

文章编号:1673-9469(2011)03-0021-05

深基坑工程对周围环境影响的安全评价

戴佳立¹,张建新¹,杜文奇²,刘乃棣²

(1.天津城市建设学院 天津市软土特性与工程环境重点实验室,天津 300384;

2.天津市安居建设发展总公司,天津 300050)

摘要:本文基于模糊数学理论,建立深基坑施工对周围环境影响的模糊综合评判模型,对基坑工程的安全性进行评价。以基坑开挖过程中的监测资料为依据,运用模糊综合评价法对监测数据进行量化分析,给基坑周边环境评定综合安全等级。实践证明该方法能够较真实地反映深基坑的风险状况,减少主观判断带来的差异,使评价结果更加精确,为工程的顺利开展提供可靠的保证。

关键词:深基坑;周围环境;监测;模糊综合评价法

中图分类号: TU 94

文献标识码: A

Safety assessment method for the influence of deep foundation pit on surrounding environment

DAI Jia-li¹, ZHANG Jian-xin¹, DU Wen-qi², LIU Nai-di²

(1. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Anju Building and Development General Co., Tianjin 300050, China)

Abstract: A response of around surrounding to an adjacent deep foundation pit safety risk fuzzy synthetic evaluation model was established by according to the basic principle of fuzzy math. Based on the monitoring data of the deep foundation pit, the monitoring data was evaluated quantitatively by using the method of fuzzy synthetic evaluation, and then safety grades of foundation can be determined. The result proves that the method can reflect the risk condition of deep foundation pit and reduce the errors caused by subjective judgment. The assessment makes the evaluation results accurate and could guarantee the development of the project.

Key words: deep foundation pit; surrounding environment; monitoring; fuzzy synthetic evaluation

近年来,随着我国城市建设的发展,地下空间得到了开发和利用,深基坑工程变得十分普遍。深基坑工程大多位于繁华的市中心,周围建筑物密集,管线复杂,紧邻道路红线,它的施工对周围环境的影响越来越受到人们的关注^[1]。监测技术在深基坑的施工过程中已经是一项必不可少的环节,它在对工程的质量控制,进度控制等环节中起到了良好的社会效应和经济效应。以往深基坑工程对周围环境影响的研究主要集中在监测数据与数值模拟分析上,而运用模糊综合评价法对监测数据进行分析研究较少。本文以深基坑开挖监测资料为依据,运用模糊综合评价法,确定安全风险

因素的权重,划分安全风险水平等级,建立隶属度函数,对风险因素进行模糊综合评判。

1 工程概况

天津某办公楼基坑工程,长约 80 m,宽约 65 m,位于繁华的市中心,场地西侧与 6 层办公楼相邻,西南角和东南角与居民楼相邻,建筑物年代较久远,为历史风貌建筑,需要保护,南侧靠近河道,北侧紧邻城市主干道,东侧为一幢 7 层小楼,周围环境十分复杂,对变形要求较高。

基坑深度 9.6 m,侧壁安全等级一级,围护结

收稿日期:2011-06-04

作者简介:戴佳立(1986-),男,浙江海宁人,硕士研究生,从事地下结构、基坑工程方面的研究。

构采用 $\phi 800$ mm 钢筋混凝土钻孔灌注桩, 截水帷幕采用 $\phi 850$ mm 三轴水泥搅拌桩, 采用一道钢筋混凝土支撑。

天津为典型的海陆相交互软土地层, 场地范围内的工程地质条件极其复杂, 地层变化起伏大, 土质软弱, 钻孔揭露范围内见 7 层土, 地下水埋深 1.30~1.70 m。具体土层情况如表 1 所示。

深基坑开挖将会对周围环境产生较大影响, 开挖施工时进行了周围环境的监测, 主要有: 路面沉降 L1-L8; 建筑物沉降 1-34; 河岸地面沉降 H1-H4。详见图 1

该基坑在 2010 年 12 月 6 日的开挖过程中发现坑深 4~5 m 粉土层有漏水和涌土的现象, 12 月 6 日和 12 月 7 日的测斜数值分析发现, 曲线曲率变化异常, 最大日变形量达到 27.1 mm, 远远超出了警戒值, 见图 2。最后判断为止水帷幕施工质量问题所致, 施工单位马上进行土方回填, 并于 12 月 7 日采用双液注浆的方法进行堵漏。由于基坑周围有需要保护的风貌建筑, 为更直观的反应本次事故对周围环境的影响程度, 故本文基于周围环境的沉降监测数据进行模糊综合评判, 以评价深基坑开挖对周围环境影响的安全性。

表 1 土的物理力学指标

Tab. 1 Physical and mechanical properties of soils

土层编号	岩性	土层厚度/m	平均重度/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	透水性	直剪固结快剪	
					C/kPa	$\Phi/^\circ$
1	填土	0.5~3.6	17.25	不透水	10.5	11.9
2	粉质黏土	1.4~4.2	19.32	不透水	13.1	17.9
3a	粉土	2.6~4.8	19.41	弱透水	12.3	30.0
3b	粉质黏土	3.5~6.5	19.22	微透水	14.5	19.3
4	粉质黏土	0.9~2.5	19.40	不透水	19.5	20.3
5	粉质黏土	5.5~6.7	19.79	不透水	20.7	23.2
6a	粉质黏土	1.5~4.7	19.36	微透水	21.7	25.3
6b	粉土	1.7~5.8	19.89	弱透水	10.5	33.4
7a	粉质黏土	7.4~12.3	20.02	--	26.0	28.4
7b	细砂	1.9~7.0	20.01	--	8.3	36.3
7c	粉质黏土	2.0~5.6	19.86	--	21.4	17.4
7d	粉砂	9.5~11.5	20.16	--	9.3	35.7

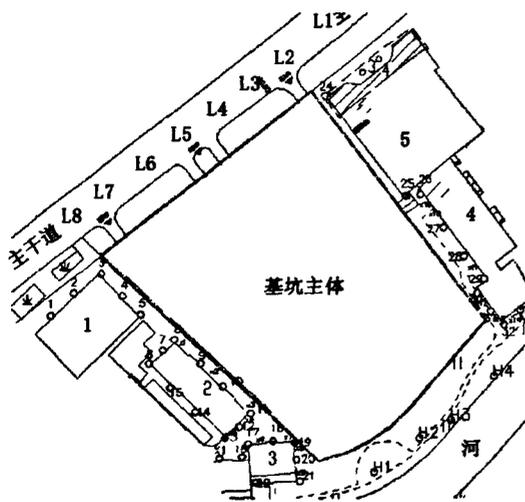


图1 基坑周边环境测点布置图

Fig.1 Layout of monitoring points for

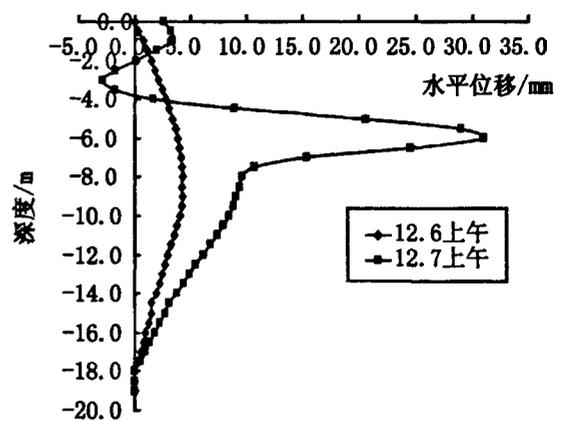


图2 土体深层水平位移图

Fig.2 Variation of horizontal displacements of soil layers with depth

2 模糊综合评价法

模糊综合评价法是运用模糊数学的工具,把一些边界不清的问题定量化,对受多因素影响的事物和现象作出总的综合评价的方法^[2-3]。

确定评价指标及其权重:根据问题确定评价指标集 $U = \{u_1, \dots, u_n\}$ 和各指标的权重集 $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 权重采用 AHP 法(层次分析法)确定。

单因素评价并形成隶属度矩阵:首先确定评价级别集 $V = \{v_1, \dots, v_m\}$, 然后通过隶属度函数确定评价对象在各单项指标上的得分 $r_i = (r_{i1}, \dots, r_{im}) (i = 1, \dots, n)$, 最后以 r_i 为行形成评价矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

综合评价:计算模糊合成 $B = A \cdot R$, 合成采用 $(+, \cdot)$, 即相当于普通矩阵乘法, 对于合成结果进行归一化, 按最大隶属度确定评价对象所属的等级。 $B = \max(b_1, b_2, \dots, b_n)$

3 对周围环境影响的安全评价

3.1 安全评价指标体系

根据监测项目确定各单因素的评价指标体系见表2。

按影响因素的重要性, 先进行打分, 确定影响因素的权重, 经归一化处理并作一致性检验, 得到一级指标的评价权重集 $A = (0.09 \ 0.55 \ 0.36)$ 和二级指标的评价权重集 $A_i = (0.25 \ 0.75)$ 。

表2 评价指标体系

Tab.2 Evaluation index system

一级指标 代码	一级指标 U _i	二级指标 代码	二级指标 U _{ij}
U1	地表沉降	U11	累计值
		U12	速率值
U2	建筑物沉降	U21	累计值
		U22	速率值
U3	路面沉降	U31	累计值
		U32	速率值

3.2 建立评价级别集

在相关研究基础上^[4-7], 根据工程的实际状况, 将基坑的安全等级划分为:安全、关注、预警、警戒、危险五个等级, $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ 见表3。

3.3 警戒值(阈值)的建立

警戒值(阈值)是在监测报警值的基础上考虑国家规范, 地方规范和该工程设计要求^[8-11], 通过专家经验判断建立的。综上所述, 表4列出了各因素安全评价指标。

监测数据发现12月7日和12月8日建筑物沉降较稳定, 最大变形速率为0.5 mm/d, 12月9日沉降速率加大。这说明建筑物沉降对于基坑周围深层土体的变形有滞后效应。而路面的沉降一直都很稳定, 说明本次事故的影响范围不是很大。现以2011年12月9日的监测数据资料做为评价依据, 对基坑周围环境的安全性进行模糊综合评价, 各项评价指标见表5。

表3 深基坑周边环境安全模糊综合评判的级别集

Tab.3 The levels of safety and fuzzy synthetic evaluations for surrounding Environment

等级	预警状态	特征表现
I	安全状态	周围环境基本未受影响, 正常施工情况下风险非常小
II	关注状态	周围环境受到较少影响, 正常施工情况下风险小
III	预警状态	周围环境受到一定影响, 正常施工情况下有一定风险, 非正常施工情况下容易才生危险
IV	警戒状态	周围环境受到较大影响, 正常施工情况下风险大, 小失误情况容易才生危险
V	危险状态	周围环境受到严重影响, 正常施工情况下风险非常大, 须立即采取措施

表4 各因素安全评价指标
Tab.4 The index of safety evaluation

			I	II	III	IV	V
			安全	关注	预警	警戒	危险
			状态	状态	状态	状态	状态
地表沉降	累计/mm		0	6	12	18	30
	速率/(mm·d ⁻¹)		0	2	4	5	6
周围环境 建筑物沉降	累计/mm		0	6	14	24	34
	速率/(mm·d ⁻¹)		0	1	2	3	4
路面沉降	累计/mm		0	6	14	20	28
	速率/(mm·d ⁻¹)		0	1	2	3	4

表5 基坑周边环境各单因素指标
Tab.5 The single index of surroundings around foundation pit

监测项目		最大测值指标	点号
周围环境 地表沉降	累计	11.4mm	H2
	速率	0.1mm·d ⁻¹	H3
周围环境 建筑物沉降	累计	16.8mm	10
	速率	1.8mm·d ⁻¹	10
周围环境 路面沉降	累计	1.9mm	L4
	速率	0.2mm·d ⁻¹	L4

3.4 隶属度函数的选定

为了求得模糊关系矩阵, 必须建立各单因素对基坑支护体系安全分级的隶属函数。建立合理的隶属函数是比较困难的, 需要通过不断的试验和总结。本文隶属函数的确定参照文献[8]中介绍的半梯形与梯形的函数表达形式建立隶属度函数。

基坑处于安全状态的隶属函数

$$\mu_0 = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b} & a < x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases}$$

基坑处于关注状态的隶属函数

$$\mu_1 = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5a \\ \frac{x-0.5a}{0.5a} & 0.5a < x \leq a \\ 1 & a < x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & b < x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$

基坑处于预警状态的隶属函数

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1 & b < x \leq c \\ \frac{x-0.5(c+d)}{0.5c-0.5d} & c < x \leq 0.5(c+d) \\ 0 & x > 0.5(c+d) \end{cases}$$

基坑处于警戒状态的隶属函数

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b} & b < x \leq c \\ 1 & c < x \leq 0.5(c+d) \\ \frac{x-d}{0.5c-0.5d} & 0.5(c+d) < x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases}$$

基坑处于危险状态的隶属函数

$$\mu_4 = \begin{cases} 0 & x \leq b \\ \frac{x-b}{d-b} & b < x \leq d \\ 1 & x > b \end{cases}$$

上式的 a 、 b 、 c 、 d 分别为基坑处于关注、预警、警戒和危险状态的评价指标控制值, x 为最大测值指标。

3.5 模糊综合评价

将表5中的最大测值指标代入隶属度函数中, 得到最下层的评价矩阵

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 1 & 0.9 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0.72 & 1 & 0.28 & 0.14 \\ 0.2 & 1 & 0.8 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

评价模型为

$$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.775 \ 0.25 \ 0.225 \ 0 \ 0)$$

$$B_2 = A_2 \cdot R_2 = (0.15 \ 0.93 \ 0.85 \ 0.07 \ 0.035)$$

$$B_3 = A_3 \cdot R_3 = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

得到

$$R = \begin{pmatrix} 0.775 & 0.25 & 0.225 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.93 & 0.85 & 0.07 & 0.035 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

第二层评价矩阵和评判模型为

$$B = A \cdot R = (0.512 \ 0.534 \ 0.488 \ 0.039 \ 0.019)$$

归一化后得(0.322, 0.335, 0.307, 0.024, 0.012),根据最大隶属度原则,取B中的最大值0.335,则对应为二级警戒状态,所以基坑开挖对周围环境影响的综合风险等级评定为二级关注状态。说明对于此次漏水事件,施工单位土方回填及时,双液注浆参数控制合理,取得良好效果。

4 结语

运用模糊综合评价法把监测数据进行量化分析,能够较真实地反应深基坑的风险状况,减少了主观判断带来的差异,使评价结果更加精确,为工程的顺利开展提供可靠的帮助。

本文评价方法操作性强,具有一定的实用价值,可为基坑设计施工部门进行参考。目前天津地区对基坑开挖对周围环境安全评价研究较少,相关数据指标参考上海地区而建立,对于进一步完善评价体系的问题今后还有较大的研究空间。

参考文献:

- [1] 孙志斌. 深基坑工程对周围环境的影响[J]. 岩土工程界, 2006, 9(5): 24-26.
- [2] 何锡兴, 周红波, 姚浩. 上海某深基坑工程风险识别与模糊评估[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增1): 1912-1915.
- [3] 杜纲. 管理数学基础[M]. 天津: 天津大学出版社, 2002.
- [4] 刘万兰, 鞠丽艳, 高文杰. 软土地区基坑施工风险评估准则与方法研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增2): 590-593.
- [5] 黄宏伟. 隧道及地下工程建设中的风险管理研究进展[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(1): 13-20.
- [6] 钱七虎, 戎晓力. 中国地下工程安全风险管理的现状、问题及相关建议[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(4): 649-655.
- [7] 鲁志鹏. 考虑地墙渗漏影响的地铁基坑安全形状研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 2(6): 400-405.
- [8] 张瑾. 基于实测数据的深基坑施工安全评估研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [9] GB50497-2009, 建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [10] 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.
- [11] 宰金珉. 岩土工程测试与监测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

(责任编辑 刘存英)

(上接第16页)

3 结论

1) 通过理论研究和试验对比, 式(5)可以作为蒸压粉煤灰砖砌体结构极限抗震剪切承载力计算公式, 具有较好的精确度。

2) 约束砌体结构具有良好的抗震性能, 其抗震能力可提高一度。

3) 构造柱不仅是房屋抗倒塌的重要措施, 还是承受地震作用的受力构件, 分别承担着8.04%和10.11%的抗剪承载力, 对于每开间均设构造柱的房屋, 考虑构造柱的抗剪作用更为合理。

参考文献:

- [1] 韩春. 蒸压粉煤灰砖柱与墙体抗震性能的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
- [2] GB50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [3] 熊立红. 多层混凝土砌块结构性能抗震研究[D]. 哈尔

滨: 中国地震局工程力学研究所, 2004.

- [4] 赵成文, 尚义明, 周康, 等. 蒸压粉煤灰砖墙片抗震性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报, 2010, 26(1): 57-61.
- [5] 方亮, 梁建国. 蒸压粉煤灰砖墙片抗震性能研究[J]. 湖南农业大学学报, 2008, 34(2): 240-244.
- [6] 杨元秀. 预应力蒸压粉煤灰实心砖墙抗震性能试验研究[D]. 重庆大学, 2008.
- [7] 孙云来. 蒸压粉煤灰实心砖墙片抗震性能试验研究[D]. 重庆大学, 2008.
- [8] 赵成文, 刘德清, 高连玉. 反复荷载下蒸压粉煤灰砖砌体的抗震性能[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 1999, 15(1): 14-17.
- [9] 刘利先, 吕龙, 刘铮. 蒸压粉煤灰砖砌体抗剪性能试验研究[J]. 建材发展导向, 2004(6): 61-62.
- [10] 刘立新, 田高燕, 蔡秀兰. 表面带凸凹槽的蒸压粉煤灰砖砌体抗剪性能的试验研究[J]. 新型建筑材料, 2009(1): 10-12.

(责任编辑 刘存英)