

软土深基坑支撑轴力的时空效应变化规律研究

Time-space effect on strut force in deep excavation of soft soil

蒋洪胜 刘国彬

(同济大学地下建筑与工程系,上海,200092)

中图法分类号 TU 476

作者简介 蒋洪胜,男,1966 年生,讲师。现在同济大学地下建筑与工程系攻读博士学位。主要从事岩土工程方面的研究。

1 基坑工程中的时空效应

时空效应法是为解决深基坑整体稳定和坑周地层位移控制问题,参考新奥法隧道施工中的时空效应理论和上海大量软土基坑实践,而提出的一种计算和控制基坑结构变形及周围地层位移的方法。通过大量软土基坑实践人们已经认识到:在基坑施工过程中,每个开挖步骤的开挖空间几何尺寸、围护墙无支撑暴露面积和时间等施工参数对基坑变形具有明显的相关性。考虑时空效应的施工步骤的主要特点是:根据基坑规模、几何尺寸、围护墙体及支撑结构体系的布置、基坑地基加固和施工条件,按照“分层、分块、对称、平衡、限时”的原则确定施工方案。时空效应法强调设计和施工密切配合,一改以往设计工况与施工工况不符,造成设计与现场实际不符的现状。实践证明,科学地制定考虑时空效应的开挖和支撑的施工设计方案,能可靠、合理地利用土体本身在开挖过程中控制位移的潜力,达到控制坑周地层位移以及保护环境的目的。从而改变目前基坑中为控制坑周地层位移而不合理地采用昂贵的地基加固做法。这是安全经济地解决基坑施工过程中稳定和变形问题的一条很有发展前途的新的技术途径。

2 工程概况

某车站基坑长 269m,宽 19.64m,采用地下连续墙(墙厚 600mm,深 26m)加钢管内支撑($\phi 609$),基坑标准段处的支撑及坑底标高为图 1 所示,勘探结果表明:基坑基本上处于灰色淤泥质粘土层中。

该车站基坑开挖过程中,考虑时空效应的标准开挖方法是:工况 1 是首次开挖两道撑的深度,开挖标高为 -5.6m,开挖宽度为 6m,无支撑暴露时间限制 16h 以内;工况 2 是第 2 次开挖至第 3 道撑(-9.1m),开挖宽度为 3~6m,无支撑暴露时间限制在 12h 内;工况 3 是第 3 次开挖至第 4 道撑(-12.3m),开挖宽度为 3m,

无支撑暴露时间限制在 8h 以内;工况 4 是第 4 次开挖至坑底标高(-14.03m),开挖宽度 6~9m;工况 5 是在开挖至坑底 2 天内浇筑垫层及底板。通过对基坑开挖全过程的工况的跟踪记录,发现大多情况下是执行该作法的,但也有个别情况下施工单位为了抢进度,而使一次开挖宽度及无支撑暴露时间超出此标准。

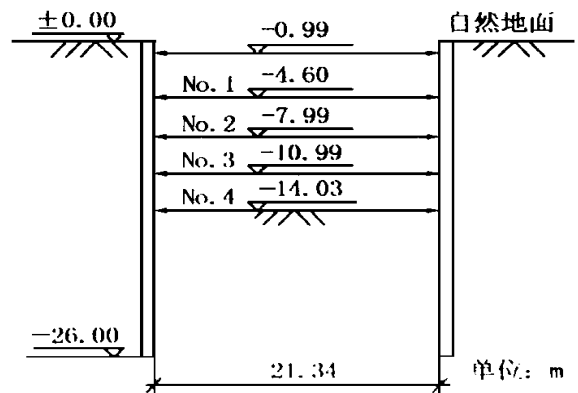


图 1 基坑支护剖面

Fig. 1 Profile of braced excavation

3 支撑轴力监测数据分析

通过对基坑标准段处 $A_1 \sim A_6$ 六个测点的支撑轴力监测数据及其对应工况对照分析发现:在基坑开挖过程中随工况的变化,各道支撑轴力值大都呈现出有规律的增加或减小,如表 1。

从表 1 中可以清楚地看出:在开挖深度为三道撑(工况 2)的情况下,临近开挖面的第 3 道撑的轴力及第 2 道撑的轴力(A_3 点除外)随时间在增长,而第 1 道撑的轴力在降低;在开挖面为 4 道撑(工况 3)的情况下以及开挖至坑底标高(工况 4)的情况下,临近开挖面的第 4 道及第 3 道撑的轴力(A_3 除外)随时间在增大,而远离开挖面的第 2 道及第 1 道支撑轴力(A_3 除外)却在减小或基本不变;在进行坑底垫层及车站底板

到稿日期:1997-07-07.

浇筑(工况5)的过程中,除 A_6 点的第2,4道支撑外,其余支撑轴力都不同程度地增加或基本不变。

表1 各工况下 $A_1 \sim A_6$ 测点处支撑轴力随时间变化趋势

Table 1 Variation of strut force with time for different cases in $A_1 \sim A_6$ profile

工况	支撑道数	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
工况1	No. 1						
	No. 2						
工况2	No. 1						
	No. 2						
	No. 3						
工况3	No. 1						
	No. 2						
	No. 3						
	No. 4						
工况4	No. 1						
	No. 2						
	No. 3						
	No. 4						
工况5	No. 1						
	No. 2						
	No. 3						
	No. 4						

注:表中、 \uparrow 、 \downarrow 分别表示支撑轴力值在各开挖深度下随时间推移的变化趋势为增大、减小及不变或变化很小;
表中空缺为尚未测值或测力计被破坏。

支撑轴力的变化与地下连续墙体的位移变化是密切相关的。在基坑的开挖过程中随开挖深度的增加,地下连续墙的最大位移点逐渐向开挖面附近移动。而远离开挖面的墙体相对会有不同程度的反弹,这在地下连续墙的侧斜曲线上已得到充分验证。在支撑轴力上则表现为:临近开挖面的两道撑(工况1为第2道撑)的轴力值随时间而增加,其余支撑轴力会有不同程度的降低。在浇筑垫层及底板后,由于坑底荷载(相当于3m厚原土柱)的增加致使坑底附近墙体会不同程度的反弹,而支撑处的墙体相对向基坑内移动,表现为支撑轴力有所增大。通过以上分析,可以比较明确地认为:第1道支撑轴力在整个基坑开挖过程中总趋势是下降的,最大支撑轴力值发生在开挖至两道撑时;第4道支撑的最大轴力值发生在开挖至坑底以及浇筑底板等工况下;但是对于第2、第3道支撑来说,由于

处在整个开挖过程的中间阶段,因此其轴力值受预加轴力以及不同工况持续时间等因素的影响,最大轴力值在本工况及各自其后两个工况内均有出现的可能。

4 支撑轴力的量化分析

本工程的支撑轴力设计值、预加轴力值如表2所示。

在基坑开挖过程中,地下连续墙的横向变形逐渐增大,这会引引起支撑轴力的变化。而支撑轴力加大,又会反过来阻挡墙体变形的进一步发展。不难理解,基坑土体挖除后,尽快加设支撑并施加合理的预加轴力,则会有效地减小地下连续墙体变形。日本东京某工程对支撑的及时性效果作过试验,试验表明未及时作第1道支撑的墙体其最大水平变位为3cm,而及时支撑的墙体其最大水平变位只有1cm。另外支撑设置以后必须迅速施加轴力,这不但能保证支撑顶紧墙体,减小挡墙体横向变位量,而且改善了墙体受力条件。支撑预加轴力的大小取决于地质和施工条件,日本曾规定施加轴力应相当于静止土压力值,因为这样能使墙体变位最小。本工程对不同深度处采用不同的预加轴力值,各道支撑施加的轴力值如表2所示。

表2 支撑轴力设计值与预加轴力值

Table 2 Designed and prestressed values of strut force

支撑道数	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
设计值 f_0 (kN)	600	1300	1700	1400
预加轴力值 f_y (kN)	240	780	1360	1140
f_y/f_0 (%)	40	60	80	81.4

为减少支撑前悬臂状态的挡墙的横向变形量,应适当提高第一道支撑位置并及时安设支撑。当开挖到以下各道支撑时都要及时安设支撑。墙体位移是随开挖发展的,超挖将导致墙体在支撑安设之前产生超量的位移。该位移一旦产生,通过施加预应力既不能使其回复,也不能减少因墙体位移而引起的地面变形。

如前所述,支撑轴力的大小及变化与挖土时机及速度有很大关系。下层土体开挖时支撑轴力会有明显增加,且各道支撑轴力又发生相互调整。某层支撑下挖土顺序不仅影响该层支撑轴力的均匀性,而且随着土压力的重分布与支撑分担的土压力的变化,上部各层支撑轴力变化也表现出不均匀性。

同一层每道支撑受力的均匀性,直接影响支撑系统的设计,对该工程中按时空效应法施工得到的数据整理如表3所示。

表3 支撑轴力最大值、平均值及两者比值

Table 3 Maximum and average values of strut force and ratio between them

支撑道数	P_{\max} (kN)	\bar{P} (kN)	P_{\max}/\bar{P}
No. 1	470	304.25	1.55
No. 2	1353	1024	1.32
No. 3	816	727	1.12
No. 4	1149	958	1.20

注: P_{\max} 为各测点之中相应支撑的最大轴力值; \bar{P} 为各最大轴力值之平均值。

通过对监测数据分析认为,对于第1道支撑:历时支撑轴力的最大值为设计值的27%~78%,历时支撑轴力最小值为设计值的0.7%~8.6%, f_{\max} 与 f_{\min} 相差很大, f_{\min} 几乎可以认为零。各点的离散性较大, P_{\max}/\bar{P} 值为1.55;对于第2道: f_{\max} 与 f_{\min} 相差比较大,各测点的离散性较大, P_{\max}/\bar{P} 为1.32;而对于第3、4道支撑: f_{\max} 与 f_{\min} 相差比较小,各测点的离散性也较小, P_{\max}/\bar{P} 为1.12~1.20。尤其对于第3道支撑来说,值得设计者注意的是各测点的历时最大值均为设计值的40%~50%。

在实际工程施工中可以通过施加预加轴力控制支撑受力的不均匀性。本工程中的第1道支撑系轴力为设计值的40%,而从表3中可以看出,在加设支撑的1

~3d内支撑上的轴力增加的很快,因此考虑到以下因素:第1道支撑在整个基坑工程中历时最长,且其支撑效果对于后期挡墙受力状况及基坑变形影响很大; f_{\max} 与 f_{\min} 相差很大;各测点的测值的不均匀性。可以考虑增大第1道支撑的预加轴力值。

5 结 论

本工程的基坑开挖过程中,对于第1道支撑,其历时最大轴力值发生在本次开挖工况下;对于第4道支撑,其历时最大轴力值发生在开挖至坑底以及浇筑底板等工况下;对于第2、3道支撑,其历时最大轴力值在其后的三个工况内均有出现的机会,而且现场实际表明,第3道支撑的设计轴力远未得到充分发挥。

在深大基坑的工程中,时空效应理论的应用已经向目前惯用的按弹性或弹塑性理论的设计方法提出了挑战。随着对基坑工程中的时空效应理论认识的不断加深以及大量工程实践经验的积累,相信最终能够通过对于基于时空效应的基坑开挖与支撑施工参数的确定,使施工因素对流变性地层中基坑支护结构内力和变形等的影响,可以在基坑工程设计计算中得到定量反映。

参 考 文 献

- 1 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册. 北京:中国建筑工业出版社,1997.