

土层组合及地貌单元与地震动的关系

曾 勇

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文根据西安市区200多个深度大于80米的钻孔资料,将剖面的土层组合归纳为16种类型,用Wilson- θ 法作地震反应计算得到各类剖面的地表最大加速度反应谱,勾划了西安市区最大加速度等值线图 and 反应谱类型分区图。通过分析对比作者认为,地貌单元对地震动分区有明显的控制作用,地貌单元内的土层组合对地震动起着局部的控制作用。

一、前 言

人们在研究土层组合与地震动的关系时,由于所分析的地质剖面特点及基底输入波的选取等不同,因而使研究结果有较大差异。作者认为,要得到某一地区的地震动随土层组合的变化规律,必须根据研究区的地质剖面特点作具体分析。以往的研究对基底输入波频谱特点与土层组合对地震动的共同作用考虑较少,作者将以西安市区为例讨论输入波具体的频谱特点对地震动的影响。另外,在探讨地震动的影响因素时也没有与当地的地质结构、地貌单元及其形成过程有机地联系起来。因此,导致在地震小区划实践中,往往片面地增加勘探测试点。作者认为座落在河流沿岸的河谷平原上的城市,其场地条件与河谷形成发展历史关系非常密切,河谷中不同时代的沉积物往往以不同的地貌形态表现出来,很可能地貌与地震动有一定关系。作者试图根据西安的情况来探讨这个问题。

二、地震动参数的计算结果及分析

西安位于渭河冲积平原上,地形平坦,土层基本上具有稳定的水平产状。因此在进行地震动计算时,可忽略地形和土层突变的影响。作者采用一维土柱模型的逐步积分法,基本上引用文献〔1〕中的计算程序。

西安发育着巨厚的第四纪沉积层,由十个百米钻孔测试结果可知,当深度达80米时,土层剪切波速已达500米/秒(当土层剪切波速为500米/秒时,可作为地震波输入基底),所以本文选择80米深度作为西安的地震波输入基底。根据200多个钻孔在80米内的不同土类厚度

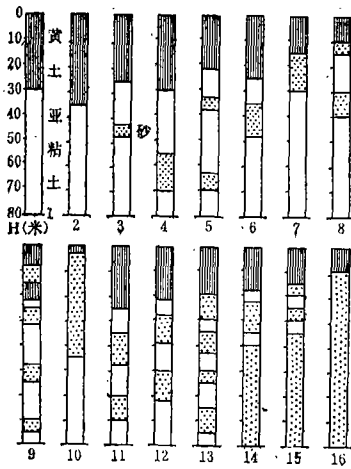


图1 西安场地土层组合剖面类型

Fig.1 The combinations of soil layers of layer section in Xian city

由波速统计结果可知，西安砂类土的剪切波速一般高于黄土、亚粘土，即砂层一般比黄土、亚粘土硬。

1. 最大加速度 (A_m)

无论是中近震波输入或是远震波输入， A_m 值都随着土层剖面的由软变硬而呈趋势性减小 (表1)。

各种土层剖面的地表最大加速度 (伽)

表1

中近震输入波	剖面编号	1	2	4	8	5	7	6	8	11	12	9	13	14	15	10	16
	最大加速度	384	388	348	327	320	285	274	270	269	260	259	249	219	208	191	182
远震输入波	剖面编号	1	2	8	4	5	11	6	14	8	15	12	9	7	13	16	10
	最大加速度	321	310	307	306	300	293	290	287	284	233	282	275	269	258	244	221

土层剖面中较硬夹层埋藏位置越浅， A_m 值越小。4号、6号和8号剖面的砂层厚度相近，但是其埋深由深到浅，所以它们的 A_m 值由大变小。

较软夹层对 A_m 值也有一定的影响。当高频成份较多的中近震波输入时，剖面中、下部的软夹层对 A_m 值有减小作用。如10号和16号剖面中、上部都为砂层，但10号剖面下部为亚粘土，16号剖面下部为砂层，因此，前者的 A_m 值比后者低 (表1)。但是当低频成分较多的远震波输入时，10号剖面的 A_m 值比16号的 A_m 值高。表明远震波输入时，软夹层对 A_m 值的减小作用表现得不明显。

2. 加速度反应谱 (β) 的形态

根据中近震波和远震波输入得到地表加速度反应谱的形态及谱峰值，可将反应谱归纳为

和埋深，归纳出16种土层组合类型 (图1)。

据西安的地震危险性分析结果，西安市有两个危险震源，一为距离50公里的中近震，一为距离110—140公里的远震，二者对西安市的影响相同，所以将反应谱峰值周期短、峰形尖锐的迁安波的峰值周期调整到0.2秒作为中近震输入波；将峰值周期长，峰形较宽缓的Elcentro波的峰值周期调整到0.36秒作为远震输入波 (图2)。

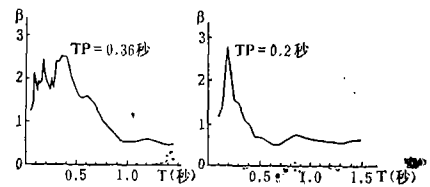


图2 Ee-centro记录和迁安记录调整后的加速度反应谱

Fig.2 Record of Ee-centro and acceleration response spectrum adjusted in Qianan record

五类(图3、图4)。图3和图4所反映的加速度反应谱形态有显著的差异。当中近震波输入时所得到的地表加速度反应谱在0.15秒—0.35秒处出现很高的峰值。在0.5秒附近出现较低的谷值,在0.7—0.9秒间出现第二峰值,峰形较为平缓(图3)。当远震波输入时,地表反应谱在0.30—0.35秒及0.63—0.8秒处出现了较高的两个峰值,0.5秒附近出现较高的峰值(图4)。可见上述反应谱形态与基岩反应谱(图2)的峰值大小及出现的位置关系很大。

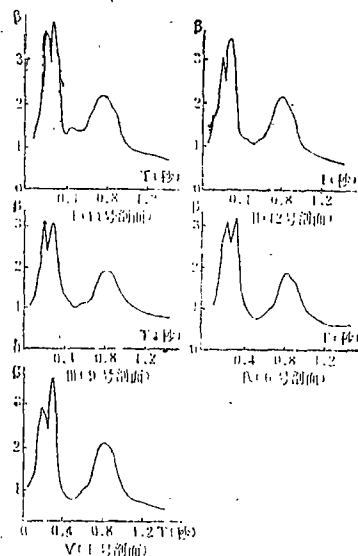


图3 中近震波输入时各类剖面的
加速度反应谱

Fig.3 Acceleration response
spectrums of each kind of
sections when wave of
middle-near distance
earthquakes is imported

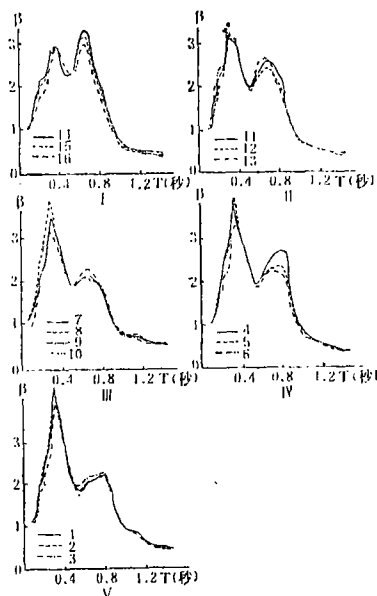


图4 远震波输入时各类土层组合加速度
反应谱(图中的1、2……为剖面编号)

Fig.4 Acceleration response
spectrums of each kind of
sections when wave of long
distance earthquake is
imported

其次,地表反应谱形态还受土层剖面类型的影响。从图4看出各类反应谱分别对应于不同特点的剖面。

3. 加速度反应谱峰值(β_m)

为了揭示地表反应谱峰值与剖面类型的关系,将各剖面的各阶自振周期、反应谱峰值及峰值周期按类型进行平均(表2、表3)。

从中近震波输入得到的结果来看(表2),除Ⅲ类外,从Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ到Ⅴ类各阶自振周期逐步增大,即土层剖面由硬变软,地表反应谱第一峰值(β_{1-1} , β_{1-2})逐渐减小,第二峰值(β_1)大体维持在一个水平上,变化规律不太明显。从远震波输入得到的结果来看(表3),除Ⅲ类外,从Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ到Ⅴ类,土层各阶自振周期增大,即土层刚度逐渐变软,这时地表反应谱的第一峰值(β_1)逐步增大,第二峰值(β_1)逐步减小。

从上述规律看出,中近震波和远震波输入所得的反应谱第一峰值随土层软硬的变化趋势相反,作者认为这与输入波本身的频谱成分有关。对于中近震波,基岩反应谱第一峰值出现

中近震波输入时各类土层剖面 表2
地表加速度反应谱峰值及其周期

类 型	I	II	III	IV	V	平均自振周期峰值周期和反应谱峰值
$\bar{T}_2$	0.174	0.183	0.188	0.183	0.194	
$\bar{T}_{I-1}$	0.21	0.21	0.21	3.21	0.21	
β_{I-1}	3.71	3.34	3.27	3.27	3.15	
$\bar{T}_2$	0.283	0.398	0.308	0.30	0.313	
$\bar{T}_{I-2}$	0.28	0.38	0.70	3.30	0.31	
β_{I-2}	3.81	3.27	3.23	3.25	3.11	
$\bar{T}_1$	0.713	0.773	0.814	0.809	0.844	
$\bar{T}_{II}$	0.75	0.81	0.825	0.825	0.830	
β_{II}	1.88	1.95	1.73	2.03	1.95	

注： $\bar{T}_1$ 表示第一阶平均自振周期

β_{I-1} 表示第一峰第一次级平均峰值

$\bar{T}_{I-1}$ 表示第一峰第一次级平均峰值周期，其余类推

远震波输入时各类土层剖面 表3
地表加速度反应谱峰值及其周期

平均自振周期峰值周期及峰值	类 型	I	II	III	IV	V
	$\bar{T}_2$	0.290	0.309	0.315	0.314	0.319
	$\bar{T}_I$	0.35	0.30	0.325	0.32	0.32
	β_I	0.89	3.33	3.32	3.64	3.88
	$\bar{T}_I$	0.729	0.803	0.838	0.831	0.858
	$\bar{T}_{II}$	0.65	0.67	0.65	0.75	0.80
	β_{II}	3.13	2.59	2.14	2.5	2.25

在0.14—0.25秒之间，高而尖锐，而各剖面的第二阶自振周期都在0.28—0.31秒之间。因此当剖面的刚度增大时，第二阶自振周期变小，向基岩反应谱第一峰值周期靠近，从而发生共振效应，使地表反应谱第一峰值增大。相反，土层刚度变小时，第二阶自振周期偏离基岩谱峰值周期，使地表谱第一峰值减小。对于远震波，当土层剖面刚度减小时，第二阶自振周期逐渐接近于基岩谱第一峰值周期，这时地表反应谱第一峰值增大。

相反，土层刚度增大时，地表反应谱峰值减小。从远震波输入所得的地表反应谱第二峰值随土层刚度的变化规律也可作同样解释。以上充分说明了地表反应谱峰值大小受输入波频谱特性和土层第一或第二阶自振周期的共同控制。

其次，软硬土层在剖面中的位置对 β_{II} 值也有影响，III类剖面就是如此。III类剖面的上部有一定份量的砂层，中、下部为亚粘土，即这类剖面上部较硬，中、下部相对较软，而V类剖面全为软土，因此III类剖面总的刚度至少比第V类大，各阶自振周期（表3）也反映其刚度比V类大。但是，III类的 β_{II} 值比任何一类都小（表3）。同样，中近震波输入时，III类的 β_{II} 值也比任何一类都小（表2）。可见象III类这样的上部较硬，中、下部较软的剖面对第二峰值具有减小作用。

三、地貌单元对地震动的控制作用

根据西安200多个钻孔岩性资料以及前面提到的16种典型土层组合的地震动特征及其变化规律，通过类比、推断就可确定各钻孔点的地表最大加速度和反应谱类型（图5、图6）。

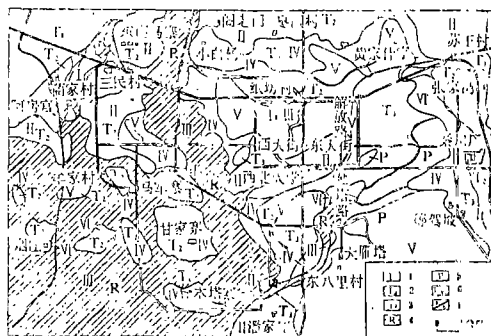


图5 西安市反应谱类型分区图

Fig. 5 The type of response spectrums in Xian city.

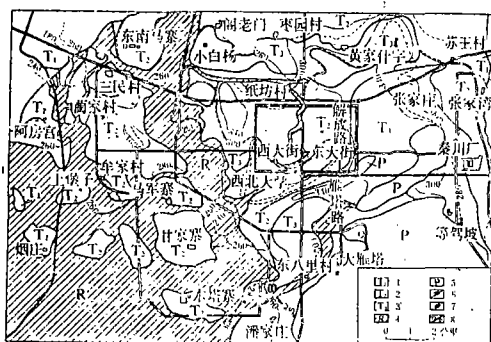


图6 西安市最大加速度等值线图
Fig.6 The isoline of maximum acceleration in Xian city

由图5可以看出,反应谱类型明显受地貌单元的控制。各类反应谱分布情况如下:

I: 分布在本区西北角,面积不大,包括整个一级阶地及临近的部分二级阶地和古河道。

II: 连续分布在西郊、北郊和东郊的周边地带,主要位于渭河二级阶地上,很小部分分布于三级阶地前缘部位。

III: 此类几乎占据了整个古河道以及东郊泾河的一级阶地。

IV: 所占面积较大,主要分布地区为:(1)西南郊古河道中岛屿状的残余二级阶地;(2)马军寨、纸坊村二级阶地;(3)北部小白杨至黄家什字一带三级阶地;(4)东郊张家庄至西等驾坡一带的三级阶地,其余在城南冶院一带也有小片零星分布。

V: 连续分布于东郊整个黄土塬和大部分三级阶地以及城里解放路、西大街至西站一带的二级阶地上,城南烈士陵园以北的三级阶地也为此类所占据。

由图6也可以看出,最大加速度值与地貌单元也有明显的对应关系。从一级阶地到黄土塬, A_m 值逐渐增大,并且加速度等值线与地貌单元界线趋于平行。

上述事实表明,地貌单元对地震动特征起着区域性的控制作用。但是由于同一地貌单元土层组合类型不同或不同地貌单元出现相似的土层组合类型,致使反应谱分区界线和加速度等值线不可能与地貌界线一致,因此土层组合对地震动起着局部的控制作用。

四、结 论

综上所述,可以得到以下几点结论:

1. 地表最大加速度 (A_m) 取决于土层组合及地震输入波的频谱特性。其总趋势为:随着中、上部土层刚度增大或硬土层埋深变浅, A_m 值逐渐增大。上部(或中、上部)较硬,中、下部(或上部)较软的土层组合具有隔震作用,在低频成份较多的波输入时,这种作用比高频成份较多的波输入时表现得显著。

2. 地表加速度反应谱形态及峰值受土层自振周期和输入波频谱特点的共同控制。当土层自振周期靠近输入波反应谱峰值周期时,地表反应谱相应周期处的峰值增大。反之,其地表反应谱峰值减小。上部较硬,中、下部较软的土层组合对长周期部份的地表反应谱峰值有减小作用。

3. 西安地区地貌单元对地震动具有区域性控制作用,特别是古河道、一级阶地和黄土塬表现得尤其明显。其次,各地貌单元内的土层组合对地震动起着局部的控制作用。所以对于

象西安这样座落在河谷冲积平原的城市，地貌单元界线对确定地震动分区和进行震害预测具有重要的意义。在进行小区划时，考虑地貌单元界线比单纯用钻孔定点法确定分区界线更为合理。但是对地形地貌复杂、土层结构为非水平状态的地区，还有待于作进一步研究。特别是对其控制地震动规律的主要因素及其作用的程度应根据具体情况作进一步的研究。

（本文是在孙崇绍老师的指导下完成的）

（本文1986年2月9日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕刘曾武、首培慈等，地震波在工程中的应用，地震出版社，1980。

RELATION BETWEEN EARTHQUAKE MOTIONS AND THE COMBINATIONS OF SOIL LAYERS AND THE TOPOGRAPHIC UNITS

Zheng Young

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

Abstract

In the paper, according to the data of more than two hundred of drill holes in the region of Xian, the author divided 16 kind of combinations of soil layers and calculated the surface maximum accelerations and response spectra of accelerations of all kind of combinations with the method of Wilson- θ . The changing rules of the earthquake motions following the change of the combinations were studied. The contour map of the surface maximum accelerations and the map of the distribution of response spectra was drawn. Contrasting the maps with the topographic map, author concluded that the topographic units control the distribution of earthquake motions regionally and that the combinations of soil elasts in the topographic units control earthquake motions concretely. The results could be used in earthquake microzonation directly.