

珠江三角洲软土分布及其结构类型划分^{*}

周翠英, 牟春梅

(中山大学应用力学与工程系 // 地下工程与信息技术研究中心, 广东 广州 510275)

摘要: 珠江三角洲是指珠江出口所在的平原地区。该地区分布着大量的第四系软土层, 该软土层为各种建筑工程的潜在病害层, 给工程建设带来了极为不利的影响。根据已有的钻孔资料, 对珠江三角洲海相沉积软土的分布范围进行了探讨, 并按天然含水量和孔隙比进行了软土分区, 分为2个大区和3个亚区。并对该区具有代表性的软土的微结构特征进行了分析和研究, 包括野外采取原状土样、室内制备样品、电镜扫描、图像处理以及提取基本结构形态参数和分析观察结构面的基本特征等。旨在获取珠江三角洲海相沉积软土的微结构类型和特征, 为软土的变形和破坏研究提供基础, 为珠江三角洲地区海相沉积软土区的工程建设提供宏观参考。

关键词: 珠江三角洲; 软土; 分布; 分区; 结构类型划分

中图分类号: TU41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 06-0081-04

珠江三角洲是我国四大三角洲之一, 面积 $8\,601.1\text{ km}^2$, 在世界三角洲中排第十五位^[1-9]。珠江三角洲地区包含了两层海相淤泥层, 通常称为软粘土, 其天然含水量大 ($W_0 = 70\% \sim 100\%$)、压缩性高 ($a_v = 1 \sim 2\text{ MPa}^{-1}$)、孔隙比大 ($e = 1.5 \sim 2.3$)、抗剪强度低 (十字板强度 $8 \sim 12\text{ kPa}$)、承载力低呈流塑—软塑状态。它多在静水或缓慢的流水环境中沉积, 经生物、化学作用形成本研究所指的软土就是指该地区的海积软粘土, 包括: 淤泥、淤泥质土。其厚度为几米至几十米不等, 最厚可达 50 m , 它们的性质软弱, 对工程建设构成了十分不利的影响。本文首先总结了珠江三角洲地区软土的分布特点, 通过开展采取原状土样、测试和试验以及室内电镜扫描和提取结构参数等工作, 旨在获得软土的微结构类型和特征, 为软土变形破坏研究提供基础, 为珠江三角洲地区工程建设提供参考。

1 软土的分布及分区

按照文献 [1], 珠江三角洲是由3次海退和3次海侵的3次旋回6个阶段形成的, 三角洲的软土是由3次海侵形成的。西、北江三角洲为粉细砂和3次海退的浅风化粘土, 接近中部地区的佛山一带则是连续沉积的淤泥; 东江三角洲全是陆相堆积物或风化粘土, 仅在虎门及伶仃洋有连续沉积的淤

泥。这说明以河流 (西、北江、东江) 冲积为主的地区是粉砂质粘土, 而珠江三角洲海相沉积的软土主要集中在三角洲的中部一带, 图1是该软土的分布图。根据海相沉积软土天然含水量的分布特征, 可将其分为两个大区 (图1)。

I 区: 天然含水量 $W = 70\% \sim 85\%$, 主要分布在海积软土所在区的中部一带, 所经过的城市主要有广州、佛山、顺德、中山、斗门和珠海等城市;

II 区: 天然含水量 $W > 85\%$, 主要分布在海积软土所在区的潭江流域一带, 经过的主要县市为台山、江门和新会等。

I 区根据孔隙比的分布特征又分为3个亚区: I₁ 区—孔隙比为 $e = 1.5 \sim 1.8$, 主要分布在北部一带, 经过的城市主要有广州、佛山和顺德; I₂ 区—孔隙比为 $e = 1.8 \sim 2.2$, 主要分布在中部, 经过的城镇主要有番禺、小榄、中山和虎门等; I₃ 区—孔隙比为 $e = 2.2 \sim 2.6$, 主要分布在海积软土所在区的南部, 主要为丘陵台地, 经过的城市主要是珠海、深圳和斗门等。II 区没有进行亚区的划分, 因为软土初始孔隙比的分布特征变化不大。

珠江三角洲软土高含水量、高孔隙比、低强度等特征, 从根本上来讲是由其结构类型所决定的, 因而, 在软土分区的基础上, 本文将对其结构类型进行探讨。

^{*} 收稿日期: 2004-08-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59809008); 广东省自然科学基金重点资助项目 (980274); 广东省重大科技攻关十五专项资助项目 (2001B30903); 东深供水改造工程指挥部资助项目 (DSG2-KJ-042, DSG2-K1-043)

作者简介: 周翠英 (1963年生), 女, 教授, 博士生导师; E-mail: eeszy@zsu.edu.cn



图 1 珠江三角洲海积软土的分布及分区图

Fig 1 Distribution and division of soft clay in Pearl River Delta area

2 软土结构类型的划分

2.1 结构类型划分的基本要素

土体微结构是指土体颗粒及孔隙的排列、形状、接触关系的组合形式。主要内容包括以下 4 个方面：①单元体特征：包括结构单元体的物质组成、大小、形状、表面特征等；②颗粒的排列特征：主要反映结构单元体之间的空间关系；③孔隙性：包括孔隙的大小、形状、数量以及连通性等方面；④结构连接：主要指结构单元体之间的相互作用或结合的性质（见表 1）。

2.2 海积软土天然状态下微观结构类型

研究表明^[7-8]：珠江三角洲海积软土以高孔隙性和结构连接、排列（粘土矿物之间的连结、粘粒与粉粒之间的连接和排列）为主要特征。本文在比

较分析了珠江三角洲代表性地区的海积软土天然状态下的上千幅结构照片后，通过归类、筛选将其在天然状态下的微观结构划分为以下 5 种类型：

2.2.1 蜂窝状结构 在连续沉积或堆积情况下，形成的一种多孔、貌似蜂窝的结构。颗粒接触关系以面一面为主，粘粒粒径为 1~2 μm，粘粒含量高，大于 25%。结构疏松，孔隙率高，可达 60%~90%，天然含水量常超过液限（见图 2）。

2.2.2 海绵状结构 粘粒形成的聚集体，以面一面、边一边的接触方式，形成细小而多孔的网状结构。孔隙较均匀地散布在集合体之间，粘粒含量高，大于 30%，结构疏松，强度低（见图 3）。

2.2.3 骨架状结构 粘粒含量高，粉粒含量较低。以粉粒为骨架，构成松散而均匀的多骨架结构，粘粒不均匀地呈薄膜状覆于颗粒表面或在粉粒之间，

表 1 结构类型划分原则与方法（据高国瑞等^[6]修改）

Tah 1 Principle and method of classification of structural style

土类	结构要素			结构单元名称或结构类型	一般工程地质特性
	基本单元	排列	连接		
粘性土	粒状(碎屑、集粒)	镶嵌	接触	“粒状、镶嵌接触”结构	密实的轻亚粘土
	粒状(碎屑、凝聚)	开放镶嵌	胶结	“粒状、开放—镶嵌胶结”结构	亚粘土
	凝块(集粒、凝聚、碎屑)	镶嵌	胶结	“凝块、镶嵌、粘胶基质”结构	粘土
软土	絮状(微密凝聚体)	镶嵌	粘胶基质	“絮状、镶嵌、粘胶基质”结构	灵敏粘土
	粒状(碎屑、集粒、凝聚体)	开放	链接	“粒状、开放、链接”结构	淤泥质亚粘土
	絮状(开放、絮凝体)	开放	长链连结	“絮状、开放、链接”结构	淤泥质粘土

起连结作用，孔隙率高（见图 4）。



图 2 蜂窝状结构（珠海）

Fig 2 Honeycomb structure (from Zhuhai)

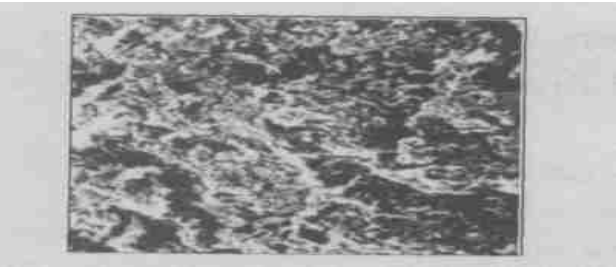


图 3 海绵状结构（广州）

Fig 3 Sponge structure (from Guangzhou)



图 4 骨架状结构（深圳）

Fig 4 Framework structure (from Shenzhen)

2.2.4 絮状结构 在珠三角淤泥中发现的一种比较特殊的结构。此种结构的粘粒含量大，粘粒之间以面—面接触，粘土矿物以高岭石为主。粘粒层叠成长絮状集合体，具成层性，粉粒独立地散布在集合体周边。孔隙率大，可达 50%~60%。其间的裂隙分布于长絮状集合体间，不均匀（见图 5）。

2.2.5 凝块状结构 粘粒组成的微集合体集成粒径大于 30 μm 的团块，粒径之间的接触以面—面为主，粉粒含量较少，散布于团块表面或在团块之间，起连结作用，常有贯通各团块之间的无定向裂隙发育。结构比蜂窝状稍密，见图 6。

3 结论与讨论

(1) 本文对珠江三角洲海相沉积软土的分布范



图 5 天然絮状结构（番禺）

Fig 5 Wadding structure (from Panyu)

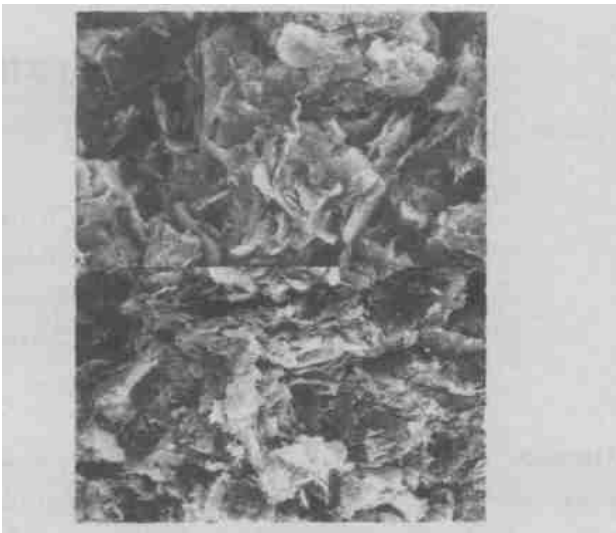


图 6 凝块状结构（佛山）

Fig 6 Clot structure (from Foshan)

围进行了探讨，并根据天然含水量和初始孔隙比进行了分区，共分为两个大区 and 三个亚区。

(2) 对珠江三角洲海相沉积的具有代表性的软土，进行室内电镜扫描，获取土样图片，进行图像处理、提取微结构参数和分析微结构特征，得到珠江三角洲海相沉积软土的微结构类型为蜂窝状、海绵状、骨架状、絮状和凝块状等 5 种。通过对珠江三角洲海相沉积软土分布和微观结构类型的研究，有助于在该地区进行工程建设时，对软土进行合理利用和有效处理，为工程规划、设计以及地基处理等提供一定的参考。

(3) 本文对海相沉积软土微结构类型的划分，只是从珠江三角洲的海相沉积软土分布所在区内，选具有代表性的地区，取原状软土样进行电镜扫描处理后得到的，并没有在珠江三角洲所覆盖的 16 个市县全部进行取样分析。随着今后资料的积累，微结构类型的划分工作有待于进一步完善。

参考文献:

[1] 黄镇国, 李平日, 张仲英, 等. 珠江三角洲形成发育演变[M]. 广州: 科学普及出版社广州分社, 1982.

[2] 黄镇国, 张伟强, 等. 珠江三角洲海平面上升对堤围防御能力的影响[J]. 地理学报, 1999, 54(6): 225— 232

[3] 乔纪纲, 黄镇国, 黄光庆. 珠江三角洲软土层 DTM 的初步研究[J]. 佛山科学技术学院学报, 2002, 20(4): 47— 52.

[4] 黄镇国. 珠江三角洲生物埋葬群与环境变迁[J]. 地理学报, 1995, 7(4): 312— 322.

[5] 周翠英. 土体微观结构研究与土力学的发展方向——若干进展与思考[J]. 地球科学, 2000, 25(2): 215— 218.

[6] 高国瑞. 近代土质学[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990.

[7] 魏清泉. 珠江三角洲经济区城市发展研究[J]. 地域研究与开发, 1997, 16(2): 34— 36.

[8] 杨培星, 龚惠军. 广东水利水电建设中的环境地质问题探讨[J]. 人民珠江, 1998(5): 14— 16.

Distribution and Microstructure Classification of
Soft Clay in the Pearl River Delta

ZHOU Cui ying, MU Chun mei

(Department of Applied Mechanics and Engineering
//Research Centre of Underground Engineering and Information Technology,
Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The Pearl River Delta is the plain area of the Pearl River's exit part on which soft clays are widely distributed; generally, they have a great potential danger to engineering construction. Firstly, the distributing area of marine soft clays in the Pearl River Delta area is discussed according to the present bore data, and the total area is divided into two big areas according to their natural water content and three sub areas in terms of their natural void ratio. Secondly, more attention is paid to their microstructures for the representative soft clays in the discussed area that include sampling *in situ*, taking pictures by SEM, processing pictures by photoshop and obtaining their basic characteristic parameters as well as analyzing the features of structural surfaces. The aim is to give the classification of microstructures and obtain their characters of marine soft clays in the Pearl River Delta area, moreover, provide a basic background for the research of deformation and failure mechanism of soft clays; otherwise, give a good reference for design and construction of engineering in Pearl River Delta area.

Key words: the Pearl River Delta; soft clay; distribution; division; classification of microstructures