

石建梁, 闫庆民, 武超英. 人为干扰过的工程场地类别的判定[J]. 地震工程学报, 2017, 39(5): 907-912. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.05.907

SHI Jianliang, YAN Qingmin, WU Chaoying. Determination of the Category of Engineering Sites Disturbed by Humans[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(5): 907-912. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.05.907

人为干扰过的工程场地类别的判定^①

石建梁¹, 闫庆民¹, 武超英²

(1. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068; 2. 西安信远新技术开发部, 陕西 西安 710068)

摘要: 如何用原位剪切波速测试结果判定人为干扰(包括改造)过的场地的工程场地类别, 各个版本的相关规范、文献中均未涉及到, 以致于工程界一直存在着混乱和错误。通过对工程场地类别物理涵义的揭示及常年实测经验的总结, 本文给出解决问题的理论依据与实际方法: 首先要评价这种人为干扰的范围及深度是否会影响地震波对该场地的振动作用, 评价的依据是该场地被人为干扰体量的大小。若被改变的场地体量足够大, 要用改变后的原位剪切波速测试数据评价场地类别; 反之, 则不能简单地运用原位波速测试结果, 而是要用人为扰动层下面约 1 m 范围内原状土的原位波速测试值的 85% 替代整个扰动层的波速平均值, 进而做场地类别的统计计算和判定。因为少量的人为扰动不足以改变场地的工程类别, 却有可能改变直接的原位波速测试结果, 从而导致误判。

关键词: 场地类别; 人为干扰; 体量; 地震加速度反应谱特征周期; 等效剪切波速

中图分类号: P642.27

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)05-0907-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.05.0907

Determination of the Category of Engineering Sites Disturbed by Humans

SHI Jianliang¹, YAN Qingmin¹, WU Chaoying²

(1. Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, Shaanxi, China;

2. Xian Xinyuan New Technology Development Co., Ltd., Xi'an 710016, Shaanxi, China)

Abstract: Methods on using the test results of in situ shear wave velocity to determine the category of engineering sites that has been disturbed or transformed by humans have not been discussed in relevant codes or documents. Based on the revelation of engineering site category and the summary of actual experience for many years, this paper gives the theoretical basis and a practical method to solve the problem. It is necessary to evaluate whether the scope and depth of the disturbance is big enough to influence the effect of seismic waves on the site. The evaluation is done on the basis of site volume disturbed by humans. If the volume is large enough, for example, a three-dimensional block with a range of about 1 km² and a depth of tens of meters, it is necessary to determinate the site category using in situ test shear wave

① 收稿日期: 2016-12-22

作者简介: 石建梁(1965—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震工程与工程勘察工作。E-mail: 1090050078@qq.com。

velocity. If the volume of the site is not large enough, for example, only local disturbance, the in situ wave velocity cannot be directly used; the average wave velocity of disturbed layer should be replaced by 85% of the wave velocity in 1 m range below the disturbed layer. The reason is that a small amount of disturbance is not large enough to change the engineering category of the site but it may change the results of the in situ wave velocity test, thus leading to misjudgment.

Key words: site category; human disturbance; volume; characteristic period of seismic acceleration response spectrum; equivalent shear wave velocity

0 引言

建筑工程场地类别的判定是场地上建筑物抗震设计的重要依据。依据《建筑抗震设计规范》,原位剪切波速测试数据是其判定的定量标准。从地质学角度看,场地类别主要是第四纪地质作用的结果。但由于近现代人类的生产、生活活动,对自然地形、地貌,尤其是对局部、浅部地层的改造,许多工程场地是否已经发生了建筑场地类别的变化,以及如何再依据波速数据对场地类别进行判定,工程界一直存在有混淆和争议。规范中对此没有相关阐述;已有的文献都只是论述了对于各种各样的场地如何用不同的设备工艺、技术方法进行测试,测试结果如何应用以及测试精度等问题^[1-9]。而对于测试对象的“真实性”却未加以考虑;如某些小规模的人为干扰,并不足以改变场地的工程类别;但若直接引用在这种干扰下的测试结果进行判定,就可能歪曲了正确的场地类别。

1 工程场地的定义及其物理力学涵义

工程场地是建筑物群体所在地,具有相似的反应谱特征,一般有约 1 km² 的平面范围^[10]。依据场地的原位剪切波速测试数据,将建筑场地类别划分为 I₀ ~ IV 类^[10]。这一建立在工程地质学基础上、服务于建筑学的概念,其物理力学含义是:场地上建筑物的地震加速度反应谱特征周期是特定的。也就是说,无论场地以何种状态存在,决定场地类别的是特征周期。

因为地震波在土层内对建筑物有影响的波长范围主要在几十至几百米^[11],所以场地必须有一定的体量,是一个范围约 1 km²、深约几十米的三维地层块体,才能使地震波有发挥作用的空间。

其次场地范围很大或跨越了不同的地质、地貌单元时,或小范围内的地层在横向有剧烈变化时,由于场地的不均匀性,地震波在场地不同地段的作用结果可能不同,故可能划分出不同的场地类别。下面就对

实际存在的几种人为干扰状况及处理方法逐一说明。

2 人为干扰场地自然状态的几种实例

实例一:西安北郊草滩某工程场地,相关勘探钻孔位置图、地质剖面简图及波速测试结果见图 1~3 及表 1。

由图 1~3 及表 1 可知,相距仅 45 m 的 6# 与 13# 钻孔,尽管其所处地貌单元均属渭河一级阶地,孔口高程相差无几,但由波速测试结果判定的场地土类别却不同,分别为中硬和中软。由于该场地的覆盖层厚度远大于 50 m^①,得到的场地类别分别为

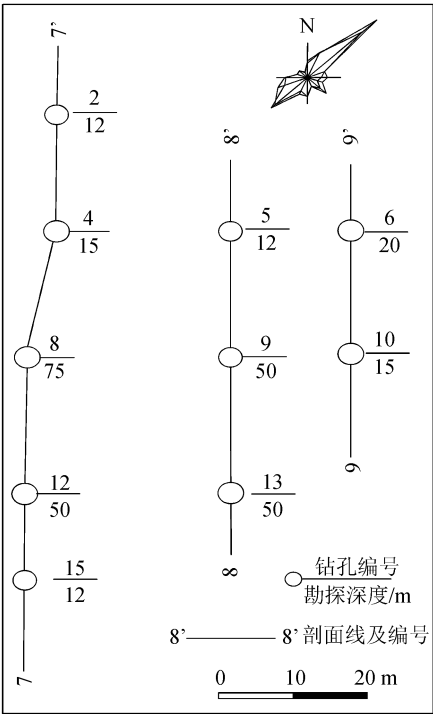


图 1 西安草滩某工程场地钻孔布置图
Fig.1 Layout of boreholes in an engineering site in Caotan, Xi'an

① 西安市鸿儒岩土科技开发有限公司,西安北方华山机电有限公司分厂 40# 住宅楼岩土工程勘察报告,2012.

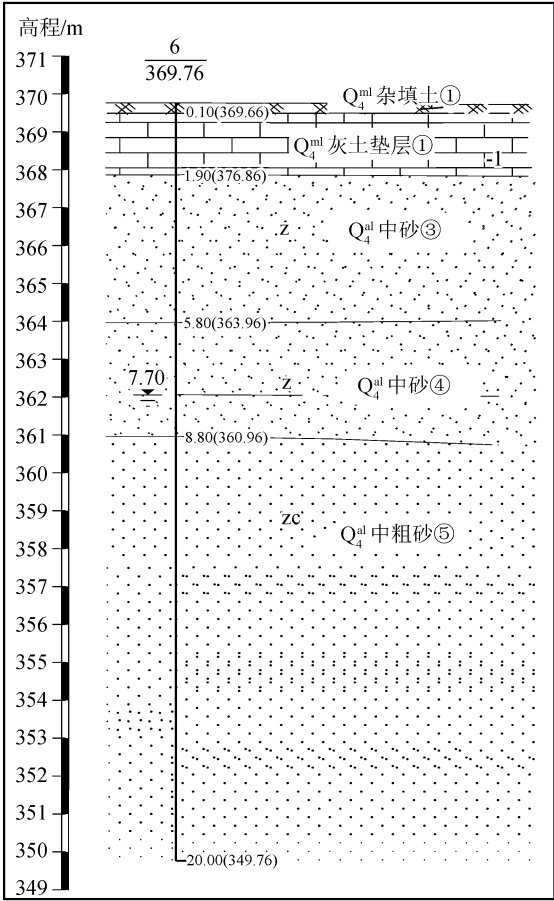


图 2 9-9'剖面简图

Fig.2 9-9' profile diagram

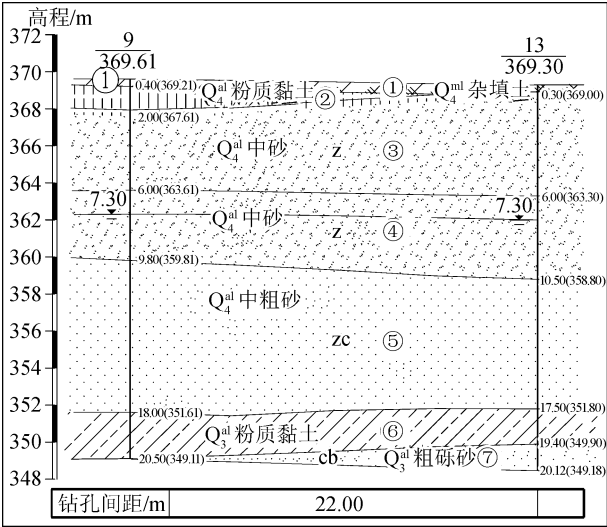


图 3 8-8'剖面简图

Fig.3 8-8' profile diagram

Ⅱ类和Ⅲ类。究其原因,是因为 6# 钻孔上部有近 2 m 厚的灰土垫层。灰土垫层是已拆除的原建筑物的基础,硬度大,波速测试值远高于原有的中砂层的波速,其测试结果提高了原本的场地土类别。但

表 1 场地剪切波速测试结果

Table 1 Results of situ tests of shear wave velocity					
深度 /m	剪切波速/(m·s ⁻¹)		深度 /m	剪切波速/(m·s ⁻¹)	
	6# 孔	13# 孔		6# 孔	13# 孔
1.0	207.13	140.39	11.0	307.68	285.87
2.0	260.11	163.12	12.0	334.46	290.18
3.0	159.58	150.25	13.0	328.81	300.27
4.0	178.79	171.46	14.0	330.05	308.92
5.0	181.22	198.72	15.0	336.66	320.16
6.0	206.49	221.87	16.0	347.79	314.58
7.0	216.67	243.54	17.0	320.59	323.27
8.0	230.46	236.45	18.0	335.71	315.96
9.0	259.74	250.17	19.0	348.97	303.24
10.0	296.52	273.69	20.0	352.20	317.35
等效剪切波速 $v_{se}/(m \cdot s^{-1})$: 6# 孔/259.64; 13# 孔/238.70					
场地土分类: 6# 孔/中硬; 13# 孔/中软					

原建筑物的地基不过几百平方米范围,深度不过 2 m。这样的体量从物理力学机制上不足以改变地震波对该场地的振动作用,故不能用 6# 钻孔波速测试结果判定场地土的类别。

实例二:西安西郊某工程场地,相关勘探钻孔位置图、地质剖面简图及波速测试结果见图 4~6 及表 2。

由图 4~6 及表 2 可见,相距仅 57 m 的 22# 与 9# 钻孔,尽管其所处地貌单元均属皂河二级阶地,孔口高程相差无几,但由波速测试结果判定的场地土类别却不同,分别为中软和中硬。由于该场地的覆盖层厚度远大于 50 m^②,得到的场地类别分别为Ⅲ类和Ⅱ类。究其原因,是因为 22# 钻孔上部有约

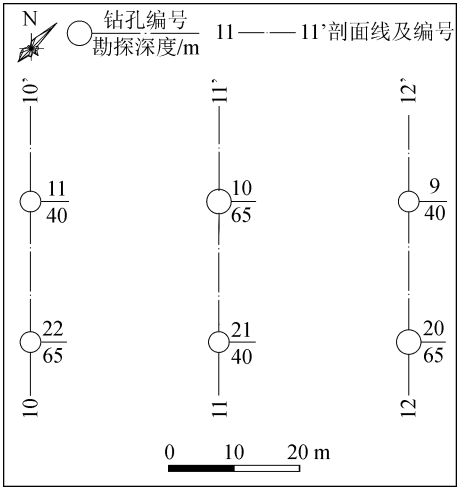


图 4 西安西郊某工程场地钻孔布置图

Fig.4 Layout of boreholes in an engineering site in the western suburb of Xi'an

② 西安市鸿儒岩土科技开发有限公司.陕西省胶合板厂单位职工集资住房项目岩土工程勘察报告.2012.

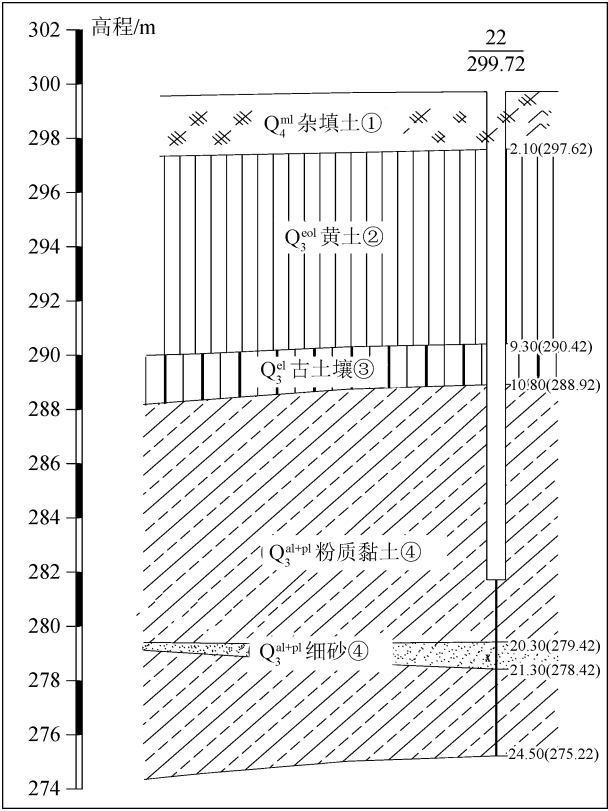


图 5 10-10'剖面简图
Fig.5 10-10' profile diagram

表 2 场地剪切波速测试结果

Table 2 Results of situ tests of shear wave velocity					
深度 /m	剪切波速/(m·s ⁻¹)		深度 /m	剪切波速/(m·s ⁻¹)	
	22#孔	9#孔		22#孔	9#孔
1.0	113.05	199.86	11.0	298.87	301.86
2.0	128.72	216.05	12.0	277.24	272.17
3.0	246.66	248.39	13.0	270.23	277.83
4.0	251.12	257.14	14.0	280.01	278.87
5.0	255.15	241.08	15.0	279.44	288.02
6.0	266.33	274.32	16.0	288.66	297.77
7.0	269.71	268.63	17.0	291.54	290.72
8.0	270.46	271.94	18.0	283.30	285.77
9.0	278.49	274.18	19.0	298.41	311.95
10.0	285.14	292.77	20.0	305.67	308.09
等效剪切波速 $v_{se}/(m \cdot s^{-1})$: 22#孔/244.86; 9#孔/269.56					
地土分类: 22#孔/中软; 9#孔/中硬					

2 m厚的杂填土。该处是一个砖厂的废料堆积场,近几十年人为随意回填形成,十分松散。波速测试值远低于原有的黄土层的波速,其测试结果降低了原本的场地土类别。但回填部分的面积不过几百平方米,深度不过 2 m。这样的体量从物理力学机制上不足以改变地震波对该场地的振动作用,故不能以 22# 钻孔波速测试结果判定场地土类别。

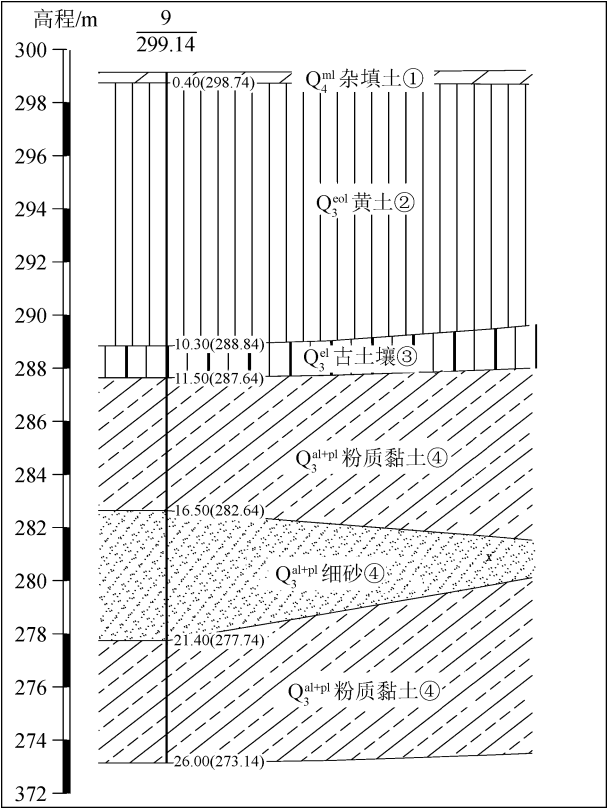


图 6 12-12'剖面简图
Fig.6 12-12' profile diagram

实例三:陕西省榆林市府谷县境内某工程场地,东西宽约 0.8 km,南北长约 1.2 km,厂区占地 42.08 hm²。场地多为黄土梁峁、丘陵沟壑地貌,地面标高一般在 860~961 m,地面坡降 3.5%~6.0%,最大高差约 100 m。厂区沟壑纵横,地形破碎,图 7 为其局部图像。设计要求对场地进行全面的挖方和填方处理,整平后分为基础底面高程分别为 910 m、905 m 和 900 m 的三个区域。图 8 为典型的场地剖面图,图中给出了整平后的场地高程线。

3 用波速数据判定人为干扰过的场地类别的方法

对于实例一、二这些情况,判定场地类别时首先应选用无人工干扰(或扰动极小)地层中的钻孔波速测试结果,例如实例一中的 13# 钻孔和实例二中的 9# 钻孔。若只有 6# 和 22# 这样的钻孔,基于①自然沉积的地层,其剪切波速值一般在浅部是随深度递增的^[9,12];②笔者多年的实测统计数据(图 9),建议采用的处理方法是:用人为扰动层下约 1 m 内原状土波速测试值的 85%替代整个扰动层的波速平均值,再进行场地类别的统计计算。实例一、二的处理结果如表 3(斜体部分是调整后的值):



图 7 榆林市府谷县境内某工程场地地形(局部)

Fig.7 Topography of the engineering site in Fugu county, Yulin city (part)

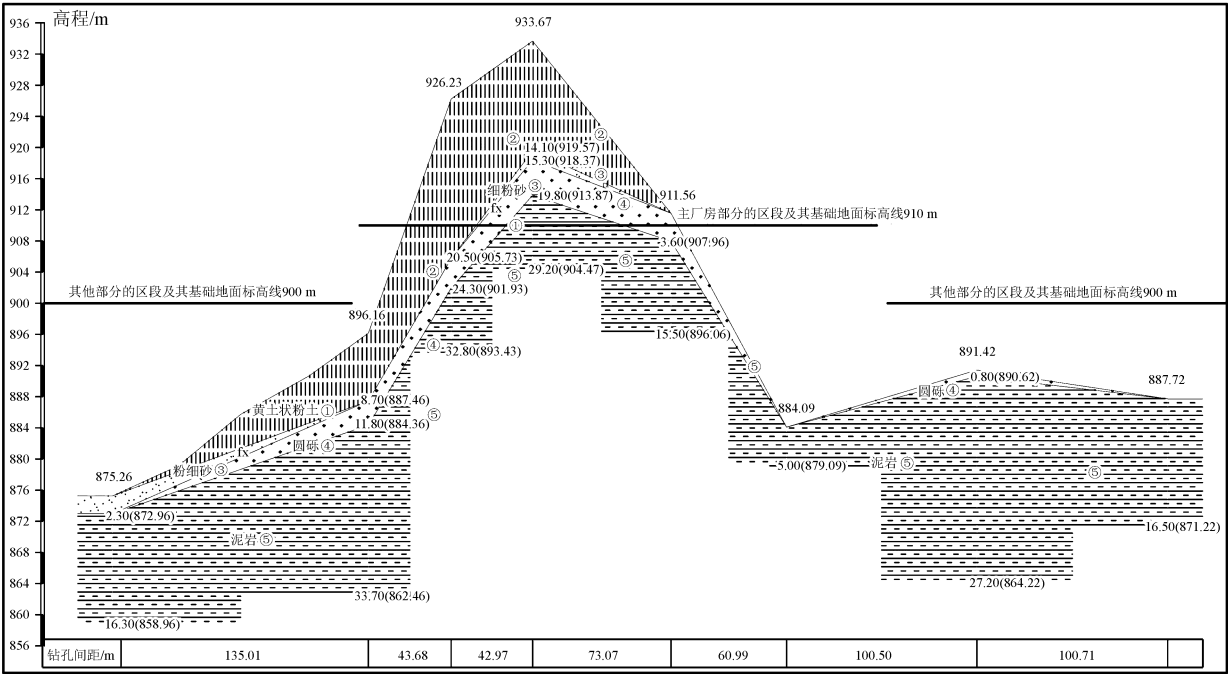


图 8 14-14'剖面简图

Fig.8 14-14' profile diagram

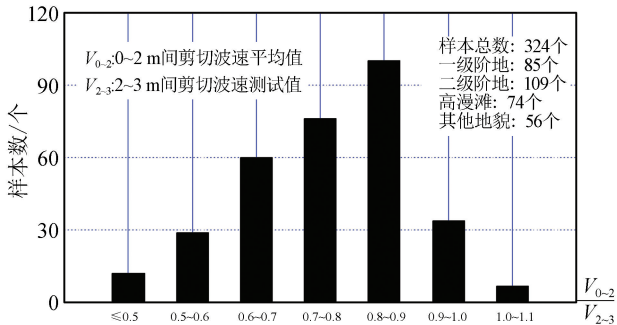


图 9 0~2 m 波速平均值与 2~3 m 波速比值的概率分布

Fig.9 Probability distribution of the ratio between average wave velocity from 0 to 2 m and wave velocity from 2 to 3 m

可见,按照上述原则调整后,由人为干扰过的地层中钻孔波速测试结果判定的场地类别,与无人干扰(或扰动极小)地层中钻孔波速测试结果判定的基本一致。

类似实例一、二的还有将建筑物基础开挖后或开挖了少许深度后,再进行原位测试的情况。

对实例三这种情况,工程场地面积高达 42.08 hm²,挖方及填方的平均厚度都达到了 30 m 左右,整平后的场地与原地形已大不相同。这样大体量的人为改变,必然在很大程度上改变地震波对该场地的振动作用,故只能用整平后场地上的波速测试结果评价场地类别。

表 3 调整前后场地剪切波速结果的对比

Table 3 Comparison between the shear wave velocities before and after adjustment

深度/m	实例一剪切波速/(m·s ⁻¹)			实例二剪切波速/(m·s ⁻¹)		
	6#孔(调整)	6#孔(实测)	13#孔(实测)	22#孔(调整)	22#孔(实测)	9#孔(实测)
1.0	135.64	207.13	140.39	209.66	113.05	199.86
2.0	135.64	260.11	163.12	209.66	128.72	216.05
3.0	159.58	159.58	150.25	246.66	246.66	248.39
v _{se}	240.67	259.64	238.70	268.09	244.86	269.56
分类	中软	中硬	中软	中软	中硬	中软

4 结论

建设工程场地类别的判定本质上取决于地震波对该场地的振动影响,即是由场地上建筑物的地震动加速度反应谱特征周期决定的。原位剪切波速测试数据只是对场地类别判定的间接性、定量化手段。对场地的人为干扰是否改变了地震波对该场地的振动作用,取决于这种干扰(改造)后场地体量的大小。对于经过大面积、深厚度的大规模人为改造的场地,例如规模大到一个范围近 1 km²、深约几十米的三维地层块体,由于其很有可能已经改变了地震波对该场地的振动作用结果,应该用改变后的原位波速测试数据评价场地类别。对于局部、浅部小范围人为干扰的场地,由于这种改变不足以造成地震波对该场地作用的变化,但原位波速测试数据却发生了变化,很可能造成工程场地类别的误判。故应对该测试数据进行合理的调整,再评价场地类别。本文给出的调整方法是:用人为扰动层下面约 1 m 范围内原状土波速测试值的 85%替代整个扰动层的波速平均值。该方法是对建设工程场地类别最接近客观现实的反映,对工程技术人员而言,也易于操作。

参考文献(References)

[1] 拾峰,杨风根,高宗旗,等.基于地基现场横波波速测试评判建筑场地类别的研究[J].地质学刊,2010,34(1):73-78.
SHI Feng, YANG Fenggen, GAO Zongqi, et al. Study on Evaluation of Construction Site Classification Based on Transverse Wave Velocity Test[J].Journal of Geology,2010,34(1):73-78.

[2] 陈昌军.场地剪切波波速测试及其应用[J].华南地震,2003,23(4):81-86.
CHEN Changjun.Shear Wave Velocity Testing of Building Site and Its Application[J].South China Journal of Seismology,2003,23(4):81-86.

[3] 刘家富,余京,康世海.剪切波速测试技术在建筑场地评价中的应用[J].地下空间与工程学报,2015(11):764-767.

LIU Jiafu, YU Jing, KANG Shihai. Application of the Shear Wave Velocity Test Technology in Evaluation of Construction Sites[J].Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2015(11):764-767.

[4] 陈卓识,袁晓铭,孙锐.波速原位测试结果标准差对较深软场地地震反应谱影响初探[J].地震学刊,2014(3):342-346.
CHEN Zhuoshi, YUAN Xiaoming, SUN Rui. Impact of Soil Wave Velocity Test Standard Deviation on Seismic Response Spectrum of a Deep and Soft Site[J].Journal of Seismology,2014(3):342-346.

[5] 狄圣杰,汪明元,张昆,等.江苏近海地层原位剪切波速相关特性及预测方法研究[J].海洋学报,2014,36(3):127-133.
DI Shengjie, WANG Mingyuan, ZHANG Kun, et al. Study on Related Features and Prediction Method of In-site Shear Wave Velocity of Offshore Stratum in Jiangsu Province[J]. Acta Oceanologica Sinica,2014,36(3):127-133.

[6] 薛锋,王庆良,胡亚轩,等.西安市岩体土剪切波速与土层深度关系的研究[J].地震工程学报,2014,36(2):249-255.
XUE Feng, WANG Qingliang, HU Yaxuan, et al. Study on the Relationship between Soil Depth and Shear Wave Velocity of Rock and Soil Mass in Xi'an City[J].China Earthquake Engineering Journal,2014,36(2):249-255.

[7] 周杨锐,董明明,吴海京,等.海洋浅层土质剪切波速与深度的关系分析[J].海洋通报,2012,31(1):63-66.
ZHOU Yangrui, DONG Mingming, WU Haijing, et al. Analysis on the Relationship between Shear Wave Velocity and Depth of Offshore Shallow Soils[J]. Marine Science Bulletin,2012,31(1):63-66.

[8] 刘红帅,郑桐,薄景山,等.粘性土剪切波速不确定性的统计分析[J].世界地震工程,2010(增刊1):99-103.
LIU Hongshuai, ZHENG Tong, BO Jingshan, et al. Statistical Analysis of Uncertainty for Shear Wave Velocity of Cohesive Soils[J].World Earthquake Engineering,2010(Supp1):99-103.

[9] 刘红帅,郑桐,齐文浩,等.常规土类剪切波速与埋深的关系分析[J].岩土工程学报,2010,32(7):86-90.
LIU Hongshuai, ZHENG Tong, QI Wenhao, et al. Relationship between Shear Wave Velocity and Depth of Conventional Soils[J].Journal of Geotechnical Engineering,2010,32(7):86-90.

the t-D Earthquake Location Method[J].Northwestern Seismological Journal,2012,34(1):10-13.

[15] 高见,张元生,郭彪,等.甘东南流动台阵微震监测结果[J].地震工程学报,2013,35(1):177-182.

GAO Jian, ZHANG Yuansheng, GUO Biao, et al. Micro Earthquake Location Determined by Portable Seismic Array Data in Southeast Gansu Province[J].China Earthquake Engineering Journal,2013,35(1):177-182.

[16] 杜兴信,邵辉成.由震源机制解反演中国大陆现代构造应力场[J].地震学报,1999,21(4):354-360.

DU Xingxin, SHAO Huicheng. Modern Tectonic Stress Field in the Chinese Mainland Inversed from Focalmechanism Solutions[J].Acta Seismologica Sinica,1999,21(4):354-360.

(上接第 912 页)

[10] 建筑抗震设计规范:GB50011-2010[S].北京:中国建筑工程出版社,2010.

Code for Seismic Desing of Buildings:GB50011-2010[S].Beijing: China Architecture and Building Press,2010.

[11] 廖振鹏,袁一凡.地震工程中的波动问题[R].1988(I):60-61.

LIAO Zhenpeng, YUAN Yifan. Fluctuations in Earthquake Engineering[R].1988(I):60-61.

[12] 工程地质手册[M].第三版.北京:中国建筑工程出版社,1998:313.

Engineering Geology Handbook[M].The Third Edition. Beijing:China Architecture and Building Press,1998:315.