

周边建筑对深基坑支护结构的影响分析

张向东, 范世兴, 张晨光, 刘家顺

(辽宁工程技术大学 土木与交通学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 为研究城市高大建筑和市政设施等对深基坑支护结构的影响,以沈阳金融中心大厦深基坑工程为研究对象,研究了周边建筑荷载对在建深基坑支护结构稳定性的影响。通过现场监测,研究基坑水平和竖直位移变化规律,验证支护结构的有效性;利用大型有限元分析软件 MIDAS/GTS 为计算工具对基坑进行多次数值模拟,得到建筑物作用力、建筑距离等作用的改变与支护结构变形之间的关系。研究结果表明:当基坑周边存在建筑物时,基坑变形量明显加大;随着基坑周边建筑物作用力的增大,基坑变形量呈线性增加;在 2 倍基坑开挖深度范围内,建筑距离对基坑的影响呈幂级数增加,建筑物“细高”时对基坑的影响较大,“矮胖”时较小。上述研究成果对基坑支护结构方案的优化有一定的指导意义。

关键词: 周边建筑; 深基坑; 支护结构; 数值模拟

中图分类号: TU473.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0076-06

Effect of surrounding buildings on supporting structure of deep foundation pit

ZHANG Xiangdong, FAN Shixing, ZHANG Chengguang, LIU Jiashun

(Institute of Civil Engineering and Transportation, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to research the effect of tall buildings and public service on supporting structures of deep foundation pit, the paper studied the influence of surrounding building loads on supporting structure stability of deep foundation pit by taking the deep foundation pit project of Asian Finance Building in Shenyang as the research object. It also researched the change law of vertical and horizontal displacement of supporting structures of deep foundation pit by means of field monitoring and verified the effectiveness of its supporting structure. The supporting structures of deep foundation pit were simulated many times by using finite element analysis software MIDAS/GTS and the relationship between parameters and deformation of supporting structures was summed up by changing the distance from the building etc. The research results show that the deformation of deep foundation has significantly increased when there are buildings around the foundation; the deformation value of the deep foundation pit increased linearly with the increase of buildings force surrounding deep foundation pit; The impact of building distance on the deep foundation pit was increased power series in 2 times depth of excavation. The impact of fine and high building on deep foundation pit is larger than that of chunky building. The result can offer some guiding significance for optimization of supporting structural scheme of foundation pit.

Key words: surrounding building; deep foundation pit; supporting structure; numerical simulation

1 研究背景

近年来,随着我国城市建设的迅速发展,基坑的规模越来越大,深度也越来越深,对城市的影响越来越深远。深基坑的施工、设计越来越受到城市特殊环境的影响和制约。城市里建筑物、交通线路(城

市道路、轨道交通)、管线密集,地铁车站,地下商场等建筑众多,而且地铁隧道纵横交错(图1),在这种复杂城市环境条件下基坑开挖过程中所遇到的环境问题多种多样,不仅仅是开挖过程中对周围环境、水文地质环境的影响,也包括周围特殊环境对基坑支护结构、整体稳定性的影响。所以基坑工程不但要

收稿日期:2013-11-13; 修回日期:2013-11-28

作者简介:张向东(1962-),男,吉林榆树人,博士,教授、博士生导师,主要从事岩土工程方面的教学与科研工作。

通讯作者:刘家顺(1986-),男,辽宁铁岭人,博士研究生,岩土工程专业,主要从事地基基础稳定与加固的研究。

重视基坑自身的安全,还需要与周边已有建筑物和城市生命线(交通、管线等)的相互影响。在我国的各大中城市,近年来大量高层、超高层建筑大量兴起,据不完全统计^[1],截止 2008 年底我国已有高层建筑近 10 万幢,相应的各种高层建筑的深基础及地下室以及城市地铁、地下车站及大型桥梁等正在兴建或计划兴建中,伴随而来大量深基坑工程,不仅要保证基坑内正常工作安全,防止基坑外土体移动并保证基坑附近建筑物、道路管线、交通的正常运行,还要综合考虑空间的充分利用和降低基坑支护的造

价,这就需要根据实际工程,选择适合的基坑支护形式和优化方案。

基坑工程受诸多相关因素的影响,不仅受地质条件、水文条件、气候条件的影响,更多的来自于基坑周边建筑的影响,尤其是城市密集的建筑群及道路交通网的制约。基坑开挖破坏了原有环境的“平衡”,为了达到新的“平衡”,就会向着变化的“源头”——基坑释放应力,这就会导致不必要的破坏,带来安全隐患。这就要求本着“安全”与“经济”的原则来实施工程的设计与施工^[2-5]。

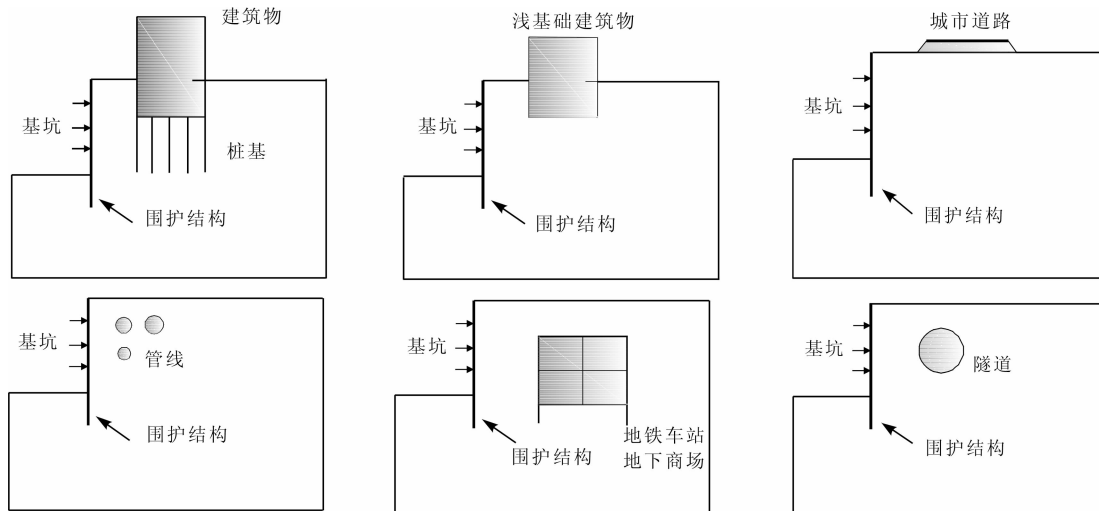


图 1 深基坑周边典型环境

2 周围建筑对金融大厦基坑工程的影响

周边建筑对深基坑工程的影响主要表现为在基坑开挖过程中,随着基坑的开挖,原来稳定的土层受到扰动,发生向开挖基坑的方向产生应力集中的现象^[7-8],若不考虑这一因素则可能产生与实际设计不同的受力现象,导致基坑土体滑坡,基底土体隆起,支护结构发生整体滑移、剪切破坏、坍塌等,给工程施工带来安全与经济的双重损失,同时也将给周边建筑物带来潜在危险^[9]。

2.1 工程条件

沈阳市亚洲金融大厦项目位于沈阳市和平区南京北街与北九马路交汇处西南侧。基坑最大开挖深度 10.7 m,设 2 层地下室。本工程地处繁华地段,施工条件受限,开挖深、降水深度大、土方量大、施工面狭窄、工序复杂、工期短,技术要求比较高。

2.2 工程特征

①基坑周边交通线路和建筑物密集,南侧和北侧分别为市公安局大楼和人防大厦、沈洲医院,东侧

为广州街、西侧为南京路,基坑距离周边街道和建筑物距离小,距公安局大楼 12 m,距人防大厦及医院 12.8 m;②基坑东侧距南京街各 7 m,北侧距广州街 6 m,东西两侧为东八和东九路,受过往车辆的动静载荷影响。③基坑周围埋设大量的市政管网设施,存在大量的渗漏点,基坑一侧为沈阳市重要的人防设施,因此对基坑的开挖存在很多的要求和限制。④基坑开挖标高为 -10.7 m,受市内城区降水的影响,目前地下水位埋深 14.20 ~ 15.20 m,可不采取降水施工。基坑深度设置见图 2。

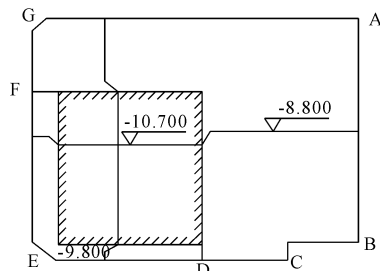


图 2 基坑深度设置图

2.3 土性指标

根据工程地质钻探和现场原位测试可获得该场

地下水水位深度约在 14.2 ~ 15.2 m 之间。根据《土工试验方法标准》和《建筑地基基础技术规范》(DB21/907 - 2005),各层土的强度参数、土层厚度

以及重度和各土层地基承载力特征值 f_{ak} 、变形模量 E_0 及钻孔压灌桩侧阻力特征值 q_{sa} 、端阻力特征值 q_{pa} 等指标见表 1。

表 1 土层参数

m, kN/m³, kPa, (°)

层号	土层类别	层厚	重度	浮重度	粘聚力	内摩擦角	f_{ak}	E_s	q_{sa}	q_{pa}
1	杂填土	1.80 ~ 2.20	18.0		9.3	15.07	200	(15)	25	
2	中砂	2.70 ~ 5.80	18.0		0.00	27.00	320	(19)	30	
3	粗砂	1.90 ~ 3.70	18.0		0.00	28.26	400	(23)	55	2500
4	砾砂	2.10 ~ 6.90	19.0		0.00	29.81	600	(32)	65	3000
5	圆砾	1.30 ~ 3.30	19.2		0.00	33.02	480	(29)	63	2900
6	砾砂	2.10 ~ 4.50	19.2	9.2	0.00	29.81	450	(27)	60	2400
7	粗砂	1.90	18.5	8.5			170	5.77	65	2900

注:括号中数值为经验值。

2.4 支护方式

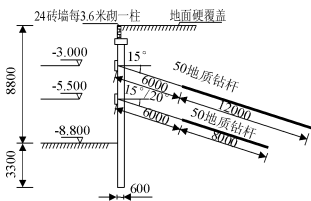
根据场地工程地质条件、基坑开挖深度、周边环境等情况综合考虑,1.5 m 以上采用 1:1 放坡挂钢丝网并抹 30 ~ 50 mm 厚的 1:3 水泥砂浆,钢丝网采用 1.5 m 长的 $\phi 16@1000$ mm 的钢筋钉固定,下部采用 $\phi 600$ mm 径螺旋钻孔压灌桩加二排锚杆联合支

护^[6],支护结构参数见表 2,具体支护形式见图 3。

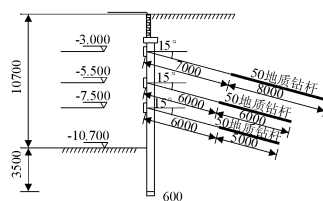
表 2 支护结构参数

MPa, kg/m³

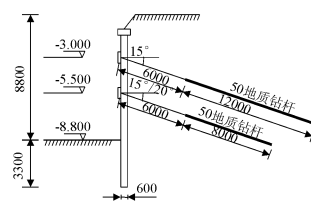
材料	弹性模量 E	泊松比 ν	容重 γ
混凝土	2000	0.2	2.5×10^3
锚杆	20000	0.3	7.85×10^3



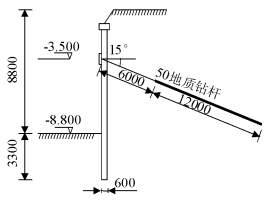
(a) ABCD段支护结构形式



(b) DE段支护结构形式



(c) EF段支护结构形式



(d) FA段支护结构形式

图 3 基坑支护设计方案(钻杆直径 150 mm)

3 基坑变形监测分析

基坑类别为一级,变形监测监控值:围护结构墙顶最大水平位移监测报警值 30 mm,围护结构墙顶最大竖向位移监测报警值 20 mm,墙体最大位移监测报警值 50 mm,基坑周边地表竖向位移监测报警值 30 mm。

变形监测点布置 10 组,监测点布置见图 4。桩顶水平位移监测采用电子全站仪(TCA2003),桩顶沉降量监测采用水准仪,桩体变形监测采用测斜仪。

监测数据从基坑开挖 2 月 26 日开始至 7 月 20 日,典型监测曲线见图 5。由监测结果可知,桩顶水平位移较大,基坑南侧的监测点随开挖的进行变形量变化较大,有较大位移量的产生。最大位移量达到 44 mm,接近允许值。分析认为,主要原因为南侧距离公安大楼较近,受建筑物的影响较为明显,因此

变化量较大,但 6 月 4 日之后就趋于稳定,见图 6。施工过程中设置两层锚杆进行联合加固,支护锚杆后,变形量有所收敛,说明桩锚联合支护技术的可行性和适用性。

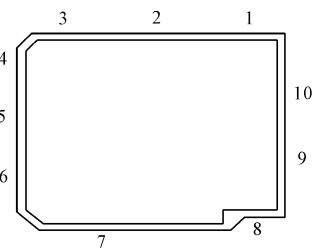


图 4 监测点布置图

由于受基坑土方开挖、基底土体回弹以及基坑周边建筑器械堆载和周边建筑物挤压作用,基坑在开挖初期产生上浮现象,随着施工过程的进行,沉降呈下沉趋势。基坑周边建筑物密集,南侧沉降量变

化较为明显,主要原因为随着开挖的进行建筑物的挤压作用以及水平位移量较大的影响。其最大沉降量为 15 mm,小于警戒值的 20 mm,符合设计要求。

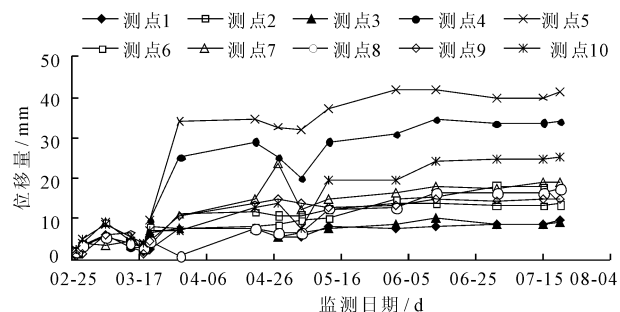


图 5 基坑水平位移变化曲线

桩体变形监测点 5 是变形量最大的监测布置点,见图 7。监测数据显示,基坑受周边荷载及土体回弹的影响,但监测点变形量未超越允许的变形警戒值,在允许的变形范围内,最大变形量累积最大达到 44 mm,其它监测点数值未超过变形警戒值。说明采用这种支护形式具有较好的施工安全性和工程经济性。

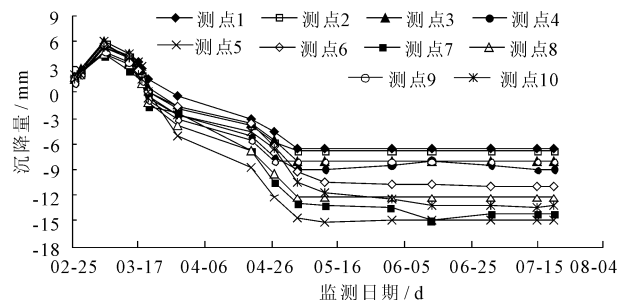


图 6 基坑竖直沉降变化曲线

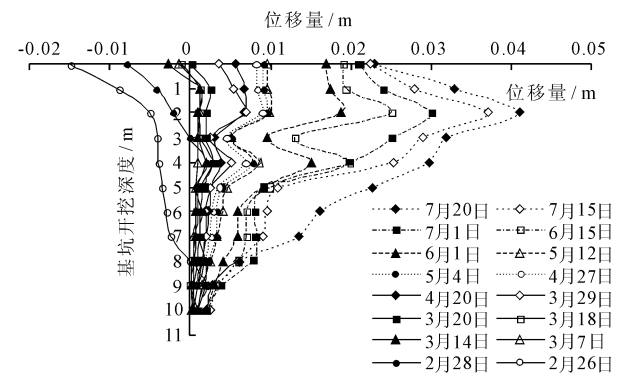


图 7 测点 5 变形曲线图

4 有限元模型分析

沈阳亚洲金融大厦基坑工程周围环境复杂,根据实际工程特点应用 MIDAS/GTS 对深基坑进行三维空间模拟。通过改变周边建筑的不相关参数,分

析在不同荷载、不同建筑距离、不同建筑分布等的影响之下,基坑的变形情况,并且与实际测量值进行对比,分析不同情况下基坑的变形规律,考察基坑周边环境对基坑支护结构的稳定性的具体影响情况^[10-12]。

根据表 1 和表 2 中的地层参数,综合考虑工程周边实际情况,建立图 8 简化模型来分析,基坑开挖深度设置为 10.7 m。约束类型设置为地面为自由边界,竖向边界设置为水平位移约束,下表面设置为全约束形式。开挖步骤依据实际工程方法为三次开挖,先布桩,后边开挖边支护。在模型中,土体按照不同材料分为 3 层,其中应用混凝土墙模拟桩体,采用植入式桁架线弹性单元模拟锚杆,土体采用 Mohr-Coulomb 材料模型。本文采用多次反复模拟计算的方法,在允许范围内适当调整土体结构参数,简化计算模型,数据处理过程中提取基坑边坡变形及地面沉降数据,与实际监测数据进行对比,分析设计的可行性,并对基坑的施工起到一定的参考作用。

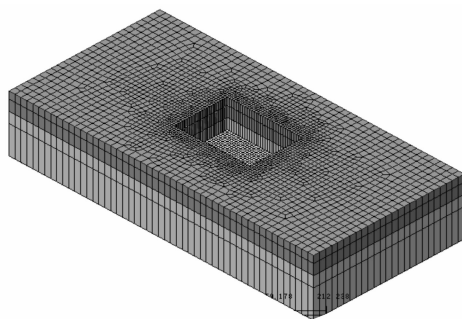


图 8 三维有限元分析模型

4.1 周边有无建筑对基坑的影响

通过模拟得到当不存在建筑载荷情况时,基坑的变形量很小,说明在实际的地质条件下,采用桩锚联合支护的形式是十分稳定和坚固的。当按照设计要求布置建筑载荷时,建筑物的位移量明显加大,见图 9,水平位移由之前的 0.43 mm 扩大到 41 mm。地面的沉降量变形不大,实际工程中为应付水平地面的沉降和满足人工、机械的运行地面采取了一定的硬化措施。图 9 表明,实测基坑水平位移与数值模拟得到的基坑水平位移具有相同的变化规律,整体上实测值要略大于数值模拟值,这主要是由于在模拟过程中对周边荷载进行了简化而导致的。两者差值为 0.2 ~ 0.12 mm,可以满足施工精度的要求。

4.2 不同作用力对基坑稳定性的影响

考察建筑物对基坑的影响,更改设计中建筑物的作用力大小,按照不同受力情况下基坑的变形量,分析设计的合理性和经济性。按照表 3 中的数据施

加荷载,分析基坑的位移量。

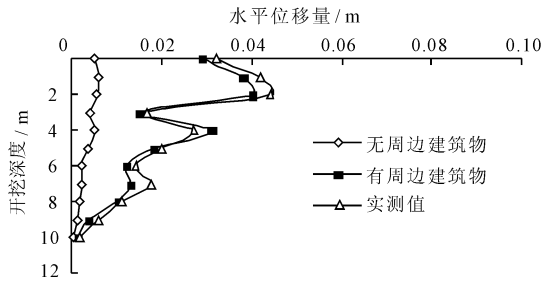


图9 基坑位移对比曲线

表3 施加作用力数据表

工况	一	二	三	四	五	六
施加荷载量	0	10	20	40	60	80

随着建筑物荷载的增加,即竖向作用力的加大,基坑的水平位移逐渐加大,呈线性增长,见图10和图11。当作用力达到40 kN时,即设计中最大受力所在位置的变形量达到41 mm,与实际监测的45 mm接近,但当超过40 kN后,基坑的水平位移迅速加大,受力在60 kN时,水平位移最大为94 mm,当受力80 kN时,水平位移达到110 mm左右,远远超过基坑设计规范中的允许量50 mm。

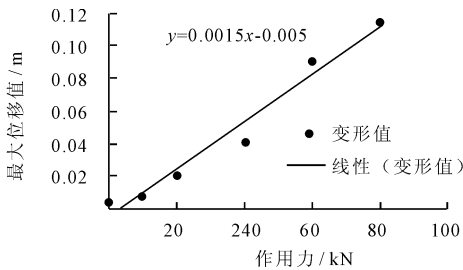


图10 不同作用力下基坑位移曲线

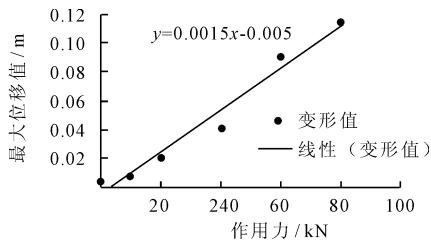


图11 不同作用力下基坑最大位移值

4.3 不同建筑物距离对基坑稳定性的影响

考察建筑物在不同距离对基坑支护结构的影响,更改设计中建筑物的水平距离,按照不同距离情况下基坑的变形量。按照表4中的距离进行数值模拟,分析基坑的位移量。

表4 不同距离工况数据表

工况	一	二	三	四	五	六
距离值	6	12	15	18	20	30

随着建筑物距离的不同,基坑支护结构的变形发生很大变化,最大位移量呈现幂指数变化,见图12和图13。当建筑物距离基坑较近时,基坑水平位移量较大,距离基坑12 m时,最大变形量为41.7 mm;当距离基坑为6 m时,最大变形量扩大到91.5 mm。但距离超过20 m之后,基坑的变形量就十分微小了,基本不影响基坑支护结构的稳定性。其中当建筑物距离为20 m时,基坑支护结构的水平位移为1.25 mm,当距离为30 m时,基坑支护结构的水平位移量为0.71 mm,从20~30 m范围内建筑物对基坑的影响已经不大,此时的影响力基本可以忽略。

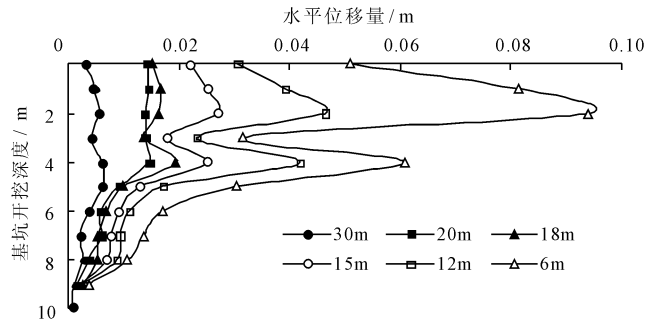


图12 不同建筑距离时基坑位移曲线

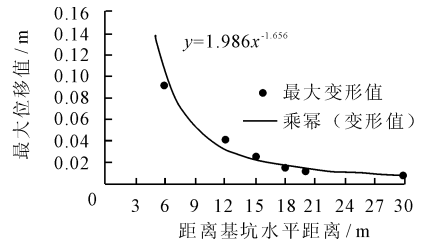


图13 不同建筑距离时基坑最大位移值

4.4 不同建筑分布对基坑支护稳定性的影响

工程周边建筑物的规模不尽相同,有的可能是“细高”的高层大厦,有的可能是建筑高度较小但占地面积较大的工厂厂房。高层建筑由于受力面积较小,产生比较集中的竖向压力;低层建筑虽然占地规模大,但是基础均布受力较小,影响相对会小一些。考察不同建筑功能的建筑对基坑支护结构的影响,在不改变作用力总和的前提下通过改变均布力的面积实现模拟。模拟过程中,为了便于计算和模拟,建筑物距离基坑的距离不变,平行基坑支护边的变长不变,研究不同工况下基坑的变形值。

表 5 不同建筑规模分布工况数据表

工况	一	二	三	四	五
均布力	原值	减少	减少	增加	增加
	(40)	30%	50%	40%	75%
占单元面积	7×6	10×6	14×6	5×6	4×6

建筑物的规模大小和分布形式对基坑支护结构有很明显的影响,“细高”的建筑物,即占地面积较小、建筑规模较大的建筑给基坑带来的影响较大。图 14 中,相同的作用力总和的情况下,占地面积小、高度大的建筑对基坑的影响较大。当均布力为 40 kN/m² 时,基坑支护结构的最大变形量达到了 39.2 mm,与实测值 42.1 mm 相差不大;当均布力为 70 kN/m² 时,基坑支护结构的最大变形量达到了 110 mm 以上,可见基坑周边建筑物如果为高层或者为低层建筑时对基坑的影响量非常大。同样的建筑荷载,不同的建筑分布对基坑的结构影响完全不同,这主要是因为较高建筑物产生的竖向压力更加集中,作用效果更加明显。不同建筑规模时,基坑最大位移呈二次多项式函数变化,见图 15。

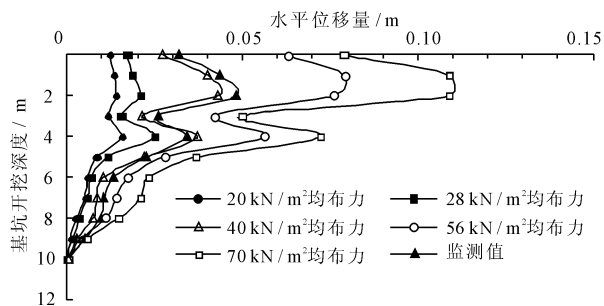


图 14 不同建筑分布时基坑位移曲线

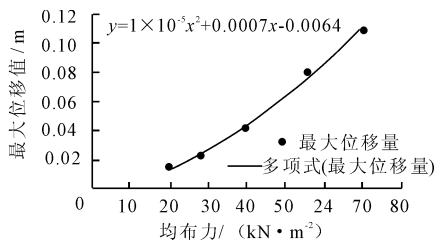


图 15 不同建筑规模时基坑最大位移值

5 结 语

通过使用 MIDAS/GTS 对基坑进行大量的数值模拟,改变影响基坑周边建筑物的相关参数得出影响支护结构稳定性的规律,并进行分析,得出以下结论。

(1) 当基坑周边存在建筑物时,与基坑周边无建

筑物时,基坑变形量明显加大,采取桩锚联合支护措施满足实际工程的需要,符合经济安全的施工要求。

(2) 改变基坑周边建筑物作用力的大小,用以模拟基坑周边建筑物的高低。随着基坑周边建筑物作用力的增大,基坑变形量呈线性增加。

(3) 改变建筑物距离基坑的水平距离,评估实际建筑物的影响范围,在 2 倍基坑开挖深度范围内,随着建筑物距离基坑的距离减小,基坑最大位移量呈现幂级数增长,在 2 倍基坑开挖深度范围外,建筑距离对基坑的影响变化不大。

(4) 改变建筑物的建筑分布情况,建筑物“细高”时对基坑的影响较大,“矮胖”时较小。

参考文献:

- [1] 中国建筑学会建筑结构分会高层建筑结构委员会. 我国大陆 2009 年底已建成 180m 以上高层建筑统计[J]. 土木工程学报, 2010, 43(5): 149 - 153.
- [2] 胡冬, 张小平. 基于灰色系统理论的基坑变形预测研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(1): 74 - 78 + 168.
- [3] 张向东, 张晨光, 刘家顺. 交通荷载作用下深基坑支护结构稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(2): 125 - 129.
- [4] 李必红, 周健, 史秀志. 深基坑支护结构选型决策的 Fisher 判别分析模型[J]. 重庆大学学报, 2011, 34(9): 109 - 116.
- [5] 张向东, 陈洪伟, 李牧. 基坑开挖对邻近建筑物影响的数值模拟[J]. 微计算机信息, 2012, 27(2): 50 - 52.
- [6] 杜东宁, 张向东, 杨逾, 等. 沈阳东森深基坑工程三维有限元分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2010, 37(4): 763 - 768.
- [7] Hsieh P G, Ou C Y. Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998, 35(6): 1004 - 1017.
- [8] 陈宏东, 都华, 冯林平, 等. 深挖填土基坑监测及安全性分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2010, 35(2): 204 - 209.
- [9] 张维正. 深基坑周边建筑物沉降预测与支护结构变形研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.
- [10] 严薇, 曾友谊, 王维说. 深基坑桩锚支护结构变形和内力分析方法探讨[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(3): 344 - 348.
- [11] 周念清, 唐益群, 娄荣祥, 等. 徐家汇地铁站深基坑降水数值模拟与沉降控制[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(12): 1950 - 1956.
- [12] 龚剑, 王旭军, 赵锡宏. 深大基坑首层盆式开挖对基坑变形影响分析[J]. 岩土力学, 2013, 34(2): 439 - 448.