

HVSR 谱比法应用于强震数据时基本假定合理性讨论*

张照鹏¹, 荣棉水^{2♣}, 卢滔¹, 李红光³

(1. 防灾科技学院, 河北 三河 065201; 2. 中国地震局地壳应力研究所 北京 100085;
3. 中国地震应急搜救中心工程勘测部, 北京 100049)

摘要: 采用日本 KiK-net 台网中 9 个台站的实测场地模型及多个地震的强震观测记录等数据, 对 HVSR 方法应用于强震数据时“基岩处水平-竖向谱比为 1”的假定进行了讨论, 并探讨了利用不同系数计算场地水平传递函数 TF_H 的差异, 最后对表征不同 TF_H 差异的系数进行了相关性分析。结果表明: 强震观测数据揭示的基岩内水平-竖向谱比不一定为 1, 仅在某一频率范围内可以视为一个常数; 表征用不同 TF_H 差异的系数 C 取为 $1/\sqrt{2\alpha_B/\beta_B}$ 时, 计算得到的水平向传递函数与实际观测得到的水平向经验传递函数一致性较好; $HVSR_B$ 与 $1/\sqrt{2\alpha_B/\beta_B}$ 在所考虑的频率范围内存在一定的弱相关性。

关键词: HVSR 谱比法; 强震观测; 传递函数

中图分类号: P315.91

文献标志码: A

文章编号: 1000-0666(2019)04-0538-08

0 引言

场地效应一直是地震工程领域研究的热点, 表现为地震动作用范围内的地震灾害的地表破坏现象(彭承光, 2004)。其主要是由地震波经过不同场地条件时对地震动的放大导致的, 直接影响地震灾害程度的分布(李小军, 彭青, 2001)。目前, 有许多基于地震动记录的经验分析方法被广泛用于场地效应的研究, 包括传统谱比法(Borcherdt, 1970), 线性反演法(Andrews, 1986)和水平-垂直谱比法(Horizontal to Vertical Spectra Ratio, 简称 HVSR)(Nakamura, 1989)。其中, HVSR 谱比法因不受参考场地的约束而被广泛应用。

HVSR 谱比法由 Nakamura (1989) 提出, 是一种基于同一地表测点地脉动水平向和竖向分量傅里叶幅值谱比值估计场地动态特征的方法。在大量地脉动观测的基础上, Nakamura (1989) 曾提出 2 个基本假定: ①地震波由基岩传播至地表后, 竖向分量基本不放大, 竖向传递函数为 1; ②基岩处的

HVSR 谱比为 1, 即 $HVSR_B = 1$ 。

若上述假定均成立, 则容易推知 $ETF_H = HVSR_s$, 即地表处的 HVSR 谱比可直接视为水平向经验传递函数。这就意味着只需利用单台三分量的地表观测记录就可获得水平向经验传递函数, 进而估计场地放大效应。HVSR 谱比法最早是基于地脉动进行场地动力特性研究的, 经过几十年的发展, 该方法已扩展至基于强震动研究场地动力特性的领域。因这一方法的简便性, 国内外许多学者将该方法应用于场地效应研究(王伟君等, 2009; Xu et al., 2013)。但这一方法的基本假定是否成立仍存在较大的争议(卢滔等, 2006), Javier 等(1994)通过不同的方法对 HVSR 谱比法的基本假定进行了验证, 但所得结论不一, Victor 等(2002)认为基岩处 HVSR 谱比为 1 或接近 1, 但还有人认为其值为某一常数。

本文以日本 KiK-net 台网中的 9 个台站获取的地震动记录为基础数据, 对各台站的场地土层数据和傅里叶幅值 HVSR 谱比进行统计分析, 讨论 HVSR 方法应用于强震数据时的第 2 个假定的合理性, 并给出相关建议。

* 收稿日期: 2018-08-29.

基金项目: 中央高校基本科研业务费(ZY20180305)、国家重点研发计划项目(2017YFC1500403)、国家自然科学基金项目(41504043)和北京市自然科学基金项目(8182056)联合资助。

♣ 通讯作者: 荣棉水(1982-), 副研究员, 博士, 主要从事场地地震反应分析研究. E-mail: waltrong@126.com.

1 数据选取

KiK-net 台网是为研究地下强震动传到地表的变化而建设的井下强震观测系统,由 689 个地表和井下三分量数字加速度仪台站组成,在地表和井下分别安装了较高灵敏度的加速度计,仪器采样频率是 200 Hz,仪器动态范围 120 dB,满量程 $\pm 2\text{ g}$,仪器触发阈值是 0.2 gal,最小记录长度是 120 s (史大成等, 2011)。Thompson 等 (2012) 提出:当各个地震事件获得的经验传递函数的差异和各个台站地震数据获得的经验传递函数与一维理论传递函数的差异均较小时,可认为该台站场地能用一维土层模型近似描述。本文依据上述标准从 KiK-net 台网中选取了符合一维场地假设,并且可以认为没有二维和三维地形影响的 9 个台站,分别为 TKCH08, FKSH11, FKSH14, IWTH27, IBRH10, IWTH08, IBRH13, IBRH17 和 KSRH10 台,各台站速度剖面 and 钻孔柱状图及基岩处传感器深度位置如图 1 所示 (方括号内数字为剪切波速值;圆括号内数字为对应土层 P 波波速值),9 个台站中钻孔底部最浅深度为 100 m,最深为 900 m。本文依据地震动峰值加速度 PGA 介于 30 ~50 gal 的筛选原则选取了从 2011 年 3 月 11 日至 2017 年 12 月 16 日记录到的共 110 条地震动记录,如图 2 所示,其中 PGA 范围为 30.1 ~49.9 gal,震级范围为 M_L 3.4 ~8.1,震源深度范围为 6 ~682 km,震中距范围为 1 ~917 km,详见表 1。

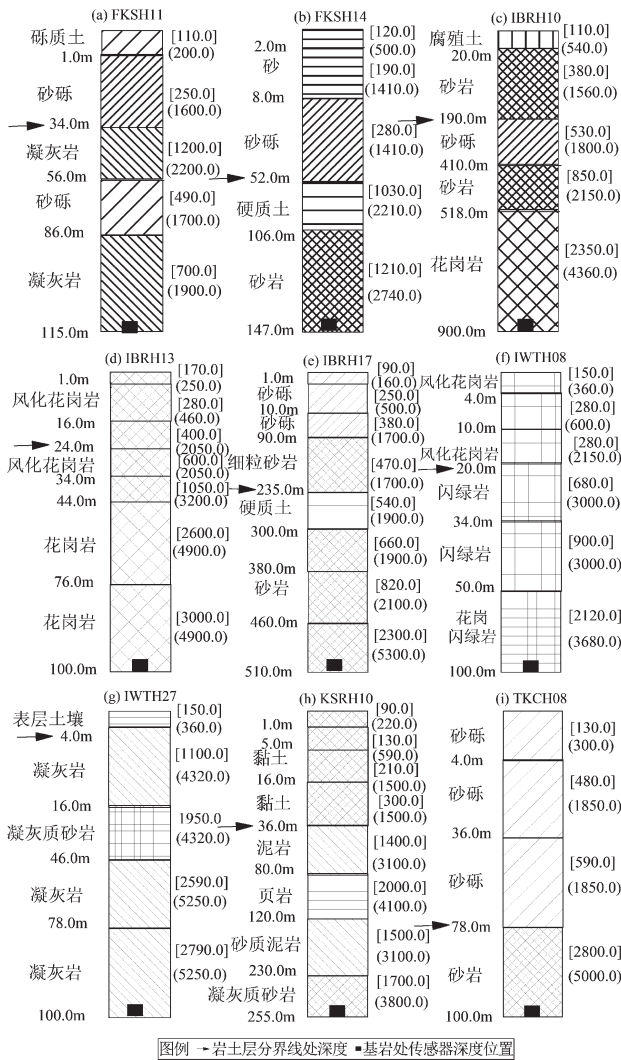


图 1 9 个台站钻孔柱状图及基岩处传感器深度位置
Fig. 1 Drilling histogram and sensor depth position at bedrock of 9 stations

表 1 9 个台站记录到的地震事件的相关参数

Tab. 1 Relavent parameters of seismic events recorded at 9 stations									
震级 M_L	震源深度/km	震中距/km	PGA /gal		震级 M_L	震源深度/km	震中距/km	PGA /gal	
TKCH08 台					FKSH11 台				
1	7.3	49	500	47.4	1	4.2	6	16	39.2
2	4.3	74	30	45.6	2	6.0	46	127	32.1
3	4.8	69	92	36.7	3	4.4	49	82	45.4
4	4.6	50	20	49.6	4	4.3	7	27	30.8
5	4.5	77	57	37.1	5	7.1	56	375	40.1
6	4.2	77	34	30.7	6	5.2	55	88	32.3
7	4.6	50	36	45.5	7	5.4	57	87	43.2
8	4.2	50	15	46.8	8	5.6	47	126	30.5
9	4.7	28	51	37.9	9	6.2	24	89	40.4
10	4.9	57	45	31.7	10	5.5	9	47	40.1
11	5.4	56	84	45.8	11	4.7	8	30	39.1
12	4.2	50	14	34.4	12	-	-	-	-

续表 1

震级 M_L 震源深度/km震中距/km PGA /gal					震级 M_L 震源深度/km震中距/km PGA /gal				
FKSH14 台					IBRH10 台				
1	4.8	51	19	33.7	1	4.7	49	13	48.7
2	4.9	64	36	39.4	2	4.8	66	9	35.3
3	4.6	13	24	30.1	3	4.0	45	8	40.4
4	5.1	51	68	36.2	4	4.4	46	11	47.4
5	5.1	51	68	40.6	5	8.1	682	917	34.9
6	5.5	46	64	31.8	6	4.3	55	12	33.0
7	6.0	44	72	31.0	7	4.1	41	12	40.0
8	5.1	49	44	43.3	8	4.8	40	14	35.0
9	4.9	51	68	31.1	9	5.4	57	67	49.6
10	5.6	47	79	34.8	10	7.4	25	199	46.2
11	5.3	56	18	39.3	11	4.6	54	11	33.0
12	5.8	46	65	38.4	12	4.6	46	10	49.8
IETH08 台					IBRH13 台				
1	5.4	34	58	42.4	1	3.4	7	1	39.6
2	6.5	102	296	43.4	2	4.1	48	24	30.3
3	4.9	81	73	42.3	3	4.3	55	38	45.3
4	5.0	38	47	43.3	4	3.4	9	2	44.2
5	4.6	82	78	34	5	3.6	11	5	31.9
6	5.9	49	72	47.8	6	4.9	50	62	36.6
7	4.9	67	19	49.9	7	5.7	52	106	37.6
8	3.8	50	26	32.6	8	3.8	7	10	39.0
9	6.8	46	159	34.2	9	4.5	6	12	36.6
10	3.9	50	27	33.1	10	4.2	9	11	40.7
11	4.4	34	48	33.6	11	5.8	46	108	32.9
12	4.4	48	36	40.2	12	3.9	6	12	45.3
13	5.5	52	70	30.1	13	3.6	10	4	43.1
IBRH17 台					KSRH10 台				
1	4.8	40	15	46.3	1	7.5	34	597	41.4
2	3.9	41	14	34.3	2	7.1	66	618	36.6
3	4.3	56	47	44.9	3	4.5	47	54	30.6
4	4.3	55	22	33.2	4	6.9	64	270	36.4
5	4.8	40	36	44.8	5	4.5	84	36	30.7
6	5.0	42	35	41.3	6	7.3	49	586	45.6
7	5.0	17	63	32.7	7	5.2	65	60	41.5
8	5.3	56	105	33.3	8	5.1	49	66	31.6
9	4.2	53	48	48.9	9	7.0	125	521	42.4
10	4.6	54	21	39.6	10	4.9	46	49	33.6
11	4.6	46	39	31.3	11	4.6	48	77	35.1
IETH27 台									
1	4.7	41	81	33.7	9	4.6	52	62	45
2	4.0	49	41	31	10	5.0	39	72	32.7
3	5.3	34	79	46.7	11	4.6	49	86	30.5
4	5.9	49	88	34.6	12	4.1	48	75	30.9
5	4.0	44	59	33.4	13	5.0	151	104	46.1
6	3.9	51	36	40.6	14	5.7	52	169	33.3
7	6.9	13	171	37.6	15	4.3	65	18	33.7
8	4.3	49	58	34.5	—	—	—	—	—

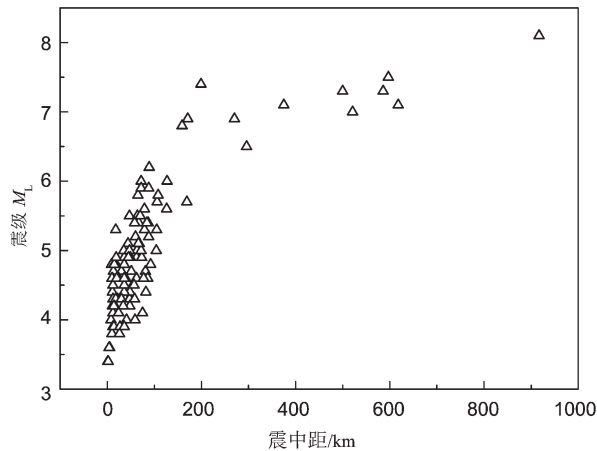


图2 所记录地震的震级、震中距分布图

Fig. 2 Magnitude – epicentral distance distribution map of the recorded earthquakes

2 数据处理与统计分析

计算与处理 $HVSR$ 谱比曲线共 3 个步骤: ①对

9 个台站记录到的共 110 条地震动记录进行带通滤波和基线校正处理, 带通滤波用于消除关注范围外的频率成分, 基线校正是校正因低频误差和地震动导致仪器倾斜引起的基线漂移 (王德才, 叶献国, 2011)。本文所用数据均采用巴特沃斯带通滤波器进行带宽为 0.1 ~ 25 Hz 的滤波处理; ②计算所有记录地表和基岩处三分量的傅里叶幅值谱, 并使用 Konno 和 Ohmachi (1998) 提出的平滑方法对傅里叶幅值谱进行平滑; ③利用 $HVSR$ 谱法计算出水平向与竖向分量的几何平均谱比。图 3 分别给出了 9 个台站在基岩处 NS 向、EW 向和合成的水平分量 $HVSR_B$ 谱比曲线。

由图 3 可以看出, 依据 9 个台站的地震动记录给出的 NS 向、EW 向及合成的水平分量 $HVSR_B$ 谱比曲线在 0.1 ~ 25 Hz 均值变化不大, 可以近似看作一个常数, 各台站谱比曲线的大部分位于 $HVSR_B = 1$ 水平线之上, 并不能直接近似为“1”, 其中, 谱比曲线峰值的最大值在 NS 向为 IBRH17 台站

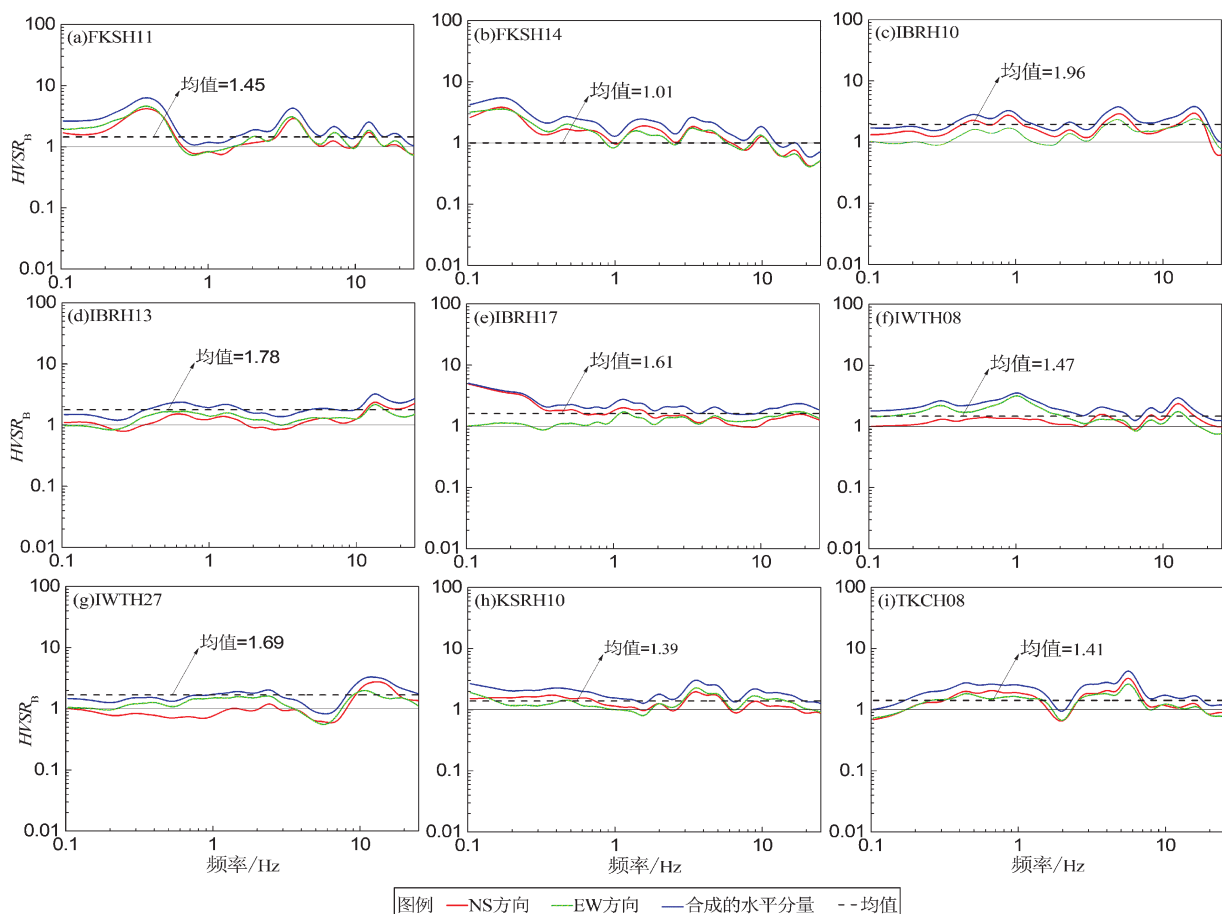


图3 9 个台站 NS 方向、EW 方向和合成的水平分量 $HVSR_B$ 谱比曲线
Fig. 3 $HVSR$ spectral ratio curves in NS and EW directions and synthetic horizontal component at base rocks of 9 stations

(4.90), 在 EW 向为 FKSH11 台站 (4.62), 合成的水平分量为 FKSH11 台站 (6.32)。对各台站基岩处单分量与合成的水平分量谱比曲线的均值取平均, 可以看出, 虽然这 9 个台站的谱比曲线均值在 1~2, 但在该频段内并非为一个固定不变的数值, 而是与 $HVSR_B$ 相关的常数, 并不适用于 $HVSR$ 方法的第二个假定: $HVSR_B = 1$ 。卢滔等 (2006) 也证实了该方法的这一假定在地震作用下不成立, 仅在地脉动作用下符合基岩谱比为 1 的假定。

3 $HVSR_B$ 的取值讨论

本文定义自由地表水平向、竖向分量的傅里叶幅值谱分别为 $H_s(f)$ 和 $V_s(f)$; 基岩处水平向、竖向分量的傅里叶幅值谱分别为 $H_b(f)$ 和 $V_b(f)$; H 代表水平方向、V 代表竖直方向; S 代表自由地表、B 代表井下基岩。根据传递函数定义可知, 任意水平向的传递函数可以表示为:

$$ETF_H = \frac{H_s(f)}{H_b(f)} \quad (1)$$

经变换可得:

$$ETF_H = \frac{H_s(f)}{V_s(f)} \times \frac{V_s(f)}{V_b(f)} \times \frac{V_b(f)}{H_b(f)} \quad (2)$$

即:

$$ETF_H = HVSR_s \times ETF_v \times \frac{1}{HVSR_B} \quad (3)$$

式中: $HVSR_s$ 和 $HVSR_B$ 分别为地表处和井下基岩处的水平与竖向分量的傅里叶幅值谱比; ETF_H 和 ETF_v 分别为水平向和竖向的经验传递函数, 因 $H_b(f)$ 和 $V_b(f)$ 是基岩处地震动的分量, 所以会包含有上行波和下行波的影响, 因此只有当下行波的影响可以被忽略时, ETF 才可以被认为是 TF 。

有研究表明地表处的 $HVSR_s$ 与 TF_H 均能给出足够相似的卓越频率值 (Satoh *et al*, 2001), 但是二者之间的傅里叶谱比幅值相差较大 (Rong *et al*, 2017), 由式 (3) 可以看出其主要受到竖向传递函数 TF_v 和基岩处的 $HVSR_B$ 的影响。还有相关研究指出: 引起水平向传递函数 TF_H 和地表处 $HVSR_s$ 差异的主要原因是 TF_v 不为 1 (卢滔等, 2006; 荣棉水等, 2016), 因此在下文中的 TF_v 将

通过实际记录计算给出。

如果采用 Nakamura (1989) 提出的方法中基岩处的 $HVSR_B = 1$ 的假定, 则依据式 (3) 得到的水平向传递函数 TF_H 将与实际 TF_H 相差较大, 并不能应用于实际工程。下文中将探讨 $HVSR_B$ 取不同的值时计算得到的水平传递函数与实际水平传递函数间的差异。

在假定基岩处地震动分量不受下行波的影响后, ETF_H 可以改写成 TF_H , ETF_v 可以改写成 TF_v , 故式 (3) 可以写成:

$$TF_H = HVSR_s \times TF_v \times \frac{1}{HVSR_B} \quad (4)$$

式中: TF_H 和 TF_v 分别为水平向和竖向传递函数。

Herak (2008) 提出利用 S 波和 P 波的放大谱比来计算 $HVSR$, 并假设地震波为垂直入射的体波, 则 S 波的传递函数 $AMP_s(f)$ 和 P 波的传递函数 $AMP_p(f)$ 可分别表示为 TF_H 和 TF_v , 则得:

$$TF_H = HVSR_s \times TF_v \times 1 \quad (5)$$

但 Herak (2008) 在研究中应用的计算数据来自于环境噪声, 并未考虑上式在地震动作用下的适用性。Kawase 等 (2011) 基于扩散场理论提出了一个计算理论 $HVSR$ 的公式, 如下:

$$HVSR = \sqrt{\frac{2\alpha_B}{\beta_B}} \frac{|TF_s(h, \omega)|}{|TF_p(h, \omega)|} \quad (6)$$

式中: $TF_s(h, \omega)$ 和 $TF_p(h, \omega)$ 分别为井下深度 h 处 S 波和 P 波的传递函数; α_B 和 β_B 分别为基岩处 P 波和 S 波波速。在地震波为垂直入射的体波的假设下, $TF_s(h, \omega)$ 和 $TF_p(h, \omega)$ 分别表示为地震动水平向传递函数 TF_H 和竖向分量传递函数 TF_v , 因此式 (6) 可写成如下格式:

$$TF_H = HVSR_s \times TF_v \times \frac{1}{\sqrt{2\alpha_B\beta_B}} \quad (7)$$

对比式 (4), (5) 和 (7), 可以看出不同的研究人员给出了非常相似的理论 $HVSR$ 公式, 上述 3 个公式可以用一个统一的公式来表示:

$$TF_H = HVSR_s \times TF_v \times C \quad (8)$$

式中: C 在 Herak (2008) 中被假定为常数 1, 这

与 Nakamura (1989) 提出的基本假定一致, 即基岩处的水平向与竖向分量是相等的; 而在 Kawase 等 (2011) 的研究中, C 被认为是与基岩的 P 波和 S 波速度有关的常数; 在本文以及 Rong 等 (2017) 的研究中, C 被认为是基岩处的 *HVAR* 谱

比曲线, 并非一个固定的常数。

为了给出较合理且准确的水平向传递函数 TF_H , 比较上述不同的系数 C 计算出的不同 TF_H , 以判断系数 C 取值性的合理。图 4 给出了分别根据公式 (4)、(5) 和 (7) 计算出的 TF_H 曲线。

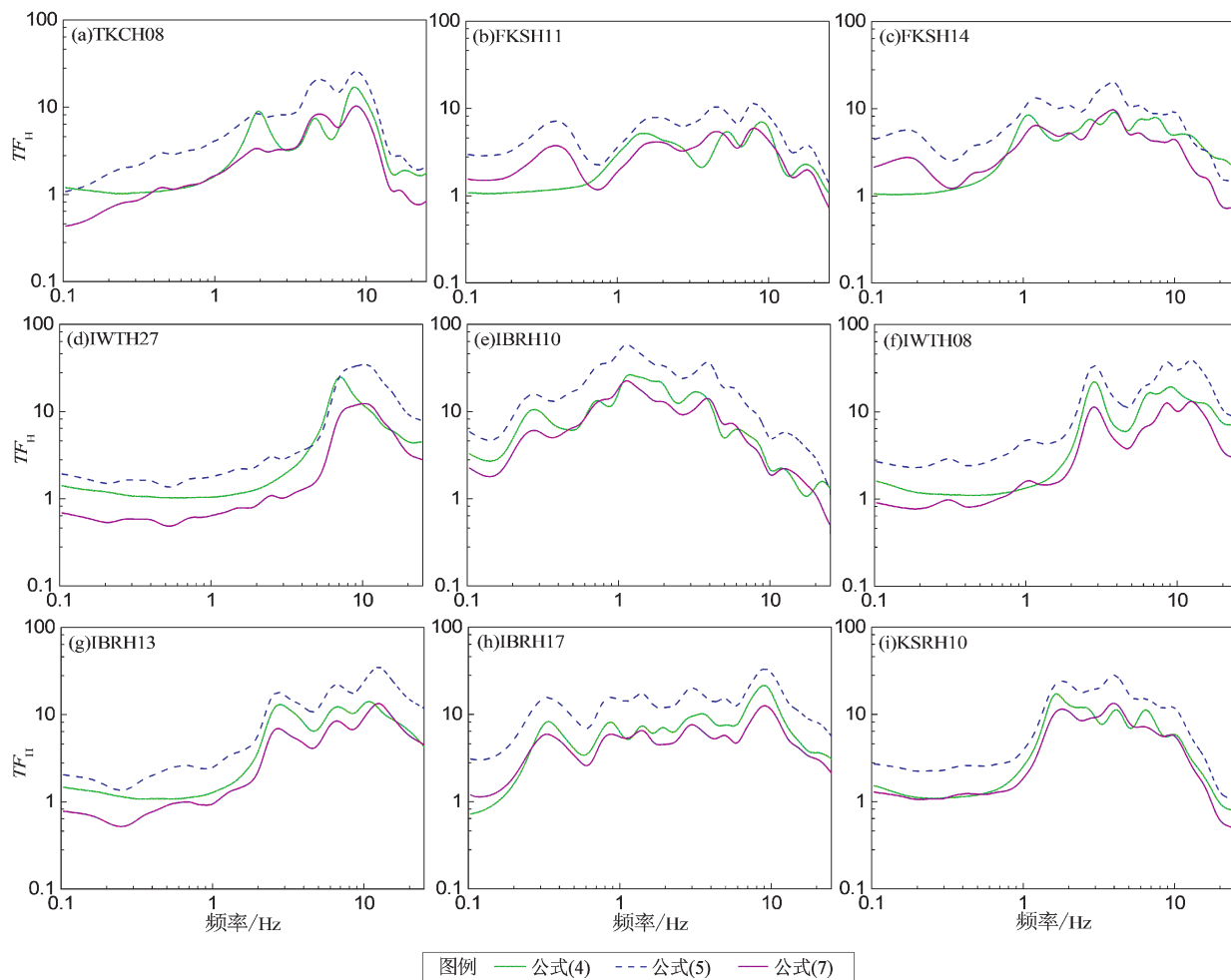


图 4 根据式 (4)、(5)、(7) 计算得到的 9 个台站的 TF_H 曲线

Fig. 4 TF_H curves of 9 stations calculated by equations (4), (5), and (7)

由图 4 可以看出, 3 个公式计算出的传递函数曲线, 均表现出较为相似的谱形, 其中式 (4) 计算出的水平传递函数即为观测的经验传递函数; 式 (5) 和式 (7) 的曲线谱形一致, 但幅值不同, 式 (4) 和式 (7) 的曲线谱型较为相似, 幅值也相差较小, 表现出很好的一致性, 和 Rong 等 (2017) 得出的结果一致; 式 (5) 计算出的曲线的幅值均大于式 (4), 但是每条曲线峰值处对应的卓越频率相差甚小。可以看出, 不论系数 C 如何取值, 对获取卓越频率的准确性的影响可不予考虑, 但对曲线幅值的影响不可忽略。

4 对合成的水平分量 $HVSR_B$ 和 $\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ 相关性的探讨

卢滔等 (2006)、荣棉水等 (2016) 应用传递函数 TF 来估计场地放大在国内外都是被广泛接受的, 表明导致 TF_H 与 $HVSR_H$ 差异的主要原因是 TF_V 不符合 Nakamura 方法的基本假定, 而在本文中 TF_V 是由实际记录计算给出的, 因此, 在不考虑 $HVSR_B = 1$ 的情况下, 根据式 (4), (5) 和 (7) 可以知道影响 TF_H 的另一个因素是系数 C 的

取值。在图 4 中可以看出当利用公式 (7) 计算时的传递函数曲线与实际记录计算得到的曲线更接近。图 5 给出了 9 个台站合成的水平分量 $HVSR_B$ 与 $\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ 的相关性, 其中合成的水平分量 $HVSR_B$ 是取自每个台站基岩处 $HVSR$ 谱比的平均值。

从图 5 可以看出, 9 个台站的系数 C 均在 1.5 ~ 3 内, 且所有台站中 $\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ 均大于合成的水平分量 $HVSR_B$ 平均值, 其中 IWTH08 台站 2 个 C 值相差最大为 1.12, FKSH11 台站 2 个 C 值相差最小为 0.1, 由于分析的台站数量较少, 相关性并不是很明显, 但是根据其差值大小可以粗略判断出在所考虑的频率范围内 2 个系数 C 之间仍存在相关性。通过下式可以计算出 2 个系数 C 之间的皮尔逊相关系数为 0.54:

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N y_i^2 - (\sum_{i=1}^N y_i)^2}} \quad (9)$$

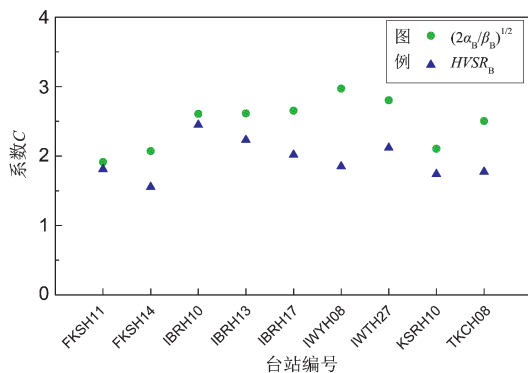


图 5 9 个台站 2 个水平分量 $HVSR_B$ 的均方根与 $\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ 的相关性

Fig. 5 Correlation between root mean square roots of two horizontal components $HVSR_B$ and $\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ of 9 stations

5 结论

本文选取日本 KiK-net 台网中 9 个符合一维场地假设的台站的场地数据和记录到的 110 条地震动记录为基础数据, 通过统计分析讨论了 $HVSR$ 方法中的一个假定, 并通过对比选取不同的 C 值计算出的水平传递函数, 探讨了不同 C 值下水平传递函数间的差异, 还对 2 个不同的 C 值进行了相

关性分析。得到如下结论:

(1) 在地震动作用下, $HVSR$ 方法关于“基岩处水平与竖向傅里叶幅值谱比为 1”的假定不成立, 但在某一频率范围内, 可以被认为是一个常数。

(2) 在下行波可以被忽略的假设下, 可以通过 3 种公式计算出水平传递函数 TF_H , 并可以利用统一公式: $TF_H = HVSR_S \times TF_V \times C$ 来表示, 其中系数 C 表征着幅值差异。

(3) 当系数 $C = 1/\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ 时, 即与基岩处的波速特征相关时, 得出的水平传递函数曲线与实际的水平传递函数曲线更为一致。

(4) 基岩处水平-垂直谱比 $HVSR_B$ 与 $\sqrt{2\alpha_B\beta_B}$ 在本文所考虑的频段内存在着一定的相关性, 但可能因数据量较少, 分析已有数据并未揭示明显的相关性, 皮尔逊相关系数仅为 0.54。

参考文献:

- 李小军, 彭青. 2001 不同类别场地地震动参数的计算分析[J]. 地震工程与工程振动, 21(1): 29-36.
- 卢滔, 周正华, 周雍年, 等. 2006. 关于 Nakamura 方法有效性的讨论[J]. 地震工程与工程振动, 26(1): 43-48.
- 彭承光. 2004. 场地地震效应工程勘察基础[M]. 北京: 地震出版社.
- 荣棉水, 李小军, 王振明, 等. 2016. $HVSR$ 方法用于地震作用下场地效应分析的适用性[J]. 地球物理学报, 59(8): 2878-2891.
- 史大成, 温瑞智, 任叶飞. 2011. 基于 GIS 的场地分类方法研究[J]. 地理信息世界, 9(1): 23-27.
- 王德才, 叶献国. 2011. 近断层强震记录基线校正及不确定性分析[J]. 世界地震工程, 27(2): 63-69.
- 王伟君, 刘澜波, 陈祺福, 等. 2009. 应用微动 H/V 谱比法和台阵技术探测场地响应和浅层速度结构[J]. 地球物理学报, 52(6): 1515-1525.
- Andrews D J. 1986. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size[J]. Earthquake Source Mechanics, 37: 259-267.
- Borcherdt R D. 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay[J]. Bull Seismol Soc Am, 60(1): 29-61.
- Herak M. 2008. Model $HVSR$ -A Matlab tool to model horizontal - to - vertical spectral ratio of ambient noise[J]. Comput Geosci, 34: 1514-1526.
- Javier Lermo, Francisco J, Chavez Garcial. 1994. Are microtremors useful in site response evaluation? [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(5): 1350-1364.
- Kawase H, Sánchez-Sesma F J, Matsushima S. 2011. The optimal use of horizontal - to - vertical spectral ratios of earthquake motions for velocity inversions based on diffuse-field theory for plane waves[J].

- Bull Seismol Soc Am, 101(5): 2001 – 2014.
- Konno K, Ohmachi T. 1998. Ground – motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor[J]. Bull Seismol Soc Am, 88(1): 228 – 241.
- Nakamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface[J]. Q Rep Railway Tech Res Inst, 30(1): 25 – 33.
- Rong M S, Li Y F, Li X J. 2017. On the amplitude discrepancy of *HVSR* and site amplification from strong – motion observations[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 107(6): 2873 – 2884.
- Sato T, Kawase H, Matsushima S. 2001. Differences between site characteristics obtained from microtremors, S – waves, P – waves, and codas [J]. Bull Seismol Soc Am, 91(2): 313 – 334.
- Thompson E M, Baise L G, Tanaka Y, *et al.* 2012. A taxonomy of site response complexity[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 41: 32 – 43.
- Xu P F, Ling S Q, Ran W Y, *et al.* 2013. Estimating cenozoic thickness in the Beijing plain area using array microtremor data[J]. Seismological Research Letters, 84(6): 1039 – 1047.
- Victor H S, Rodriguez, Saburoh Midorikawa. 2002. Applicability of the H/V spectral ratio of microtremors in assessing site effects on seismic motion [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 31(2): 261 – 279.

Discussion on Rationality of Basic Assumptions When Applying *HVSR* Method to Strong Earthquake Data

ZHANG Zhaopeng¹, RONG Mianshui², LU Tao¹, LI Hongguang³

(1. Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China)

(2. Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

(3. Engineering Survey Department, National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

Abstract

Firstly, using the measured data of 9 stations in the Japan KiK – net network and the strong earthquake observation records of several earthquakes, we discussed the assumption that ‘the horizontal – vertical spectral ratio of bedrock is 1’ when *HVSR* method is applied to strong earthquake data. Secondly, on this basis, we calculated the differences between the TF_H of the site horizontal transfer function by using different coefficients. Finally, the correlation coefficients of the TF_H differences calculated by different formulas are analyzed. The results show that the horizontal – to – vertical spectral ratio in the bedrock revealed by the strong earthquake observation data is not necessarily 1, and can be regarded as a constant only in a certain frequency range. When the coefficient C which is used to estimate the difference of TFH with different formulas is taken as $1/\sqrt{2\alpha_B/\beta_B}$, the theoretically calculated horizontal transfer function is in good agreement with the actual observed horizontal transfer function. There is a certain weak correlation between *HVSRB* and $\sqrt{2\alpha_B/\beta_B}$ in the frequency range considered.

Keywords: horizontal – to – vertical spectral ratio (*HVSR*); strong earthquake observation; transfer function