

土体微观结构研究与土力学的发展方向 ——若干进展与思考

周萃英

(中山大学地球科学系, 广州 510275)

摘要: 土体的结构性研究是土力学研究中的前沿课题之一. 工程土体在宏观上所表现出来的非连续、不均匀、各向异性和非确定性等复杂性特征, 从根本上取决于土体微观结构的非连续性和非确定性. 可以说土体的复杂性是其介质结构与组分非线性的直接体现. 因而, 对土体结构及其模型的研究, 成为土力学的核心问题之一. 科学建立土体演化的结构控制模型, 进而建立基于土体微观结构演化机制的土力学模型和本构关系是土力学理论发展的新方向. 从土体微观结构研究的进展出发, 探讨了土体结构演化机制和结构模型的特点, 进而指出土力学理论建模的新思路.

关键词: 土体; 结构控制模型; 土力学.

中图分类号: P642.3 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)02-0215-06

作者简介: 周萃英, 女, 副教授, 1963年生, 1992年毕业于中国地质大学(武汉), 获工学博士学位, 主要从事岩土工程与环境地质的教学与研究工作.

自土体结构概念被提出之后, 至今关于结构性的研究已经经历了从概念、术语阶段到定性描述及结构分类阶段再到现今的图像分析和定量研究阶段. 人们逐渐认识到土的结构对其性质起着决定性作用. 土体为结构性体的概念的提出^[1]标志着土力学发展的新阶段. 这意味着过去基于土体为理想弹性-刚塑性体或非线性弹性-弹塑性体而建立的各种数学模型需要从新的角度进行认识与发展. 研究的基本出发点应当是: 模型的建立必须以土体介质的结构特性为基础, 亦即必须以土的结构性为出发点去探讨土体的变形与强度分析的各种数学模型, 并应用于工程实践中去. 而土体作为一种结构性体, 一个完整的系统结构, 其系统内部演化必然存在一种相互关联和协同作用, 构成土体结构共同特征的各项结构要素绝非孤立的、确定性的, 土体所表现出来的各种变形和强度特性是其系统内部各种结构要素共同作用的结果. 就土体的结构量化研究本身而言, 主要以结构类型和单一参数的量化研究为重点. 这些研究为土体的结构研究积累了丰富的基础, 但

整个思维尚未上升到整体的系统认识层次. 因而, 土体结构演化机制需要走出单项参数独立演变的误区, 从系统的协同作用的观点建立结构演化的数学模型, 探索结构研究新路. 其次, 现今的土体本构关系研究和固结沉降分析的各种模型, 对于土体的结构没有很好地考虑, 例如: 分层总和法的地基沉降量估算, 其中与结构可能有关的量是压缩模量 E_s , 而这是一个恒定的静参量. 但是整个压缩过程中土体结构的变化, 不可能以任何一个确定的静参量去反映. 笔者认为: 沉降量 S 应由两部分组成: 即 $S = f(\sigma, s) = h(\sigma) + g(s)$, 其中, σ 为应力, s 为结构参量(structure), $h(\sigma)$ 为沉降的应力效应项, $g(s)$ 为沉降的结构效应项(蕴含了成分). 这也就是为什么同样的应力作用于不同性质的土层上会产生完全不同的结果的原因所在. 按照目前的沉降计算理论, 土体的结构影响作用甚微, 其所计算的结果往往与工程实践有较大的脱节, 例如, 工后沉降的预测就是一急待解决的问题. 因而, 笔者认为: 土力学的发展须依托于土体材料的基本特征——结构性的基础上. 故此, 建立土体演化的结构性控制模型, 进而建立基于土体微观结构演化机制的土力学模型及本构关系当是土力学理论发展的新方向.

收稿日期: 1999-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 59809008); 广东省自然科学基金项目(No. 980274).

1 土体结构研究进展与存在问题

1.1 土体结构研究进展

土体结构研究中存在的三大关键性问题:(1)结构土样制备技术;(2)结构量化研究;(3)微观结构与宏观力学性质之间的关系研究使得土体微观结构的研究遇到了巨大障碍.自 20 世纪 80 年代中后期开始,结构研究进展迟缓,难以突破.进入 20 世纪 90 年代,首先是样品制备技术的实质性改进:莫斯科大学率先研制了结构土样制备仪器,之后李生林等^[2]、吴义祥^[3]相继开发了结构土样制备装置,这一技术难点的突破使得土体的结构图像能较客观地反映土体的原始结构.

其次,在土的结构量化研究方面也开始取得进展,主要是利用交叉学科的知识和技术手段获取结构要素参数.集中体现在两个方面:(1)利用遥感研究中的图像处理技术进行土体微观结构图像处理,获取结构要素量化参数;(2)利用 20 世纪 70 年代中后期发展起来的某些非线性科学成果——分形理论进行土体结构量化研究.以此两点为突破口,许多学者进行了卓有成效的尝试与探索.20 世纪 90 年代初期 Tovey 等^[4,5]在研制细粒土的 SEM 图像处理系统中取得了可喜的进展,通过图像分析可取得孔隙、颗粒大小、形态等定量参数,且在土体结构定向性参数获取方面卓有成效.吴义祥^[3]研制了土体结构图像的定量分析系统,阐述了粘土结构状态参数:结构熵、结构单位的平均粒径、平均形状参数的变化规律,分析了结构变化与粘土特殊物理力学性质之间的关系. Shi 等^[6]在莫斯科大学研制的 Videolab 图像分析系统的基础上,研究了我国某些粘性土的结构定向性和有序性的定量表述方法,并对其结构特性进行了定量评价,获得了孔隙性、形态、颗粒定向性和各向异性率及结构概率熵等定量指标.胡瑞林等^[7]在吴义祥的粘性土微结构图像处理系统的基础上较为系统地研究了颗粒形态、颗粒排列方式、孔隙性质和颗粒接触关系四大方面的丰富信息和定量参数,并提出了粒级熵的定量表达式.此外,施斌^[8]基于图像处理的基本原理,提出了粘性土微观结构简易定量分析的方法.

在土体结构中引入分形理论进行研究始于 20 世纪 90 年代初期. Tyler 等^[9]、McBrathney^[10]等不少学者研究了粒子和集合体分布的分形特征与规律,谢和平^[11]在前人研究的基础上对岩土介质的孔

隙分形和粒子分形进行了较系统的研究,提出了孔隙分形的量测方法. Kozak 等^[12]则采用修正的数据分析方法,建立了粒子和集合体分布的分形模型.刘松玉等^[13]、肖树芳^[14]提出了用粒度分维来表征粘性土的不均匀性的方法.胡瑞林等^[7]以 Housdoff 分维计算方法为主,获得了颗粒分布及其大小和表面特征分维以及孔隙与接触带分布分维的定量结果,并分析了这些参数与土的工程性质之间的关系.

由此我们可以进一步得到认识:即土体具有与一般的力学材料完全不同的性质,结构性作为其根本特性之一具有举足轻重的意义.因而在理论上,研究的焦点应该首先侧重于对土体结构材料的力学行为的探讨上.在实践中基于通过排水手段而达到地基固结目的的各种地基处理措施,其核心都是改善土体的结构.因而,可以这样说:不管是从土体变形和破坏的各种关系的建立与分析上,还是从实践的迫切需求上,土体结构定量模型的研究与发展,都是一种重要的基础与核心.

目前,已有学者在土体结构与工程性质之间的定量关系方面进行了探索,尝试性地建立二者之间的定量表达式.较早关注的方面是对土体的孔径变化、强度、灵敏度、渗透性能等在固结过程和压密过程中规律的研究^[2,7,15-18],但真正尝试从力的作用机制上考虑土体的结构要素及其参数变化与力学性质的关系的研究则是最近几年的事情.这方面尤其侧重于一些特殊的灾害性土的研究.谭罗荣等^[19]研究了灾害性膨胀土的微结构特征与工程性质之间的关系,得到了颗粒定向特征与力学强度的定量表达式.沈珠江^[20]将土体视为由原状土和损伤土组成的合成材料,以损伤力学分析为基础,建立了结构性粘性土的非线性损伤力学模型.苗天德等^[21]利用突变理论,建立了湿陷性黄土的微结构失稳模型,并按照“微力学”和“损伤力学”等现代连续介质力学方法给出了湿陷性黄土的本构关系.胡瑞林等^[22]以室内压缩实验为基础,探讨了压缩变形过程中微结构的变化规律,并统计出了结构要素的不同参量与压力之间的关系.施斌等^[23]则从微观结构角度出发,建立了各向异性粘性土蠕变的微观力学模型. Pierre 等^[24]研究了不同含水条件的三种压实性土粉的微观结构特征,并讨论了静压过程中结构变化与应力应变的关系. Nagaraj 等^[25]给出了加固灵敏性软土在压缩过程中的微结构模式,并讨论了不同结构状态的土体在压缩过程中孔径分布和渗透性能的规律

性及其对土体压缩行为的影响.这些研究对于重新认识土体材料的力学特性具有十分重要的意义.

基于工程土体的结构性对于地基加固效果的重要作用,在工程实践中也日益重视土体结构性对其性质的影响.张诚厚等^[26]以沪宁高速公路昆山试验段为研究对象,根据室内和原位实验成果,在沉降计算中考虑了结构性的影响,并初步建立了二者之间的统计关系.程鉴基等^[27]在软土地基化学灌浆机理研究中探讨了土体结构性的影响,显示了土体结构研究的实践意义.

1.2 存在问题

目前在研究中存在的突出问题是:

(1)对于土体结构性的认识.现今不少学者都认识到土体是一种结构性体.结构性体意味着土体作为一种系统结构而存在.结构要素所涵盖的各种结构参量之间相互关联和影响.可能的情况是系统内部一种结构参量的变化会导致另外几种参量的相应变化.从土体的天然结构特性来看,又具有非线性、不均匀和不确定等特性.因而,作者认为:必须从系统演化的角度来认识和分析土体结构的这些复杂性特征.但目前的研究中,土体的结构参数多被赋予一种孤立的、确定性的量化结果,以及力学性质之间的关系的探讨,多是基于某一种结构参量的变化与某一种宏观力学性质之间的统计关系.土体结构的非线性、不确定、相互关联和动态特性不能得到客观全面的反映,更无法在变形和强度方面综合考虑.因而,基于这样的认识应该寻找新的解决问题的突破口.

(2)结构研究的理论基础和方法论.目前的结构研究中,从制样技术到处理手段上已经能够满足需要(采样技术则是另外的课题),但研究的基本理论方法则显得单调和欠缺,仍应寻找新的途径.目前最新的研究成果是利用分形理论和图像处理技术及二者结合探寻土体结构的几何特性.无疑,分形理论作为描述不规则的自然客体的数学方法是一种行之有效的手段,但若从系统演化的高度来探讨复杂的结构要素之间的相互关系,则远远不够.可以这样说,目前,我们可以获得结构参数的几何学特征,但结构要素之间及其与宏观力学性质之间的关系如何却仍然处于未知状态,而后者才是结构研究的最根本目的和核心.

实际上,土体结构的自然演化或在外荷作用下的变化过程正如岩石的破裂演化过程一样^[28],是一种从混沌到有序的自组织过程.笔者认为,要进行这

样的研究,必须有相应的理论基础为依托,系统科学的思想方法和20世纪70年代末期的一批非线性科学理论,如:耗散结构、协同学、混沌动力学理论、自组织理论及分形理论等均可作为结构研究提供相应的方法论基础,并且有可能在学科的知识交互过程中衍生出新的学科生长点.

(3)土体微观结构与宏观力学性质之间的关系研究.这是一项十分艰巨但又十分关键的工作.进行结构研究的终极目的就是要揭示土体的介质特点,进而建立适于土体介质特性的宏观力学模型.对这一问题的认识可以说从结构研究开始时就已经确立,但难度很大.造成这一困难的原因是在宏观和微观这两种尺度上,罕有一种理论或数学工具能将其统一起来.现在的研究现状是微观更微,与宏观之间的距离越来越远,除了统计意义上的微、宏观研究这一条途径之外,难以从机制上进行分析与阐明,因而更难从根本上建立微观结构与力学性质的关系.

(4)工程设计中的结构性.工程实践中遇到的问题是纷繁复杂的.例如,以排水固结或化学作用为基础的地基处理中存在的突出问题是:①地基处理措施的选择基本处于经验直觉阶段;②地基处理方案的设计缺乏可靠的科学依据;③工后沉降的预测急需给出可行的方法.那么,可否寻找控制方法?依据是什么?作者认为:这类处理方法的核心仍然是结构性问题.因为不管是何种处理措施其关键点都是改善土体的微观结构(有些个别情况可能改变土体的成分),因而,可从结构性研究入手进行突破.

2 若干思考与展望

2.1 土体介质结构的数学表示

作者认为,土体结构的自然演化或在外荷载作用下的变形破坏过程,是一种从混沌到有序的自组织过程.土体结构的各部分要素可视为同一种结构的不同控制环节,它们相互关联和影响,最终将以一种综合的结构演化模式体现出来.自组织理论与分形理论相结合,可以对这样的系统演化过程给出相应的数学表示与分析.当然,需同时结合实验、统计和理论分析给出结构函数的初始形式.例如,若以 x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示不同的结构要素,则结构演化模型可表示为

$$\begin{cases} x'_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4) + ax_1, \\ x'_2 = g(x_1, x_2, x_3, x_4) + bx_2, \\ x'_3 = h(x_1, x_2, x_3, x_4) + cx_3, \\ x'_4 = k(x_1, x_2, x_3, x_4) + dx_4. \end{cases}$$

其中: a, b, c, d 分别为系统外因素对结构控制要素的综合影响系数. 这样可分析土体结构作为一种整体系统的相互影响行为, 并分别对不同类型的土体建立结构模型. 若某一研究对象包括了多层土体, 则可按其对土体性质的影响大小进行数学分析, 赋予不同的权重, 最终进行叠加, 代表宏观上不同结构分布的土体的特征.

2.2 微观力学作用机制上的土体变形和破坏理论

作者认为可以通过 3 种途径进行探讨, 建立二者之间的关系.

(1) 介质特性的力学分析. 通过对某类土的结构图像和结构特性的模型分析, 概化出相应的物理模型, 在此基础上, 进行力学分析, 并建立相应的数学模型、判据和解分析. Nagaraj 等^[25]曾通过一种假想的土体结构物理模型, 建立了土体本构关系. 进行这样的研究, 关键在于把握土体的结构模型特征. 关于在壳体分析中蜂窝夹层结构的力学特性的研究也为我们提供了一种思维上的借鉴^[29]. 因而, 基于介质结构特性进行宏观力学模型的研究应当是一条非常值得探索的途径.

(2) 耦合研究. 认为土体的结构与其力学性质之间存在正负反馈的作用和影响——受力环境的变化将导致土体结构的变化, 土体结构的变化将使得土体的力学性质发生相应的改变, 而力学性质的改变将进一步加快土体结构的演变过程. 故此, 在微观演化模型的基础上, 探讨与土力学基本本构关系之间的耦合关系, 进而建立结构与力学性质之间的耦合模型, 这项工作开展的前提是土体结构演化模型的建立.

(3) 系统控制分析. 此种分析源于混沌动力学和自组织理论的某些启发. 该理论认为: 系统行为的产生是系统内控制性变量相互作用和调整的结果. 因而, 尽管表现出来的代表性变量可能是单一的, 但它蕴含了参与作用的其他所有变量的痕迹. 基于此, 笔者曾以沉降量的时间序列数据为基础, 进行了珠江三角洲某工程地段沉降量的灰色系统模型预测, 结果与实际情况吻合较好, 因而, 对于土体系统宏观力学行为的分析同样可以在此思路之下进行.



图 1 袋装砂井排水固结中采样位置示意(“·”示采样位置)
Fig. 1 Sketch map of the sampling location in the drainage and consolidation process of sand piles

2.3 工程设计中的结构性控制

在给定的某种地基处理措施之下, 分析在处理过程中结构状态的时空变化规律, 给出结构控制的依据. 例如: 袋装砂井排水固结, 通常所关心的问题有三: (1) 砂井的长度和间距如何设计? (2) 处理后的效果如何检测? (3) 工后沉降何时完成? 第一个问题在现场施工中也有人进行过对比探索, 西安公路交通大学进行过离心模型实验, 但至今还没有很明确的结论. 作者认为: 在给一种设计方案后, 可以在砂井的不同空间位置上取不同的时间段采样分析. 如图 1 所示, 在离井心 0 m , $1/3L$, $2/3L$ 和 L (L 是预设的砂井影响宽度范围) 的不同深度 0 m , $1/3H$, $2/3H$, H (H 是预设的砂井影响深度) 上分别于不同的时段采样分析. 借助扫描电镜和图像处理技术, 获得不同位置在不同时段的结构模型, 据此可以确定砂井的影响宽度和深度范围, 调整砂井的设计, 并确定单组砂井的影响边界, 最终确定袋装砂井方案的最优设计. 利用不同演化时段的结构模型分析, 与土体的最终演化状态进行比较, 某种土体的最终结构演化状态可由室内压缩实验获得, 由此可确定砂井作用之下结构演化所处的阶段, 所完成的沉降百分比, 即固结度. 砂井效果检测以及工后沉降完成时间的预测可以建立于土体结构演化基础之上, 结果应该具有相当程度的可靠性. 其他的地基处理措施方案的设计可按照类似的思路进行.

3 学科展望

土力学的发展经历了从理想弹性—刚塑性阶段到非线性弹性—弹塑性体阶段到目前的结构性体的

发展阶段,这意味着,从认识上产生了飞跃.不管是土体宏观上的分布,还是微观上的特点都具有结构的复杂性特征,因而,基于土体介质结构的复杂性特点建立土力学理论是一种必然.过去土力学研究的基础依托是弹性力学、塑性力学或弹塑性力学,现今可能尚需要结合以研究系统的复杂性特征为特点的非线性科学理论,也许,以土体的结构研究为出发点,在土力学与非线性科学的交叉中会取得许多令人满意的结果.至少,这方面值得尝试和探索.作者设想,这样的研究对于推进土力学的学科进程,具有十分重要的意义.其次,今后的研究中应同时重视发展应用土力学和环境土力学.因为,当今的建设规模迅速,遇到的工程实践问题繁多,但理论研究与实践需求之间的距离太大,众所周知,工程设计中在参数的取值、模型的选取、方案的确定等方面大多数情况下需要更多地依赖于专家的丰富积累和经验判断.此外,由于建筑场地条件日趋复杂,土体工程中越来越多地涉及到环境问题,即工程建筑与周边环境的相互作用与影响,例如由于施工对周围环境中地下水造成的污染、周边建筑物地面的下沉、开裂、建筑物本身的变形破坏等,施工引起的噪音、振动、灾害等都是工程实践中提出的迫切需要研究的课题.因而,除了基于介质的结构特点进行更深层次的土力学理论研究之外,尚需要在应用土力学和环境土力学方面进行系统研究,拓展土力学的学科体系和内容.因而,土力学学科体系的构建应该由基础土力学→应用土力学→环境土力学这样的一种从理论基础—实际应用—与周边环境相互作用和影响的结构所构成,这是一个完整链条上的3个重要环节,它们构成土力学的整个学科内容和全貌.

4 讨论

(1)土体介质的复杂性特点源自于其复杂的结构特性,因而,以结构研究为突破口建立土力学变形和强度理论十分重要.但结构研究需要从大的思路上进行大调整,应脱离单变量模式的分析思想,从系统演化的整体角度出发建立结构要素之间的相互关系模型,进而,探讨结构模式与力学性质之间的关系.整个研究应包括以下4个层次.层次一:结构性差异→介质性质的不同;层次二:结构参量的量化→结构要素之间的关系建立;层次三:基于微观结构力学作用机制的土体变形和强度理论;层次四:工程

实践中的应用——地基处理措施的优化和设计、工后沉降预测等.

(2)缩短理论和实践之间的距离,完善土力学的学科内容.长期以来理论研究和实践环节衔接不良,导致科研成果的浪费和生产需求的短缺.这种状况一方面使得理论研究失去了其持续的根基,另一方面导致了实践问题的解决多是重复于低层次的水平,难以推动学科的发展,也就使得岩土工程的整体研究水平很难提高.现今认识到若能将岩土工程的理论与实践环节置于一种良性运行的轨道,则可用较小的代价取得最大的收益.在学科上可以形成基础土力学、应用土力学和环境土力学协调发展的新局面.

参考文献:

- [1] 沈珠江. 土体结构性的数学模型——21世纪土力学的核心问题[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 5~97.
- [2] 李生林, 秦素娟, 薄遵昭, 等. 中国膨胀土工程地质研究[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 171~177.
- [3] 吴义祥. 工程粘性土微观结构的定量评价[J]. 中国地质科学院院报, 1991, 23: 143~151.
- [4] Tovey N K, Krinsley D H. Mapping of the orientation of fine-grained minerals in soils and sediments[J]. Bulletin of IAEG, 1992, 46: 93~101.
- [5] Tovey N K. A digital computer technique for orientation analysis of micrographs soil fabric[J]. J of Microscopy, 1990, 120: 303~315.
- [6] Shi B, Li S L. Quantitative approach on SEM images of microstructure of clay soils[J]. Science in China (Series B), 1995, 38(6): 741~748.
- [7] 胡瑞林, 官国琳, 李向东, 等. 粘性土微观结构定量模型及其工程地质特征研究[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [8] 施斌. 粘性土微观结构简易定量分析法[J]. 水文地质工程地质, 1997, (1): 7~10.
- [9] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle-size distribution analysis and limitations[J]. Soil Sci Soc Am J, 1992, 56: 362~369.
- [10] McBrathney A B. Comments on "Fractal distribution of soil aggregate-size distribution calculated by number and mass"[J]. Soil Sci Soc Am J, 1993, 57: 1393~1394.
- [11] 谢和平. 分形几何及其在岩土力学中的应用[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(1): 14~24.
- [12] Kozak E, Pachepsky Ya A. A modified number-based method for estimating fragmentation fractal dimensions of soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1996, 60: 1291~1297.
- [13] 刘松玉, 方磊. 试论粘性土粒度分布的分形结构[J]. 工

- 程勘察, 1992, (2): 16~20.
- [14] 肖树芳. 泥化夹层的组构及强度蠕变特性[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.
- [15] Delage P, Lefebvre G. Study of the structure of a sensitive Champlain clay and of its evolution during consolidation [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1984, 21: 21~35.
- [16] Garcia-Bengochea I, Lovell C W, Altschaeffl A G. Relation between pore size distribution and permeability of silty clay [J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1979, 105(GT7): 839~856.
- [17] Griffith F J, Joshi R C. Change in pore size distribution due to consolidation of clays [J]. Geotechnique, 1989, 39(1): 159~167.
- [18] Lapiere C, Leroueil S, Locat J. Mercury intrusion and permeability of Louiseville clay [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1990, 27: 761~773.
- [19] 谭罗荣, 张梅英, 邵哲敏, 等. 灾害性膨胀土的微观结构特征及其工程性质[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(2): 48~57.
- [20] 沈珠江. 结构性粘土的非线性损伤力学模型[J]. 水利水运科学研究, 1993, (9): 247~255.
- [21] 苗天德, 王正贵. 考虑微结构失稳的湿陷性黄土变形机理[J]. 中国科学(B辑), 1990, (1): 48~57.
- [22] 胡瑞林, 官国琳, 李向东, 等. 黄土压缩变形的微结构效应[J]. 水文地质工程地质, 1998, (3): 30~34
- [23] 施斌, 王宝军, 宁义务. 各向异性粘性土蠕变的微观力学模型[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(3): 7~13.
- [24] Pierre Delage, Martine A, Cui Y J, et al. Microstructure of a compacted silt [J]. Canada Geotechnical Journal, 1996, 33: 150~158.
- [25] Nagaraj T S, Pandian N S, Narasimha Raju P S R. Compressibility behavior of soft cemented soil [J]. Geotechnique 1998, 48(2): 281~287.
- [26] 张诚厚, 袁文明, 戴济军. 软粘土与结构性及其对沉降的影响[J]. 岩土工程学报, 1995, 17(5): 25~32.
- [27] 程鉴基, 邝健政. 软弱地基中水泥类化学灌浆机理初探[J]. 岩土工程学报, 1993, 15(3): 81~86.
- [28] 周萃英, 汤连生. 岩石破裂过程的分维、自组织及其它[A]. 见: 何满潮, 蒋宇静编. 第二届中日地层环境力学会议论文集[C]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996. 132~137.
- [29] 姚振汉, 齐航, 富明慧. 蜂窝夹层壳体几何非线性分析的一种超参单元[J]. 计算力学学报, 1997, 14(增刊): 173~176.

RESEARCH INTO SOIL MASS MICROSTRUCTURE AND SOME PROGRESSES ON SOIL MECHANICS

Zhou Cuiying

(Department of Geosciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The research into soil microstructure is one of the frontal topics in the soil mass research. Such complex features as discontinuity, heterogeneity, anisotropy and uncertainty characteristics of the engineering soil mass on a macroscopic scale depend greatly on the discontinuity and uncertainty of the soil mass microstructure. In another word, the soil mass complexity is the direct actualization of the non-linearity of the soil mass microstructure and components. Therefore, the research into the soil mass microstructure and model has turned into one of the key issues. In this sense, the scientific establishment of the structural control model of the soil mass evolution, that of the soil-mass microstructural evolutionary mechanism-based soil mechanic model and the constitutive relationship are new trends of the soil mechanic theoretical development. In this paper, the progresses in the soil microstructure are first presented. The characteristics are then discussed of the soil mass microstructural evolutionary mechanism and microstructural model. Finally, a new approach is proposed to the soil mechanic theoretical modeling.

Key words: soil mass; structural control model; soil mechanics.