静压桩桩侧摩擦力的确定方法

朱　宁,施建勇

(河海大学岩土工程研究所,江苏 南京　210098)

摘要:针对静压桩桩侧摩擦力确定方法中很难考虑压桩对土体扰动的问题,引入修正系数,对由室内试验确定摩擦力的参数进行修正;再考虑弹性条件下桩端的扩张,得到桩侧摩擦力的表达式.分析了桩侧摩擦力的组成,以及各成分对桩侧摩擦力的贡献,发现在压桩不同时期两部分所占比例不同;同时还讨论了各个参数对桩侧摩擦力的影响,研究了桩体摩擦力随深度的变化规律,在不同深度处各摩擦力的组成占总的摩擦力的比例也不相同.

关键词:静压桩;桩侧摩擦力;桩端扩张;土体扰动

中图分类号:TV473.1+1　　文献标识码:B　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0119-02

静压桩的挤土效应问题近年来受到广泛重视,静压桩的挤土作用由桩端对土体的扩张和桩侧对土体摩擦两部分组成.静压桩对土体的扩张作用主要发生在桩端,而对土体摩擦作用则产生在桩身.对于静压桩,桩侧摩擦力是滑动摩擦力,和静摩擦力相比,相对较小.因此如何确定桩侧摩擦力,对分析静压桩的挤土作用有较大作用.

袁星武[1]提出在实际压桩过程中,桩侧阻力较小,仅为终压控制压桩力的 10% ~ 12%;由于桩周土体受到了扰动,因此必须考虑土体的灵敏度.桩侧摩擦力与入土深度、桩周土体摩擦力标准值成正比关系,而与灵敏度成反比关系,灵敏度越高,桩侧摩擦力越小.韩选江[2]不考虑土体灵敏度的影响,直接采用修正系数来分析桩侧摩擦力,给出了桩侧摩擦力的修正系数的参考值,并提出应根据实际桩的静载试验来确定相关参数.储王应等[3]则认为根据压桩后土体受到扰动的程度不同,还需要根据不同位置处桩侧摩擦力发挥程度的不同来确定总的桩侧摩擦力的大小.在靠近桩端位置桩侧摩擦力不需要修正,在桩身位置桩侧摩擦力需要折减,而在桩顶附近桩侧摩擦力为 0.朱晓林等[4]提出了一种新的修正系数来表现桩周土体受到扰动后桩侧摩擦力的分布,认为桩侧摩擦力并不是随桩入土深度的增加而线性增加,有时随深度增加而少量增加,有时不变,有时反而减小.郑刚等[5]认为在分析桩侧摩擦力时,在考虑土体灵敏度的基础上,还必须引入一定的修正系数才能更好地反映压桩对桩侧摩擦力的影响.

陈文[6]在总结了现有的一些实测资料的基础上认为压桩力 P 与桩体入土深度 L 成二次关系,并认为拟合公式中的二次项只能由摩擦力提供,因此提出桩侧摩擦力沿深度线性增大;同时采用直剪试验进行验证,发现极限摩阻力与竖向压力呈良好的线性关系.张明义[7]认为压桩过程中桩周土与桩体的摩擦表现为滑动摩擦,通过直剪试验得到和文献[6]相似的结论.但在压桩过程中,由压桩产生对土体扰动使得桩周土压力衰减,因此根据室内试验确定的桩侧摩擦力值和根据现场资料确定的桩侧摩擦力值有较大差异.和从现场资料中确定桩侧摩擦力相比,采用室内直接试验的方法将会导致桩侧摩擦力的估算偏大.

现有确定桩侧摩擦力的方法有较大的差异,而且对于不同的土体这种差异更大,为了便于分析静压桩的挤土效应,本文将根据现有的研究,对现有各种方法进行分析综合,引入一定的修正系数,结合桩体贯入的过程,提出一种新的桩侧摩擦力计算公式.

1　桩侧摩擦力公式的提出

对现有文献的分析表明,根据现场资料来确定桩侧摩擦力公式,由于受现场各种复杂因素的影响,公式较为简单,能大致体现出桩侧摩擦力在压入过程所分担的压桩力的大小.由于桩体在压入过程中受到土体的挤压在深度上并不均匀,因此在桩身各个部分摩擦力的发挥程度也不一样;室内也体现了

作者简介:朱宁(1978—),男,江苏丹阳人,博士研究生,从事软土地基处理及桩基础工程研究.

这样的规律，但还没有能够反映到整个压桩过程中，因此可以将室内试验的结论和现场试验的结果结合起来，反映压桩过程中桩侧摩擦力的变化.

对于如图 1 所示的压桩挤土过程，桩体直径为 D，桩体入土深度为 h，桩体自重为 S_p，桩顶作用大小为 Q 的压桩力，计总的压桩力为 Q_t，根据静压桩的工作原理，一般采用准静态的平衡方程来描述土体的受力情况，可以得到桩体受力的平衡关系：

$$Q + S_p = Q_t = 4\pi r_u^2 p_h + F_h \tag{1}$$

式中：r_u 为桩体半径，m；p_h 为球心位置为 h 时桩端球孔扩张的扩张力，kN/m²，假定在圆球边界上均匀分布；F_h 为入土深度为 h 时桩体对土体的总摩擦力，kN.

$$F_h = \int_0^h f\mathrm{d}s = \int_0^h f\pi D\mathrm{d}z \tag{2}$$

其中：f 为单位面积上的摩擦力，kN/m²；s 为桩侧表面积.

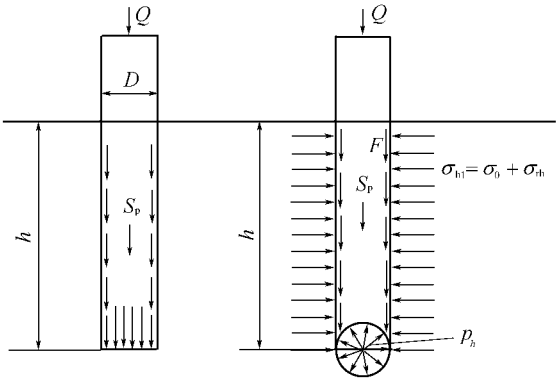

图 1　静压桩挤土过程示意图

桩侧总的摩擦力和桩体的半径及入土深度有关，而桩侧单位面积上的摩擦力则和桩、土间的摩擦角以及桩土界面的法向压力有关. 室内试验提供了确定桩土间摩擦角的计算方法，而根据现场资料可以对土体的扰动有定性的分析，因此可以将两个方面的研究结合起来. 对于桩土间的单位面积上的摩擦力可以采用桩土间的摩擦角和法向压力的乘积再乘以一定的修正系数来计算，即：

$$f = \alpha\mu\sigma_h \tag{3}$$

式中：μ 为桩土间滑动摩擦系数，可以由桩土间滑动摩擦角求得，$\mu = \tan\varphi_a'$；α 为修正系数，根据不同土体受到的扰动程度不同采用相应的值，根据文献[1～5]中对桩侧摩擦力的修正公式，α 取值范围为 0.1～0.3，一般灵敏度较高的土体受到扰动后土体强度变化较大，故取小值，而对于灵敏度较高的土体，则取大值；σ_h 为桩土间作用的法向压力，由两部分组成，土体内的初始压力 σ_0 和由桩端扩张引起的压力 σ_{rh}，其中 $\sigma_0 = k_0\gamma_s' z$（$k_0$ 为土体静止土压力系数，γ_s' 为土体的有效容重），而由桩端引起的压力 σ_{rh} 可以由式(4)得到：

$$\sigma_{rh} = \frac{r_u^3 p}{2}\left[\frac{2}{R_1^3} - 3\frac{(z-h)^2}{R_1^5} - 3\frac{(z+h)^2}{R_2^5} - \frac{4\nu_s}{R_2^3} + \frac{6r_u^2}{R_2^5} + z\left(\frac{6(z+h)}{R_2^5} - \frac{30r_u^2(z+h)}{R_2^7}\right)\right] \tag{4}$$

式中：p 为桩端扩张压力；$R_1 = \sqrt{r_u^2 + (z-h)^2}$；$R_2 = \sqrt{r_u^2 + (z+h)^2}$.

2　实例计算

利用公式(2)对桩侧摩擦力进行分析，取计算参数：土体泊松比 $\nu_s = 0.5$，土体容重 $\gamma_s = 19.6\ \mathrm{kN/m^3}$，桩土间滑动摩擦角 $\varphi_a' = 20°$，压桩力 $Q_t = 300\ \mathrm{kN}$.

先取桩体直径 $D = 0.5\ \mathrm{m}$，修正系数 $\alpha = 0.3$ 来进行分析，结果如图 2 所示. 从图 2 中可以看出，在一定的压桩力下，和桩端扩张压力相比，桩侧摩擦力相对较小，在桩身大部分区域内变化不大，但到靠近桩端位置，桩侧摩擦力增强，这和文献[3,4]中得到的规律相类似；但在桩体压入土体的过程中桩端的扩张压力随深度逐渐减小，桩侧摩擦力随深度逐渐增加. 这种摩擦力的增加主要是由于桩侧土体内的初始土压力随深度的增加而产生的，而由桩端扩张引起的摩擦力随深度变化不大. 可以看出，随着桩体的深入，摩擦力将进一步增大，桩顶压桩力传递到桩端的能量减少，到某个深度后桩体将无法下沉.

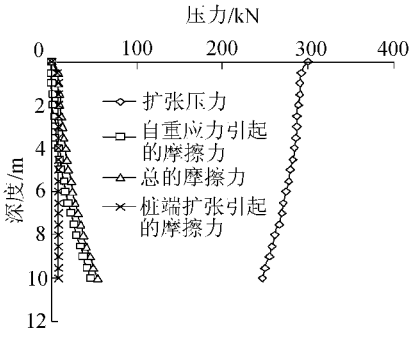

图 2　压桩时作用在土体上的压力分布

桩侧摩擦力的分布还与桩体的直径有关，取修正系数为 $\alpha = 0.3$ 来分析，从图 3 中可以看出，由扩张引起的摩擦力随深度的变化不大，在桩体压入初始，桩侧摩擦力主要由扩张引起的摩擦力来提供，随着贯入深度的增加，扩张引起的摩擦力在总的摩擦力中占的比重不大；由扩张引起的摩擦力随半径的增大而减小，这是由于在总的压桩力一定的条件下，半径的增大使得桩侧摩擦力分担了较大的压桩力，而传递到桩端的扩张力减小，从而使由扩张引起的摩擦力减小.

（下转第 149 页）

4.3 加强工程维护

北溪引水灌区养护管理要本着"经常养护,随时维修,养重于修,修重于抢"的原则,加大工程维护管理力度,以确保工程能够正常运转.日常维护主要包括渠道维护、倒虹吸管维护、涵管维护、渡槽维护等.

4.4 改革水费收缴机制

水费计收要由原来的随统筹提留代征或乡镇代收改为组织专业队伍依法直接收取.水费计收实行三统一,即统一收缴政策、统一收缴标准、统一收缴票据.以每条支渠灌溉范围为一个渠域,每个渠域成立一个农民用水户协会,负责支渠工程管理、供水服务和水费收缴,把管理和水费收缴有机结合,建立水费收缴机制.

4.5 加大科技投入,提高现代化管理水平

为了使灌区水利工程管理工作走上科学化、规范化的道路,拟在灌区内的干、支渠安装水文自动测报系统[1],随时掌握全流域及渠道放水流量,以便合理控制和调度,提高灌区的科学管理水平.

5 效益分析

5.1 社会效益

a. 提高了灌区水利用率,节约了用水量.渠系水利用系数由0.36提高到0.48;灌溉水利用系数从现状的0.32提高到0.43,年可节水0.64亿m^3.农业灌溉周期缩短了3~5 d.

b. 改善了渠道的输水条件,减轻了干渠淤积,保证了灌区上、下游均衡收益.随着用水条件的改善,将进一步提高灌溉作物单产和总产量,增加农民收入,改善农民生活,促进灌区农业种植结构的调查,发展"两高一优"农业,由单纯种植粮食作物转向种植蔬菜、瓜、果和花卉等高附加值的作物,农村经济将得到快速发展.

5.2 生态效益

工程建成后,可以防止沿渠道附近水田渍化和渠坡滑坡,改善农业生态环境和保持土壤水环境平衡.同时,通过渠道防渗加固,渠道平顺外形美观,灌区工程面貌大为改观,有利于农村环境绿化和水土保持,改善农村生活环境.

5.3 经济效益

渠道采用清淤衬砌防渗后,每年可节水0.64亿m^3,可用于改善灌溉面积0.59万hm^2和恢复灌溉面积0.15万hm^2,年增产效益为482.8万元.

参考文献:

[1] 胡钢,宋培卿,张学武,等.南通市三联灌区节水灌溉自动控控制系统研制[J].水利水电科技进展,2004,24(4):33-36.

(收稿日期:2005-01-04 编辑:骆 超)

(上接第120页)

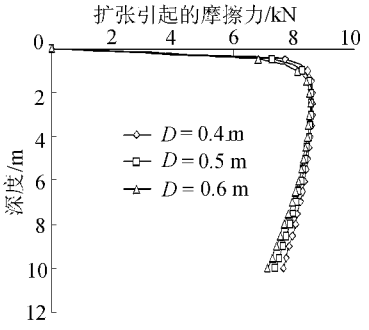

图3 由扩张引起的摩擦力随半径变化

3 结 论

a. 通过对现有压桩时桩侧摩擦力确定方法的比较,提出了结合现场和室内试验规律来确定桩侧摩擦力的表达式,引入了新的修正系数来确定桩侧摩擦力.修正系数的大小影响桩侧摩擦力的大小和分布,需要根据土体灵敏度来取值.

b. 桩侧摩擦力由土体内的初始应力产生的摩擦力和由桩端扩张产生的摩擦力两部分组成;在压桩不同时期两部分所占比例不同,总的来说,扩张引起的摩擦力在总的摩擦力中占的比重不大.

c. 通过计算分析,发现由于土体的自重应力的存在,桩体在固定的压桩力下只能压入到一定的位置,不能无限制向下贯入,如需要继续压入则需要增大压桩力.

d. 桩体直径对桩侧摩擦力有较大影响,桩体直径越大桩侧摩擦力越大,但对于由桩端扩张引起的摩擦力,规律相反.

参考文献:

[1] 袁星武.软土地区静力压桩终压控制的探讨[J].地下空间,1998,18(4):216-219.
[2] 韩选江.静压桩的压桩力和承载力的试验研究[J].建筑结构学报,1996,17(6):71-77.
[3] 储王应,王能民.静压桩沉桩阻力分析与估算[J].岩土工程技术,2000(1):25-28.
[4] 朱晓林.预估桩的沉桩阻力和沉桩可能性[M]//高大钊.软土地基理论与实践.北京:中国建筑工业出版社,1992:125-128.
[5] 郑刚,顾晓鲁.软土地基上静力压桩若干问题的分析[J].建筑结构学报,1998,19(4):54-60.
[6] 陈文.饱和黏土中静压桩沉桩机理及挤土效应研究[D].南京:河海大学,1998.
[7] 张明义,邓安福.桩-土滑动摩擦的试验研究[J].岩土力学,2002,23(2):246-249.

(收稿日期:2005-01-07 编辑:熊水斌)