

Pasternak 地基上基坑开挖对邻近地下 管线影响的解析分析

吴 伟

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘 要: 随着基建规模的扩大, 基坑开挖引起周边地下管线变形问题仍需重点关注。首先计算基坑开挖对邻近管线产生的附加应力, 然后基于 Pasternak 弹性地基梁模型, 采用两阶段方法建立地下管线竖向位移平衡微分方程, 利用有限差分法求解得到形式简洁的矩阵解析解, 并把理论计算结果与两个工程实例监测数据进行比较。结果表明: 本文计算结果与现场实测的地下管线变形规律基本一致, 验证了该方法的合理性和准确性。计算模型概念简单, 结果简洁明确, 可作为分析和预测基坑开挖对邻近地下管线影响的一种新手段。

关键词: 基坑开挖; Pasternak 地基模型; 两阶段法; 矩阵解

中图分类号: TU990.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)02-0212-05

Analytical analysis of the impact on adjacent underground pipelines due to foundation pit excavation on the Pasternak foundation

WU Wei

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The deformation of the surrounding underground pipelines caused by the foundation pit excavation needs to be paid more attention to when the scale of infrastructure continues to expand nowadays. First, additional stress on adjacent pipelines caused by foundation excavation was calculated. Then the equilibrium differential equation of vertical displacement of underground pipeline was established using two-stage method based on the Pasternak foundation model, and the finite difference method was used to obtain the matrix analytical solution in the most concise form. Finally, the theoretical calculation results were compared with the monitoring data recorded in the two engineering cases. It shows that the calculation results almost matched the monitoring deformation law of underground pipelines, which validated the feasibility and accuracy of this method. The calculation model, which is high in accessibility of the concept and also concise and explicit when referring to the calculation result, may be implemented as a new method to analyze and predict the impact of foundation pit excavation on adjacent underground pipelines.

Key words: foundation pit excavation; Pasternak foundation model; two-phase method; matrix solution

1 研究背景

近年来,随着城市地下空间的逐步开发,基坑工程不断向超大、超深方向发展,而基坑工程在开挖过程中不可避免地会对周围环境造成不同程度的影响。基坑施工诱发坑外土体扰动,会对邻近地下管线产生附加荷载,地下管线受到过大附加荷载会发生破损断裂,危害到人民的生活和财产安全。目前,基坑开挖对邻近地下管线影响的探讨较多,研究方

法主要有数值模拟法^[1-4]、模型试验法^[5-7]、现场实测法^[8-9]和理论解析法^[10-13]等。理论解析解方面,谷拴成等^[10]基于 Winkler 弹性地基梁理论,分析了隧道工程开挖影响下的地下管线受力情况,推导出地下管线的沉降、弯矩和剪力的表达式。李海丽等^[11]在被动管线 Winkler 地基模型基础上,引入土体刚度衰减模型,提出了隧道开挖作用下管线响应的分析方法。俞剑等^[12]基于 Winkler 地基模型,提出在位移作用下考虑埋深影响的地基模量的理论公

收稿日期:2018-08-02; 修回日期:2018-10-16

作者简介:吴伟(1993-),男,福建莆田人,在读硕士研究生,研究方向为桥梁与隧道工程。

式。苏骏等^[13]引入 Winkler 弹性地基梁的分析方法,建立管线沉降的竖向位移函数,得到预测基坑周围管线沉降的新途径。上述研究内容大多采用的是 Winkler 模型,然而该模型忽略了土体中的剪应力,不能很好地描述土体变形的连续性。因此本文基于 Pasternak 地基模型,提出一种基坑开挖对地下管线沉降影响的解析解答,在理论解方面进行改进。

本文运用土体自由位移场理论的两阶段分析法,第一阶段采用坑外地表土体沉降预测公式计算基坑开挖引起的土体自由位移,第二阶段将地下管线视为 Pasternak 弹性地基上的无限长梁,把第一阶段的土体位移场位移施加于管线,建立地下管线的受力平衡微分方程,采用有限差分法求解,得到形式简单的矩阵形式解,并把解析计算结果与工程实例

监测数据进行比较,对该计算方法进行验证。

2 基坑开挖引起邻近地下管线位移的两阶段法分析

2.1 地下管线受力模型

本文的研究采用 Pasternak 地基模型的基本假定:(1)将地下管线看做无限长梁;(2)剪切层仅产生剪切变形,不产生压缩变形;(3)基础与周围土体作用紧密,其变形与周围土体变形协调;(4)忽略周围土体与地下管线之间的摩擦力。假定基坑长为 L ,宽为 B ,深为 d ,地下管线直径为 D ,埋深为 z ,其轴线与基坑中心距离为 L_0 ,在地表面($z = 0$)处以矩形基坑中心为原点建立坐标系,简化计算模型如图 1 所示。

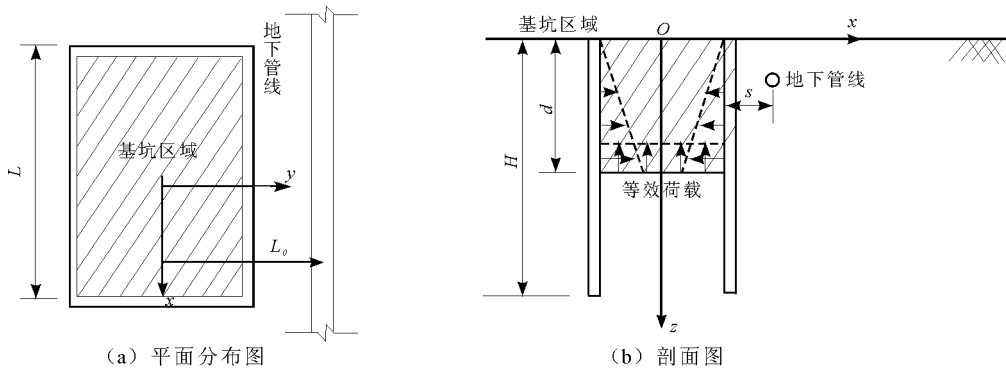


图 1 基坑开挖对邻近地下管线影响的理论模型

2.2 作用在管线上的竖向附加应力

以 Hsieh 等^[14]根据实测数据统计得到的沉降曲线为基础,结合张陈蓉等^[15]提出基坑开挖时坑外

地表土体自由位移沉降的预测曲线(1),拟合得到上海软土地区板式维护基坑体系基坑外的任一点土体沉降曲线公式(2):

$$w_v(x, y, 0) = \begin{cases} w_{v, \max}(x/H + 0.5)e^{-\pi(\frac{x}{R})^2} & (0 \leq x \leq 0.5H) \\ w_{v, \max}(-0.6x/H + 1.3)e^{-\pi(\frac{x}{R})^2} & (0.5H \leq x \leq 2H) \\ w_{v, \max}(-0.05x/H + 0.2)e^{-\pi(\frac{x}{R})^2} & (2H \leq x \leq 4H) \end{cases} \quad (1)$$

$$w_v(x, y, z) = \begin{cases} w_v(x, y, 0)(1.54e^{-z/3x} - 0.54) & (0 \leq x \leq 0.5H) \\ w_v(x, y, 0)(-0.6z/x + 0.9) & (0.5H \leq x \leq 1.5H) \\ w_v(x, y, 0)(-1.3z/x + 0.9) & (x \geq 1.5H) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $w_{v, \max}$ 为地表最大沉降量, mm; x 为坑外地表沉降点到基坑开挖面的距离, m; H 为基坑开挖深度, m; R 为变形影响半径, m。

$$R = \frac{L}{2}[0.069 \ln(H/L) + 1.03] \quad (3)$$

由式(2)可知,沿 x 轴方向坑外地表为曲槽型,沿 y 轴方向地表沉降呈正态分布;影响范围在 $0 \sim 4H$ 之间。Pasternak 地基模型中,地基反力和地基表面

位移存在一定的关系,地表沉降引起的对地下管线的附加应力为:

$$q(x) = kw(x) - G_s \frac{d^2 w(x)}{x^2} \quad (4)$$

式中: k 为地基反力模量, N/m^2 ; G_s 为剪切基床系数。

关于地基反力模量的取值,本文的地下管线有一定的埋深,俞剑等^[12]在考虑了地基土埋深影响的条件下提出的地基模量公式:

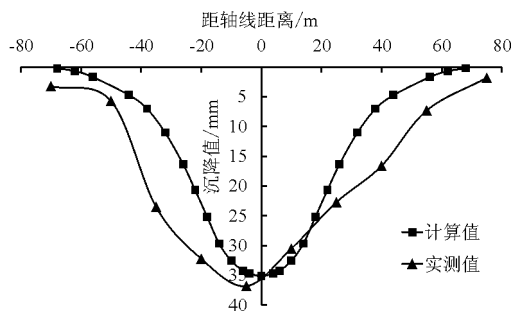


图5 基坑周围管线竖向位移计算值与实测值对比

图5为本文提出的计算方法得到的地下管线竖向位移与工程实际监测值的比较。由图5可以看出,地下管线计算值最大沉降出现在基坑轴线位置,实测的最大沉降值在距离轴线5 m左右的位置,存在偏差的原因是该基坑呈非对称形状造成的。计算曲线近似抛物线状,从中间向两侧逐渐减小,与实际情况相符,说明了采用计算模型的准确性。理论解析计算得到的管线沉降最大值为35.13 mm,实测管线最大沉降值为36.8 mm,相对误差为4.5%。虽然数值上还有一定差别,但该差别远远小于上文地下变电站算例,说明理论计算结果能够相对准确地描述实际工程中地下管线沉降变化趋势。

4 结论

为了改进Winkler地基模型的缺陷,本文基于Pasternak弹性地基梁理论,从土体自由位移场角度,建立地下管线竖向位移平衡微分方程,利用形式简洁的矩阵形式求解,得到如下结论:

(1)通过与两个工程实例进行对比验证,证明本文方法计算的结果能较好地描述实际工程中的地下管线变形规律,有一定的可靠性,对今后分析和预测基坑开挖对邻近地下管线影响具有指导意义。

(2)基坑开挖引起邻近地下管线竖向位移的影响因素很多,施工方式(如顺作法和逆作法)的不同,基坑形状规则与否,地基反力模量 k 和剪切基床系数 G_s 两个参数的取值等因素都会对计算结果的精度产生影响。可在本文的基础上进一步研究 k 和 G_s 两个参数对模型精度的影响,探讨更为准确的取值方式。

参考文献:

- [1] 王成华,段贤伟. 基坑开挖对地下管线工作性状影响的数值分析[J]. 地下空间与工程学报,2013,9(5):1166-1172.
- [2] 孟伟波,郑钰涛,陈有亮. 不同开挖方式对软土区深基坑连续墙变形的影响分析[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(3):216-220.
- [3] 王树和,袁骥,张举兵. 悬臂桩支护基坑开挖对邻近埋地管线的影响[J]. 北京科技大学学报,2014,36(2):266-273.
- [4] 王树和,郑政,张举兵,等. 土钉墙支护基坑对邻近地下管线的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2015,13(6):19-24+74.
- [5] 魏超,徐鹏举,马程昊. 管隧平行下盾构隧道与管线的模型试验研究[J]. 山西建筑,2016,42(2):160-162.
- [6] 朱叶艇,张桓,张子新,等. 盾构隧道推进对邻近地下管线影响的物理模型试验研究[J]. 岩土力学,2016,37(S2):151-160.
- [7] 葛照国. 长江漫滩地区基坑施工对周边地表沉降及地下管线影响的现场试验研究[J]. 现代隧道技术,2014,51(5):205-209.
- [8] 李夕,林魏祥,梁志荣. 软土地区深基坑变形控制设计实践与分析[J]. 岩土工程学报,2014,36(S1):160-164.
- [9] 刘念武,龚晓南,楼春晖. 软土地区基坑开挖对周边设施的变形特性影响[J]. 浙江大学学报,2014,48(7):1141-1147.
- [10] 谷拴成,贺恒炜,茹国锋. 地铁隧道工程开挖过程中地下管线的受力情况分析[J]. 城市轨道交通研究,2015,18(5):14-18+23.
- [11] 李海丽,张陈蓉,卢恺. 隧道开挖条件下埋管管线的非线性响应分析[J]. 岩土力学,2018,39(S1):289-296.
- [12] 俞剑,张陈蓉,黄茂松. 被动状态下埋管管线的地基模量[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(1):123-132.
- [13] 苏骏,杨家瑞,周兵. 深基坑开挖对周围地下管线沉降影响的分析[J]. 湖北工业大学学报,2018,33(4):90-93.
- [14] HSIEH P G, OU C Y. Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998,35(6):1004-1017.
- [15] 张陈蓉,蔡建鹏,黄茂松. 基坑开挖对邻近埋管管线的非线性响应分析[J]. 岩土工程学报,2010,32(S2):154-157.
- [16] TANAHASHI H. Formulas for an infinitely long Bernoulli-Euler beam on the pasternak model[J]. Soils and Foundations, 2004,44(5):109-118.