

广东省土力学与基础工程 '98 学术交流大会论文集



广东省土木建筑学会
土力学与基础工程学术委员会

1998 年 12 月

前 言

广东省土力学与基础工程学术交流大会继 1992 年在鹤山市、1995 年在顺德市举办之后,今年 12 月在新会市迎来了它的又一次盛会。时隔三年依靠科技进步推动经济发展这一观念已深入人心,激励着我们每一位科技工作者。随着建设事业的蓬勃发展,高层建筑和地下空间开发利用日益普及,给我们土力学和基础工程界提出了愈来愈多的课题和愈来愈高的要求。我们立足工程实际,不断探索,开发和引进新技术、新工艺、新产品、新设备,完善设计计算理论,改进施工工艺,提高检测技术水平,在土力学及基础工程的整体技术上取得了显著的进步。为了及时总结技术成果,加强同行们的交流学习,更好地促进我省土力学和基础工程技术的发展,为我省经济建设的快速发展服务,本届学术委员会举办了这次学术交流会并编制了这本论文集。

今年 5 月份学术委员会向省内各会员单位和社会同行发出了征文通知。这次征文范围广,大家响应积极,投稿踊跃。截至 10 月份,共收到近 200 篇论文。学委会组织了专家组集测愈来愈高的要求。我们立足工程的整体见,使论文内容更趋完整。因受篇幅限林培源、冯文相等多位专家的精心审时于 11 月底出版。本论文集分别从理论研激励着我们每一位科技工作者与施工、地基处理与施工技术、应用研究与础工程技术的发展,为我省经济我省土力学和基础工程界通过大量的工程实践取得课题和愈来愈高的要求。我们立 围广,有代表性,实用性强,可供同行们参考术、新工艺、新产品、新设备,完善 相信在此世纪之交,在“科技兴国”这一战略,同行们的交流学习,更好地促 成绩。

这次论文集的顺利编撰司和新会市建设局两家协办单位权、张元坤、赵长江、唐杰康、杨光华、彭家泓、陈如桂、林培源、冯文相等多位专家的精心审稿分不开的,也有赖于广东省基础工程公司和新会市建设局两家协办单位及工作人员的认真组织、辛勤劳动和省土木建筑学会领导所给予的大力支持。在此,谨表示衷心的感谢。

广东省土木建筑学会

土力学与基础工程学术委员会

主任委员 赵资钦

一九九八年十一月十八日

目 录

一、理论研究与设计计算

- 1 桩土作用特性的理论与应用研究 陈如桂 彭家泓 (1)
- 2 软土地基非线性沉降计算的简化法 杨光华 (13)
- 3 非矩形桩基承台的设计计算 蔡长康 (18)
- 4 考虑土层透水性的静水压力计算 杨小平 卓红来 (32)
- 5 土压力理论的进一步探讨 陈斗勇 蒋晓晃 (36)
- 6 深基坑开挖的有限元分析方法 潘 健 潘 泓 李素文 刘少跃 (43)
- 7 钻孔扩底灌注桩桩基设计——以揭东县统计局宿舍楼桩基工程为例
..... 王旭惠 何建平 (46)
- 8 梅水大厦无桩靴夯扩灌注桩基础设计 曾飞马 (50)
- 9 嵌岩灌注桩设计和勘察中若干问题的探讨 林本海 麦劲儒 李业茂 (55)
- 10 桩基泵房框架计算的假想嵌固点 陈位洪 (61)
- 11 少隔墙悬臂箱基设计 刁学优 江 复 (65)
- 12 预应力管桩基础设计中所遇几个问题探讨 黄上进 郑 楷 (70)
- 13 某工程深厚淤泥上的挡土墙设计 陈位洪 (74)
- 14 挡土墙的加高设计 范乃参 谈维汉 (79)

二、基坑支护设计与施工

- 15 广东省工商银行业务大楼五层地下室支护设计与施工
..... 广东省基础工程公司 曹华先 唐杰康 李卓峰 彭小林 (87)
- 16 广东省邮电通讯枢纽综合楼深基坑支护及施工 胡向晖 叶来福 (95)
- 17 广州二沙岛十五区地下车库基坑支护设计与施工 黄文铮 张瑞锦 (102)
- 18 越秀广场暨越秀宾馆基坑支护设计 佟 旋 陈海锋 吴文杰 (112)
- 19 格构式重力挡土结构在深基坑支护中的应用 黄雪岭 叶来福 (118)
- 20 解放军 177 医院病房楼基坑支护设计——水泥搅拌桩挡墙的设计与探讨
..... 罗文静 (124)
- 21 几个基坑支护设计与施工的经验教训 张永安 (130)
- 22 帷幕灌浆技术在深圳庐山花园基坑围护工程中的应用 赵自亮 (140)
- 23 “南投大厦”深基坑支护方案比选及施工实践 关伟雄 (145)
- 24 内切圆环形支撑在深基坑施工中的应用 邓新阶 (149)
- 25 深基坑开挖中圆形支护结构的应用 潘 泓 潘 健 莫海鸿 (155)
- 26 基坑支护工程中与地下水有关的一些问题 陈淦琛 黄国怡 (159)
- 27 某大面积基坑支护结构变形问题的分析及处理措施 黄文铮 张瑞锦 (167)
- 28 云南航空大厦地下连续墙围护 林朝庆 (173)
- 29 防水喷锚网支护技术在基坑边坡支护中的应用 田 意 任 虹 (179)

- 30 喷锚网支护法在广州羊铁总公司售票大楼基坑支护中的应用 曾春燕 陈锦生 (186)
- 31 超前加固技术在深基坑喷锚网支护中的应用 梁龙辉 (191)

三、地基处理与施工技术

- 32 复杂地层非开挖管线施工方法 广东省基础工程公司 地矿部地质力学所 唐杰康 黎焕林 张山鹰 彭 华 (199)
- 33 东银广场底板承台大体积混凝土施工 谭代强 (204)
- 34 金平大厦大体积混凝土筏板基础施工 陈见信 陶芳永 (215)
- 35 广州市新中国大厦地下室“逆作法”施工技术 广东省基础工程公司 钟显奇 唐杰康 谢沃林 (221)
- 36 按灌浆中水泥重量估算溶洞体积的方法 冯文相 (229)
- 37 广州地铁长寿路车站深基坑开挖淤泥稳定性加固处理 邱小佩 曾耀昌 (233)
- 38 广深线 K5 + 150 ~ + 200 路堑滑坡整治分析 朱广兵 (237)
- 39 人工挖孔桩成型地下连续墙施工工艺 李泽谦 李永文 杨杰勇 刘丽莎 (242)
- 40 双液二次注入法快凝旋喷注浆新技术的研究和应用 陈皖蜀 (250)
- 41 云浮市某办公大楼地下室底板开裂原因分析与锚杆加固处理措施 刘世祥 (255)
- 42 格子式粉喷桩联合加筋土工布在高路堤桥头地基加固中的应用 韩建强 余建民 (259)
- 43 从土力学的角度评价堆载预压法在德胜大道软土地基处理中的效果 陈杰德 王 谨 (262)
- 44 真空预压法加固软基技术的理论和实践 董志良 (267)
- 45 压密注浆法加固明挖渠箱边坡及基底土体 邱小佩 陈高艺 (277)
- 46 挡土结构与帷幕混合墙在淤泥质土的支护处理 邱小佩 何 焘 (280)
- 47 静力压桩基础施工过程中几个问题的分析 方启超 邵孟新 赵 晖 (283)
- 48 使用水泥搅拌桩应注意的若干问题——从珠海市某商业城地基加固失效教训谈起 林奕禧 曾献基 潘 捷 (289)
- 49 关于新会锅炉厂桩基承台侧移的处理 李 力 宋章树 黄振辉 (295)
- 50 掺石英石粉生产 PHC 管桩技术 梅伟豪 (302)

四、应用研究与检测技术

- 51 广东省桩基应用调查分析研究 郭贱苟 邓 浩 刘洪波 龚 毅 (306)
- 52 神经网络在基坑开挖变形预测中的应用研究 陈 伟 陈如桂 唐孟雄 (315)
- 53 深层搅拌桩在基坑围护中的应用 陈家辉 (320)
- 54 浅谈高应变动力试桩法的合理使用 郑永民 (333)
- 55 静压桩桩长、终压力、推测极限承载力关系研究 黎志中 (340)
- 56 越秀大厦深基坑支护锚杆张拉的几个问题的探讨 林 昂 谭广寿 (347)

土质为粉砂土，10t以内，长约18m，由于结打木长，有基坑挖深大时，外侧土体沉降，会导致结打断裂，可考虑加钢管，将结打并排其上，减少结打中间下挠断裂。
 最好加钢管，或将结打并排。另打时，要注意土体中冒水喷水，即堵头的中48管打时，立即应拔除管箍。土体及土体新一点形一即形。还有土打建层时，上部土层

57	人工挖孔桩事故处理的实践	韩金田	邓浩	刘洪波	(350)	开挖下一层
58	静压沉桩方法处理预制桩基础事故	韩金田	邓浩	周新华	(354)	此时土打桩
59	某高层大厦座落在断裂带上的分析和基础处理	何港	潘宏		(360)	故有个书
60	广州荟雅苑基坑土钉支护实测分析	李英	谢剑波	吴国翔	(363)	下土层体稳
61	预应力管桩设计和施工中一个值得注意的问题	郑永民	张汉		(368)	气层。及
62	关于工程桩的动测、静载结果的相关性研究		金雨平		(374)	横土层外
63	桩基工程质量抽样检测若干概率问题的研究结论		甘幼琛		(382)	叶国荣
64	邻近排水渠箱施工对经典广场地下室结构安全影响的分析					下挖。
		唐孟雄	陈如桂		(389)	
65	阳江市桩基础工程质量控制	江峰	林方醒		(394)	
66	某仰斜式高镇土挡土墙的事故分析		邹涨荣		(397)	
67	对某工程钻孔灌注桩单桩竖向承载力的讨论	黄天举	黄健云		(400)	
68	港口码头工程中嵌岩锚杆作用机理		吕黄		(408)	
69	采用大直径灌注桩的高层建筑基础埋深探讨		杨整修		(414)	
70	碎石桩和深层搅拌桩复合地基静载试验结果分析		梁锦清		(418)	
71	大面积新填土淤泥场地忌用悬浮桩		邹涨荣		(422)	
72	基桩反射波法检测技术研究	徐天平	李素华		(427)	
73	应力波反射法中桩身浅部缺陷的分析		杜少军		(434)	
74	桩基低应变动测信号的分析方法		陈久照		(441)	
75	压水试验在桩基检测中的应用		叶照桂		(449)	

封面彩照: 广东省基础工程公司江湾酒店基坑施工现场

桩土作用特性的理论与应用研究

陈如桂 彭家泓

(广州市建筑科学研究院 广州 510030)

【摘要】 本文根据静力学理论,研究了理想弹塑性、线性硬化、线性软化和非线性软化模式下的桩土系统荷载沉降特性的解释解,提出了桩土系统分布参数的正反演方法。试验桩的综合对比结果表明,本方法有较好的应用效果。文末还讨论了若干与承载力有关的问题。

【关键词】 桩基、荷载沉降特性、承载力

一、前言

工程上,由于桩基具有承载力高、抗震性能好和沉降量小等优点,特别是它可以解决软土等特殊地基的承载力问题,许多情况下建筑物的基础形式都选用桩基础。桩基的承载力主要取决两个因素:一是桩身的强度;二是地基土对桩的支承能力。桩的承载能力发挥程度与桩顶沉降量的大小有关,桩身砼强度、桩长、桩径等因素的不同,发挥桩侧阻力和端阻力所需的桩顶沉降量也不同,研究桩的承载力,必须研究桩的荷载沉降特性,桩的荷载沉降曲线形态特征,揭示了桩的荷载传递机理。当桩顶受到外荷载作用时,桩身上部受到压缩而变形,激发桩侧土作用的摩阻力,桩身的轴向荷载和压缩变形随深度增大而变小,但桩顶外荷载增大时,桩身各点的轴力和压缩量随之增大,桩与土之间的相对位移也增大,不同程度上激发各土层的摩阻力和桩底端承力,某一量值下,桩侧阻力得到充分发挥之后,随桩底位移增大,也将端承力发挥至极限值。

物理意义上,桩的荷载传递机理是清楚的,但相应的数学问题是复杂的,原则上不能将桩的极限承载力视为极限摩阻力与极限端承力的算术迭加,而要着手研究桩土系统的弹塑性问题。早在 1966 年,考依尔和里斯 (Coyle and Reese) 就将桩体分段按完全弹性原理去分析荷载传递特性,1977 年达赛和克列斯切恩 (Desai and Christian) 首先报道了应用有限元法分析桩变形位移的工作成果;1978 年,兰道尔夫和劳兹 (Randolph and Wroth) 介绍了用 Mindlin 方程求土位移的弹性理论分析法。由于计算机技术的广泛应用,人们常用数值分析法去研究桩土的受力位移情况,但由于数值分析法的参数设置较复杂,各物理量与计算结果的关系不够直观,给系统性研究带来不便。近年来,人们又注意寻求桩土系统的弹塑性理论解释解去研究桩土荷载的传递机理^{[1][2][3][4]}。复旦大学罗惟德教授对均匀等截面桩土的理想弹性和理想弹塑性桩土作用模型作了深入研究,浙江大学陈龙珠教授等人研究了双折线硬化模型,广州市建筑科学研究院对分层非均匀土质、变截面和非均匀桩身的复杂桩土系统在理想弹塑性模型下分布参数正反演理论和应用作了系统研究,在实际工程中均取得了较好的应用效果。

本文在过去工作的基础上,统一研究了理想弹塑性、线性硬化、线性软化、非线性软

化的桩侧模式作用下的桩土系统荷载沉降特性的理论解释解, 提出了相应的正反演方法。实测分析结果表明, 该研究成果有重要研究价值和应用意义。

二、桩土系统分析理论

设桩长为 l , 截面积为 A , 桩顶荷载为 Q , 桩顶位移 S , 桩侧摩阻力 T 与位移 u 关系如图 1 所示两种情况, 桩底反力分线性弹性和线性硬化两种情况。

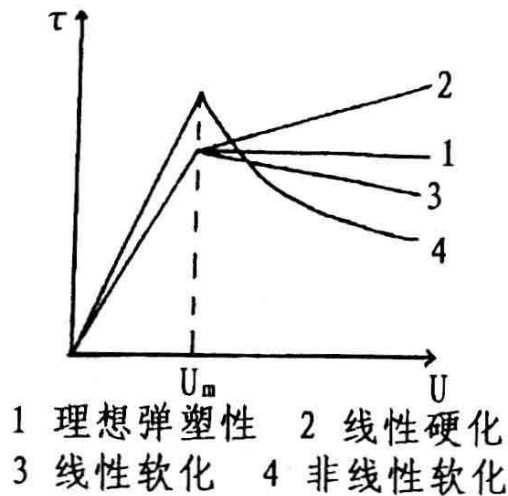


图 1 U-T 关系曲线

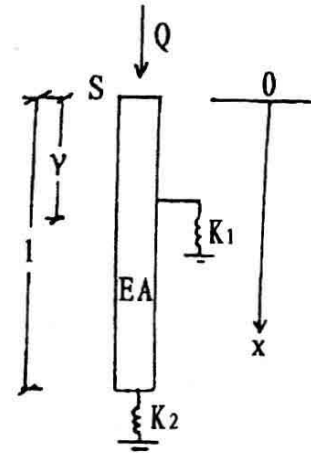


图 2 桩土系统示意图

2.1 线性弹性段的理论

设桩周土的单位面积弹性刚度系数为 k_1 , 桩周土的最大弹性变形值为 U_m , 桩底土单位面积弹性刚度系数为 k_2 , 桩身弹性模量为 E , 见图 2。由于桩土位移很小, 属于线性弹性状况, 此时桩身质点位移函数 $U(x)$ 满足如下微分方程。

$$EAU''(x) = k_1 U(x) \quad (1-1)$$

$$EAU'(x)\big|_{x=l} = -k_2 U(x)\big|_{x=l} \quad (1-2)$$

$$U(x)\big|_{x=0} = S \quad (1-3)$$

(1) 式的通解为:

$$U(x) = C_1 \cosh b_1 x + C_2 \sinh b_1 x \quad (1-4)$$

$$\text{其中 } b_1^2 = k_1 / EA \quad (1-5)$$

将(1-4)式代入(1-2)可求得

$$C_2 = -C_1 \frac{k_2 chb_1 l + EAb_1 shb_1 l}{k_2 shb_1 l + EAb_1 chb_1 l} = C_1 H \quad (1-6)$$

$$\text{其中 } H = \frac{m - Th(b_1 l)}{1 - mTh(b_1 l)}, m = -\frac{k_2}{EAb_1} \quad (1-7)$$

由(1-3)式, 注意到 $Q = -EAU'(0)$, 有

$$Q = -EAHb_1 S \quad (1-8)$$

$$\text{桩底位移: } U_b = S(chb_1 l + Hshb_1 l) \quad (1-9)$$

$$\text{桩底反力: } R_b = U_b k_2 \quad (1-10)$$

$$\text{摩阻力: } R_s = Q - R_b \quad (1-11)$$

2.2 部分非线性弹性作用下的理论解

随着荷载增加, 桩土位移相应增大, 设桩底下 $[0, r]$ 段桩土作用出现非线性效应, 但 $[r, l]$ 段仍为弹性作用段。

设上、下两段的位移函数分别为 $U_1(x)$ 和 $U_2(x)$, 在弹性段总有

$$EAU_2''(x) = k_2 U_2(x) \quad r \leq x \leq l \quad (2-1)$$

$$U_2(x) = C_1(chb_1 + Hshb_1 x) \quad r \leq x \leq l \quad (2-2)$$

$$C_1 = U_m / (chb_1 r + Hshb_1 r) \quad (2-3)$$

$[0, r]$ 段分四种情况求解:

(1) 理想弹塑性情况

当位移达到 U_m 后, 摩阻力不随位移增大而变化:

此段的微分方程为:

$$EAU_1''(x) = k_1 U_m \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-4)$$

令 $G = k_1 U_m / 2EA$, 上式通解为

$$U_1(x) = Gx^2 + D_1x + S \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-5)$$

根据连续条件

$$U_1(r) = U_2(r) = U_m \quad (2-6)$$

$$U_1'(r) = U_2'(r) \quad (2-7)$$

可求得参数方程

$$S(r) = U_m(1 - rT) + Gr^2 \quad (2-8)$$

$$Q(r) = EA(2Gr - U_mT) \quad (2-9)$$

$$\text{其中 } T = b_1(Thb_1r + H)/(1 + HThb_1r) \quad (2-10)$$

(2)线性硬化情况

当桩土相对位移达 U_m 后, 设摩阻力随位移增大仍增大, 但桩周弹性刚度由 k_1 变为 k ,

此段的微分方程:

$$EAU_1''(x) = k[F_1 + U_1(x)] \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-11)$$

$$\text{其中 } F_1 = \frac{k_1 - k}{k} U_m$$

令 $b^2 = k/EA$, 可得方程通解为

$$U_1(x) = D_1 \cos bx + D_2 \sin bx - F_1 \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-12)$$

结合 $x = r$ 处位移和内力连续的条件, 可得到参数方程:

$$S(r) = (U_m + F_1)chbr - C_1b_1(shb_1r + Hchb_1r)shbr/b - F_1 \quad (2-13)$$

$$Q(r) = EA[(U_m + F_1)bshbr - C_1b_1(shb_1r + Hchb_1r)chbr] \quad (2-14)$$

(3)线性软化情况

当桩周土相对位移达到 U_m 后, 摩阻力随位移增大而线性递减。设桩周刚度系数由 k_1

变为 k , 此段的微分方程为:

$$EAU_1''(x) = -k[U_1(x) - F] \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-15)$$

其中 $F = \frac{k_1 + k}{k} U_m$

令 $b^2 = k/EA$ ，可得方程的通解为

$$U_1(x) = D_1 \cos bx + D_2 \sin bx + F \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-16)$$

结合 $x = r$ 处位移和内力连续的条件，可得到参数方程：

$$S(r) = (U_m - F) \cos br - C_1 b_1 (shb_1 r + Hchb_1 r) \sin br / b + F \quad (2-17)$$

$$Q(r) = -EA [C_1 b_1 (shb_1 r + Hchb_1 r) \cos br + (U_m - F) b \sin br] \quad (2-18)$$

(4) 非线性软化情况

当桩土相对位移达 U_m 后，摩阻力按 k/U^2 递减。此段的微分方程为：

$$EAU_1''(x) = k/U^2(x) \quad 0 \leq x \leq r \quad (2-19)$$

其中 $k = k_1 U_m^3$

令 $T = 2k/EA$ ，结合 $x = r$ 处的位移和内力连续条件，可得隐函数方程：

$$\sqrt{SD_1(D_1 S - T)} - T \ln(\sqrt{D_1 S} + \sqrt{D_1 S - T}) = D_2 D_1^{3/2} \quad (2-20)$$

$$Q = EA \sqrt{D_1 - T/S} \quad (2-21)$$

其中： $D_0 = C_1 b_1 (shb_1 r + Hchb_1 r)$ (2-22)

$$D_1 = D_0^2 + T/U_m \quad (2-23)$$

$$D_2 = \left\{ D_0 U_m \sqrt{D_1} - T \ln \left[\sqrt{U_m} (\sqrt{D_1} + D_0) \right] \right\} D_1^{-3/2} + r \quad (2-24)$$

2.3 全段非线性作用下的理论解

当 $r=l$ 时，桩身各质点相对桩周土位移均 $\geq U_m$ ，根据 $-EAU_1'(l) = k_2 U_1(l)$ 条件可导出两种情况下的理论解。

(1) 理想弹塑性情况

$$Q = EAK_2(S + Gl^2 + 2EAGl)/(EA + k_2 l) \quad (3-1)$$

(2)线性硬化情况

$$Q = EAbH_1S - T_1F_1/(chbl + T_1shbl) \quad (3-2)$$

$$\text{其中 } T_1 = k_2/EAb \quad (3-3)$$

$$H_1 = (T_1 + Thb)/(1 + T_1Thbl) \quad (3-4)$$

(3)线性软化情况

$$Q = EAbH_1S + T_1F/(cosbl + T_1 sinbl) \quad (3-5)$$

$$\text{其中 } H_1 = (T_1 - tanb)/(1 + T_1 tanbl), T_1 = k_2/EAB \quad (3-6)$$

(4)非线性软化情况

$$U_1'(x) = -\sqrt{D_1 - T/U_1(x)} \quad (3-7)$$

结合 $-EAU_1'(l) = k_2U_1(l)$ 即有:

$$D_1 = (k_2U_1(l)/EA)^2 + T/U_1(l) \quad (3-8)$$

解方程:

$$\sqrt{SD_1(D_1S - T)} + T \ln(\sqrt{D_1S} + \sqrt{D_1S - T}) = D_2D_1^{3/2} \quad (3-9)$$

$$\text{可求得 } S, \text{ 然后求得 } Q = EA\sqrt{(D_1 - T/S)} \quad (3-10)$$

其中

$$D_2 = 1 + \left[\sqrt{D_1U_1(l)(D_1U_1(l) - T)} + T \ln(\sqrt{D_1U_1(l)} + \sqrt{D_1U_1(l) - T}) \right] D_1^{-3/2} \quad (3-11)$$

2.4 桩顶沉降为 S 时对应桩身一点 x 处的位移 U_x 和内力 N_x 的求解

设 $r=l$ 时由 (2-8)、(2-9)、(2-13)、(2-14)、(2-17)、(2-18)、(2-20)、(2-21) 等式子求得的 S 和 Q 分别记为 S_0 和 Q_0 。

(1)在 $S < S_0$ 的情况, 可根据上述有关式子求取 S 对应的 r 值 r_e , 当 $x > r_e$ 时, 有

$$U_x = U_2(x) = C_1(chb_1x + Hshb_1x) \quad (4-1)$$

$$N_x = -EAb_1C_1(shb_1x + Hchb_1x) \quad (4-2)$$

其中 $C_1 = U_m / (chb_1 r_e + Hshb_1 r_e)$

(2) $S > S_0$ 或 $S < S_0$ 而 $x < r_e$ (即研究截面位于桩周作用非线性弹性段) 时, 有如下 4 种情况的结果。

A. 理想弹塑性情况

$$N_x = Q - xk_2 U_m \quad (4-3)$$

$$U_x = S - \int_0^x N_x dx = S - (Q - xk_2 U_m / 2)x \quad (4-4)$$

B. 线性硬化情况

$$U_x = -EAb(D_1 shbx + D_2 chbx) \quad (4-5)$$

$$N_x = D_1 chbx + D_2 shbx - F_1 \quad (4-6)$$

其中 $D_1 = S + F_1, D_2 = -Q/EAb$

C. 线性软化情况

$$U_x = D_3 \cos bx + D_4 \sin bx + F \quad (4-7)$$

$$N_x = EAb(D_4 \cos bx - D_3 \sin bx) \quad (4-8)$$

其中 $D_3 = S - F, D_4 = -Q/EAb$

D. 非线性软化情况

有已知的 $x=l$ 时的最大桩底位移 U , 可求得:

$$D_5 = (k_2/EA)^2 + T/U \quad (4-9)$$

$$D_6 = 1 + \left[\sqrt{D_5 U (D_5 U - T)} + T \ln(\sqrt{D_5 U} + \sqrt{D_5 U - T}) \right] D_5^{-3/2} \quad (4-10)$$

解方程:

$$\sqrt{U_x D_5 (D_5 U_x - T)} + T \ln(\sqrt{D_5 U_x} + \sqrt{D_5 U_x - T}) = (D_6 - x) D_5^{3/2} \quad (4-11)$$

可求得截面 x 处位移 U_x , 随后便求得

$$N_x = EA \sqrt{(D_5 - T/U_x)} \quad (4-12)$$

2.5 桩顶沉降为 S 时对应的桩底端承力 R_b 、桩周摩阻力 R_s 及桩底位移 U_b 的求

解

根据 (4-1) ~ (4-8) 求得的 U_x 和 N_x 可求得:

$$U_b = U_x \Big|_{x=l} \quad (5-1)$$

$$R_b = N_x \Big|_{x=l} \quad (5-2)$$

$$R_s = Q - R_b \quad (5-3)$$

三、应用研究

应用计算机技术, 可根据上述的理论解编制相应的桩土体系分布参数正反演处理软件。一方面, 在已知土力学参数的条件下, 可以计算不同桩顶沉降下对应的荷载大小, 桩身相应的内力、摩阻力和端承力大小, 以及桩底的位移值, 并可利用正演计算方法研究有关参数对荷载沉降特性曲线的影响规律, 进行工程桩的优化设计; 另一方面, 可根据实测的若干静荷试桩数据, 通过理论计算与实测曲线拟合分析处理, 确定桩土系统的力学参数, 然后进一步分析桩的受力机理, 为桩基的技术处理提供依据。

3.1 实例

某电厂一期工程采用 $\phi 560\text{mm}$ 打入式沉管灌注桩作桩基础, 桩长 20~28 米, 桩尖持力层为硬塑亚粘土层, 属端承摩擦桩, 单桩设计承载力为 2000kN。为了解桩基的实际承载能力, 指导工程桩的设计工作, 在工程桩施工前, 特别施打几根试验桩作静荷载试验

试 1[#] 桩桩长 21 米, 桩径 560mm。地质资料表明, 桩面下 -1.9m 为填砂层, 然后有约 0.5m 厚的淤泥, -2.4~-7.0m 为粉质粘土, -7.0~8.5m 为细砂层, 往下为粉质粘土, 桩尖端承于硬塑粉质粘土上。

该桩的试验工作分两步进行: 第一步分 10 级加荷作最大试验荷载为 4000kN 的慢速维持荷载法试验, 满荷后按 5 级分级卸载至零; 第二步是读取第一步试验的残余沉降值之后, 按每级荷载 400kN 分级重新加载试验, 一直加载至 5200kN, 然后卸载, 并读取相应残余沉降值。

两次荷载试验结果如下:

(1)、最大荷载为 4000kN 时, 桩顶沉降量为 20.12mm, 残余沉降量为 10.93mm, 满荷时沉降稳定。

(2)、最大荷载为 5200kN 时, 桩顶沉降量为 35.88mm, 残余沉降量为 23.94mm, 满荷时沉降稳定。

3.2 试验结果的正反演处理分析

3.2 试验结果的正反演处理分析

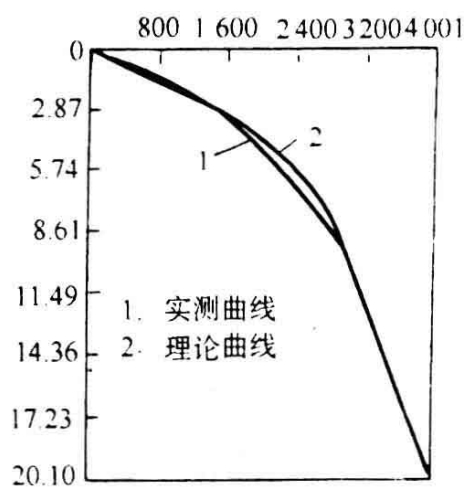


图3 4000kN 试验荷载曲线的反演拟合结果

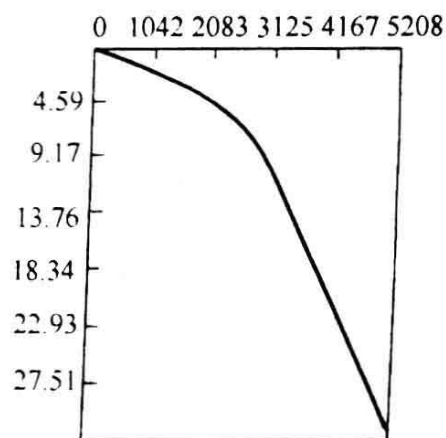


图4 经反演拟合所得有关参数的正演结果

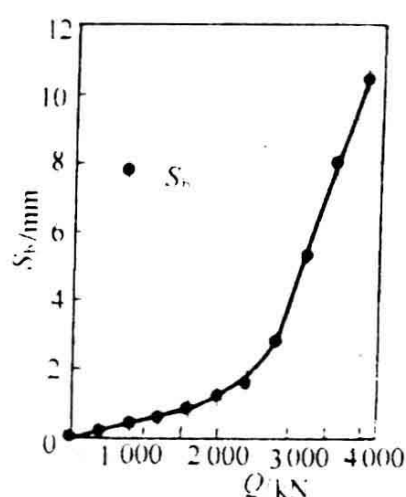
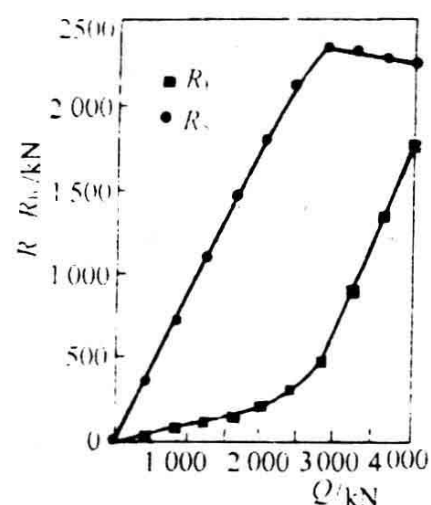
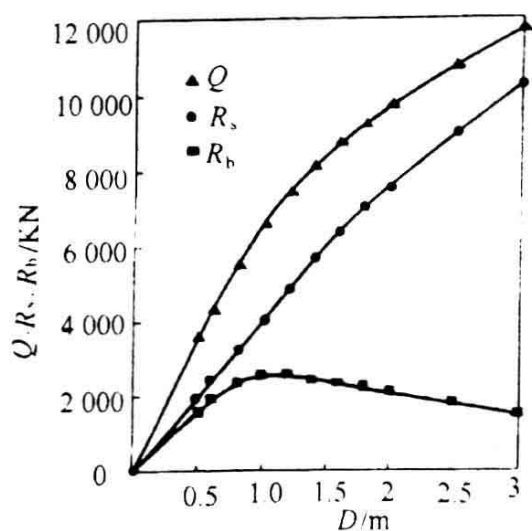
图3是应用线性软化模型对4000kN试验荷载曲线进行反演拟合处理的结果,桩周单位面积初始刚度系数为23700kPa/m,桩周极限弹性位移值为2.7mm,软化刚度系数为307kPa/m,单位面积桩端刚度系数为688900kPa/m,桩周极限弹性位移值为2.7mm,理论曲线与实测曲线拟合的加权相对误差为2.98%。

图4是根据反演拟合处理得到的有关参数进行正演计算的结果。计算结果表明当桩顶为4000kN时,桩周摩阻力2232kN,占外荷载的55.8%,桩端阻力1768kN,占44.2%。相应的桩底位移为10.42mm,这个数值与4000kN试荷的残余沉降值10.93mm十分相近。

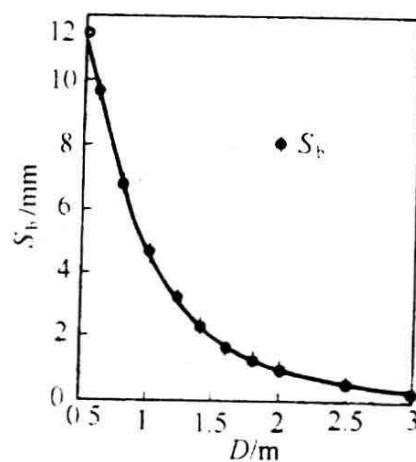
图4曲线也显示了用4000kN试荷分析结果参数去推算外荷载为5200kN时的试验结果,理论计算结果表明,当外荷载为5200kN时,桩顶沉降量为32.10mm(与实际试荷5200kN对应的桩顶沉降值35.88mm相对误差为10.5%),摩阻力为2122kN,占外荷载的40.8%,端阻力为3078kN,占59.2%,相应的桩底位移值为18.19mm(与实际荷载5200kN对应的残余沉降值23.94mm相差不很大)。

3.3 机理研究

(1)运用本文的正演理论,可研究软化模型中有关参数的变化关系,图5是试1[#]桩在最大试荷为4000kN的试验过程中桩周摩阻力和端阻力随外荷载变化的特征曲线。图上曲线表明,试验桩的摩阻力初期随外荷载增大而增大(近似线性),到达某一极值($Q=2800\text{kN}$, $R_s=2341\text{kN}$)后,又缓慢减小;而端阻力随外荷载的变化存在明显的非线性,开始时缓慢地随外荷载增大而增大,到达某一值($Q=2800\text{kN}$, $R_b=459\text{kN}$)后则随外荷载增大而迅速增大,其变化特征与图6的桩底位移随外荷载变化特征基本一致。这个结果较直观地说明了摩阻力与端承力发挥的非同步性。

图5 最大载荷为4000kN时桩周的 Q 图6 Q 与 S_b 的关系曲线与 R_s, R_b 之间关系曲线图7 不同桩径的 D 与 Q, R_s, R_b

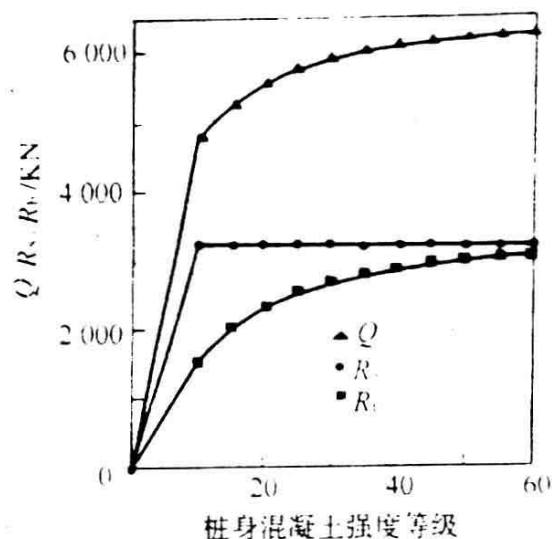
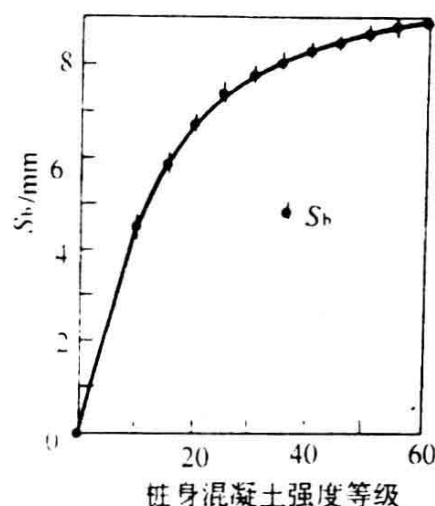
之间的关系曲线

图8 Q 与 S_b 之间的关系曲线

(2)图7是假设同一试桩场地上,桩型、桩长(21米)和桩身混凝土强度等级(C25)不变情况下,不同桩径的工程桩在桩顶沉降量均为20mm时对应的承载力、摩阻力和端承力变化曲线。图8是相应的桩底位移随桩径变化曲线。图上曲线表明,一定沉降量情况下,随着桩径的增大,桩的承载力和摩阻力也相应增大,但变化规律是非线性的,而端阻力虽然随桩径增大而有所增大,但到某一极值($\phi 1.0\text{m}$, $R_b=2531\text{kN}$)后则随桩径增大而逐渐变小,这说明某一沉降值下,随桩径的增大,摩阻力占承载力的相当大部分,而端承力占的比例越来越小,相应的桩底位移也越来越小,可见,对端承摩擦桩来说,增大桩径来提高承载力是有积极意义的。

图9、图10是假设桩长为21米,桩径为0.8m的桩,采用不同混凝土等级,在桩顶沉降均为20mm情况下,对应的承载力、摩阻力、端阻力及桩底位移的变化曲线。显见,

随着桩身混凝土强度的增大, 由于桩身刚度增大, 桩底位移逐渐增大, 相应的端阻力和总承载力也随之增大, 但增大的趋势是非线性渐变的, 而摩阻力随之稍有变小。这说明即使极大地提高桩身混凝土强度, 但承载力并没有显著提高。

图9 不同混凝土等级下的 C 与 Q, R_s, R_b 关系曲线图10 C 与 S_b 之间的关系曲线

四、结论

(1)实例对比结果表明, 应用本文的理论去进行桩土系统参数反演和荷载沉降特性曲线分析有较好的可靠性, 可在桩基承载力研究和指导设计等工作中推广应用。

(2)研究表明, 符合软化模型的桩基的摩阻力和端承力的发挥是不同步的, 对于端承摩擦桩来说, 通过提高桩身混凝土强度等级来提高某一沉降量下的承载力意义不大, 但增大桩径会明显提高桩的承载力, 而随着桩径的增大, 桩的承载力中以摩阻力为主。

参考文献

- [1] 罗惟德, 单桩承载力机理分析与荷载~沉降曲线的理论推导, 岩土工程学报, vol.12, NO.1, 1990
- [2] 朱金颖等, 桩的轴向荷载~沉降曲线特性的研究, 地基处理, 第4卷第3期, 1993
- [3] 陈如桂, 单桩承载力机理研究的数学方法, 广州建筑, 1994年第一期
- [4] 陈如桂, 复杂桩土系统荷载沉降特性正反演理论与应用研究, 广州建筑, 1997年第一期