

1995 年日本阪神地震近场强地面运动的特征*

罗奇峰

(同济大学结构理论研究所, 上海 200092)

那向谦

(清华大学土木系, 北京 100084)

摘要 分析了 1995 年日本阪神地震 ($M 7.2$) 近场强地面运动特征. 结果表明, 震中附近地区水平加速度峰值达 $600 \sim 800$ gal, 竖向加速度峰值达 300 gal, 强地面运动持续时间为 $10 \sim 15$ s, 加速度时程的卓越周期为 $0.2 \sim 2$ s. 谱分析的结果还表明, 在较宽的频带范围内该次地震的近场地震动的强度都比较大.

关键词: 日本 地面运动 谱 阪神地震 加速度峰值

1 引言

1995 年 1 月 17 日日本兵库县南部发生了 $M 7.2$ 地震, 日本气象厅等单位的强震观测台网在近场获得了大量的加速度、速度记录. 这些记录对于人们了解该次地震近场强地面运动特征和分析造成地震灾害的原因是有利的. 本文根据作者赴日本进行地震考察时收集的资料和近期获得的强震记录, 从强震观测记录的分布、峰值加速度和峰值速度的衰减关系、加速度持时、傅里叶谱、反应谱等方面, 分析阪神地震近场强地面运动的主要特征.

2 近场加速度、速度峰值的分布

图 1 为阪神地震震中和近场记录到的部分峰值加速度、速度的分布情况^[1]. 由图 1 和日本建筑学会调查报告可知, 场地最大水平加速度为 833 gal, 最大水平速度为 55 cm/s, 最大竖向加速度为 332 gal^①. 据日本地震学者研究, 该地震为城市直下型地震, 震源深度浅. 由于记录台站的震中距小, 许多台站都记录到了较大的竖向分量, 震中附近一些台站的竖向分量的峰值与水平分量峰值之比超过 $1/3$, 有些竖向分量的峰值还接近水平分量^②. 由图 1 还可看到, 在靠近震源沿大阪海湾的条形区域内的加速度峰值达 $500 \sim 600$ gal, 速度峰值达 40 cm/s 以上, 其分布特征与阪神地区烈度区 VII 的分布特征一致 (这里的烈度系指日本烈度).

3 强震观测记录的衰减关系与地震动持时

福岛美光用日本与美国的加速度记录进行统计分析, 得到用距震级 M_w 表示的地震加速

* 国家自然科学基金资助项目.

第一作者简介: 罗奇峰, 男, 49 岁, 副研究员, 现主要从事地震工程与防护工程、城市减灾与防灾等方面的研究工作.

① Architectural Institute of Japan. Preliminary Reconnaissance Report of the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. 1995.

② 清水建设株式会社技术研究所. 1995 年兵库县南部地震调查报告书. 1995.

度衰减关系为^③:

$$\lg A = 0.42M_w - \lg(R + 0.025 \times 10^{0.42M_w}) - 0.0033R + 1.22 - 0.14L \quad (1)$$

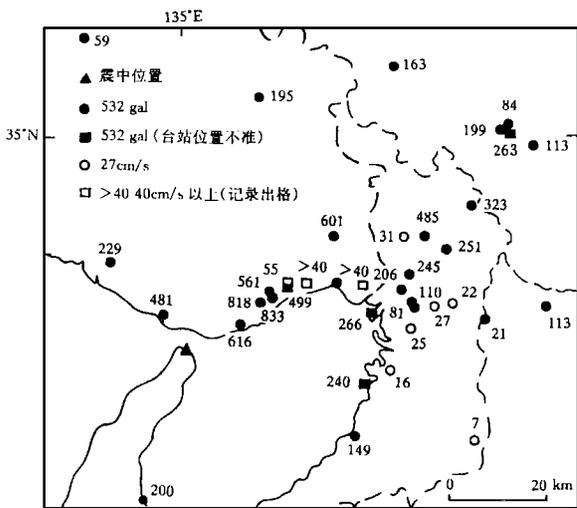


图 1 阪神地震震中和部分峰值加速度、速度分布图

Fig. 1 Epicenter of the Osaka-Kobe earthquake, recorded peak accelerations and peak velocities in Hanshin area.

度衰减关系之间. 需要指出的是, 图 2 和图 3 是取神地震矩震级 M_w 为 6.9.

在震中附近的日本气象厅所属的神户海洋气象台记录的加速度时程, 其主要强震部分的持续时间约为 10 s, 这与菊地正幸分析该次地震震源破裂过程的持续时间接近^[2]. 记录的全部波形的持续时间在 20 s 以上(图 4). 由于该次地震为城市直下型地震, 神户海洋气象台的震中距仅为 0.4 km, 因而该台记到的垂直分量较大, 其峰值为 NS 分量的 41%, EW 分量的 54%. 从图 4 还可看到, NS 和 EW 分量几乎同时达到最大值, 由于垂直分量所含 P 波成份多, 该分量稍稍先于水平分量记到加速度的峰值. 三个分量都显示, 接近峰值的强烈振动段持续时间约 6~8 s.

4 强震观测记录的谱分析

从神户海洋气象台记录到的加速度记录的傅里叶谱来看, 水平方向的傅氏谱的卓越周期在震

其标准方差为 0.29. 式中的 R 为断层距; 用日本记录时, L 取 0, 用美国记录时, L 取 1. 阪神地震后, 福岛美光取 $M_w = 7$, 用(1)式计算了加速度峰值的衰减关系, 并与已公布的峰值加速度进行对比, 结果表明两者较为吻合(图 2).

福岛美光还统计分析了基岩反应谱的衰减关系和软土地地的、用依赖于频率的 Q 值表示的场地放大因子. 小林启美等人的研究表明, 在谱强度 SI 和峰值速度 PGV 之间有如下关系^④:

$$PGV = 0.3 \times SI \quad (2)$$

于是, 可从反应谱的衰减关系推得峰值速度 PGV 的衰减关系. 阪神地震后, 福岛美光用这一方法研究了峰值速度的分布特征, 其结果如图 3 所示. 由此图可看出, 记录的速度峰值均落在基岩和软土的峰值速

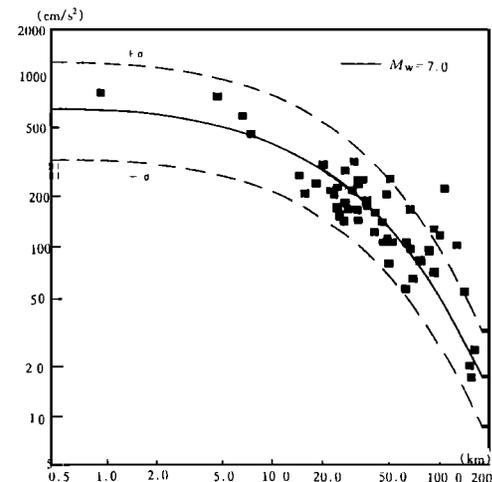


图 2 日本的峰值加速度衰减关系与记录的峰值加速度比较

Fig. 2 Attenuation relation of the accelerations in Japan and recorded accelerations during the Osaka-Kobe earthquake.

③ 福岛美光. 地震波的发生、传播的理论为背景とした人力地震动的经验的预测. 东京工业大学博士学位论文, 1994.
 ④ 小林启美, 翠川三郎, 田锁隆. 震源域周边での地震基盤からの入射波の強さについて. 日本建筑学会大会学术讲演梗概集构造系, 1978.

中地区主要分布在 0.3~2 s 附近, 竖向加速度傅氏谱的高频成份比水平向记录更丰富, 卓越周期分布在 0.2~2 s 之间. 强震观测记录的频谱成份与震源过程、波的传播途径及场地条件有关, 虽然观测台网记到的是同一震源破裂过程, 但因各台站相对震源破裂方向的方位不同,

震中距、场地条件亦有差别, 因而各台站记录的傅氏谱的特征也有所不同. 一些台站记录的加速度的傅里叶谱的峰值明显, 而神户海洋气象台记录的傅氏谱的峰值不突出, 图 5 显示南北分量在 0.3~1.5 s 周期范围的傅氏谱幅值象个平台, 相互差异不大. 为清晰起见, 在绘图 5 时, 对计算的傅氏谱数据(特别是对高频部分)进行了增大采样间隔的处理.

图 6 为神户海洋气象台记录的加速度反应谱和拟速度反应谱. 在 0.15~1.5 s 周期附近, 南北分量的加速度反应谱在 1000~2000 gal 之间, 而且在 0.3~0.5 s 周期范围内超过了 2000 gal(图 6a). 同样, 在较宽频带范围内, 南北分量的拟速度反应谱为 100~200 cm/s(图 6b). 谱分析还表明, 震源附近的竖向加速度反应谱在 0.8~1.5 s 周期范围内达 500~1000 gal, 在周期为

0.25 s 附近超过 1000 gal; 竖向拟速度反应谱在 0.4~3 s 周期范围内接近或超过 50 cm/s, 在周期为 1~2 s 间接近或超过 100 cm/s. 图 5 和图 6 都显示竖向分量的谱在高频段与水平分量的谱较接近, 而在中长周期频段要比水平分量小, 这一特点与以往的认识是一致的.

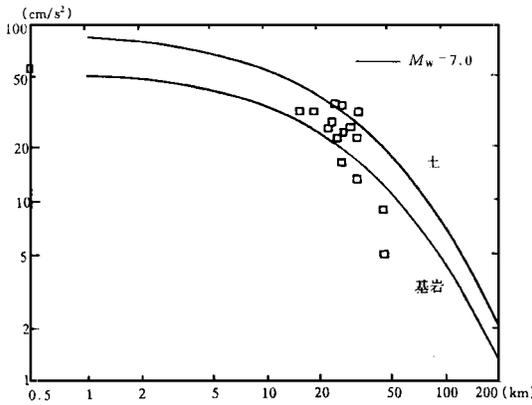


图 3 日本的峰值速度衰减关系与记录的峰值速度比较

Fig. 3 Attenuation relation of the velocities in Japan and recorded velocities during the Osaka-Kobe earthquake.

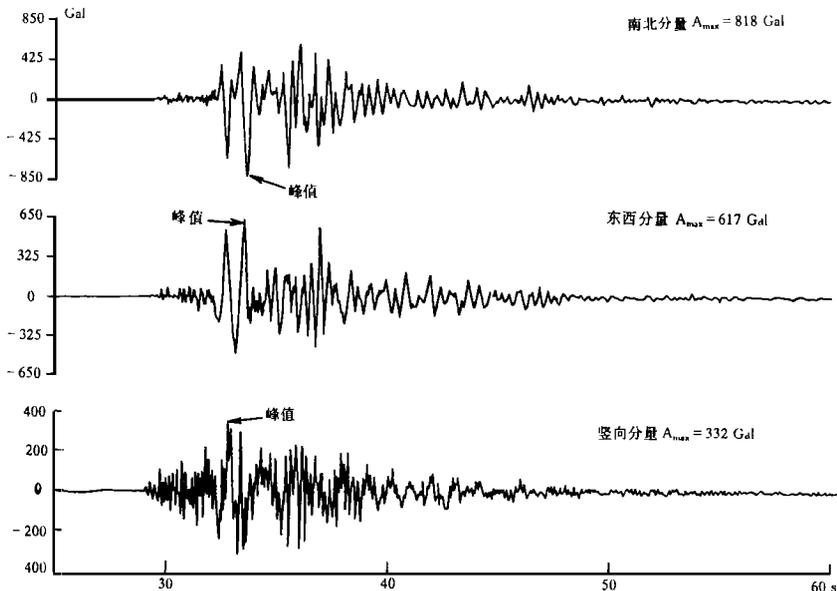


图 4 神户海洋气象台记录的阪神地震加速度时程

Fig. 4 Accelerations recorded at Kobe Maritime Meteorological Observatory.

神戸海洋气象台等观察记录的谱分析表明,无论是傅里叶幅值谱,还是加速度反应谱或拟速度反应谱,都在较宽的频带范围有较大的振幅。

5 结语

日本阪神地震近场强地面运动有以下主要特点:

- (1) 震源附近的水平加速度峰值达 600 ~ 800 gal, 速度峰值达 50 cm/s.
- (2) 竖向地震动参数与水平向地震动参数之比超过 1/3, 有的超过 1/2. 近场竖向加速度峰值达 300 gal.
- (3) 震中附近强地面运动持续时间在 10 ~ 15 s 之间.
- (4) 震中附近的加速度时程的卓越周期分布在 0.2 ~ 2 s 之间. 谱分析结果还表明,在较宽频带范围地震动的强度都比较大,加速度反应谱在 0.15 ~ 1.5 s 周期间达 1000 ~ 2000 gal, 拟速度反应谱在 0.3 ~ 2 s 周期范围内超过 100 cm/s.

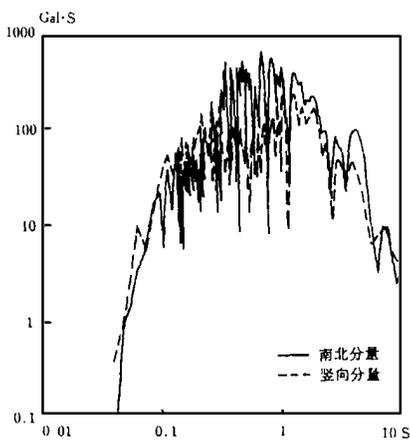


图5 神戸海洋气象台记录的加速度南北分量(图中的实线)和竖向分量(图中的虚线)的傅里叶幅值谱
 Fig. 5 Fourier spectra of the accelerations in NS direction and UD direction recorded at Kobe Maritime Meteorological Observatory.

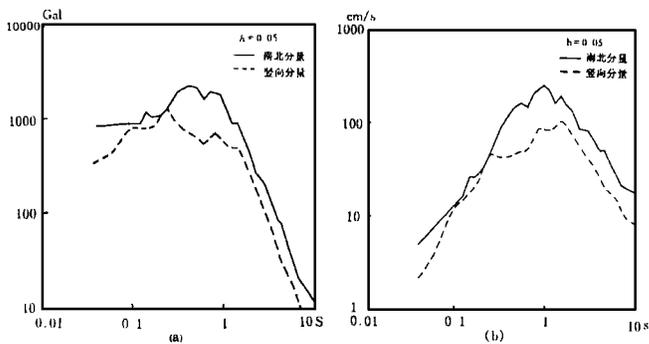


图6 神戸海洋气象台记录的加速度南北分量(图中的实线)和竖向分量(图中的虚线)的反应谱
 Fig. 6 Response spectra of the accelerations in NS direction and UD direction recorded at Kobe Maritime Meteorological Observatory.
 (a) 加速度反应谱; (b) 拟速度反应谱

本文所用日本阪神地震记录系日本气象厅 87 型电磁式强震计记录的,由日本气象厅提供. 承蒙日本清水建设株式会社技术研究所三田彰博士、该社和泉研究室坛一男博士与日本气象厅联系,并转送笔者数据. 和泉研究室的福岛美光博士和东京大学生产技术研究所童华南博士也帮助收集了部分数据和资料. 同济大学桥梁系陈伟博士在数据处理方面提供了帮助. 在此,向以上单位与个人表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 糸野 幸雄 一起. 大规模被害の元凶は主要動の周期. 科学朝日, 1995. (紧急增刊); 11 ~ 15.
- 2 菊地正幸. 破壊はこう進んだ. 科学朝日, 1953. (紧急增刊); 9 ~ 11.

参考文献

- 1 郑炳华, 徐杰, 方仲景. 首都岩石圈前新生代地质构造图. 见: 高文学, 马瑾主编. 首都圈地震地质环境与地震灾害. 北京: 地震出版社, 1994. 6.
- 2 张先康, 王椿镛, 刘国栋, 等. 延庆-怀来地区地壳细结构——利用深地震反射剖面. 地球物理学报, 1996, 39(3): 356 ~ 364.
- 3 殷秀华, 刘占波, 刘铁胜. 首都圈布格重力异常图. 见: 高文学, 马瑾主编. 首都圈地震地质环境与地震灾害. 北京: 地震出版社, 1994. 54.
- 4 张成科, 赵金仁, 任清芳, 等. 豫北及其外围地区地壳上地幔结构研究. 地震地质, 1994, 16(3): 243 ~ 254.

DISCUSSION ON STRUCTURE OF CRUST AND UPPER MANTLE AND POTENTIAL FOCAL REGION IN BADALING AND ITS NEIGHBORHOOD

REN Qingfang ZHANG Chengke ZHANG Xiankang ZHU Zhiping TANG Zhouqiong
(*Geophysical Prospection Center, SSB, Zhengzhou 450003*)

Abstract

The Seis83 programs were used in order to calculate the DSS data of Daxing-Yanqing section in Yanshan-Daxing-Yanqing profile. The structure of crust and upper mantle was obtained in Badaling and its neighborhood. The result shows that in the region, faults well developed and there is much difference in thickness of deposition layer in the shallow crust, crust structure is heterogeneous in crosswise and undulate changes of crust interface and velocity isopleth are obvious in depths, low velocity blocks exist in the partial crust. The depth of Moho discontinuity in Daxing is about 34.5 km and that in Juyongguan is about 38.5 km. A fault of Moho exists in vicinity of Yanqing.

Key words: Crust-mantle structure, Potential focus, Man-made earthquake, Badaling

(上接 55 页)

CHARACTERISTICS OF STRONG GROUND MOTIONS IN EPICENTRAL REGION OF THE 1995 Osaka-Kōbe EARTHQUAKE, JAPAN

LUO Qifeng

(*Institute of Structural Theory, Tongji University, Shanghai 200092*)

NA Xiangqian

(*Department of Civil Engineering, Qinghua University, Beijing 100084*)

Abstract

The characteristics of the strong ground motion of the 1995 Osaka-Kōbe earthquake ($M7.2$), Japan was analyzed in this paper. The results show that the peak values of horizontal acceleration in epicentral region are about 600 ~ 800 gal, the peak value of vertical acceleration is above 300 gal, the duration of the strong ground motion is about 10 ~ 15 seconds and the predominant periods is distributed from 0.2 to 2 second. The results of spectrum analysis also show that the amplitude of Fourier spectrum or response spectrum is larger than other records in a wide frequency band.

Key words: Japan, Ground motion, Spectrum, Osaka-Kōbe earthquake, Peak value of acceleration