

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.03.006

高速公路排水沟隔振屏障效果的数值模拟

黎泳言,任珉,叶茂

(广州大学 广东省工程结构抗风与健康监测工程技术研究开发中心, 广东 广州 510006)

摘要: 针对高速公路产生的低频环境振动,以公路旁排水沟为研究对象,深入研究其对环境振动的隔振效果。采用大型有限元通用软件 ANSYS,通过建立排水沟-路面-土三维模型,模拟分析排水沟深度、宽度以及沟内水位、沟壁填充对隔振效果的影响。结果表明:设置排水沟后有明显的隔振效果,改变沟宽沟深对隔振效果影响不大;沟壁填充混凝土的排水沟比无混凝土的隔振效果好;排水沟中有水的工况比无水的工况隔振效果好。

关键词: 环境振动;隔振;排水沟;有限元法;数值模拟

中图分类号: TU399

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2014)03-0028-03

Numerical Simulation for Vibration-isolation Barrier Effect of Express Highway's Drains

LI Yong-yan, REN Min, YE Mao

(Guangdong Province Engineering Technique Research and Development Center for Engineering Structure
Wind-resisting and Health Monitoring, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract: According to the environmental vibration with low frequency produced by express highway and taking the drains beside the express highway for object, the isolation effect of the drains for environmental vibration is studied deeply. The finite element software ANSYS was used to build a 3-D model including drains, pavement and soil. Through the model, the impacts of the drains' depth, width, level and wall on the isolation effect were simulated and analyzed. The results suggest that setting the drains has obvious effect of vibration isolation, and changing the drains' depth and width has little impact on the isolation effect; The trench wall padding with concrete is better than that without concrete in the isolation effect; The drain with water is better than that without water in the isolation effect.

Keywords: environmental vibration; isolation; drain; FEM; numerical simulation

1 引言

随着城市的发展,城市中大量存在的振动对周围环境的危害越来越多的受到人们的关注^[1-4]。城市中最常见的环境振动振源主要有动力机器、交通和施工等,其振动频率多以低频段为主^[5],接近建筑物的固有频率。环境振动的危害主要体现在:(1)对建筑物的危害^[5];(2)环境振动对精密仪器的影响;(3)环境振动会干扰人们的日常生活^[6]。目前对环境振动的研究方法主要有:实测与分析、理论分析、数值模拟等^[7]。边学成^[8]、曹艳梅等^[9]从数值方面入手,城市交通系统诱发的环境振动地基及建筑

物的影响进行了探讨。在实测与分析方面,夏禾^[10]对地铁和铁路诱发环境振动进行了研究。孙成龙^[11]等提出可以把铁路的主动减振以及隔振措施结合起来,以有效解决我国铁路列车运行引起的环境振动问题。高广运^[12]等运用有限元方程,分析列车在不同的车速条件下,采用不同隔振措施得出的隔振效果。

综上所述,就作者所掌握的文献,目前国内外还没有就排水沟对环境振动的隔振效果进行研究。但是,排水沟作为城市内一种大量分布的雨污水排水系统,如果能够对其进行合理的设计或改进,使其在洪涝季节发挥排水作用的同时,在平时还可起到隔

离城市环境振动的作用,这将具有重要的实际意义。为此,本文建立包含排水沟-路面-土的三维模型,研究排水沟对环境振动的隔振屏障效果,分析了其深度、宽度以及沟内水位、沟壁填充对隔振效果的影响,以期得到了一些有价值的结论。

2 排水沟隔振数值模拟分析

采用大型有限元软件 ANSYS 作为本文的分析

工具,建立包含排水沟-路面-土的三维模型,就排水沟的隔振效果进行模拟分析和探讨。

2.1 有限元建模及参数选取

2.1.1 土层参数

本文采用 Solid45 单元,对于土体模型各类参数,一般情况下需要进行现场勘查,从而采集土层资料,但当缺乏勘察资料时,可根据同类土的资料来确定,表 1、表 2 为本模型选取的土层参数^[13]。

表 1 土层材料性质

土层	土层厚度/m	密度 /(kg·m ⁻³)	弹性模量 /(N·m ⁻³)	剪切波速 /(m·s ⁻¹)	泊松比
第一层(填土)	2	1890	4.3823 × 10 ⁷	91	0.4
第二层(黏土)	6	1820	2.4665 × 10 ⁸	220	0.4
第三层(粉质土)	22	2040	5.9224 × 10 ⁸	322	0.4
第四层(沙质土)	10	1920	1.1130 × 10 ⁹	455	0.4

表 2 土层动力计算参数

土层	剪切波速 /(m·s ⁻¹)	频率 /Hz	波长 λ _s /m	λ _s /6 /m
第一层(填土)	91	80	1.1375	0.190
第二层(黏土)	220	80	2.7500	0.458
第三层(粉质土)	322	80	4.0250	0.671
第四层(沙质土)	455	80	5.6875	0.948

2.1.2 边界条件

本文模型边界采用三维粘弹性边界^[14],其方法为通过在有限元模型边界的节点上施加弹簧以及阻尼来实现。三维分析的粘弹性人工边界条件的参数按式(1)~式(4)计算。

$$K_1 = K_2 = \frac{2G}{R} \sum_{i=1}^l A_i \quad (1)$$

$$C_1 = C_2 = \rho c_s \sum_{i=1}^l A_i \quad (2)$$

$$K_3 = \frac{4G}{R} \sum_{i=1}^l A_i \quad (3)$$

$$C_3 = \rho c_p \sum_{i=1}^l A_i \quad (4)$$

式中:K_i为粘弹性边界上的线性弹簧刚度(N/m);C_i为粘弹性边界上的粘性阻尼器(Ns/m);G为土体剪切模量(N/m²);R为振源到边界点的距离(m);ρ为土体质量密度(kg/m³);C为波速(m/s),法向人工边界取 c_p,切向人工边界取 c_s;∑_{i=1}^l A_i为人工边界上节点所代表的面积。

2.1.3 模型尺寸

高速公路的交通荷载引发的环境振动能量相比

于地震造成破坏的能量要小很多,计算模型可小一些并且可取对称模型从而简化分析,故本文模型长度取为 25 m,模型所取深度需考虑到排水沟的最大深度,为了避免振动波从排水沟底部绕过的效应,将模型深度取到 20 m,而模型宽度则可以适当减小从而节约单元数量,取为 10 m,即整体有限元模型的尺寸定为:长 25 m,宽 10 m,深 20 m^[5]。分别取距振源 0.1 m,3 m,5 m,7 m,12 m 的点 X1(3.1,0,0) X2(6,0,0) X3(8,0,0) X4(10,0,0) X5(15,0,0),分析不同参数排水沟的隔振效果。

2.1.4 单元尺寸

单元网格的尺寸取决于波长,而波长的大小又取决于频率^[14]。一般单元尺寸为 λ_s/6 到 λ_s/12,而高速公路交通诱发的环境振动的频率主要在 80 Hz 以下,属低频,故取单元尺寸为 λ_s/6。

2.1.5 输入振动波及分析类型

本文使用 ANSYS 有限元软件在时域内进行瞬态分析,分析过程中为了保证计算的稳定性和精确性,取时间步长为 1/128 s,输入的外荷载来源是实测环境振动加速度时程,选取 16 s 进行瞬态分析,荷载步 N = 2048。

2.2 排水沟隔振屏障效果分析

2.2.1 设置排水沟对隔振效果的影响

水沟-路面-土的三维模型如图 1 所示。

设置排水沟对隔振效果的影响见图 2。由图 2 可以看出,设置排水沟后,排水沟后的土层的振动幅值明显减小,说明排水沟对于环境振动有着较好的减振效果。

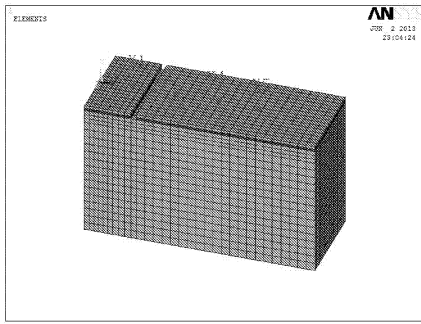


图 1 水沟 - 路面 - 土的三维模型

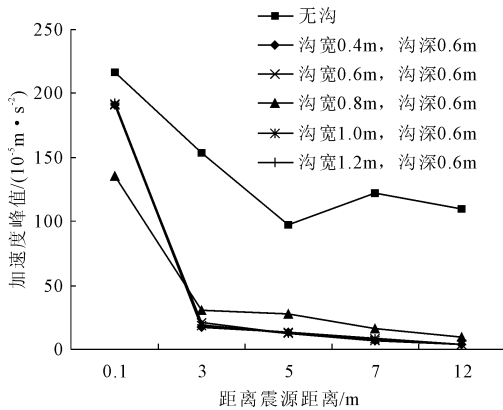


图 2 设置排水沟对隔振效果的影响

2.2.2 排水沟沟宽对隔振效果的影响

排水沟沟宽对隔振效果的影响见图 3。沟深 0.6 m 不变,沟宽分别为 0.4 m、0.6 m、1.0 m、1.2 m。不同规格的排水沟中^[15],沟宽为 0.6 m 的隔振效果最佳,故选取沟宽 0.6 m 的排水沟进行沟深的研究。

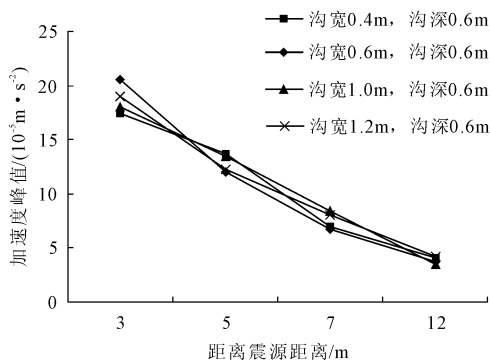


图 3 排水沟沟宽对隔振效果的影响

2.2.3 排水沟沟深对隔振效果的影响

排水沟沟深对隔振效果的影响见图 4。由图 4 可以看出,沟深的变化对隔振效果影响不大,所以采用沟宽 0.6 m,沟深 0.6 m 的排水沟规格开展沟壁材料以及水位的影响研究。

2.2.4 排水沟沟壁材料对隔振效果的影响

排水沟沟壁材料对隔振效果的影响见图 5。由图 5 可以看出,当沟壁填充混凝土时的减振效果比

无混凝土时强,故适宜在沟壁添加混凝土材料以增强隔振效果。

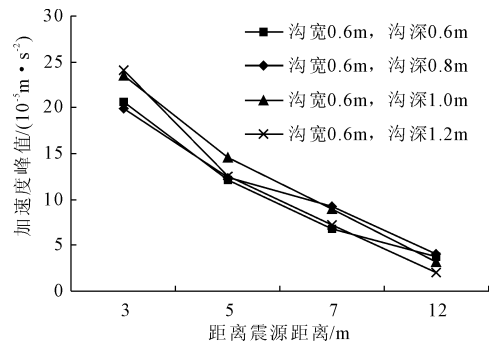


图 4 排水沟沟深对隔振效果的影响

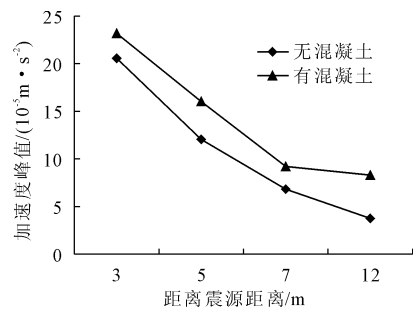


图 5 排水沟沟壁材料对隔振效果的影响

2.2.5 排水沟内水位对隔振效果的影响

排水沟内水位对隔振效果的影响见图 6。图 6 表明:沟里有水时比无水时隔振效果要好,而当沟内水量为二分之一、三分之一和三分之二时差别不大,故在沟中存在适量的水,能够提高减振效果。

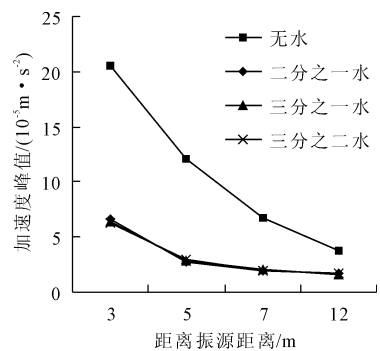


图 6 排水沟内水位对隔振效果的影响

3 结 论

本文采用数值模拟的方法研究高速公路诱发的环境振动和高速公路旁排水沟的隔振效果。采用有限元 ANSYS 建立了三维的有限元模型,探讨了不同参数的排水沟隔振效果,主要结论如下:

(1) 设置沟后能明显看到加速度峰值比无沟时下降几乎一个数量级。 (下转第 35 页)