

曹均锋、冯伟栋、董双林, 2015, 输入界面对场地地表地震动参数的影响, 中国地震, 31(2), 353 ~ 361。

输入界面对场地地表地震动参数的影响

曹均锋 冯伟栋 董双林 原贺军

安徽省地震局, 安徽合肥市长江西路 558 号 230031

摘要 本文以江淮地区典型场地资料为原型, 选取不同深度的岩层位置作为地震动输入界面, 构造多种场地土层模型, 选择 Taft、Kobe 和 Elcentro 3 条强震记录作为地震输入, 采用一维频域等效线性化波动方法重点分析了地震动输入界面对场地地表地震动参数的影响。研究结果表明, 随着输入界面深度的增加, 场地地表的峰值加速度逐渐增加, 且增加的幅度呈逐渐减小的趋势, 但输入界面深度对地表加速度反应谱特征周期的影响较小; 输入界面剪切波速值对反应谱特征周期影响有限, 但对地表峰值加速度影响较为显著, 地表峰值加速度随着输入界面剪切波速的增大而增大, 且两者的增幅呈现近似的线性关系。

关键词: 输入界面 剪切波速 峰值加速度 特征周期

[文章编号] 1001-4683 (2015) 02-0353-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

在工程场地地震安全性评价工作中, 场地土层地震反应分析主要是用水平成层模型来模拟工程场地, 并假设地震动从半无限弹性基岩空间与非均匀土层空间的交界面输入(胡聿贤, 2003)。而事实上理想的交界面并不存在, 工程中通常选取基岩顶面或者剪切波速不小于 500m/s 的土层顶面作为地震输入界面。但在实际现场勘测中, 由于部分场地覆盖层包含的强风化岩层较厚, 有的甚至超过 20m, 且强、中风化岩层界限并不明确, 常常出现终孔深度处土层剪切波速达不到 500m/s 的情况, 导致终孔土层不能满足作为输入界面的要求, 易给场地土层地震反应分析结果带来误差。

本文在前人研究成果(陈国兴等, 2005; 刘峥等, 2007; 施春花等, 2009; 王冲等, 2011)的基础上, 以江淮地区典型场地资料为原型, 选取不同深度的强、中风化岩层位置作为地震动输入界面, 采用一维频域等效线性化波动方法重点分析了输入界面的差异对场地地震动参数的影响。同时, 有研究表明输入界面剪切波速值的变化对场地地震动参数也存在一定的影响(林建生等, 2006; 曹均锋等, 2013), 本文也初步探讨了输入界面剪切波速值差异对场地地震动参数的影响。

[收稿日期] 2013-12-10; [修定日期] 2014-04-01

[项目类别] 安徽省地震科研青年基金项目 20120707 和 20140301 联合资助

[作者简介] 曹均锋, 男, 1983 年生, 高级工程师, 主要从事地震工程方面的工作。E-mail: caojunfeng2009@126.com

1 分析方法和计算参数

1.1 基本计算剖面

本文在江淮地区某场地资料的基础上,结合一维频域等效线性化波动方法的要求,确定2个典型钻孔 ZK4、ZK24 作为基本计算剖面。其中 ZK4 的覆盖层厚 42.3m,主要由填土、粘土、中粗砂和砂岩组成,属于中硬场地土;ZK24 的覆盖层厚 29.4m,主要由填土、粉质粘土、淤泥质粉质粘土、中粗砂、砾石和砂岩等组成,属于中软场地土。基本计算剖面的土层分布情况及实测剪切波速见图 1。土层非线性动力参数主要是通过现场取典型土样进行动三轴试验得到的,部分土层动力参数采用经典推荐值(袁晓铭等,2000)。

1.2 输入界面的确定

对于基本剖面 ZK4,选取土层顶面深度 23.2~42.3m 的 5 个不同位置作为输入界面;对于基本剖面 ZK24,选取土层顶面深度 20.6~29.4m 的 4 个不同位置作为输入界面,不同输入界面的相关情况见表 1。

表 1 不同输入界面的深度及剪切波速值

基本剖面	界面名称	界面 1	界面 2	界面 3	界面 4	界面 5
ZK4	土层性质	强风化砂岩	强风化砂岩	强风化砂岩	强风化砂岩	中风化砂岩
	顶面深度 (m)	23.2	27.2	31.2	41.2	42.3
	剪切波速 (m/s)	350	409	460	503	554
基本剖面	界面名称	界面 6	界面 7	界面 8	界面 9	
ZK24	土层性质	强风化砂岩	强风化砂岩	强风化砂岩	中风化砂岩	
	顶面深度 (m)	20.6	22.6	26.6	29.4	
	剪切波速 (m/s)	388	406	469	534	

1.3 输入基岩地震动

根据输入地震动的选取原则,本次选取了 Taft、Kobe 和 El centro 3 条符合要求的实际强震记录的时程(图 2),选取持时均为 40s。然后将强震记录的加速度峰值分别调整为 50gal、100gal、200gal、400gal,并将幅值缩小 50% 的时程作为基岩的地震动输入。

2 输入界面位置差异的影响分析

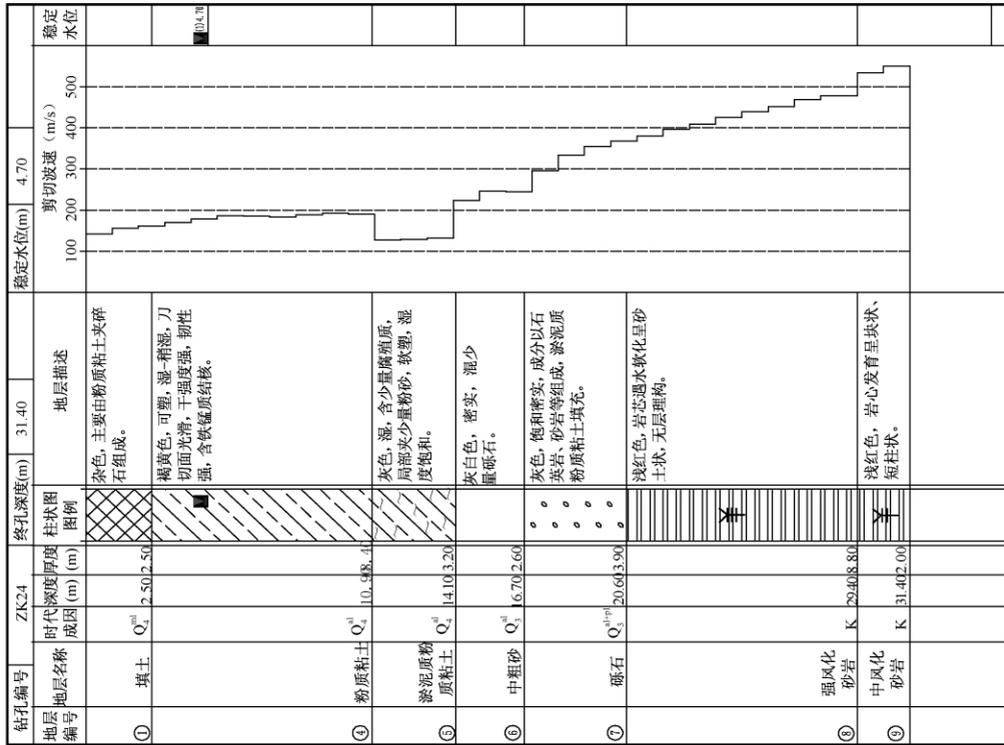
2.1 地震反应分析结果

本文基于 ZK4、ZK24 基本剖面,针对同一剖面采用不同输入界面分别建立土层反应分析模型,分别选取调整后的 3 组地震波作为输入地震动,共 108 个工况进行土层地震反应分析,得到各地表峰值加速度 A_{\max} 及反应谱的特征周期 T_g 如表 2~表 3 所示。表中 A_{\max} 和 T_g 取同一峰值下 3 条输入波计算结果的均值。其中反应谱的特征周期 T_g (s) 取反应谱平台值 $A_{\max}\beta_m$ 与表 2

不同输入界面下的峰值加速度 A_{\max} (gal)

输入峰值 (gal)	ZK4					ZK24			
	界面 1	界面 2	界面 3	界面 4	界面 5	界面 6	界面 7	界面 8	界面 9
50	64.7	67.3	74.4	75.7	81.3	74.5	76.7	80.5	87.5
100	125.4	129.6	143.2	144.6	155.5	137.8	139.8	146.5	160.5
200	245.3	252.8	276.3	277.7	296.3	252.6	251.7	250.6	253.0
400	426.2	458.0	477.3	475.3	566.6	402.6	404.1	419.4	453.0

ZK24钻孔柱状图



ZK4钻孔柱状图

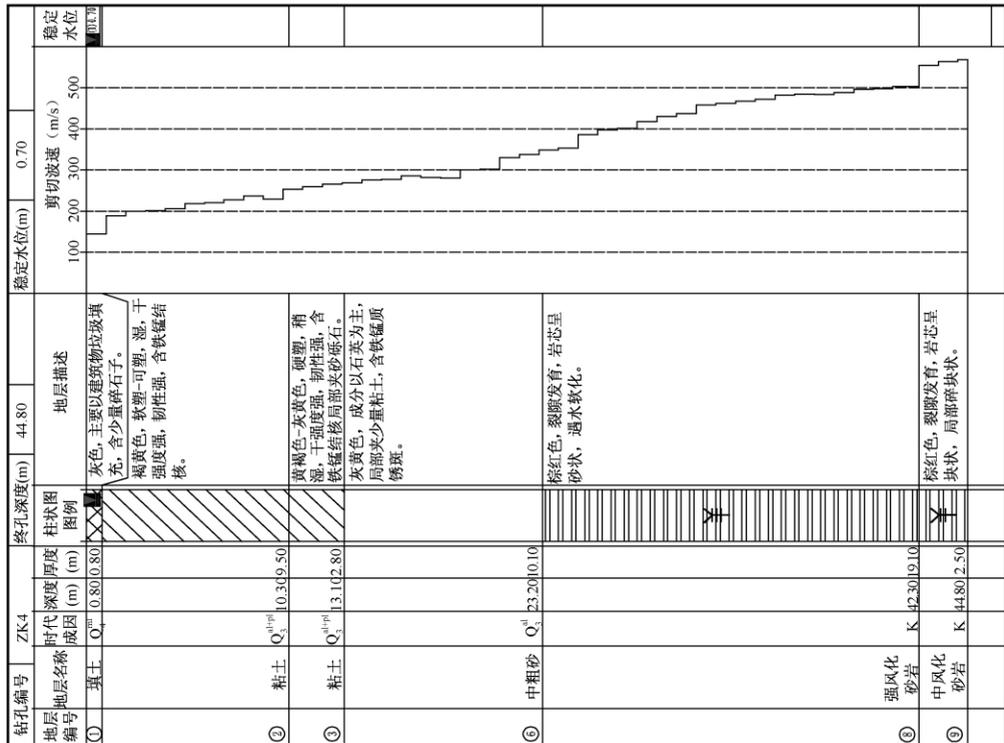


图 1 基本剖面钻孔柱状图

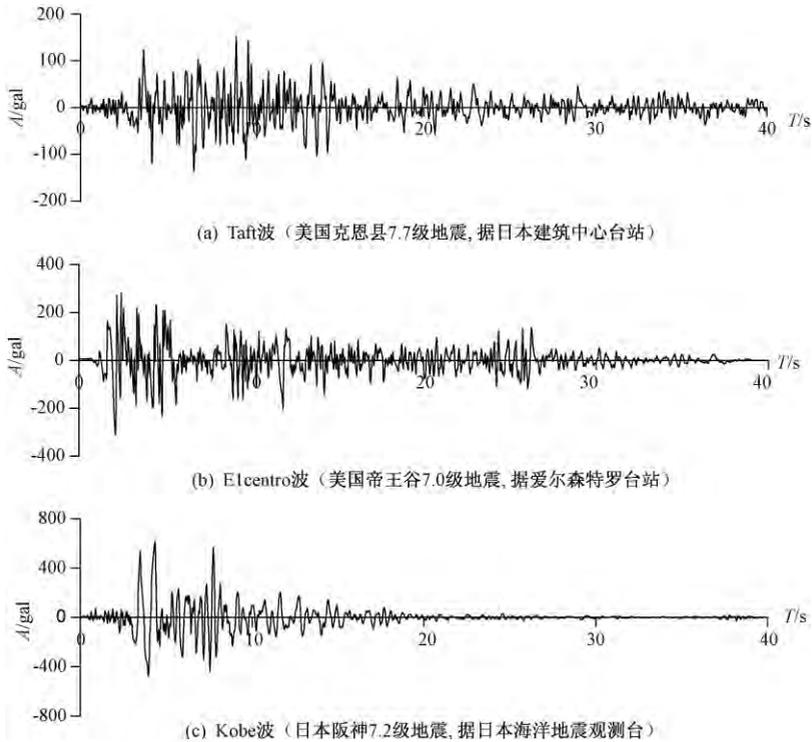


图 2 3 条基岩输入强震记录

表 3 不同输入界面下的反应谱特征周期 T_g/s

输入峰值/ gal	ZK4					ZK24			
	界面 1	界面 2	界面 3	界面 4	界面 5	界面 6	界面 7	界面 8	界面 9
50	0.63	0.63	0.62	0.62	0.63	0.71	0.71	0.71	0.72
100	0.65	0.65	0.63	0.63	0.64	0.79	0.79	0.79	0.79
200	0.65	0.66	0.65	0.66	0.69	0.93	0.94	0.95	0.97
400	0.73	0.75	0.75	0.76	0.80	1.03	1.03	1.03	1.02

反应谱曲线的右相交点的横坐标周期值,根据《中国地震动参数区划图》宣贯教材中的相关统计结果(胡聿贤等,2001),统一取本次反应谱的放大系数 $\beta_m = 2.5$ 。

图 3 ~ 4 为 ZK4、ZK24 两剖面输入 Kobe 波时不同输入界面下的地表加速度反应谱。由图可看出:

(1) 在同一基本剖面下,随着输入界面的埋深逐渐增加,地表加速度反应谱值逐渐增大,但增幅呈逐渐减小的趋势。

(2) 随着输入界面埋深的逐渐增加,地表加速度反应谱仅在 $0 \sim 1.0s$ 较短周期范围内呈现略微变化,周期越短,反应谱变化越显著,反应谱在 $1.0s$ 以后受输入界面的影响有限。

(3) 相较而言,剖面 ZK24 不同输入界面下地表加速度反应谱的差异比场地相对较硬的剖面 ZK4 差异小,表明输入界面的位置变化对场地地表地震动的影响程度与场地土层结构有关,ZK24 受软弱土的非线性变形特性影响,起到某种程度的减震作用,因此其计算结果对输入界面的变异不敏感。

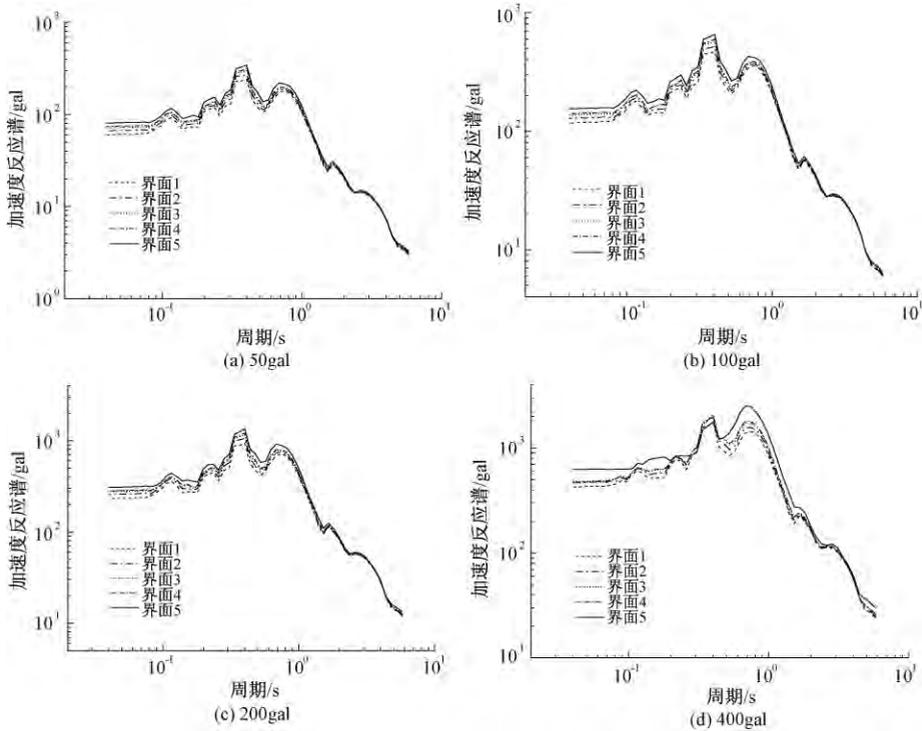


图3 ZK4不同输入界面下的地表加速度反应谱

2.2 对比分析

为直观表示差异,以中风化砂岩输入界面计算结果为基准,表4、表5分别给出了不同的强、中风化砂岩输入界面计算结果的相对偏差。

表4 地表峰值加速度对比结果

输入峰值/ gal	ZK4(与界面5比较)				ZK24(与界面9比较)		
	界面1	界面2	界面3	界面4	界面6	界面7	界面8
50	-20.4%	-17.2%	-8.5%	-6.9%	-14.9%	-12.3%	-8.0%
100	-19.4%	-16.7%	-7.9%	-7.0%	-14.1%	-12.9%	-8.7%
200	-17.2%	-14.7%	-6.7%	-6.3%	-0.2%	-0.5%	-0.9%
400	-24.8%	-19.2%	-15.8%	-16.1%	-11.1%	-10.8%	-7.4%

表5 地表加速度反应谱特征周期对比结果

输入峰值/ gal	ZK4(与界面5比较)				ZK24(与界面9比较)		
	界面1	界面2	界面3	界面4	界面6	界面7	界面8
50	0.0%	0.0%	-1.6%	-1.6%	-1.4%	-1.4%	-1.4%
100	1.6%	1.6%	-1.6%	-1.6%	0.0%	0.0%	0.0%
200	-5.8%	-4.3%	-5.8%	-4.3%	-4.1%	-3.1%	-2.1%
400	-8.8%	-6.3%	-6.3%	-5.0%	1.0%	1.0%	1.0%

从以上结果可以看出:

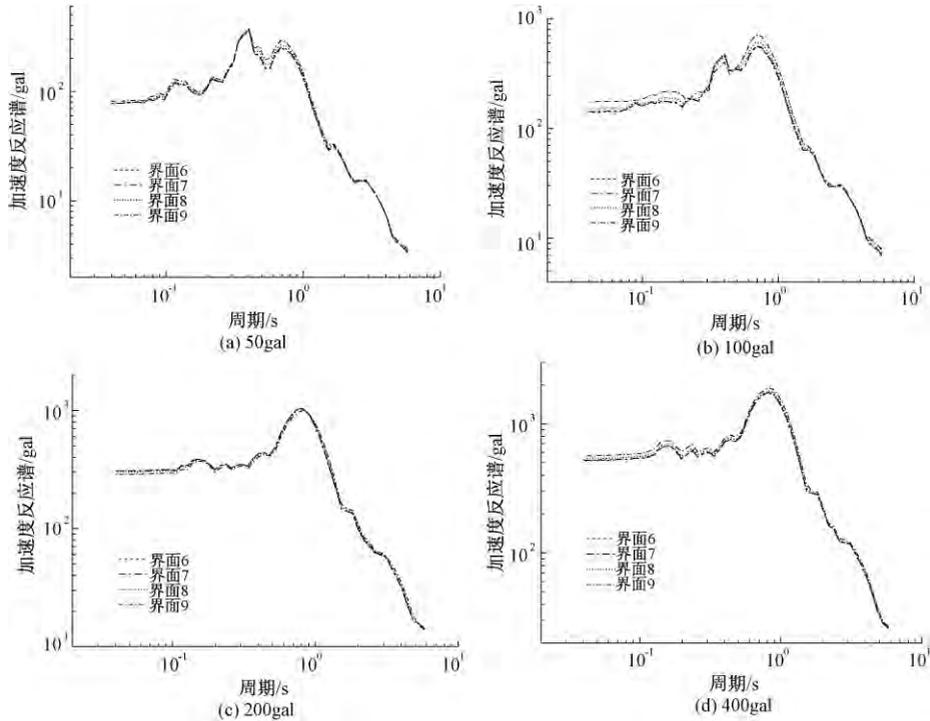


图4 ZK24 不同输入界面下的地表加速度反应谱

(1) 在同一基本剖面下,选取不同深度的强、中风化岩层作为输入界面,得到的计算结果的确存在差异。对于 ZK4 而言,地表峰值加速度的相对差异最高达 24.8%,反应谱特征周期的相对差异最高达 8.8%;对于 ZK24 而言,地表峰值加速度的相对差异最高达 14.9%,反应谱特征周期的相对差异最高达 4.3%。

(2) 随着输入界面埋深的增加,场地地表峰值加速度逐渐增大,但增幅呈逐渐减小的趋势。当选取输入界面处的剪切波速超过 450m/s 时,强、中风化岩层输入界面的峰值加速度的相对差异基本控制在 10% 以内。

(3) 输入界面埋深对地表加速度反应谱特征周期的影响有限,随着输入界面埋深的增加,地表加速度反应谱特征周期仅略微增大。

3 输入界面剪切波速值差异的影响

为分析输入界面剪切波速值差异对场地地震动参数的影响,本文以中风化岩层输入界面计算剖面作为新基本模型(即实际基岩输入面,ZK4 取界面 5,ZK24 取界面 9),在此基础上将输入界面的剪切波速值依次设为 500m/s、550m/s、600m/s、650m/s、700m/s、750m/s、800m/s,建立了 14 个新的土层模型。分别选取调整后的 3 组地震波作为输入地震动,对共 168 个工况进行土层地震反应分析,得到各地表峰值加速度 A_{\max} (gal) 及反应谱的特征周期 T_g (s) 分别如图 5 和 6 所示。从图中可以看出,输入界面剪切波速值对地表峰值加速度影响较为显著,随着输入界面剪切波速值的增大,地表峰值加速度也逐渐增大;相较而言,输入界

面剪切波速值的变化对地表加速度反应谱特征周期影响有限,地表加速度反应谱特征周期基本不随剪切波速值的增加而变化。

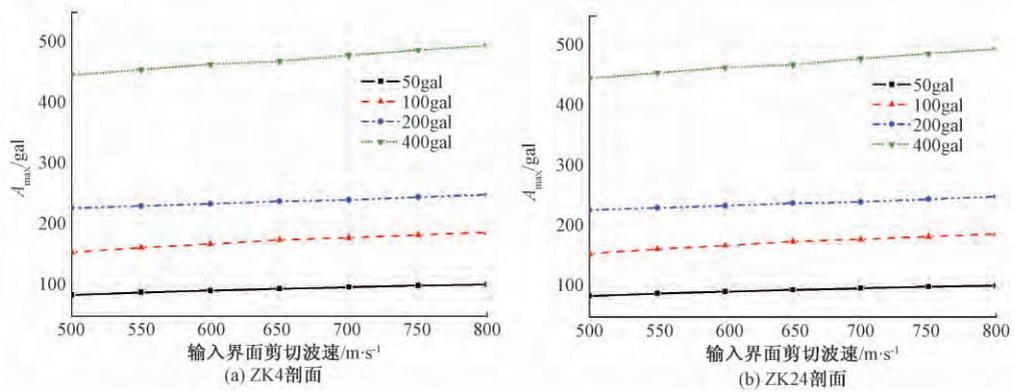


图5 输入界面不同剪切波速下的地表峰值加速度

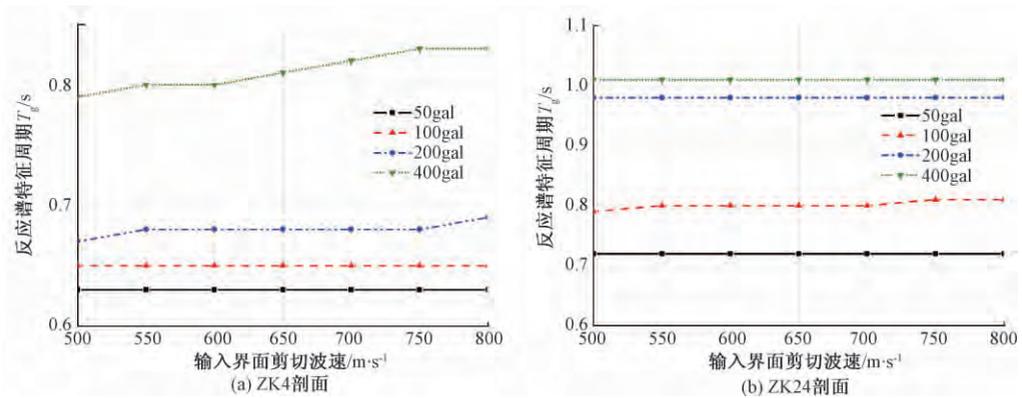


图6 输入界面不同剪切波速下的地表加速度反应谱特征周期

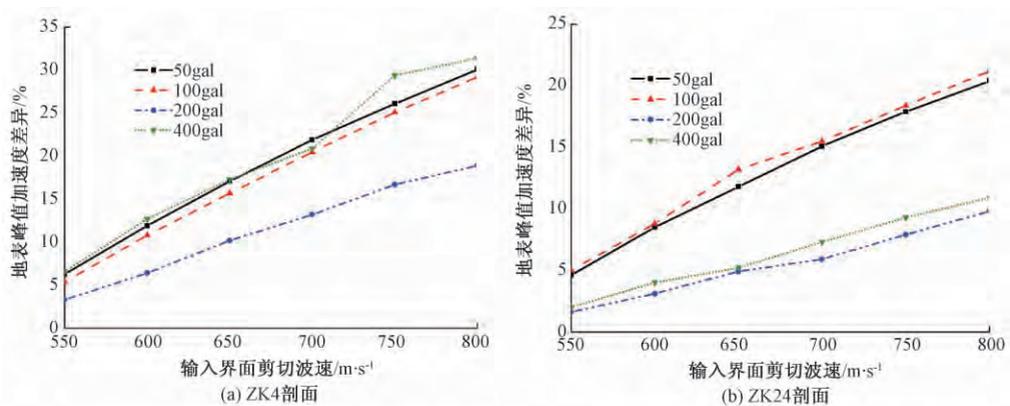


图7 输入界面不同剪切波速变化对地表峰值加速度的影响

为进一步分析输入界面剪切波速对地表峰值加速度的影响,以安评工作中输入界面的剪切波速值最低要求 500m/s 为基准,不同输入界面剪切波速下的地表峰值加速度相对偏差如表 6 所示。

从比较结果可以看出,地表峰值加速度随着输入界面剪切波速的增大而增大,且二者的增幅呈现近似的线性关系(图 7)。例如 ZK4 剖面,基岩输入峰值 200gal 条件下,当界面波速值增加 10% 时(即 550m/s),地表峰值加速度增加 3.3%,当界面波速值增加 40% 时(即 700m/s),地表峰值加速度增加 13.2%。同时,剖面 ZK24 输入界面不同剪切波速下地表峰值加速度的差异比场地相对较硬的剖面 ZK4 差异小,表明输入界面的剪切波速变化对场地地震动的影响程度也与场地土层结构有关。

表 6 输入界面不同剪切波速下的地表峰值加速度比较结果

基本模型	输入峰值 / gal	输入界面剪切波速(与 500m/s 比较)					
		550 m/s	600 m/s	650 m/s	700 m/s	750 m/s	800 m/s
ZK4	50	6.3%	11.9%	17.1%	21.9%	26.1%	30.1%
	100	5.4%	10.8%	15.7%	20.5%	25.1%	29.2%
	200	3.3%	6.4%	10.2%	13.2%	16.7%	18.9%
	400	6.6%	12.7%	17.3%	20.9%	29.4%	31.4%
ZK24	50	4.6%	8.5%	11.8%	15.1%	17.9%	20.4%
	100	5.0%	8.8%	13.2%	15.5%	18.4%	21.2%
	200	1.6%	3.1%	4.9%	5.9%	7.9%	9.8%
	400	2.0%	4.0%	5.2%	7.3%	9.3%	10.9%

4 结语

本文以江淮地区典型场地资料为原型,采用一维频域等效线性化波动方法重点分析了土输入界面位置差异及输入界面剪切波速值差异对场地地震动参数的影响。研究结果表明:

(1) 随着输入界面埋深的增加,场地地表峰值加速度逐渐增加,且增幅呈逐渐减小的趋势;但输入界面深度对地表加速度反应谱特征周期的影响有限,随着界面埋深的增加,地表反应谱特征周期仅略微增大 0.01 ~ 0.02s。

(2) 当选取输入界面处的剪切波速超过 450m/s 时,不同位置输入界面的计算结果相对差异基本控制在 10% 以内。这表明对于一些量大面广的工程,如仅考虑地表加速度峰值、地表加速度反应谱特征周期时,输入界面的选择可以适当放宽。

(3) 输入界面剪切波速值的变化对地表加速度反应谱特征周期影响有限,但对地表峰值加速度影响较为显著,地表峰值加速度随着输入界面剪切波速的增大而增大,且两者的增幅呈现近似的线性关系。由于基岩输入界面的厚度与地震反应分析结果无关,且实际计算中输入界面波速值的选取存在随意性,易使场地地表峰值加速度的取值具有可控性。建议在进一步修订地震安评规范过程中充分考虑该因素,针对输入界面的选取制定更为科学、规范的标准。

参考文献

- 曹均锋、冯伟栋、孟凡月等,2013,剪切波速对场地地表地震动参数的影响,震灾防御技术,8(3),252~260。
- 陈国兴、陈继华,2005,地震动输入界面的选取对深软场地地震效应的影响,世界地震工程,21(2),36~43。
- 胡聿贤、高孟潭、杜玮等,2001,《中国地震动参数区划图》宣贯教材,85~87,北京:中国标准出版社。
- 胡聿贤,2003,地震安全性评价技术教程,355~379,北京:地震出版社。
- 廖振鹏、李小军,1989,地表土层地震反应的等效线性化解法,地震小区化(理论与实践),141~153,北京:地震出版社。
- 林建生、陈俊峰、林子健等,2006,场地地震安全性评价中确定设计的震动参数方面若干问题的研究,世界地震工程,22(4),150~159。
- 刘峥、邓建华、钟蜀晖,2007,不同输入界面土层地震反应的探讨,贵州工业大学学报(自然科学版),36(5),68~71。
- 施春花、吕悦军、彭艳菊等,2009,地震动输入界面的选取对地震动参数的影响,中国地震,25(3),282~293。
- 王冲、薄景山、齐文浩等,2011,输入界面对地表加速度峰值的影响,地震工程与工程振动,31(6),57~61。
- 袁晓铭、孙锐等,2000,常规土类动剪切模量和阻尼比试验研究,地震工程与工程振动,20(4),133~139。
- 中华人民共和国国家标准,2005,工程场地地震安全性评价(GB 17741-2005),北京:中国标准出版社。

Effect of seismic wave inputting interface on the ground motion parameters of site surface

Cao Junfeng Feng Weidong Dong Shuanglin Yuan Hejun

Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China

Abstract Based on the data from typical sites in the Jianghuai region, many kinds of soil layer sites for the seismic response was modeled by choosing different depth strata as the seismic wave inputting interfaces. The seismic wave inputting interface effect on ground motion parameters was analyzed with the one dimension equivalent linear method in frequency domain by choosing the Taft, Kobe and Elcentro strong motion records as the earthquake input. The results show that when the inputting interface depth increases, the peak ground acceleration increases, and the increase rate decreased, but the depth changes of the inputting interface have less effect on the characteristic period of the acceleration response spectra. Meanwhile, the shear velocity variation of the inputting interface has little influence on the characteristic period of the acceleration response spectra, but it has significant influence on the peak ground acceleration. The peak ground acceleration increases with the shear velocity variation of the inputting interface, and both increase linearly approximate.

Key words: Inputting interface Shear velocity Peak acceleration Characteristic period