

成层地基中薄壁管桩水平承载性状数值分析

张秀勇¹, 何筱进², 张建伟³, 陈育民³

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 上海市城市建设研究院, 上海 200125;
3. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要 针对成层地基中薄壁管桩受水平荷载的问题, 基于有限元理论, 编制了薄壁管桩全桩位移和内力的计算程序, 利用该程序结合工程算例对影响薄壁管桩水平承载性状的因素进行了分析, 结果表明, 桩径是影响薄壁管桩水平承载性状的主要因素, 其次是桩长和地基土性质, 而桩身刚度和桩身壁厚的影响相对较小。

关键词 薄壁管桩; 成层地基; 水平承载; 有限元; 数值分析

中图分类号 :TU473.1+2 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2008)03-0354-04

在桥梁基础、水工结构、边坡治理、港口码头及海洋平台等工程中, 桩基础主要承受水平荷载作用, 而目前用于承受水平荷载的桩基工程中, 通常使用混凝土灌注桩、预应力混凝土管桩、钢筋混凝土预制桩及钢管桩等桩型^[1-5]。相比于上述桩型, 现浇混凝土薄壁管桩^[6-8]有着造价低廉、质量优良、施工方便快捷等特点, 而目前对于混凝土薄壁管桩承受水平荷载的理论研究并不多见, 因而进行薄壁管桩的水平承载性状研究既有理论意义, 又具有工程实用价值。

当前国内外分析水平荷载的方法大致有 3 类: 一是极限平衡法; 二是弹性地基反力法, 包括张氏法、 m 法、 C 法、 K 法和双参数法等; 三是复合地基反力法, 包括考虑土体非线性效应的 p - y 曲线法等。工程实践中以 m 法应用最为广泛。随着有限元理论的逐渐成熟, 有限元法在各个领域得到了快速的发展, 本文即是在有限元计算理论的基础上结合 m 法利用 Fortran90 语言编写了薄壁管桩水平承载的计算程序, 根据编制好的程序, 对影响薄壁管桩水平承载性状的主要参数进行计算研究。

1 水平承载桩有限元计算理论

有限单元法是以内力和外力的平衡条件和位移的协调条件采用矩阵建立方程^[9], 用计算机进行求解大型代数方程组的数值计算方法。由于将桩身侧移所引起的桩侧土抗力视为位于诸单元结点的反力, 且桩土相互作用是非常复杂的, 变形大时将涉及非线性和弹塑性问题。本文考虑到薄壁管桩抗弯刚度很大, 其桩身在水平承载时, 产生的是小变形, 因而把桩土相互作用简化为 Winkler 地基模型, 即主要考虑线性弹性地基反力, 其值就等于结点处桩身侧移值与同一结点处土的地基反力系数的乘积。

1.1 桩单元分析

埋置于地基中的桩被离散为 n 个单元, 两单元段连接为一结点, 外力(含力矩)作用于结点。对一系列结点引用矩阵符号, 可得到外结点力 P 同单元内结点力 F (力或力矩)的关系为静力平衡方程:

$$P = AF \quad (1)$$

式中 A 为比例系数组成的矩阵, 称为联系矩阵。

1.2 桩土作用地基反力系数与土抗力问题

地基反力系数法是当前国内外分析水平承载桩的主要方法之一, 主要有 K 法、 C 法和 m 法等。本文程序是按照 m 法编制的, 即考虑桩周土对桩的横向反力系数是随深度按线性变化的。

本文的计算方法是基于外力与内力静力平衡建立有限元支配方程, 地基土对桩体产生的反力作用于桩

身结点处,其值等于桩身侧移值与同一结点处土的地基反力系数的乘积,因而地基反力系数的比例系数准确取值是影响计算准确程度的一个重要因素.程序可计算均质地基土或成层地基土的情况.当计算成层地基土时,可依次输入由地表向下不同地基反力系数的比例系数 m 值.

2 薄壁管桩水平承载性状研究

为了研究薄壁管桩在水平荷载作用时,各种因素对桩身侧向位移及弯矩分布的影响,利用所编程序对桩身刚度、桩径、桩身壁厚、桩长、地基土层的性质等重要设计参数对薄壁管桩承受水平荷载的性状影响进行有限元计算分析.

假定一打设入土中的薄壁管桩如图 1 所示,地面处作用有水平荷载 $Q_0=100\text{ kN}$,弯矩 $M_0=0$.地基土表层有 2 m 的硬壳黏土层, $m_1=15\text{ MN/m}^4$, 2~10 m 为淤泥质黏土, $m_2=2\text{ MN/m}^4$, 10 m 以下为硬塑质黏土, $m_3=20\text{ MN/m}^4$. m 值参照文献 [10] 选取.

2.1 桩身刚度的影响

桩身刚度的改变主要是通过改变桩身弹性模量来实现的,桩身材料弹性模量分别取 500 MPa, 1 000 MPa, 1 500 MPa, 2 000 MPa. 计算结果如图 2 所示. 结果表明,随着桩身材料弹性模量的逐渐增大,相当于桩身抗弯刚度得到提高,桩身水平位移逐步减小,桩身弯矩并没有显著增加,只是有微小增加,但最大弯矩位置随着桩土相对刚度的增加而逐步下降.

2.2 桩径的影响

桩身弹性模量取 2 000 MPa, 桩径分别取 0.8 m, 1.0 m, 1.2 m 和 1.4 m 进行分析计算. 计算结果如图 3 所示.

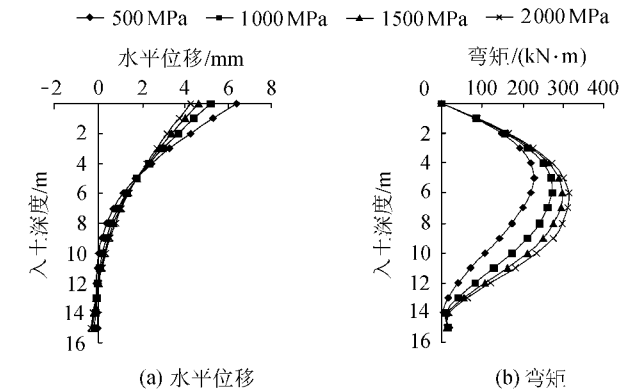


图 2 桩身材料弹性模量对桩身水平位移与弯矩分布的影响

Fig.2 The influence of elastic modulus of the pile material on the lateral displacement and moment distribution

由图 3 可知,当桩径增大 1.7 倍时桩顶水平位移减小为原来的 30%,由此可以看到桩径的大小对桩身的水平位移有显著影响,而桩身弯矩的最大位置变化不大,都在泥面以下 6~8 m 处,桩身最大弯矩值随桩径的增大而增大.可见,桩径是影响桩身位移和弯矩的主要因素之一.

2.3 桩壁厚的影响

桩身弹性模量取 2 000 MPa, 桩径取 1.0 m, 壁厚分别取 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm, 计算不同的壁厚对桩身水平位移及桩身弯矩分布的影响. 计算结果如图 4 所示. 由图 4 可知,随着薄壁管桩壁厚的增加(从 10 cm 增大到 16 cm),桩身水平位移和桩身弯矩的变化都不大. 这

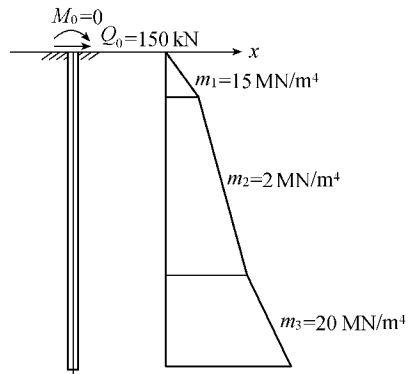


图 1 计算实例

Fig.1 The computational example

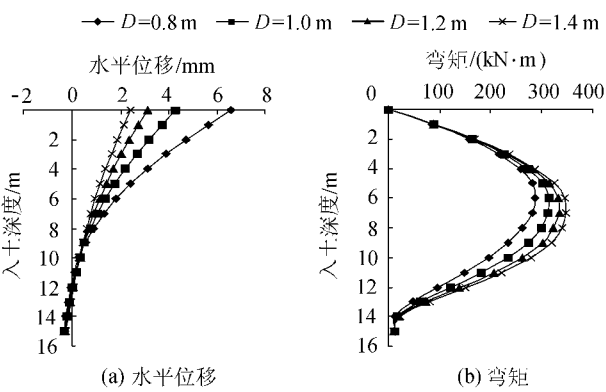


图 3 桩径对桩身水平位移与弯矩分布的影响

Fig.3 The influence of diameter of the pile on the lateral displacement and moment distribution

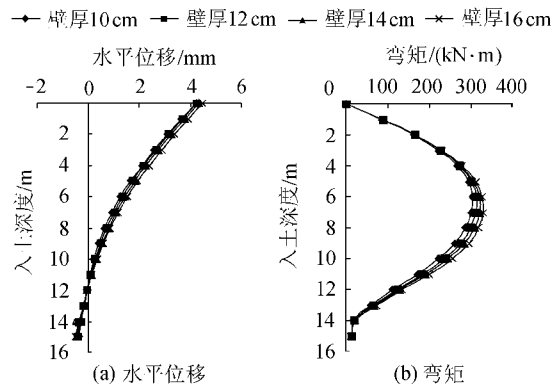


图 4 桩身壁厚对桩身水平位移与弯矩分布的影响

Fig.4 The influence of thickness of the pile wall on the lateral displacement and moment distribution

也体现出薄壁管桩的经济性,在满足工程需要的情况下,可以尽可能地减小壁厚.同样说明在工程实践中,若要减小桩顶的位移和桩身的最大弯矩,仅仅通过增加壁厚是难以达到实际效果的,一味地增大壁厚从经济上讲也是不可取的.

2.4 桩长的影响

桩身材料弹性模量取 2 000 MPa,桩径取 1.0 m,壁厚取 12 cm,桩长分别取 10 m、13 m、16 m、19 m,计算不同桩长对桩身水平位移和桩身弯矩分布的影响.计算结果如图 5 所示.由图 5 可知,桩长在 13 m 以下呈现出刚性桩的特征,桩身水平位移曲线是一直线,而桩长在 13 m 以上则呈现出弹性桩的特征,桩长的增长可有助于减小桩顶的横向位移,桩长的增大对于弯矩的影响是,随着桩长的增加,最大弯矩点位置逐步下降,且最大弯矩值增加显著,桩长从 13 m 增加到 19 m,最大弯矩值从 200 kN·m 增大到约 400 kN·m,增幅近 1 倍.

2.5 土层性质的影响

桩身材料弹性模量取 2 000 MPa,将地基土的主要土层第 2 层土的横向反力系数的比例系数 m_2 分别取 2 MN/m^4 、 7 MN/m^4 、 12 MN/m^4 和 17 MN/m^4 进行计算分析.计算结果如图 6 所示.由图 6 可知,桩周土的性质对桩身水平位移影响较大, m 越大,土越硬,能提供的土抗力就越大,因而桩身位移越小,反之, m 越小,土越软,土体强度也就越低,在相同的外荷载作用下桩的位移就较大,桩身弯矩分布也随着 m 的增大而减小,弯矩的最大值点向地表面上升.

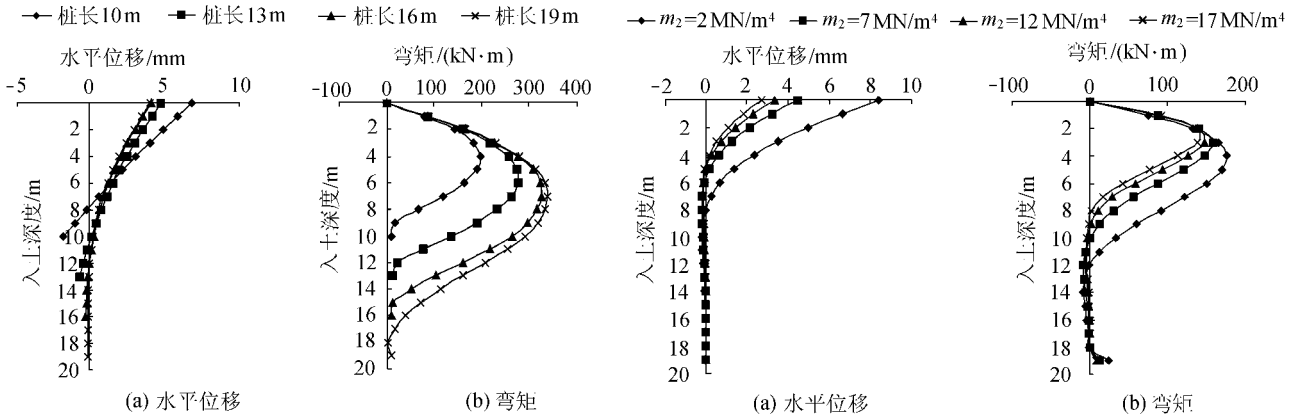


图 5 桩长对桩身水平位移与弯矩分布的影响
Fig.5 The influence of pile length on the lateral displacement and moment distribution

图 6 桩周土性质对桩身水平位移与弯矩分布的影响
Fig.6 The influence of the property of soils around the piles on the lateral displacement and moment distribution

3 结 论

- a. 在桩身材料弹性模量、桩径、桩身壁厚、桩长及桩周土性质等因素中,桩体受侧向荷载时,对桩顶位移影响最大的是桩径,其次是土层性质,再次是桩长和桩身刚度,桩体壁厚的影响最小.
- b. 在桩顶位移的设计中,如果工程对桩顶位移有严格的小位移要求,则考虑用更大直径的桩径,而桩身刚度和壁厚对桩身侧向位移影响较小,因而在工程设计时采用增大混凝土标号和较厚的壁厚等手段对减小桩身侧向位移作用不太明显,可以考虑用低标号混凝土及尽可能小的壁厚(在满足施工要求的前提下).
- c. 对薄壁管桩计算分析发现,在泥面以下 5~7 m 处出现桩身弯矩最大值,当桩长增大时最大弯矩点有所下降.对桩身弯矩分布影响最大的是桩长,其次是桩径和土层性质及桩身弹性模量.当增大桩长和桩径以减小桩顶位移时,桩身的弯矩最大值相应增大,这就要求桩体有一定的配筋率,以承担桩身内产生的弯矩.

参考文献:

[1] 王广德,李颖,张凤珍,等.沉入黏土中的大圆筒筒内外土压力分布规律及计算方法[J].水道港口,2002,23(1):16-21.
[2] 刘建起.沉入式大直径圆筒结构变形计算的试验研究[J].岩土工程学报,1994,16(2):64-72.
[3] 靖华.大型熟料储库桩基侧压力计算的研究[J].水泥工程,2000(5):42-44.
[4] 陈福全,龚晓南,竺存宏.大直径圆筒码头结构土压力性状模型试验[J].岩土工程学报,2002,24(1):72-75.
[5] 周云东,巢捷,刘汉龙,等.现浇薄壁管桩成桩振动影响研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(6):692-695.

[6] 刘汉龙,费康,马晓晖,等.振动沉模大直径现浇薄壁管桩技术及其应用(I):开发研制与设计理论[J].岩土力学,2003,24(2):164-168.

[7] 刘汉龙,郝小员,费康,等.振动沉模大直径现浇薄壁管桩技术及其应用(II):工程应用与现场试验[J].岩土力学,2003,24(3):372-375.

[8] 马志涛.水平荷载下桩基受力特性研究综述[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(5):546-551.

[9] WANG Nian-xiang. Numerical analysis of interaction between pile-supported pier and bank slope[J]. China Ocean Engineering, 2001,15(1):117-128.

[10] JGJ94—94,建筑桩基技术规范[S].

Numerical analysis of behavior of thin-wall pipe pile
under lateral load in layered soil

ZHANG Xiu-yong¹, HE Xiao-jin², ZHANG Jian-wei³, CHEN Yu-min³

(1. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China ;
2. Shanghai Urban Construction Design & Research Institute, Shanghai 200125, China ;
3. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : A program for calculating displacement and internal forces of thin-wall pipe piles under lateral loads in layered soil was provided based on finite element theory. Its application in a project shows that , of the main parameters affecting the behavior of pipe piles , the most important factor is pile diameter , followed by pile length and property of ground soils , and the influences of rigidity and wall thickness of piles are relatively low.

Key words : thin-wall pipe pile ; layered soil ; lateral load ; FEM ; numerical analysis

· 简讯 ·

第 16 届人类学和民族学世界大会“ 移民与可持续发展 ”
专题会议将于 2008 年 7 月在昆明举行

由中国移民研究中心施国庆教授和世界银行原社会政策高级顾问 Michael M. 教授共同发起的第 16 届人类学和民族学世界会议“ 移民与可持续发展 :全球视野、政策、实践和人类学知识应用 ”专题会议将于 2008 年 7 月 15 ~ 23 日在昆明举行.会议的主要议题为 (a)移民政策与实践 (b)民族学和人类学应用于移民研究 (c)生态移民 (d)移民风险及其规避.

本次会议主题“ 移民与可持续发展 ”旨在通过人类学和民族学世界大会这样一个平台,发表移民问题研究的新思想和新观点,并贡献给各国政府和国际社会,为学术发展和政策制定,为建设一个人与自然和谐发展、多样文化和睦共处的世界做出学术界的应有贡献.

本次研讨会将面向全球征集与主题相关的学术报告、论文和调研成果,将择优选并安排会议发言.会议详情请访问大会网站 <http://www.icaes2008.org>.

(本刊编辑部供稿)