文章编号: 1009-6825(2008)10-0019-02

基于 m 法线性有限元分析在桩基计算中的应用

张 莉 李夕兵

摘 要: 针对目前各类有限元软件在工程设计中的应用已相当普遍,提出了通过有限元模型解决桩基的强度验算和水平位移的计算,不仅使桩的设计变得简单,而且还可在相当的精度内考虑桩基和上部结构的共同作用。

关键词: 桩基,“m”法,线性有限元法

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

随着高层建筑、重型厂房、桥梁等对地基要求较高的建筑物的快速发展,一般的浅基础往往无法满足结构物对地基强度、变形和稳定性方面的要求。桩基由于具有承载力高、沉降量小而均匀、能适应各类地层条件等优点,在工程中得到了广泛的应用[1],然而目前桩基的计算理论和方法却落后于桩基的工程实践。在桩基础的设计过程中,主要考虑以下几方面:

1)桩的承载能力; 2)桩自身的强度验算; 3)桩顶水平位移的计算与控制。对桩承载能力的计算,基础设计类规范有相应公式可编表格迭代得到,但对桩自身的强度验算(主要是得到桩身的内力图)和桩顶水平位移的计算都只提供了复杂的计算表格,运用起来很不方便,且当需要得到桩和上部结构的相互作用影响时,几乎无法计算。

近年来,有限元法[2]广泛用于包括桩基的各类建筑物的设计计算中,它是十分有力的工具,用有限元法分析群桩共同作用的主要机理,并以它作为指导实际工程以及探索和校核工程的实用简化计算方法,有着重要的实际意义。文中针对上述情况,提出了通过简单的有限元模型解决桩基计算的方法,不仅使桩的设计变得简单,而且还可在相当的精度内考虑桩基和上部结构的共同作用。

1 文中方法的理论推导

1.1 基本假定

1)将土看作弹性变形介质,其地基系数在地面(或冲刷线)处为 0,并随深度成正比例增长。

2)基础与土之间的粘着力和摩阻力均不予考虑。

3)在水平力和竖直力作用下,任何深度处土的压缩性均用地基系数表示。

1.2 推导过程

由上述假定可知土的横向土抗力:

$$\sigma_z = Cx_z \tag{1}$$

式中: C ——地基系数, kN/m^3;

x_z ——深度 z 处桩的横向位移, m。

由式(1)得桩侧土压力:

$$F = Kx_z \tag{2}$$

现若将桩基沿长度方向划分为有限个细密的单元,则:

$$F = \sigma_z A \tag{3}$$

式中: σ_z ——横向土抗力, kN/m^2;

A ——桩侧的受压面积, m^2。

$$A = b_1 h \tag{4}$$

其中, b_1 为桩的计算宽度; h 为单元的高度。文献[3][4]中分类列出了 b_1 的计算方法。由式(1)~式(4)知:

$$K = Cb_1 h \tag{5}$$

地基比例系数 C 值的取法按“m”法计算,即:

$$C = mZ \tag{6}$$

式中: m ——地基土比例系数, kN/m^4,不同土质 m 值不同;

Z ——桩的入土深度, m。

由式(5),式(6)得:

$$K = mZb_1 h \tag{7}$$

各参数如图 1 所示。

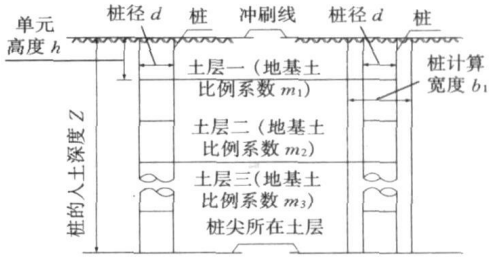

图 1 地基土参数

求得桩侧土的弹簧刚度,就可以利用现有的有限元软件来建立平面和空间计算模型,平面模型只需一个方向的弹簧刚度,而空间模型需要两个方向的弹簧刚度,这时可假定土沿各向是同性的,即认为两个方向的弹簧刚度是相同的。

2 文中方法与规范相应公式计算结果的比较

2.1 单根钻孔摩擦桩(d = 1.5 m)的计算

基本条件:已知一根钻孔摩擦桩 d = 1.5 m,采用 C25 混凝土材料,地面线以下无冲刷深度 h = 10 m,h 深度内地基土的比例系数 m = 10 000 kN/m^4,求解桩顶在水平力 1 000 kN 作用下的水平位移及转角。

2.1.1 根据规范按“m”法计算[3]

计算过程如下:

1)由 $b_1 = 0.9(d+1)$ 得: b_1 = 2.25 m。b_1 为桩的计算宽度。

2)由 $\alpha = \sqrt[5]{mb_1/(EI)}$ 得: α = 0.317 6,故换算深度 $h = \alpha h$ = 3.176。查表可知 $\delta_h = \lambda/(\alpha^3 EI)$,其中, δ_h 为桩顶单位水平力作用下的水平位移; λ 为 αh 的函数,可通过 $h = \alpha h$ 查表得到 λ = 2.647 8,故 $\delta_h = 1.188 \times 10^{-8}$ m,所以在水平力 1 000 kN 作用下桩顶水平位移 $\Delta = 1.188 \times 10^{-2}$ m。

3)由 $\delta_0 = \lambda_1/(\alpha^2 EI)$ 可通过 $h = \alpha h$ 查表得 λ_1 = 1.734 3,故

收稿日期: 2007-12-09

作者简介: 张 莉(1980-),女,中南大学资源与安全工程学院岩土工程专业硕士研究生,湖南 长沙 410083
李夕兵(1962-),男,博士生导师,教授,中南大学,湖南 长沙 410083

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\delta_0 = 2.47 \times 10^{-9}$, 所以在水平力 1 000 kN 作用下桩顶水平位移 $\theta = 2.47 \times 10^{-3}$ rad。

2.1.2 根据文中方法计算

1) 计算模型的建立: 由前面的推导可知, 有限元模型的建立关键在于弹簧刚度的计算, 而弹簧刚度的计算又与单元的划分有关, 故单元的大小直接关系到计算结果的精度。文中针对这种情况, 分别建立了按 0.5 m, 1 m, 2 m 长度划分单元的计算模型, 具体模型如图 2 所示。

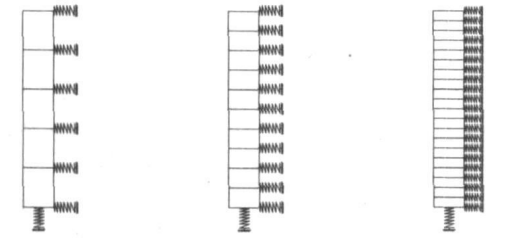

图 2 三种有限元模型

三种不同单元长度的有限元模型中侧边的弹簧刚度可由式(7)分别得到, 端部的弹簧刚度可参考文献[3]关于桩顶竖向刚度的算法, 即 $K_0 = C_0 A_0$, 其中, C_0 为桩尖土的地基系数; A_0 为桩四周自地面或冲刷线按 $\Phi/4$ 向下扩散至桩底面处的面积(Φ 为桩所穿过土层的平均内摩擦角), 当此面积大于按桩底面中心距计算的面积时, 则采用按桩底面中心距计算的面积。

2) 计算结果:

0.5 m 单元长度时, $\Delta = 1.29 \times 10^{-2}$ m, $\theta = 2.87 \times 10^{-3}$ rad;

1.0 m 单元长度时, $\Delta = 1.31 \times 10^{-2}$ m, $\theta = 2.91 \times 10^{-3}$ rad;

2.0 m 单元长度时, $\Delta = 1.39 \times 10^{-2}$ m, $\theta = 3.10 \times 10^{-3}$ rad。

由上述结果可知文中的计算方法当单元越细密时越接近规范公式的解析解, 且为方便建模和保持一定的计算精度, 认为采用 1 m 一个单元是比较合适的。

一般工程中钻孔摩擦桩的长度是远远大于 10 m 的, 若完全沿桩长建立有限元模型, 则工作量较大。为此, 参考文献[3]提出当桩柱在地面或局部冲刷线以下入土深度 $h \geqslant 4/\alpha$ 时, 认为 $h \geqslant 4/\alpha$ 以下桩身部分的内力 M, Q 均可认为等于 0。文中用线性有限元模型也验算了此结论, 将文中单桩长度加长至 30 m, 得 $\Delta = 1.28 \times 10^{-2}$ m, $\theta = 2.88 \times 10^{-3}$ rad。因此针对实际工程, 在建立桩基有限元模型时, 只需建 $h = 4/\alpha$ 长度的线性有限元模型即可。

2.2 单排(2 根)钻孔摩擦桩($d = 1.5$ m)的计算

在单排钻孔摩擦桩的计算中, 不同于单根钻孔摩擦桩的计算部分主要是桩基计算宽度的确定, 另只用平面有限元模型计算时, 需注意将 2 根桩的刚度叠加计算, 其余同单桩计算, 计算结果如下:

规范按"m"法计算: $\Delta = 5.94 \times 10^{-3}$ m, $\theta = 1.24 \times 10^{-3}$ rad;

文中方法计算: $\Delta = 6.52 \times 10^{-3}$ m, $\theta = 1.45 \times 10^{-3}$ rad;

结果表明, 文中方法对单排钻孔摩擦桩也是适用的。

2.3 双排(4 根)钻孔摩擦桩($d = 1.5$ m)的计算

在双排钻孔摩擦桩的计算中, 可以建立与受力方向在一个平面内的有限元模型(2 根桩), 各桩的刚度及计算宽度同单排钻孔摩擦桩的计算。

上述计算结果表明, 文中的方法是适用于钻孔摩擦桩的, 若是嵌岩的柱桩则只需注意在岩层部分桩侧地基系数 C 值不随深度 Z 改变, 而根据文献[3]查表得到。这样也可以利用文中的方法计算桩顶位移及桩身内力了, 结果是可以满足设计精度的。

3 存在的问题与不足

由文中的假设可知, 文中所提的线性有限元分析方法主要存在以下问题:

1) 天然地基中土层是具有明显的非线性和各向异性的, 简单地利用线性分析是不够的, 需进一步改进弹簧刚度的计算方法, 可提高精度。

2) 计算模型中未能考虑基础与土的粘着力和摩阻力, 若要考虑这两项的作用, 需在模型中加入合适刚度的竖向弹簧。

4 结语

1) 文中所提的线性有限元分析方法在桩基工程设计中是可以利用的, 运用得当, 可方便地得到桩的水平位移及内力计算结果。

2) 利用文中方法可方便地建立结构物的整体计算模型, 同时考虑结构物的上下部共同作用及相互影响。

3) 利用文中方法可以解决桩穿过不同土层时边界条件的模拟, 不仅适用于钻孔摩擦桩, 而且对端承桩同样适用。

4) 针对文中方法存在的不足, 可进一步通过试验修正得到地基土的弹簧刚度, 并引进竖向弹簧刚度, 进而建立更合适的计算模型。

参考文献:

[1]《桩基工程手册》编写委员会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

[2] 林天健, 熊厚金. 桩基础设计指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.

[3] 交通部公路涵地基与基础设计规划设计院. 公路桥规范[M]. 北京: 人民交通出版社, 1985. 66-112.

[4] 凌治平, 易经武, 洪毓康. 基础工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996. 102-127.

[5] 田小红, 何钦家, 姜 峰. 桩基础的优化设计[J]. 山西建筑, 2007, 33(16): 9-10.

The application of linear finite element analysis based on m method in the calculation of pile foundation

ZHANG Li LI Xi-bing

Abstract: Aiming at the common used of the kinds of finite element software in project design, it puts forward the solving of the strength checking calculation of pile foundation and the calculation of horizontal displacement through the finite element model. And this makes the design of pile simple, and considers the common action of pile foundation and upper structure in equivalent accuracy.

Key words: pile foundation, m method, linear finite element method

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net