

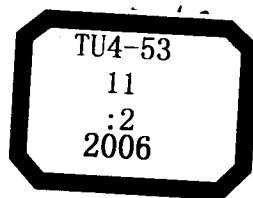
第二届全国岩土与工程学术大会 论文集 (下 册)

《第二届全国岩土与工程学术大会论文集》编辑委员会



科学出版社

www.sciencep.com



第二届全国岩土与工程学术大会论文集

(下 册)

《第二届全国岩土与工程学术大会论文集》编辑委员会



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本论文集共收录了 304 篇论文, 内容包括: 岩土勘探测试与信息技术; 特殊性土与岩土力学理论; 重大岩土工程项目的综合研究; 边坡及地质灾害防治; 地基与基础工程; 地下工程技术与地下空间开发利用; 地震区场地勘察与抗震; 环境岩土工程与可持续发展; 岩土工程中的地下水问题。分上下册, 即岩石、土两部分。

本论文集可供从事岩土力学与岩土工程的科技工作者借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

第二届全国岩土与工程学术大会论文集/《第二届全国岩土与工程学术大会论文集》编辑委员会编. —北京: 科学出版社, 2006

ISBN 7-03-018141-7

I. 第… II. 第… III. 岩土工程—学术会议—文集 IV. TU4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 121661 号

责任编辑: 编辑部 / 责任校对: 梅 莹

责任印制: 高 嵘 / 封面设计: 宝 典

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

武汉大学出版社印刷总厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 10 月第一次印刷 印张: 58 1/2

印数: 1—1 400 字数: 1 478 000

定价: 298.00 元(上、下册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

由中国土木工程学会土力学与岩土工程分会、中国地质学会工程地质分会、中国岩石力学与工程学会、中国建筑学会工程勘察分会联合主办，中国科学院武汉岩土力学研究所承办的第二届全国岩土与工程学术大会于2006年10月在武汉召开。这次会议将是我国岩土工程领域的又一次学术盛会，来自全国从事岩土工程科研、教学、设计、管理及施工等工作的专家、学者和代表将增进了解、加深友谊，从而互相启发、共同提高。

第二届全国岩土与工程学术大会的主旨是以科学发展观为指导，研讨岩土工程理论、实践探索、工程实录、新技术与新方法等，如岩土工程与可持续发展、环境岩土工程、岩土工程中的新技术与新材料及岩土工程中的计算机应用等。同时还包括我国南水北调、西电东送、青藏铁路、地铁工程、高原冻土和高土石坝等重大岩土工程问题，以及填海造地、岩土抗震数值和物理模拟等方面的研究进展。本次会议将给从事岩土力学与岩土工程的科技工作者提供一个交流新思想、新理论、新技术和新经验的好机会，搭建一个讨论学科发展的新理念、新进展、新方向和新领域的好舞台。

经过多年的风雨历程，我国岩土工程学科从起初十分薄弱的基础发展到今天，获得了巨大的进步和发展。这是奋战在我国岩土工程战线上的科技人员长期不懈努力的结果，其中更饱含着老一辈岩土工程专家学者的智慧和汗水。为了让中年岩土工程科技工作者承前启后，为了让青年岩土工程科技工作者得到锻炼和提升，会议还将邀请一些中青年专家组成青年岩土工程论坛，以期让更多的青年岩土工程科技工作者深入地认识本领域的过去、现在和将来，传承老一代科技工作者自强不息和勇于创新的拼搏精神。

在各方支持下，大会主办方收到400余篇论文。经大会学术委员会审核，选择其中304篇论文汇编成论文集。

论文集内容主要有：岩土勘探测试与信息技术、特殊性土与岩土力学理论、重大岩土工程项目的综合研究、边坡及地质灾害防治、地基与基础工程、地下工程技术与地下空间开发利用、地震区场地勘察与抗震、环境岩土工程与可持续发展和岩土工程中的地下水问题。论文集分为上下集，即岩石力学、土力学两部分。

本次会议的组织及论文编辑得到了大会顾问委员会、组织委员会、学术委员会的大力支持，在此向他们深表谢意。

大会组织委员会

2006年10月

目 录

土力学部分

冻土墙计算方法及其在基坑工程中的应用	金永刚 李强	3
竖向荷载作用下桩负摩阻力随固结时间发展	夏力农 贺春发	8
考虑渗流场与应力场耦合作用的喷锚网支护结构变形研究	朱大鹏 许英姿	12
挤扩支盘桩单桩荷载传递规律的数值分析	雷学文 章建招	15
城市中的旧桩基问题及处理方法探讨	杜斌 刘祖德 聂向珍	19
竖向力与水平向力同时作用下管桩的性状研究	王哲 龚晓南 周建	26
湖区深厚路堤软基处治方法研究	庄迎春 王哲 刘世明	35
黏性土渗透系数野外快速测定法	王振华 周楨 林硕庆	41
含液化层场地中微差爆破地震反应谱特性研究	林从谋 董凤金	46
土-水特征曲线方程拟合效果研究	胡波等	51
砂性土体损伤弹塑性动力本构中的损伤演化	李立云等	57
离心机动态模拟中渗流相似的一种近似处理方法	鲁晓兵 张旭辉 王淑云	66
路堤下带帽刚性桩复合地基固结性状有限元分析	雷金波 殷宗泽 徐泽中	72
堤基地下水非稳定运动的数值模拟	张家发 张伟	79
超高层建筑深基坑顺逆结合的设计方法与工程实践	王卫东 邸国恩 翁其平	90
锚杆抗滑桩地基极限承载力研究	门玉明等	99
土层锚杆常见病害及其防治措施	郝建斌 门玉明	104
黄土基坑土钉支护分析	赵晓峰 董忠级 李少鹏	107
宁陕县城关镇 2003.8.29 汽车站泥石流的基本特征	韩金良 吴树仁 李东林	122
非饱和黄土的视电阻率与其工程性质关系研究	井彦林等	126
大直径砂石桩复合地基的抗剪强度指标计算	沈细中等	133
施工中地下水位变化对筏基沉降影响的模拟分析	李鹏 龚文惠 陈峰	138
非饱和土中气体的一些力学特性	卢应发 吴延春 罗先启	144
东明黄河标准化堤防 158+000~161+000 堤段背河坑塘对防洪安全影响评价	赵寿刚等	150
水对土钉支护影响的研究及防治措施	王翠英 王家阳	157
深部黏土的室内试验和数值计算	介玉新等	163
加筋路堤的竖向沉降分析	王吉利等	169
重塑黄土变形特性试验与模型研究	程海涛 刘保健 谢永利	175
波浪荷载作用下粉质海床孔压增长的数值分析及试验研究	王立忠 潘冬子	180
多功能人工地层冻结法信息化施工系统	胡向东 毛良根 邱凡	186
损伤理论在水泥红黏土试验研究中的应用	郭培玺 俞缙 陈俊生	192
苏通大桥大直径深水超长桩基础桩底注浆关键技术	欧阳效勇等	198
特殊水文地质条件下超大规模深水群桩基础施工技术	任回兴等	205
单桩竖向极限承载力的灰色预测	贾建勋	213

特殊土工程中的关键科学问题研究与展望	王兰民等	216
土体水力劈裂计算理论综述	王俊杰 朱俊高	231
地铁冻结工程中冻融破坏的研究与数值分析	朱道建 杨林德 赵艳鹏	238
成都地区 CFG(素砼)桩人工散体材料载体的作用分析	陈追田 高世科	246
济南市地基土工程地质特征与岩土体结构研究	孙岩松 李相然 郑振尧	250
水泥改良黄土的强度特性试验研究	杨有海等	255
石灰改性粉质黏土力学特性试验研究	孟庆山等	261
城市地质灾害评价与治理的新理念——济南砚池山滑坡危险区分析	罗国煜等	269
湿陷性黄土结构性研究的回顾与探讨	王婷 罗爱忠 邵生俊	275
土料分散性判别试验研究	樊恒辉 李振 周俊	282
粗粒料自振频率与干密度关系研究	姜志全 文松霖 吴忠明	289
Field Test of Reinforced Embankment on Bangkok Soft Ground	Chai Xinjun et al.	295
地下水对地基土承载力的影响分析	黄昌乾 杨俊峰 焦中华	303
淤泥复合型固化材料试验研究	张春雷 朱伟 范昭平	308
固化污泥的基本力学性质研究——以膨润土为辅助添加剂	林城 朱伟 李磊	313
青藏铁路填土分选重组结构性路基现场试验与初步分析	胡明鉴等	318
考虑桩土界面接触作用的复合地基沉降变形的数值分析研究	范薇 李小青 邓海龙	324
拓宽与新建高速公路软基路段路基变形对比分析	刘观仕等	329
砂土拱效应的室内模型试验研究	加瑞 朱伟 钟小春	335
公路软土地基沉降预测分析	傅贤超 雷学文	342
固化淤泥收缩性质研究	范公俊 朱伟 张春雷	348
临淮岗防洪主坝锯槽法防渗墙施工及质量检验	文海家 姜命强 张永兴	353
青藏铁路冻土密度、含水量与融沉(冻胀)关系的试验研究	梁波 刘德仁 张贵生	357
高心墙堆石坝非线性有限元应力变形分析	张连卫等	363
岩土工程中的设计地震动参数	黄永林	369
SMC 劲性复合桩及复合地基	邓亚光 吴茂军	374
深基坑复合型土钉支护的有限元分析	许孝祖 雷学文	387
极限分析方法在黏性土深基础中的应用	黄齐武 黄茂松 李建平	392
旋喷桩复合地基竖向承载机理及计算方法研究	张玲 赵明华	402
深基坑室内模型试验中模型板设计与制作	俞晓 张峰 苏晓科	408
岩体弹性模量尺寸效应的拟合研究	徐高巍 白世伟 贺怀建	412
不同振幅的振动荷载作用下冻结粉土的蠕变特征	赵淑萍等	418
卫生填埋场防渗黏土衬垫层的温度效应研究进展	林伯韬 张澄博 冯彦	425
Interpretation of Direct Shear and Pull-Out Tests on Double Twisted Steel Wire Mesh Reinforcements	Vicari Marco, Da Silva Duran Jaime	433
土工格栅与膨胀岩界面相互作用的拉拔试验研究	丁金华 包承纲 丁红顺	442
降雨入渗对黄土边坡稳定性的影响	颜斌 倪万魁 刘海松	450
深层水泥搅拌桩在广东地区软土地基处理中的应用	何满潮 周书东 李廷芥	456
东莞市公共建筑能耗调查及节能对策	周书东 李廷芥 何满潮	459
深层搅拌桩复合地基设计失误的分析和处理	林文静 霍倩仪	464
基坑开挖过程中变形的信息化监测	谭峰屹等	473

典型二元结构地层中双排桩支护结构的现场测试研究	司马军 傅旭东 刘祖德	478
软土地基钻孔灌注桩施工参数及受力性状统计分析	张忠苗 张广兴	485
一种 TDR 仪在膨胀土含水量测量中的标定	吕海波等	490
桩顶动测三维效应分析	王雪峰 陈培 甘轶	496
深基坑支护方案设计与施工	滕德宾等	504
面对 21 世纪的土力学与岩土工程教育	赵成刚 李涛	512
铁路防风治沙工程的规划设计	蒋富强 王锡来 柴新军	519
Undrained Behavior of Normally Consolidated Clay Foundation Using Single-Hardening Model	Li Guangfan et al.	524
加筋垫层加筋效果影响因素分析	刘毓胤 左广洲 陈福全	531
采用冻结加固后 $\phi 14.87$ 盾构出洞洞门凿除技术研究	王保文等	538
高压旋喷桩复合地基的设计与施工	苏弦	545
软黏土单向压缩试验研究	汤斌 俞晓 雷学文	551
渗流分析在某基坑支护设计中的应用	李爱国 张育武 扬文蔚	555
城市地铁施工对近邻长桩桥基的影响研究	吴波 杨仲杰	559
桩基质量影响因素的分析及对策探讨	李贺	563
环境变化对含姜石黏性土性质的影响	韦佳	567
桩、土与基础共同作用分析方法的研究与应用	唐建华等	573
两种桩基载荷试验方法的对比	吴耀祖 赵锦明	579
多方案支护结构在某基坑的应用	王瑞芳 李彬 甘泉	585
湿陷性黄土桩基负摩阻力的试验研究	吴耀祖 赵锦明 齐静静	590
包二扩建工程地基土承载力及工程特性研究	于爱文等	595
石灰土的工程特性试验研究	赵寿刚 常向前 杨小平	613
黏弹性桩纵向振动问题的有限元分析	陈兴亮 熊传祥 王雪峰	618
桩端波场分析	柴华友等	623
第三纪黏土岩力学性质的研究	陈爱新 陈昌彦	627
陕北榆林砂土地基处理与加固技术	董忠级 张兴广	630
旋喷桩加固黄土湿陷变形地基工程实例	董忠级 程方方	635
武汉四新地区 10 [#] 地块吹填砂场平工程简介	和礼红 卫彩霞	639
某土钉墙支护基坑边坡地面开裂原因分析	杜卫 赵军 李志清	643
高速公路膨胀土路堑坍塌原因分析及治理	郭爱国等	647
商业软件 Marc 在有限元反分析中的应用	郭志川 刘宁 韩金田	652
真空动力固结处理新近吹填土地基的施工工艺优选	韩选江等	658
重阳水库大桥钻孔灌注桩孔壁稳定性分析	郝行舟等	663
殷宗泽模型在等主应力增量比路径上的验证方法	胡坤生等	668
PHC 管桩低应变动测分析	黄斌 何晓民 汪明元	673
分形理论在岩坡稳定性分析中的运用	黄斌 汪明元 何晓民	678
大面积堆载作用下软土地基变形的几点认识	金宗川 顾国荣 韩黎明	685
贵州红黏土地区工程问题及基坑变形特性	孔思丽 曹小兵	690
下坪固体废弃物填埋场进场道路西侧滑坡稳定性分析及工程治理	李亮辉等	694
韩城滑坡的变形机理及其治理	李天扶 党林才	700

区域地层三维可视化及其在工程中的应用	李晓勇等	708
岩土工程勘察新领域——文物保护勘察的特点、工作方法和发展方向	李耀刚等	712
预铺式自粘防水卷材在北京地铁知春路车站的应用	刘兵科 邵翔宇 吕军斗	718
高层建筑沉降数值分析方法的初步研究	刘赓炜 韩焯 罗文林	725
湿陷性黄土路基降雨入渗规律的试验研究	刘海松等	732
全国高电压联网线路工程的区位特点与勘测方略	刘厚健 隋国秀 周天红	737
内蒙古高庙子钠基膨润土导热性能研究	刘月妙 蔡美峰 王驹	742
后压浆技术在钻孔灌注桩中的应用分析	鲁相林等	747
沉桩引发地面隆起的机理探讨与有限元分析	梅国雄等	753
土坡在自重和外荷载作用下的对比离心模型试验研究	牟太平 张嘎 张建民	760
黄土地区隧道质量地质雷达无损检测	牛宝茹	766
岩土本构关系数值建模研究及应用	任青阳 朱以文	770
深基坑支护结构的监测与分析	聂庆科 胡建敏 王英辉	776
抗拔桩承载力取值的探讨	沈建明	781
基于土压力理论的横向承载桩受力分析	宋林辉 梅国雄 宰金珉	786
基于 ANSYS 概率设计系统的嵌岩桩承载力可靠性分析	宋强辉 刘东升 赵燕明	792
路堤荷载作用下 CFG 桩复合地基固结特性研究	唐彤芝 赵维炳	800
水平承载桩工作性状的有限元初探	汪宏等	808
锚桩结构处治软基高路堤的研究与应用	汪明元等	815
滇池盆地泥炭土分布规律及工程地质特性研究	王丹微 陈剑平 王清	821
基于锤桩土一体化三维模型的锤击效果仿真分析	王雪峰 甘轶 陈培	826
粉细砂层搅拌桩水泥土力学特性的试验研究	文松霖 何晓民 张明光	834
重阳水库大桥钻孔灌注桩施工技术研究	文银平等	840
砂井地基固结理论的研究与发展	谢辉 孙世永 韩金田	846
横向动力载荷作用下桩基有限元分析	徐东强等	850
地基承载力分析中的单元集成法	徐千军 尹宏磊 李仲奎	855
国内外污染土的修复治理现状	许丽萍 李韬 陈晖	860
修正 Cam 模型与 Matsuoka-Nakai 破坏准则的结合	杨雪强 宫全美 胡其志	864
竖向承载作用下刚性承台群桩效应数值分析研究	虞海珍 曹军	872
郑州恒泰服饰广场深基坑支护方案分析	张畅 付志刚	877
垃圾填埋场内的渗流和稳定分析	张文杰 陈云敏 詹良通	881
循环荷载作用下软黏土的工作性状研究	张忠苗 杨忠良	890
夯土长城的主要病害	赵海英 魏厚振 胡波	896
静压桩桩顶抗剪加固技术的应用研究	周建民 徐成贤	900
软土排水固结沉降数值分析研究	周伟 李小青 邓海龙	904
石灰改性粉质黏土力学特性试验研究	孟庆山等	909
考虑混合料特性的积石峡面板堆石坝变形分析	于艺林等	915
徐州城区故黄河景观综合治理工程地质生态环境调查研究	刘贵喜	919

土 力 学 部 分

冻土墙计算方法及其在基坑工程中的应用

Application of Frozen Soil Wall in Deep Excavation and its Calculation

金永刚¹ 李 强²

(1. 浙江省杭州市萧山区办事服务中心人防窗口, 杭州, 311200; 2. 浙江海洋学院土木系, 舟山, 316004)

摘 要: 主要研究人工冻结法用于深基坑维护结构时的近似计算方法, 将直线型冻土墙简化为薄板结构, 考虑了基坑下部的被动土压力侧的弹性地基作用, 利用能量法对冻土墙进行近似计算, 并与冻土墙模型试验数据进行对比, 结果表明, 采用本文计算模型可以获得更好的模拟效果。

关键词: 冻结法 冻土墙 薄板 能量法

1 引言

低温冻结维护技术是矿井建设中的一种临时维护方法, 经过几十年的发展, 技术水平已趋成熟。近年来, 随着城市建设的发展, 冻结维护方法开始在市政地下工程中得以应用, 并以其独特的优点在各类市政地下工程中发挥了重要作用, 如上海地铁旁通道的冻结法施工、润扬大桥锚锭基坑冻结维护等。

冻结维护方法来源于矿井建设中, 用于市政地下工程建设时, 其结构形式及施工工艺有着很大的差别, 需要区别对待, 深入加以研究。矿井建设中主要以封闭圆筒形式存在, 而在市政地下工程中, 则主要以直墙式平板结构、壳体结构或拱墙式结构为主^[1]。与筒式结构相比, 其暴露面积大, 不均匀性大, 受力情况复杂, 这些因素无疑加大了设计与施工的难度, 有必要进一步加以研究。杨平^[2]、金永军等^[3]开展过冻土墙模型试验研究, 辛立民^[4]、王衍森等^[5]进一步对冻土墙的模型试验进行了数值模拟计算, 得出了一些有意义的结论。杨平^[6]、张晶等^[7]利用薄板理论对直墙式冻土墙进行了计算, 但由于模型过于简化, 存在一定误差。关于板的理论, 研究文献虽然很多, 但绝大部分研究涉及的是作用于地基上的板^[8], 而对作为维护结构的墙体, 通常都是简化为梁单元, 采用等值梁等方法分析。本文主要从平板式冻土墙入手, 建立考虑开挖面下方土体作用的简化模型, 并依据模型试验的结果, 对冻土墙的结构计算进行分析研究。

2 基本模型

作为维护结构的冻土墙, 具有良好的整体性, 且结构较为均匀, 可以视为弹性板结构进行分析。弹性板分析根据板的性质分为两种, 一种是较为简单的薄板理论, 另一种是中厚板理论。就本文所研究的内容来说, 对于一般的深大基坑, 相对于基坑尺寸, 冻土墙的厚度较小, 可近似简化为薄板结构。

模型将冻土墙简化为薄板, 采用了如下模型及假定(图 1):

- (1) 薄板假定, 各向同性均质弹性体。
- (2) 受均布力或分布力, 不计体力, 无支撑。

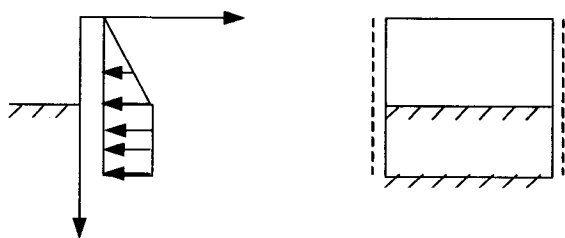


图1 冻土墙结构简化薄板模型

(3) 两跨简支, 坑底固支, 墙顶自由, 基坑底面下方插入深度内的墙体在被动侧置于 Winkler 地基上。

(4) 一次暴露, 不考虑基坑开挖速度。

3 冻土墙近似求解方法

矩形薄板弯曲的求解方法主要有分析解法和近似解法两类^[8]。分析解法直接以解析方法求解薄板的偏微分方程。近似解法常用的是以傅里叶三角级数或变换法求解, 也可采用能量方程, 利用系统的最小势能原理或最小余能原理求解板的弯曲问题, 本文采用后者求解。

根据薄板理论, 图1所示的冻土墙的基本模型建立冻土墙的结构计算的偏微分方程及相应的求解条件如下:

$$DV^4W + K(y)W = q \quad (0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b) \quad (1)$$

其中

$$K(y) = \begin{cases} 0, & y \leq h \\ k, & y > h \end{cases}$$

边界条件:

$$(W)_{x=0} = 0 \quad \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)_{x=0} = 0; \quad (W)_{x=a} = 0 \quad \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)_{x=a} = 0 \quad (2)$$

$$(W)_{y=b} = 0 \quad \left(\frac{\partial W}{\partial y} \right)_{y=b} = 0; \quad \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)_{y=0} = 0; \quad \left(\frac{\partial^3 W}{\partial y^3} + (2-\mu) \frac{\partial^3 W}{\partial y \partial x^2} \right)_{y=0} = 0 \quad (3)$$

上述偏微分方程中包含非线性项, 采用一般的精确解析方法难度很大, 因此考虑采用能量法来近似求解上述问题。

弹性薄板应变能

$$U = \frac{D}{2} \iint_{\Omega} \left\{ (\nabla^2 W)^2 - 2(1-\mu) \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy \quad (4)$$

外力所做的功(注意这里外力包括两部分, 一是主动侧的土压力, 另一个是基坑底面下被动侧的地基反力), 按 Winkler 地基反力计算。于是外力功为

$$J = \iint_{\Omega} q W dx dy - \iint_{\Omega_1} k W^2 dx dy \quad (5)$$

势能为

$$I = U - J \quad (6)$$

令解 $W(x, y) = \sum_{i=1}^n C_i \varphi_i(x, y)$, 运用最小势能原理, 由 $\frac{\partial I}{\partial C_k} = 0$ 得

$$\begin{aligned}
& \iint_{\Omega} D \left[\left(\sum_{i=1}^n C_i \varphi_{ixx} + \sum_{i=1}^n C_i \varphi_{iyy} \right) (\varphi_{kxx} + \varphi_{kyy}) \right. \\
& \left. - (1-\mu) \left(\varphi_{kyy} \sum_{i=1}^n C_i \varphi_{ixx} + \varphi_{kxx} \sum_{i=1}^n C_i \varphi_{iyy} - 2\varphi_{kxy} \sum_{i=1}^n C_i \varphi_{ixy} \right) \right] dx dy \\
& - \iint_{\Omega} q \varphi_k dx dy + \iint_{\Omega_1} k \varphi_k \sum_{i=1}^n C_i \varphi_i dx dy = 0
\end{aligned} \quad (7)$$

展开后写成

$$C_1 \delta_{1k} + C_2 \delta_{2k} + \cdots + C_n \delta_{nk} = \Delta q_k \quad (8)$$

其中,

$$\delta_{ik} = \iint_{\Omega} D [(\varphi_{kxx} + \varphi_{kyy})(\varphi_{ixx} + \varphi_{iyy}) - (1-\mu)(\varphi_{kxx}\varphi_{iyy} + \varphi_{ixx}\varphi_{kyy} - 2\varphi_{kxy}\varphi_{ixy})] dx dy + \iint_{\Omega_1} k \varphi_k \varphi_i dx dy$$

当选取的坐标函数 $\varphi_i(x, y)$ 及其系数为正交函数系时, 可简化为

$$\delta_{ii} = \iint_{\Omega} D [(\varphi_{ixx} + \varphi_{iyy})^2 - 2(1-\mu)(\varphi_{ixx}\varphi_{iyy} - \varphi_{ixy}^2)] dx dy + \iint_{\Omega_1} k \varphi_i^2 dx dy \quad (9)$$

$$\Delta q_k = \iint_{\Omega} q \varphi_k dx dy \quad (10)$$

式(8)变为 n 个彼此独立的方程:

$$\begin{pmatrix} \delta_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \delta_{22} & & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \delta_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \\ \vdots \\ \Delta q_n \end{pmatrix} \quad (11)$$

选取满足位移边界条件的解的表达式, 这里采用如下形式:

$$W = C_1 \varphi_1 = C_1 \sin \frac{\pi x}{a} (y^2 - b^2)^2 \quad (12)$$

该解显然满足位移边界条件, 也满足固定边的力边界条件, 而自由边界条件在运用最小势能原理时可近似满足, 因此可以作为解的形式。

将式(12)中 φ_1 及其相应导数代入式(9)、(10)得

$$\begin{aligned}
\delta_{11} &= D \iint_{\Omega} \left\{ \left[-\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 (y^2 - b^2)^2 \sin \frac{\pi x}{a} + (12y^2 - 4b^2) \sin \frac{\pi x}{a} \right]^2 - 2(1-\mu) \left[-\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 (y^2 - b^2)^2 \sin \frac{\pi x}{a} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \times (12y^2 - 4b^2) \sin \frac{\pi x}{a} - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 (4y^3 - 4b^2 y)^2 \cos^2 \frac{\pi x}{a} \right] \right\} dx dy + k \iint_{\Omega_1} \left[\sin \frac{\pi x}{a} (y^2 - b^2)^2 \right]^2 dx dy \\
&= D \left(\frac{19.776b^9}{a^3} + 6.4ab^5 + \frac{12.032b^7}{a} + \mu \frac{16.433b^7}{a} \right) + 0.203ka(b^9 - h^9)
\end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
\Delta q_1 &= \iint_{\Omega} q \varphi_1 dx dy = \iint_{\Omega_2} \frac{q_0}{h} y (y^2 - b^2)^2 \sin \frac{\pi x}{a} dx dy + \iint_{\Omega_1} q_0 (y^2 - b^2)^2 \sin \frac{\pi x}{a} dx dy \\
&= \frac{4ab^5}{15} q_0 - \frac{11ah^5}{60} q_0
\end{aligned} \quad (14)$$

代入方程得

$$C_1 \delta_{11} = \Delta q_1 \Rightarrow C_1 = \Delta q_1 / \delta_{11} \quad (15)$$

最大挠度在板自由边中点($x=a/2, y=0$), 代入挠度方程(12)得

$$W_{\max} = b^4 C_1 \quad (16)$$

同样, 最大正弯矩也在板自由边中点, 可由下式计算:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= -D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = -DC_1 \left[(12y^2 - 4b^2) \sin \frac{\pi x}{a} - \mu \left(\frac{\pi}{a} \right)^2 (y^2 - b^2)^2 \sin \frac{\pi x}{a} \right] \\ &= \left(4b^2 + \mu \frac{\pi^2 b^4}{a^2} \right) DC_1 \end{aligned} \quad (17)$$

最大负弯矩在板固支边中点($x=a/2, y=b$), 可由下式计算:

$$M_{\max} = -D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = -8b^2 DC_1 \quad (18)$$

4 应用分析

上述公式中的冻土参数为瞬时模量, 根据冻土墙模型试验, 冻土墙在长期荷载作用下为蠕变体, 模型试验研究了冻土墙随荷载作用时间的蠕变变形。用长时弹性模量 E_s 来代替弹性模量 E , 按下式进行计算^[6]:

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{q_0}{A(T)q_0^B t^C} \quad (19)$$

其中, $A(T)$ 、 B 、 C 分别为冻土温度、应力和时间的蠕变参数, 模型试验的冻土蠕变参数见表1。

表1 淤泥质黏土的单轴抗压及蠕变参数表

温度	抗压强度	A	B	C
-12	4.55	0.0191	1.58	0.164

为验证上面推导出的理论公式, 将理论计算值与模型试验值对比如表2。

表2 冻土墙变形试验值与理论计算值比较

暴露时间/h	模型1 测试值/mm	文献[6] 结果/mm	本文计算值/mm	模型2 试验值/mm	文献[6] 结果/mm	本文计算值/mm
1	1.91	3.13	2.14	3.19	5.25	3.74
5	2.87	4.08	3.15	4.80	6.84	5.55
10	3.41	4.57	3.71	5.70	7.66	6.55
20	4.06	5.12	4.37	6.77	8.58	7.71
30	4.49	5.47	4.80	7.51	9.17	8.55
40	4.83	5.73	5.13	8.02	9.60	9.10
50	5.11	5.94	5.42	8.54	9.96	9.63
100	6.08	6.66	6.35	10.16	11.17	11.38
200	7.24	7.47	7.50	12.10	12.52	13.55
700	9.92	9.17	9.97	16.58	15.37	18.33

可见,采用本文方法计算与模型测试值更为接近,特别是在基坑刚开挖不久,本文理论公式计算值与实验测试值更为吻合,因此利用本文理论解计算冻土墙墙体变形效果更好。

5 小结

本文在冻土墙变形计算中考虑基坑下部的被动土压力侧的弹性地基作用,通过能量法近似计算,结合冻土蠕变试验取得的长时弹性模量和冻土墙模型试验,得出了采用该模型可取得更好的拟合效果的结论。

参 考 文 献

- 1 顾孟寒. 冻结法在深基坑工程中的应用. 岩土工程技术, 2002, 2: 80-83
- 2 杨平. 软黏土冻土挡墙蠕变特征及其设计. 土木工程学报, 1997, 30(4): 63-67
- 3 金永军, 杨维好, 蒋武军. 直线型冻土墙用于深基坑支护的试验研究. 中国矿业大学学报, 2002, 31(2): 124-128
- 4 辛立民, 郁楚候. 冻土墙位移反分析冻土墙蠕变特征. 西安矿业学院学报, 1998, 18(2): 133-140
- 5 王衍森等. 某深基坑冻土墙应力和变形的数值计算. 中国矿业大学学报, 2002, 31(3): 285-288
- 6 杨平. 平面冻土墙变形计算的理论分析. 阜新矿业学院学报, 1997, 16(4): 499-503
- 7 张晶, 杨更社. 深基坑维护中冻土墙变形的解析计算. 长安大学学报, 2002, 22(2): 14-17
- 8 严宗达. 结构力学中的傅里叶级数解法. 天津: 天津大学出版社, 1989

竖向荷载作用下桩负摩阻力随固结时间发展

The Development of Negative Skin Friction with Consolidation Time in Vertical Loaded Piles

夏力农¹ 贺春发²

(1. 长沙学院土木系, 长沙, 410075; 2. 长沙市中荣工程设计有限公司, 长沙, 410007)

摘 要: 分析了桩顶荷载对于负摩阻力桩基荷载传递性状的影响。采用有限元方法模拟了桩摩擦负摩阻力随着固结时间的变化。计算结果表明, 随着土体固结时间的延续, 在有无桩顶荷载的两种情况下负摩阻力引起的桩身附加轴力均逐渐增加。与无桩顶荷载比较, 桩顶荷载的作用会使得中性点的位置明显上移, 使得负摩阻力引起的下拽力减小。指出不考虑桩顶荷载的负摩阻力分析方法过高估计了负摩阻力的影响, 中性点的位置低于计算结果, 正确的分析方法应当考虑桩顶荷载作用。

关键词: 负摩阻力 桩顶荷载 固结时间 发展

1 概述

作为一种能够提供较高承载能力, 有效减少沉降的基础形式, 桩基础广泛应用于高层建筑, 尤其是软土地区的高层建筑。此外, 桩基础还是桥梁最常用的基础形式之一。

当桩周土体的沉降大于桩基沉降时, 桩周将产生负摩阻力, 桩侧会出现不可忽视的负摩阻力。负摩阻力对桩产生下拉作用, 致使桩基的荷载增加, 荷载抗力减少, 沉降增大, 严重的还会影响到建(构)筑物的正常使用甚至结构安全。现行的设计规范^[1, 2]对于负摩阻力的计算都是近似的和经验性的。有文献记录了采用端承桩时由于负摩阻力的作用而使得位于桩群外围桩的桩端部位的桩身被压碎^[3], 这说明目前桩身强度的验算方式存在着不安全的因素。有文献对负摩阻力桩设计检测中存在的一些不安全因素通过实例进行了分析说明^[4]。

目前, 对于桩基负摩阻力特性的研究主要集中在无桩顶荷载情况下的研究^[5-7], 对考虑桩顶荷载对于负摩阻力发展变化影响的研究很少, 也极少见到相关的文献资料。本文采用有限元方法模拟承受竖向荷载摩擦桩的负摩阻力随着固结时间的发展, 并与无桩顶荷载条件下的负摩阻力发展相比较, 以期探求正常使用桩基的负摩阻力特性, 供同行在实际应用中参考。

2 桩顶荷载对负摩阻力发挥的影响

当桩顶没有荷载作用时, 桩周土体的沉降是桩土相互作用的主要原因。土体沉降在桩身产生负摩阻力, 负摩阻力引起的下拽力使桩身产生压缩变形和桩端沉降。而桩身压缩变形和桩端沉降的出现又使得桩-土之间的相对位移关系发生变化并使桩的中性点上移。中性点上移使得桩身下部出现正摩阻力的桩身长度增加和正摩阻力总量增加, 出现负摩阻力的桩身长度减小并且负摩阻力总量减少。而正负摩阻力的长消使得桩-土间共同作用重新达到平衡。只有在桩和土的沉降都稳定时, 桩的中性点以及摩阻力沿桩身的分布才能稳定下来。

当桩顶有荷载作用时,土体变形不再是引起桩土相互作用的唯一原因,桩顶荷载也是影响桩土相互作用的主要原因。桩顶荷载作用下产生桩身压缩和桩端沉降,这是在短时间完成的,桩周土体的沉降变形需要很长时间才能稳定。在这样的桩土相互作用中,只有桩周土体沉降大于桩的位移时,负摩阻力才会出现。显然,负摩阻力出现的部位与桩顶无荷载作用时有很大的区别,中性点的位置肯定会高于无桩顶荷载的情况。随后也会出现与无桩顶荷载相似的因下拽力产生的桩附加变形和中性点的位置变动。由于桩的沉降-压缩曲线是随着荷载水平的提高而表现出由线性到非线性的,因此,负摩阻力的特性也会呈现与桩顶无荷载时不同的形态,而且会随着桩顶荷载水平的不同而表现出一定的差异。

3 有限元分析

为了研究负摩阻力对桩身轴力的影响,利用专门的岩土分析软件 Plaxis 建立了一个模型,在地下水位下降的条件下模拟黏土的固结过程。比较桩顶有荷载和无荷载两种情况在不同时间中性点和负摩阻力的变化,探求桩基中负摩阻力的变化发展规律。对于单桩,采用轴对称有限元分析。土体的本构关系采用弹塑性 Mohr-Coulomb 模型,采用土体的剪切模量随着深度而增大。混凝土桩体采用弹性模型,其中黏性土的剪胀角为零。桩土界面采用接触面单元进行模拟,采用三角形六节点单元离散土体和混凝土桩。土体固结按照 Biot 固结理论进行分析。桩基直径 $\phi 600$ mm,桩长 15 m,桩身混凝土采用 C25,沿着桩身的土层分布及土体的物理力学参数见表 1。地下水位稳定位置从地面以下 4 m 下降到距离地面 8 m 的位置。

表 1 土层分布及物理力学指标

土层名称	土层厚度 /m	干容重 /(kN/cm^3)	饱和容重 /(kN/cm^3)	内聚力 /kPa	内摩擦角 /($^\circ$)	水平渗透系数 /(m/d)	垂直渗透系数 /(m/d)	压缩模量
黏土	12	16	18	8.5	24	0.0002	0.0001	4700
黏土	5.5	17.5	18.5	14	27	0.0001	0.0001	45000
中砂	3.5	20	21	1	33	0.6	0.5	120000

4 有限元结果讨论

有限元分析的结果表明,对于桩基负摩阻力而言,承受竖向荷载的桩基与桩顶无荷载的桩基的负摩阻力特性之间是有区别的。

从图 1 中可以看出:桩顶有荷载作用时的中性点的发展变化过程与桩顶无荷载时的中性点的发展变化呈现不同的趋势。在固结初期,有桩顶荷载桩的中性点由距离桩顶较浅的位置向较深的位置发展,在固结初期的变化速度较快,后期变化速度较慢而逐渐趋于稳定,中性点的变化呈现由浅到深的过程。无桩顶荷载桩的中性点在固结初期由较深的位置向较浅的位置变化,逐渐趋于稳定而在一个很小的范围内波动直至稳定。两相比较,承受

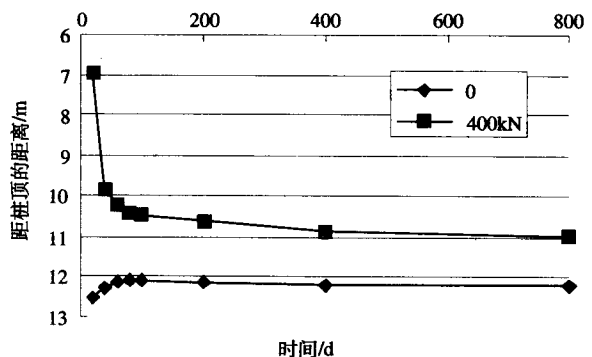


图 1 中性点随固结时间的变化