

试论红土的工程分类

林宗元

(国家机械工业委员会综合勘察研究院, 北京)

一、引言

红土具有特殊的工程特性,是属于特殊性的土类。在中国南方地区(包括华南、西南、华东及华中部分地区)大面积分布着红土,因而红土被广泛用作各类建筑物基础的地基持力层。此外,在华北甚至东北地区也见有红土分布。值得指出,除了海南岛和雷州半岛南部外,我国广大地区的红土与国外典型的红土相比,在外观特征、组成成分及工程特性等方面有不同程度的区别。

在中国工程地质界,近二十年来对碳酸盐岩出露区红粘土的工程特性研究得比较充分,为了简便起见,“红粘土”一词便被作为碳酸盐岩出露区红粘土的专用名词。笔者自七十年代后期以来,曾对中国南方地区和东南亚某地区的红土进行过调查研究。1979年曾就玄武岩风化土的工程地质评价问题发表过论文^[1]。本文部分表格中除了引用航空工业部综合勘察院、湖南省建筑设计院勘察队、贵州省建筑设计院勘察队和笔者所在单位提供的有关数据资料外,还引用了本文参考文献^[1-5]诸文中的有关数据资料。

本文通过对由不同母岩形成的和不同成因的红土的物质成分和工程特性进行的对比分析,提出了对红土工程分类的新看法。

二、形成红土的地质环境条件

红土是在特定的地质环境条件下形成的。

(一)历史气候条件

这是根本性的条件,红土是岩石(或原土)在炎热湿润气候条件下,经过长期缓慢而充分的物理、化学风化作用,更确切的说,是经过红土化作用而形成的。随着化学风化分解淋滤作用过程的进展,不稳定的各种氧化物被大量的淋失掉,而较稳定的铁、铝等化合物却显著的富集,即所谓淋积作用,矿物成分也出现了相应的转变。表1列出了几种主要红土类型的化学成分和矿物成分的对比。

从表1可以看出,虽然母岩(或原土)的化学成分和矿物成分极不相同,但由于红土化作用的条件类同,其化学风化分解的产物,特别是碳酸盐岩风化红粘土和玄武岩风化红粘土等之间的化学成分和矿物成分,相对说来较为类似。可见,母岩成分虽然不同,在热带、亚热带

表1 红土的化学成分和矿物成分对比表

母岩	岩土层	地区	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量	SiO ₂		主要矿物成分
													Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	
碳酸盐岩	白云岩	云南	0.03 -2.07	0.10 -0.39	0.06 -0.37	0.04 -0.24	...	29.50 -37.59	16.05 -22.49	...	...	...			白云石
	石灰岩		0.91 -2.50	0.05 -0.68	0.10 -0.62	...	...	53.00 -55.69	0.19 -0.70	...	...	41.82			方解石
	残积、残坡积	贵州	3.00	0.31	0.17	...	...	51.70	1.26	0.07	0.02	41.82			
	红粘土	广西	49.00	23.00	11.00	...	...	0.90	3.00	0.70	0.30	12.00	2.13	1.44	高岭石, 伊利石
		云南	38.89	31.40	12.16	0.64	...	0.47	1.48	1.96	0.21	12.58	1.24	0.89	伊利石、多水高岭石
		四川	40.00	24.00	19.00	...	...	0.36	0.48	0.63	0.16	13.00	1.67	0.93	
			50.00	27.00	20.00	...	...	0.52	0.77	0.20	0.30	...	1.85	1.06	
	冲洪积、坡洪积红粘土	贵州													高岭石, 伊利石
	细碧玄武岩	湖南益阳	50.69	12.21	1.92	0.53	7.97	...	11.08	0.30	1.27	...			透闪石, 绿帘石, 绿泥石
	橄榄玄武岩	广东雷州 半岛南部	51.84	14.42	4.69	1.40	6.49	8.73	5.73	0.80	3.24	...			斜长石, 普通辉石, 橄榄石
玄武岩	残积、残坡积		30.69	29.21	19.00	2.99	0.89	0.23	0.46	0.16	0.26	...	1.05	0.64	多水高岭石, 三水铝石
	红粘土	湖南益阳	47.02	22.50	15.57	...	...	0.29	0.72	...	...	11.41	2.09	1.24	
		云南	29.00	25.00	24.00	...	...	0.11	0.20	0.15	0.13	14.00	1.16	0.59	
	残积灰粘土*	东南亚 某地区	33.14	26.65	22.42	4.38	...	0.75	0.49	0.07	0.05	11.41	1.24	0.68	铁高岭石, 多水高岭石
			40.52	19.60	13.17	2.64	...	0.79	0.21	2.30	2.30	18.71	2.07	1.24	伊利石, 多水高岭石

续表 1

母 岩	岩 土 层	地 区	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量	SiO ₂	SiO ₂	主要矿物成分
													Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	
花 岗 岩	花 岗 岩	福 建	74.42	13.02	0.73	0.17	1.48	1.08	0.42	4.58	3.52	0.25			钾长石, 斜长石, 石英
		广东汕头	70.81	14.04	0.72	0.21	2.61	2.31	0.66	4.19	3.29	...			正长石, 斜长石, 石英
	残积、残坡积红土		56.26	23.76	6.99	0.44	...	0.12	0.27	1.69	0.09	...	2.37	1.82	高岭石, 石英
		福 建	55.50	18.30	14.60	...	...	...	...	...	...	3.03	1.69		
粉砂岩	红色粉砂岩	广 东	56.08	11.16	3.59	0.50	0.77	8.99	1.76	2.69	0.84	...	5.03	3.80	石英, 长石
	残积、残坡积红色亚粘土	广 州	69.59	14.12	5.57	0.58	0.66	0.62	0.88	2.23	0.14	...	4.93	3.53	伊 利 石
冲积粘性土	网纹红土	湖 南	63.86	16.90	8.66	...	0.52	0.15	0.42	1.42	0.13	6.43	3.78	2.50	高 岭 石
冲积—洪积粘性土	网纹红土	湖 北 蒲 圻													高岭石, 伊利石

注: *不属于红粘土, 为了对比而列入有关数据。

炎热湿润的历史气候条件下,可以形成成分类似的红土。表1还表明不论是不同地区的同一种母岩,还是同一地区的不同母岩,由它们所形成的红土,其化学成分和矿物成分都是各有一定差异的。而且,同一种母岩的风化分解程度不同,其风化土的化学成分和矿物成分也是有差异的,比如玄武岩残积灰粘土就比玄武岩残积、残坡积红粘土的分解淋滤积聚程度差。

从表1还可以看出,红土的氧化硅氧化铝比值为1.16—4.93,氧化硅倍半氧化物比值为0.59—3.53,变化范围大。这也可以用被研究得比较多的西非东尼日利亚红土的有关资料进行对比,其比值分别为1.24—7.65和0.54—2.16,变化范围也大。

(二)地貌条件

红土主要分布于丘陵、盆地和河谷阶地以及缓坡的低山地区。这主要反映了有利于上述气候区影响的条件,和有利于红土化作用的地形地貌条件。比如在地形平缓的台地、阶地、低丘,能够发育有一定厚度的红土,而在陡峻的低山地区,由于剥蚀作用强烈,红土不发育,即使有,厚度也很小。

(三)历史地质环境条件

红土化作用需要有利的历史地质环境条件,在淋积过程中,富集的游离氧化铁以包膜等形式被覆于土细粒的表面,其含量的多少不但影响土的颜色,而且使土具有较低的酸溶活性与还原活性。胶体含水氧化铁经过长期逐渐地凝集、脱水、和重结晶成为微晶质氧化铁,使土粒间具有较强的胶结结构连结,使土具有较高的结构强度,土虽然具有高孔隙比,但强度较高,而压缩性较低。从第四纪古气候的变迁来看,在中国的几个间冰期中,以大姑—庐山间冰期的湿热化程度最高,对红土化作用条件最有利,因而在中国南方地区促成不同成因、不同母岩(或原土)的中更新世(Q_2)红土的广泛分布。此外,在中南半岛和中国华南热带地区,从晚第三纪以来,主要是具有有利于红土化作用的炎热潮湿气候,所以分布有晚第三纪和第四纪不同时期的红土。比如在华南沿海地区就分布有早更新世以来各期的玄武岩出露区红粘土。但花岗岩出露区红土难以分期。另外,在红土化作用期间,地壳缓慢上升的地区,红土的厚度可达几十米甚至一百米左右。

(四)母岩条件

母岩类型不同,所形成的红土特征有一定的差异,除了前述在化学成分和矿物成分方面有一定的反映外,在现场外观特征,风化发育速度以及下述的物理力学性质等方面也都有一定的差异。其中以致密状结构的碳酸盐岩、玄武岩等出露区红粘土与碎屑状结构的碎屑沉积岩出露区红土、粒状或斑状结构的花岗岩等出露区红土之间的差别最为突出。另外,由于碎屑沉积岩抗风化分解能力相对较强,其风化壳分解程度远较碳酸盐岩或玄武岩、花岗岩等岩浆岩的风化壳为低。所以碎屑沉积岩出露区的红土不发育,在一些地区其厚度只有1米到几米,甚至不超过1米。

表2表明,玄武岩出露区红粘土除了残积土可见明显的气孔构造遗迹这一特点外,其现场肉眼鉴别特征与碳酸盐岩出露区红粘土的特征大致类似。

表2

几种主要红土类型的野外特征对比表

母 岩	土 层	地 区	亚层	野 外 肉 眼 鉴 别 特 征	厚 度 (m)
碳酸盐岩	残积(残坡积)红粘土	贵 州	A	粘土。褐黄色、黄色、红褐色、棕褐色。硬塑—坚硬。上部裂隙发育。	2—8
			B	粘土。褐黄色、棕褐色、红褐色。可塑—软塑。	0—8
	冲洪积、坡洪积、洪积红粘土	广 西	A	粘土。褐红色、黄红色、棕红色。硬塑—坚硬。具网状构造，上部裂隙发育。	3—20
			B	粘土。黄褐色、褐黑色。可塑—硬塑。	0.5—30
		广西、贵州		粘土。褐黄色、棕黄色。可塑—硬塑。含少量砂砾。	
玄武岩	残积(残坡积)红粘土	湖南益阳		粘土。浅紫红色、褐红色。可塑—坚硬。	最厚达50
		广东雷州半岛南部、海岛北部	A	亚粘土。红褐色、棕红色。可塑—硬塑。残积红土(下同)可见气孔构造遗迹或植物根残留孔隙，上部有垂直裂隙。	0—20
			B	粘土。褐红色、棕红色、红褐色。软塑—硬塑。可见明显的气孔构造遗迹，垂直裂隙发育。	1—6
		东南亚某地区	A	粘土。红褐色、棕褐色(或灰褐色、褐灰色、黄褐色)。可塑—坚硬。可见气孔构造遗迹，上部有垂直裂隙。	3.3—8.0
			B	亚粘土。棕褐色、棕红色(或灰褐色、褐灰色、黄褐色)。可塑—坚硬。下部可见玄武岩碎块。	1.1—2.7
花岗岩	残积(残坡积)红土(砾质粘性土、砂质粘性土、粘性土)	广东海南岛北部	A	含砂砾粘土。紫红色、褐红色。坚硬—软塑。	0—6
			B	含砂砾亚粘土。棕红色、褐红色、红黄色与灰白相间，呈网状结构。可塑—坚硬。	5—15
		广东深圳	A	含砂砾粘土。棕红色、红褐色与褐黄色、灰白色相间，呈网状、斑状结构，含砂砾20—50%，可塑—硬塑。	1—20
			B	含砂砾亚粘土。棕红色与黄白色、黄褐色相间，呈斑状结构，含砂砾15—50%，可塑—硬塑。土体隐节理裂隙发育。	1—18
			C	含砂粒轻亚粘土。棕红色。可塑—硬塑。	0—6
		湖南长沙		含砂砾粘土。褐红色、黄棕色、肉红色、与灰白色相间，呈网状结构。坚硬—可塑。土质不均，有的地区下伏混粘性土中砂(残积层)。	1—9
		福建中部、南部	A	含砂砾粘土(或亚粘土)。棕红色、棕黄色。可塑—坚硬。含砂砾20—50%，具网状结构。	3—10
			B	含砂砾粘土(或亚粘土)。棕红色、或与灰白色、褐黄色相间，具斑状结构，混砂砾15—50%。可塑—硬塑。	0—15
(花岗岩体中的)长石岩脉	残积花岗岩体中的粘土	福建同安		粘土。灰白色、有棕红色条纹。硬塑。土质均匀。	
		广东深圳		粘土。肉红色、有灰白色斑点。可塑—硬塑。土质均匀。	

续表2

母 岩	土 层	地 区	亚层	野 外 肉 眼 鉴 别 特 征	厚 度 (m)
碎 屑 沉 积 岩	残积(残坡积)红色亚粘土(或粘土)	江 西 上 饶		亚粘土或粘土(或含砂亚粘土)。棕褐色、砖红色、黄褐色。可塑,上部2m左右土质疏松。	0—7
		广 东 东 莞		含砂砾亚粘土、(或含砂亚粘土)。棕红色、褐红色。可塑—坚硬。混砂砾10—45%。	5—25
冲 积 粘 性 土	网 纹 红 土	湖 南	A	粘土、亚粘土。褐红色、暗红色、黄红色、与灰白色相间,具红白网纹花斑结构。坚硬—硬塑。	5—15
			B	亚粘土、粘土。红黄色、深黄色、褐黄色与灰白色组成黄白花斑结构。可塑—硬塑。	
			C	亚粘土,轻亚粘土。褐黄色、灰黄色、黄褐色。可塑。	
冲积—洪 积粘性土		湖 北 蒲 圻		粘土。黄红色与灰白色相间、呈网纹状。可塑。	4—8

三、红土的工程特性

表3表明,红土具有与一般粘性土不同的工程特性,而且母岩类型对其工程特性有一定的影响,而由同一类型母岩形成的红土,其工程特性则具有一定的地区差异性;其次是红土的厚度在水平方向的变化一般都比较小;第三个共同特点是饱和度一般都大于85%。

下面归纳为四种情况来说明其特点:

(一)碳酸盐岩、玄武岩等出露区红粘土

其特点主要是孔隙比一般大于1,液限大于50%,天然含水量、含水比也都比较高,而土质较硬,一般处于硬塑状态(碳酸盐岩出露区红粘土具有上硬下软的特点,而热带地区的玄武岩出露区红粘土,表层部分1.0—1.5m,甚至2.5m,蚂蚁孔洞发育,土质松散不均),一般具有中等压缩性,压缩系数 a_{1-2} 小于 $0.3(\text{MPa})^{-1}$,具有较明显的收缩性,玄武岩出露区红粘土虽然具有由母岩或植物根形成的大孔性,然而不具湿陷性。但在饱水浸泡下,强度可显著降低。土的微观结构类型以棉絮状为主,微孔和溶孔发育,所以具有高孔隙比的特点。由于游离氧化物含量高,在湿热条件下可以充填较多的孔隙水,从而具有较高含水量的特点。如前所述,由于土中含量较高的游离氧化铁的胶结作用,使土具有比一般粘性土高的强度,较低的压缩性,地基承载力标准值 f_k 为100—380kPa不等,主要受含水比和液塑比的控制。

值得指出的是,有的地区由于对玄武岩出露区红粘土的工程特性缺乏认识,从而会给工程造成浪费。以湖南益阳某工程为例,由于孔隙比远大于1,若按一般粘性土在地基基础设计规范表8中是查不到地基容许承载力的,在建设初期曾被误认为是软弱地基,后来由勘察单位做了载荷试验和静力触探试验,其主要结果如表4所示,证明容许承载力并不低,才避免了浪费。

由表4可以看出,借用《工业与民用建筑地基基础设计规范 TJ7-74(试行)》表10或该规范修订本(报批稿)附录五表5—6(即碳酸盐岩出露区红粘土承载力表)查得的承载力值,比较接近于根据静力触探 p_s 值推算的结果,但比根据载荷试验结果确定的低得多。即使以承载力标

表3 几种主要红土类型的物理力学性质指标对比表

母岩	土 层	地 区	天然含水量 (%)	天然容重 γ (kN/m ³)	天然孔隙比 e	液 限 w_L (%)	塑 限 w_P (%)	液 性 比 数 $(\frac{w_L}{w_P})$	塑 性 指 数 I_P	含水比 $(\frac{w}{w_L})$	压缩系数 a_{1-2} (MPa) ⁻¹	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	变形模量 E_0	比例界限 荷载 p_0	凝聚力 c (kPa)	内摩擦角 ϕ
碳酸盐岩	残积、残坡积红粘土	贵州	28—75 (47)		0.80— 2.20 (1.00)	40—110 (73)	20—50 (35)	1.40— 2.30	27—46	0.50— 0.86	0.10— 0.60 (0.23)	7.5— 30.0 (17.0)	7.5— 30.0 (17.0)	100— 400 (230)	50—66	16°—25°
	粘土	广西	30—45 (39)	17.5— 19.5	0.70— 1.70 (1.10)	38—92 (68)	25—42 (33)	2.30			0.08— 0.40 (0.22)	20.0 (10.0)				
	冲洪积、坡洪积、	贵州	(22— 60)		0.80— 1.70 (1.11)	30—90 (55)	20—60 (28)					6.0— 20.0 (12.0)		100— 300 (180)	46—60	18°—26°
	洪积红粘土	广西	(33)		0.60— 1.40 (1.00)	38—80 (65)	20—60 (33)		(24)		0.20— 0.28	5.0— 15.0 (7.5)				
砂页岩	残积、残坡积红粘土	贵州、 广西、 云南等 省区	25—70 (38)		0.80— 2.10 (1.10)	35—65 (56)	20—50 (30)					3.1— 18.0 (9.0)				
	残积、残坡积红粘土	湖南 益阳	35—70 (38)		0.80— 2.10 (1.17)	20—80 (53)	20—60 (30)					3.1— 15.0 (6.7)				
	粘土	广东雷州 半岛南部	39—65	16.0— 18.1	1.60— 1.96	58—70 (53)	30—45 (30)	1.40— 2.10	19—35	0.60— 1.12	0.10— 1.05 (0.38)	14.8— 28.8		450— 600	40—45	12°58'— 21°00'
	残积、残坡积红色亚粘土	广东雷州 半岛南部	15.2			55.3	30.1	1.84	25.2	0.27						
玄武岩	残积、残坡积红粘土	广东海南 岛北部	41.4	16.3	1.31	48.5	35.3	1.37	13.2	0.85						
	残积、残坡积红粘土	广东海南 岛北部	31.0	18.4	1.01	52.9	30.2	1.33— 2.56	22.7	0.58	0.38	8.1			57	19°17'
	残积、残坡积红色亚粘土	广东海南 岛北部	31.0	18.8	0.75	42.0	27.9	1.28— 2.20	14.1	0.70	0.43	5.9			56	20°51'
	残积、残坡积红粘土	东南亚某地区	39.4	17.7	1.22	64.2	41.0	1.34— 1.94	23.2	0.53	0.15	26.9			151	35°28'
岩	残积、残坡积红色亚粘土	东南亚某地区	34.9	17.7	1.25	53.5	38.3	1.35— 1.47	15.2	0.65	0.17	16.7			128	39°25'

续表3 几种主要红土类型的物理力学性质指标值对比表

母岩	土 层	地 区	天然含水量 w (%)	天然容重 γ (kN/m ³)	天然孔隙比 e	液 限 w_L (%)	塑 限 w_P (%)	液塑比 I_P	性 数 $\left(\frac{w}{w_L}\right)$	压缩系数 a_{1-2} (MPa ⁻¹)	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	变形模量 E_0	比例界限 荷载 p_0	凝聚力 c	内摩擦角 ϕ
花 岗 岩	残积、坡积红土 (砾质粘性土、砂质 粘性土、粘性土)	广东海 南岛	16.6— 41.4 (30.3)	17.0— 20.0 (18.5)	0.63— 1.23 (0.89)	25.5— 46.1 (38.1)	17.9— 35.5 (25.7)	1.28— 1.59 (12.7)	0.43— 1.24 (0.81)	0.13— 0.53 (0.25)	4.1— 14.2 (8.2)	66.5— 68.5	200— 300	8—68 (32)	20°—28° (23°40')
			15.8— 57.0 (32.1)	15.7— 20.5 (17.9)	0.51— 1.65 (1.00)	37.7— 75.1 (54.4)	19.8— 41.4 (31.4)	1.48— 2.22 (1.48)	0.33— 1.01 (0.70)	0.08— 0.29	7.8— 22.0 (14.8)			32—45 (39)	13°30'— 29°00' (22°03')
			16.7— 48.6	17.7— 21.0	0.73— 0.93	52—69 31—39	18.1— 35.1	1.41— 1.86	0.55— 0.80	0.17— 0.75	1.1— 19.8	16.7— 59.9	270— 950	14—62	24°—35°
			17.1— 44.9	16.8— 19.7	0.65— 1.28	41—67 24—44	16—26 1.98	1.36— 1.98	0.37— 0.68	0.20— 0.96	2.7— 8.6			31—52	23°25'— 33°49'
			29.6— 52.1	13.7— 20.8	0.61— 1.65	29.8— 83.3	14.8— 50.3	1.73— 2.31	0.32— 0.77	0.05— 0.69	2.4— 36.8	18.0— 26.5	250— 300	26—46	10°42'— 13°20'
(长 岗 岩 体 中 脉)	残积网纹粘土	福建同安 广东深圳	24.8	19.1	0.75	57.0	25.0	2.29	0.43	0.07	29.1				
			44.0	17.1	1.26	55.0	32.0	1.70	0.80	0.21	10.7	9.1	325		21°48'
粉砂岩 泥岩 粗、中、 细砂岩 砂砾岩	残积、残坡积红 色亚粘土(或粘 土)	江西上饶 广东 广州	17—27	16.3— 19.6	0.79— 0.84	24.4— 45.5	14.1— 26.1	1.57— 2.09	0.51— 0.75	0.12— 0.96	1.9— 14.8			9—28	21°30'— 26°42'
			23.9— 28.9	19.3— 20.1	0.69— 0.83	36.3— 21.9				0.22— 0.35	6.0— 8.4			36—44	14°49'— 18°16'
			20.1— 22.7	20.0— 21.8	0.48— 0.65	28.3— 17.9				0.26— 0.29	5.8— 7.3			28—48	23°02'— 26°25'
			21.3— 25.6	19.2— 19.4	0.69— 0.77	34.8— 21.8				0.36— 0.56	3.7— 5.0			24—34	20°29'— 23°21'
冲 积 粘 性 土	网纹粘土 (亚粘土) 网纹亚粘土 (粘土) 亚粘土、轻亚 粘土	湖 南	23.0	19.3	0.75	44.8			0.55	0.17	20.0	102.0— 253.2 (172.1)	113— 164 (138)	76	29.7°
			23.8	19.7	0.72	40.2			0.60	0.16	12.9	88.0— 129.0 (108.0)	690— 930 (810)	64	26.3°
			26.0	19.5	0.75	33.0			0.79	0.26	11.5	45.0— 68.0 (58.8)	450— 550 (500)	39	26.0°
冲积、洪 积粘性土	网纹粘土	湖北蒲圻	20—36	13.6— 15.9		31—56 18—34				0.11				34	25.5°

表4

湖南益阳地区玄武岩残坡积红粘土承载力标准值对比表

序 号	含水比 a_w	液塑比 I_r	液性 指数 I_L	孔隙比 e	静力触探 比贯入阻 力 p_s (kPa)	变形 模量 E_0 (MPa)	比例 界限 荷载 p_0 (kPa)	地础承载力标准值 f_k (KPa)				
								按TJ7 —74规 范表10 查[R]	按《建筑 地基基础 设计规范 (报批稿) (附录五) 表5—6 查 f_0	根据静力 触探成果 推算	根据载 荷试验 ($S:b=$ 0.02)	当地习惯 采用值
1	0.69	1.60	0.33	1.24	2500—3000	27.0	600	210	220	290—340		
2	(0.76)	(1.54)	(0.31)	(1.43)	2000	15.8	500	190	190	240	450	160—180
3	0.76	1.54	0.31	1.43	1500—2000	19.8	450	190	190	180—240		

准值 f_k (即[R]值)采用230 kPa来看, 也能比当地以往习惯采用的经验值提高1/4左右。

(二)花岗岩出露区红土(粘性土、砂质粘性土或砾质粘性土)

土中砂砾含量一般是随深度的增加而减少, 因此土的微观结构也表现为由岩脉红土化形成的网纹粘土(深圳地区称为粘性土)为棉絮状, 由花岗岩红土化形成的含砂砾粘性土为棉絮状混矿物粒状混合型的结构类型, 土质也就显得不均匀。土的工程特性与土中砂砾含量、天

表5

福建、广东花岗岩残积、残坡积红土承载力标准值对比表

序号	含水比 a_w	孔隙比 e	液性指数 I_L	液塑比 I_r	压缩 系数 a_{-2} (MPa) ⁻¹	压缩 模量 E_{s-2} (MPa)	比例 界限 荷载 p_0 (kPa)	变形 模量 E_0 (MPa)	极限 荷载 p_u (kPa)	静力 触探 比贯入阻 力 p_s (kPa)	凝 聚力 c (kPa)	内摩 擦角 ϕ	标贯 击数 $N_{63.5}$	承载力标准值 f_k (kPa)		
														根据 TJ7 —74规范 查表	表 7	表 8
1	0.74	0.985	0.34	1.62	0.35	5.6	400	20.2			3	33°20'		410	160	400
2	0.67	0.538	0.16	1.62	0.13	12.5	400	23.0			17	44°06'		450	400	400
3	0.78	0.81	0.24	1.54	0.21	8.7	450	24.2	750	4760	42	33°26'	13.5	390	250	375
4	0.71	0.93	0.23	1.62	0.16	8.5	450	15.4	700	4020	32	29°07'	12.3	420	220	350
5	0.75	0.83	0.16	1.62	0.24	9.3	750	28.7	>950	5620	49	30°58'	13.8	410	240	>475
6	0.80	0.87	0.44	1.85	0.24	7.7	400	20.2	750	3690	43	29°25'	8.8	330	200	370
7	0.55	0.73	0.01	1.75	0.31	5.6	>950	45.4	>950	8960	48	32°27'	24.0	540	270	>475
8		0.85		1.86	0.21	8.7	300	50.0			36	24°51'				300
9		1.11		1.72	0.41	4.7	490	20.1			3	23°57'				400
10	0.80	1.26	0.51	1.70	0.21	10.7	325	9.1				21°48'		380	130	330

注: 序号10为花岗岩岩体中的长石岩脉残积网纹粘土。

含水量和孔隙比有密切关系。根据深圳地区的经验,粘性土(不含大于2mm粒径的颗粒,孔隙比 e 一般大于或等于1)的承载力标准值 f_k 大致为110—250kPa,土中粒径大于2mm颗粒含量不超过全重20%的称为砂质粘性土(孔隙比 e 一般小于或等于1),其 f_k 值变化在120—400kPa之间,砾质粘性土(即土中大于2mm颗粒的含量等于或超过全重的20%, e 一般小于或等于1)的 f_k 值最高,可达150—450kPa。在没有软弱结构面切割的情况下,80—90°高5m以内的陡坡能保持稳定。

由表5可以看出,根据TJ7-74规范表8,即按一般粘性土查得的容许承载力值大大偏低,而根据土中粒径小于0.1mm部分的天然含水量算得的含水比,参照规范表7(即晚更新世 Q_3 及其以前沉积的老粘性土容许承载力表)查得的承载力值,与根据载荷试验结果确定的承载力值比较接近。当然,这不能作为确定承载力值的依据,而只是从另一个侧面来说明这种土不能按一般粘性土考虑。同时,只有积累更多的载荷试验与土性有关参数相关关系的资料,建立相应的容许承载力表,才能解决南方广大地区一般建筑勘察设计的需要。

(三)碎屑沉积岩(红层)出露区红土(含砂或含砾亚粘土(或粘土))

其颗粒组成与母岩成分有密切关系。孔隙比一般小于1,天然含水量一般小于25%,一般处于可塑—硬塑状态。有的地区上部2m左右土质特别松软,有的还具有湿陷性。结构强度较低,具中等到高压缩性。抗剪强度相对较高,红土的强度与母岩的结构成分有密切关系。对碎屑沉积岩和粘土岩出露区红土必须根据原位测试确定其承载力标准值。

(四)网纹红土

根据向春尧等人对湖南网纹红土的研究,由冲洪积、冲积粘性土形成的网纹红土,其孔隙比远小于1,在垂直方向上的天然含水量、液性指数、含水比、饱和度和压缩系数随深度向下均有不同程度地逐渐增大的趋势,相应地土的状态也由坚硬向硬塑—可塑转变。具中等压缩性,压缩系数 a_{1-2} 小于 $0.3(\text{MPa})^{-1}$ 。抗剪强度较高,且有向下逐渐降低的趋势。总的来说,土质较均匀,渗透性微弱,有时可见上层滞水存在,水稳性强。从微观结构看,土粒表面被覆有游离氧化物的“包膜”,使土具有很高的结构强度和抗水强度,所以其容许承载力可达500—1500kPa,要比当地以往习惯采用值(250kPa左右)高1倍到几倍。

四、土的工程分类

综上所述,就中国国土来说,红土主要是分布在华南、西南、华东以及华中部分地区,所谓红土是指岩石(或原土)主要于中更新世时期(Q_2)(在华南热带区则包括第三纪和更新世以来的整个第四纪时期),经过红土化作用形成的褐红色、棕红色、棕褐色、紫红色、黄红色等的红土,或与灰白色、黄白色、黄色等相间组成网纹红土,或为砾质、砂质粘性土等,其工程特性与一般粘性土不同。原生红土经过搬运后而仍具有红土主要特征的则是次生红土,可以叫做类红土,有冲洪积、坡洪积、洪积等成因。

根据土的主要特征的不同,红土至少可以划分为三个基本类型,主要包括八种亚型(其中1D型为次生型,其它为原生型),如表6所示。

表6

红 土 的 工 程 分 类 表

类 型	亚 型	母岩或原土	成 因	主 要 特 征
1 型 红粘土	1 A型, 红粘土	碳酸盐岩	残积、 残坡积	高液限(w_L 大于50)高孔隙比(e 大于1)、中等压缩性(a_{1-2} 小于 $0.3(\text{MPa})^{-1}$)具以收缩为主的胀缩性。低到中等强度(地基承载力标准值 f_k 为100—380kPa)。
	1 B型, 红粘土	玄武岩		高液限(w_L 大于50), 高孔隙比(e 大于1), 中等压缩性(a_{1-2} 平均在 $0.4(\text{MPa})^{-1}$ 左右), 低到中等强度(f_k 为100—350kPa), 在饱水浸泡下有显著软化现象。上部1—2.5m土质松软。
	1 C型, 红粘土	正长岩 粘土岩等		高液限(w_L 大于50), 中到高孔隙比(e 小于0.5至大于1), 中等压缩性($a_{1-2}=0.2-0.3(\text{MPa})^{-1}$), 低到中等强度($f_k=100-250\text{kPa}$)。
	1 D型, 类红粘土	红粘土	冲洪积、 坡洪积、 洪积等	均具有上述特征, 但程度稍差(w_L 大于45, e 大于1, $a_{1-2}=0.2-0.3(\text{MPa})^{-1}$), 颜色较浅, 且含有少量砂砾, 低到中等强度($f_k=100-250\text{kPa}$)。
2 型 含砾、 含砂 粘性土	2A型, 砾质粘性土、砂质粘性土	花岗岩等	残积、 残坡积	含一定数量的砂砾、孔隙比相对较小($e \leq 1$)、粘土成分的状态、密度是控制土体强度的决定性因素, 中等压缩性(a_{1-3} 小于 $0.5(\text{MPa})^{-1}$)结构强度较高, 低到中高强度($f_k=120-450\text{kPa}$), 土质不均匀。
	2B型, 含砂、含砾亚粘土(粘土)	碎屑沉积岩		含一定数量的砂砾, 孔隙比相对较小, ($e < 0.8$)粘土成分的状态、密度是控制土体强度的关键, 中等压缩性, ($a_{1-2}=0.2-0.4(\text{MPa})^{-1}$), 低到中等强度($f_k=80-300\text{kPa}$)。结构强度较低, 土质极不均匀, 有的地区表部1—2m的土具湿陷性。
3 型网 纹红土	3 A型, 网纹粘土	正长岩等	残积	中到高孔隙比($e=0.8$ 至大于1), 中等压缩性($a_{1-2}=0.2-0.4(\text{MPa})^{-1}$), 低到中等强度($f_k=120-350\text{kPa}$)。
	3 B型, 网纹粘土(亚粘土)	冲积、冲洪积粘性土	原土经 红土化 作用	中孔隙比($e=0.65-0.8$), 中等压缩性, (a_{1-2} 小于 $0.3(\text{MPa})^{-1}$), 土质较均匀, 结构强度较高, 高到中高强度(f_k 为1500—500kPa)。

五、结 语

1. 红土是在特定的地质环境条件下形成的特殊性土。其中起决定性作用的是能导致红土化作用的热带、亚热带炎热湿润的气候条件, 母岩类型对红土的工程特性有一定的影响。由于地区之间气候条件, 母岩类型对红土的工程特性有一定的影响。由于地区之间气候条件的差异, 更确切的说, 由于红土化作用强弱程度等的不同, 同一类型母岩(或原土)所形成的红土, 其工程特性也具有地区的差异性。

2. 由于红土含有较高游离氧化物, 具有特殊的微观结构和异常的结构强度, 所以对红土不能当作一般粘性土来考虑, 必须根据其所属类型, 按照相应的技术标准, 或根据适当的原位测试及土工试验结果, 进行合理的工程地质评价。

3. 从工程的角度出发, 红土可以划分为三个基本类型, 主要包括八个亚型。事实表明, 碳酸盐岩出露区红粘土仅是“红粘土”中的一种亚型, 玄武岩等出露区红粘土与前者应属于同一类型的不同亚型。如果把“红粘土”作为碳酸盐岩出露区红粘土的专有名词, 而把其它亚型的红粘土排除在“红粘土”之外, 笼统地把它叫做“红土”是弊多利少的, 除了容易引起人们误

解之外,最突出的问题是在有的地区对后者有可能作不出正确合理的工程地质评价,有可能导致工程浪费或失误。

4.目前工程地质界对各类型红土的研究发展是不平衡的,在各地区的发展也不一致。比如就1型红土(红粘土)来说,对西南及广西部分地区1A型红粘土(即碳酸盐岩出露区红粘土)的一般物理力学性质的研究,相对来说是比较充分的。然而其中在有些地区它具有胀缩性(因此有人把这部分的1A型红粘土划入膨胀土类),比如在广西贵县等地以及在贵州有些地区就具有以收缩为主的胀缩性,对其成因、机理以及如何鉴别等问题,有人作了一些初步的研究,但还不够充分,因此这方面的问题需要进一步弄清楚。而对其它亚型的红粘土工程特性的研究还很不够。又如对新兴开放城市地区2A型砾质粘性土、砂质粘性土、粘性土的工程特性的研究已有一定的基础,而对2B型含砂、含砾亚粘土(或粘土)的研究更是不够。再如对湖南3B型网纹粘土工程特性的研究比较深入,而对3A型网纹粘土工程特性的研究却很差。因此,结合经济建设发展的需要,加强各类型红土工程特性(包括游离氧化物,诸如氧化铁、氧化铝、氧化硅及微观结构对土性的影响,以及1A型红粘土的胀缩性问题等)的研究是很必要的。

参 考 文 献

- [1] 林宗元、孙兆福、王天喜、丁凤武,玄武岩风化土的工程地质评价,全国首届工程地质学术会议论文选集,科学出版社,1983年,pp.84—90.
- [2] 秦素娟等,广西贵县红粘土的工程地质特性,水文地质工程地质,1984年第2期,pp.11—14.
- [3] 陈淦,“福建红土”工程特性的初步探讨,工程勘察,1984年第3期,pp.62—65.
- [4] 向春尧,网纹红土的工程地质特性和地基评价,水文地质工程地质,1985年第3期,pp.1—8.
- [5] 王幼麟,蒲圻第四纪红色粘土的物质成分和结构性及其与工程性质的关系,全国首届工程地质学术会议论文选集,科学出版社,1983年,pp.91—97.