第7卷 第3期
1996年9月

中国地质灾害与防治学报
THE CHINESE JOURNAL OF GEOLOGICAL HAZARD AND CONTROL

Vol.7 No.3
Sep. 1996

论深圳淤泥类软土微观结构对工程性质的影响

冯晓腊

〔中国地质大学（武汉）〕

提要 本文通过采用先进的扫描电镜方法，对深圳地区淤泥类土的微观结构进行了全面、详细的研究，以此为基础，结合大量的实测指标和试验结果，阐述了淤泥类软土的微观结构对其工程性质的重要影响，合理地解释了室内试验过程中观测到的一些异常现象。

关键词 淤泥类土 微观结构 扫描电镜 聚集体

前 言

所谓微观结构是指土体内土颗粒的大小、形状、表面特征，颗粒之间的连结方式及排列方式。

在外界环境条件影响下，淤泥所表现出的各种特性，都是其内在微观结构发生变化的外在反映，故微观结构对土的性质的变化起着重要的决定作用，采用现代先进的扫描电镜技术研究成果表明，深圳地区淤泥的微观结构是复杂多变的，下面分别从几个方面对其进行论述。

一、土中颗粒种类及其特征

在深圳淤泥中，存在着大量的粘土矿物颗粒、粉粒、砂粒，矿物晶体及它们的集合体，同时还有较多的生物残骸。由于这些粒状物在淤泥中的大小、形状和含量各不相同，使得它们对土的性质的影响程度也不相同。

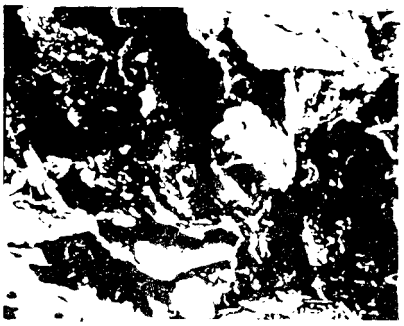
1. 粘土矿物及其聚集体

从前面的介绍可知，粘土矿物成分主要是高岭石，其次是伊利石，蒙脱石，绿泥石，通过对大量扫描电镜照片总结得知，高岭石单晶形态为六边形薄片状，集合体常见的有书卷状、蠕虫状，杂乱堆积等；单晶的蒙脱石形态为薄片状，集合体呈絮状，花朵状，羽毛状；伊利石单晶为弯曲薄片状，集合体呈片状排列或小片杂乱堆积；绿泥石单晶为叶片状，集合体呈花朵状，常与微球状黄铁矿共生，粘土矿物单独出现的不多。一般都是由几个粘粒组成微聚集体，构成淤泥微观结构的基本单元。如照片（Pt1）所示，并以面-面，面-边等形式接触，微聚集体还可以进一步凝聚成更大的颗粒，构成二级结构单元。

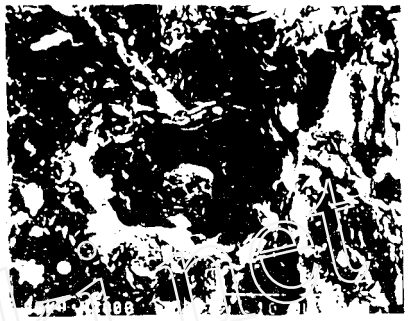
2. 微晶体及其集合体

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

扫描电镜照片表明，淤泥中存在着两种不同的微晶体：一种是食盐晶体，这类晶体有的粘附在粘粒表面上，(照片 2)；有的充填在孔隙之中；有的组成较大的团聚体。该种晶体的晶形不完整，表面有溶孔，溶穴，晶体大小不等，另一种晶体是黄铁矿微晶，单个微晶呈八面体，立方体。它们很少以单粒存在，一般聚集成球状团粒分布于大孔隙之中或粘粒之上，有的球粒内还穿插有棒状，针状粘土矿物（照片 3)。

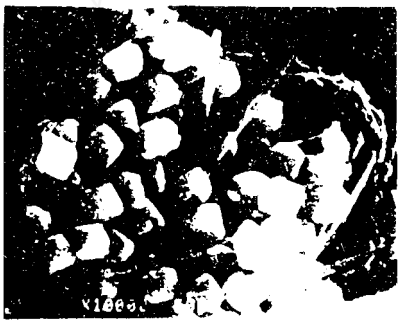


照片 1　聚集体之间的接触关系
×6500（原状样）

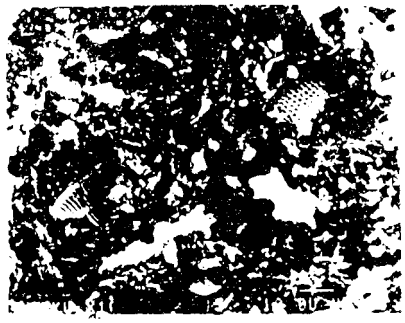


照片 2　孔隙中的食盐微晶
×3000（原状样）

除此之外，淤泥中还存在有一定数量的粉粒及生物残骸和硅藻土（照片 4)，它们的存在对土的压缩性、渗透性、孔隙性等均将产生重要的影响，详细的分析见后文。



照片 3　针状、棒状粘土矿物
×10000（原状样)



照片 4　网眼状、隔板状生物残骸
×1000（原状样)

二、淤泥中的孔隙特征

高孔隙性是淤泥类土的一个重要结构特征，它直接决定了土体的压缩性，渗透固结特性，同时，孔隙的种类，大小和形状不同，对这些性质的影响程度也不同。根据土体中孔隙的存在方式和所起的作用，可将土中孔隙划分成如图 1 所示的三种类型。

1. 孤立孔隙

孤立孔隙的直径较大，常大于粘粒直径，在土中分布不连续，呈园形和横向或纵向展布的椭园形。这类孔隙主要存在于二级凝聚体内，数量不多，由于它们孤立存在，无连通

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性或连通性极差，故对渗透性的影响甚微，但对土的孔隙性，压缩性影响较大。如果这类孔隙的数量较多，则整个土体会表现出高压缩性，低渗透性的特征。

2. 粒间孔隙

粒间孔隙存在于粒状集合体和粘粒组成的微集合体之间，分布甚广，数量较多，连通性也较好，形状各种各样，其中呈椭园形的较多，孔隙的大小主要取决于粒间接触方式。由于这类孔隙在土体中所占的比例较大，它对淤泥的孔隙性、压缩性、渗透固结特性等起着至关重要的作用。

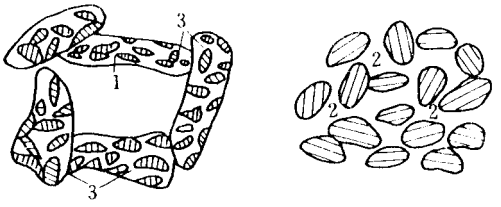


图 1　土的孔隙类型

Fig. 1　Types of pore in soil

1. 孤立孔隙; 2. 聚集体间孔隙; 3. 聚集体内孔隙

3. 粒内孔隙

粒内孔隙主要存在于粒状集合体和微聚集体内，这类孔隙较小，数量较多。由于它存在于集合体内，即使在单个集合体内孔隙的连通性较好，整体连通性仍较差，故这类孔隙是间接相通的，只有当外加荷载较大时，才会对土的性质产生一定的影响。

三、颗粒骨架之间的连结特征

颗粒骨架是存在于土体之中的，在外力作用下能够传递应力的土颗粒，这些颗粒大小相差可以较大，有的是碎屑颗粒；有的是微碎屑集合体；有的是由粘粒组成的微集合体，颗粒骨架之间的连结主要是指它们之间的接触方式和介质。这种连结关系对粘土的强度和变形起着决定性作用，在深圳地区淤泥中，主要存在以下连结类型。

1. 盐晶体胶结连结

如扫描电镜照片所示，在海相淤泥中，盐液的含量是较高的，随着盐液浓度的提高，盐晶体便结晶析出。有的粘附于颗粒表面，有的充填于孔隙之中，从而起胶结连结作用。

2. 粘粒连结

这类连结作用出现在两个表面粘附的粘粒的粉粒或砂粒之间，当粒状集合体彼此接触时，粘粒便起胶结作用，而且胶结强度一般较高。

3. 接触连结

这类连结常出现在粒状集合体和粘粒组成的微聚集体之间，大的聚集体之间因存在一定的距离而彼此分离，小的聚集体则充填其间起胶结作用，而使大聚集体间接相连，这类连结作用的强度一般较低，在外力作用下会表现出明显的蠕变性。

四、微观结构的类型及特点

通过对二十个试样进行详细的扫描电镜观察，可以总结出深圳淤泥具有以下几种主要的微观结构。

1. 蜂窝状结构（照片 5）

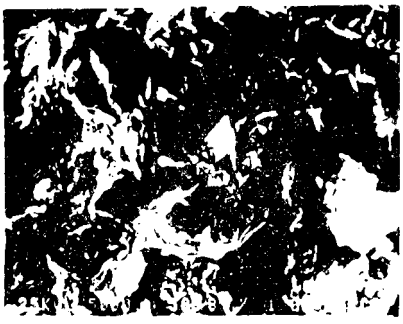
该类结构的特点是土中存在有开放性的蜂窝状孔隙，孔隙壁由按面-面，面-边相互作用的微聚集体构成。其中弯曲的聚集体常常彼此覆盖，形成此种结构的单个蜂窝。粉粒在其

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

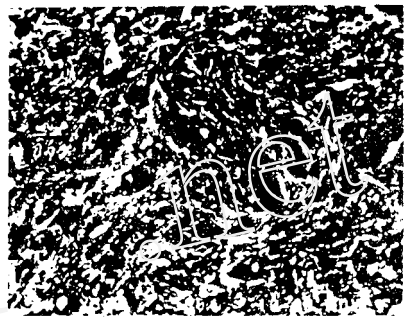
中均匀地分布，彼此不直接接触。另外，结构中还夹有相当数量的未分解的有机残骸和硅藻土，结构单元无定向性，孔隙类型主要是粒间孔隙，外形有的呈园形，直径 3—7 μm；有的呈椭园形，长轴 5—15 μm，有的呈楔形，粒内孔隙不发育。

2. 紊流状结构（照片 6）

在这类结构中，微聚集体紧紧地绕流过粉粒，砂粒及孔隙壁，从而在总的背景上形成局部的涡流，粘粒微聚集体之间按面-面，少数按面-边相互作用，孔隙主要为分布不均匀的粒间孔隙，形状一般呈拉长形。



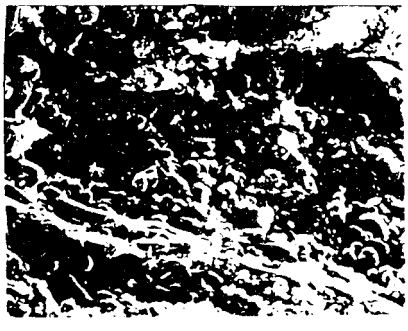
照片 5　蜂窝状结构
×5000（原状样）



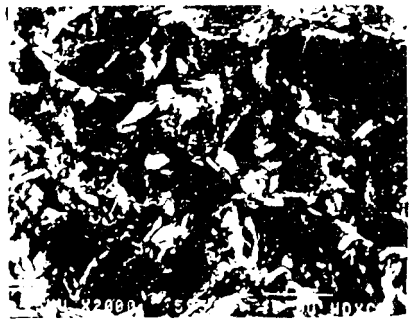
照片 6　紊流状结构
×500（原状样）

3. 草霉状结构（照片 7）

众多的黄铁矿微晶体的球状集合体和食盐微晶及椭球状集合体充填于孔隙中或分布于粘粒之上，这些团粒外观上象草霉，由此而得名，黄铁矿微晶集合体的直径约为 6.5 μm，单个微晶大小为 1 μm，有的呈八面体，有的呈立方体；有的球粒表面还附有小的团粒，食盐微晶体大小不等，一般在 1—5 μm 之间，晶体表面有溶蚀现象。有时等大小的一些微晶充填在孔隙之中，该结构中的孔隙主要是粒间孔隙，粒内孔隙也较发育，孔隙形状极不规则。



照片 7　草霉状结构
×500（原状样）



照片 8　粒状胶结结构
×2000（P= |kg|cm^2）

4. 粒状胶结结构（照片 8）

在这类结构中，粒状集合体彼此相互接触，集合体主要由粉粒组成，部分为砂粒，有的集合体表面上粘附有小片状粘土矿物，外形有的呈园形，直径 2—10 μm；有的呈椭园形，

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

长轴 5.5 μm，短轴 3.7 μm，孔隙主要是粒间孔隙和粒内孔隙。

除了上述各种类型的微观结构之外，还可见到其他一些微结构类型，如树枝状，波纹状等，只是这类结构所占比例较小，故不详细论述之。

五、微观结构对淤泥类土工程性质的影响

在深圳地区的许多工程中，对淤泥类土做了大量的常规试验，其中包括容量、含水量、比重、颗分、液塑限、渗透、压缩、直剪等。对大量测试资料进行统计后，得出了一些与理论规律不一致的结论，起先将这些归咎于试验误差，通过对淤泥土微观结构进行详细研究，基本上查明了问题的实质。

1. 测试指标的异常性

将钻孔中的土样取出后，按试验规程测其天然含水量、容重、比重等，结果表明，平行测定中的误差根本不能满足试验的要求，有的含水量相差达 10%，有的容重相差达 0.1 g/cm^3，比重相差达 0.14，这种现象频频出现，不能不从内部寻找原因。

已经提及，在试验淤泥中存在众多种类的微观结构，不同大小和性质的颗粒及其聚集体不均匀地分布在淤泥之中，从而使土样在横向和垂向上表现出明显的不均匀性，局部地方只会以其中某一种或两种结构类型为主。如对于以蜂窝型为主的饱和土体，孔隙多而大，对其测出的含水量大，容重低，因其以粘土矿物为主，故比重也相对较小；对于以草霉状或粒状胶结结构为主的土体，孔隙一般相对较少，即使孔隙大，含水量高，但由于黄铁矿，碎屑颗粒本身的比重较大，即此类土样的容重，比重仍会较高。如果这两种情况分别存在于平行测定的土体之中，无疑会出现上述结果。对于不均匀的试样，出现上述情况的概率是相当高的。另一种实测现象也能从侧面说明这点，对两个含水量相同的试样进行常规压缩试验，容重相差仅 0.01 g/cm^3，其中一个试样受 200 KPa 的荷载；另一个受 300 KPa 外力作用，实测结果表明，它们的最终压缩量几乎相等。

2. 微观结构对土体各向异性的影响

为了客观地反映深圳地区淤泥类土的各向异性特征，分别沿试样的垂直方向和水平方向切样，进行了大量的压缩性、渗透性和固结系数的测定，对 300 组试样统计结果表明，渗透试验中，有 40% 垂向上渗透系数（K_v）大于水平方向上渗透系数（K_h）；45% 垂向上压缩系数（a_v）小于水平压缩系数；45% 垂直固结系数大于水平固结系数，对于这种新近沉积的土层，一般的规律应该是：K_h 大于 K_v，C_h 大于 C_v，a_v 小于 a_h，如何解释这些异常结果，在详细了解了淤泥的微观结构的基础之上，不难作出以下设想，对于以草霉状结构为主的土体，由于团粒本身的强度较高，在外力作用下，尽管粒间孔隙较大，但也难以压缩，其结果会表现出高渗透性，低压缩性。如果土体中分布有较多的孤立孔隙，在外力作用下，定会表现出高压缩性，低渗透性特性，以粒间孔隙为主的土体同时表现出高孔隙性，高压缩性，相对的高渗透性，固结系数也相对较高，由此可见，上述各种不同情况的排列组合，就会导致土体表现出不同的异常规律。

3. 微观结构对土体渗流规律的影响

与土体中的孔隙存在方式和类型相对应，粘粒和团聚体间存在着三种形式的水（如图 2 所示），a. 粘粒或团聚体接触部位的水；b. 团聚体内孔隙中的水；c. 团聚体间孔隙中的水。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

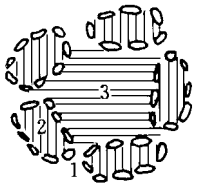


图 2　粘土孔隙中的水的类型

ig. 2　Water type in pores of cohesive soil

1. 粒间触点水; 2. 聚集体内孔隙水; 3. 聚集体间孔隙水

在一般情况下, 第一种水主要为结合水; 第二种水可能全部, 也可能部分为结合水; 第三种水, 其边缘部分为结合水, 中心部分为自由水, 两者之间的比例取决于孔隙的大小。

在同一粘性土中, 这三部分水既有联系, 又有区别。聚集体之间的孔隙水相互沟通, 对水压的反映最为直接、灵敏, 触点水是互不联系或局部发生联系的, 它对荷载的反应最为直接, 对水压的反应则较为间接; 集合体中孔隙水以每个集合体为单元构成统一的水力系统, 并通过集合体间孔隙水这个媒介而与相邻集合体中孔隙水保持间接联系。

对于定向程度较低的饱和淤泥, 含水量较高, 粘粒或团聚体间孔隙水厚度大, 抗剪强度低, 在水头差的作用下, 流动的水会带动连结松散的颗粒, 使其排列更趋紧密, 孔隙比减小, 孔隙连通性发生变化, 随着时间的延续, 渗透性逐渐降低, 但与一定的水力坡度相对应, 孔隙比的减小会逐渐趋于稳定, 渗透系数趋于一个常数, 从而使土体的渗流速度 (V) 与水力坡度 (I) 的关系曲线呈下弯形式 (图 3)。

对于定向程度中等的饱和淤泥, 施加某一水头后, 集合体间孔隙水压力迅速升高, 集合体内的孔隙水压力则尚未来得及调整, 从而使两个水力系统间形成压力差, 导致集合体压缩, 从而扩大渗透通道, 随着水头的加大, 集合体继续压缩, 渗透通道继续扩大, 当它压缩到一定程度后, 即使水头继续上升, 也不会产生较大变化, 最终的 V—I 关系曲线呈上弯形式。

对于定向程度高的淤泥, 触点水抗剪强度高, 集合体的压缩已达到或接近极限状态, 在水头差的作用下, 孔隙大小及连通性很少发生变化, V—I 多呈直线形式, 图 3 清楚地反映了上述规律的合理性。

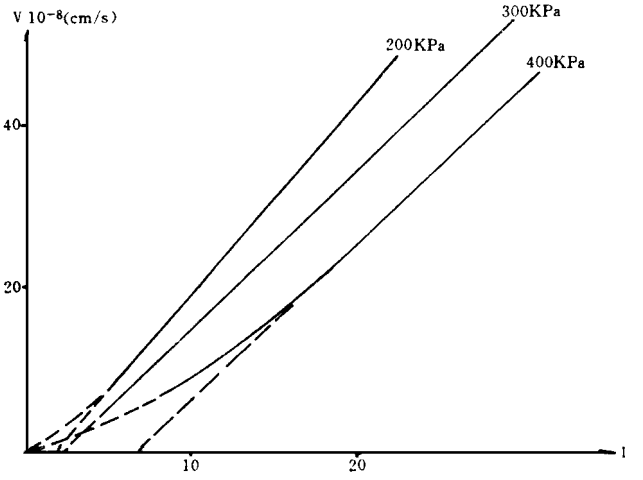


图 3　不同压密度土的 V—I 关系曲线

Fig. 3　Relationship curves between V and I of different compacted soil

参 考 文 献

〔1〕 〔苏〕 В· И· 奥西波夫, 粘土类土和岩石的强度与变形性能的本质, 地质出版社, 1985, 9

〔2〕 李生林等编译, 土中结合水译文集, 地质出版社, 1982. 2

〔3〕 范恩锟等, 饱和软粘土不同形态水的划分, 1987

〔4〕 高国瑞, 近代土质学, 东南大学出版社, 1990. 2

〔5〕 Harold W. Olsen, Darcy's Law in saturated kaolinite, water Resource Research, 1966

〔6〕 E. C. Childs, Darcy's law at small potential gradient, Journal of soil science Vol. 22, No. 3, 1971

〔7〕 G. Y. Tsu J I, R. T. Watanabe and W. S. Sakai, Influence of soil microstructure on water charateristics of selected Hawaiian soil. 1976

(下转第 33 页)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[10] Hake, G., Krtographie, Ⅱ, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1985

PHOTOMAP-BASED THEMATIC CARTOGRAPHY FOR SEISMIC HAZARDS

Wang Dan Ding Jun

(*Remote Sensing & Cartography Center, Ministry of Construction, Beijing*)

Abstract

Thematic map for seismic hazards is one of the results representations of seismic hazards research and analysis. It consists of the base map and thematic elements. The contents selection of the base map and its match with the thematic elements will affect on the visual sense responses and cartographic communications of thematic map. Based on the analysis of existing methods of thematic cartography, this paper puts forward the concept of photomap-based thematic cartography, and discusses its characteristics, technical aspects and implementations. The application to the thematic cartography for seicmic hazards is also given.

Key words: seismic hazards, thematic cartography, photomap, thematic photomap

(上接第 39 页)

INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE OF MUD AND MUDDY SOIL IN SHENZHEN REGION ON ITS ENGINEERING PROPERTIES

Feng Xiaola

〔(*China University of Geosciences (Wuhan)*)〕

Abstract

Microstructure of mud and muddy soil in Shenzhen region has been studied in detail using advanced scanning electronmicroscopic method. Important influence of microstructure of mud on its engineering properties has been discussed in this paper, combing with a great deal of testing data. Some abnormal phenomena occured in test has been explained rationaly.

Key words: muddy soil, microstructure, scanning electronmicroscope, aggregates

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net