

梁基冠, 程印, 赵岑, 2019. 离散 Fréchet 距离在强震台站场地分类中的应用. 震灾防御技术, 14 (4): 731—741. doi: 10.11899/zzyfy20190404

离散 Fréchet 距离在强震台站场地 分类中的应用¹

梁基冠 程印 赵岑

(西南交通大学, 土木工程学院, 成都 610031)

摘要 当强震台站场地资料不完整时, 所收集到的强震数据因缺乏准确的场地类别信息而难以有效利用。为解决这一问题, 本文提出一种基于离散 Fréchet 距离的强震台站场地分类方法。将获取到的 664 个 KiK-net 台站场地按照《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》进行分类, 并构建 2 个数据集。利用数据集 1 得到 I、II、III 类场地标准谱比曲线, 并结合离散 Fréchet 距离对数据集 2 中的台站进行场地分类, 统计分类成功率与误判率。统计结果表明, 本文方法能较准确地对场地进行分类, 且误判率在可接受范围内。将本文方法分类统计结果与斯皮尔曼秩相关系数法分类的成功率与误判率进行对比, 结合本文方法分类后得到的平均谱比曲线, 均可表明应用本文方法进行强震台站场地分类具有合理性。

关键词: 强震台站 场地分类 离散 Fréchet 距离 标准谱比曲线 数据集

引言

在地震工程中, 强震台站的场地分类具有重要意义, 合理地划分强震台站的场地类别为进一步应用强震数据奠定基础 (王珊等, 2014)。采用合适的指标和适当的方法划定强震台站场地类别是地震工程中的一项重要课题。获取台站钻孔资料时, 利用钻孔资料计算相应参数, 并将这些参数与各类指标进行对比便可划分场地类别 (中华人民共和国住房和城乡建设部等, 2010; Building Seismic Safety Council, 2003; Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2007; 蒋其峰等, 2017)。

无法获取场地钻孔资料时, 可用谱比法等经验方法对场地进行大致分类 (Borcherdt, 1970; Zhao 等, 2006; Wen 等, 2011; 温瑞智等, 2015)。经典谱比法需参考场地 (Borcherdt, 1970), 由于参考场地选取不便, 有研究者提出无需参考场地的方法, 如 Nakamura (1989) 将横竖向地脉动的傅里叶谱相比以识别场地特性; Lermo 等 (1993)、Yamazaki 等 (1997) 将该方法运用到强震台站场地分类中; Zhao 等 (2006) 使用 5% 阻尼比下的横竖向加速度反应谱比进行场地分类, 利用阻尼比产生的“一致”平滑效果, 避免傅里叶谱平滑操作带来的影响; Fukushima 等 (2007)

¹ 基金项目 国家自然科学基金青年科学基金项目 (51708460)

[收稿日期] 2018-12-19

[作者简介] 梁基冠, 男, 生于 1993 年。硕士研究生。主要从事地震动衰减关系研究。Email: leungig@163.com

[通讯作者] 程印, 男, 生于 1980 年。博士, 讲师, 硕导。主要从事地震工程相关研究。Email: chengyin19830@163.com

将 Zhao 等 (2006) 的方法应用于建立地震动衰减关系, 认为用该方法划分场地类别可降低衰减关系的标准差, 表明使用谱比法划分场地类别具有独特的合理性和适用性。利用横竖向反应谱比法对场地进行分类, 关键在于将待分类场地的平均反应谱比曲线与各类场地的标准反应谱比曲线相匹配, 不同的匹配方法对最终分类结果有很大影响 (Zhao 等, 2006; Ghasemi 等, 2009; Wen 等, 2011; 温瑞智等, 2015; 赵万松, 2017)。因此, 对现有匹配方法进行改进, 以期达到更好的分类效果是当前使用谱比法进行场地分类研究的热点问题。利用待分类场地谱比曲线与标准谱比曲线之间的相似性可对场地进行分类。Fréchet 距离是一种判别 2 条曲线相似性的工具 (Alt 等, 1995), 两曲线间的 Fréchet 距离越小则越相似。Alt 等 (1995) 提出计算两多边形链的连续 Fréchet 距离算法; Eiter 等 (1994) 提出两多边形链的离散 Fréchet 距离算法, 并认为离散 Fréchet 距离可作为连续 Fréchet 距离的近似; Eiter 等 (1994) 提出的“耦联法”具有概念明确、计算效率高等特点, 因而本文采用该方法计算离散 Fréchet 距离, 并以此为基础进行场地分类。

首先基于《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》对从日本 KiK-net 强震台网获取的 664 个具有钻孔资料的强震台站进行场地分类, 构建 2 个数据集, 并求得数据集中各条记录的横竖向反应谱比。在此基础上, 计算数据集 1 中各类场地的标准谱比曲线和数据集 2 中的各台站平均谱比曲线。最后, 基于离散 Fréchet 距离重新划分数据集 2 中各台站的场地类别, 并统计此方法分类结果, 通过与斯皮尔曼秩相关系数法进行对比, 并将应用本文方法分类得到的平均谱比曲线与标准谱比曲线进行对比, 以校验本文分类方法的合理性。

1 离散 Fréchet 距离

离散 Fréchet 距离是连续 Fréchet 距离的一种近似, 用多边形链近似代替曲线, 通过计算两多边形链间的 Fréchet 距离, 并以此作为两曲线间 Fréchet 距离的近似。根据 Eiter 等 (1994) 提出的“耦联法”, 在某种情况下将两多边形链 P 、 Q 的节点连接起来 (即速度组合):

$$(u_{a1}, v_{b1}), (u_{a2}, v_{b2}), \dots, (u_{am}, v_{bm}) \quad (1)$$

式中 u_{ai} 、 v_{bi} 分别为多边形链 P 、 Q 上的节点。

该速度组合下的最大绳长为:

$$\|L\| = \max_{i=1,2,\dots,m} d(u_{ai}, v_{bi}) \quad (2)$$

式中 $d(u_{ai}, v_{bi})$ 为多边形链 P 、 Q 上 2 个节点间的欧氏距离, 则多边形链 P 、 Q 间的离散 Fréchet 距离为:

$$\delta_{dF} = \min \{ \|L\|, L \text{ 为各速度组合下连接 } P \text{ 与 } Q \text{ 之最大绳长} \} \quad (3)$$

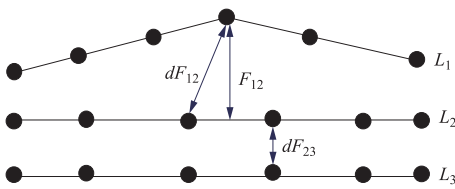


图 1 离散 Fréchet 距离与多边形链相似性

Fig.1 Discrete Fréchet distance and similarity between polygonal chains

Fréchet 距离、离散 Fréchet 距离和多边形链相似性之间的关系如图 1 所示, 由图 1 可知, dF_{12} 及 dF_{23} 为多边形链 L_1 与 L_2 、 L_2 与 L_3 之间的离散 Fréchet 距离, 且 $dF_{12} > dF_{23}$, L_2 与 L_3 最为相似。另外, F_{12} 为 L_1 与 L_2 间的 Fréchet 距离, $F_{12} < dF_{12}$, 即 Fréchet 距离小于离散 Fréchet 距离。强震台站地震动记录的横竖向反应谱比曲线也可视为多边形链, 因此可用类似思路划分场地类别。本文

采用 Eiter 等 (1994) 提出的算法, 通过计算 3 类场地的标准谱比曲线与数据集 2 中各场地的平均谱比曲线间的离散 Fréchet 距离, 进而划分待分类场地的类别。

2 KiK-net 台站标准谱比曲线

2.1 Kik-net 台站场地分类

《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》使用“双指标”划分场地类别, 即由场地覆盖层厚度和等效剪切波速共同决定场地类别。《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》中, I 类场地被划分为 I_0 和 I_1 两个亚类, 为保证数据量足够多, 本文将二者合为 I 类。

日本 KiK-net 强震台网由 692 个台站组成, 分布在日本各地, 各台站均有深达基岩的钻孔数据 (钻孔深 100m 左右)。各台站均由 2 组三分量加速度计组成, 分布于地表及孔底 (Okada 等, 2004)。自台网运行以来, 收集到大量地震动数据, 对研究场地效应、地震动衰减模型等具有重要意义。按照《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》中场地分类方法, 对 664 个 KiK-net 台站进行场地划分, 分类结果如表 1 所示, 台站分布如图 2 所示。由于 IV 类场地数量较少且《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》中 IV 类场地基本为深软场地, 我国强震台站处于该类场地的可能性较小 (温瑞智等, 2015), 本文只制作 I、II、III 类场地标准谱比曲线。

表 1 KiK-net 台站场地分类结果

Table1 Classification result of KiK-net stations

场地类别	数量	比例/%	描述
I	94	14.16	包括 I_0 跟 I_1
II	481	72.44	-
III	36	5.42	-
IV	4	0.60	-
5 (剔除)	43	6.48	含有推测剪切波速
6 (剔除)	6	0.90	含有软夹层

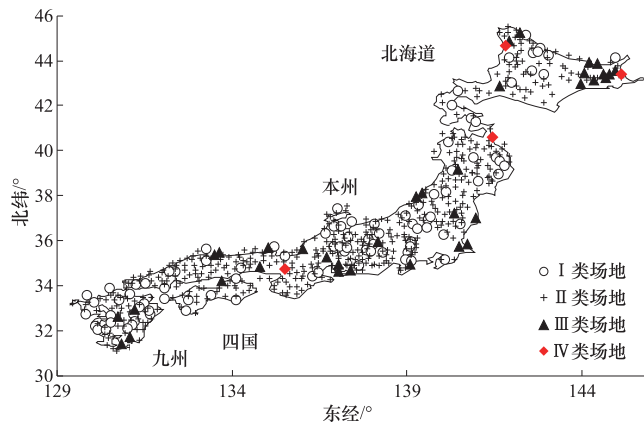


图 2 Kik-net 台站场地类别及分布

Fig.2 Site class and distribution of Kik-net stations

在 I、II、III 类场地台站中随机选定数据集 1 的台站, 剩下的台站归入数据集 2。数据集 1 选取大部分台站, 用于获取对应场地类别的标准横竖向反应谱比曲线; 数据集 2 用于计算所选台站的平均横竖向反应谱比曲线, 并利用本文分类方法重新划分台站场地类别, 如表 2 所示。

表 2 地震动记录选取信息

Table 2 Details on ground motion record selection

场地类别	数据集 1			数据集 2		
	场地数量	记录数量/组	记录占比/%	场地数量	记录数量/组	记录占比/%
I	61	4153	26.06	25	1418	31.99
II	367	8624	54.11	33	2294	51.76
III	24	3160	19.83	4	720	16.25

2.2 标准谱比曲线

分别计算数据集 1 中每条地震动记录 3 个分量 5% 阻尼比下的加速度反应谱, 对 2 个水平分量的反应谱值进行几何平均, 再将几何平均值与竖向反应谱值相比, 即可获得单条记录的谱比曲线。对于某一类场地, 将该类场地上所有的横竖向反应谱比曲线求几何平均, 可得到该类场地标准谱比曲线。对数据集 1 中的地震动记录进行计算, 得到 I、II、III 类场地标准谱比曲线及自然对数标准差曲线, 如图 3 所示。Zhao 等 (2006) 及其他研究者 (Ghasemi 等, 2009) 的研究均表明, 不同震级、距离下的谱比曲线区别不大, 因此谱比曲线主要反映场地效应。由图 3 (a) 可知, I 类场地标准谱比曲线在反应谱周期为 0.1 s 时达到最大值, 最大值为 2.4 左右, 峰值区为 0.07—0.12 s, 整体趋势为先升后降; II 类场地标准谱比曲线在反应谱周期为 0.2 s 时达到峰值, 峰值为 2.5 左右, 峰值区为 0.15—0.25 s, 整体趋势也为先升后降; III 类场地标准谱比曲线有 2 个峰值区, 第 1 个峰值区为反应谱周期 0.12 s 附近, 第 2 个峰值区为 0.4—1.05 s, 峰值为 2.8 左右, III 类场地峰值区范围较 I、II 类场地广, III 类场地标准谱比曲线最大值出现在反应谱周期为 0.5 s 时。总体上, 本文得到的 3 条标准谱比曲线具有良好的区分度。由图 3 (b) 可知, 本文得到的 3 类场地标准谱比曲线自然对数标准差为 0.36—0.60, 且随着周期的增加, 各类场地自然对

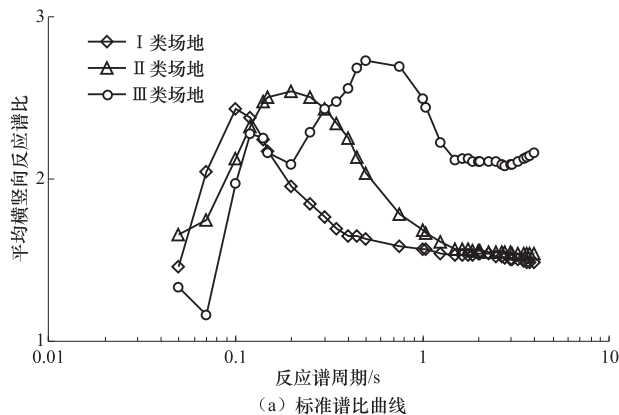


图 3 3 类场地标准谱比曲线及其自然对数标准差曲线

Fig. 3 Standard spectra ratio curves and natural logarithmic standard deviation for three site classes

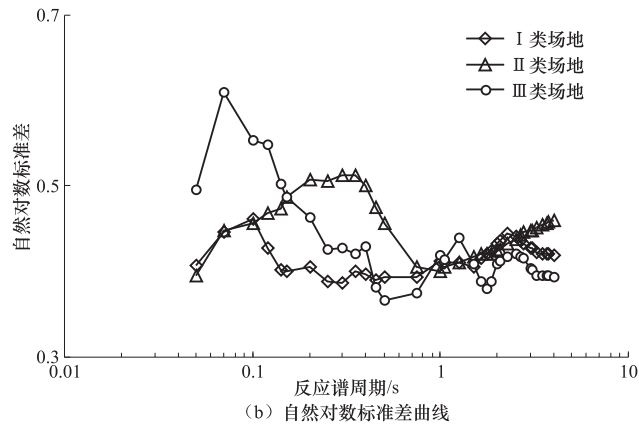


图 3 3 类场地标准谱比曲线及其自然对数标准差曲线

Fig.3 Standard spectra ratio curves and natural logarithmic standard deviation for three site classes

数标准差逐渐稳定，其范围与其他研究者的结果较为接近（Zhao 等，2006；Ghasemi 等，2009；温瑞智等，2015）。因此，本文所得的标准谱比曲线及其自然对数标准差具有合理性。

3 场地分类结果与校验

3.1 场地划分算例

根据离散 Fréchet 距离概念及算法，结合本文得到的 3 条标准谱比曲线划分场地类别。本例选用 KiK-net 台站 KGWH03 钻孔信息，根据《建筑抗震设计规范（GB 50011—2010）》，由钻孔信息划分场地类别，结果如表 3 所示。

表 3 KGWH03 场地钻孔及场地分类

Table3 Boring Information and Site Classification of KGWH03

层序	厚度/m	剪切波速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	5.00	600.00
2	19.00	1820.00
3	26.00	2400.00
4	—	2950.00
等效剪切波速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		600.00
覆盖层厚度/m		5.00
场地类别		I

使用本文方法对 KGWH03 进行场地划分，结果如图 4 所示。由图 4 可知，场地 KGWH03 平均横竖向反应谱比曲线总体上较为平坦，在 0.07s 附近达到峰值，然后逐渐下降，0.1s 后的下降趋势基本与 I 类场地平均谱比曲线一致。KGWH03 谱比曲线在 0.1s 时出现凹陷，主要由该场地的数据分布造成。此外，单个场地与整类场地的数据量差异也是造成凹陷的原因之一。II 类场地标准谱比曲线峰值出现在 0.2s，整个曲线的形状与 KGWH03 平均谱比曲线差异较大。而 III 类场地标准谱比曲线具有 2 个峰值，下降段斜率更大，与 KGWH03 平均谱比曲

线差异明显。总的来说, KGWH03 平均谱比曲线与 I 类场地标准谱比曲线最为相似。算得 KGWH03 平均谱比曲线与 I、II、III 类场地离散 Fréchet 距离分别为 0.777、0.923、1.321 (见图 4), 因此可将 KGWH03 划分为 I 类场地。由本例可知, 谱比曲线间的相似度越高, 离散 Fréchet 距离越小, 利用 Fréchet 距离可较合理地划分场地类别。需注意的是, 本例中 KGWH03 平均谱比曲线与 3 条标准谱比曲线的离散 Fréchet 距离恰好为标准谱比曲线峰值与对应周期上平均谱比曲线的差值, 但对于其他台站可能并非如此, 须根据“耦联法”计算结果具体分析。

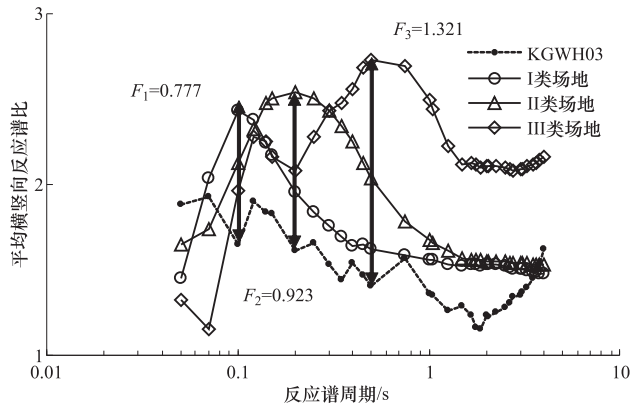


图 4 离散 Fréchet 距离场地分类算例

Fig.4 Site classifications using discrete Fréchet distance

3.2 场地划分结果对比

为统计利用离散 Fréchet 距离进行场地分类的效果, 现定义分类成功率和误判率分别为:

$$P_i = \frac{\text{分类结果与规范分类皆为 } i \text{ 类数量}}{\text{规范分类为 } i \text{ 类数量}} \quad (i=1, 2, 3) \quad (4)$$

$$P_{ij} = \frac{\text{规范分类为 } i \text{ 类而分类结果为 } j \text{ 类数量}}{\text{规范分类为 } i \text{ 类数量}} \quad (i, j \text{ 为 } 1, 2, 3 \text{ 且 } i \neq j) \quad (5)$$

式中 P_i 为使用本文方法对数据集 2 中 i 类场地重新分类的成功率; P_{ij} 为重新分类时将原属于 i 类的场地错误划分为 j 类的误判率。

为校验本文方法的合理性, 另采用 Ghasemi 等 (2009) 提出的斯皮尔曼秩相关系数 ρ 对数据集 2 中的场地进行分类, 需分别计算待分类场地地震动平均谱比曲线与各标准谱比曲线间的 ρ 值, 并将待分类场地划分为最大 ρ 值对应的场地类别, 斯皮尔曼秩相关系数定义如下:

$$SI = \rho = 1 - 6 \sum \frac{d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (6)$$

式中 d_i 为第 i 个反应谱周期处待分类场地平均谱比曲线与标准谱比曲线间的差; n 为反应谱所用周期点数。 ρ 越接近 1 表示两曲线越相似。

使用本文基于离散 Fréchet 距离的场地分类方法及斯皮尔曼秩相关系数法分别对数据集 2 中的场地进行分类, 统计分类成功率及误判率, 结果如图 5 所示。当本文方法将

数据集 2 中的 I、II、III 类场地重新划分为 I、II、III 类时即为成功，否则为失败。图 5 中，横坐标“II 类场地”表示重新对数据集 2 中的场地进行分类，最终结果显示为 II 类场地的部分。

由图 5 可知，使用本文方法时，I 类场地成功率为 56.00%，低于斯皮尔曼秩相关系数法所得 68.00% 的成功率。本文方法 $P_{12}=24.00\%$ ， $P_{13}=20.00\%$ ；而斯皮尔曼秩相关系数法 $P_{12}=24.00\%$ ， $P_{13}=8.00\%$ 。可知本文方法将 I 类场地误判为 II、III 类场地的概率接近，而斯皮尔曼秩相关系数法主要将 I 类场地划分为 I、II 类场地。造成此种差异的原因为本文数据集中 I 类场地平均谱比曲线受数据量不足的影响，其形状与 I 类场地标准谱比曲线差异较明显，某些场地的平均谱比曲线可能凹凸较多，其与 I 类场地标准谱比曲线的离散 Fréchet 距离大于 II、III 类场地，造成误判。而斯皮尔曼秩相关系数法是对 2 条曲线间的差值求和，一般来说 I 类场地平均谱比曲线的值均小于 I 类场地标准谱比曲线的值，而 II、III 类场地标准谱比曲线的值则比 I 类场地标准谱比曲线的值大，所以更易区分。对于 II 类场地，斯皮尔曼秩相关系数法划分成功率为 39.39%，小于本文方法，且斯皮尔曼秩相关系数法 $P_{23}=42.42\%$ ，即成功率与误判率接近，说明斯皮尔曼秩相关系数法难以准确区分 II、III 类场地；而本文方法则不然，不仅划分成功率较高，且误判率和成功率之间的差异也较大，即误判风险较小。对于 III 类场地，本文方法划分成功率为 75.00%，大于斯皮尔曼秩相关系数法，说明本文方法在对 III 类场地的划分上较优。因此，本文方法总体表现较好，具有一定合理性。

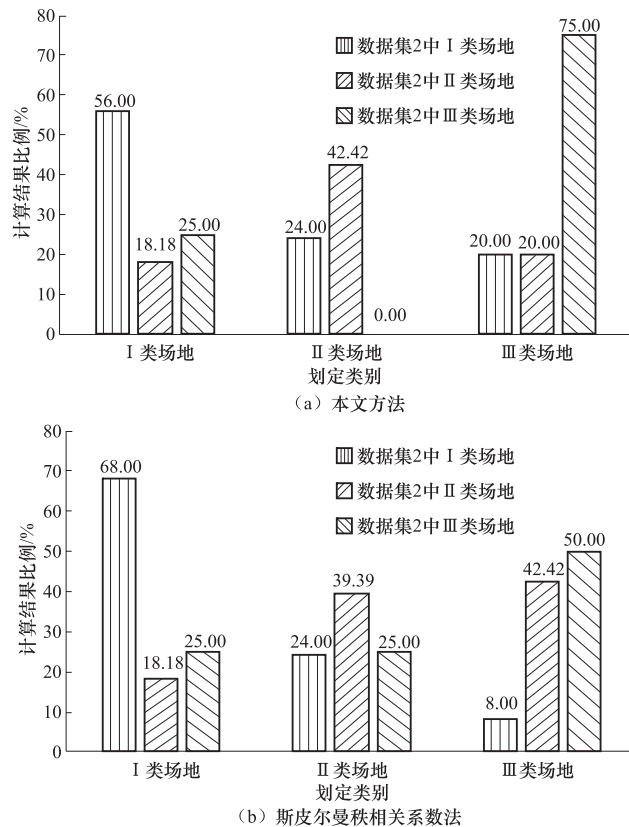


图 5 2 种方法划分成功率及误判率

Fig.5 Success rates and failure rates of two classification methods

3.3 分类后谱比曲线

为从侧面验证本文方法的合理性, 给出划分场地类别后的 3 条平均曲线, 并给出相应的自然对数标准差曲线, 与由数据集 1 得到的 3 条标准谱比曲线对比, 结果如图 6 所示。

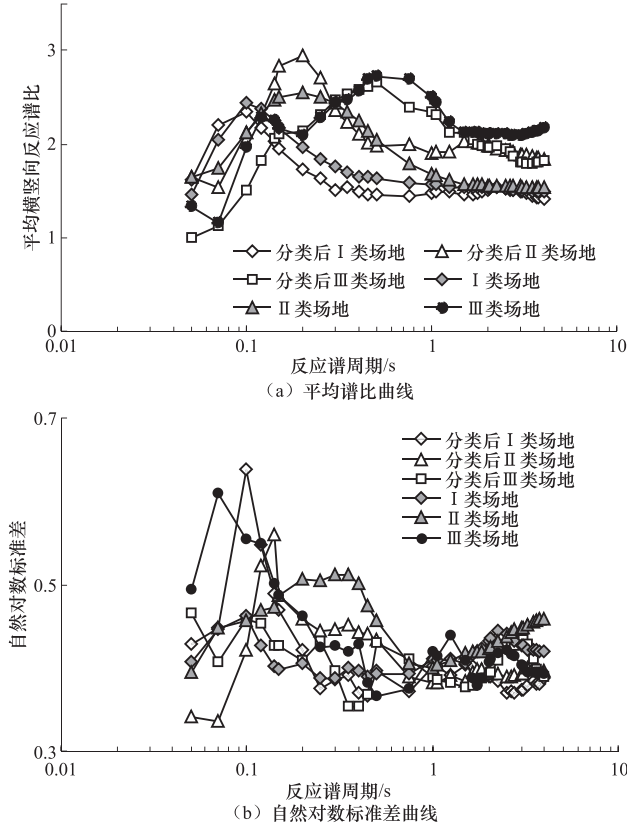


图 6 分类前后 3 类场地平均谱比曲线及其自然对数标准差曲线

Fig.6 Standard spectra ratio curves and natural logarithmic standard deviation before and after classification for three site classes

为从侧面验证本文方法的合理性, 给出对数据集 2 划分场地类别后的 3 条平均谱比曲线及相应的自然对数标准差曲线, 并与由数据集 1 得到的 3 条标准谱比曲线对比, 结果如图 6 所示。

由图 6 (a) 可知, 经本文方法分类后的 I 类场地平均谱比曲线峰值和峰值周期与标准谱比曲线基本接近, 0.1s 后 I 类场地标准谱比曲线的值略大, 但二者下降趋势基本一致。由图 6 (b) 可知, 分类后的 I 类场地自然对数标准差在 0.1s 即峰值周期附近和 3s 后较大, 在其他周期段与标准谱比曲线较为接近。由图 6 (a) 可知, 分类后的 II 类场地平均谱比曲线在峰值区 (0.1s) 前与 II 类场地标准谱比曲线基本接近, 在峰值区附近及其后的下降段则大于 II 类场地标准谱比曲线, 但总体形状相似。分类后的 II 类场地自然对数标准差在峰值区附近大于 II 类场地标准谱比曲线, 而其在他周期段上则比 II 类场地标准谱比曲线小, 如图 6 (b) 所示。对于 III 类场地, 由图 6 (a) 可知, 分类后的场地平均谱比曲线仅在某些周期段上较大, 而其他周期段则与场地标准谱比曲线基本一致; 由图 6 (b) 可知, 0.3s 前, 分类后的场地自然

对数标准差较大, 其他周期则二者接近。

由图 6 可知, 使用本文方法分类后, 各类场地平均反应谱比曲线与按照钻孔信息进行场地分类得到的标准谱比曲线基本吻合。数据集 2 重新分类后的平均谱比曲线及其自然对数标准差较数据集 1 所得结果略有提高, 但总体趋势一致, 从侧面说明本文所提分类方法的合理性。

4 结论

本文利用收集到的 664 个日本 KiK-net 台站场地信息, 按照《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》进行场地分类, 以此为基础构建 2 个数据集, 进而基于离散 Fréchet 距离对数据集 2 的场地进行分类, 并对分类结果进行校验, 得出以下结论:

(1) 按照我国建筑抗震设计规范对 KiK-net 台站进行场地分类, 并以此为基础得到的 3 类场地标准反应谱比曲线在 I、II、III 类场地间具有明显的区分度。

(2) 使用本文所提基于离散 Fréchet 距离的方法对强震台站场地进行分类, 分类成功率与误判率表明该方法具有较高的准确性和可行性。

(3) 将本文方法与斯皮尔曼秩相关系数法得到的强震台站场地分类结果进行比较, 结合本文方法得到的平均谱比曲线, 表明本文分类方法具有一定合理性。

参考文献

- 蒋其峰, 魏玮, 王红卫等, 2017. 山东省场地类别分布及地震动峰值加速度区划调整. 震灾防御技术, **12** (3): 501—510.
- 王珊, 张郁山, 尤贺, 2014. 场地划分标准对基岩地震动参数衰减关系的影响. 震灾防御技术, **9** (4): 759—769.
- 温瑞智, 冀昆, 任叶飞等, 2015. 基于谱比法的我国强震台站场地分类. 岩石力学与工程学报, **34** (6): 1236—1241.
- 赵万松, 2017. 抗震设计规范中反应谱特征参数研究. 合肥: 合肥工业大学.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2010. GB 50011—2010 建筑抗震设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社.
- Alt H., Godau M., 1995. Computing the Fréchet distance between two polygonal curves. *International Journal of Computational Geometry and Applications*, **5**(1-2): 75—91.
- Borcherdt R. D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **60**(1): 29—61.
- Building Seismic Safety Council (BSSC), 2003. The 2003 NEHRP recommended provisions for new buildings and other structures, part I (provisions) and part II (commentary). Washington, D. C.: FEMA.
- Eiter T., Mannila H., 1994. Computing discrete Fréchet distance. Vienna: Information System department, Technical University of Vienna.
- Fukushima Y., Bonilla L. F., Scotti O., et al., 2007. Site classification using horizontal-to-vertical response spectral ratios and its impact when deriving empirical ground-motion prediction equations. *Journal of Earthquake Engineering*, **11**(5):712—724.
- Ghasemi H., Zare M., Fukushima Y., et al., 2009. Applying empirical methods in site classification, using response

- spectral ratio (H/V): A case study on Iranian strong motion network (ISMN). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **29**(1):121—132.
- Lermo J., Chávez-García F. J., 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **83**(5):1574—1594.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), 2007. Building standard law of Japan. Tokyo: Building Center of Japan.
- Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute*, **30**(1): 25—33.
- Okada Y., Kasahara K., Hori S., et al., 2004. Recent progress of seismic observation networks in Japan —Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net. *Earth Planets & Space*, **56**(8): xv—xxviii.
- Wen R. Z., Ren Y. F., Shi D. C., 2011. Improved HVSR site classification method for free-field strong motion stations validated with Wenchuan aftershock recordings. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **10**(3):325—337.
- Yamazaki F., Ansary M. A., 1997. Horizontal-to-vertical spectrum ratio of earthquake ground motion for site characterization. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**(7): 671—689.
- Zhao J. X., Irikura K., Zhang J., et al., 2006. An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**(3):914—925.

Application of the Discrete Fréchet Distance in Site Classifications at Strong Motion Stations

Liang Jiguan, Cheng Yin and Zhao Cen

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University)

Abstract Without complete site information of strong motion stations, the collected data cannot be effectively used due to lack of accurate site category information. In order to overcome this problem, this study proposed a site classification method for strong motion stations based on discrete Fréchet distance, which is a measurement of the similarity between curves. The site conditions at 664 strong motion stations from KiK-net were firstly classified according to the Chinese Code for Seismic Design of Buildings (GB 50011—2010), and then divided into two sets. Standard spectra-ratio curves for site class I, II and III were derived for the sites in dataset1 and there were obvious differences between those three curves. At the same time, the distribution of the natural logarithmic deviation on response spectra periods of those standard curves was also calculated in order to examine the divergence of the dataset. The sites in dataset2 were reclassified based on the method proposed in this paper, and the corresponding success rates and error rates of classifications were calculated. The result shows that not only could the proposed method classify sites with accuracy but also the error rates would be acceptable. The proposed method shows reasonability, by the comparison of the results derived from the proposed method with those from the method of Spearman's rank correlation coefficient, combined with the average spectra ratio curves derived from the proposed method.

Key words: Strong motion station; Site classification; Discrete Fréchet distance; Standard spectra ratio curves; Dataset