

地面脉动的工程地质意义

林学文

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文通过对复盖层厚达400—900米以上的西安市地面脉动观测及深孔钻探资料的分析研究认为:(1)影响地面脉动频率特性的是土层的组合类型;(2)影响地面脉动频谱卓越频率的场地土层深度为140—190米;(3)不同频率特性所对应的场地土层组合类型不同;(4)影响地面脉动频率特性的主要是近地表这一层的土层结构类型。

一、前 言

在地面脉动的研究中,一直存在着两种不同的观点。以日本学者金井清为首认为,强震时地面振动特性可以由常时微动特性推测而得出。在美国有“微小振动和强震动特性是根本不同的”强烈否定论^[1]。日本学者神山真及松川忠司经过对1978年宫城县近海地震的研究得出“强震动和常时微动的谱有比较类似的频谱特性,看不出完全相似和很大差别”,“强震动和常时微动频谱相关的好坏是随地基条件而变的,特别是基岩这种坚硬地基,不完全相关是很清楚的”。因此,“在坚硬地基条件比较多的美国,促使否定的研究结果比较多^[1]”。

因为脉动与表层地基土的振动特性有关,对应于地面脉动的不同观测点,土层剖面的组合类型各不相同,则滤波效应及其地面反应的频率特性亦不相同。日本贺直恒及板尻直己^[2, 3]等均得出脉动的周期特性反应了地下构造及地表沉积层厚度的结论。此外,还有许多研究者认为脉动能反应地基土的好坏。

地面脉动是自然界和人为激起的各种振动综合作用的表现,在一定意义上可以认为其频率组成近于白噪声。若将地面脉动源作为输入,则可以看成是一个稳定随机过程。如果排除附近强干扰源的影响,把脉动作为一个稳定因素,则对这样一个随机振动源来说,由于地面脉动观测点的地形地貌条件及地表土层的组合类型和地下水位不同等,地面脉动的频谱特性也各不相同。这就是地面脉动可以在地震工程中应用的实质。地形地貌条件对地面脉动的影响已是人们所公认的,本文针对地面脉动的工程地质意义作一些探讨。

二、场地土层结构与地面脉动的关系

对于地面脉动和强震地面运动的关系的认识,有两种不同的观点。作者曾利用甘肃永登地区的爆破进行了黄土地区爆破近场地面运动的观测研究〔4〕。结果表明,爆破后与爆破前相比,地面脉动功率谱形态相似,但水平分量峰值加宽,而且最大谱幅值明显降低,对应频率移向低频端。爆破时与爆破前后相比,水平向谱形态与爆破前更为相似,但是峰值频带较宽,并移向低频端,谱幅值更高。

这个结果与1976年松潘地震时文县流动地震台记录的7.2级强震记录和台址地面脉动的谱分析结果是一致的〔5〕,即在强震的频谱中,清楚地显示出台址地面脉动的频谱特性。台址脉动富氏谱的卓越频率是2.0Hz,而强震的频谱在2.0Hz附近也有清楚的显示,不过稍向高频移动。

爆破近场地震动和强烈地震地面运动与地面脉动频谱关系的总趋势是一致的。在强震地面运动频谱特性中均有地面脉动频率特征的显示,但是主要突出了强震源的频谱特征。当场地土体结构遭受破坏时,其脉动谱的卓越频率移向低频端。

虽然有关地面脉动的基本性质尚有争议,但它主要受控于地表层土质条件这一点却几乎是公认的。但是地面脉动能反应地面以下多深范围的土层结构类型及能否用它来判别场地的组合类型,还是尚在探讨的内容。作者在参加西安市地震小区划工作中,对西安市区场地土层结构与地面脉动的关系进行了研究。

1. 影响地面脉动频谱特性的原因

西安市位于渭河河谷盆地中部的南侧,据物探资料¹⁾,第四系复盖层厚度为400—900米(图1)。作者从现有的一些钻孔剖面中选择了两组进行对比观测,一组是剖面相似但相距较远(3.5—11公里)的钻孔,另一组选孔距较近(0.6—0.8公里)的点作脉动观测的分析对比,钻孔相对位置见图2。前者可认为区域性震动源将对地面脉动的频谱特性的差异起主要作用,后者则是土层剖面的差异起主要作用。结果显示,第一组剖面的功率谱形态及频率特性相似,第二组有差异(图3 I、II)。由此可以得出,对于西安市区,影响地面脉动频谱形态及频率特性的主要因素是测点场地土层的组合类型,而不是小区域范围内的振动源。

2. 不同地表土层组合类型的功率谱特征

西安市区的沉积物大体可分为粘性土类(主要为粘土、亚粘土、轻亚粘土及黄土、黄土类土)、砂土类(由粗、中、细砂及粉细砂组成,间或夹有粘性土类)及其砾石类(主要由

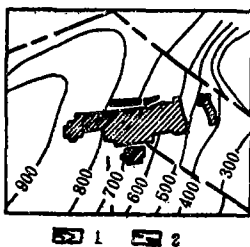


图1 西安市区第四系等厚度图

1. 等厚度线 2. 断层线

Fig. 1 Isothick line of Quaternary in Xian

1) 陕西省地震局, 陕西省构造体系与震中分布规律图, 1984

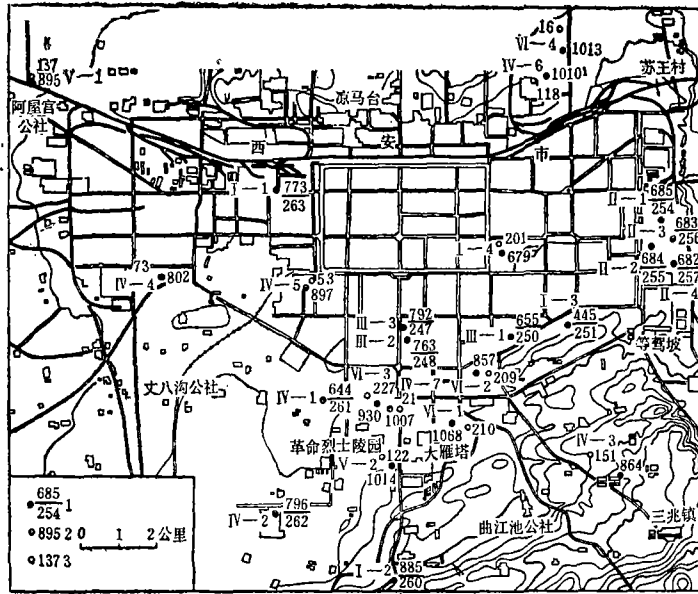


图2 西安市脉动对比组位置图

1.上部数字为钻孔编号，下部数字为测点编号 2.钻孔及编号 3.测点及编号

Fig.2 Drilling-hole situations in Xian city

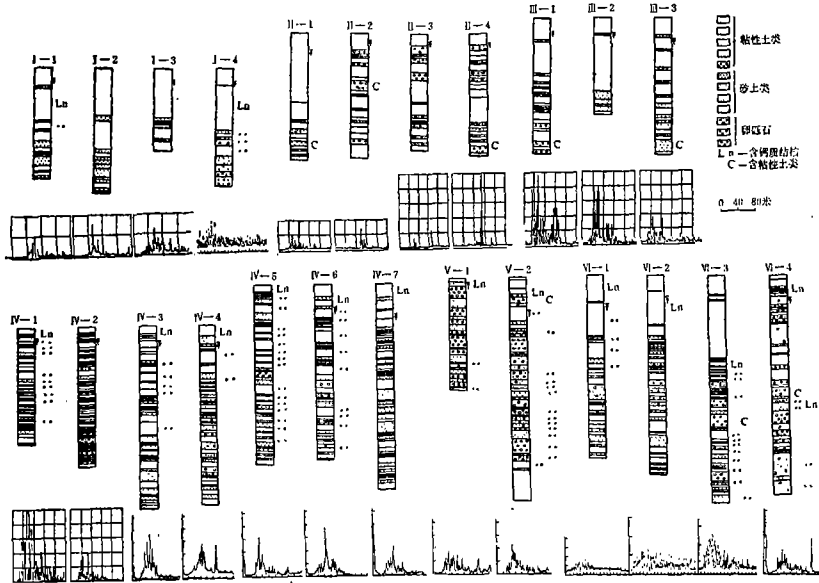


图3 脉动对比剖面及功率谱图

Fig.3 Diagram of columns associated power spectra of microtremor

砾卵石及砂组成)。对比各测点的这三种类型沉积物的功率谱，发现它们各有自身的谱形态和频谱特性。图3 I、II-1和III所表示的剖面在地表160—200米内均以粘性土类为主，间或夹有薄层砂砾石或砂层。因剖面II的粘性土均不含钙质结核，所以其功率谱卓越频率位于2.0Hz附近，其余剖面的粘性土层均因钙质结核含量不等或土质较硬，则使功率谱峰值向高

频移动,一般卓越频率为2.5—3.0Hz。谱形态上表现为峰值成分不甚丰富,谱幅值较大,体现了厚层粘性土类地面脉动的频谱特征。

图3中Ⅱ—1、3、4剖面在地表20—30米内为粘性土类,其下100—120米有2—3层5—25米厚的砂砾石层,至180—250米又夹有2—3层砂砾石层,这些剖面显示了以粘性土类为主间夹砂砾石层的土层组合频谱特征。在功率谱形态上,位于5—6Hz处呈孤峰状,而且谱幅值很大。

若地表以下230米内以粘性土类为主,间夹砂或薄层砂砾石层时,虽层厚不均匀,但表现出来的地面脉动频率特征却是相似的(图3—Ⅳ)。由于砂层松散及粘性土类强度低,则Ⅳ—2剖面的功率谱卓越频率位于2.0Hz左右,而且谱幅值很高(图3)。由于其余各剖面粘性土中含有不同数量的钙质结核,则使其卓越频率向高频移动的幅度不等,一般峰值位于2.5—3.2Hz之间,且谱幅值较大,峰值频带较宽。

若地表250米以内主要由砂卵石构成,偶夹2—3米厚的粘性土类,则其频谱特点显示多峰值,且频带较宽,但谱幅值不大;卓越频率为2.5Hz(图3—Ⅴ—1)。Ⅴ—2剖面的地表120米以内以钙质结核含量较高的粘性土类为主,夹厚18米的砾石层,其下至430米以含粘性土类的砾卵石与砂类土为主,间夹粘性土类,所以其峰值频带宽且谱幅值大。

3. 影响地面脉动频谱特性的土层深度

图3中Ⅳ—3、4、5、6、7均为孔深400米以上的剖面。Ⅵ—1、2、3剖面的地表140—190米以内均由钙质结核含量不等的粘性土类组成夹薄砂层,其谱形态及频率特性均表现出粘性土类的特征,卓越频率恰好在2.0—3.2Hz之间,峰值频带不宽,谱幅值较大。剖面Ⅵ—4在地表240米以内以粘性土类为主,粘性土类与砂类土及砾石互层,240米以下至400米以砾卵石及砂类土为主,功率谱卓越频率位于2.5Hz附近,频带较宽,但谱幅值不大,同时又在7.5Hz附近出现一个幅值较大的孤峰,体现了砾卵石及砂类土为主的地层特征。综上所述,影响西安市区地面脉动的土层深度至少是140—190米。

上述各种土层组合类型的剖面只不过是自然界形成的堆积物的典型,实际情况更为复杂。就其实质而言,每个测点的功率谱特征反应了包括区域脉动特征在内的场地土的物理力学性质和地面振动的特征。即脉动的频谱特性反应了场地土质条件,场地土层的组合类型控制了谱曲线的形态、频率特征和谱幅值。

三、结 论

通过上述分析,可以得出下列结论:

1. 不同地点的相似土层组合类型的地面脉动的频谱形态及频率特性相似,相距很近的地面脉动观测点,其频谱形态及频率特性不一定相似。地面脉动频谱特性受场地土层组合类型控制。

2. 地面脉动频谱卓越频段反应了至少是地下140—190米内土层的组合类型。

3. 不同土层组合类型的地面脉动频谱形态及频率特性不同;

- (1) 以粘性土类为主,间或夹有薄层砂砾石或砂层的土层组合,其功率谱卓越频率位于2.0Hz附近;若土层组合内含钙质结核则其卓越频率在2.5—3.0Hz之间变化,频带不甚宽,谱幅值较大。

(2) 以粘性土类为主，同时粘性土与砂或薄层砂砾石互层的土层组合，其功率谱卓越频率位于2.0Hz附近，若土层组合内含钙质结核，则其卓越频率在2.5—3.2Hz之间变化，频带较宽，谱幅值较大。

(3) 以粘性土类为主，同时粘性土与砂砾石互层的土层组合时，其功率谱卓越频率为5.0—6.0Hz，呈孤峰状，谱幅值很大。

(4) 以砾卵石为主偶夹薄层粘性土类的土层组合，其功率谱卓越频率位于2.5Hz附近，峰值较多，频带较宽，但谱幅值不大。

4. 对地面脉动频谱起主要影响的是近地表140—190米以内的土层的组合类型，若夹有2—3层3—5米厚的其他土层时，仍不改变主要土层组合类型的频谱特性。

研究地面脉动对于工程地质工作具有一定的意义。在开展城市地震小区划或作工程场地评价时，如能首先找出各个典型剖面点的地面脉动频率特征，再用少量钻探加以验证，就可以根据地面脉动的频谱特征判别场地的土层组合类型。这种方法简便易行。

(本文1985年12月5日收到)

参 考 文 献

- [1] 神山真、松川忠司，地盘の强震时と微小振动にあする振动特性の关系につて，第15回土质工学研究发表会，1981.
- [2] 多贺直恒等，浓尾平野の微动特性，第15回土质工学研究发表会，1981.
- [3] 坂尻直己，ヤヤ长周期の微动观测と地震工学への适用，地震，Vol.36, No. 3, 1983.
- [4] 林学文，永登黄土地区爆破地震动近场地面运动的研究，西北地震学报，Vol. 8, No. 2, 1986.
- [5] 林学文，1976年松潘地震强震与脉动频谱特性的分析，西北地震学报，Vol. 3, No. 2, 1981.

THE SIGNIFICANCE OF THE ENGINEERING GEOLOGY ON GROUND MICROTREMOR

Lin Xuewen

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological
Bureau*)

Abstract

There is a dispute about the principal character of the ground microtremor but it is universally accepted that the microtremor is controlled by the condition of soil character of surface of the site. On the other hand it is necessary to have a further study on how deep the soil structure is reflected from the ground microtremor and whether it can be used to identify the type of the site soil and its combination type. In this paper on the basis of observations of the ground microtremor of the cover layer of 400 to 900 m thick in Xian and the data from deep drilling, the following results have been achieved:

1. The main factor which makes an impact on the frequency of the ground microtremor is the site soil layer structure and its combinational type;
2. The depth affecting the first predominant frequency of spectrum of the ground microtremor would be 120--190m;
3. The different frequency features are associated with different sites and combinational types of soil structure;
4. The surface layer plays the main part in the impact on the frequency of microtremor.

In terms of experiments of explosions, it is seen that the soil structure can be damaged when the acceleration of the surface motion reaches 1.0 g namely 10 degrees of intensity. The frequency spectra of microtremor before and after explosions seems alike while the amplitude of microtremor after explosions descends and the peak value moves to the lower frequency end. Compared these results with the spectra of ground acceleration during the explosions, the three are extremely resemble. Similar features could be seen in the spectra of the strong ground motion recorded in Wenxian Station associated with a strong earthquake of $M=7$ in Songpan.