

文章编号: 1005-0523(2008)03-0001-05

高架轨道系统的蜂窝波阻块隔振研究

刘庆杰¹, 李培植²

(1. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 中国公路工程咨询集团有限公司 中咨华科交通建设技术有限公司, 北京 100097)

摘要: 城市高架轨道系统会引起环境振动, 影响人们的工作和学习. 首先使用有限元法建立车辆-轨道-桥梁有限元模型, 求得列车通过高架轨道时桥墩对大地的动力作用; 再使用大型通用有限元程序 ANSYS 建立蜂窝波阻块-大地耦合振动计算模型, 对蜂窝波阻块的隔振效果进行了分析. 研究表明: 蜂窝块波阻块作为一种地屏障结构, 能够很好的隔离由高架轨道引起的大地振动.

关键词: 高架轨道系统; 蜂窝波阻块; 隔振

中图分类号: U233

文献标识码: A

随着我国经济的迅速发展, 城市规模不断扩大, 居住人口迅速增长. 城市的发展带来了许多问题, 其中较为突出的是交通问题. 城市轨道交通以耗能少、污染小的优点, 成为解决交通问题的有效手段之一. 据国家计委资料显示, “十五”计划期间, 中国城市交通投资已达 8 000 亿元人民币, 其中至少有 2 000 亿元用于轨道交通建设. 城市轨道交通建设将会在较长时间内, 成为中国基础建设投资的重点之一^[1].

虽然城市轨道交通能很好的缓解交通压力, 但其运行时所产生的噪声和振动将影响到居民的生活和工作. 目前, 噪声和振动被公认为城市环境公害. 研究表明, 由城市轨道引起的大地振动一般会造成沿线建筑物的破坏, 但当振动水平达到一定水平时, 一些精密的仪器无法正常使用, 人也会感到身体不适.

高架轨道系统是城市轨道交通的重要组成部分, 由于其造价低(约为地铁的 1/3)^[2]、和其他交通体系具有很好结合性的优点, 逐渐成为建设的热门. 上海城市轨道交通明珠线是全国第一条城市轨道交通高架线, 正线全长 24.97 公里, 其中高架线占全长的 85.6%. 在武汉, 高架轻轨交通系统也已经开始兴建. 通常由架轨道系统引起的环境振动要远低于地面线路. 因此, 高架轨道引起的环境振动在一般情况下是不会超出标准的. 但是, 对于一些要求较高的

建筑物, 例如生产电器元件的厂房, 环境振动仍有可能产生影响. 对于环境振动的治理, 通常的方法是设置地屏障进行隔振. 隔振屏障可分为连续屏障和非连续屏障, 连续屏障如空沟、填充沟等; 非连续屏障如排桩, 蜂窝波阻块(WIB)等. 日本的 Hirokazu Takemiya^[3]采用分层法对台南科技园区大地的频散特性进行分析, 建立了桥梁-大地数值计算模型, 分析了蜂窝波阻块对高架桥诱发环境振动的隔振效果.

列车通过高架轨道系统时, 由于轨道的不平顺等原因产生振动, 振动通过轨道、桥梁、大地传播到建筑物, 对环境产生危害. 将该问题划分为两个计算模型分别进行研究, 即列车-轨道-桥梁计算模型和大地-地屏障模型. 首先利用车辆-轨道-桥梁耦合振动模型计算出桥梁支反力, 然后采用大型有限元软件 ANSYS 建立计算模型, 将桥梁支反力作用于该模型上, 对蜂窝波阻块(WIB)的隔振效果进行分析. 分析了蜂窝波阻块屏障设置深度、设置排数对隔振效果的影响.

1 计算参数

1.1 车辆桥梁参数

车辆参数: 车厢总长 20.339 m, 转向架间距 14.173 m, 同一转向架两车轮间距 2.6 m, 轮载为

收稿日期: 2008-04-25

基金项目: 973 计划资助项目(2007CB416607); 国家自然科学基金资助项目(50568002).

作者简介: 刘庆杰(1982-), 男, 河北高碑店人, 华东交通大学土木建筑学院助教, 研究方向为高速铁路轨道动力学.

16.5 t,设计最高时速为 160 km/h. 轨道参数: 钢轨为 UIC60 型钢轨,轨枕为双块式轨枕,质量为 99.75 kg; 钢轨垫板刚度 4.0×10^7 N/m,阻尼为 7.5×10^4 Ns/m; 轨枕垫板刚度 8.0×10^7 N/m,阻尼为 5.88×10^4 Ns/m. 桥梁参数: 桥梁为箱型截面的简支梁桥,跨度为 30 m,截面积为 4.48 m^2 ,抗弯刚度为 3.8805 m^4 ,阻尼比为 0.05. 采用车辆-轨道-桥梁有限元模型,计算桥梁支反力,结果如图 1 所示,具体计算模型及计算方法参见文献 [4].

轨道在运营过程中,由于积累变形的不断增大,形成了各种各样的不平顺. 这些不平顺激发了列车和轨道的振动,从而使环境振动增加. 功率谱密度函数 PSD 是表述作为平稳随机过程的轨道不平顺的最重要和最常用的统计函数. 轨道不平顺的功率谱图是以谱密度为纵坐标和以频率或波长为横坐标的

连续变化曲线,它清楚地表明了不平顺的大小随频率的变化关系.

采用美国联邦铁路管理局的线路不平顺功率谱密度函数计算轨道不平顺值,取铁路不平顺等级为 6 级. 该函数适用于波长范围在 1.524 ~ 304.8 m,公式(1)为高低不平顺功率谱密度函数:

$$S_v(\omega) = \frac{kA_v\omega_c^2}{(\omega^2 + \omega_c^2)\omega^2} \tag{1}$$

式中: $S_v(\omega)$ ——轨道高低不平顺功率谱密度, $\text{cm}^2 \cdot \text{m}/\text{rad}$;

ω ——空间频率, rad/m ;

ω_c ——截断频率, rad/m ;

A_v ——粗糙系数,与线路等级有关,详见表 1, k 一般取 0.25.

表 1 美国轨道谱不平顺参数

参数		各级轨道的参数					
符号	单位	1	2	3	4	5	6
A_v	$\text{cm}^2 \cdot \text{m}/\text{rad}/\text{m}$	1.210 7	1.018 1	0.681 6	0.537 6	0.209 5	0.033 9
ω_c	rad/m	0.842 5	0.842 5	0.842 5	0.842 5	0.842 5	0.842 5

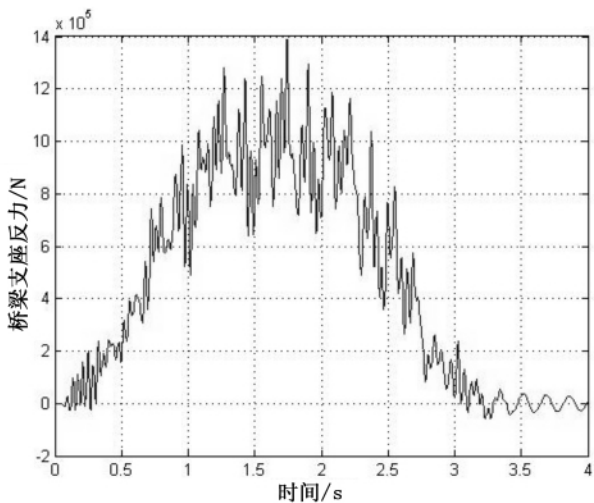


图 1 桥梁支反力时程曲线

1.2 土层参数

土层参数选用泰国曼谷的土层参数,见表 2.

表 2 土层参数

编号	土层类型	深度 /m	密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	剪切波速 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	弹性模量 / $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
1	填土	3	1 700	118.13	6.64×10^7
2	软粘土	9	1 500	130.21	7.12×10^7
3	中等硬度粘土	17	1 700	209.47	2.09×10^8
4	硬粘土	26	1 700	209.47	2.09×10^8
5	中硬的粘质砂土	37	2 000	354.93	6.55×10^8
6	中等硬度砂土	40	1 700	250.21	2.98×10^8
7	硬砂土	60	2 000	365.38	6.94×10^8

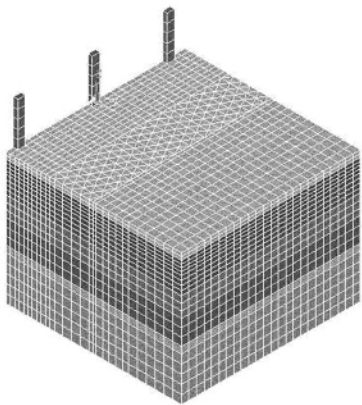


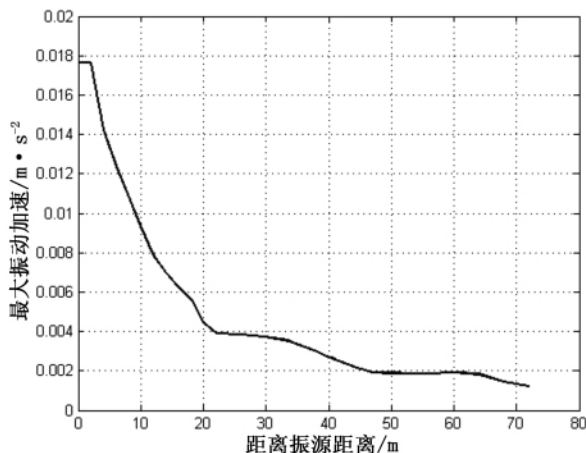
图 2 桥梁-大地计算模型

1.3 大地模型

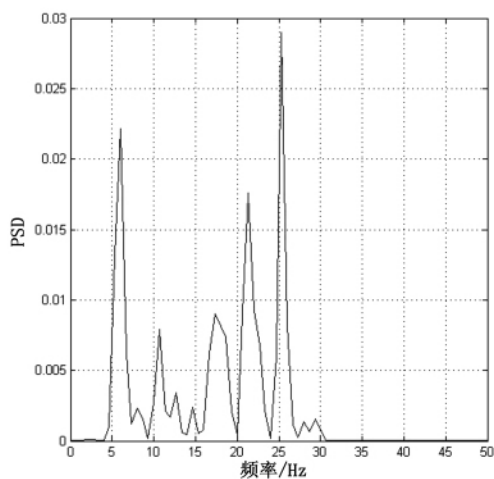
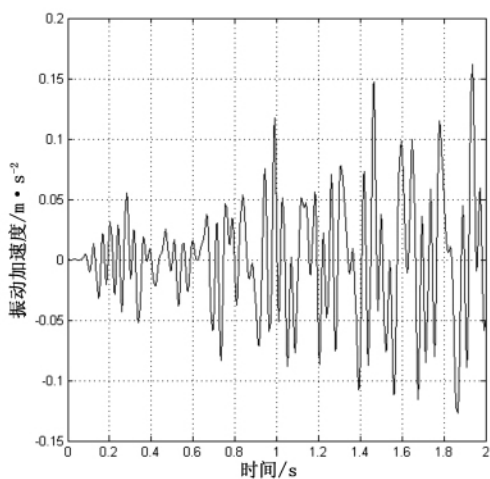
采用有限元软件 ANSYS 建立桥墩-大地模型,如图 2 所示. 考虑计算模型的对称性,取一半轨道进行计算. 模型沿轨道方向长 81.5 m,宽 80 m,深 60 m. 模型选取 3 个桥墩进行计算,将桥梁支反力均布作用于桥墩之上,各桥墩的支反力大小相同,但开始时间不同.

计算模型将大地和桥墩模拟为块体单元 Solid45,采用各向同性的弹性材料属性. 大地阻尼使用 Rayleigh 阻尼模型 $\alpha = 3.14, \beta = 3.18 \times 10^3$,即在 5Hz 处提供 0.1 的阻尼,模型总共有节点 15 884 个,单元 17 679 个. 图 3(a) 为距桥墩不同距离的振动加速度最大值的衰减曲线. 图 3(b)、3(c) 分别为距振源 4 m 和 20 m 的振动加速度时程曲线和频谱图. 从图中

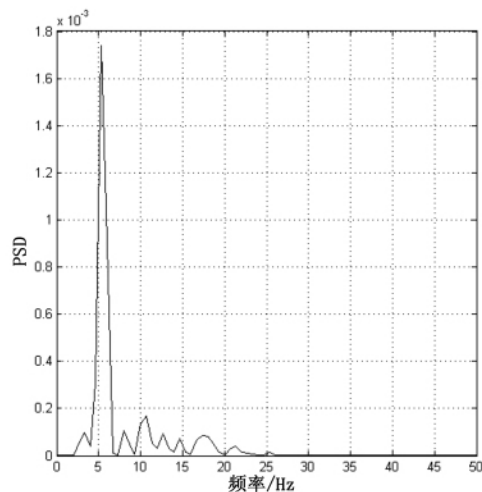
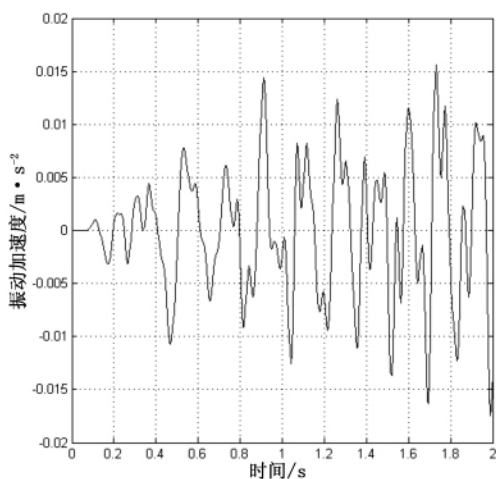
可以看出,大地振动加速度随距振源距离的增加而减小. 当距振源距离在 $0 \sim 20$ m 的范围内,振动加速度衰减速度很快,当距离大于 20 m 后,衰减趋势逐渐减缓. 对比距振源 4 m 和 20 m 的振动加速度频谱可知,在距离振源 4 m 处,振动的主频为 25 Hz,能量集中在 $5 \sim 30$ Hz 内,且具有 5 个峰值;当距离增加到 20 m 后,振动主频为 6 Hz,能量集中在 6 Hz 附近. 因此,振动在 6 Hz 附近的衰减是最小的,6 Hz 应是该土层的振动主频.



(a) 最大振动加速度随距离衰减曲线



(b) 距振源 4 m 加速度时程曲线及频谱



(c) 距振源 20 m 振动加速度时程曲线及频谱

图3 无地屏障时大地的动力响应

2 有限元计算模型

3 排蜂窝波阻块布置平面图如图 4 所示. 桩径

0.9 m,成蜂窝状紧密布置,蜂窝桩距离桥墩 20 m,其六边形边长为 7.8 m.

在 ANSYS 建模中,将蜂窝桩模拟为壳单元 SHELL43,分别考虑不同深度和不同蜂窝桩排数对减振效果的影响. 深度分别取 17 m 和 26 m,排数分

别取 1、2、3 排,对比其减振效果.图 5 为蜂窝桩的 ANSYS 计算模型.

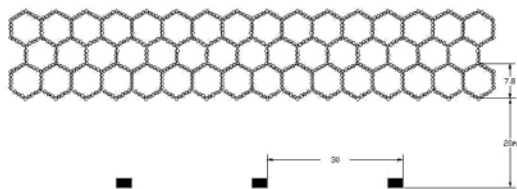


图 4 蜂窝波阻块平面布置图

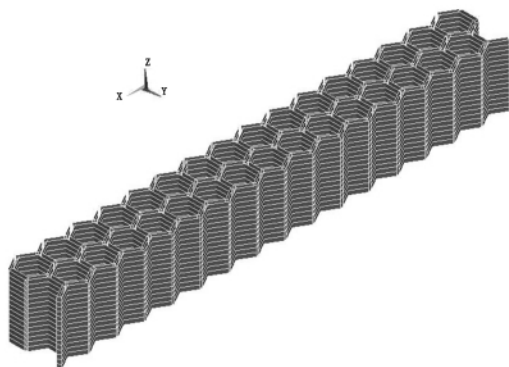


图 5 蜂窝波阻块 ANSYS 模型

3 计算结果分析

为了对比设置隔振屏障后的效果,定义 Z 向振动减振效果 Ar :

$$Ar = \frac{a_r}{a_0} \quad (2)$$

式中: a_r 为设置屏障后观测点的振动加速度最大值, a_0 为未设置屏障时观测点的振动加速度最大值.

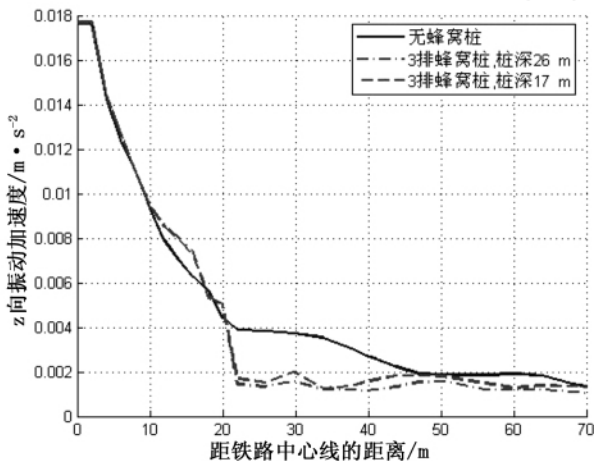


图 6 不同深度波阻块振动最大加速度随距离衰减

3.1 蜂窝桩深度对减振效果的影响

从图 6~7 中可以看出对于 3 排蜂窝桩来说,深度 26 m 的情况要好于深度 17 m 的情况.在图 6 中,深度为 26 m 的 Ar 平均低 0.1 左右,也就是说深度

为 26 m 比深度为 17 m 的减振效果好 10% 左右.图 8 为在距振源 44 m 处,不同工况下的频谱对比.可以看出,在主频 6 Hz 附近,2 种工况都有减振效果,且深度为 26 m 情况要更好些.

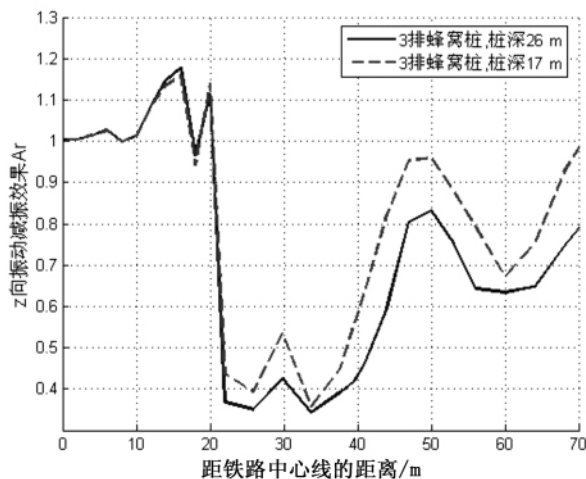


图 7 不同深度波阻块减振效果对比

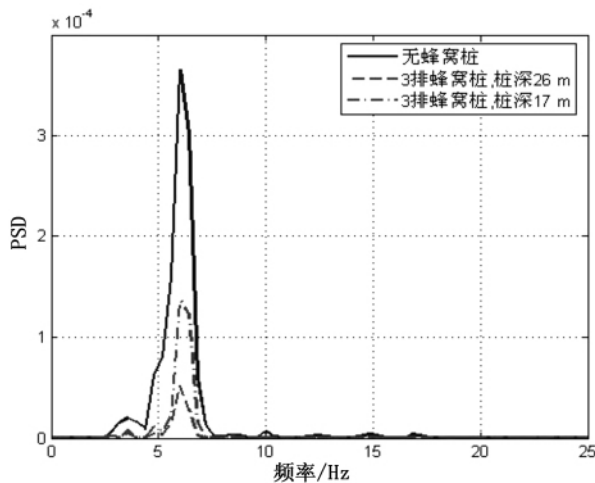


图 8 不同深度波阻块距振源 44 m 振动加速度频谱

3.2 蜂窝桩排数对减振效果的影响

图 9~11 为桩深 26 m 时,不同排数的蜂窝波阻块的减振效果对比.从图中可以看出,当距桥墩距离在 35~45 m 的范围内时,减振效果从好到差依次为 3 排、2 排、1 排,当距离超过 45 m 时,3 种工况的减振效果没有明显的规律且相差不大.根据图 11,在距离振源 44 m 处,1 排桩和 2 排桩的效果接近,3 排桩的效果则好于其他 2 种工况.

4 结论

使用大型通用有限元软件 ANSYS 建立了桥墩-大地-蜂窝波阻块模型,分别分析了波阻块深度和排数对隔振效果的影响,得出以下结论:

(1) 对于高架轨道系统的隔振,蜂窝波阻块能

够起到很好的隔振作用. 随着波阻块深度的增加, 减振效果也越好.

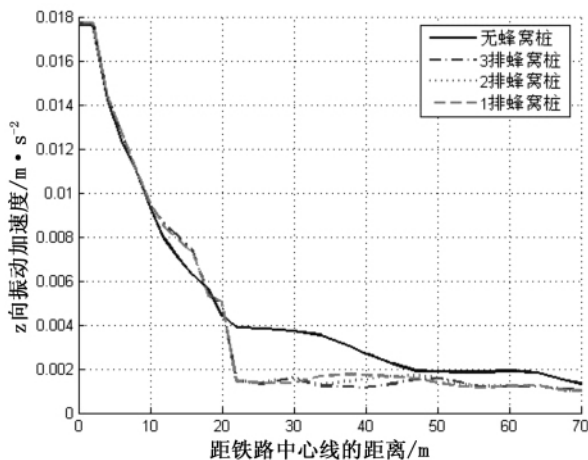


图9 不同排数波阻块振动最大加速度随距离衰减

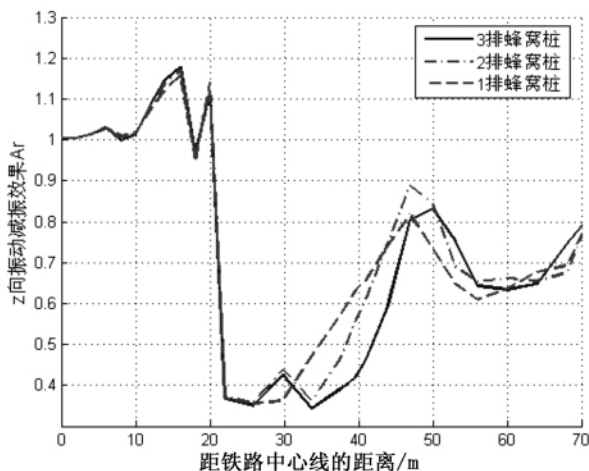


图10 不同排数波阻块减振效果对比

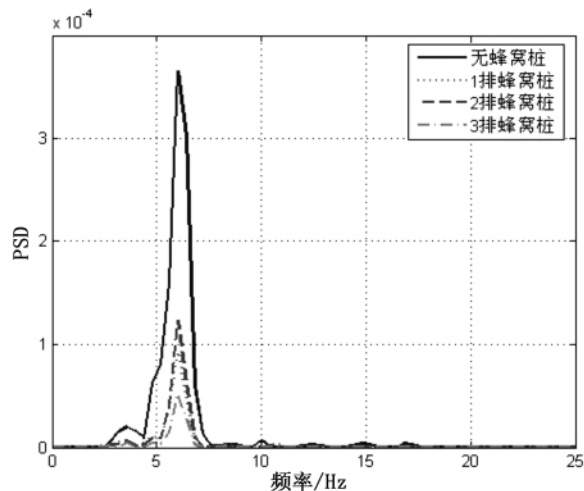


图11 不同排数波阻块距振源44 m 振动加速度频谱

(2) 当距桥墩距离在 35 ~ 45 m 的范围内时, 减振效果从好到差依次为 3 排、2 排、1 排, 当距离超过 45 m 时, 3 种工况的减振效果没有明显的规律且相差不大. 1 排和 2 排桩的效果接近, 3 排桩的效果则明显好于其他 2 种工况.

参考文献:

- [1] 彭波. 高架桥梁系统环境振动评价与减振分析 [M]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- [2] Hirokazu Takemiya. Field vibration mitigation by honeycomb WIB for pile foundations of high-speed train viaduct [J]. Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 2004, (24): 68-87.
- [3] 雷晓燕, 圣小珍. 铁路交通噪声与振动 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 刘庆杰. 高架轨道诱发环境振动研究 [D]. 南昌: 华东交通大学, 2007.

Study on Vibration Isolation Effects of Honeycomb WIB in Viaduct Track System

LIU Qing-jie¹, LI Pei-zhi²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013; 2. China Highway Engineering Consulting Group Company Ltd. Beijing 100097, China)

Abstract: Along with the city scale expanding, the traffic jam is more and more serious. The viaduct track system can alleviate urban transportation pressure. However, the viaduct system can cause environment vibration and interfere with people's work and study. By means of FEM calculate pier force from Viaduct System and finite element software ANSYS, environment vibration isolation effects of honeycomb WIB in viaduct track system is studied. Honeycomb WIB has good effects on vibration isolation effects.

Key words: viaduct system; honeycomb WIB; vibration isolation

(责任编辑: 刘棉玲)