



# 深基坑工程技术讲座(3)

沈保汉

(北京市建筑工程研究院地基所)

## 第三讲 软土地区常用的支护结构类型

### 3.1 软土的特性

(1)软土是一种简称,主要是由细粒土组成,它表明就地基土的总体而言是软弱的。按《岩土工程勘察规范(GB50021-94)》规定,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应判定为软土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等,其压缩系数宜大于 $0.5\text{MPa}^{-1}$ ;不排水抗剪强度宜小于 $30\text{kPa}$ 。

(2)软土在我国大多分布在沿海地区,在内

陆平原和山区也有分布。按地质成因,我国的软土有:滨海环境沉积软土(如我国东海、黄海、渤海和南海等沿海地区);三角洲沉积软土(如长江三角洲、珠江三角洲和钱塘江三角洲等地区);河流环境沉积软土(如武汉、南京等地区)以及湖泊或沼泽环境沉积软土(如昆明、贵州水城等地区)。不同成因的软土有其不同的特性。表3.1表出全国一些地区软土的物理力学指标。

全国一些地区软土的物理学指标

表 3.1

地区	软土层深度 (m)	含水量 w (%)	重度 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	孔隙比 e	饱和度 $S_r$ (%)	液限 $W_L$ (%)	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$	渗透系数 K (cm/s)	压缩系数 $a_{1-2}$ (MPa <sup>-1</sup> )	无侧限抗压强度 $q_u$ (kPa)	固结快剪		快剪	
												$\varphi$ (°)	C (kPa)	$\varphi$ (°)	C (kPa)
天津	7~14	34	18.2	0.97	95	34	17	1.10	$1 \times 10^{-7}$	0.51					
	8~17	47	17.7	1.31		42	22	1.10	$2 \times 10^{-7}$	0.97					
	0~8											3.7	17	2.1	12.7
塘沽	17~24	39	18.1	1.07		34	15	1.10	$2 \times 10^{-7}$	0.65					
宁波	2~12	56	17.0	1.58	97	46	19	1.23	$3 \times 10^{-8}$	2.50	60~48	1.2	10		
	12~28	38	18.6	1.08	94	36	15	1.13	$7 \times 10^{-8}$	0.72					
温州	1~35	63	16.2	1.79	99	53	30	1.50		1.93		12	5	6	2
福州	3~19	68	15.0	1.87	98	54	29	2.30	$8 \times 10^{-8}$	2.05		11	5		
	1~3										5~10				
	19~25	42	17.1	1.17	95	41	21	1.40	$5 \times 10^{-7}$	0.70		16	10		
上海	6~17	50	17.2	1.37	98	43	20	1.16	$6 \times 10^{-7}$	1.24		15	5	6	16
	1.5~6										20~40				
	>20	37	17.9	1.05	97	34	13	1.05	$2 \times 10^{-6}$	0.72		18	6	11	14
杭州	3~9	47	17.3	1.34	97	41	19	1.32		1.30					
	9~19	35	18.4	1.02	99	33	15	1.13		1.17		14	6		
广州	0.5~10	75	16.0	1.82	99	46	19	2.53	$3 \times 10^{-6}$	1.18					
汉口	3~15	30~75	14.4~18	0.9~2.0	95~99	28~70	24~31	1.1~2.5		0.5~2.5		5~26	5~23		
昆明		68	16.2	1.86		60	18	1.44		0.90					
		42	18.5	0.95		34	12	1.67		0.40	2~35	12	22		
												19	15		

(3)软土具有以下工程特性

①触变性:当原状软土受到振动后,土结构的连接被破坏,强度降低或很快地使软土变成稀释状态,易产生侧向滑动、沉降及基底面侧向挤出现象。

②流变性:在剪应力作用下,土体还会发生缓慢而长期的剪切变形。

③高压缩性:压缩系数大,大部分压缩变形发生在竖向压力为 $100\text{kPa}$ 左右时。

④低强度:其不排水抗剪强度一般均在 $20\text{kPa}$ 以下。

⑤低透水性:其透水性能弱,一般竖向渗透系数在 $i \times (10^{-8} \sim 10^{-6})\text{cm/s}$ 之间,对地基排水固结不利;在加载初期,地基中常出现较高的

孔隙水压力,影响地基沉降,使建筑物沉降的延续时间很长。

⑥不均匀性:由于沉积环境的变化,粘性土层中常局部夹有厚薄不等的粉土使水平向和竖向分布上有所差异。

3.2 确定软土地区挡土支护结构类型的基本原则

从1984年~1994年建设部系统共建成10层上建筑物达6976栋,大部分建造在软土地区,如何合理地设计软土地区深基坑挡土支护结构已成为当今建筑工程界急需解决的重要课题之一。

如上所述,软土具有强度低、压缩性大、透水性小、受荷载后变形大,加之蠕变及应力松弛等特性,以及容易出现坑底隆起、管涌等现象。再则,在大、中城市内建筑物密集地区开挖深基坑,周围土体变形是不容忽视的问题。因此,在深基坑开挖中稍有疏忽,必须会导致邻近建筑物及地下管线的损坏,深基坑工程的事故已屡见不鲜。但是,只要我们以科学的态度,认识、研究和把握软土的工程特性,认识和研究它对工程的反应和危害的规律以及制定相应的防治措施,在设计与施工中充分考虑软土的特性,亦可以在软土区进行深基坑开挖,这方面,各地区已积累了成功的经验。

确定软土地基挡土支护结构类型的基本原则如下:

(1)从总体上考虑,必须从基坑各部位的具体情况出发,根据基坑周边场地条件和地质条件接近或不同的情况,采用同一或多种挡土支护结构类型。

(2)从场地条件考虑,如坑周场地较为开阔,则可采用上段放坡开挖,下段采用深层搅拌水泥土桩墙或高压旋喷桩墙等;如基坑周围施工宽度狭小并且邻近建筑物需要保护时,则必须按照被保护建筑物的重要性与安全等级标准,采用能够相应控制地面位移与沉降的挡土支护结构类型。

(3)从基坑开挖深度与范围考虑,开挖深度较小时,可采用悬臂式挡土支护结构;开挖深度较大时,可视情况采用单支点或多支点挡土支护结构;开挖范围较小时,可采用内撑型支点;开挖范围较大时,可采用单层或多层锚杆。

(4)从土层地质条件考虑,土质较好的情况可采用土层锚杆或排桩等类型;土质较差的情况,则可采用深层搅拌水泥桩墙;当软土层很厚的情况下,可采用地下连续墙。

(5)从地区考虑,各地区的软土的工程特性差异较大,因此,挡土支护结构不能照搬照抄,应根据地区特点,因地制宜地设计与施工。

3.3 软土地基挡土支护结构类型选择表  
表3.2列出了软土地基部分挡土支护结构可能选择的类型。

软土地基部分挡土支护结构类型选择表 表 3.2

支护 型式	结 构 类 型	基坑深度(m)							
		<6		6~10		10~15		>15	
		场地 开阔	场地 受限制	场地 开阔	场地 受限制	场地 开阔	场地 受限制	场地 开阔	场地 受限制
悬臂式 支护	钢板桩或钢筋混凝土预制桩	✓	✓	✓	○				
	单排灌注桩+桩间注浆	✓	✓	○	○				
	单排灌注桩+水泥土挡墙	✓	✓	✓	○				
	水泥土重力式挡墙	✓	○	✓		○			
	钢筋混凝土地下连续墙	✓	✓	○	○				
撑式 支护	钢板桩或钢筋混凝土预制桩	✓	✓	✓	○				
	单排灌注桩+桩间注浆	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	单排灌注桩+水泥土挡墙	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	钢筋混凝土地下连续墙	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
锚杆式 支护	H型钢桩+水泥土挡墙			✓	✓	✓	○		
	单排灌注桩+水泥土挡墙	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	钢筋混凝土地下连续墙	○	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓

注1. 内撑式支护中的支撑数及锚杆式支护中的锚杆数视不同情况由计算确定。注2. ✓表示“适用”,○表示“可以使用”。

### 3.4 实例

(1)对于开挖深度小于6m的基坑有下列几种挡土支护结构类型(见表3.2):

①在场地允许的条件下,采用悬臂式深层搅拌水泥土桩墙较为合适,一般采用双头湿法水泥土搅拌桩。根据各地经验,墙厚为开挖深度的0.6倍~0.8倍;墙插入坑底以下深度为开挖深度的0.8倍~1.5倍。

②采用直径为600mm~800mm灌注桩密排,桩与桩的相切处可用树根桩封密,也可在灌注桩后面压力注浆或设深层搅拌水泥桩,在灌注桩顶部须设一道圈梁。

③打入钢板桩、预制混凝土板桩或方桩,其后面压力注浆、加水泥搅拌桩或旋喷桩,设一道围檩。

(2)对于开挖深度6m~10m的基坑,常用的挡土支护结构类型(见表3.2)如下:

①在场地允许的条件下,采用悬臂式深层搅拌水泥土墙。如上海新世纪商厦的基坑开挖深度,从自然地面算起,大部为8.5m,局部深度为9~11.40m,占地面积约2000m<sup>2</sup>,成功地采用了悬臂式深层搅拌水泥土墙,其局部剖面见图3.1。

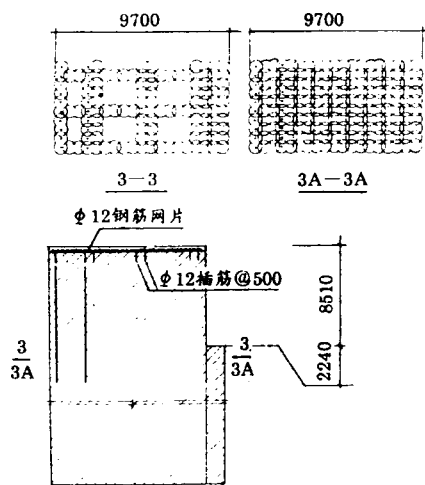


图3.1 上海新世纪商厦悬臂式深层搅拌水泥土墙局部剖面图

②直径为800mm~1000mm的灌注桩,后面压力注浆、设深层搅拌水泥桩或旋喷桩作防水帷幕,一般设置1~2道支撑,有时还可不设

支撑。如汉口华银大厦,挖深7.68m,采用d900@1100钻孔灌注桩挡土支护,桩长19m~21m,并在桩前用粉喷桩加固流塑状淤泥质土体,桩后用压力注浆止水,见图3.2。

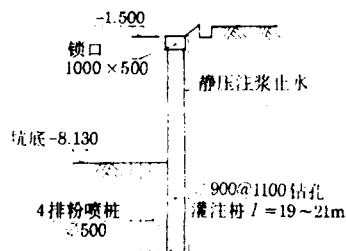


图3.2 汉口华银大厦悬臂式灌注桩挡土支护

③对于开挖深度9m~10m的基坑,也有采用地下连续墙的,壁厚为600mm~800mm,另外加设支撑系统。

④采用打入预制混凝土板桩或钢板桩,并采用注浆或深层搅拌水泥土桩止水措施,再设置支撑或锚杆支护。

(3)对于开挖深度10m~15m的基坑,常用的挡土支护结构类型(见表3.2)如下:

①直径为1000mm~1200mm的灌注桩,后面压力注浆或水泥土桩挡墙作防水帷幕,一般设置2~3道支撑。如上海滩国际大厦,挖深11.85m,采用单排钻孔灌注桩挡土,直径1100mm,间距1250mm,桩长25m。防水止水方法是在挡土桩外侧设直径700mm双头单排深层搅拌桩,桩长18m,搭接20cm,与挡土桩之间用压密注浆进行填充,深度16m。采用三道井字型双向正交钢筋混凝土水平支撑,见图3.3。

②桩锚式支护是武汉、天津和广州等地区常见的支护类型。汉口建银大厦开挖面积8800m<sup>2</sup>,平面很不规则,坑深14m,选用d1000@1200钻孔灌注桩及三排预应力锚杆支护,桩长28m,三排定喷防水板墙深入基岩,形成止水帷幕,见图3.4。

③钢筋混凝土地下连续墙加支撑或锚杆也是常见的挡土支护结构类型。如上海胜康廖氏大厦,基坑开挖深度为11.10m,局部挖深为13.80m,采用壁厚800mm,深度23.10m~25.10m的地下连续墙,接缝处用注浆封闭,另

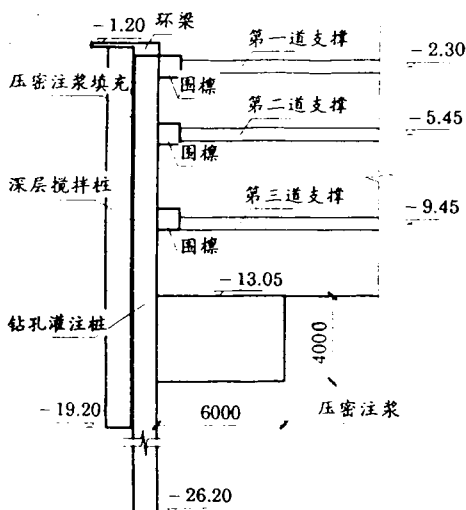


图 3.3 上海滩国际大厦深基坑挡土支护类型

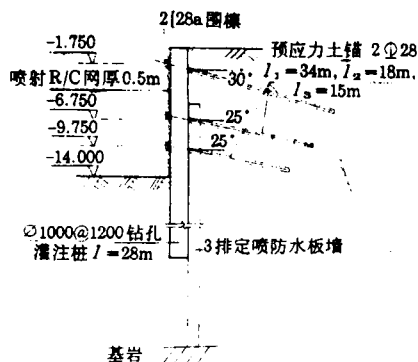


图 3.4 汉口建银大厦预应力锚杆支护

一侧设围护加固体, 基坑底部注浆加固, 见图 3.5。

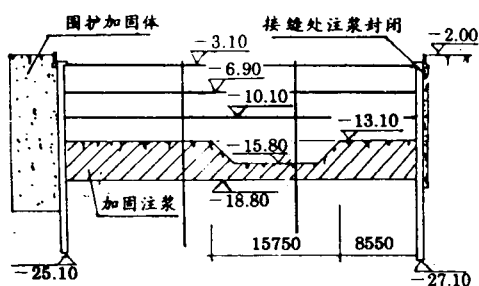


图 3.5 上海胜康廖氏大厦深基坑挡土支护类型

(4) 对于开挖深度大于 15m 的基坑, 常用的挡土支护结构类型 (见表 3.2) 如下:

① 钢筋混凝土地下连续墙加支撑或锚杆。

如上海金茂大厦基坑开挖面积近 20000m<sup>2</sup>, 开

挖深度主楼为 19.65m, 裙房为 15.1m, 地下连续墙壁厚 1m, 深 36m。美国 SOM 公司原设计是采用地下连续墙加斜拉锚, 主楼部位设 6 层锚杆, 裙房部位设 4 层锚杆。上海市第一建筑工程公司改为主楼部位设 4 道支撑, 裙房部位设 3 道支撑。主楼与裙房的上面 3 道支撑的标高分别为 -3.4m、-8.3m、-13.1m, 主楼第 4 道支撑的标高为 -17.1m。天津新百货大楼深基坑原方案的开挖深度为 16m, 采用地下连续墙增加 4 道锚杆的挡土支护结构。广州美国银行中心大厦, 其基坑深度 18m, 采用地下连续墙增加 4 道锚杆的方案。

② 人工挖孔桩加支撑或锚杆。当基坑周围场地允许降水时, 则可采用上述方案。如武汉中南商业广场, 开挖深度达 17.4m, 基坑呈 61m × 86m 长方形, 采用 d900@1200 人工挖孔桩, 桩长 19~23m, 内设 2 道水平支撑, 分别支撑于锁口梁 (-4m) 和标高 -10m 处。广州亚洲大酒店大厦, 其基坑深度 18m, 采用人工挖孔桩加 3 至 4 道锚杆方案。

由于篇幅关系, 本讲没有涉及逆作法、半逆作法、沉井、沉箱、拱圈和圆环形内撑式等挡土支护结构。

## • 会讯 •

### 全国非均匀地基处理与检测学术 研讨会在郑州市召开

由中国建筑学会地基基础学术委员会主办的全国非均匀地基处理与检测学术研讨会于 1996 年 10 月 8 日~10 日在郑州市梅苑宾馆召开。到会代表计 192 人。

本次会议专题探讨以下五个方面: (1) 非均匀土的性质及勘察; (2) 非均匀地基基础方案的合理选择; (3) 各种设计方法及问题分析; (4) 非均匀地基处理技术及工程实例; (5) 监测与变形控制。这是我国岩土工程界广大技术人员极为关注的研究内容, 也是全国量大面广的实际工程中经常遇到的问题。从广义上讲, 所有的建筑地基均属于非均匀性质, 即非均匀是绝对的, 均匀只是相对的。对于这类地基基础问题进行专题学术研讨, 在我国还不多见, 因此引起广大岩土工程技术人员广泛兴趣。

本次会议论文宣读均采用大会交流方式, 发言代表计三十余人。最后由主任委员黄熙龄院士作总结报告。

与会者对非均匀地基的诸多新问题, 取得了共识, 加深了理解, 开阔了思路。会议圆满结束。 (沈保汉供稿)