

用地脉动研究银川沉积地层的 地震波放大特性^{*}

何开明¹, 孟广魁², 班 铁², 崔黎明²

(1. 浙江大学土木系, 浙江 杭州 310027;

2. 宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

摘要:根据银川盆地不同厚度覆盖层上的三分向(东西、南北和垂直)地脉动测量数据, 绘制出水平向振幅谱与垂直向振幅谱的比值曲线. 结果表明, 谱比曲线上最大峰值处的频率大小显著地反映了覆盖层的薄厚. 通过银川市部分房屋自振频率的对比分析认为, 该部分房屋在未来地震中将遭受严重破坏.

关键词:地脉动; 振幅谱比; 自振频率; 地震波放大特性

中图分类号:P315.9; P315.3⁷¹; TU435 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0844(1999)04-0383-06

0 引言

地震工程界普遍认为, 基岩之上的松散沉积物(或简称土层)对地震波有吸收(滤波)作用和放大(共振)效应. 由此使得建在不同类别建筑场地上的各类建筑物在地震过程中呈现出不同的破坏现象. 一般说来, 当地震动的卓越周期与结构的基本周期接近时, 会使结构发生严重破坏, 这种现象称之为类共振现象^[1].

地基土越坚硬, 其卓越周期也越短, 峰值也越明显; 反之, 地基土越松软, 其卓越周期越长, 峰顶越平坦. 各种场地有其各自的卓越周期. 银川平原是一个地堑式沉降盆地, 东西分别以黄河隐伏断裂和贺兰山东麓断裂带为界, 内部还有若干条在剖面上呈阶梯状分布的隐伏断裂^[2]. 而长条状的银川市沿东西方向延伸 30 km 以上. 新市区靠近贺兰山, 第四系厚度较薄, 向东逐渐加厚, 至老城一带厚度超过 2 km. 工程师们常将剪切波速达到 500 m/s 的地层视为基底, 基底之上为覆盖层, 因此, 这种意义的覆盖层既不是新生界, 也不是第四系. 即使如此, 老城区的覆盖层厚度也比新市区厚得多.

现阶段, 银川市的绝大多数房屋建筑属于砖混结构, 尤其是居民住房和大部分机关办公用房多属此类. 为了探索这些房屋在未来地震中的破坏规律, 我们首先从贺兰山边覆盖层极薄的场地到覆盖层厚度较大的老城区场地, 选择 11 个测点, 进行了场地地面脉动测量, 确定了各测点处场地土的卓越周期和土层放大作用的优势频率. 然后, 我们收集了近几年来在银川市范围内测得的若干不同高度砖混楼房的自振频率, 将此与场地卓越周期进行对比研究, 探讨了未来

收稿日期: 1998-10-28

^{*} 参加工作的还有: 盛菊琴、吴致远、吴成功、潘祖寿

作者简介: 何开明(1964-), 男, 高级工程师, 博士生, 现从事岩土工程研究工作.

地震中银川市砖混楼房可能遭受破坏的程度及其特点。

1 银川市地脉动的观测与分析

1.1 地脉动观测原理与应用

在地面上和地面以下的土体中,由于自然界和人类的各種活动,不断引起微小振动,通常称之为地脉动(或地激动)。引起地脉动的原因是各种各样的,因此,原始的振动频率并不存在任何规律性,故可将这种天然频率特性的微小振动的集合看成白噪声。这种白噪声在场地土内的传导过程中,由于振动响应或滤波等原因,使其特性可能随场地土的构成和特性发生变化,进而使其波谱特征能够反映出场地土的这种构成和特性^[3]。《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)统一培训教材^[4]中指出,当缺乏剪切波速资料时,除规范规定的方法外,也可以参考实测的反映土层综合动力放大效果的卓越周期资料,划分场地类别。这是场地脉动研究成果的具体应用之一。

地脉动的观测可以直接在地表进行,也可在钻孔内进行。近代由于计算机技术的发展,可将拾振器直接与装有便携计算机的数据采集系统连接,利用计算机内各种数据处理软件得出所需结果。通常要给出地脉动的富立叶谱,在谱曲线上,最大峰值所对应的频率称为卓越频率,相应的周期叫作卓越周期。

由于在美国旧金山湾的金门公园(Golden Gate Park)和圣巴巴拉以及墨西哥城等地的地脉动测量结果与当地大地震的周期特性大体相同,有人提出用地脉动测量结果来推断本地将来地震的周期特性。对此,目前尚有争论,因为大地震时,土体的振幅要大得多,土的非线性性质将会对周期特性产生重大影响^[3]。尽管如此,近年来用地脉动研究场地特性的工作仍在不断进行。

1.2 银川市建筑场地条件

银川市位于贺兰山东麓冲积平原上,其地貌可分为洪积冲积平原和冲积湖沼平原两个单元。由于黄河的冲积和变迁,形成两级阶地:金贵一掌镇以西至新开渠宽22 km的地带为Ⅱ级阶地,银川市的老城区、开发区、新城区均坐落在Ⅱ级阶地之上;新开渠以西至西干渠以东宽约7.2 km的地带为Ⅲ级阶地,新市区坐落在Ⅲ级阶地之上;西干渠以西至贺兰山东麓为山前洪积带。

根据已有的少量深孔钻探资料(宁夏地矿局,1982),银川市老城区北的基岩(第三系砂岩)的埋深在1 km以上。显然,以该基岩上的土层厚度为覆盖层厚度的方法在一般岩土工程勘察实践中不便应用。《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)规定以剪切波速大于500 m/s的土层之上的地层厚度称为覆盖层厚度。据此规定,银川市新城西部的覆盖层厚度为23 m(中国建筑科学研究院工程抗震研究所,1989),但这方面的资料仍较少,难以评价整个银川市的场地特征。考虑到银川市地层中普遍存在的粉细砂层的岩土工程特性:厚度大、层位稳定、中密—密实(刚一见砂处的标准贯入击数一般为20击左右,地基基础设计时一般将该砂层作为桩端或浅基础的持力层),埋深沿银川市从西向东逐渐增加。因此,将该砂层的埋深作为评价银川市场地的软硬特征的指标既简单又客观。新市区该砂层裸露于地表,新城区、开发区和老城区该砂层埋深为2~4 m,新城区该砂层埋深多为2 m左右,开发区和老城区多为4 m,局部埋深达10 m。因此从西向东即从新市区、新城区、开发区到老城区,砂层的埋深逐渐增大,即场地的刚性逐渐减弱。另外,贺兰山山麓的基岩埋深小于3 m,自然其刚性是最大的。

1.3 银川市工程场地地脉动观测

根据前述银川市建筑场地条件,自贺兰山麓至老城区(由西向东)布置了11个观测点,其中2个测点(10[#]、11[#])位于山麓洪积扇的根部,松散沉积物厚度小于3 m,新开渠以西的Ⅲ级阶地上布置了1个测点(1[#]),新开渠至新城布置了2个测点(2[#]、3[#]),高新技术开发区布置了1个测点(4[#]),老城范围内布置了5个测点(5[#]~9[#])。

观测设备由65型拾振器和SL-Ⅲ型多功能工程检测仪组成,65型拾振器为速度型检波器,其输出电压与振动的速度振幅成正比,该拾振器的固有周期为1 s,每个测点同时布设3台拾振器,分别记录南北、东西和垂直3个方向的地脉动信号。

SL-Ⅲ型多功能工程检测仪配有便携式计算机和相应的数据处理软件系统,65型拾振器检测到的地脉动信号可存储于计算机内,为避免人为因素的干扰,地脉动测试安排在深夜进行,测点布在无交通振动或工程振动且无噪声源的地方,图1为6[#]点实测地脉动记录。

1.4 地脉动观测结果分析

对地脉动记录可采用多种方法进行分析,现代由于电子计算机技术的发展,谱分析已成为易行的分析方法,SL-Ⅲ型多功能工程检测仪的便携式计算机的振幅谱计算机软件可以快速给出每个记录波形的振幅谱。

据Fischer K M等的研究^[5],将不同场地条件下水平方向记录的功率谱与垂向记录的功率谱之比作了比较,发现在靠近基岩高地具薄覆盖层(小于4 m)的场地上,谱值比的峰值所对应的频率明显高于厚覆盖层(大于10 m)场地上的谱值比的峰值所对应的频率,认为这一现象说明厚覆盖层场地上的土层对低频波具有放大作用。

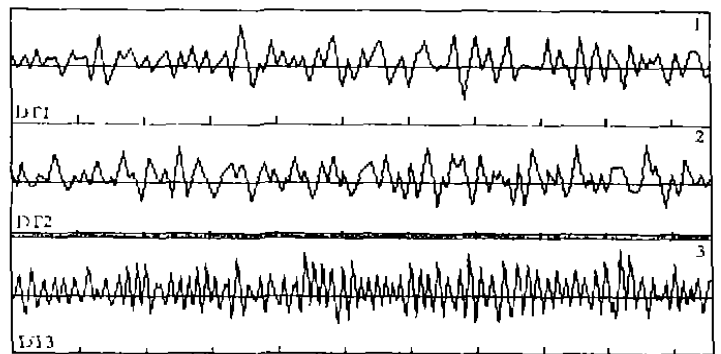


图1 6[#]测点的地脉动记录
Fig. 1 Microtremor record at No. 6 site.
1 东西向; 2 南北向; 3 垂向

图2为6[#]测点记录波形的处理结果,图中自上而下分别为东西向、南北向和垂直向的振幅谱,及东西向与垂直向振幅谱值比和南北向与垂直向振幅谱值比,最下面的为平均谱值比,各图右上角数值为最大峰值所对应的频率。

图2为6[#]测点记录波形的处理结果,图中自上而下分别为东西向、南北向和垂直向的振幅谱,及东西向与垂直向振幅谱值比和南北向与垂直向振幅谱值比,最下面的为平均谱值比,各图右上角数值为最大峰值所对应的频率。

为了便于比较,将各测点水平方向的平均卓越周期和频率及平均谱比曲线上最大峰值所对应的周期和频率列于表1。从表中可看出,位于贺兰山山麓的10[#]、11[#]测点,卓越周期分别为0.134 s和0.127 s,相应的频率值分别为7.45 Hz和7.90 Hz;位于新市区到新城的1[#]~3[#]测点,卓越周期为0.156~0.183 s,频率为5.45~6.40 Hz;位于开发区的4[#]测点,卓越周期为0.229 s,频率为4.35 Hz;而位于老城区的5[#]~9[#]测点,卓越周期为0.339~0.400 s,频率为2.50~2.95 Hz。

11个测点的平均谱值比中,10[#]、11[#]测点平均谱值比分别在周期为0.089 s和0.088 s,相应频率值为11.2 Hz和11.3 Hz处出现高值;新市区和新城的1[#]~3[#]测点平均谱值比在周期为0.208~0.294 s,相应频率为3.4~4.8 Hz,平均频率为3.97 Hz处出现高值;开发区的4[#]测点平均谱值比在周期为0.313 s,频率为3.20 Hz处出现高值;老城区的5[#]~9[#]测点平均谱值比在周期为0.294~0.435 s,相应频率为2.30~3.40 Hz,平均频率为2.84 Hz处出现高值。

综合上述分析可以看出,场地的刚性由强变弱,即从贺兰山山麓经新市区、新城区、开发区

到老城区,其常规的地脉动卓越周期从0.13 s变化到0.40 s,相应的卓越频率由7.90 Hz变化到2.50 Hz,最大频率差值为5.40 Hz;而由谱比曲线上所求得的场地卓越频率(最大峰值所对应的频率)从11.30 Hz变化到2.50 Hz,最大频率差值为8.80 Hz,即说明由谱比曲线得到的卓越频率更能明显地反应场地的刚性变化。

2 银川市砖混结构房屋的固有周期测量与分析

2.1 房屋固有周期测量及其意义

在建筑物中,存在由其构造决定的固有振动特性。如果在地震时地震波所具有的卓越周期与建筑物的固有周期一致,则建筑物由于共振作用会产生较大振动,并因而使结构遭到严重破坏。1985年墨西哥大地震所造成的破坏作用就是最明显的实例。

这次地震在墨西哥城记录到的地震加速度峰值只有0.18 g(中等强度),但振动时间长,持续近2 min,而且有周期约2 s的简谐振动。这次地震破坏最严重的是周期为0.8~1.0 s的5~15层建筑。这些建筑随着构件在振动中开始出现裂缝和屈服,自振周期增大并接近地震卓越周期(2 s),从而使结构反应不断加剧。长时间的振动加剧了结构的累积损伤破坏,使建筑物遭到严重破坏或倒塌。此外,一座周期接近2 s的21层钢结构建筑也在这次地震中倒塌。地震工程学中称这种现象为类共振反应。在建筑结构设计阶段,使结构的初始基本周期和结构部分损伤后的基本周期有意识地远离或大于场地卓越周期,是抗震结构概念设计的一条重要原则^[4]。

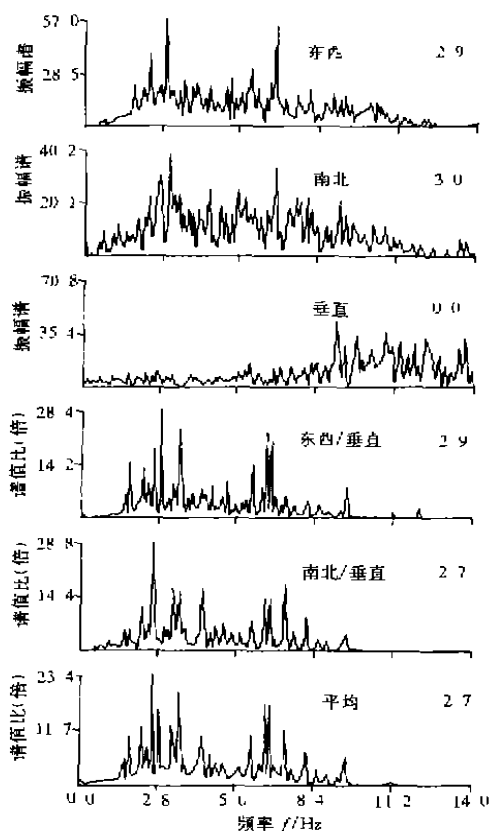


图2 6[#]测点的频谱曲线和谱值比曲线

Fig. 2 Spectrum curves and spectrum ratio curves at No. 6 site

表1 银川市地脉动观测结果

测点	位置	场地		谱值比最高处		砂层的 顶面埋 深 h/m
		卓越周期 T/s	卓越频率 f/Hz	周期 T/s	频率 f/Hz	
1 [#]	建筑总公司路东(新市区)	0.183	5.45	0.294	3.40	0
2 [#]	西花园小区90 [#] 楼西(新市区)	0.165	6.05	0.208	4.80	0
3 [#]	水利工程队门北侧(新城区)	0.156	6.40	0.270	3.70	2~4
4 [#]	罗家庄(开发区)	0.229	4.35	0.313	3.20	2~4
5 [#]	体育馆南侧(老城)	0.400	2.50	0.400	2.50	2~4
6 [#]	蓬布厂北偏西50 m(老城)	0.339	2.95	0.370	2.70	2~4
7 [#]	市建三公司南侧(老城)	0.339	2.95	0.435	2.30	2~4
8 [#]	小南门火车站西门(老城)	0.351	2.85	0.294	3.40	2~4
9 [#]	银川五中东200 m(老城)	0.351	2.85	0.303	3.30	2~4
10 [#]	86405部队牛奶房(山麓)	0.134	7.45	0.089	11.20	小于3 ¹⁾
11 [#]	航空饮料厂北100 m(山麓)	0.127	7.90	0.088	11.30	小于3 ¹⁾

¹⁾指基岩埋深

为了解建筑物的振动特性,可对建筑物进行测试.测试方法是在建筑物的适当位置布设拾振器,记录由激振设备引起的振动或脉动信号.一般说来,利用起振机激振的方法,可确切地取得在某频率加振时建筑物的响应,故可靠性较高.但由于设备复杂,实施难度也很大.近年来的研究表明,用脉动法求得的平均周期与由起振机试验得到的固有周期很一致,因此,脉动测量成为了解建筑物振动特性的简易且有效的手段.

2.2 银川市砖混结构房屋固有周期测量

1995年以来,宁夏地震局工程地震研究所引入房屋抗震性能无损检测与鉴定技术,其中的一项工作是对房屋进行脉动条件下的自振(卓越)频率测量.

银川市的居民房屋和机关办公用房以4~6层砖混楼房居多.表2为从宁夏地震局工程地震研究所3a来所完成的砖混房屋检测与鉴定报告中挑选出的11栋4~6层楼房的自振频率和自振周期测量结果.

表2 银川市4~6层砖混楼房自振频率和周期实测结果

序号	楼房名称	层数	自振频率	自振周期
			f/Hz	T/s
1	铁路分局西花园94 [#] 楼	6	3.9	0.256
2	铁路分局西花园84 [#] 楼西段	6	4.4	0.227
3	铁路分局西花园84 [#] 楼东段	6	4.0	0.250
4	银川市老城富宁街4 [#] 楼	6	3.4	0.294
5	电力局试研所4 [#] 住宅楼	5	3.6	0.278
6	电力局4 [#] 住宅楼	4	4.6	0.217
7	宁夏军分区办公楼(主楼)	4	3.4	0.294
8	电力局试研所试验楼	4	4.1	0.244
9	电力局电力修造厂办公楼	4	4.1	0.244
10	电力局物资公司办公楼(北楼)	4	4.1	0.244
11	电力局物资公司办公楼(南楼)	4	4.9	0.204

表2说明,银川市4~6层砖混结构楼房的自振频率为3.4~4.9 Hz,自振周期为0.204~0.294 s.而开发区至老城区的场地卓越频率为2.50~4.35 Hz,卓越周期为0.229~0.400 s.

3 结论

(1) 地脉动的测试结果反映了覆盖层的厚度大小,谱比曲线上最大峰值处的频率更是如此,同时也预示了土层对地震波放大作用的显著频率.

银川市城区东西向长条形分布长达30余公里,西靠贺兰山,东邻黄河.就工程地质条件而论,自贺兰山山麓至老城区,松散沉积物厚度越来越大.建筑物所涉及的地基也是西好东差,老城区有较厚的湖沼堆积和人工填土.观测记录的谱分析结果表明,贺兰山山麓场点卓越周期短,卓越频率高,向东自新市区、新城,经开发区至老城,卓越周期逐渐变长,卓越频率逐渐变低.地脉动所反映的卓越周期或卓越频率的变化与工程地质条件的变化相一致,说明银川市的建筑场地条件西好东差.11个测点的谱值比说明,自新市区、新城,经开发区至老城,土层对低频成份的放大作用越来越明显.

(2) 根据已有的研究结果和震害推断,银川老城区的4~6层砖混楼房,在未来破坏性地震中将可能遭受严重破坏.

比较表1和表2可以发现,老城区的4~6层砖混楼房的自振频率与场地的卓越频率十分接近.但新城至新市区一带,尤其是贺兰山麓场地的卓越频率明显高于4~6层砖混楼房的自

振频率. 据此可推断, 银川老城区的 4~6 层砖混楼房在未来破坏性地震中极易发生类共振现象而可能遭受严重破坏.

[参考文献]

- [1] 李杰, 等. 地震工程学导论[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [2] 孟广魁, 等. 银川平原地震区划研究[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1994.
- [3] 刘惠珊, 等. 地震区的场地与地基基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [4] 建设部抗震办公室. 建筑抗震设计规范(GBJ11-89)统一培训教材[M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [5] Fischer K M, et al. Sediment-induced amplification in the Northeastern United State: a case study in Providence, Rhode Island [J]. Bull. Seism. Soc. Am., 1995, 85: 1388~1397.

STUDY ON SEISMIC AMPLIFICATION OF SEDIMENT LAYERS IN YINCHUAN BY USING MICROTREMOR

HE Kai-ming¹, MENG Guang-kui², BAN Tie², CUI Li-ming²

(1. Dept. of Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

Abstract

Based on tri-component measurement of microtremor on different thickness sediment layers in Yinchuan basin, the curves of ratio of horizontal spectrum to vertical spectrum were drawn. These curves show that the frequency value corresponding to maximum peak obviously reflect the sediment layers' thickness. Comparing the frequency value with predominant frequency of some buildings in Yinchuan, it can be concluded that these buildings would be seriously damaged by future earthquakes.

Key words: Microtremor; Amplitude spectrum ratio; Predominant frequency; Seismic amplification