

老旧小区砖混结构房屋振动与减振^①

黄 博^{1,2}, 夏唐代^{1,2}, 赵 晴^{1,2}, 贺鹏飞^{1,2}

(1. 浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心, 浙江 杭州 310058;

2. 浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室, 浙江 杭州 310058)

摘要:老旧小区中房屋产生振动影响正常使用的现象近期日益增多。这些房屋一般为 6~7 层砖混结构,属于多层住宅。本文基于某典型小区房屋振动现象,根据地质和房屋资料,采用经验公式法对小区房屋自振频率进行估算,结合现场微振测试结果,确定由大型车辆经过或是车站车辆制动及启动引起的振动,其频率较低,与房屋的自振频率相近,是引发房屋振动的主要原因。结合此类小区自身特点,对常用减振方法的实用性逐一进行分析,选择打钻孔灌注排桩的方式作为房屋的减振措施,并提出初步设计方案。

关键词: 砖混结构; 自振频率; 减振措施; 钻孔灌注排桩

中图分类号: TU435

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)01-0126-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.01.0126

Vibration Reduction for Brick-concrete Buildings in an Old Residential Area

HUANG Bo^{1,2}, XIA Tang-dai^{1,2}, ZHAO Qing^{1,2}, HE Peng-fei^{1,2}

(1. Research Center of Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China;

2. MOE Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

Abstract: Recently, vibration in buildings in old residential districts has been increasing. These buildings are brick-concrete structures, and are multi-story residences, generally with 6 ~ 7 floors. In this study, the natural frequency of buildings in a district is empirically estimated. Combining with the in-situ test results, the vibration caused by heavy vehicle traffic or braking and starting of vehicles at bus station, whose frequency is close to the natural frequency of buildings in the district, is the main reason of vibration in buildings. Considering the characteristics of the study district, popular methods to reduce the vibration here are analyzed to obtain the most suitable method for the district. Cast-in-place bored piles in rows are selected for this district and a preliminary solution for vibration reduction is presented.

Key words: brick-concrete structure; natural vibration frequency; vibration reduction measure; cast-in-place bored pile

0 引言

随着科技的发展,越来越多的新型建筑结构得到应用,然而在我国,城市中还存在着许多上世纪 70 年代至 90 年代建造的房屋。这些房屋多集中在

老旧住宅小区中,采用砌体结构形式,其中广泛采用砖混结构,楼层一般为 6~7 层,属于多层住宅。砖混结构的基本组成材料和材料之间的连接方式决定了其结构的脆性性质,导致房屋变形能力小,抗震性

① 收稿日期:2014-08-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51378463);国家自然科学基金高速铁路基础研究联合基金重点支持项目(U1234204)

作者简介:黄 博(1989—),男,博士研究生,主要从事土动力学方面的研究。E-mail:hbzjdx@zju.edu.cn

能较差。最近几年,随着道路交通荷载、地铁施工荷载以及地面建筑施工荷载的陡增与叠加作用,砌体结构多层住宅振动现象日益增多,严重影响了小区居民的日常使用。

本文针对杭州牛脚湾小区房屋振动现象,通过理论分析结合现场振动测试结果,得到小区房屋产生振动的主要原因。针对常见的减振措施,结合老旧小区砖混结构房屋自身特点逐一进行分析比较,选择钻孔灌注排桩作为本小区房屋的减振措施,提出初步的减振方案,为城市中老旧小区砖混结构房屋隔振减振提供分析方法和设计思路。

1 工程背景

牛脚湾住宅小区公寓 1~8 幢房屋始建于 1996 年间,均为 7~8 层砖混结构房屋。小区位于萧杭路以东,工人路以西,萧萧铁路以南,工程位置如图 1 所示。萧杭路为城市主干道,车流量大,道路为混凝土 U 型槽结构,下穿铁路桥,路面与周边地面存在高差,且距小区房屋较近。本小区位于市区,人口稠密,建(构)筑物、管线设施分布密集。近期居民普遍反映小区房屋出现了偶发性振动现象,影响了正常居住。小区场地属于钱塘江冲海积平原地貌,地貌单元较单一,地形总体比较平坦。小区地下场地勘探深度为 59.00 m,除表层为杂填土外,其余各层均为亚黏土。



图 1 小区平面及振动测点布置图
Fig.1 Plan of the residential area and measuring points

2 房屋自振频率

对于砌体结构房屋的自振频率,相关规范^[1-2]推荐采用经验公式法进行估算。这些经验公式都是比

较笼统的,针对不同地域,不同形状、不同用途的房屋普适性不强。为此,一些学者针对具体情况,通过数值模拟与理论推导对这些经验公式进行了修正,还有一些学者基于脉动法对房屋自振周期进行实测分析,并通过实测数据对传统经验公式进行修正。

王广军等^[3]就基本周期经验公式的参数、脉动实测修正系数、误差等问题进行一些探讨,同时,通过统计分析给出第二振型、第三振型周期与基本周期比值的经验公式,采用这一结果可推出求高阶振型周期的经验公式。也有学者指出,用集中质量法简化计算的自振频率,计算结果偏大,误差在 20% 左右,不适用于精确计算,只能反映建筑的部分振动特性^[4]。刘红彪等^[5]通过对四川省西昌市(Ⅲ度设防)典型房屋结构自振周期的测试,得到了与以往经验公式有较大差异的回归公式。韩瑞龙等^[6]采用脉动法对上海市 73 幢砌体结构多层房屋进行了现场测试、数据采集以及拟合比较,提出了多层砌体低阶自振频率实用经验公式。

根据区域相似性,本文采用韩瑞龙等提出的多层砌体低阶自振频率实用经验公式:

$$T_1 = 0.013\ 1H + 0.112\ 7,$$
$$T_2 = 0.0131H + 0.072\ 6.$$

(1)

式中 T_1 、 T_2 分别为结构的第一阶和第二阶自振周期; H 为房屋高度。

根据公式计算得到小区 1~8 幢房屋自振频率(表 1)。从表中可以看出,8 幢房屋的第一阶和第二阶自振频率处于 2.4~4.0 Hz 范围内。

表 1 房屋自振频率

Table 1 Natural vibration frequencies of buildings

房屋 编号	高度 /m	第一阶自 振周期/s	第一阶自 振频率/Hz	第二阶自 振周期/s	第二阶自 振频率/Hz
1~4	19.6	0.37	2.71	0.33	3.04
5~7	22.4	0.41	2.46	0.36	2.73
8	14	0.30	3.38	0.26	3.91

3 现场振动测试

3.1 测试仪器与测点布置

本次检测采用的主要仪器有:测微仪、振动数据采集系统、电荷放大器、压电式加速度传感器和电脑、接头及连接线若干。振动测试装置连接如图 2 所示。

根据测试目的以及场地情况,共进行三次测试。前两次为常时微振测试,每次布置 4 个测点,测点分布于房屋基础和小区场地地基上。第三次测试为小区场地在交通荷载作用下的振动测试。测点按离公

路由近及远在小区内的场地上布置。振动测点布置如图 2 所示,现场测试照片如图 3 所示。

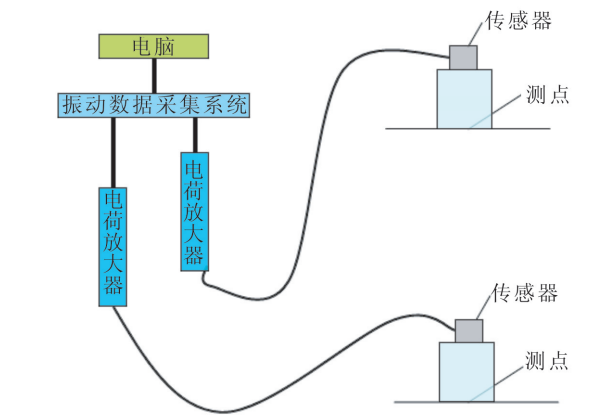


图 2 振动测试装置连接示意图
Fig.2 Connection way of instruments



图 3 现场振动测试
Fig.3 Field vibration measurement

3.2 图像处理

测试采样频率 128 Hz(最高频率分辨率 64 Hz),按仪器设置,每个数据块采集 1 024 个数据点(持续 8 s),每次测试采集 64 个数据块(1 024×64 个数据点)总持续时间 8 分 32 秒。分析时分别对每个数据块(包含 8 s 的信号)进行频谱分析,根据每一测点的 64 个频谱图来综合分析场地的常时振动。

对产生的时域信号逐一进行傅里叶变换,得到各测点的频谱图像。图 4 为具有代表性的频谱分析图。

3.3 测试结果及分析

(1) 从频谱图像中可见,测试时由于仪器接地不良,信号里交流电干扰信号较大(50 Hz 信号),同时还可知附近有一稳态振动源(频率约 28 Hz)。

(2) 三次测试频谱图呈现的主要特征一致。8 分钟时间里有时有 1.5~3.5 Hz 左右的信号出现,有时有 10~13 Hz 左右的信号出现。从频谱图还可以得知其它频率的信号也比较丰富,这是因为行人及小区内车辆的振动引起传感器的振动,信号里包含这些信息。

(3) 结合现场测试实际情况与频谱分析,小型车辆通行引起的常时微振主要频率为 10~13 Hz 左

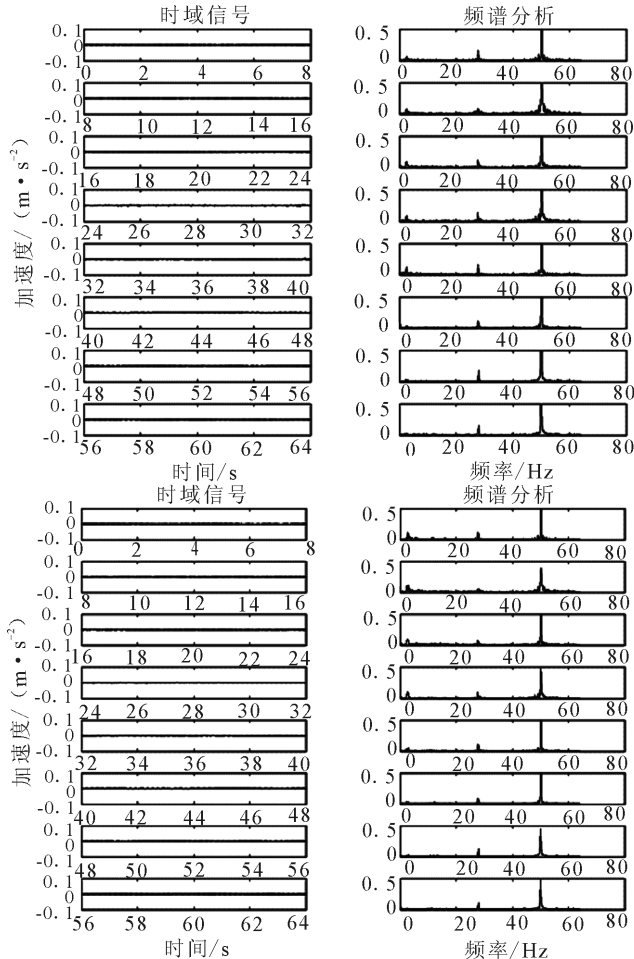


图 4 典型频谱分析图
Fig.4 Typical spectrum diagram

右,偶然有大型车辆经过或是车站车辆制动及启动引发低频的振动,频率为 1.5~3.5 Hz。后者产生的低频振动频率与房屋的自振频率相近,会引发房屋的共振现象,这些低频振动并不长期存在,主要是随机的偶然发生,也与居民反映的房屋振动的偶然性现象相符。

4 减振措施

目前针对砌体结构房屋的常时振动问题,主要的减振方法有两种,一种是改变房屋自振频率,另一种是设置隔振屏障。

改变房屋自振频率是通过提高房屋自身刚度来实现的。通过更换新型建材、改变结构形式、处理基础等方式进行房屋加固方案,提高房屋自身刚度,从而提高房屋自振频率,避开震源波频率范围,减小直至消除共振现象。牛脚湾小区属于正在使用的小区,房屋结构老旧,人口稠密且以老年居民为主。无论是对房屋进行地基处理还是对上部结构外墙及节

点等处进行加固,都需要对房屋进行较大面积改动,这对结构脆弱的砖混结构老式住宅自身结构会造成破坏。如采用改变房屋自振频率的方法,则需要全部居民搬出小区,劳民伤财,并不适宜。

设置隔振屏障是治理振动污染的有效措施,造价低,施工简单。目前工程上常用的隔振屏障有空沟、填充沟和排桩三种^[7]。

小区居民反映,在未有车辆经过小区附近时,偶尔也会出现房屋振动现象,这是由于距离小区较远处交通荷载产生的冲击波形成表面波向小区传递。浙江省尤其杭州市地表以软弱土为主,由于软土对高频波的吸收作用,传至小区地表的波以重型车辆荷载形成的 10 Hz 以下的低频波为主,波长较长。它们的频率也与小区房屋自振频率接近,某些情况下也会引起房屋共振,从而产生居民反映的房屋偶发性振动的情况。

空沟隔振效果很好,但是考虑到本小区房屋距离萧杭路很近,且萧杭路因下穿萧萧铁路而采用了 U 型槽结构,如开挖空沟,会影响到房屋基础以及路基土体的稳定性。另外,由于远源低频脉动波波长很长,空沟要想发挥作用,需要开挖的深度很大,在本工程中不适宜采用。

填充沟隔振是在空沟隔振基础上发展而来的一种隔振技术,是在原空沟内填充材料提高隔振体刚度以达到被动隔振的目的。本小区所在区域属于软土地基,地下水位较高,地基土含水率大。开挖隔振沟要单独进行降水措施,对土体稳定性带来很大的影响,并且地下水的存在也会削弱隔振效果。与空沟类似,填充沟所需开挖深度也较大,无论从开挖深度还是材料用料上看,都不适宜本工程采用。

排桩隔振形式自由,施工便宜,施工技术成熟,不受地下水位影响。夏唐代等^[8]以及高广运等^[9]均对隔振桩的隔振进行了较为全面的理论分析,形成了较为完善的理论计算和设计体系。针对本工程房屋距离道路较近的情况,打隔振桩能够起到阻波隔振的作用,且施工期间对道路行车以及居民生活影响较小,经济适用性强,适宜在本工程中采用。

桩的类型很多,从本工程实际考虑,在隔振桩施工时不宜产生较强的振动,防止对房屋产生直接破坏,并防止引起房屋共振。根据道路与房屋距离较近的实际情况,隔振桩还应选择非挤土桩,防止隔振桩施工过程中挤土对路基和房屋基础产生影响。综合考虑,钻孔灌注桩为本工程较为理想的隔振桩型。

基于隔振效果、经济性以及施工方便性考虑,本

工程采用打钻孔灌注排桩的方式作为减振措施。

5 减振初步设计

小区东、南、西三面临近道路,北面紧靠铁路。由于小区北面与铁路线距离过近,考虑到铁路路基安全,暂不对小区北面进行隔振处理。考虑到场地大小以及施工的便宜性,在小区南面紧邻房屋处、小区东面排水沟与工人路之间以及小区西南面紧邻萧杭路处采用双排钻孔灌注桩。小区西北面紧邻萧杭路处,房屋与道路间距较小,并且通过道路施工图可知,场地内遗留有道路施工时打设的单排基坑围护桩,故此处采用单排钻孔灌注桩。通过建立有限元模型进行数值模拟^[10],得到桩长至少为 40 m 时对近场低频波和远场低频地脉动波衰减效果较为明显,故选取 40 m 作为隔振排桩桩长。选取 4 个典型断面进行初步设计,结合场地地质勘探剖面土层状况,考虑施工便宜性,对各典型断面桩长进行微调。桩位布置及断面划分如图 5 所示,初步设计如图 6 所示。

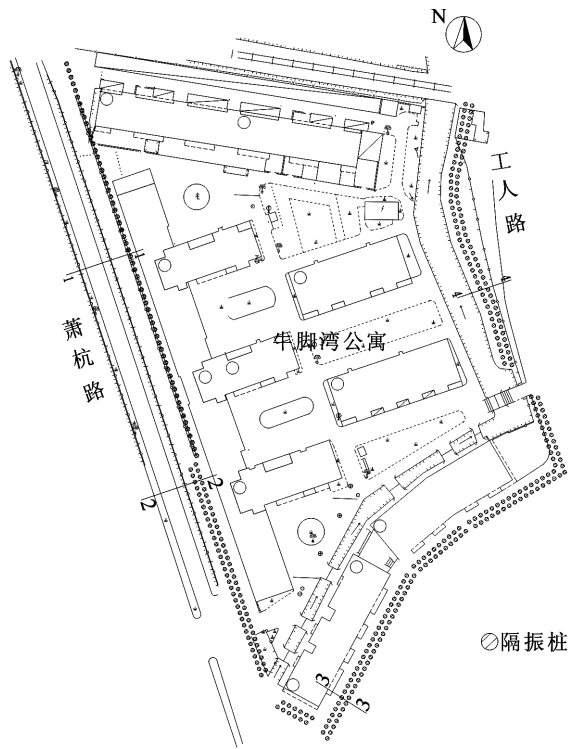


图 5 减振初步设计平面图

Fig.5 Preliminary design plan for vibration reduction

6 结论

通过上述分析,得到如下结论:

(1) 大型车辆经过或是车站车辆制动及启动引起的振动,频率较低,与房屋的自振频率相近,是引

