文章编号:1000-1301(2006)02-0049-07

弹塑性地震反应谱的长周期特性研究

王东升^{1,2},李宏男²,王国新²,岳贸光²

(1.大连海事大学道路与桥梁工程研究所,辽宁大连116026 2大连理工大学土木水利学院,辽宁大连116024)

摘要: 在基于性能抗震设计中弹塑性反应谱在计算结构地震位移反应方面越来越受到重视。利用统计分析方法研究了等强度的延性需求谱和等延性的强度折减系数谱的长周期(至 5s)区段的特性,关注的重点是等位移准则和场地条件影响。给出了若干具有工程价值的结论: 一是周期介于 1.5 T_g(地震动特征周期)和 2.5s之间的结构可近似认为等位移准则成立且与场地条件关系不大,这样确定的强度折减系数当位移延性系数小于等于 4时结果将是偏于安全的; 二是结构周期大于 2.5s后以硬土场地等延性强度折减系数谱或等强度延性需求谱代替软土场地谱求解系统强度需求或延性需求,将会得到偏于安全的结果。

关键词:基于性能抗震设计;弹塑性地震反应谱;长周期;场地条件;等位移准则 中图分类号: P315. 915 文献标识码: A

Study on characters of long period portion of inelastic spectra

W ang Dongsheng^{1,2}, Li H on gn an², W ang G u ox in², Y ue M aogu ang²

(1 Institute of Bridge and Road Engineering Dalian Maritime University Dalian 116026 China

2. School of Civil and Hydraulic Engineering Dalian Unix. of Technol, Dalian 116024 China)

Abstract More attention has been paid to inelastic design spectra with the development of performance based seis mic design, because it can be used to estimate the maximum displacement demand of structures. Characters of bng period portion of inelastic spectra are studied by the statistical analysis. The equal displacement rule and effects of soil conditions are considered. It is shown that (1) the equal displacement rule is true and the structure is independent of soil conditions when the period of the structure is between 1. $5T_g$ (characteristic period of ground motions) and 2.5s. The strength reduction factor computed by this rule can be used conservatively when the displacement ductility factor is smaller then 4, (2) the constant ductility inelastic spectrum of strength reduction factors or ductility demand spectrum with constant strength reduction factors on hard site can be used to overestimate the seis mic displacement demands or the seismic strength demands on soft site when the period of the structure is larger than 2.5s

Keywords performance based seismic design, inelastic response spectra, long period, soil conditions, equal dis placement rule

引言

随着基于性能抗震设计的发展,弹塑性反应谱在估计结构地震位移反应方面受到了更多重视[1~4]。弹

收稿日期: 2005-07-20 修订日期: 2005-10-12

基金项目:国家杰出青年基金项目(50025823);国家自然科学青年基金项目(50308027);中国博士后基金项目

?作考節分, 玉东升 (1974 -). 男,博士, 副教授, 吉思从事桥梁及结构抗需研究ouse. All rights reserved. http://www.cnki.net

塑性反应谱的研究可上溯至 20世纪 60年代 Newmark等人的工作^[5],他们提出的强度折减系数与位移延性 系数及结构周期关系的著名等能量准则和等位移准则,被大多数结构抗震规范所接受并沿用至今。

到目前为止很多学者通过大量地震动的统计分析或以表格或以回归公式形式,给出了供设计用的强度 折减系数与结构周期、位移延性系数等的关系^[6~18]。然而由于受模拟强震仪记录频谱的限制,一些有较大 影响的弹塑性地震反应谱研究工作,如 M irada等^[9~10]和 R idde ll等^[12]最早揭示了场地条件对弹塑性地震反 应谱的影响问题,但周期仅计算至 3。后来虽然有学者给出了周期至 5。左右的弹塑性谱,但因在统计分析 中使用了大量模拟强震仪记录,其在长周期段的谱值不是很可靠。由此本文选择不同场地条件各 20条合适 地震动(部分为数字强震仪记录),利用统计分析方法研究了弹塑性地震反应谱周期至 5。时的情况,重点关 注了等位移准则和场地条件影响。

1 弹塑性地震反应谱基本方程

作者在文献 [19] 中已经基于强度折减系数给出了单向地震动作用下弹塑性反应谱的基本方程,为方便讨论,再作一简要介绍。

设弹塑性单自由度系统在地震作用下运动方程为:

$$m_{x}\ddot{x}(t) + c_{x}\dot{x}(t) + f(x, t) = -m_{x}\ddot{x}_{g}(t)$$
(1)

式中, m_x 和 c_x 分别是系统的质量和阻尼系数; x(t), x和 $\dot{x}(t)$ 分别是系统的位移反应、速度反应和加速度反 c_x ; f(x, t)是系统的恢复力; $\dot{x}_g(t)$ 为输入地震动。

设系统屈服位移为 *x*,则屈服力为 $f_{xy} = k_x x_y, k_x$ 为系统刚度系数。定义无量纲时间过程 $\mu_x(t) = x(t) / x_y$ 则方程 (1)可归一化为如下形式^[9]:

$$\ddot{\mu}_{x}(t) + 2\xi_{x}\omega_{x}\,\mu_{x}(t) + \omega_{x}^{2}\,\frac{f(x,t)}{f_{x\,y}} = -\frac{\omega_{x}^{2}}{\eta_{x}}\frac{\ddot{x}_{g}(t)}{\max(|\ddot{x}_{g}|)}$$
(2)

式中, $\omega_x = \sqrt{k_x m_x}$ 为系统圆频率; $\xi_x = c_x / 2 = 0 \sqrt{m_x k_x}$ 为系统阻尼比; $\eta_x = f_{xy} [m_x \cdot \max(|\vec{x}_g|)]$ 为系统无量纲强度。

定义强度折减系数:

$$R_x = f_{x e} f_{x y} \tag{3}$$

式中, R_x 是强度折减系数, f_x 。是系统承受的弹性地震力。

可以建立 R_x和 η_x 的关系式, 由弹性反应谱理论, 在小阻尼比 ⁵_x 条件下, 有:

$$f_{xe} = m_x \cdot \beta_x(\omega_x \xi_x) \cdot max(|\dot{x}_g|)$$
(4)

式中, $\beta_x(\omega_x, \xi_x)$ 为地震动 $\dot{x}_s(t)$ 的放大系数反应谱。

将式 (4)代入式 (3), 并考虑 η_x 的定义式, 有:

$$\eta_x = \beta_x \left(\omega_x, \ \xi_x \right) \ R_x \tag{5}$$

将式(5)代入式(2),有:

$$\dot{\mu}_{x}(t) + 2\xi_{x}\omega_{x}\,\mu_{x}(t) + \omega_{x}^{2}\,\frac{f(x,t)}{f_{x,y}} = -\frac{\omega_{x}^{2}\cdot R_{x}}{\beta_{x}(\omega_{x},\xi_{x})}\frac{\ddot{x}_{g}(t)}{\max(|\ddot{x}_{g}|)} \tag{6}$$

式 (6)即为以强度折减系数表述的弹塑性反应谱的基本方程。利用该式和弹性反应谱极限性质可以在数学上相对严格地证明折减系数的两个极限性质: $(1)\omega_x \rightarrow 0$ $R_x = \mu_x$; $(2)\omega_x \rightarrow \infty$, $R_x = 1$.

若假定 R_x为常数,对式(6)直接进行数值积分可获得等强度折减系数的延性需求谱(简称等强度延性需求谱),若假定 P_x保持恒定,可通过一定迭代算法获得等延性系数的强度折减系数谱(简称等延性强度折减系数谱),因为同一个位移延性系数 P_x可对应多个强度折减系数 R_x计算中要取最小的强度折减系数值。

2 工程用小型强震记录数据库

获得大量的强震记录是研究弹性和弹塑性反应谱的重要基础,出于科研和工程应用的方便,作者在 PEER强震记录数据库中选择不同场地条件各 20条地震波建立了一个小型的工程用强震记录数据库。

选择的地震波满足如下原则: (1)地震震级 (M_s)在 6级以上; (2)震中距或断层距在 20~40km 之间; ?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3)加速度峰值在 0 15g以上; (4)高通滤波截止频率在 0 2H z以下。因受地震记录数量限制, 个别不完全 满足上述条件的地震波也在选择之列。这样做法的目的是: (1)地震能够使结构发生破坏; (2)减少震级、震 中距不同和近断层地震动效应的影响; (3)保证长周期反应谱 (至 5s)的计算精度。场地条件分为硬土、中硬 (软)土和软土三类, 对应土层 (30m)平均剪切波速为 V_s =360 – 750 m /s V_s =180 – 360 m /s和 V_s < 180 m / s 对应 USGS中的 B类、C类和 D类, 近似对应中国规范的 I类、II 或 II 类和 IV类^[20]。

附录 1给出了选择的地震记录的详细信息。

3 弹塑性地震反应谱长周期段分析

3 1 等强度折减系数的延性需求谱

等强度折减系数的延性需求谱在理论上不很完备,因 $\omega_x \rightarrow \infty$, $R_x = 1$ 而假定的 R_x 值不满足此条件,将 在短周期处产生较大误差。 Pau lay和 Priestley^[21]引用 Gu kan等的研究成果提到,对 T = 0.15s结构,强度折 减系数为 3.3时,计算的延性系数为 28 ~ 30 这实际上是不可能的。

本文采用前述不同场地条件各 20条地震波,分别取 R_x = 2 0.4 0和 6 0计算了它们的平均等强度折减系数的延性需求 谱。分析中取周期范围 0 05s~5 0s 阻尼比为 5%,恢复力模 型采用理想弹塑性形式。现有的一些研究表明恢复力模型对弹 塑性谱影响很小^[1115 17]。若假定可接受的延性系数不超过 10 则不同场地、不同强度折减系数下,要求的最小周期如表 1所 示。一般情况下,工程结构的自振周期可在 0 25s以上,强度折 减系数在 3左右,因此等强度折减系数的延性需求谱原则上仅

 $T\,ab \; le \; 1 \quad M \; \text{ in im um } \; periods \; required \; by \; ine lastic$

spectra	fo r	disp	lacem	ent	ductility	fac to rs
---------	------	------	-------	-----	-----------	-----------

强度折减系数 R_x	2	4	6
硬土场地	0.10	0. 25	0 35
中硬(软)场地	0.15	0.40	0 65
软土场地	0. 20	0.50	1 30

适合于硬土场地,但它可用来研究长周期结构(应大于表1中值)的地震反应特性。

下面就等强度延性需求谱长周期特性作一统计分析,关注的重点是场地条件影响。

图 1给出了相同强度折减系数条件下,不同场地条件的统计平均延性需求谱和变异系数(最小周期取表 1值)。可以看出:

(1)*R*_x等于 2时,在长周期部分延性需求与场地关系不大,即等位移准则成立;*R*_x等于 4和 6时,软土场 地延性需求随周期增长呈单调下降趋势,硬土和中硬土场地延性需求(大于强度折减系数)保持一段稳定变 化后亦呈单调下降趋势。

(2)不同场地延性需求谱曲线大约在 *T*=2 5s左右(该值随强度折减系数增加略有降低)存在交叉,在 该点左侧,软土场地延性需求大于硬土场地,其右侧则变为硬土场地大于软土场地。

(3)超过一定周期范围(3.0 $\le T_{tr} < T_{tr} < T_{tr}$)不同场地的延性需求都将会低于强度折减系数。

(4)变异系数在 R_x 等于 2时,大约在 20% ~40%,在 R_x 等于 4和 6时,可达 40% ~80%。其随强度折减 系数和场地条件的变化情况与延性需求谱较为相近。

3 2 等延性系数的强度折减系数谱

研究了等延性系数的强度折减系数谱长周期特性,重点考察了等位移准则和场地条件影响。图 2给出 了相同位移延性系数条件下不同场地条件的统计平均强度折减系数谱。可以看出:

(1)等位移准则 ($R_x = \mu_x$)成立对应的初始周期值 ($T_{ix} > T_{ip} > T_{ip}$)除与场地条件有关外,还与位移延性系数大小有关。表 2近似给出了该值并与场地特征周期 T_i 进行了对比,一般情况下它随延性系数增加而增加,当 $T > 1.5T_i$ 时可近似认为等位移准则成立。

(2)不同场地折减系数谱大约在 *T*=2 5s左右(该值几乎与延性系数无关)存在交叉,在该点左侧至等 位移准则成立的初始周期处,不同场地条件折减系数谱相近,即场地条件影响不大且等位移准则成立;其右 侧强度折减系数谱在延性系数较大时(#_x=4和 6),随周期增长呈单调增加趋势,硬土场地谱值总小于软土 场地。

(3)在等位移准则成立前的短周期段 ($T < 1 5T_{g}$),随场地变软强度折减系数降低,场地条件影响十分明显。

, (4)当位移延性系数小于等于 4时, 在长周期段采用等位移准则总会得到偏于安全的结果; 当位移延性



图 1 等强度折减系数延性需求谱



系数等于 6时,对周期小于 3 5s的结构可能会导致稍偏不安全的结果。

(5) 变异系数在 #_x等于 2时,大约在 20% ~30%;在 #_x等于 4和 6时,可达 30% ~60%,注意到此时软土 场地条件周期在 1 0s ~2 5s间 (近似在等位移准则成立区段)变异系数存在 2个明显 "波峰 ",可达 60% ~80%。

这里研究结论(1)和(3)较早是由 M iranda等^[9~10]给出,他还认为在软土场地卓越周期(对应速度谱峰 值)附近强度折减系数谱会出现一远大于对应的位移延性系数的峰值,本文软土场地的平均速度谱峰值对 应的周期约在 5.6%因此未作考察。

	~ -	· ·		
位移延性系数 μ_x	2	4	6	$T_{ m g}$
	0 8 T _g	1. 26 $T_{\rm g}$	1. 71 T _g	0 38 s
中硬(软)场地	$0~68~T_{\rm g}$	1. 05 $T_{\rm g}$	1. 16 T _g	0 60 s
软土场地	$0.73 T_{g}$	$1.51 T_{g}$	1. 61 $T_{\rm g}$	0 68 s

表 2 等位移准则成立的初始周期 Table 2 Original periods for equal displacement rule

52

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 2 等延性系数的强度折减系数谱

Fig 2 Constant ductility factor inelastic spectra for strength reduction factors

4 结论

本文选择不同场地条件各 20条地震波,基于统计分析方法研究了等强度延性需求谱和等延性强度折减 系数谱的长周期 (至 5s)特性。从工程应用角度初步获得如下认识:

(1)在短周期部分(约<15T_g)对应一定延性系数的强度折减系数值,软土场地总小于硬土场地,此时 若以硬土场地谱代替软土场地谱将会导致偏于不安全的结果;如采用等强度折减系数的延性需求谱,上述问 题会在相当长的一段周期内变得更加严重。

(2)在周期大于 2 5s后以硬土场地等延性强度折减系数谱或等强度延性需求谱代替软土场地谱求解系统强度需求或延性需求,将会得到偏于安全的结果。

(3)周期介于 1.5 T_s 和 2 5s之间的结构可近似认为等位移准则成立且与场地条件关系不大,这样确定的强度折减系数 $(R_x = \mu_x)$ 当位移延性系数小于等于 4时结果将是偏于安全的。

21还需要结合大量具有良好低频特性的数字强震仪记录对本文研究结果作进一步验证和发展。

参考对	文献.
[1]	Fajfar P. Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra[J]. Earthquake Eng Stru Dyn, 1999, 28(9): 979~993.
[2]	Chopma A K, Goel R K. Direct displacement based design use of inelastic vs. elastic design spectra[J]. Earthquake Spectra 2001 17(1): 47 ~64
[3]	Minanda E Ruiz Garcia J Evaluation of approximatem ethods to estimate maximum inelastic displacement demand { J]. Earthquake Eng Stru Dvn. 2002 31(3), 539 ~ 560

- [4] Xue Qiang Chen Cheng Chung Performance based seism ic design of structures a direct displacement based approach [J]. Engineering Structures 2003 25(14): 1803 ~ 1813
- [5] Newmark NM, HallW J Earthquake spectra and design[M]. EERJ Berkeley California 1982.
- [6] M iranda E. Bertero V V. Evaluation of Strength reduction factors for earthquake resistant design[J]. Earthquake Spectra 1994 10(2): 357 ~ 379.
- [7] 陈 聃,王前信.非线性地震反应谱.见:魏琏 谢君斐主编.中国工程抗震研究四十年[C].北京:地震出版社, 1989 55~56
- [8] Elghadam si F E, Mohraz B. Inelastic earthquake spectra[J]. Earthquake Eng. Stru. Dyn, 1987, 15(1): 91~104
- [9] M inanda E. Evaluation of site dependent inelastic seism ic design spectra[J]. Journal of Structural Engineering ASCE 1992 119(6): 1319~ 1337
- [10] Miranda E. Site dependent strength reduction factors J. Journal of Structural Engineering ASCE, 1992, 119(12); 3503~3519.
- [11] Vidic T. FajfarP, FishingerM. Consistent inelastic design spectra strength and displacement [J]. Earthquake Eng. Stm. Dyn., 1994 23(5): 507~521.
- [12] Riddell R. Ine lastic design Spectra: A ccounting for soil conditions[J]. Earthquake Eng. Stru. Dyn. 1995, 24(11): 1491~1510
- [13] OrdazM, Perez rocha L E. Estimation of strength-reduction factors for elastoplastic systems A new approach [J]. Earthquake Eng Stru Dyn 1998 27(9): 889~901.
- [14] 卓卫东,范立础. 结构抗震设计中的强度折减系数研究[J]. 地震工程与工程振动, 2001 21(1): 84~88
- [15] Riddell R Garcia J E Garces E. Inelastic deformation response of SDOF systems subjected to earthquake [J]. Earthquake Eng Stru. Dyn. 2002 31(3): 515~538.
- [16] 翟长海,公茂盛,张茂花,等.工程结构等延性地震抗力谱研究[J].地震工程与工程振动,2004 24(1),22~29
- [17] 吕西林,周定松.考虑场地类别与设计分组的延性需求谱和弹塑性位移反应谱[J].地震工程与工程振动,2004 24(1):39~48
- [18] Cuesta I Aschheim A, Fajfar P. Simplified R-factor relationships for strong ground motions [J]. Earthquake Spectra 2003 19(1): 25~45.
- [19] 王东升,李宏男,王国新. 双向地震动作用弹塑性反应谱研究[J]. 大连理工大学学报,2005 45(2):248~254.
- [20] 周锡元, 王国权, 徐国栋. 台湾 921集集地震近场地面运动的研究, 王椿镛, 齐霄斋主编. 新世纪地震工程与防震减灾一庆祝胡聿贤院 士八十寿辰 [C]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [21] Pauky T, Priestley M J.N. 钢筋混凝土和砌体结构的抗震设计 [M]. 戴瑞同,陈世鸣等译. 北京:中国建筑工业出版社, 1999.
- [22] 周雍年,周正华,于海英.设计反应谱长周期区段的研究[J].地震工程与工程振动,2004 24(2). 15~18.

附录 A 强震记录详细资料

表 A1 硬土场地地震记录

Appendix table A1 earthquake records on hard site

编号	台站	地震	断层距 <i>k</i> m	分量	PG A /g	PGV /(am · s ⁻¹)	PGD /am
	117 E1C en tro	Imperial V alley	0	I – ELC180	0. 31	29 8	13 3
1	A may [‡] 9	$(40/5/19) M_{s}$ 7.2)	8	I - ELC270	0. 21	30 2	23 9
	1095 Taft Lin-	Kem County	41	TA F021	0.16	15 3	92
2	co ln S chool	$(52 / 7 / 21, M_s 7.7)$		TA F 111	0.18	17.5	90
3		Lom a Prieta	20	AN D270	0. 24	20 3	7.7
	1652 Anderson Dam	(89/10/18 M _s 7.1)		AN D360	0. 24	18 4	67
	23 C oo ly ater	Landers (92 /6 /28 M _s 7. 4)	21	CLW- LN	0. 28	25 6	13 7
4				CLW- TR	0.42	42 3	13 8
-	24157 IA-	North ridge		BLD 090	0. 24	14 9	62
5	Ba klw in H ills	(94/1/17, M _s 67)	31	BLD 360	0.17	17.6	4 8
r.	24389 IA-	North ridge	25	CCN 090	0. 26	21 1	67
6	Cen tu ry C ity	(94/1/17, M _s 67)	25	CCN 360	0. 22	25 2	57
_		North ridge	• •	W ST000	0.40	20 9	2 3
79	90021 LA-N W estmoreland	(94/1/17, M _s 67)	29	W ST270	0.36	20 9	4 2
0	T 015	C h i Ch i	24	TCU045N	0.50	39 0	14 3
8	Tcu045	(99/9/20 M.7.6)	24	TCU045 W	0.47	36 7	50 7

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 A1									
	Continue appendix table A1								
编号	台站	地震	断层距 <i>k</i> m	分量	PG A /g	PGV /(m· s ⁻¹)	PGD /an		
9	Tcu047	C hi Ch i (99 /9 /20 M _s 7 6)	33	TCU047N TCU047W	0. 41 0. 30	40 2 41 6	22 2 51 1		
10	Tcu095	C hi Ch i (99 /9 /20 M _s 7 6)	43	TCU 09 5 N TCU 09 5 W	0.71 0.38	49 1 62 0	24 5 51 8		

表 A2 中硬(软)土场地地震记录

Appendix table A2 earthquake records on medium site

编号	台站		断层距	公量	PG A	PGV	PGD
			<i>l</i> km	ノ里	/g	/am·s	/am
1	6621 Ch Instance	Imperial V alley	20	CH 1012	0. 27	24 9	9 1
1	0021 Chinuanua	$(79 / 10 / 15 M_{s} 6.9)$	29	CH I282	0. 25	30 1	12 9
2	1605 Summer la Callere Anna	Lom a Prieta	20	SV L270	0. 21	37. 3	19 1
2	1095 Sunnyvale Collon Ave.	$(89 / 10 / 18 M_s 7.1)$	29	SV L360	0. 21	36 0	16 9
2	1028 Hollister	Lom a Prieta	28.2	H CH 090	0. 25	38 5	17.8
3	C ity H all	$(89 / 10 / 18 M_s 7.1)$	28 2	HCH 180	0. 22	45 0	26 1
	22074 V E' C '	Landers (92/6/28 M _s 74)	24 9	YER270	0. 25	51 5	43 8
4	220/4 Yemo Fire Station			YER360	0.15	29 7	24 7
E	90063 Glendale Las Palmas	Northridge (94/1/17, M _s 67)	25 4	G LP 177	0.36	12 3	19
5				G LP 267	0. 21	7.4	17
6	00016 IA-N Foring Rd	North ridge	23 9	FA R000	0. 27	15 8	3 3
0	90010 LA-IN Faring Ru	$(94 / 1 / 17, M_{s}67)$		FA R090	0. 24	29 8	4 7
7	00001 I A S . t St	North ridge	orth ridge /17, M _s 67) 300	STN 020	0.47	34 6	65
/	90091 LA Salum St	$(94 / 1 / 17, M_{s}67)$		STN 110	0.44	39 0	64
o	TCU042	C h i Ch i	22.24	TCU 042 – N	0. 20	39.3	23 9
0	100042	$(99 / 9 / 20 M_s 7.6)$	23 34	TCU042 –W	0.24	44 8	46 9
0	TCU 107	Chi–Chi	20.25	TCU 107 – N	0.16	47.4	32 8
9	100107	$(99 / 9 / 20 M_s 7.6)$	20 55	TCU107 –W	0.12	36 8	39 8
10	CUV026	Chi–Chi	20.29	CHY036 – N	0. 21	41.4	34 2
10	CH Y 036	(99/9/20 M _s 7.6)	20/38	CHY036 –W	0. 29	38 9	21.2

表 A3 软土场地地震记录

Appendix table A3 earthquake records on soft site

编号	台站	地震	断层距	分量	PG A	PGV	PGD
		T 1 1 1 7 11	/КШ	H F02140	/g	/(m ² s ⁻²)	10.0
1	5057 E 1C entro	Imperial Valley	9	H = E03140	0. 27	46 8	18 9
	A may #3	$(79/10/15, M_{\rm s}6.9)$		Н – Е03230	0. 22	39 9	23 3
2	1002 APEFL 2 Rodu and City	Lom a Prieta	48	A02043	0. 27	53 6	12 7
2	1002 AT EEL 2-Redwood C hy	(89/10/18/M _s 7.1)	40	A02133	0. 22	34 3	69
2	50117 T I I	Lom a Prieta	0.2	T R 1000	0.10	15 6	4 4
3	58117 I reasure Island	(89/10/18/M _s 7.1)	83	TR 1090	0.16	32 8	11.5
		Northridge (94/1/17, M _s 67)	10	BLF206	0.18	94	15
4 900	90011 M on tede llo B lu ff K d		12	BLF296	0.13	59	2 2
_		K obe	15	SH 1000	0. 24	37.8	8 5
5	0 Sn IFO saka	(95 A1 /16 M6 9)	15	SH 1090	0. 21	27.9	7.6
		K obe	26	KAK 000	0. 25	18 7	58
0	U Kakogawa	(95 A)1 /16 M 6 9)		KAK 090	0.34	27.6	96
7	A 1 1	Kocaeli	70	A TS000	0. 25	40 0	30 1
/	Am barlı	$(99\ 08\ 17\ M_{s}7.\ 8)$	79	79 A TS090	0.18	33 2	25 8
0	TCU 117	Chi-Chi	25	TCU117 – N	0.12	54 4	45 5
0	100117	$(99/9/20M_{s}7.6)$	23	TCU117 –W	0.12	57.8	49 0
0	TCU 110	Chi-Chi	27	TCU118 – N	0. 09	33 5	36 5
9	100118	$(99/9/20M_{s}7.6)$	27	TCU118 –W	0.11	30 5	23 9
10	CHIV 104	Chi-Chi	21	CHY104 – E	0.16	52 6	36 1
10	CH Y 104	$(99 / 9 / 20 M_s 7.6)$	21	CHY104 – N	0.19	55 2	47.2

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net