

软土基坑土压力计算抗剪强度参数的分析

高广运¹, 李 伟¹, 顾国荣², 陈 晖²

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海岩土工程勘察设计研究院有限公司, 上海 200002)

摘 要: 根据上海某软土工程试验资料, 对比分析了不同试验方法抗剪强度指标计算基坑土压力的变化。参考国家标准、行业标准和地方规范, 同时结合实际工程经验和地方经验, 论证了不同试验方法抗剪强度指标的适用性。建议在基坑支护结构设计中土压力计算应采用固结不排水强度指标, 当有可靠工程经验时, 也可采用直剪固快强度指标。

关 键 词: 基坑; 土压力; 抗剪强度参数; 软土

中图分类号: TU 447

文献标识码: A

Analysis of shear strength parameters for calculating earth pressure in soft soil foundation pit

GAO Guang-yun¹, LI Wei¹, GU Guo-rong², CHEN Hui²

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Geotechnical Investigation & Design Institute Co. Ltd., Shanghai 200002, China)

Abstract: According to the experimental data in soft soil foundation pit in Shanghai, this paper presents the variation of calculating earth pressure based on the different shear strength parameters. Considering national codes, technical specifications and local code, combined with the practical and local experiences, the applicability of different shear strength parameters are analyzed. In the design of supporting structure for foundation pit, this paper suggests that shear strength parameters of consolidated undrained experiment should be used to calculate earth pressure; and that shear strength parameters of consolidated quick direct shear test may be used to calculate earth pressure when with credible experiences.

Key words: foundation pit; earth pressure; shear strength parameters; soft soil

1 引 言

随着社会的进步、工程建设的发展, 用途繁多的各类地下空间得到开发, 由此而产生了大量的基坑工程^[1], 抗剪强度指标则是各类基坑支护设计最重要的参数之一。

采用不同的试验方法, 如有效应力法或总应力法、直剪试验或三轴试验、固结不排水剪试验或不固结不排水剪试验等, 可能得出截然不同的土体抗剪强度参数。对于基坑支护设计的土压力计算究竟选取何种参数, 目前仍存在一定的争论, 我国的国家规范、行业标准和地方标准的相关规定并不统一, 如国标《建筑地基基础设计规范》^[2]规定: 对于饱

和粘性土应采用在土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水试验确定抗剪强度指标。建设部行业标准《建筑基坑支护技术规程》^[3]则规采用三轴固结不排水试验强度指标, 且当地有可靠经验时允许采用直剪试验强度指标。上海市工程建设标准《地基基础设计规范》^[4]规定: 当采用水土分算时, c , ϕ 取三轴固结不排水试验或直剪固快试验的峰值; 当采用水土合算时, c , ϕ 取直剪固快试验的峰值。而国家标准《岩土工程勘察规范》^[5]中则没有明确采用何参数, 但规定土的抗剪强度试验方法应与基坑工程设计要求一致, 符合设计采用的标准。其他的标准, 如冶金部行业标准中规定, 采用水土分算时应选取有效应力强度指标, 也可采用三轴固

结不排水试验强度指标；采用水土合算时应选取三轴固结不排水试验强度指标，并应乘以 0.7 的折减系数。广州市地方规范规定应采用三轴固结不排水试验强度指标，有经验时也可选用其他参数。

在《高层建筑岩土工程勘察规程》^[6]的评审会上，有关专家对此也提出了疑问，在基坑支护设计的土压力计算中究竟选取哪种抗剪强度指标？为什么选取这种指标？该规程应该如何规定？为此，本文根据上海地区几个典型工程的试验资料，通过计算，对比分析不同试验方法抗剪强度指标对基坑设计土压力的影响，结合实际工程经验和地方经验，同时参考国标、行业标准和地方规范，讨论了不同试验抗剪强度指标的适用性。

2 土体的抗剪强度指标

土体抗剪强度是岩土工程中是评价工程对象稳定和安全分析的基本参数，如地基承载力和地基稳定性、边坡稳定性分析与控制、支挡构筑物稳定与位移的设计计算等。

虽然土体抗剪强度如此重要，但其实测指标却因不同试验方法而不同，它随应力路径、排水条件等的变化而改变。由于土体本质上是多相体，即使最一般的工程条件下也是二相饱和介质。按照土体中孔隙水的存在和影响，土体的抗剪强度指标可分为总应力强度指标和有效应力强度指标。对总应力抗剪强度指标而言，由于不同的排水控制条件和试验条件，对应有不同的强度指标，如直剪试验可以得到快剪、固结快剪和慢剪三种抗剪强度指标，三轴试验则可得到不固结不排水剪、固结不排水剪和排水剪三种抗剪强度指标。

由于土体抗剪强度指标的复杂性，对于不同工程就应选用相应的符合土体受力性状的抗剪强度指标。如按一般的考虑，当采用有效应力方法（如强度随土体固结而增长的计算等）进行设计时，宜采

用有效应力抗剪强度指标；对于可能发生快速破坏的正常固结土天然边坡、软土地基和路堤等均可采用不固结不排水剪或快剪强度指标进行验算；对于渗透性较低的深厚软土，当施工速度较快时可采用固结不排水剪强度指标。理论上可以说，不同的工程应选择与其各个工况应力路径相同或相近的试验强度指标，但由于岩土工程的复杂性和不确定性，很难使二者相一致。事实上，不同工程抗剪强度指标通常要借助于实际经验或地区经验进行选择。

3 不同强度指标计算土压力分析

针对基坑设计土压力计算中选取不同土体抗剪强度参数的争议，这里根据上海 3 个软土工程场地的土体参数，分别由三轴不固结不排水剪、固结不排水剪和直剪固快强度指标计算了主动土压力和被动土压力沿地基深度的变化，结果详见图 1、图 2（图中数值为分层界面处上/下土压力计算值）和表 1~3。

分析图、表结果可得以下结论：

(1) 由三轴固结不排水剪和直剪固快 2 组试验指标得出的主动土压力和被动土压力在工程意义上是比较接近的。

(2) 由三轴不固结不排水试验得出的主动土压力与其他两组指标计算值差别较大，表现为在深度较浅时，其值偏小；在深度较大时，其值明显偏大。如图 1 所示，在深度 15 m 处不固结不排水剪算得的主动土压力（195.9 kPa）约为固结不排水剪指标计算值（107.67）的 2 倍，且随深度增加，二者的偏差逐渐增大。

(3) 由三轴不固结不排水试验得出的被动土压力与其他 2 组指标计算值差别也较大，但与主动土压力变化规律恰好相反，在深度较浅处，其值稍微偏大；在深度较大时，其值明显偏小，且随深度增加，两者偏差逐渐增大。

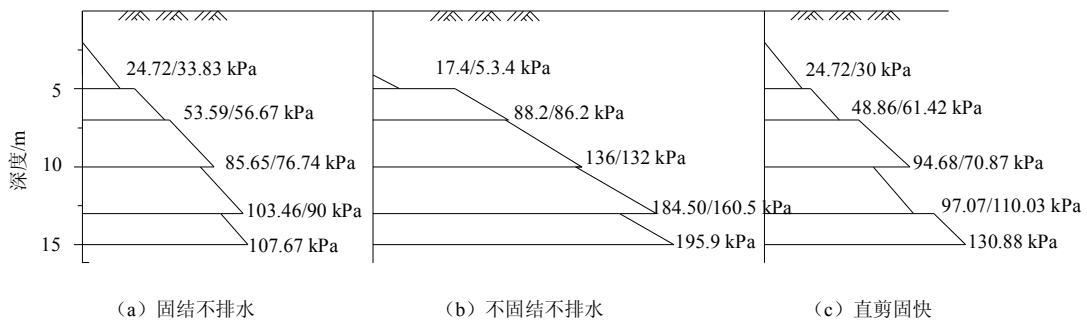


图 1 场地 3 主动土压力比较

Fig.1 Comparison of active earth pressures at site 3 for different parameters

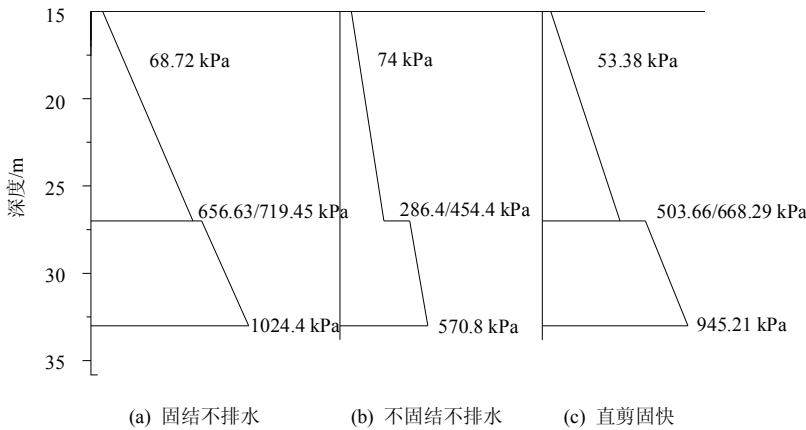


图 2 场地 3 被动土压力比较
Fig.2 Comparison of passive earth pressures at site 3 for different parameters

从表 1~3 可以看出，对于基坑支护结构设计，采用三轴不固结不排水剪试验指标比其他两种更安全。但实际上由于岩土工程的复杂性，同时考虑到设计与施工应达到技术先进、经济合理与安全的目标，设计参数应借助实际经验或地区工程经验来选取。这里计算分析表明，若采用三轴不固结不排水剪试验指标设计支护结构，则较保守，且随着基坑

深度的增加，将造成不必要的浪费。
根据上海地区工程经验，采用三轴固结不排水剪试验指标设计的基坑是安全的。而实测支护结构内力也表明，大多数基坑支护结构的钢筋应力远未达到设计强度。如上海某地铁车站，其二级热轧主筋的实测钢筋应力最大值仅达到 50 MPa 左右，远低于设计值^[7]。

表 1 场地 1 主动土压力和被动土压力计算值
Table 1 Computed results of active earth pressures and passive earth pressures at site 1

土层号	土层名	层厚 /m	γ_i /kN·m ⁻³	$\sum \gamma_i h_i$ /kN·m ⁻²	固结不排水						不固结不排水						直剪固快					
					c_{cu} /kPa	φ_{cu} /(°)	K_{acu}	P_{acu} /kPa	K_{pcu}	P_{pcu} /kPa	c_{uu} /kPa	φ_{uu} /(°)	K_{auu}	P_{auu} /kPa	K_{puu}	P_{puu} /kPa	c /kPa	φ /(°)	K_a	P_a /kPa	K_p	P_p /kPa
③	淤泥质粉质粘土	3	17.4	52.2	10	18.5	0.518	0 12.65			22	0	1	0 8.2			12	20.5	0.481	0 8.44		
④ ₁	淤泥质粘土	7	16.7	169.1	11	13.8	0.615	14.85 86.74			25	0	1	2.2 119.1			14	12.0	0.656	11.56 88.25		
④ ₁	淤泥质粘土	11	16.7	183.7	11	13.8			1.98	35.02 399.7	25	0			1	50 233.7	14	12.0			1.80	41.80 372.2
基坑 10 m 深处主动土压力和坑底下 11 m 处被动土压力合力(kN)								366.95		2 390.74				426.48		1 560.35				353.56		2 276.89

表 2 场地 2 主动土压力和被动土压力计算值
Table 2 Computed results of active earth pressures and passive earth pressures at site 2

土层号	土层名	层厚 /m	γ_i /kN·m ⁻³	$\sum \gamma_i h_i$ /kN·m ⁻²	固结不排水						不固结不排水						直剪固快						
					c_{cu} /kPa	φ_{cu} /(°)	K_{acu}	P_{acu} /kPa	K_{pcu}	P_{pcu} /kPa	c_{uu} /kPa	φ_{uu} /(°)	K_{auu}	P_{auu} /kPa	K_{puu}	P_{puu} /kPa	c /kPa	φ /(°)	K_a	P_a /kPa	K_p	P_p /kPa	
②	粘土	2	18.3	36.6	18	21.7	0.46	0 0				54	0.00	1	0 0			24	19.0	0.51	0 0		
③	淤泥质	3	17.6	89.4	10	17.0	0.55	0				33	0	1	0			12	21.5	0.46	0		
	粉质粘土							34.19							23.4						25.10		
④ ₁	淤泥质	10	16.6	255.4	10	14.0	0.61	38.91				19	0	1	51.4			14	12.5	0.64	35.11		
	粘土							140.2							217.4						142.0		
⑤ ₁₋₁	粘土	8	17.6	140.8	14	19.8			2.82	57.45 454.94		40	0			1	80 220.8	17	15.5			2.18	57.94 365.36
⑤ ₁₋₂	粉质粘土	12	17.8	354.4	14	26.3			4.41	701.23 1643.2		61	0			1	262.8 476.4	16	22.0			3.25	530.46 1224.7
基坑 15 m 深处主动土压力和 坑底下 20 m 处被动土压力合力(kN)								946.70		16 116					1 358.63		5 638.00				923.35		12 224

表 3 场地 3 主动土压力和被动土压力计算值

Table 3 Computed results of active earth pressures and passive earth pressures at site 3

Table 3 Computed results of active earth pressures and passive earth pressures at Site 3																								
土层号	土层名	层厚 /m	γ_i /kN·m ⁻³	$\Sigma \gamma_i h_i$ /kN·m ⁻²	固结不排水					不固结不排水					直剪固快									
					c_{cu} /kPa	φ_{cu} /(°)	K_{acu}	P_{acu} /kPa	K_{pcu}	P_{pcu} /kPa	c_{uu} /kPa	φ_{uu} /(°)	K_{auu}	P_{auu} /kPa	K_{puu}	P_{puu} /kPa	c /kPa	φ /(°)	K_a	P_a /kPa	K_p	P_p /kPa		
②	粘土	2	17.8	35.6	18	16.8	0.552	0																
								0																
③ ₂	砂质粉土	3	18.6	91.4	4	31.0	0.320	0																
								24.72																
③ ₃	淤泥质粉质粘土	2	17.4	126.2	12	16.0	0.568	33.83																
								53.59																
④	淤泥质粘土	3	16.6	176	11	15.3	0.582	56.67																
								85.65																
⑤ ₁₋₁	淤泥质粉质粘土	3	17.5	228.5	9	19.0	0.509	76.74																
								103.46																
⑤ ₁₋₂	粘土夹粉质粘土	2	17.7	163.9	17	19.5	0.499	90.00																
								107.67																
⑤ ₁₋₂	粘土夹粉质粘土	12	17.7	212.4	17	19.5																		
								2.77	68.72															
									656.63															
⑥	粉质粘土	6	19.4	328.8	42	18.6																		
								2.62	719.45															
基坑 15 m 深处主动土压力和坑底下 18 m 处被动土压力合力(kN)								805.95		9 583.70				1 313.88		5 238.00			842.91		8 182.70			

本文分析表明,对于土压力计算,采用固结不排水试验强度指标较符合工程实际,且更为经济合理;这一结论与行业标准和地方规范的规定也较一致。考虑到工程实际应用水平,若当地有可靠经验,也可采用直剪固快试验指标。

4 结 论

在岩土工程设计时,土体抗剪强度参数应选择与实际工况应力路径等条件一致或相近的试验参数指标。对于基坑设计,验算地基整体稳定性时宜采用三轴不固结不排水试验强度指标;计算土压力时宜采用固结不排水试验强度指标,当地有可靠经验时,也可采用直剪固快试验指标。

由三轴固结不排水试验指标和直剪固快试验指标分别计算的主动土压力和被动土压力,在工程意义上是比较接近的。

由三轴不固结不排水试验指标计算的土压力与

采用三轴固结不排水和直剪固快试验指标的计算值相差较大,且随深度增加偏差增大。若采用三轴不固结不排水试验指标设计基坑支护结构,则较保守,且随基坑深度增大,浪费增加,不符合基坑设计的技术先进、经济合理与安全的要求。

参 考 文 献

- [1] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] GB 50007—2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [3] JGJ120—99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] DGJ08—11—1999, 地基基础设计规范[S].
- [5] GB 500021—2001, 岩土工程勘察规范[S].
- [6] JGJ72—2004, 高层建筑岩土工程勘察规程[S].
- [7] 王印昌. 超深地铁车站基坑地下连续墙内力分析研究[硕士学位论文 D]. 上海: 同济大学, 2003.