

文章编号: 2095-7386(2015)04-0072-05

DOI: 10.3969/j.issn.2095-7386.2015.04.018

地下工程综合管沟沉降的数值分析

郭健¹ 夏鹏^{1,2} 殷俊¹

(1. 武汉轻工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430023; 2. 深圳市市政工程总公司, 广东 深圳 518034)

摘要: 综合管沟是一种新型的地下结构,为了更好地了解综合管沟的沉降规律,以深圳市某市政工程综合管沟的大量监测数据为基础,应用仿真软件 ABAQUS 对综合管沟的沉降进行数值模拟分析,通过模拟沉降值和实测沉降值对比分析,验证了模拟分析的可行性。工程实践证明,采用的沉降模拟模型分析精度较高,能满足预测综合管沟沉降的需要,可为综合管沟的沉降分析提供一些科学依据。

关键词: 综合管沟; 现场监测; 数值模拟; 沉降预测

中图分类号: TU 47

文献标识码: A

Numerical analysis of pipe settlement in underground construction

GUO Jian¹, XIA Peng^{1,2}, YIN Jun¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Shenzhen Municipal Engineering Corp., Shenzhen 518034, China)

Abstract: Utility pipe is a new type of underground structure. In order to better understand the settlement rule of pipe, this paper, based on a large amount of monitoring data integrated trench of a municipal engineering of Shenzhen city, uses simulation software ABAQUS to simulate the pipe settlement, and compares analysis of simulated sedimentation and measured subsidence values, which verifies the feasibility of the simulation. The engineering application shows that: the simulation accuracy of this settlement can satisfy the synthesis trench settlement prediction, and provide a theoretical basis for the analysis of settlement prediction of pipe.

Key words: utility pipe; site monitoring; numerical simulation; settlement prediction.

1 引言

随着城市人口的不断密集,城市建筑业也随之不断发展,然而城市里地下管线的施工及维修经常使城市的道路处于施工状态。这严重阻碍了城市交通及影响市容,给城市的发展带来了相当大的负面

影响。在这样的环境之下,综合管沟在一些一线城市逐渐诞生^[1],如何控制综合管沟的沉降成为亟待研究的问题之一。Kawashima 等对包括综合管沟在内的地下结构的沉降问题进行了系统而深入的研究,Shamsabadi 等对综合管沟等地下结构的不均匀沉降做了系列研究^[2]。

收稿日期: 2014-05-28. 修回日期: 2015-11-19.

作者简介: 郭健(1968-),男,教授,博士, E-mail: guojianxh@163.com.

基金项目: 住房和城乡建设部科学技术项目计划(2013-K3-10).

笔者结合之前的研究成果,依托深圳市某市政工程综合管沟实体项目,分析该工程项目的土质情况,依据地勘报告的土质情况对土体进行合理的分层,同时收集现场综合管沟沉降实测数据,并对沉降数据进行分析,剔除一些无用的数据。运用 ABAQUS 数值仿真软件对综合管沟沉降进行数值模拟,建立综合管沟沉降模型,验证模型的可行性,为综合管沟的沉降控制提供一些分析思路。

2 工程实例

2.1 工程概况

笔者本次研究的综合管沟工程实体项目位于深圳市南山区,综合管沟大致呈东西走向,设计总长度 1.712 km,管沟的底板、顶板和壁厚均为 400 mm,其中试验段长 0.3 km,延长段长约为 1.4 km,设计宽度均为 8 m,设计高度 4 m。综合管沟位于机动车道以下,开挖深度在 6—8 m,采用明挖法施工,基坑支护方式为放坡结合钢板桩支护,综合管沟施工完毕之后,分层回填,上一层验收完毕之后再施工下一土层。根据现场土层实际情况和地址勘察报告,试验段内分布的地层从上而下为:人工填土层(Q_{ml})、第四系全新统海陆交互相沉积层(Q_{4mc})、第四系上更新统冲洪积层(Q_{3al+pl})、第四系残积层(Q_{el})及加里东期混合花岗岩(M_{r3})。根据国家标准《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版)3.1条规定,本工程岩土工程勘察等级为甲级。整个工程沿线范围内未揭露活动性断裂构造,未发现滑坡、崩塌等不良地质问题,沿线场地稳定性较好。

2.2 水文地质条件

根据地址勘察情况,本工程地下水主要源于大气降水和海水的补给,地下水基本是在中砂层中,整体是由高处往低处流动;地下水量的变化范围是 0.5—2 m,水量较小,本工程的管沟施工安排在枯水季节,施工区域水位深,位于管沟底部之下,因此本次研究过程中可不考虑地下水对管沟沉降的影响。

2.3 综合管沟沉降监测

根据管沟设计要求,沉降稳定的标准是 10 d 的平均速率小于规定值 1.0 mm。根据监测方案,监测频率为综合管沟回填期间 1 天监测一次,回填结束后可 3 天监测一次,一旦发现特殊情况监测数据发生较大的变化时应该适当加密监测次数,同时在施

工期间项目部会安排专人在周边进行巡查及目测等,以便对综合管沟的变形进行一个全面的认识和掌握。监测点布设原则是根据管沟变形缝间距 15 m 进行布设,则每段管沟分析点纵断面间距设定为 15 m 且每一个横断面布置三个监测点,分别位于综合管沟边墙顶板处和中墙顶板处,因此在试验段部分一共设置了 24 个沉降监测点,编号为 A1—A24,位置如图 1 所示,观测点示意图如图 2 所示。根据监测数据,选取监测点 A7、A14 和 A21 沉降特性进行分析,其实测沉降曲线如图 3 所示。

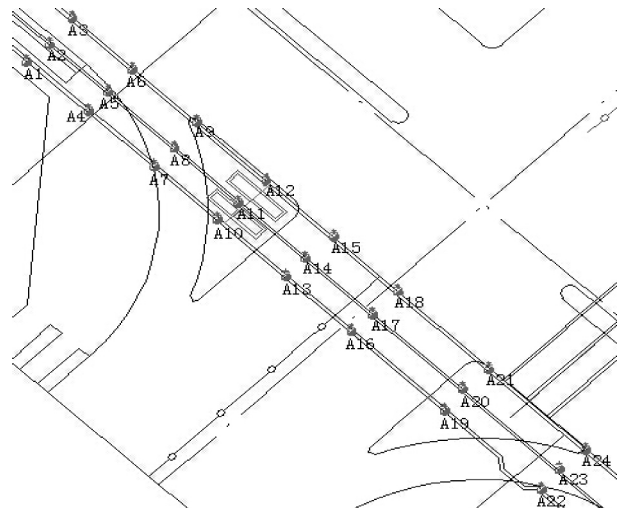


图 1 综合管沟沉降监测点布设平面图

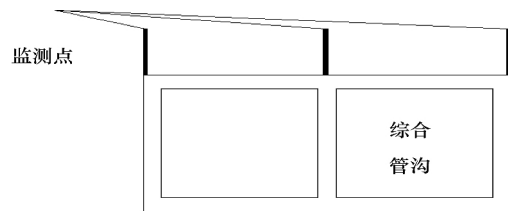


图 2 沉降观测点示意图

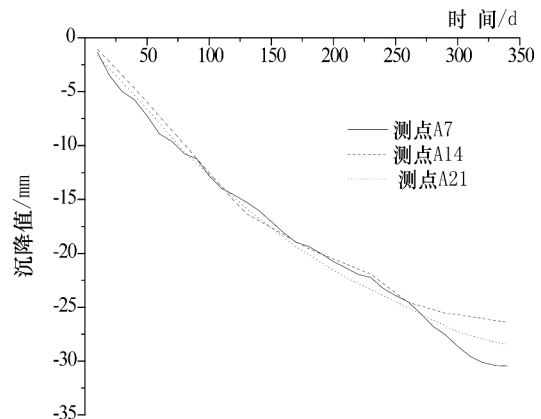


图 3 测点 A7、A14 和 A21 沉降实测曲线

3 有限元数值模拟与分析

3.1 有限元模型的建立

文中以深圳市南山区某市政工程实体项目为研究对象。综合管沟采取的放坡开挖加钢板桩的支护方式,坡度 1:1.5,施工完综合管沟后用优质土进行分层回填至设计高程。为简化分析,在建立有限元模型时,做如下的假设和简化,如表 1 所示。

表 1 模型假设与简化条件

序号	模型假设与简化条件
1	土介质和综合管沟结构体结合在一起形成一个连续或不连续的整体,但两者在接触面处存在相互作用。
2	计算范围内的土体根据地质情况简化为 n 层。
3	将土介质和混凝土都视为不同特性的固体材料。
4	有限元计算采用非线性静力分析,不考虑时间效应和动力效应。

为把问题简化,将综合管沟沉降的三维问题转化为平面应变问题。根据工程实际和经验,建立综合管沟沉降模型,网格划分为 8053 个单元。模型宽 72 m,高 29 m,模型最高高程即地面设计标高,为 7.218 m,底部边界位于高程 -21.782 m 处。

本文模型的计算分析方法为如下。

(1) 建模:建立 72m × 29m 模型,输入材料参数(如表 1 所示),定义集合,装配单元,划分网格,单元类型为四边形,建立地应力平衡、挖土和回填土两

个分析步。

(2) 计算:地应力平衡计算和回填土分析步的计算。地应力平衡计算采用地应力场计算分析步(Geostatic),挖土和回填土分析步均为土体固结分析(Soils)。

(3) 计算结果分析:分析综合管沟应变。

具体参数如 3.2 节所述。

采用平均相对误差率 ARER 和均方根误差 RMSE 分别对模拟的性能和模拟的精度(均方根误差越小,模型精度越好)进行分析评估,即:

$$ARER = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{S(t) - f(t)}{f(t)} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n [S(t) - f(t)]^2}{n}} \quad (2)$$

公式(1)、(2)中 $S(t)$ 是沉降模拟值, $f(t)$ 是沉降实测值, n 是模型样本数。

3.2 数值本构模型及材料参数的选取

基于有限元数值分析方法,数值计算中假定综合管沟为线性弹性材料,土体本构关系为 Mohr - Coulomb,运用 ABAQUS 软件进行三维建模。

此模型所涉及的土体参数有 6 个,即弹性模量 E 、黏聚力 c 、内摩擦角 φ 、泊松比 γ 、重度 G 和剪胀角 ψ 。施工范围内土层力参数如表 2 所示。由地质勘察报告可知,剪胀角很小,其取值为零;回填土的参数由试验后取得,重度 $G = 18.8 \text{ kN/m}^3$,弹性模量 $E = 16.8 \text{ MPa}$,黏聚力 $C = 12 \text{ kPa}$,摩擦角 $\varphi = 10^\circ$,泊松比 $\gamma = 0.4$ 。

依据《深圳市市政设计技术要求与规定》,选取综合管沟重度 $G = 28 \text{ kN/m}^3$,弹性模量 $E = 35 \text{ GPa}$,泊松比 $\gamma = 0.2$ 。

表 2 土层物理力学参数

土层	厚度/m	重度 $G/(\text{kN/m}^3)$	弹性模量 E/MPa	黏聚力 C/kPa	摩擦角 $\varphi/^\circ$	泊松比 γ
杂填土	9.11	18.6	12	8	10	0.41
粘土	5.05	18.2	9.1	11	9	0.42
粉质粘土	4.89	20.5	9.3	16	7	0.40
砂质粘土	4.85	20.8	13.1	9.7	6	0.42
粉质互层	5.10	19.4	10.4	8.9	7	0.41

3.3 数值模型边界条件和荷载的选取

在数值模拟当中,边界条件的选择和处理很大程度上影响着模拟结果。因此笔者在选取边界条件的时候考虑到实际的情况,影响综合管沟的沉降因素众多,地下工程的沉降分析一般选取结构长度的8—10倍,即笔者研究模型选取结构长度72 m,结构以下土体的影响深度为结构高度的5倍,即20 m。对于综合管沟沉降模型,在模型的两侧设置U1(水平方向)方向的位移约束,底部设置U1(水平方向)、U2(竖直方向)两个方向的位移约束。

对于综合管沟上面的荷载,根据设计图纸,综合管沟主体结构位于机动车道下面,因此会受到车辆的动荷载的影响,根据《深圳市市政设计技术要求与规定》,本项目的市政道路属于城市主干道,设计荷载可等效为36 kpa的均布荷载,荷载示意图如图4所示。

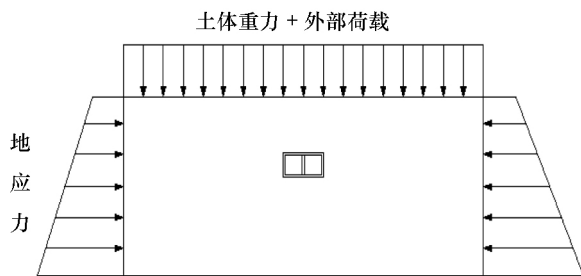


图4 综合管沟荷载示意图

3.4 综合管沟沉降分析

选取监测点A14进行分析,运用ABAQUS仿真软件对其进行模拟,其平面位置如图1所示,在地应力平衡之后,再对土体和综合管沟沉降稳定后的状态进行模拟分析,模拟沉降云图如图5所示。根据沉降云图,获得A14的沉降值为-29.43 mm,由图3知A14沉降稳定后的实测值为-28.42 mm。运用同样的方法对监测点A7和A21沉降稳定后的状态进行模拟分析,并与实测值进行对比,A7和A21模拟沉降值为-29.42 mm和-26.63 mm,由图3知A7和A21沉降稳定后的实测值为-30.46 mm和-25.83 mm,因此A7、A14和A21实测沉降值和模拟沉降值统计如表3所示,并运用公式(1)和(2)计算其平均相对误差率(ARER)和均方根误差(RMSE),如表3所示。

表3 监测点实测沉降值和模拟沉降值

监测点号	A7	A14	A21
实测沉降值	-30.46	-28.42	-25.83
模拟沉降值	-29.42	-29.43	-26.63
ARER/%	34	38	38
RMSE/mm	9.65	7.54	8.99

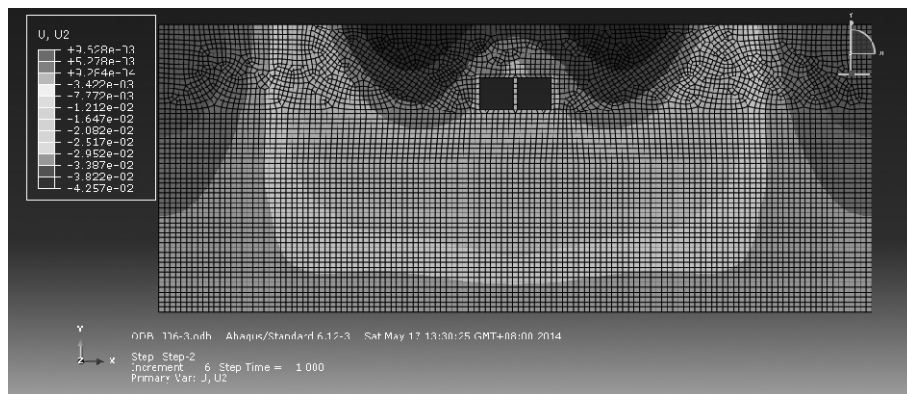


图5 综合管沟沉降云图

从图5监测点A14可以看出综合管沟基本上是整体沉降,沉降值约为29.43 mm,已经超过了规范允许的最大值20 mm,如果不采用一定的措施,会引起一系列风险;从表3看出,所有监测点的沉降均超过20 mm,超过了规范允许的最大值。其原因可

能是综合管沟底板处位于第四系全新统海陆交互相沉积层,土质情况较差,导致沉降较大。

3.5 误差分析

对比A7、A14和A21随时间变化的模拟值和实测值,实测值如图3所示,实测值与对应的模拟值的

差值为对应时间的误差值,这样可以得到模拟值和实测值的误差对比曲线图,如图6所示。运用公式(1)和(2)计算模拟预测结果,如表3所示。从表3,图4和图6中,分析A7、A14和A21这三个监测点计算得出(如表4所示):模拟分析的精度为8.73 mm,平均误差率为36.7%,最大误差为9.40 mm(表4)。对比分析结果表明,模拟值与实测值相差不大,能适应模拟的需要。

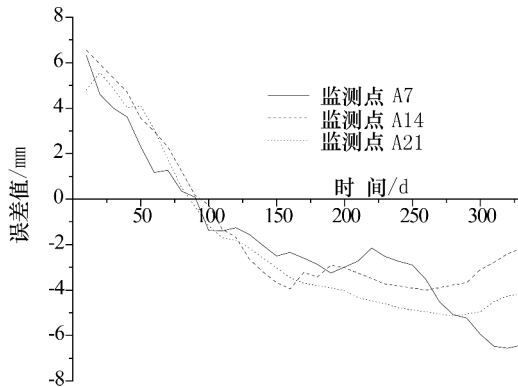


图6 测点A7、A14和A21模拟误差曲线比较

表4 实测值与模拟值对比分析

RMSE/mm	8.73
ARER/%	36.7
最大误差/mm	9.40

4 结论

根据深圳市南山区某综合管沟的相关施工资料,详细地分析了综合管沟沉降特点。通过数值仿真软件对比分析了实际沉降值和模拟沉降值,由此可得以下结论。

(1) 笔者以工程实体项目为背景,建立综合管沟沉降模型,对比分析沉降实测值和模拟沉降值,验证了模型的可行性。

(2) 工程实践证明:本次模型的模拟分析精度较高,能适应有类似地质条件下综合管沟沉降预测的需要,为综合管沟沉降预测开拓了一些新的思路。

参考文献:

- [1] 崔曙平. 国外地下空间开发利用的现状和趋势[J]. 城乡建设, 2007(6): 68-71.
- [2] 李德强. 综合管沟设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] Canto P J, Curiel. E J. Risks and potential hazards in utility tunnels for urban areas [J]. Proceedings of the Institute of Civil Engineering-municipal Engineering, 2003, 14(1): 51-56.
- [4] 胡敏华. 市政共同沟规划原则及系统规划方法[J]. 深圳大学学报(理工版), 2004, 21(2): 173-177.
- [5] 李小春, 蒋宇静. 日本的地下空间利用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增2): 4770-4777.
- [6] 吕昆全, 贾坚. 台北市共同沟建设现状及若干问题分析[J]. 地下工程与隧道, 1998, (4): 8-14.
- [7] 刘宝琛. 综合利用城市地面及地下空间的几个问题[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(1): 109-111.
- [8] 费康, 张建伟. ABAQUS在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [9] 庄茁. 基于ABAQUS的有限元分析和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [10] 朱向荣, 王金昌. ABAQUS软件中部分土模型简介及其工程应用[J]. 岩土力学, 2004, 25(增2): 144-148.