

# 客运专线非饱和红粘土的快剪 与慢剪对比试验研究

杨果林, 李珍玉

(中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** 采用某客运专线3个工点的非饱和红粘土试样进行三轴、直剪的不固结不排水剪切、固结不排水剪切和固结排水剪切试验, 获得了这3个工点的直剪、三轴试验指标, 分别对其进行了不固结不排水剪与固结排水剪强度指标对比, 获得了相应的比值, 提出了建议, 对客运专线非饱和红粘土地段设计参数的选取具有参考作用。

**关键词:** 非饱和红粘土; 三轴试验; 直剪试验; 快剪; 慢剪; 对比试验

**中图分类号:** TU411.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2007)02-0014-07

## The Contrast Study between Quick Shear Test and Slow Shear Test of Unsaturated Red Clay in the Passenger Transportation Line

Yang Guolin, Li Zhenyu

(College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Three groups of unsaturated red clay samples have been chosen from the three section of in the passenger transportation line respectively. After UU, CU, and CD tests of the samples, the direct shear test target and triaxial test target have been obtained. Meanwhile, after comparing these target with UU test strength index and CD test strength index respectively, the corresponding ratio is obtained and some advice are provided, which has important reference function when it refers to the design parameter in the sector of unsaturated red clay in the passenger transportation line.

**Key words:** unsaturated red clay; dynamic triaxial test; direct shear test; quick shear test; slow shear test; comparative test

## 0 前言

直剪快剪试验由于仪器设备构造和操作比较简单, 容易掌握, 所需试样较少, 速度较快, 剪切峰值易于确定, 试验时间短, 目前仍是室内试验的重要手段。但直剪试验受仪器结构的限制, 无法控制排水, 只能以剪切速率的快慢来控制试样的排水条件, 剪切面只能在中间水平向, 剪切破坏面系人为规定, 破坏面不一定就是最薄弱面, 而且剪切面应力分布不均匀,

不符合土所处的实际应力状态。

三轴剪切试验能够模仿土体在实际土层中的受力状况, 试验中可处于与工程相近的三向受力状态, 易于反映土体不连续性和各向异性, 具有能控制大小主应力及排水条件, 受力状态明确, 剪切面不固定, 破坏面是土体最薄弱面, 并根据工程所需准确测定土的孔隙压力及体积变化等优点, 同时还能提供所需有效强度指标, 进行土体稳定的有效应力分析。所以, 三轴剪切更为客观, 更接近自然情况<sup>[1-4]</sup>。

收稿日期: 2006-11-23

作者简介: 杨果林(1963-), 男, 湖南桃江人, 中南大学教授, 博士生导师, 主要从事道路与铁道工程, 岩土工程和结构工程的教学和科研工作。

本文采用的试样为某客运专线3个载荷试验工点的原状土样, 分别对其进行三轴剪切和直剪试验的快剪和慢剪, 对比其试验结果<sup>[5, 6]</sup>。

### 1 三轴剪切试验的快剪与慢剪

本次分析采用的试样为3个载荷试验工点的原状土样, 三轴试验的不固结不排水剪切相当于快剪, 其所

得的试验指标为总抗剪强度指标  $c_u$ 、 $\varphi_u$ ; 三轴试验固结排水剪切相当于慢剪, 其相应测得的试验指标为有效抗剪强度指标  $c_d$ 、 $\varphi_d$ 。

#### 1.1 工点 I

##### 1.1.1 三轴不固结不排水剪 (UU)

工点 I 三轴不固结不排水剪切 (快剪) 试验结果如表 1 所示。

表 1 工点 I 三轴不固结不排水剪切 (快剪)

Table 1 Unconsolidated-undrained triaxial test of section I (quick shear test)

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°
1	① K3-Y12-3 (2)	16		200			3	① K3-Y12-3 (2)	17		200		
	② K3-Y12-4 (3)	17	14	400	21.86	4.56		② K3-Y12-1 (2)	16	14	400	19.49	4.24
	③ K3-Y12-4 (1)			600				③ K3-Y12-4 (1)	17		600		
2	① K3-Y12-4 (4)	17		200			4	① K2-Y6-2 (4)			200		
	② K3-Y12-1 (2)	16	14	400	12.53	5.13		② K2-Y6-2 (1)	8	18	300	21.75	9.04
	③ K3-Y12-4 (1)	17		600				③ K2-Y6-2 (2)			400		
							④ K2-Y6-2 (3)			600			

图 1 为工点 I 三轴不固结不排水剪切试验的第 2 组摩尔圆。

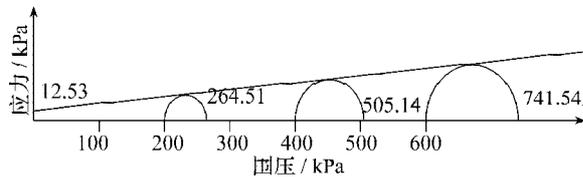


图 1 工点 I 三轴快剪摩尔圆 (第 2 组)

Figure 1 Mohr's circle of UU of section I

图 2 为工点 I 三轴快剪的第 4 组应力 - 应变关系图。

##### 1.1.2 三轴固结排水剪切 (CD)

工点 I 三轴固结排水剪切 (慢剪) 试验结果如表 2 所示。

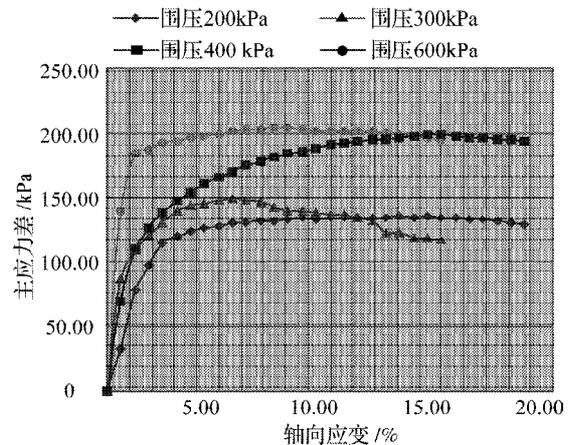


图 2 工点 I 三轴快剪试验应力应变关系

Figure 2 Relation between stress and strain of UU of section I

表 2 工点 I 三轴固结排水剪切 (慢剪)

Table 2 Consolidated drained triaxial test of section I (slow shear test)

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°
1	① K2-Y6-1 (3)			200			3	① K3-Y12-3 (1)	17	14	200		
	② K2-Y6-1 (2)	7	21	400	44.7	9.97		② K3-Y12-1 (1)	16	14	400	19.64	18.44
	③ K3-Y6-1 (1)			600				③ K3-Y12-1 (4)			600		
2	① K3-Y9-1 (4)	11	14	200			4	① K3-Y7-1 (4)			200		
	② K2-Y8-1 (3)	10	19	400	60.86	12.15		② K3-Y7-1 (3)	8	22	300	47.79	11.63
	③ K3-Y9-1 (3)	11	14	600				③ K3-Y7-1 (1)			400		
							④ K3-Y7-1 (2)			600			

图3为工点I三轴固结排水剪切试验第1组的摩尔圆。

图4为工点I三轴固结排水剪切试验的应力应变关系。

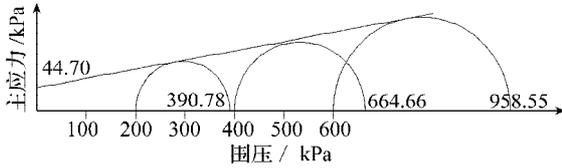


图3 工点I三轴慢剪摩尔圆

Figure 3 Mohr's circle of CD of section I

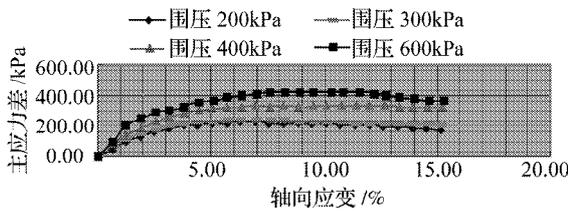


图4 工点I三轴试验CD应力应变关系  
Figure 4 Relation between stress and strain of CD of section I

1.1.3 三轴固结不排水剪 (CU)

工点I三轴固结不排水剪切试验结果如表3所示。

表3 工点I三轴固结不排水剪切试验

Table 3 Consolidated undrained triaxial test of section I

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cu}$ /kPa	$\phi_{cu}$ /°
1	① K2-Y9-1 (3)			100		
	② K2-Y9-1 (4)	11.4~11.6	16	200		
	③ K2-Y9-1 (2)			600	40.07	10.87
	④ K1-Y9-1 (1)			300		
	⑤ K1-Y9-1 (1)	14.2~14.4	17	400		
2	① K1-Y8-2 (1)			100		
	② K1-Y8-2 (2)	13.1~13.3	17	400	35.02	8.12
	③ K1-Y8-1 (1)	12.4~12.6	18	300		
	① K3-Y8-2 (1)			300		
	② K3-Y8-2 (2)	10.2~10.4		600		
3	③ K3-Y8-2 (3)		22	200	14.99	13.33
	④ K3-Y8-1 (3)			100		
	⑤ K3-Y8-1 (2)	9.8~10.0		400		
	① K1-Y4-3 (2)			300		
	② K1-Y4-3 (3)			400		
4	③ K1-Y4-2	5.8~6.4	22	600	50.45	17.84
	④ K1-Y4-3 (1)			200		

图5为固结不排水剪切第1组摩尔圆。

图6为固结不排水剪切的某一组应力应变曲线。

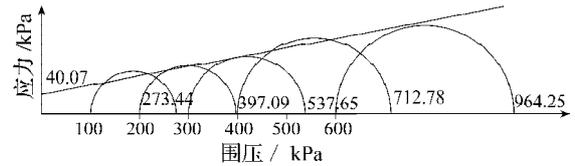


图5 三轴固结不排水剪切摩尔圆

Figure 5 Mohr's circle of CU

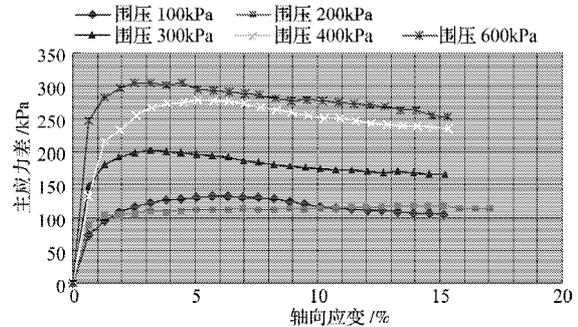


图6 工点I三轴固结不排水剪切应力应变关系图

Figure 6 Relation between stress and strain of CU of section I

1.2 工点II

1.2.1 三轴不固结不排水剪切 (UU)

工点II三轴不固结不排水剪切试验 (快剪) 结果如表4所示。

表4 工点II三轴不固结不排水剪切试验 (快剪)

Table 4 Unconsolidated-undrained triaxial test of section II (quick shear test)

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\phi_{uu}$ /°
1	① K3-Y8 (1)			100		
	② K3-Y8 (2)	13	20	200	9.73	9.32
	③ K4-Y4-2 (1)	5.8	19	400		
2	① K4-Y6-2 (1)			100		
	② K4-Y6-2 (2)	8	18	200	39.24	9.68
	③ K1-Y3-2 (2)	5	11	400		

1.2.2 三轴不固结不排水剪切 (CD)

工点II三轴固结排水剪切试验 (慢剪) 结果如表5所示。

1.2.3 三轴固结不排水剪切 (CU)

工点II三轴固结不排水剪切试验的结果如表6所示。

1.3 工点III

1.3.1 三轴不固结不排水剪切 (UU)

工点III三轴不固结不排水剪切试验 (快剪) 结果如表7所示。

1.3.2 三轴固结排水剪切 (CD)

工点III三轴固结排水剪切试验 (慢剪) 结果如表8所示。

表5 工点II三轴固结排水剪切试验(慢剪)

Table 5 Consolidated drained triaxial test of section II (slow shear test)

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°
1	① K2-Y3-1 (1)	3.7	23	200	54.1	22.38	3	① K3-Y3-2 (3)			300	15.17	12.45
	② K1-Y3-1 (4)			300				② K3-Y3-2 (1)	6	10	400		
	③ K1-Y3-1 (1)	5	11	400				③ K3-Y3-2 (2)			600		
	④ K1-Y3-1 (2)			600				① K4-Y7-2 (3)			200		
2	① K1-Y3-1 (3)	5	11	200	94.0	17.09	4	② K4-Y7-2 (1)	9.8	15	400	95.87	8.18
	② K1-Y2-2 (1)	3	21	300				③ K4-Y7-2 (2)			600		
	③ K2-Y3-1 (3)	3.7	23	600									

表6 工点II三轴固结不排水剪切

Table 6 Consolidated undrained triaxial test of section II

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cu}$ /kPa	$\varphi_{cu}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cu}$ /kPa	$\varphi_{cu}$ /°
1	① K2-Y9-1 (1)			400	22.36	15.59	3	① K2-Y6-1 (2)			300	11.67	15.39
	② K2-Y9-1 (2)	12.7~12.9	19	600				② K2-Y6-1 (1)	8.8~9.0	14	600		
	③ K2-Y9-1 (3)			400				③ K2-Y6-1 (4)			400		
2	① K2-Y2-3 (2)	2.8~3.0	23	400	97.37	14.12	4	① K2-Y4-1 (1)			200	34.08	12.37
	② K2-Y2-3 (1)							600	② K2-Y4-1 (2)	6.2~6.4	13		
	③ K4-Y2-2 (1)	2.4~2.6	24	300				③ K2-Y4-1 (4)			600		
	④ K4-Y2-2 (2)							200					

表7 工点III三轴不固结不排水剪切试验(快剪)结果

Table 7 Unconsolidated-undrained triaxial test of section III (quick shear test)

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	
1	① K2-Y9-5 (1)			200	37.21	7.54	3	① K2-Y14 (1)			400	39.19	17.26	
	② K2-Y9-5 (2)	12.7~12.9	18	600				② K2-Y14 (2)			600			
	③ K2-Y9-5 (3)							400	③ K2-Y14 (3)	15.0~15.2	10			200
	④ K2-Y9-5 (4)			300				④ K2-Y14 (4)			300			
2	① K3-Y5-2 (2)	6.3~6.5	26	200	201.39	(异常)	4	① K3-Y10-1 (1)			400	67.03	4.64	
	② K3-Y5-2 (3)							300	② K3-Y10-1 (2)	12.4~12.6	15			600
	③ K3-Y5-2 (1)							400	③ K3-Y10-1 (3)					
							④ K3-Y10-1 (4)			300				

表8 工点III三轴固结排水剪切试验(慢剪)结果

Table 8 Consolidated drained triaxial test of section III (slow shear test)

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°
1	① K4-Y7-1 (1)			300	122.06	20.6	3	③ K4-Y4-1 (2)	4.6~4.8	32	600	50.97	29.18
	② K4-Y7-1 (2)	8.5~8.7	20	200				④ K4-Y4-1 (1)					
	③ K4-Y7-1 (3)							400	① K2-Y10-1 (3)		400		
	④ K4-Y7-1 (4)			600				② K2-Y10-1 (4)	13.7~13.9	18	600		
2	① K3-Y4-2 (1)			400	③ K2-Y10-1 (1)		200						
	② K3-Y4-2 (2)	5.0~5.2	30	600	60.56	29.60	④ K2-10-1 (2)		300				
	③ K3-Y4-2 (3)						200	① K3-Y4-1 (3)		200			
3	① K4-Y4-1 (4)	4.6~4.8	32	400	50.97	29.18	5	② K3-Y4-1 (4)	4.6~4.8	27	400	7.12	32.17
	② K4-Y4-1 (3)							300			③ K3-Y4-1 (2)		

### 1.3.3 三轴固结不排水剪切 (CU)

工点Ⅲ三轴固结不排水剪切试验 (CU) 结果如表 9 所示。

表 9 工点Ⅲ三轴固结不排水剪切试验(CU)结果  
Table 9 Consolidated undrained triaxial test of section Ⅲ

组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\phi_{uu}$ /°	组号	土样编号	土样深度 /m	标贯 /N	围压 /kPa	$C_{uu}$ /kPa	$\phi_{uu}$ /°	
1	① K4-Y5-2 (1)	6.3~6.5	33	400	49.62	23.07	2	③ K3-Y5-1 (3)	5.9~6.1	24	600	69.78	26.41	
	② K4-Y5-2 (2)			600				④ K3-Y5-1 (4)						200
	③ K4-Y5-2 (3)			200				① K4-Y7-2 (3)						300
	④ K4-Y5-2 (4)			300				② K4-Y7-2 (4)						8.9~9.1
2	① K3-Y5-1 (1)	5.9~6.1	24	400	69.78	26.41	3	③ K4-Y7-2 (2)	8.9~9.1	16	400	64.89	17.03	
	② K3-Y5-1 (2)			300				③ K4-Y7-2 (2)						200

## 2 直剪试验的快剪与慢剪

### 2.1 不固结不排水直剪 (快剪)

不固结不排水直剪结果如表 10 所示。

表 10 不固结不排水直剪试验结果  
Table 10 Result of unconsolidated-undrained direct shear test

试样标号	$C_{uu}$ /kPa	$\phi_{uu}$ /°	试样标号	$C_{uu}$ /kPa	$\phi_{uu}$ /°
DK1293+432, K4-Y3-1, 3.3~3.5 m	114.8	17.70	DK1274 + 642.9 右 4.6 m, K2-Y5-2	44.2	9.61
DK1293+427.5 右 19 m, K1-Y1-1, 0.7~0.9 m	53.9	17.05	DK1274 + 647.1 右 0.5 m (0.7~0.9), K3-Y1-1	62.5	27.27
DK1293+432, K1Y2-Y1-1Y2	112.7	20.62	DK1274 + 647.1 右 4.6 m, K2-Y1-2	121.6	19.67
DK1293+432, K4-Y6-1/2	60.1	5.15	DK1274 + 647.1 右 0.4 m, K3-Y1-2 (1.1~1.3)	97.0	20.60
DK1293+432, K4-Y2-1	109.8	18.68	DK1274 + 647.1 右 0.4 m, K4-Y2-1 (2.0~2.2)	81.0	24.63
DK1293+427.5, 右 15 m, K2-Y2-1, 2.0~2.2 m	90.7	26.69	DK1274 + 642.9 右 4.6 m, K2-Y4-1 (2.0~2.2)	38.7	20.04
DK1443+151.5, K2-Y2+0	40.8	30.66	DK1274 + 647.1 右 0.4 m, K3-Y5-1 (9.4~9.6)	12.0	22.35
DK1443+138, K1-Y6	5.1	20.97	DK1784+884.9 右 4.6K4-Y13-2	5.4	6.38
DK1443+138 右 5.0 m, K1-Y2	81.0	21.24	DK1784+884.9K2-Y10-2	31.15	1.27
DK1443+153 右 5.0 m, K2-Y1	43.2	21.94	DK1784+884.9 右 0.4K1-Y2-1	87.2	12.47
DK1443+151.5 右 5.0 m, K2-Y1	64.8	23.86	DK1784+884.9 右 0.4K1-Y8-1	96.6	23.17
DK1443+138 右 5.0 m, K1-Y1	16.9	32.42	DK1784+884.9 右 0.4K2-Y2-1	59.0	21.09
DK1443+157.5 右 5.0 m, K2-Y3 加 (3.5~4.5)	69.1	24.91	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y7-2	171.17	4.48
DK1443+138 右 5.0 m, K2-Y2 加 (2.9~4.0)	64.0	30.60	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y11-2	5.4	6.38
DK1274 + 647.1 右 0.1 m, K3-Y6-1 加 (2.9~4.0)	21.5	19.40	DK1784+884.9 右 4.6K4-Y13-2	8.6	8.28
DK1274 + 647.1 右 4.6 m, K4-Y5-2 (7.1~7.2)	16.2	11.30	DK1784+884.9 右 4.6K31-Y11-1	13.1	6.31
DK1274 + 647.1 右 0.4 m, K3-Y4-3	46.1	5.38	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y11-1	9.4	6.09
DK1274 + 647.1 右 0.4 m, K3-Y4-2	31.7	14.61	DK1784+889 右 0.4K2-Y8-1	52.1	24.38

### 2.2 固结不排水直剪 (慢剪)

固结不排水直剪 (慢剪) 试验结果如表 11 所示。

表 11 固结不排水直剪 (慢剪) 试验结果

Table 11 Result of consolidated undrained direct shear test (slow shear test)

试样标号	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°	试样标号	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°
DK1274+647.1 右 0.4K4-Y1-2	67.80	25.28	DK1784+884.9K2-Y2-1	51.45	25.26
DK1274+647.1 右 0.4K3-Y4-2	6.97	26.30	DK1784+884.9K2-Y10-2	15.70	25.95
DK1274+642.5K1-Y11-1	6.20	28.59	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y2-2	62.89	25.77
DK1274+642.9K1-Y5-2	11.54	29.07	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y3-2	29.70	35.60
DK1274+647.1 右 0.4K3-Y6-2	25.00	21.30	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y11-2	6.5	26.39
DK1274+647.1 右 0.4K3-Y7-1	27.85	20.52	DK1784+889.1K3-Y4-2	51.8	30.26
DK1274+647.1 右 0.4K3-Y13	1.50	30.30	DK1784+889.1K3-Y9-2	30.45	25.06
DK1274+647.1 右 4.6K4-Y4-1	24.00	25.05	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y8-2	57.20	21.20
DK1784+884.9K1-Y2-1	44.99	22.04	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y10-2	15.40	26.13
DK1784+884.9K1-Y11-1	0	28.63	DK1784+889.1 右 4.6K4-Y13-2	19.60	24.41

2.3 固结不排水直剪 (固结快剪)

固结不排水直剪 (固结快剪) 试验结果如表 12 示。

表 12 固结不排水直剪 (固结快剪) 试验结果

Table 12 Result of consolidated undrained direct shear test (consolidated quick direct shear test)

试样标号	$C_{cu}$ /kPa	$\varphi_{cu}$ /°	试样标号	$C_{cu}$ /kPa	$\varphi_{cu}$ /°
DK1293+432.5 右 19 m, K3-Y1-1	61.54	20.72	DK1274+647.1, 右 0.4 mK3-Y7-2	59.78	15.45
DK1293+432, K4-Y1-2	32.62	37.35	DK1274+647.1, 右 0.4 mK4-Y4-2	54.61	17.83
DK1293+427.5, K2-Y2-2	41.60	31.77	DK1784+884.9 右 0.4K1-Y8-1	88.2	21.43
DK1293+427.5, K2-Y8-2, 1.3~1.5 m	76.82	7.92	DK1784+884.9 右 4.6K1-Y2-2	58.8	22.99
DK1293+432, K4-Y4-2, 5.0~5.2 m	74.48	22.21	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y2-2	127.7	18.93
DK1443+138, K1-Y6, 11.0~12.4 m	31.36	26.90	DK1784+884.9 右 4.6K2-Y3-2	90.65	30.08
DK1443+151.5, K2-Y2+0	51.45	27.93	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y4-2	148.2	13.90
DK1443+151.5, 右 5.0 mK2-Y1 加 (1.5~2.5)	38.17	29.68	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y8-2	64.9	22.37
DK1443+138, 右 5.0 mK2-Y2 (2.9~4.0)	56.15	30.63	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y9-2	10.78	27.44
DK1274+647.1, 右 0.4 mK3-Y2-1 (2.0~2.2)	74.81	30.43	DK1784+889.1 右 0.4K3-Y10-2	27.2	22.46
DK1274+647.1, 右 0.4 mK4-Y2-1	50.96	29.48	DK1784+889.4 右 4.6K2-Y7-2	147.11	13.41

3 快剪与慢剪的试验结果对比

3.1 三轴试验快剪与慢剪的试验结果对比

三轴试验快剪与慢剪的试验结果对比如表 13 所示。

表 13 三轴试验快剪与慢剪试验对比

Table 13 Contrast between quick triaxial shear test and slow shear test of Quankou

取样地点	快剪		慢剪		取样地点	快剪		慢剪		取样地点	快剪		慢剪	
	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°		$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°		$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°
工点 I	21.86	4.56	44.70	9.97	工点 II	9.73	9.32	54.1	22.38	工点 III	37.21	7.54	122.06	20.67
	12.53	5.13	60.86	12.15		39.24	9.68	94.0	17.09		39.19	17.26	60.56	29.60
	19.49	4.24	19.64	18.44		15.17	12.45	67.03	4.64		50.97	29.18	46.96	25.19
	21.75	9.04	47.79	11.63		95.87	8.18							
均值	18.91	5.74	43.25	13.05	均值	24.49	9.50	64.79	15.03	均值	47.81	9.00	70.14	26.12
	$C_{cd}/C_{uu}=2.29$ ;		$\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=2.27$			$C_{cd}/C_{uu}=2.65$ ;		$\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=1.58$			$C_{cd}/C_{uu}=1.47$ ;		$\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=2.90$	

### 3.2 直剪试验快剪与慢剪的试验结果对比

直剪试验快剪与慢剪的试验结果对比如表 14 所示。

表 14 直剪试验快剪与慢剪试验对比  
Table 14 Contrast between quick direct shear test and slow shear test

取样地点	快剪		慢剪		取样地点	快剪		慢剪		
	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°		$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{uu}$ /°	$C_{uu}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /°	
	21.5	19.40	67.80	25.28		5.4	6.38	44.99	22.04	
	16.2	11.30	11.54	29.07		87.2	12.47	51.45	25.26	
	46.1	5.38	25.00	21.30		96.6	23.17	15.70	25.95	
	31.7	14.61	27.85	20.52		59.0	21.09	62.89	25.77	
工点 II	44.2	9.61	24.00	25.05	工点 III	5.4	6.38	29.70	35.60	
	38.7	20.04				8.6	8.28	51.8	30.26	
	12.0	22.35				13.1	6.31	30.45	25.06	
							9.4	6.09	57.20	21.20
							52.1	24.38	15.40	26.13
								19.60	24.41	
均 值	14.67	14.67	31.24	24.24	均 值	37.43	12.70	37.95	26.17	
$C_{cd}/C_{uu}=1.04$ ; $\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=1.65$					$C_{cd}/C_{uu}=1.01$ ; $\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=2.06$					

### 4 三轴、直剪试验的快剪与慢剪总结论

1) 直剪试验的慢剪与快剪的试验结果对比: 凝聚

力比  $C_{cd}/C_{uu}=1.01\sim 1.04$ ; 内摩擦角比  $\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=1.65\sim 2.06$ ;

2) 三轴试验的慢剪与快剪试验结果对比: 凝聚力比  $C_{cd}/C_{uu}=1.47\sim 2.56$ ; 内摩擦角比  $\varphi_{cd}/\varphi_{uu}=1.58\sim 2.90$ ;

3) 三轴试验比直接试验在试验方法上更合理、模拟实际条件更符合实际; 而慢剪比快剪更能反映土的工程特性指标。对于客运专线这样的重要工程, 对沉降控制非常严格, 应该采用三轴慢剪指标作为设计参数。

#### 参考文献:

[1] Fredlund D G, Xing A, Huang S. Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31: 533-546.

[2] 杨庆, 贺洁, 栾茂田. 非饱和和红粘土和膨胀土抗剪强度的比较研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(1): 13-16.

[3] 刘春, 吴绪春. 非饱和和红粘土强度特性的三轴试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2003, 29(2): 65-66.

[4] Fredlund D G, Rahardjo H. 非饱和土土力学[M]. 陈仲颐, 张在明, 陈愈炯, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

[5] SL237-1999, 土工试验规程[S].

[6] TB10018-2003, 铁路工程地质原位测试规程[S].

## 我校成功举办“室内空气质量研究”国际学术研讨会

2007年4月25日下午, 由湖南工业大学土木工程学院主办的“室内空气质量国际学术研讨会”在科技大楼3楼报告厅举行。

研讨会上, 丹麦技术大学 Jan Sundell 教授、丹麦 AALBORG 大学 Peter V. Nielsen 教授、台湾成功大学的 Jenny Su 教授、香港大学李玉国教授、中南大学邓启红教授, 相继作了精彩的演讲, 并就解决室内空气质量恶化的难题从计算流体力学层面, 解读了室内空气质量研究模型的建立, 室内空气品质研究现状与发展趋势, 中国炕的研究等相关的问题进行了座谈。国际知名专家们结合全英文的 ppt 课件, 展示了学界前沿的理论研究成果。