福州市区软土基本性质的研究

林 琛*
(福建省交通规划设计院，福州，350004)

摘 要 对福州市区软土的化学成分、矿物成分、易溶盐、粒度成分以及微结构进行了研究，阐述了软土基本性质可能对软土的工程地质特征产生的影响。

关键词 软土 成分 微结构 工程地质特征

1 引言

软土基本性质包括软土化学成分、矿物成分、易溶盐成分、粒度成分及结构。软土基本性质决定了软土的工程地质特征。笔者试图通过对福州市区软土基本性质研究了解软土的内在特性，为今后寻找处理软基的有效且经济适用的办法提供依据。

福州市区软土主要为全新世地层，成因类型由海相沉积；厚度大，可达 39.90 m，为深灰色，富含腐植质。

2 软土的物质成分

2.1 化学成分

根据电镜—能谱分析和化学分析取得的软土化学成分见表 1。

表 1 福州市区部分软土化学成分（%）

Table 1 Chemical composition of some soft soils in Fuzhou City

项目 / 取样地点	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3
马 尾①	4.38	27.90	42.43	4.02	2.35	0.82	10.31
茶亭公园②	2.21	33.12	47.22	2.74	0.00	0.50	5.20
	4.20	32.10	39.54	3.72	0.00	0.33	15.47
	0.00	24.30	58.78	3.14	0.46	0.00	1.59
铁道大厦③	—	21.81	54.48	2.44	—	0.82	7.02
	—	20.26	56.11	2.42	—	0.79	6.40

注：①、②为电镜—能谱分析；③为化学分析。

软土化学成分以 Al_2O_3、SiO_2 为主，Fe_2O_3 含量相对较少，此外，还含少量 TiO_2、CaO、K_2O、MgO 等。根据上述化学成分含量计算硅铝率为 1.6～3.9，说明软土中伊利石、高岭石、

* 林琛，女，1966 年生，工程师，工程地质专业。
2000 年 6 月 1 日收稿

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

蒙脱石粘土矿物同时存在，而 K_2O 量可作为水云母存在的标志，蒙脱石的存在使软土中MgO含量增高，绿泥石使铁含量增高。根据化学成分初步断定，软土中以伊利石、高岭石为主，含少量蒙脱石、绿泥石、水云母。

2.2 矿物成分

根据扫描电镜-能谱分析和X射线衍射法进行软土矿物定量、半定量测定，其中X射线衍射图谱见图1、图2，测定计算结果见表2、表3。

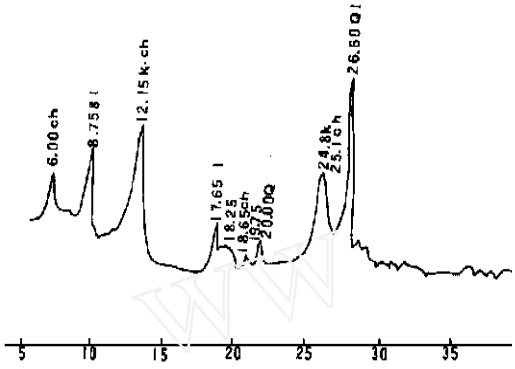


图1 福州茶亭公园南样品X射线衍射图谱

Fig. 1 Diagram showing the X-diffraction curves of the soft soils from Chating Park of Fuzhou City

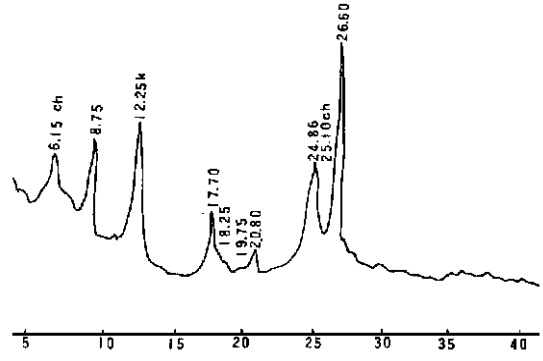


图2 马尾样品X射线衍射图谱

Fig 2 Diagram showing the X-diffraction curves of the soft soils from Mawei, Fuzhou City

表2 电镜-能谱分析软土中矿物成分 (%)

Table 2 Mineral volume obtained by an electron microscope and spectrum analyzer

矿物 / 地点	伊利石	高岭石	蒙脱石	长石	石英	绿泥石	硅藻	黄铁矿
马尾	55	10	1	10	5	10	15	—
茶亭公园	50	10	5	—	5	10	20	2
	50	15	2	4	5	10	10	4
	50	10	5	5	10	10	5	2～5

表3 X射线法分析软土中矿物成分 (%)

Table 3 Mineral composition of the soft soils by the X-analysis

矿物 / 地点	伊利石	高岭石	蒙脱石	绿泥石	石英
马尾	55	20	5	15	5
茶亭	55	20	5	15	5
	55	20	5	15	5
	55	20	5	15	10

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粘土矿物以伊利石为主，含量大于 50%，其次为高岭石及绿泥石，含量为 10%～20%，此外含有少量硅藻、长石、黄铁矿及蒙脱石等。总之，福州市区软土矿物组分以伊利石为主，工程性能中等，较之以蒙脱石为主的软土性能好。该区有机质硅藻含量总体上较高，最高可达 20%。土中含 1% 腐植质相当于 1.5% 的粘粒作用。土中硅藻等有机质作用，进一步降低了淤泥软土的工程地质性能。蒙脱石具很强的膨胀性，该区蒙脱石含量约 5%，故软土本身具一定程度的膨胀性。

2.3 软土易溶盐成分

软土易溶盐总量为 0.133%～1.542%，属弱—中盐渍土，以 Na_2SO_4 及 NaCl 为主（表 4），反映该区淤泥一般具有较厚扩散层，并有分散程度大，可塑性大，透水性能差，压缩性大，抗剪强度低等特点。淤泥 pH 值 2.90～7.45，呈酸性或中性。从表 4 中可知，淤泥中硫酸盐含量较高，如 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$、$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 等吸水时体积增大，脱水时体积缩小，且硫酸盐的这种胀缩现象常随温度而变化。

软土中 Ca^{2+}、SO^{2-}、Na^+、Cl^- 含量较高，故在地基处理中可利用这一特性，将较稀的硅酸钠溶液（浓度为 10%～15%）压入土中，与土中 $CaSO_4$、NaCl 产生反应:

$$Na_2O \cdot nSiO_2 + CaSO_4 + NaCl + mH_2O \rightarrow nSiO_2(m-1)H_2O + Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + NaCl$$

以上反应结果消耗土中水产生的凝胶或结晶，使淤泥土胶结成具有较高的强度和抗水性，大大提高淤泥土的工程地质性能。

表 4 福州市区软土易溶岩量分析结果（$\times 10^{-6}$）

Table 4 Analysis results of dissoluble rocks of the soft soils in Fuzhou City

成分 / 地点	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NH^+	NO_3^-	总量 (‰)	pH
福州机械研究所	189	122.8	507.0	368.4	28.4	3174.8	—	—	< 1.0	4.22	< 4.00
	11.9	42.9	853.7	732.0	35.5	8957.6	—	—	< 1.0	10.65	< 4.00
	23.4	124.6	124.2	31.6	85.1	805.9	—	—	< 1.0	1.33	5.10
福州横街	1014.3		571.1	1751.0	92.2	10278.4	—	—	—	13.79	0.009
	1794.0		350.7	1141.8	49.6	9029.6	—	—	—	12.51	0.005
	347.3		48.1	62.0	31.9	1018.2	30.5	—	—	1.69	0.031
	1083.3		433.9	796.5	49.6	6388.0	—	—	—	8.96	0.008
福州白湖亭	7.4	24.3	499.0	1137.0	—	12069.9	—	—	—	15.42	< 4.2
	7.9	99.2	386.8	1124.8	—	10784.7	—	—	—	13.94	< 4.2
城门脚雷	57.3	954.7	110.2	1031.2	478.6	6066.2	30.5	—	0.9	9.01	4.40
马尾吹砂地	173.1	1234.7	256.5	493.7	1013.9	4241.0	—	—	< 1.0	7.41	< 4.0
福州国际大厦	38.9	240.7	150.6	166.2	55.9	1282.4	150.9	78.8	399.5	2.52	6.45
马尾	80.7	753.1	39.5	49.0	982.0	490.8	235.2	76.2	23.3	2.74	7.15
	154.8	1833.8	80.0	86.9	2463.1	1206.8	225.2	178.6	9.5	6.24	7.45

2.4 粒度成分

颗粒大小是决定软土性质因素之一，其粒度成分见表 5。粘土矿物活动性指数分类为高岭

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

土 0.33～0.45、伊利石 0.5～1.5、蒙脱石 1.5～7.2，与福州市区淤泥所测的活动性指数 0.56～0.90 相对比，福州市区淤泥以伊利石粘土矿物为主，这与所测得的粘土矿物成分一致。

表 5 淤泥土的粒度成分

Table 5 Composition and grain sizes of a sludge

项目 / 地点	颗粒组成 (%)				限制粒径 (d_{60})	有效粒径 (d_{10})	平均粒径 (d_{50})	不均匀系数 (d_{60}/d_{10})	活动性指数 (A)
	2～0.05	0.05～0.005	< 0.005	< 0.002					
国际大厦	1.7	38.0	60.3	38.5	0.004 9	< 0.001	0.003 7	> 4.9	0.56
马 尾	2.3	47.4	50.3	28.8	0.007 8	< 0.001	0.004 9	> 7.8	0.67
	3.9	50.6	45.5	25.8	0.009 5	< 0.001	0.006 2	> 9.5	0.78
	3.2	56.6	40.2	20.2	0.010 0	< 0.001	0.007 2	> 10.0	0.90
茶 亭	——	42.5	57.5	33.0	0.005 2	< 0.001	0.004 5	> 5.15	0.70
亭 江	——	34.0	66.0	44.0	0.001 0	< 0.001	0.002 6	> 3.90	0.57

3 软土的结构

福州市区软土一般由伊利石、高岭石等数片至数十片片状粘土矿物聚集相叠在一起构成的微结构单元，其形态多为厚片状（照片 1），大小一般在 1～10μm，微结构单元间一般呈无序排列，以面-面、边-面接触，排列不规则。这些非定向微结构粘性土的主要结构格架是絮凝结构，又可分为片堆结构（照片 1）和片架结构（照片 2），片堆结构的空隙呈不规则，大小不等，常呈拉长状，分布不均匀，空隙数量少，空隙间不连通；片架结构空隙大小及分布较均匀，空隙数量多，空隙间较为连通。

该区淤泥土中空隙间还充填一些块状，如石英、生物碎屑、长石及黄铁矿球体等（照片 3），生物碎屑呈轮胎型及峰窝型。总的来说，具絮凝结构的淤泥土，空隙数量多，但空隙小，一般 1～5μm，透水性弱，压缩性强，而絮凝结构中片架结构又比片堆结构空隙数量多，含水量大，压缩性强。



照片 1 絮凝片堆结构(能谱-电镜相，×1500)

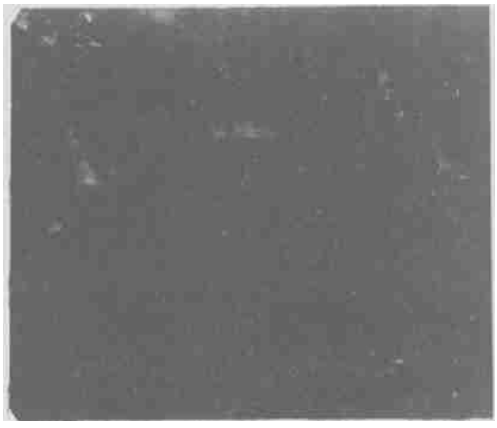
Photo 1 Flocky and book-house structure under an electron microscope and spectrum analyzer

ILL—伊利石，CHI—绿泥石，KAO—高岭石

4 软土的物理力学性质

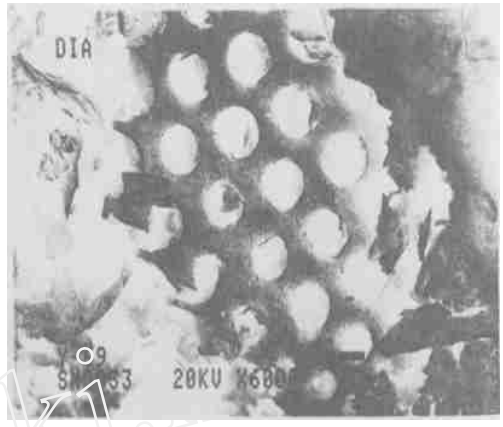
软土的粒度成分、矿物成分、化学成分及颗粒形状、排列、孔隙情况已决定了其性质具有高含水量、高空隙比、高压缩性、低强度的土体。福州市区分布二层淤泥，该次所取样品均为第一层样品，其物理力学指标见表 6。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



照片 2 絮凝片架结构 (能谱-电镜相, ×1200)

Photo 2 Flocky and card-house structure under an electron microscope and spectrum analyzer



照片 3 硅藻 (能谱-电镜相, ×5000)

Photo 3 Diatom under an electron microscope and spectrum analyzer

表 6 软土主要物理力学指标

Table 6 Main physical mechanic parameters of the soft soils in Fuzhou City

取值范围	含水量 (%)	重度 (kN/m³)	孔隙比 (e)	液限 (%)	塑限 (%)	压缩系数 (MPa⁻¹)	压缩模量 (MPa)	快剪 内摩擦角 (度)	快剪 凝聚力 kPa	样品数 (件)
最小值	46.14	14.6	1.217	40.00	26.37	0.30	0.90	0.00	0.70	
最大值	91.60	17.6	2.39	69.53	37.04	3.10	4.386	15.00	76.00	289
平均值	63.60	15.9	1.676	52.05	32.04	1.30	2.138	3.18	12.94	

由表 6 可知, 福州市区软土含水量为 46%～91.6%、孔隙比为 1.217～2.390, 含水量、空隙比是影响软土强度与变形的重要指标。软土含水量高、孔隙比大, 在荷载作用下, 土体易造成压缩变形以至破坏。许多工程问题发生是含水量高、孔隙比大、力学性质差造成的。福州市区软土总体性质极差。

5 结论

①研究区内软土化学成分以 Al_2O_3、SiO_2 为主, Fe_2O_3、TiO_2、CaO、K_2O、MgO 较少。

②软土矿物成分以伊利石为主, 含部分蒙脱石、硅藻等。其物质成分决定了软土具一定胀缩性。

③软土微结构特征为絮凝状结构, 孔隙数量多、孔径小。其决定了软土空隙比大、含水量高、压缩性强, 并具胀缩性等不良工程特性。

④在福州软土地区工程建设时, 由于软土工程问题最基本的是由软土本身孔隙多、含水

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

量大引起的。因此，首先要考虑减少空隙，降低含水量。因福州市区软土孔隙小、透水性弱，在厚层软基处理时，应增加其排水通道。

⑤软土中Ca^{2+}、SO_4^{2-}、Na^+、Cl^-含量高，在地基处理中，可利用化学方法消耗土中水，并产生凝胶或结晶，增强软土工程地质性能。

On the Basic Features of Soft Soils in Fuzhou City

Lin Chen

(*Transportation Planning and Designing Institute of Fujian Province, Fuzhou*, 350004)

Abstract

The paper focuses on the discussion of the basic features of soft soils in Fuzhou City. Based on the chemical composition and microstructures of soft soils, it is considered that the basic features of soft soils have a great effect on the characteristics of soft soil engineering geology.

Key words soft soil, composition, microstructure, engineering geology

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net