

深基坑开挖与支护研讨会简介

尤大鑫

崔国梁

(中兵勘察设计院 北京 100053) (中国航天建筑设计研究院勘察公司 北京 100071)

中国建筑学会工程勘察学术委员会召开的深基坑开挖与支护研讨会于1996年10月15日~21日在安徽省黄山市召开。学委会秘书长乔桂芳出席了会议。会议由尤大鑫(教授级高工)、顾宝和(研究员)主持。会议主要邀请了刘建航(工程院院士)、王吉望(教授级高工)、王步云(勘察大师)、刘祖德(教授)朱小林(教授)、李受祉(教授级高工)、张在明(教授级高工)、张旷成(勘察大师)、唐业清(教授)、顾晓鲁(教授)、秦四清(研究员)、黄运飞(博士)参加讨论。

会议主要围绕着四个中心议题进行了研讨。

(1) 土压力、土参数、基坑稳定与位移分析、土与结构的相互作用、各种支护方法的设计计算;

(2) 地下水在基坑工程中的作用,对基坑开挖的影响及其控制、预测和治理;

(3) 基坑位移控制标准、设计安全度标准、现场监测及应急措施;

(4) 基坑开挖与支护的新理论、新方法、新经验。

过去几年间我国基坑工程事故率较高,有的专家对全国103项基坑事故进行了调查分析,事故原因见表1。

1 基坑支护设计基本原则

1.1 极限状态

大多数专家认为,深基坑工程极限状态应包括:

(1) 承载能力极限状态(稳定破坏极限状态)

在岩土体或支挡结构中形成某种破坏机

表1 基坑工程事故原因统计表

序号	发生事故的主要原因	发生次数	占总数的比例×100
1	工程勘察失误	3	2.90
2	基坑设计失误	35	34.00
3	荷载取值失误	5	4.90
4	水处理不当	22	21.40
5	支撑结构失稳	4	3.88
6	锚固结构失稳	7	7.00
7	忽视基坑稳定性	6	5.80
8	施工方法错误	5	4.90
9	工程监测不当	1	0.97
10	工程监理不当	8	7.76
11	相邻施工影响	5	4.90
12	盲目降低造价	2	1.00

制,如:

①整体失稳,包括整体圆弧滑动、倾覆;

②挡土结构基础承载力不足;

③管涌;

④围护结构体系的结构性破坏。

由于岩土体的过量变形而导致邻近结构物的严重破坏,如:

①邻近房屋建筑的倾斜,结构性开裂或过量沉降;

②邻近公用设施的破坏;

③邻近公共交通道路的严重破坏。

(2) 正常使用极限状态,如:

①坑壁或坑底渗漏;

②局部的失稳;

③坑壁过大位移产生明显的地裂缝,地面沉降;

④邻近建筑物或公用设施产生影响功能的变形(包括外观),但不产生破坏。

1.2 安全度

为防止出现极限状态,设计中必须考虑安全度的问题。

建筑结构规范已统一按极限状态原则进行设计,采用可靠度分析,分项系数设计。但由于岩土工程与结构工程、岩土材料与结构材料具有不同的特点,岩土工程可靠度研究积累不足,尚处于继续探索阶段,尚难在工程实践中普遍应用。

(1) 有的专家提出:按换算法的原则将安全系数表达式改为分项系数表达式,土的重度 γ 的分项系数取1.0,用土的强度 c 、 φ 的标准值算土压力标准值,标准值到设计值的分项系数取1.0,截面设计时取综合分项系数为1.25,并允许按地区经验折减。

(2) 也有专家提出:按《建筑结构设计统一标准》的精神,岩土性能应以标准值 f_k 为基本代表值,岩土抗剪强度的标准值取概率分布0.05分位数,即单值置信概率95%,可按《岩土工程勘察规范》简化公式计算。重度、压缩模量、水平抗力系数的比例系数(m 值)、渗透系数等取概率分布的0.5分位值,即平均值为基本代表值。

作用在挡土结构上的主动土压力,用抗剪强度的标准值计算,得主动土压力的标准值,同样,也可算出作为抗力的被动土压力标准值。以此作为土的荷载或抗力的基本代表值,在分析计算时再乘(除)分项系数。分项系数的具体数值,随分析方法、土质条件、参数测试条件和地方经验而不同,应分析研究后确定。

总之,关于采用总安全系数还是分项系数的问题,专家们认为,无论用哪一种方法表达,实质都是经验的,目前不可能建立在可靠度分析的基础上。主要是要注意做好与结构设计规范的衔接,避免设计计算时发生混乱。

1.3 经验的重要性

讨论中专家们注意到,由于土力学发展

水平所限,土的有些性质尚难以用定量的方法表达,在研究运用中对土的性质作了许多过分简化的假定,因而计算结果未必可靠。例如,工程经验告诉我们,软土地区开挖的时空效应十分重要,及时支撑可事半功倍,不及时支撑可造成灾难。而对软土强度随时间变化的流变性质,虽然已有一些研究成果,但理论上尚不成熟,试验方法尚不完善,应用于工程还刚刚开始,更需要工程经验的积累。

1.4 监测

深基坑工程是土体与围护结构体系相互作用的一个动态变化的复杂系统,单靠数理方法难以对系统的变化性状作出足够的准确的预测,在施工过程中往往会出现一些难以预料的变化,利用监测信息的反馈分析,就能较好地预测系统的变化趋势,当出现险情预兆时,可作出预警,及时采取措施,保证施工和环境的安全;当安全储备过大时,可及时修改设计,削减围护措施。

监测项目可分为围护结构体、土体、地下水、环境保护四个方面。围护结构体系的监测分为围护墙体的墙顶沉降与侧向位移、墙体侧向位移、墙体内力、支撑的轴力、支撑平面变位、立柱的偏心应力、沉降或隆起;土体的监测分为地表沉降,不同深度处的侧向变位、墙体土压力、裂隙或滑动破坏面的变位、坑底隆起;地下水的监测分为基坑内外地下水水位的变化、土中孔隙水压力的变化,管涌(水土流失、土洞);环境保护监测分为建筑物的沉降及倾斜、地下管线的变位。

2 土压力

2.1 水土压力的分算与合算

水土压力的分算与合算,是本次会议讨论的一个热点,专家们各抒己见,进行了热烈的讨论。

(1) 有的专家认为地下水对土的作用

是孔隙水压力,而非静水压力。孔隙水压力与

土的渗透性有关,渗透性弱的粘土、粉质粘土孔隙水不易对土颗粒形成浮力,故宜用水土合算,即用天然重度或饱和重度,其中包括了水压力的影响;对粉土、砂土、碎石土宜用有效重度,水土分算,再附加水压力的作用。根据一些实测资料,孔隙水压力仅为静水压力的35%~65%,渗透性愈弱的土,水压力愈小,但从偏于安全出发,在《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》中仍按静水压力考虑,不打折扣。

(2) 有的专家认为水的作用不仅产生静水压力,更重要的是降低了土体的 c 、 φ 值。他指出对砂性土可采用水土分算,对粘性土可采用水土合算。对粉土、粉质粘土等采用水土分算时,静水压力必须折减。

(3) 一位专家在介绍《建筑基坑工程技术规范》中,水压力值按静止地下水位计,土压力的计算原则上按水土分算,土性指标为有效重度和有效强度(r' 、 c' 、 φ')。对粘性土,根据地区经验也可采用水土合算。在实际工程中常发现理论计算与实践经验有不相符合之处,建议从土压力分布规律,动用土压力(或称条件土压力)、支护结构内力分析模型、土和结构的相互作用、截面设计时的安全度、降水后系数的估计、非饱和土的作用等方面找原因,而不应从水土分算角度来解决,这样可避免在理论上的混乱。

(4) 有的专家介绍,正在编制的《上海基坑工程设计规范》中规定,作用在围护墙上的侧压力宜按水土分算原则计算,但有工程经验时也可按水土合算的原则计算侧压力。水土分算时的土压力按总应力抗剪强度指标或有效应力抗剪强度指标计算主动和被动土压力,这两种指标计算结果相差约10%~22%。水土分算时的水压力分地下水无渗流和地下水有渗流两种情况考虑。水土合算的土压力用 γ 及总应力参数 K_a 、 K_p 计算,亦可用经验的主动土压力系数 η_a 计算。

总之,专家们认为,对于透水性强的砂土

和碎石土,按水土分算没有问题,关键在于对透水性弱的粉土和粘性土怎样算?从土的有效应力理论出发,水土分算的根据比较充分,但实际操作困难较大。因为分算时要采用土的有效强度指标 c 、 φ ,而测定这两个指标难度较大。不仅一般勘察单位难以提供,即使土工试验力量较强的单位,提供的 c 、 φ 也未必可靠,因此,实际工程中“几乎不用”是容易理解的。水土合算在理论上不够完整,但实施比较容易,加上一定的经验修正,“在有经验时可用水土合算”的提法是合理的。目前对弱透水性土中的水压力问题的认识还不够,应进一步试验研究。水的渗透梯度问题,在一定条件下计算水压力时应当考虑。

2.2 土的强度参数

专家们在讨论水土压力的分算与合算时,普遍强调土的强度参数对设计计算影响甚大,许多专家有这样的经验:实测的土压力值比水土分算甚至水土合算的土压力值还要小,这与 c 、 φ 取值不能反映实际土性有很大的关系。

(1) 一位专家指出, c 、 φ 取值应根据实际情况确定试验方法。从基坑降水与否考虑,当基坑降水时,对粘性土而言,就是排水固结过程,因而试验方法应采用固结排水(CD)或固结不排水剪(CU),但对于淤泥质土,由于处于饱和状态,不能排水固结,则宜采用三轴不排水剪(UU)。当基坑不降水时,则宜采用直接快剪或三轴不排水剪;从应力路径考虑,他的研究结论是对粘性土,特别是老粘性土,不论降水与否,宜采用CU试验结果,对淤泥质土宜采用UU试验结果,对粘质粉土、粉质粘土、粉土宜采用CU或CD试验结果。

(2) 另一位专家指出,土的强度参数测定方法应当与土压力计算方法配套,例如水土压力合算时需要的是总应力法的 c 、 φ ,而水土分算时则为有效应力的 c 、 φ 。三轴试验应力条件明确,易于控制排水,又是国

际上通用的方法,应当提倡以三轴试验为标准方法,缺点是推行起来有一定困难,且测定结果的分散性较大。直剪受力状态复杂,不能控制排水,无法测定土的有效强度,但测试简单,在我国有较多经验,可作为替代方法,在有经验条件下应用。试验条件与现场条件总是有距离的,建议通过现场监测反演,积累经验修正的数据。

3 稳定及位移分析

3.1 稳定分析

一位专家认为,对基坑的稳定性,应分四个方面进行验算控制:

- ①插入深度(踢脚);
- ②坑底涌土验算;
- ③管涌和坑底承压水作用的验算;
- ④用圆弧滑动法对基坑整体稳定性的验算。

强度指标均采用直剪固快,并采用与所选用指标相配套的安全系数。

3.2 位移控制

在闹市区施工,由于需保护邻近工程和设施不受损坏,要严格控制位移。有位专家指出,离基坑10m以内的地铁、共同沟、煤气管等重要工程设施,保护等级定为特级,地面最大沉降和维护结构最大水平位移均需控制在小于 $0.1\% H$,一级保护控制在小于 $0.2\% H$;二级保护控制在 $0.5\% H$ 。

3.3 土钉与喷锚

土钉作为一种原位加筋技术已在国内得到迅速发展和广泛应用。尤其在土质条件较好的地区具有广阔的应用前景,它具有造价低、工期短、施工简单方便的优点,尤其在因场地条件所限,无法使用重型、大型施工机具时,更显出其优越性。

(1)一位专家认为土钉有三种受力状态:①只受剪,不受拉和压;②既受剪又受压;③既受剪又受拉。合理的受力状态应为第三种。他总结自己的工程经验后认为,北京地区土钉长度一般在 $0.5\sim 0.6H$ 范围

内,土钉垂直间距对砂质土取 $1.0\sim 1.2m$,对粘性土取 $1.0\sim 1.5m$,下部土钉可短一些,但应考虑深层滑动问题。适当加长上部土钉且减小水平夹角,并对土钉施加 $0.3N$ 的预应力,对控制变形很有好处。同时他指出对变形有严格要求时不宜采用柔性支护。

(2)有的专家指出,通常我们总是把土体作为支护结构的荷载——侧土压力来进行各种计算,但在工程中常发现“土体自支承能力很大”。实际上土体也是一种材料,有时也可以直接用作支护材料的一部分,只是这种材料的“支承能力有限”,支护的目的应该是如何充分发挥土体的自支承能力,补强其不足部分。

4 地下水

讨论中专家们一致认为,在基坑工程的设计和施工中充分认识地下水的作用,认真进行地下水的控制和治理十分重要,基坑事故绝大部分与地下水有关。

(1)一位专家在介绍了汉口地区含水层的分布及特点后说,一个重要的难题是:如何准确(甚至正确)估算各层渗透系数值?上层滞水所赋存的杂填土很不均匀,K值空间变化极大。不但如此,它与地下管道的地理位置和泄漏程度常紧密相连。尤其在老城区,地下管线复杂,有许多早已被废弃,但照样漏水,又如电缆沟往往会变成雨季泄水的主要通道,甚至连电信电缆的多孔细石混凝土块的孔道内也会有涓涓流水。还要指出:大型箱涵的施工往往采用大开挖的形式,于是在箱涵两侧的浅部土层全被新近扰动,若回填质量差,则涵周就形成了极为丰富的载水体。如果它紧靠坑壁,则随时会出现危险,犹如悬顶之壶,随时可能破裂。

各种止水结构质量的问题(指隔渗效果)当然重要,但支护结构的变形往往是止水结构损坏的罪魁祸首,例如:高压旋喷或摆喷墙本来是一种良好的垂直隔水帷幕的结构形式,但它的厚度相对较薄(摆喷孔部

位);加之,引孔垂直度的误差会造成深部墙体开衩的现象,这样墙体的整体性就严重地被削弱,往往浅部地层内障碍较多(如人防地下室范围内),即使灌浆补漏也常留有“死角”,封不彻底。

(2) 专家们非常注意地下水的渗透破坏。地下水的渗透破坏常可以酿成灾难性后果,其表现,一是坑底的管涌,开始时只有少量较小的冒水点,逐渐扩大,造成整个坑底的破坏。管涌是由于水头超过临界值引起,故设计时必须十分注意,一旦出现先兆,必须立即回填,防止扩大。另一种表现在坑壁的流砂流土,由于截水没有做好,在动水压力作用下坑壁水土大量流失,造成基坑邻近地面塌陷,危及工程和公用设施。还有一种“层面管涌”,发生在透水层和粘性土层的界面上,也值得注意。

(3) 有位专家介绍了在一定条件下疏不干的问题。现在将所有排水疏干都称为“降水”(降低地下水位),但在有些条件下实际不是降低水位,例如浅部的地下水,包括潜水和上层滞水,如水层底面高于开挖面,则不是降低水位而是整个含水层的疏干。有的单位不了解这种情况用通常的井点或深井是疏不

干的,不能达到“降水”目的,井里的水一抽就干,不抽又有,开挖时照常有水。另一位专家介绍了某些粉土,性质很特殊,井点深井抽不出水来,开挖时发生流砂。以上这些情况,都应当根据具体的地质与水文地质条件,采取专门措施,不能套用常规方法。

5 施工的时空效应

有位专家对基坑工程中的时空效应问题作了专题发言,他指出软土中的基坑工程,要慎重地解决好基坑的稳定和位移问题,需要研究的不明确因素较多,其中一个难题是如何评估和处理软土的流变性对支护墙体内力和位移的影响。在软土并且建筑物和市政公用设施密集的地区,要按位移控制保护环境的要求进行深基坑的设计和施工。在深基坑开挖及支撑过程中,每个分步开挖的空间几何尺寸和支护墙体开挖部分的无支撑暴露时间,与周围墙体和土体位移有一定的相关性,反映出基坑开挖中时空效应的规律性。

以上只是对深基坑开挖与支护研讨会的情况作了简要介绍,供读者参考。

专家们的详细观点请查阅以后的专题报导或专家的有关论文和地区规范、指南等。

收稿日期:1996-12-08

(上接第24页)

(4) 夯实水泥土的极限变形模量 E_{su} 可近似取 $E_{su} = (68 \sim 75)q_u$ 。平均变形模量 E_s 约为极限变形模量 E_{su} 的1.2倍。

(5) 夯实水泥土本构关系可用分段方程表示为:

$$\sigma = \frac{q_u}{\varepsilon_u^2} (2\varepsilon_u - \varepsilon) \varepsilon \quad (\text{当 } 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_u)$$

$$\text{和 } \sigma = q_u \quad (\text{当 } \varepsilon_u \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max})$$

$$\text{其中: } q_u = 0.671(1.1)^{100a_w}$$

$$\varepsilon_u = 1.4\% \sim 1.8\%$$

当水泥含量 a_w 已知时上式方程即可确定。本次试验本构关系方程为:

$$\sigma = 3900q_u(0.032 - \varepsilon)\varepsilon。$$

参 考 文 献

- 1 刘焕存. 夯实水泥土强度特性试验研究. 军工勘察, 1996(4)
- 2 黄文熙主编. 土的工程性质. 北京: 水利电力出版社, 1983
- 3 陈仲颐、叶书麟主编. 基础工程学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- 4 范家骥等编. 钢筋混凝土结构(上册). 北京: 中国建筑工业出版社, 1980
- 5 朱燕堂主编. 应用概率统计方法. 西安: 西北工业大学出版社, 1986
- 6 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988

收稿日期1996-08-22