



土力学及岩土工程新进展

浙江省第十届土力学及岩土工程学术讨论会论文集

主 编 朱向荣 谢新宇 应宏伟 王文军

中国建材工业出版社

86.11083

228

=2004

土力学及岩土工程新进展

——浙江省第十届土力学及岩土工程学术讨论会论文集

主 编 朱向荣 谢新宇 应宏伟 王文军

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学及岩土工程新进展 / 朱向荣, 谢新宇等主编.
北京: 中国建材工业出版社, 2004. 11
ISBN 7-80159-777-X

I. 土... II. ①朱...②谢... III. ①土力学-文集
②岩土工程-文集 IV. TU4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 114639 号

内容提要

本书收录了浙江省第十届土力学及岩土工程学术讨论会的论文 84 篇, 包括桩基理论和应用、基坑工程理论与实践、地基处理技术、岩土工程检测技术、地基基础设计理论及其他等五个部分。论文大体上反映了浙江省在土力学及岩土工程领域的理论研究和工程实践现状, 可供从事土木工程勘测、设计、施工、管理、科研的科技工作者和大专院校师生参考。

土力学及岩土工程新进展

——浙江省第十届土力学及岩土工程学术讨论会论文集

主 编 朱向荣 谢新宇 应宏伟 王文军

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 杭州艺力印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 24.625

字 数: 630 千字

版 次: 2004 年 11 月第一版

印 次: 2004 年 11 月第一次

书 号: ISBN 7-80159-777-X/TU·423

定 价: 60.00 元

浙江省第十届土力学及岩土工程学术讨论会

2004年12月10~12日·宁波

主办单位:浙江省土木建筑学会土力学及岩土工程学术委员会

浙江省力学学会岩土力学与工程专业委员会

承办单位:浙江大学宁波理工学院

宁波市土木建筑学会

协办单位:浙江省二建建设集团有限公司

浙江省工程勘察院

宁波市建筑设计研究院

宁波市机电工业研究设计院

宁波市工业建筑设计研究院

宁波华丰建设集团股份有限公司

宁波市民用建筑设计研究院有限公司

会议组委会:(按姓氏笔划排列)

孔清华 王文军 王建新 王娟娣 方鹏飞 朱向荣 华锦耀

刘自勉 吴才德 吴刚 应宏伟 何丽波 陈春雷 陈忠

张幸祥 杨晓波 徐谷城 谢新宇 蒋建良

浙江省土木建筑学会第六届土力学及岩土工程学术委员会名单(2004年元月)

学术顾问:曾国熙 潘秋元 周宝汀 祁思明

(以下按姓氏笔划排列)

名誉委员:丁龙章 王铁儒 史如平 庄皓 何正筹 陈书庆 陈光旦

陈慧安 郭人泉 钱振荣 章履远 曾耀华 鲜光清 戴成龄

主任委员:朱向荣

副主任委员:刘兴旺 何丽波 陈高鲁 谢新宇

委员:丁天庭 王伟堂 王建华 王娟娣 韦国歧 甘正常 孙卫军 孙林楠

刘自勉 伏建林 成正宝 汪友平 李冰河 李静文 沈永根 杨炯

杨家丽 吴为民 吴祖福 何崇文 余钢 陈玉跃 陈观胜 陈赛琴

应宏伟 张清华 郑亚新 郁忠信 胡亮平 俞少林 施祖元 顾仲文

徐日庆 徐谷城 章华 章胜南 寇秉厚 蒋建良 葛立勇 潘林有

樊良本

秘书:应宏伟(兼)

团体会员:浙江省工程勘察院

浙江省交通规划设计研究院

湖州市建筑设计研究院

杭州市城建设计研究院

宁波市工业建筑设计研究院

宁波市建工集团股份有限公司

浙江华东建设有限公司

前 言

浙江省第十届土力学及岩土工程学术讨论会于2004年12月10日在浙江省宁波市举行,会议由浙江省土木建筑学会土力学及岩土工程学术委员会会同浙江省力学学会岩土力学与工程专业委员会主办,浙江大学宁波理工学院、宁波市土木建筑学会承办。这是浙江省岩土工程界的又一次盛会,来自全省各地的同行会聚一堂,相互交流土力学及地基基础等方面的理论、实践和经验。本书即为该次大会的论文集。

浙江省土木建筑学会土力学及岩土工程学术委员会的前身土力学及基础工程学术委员会成立于1966年。近四十年来,随着我国国民经济的快速发展,建设事业日新月异、蒸蒸日上,由于土建工程的多样性和复杂性,需要解决的土力学和岩土工程等方面的问题不断涌现,学术界和工程技术界都面临着新的挑战。为提高浙江省岩土工程界学术水平,土力学及岩土工程学术委员会进行了坚持不懈的努力,定期召开年会就是其中的一项重要工作。以相互交流、增进了解、共同提高为目的的土力学及岩土工程学术讨论会,已经而且必将继续为推动建设事业的蓬勃发展起到积极的作用。

本论文集共收入论文84篇,分桩基理论和应用、基坑工程理论与实践、地基处理技术、岩土工程检测技术、地基基础设计理论及其他等五个部分。论文大体上反映了第九届学术讨论会以来,浙江省土力学及岩土工程领域的主要成果和发展水平,可供同行们参考。

本次会议应征论文的审查工作于2004年7月3日在浙江大学举行。浙江科技学院王伟堂,浙江大学朱向荣、谢新宇、应宏伟,浙江大学宁波理工学院王娟娣、王建新、王文军、方鹏飞等同志参加了论文审查工作。浙江大学岩土工程研究所王金昌、谢成等同志为论文集的征集、校对做了大量工作。本次会议得到了许多单位的大力支持,论文集的出版与各位论文作者的配合和协助也是分不开的,在此,对所有关心、支持本次会议召开,论文集出版工作的各方面人士和有关单位表示感谢。

本届学术讨论会论文集采用了征稿、专家评审、编辑、统一组织打印排版的形式,为符合出版要求,对一些稿件进行了必要的编辑加工。限于我们的经验和水平,缺点在所难免,希望作者和读者批评指正。

编者
2004年9月

目 录

第一篇 桩基理论与应用

考虑软黏土结构性损伤的静压桩沉桩规律分析·····	姜 珂 方鹏飞 王娟娣 朱向荣	(3)
抗水平力单桩 $p \sim y$ 曲线计算公式研究 ·····	陈张林 陈 洪 张忠苗	(10)
地震荷载下桩-土-结构动力相互作用简化模型的有效性 ·····	施 展 丁文湘	(16)
软土地基沉桩挤土效应防治及现场监测 ·····	代亚明 徐 云	(21)
桩侧摩阻力退化效应分析 ·····	史海莹 朱向荣 王文军	(26)
超长桩荷载-沉降曲线拟合分析 ·····	姜英波 刘发文 方鹏飞	(31)
抗水平力群桩位移场及群桩效应研究 ·····	陈张林 陈 洪 张忠苗	(36)
桩基合理选用的经济意义 ·····	邹 洪 杨明文 刘桂芝 章履远	(42)
带桩基础与土共同作用的迭代分析 ·····	陈雅凤 魏新江	(46)
沉管灌注桩在地下室工程抗浮中的应用 ·····	吴小芳	(51)
AutoCAD 二次开发技术在钻孔桩施工入岩判定中的应用 ·····	朱万桂	(56)
钢套护壁在人工挖孔桩施工中的应用 ·····	朱永成 黄节叶	(59)
软土地基中超长钻孔灌注桩工程性状试验分析 ·····	毛红梅 孙邦臣 方鹏飞	(62)
钻孔灌注桩桩端注浆工艺在钱江新城区域的应用 ·····	金志宝 舒宗义 楼康彬	(66)
桩土共同作用在桩基质量事故中的活用 ·····	董 猛 倪宏演	(70)
锚杆静压桩用于桩基补救的实例分析 ·····	余胜华 杨文霄	(73)
钻孔灌注桩事故的处理方法 ·····	周华光 龚锦平	(77)
台州凯悦大厦钻孔桩质量监督及桩受力分析 ·····	李永焕	(80)
钻孔灌注桩施工及监理控制要点 ·····	鲁细旺	(83)

第二篇 基坑工程理论与实践

悬臂和带撑双排桩式围护结构的应用及比较 ·····	李冰河 刘兴旺 施祖元 益德清	(89)
悬臂支护桩变形特性分析 ·····	王伟堂 张菁莉	(94)
基坑开挖土体变形的预测 ·····	高 浪 董通利 谢康和	(98)
地下停车库基坑支护方案的计算分析 ·····	郭喆华 徐 洋 何丽波 许国平等	(102)
广利大厦地下室基坑支护 ·····	陈 东 屠少英 刘兴旺	(107)
舟山港务大楼深基础施工 ·····	史碧耀 叶小刚 吴鸣鹏	(112)
复合支护结构在软土基坑工程中的应用 ·····	章洪光 何敏斐 方鹏飞	(116)
翻车机房深基坑土钉和桩列式复合围护结构设计及监测 ·····	章 征	(120)
土钉墙和钢板桩在基坑支护中的综合应用 ·····	郑德标 朱信月	(127)

狭窄区域超大深基坑施工技术·····	金振严琦	叶兆平	楼云仙	(131)
浅埋暗挖隧道在饱和粉细砂地层中应用分析·····	吴祖福	董天乐		(135)
土钉支护基坑隆起分析·····	蒋建忠	孙亚琦	杨晓军	(138)
碎裂结构巷道顶板锚网索梁支护实践·····	杨建辉	叶建		(143)
背拉式支撑在基坑支护中的应用实例·····	张华任	张定兆		(148)
一起基坑支护倒塌事故的分析处理·····	陈国瑞			(151)
土钉支护应用存在的问题研究·····	郭捷			(154)
新台州大厦基坑支护设计及监测工程实例·····	叶振福	朱希东		(157)
地下室基坑工程应急综合处理施工实例·····	孙国定	冯祥茂		(161)
台州永安花园基坑综合围护设计工程实例·····	王盛	龚迪快	朱希东	(164)

第三篇 地基处理技术

刚-柔性桩复合地基试验研究·····	叶军	刘海涛	陈慈评	谢新宇	(171)
水泥搅拌桩加固两级边坡的稳定性分析·····	徐洋	何丽波	许国平	郭喆华	(176)
灰土强度的时效性分析及预测·····	罗战友	王伟堂	王陈捷	夏建中	(180)
复合地基动力特性研究现状与展望·····	梅英宝	朱向荣	吴开成		(184)
软基海堤快速施工地基性状数值分析·····	曲晨	陶松奎			(189)
刚-柔性长短桩复合地基数值分析·····	刘海涛	叶军	陈慈评	谢新宇	(194)
纳米硅水泥土抗压强度和经济分析·····	王立峰	朱向荣	王文军	王陈捷	(199)
某填土地基承载力综合评价·····	张仕励	何小高	徐海		(203)
纳米硅粉在水泥土材料改性中的应用研究·····	王文军	徐雄翔	朱向荣		(207)
某商住楼地基加固方案的优化及实施·····	董通利	蒋樟泉			(212)
静态破碎法在隧道洞顶危岩处理中的应用·····	戴显荣	朱益军	杨杰琼	朱向荣	(216)
岩质边坡预制空心砖格网式护面的应用研究·····	朱益军	戴显荣	黄廷	朱向荣	(220)
某综合楼主楼桩基改浅基工程实例分析·····	杨迎晓				(225)
钻孔式钢管桩托换施工技术·····	陈福全	张建根			(230)
浅议重力式毛石挡土墙拐角处理·····	陈国卿	赵智权			(235)
树根桩加固基础施工技术·····	吴忠福	王玉			(238)
双液注浆在加固地层中的应用分析·····	王翔				(241)

第四篇 岩土工程测试技术

某电站岩壁吊车梁监测成果分析·····	王文双	汪友平	(245)
土密实度瞬态振动测试信号的时域分析·····	新建明	王奎华 谢康和	卜发东 (249)
真空联合堆载预压工程中的孔隙水压力测试成果分析·····	陈雪奖	瞿维平	朱建才 (253)
杭州湾跨海大桥南岸滩涂区试桩分析·····			叶俊能 (257)
温州机场袋装砂井超载预压试验结果分析·····			张超杰 (262)
钻孔灌注嵌岩桩受力特性的试验研究·····		陈伟华	(268)

悬挂式波速测井集成系统的工程应用·····	吴家强	(274)
瞬态瑞雷波法检测填筑材料干密度的理论与实践·····	刘超英 孙伯永	(280)
春江花月二期流云苑基坑施工安全监测·····	楼启雄 燕纪煌	(284)
杭州凤凰花园北块基坑工程的监测和分析·····	严冬 俞桂均	(287)
温州新国光商住广场地下室基坑围护监测及基础温度观测·····	许本林 施巍 杨洛	(291)
温岭市第一人民医院科技楼基坑围护监测·····	朱希东 王盛 周新民	(295)
探地雷达技术在某大坝渗漏探测中的应用实例·····	葛双成 梁国钱 孙伯永 姜建芳 吴雄伟	(299)
ZZA-30 型乌卡斯冲击钻在复杂地层的应用·····	施巍 许本林	(303)
杭州市市民中心桩抗压抗拔静载试验分析·····	陈伟 陈张林	(308)

第五篇 地基基础设计理论及其他

任意荷载下横观各向同性地基半空间问题理论解·····	朱向荣 余钢 顾彬 陈威文等	(315)
弹性地基板的拟网格梁算法·····	颜文玉	(322)
圆形洞室的地表沉降分析·····	魏新江 葛建成	(327)
建筑物不均匀沉降分析与控制·····	李科海 汤骏	(331)
地下工程防水的“协同工作”方法·····	董猛 倪宏演	(335)
阳光大厦桩基设计简介·····	李朝晖 陈宏湛	(340)
初始损伤区的确定及其在含裂缝道路结构工程的应用·····	王金昌 朱向荣 朱忠海	(345)
地下建筑中商品混凝土施工质量的控制·····	胡永富 陈先岑	(350)
混凝土工程后浇带施工的若干技术措施·····	郑晓定 孙红日	(353)
耦合场对含反射裂缝路面结构的动态效应分析·····	王金昌 朱向荣 方江蔚	(356)
微膨胀混凝土在地下室结构中的应用·····	郑恩岳	(361)
嘉鸿花园 7# 楼超限高层建筑结构设计·····	李朝晖 陈宏湛	(365)
略论土建施工质量与安全·····	周刚	(370)
乳化沥青稀浆封层在沥青路面养护中的应用·····	陈亮	(374)

第一篇 桩基理论与应用

考虑软黏土结构性损伤的静压桩沉桩规律分析

姜珂 方鹏飞 王娟娣 朱向荣

(浙江大学宁波理工学院, 宁波 315100)

摘 要 静压桩沉桩规律分析对有效发挥静压桩使用优势具有重要的理论意义和实际工程指导价值, 软黏土的工程力学特性在沉桩规律分析中是关键因素之一。通过对温州软黏土薄壁土样的室内试验, 从土体压缩曲线、固结系数、超孔隙水压力以及应力应变曲线等方面讨论了土体结构性对土体工程力学特性的影响。试验结果表明, 在软土的稳定与变形分析中需考虑软黏土结构性的影响。在考虑软黏土结构性损伤的条件下, 分析了软黏土中沉桩时桩周土体的变形规律, 并与不考虑土体结构性时的变形规律进行了比较。

一、前 言

静压桩具有桩身质量易于保证和检查, 价格相对较低, 施工工效高, 无泥浆、无噪音污染等优点, 目前已成为我国工业与民用建筑, 特别是软土地基上高层建筑中广泛采用的桩型之一。静压桩沉入时桩周土体会产生水平位移和垂直隆起, 在含水量较高的软土中沉桩还会产生较高的超静孔隙水压力, 从而对周边建筑物及环境产生不利的影响。沉桩规律分析是有效发挥静压桩优势的基础, 具有重要的理论意义和实际工程指导价值。

土体工程力学特性在沉桩分析中具有非常关键的作用, 它涉及到土体本构模型的选取。以往分析中, 一般不考虑软黏土的结构性, 而将土体视为应变硬化材料^[1,2]。实际上, 天然状态的软黏土常由于土体孔隙流体中的盐分在土颗粒间形成化学胶结而使土骨架具有一定的结构强度, 从而表现出轻度超固结土的特性^[3~9], 并且使其不需进一步压密便能支承更大的上覆荷重, 同时保持大孔隙度状态^[4]。

软黏土结构性的存在使土体在受力变形时具有一定程度的应变软化现象, 这在软土的稳定与变形分析中应予以考虑^[10]。在具有一定结构强度的软土地基上采用静压桩基础时, 桩周土体的位移规律与不考虑软土结构性时的位移规律有所不同。

二、考虑结构性的软土力学特性

为避免取样对土体的扰动和压密作用, 保持土的原状结构, 试验采用薄壁取土器对温州地区软黏土进行了取样试验, 从压缩曲线、固结系数、孔隙水压力以及应力应变关系几方面考察了温州软黏土的结构特性。

1. 软黏土的 $e - \log p$ 曲线特征

温州软黏土薄壁土样的压缩曲线如图 1 所示, 它大致分为三部分, 很平缓的初始段、超过某一压力值时出现的陡降段和向普通土样(受到一定程度扰动)压缩曲线的靠拢段。

天然软黏土压缩曲线的这种特征与土体的结构性相关。当原状土在固结压力小于土的结构强度时, 土体表现出较小的压缩性; 当固结压力达到土体结构强度并继续增大时, 压缩性急剧变大, 曲线出现了陡降段; 随着固结压力的进一步增大, 薄壁土样与普通土样的压缩曲线逐

渐趋于一致。

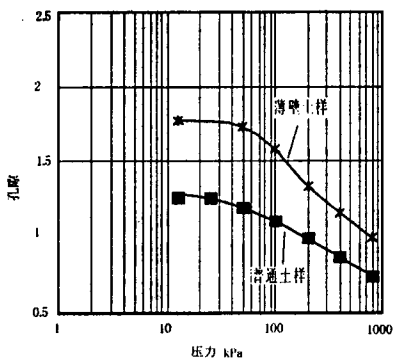


图1 温州软黏土的压缩曲线

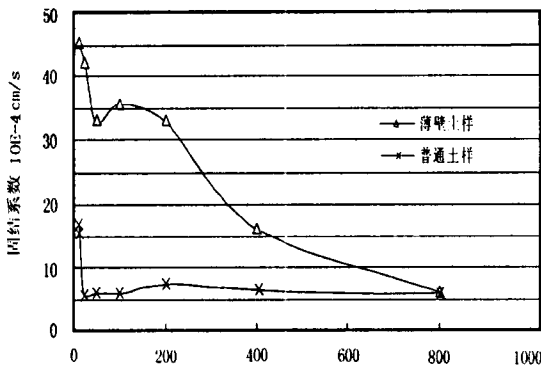


图2 温州软黏土的固结系数

2. 软黏土固结系数的变化

温州软黏土的固结试验如图2所示。可以看出,在压力较小时,薄壁土样的固结系数比普通土样的固结系数大得多,大致是普通土样固结系数的3~15倍左右。由于天然软黏土颗粒间的胶结使得软黏土具有空架结构,大的孔隙之间易形成透水通道,因此在高孔隙比的同时必然具有较强的透水性^[10]。

随着固结压力的增加,固结系数在小幅度下降后出现一个小的反弹阶段,之后在经历了较大的下降幅度后, c_v 值逐渐趋于稳定。固结曲线的这一特点也是与土体结构性相关的。

当固结压力较小时,软土的压缩固结过程以黏土片状颗粒挠曲为主,松散的骨架主要发生的是弹性压缩,并伴随着少量孔隙水的挤出^[5], c_v 值开始下降;当固结压力接近并超过土体结构强度时,软黏土的絮凝分散结构破坏解体,黏土矿物颗粒间产生相对位移,伴随着颗粒的重新紧密排列,大量粒间孔隙水被挤出,这时 c_v 值比原先阶段略显一个小量的增加;之后随着压力的继续增大,颗粒重新排列稳定并更加紧密,固结系数也降低到一较低的数值范围内。

3. 软黏土应力应变曲线特点

对薄壁土样作固结不排水和不固结不排水三轴压缩试验,典型的试验曲线如图3所示。

一般认为,软黏土在应力达到峰值后试样呈完全塑性状态,应力值与应变无关的观点对温州软黏土并不适合。由于其结构特性的存在,在应力达到峰值后,粒间联结急剧破坏,应力随着变形的增大而降低,呈应变软化现象;围压越大,软化现象越明显;而后随着变形的增大,土体逐渐达到残余应力状态。

4. 软黏土孔隙水压力的变化

在固结不排水三轴压缩试验中,由于一定结构强度的存在,在低应变阶段孔隙水压力很小,增长缓慢;在固结压力较低条件下,孔隙水压力会出现峰值,之后随着土体结构的破坏而逐渐降低;在高固结压力条件下,土的结构性受到破坏,孔隙水压力初期随应变增大而增大,并逐渐趋近于稳定,如图4所示。

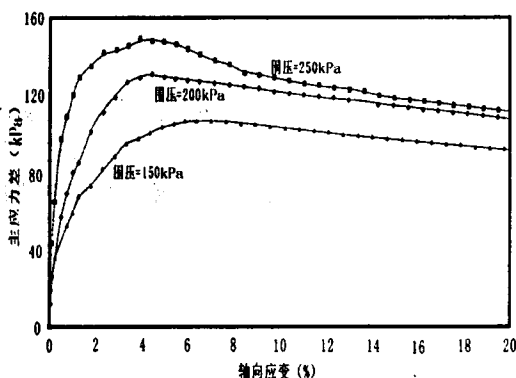


图3 温州软黏土的轴向应力应变曲线

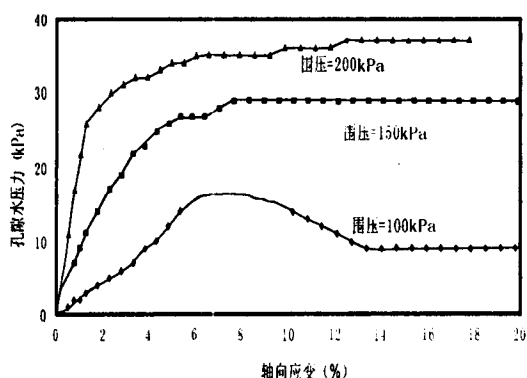


图4 温州软黏土的孔压系数与轴向应变曲线

三、结构性软土中沉桩的力学模型

静压桩沉桩时会引起桩周土体的水平位移和垂直隆起。在结构性软土中沉入静压桩时,由于土体结构性的存在以及土体由于结构性所表现出的特殊力学特性,桩周土体位移规律将受到土体结构性的影响,它与不考虑土体结构性时所表现出的规律有所不同。

1. 结构性软黏土的线性软化模型

由图3可以看出,结构性软黏土典型的应力应变关系曲线可大致分为三个部分:①当应力小于峰值应力时,随着应力的增大,土体逐渐屈服,土体发生硬化,应力应变关系可用非线性弹性或弹塑性关系来描述;②当峰值达到强度后,土体强度开始下降,变形随应力的减小而逐渐增大,呈应变软化现象;③当土体达到残余应力值时,近似为完全塑性状态。

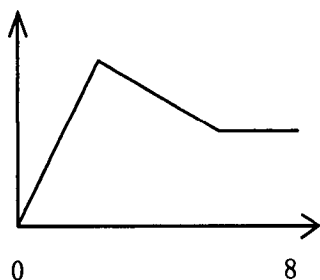


图5 结构性软黏土应变线性软化模型

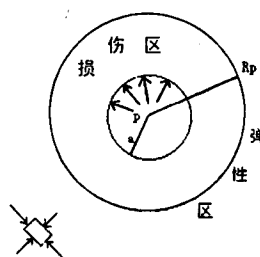


图6 桩孔扩张平面示意图

在这里采用分段线性函数,用线性软化来近似模拟土体由于结构性损伤所导致的应变软化现象。如图5所示,在达到峰值强度前,假设土体为理想弹性体,用线性弹性关系描述;达到峰值强度后,用线性软化描述土体结构性开始发生损伤直到结构性完全受到破坏后达到残余强度这一过程;在残余强度之后,假设土体为理想塑性体,应力不变,应变无限增长。

将图5中的简化模型推广到复杂应力空间,则对于 Mohr - Coulomb 材料,其 π 平面上屈服面存在与峰值应力对应的初始屈服面和与残余应力对应的最终屈服面。在应力空间中,软化阶段的后继屈服面是随着塑性变形的发展不断收缩的;待收缩到最终屈服面时,材料进入无

限流动状态,材料发生破坏,此时的屈服面即是残余破坏面。

2. 静压桩沉桩的力学模型分析

静压桩的贯入造成桩周土体的复杂运动,在桩体周围形成了一个环状的扰动区。扰动区内土体的结构受到破损;而在扰动区外的土体仍然保持为原状。如果忽略靠近桩端和桩尖范围内土体的变形情况,只考虑桩身周围土体的变形,则可将桩体贯入看作平面应变轴对称柱孔扩张问题,如图6所示。

(1) 基本方程

$$\text{平衡方程} \quad \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

$$\text{几何方程} \quad \epsilon_r = -\frac{du_r}{dr}; \quad \epsilon_\theta = -\frac{u_r}{r} \quad (2)$$

弹性本构方程

$$\epsilon_r = \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_r - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_\theta \right) \quad (3)$$

$$\epsilon_\theta = \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_\theta - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_r \right) \quad (4)$$

饱和软黏土中静压沉桩过程可近似为不固结不排水过程,桩周土体受损后的内摩擦角假设为 $\varphi=0$ 不变;假设受损后土体的凝聚力 c 线性下降,并可表示为

$$c = \left(1 - \beta \frac{R_p - r}{R_p - a} \right) c_0 \quad (5)$$

这里 $0 \leq \beta \leq 1$, 为损伤系数; $\beta=0$ 时,土体无结构损伤; $\beta=1$ 时,土体结构完全破损。 c_0 为原状土体的凝聚力; a 为柱孔半径; r 为土体中任意点到柱孔中心的距离; R_p 为损伤区半径。当 $r=a$ 时,计算点位于孔壁,此时 $c=(1-\beta)c_0$; 当 $r=R_p$ 时,计算点位于初始屈服面上,此时 $c=c_0$ 。

当应力达到临界强度 P_c 时,桩周土体服从初始屈服准则,之后随着土体发生应变软化而服从后继屈服准则。

Mohr-Coulomb 材料的初始屈服函数为

$$F = \sigma_r - \sigma_\theta - 2c_0 \cos \varphi_0 = 0 \quad (6)$$

Mohr-Coulomb 材料的后继屈服函数为

$$\sigma_r - \sigma_\theta = 2c_0 \left(1 - \beta \frac{R_p - r}{R_p - a} \right) \cos \varphi_0 \quad (7)$$

(2) 弹性区应力场和位移场

弹性区 D_e 范围为: $D_e = \{r | r \geq a, p \leq p_c\} \cup \{r | r \geq R_p, p \geq p_c\}$ 。

根据弹性理论,应力函数 φ 是径向坐标 r 的函数,因此选择适当的函数形式,并根据边界条件得到平面应变轴对称柱孔扩张问题的弹性区应力场和位移场

$$\sigma_r = p \frac{a^2}{r^2} \quad (8a)$$

$$\sigma_\theta = -p \frac{a^2}{r^2} = -\sigma_r \quad (8b)$$

$$u = \frac{(1+\nu)}{E} \cdot \frac{pa^2}{r} \quad (8c)$$

(3) 损伤区应力场和位移场

损伤区 D_d 范围为: $D_d = \{r | a \leq r \leq R_p, p \geq p_c\}$ 。将弹性区应力解代入初始屈服条件得桩周围的土体出现损伤时的临界扩张压力

$$p_c = c_0 \cos \varphi_0 \quad (9)$$

由平衡方程、后继屈服准则和边界条件得损伤区应力场

$$\sigma_r = p + 2c_0 \cos \varphi_0 \left(\frac{\beta R_p}{R_p - a} - 1 \right) \ln \frac{r}{a} - \frac{2c_0 \cos \varphi_0 \beta}{R_p - a} (r - a) \quad (10a)$$

根据体积不可压缩,由几何方程和边界条件得损伤区位移场

$$\sigma_\theta = p + 2c_0 \cos \varphi_0 \left(\frac{\beta R_p}{R_p - a} - 1 \right) \cdot \left(1 + \ln \frac{r}{a} \right) - \frac{2c_0 \cos \varphi_0 \beta}{R_p - a} (2r - a) \quad (10b)$$

损伤区外弹性区的应力场和位移场为

$$u = \frac{1+\nu}{E} \cdot \frac{R_p^2}{r} \left[p + 2c_0 \cos \varphi_0 \left(\frac{\beta R_p}{R_p - a} - 1 \right) \ln \frac{R_p}{a} - 2c_0 \cos \varphi_0 \beta \right] \quad (10c)$$

$$\sigma_r = \frac{R_p^2}{r^2} \sigma_p \quad (11a)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{R_p^2}{r^2} \sigma_p \quad (11b)$$

$$u = \frac{1+\nu}{E} \cdot \frac{R_p^2}{r} \sigma_p \quad (11c)$$

孔内压力与损伤区半径的确定

$$p = c_0 \cos \varphi_0 (1 + 2\beta) + 2c_0 \cos \varphi_0 \left(1 - \frac{\beta R_p}{R_p - a} \right) \ln \frac{R_p}{a} \quad (12)$$

最大损伤区半径可根据体积平衡条件 $\pi \cdot a^2 - \pi a_i^2 = \pi R_p^2 - \pi \cdot (R_p - u_p)^2$ 得到,展开并略去高阶项有

$$\left(\frac{R_{p \max}}{a} \right)^2 = \frac{1}{2m} \quad (13)$$

式中 $m = \frac{1+\nu}{E} c_0 \cos \varphi_0$ 。

极限扩孔压力为

$$p_{\max} = c_0 \cos \varphi_0 (1 + \beta) + c_0 \cos \varphi_0 \left(1 - \frac{\beta}{1 - \sqrt{2m}} \right) \ln \frac{1}{2m} \quad (14)$$

以上由式(8)至式(14)便确定了线性软化的结构性软黏土中静压沉桩时桩周土体的应力场和位移场以及扩孔压力与损伤区半径的关系。

四、静压桩沉桩规律分析

为分析软黏土结构性损伤对桩周土体的影响,以温州软黏土为例^[11](由试验得不固结不排水剪强度 $c = 23.5 \text{ kPa}$),分析了不同损伤程度对扩孔压力与损伤区半径关系的影响。以桩周土体中点 $r/a = 1.1$ 为例,计算了不同损伤程度对 r 点应力场和位移场的影响。

图7表示在不同损伤系数下扩孔压力与损伤区半径的关系。可以看出在某一扩孔压力作用下,有结构性损伤时的损伤区半径比无结构性损伤时的塑性区半径要大。如果在结构性软土中静力沉桩时不考虑土体结构性破损程度,则计算结果比实际的要偏小。

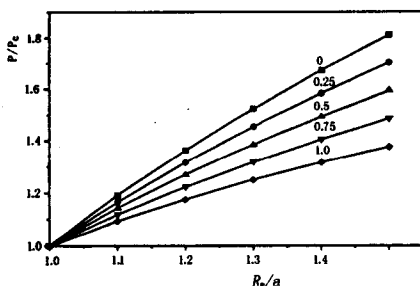


图7 不同损伤程度下扩孔压力与损伤区半径的关系

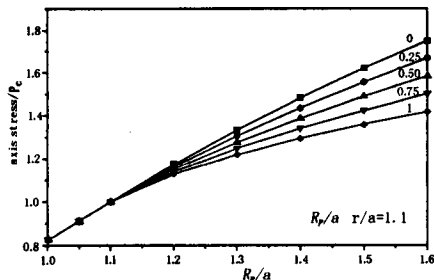
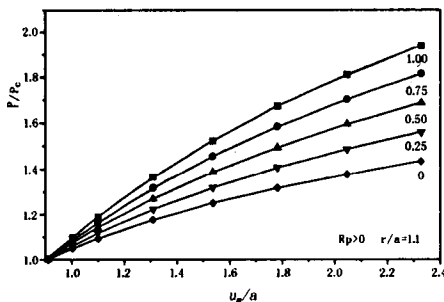


图8 不同损伤程度下径向应力与损伤区半径的关系

图8为径向应力 σ_r 在不同损伤系数下随桩周土损伤区半径不断扩展时的变化规律。可以看出,在 $r > R_p$ 时, r 点位于损伤区外的弹性区,处于弹性状态, σ_r 随 R_p 的增大而增大;当 $r = R_p$ 时,该点处于临界状态;当 $r < R_p$,该点位于损伤区内,应力随损伤系数不同而出现分叉,损伤系数越大,应力值越小。

图9为径向位移 u_r 在不同损伤系数下随桩孔不断扩展时的变化规律。从孔壁达到临界状态时起, r 点的位移随损伤系数不同而不同,在某一扩孔压力作用下,径向位移随着损伤系数的增加而增加。这再次说明结构性软土中静力沉桩时考虑土体结构性破损可使土体位移预测结果更合理。

图9 不同损伤程度下 r 点位移与损伤区半径的关系

五、结 论

(1)温州软黏土具有一定的结构性,表现在压缩曲线上固结压力超过结构强度时存在明显的陡降;薄壁土样垂向固结系数远大于普通土样;低应变阶段缓慢增长的孔隙水压力以及应力应变曲线存在应变软化现象。

(2)结构性软黏土中的静压桩沉桩分析应考虑土体结构损伤的影响,并简化为应变线性软化的平面轴对称桩孔扩张问题,从而得到桩周土体的应力场和位移场。

(3)当以某一应力压桩时,考虑土体结构损伤的土体损伤区半径比不计结构损伤时得到的

土体塑性区半径要大;桩周土损伤区内任意点的径向位移在相同扩孔压力下随土体结构损伤程度的增大而增大。

(4)桩周土损伤区内任意点径向应力随扩孔压力增加而增大;在该点达到临界状态后,应力值开始随着土体结构的损伤而不同,损伤程度越大,径向应力值越小。

(5)计算结果表明,结构性软黏土中静压桩沉桩分析时考虑软黏土结构性破损可使分析结果更符合实际。

参考文献

- [1] 李向红. 软土地基静力压桩挤土效应问题的研究. 浙江大学博士学位论文, 2000
- [2] 黄院雄, 许青侠, 胡中雄. 饱和土中引起桩周围土体的位移. 工业建筑, 2000, (7)
- [3] 张诚厚. 上海黏土的准超压密特性. 岩土工程学报, 1982, 4(3)
- [4] 李作勤. 有结构强度的欠压密土的力学特性. 岩土工程学报, 1982, 4(1)
- [5] 冯铭璋. 软土压缩曲线特征. 岩土工程学报, 1992, 14(5)
- [6] R. Moore, The chemical and mineralogical controls upon the residual strength of pure and natural clays, *Geotechnique* 41, 1990, No. 1
- [7] S. Leroueil ect. Stress-strain-strain rate for the compressibility of sensitive natural clays, *Geotechnique* 35, 1985 No. 2
- [8] L. Callisto & G. Calabresi, Mechanical behaviour of a natural soft clay, *Geotechnique* 48, 1998, No. 4
- [9] H.S. Yu & G.T. Housby, Finite cavity expansion in dilatant soils: loading analysis, *Geotechnique* 42, 1992, No. 4
- [10] 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计. 岩土工程学报, 1998, 20(1)
- [11] 温州发电厂 2#、3# 煤场工程试验研究报告. 浙江大学岩土工程研究所, 2000