

基坑形状与基坑稳定性关系的实测与分析

姜晨光¹ 贺勇² 朱烨昕³

(1. 江南大学土木工程学院, 江苏无锡 214122; 2. 青岛农业大学, 山东青岛 266109; 3. 无锡市建设局, 江苏无锡 214031)

【摘要】 在基坑监测实践中发现了基坑平面形状与基坑稳定性的内在联系, 给出了椭圆形基坑、圆形基坑、矩形基坑的应力与位移监测数据, 以实测数据为依据, 指出了类圆形基坑的优越性, 得出了类圆形基坑承载能力与坑壁稳定性优于矩形基坑的结论, 利用三维有限差分理论分析了类圆形基坑和矩形基坑的承载能力与坑壁稳定性, 介绍了基坑监测采用的方法和监测过程。

【关键词】 基坑; 形状; 稳定性; 椭圆形基坑; 圆形基坑; 矩形基坑; 原位监测

【中图分类号】 TU 413.62; TU 432

Relationship Between the Plane Shape of Foundation Pit and Its Stability

Jiang Chenguang¹ He Yong² Zhu Yexin³

(1. College of Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122; 2. Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong 266109; 3. Construction Bureau of Wuxi City, Wuxi Jiangsu 214031 China)

【Abstract】 The relationship between the plane shape of foundation pit and its stability is found in foundation pit observation practice. It furnishes observation data of stress and displacement of ellipse foundation pit, round foundation pit and rectangle foundation pit. The superiority of ellipse foundation pit and round foundation pit is pointed out, based on site observations. It reaches the conclusion that the ellipse or round foundation pit advantageous than the rectangle foundation pit. The load-bearing capacity and pit wall stability of ellipse or round or rectangle foundation pit are analyzed by three-dimensional finite difference integral method. The ways and process of foundation pit observation are given.

【Key Words】 foundation pit; form; stability; ellipse foundation pit; round foundation pit; rectangle foundation pit; site observations

0 引言

基坑工程的质量对土木工程结构的施工质量和安全具有举足轻重的作用。在长达 10 余年的基坑原位监测实践中, 笔者及科研组发现基坑工程的质量除了与正确地计算作用在支护结构上的荷载^[1-9]外还与基坑的平面形状有着极为密切的关系。一个好的(或者说优化的)基坑平面形状可以改善基坑的应力布局、减小基坑的位移、改善基坑的位移布局、节省基坑支护费用。实测结果显示类圆形平面结构基坑是一种最优的基坑平面形状, 类圆形平面结构

基坑是指短长半径比 $\mu \geq 0.6772$ 的椭圆型和圆形平面结构基坑, 类圆形平面结构基坑承载能力远优于矩形平面结构基坑, 矩形平面结构基坑长宽比越大承载能力越差。下面就笔者及科研组对几个典型基坑的实测结果做一介绍。

1 基坑原位监测方法

几年来, 笔者与科研组曾对淮北平原 17 个各类基坑进行过原位监测工作, 取得了许多第一手的监测资料, 从而为基坑形状与基坑稳定性关系的研究工作奠定了基础。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(79160173); 无锡市建设科研基金资助项目(2006-10); 江南大学 211 建设重点项目基金资助项目(2004012)

作者简介: 姜晨光, 1964 年生, 男, 教授, 汉族, 湖南岳阳人, 江南大学土木工程学院副院长, 1984 年毕业于中南大学。E-mail: jiangcg999@yahoo.com.cn

1.1 基坑土压力测点 布置

基坑监测中土压力监测采用的设备是 XJY-2 型钢弦式土压力计和 SS-II 型频率接收仪。土压力测点的布置原则是测出的土压力应能较全面地反映基坑开挖时土体的真实工作状态。为此, 土压力测线采用米字形布局。下面以淮北大厦为例谈一下土压力测线的具体布置情况

淮北大厦土压力测线布置见图 1。沿 8 个方向共布置了 8 条土压力观测测线 A、B、C、D、E、F、G、H, 每条测线上均设有 3 组竖向均布置埋的土压力计(见图 2)。图 2 显示了 B 测线上各组土压力计的置埋情况, 各组土压力计的置埋深度按基坑深度均布设置(最高点位于地面下 1 m 处、最低点比基坑底高 0.5 m)。淮北大厦各组土压力计的置埋深度分别是地下 1 m、3.5 m、6.5 m, 各组的 3 个置埋土压力计均位于同一铅垂线上, 最靠近坑壁的那组土压力计(B3)到坑壁的水平距离为 1 m、第二组土压力计(B2)到坑壁的水平距离为 5 m、第三组土压力计(B1)到坑壁的水平距离为 30 m。其它测线的土压力计置埋方法与 B 测线完全一致。

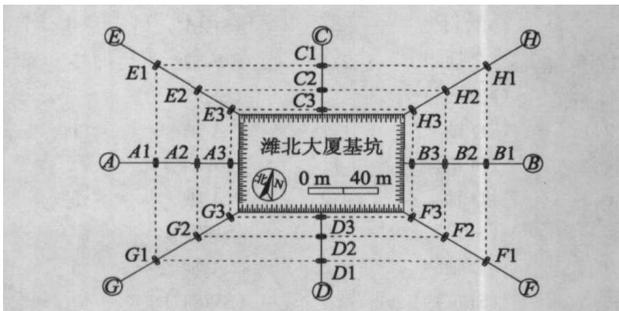


图 1 淮北大厦土压力测线布置示意

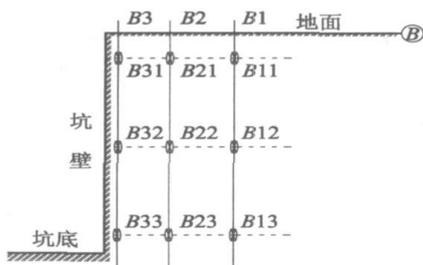


图 2 测线土压力计埋设位置示意图

1.2 土压力计的安装

首先制作若干个钢筋骨架, 将土压力计按设计的深度位置绑扎在钢筋骨架上, 钢筋骨架的上方设置有位移测定标记。用 Leica 的 TCA1800 电子全站仪(测角精度 $\pm 1.0''$ 、测距精度 $1\text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$)

或日本 Nikon 的 DTM-532 电子全站仪(测角精度 $\pm 2.0''$ 、测距精度 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D$) 在实地标定出各个测线、各组土压力计的实地位置, 在各组土压力计的标定位置用勘探钻机成孔, 然后将绑扎好土压力计的钢筋骨架垂直下入孔中放于设计标高位置, 使土压力计的受压传感面背向基坑侧壁, 将电缆线引至地面上, 钻孔内的所有空隙均用细砂填实。在土压力计安装的钻机成孔过程中保留土芯, 进行实验室实验获得相关的土工参数(比如重度 γ 等)。土压力计的安装应在基坑开挖前一个月完成。

1.3 土压力测定与位移监测

在基坑开挖前 2 天完成原始土压力值的采集工作。同时, 在距基坑 500 m 外的 2~3 个三维基准点上, 利用 Leica 的 TCA1800 电子全站仪或 Nikon 的 DTM-532 电子全站仪测定置埋后各测线钢筋骨架上方位移标记的初始三维坐标。

随着施工的进度, 每 2 天全面采集土压力值一次, 在采集土压力值的同时用电子全站仪测定置埋后各测线钢筋骨架上方位移标记的三维坐标, 另外, 也对基坑的开挖深度进行测定。同一点相邻 2 次电子全站仪测定三维坐标间的较差即为该点在相邻 2 次监测段内的相对空间位移量; 同一点各次电子全站仪测定三维坐标与初始三维坐标间的较差即为该点的绝对空间位移量, 根据相对空间位移量和绝对空间位移量可以对基坑的安全性进行科学判断与预测, 同时也可以与土压力值联系进行综合应力应变分析。

2 不同平面几何形状基坑的原位监测结果与分析

为了更加详细可靠地了解不同平面几何形状基坑的稳定性, 笔者与科研组精选了 3 个代表性基坑的监测结果, 这 3 个基坑分别是淮北大厦、鸢飞体育馆、齐都体育馆, 3 个基坑的土质结构大致相同, 地层结构依次为地表层粉质粘土层厚 8.6~10.2 m, 粘土层厚 3.1~4.7 m, 细砂层厚 3.9~5.6 m, 3 个基坑的地表层粉质粘土层平均重度 γ 在 18.8~19.3 kN/m³ 之间。3 个基坑的开挖与监测均是在春天干旱季节进行的, 基坑从开挖到结束, 地面几乎没有降水, 基坑开挖过程中距坑壁 200 m 范围内无任何堆载。鉴于北方春季干旱少雨, 3 个基坑开挖深度均不大, 以及地质勘探与土工测试结果, 3 个基坑均采用了无支护开挖的方式。

淮北大厦为矩形基坑, 基坑长 106 m、宽 62 m、深 7 m。鸢飞体育馆为圆形基坑, 基坑直径 45 m、深 6.3 m。齐都体育馆为椭圆形基坑, 基坑长半径

48 m、短半径 35 m、深 5.7 m。鸢飞体育馆和齐都体育馆采用的均是柱下独立基础、上部结构采用的均是现浇钢筋混凝土框架体系、大空间屋盖采用均是钢网架结构。鸢飞体育馆土压力测线布置见图 3。

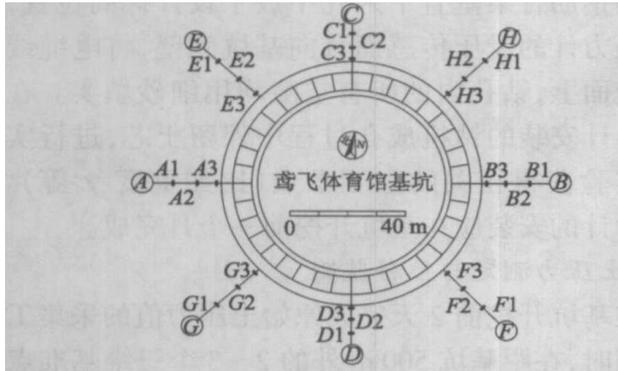


图 3 鸢飞体育馆土压力测线布置示意

齐都体育馆土压力测线布置见图 4。

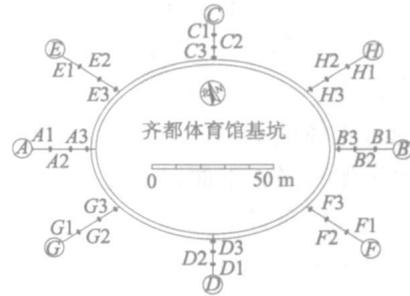


图 4 齐都体育馆土压力测线布置示意

不同开挖深度时 3 个基坑的极端(最大或最小)实测土压力值、极端土压力位置、极端(最大或最小)实测位移值(基坑坑壁内移值)、极端位移位置见表 1。

表 1 不同开挖深度 3 个基坑的土压力与位移实测结果

基坑	最大土压力 /kPa	最大土压力位置	最小土压力 /kPa	最小土压力位置	最大位移 /mm	最大位移位置	最小位移 /mm	最小位移位置	基坑挖深 /m
淮北大厦	0.052	C 轴 (NW11°)	0.019	F 轴 (SE15°)	3.0	C 轴 (NW11°)	0.3	F 轴 (SE15°)	1
	0.589	C 轴 (NW11°)	0.203	F 轴 (SE15°)	9.8	C 轴 (NW11°)	1.1	F 轴 (SE15°)	3
	2.781	C 轴 (NW11°)	0.869	F 轴 (SE15°)	17.6	C 轴 (NW11°)	2.1	F 轴 (SE15°)	5
鸢飞体育馆	0.041	D 轴 (SE6°)	0.031	A 轴 (SW84°)	2.1	D 轴 (SE6°)	1.1	A 轴 (SW84°)	1
	0.419	D 轴 (SE6°)	0.372	A 轴 (SW84°)	6.3	D 轴 (SE6°)	4.2	A 轴 (SW84°)	3
	2.047	D 轴 (SE6°)	1.691	A 轴 (SW84°)	10.7	D 轴 (SE6°)	8.5	A 轴 (SW84°)	5
齐都体育馆	0.038	C 轴 (NE3°)	0.034	A 轴 (NW87°)	1.7	C 轴 (NE3°)	1.5	A 轴 (NW87°)	1
	0.403	C 轴 (NE3°)	0.389	A 轴 (NW87°)	5.4	C 轴 (NE3°)	4.8	A 轴 (NW87°)	3
	2.005	C 轴 (NE3°)	1.736	A 轴 (NW87°)	9.7	C 轴 (NE3°)	9.0	A 轴 (NW87°)	5

从表 1 可见,类圆形平面结构基坑(鸢飞体育馆基坑、齐都体育馆基坑)的承载能力与坑壁稳定性优于矩形平面结构基坑(淮北大厦基坑)。

为了从理论上分析笔者及科研组的实测结论,笔者与科研组成员还利用美国 ITASCA 咨询集团公司的三维有限差分软件 FLAC-3D 进行了演算,演算结果证明了本文结论的正确性。

大家知道椭圆的扁度通常用压缩系数 μ 表示 ($\mu=b/a$),其中, b 为椭圆短半轴、 a 为椭圆长半轴,当 $\mu=1$ 时椭圆就变成了圆。为了进一步从理

论上探究类圆形平面结构基坑承载能力与坑壁稳定性优于矩形平面结构基坑的原因,我们利用 FLAC-3D 软件进行了不同平面几何参数的基坑承载力与坑壁稳定性演算,演算结果显示 $\mu \geq 0.6772$ 的类圆形平面结构基坑(包括椭圆和圆)具有良好的承载能力和坑壁稳定性, $\mu < 0.6772$ 的类圆形平面结构基坑的承载能力与坑壁稳定性随 μ 值的减小逐渐变差,当 $\mu < 0.36$ 时类圆形平面结构基坑的承载能力与坑壁稳定性已经不再表现出比矩形平面结构基坑优越,矩形平面结构基坑的承载能力与坑壁稳定性

随着长宽比的增大逐步降低,长宽比越大承载能力与坑壁稳定性越差。类圆形平面结构基坑(包括椭圆和圆)良好的承载能力也可以通过数值积分的方法分析得出^[10-11]。

3 结论

三维有限差分法(借助 FLAC-3D 软件)、数值积分分析法、大量的实际工程监测数据均证实类圆形平面结构基坑的承载能力与坑壁稳定性通常要比矩形平面结构基坑优越,当类圆形平面结构基坑的压缩系数 $\mu \geq 0.36$ 时其承载能力与坑壁稳定性比矩形平面结构基坑表现出较强的优越性(当 $\mu \geq 0.6772$ 时,优越性更加显著),矩形平面结构基坑的承载能力与坑壁稳定性以正方形为最佳,随着矩形长宽比的增大而降低。鉴于以上理论分析和实际工程监测结果,基坑平面形状设计时,在可能的情况下,建议对于正方形平面结构的建筑物(构筑物)基坑开挖采用圆形基坑、对于长方形平面结构的建筑物(构筑物)基坑开挖采用椭圆形基坑。

限于水平、学识、实验条件、实验地域、实验数量,本文的结论难免存在偏颇、缺陷与不足,其代表性误差、地域性误差也一定存在,本文观点的进一步完善有待于更多基坑工程实践的检验与修正,希望本文能对基坑工程的科学研究与工程实践工作有所启发、有所帮助。

参加本项目研究工作的还有顾持真、姜科、黄伟祥等同志,在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- [1] JGJ 120-99 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] GB 50007-2002 建筑地基基础设计规范[S].
- [3] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [4] 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.
- [5] 朱百里, 沈珠江. 计算土力学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [6] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [7] 维亚洛夫 C. C. 土力学的流变原理[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [8] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [9] 顾晓鲁, 钱鸿缙, 刘惠珊, 等. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [10] 姜晨光, 王纪明, 姜忠平, 等. 圆弧拱拱坝水平拱圈荷载传递规律的数值积分分析[J]. 建筑结构学报, 2006(S2): 555-557; 561.
- [11] 姜晨光, 逢晓周, 王世周, 等. 抛物线拱桥拱圈荷载传递规律的数值积分分析[J]. 北方交通, 2006(10): 48-50.

收稿日期: 2007-05-28

(上接第 245 页)

筑物、基础埋深虽然不大但采用深基础型式的建筑物,“天然地面以下 20 m 深度范围以内”的定义应当适当放宽。建议起算 20 m 的位置放入基底以下,或基础埋深以上适当位置,一般将受力层或桩侧桩端受土土层作为主要受测对象,将会更稳妥,更逼近于工程实践。

4) 既然在 20 m 深度范围以内的孤石作出的波速贡献可以扣除,填土的波速贡献也应当从中扣除。否则由于人工填土、尤其是小范围内厚土层波速影响便可以决定等效剪切波速范围,甚至直接影响到场地类别定性,在这种误导的理论推理下,通过人工换填浅层土层应可以改变场地类别,这是不符合区域地质学基本理论的。

5) 换填垫层法若可以通过改变波速值变幅达到

改变场地类别的目的,堆载预压或强夯等其它地基处理方法可否使处于临界状态的天然地基通过改良而改变场地类别?笔者认为:对于回填时间已久,相对均匀的素填土仍可以进入到场地类别评价中来,而对于杂填土、回填时间较短的土层,应从中扣除。

6) 建筑场地类别为一个宏观区域地质概念,任何人为因素、任何强有力的地基处理方法均不能够改造建筑场地类别。

参 考 文 献

- [1] 林宗元主编. 岩土工程勘察设计手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996: 1537-1539.
- [2] GB 50011-2001 建筑抗震设计规范[S].

收稿日期: 2007-07-23