

有机质含量对软土力学性质影响效应分析

牟春梅¹, 李佰锋²

(1. 桂林工学院土木工程系, 桂林 541004; 2. 广东省冶金建筑设计研究院, 广州 510080)

摘要: 通过对软土中有机质含量及物理力学指标的分析和研究, 阐明了软土中有机质含量与物理力学参数之间的关系, 从力学角度探讨了有机质含量对软土力学效应的影响。研究表明: 随着有机质含量的增加, 软土中的含水量, 孔隙比等呈线性增加, 而软土的原状土与重塑土的十字板剪切强度、静力触探比贯入阻力、渗透系数、固结系数都是减小的。当有机质含量为 1.74% 时, 软土的物理力学性质发生变化, 力学软化效应尤为显著, 且此时软土的渗透能力达到最大。

关键词: 有机质软土; 物理力学性质; 力学效应

中图分类号: P642.11+6

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)03-0042-05

软土是指天然孔隙比大于或等于 1.0, 且天然含水量大于液限的细粒土, 包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等, 其压缩系数宜大于 0.5MPa^{-1} , 不排水抗剪强度宜小于 30kPa。绝大多数的软土中含有有机质(包括碳水化合物、蛋白质、沥青、树脂、腊、碳氢化合物和煤炭等五类, 其中纤维素是土中的主要有机质成分)^[1]。有机质的孔隙比很大, 比表面积大, 吸附性强, 因而, 有一定含量的有机质软土具有特殊的工程性质, 如孔隙比大、天然含水量高、压缩性高、强度低等, 这类软土在广东地区的工程建设中常常遇到。由于有机质软土具有高灵敏性、低强度、大的流变性和蠕变等特点, 给工程建设带来较大的影响。如修建高速公路遇到有机质软土时, 产生的沉降量大, 沉降时间很长, 次固结沉降占的比重大, 工后沉降大, 导致在设计和施工过程中难以准确控制沉降。由此可见, 有机质含量对软土力学性质影响的研究值得深入开展。

本文在收集广州南沙开发区大量的工程勘察报告中有关有机质软土资料的基础上, 通过对资料的统计、分析和整理, 得到该区不同含量有机质软土的物理力学性质指标。软土中有机质的含量通过标准重铬酸钾—硫酸溶液氧化法测定而得到。

1 珠三角地区有机质软土分布及基本性质

1.1 有机质软土的分布

资料分析表明^[2], 珠江三角洲经历了海侵—海退—海侵的演化过程。海侵时期由于海平面升高, 河流受海水的顶托以沉积细颗粒为主, 因而, 形成淤泥等软土。本文所指的有机质软土是指最近一次海侵时期形成的软土, 下部以蚝壳层、砂层为主, 上部以淤泥、淤泥质粘土为主。根据黄镇国的第四纪沉积研究^[2]和笔者所搜集的大量有机质软土的资料分析表明, 海相沉积的软土与这类有机质软土具有良好的一致性, 主要分布在珠江三角洲中部一带, 所经过的城市主要有广州、佛山、顺德、中山、珠海、台山、斗门、东莞等。图 1 是在黄镇国的第四纪沉积分布图的基础上, 结合大量的勘查资料中关于有机质软土的分析资料, 绘制出的该地区有机质软土分布示意图。

分析表明, 珠江三角洲地区有机质软土分布的范围很广, 几乎连成一体。在中山市一带分布的厚度和范围都比较大, 在平洲、陈村一带分布的不是很均匀, 而且分布的厚度也比较小。从大量勘察资料的现场取样也可以得知, 除了平洲和陈村地区有机质软土是分布在地表以下 15m 左右以外, 大多数有机质软土是分布在地表以下 10m 以内的范围内, 分布的范围和厚度也比较大, 厚度可达到 30~35m。有些地方有机质软土的分布厚度甚至达到了 50m, 对该地区的工程建设构成了较大的影响。

1.2 有机质软土的基本物理力学性质

有机质的存在对土的工程性质影响较大, 目前对它的认识远不及对粘土矿物的认识清楚^[3], 总体的认识是: 随着有机质含量的增加, 土的分散性加大, 含水量增高(可达 50%~200%), 干密度减小($< 1\text{g/cm}^3$), 胀缩性增加($> 50\%$); 压缩性增大, 强度减小, 承载力降低。在珠江三角洲地区有机质软土突出表现为较大

收稿日期: 2007-07-13; 修订日期: 2007-08-13

基金项目: 广西自然科学基金(桂科自 04407098)

作者简介: 牟春梅(1968), 女, 副教授, 从事岩土工程教学与科研工作。

E-mail: mchunmei@163.com

的容水性和塑性、较大的膨胀性和低渗透性^[4]，故对工程极为不利，其基本物理力学性质见表 1。

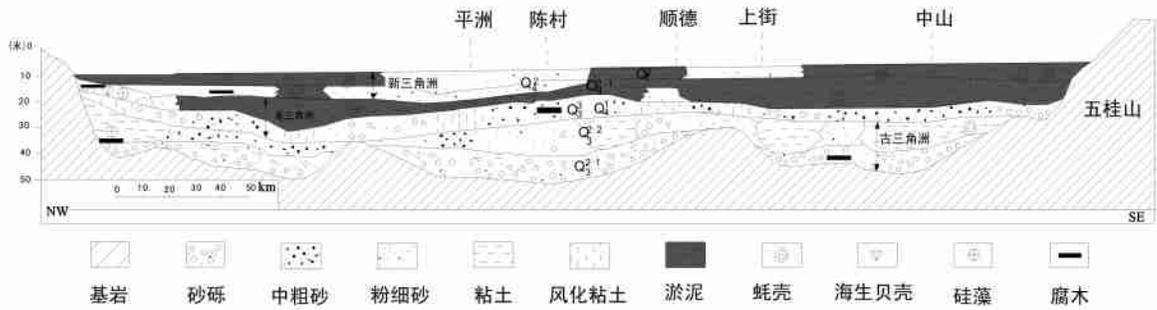


图 1 有机质软土分布示意图(结合黄镇国(1982)和大量勘察资料整理)

Fig. 1 Sketch map distribution of soft soils with organic matter

表 1 珠江三角洲地区有机质软土的物理力学性质资料汇总表(表中数据是根据收集的大量勘察资料整理所得)

Table 1 Statistics of physical and mechanical properties of organic soft soil in Pearl River Delta areas

工程名称	含水量 $W(\%)$	液限 W_L	容重 ρ (g/cm^3)	孔隙比 e	压缩系数 $a(MPa^{-1})$	固结系数 $C_V(cm^2/s)$	直接快剪		有机质含量 $W_u(\%)$
							$C(kPa)$	$\phi(^{\circ})$	
广珠东线	74.6	49	1.58	1.82	1.93	8.7×10^{-4}	14.5	0	2.13
中江高速	50.64	43.07	1.68	1.512	1.19	2.47×10^{-3}	12.06	7.65	1.26
广肇高速	72.69	57.5	1.46	1.92	1.79	7.53×10^{-4}	7.5	2.7	6.34
深汕高速	88.1	63.8	1.53	2.33	1.85	/	/	/	3.01
佛开高速	71.4	70	1.58	1.83	1.35	1.07×10^{-3}	1.9	11.4	3.95
西部沿海	89.7	54	1.52	2.36	4.41	3.66×10^{-3}	14.2	3.7	2.85
南沙开发区	76.2	70	1.53	2.02	1.92	6.98×10^{-4}	4.20	4.50	3.50
番禺大学城	93.3	68.9	1.74	1.99	2.05	8.67×10^{-4}	5.8	3.8	12.6
佛山三水二桥	70.56	/	1.55	1.95	1.74	1.1×10^{-3}	8	9.17	2.18

由表 1 可知,有机质软土含水量和孔隙比都比较高,而固结系数和快剪指标都较小。以有机质含量最低的中江高速公路软土为参照,与有机质含量最高的番禺大学城的软土作对比,分析其相应指标的变化。有机质含量分别为 1.26% 和 12.6%,增加了 11.34%;含水量分别为 50.64% 和 93.3%,增加了 42.66%;孔隙比为 1.512 和 1.99,增加了 0.478;压缩系数为 $1.19MPa^{-1}$ 和 $2.05MPa^{-1}$,增加了 $0.86MPa^{-1}$;直接快剪指标中内聚力为 12.06kPa 和 5.8kPa,减少了 6.26kPa,内摩擦角为 7.65° 和 3.8° ,减少了 3.85° ;固结系数为 $2.47 \times 10^{-3} cm^2/s$ 和 $8.67 \times 10^{-4} cm^2/s$,减小了 $1.603 \times 10^{-3} cm^2/s$ 。

从以上有机质软土的物理力学指标的变化可以看到,随着有机质含量的增加,软土中含水量、孔隙比、压缩系数都是增加的,而 C 、 ϕ 、 C_V 值都是减小的,变化量最大的是含水量,其次是内聚力。这些数据的变化说明,软土中随着有机质含量的增加,其物理力学性质将发生显著的变化:含水量和孔隙比增加,土体的压缩性增大,固结系数减小,强度降低。

2 有机质含量对物理力学性质的效应分析

2.1 室内实验条件下有机质含量的效应分析

通过对大量的勘察资料进行统计和分析,得到室内常规实验条件下的不同有机质含量软土的基本物理力学性质指标(表 2)。为了使分析的数据具有可比性,室内指标的统计都是采用钻孔同一段深度(0~5.5m),所取软土样测得的物理力学指标的平均值。

将天然含水量和初始孔隙比绘于图上(图 2),可以看出,随着有机质含量的增加,土体的含水量和孔隙比都是增大的,实线是含水量与有机质含量之间的拟合方程,为: $y = 4.48x + 62.82$ (x 为有机质含量, y 为天然含水量)。这是因为软土中有机质含量的增加,一方面,改善了软土体的结构,使孔隙度增加;另一方面,改变了土体中的胶体分布状况,使土体附加作用增强^[5-7]。这两方面的作用都有利于土体水分的保持,从而使含水量增加。同时,土体中大小孔隙的分布和排列状况也发生了变化,致使软土体几乎形成一个空

表2 有机质含量与软土的物理力学性质指标

Table 2 Organic matter content and physical and mechanical properties of soft soil

编号	有机质含量(%)	含水量 ω(%)	孔隙比 e_0	压缩系数 a_{1-2} (MPa^{-1})	压缩模量 E_s (MPa)	直接快剪		无侧限抗压强度		灵敏度 S_t	软土名称
						C (kPa)	ϕ (°)	原状土 q_u (kPa)	重塑土 q'_u (kPa)		
1	0.69	65.8	1.68	1.08	1.16	3.77	3.38	41.2	14.7	2.8	淤泥
2	1.62	67.3	1.750	1.17	1.88	1.88	2.18	11.6	2.74	4.23	淤泥
3	2.14	69.9	1.800	1.84	1.31	3.77	6.45	31.0	6.0	5.17	淤泥
4	3.4	97.3	2.100	0.84	3.42	2.2	30.0	24.9	5.8	4.3	淤泥
5	4.8	84.9	2.594	2.48	1.28	2.4	5.0	20.8	3.6	5.8	淤泥
6	5.5	67.6	1.938	1.67	1.56	8.2	5.1	35.0	7.8	4.5	淤泥
7	6.8	93.2	2.459	2.50	1.17	1.1	4.3	13.8	1.7	8.1	淤泥
8	7.9	100	2.743	5.24	0.63	1.5	13.8	20.5	4.2	4.9	淤泥
9	8.6	103	2.770	1.66	2.01	4.7	4.3	19.4	4.4	4.4	淤泥
10	9.2	101	2.727	2.88	1.05	3.9	4.1	16.6	2.5	6.6	淤泥
11	10.1	113	3.184	3.96	0.86	5.1	1.6	14.3	1.4	10.1	弱泥炭质土

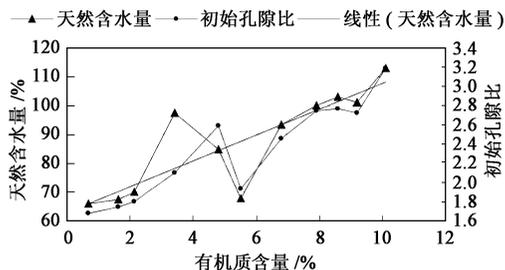


图2 软土中有机质含量与天然含水量、初始孔隙比的关系

Fig. 2 Relationship between soft soil organic matter content with natural water content and original void ration

架结构^[8-9]。土体物理性质指标的变化和土体结构的改善,将会引起软土的力学性质的改变,必然会影响软土的力学效应。在这种软土地基上建造构筑物,常常会带给工程施工填土过程中产生滑动的危害。

2.2 原位测试条件下有机质含量的效应分析

结合广州南沙开发区某施工现场开展的有机质软土的现场原位测试实验,得到了原位实验数据(表3)。表3中有机质含量是在该部位相同深度(0~ 5.5m)内所取的原状土样,经室内试验所得数据统计的平均值,其他数值是取现场相同淤泥层厚度(0~ 5.5m)内所得指标统计的平均值。

由表3可以看出,随着有机质含量的增加,土体的力学性质指标发生了变化,原状土和重塑土的十字板剪切强度都是减小的,静力触探试验的比贯入阻力也是逐渐减小的。若以有机质含量是1.62%作为参照,当有机质含量达到2.14%以上,即从2.14%达到最高值3.92%时,有机质含量的增加量为0.52%~ 2.30%,但原状土的十字板剪切强度却降低17.4862~ 35.7662kPa,重塑土的十字板剪切强度降低0.929~

5.374kPa,比贯入阻力降低38~ 60kPa。

表3 原位测试条件下有机质含量与软土的力学性质统计

Table 3 Schedule of organic matter content and physical and mechanic property of soft soil in in situ test

有机质含量 W_u (%)	十字板剪切试验强度			静力触探试验	土体名称
	原状土 C_u (Pa)	重塑土 C'_u (kPa)	灵敏度 S_t	比贯入阻力 P_s (kPa)	
0.69	46.80	9.26	5.05	273	淤泥
1.62	44.57	7.48	5.96	272	淤泥
1.64	43.91	7.27	6.04	270	淤泥
1.74	42.31	7.06	5.99	269	淤泥
1.87	30.24	6.69	4.52	245	淤泥
2.14	27.08	6.55	4.13	234	淤泥
3.61	20.52	5.63	3.64	226	淤泥
3.83	13.62	3.65	3.73	219	淤泥
3.92	8.80	2.11	4.18	212	淤泥

可见,有机质含量增幅不大,但十字板剪切强度指标和静力触探试验比贯入阻力的降幅却很大。随着有机质含量的增加,土体力学性质指标急剧降低,必然对软土的力学效应产生不良影响,致使软土强度很低。灵敏度是用来表征软土结构性强弱的指标,从表3也可以看出,灵敏度的值都比较大,除了2个值在3.5以上,其余的都大于4.0,属于很灵敏的土,其结构性很强,具有较大的流变性和蠕变性。

综上所述,有机质含量对软土的力学效应产生的影响,包括低强度、强结构性、大的流变性和蠕变性等,给建筑在这些有机质软土地基上面的构筑物带来的危害极大,如地基土体产生的沉降量大,沉降完成时间很长,次固结沉降占的比重大,工后沉降大,导致在设计施工过程中难以准确地估算出沉降发展趋势。这也使地基处理的费用增高,造成工程投资加大,有时,即

使投入大量的资金仍然不能得到满意的结果。

将十字板剪切强度和静力触探比贯入阻力绘于图上(图 3), 可以明显地看到 2 个参数的变化特点很相似, 即随着有机质含量的增加, 都是呈递减的趋势, 但都经过了几个不同的拐点, 经历了 5 个不同的发展阶段, 分别是: 有机质含量 $W_u < 1.74\%$, $1.74\% < W_u < 1.87\%$, $1.87\% < W_u < 2.14\%$, $2.14\% < W_u < 3.61\%$, $W_u > 3.61\%$ 。

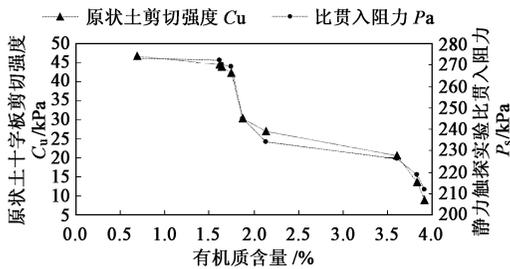


图 3 软土中有机质含量与十字板剪切强度、静力触探比贯入阻力的关系

Fig. 3 Relationship between soft soil organic matter content with vane shear strength and penetration resistance

第一阶段 ($W_u < 1.74\%$): 有机质含量的变化为 $0.69\% \sim 1.74\%$, 增加了 1.05% , 相应的 C_u 变化为 $46.806 \sim 42.316 \text{ kPa}$, 减少了 4.49 kPa , P_s 的变化为 $73 \sim 69 \text{ kPa}$, 减少了 4 kPa , 随着有机质含量的增加, C_u 和 P_s 递减的速率都比较小; 第二阶段 ($1.74\% < W_u < 1.87\%$): C_u 和 P_s 递减的速率很大, 有机质含量仅增加 0.1% , 但 C_u 减少了 12.5 kPa , P_s 减少了 24 kPa , 曲线斜率很大, 和纵坐标几乎平行; 第三阶段 ($1.87\% < W_u < 2.14\%$): C_u 和 P_s 递减的速率比第二阶段缓慢了一些, 但 P_s 比 C_u 递减的速率大一些; 第四阶段 ($2.14\% < W_u < 3.61\%$): C_u 和 P_s 递减的速率又比第三阶段缓慢, 两曲线的斜率相差不大; 第五阶段 ($W_u > 3.61\%$): C_u 和 P_s 递减的速率又加大了一些, 比第二阶段的速率小, 比第三阶段的递减速率稍大。

可知, C_u 和 P_s 递减速率最小的是第一阶段, 最大的是第二阶段, 其界限点的有机质含量为 1.74% 。该点是一个突变点, 从该点开始, 随着有机质含量的增加, C_u 和 P_s 都急剧下降, 达到 2.14% 以后, 呈现出不同的递减速率。由此进一步说明, 当有机质含量为 1.74% 时, 软土的物理力学性质发生变化, 其力学软化效应尤为明显。

2.3 对固结变形和孔隙水压力消散的影响分析

结合某工程施工现场有关固结变形和孔隙水压力消散程度的测试数据, 分析有机质含量与软土物理学性质之间的关系。实验场地为南沙开发区施工现场, 监测数据经过换算后, 得到渗透系数和固结系数的基本值(表 4)。其中, 渗透系数和固结系数是取现场相同淤泥层深度 ($0 \sim 5.5 \text{ m}$) 的监测数据, 经过换算而得的平均值, 其他指标是取该部位相同厚度 ($0 \sim 5.5 \text{ m}$) 内原状土样经室内试验而统计的平均值。

表 4 软土的渗透性及固结性统计表

Table 4 Statistical table of permeability and consolidation in soft soil

有机质含量 W_u (%)	含水量 ω (%)	塑性指数 I_p	容重 ρ (g/cm^3)	渗透系数 $K_v \times 10^{-7}$ (cm/s)	固结系数 $C_v \times 10^{-4}$ (cm^2/s)	岩土名称
0.69	65.8	33.2	1.53	1.32	10.35	淤泥
1.74	69.6	45.2	1.66	1.39	8.29	淤泥
2.14	69.9	34.7	1.59	1.34	7.91	淤泥
3.4	97.3	8.8	1.68	1.30	7.08	淤泥
4.8	84.9	31.3	1.42	1.22	6.49	淤泥
6.4	71.8	12.7	1.47	1.01	5.38	淤泥
7.4	84.4	10.6	1.56	0.93	4.56	淤泥
9.0	89.7	13.9	1.48	0.77	3.15	淤泥
10.1	113	16.6	1.40	0.56	2.0	弱泥炭质土

将渗透系数和固结系数绘于图上(图 4), 可以看到, 开始, 随着软土中有机质含量的增加, 土体的渗透性逐渐增加, 当有机质含量达到 1.74% 时, 随着有机质含量的增加, 渗透性是减小的, 在不同阶段递减的速率也是不一样的, 但速率变化不大, 曲线呈抛物线型; 土体的固结度也是逐渐减小的, 刚开始减少的速率比较大, 有机质含量的变化为 $0.69\% \sim 1.74\%$, 增加了 0.05% , 固结系数的变化为 $10.35 \times 10^{-4} \sim 8.29 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$, 减少了 $2.06 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。当有机质含量增加到 1.74% 以后, 随着有机质含量的增加, 固结系数减少的速率较小, 曲线呈现出比较好的线性递减趋势。

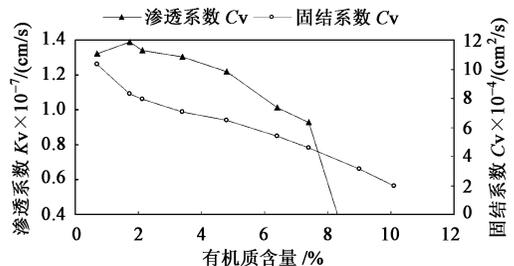


图 4 软土中有机质含量与渗透系数、固结系数的关系
Fig. 4 Relationship between soft soil organic matter content with permeability coefficient and consolidation degree of soft soil

可知,随着软土中有机质含量的增加,土体的固结度和渗透性都相应的发生了变化,有机质含量为1.74%是一个突变点。造成这种情况的原因,是由其结构特点所决定的,包括有机质本身的结构特点和软土的结构特点。从微观结构来看,有机质颗粒比大多数粘土矿物颗粒还要小,呈圆粒状、分子结构不紧密,具絮凝状结构、微孔隙发育,且呈链状连结而成集粒^[10]。当土中有机质含量大于1.74%时,土中由有机质呈链状连结而成集粒的密度显著增多,形成的有机质集粒吸附于粘土颗粒表面,或者将粘土颗粒包裹,这在相当程度上阻碍了土体中颗粒之间水的流动,致使软土的渗透及固结都受到影响。因此,对土体渗透性的变化而言,当有机质含量大于1.74%时,土体渗透性是逐渐减小的,此时软土的渗透能力达到最大;对土体固结度的变化而言,当有机质含量大于1.74%时,土体固结度随着有机质含量的增加是线性递减的。

3 结语

本文利用所收集到的资料从室内实验、原位测试、施工现场监测三种条件下的测试数据,分析和探讨了有机质含量对软土的物理力学效应的影响,这种影响所产生的作用效果,只有当有机质含量达到一定水平时才能表现出来。本文研究表明:当有机质含量大于1.74%时,其作用效果更显著。随着有机质含量的增加,土体的天然含水量和初始孔隙比都是增加的;原状土的十字板剪切强度、重塑土的十字板剪切强度、静力触探比贯入阻力、渗透性和固结度都是减小的,并且,

只有当有机质含量大于1.74%时,随着有机质含量的增加,其减小的速率比较明显,其力学软化效应尤为显著,此时,软土的渗透能力达到最大。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 黄镇国. 珠江三角洲形成演变[M]. 1版. 北京: 科学普及出版社, 1982.
- [3] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算方法[M]. 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [4] 广东省航盛工程有限公司岩土公司. 广肇高速公路软基路段卸载咨询报告[R]. 广州: 广东省航盛工程有限公司岩土公司, 2001.
- [5] 单秀枝, 魏由庆, 严慧峻, 等. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 1-8.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土地退化防治研究[M]. 北京: 中国科技出版社, 1991: 150-254.
- [7] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国农科院黄淮海平原科技攻关论文集[C]. 北京: 农业出版社, 1985: 38-39.
- [8] 马成泽. 有机质含量对土壤几项物理性质的影响[J]. 土壤通报, 1994, 25(2): 65-67.
- [9] 王秀红. 我国水平地带性土壤中有机质的空间变化特征[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 19-23.
- [10] 曾卫东, 唐雪云, 何泌洲. 深层搅拌法在处理泥炭质土中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13(2): 67-69.

Influence of organic matter on mechanical character of soft soil

MU Churmei¹, LI Baifeng²

(1. Department of Civil Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Guangdong Provincial Architecture Design & Research Institute of Metallurgy, Guangzhou 510080, China)

Abstract: The research indicates that with the increase of the organic matter content, some indexes such as natural water content and natural void ratio increase in linear regularity, and some other indexes such as vane shear strength, specific penetration resistance, permeability coefficient, and consolidation coefficient decrease. When organic matter content reaches to 1.74%, the physical and mechanical characters of soft soils have a big change, that means the soften effects on mechanical properties are especially distinct; meanwhile, the permeability capacity reaches to the maximum value.

Key words: soft soil with organic matter; physical and mechanical characters; mechanical effects