

沈珠江土力学论文选集

SELECTED WORKS ON SOIL MECHANICS OF SHEN ZHU-JIANG

清华大学出版社

沈珠江土力学论文选集

SELECTED WORKS ON SOIL MECHANICS OF SHEN ZHU-JIANG

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

参加工作 50 年来,沈珠江院士在软土地基、土石坝工程和土力学的基本理论方面发表了 100 多篇学术论文,本论文集选录了其中的大部分论文(2000 年后的论文暂未收录),共 79 篇。这些论文从一个侧面记载了 50 年来土力学领域学术研究发展的轨迹。

论文集中的部分论文是尚未公开发表过的内部报告甚至是手稿,对于这些论文,以及其他曾经公开发表在较小的期刊或者会议上的论文,本论文集是全文收录的。而有部分论文曾经公开发表在全国性的主要期刊上,由于篇幅所限,对这些论文,论文集中仅收录了摘要部分。

本论文集可供从事土力学及岩土工程研究的技术人员及高等院校相关专业的师生阅读、参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

沈珠江土力学论文选集/沈珠江著. —北京:清华大学出版社,2005.1
ISBN 7-302-09892-1

I. 沈… II. 沈… III. 土力学—文集 IV. TU43-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 116842 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:徐晓飞

文稿编辑:梁广平

封面设计:傅瑞学

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:34.5 字数:790 千字

版 次:2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-09892-1/TU·241

印 数:1~1500

定 价:98.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

《沈珠江土力学论文选集》

编 委 会

主 任：濮家骝

委 员：（以姓名拼音为序）

陈生水 李广信 魏汝龙

张宏宇 张建民

沈珠江院士简介



沈珠江,1933年1月25日出生于浙江慈溪。1945年小学毕业,离开家乡到绍兴县立初级中学求学,1948年进入上海市立敬业中学学习。1950年考入上海交通大学水利系,1952年院系调整后到南京华东水利学院(现河海大学)继续学习。1953年毕业,分配到南京水利实验处(现南京水利科学研究院)土工研究室工作,任技术员。1955年到北京俄语学院留苏预备部学习,1956年公派至苏联莫斯科建筑工程学院留学,师从苏联科学院通讯院士崔托维奇教授。1960年5月获副博士学位并回国,继续在南京水利科学研究院工作。1995年,当选为中国科学院院士。2000年9月至今,在清华大学水利水电

工程系任教。

从1953年毕业进入南京水利实验处工作算起,到今天已有50多年。在50多年中,沈珠江院士一直锲而不舍地在岩土工程领域进行着理论、工程、计算等方面的研究和实践,在土的极限平衡理论、软土地基固结计算方法、软粘土和各种坝料土的本构关系、土石坝工程计算分析方法、区域性土特性等方面进行了一系列开创性的工作,取得了众多成果,特别是20世纪80年代以来主持了国家一系列科技攻关项目,对土石坝计算方法的改进起到了重大推动作用。

在从事岩土力学的50多年间,沈珠江院士的学术研究主要经历了以下几个阶段。

- ✧ 1957—1959: 在苏联留学期间,从事土体极限平衡理论研究,把苏联学者的静力分析理论和美国学者的运动分析理论结合起来,证明了两个极限分析原理,并应用特征线法求得了一系列问题的数值解。
- ✧ 1960—1965: 主要从事交通部高桩码头方面的研究,并参加了国内第一个沉垫式海洋钻井船的科研工作,提出了软土地基稳定分析的有效固结应力算法,同时继续发展了留学期间创建的土体极限平衡理论,撰写了十余篇论文,包括两篇哲学论文。由于当年的科研环境所限,这些文章中只有少数得到发表,多数只能以内部报告或手稿形式保存,个别的已经散失。1966年以后被迫停止工作,并于1970年初下放苏北农村,劳动近三年,直到1972年底才重新返回南京工作岗位。
- ✧ 1972—1977: 1972年底回到南京后继续从事交通部软土地基方面的研究工作,重点是引进国外刚刚发展的有限元计算技术。在国内率先编制了土工专用有限元程序,并应用于海堤和船坞基坑的计算。1975年又编写出国内第一个Biot理论固结计算程序,并提出了一个适用于软土的非线性模型,该模型首先应用于油罐地基计算分析,后来又应用到心墙坝的计算中。

◇ 1978 年以后: 随着科研环境的改善, 沈珠江又能继续专心从事自己喜爱的科研工作, 并取得一系列的成果。

- 70 年代后期把国外的一维有效应力地震反应分析方法推广到二维问题, 建议了相应的等价粘弹性模型, 并编制了计算程序。这一方法和程序已广泛用于土坝、尾矿坝和灰坝的抗震分析。
- 70 年代末开始进行土体弹塑性理论方面的研究, 提出了多重屈服面、等价应力硬化理论和三剪切角破坏准则等新概念, 并在此基础上建议了一个新型实用的土体弹塑性本构模型。
- 80 年代以来主持并参与了国家“六五”、“七五”和“八五”科技攻关项目中有关高土石坝设计计算方法的研究工作, 对土石坝的计算方法提出了一系列改进, 并开发了 6 个有限元分析软件。这些计算方法和分析软件被应用到三峡工程深水围堰、黄河小浪底水利枢纽等十几个大型工程的设计计算中, 为国家的水利建设做出了重大贡献。
- 80 年代末把损伤力学引入土力学中, 提出了代表材料脆性破坏的胶结元件, 并在此基础上建议了可以描述土体逐渐破坏过程的双弹簧模型。
- 1990 年出版了专著《计算土力学》(合作者: 朱百里)。
- 90 年代初把饱和土的 Biot 固结理论推广到非饱和土, 建立了非饱和土的广义固结理论。此后又在非饱和土领域进行了开创性的研究, 提出了折减吸力和广义吸力等新概念, 并建议了非饱和土统一变形理论。
- 90 年代末对土力学的发展史进行了总结, 于 2000 年出版专著《理论土力学》, 并且提出了在 21 世纪 20 年代建成以结构性模型为核心, 以非饱和土固结理论、液化破坏理论和渐进破坏理论为主要内容的现代土力学的构想。

以上研究成果曾荣获 1995 年国家科技进步二等奖、1997 年国家科技进步三等奖、1996 年水利部科技进步一等奖、1986 年水电部科技进步二等奖、1988 年水电部科技进步二等奖。1988 年被人事部授予国家有突出贡献的中青年专家称号, 1989 年当选为水利部劳动模范。

在学术兼职上, 沈珠江院士自 1992 年起一直担任《岩土工程学报》主编, 1990 年起担任中国力学学会岩土力学专业委员会副主任, 并在中国土木工程学会土力学及岩土工程分会、中国振动工程学会土动力学分会、中国水利学会和中国水力发电学会中担任多项职务。

沈珠江院士还在 1988—1998 年期间担任了第七届和第八届江苏省人大常委会委员, 在 1998—2003 年期间任第九届全国人大代表、农业与农村委员会委员。

序

沈珠江同志从事土力学理论研究和工程实践,凡 50 年,成绩卓著,硕果累累。本文集堪称其研究成果之精华。据我所知,尚有许多精彩的文字并未收入其中,如果囊括所有论著,当在百篇以上,堪称高产作者。

纵观沈珠江同志研究成果,不妨作以下几方面概括:第一,从早年师从(苏联)俄罗斯学者崔托维奇院士,到学成归国一直对土体极限平衡理论从事开拓性的研究,此期间发表的许多论文,充分显示作者青年才思。第二,经过长期的酝酿和努力,进入 20 世纪 80 年代以后,作者在土体弹塑性本构模型、非饱和土统一变形理论,以及现代土力学的方方面面,都作出精辟论断,提出新的构想,取得了一系列重要成果,使作者处于我国土力学研究的前沿地位,为我国土力学理论研究的许多方面都作出了开创性贡献。第三,作者以岩土工程师的高度责任感和事业心,运用自己的理论成果、计算程序,写出大量研究报告,解决了一大批工程实践问题,为同行所称颂。第四,作者分析问题的方法、观点,每有独到之处。这不仅反映在他的哲学论著中,也反映在他对技术政策的各个方面所作的漫谈和随笔之中。这些文字都没有收入本文集中,但是一些闪亮作者思想火花的观点,常常流露在每一篇重要论著的字里行间。

沈珠江同志取得的这些成果,曾经得到了各种名目的褒奖,我觉得这都是很自然的。值得一提的是他获得“劳动模范”称号,唯独这一称号在他身上体现了劳动的价值,体现了楷模的本质。还值得一提的是,他于 1995 年当选中国科学院院士,这自然是对他研究成果的高度认可和评价,是当之无愧的。沈珠江同志为什么取得这些成绩,在他身上有哪些方面值得年轻人效法,我愿就我所知,略谈一二。

才思敏捷,治学严谨,往往是科学工作者不可缺少的素质。但是仅有这些还不能保证事业成功,更重要的应该是矢志不移,锲而不舍。这在沈珠江身上表现尤为突出。与其说这是对科学研究工作兴趣使然,不如说这是为科学工作执着和献身的具体表现。即使身处逆境,他也不忘对科学目标的追求,有许多例子传为佳话。

他勤于动手,事必躬亲,别人不屑为之的小事,他都细心去做。一项试验,一个程序,一个计算,一个图表,他都作得很认真,从而打下了扎实的基本功,并掌握了纯熟的基本概念。

他在自己取得成就的同时,不忘帮助提携后晚。年轻人很愿意以他为师,愿意向他求教。

他一直在科研第一线工作,不计名利,不患得失,这方面的例子是很多的,以至在他背后几乎听不到微词。

他于 1992 年开始担任《岩土工程学报》主编,使《学报》办得生机勃勃、有声有色,这与他严谨的治学态度不无关系,我认为他是很称职的《学报》主编。

这些似应置于文集外的文字,我却认为置于文集之前并不多余,是为序!

魏汝龙

2005 年元旦于

南京

目 录

散粒体极限平衡理论及其在土体稳定计算中的应用(1960).....	1
极大极小原理在土体稳定分析中的应用(1964)	10
饱和粘性土的极限平衡理论(1964)	20
散粒体极限平衡理论及其应用(1962)	31
土体强度和变形理论中的有效压力原理(1963)	32
关于理论土力学发展的可能途径(1963)	41
不连续解在地基极限分析中的应用(1963)	55
不连续解在极限土压力计算中的应用(1963)	65
土体极限分析中的一般变分原理(1964)	77
水平荷重下地基的极限平衡(1963)	88
饱和粘土抗剪强度的变化规律及其在土工建筑稳定分析中的应用(1963)	89
用有限单元法计算软土地基的固结变形(1977)	90
油罐地基固结变形的非线性分析(1977).....	103
一个计算软土地基固结变形的弹塑性模式(1981).....	118
反复荷载作用下砂土变形的平均过程理论(1980).....	127
有限单元法计算井点作用下基坑边坡的变形(1980).....	141
土的弹塑性应力应变关系的合理形式(1980).....	142
饱和砂土的动力渗流变形计算(1980).....	143
摩尔-库仑材料的屈服理论(1981)	144
1976年7月28日唐山地震时密云水库白河主坝有效应力动力分析(1981)	153
土坝动力渗流变形计算(1981).....	168
土的应力应变理论中的唯一性假设(1982).....	175
应变软化材料变形计算中的若干问题(1982).....	186
考虑行进波的土工建筑物地震反应分析(1983).....	196
软土地基固结变形计算模式的评价(1984).....	197
土的三重屈服面应力应变模式(1984).....	198
砂土动力变形计算参数的室内测定(1984).....	209
陡河土坝的地震液化及变形分析(1984).....	215
A Visco-elastic Model for Liquefaction of Sands (1985)	223
软土变形的计算参数及其室内测定(1985).....	231
软土地基固结变形的弹塑性分析(1985).....	239
坝料土的应力应变关系及其测定方法的初步研究(1979).....	251
软土地基真空排水预压的固结变形分析(1986).....	267

不同应力路线和不等应变幅值的往复荷载试验(1986).....	268
考虑剪胀性的土和石料的非线性应力应变模式(1986).....	278
土体应力应变分析的一种新模型(1987).....	290
堆石料的数学模型及混凝土面板堆石坝计算(1990).....	303
Analyses of Seismic Pore Pressure and Permanent Deformation of an Earth Dam (1987)	313
海滩软土路基的固结变形分析(1987).....	322
土质心墙坝填筑及蓄水变形的数值模拟(1988).....	323
损伤力学在土力学中的应用(1988).....	338
A Stress-strain Model for Sands Under Complex Loading(1989)	347
横山水库土石坝有效应力应变分析(1990).....	358
粘土弹塑性断裂分析的新途径(1990).....	359
小浪底水库斜墙堆石坝有效应力应变分析(1991).....	366
堆石料的流变特性试验研究(1988).....	377
面板堆石坝面板应力影响因素的数值模拟(1992).....	382
铁山水库土坝有效应力应变分析(1988).....	392
土工压力室模型试验(1992).....	400
桩的抗滑阻力和抗滑桩的极限设计(1992).....	406
新弹塑性模型在软土地基固结分析中的应用(1993).....	407
几种屈服函数的比较(1993).....	414
结构性粘土的弹塑性损伤模型(1993).....	415
结构性粘土的非线性损伤力学模型(1993).....	416
关于土力学发展前景的设想(1994).....	424
鲁布革心墙堆石坝变形的反馈分析(1994).....	426
土体弹塑性变形分析中的几个基本问题(1994).....	427
土体变形特性的损伤力学模拟(1994).....	439
黄土的损伤力学模型探索(1994).....	447
三种硬化理论的比较(1994).....	453
土坝水力劈裂的离心模型试验及其分析(1994).....	454
土石料的流变模型及其应用(1994).....	455
关于破坏准则和屈服函数的总结(1995).....	461
粘土的双硬化模型(1995).....	462
Reduced Suction and Simplified Consolidation Theory for Expansive Soils (1995)	463
土体结构性的数学模型——21 世纪土力学的核心问题(1996)	473
广义吸力和非饱和土的统一变形理论(1996).....	476
堆石料的动力变形特性(1996).....	477
当前非饱和土力学研究中的若干问题(1996).....	484

目 录

三峡二期高土石围堰应力应变分析研究(1996).....	495
应变软化材料的广义孔隙压力模型(1997).....	502
Development of Structural Model for Soils (1997)	503
堆石流变变形的反馈分析(1998).....	513
Limit Analysis of Soft Ground Reinforced by Geosynthetics (1998)	514
砂土本构理论的检讨与重建(1998)	515
现代土力学的基本问题(1998).....	525
A Granular Medium Model for Liquefaction Analysis of Sands (1999)	532
结构性粘土的堆砌体模型(2000).....	533
Damage Function and a Masonry Model for Loess (2000)	534

散粒体极限平衡理论及其在 土体稳定计算中的应用*

前言

索柯洛夫斯基以《散粒体静力学》一书奠定了土体稳定的数学理论基础。虽然目前索柯洛夫斯基的理论已成为土力学的重要内容,但并未在工程实践中得到广泛应用。作者认为除了计算过程的复杂性以外,造成这种情况的原因主要还在于散粒体静力学的基本假设,即把极限荷载的确定仅仅当作静定问题,而不考虑位移边界条件对应力场的影响。

为了克服这一局限性,作者把塑性理论中普拉格尔、希尔等其他学者建立在应力场与速度场相协调的初始塑性流动的极限平衡概念引入到索柯洛夫斯基理论中。基于这一新的散粒体极限平衡概念,吸收了现代塑性力学的成就,作者建立了散粒体极限平衡理论的一般框架,求得了若干具体问题的解答,同时阐明了几个原则性问题。

考虑到现代力学的成就,包括本文的成果,以及现代科学技术的迅速发展,可以预见,土体稳定理论及土力学整体有望发展成为一门精密科学。

1 散粒体极限平衡理论的一般问题

1.1 塑性平衡和极限平衡的概念

作者采用理想刚塑性体作为土体稳定性计算模型,现有计算方法实质上都采用这一模型。作为塑性流动条件,采用下列库仑准则

$$f = \frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau^2 - \sigma^2 \sin^2 \varphi \leq 0 \quad (1)$$

其中 $\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + H$, $H = c \cot \varphi$, c 为凝聚力, φ 为内摩擦角。

如果散粒体中某一单元的应力满足库仑条件 $f=0$, 则这一单元处于塑性平衡状态。如果某一区域内每一点都处于塑性的平衡状态, 则称这一区域为塑性平衡区, 或简称塑性区。与此相应, 如果某一区域内每点 $f<0$, 则称这一区域为刚性区。

如果散粒体表面的作用的荷载达到某一值, 使散粒体的全部或一部分有位移的可能性, 则称这一荷载为极限荷载, 并称散粒体处于极限状态。

* 本文为沈珠江留苏时所写的副博士论文详细摘要, 原文为俄文。导师: 崔托维奇, 莫斯科建筑工程学院, 1960。

这样,塑性平衡这一名词只是针对土体内部某一点而言,而极限平衡这一名词则反映土体及其上的建筑物的整体稳定性。

1.2 散粒体的运动理论

对依希林斯基理论、盖尼耶夫理论和普拉格尔-德鲁克理论进行比较以后,作者选用了普拉格尔-德鲁克运动理论,因为这一理论便于实际应用。这一理论采用了下列基本假设:散体塑性流动过程中伴随着体积膨胀,膨胀率等于内摩擦角正弦值,并且应变率的主轴方向与应力主轴方向重合。按照这一假设,应变速率张量与应力张量之间存在下列关系

$$\begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{1}{2}\gamma \\ \frac{1}{2}\gamma & \epsilon_y \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} -\sigma \sin^2 \varphi + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} & \tau \\ \tau & -\sigma \sin^2 \varphi + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $\lambda = \frac{\sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + \gamma^2}}{2\sigma \sin \varphi}$ 为比例系数。

由普拉格尔-德鲁克理论可得下列重要结论:(1)速度场的特征线方向与应力场特征线方向重合;(2)速度不连续线应当是滑移线或者一族滑移线的包线。

1.3 可静解和可动解的概念

满足平衡方程、库仑流动条件和应力边界条件的应力场可以称为该极限平衡问题的可静解。满足上述条件的可静解很多,所以从这一点看,极限平衡问题是超静定的。可静解的概念可以推广到塑性区与刚性区同时存在的场合。

通过式(2)与满足运动边界条件的速度场相适应的任何应力场称为可动解。可动解不一定是静力许可的。

如果某一问题的可静解同时又是可动解,则这一解答将是真解;反之,真解必须同时是可静解和可动解。

1.4 极限平衡问题的种类和解的唯一性

实践中遇到了三类极限平衡工程问题:

(1) 散粒体表面的某一部分给定荷载,另一部分给定速度或部分给定荷载、部分给定速度,要求确定只给定速度的那一部分表面的极限荷载。地基稳定性和建筑物上的土压力属于这一类问题。

(2) 整个散粒体表面给定荷载,要求确定一部分散粒体沿另一部分滑动时所需的极限体积力。上述提法亦可变换,例如用凝聚力的降低代替体积力的增加。边坡稳定属于这一类极限平衡问题。

(3) 整个散粒体的表面只给定运动速度,并且在发生这种运动以前的应力场已知,要求确定引起这种运动的极限荷载,属于这类极限平衡问题的无限散粒体内的物体运动,例如十字板剪切试验。

关于极限平衡问题的解的惟一性,目前还没有证明。

2 地基稳定性的若干问题

2.1 承受垂直中心荷载的刚性基础下的地基稳定性

这一问题的提法如下:基础外的地基表面给定边荷载 q_0 ,在极限荷载下基础以某一速度 v_0 运动。假定土颗粒沿基础接触面运动的阻力已知,要求确定接触面上的极限荷载。

图 1 中给出了这一问题的解,而表 1 中给出了 $\varphi=30^\circ$ 时的部分解答。

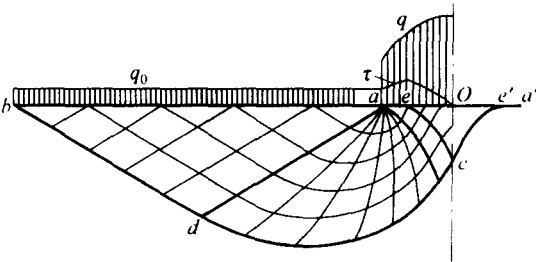


图 1

表 1

$\bar{a}$	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0
$\bar{q}_{\text{光}}$	31.9	38.5	44.3	55.2	65.2	84.5	100	—
$\bar{q}_{\text{粗}}$	31.9	44.0	55.4	74.5	93.0*	128	162	211

* 按龙格林解答为 84.5。

表中 a 为无因次基础半宽, $\bar{q}$ 为无因次极限荷载平均值。实际的 a 和 q 按下式换算

$$a = \frac{1}{2}(c + q_0 \tan \varphi) \bar{a}$$

$$q = (c + q_0 \tan \varphi) \bar{q} - H$$

表 1 中光滑底板的极限荷载 $\bar{q}_{\text{光}}$ 曾由索柯洛夫斯基得出,粗糙底板的极限荷载 $\bar{q}_{\text{粗}}$ 则由作者求得。应当指出,龙格林曾研究过粗糙底板的相应解答,但他得出的极限荷载显著偏低。

作为一个算例,作者求解了底板摩擦角等于内摩擦角一半 $\varphi=15^\circ$ 时的极限荷载,图 1 所示的正是这一解答。

通过运动分析表明,上述解答存在着相适应的速度场,因而它们都是真解。此外发

现,在粗糙底板下存在一个特殊区域,有人曾称这一区域为“弹性核”,作者认为这一区域理论上也是塑性区,只是与底板一起运动,可称为约束变形区。图 1 中 ece' 就是约束变形区, ec 和 cd 则是速度不连续线,绝对粗糙条件下约束变形区将占据整个底板宽度。

2.2 挡土结构地基的稳定性

这一问题的提法如下:基础以外的地表作用着边荷载 q_0 ,基础底面作用着偏心率为 e 的总荷载 Q ,要求确定引起基础的某一水平速度 v_0 运动时的水平极限荷载 T 。

图 2 给出了这一问题的解答。作为一个算例,作者求得了 $\varphi = 30^\circ$,基础宽度 $b = 6.0c/\gamma$ 时水平极限荷载随垂直荷载及其偏心率的变化而变化的曲线。

运动分析表明,图 2 中 ec 段速度不连续线应为对数螺线,且底板下也存在一个与底板一起运动的约束变形区 eoc 。

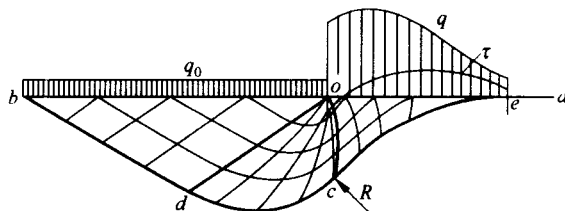


图 2

不同偏心率下的分析结果还表明,当偏心率足够大时不加水平力也可导致底板的运动。

3 不连续解的应用

3.1 应力不连续线的特性和应力间断条件

凝聚性介质中应力不连续线的应力间断条件曾由普拉格尔导出,而散粒体的应力间断条件则由夏皮洛得出。

普拉格尔指出,应力不连续线是刚性区退化成一条线的结果,因此可以看作不可伸长的软线。在这一概念的基础上作者推导了应力不连续线两侧速度场之间的关系式。

3.2 考虑基础埋置深度的地基极限荷载

作者只研究了无重散粒体问题。

首先应当指出,传统的把基础以上土层当作边荷载的办法实际上等于从基础底面出发设置了一条水平应力不连续线。进一步分析表明,这样的应力场没有相适应的速度场,因而求得的荷载并不是真正的极限荷载。

作者利用应力不连续线求得了这一问题的真解,如图3所示。表2中列出了 $\varphi=30^\circ$ 情况下不同埋置深度的极限荷载值。表中 a 为基础半宽, h_d 为基础埋深, $\bar{q}$ 为无因次的极限荷载,实际极限荷载按下式计算 $q=(q_0+H)\bar{q}-H, q_0=h_d/\gamma$ 。

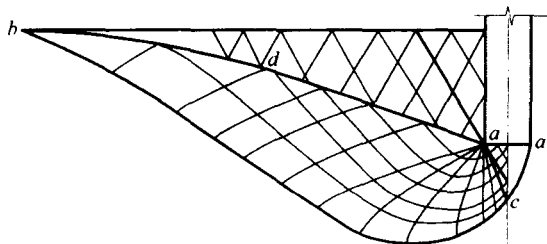


图 3

表 2

h_d/a	0.0	1.4	3.4	4.4	5.9
$\bar{q}$	18.3	22.2	26.1	27.5	29.4

最后作者证明,上述解答也是可动解,接触面上的边界速度是均匀向下运动的。如果接触面以另一种方式运动,或对有重土体, ad 段的不连续线看来将不再是直线。求解这类问题的途径尚未找到。

3.3 挡土墙土压力

类似的不连续解也可用于求解某些挡土墙土压力问题,例如墙的上半部或下半部以不同方式运动时。图4是墙上部 ao 不动,下部 od 向外平移时求得的解答。弧形箭头表示了计算所得的大主应力方向,反映了通常所说的拱效应的作用。

对于更复杂的墙体运动情况,例如绕墙顶旋转,或者柔性挡土墙,或者必须考虑土体自重时,相应的解答也未得到。

3.4 若干双联域问题

作者还应用不连续解求得了无重散粒体在外部边界压力下向内部孔口流动的问题。图5显示了圆孔挤出问题的求解结果。作者还证明了这样的应力场也具有相适应的速度场。

当内孔为狭孔时,可以求得类似的解答。作者同时指出,这一解答可以用于金属的挤压成形问题。作为一个算例,作者求得了凝聚性介质通过方形模具问题的解答。作者认

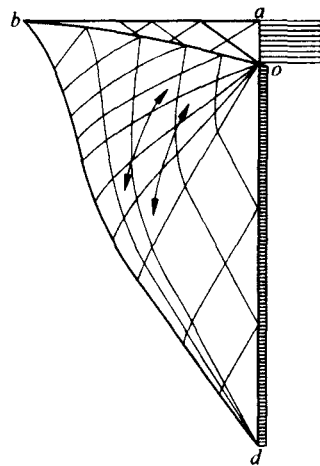


图 4

为,这一解答在大比例挤压条件下要比现有塑性力学的解答更可靠。

3.5 隧道土压力

图 6 显示了作者求得的深厚土层中圆形隧道衬砌上的土压力。求解这一问题时采用下列补充假设:(1)衬砌顶部完全破坏并向下运动;(2)垂直对称轴上应力可用克柯公式计算;(3)外围滑移线边界 bc 与对称轴交点 c 处满足 $\sigma=0$ 的条件。

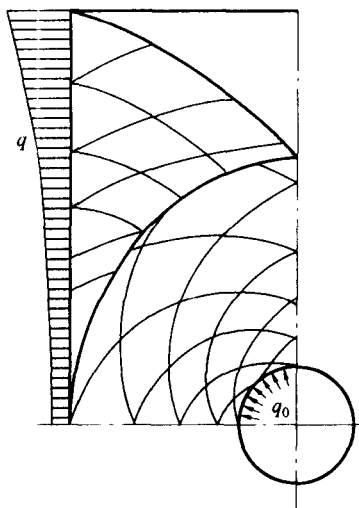


图 5

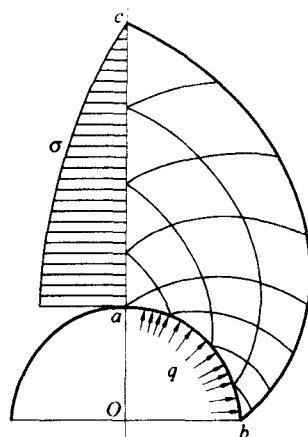


图 6

4 极值原理的应用

不久前塑性力学中出现了极值原理,这一原理的提出与极限平衡概念有密切联系。由于目前条件下许多极限平衡问题难以求得精确解,而极值原理可以通过简单的方法确定极限荷载的上限和下限,因而具有广泛的应用前景。

应当指出,极值原理正是在土力学中首先提出的,并且得到了广泛的应用,例如库仑土压力理论及圆弧滑动面分析法。但是这些方法中所用的极值原理缺乏数学基础,我们将它们称为经典极值原理。

4.1 极值原理的定理

定理一 如果 $(\sigma_x, \sigma_y, \tau)$ 和 (v_x, v_y) 为真实的应力场和速度场, (q_x, q_y) 和 (X, Y) 为相应的表面荷载和体积力,而 $(\sigma'_x, \sigma'_y, \tau')$ 为任一可静应力场, (q'_x, q'_y) 和 (X', Y') 为相应的表面荷载和体积力,则

$$\int_l (q_x v_x + q_y v_y) dl + \int_A (X v_x + Y v_y) dA \geq \int_l (q'_x v_x + q'_y v_y) dl + \int_A (X' v_x + Y' v_y) dA \quad (3)$$