

Analysis on Mechanical Properties and Parameters of Large-Sized Corrugated Steel Pipe

Xiangyong Chen*, Ying Zhang

Huatian Engineering and Technology Corporation, MCC, Nanjing Jiangsu
Email: chxy14603@163.com

Received: July 2nd, 2019; accepted: July 17th, 2019; published: July 24th, 2019

Abstract

In order to study the mechanical properties of large-sized corrugated steel pipe, a 3D FE structural model was established by ANSYS software. Then, the main design parameters of corrugated pipe were analyzed to study its force and deformation characteristics under the influence of various factors. The results show that the maximum equivalent stress of the corrugated steel pipe appears at the troughs of the left and right sides of the pipe. And the maximum equivalent stress of the outer soil occurs in the middle of the upper left, upper right, lower left, lower right along 45° directions. Moreover, the thickness and the soil elastic modulus both have significant effects on the mechanical properties of steel pipe.

Keywords

Corrugated Steel Pipe, Finite Element Model, Mechanical Properties, Parameters Analysis

大直径钢波纹管力学特性及参数分析

陈祥勇*, 张莹

中冶华天工程技术有限公司, 江苏 南京
Email: chxy14603@163.com

收稿日期: 2019年7月2日; 录用日期: 2019年7月17日; 发布日期: 2019年7月24日

摘要

为研究综合管廊中大直径钢波纹管的力学特性, 利用ANSYS软件建立钢波纹管结构的三维有限元模型。

*第一作者。

针对壁厚、土体弹性模量等主要设计参数进行数值分析, 找出钢波纹管的薄弱区域, 探究其受力性能与规律。研究发现: 钢波纹管的 最大等效应力 出现在管体左、右两侧的波谷处; 而管外围土体的 最大等效应力 则出现在波纹管外侧左上、右上、左下、右下 45° 方向上的圆环中部; 并且壁厚和管周土体弹模均对钢波纹管的力学性能有着显著影响。

关键词

钢波纹管, 有限元模型, 力学特性, 参数分析

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

综合管廊中钢波纹管以波纹管(板)和土作为主要建筑材料, 通过机械施工将土与钢管密切结合在一起, 共同承受覆土及外界车辆荷载作用。钢波纹管是一种典型的柔性结构, 具有工期短、自重轻、地基承载力要求低、适应变形性能好等诸多优点[1]。

波纹管最早诞生于英国。1896 年美国率先进行了波纹板管涵的研究并首次应用于涵洞[2]。我国起步虽然相对较晚, 但是越来越多的学者开始对钢波纹管进行试验、模拟及研究[3] [4]。然而, 我国现有的针对综合管廊中大直径的钢波纹管的设计与施工方法仍存在盲目性, 多是参照国外经验, 对其结构的受力及变形特性并不明确。因此, 有必要对钢波纹管涵的力学性能进行全面系统的研究。

本文利用某大型通用有限元软件建立钢波纹管涵结构的三维模型。针对壁厚、土体弹性模量等主要设计参数, 进行敏感性分析; 同时找出钢波纹管容易发生破坏的薄弱区域, 探究其受力性能与规律, 为钢波纹管廊的设计与施工提供理论依据。

2. 模型建立

选取某市政综合管廊项目的钢波纹管设计参数进行建模。管波距为 300 mm, 波高为 100 mm, 波峰和波谷的曲率半径均为 65 mm, 管径 3.5 m。钢波纹管上部覆土高度为 2.5 m。

管涵土压力计算方法主要有 6 种, 包括散体极限平衡法、“土柱”法、弹性理论法等[5]。根据工程经验及设计依据, 《铁路桥涵设计基本规范》所提供的压力集中系数法是目前最为实用也是工程应用最多的计算方法。

管涵土压力如图 1 所示。

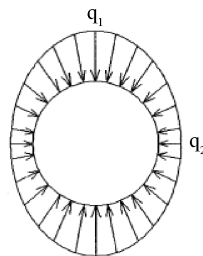


Figure 1. Boundary condition diagram

图 1. 边界条件示意图

其中 q_1 、 q_2 按下式进行计算:

竖向压力: $q_1 = K\gamma H$;

水平压力: $q_2 = \xi\gamma H_1$;

则任意截面径向压力: $q_\varphi = q_1 + (q_1 - q_2) \frac{2\varphi}{\pi}$ 。

式中:

H ——轨底至涵洞顶的填土高度(m);

H_1 ——轨底至涵洞计算截面处的填土高度(m);

γ ——填料容重(kN/m³);

ξ ——水平土压力系数, 填土采用 0.25 或 0.35, 视设计的控制情况采用, 经久压实的路堤采用 0.25;

K ——竖向土压力系数。

根据圣维南原理, 选取一定范围的土体进行建模计算。土体模型的左右边界和下部边界到钢波纹管中心的距离均为 3 倍管径; 沿管轴纵断面方向, 截取 4 个波长的波纹管及管周土体作为建模对象。假定钢波纹管和土体在界面上没有滑移, 它们之间的相互作用通过共同的节点位移实现, 以保持结构与土体变形的连续性。

有限元计算时, 将钢波纹管的单元类型取为壳单元, 将管涵外围土体取为实体单元[6]。波纹管采用线弹性本构模型, 土体采用 Mohr-Coulomb 弹塑性本构模型。材料参数如表 1 所示。土体模型的左右两侧边界处限制水平位移, 底面固结(图 2 所示)。模型施加的荷载包括地应力、自重和车载。整体有限元模型如图 3 所示。

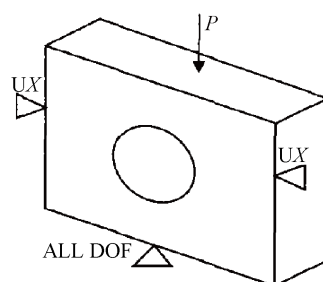


Figure 2. Boundary condition diagram
图 2. 边界条件示意图

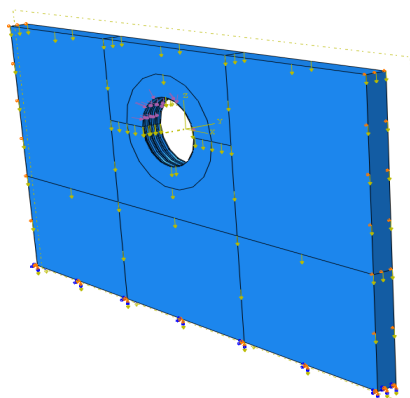


Figure 3. 3D finite element model
图 3. 三维有限元模型

Table 1. Constitutive model material parameters
表 1. 本构模型材料参数

材料	本构模型	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	摩擦角/(°)
钢波纹管	弹性	7.8	210000	0.3	—	—
土	MC	2.0	18/80	0.2	25.0	35.0

3. 力学特性分析

针对管壁厚(5 mm、6.5 mm、8 mm)及管周土体弹性模量(18 MPa、50 MPa、80 MPa、100 MPa)等主要设计参数进行钢波纹管的数值模拟计算, 探究其受力性能与变形特性。

图 4 为钢波纹管等效应力分布图。可以看出, 钢波纹管的最小等效应力出现在管体上方和下方的波谷处, 而最大等效应力则出现在管体左侧和右侧的波谷处。

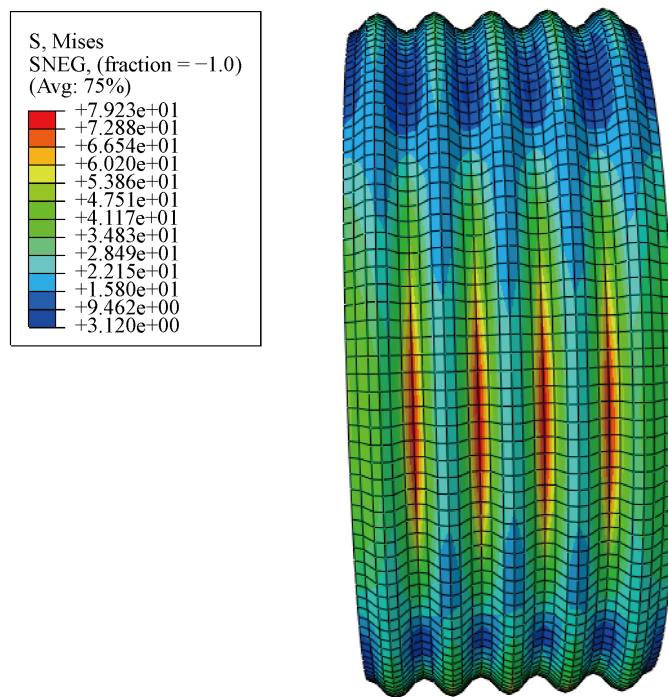


Figure 4. Equivalent stress distribution of corrugated pipe (side)

图 4. 钢波纹管等效应力分布(侧面)

图 5 为土体等效应力分布图。可以看出, 管外围土体的最小等效应力出现在波纹管外侧的上方和下方的接触面, 而最大等效应力则出现在波纹管外侧左上、右上、左下、右下 45°方向上的圆环中部。因此, 在施工过程中, 应严格夯实位于钢波纹管外侧以上受力部位处的土体, 尤其是管底下方较难施工的楔形部位。

图 6、图 7、图 8 分别为不同土体弹模下壁厚分别为 5 mm、6.5 mm、8 mm 的钢波纹管的最大等效应力和最大竖向变形。可以看出, 壁厚对钢波纹管的最大等效应力影响较大, 但对其最大竖向变形的影响并不明显。壁厚越大, 其最大等效应力越小, 且随着土体弹模的增大该影响越来越明显。

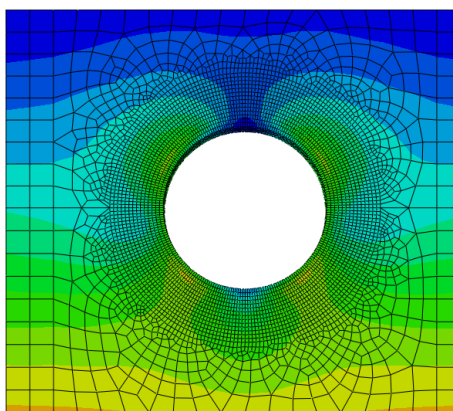


Figure 5. Equivalent stress distribution of soil
图 5. 土体等效应力分布

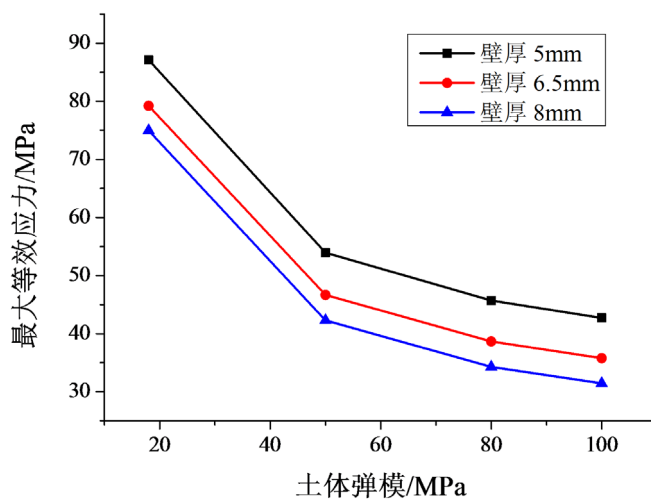


Figure 6. Maximum equivalent stress of pipe under different elastic modulus of soil
图 6. 不同土体弹模下管的最大等效应力

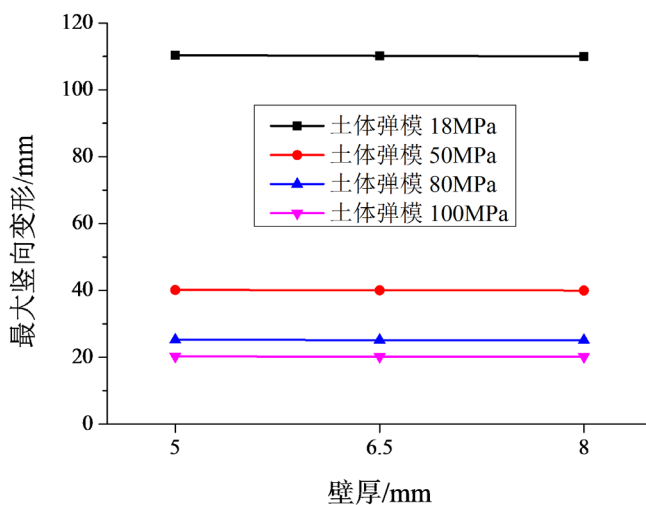


Figure 7. Maximum vertical deformation at the top of the pipe
图 7. 管顶最大竖向变形

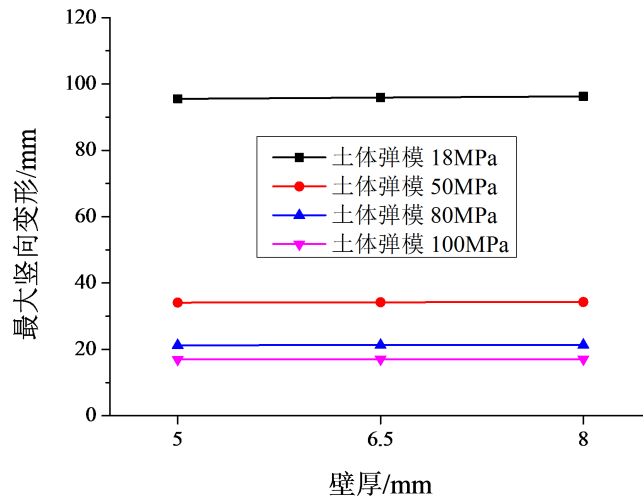


Figure 8. Maximum vertical deformation at the bottom of the pipe
图 8. 管底最大竖向变形

图 9 为壁厚 6.5 mm 的钢波纹管最大竖向变形。通过图 5 和图 8 可见, 土体的弹性模量对钢波纹管的受力性能及变形特性影响均很大。随着土体弹模的增大, 钢波纹管的最大等效应力和挠度明显减小。当土体弹模从 18 MPa 增加到 50 MPa 时, 管顶竖向变形减小了将近 3 倍, 最大等效应力减小了将近 2 倍。可见, 该变化趋势在土体弹模较小(<50 MPa)时越发明显。因此, 在钢波纹管结构的回填中, 选择弹性模量大的回填料, 对结构的受力性能有大幅度提高。

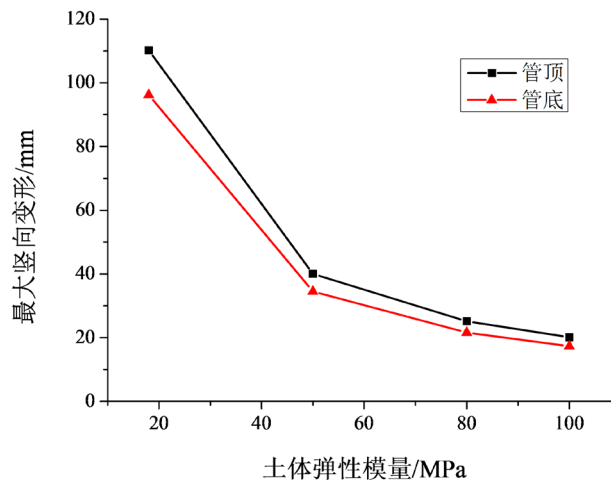


Figure 9. Maximum vertical deformation of the pipe with 6.5 mm thickness
图 9. 壁厚 6.5 mm 的钢波纹管最大竖向变形

4. 结论

- 1) 钢波纹管的最小等效应力出现在管体上方和下方的波谷处, 而最大等效应力则出现在管体左侧和右侧的波谷处。
- 2) 管外围土体的最小等效应力出现在波纹管外侧的上方和下方的接触面, 而最大等效应力则出现在波纹管外侧左上、右上、左下、右下 45° 方向上的圆环中部。

3) 壁厚对钢波纹管的最大等效应力影响较大, 但对其最大竖向变形的影响并不明显。壁厚越大, 其最大等效应力越小, 且随着土体弹模的增大该影响越明显。

4) 土体弹模的大小对钢波纹管的受力和变形均有较大的影响。土体弹模越小, 钢波纹管的等效应力与最大竖向变形越大, 且随着土体弹模的减小, 该影响越明显。

参考文献

- [1] 褚夫蛟, 曾水生, 方文富, 等. 高填方大直径钢波纹管涵洞力学特性[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2016, 37(9): 1338-1342.
- [2] Liu, B.D., Liu, Z.M., Zhang, M.X., *et al.* (2014) Study on Impact Parameters of Rigidity and Flexibility for Buried Corrugated Steel Culvert. *Open Civil Engineering Journal*, **8**, 14-22. <https://doi.org/10.2174/1874149501408010014>
- [3] 刘百来, 李祝龙, 汪双杰. 钢波纹管涵洞力学性能的有限元分析[J]. 西安工业学院学报, 2006(1): 83-86.
- [4] 冯忠居, 乌延玲, 贾彦武, 等. 钢波纹管涵洞受力与变形特性模拟试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(1): 187-192.
- [5] 朱旭阳, 何欢, 高文学, 等. 大直径波纹管管顶土压力分析[J]. 中外公路, 2015, 35(4): 39-43.
- [6] 粟缤, 何欢, 高文学, 等. 波纹管涵受力性能数值分析[J]. 中外公路, 2015, 35(4): 39-43.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org