But the computer-assisted instruction has not formed the ideal scale at present, the school and discipline teacher have not fully given play to the role of computer-assisted instruction and Have not realized the anticipated result. What is the factor of restricting computer-assisted instruction development? We think it's mainly because of the limited CAI course wares which suit teaching.

Key words: Multimedia; Courseware; Interactive; Image flow

(上接 70 页)

The Discussion on Calculating Methods About Bridge Pile Foundation Subside

Luo Shuxue

(Institute of Engineering, Tibet University. Lhasa, Tibet, 850000)

Abstract : It analyses various kinds of bridge pile foundation subside principle and characteristic of computing methods all-sidedly, according to bridge designing requirement and project geological situation of line of Qinhuangdao-Shenyang, proposing bridge pile foundation subside way of calculating, giving engineering calculation instance, with the research results offering helpful reference for engineering design and construction.

Keyword: bridge; pile foundation; subsiding.