

①
P3, 15(4)

第15卷第4期
1993年12月

重庆建筑工程学院学报
J. Chongqing Inst. of Archit. & Engin.

Vol. 15 No. 4
Dec. 1993

1-8, 21

抗震结构的破坏准则评述及探讨

刘伯权

白绍良

赖明

(建筑工程系)

TU 35².11

A

摘要 本文详细讨论了现有抗震结构破坏评估准则并指出其不足和存在问题,提出了深入研究抗震结构破坏准则的基本思路。

关键词 抗震结构, 破坏准则, 延性, 累积损伤

中图法分类号 TU311.3; TU317.1

引言

地震是一种危害性极大的自然灾害。地震造成的惨重的人员伤亡和巨大的财产损失,主要是由建筑物的破坏所引起。尽管人们尽了很大努力,但按照现代设计规范建造的建筑依然在地震中遭到严重破坏[如近年墨西哥地震(1985)、亚美尼亚地震(1988)、洛杉矶地震(1992)]。这促使人们更进一步对抗震设计方法进行深入研究以减轻地震损失。

结构设计无非是将外界作用于结构引起的效应(反应)与结构自身的抗力(能力)加以比较,并考虑其中的随机因素以保证可靠性。问题在于选择怎样的反应量以正确反映地震动引起的结构破坏并对其进行估价。由于地震动是复杂的随机过程,结构性质也具有不确定性,结构的地震破坏不是单一的强度或变形指标所能完全描述。利用地震工程学研究最新成果,考虑地震输入的特点和结构地震破坏机理,建立结构地震破坏的评估准则,对于结构抗震设计和动力可靠性分析、结构地震反应的计算机模拟和震害经济评估都有重大意义。

1 地震动特性及结构的地震破坏机理

结构的破坏形式总是与施加于结构的作用(输入)及结构(系统)特性有关。只有了解地震动特性与结构特性,才能了解地震破坏。

综合几十年人们根据地震动宏观震害经验和仪器量测数据的分析和总结,一般认为,地震动的特性可以通过其三要素来描述,即地震动的振幅、频谱和特时。这三个要素的不同组合决定着各类结构物的安全。

地震动的振幅可以是指地震动加速度、速度、位移三者之一的峰值、最大值或某种意

* 收稿日期:1993-02-23

刘伯权,男,1956年11月生,结构工程专业博士生,重庆建筑工程学院建筑工程系(630045)

义上的有效值。振幅造成结构破坏是最容易接受的。值得指出的是人们常常把熟悉的地震烈度这样一个简单定性的概念同地震加速度最大值这样一个定量的物理指标相联系,而不考虑同一烈度所对应的地震加速度常相差几十倍甚至上百倍,而且在很大范围内任一最大加速度可以表示两个或三个不同烈度中的任一个。地震振幅与烈度之间的高散性太大,无法找到任何肯定的关系。

动力问题最本质的就是共振效应。假若地震动的频谱集中于低频,它将引起长周期结构的很大反应;反之,若地震动的卓越周期在高频段,则它对刚性结构的危害大。震害现象反复说明了地震动可以具有不同的频谱组成。震级越大,震中愈远,场地土愈软而厚,则频谱中长周期成分突出。不同自振周期的结构在不同的条件下会产生程度不同、形式不同的破坏。

设计用的地震反应谱考虑了振幅和频谱的影响。但应注意,规范反应谱给出的是平均意义上且水平较低的“最大反应”。从随机振动的观点看,这个“最大反应”与其出现或超过的概率相联系才有意义。

地震波具有非平稳性,除了峰值和频谱外,持时长短也有很大差别。两个地震动可以有相同的最大幅值和频谱,但若持时长短不一,由于损坏的积累效应,就会对结构造成不同的破坏。特别当结构接近破坏状态时的非弹性反应阶段尤其是这样。因此,描述地震动的破坏能力,除了幅值之外,还应附加持时这个参数。目前抗震规范中的反应谱对持时基本上未加反映,隐含了持时不影响结构反应的假定。当然,反应谱理论是建立在弹性反应基础上的。在确定性方法中只考虑最大值。然而,持时加长对结构的低周疲劳破坏是有影响的。同时,从随机振动理论可知,持时越长,反应值超过某一阈限的概率也越大。持时对结构的影响应予考虑。

地震动三要素的不同组合使结构破坏呈现不同形式,可归纳为两种类型,即首次超越破坏和累积损伤破坏。前者是由于强烈的地震脉冲作用,结构反应(如强度、位移或延性)首次超过结构的限值而导致的突发性破坏;后者是指结构的动力反应虽然在小的或中等的量值上波动而不够达到前一形式的破坏界限,但由于地震的往复作用,使结构性能(强度、刚度、低周疲劳性能等)发生逐步退化,最终导致的结构倒塌破坏。

一般认为,结构最大反应和累积损伤的破坏界限将相互影响。随着结构累积损伤的增加,结构最大反应破坏的控制界限将不断降低;同样,随着结构最大反应的增加,结构累积损伤破坏的控制界限也在不断下降。显然,这一破坏机理较好地解释了地震动三要素对结构破坏的影响,反映了破坏是由大的荷载幅值和重复的循环加载效应的联合作用所引起这一事实。合理的抗震破坏准则应反映这一基本观点。

2 单参数破坏准则

导致结构破坏的地震反应决定于地震动特性和结构特性,特别是动力特性。相应的破坏准则反映了人们对这两方面的认识水平。

在结构抗震理论的静力阶段,输入地震动只考虑根据历史震害估计的地震动最大加速度,设计准则是强度准则,完全与静力概念相同。

在反应谱阶段,通过反应谱考虑了地震动的振幅与频谱,考虑了结构的动力特性(自振周期、振型和阻尼)所产生的共振效应。但是,在设计中仍然把地震惯性力看作静力,是一种等效静力法。设计原则与静力法相同,也是强度准则。

当反应谱理论在五十年代被广泛接受时,抗震理论是以弹性理论为基础的。到六十年代,结构非线性反应的研究盛行,以美国伊利诺大学的纽马克(Newmark)为首的研究者们取得了有意义的成果。他们提出了延性这个简单的概念来概括结构超过弹性阶段的抗震能力。延性大小是结构抗震能力强弱的重要标志。

由于延性定义不能反映结构刚度和强度的退化,有的研究者试图进行改进。Bigger等人首先提出了破坏比的概念。破坏比定义为初始切线刚度与最大变位处一个减小了的割线刚度之比(图一),即

$$DR = k_0/k_r \quad (1)$$

破坏比的计算比延性复杂。尽管减小了的割线刚度也能反映强度的退化,但未得到普遍重视。

强调结构的延性对结构抗震的有利作用,强调结构的变形反应并把延性准则简化成为可以在设计中采用的简单形式,是六十~七十年代中地震工程学取得的一大进展,并为许多抗震规范所采用。

但是,将变形(延性)作为判断结构地震破坏的唯一标准却没有说明问题的全部。延性准则只反应了地震动振幅和频谱的影响及结构非线性反应的

影响,没有考虑地震动持时对结构的累积破坏作用。实际上,地震是一种振动现象,变形多次循环反复。反复次数越多,结构破坏就越严重。而用延性准则,结构达到某一延性水平一次造成的破坏与达到多次造成的破坏会被认为相同。

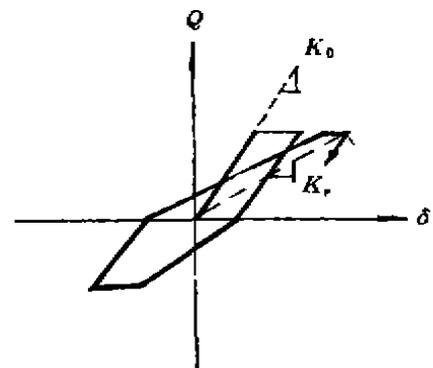


图 1

3 双参数破坏准则

单参数准则是基于静力阶段、反应谱阶段对地震动和结构性能的认识而提出的。随着实际震害经验的增加,强震观测资料的丰富,结构试验的不断积累以及计算机的普及和功能增强,使地震反应分析方法日臻完善,深化了对于地震动及结构特性的认识。

人们注意到单以振幅和频谱来表征地震动是不够的,应该在振动过程中考察结构的破坏。除考虑结构在很大地震脉冲下的首次超越破坏外,还应考虑结构的累积损伤破坏。

Newmark (1971)首先注意到低周疲劳现象,指出低周疲劳的产生来自破坏的累积效应,如微裂缝、塑性变形和屈曲失稳引起的不可逆变形,在力和变形的关系中表现为滞回圈、刚度退化和/或强度退化。

六十年代末到七十年代,对累积损伤的研究主要集中在钢结构的疲劳问题。James T.

P. Yao(1969,1972)等根据所做软钢疲劳试验得出的寿命曲线,计算了单层钢刚架在 EL-Centro 地震和 Taft 地震下的最大反应和疲劳损伤,指出在地震强度较大或结构屈服强度较低的情况下,应该用疲劳损伤而不是最大位移反应量来确定结构的破坏,控制最大位移并不能保证结构安全。

日本神户大学(Kobe Univ.)的水畑耕治(Koji Mizuhata,1974,1977)等分别做了薄壁园管(内径 2.54 cm,壁厚 0.127 cm)和 8 个 1/4 比例的单层钢框架模型的疲劳试验,应用金属疲劳理论(不考虑弹性疲劳)计算了 EL-Centro 地震下的疲劳损伤,得出与 J. T. P. Yao 等类似的结论。

结构累积损伤的研究在八十年代获得了新进展。研究的重点从钢结构转到量大面广的钢筋混凝土结构,注意到了反复荷载引起的结构的刚度、强度和滞回耗能的退化以及变形和能耗(疲劳)间的相互影响。

日本京都大学(Kyoto Univ.)的家村(H. IEMURA,1980)根据钢筋混凝土梁的疲劳试验,得出其寿命曲线为 $N_s^{4.1} = 9 \times 10^3$ 。水畑和西垣(1983)用 7 个 1/4 比例的钢筋混凝土单跨刚架(梁柱断面为 10:1)进行了固定变位的疲劳试验,得出了钢筋混凝土构件的寿命曲线并将结构的破坏指数表示为最大变形和累积疲劳损伤的线性组合。

Banon 等(1981)和 Hwang(1982)首先将结构破坏表示为最大变形和累积耗能的函数,首次建立了变形/能量双参数破坏准则。只是由于所统计数据的离散性太大,未能引起足够重视。

和 Hwang 同在宜利诺大学的 Park、A. H-S Ang(洪华生)、Yi kwei Wen(文义归)(1985)建立了最大反应变形和累积耗能的线性组合的地震破坏评估模型。

$$D = \delta_w / \delta_s + \beta / Q_s \delta_s \cdot \int dE \quad (2)$$

式中, δ_w 为地震作用下结构的最大变形; δ_s 为单调荷载下结构的极限变形; Q_s 为屈服强度; dE 为滞回耗能增量; β 为非负的参数。他们根据一大批美国和日本钢筋混凝土梁、柱试验,确定了其中各参数的经验计算公式。根据他们的结果, D 服从对数正态分布,均值为 1, 标准差 $\delta_D = 0.54$ 。对于钢筋混凝土构件,这样大的离散性是可以预期到的。

由于变形 / 能量双参数破坏准则反映了破坏是由大的荷载幅值和重复的循环加载效应的联合作用所引起这一事实,较好解释了地震动三要素各自对结构破坏的影响,所以在国内外地震工程界获得广泛支持。但是,这种方法的最大缺点是忽略了结构地震反应滞回环累计幅值对累积损伤的影响。也即同样的耗能水平,大幅值循环比小幅值循环破坏严重这一试验观察到的事实未能得到反映。这实际上未能反映强度退化随变位水平的差别。式(2)的破坏准则还假定了同一变位水准下每一循环的损伤相同。而由疲劳试验可知,同变位水准下,每个循环的耗能随循环次数增加而明显减少,也即破坏的增加随之减少。

Hall 等人(1989,1992)提出两种破坏准则,一种基于等效滞回耗能:

$$N = \frac{H_t}{R_s \cdot U_s / 2} \quad (3)$$

式中, N 为等效滞回次数, R_s 为屈服剪力, U_s 为屈服位移, H_t 为总的滞回耗能。另一种基于塑性低周疲劳:

$$\mu^* = \mu_r (2N_r)^{-0.6} \quad (4)$$

这里 μ^* 为滞回塑性延性, $2N_r$ 为达到破坏时半周循环次数, 由疲劳试验确定, μ_r 为单调加载下的极限延性值, 参数 -0.6 适合于钢结构。总的耗能能力为

$$H_t = \mu^* R_s U_r (2N_r) \quad (5)$$

而所定义的破坏指数为

$$DI = \left[\frac{H_r + H_s}{H_t} \right]^2 + \left[\frac{H_r - H_s}{2} \right]^2 \quad (6)$$

H_r 和 H_s 分别为正向和负向位移下的耗能, 所以采取这个形式是考虑到实际地震位移反应可能不对称而偏向某一侧。

我国江近仁、孙景江(1987)以最大变形和累积耗能作为破坏参数, 用统计分析方法求得了一个砼结构的双参数破坏模型。陈永祁等(1986)推导了一个以最大变形和滞回耗能为破坏参数的双曲线型破坏模型。对 Park 等的双参数准则进行了应用和修正。

4 对破坏准则的思考

本世纪来, 随着抗震理论由静力理论发展到反应谱理论并进而向动力理论发展, 人们已承认了结构的动力特性, 认识到地震动输入也是随时间变化的振动过程。五十年代后, 又进一步认识到大地震作用下, 结构处于非弹性工作状态, 其抗震能力在于变形和吸能、耗能的表现。近十年来, 国内外对结构在地震作用下的计算, 大多采用了两阶段设计概念, 即在较常遇到的小震作用下, 结构处于弹性工作状态; 在罕遇的强震作用下, 结构则应防止倒塌。目前, 结构的弹性分析理论已趋完善, 以强度和刚度作为承载能力极限和正常使用极限的准则, 在规范中早已确定。进一步发展的趋势, 将是多方面考虑结构抗震的潜在能力和结构抗震极限准则的确定。

结构抗震破坏准则的研究, 即应该科学地确定什么状态是评判结构倒塌的临界状态。这里首先要考虑的是用什么物理量来衡量这种状态。按目前的认识, 强度、变形或延性等单参数准则不能较为全面地反映这个极限状态。变形/能量准则考虑了地震动三要素和结构累积破坏的影响, 符合目前人们对地震动特性和结构破坏机理的认识。但是, 能量毕竟是个比较抽象的概念, 无论理论分析还是实际工程应用, 能量的计算总是比较困难。也有人指出, 单纯用滞回耗能度量累积损伤不尽合理(瞿伟廉、李桂青, 1990)。那么, 能否应用塑性疲劳评价结构的累积损伤问题呢? 答案显然是肯定的。

结构在中强地震下要进入到非弹性阶段, 这时必须考虑地震动造成的累积破坏。当结构反应超过弹性阶段后, 结构产生了局部破坏。在这些破裂处, 应力状态极其复杂, 容易产生应力集中, 在振动过程的下一个反复中, 即使幅值不再增加, 这些破裂还可能继续发展。结构从局部的破裂到完全倒塌, 一般都需要一个过程, 完成这个过程的反复振动需要一定的次数。当震动强度特别大时, 当然可以在一刹那间摧毁一栋房屋, 过程极短。假若震动略小一些, 一次振动可以开始这个过程, 但不能完成它, 而要求继续的强震去发展已开始的破坏, 由于已破裂的结构已变成一种具有某种损伤程度的结构, 所以在更小于前次地震动振幅的作用下, 也可以进一步使破坏加重。破坏的进一步发展导致了最后的倒塌。这就是

所谓积累破坏。当整个破坏过程只是几次、几十次或最多几百次反复的地震动作用引起时,即所谓低周疲劳问题。由于地震动的持时一般只有几秒到几十秒,结构基本周期在 0.1 秒以上,所以反复次数不过几次到几百次,因此地震工程中只关心这样的低周疲劳问题。

已提出的变形/疲劳双参数准则,普遍采用了迈纳(Miner)疲劳理论确定累积损伤指标。该理论假定:1) 在应力(变形) S_i 作用下其疲劳寿命为 N_i ,如果施加应力(变形)为 S_i ,循环次数为 n_i ,则所造成的损伤为 $D_i = n_i/N_i$,即损伤程度是可以线性叠加的(如图 2 中直线所示)。2) 应力(变形)的作用顺序发生变化,其所造成的损伤不变。不同应力(变形)水平下总的损伤为 $D = \sum D_i = \sum \frac{n_i}{N_i}$ 。当 $D = 1$ 时达到破坏。(i = 2 时情形如图 3 中直线所示)。实际上,这两条假定不符合塑性疲劳的分析与试验结果。即使在等幅试验中,损伤在各次循环中并不是均匀分配的。特别在钢筋砼构件中,当产生超过屈服的位移后,构件开裂,钢筋屈服。由于裂缝端部产生应力集中以及钢筋的包兴格效应,加之粘结退化迅速由支座向内发展,构件的损伤增加较快。而裂缝出齐后有一个较稳定的过程,损伤的增加明显减慢(如图 2 中 A、B 线所示)。如果先从 S_1 重复 n_1 周后, S_2 再重复 n_2 周,且 $S_1 > S_2$,则实际疲劳寿命比预期有所缩短,即当 $D < 1$ 时,就已开始破坏(如图 3 中曲线 E 所示)。因初始的大幅值循环作用会引起过早损伤,在 D 小于 1 时就发生破坏。

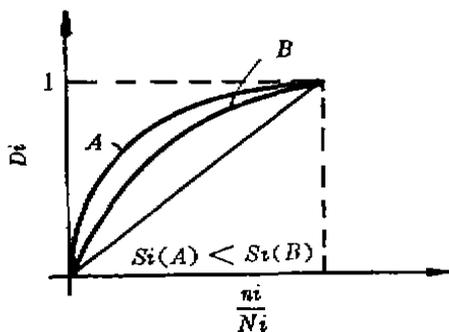


图 2

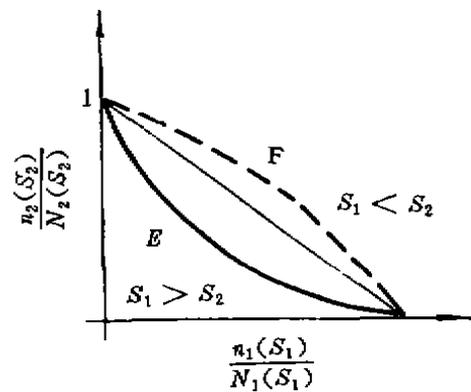


图 3

也有人认为,当 $S_1 < S_2$ 时,实际疲劳寿命曲线比预期有所延长,即当 $D > 1$ 时,构件才开始破坏,如图 3 中曲线 F 所示。因开始循环幅值较小,将使材料发生变形硬化,强度增加之故。对于随机振动情况下,各种应力幅值循环之间没有明确的次序,由于大幅值的损伤和小幅值的强化作用趋于相互抵消,因而破坏指数 D 趋向于 1。这对于钢等金属材料或许如此,但对于钢筋砼构件不一定适宜。因为钢筋砼构件的损伤主要由砼的裂缝开展、局部砼酥裂剥落及粘结退化所引起,钢筋的应变强化作用极小。

因此,塑性低周疲劳应采取与弹性疲劳及塑性变形不同的方法来研究。一般说来,可按以下步骤进行。

1) 进行结构构件等位移幅值低周疲劳试验。从前的疲劳试验集中在钢结构,且断面很小。只有日本水畑做了七个四分之一模型(五个为等幅试验)的钢筋砼柱的低周疲劳试

验,断面较小(12.5 cm×12.5 cm),轴压比也偏小(1/6),需要补充按我国一般抗震要求设计的构件的疲劳试验。还有,国内外已做了大量低周反复荷载下构件性能的试验,有可能将这些数据通过滞回耗能与损伤间的关系统一在寿命曲线上。

2) 进行不等位移幅下的低周疲劳试验,研究位移反应历程对累积损伤的影响。

3) 根据试验结果,建立结构的破坏评估准则。准则中的累积损伤项不应直接应用 Miner 疲劳理论,而应进行修正。合理的破坏准则应能同时反应首次超越破坏和累积损伤破坏两种不同的破坏形式,但是表达形式并不一定是双参数。首次超越破坏和累积损伤破坏虽然物理现象不同,但在数学内涵上则是相通的。首次破坏可以说是滞回次数 N 为 $1/4$ 时的累积损伤破坏,而累积损伤破坏也可以说是在一定的或/和不同的变位水平下滞回次数 N 超过某一限值的“首超破坏”。

房屋整体的地震破坏评估,需要适当地结合各组成子结构的地震破坏指数。对于工程中常见的层间型结构,根据“最弱链环破坏”,简单取总体破坏指数 $D_r = \text{Max}(D_i) \quad i = 1, 2, \dots, n$ 。考虑到较低的楼层对倒塌破坏的影响更大, D_r 也可表为

$$D_r = \sum_{i=1}^n \frac{N+1-i}{N} D_i \quad (7)$$

实际上结构处于空间工作状态,某些构件的破坏,甚至某榀框架的破坏,并不意味着结构一定倒塌。应该对结构进行倒塌极限的弹塑性分析,其中每个构件的破坏应用已建立的评估准则。而且这个分析不应停留在层间模型上,应该是三维的、杆系的模型。细致分析地震输入下各个杆件的工作状态。但这可能不是在近期能办得到的。

地震动输入是随机过程,结构的反应也是随机过程,所建立的破坏准则中诸参数和破坏指数 D 应与概率相联系。为此,尚需进行以下工作:

a. 输入纪录地震波和/或人造地震波,进行结构反应分析。借助于 Monte-Carlo 法寻找位移反应的峰谷值点的统计规律性;

b. 据此建立反应滞回环幅值大小及相应次数的概率密度函数;

c. 根据结构及构件的疲劳试验结果,建立相应的破坏界限的概率模型和累积塑性疲劳损伤指标 D 的概率密度函数。

5 结 语

破坏准则反映了人们对地震动特性、结构动力性能的认识水平和进行地震反应分析能力的水平,为结构抗震设计和动力可靠性分析、结构倒塌反应的计算机模拟及震害经济损失评估服务。七、八十年代,随着震害经验的不断丰富,强震观测资料的大大增加,现场和室内试验结果的持续积累以及计算机技术的普及和功能显著提高,促使地震工程研究迅速发展,也同时要求抗震破坏准则能更加合理全面地反映结构在地震动中的破坏,反映地震工程研究的最新成果,促进抗震理论向真正的动力阶段过渡。相信在九十年代对这一课题的研究将会有较大进展。

参 考 文 献

- 1 胡聿贤. 地震工程学. 地震出版社, 1988
- 2 徐植信等. 强烈地面运动持续时间对结构物倒塌的影响, 同济大学学报, 1982, (2)
- 3 程民宪等. 考虑结构低周疲劳特性的地震反应谱. 地震工程与工程振动, 1988, 12
- 4 瞿伟廉, 李桂青. 建筑结构破坏机制的探讨, 工程地震, 1990, 9
- 5 沈聚敏, 冯世平. R. C 框架结构的地震倒塌反应, 地震工程与工程振动, 1989, 3
- 6 江近仁, 孙景江. 砖结构的地震破坏模型. 地震工程与工程振动, 1987, 3
- 7 陈永祁, 龚思礼. 结构在地震动时延性和累积塑性耗能的双重破坏准则. 建筑结构学报, 1986, (1)
- 8 杜修力, 欧进萍. 建筑结构地震破坏评估模型, 世界地震工程, 1992
- 9 牛获涛. 基于弹塑性随机动力分析的抗震结构概率设计理论与方法. 哈尔滨建筑工程学院博士论文, 1991
- 10 西垣太郎, 水畑耕治. 鉄筋エンクリート柱の低サイクル疲労に関する実験的研究. 日本建築学会論文報告集, 第 328 号, 昭和 58 年 6 月 (1983)
- 11 西垣太郎, 水畑耕治. 鉄筋エンクリート构造物の動的耐震性評価に関する研究. 日本建築学会論文報告集, 第 332 号, 昭和 58 年 10 月
- 12 江近仁, 洪峰. 多层砖层的地震可靠性分析, 地震工程与工程振动, 1985

英 文 文 献

- 1 Iyadurai Kasiraj. Fatigue Failure of Nonlinear Multistory Seismic Structure. J. Structure Division, ASCE, Vol. 98, No. ST3, 1972, 3
- 2 Iyadurai Kasiraj, J. T. P. Yao. Fatigue Damage in Seismic Structure. J. Structure Division, ASCE, Vol. 95, 1969, 8
- 3 Mubadda T. Suidam, Robert A. Eubanks. Cumulative Fatigue Damage in Seismic Structure. J. Struc. Division. ASCE, Vol. 99, 1973, 5
- 4 Hirokazu Iemura. Earthquake Failure Criteria of Deteriorating Hysteretic Structure. 7, WCEE. Vol. 5, 81~88, 1980, 9 Istanbul
- 5 Yoshihisa Gyoten et al. Experimental Study on Low Cycle Fatigue of a Structural Member Subjected to Earthquake Loads 5. WCEE, 1974
- 6 Koji Mizuhata et al. Study on Low Cycle Fatigue of Structural Frames Due to Randomly Varying Load. 6. WCEE. Vol. II, pp. 3031~3036
- 7 Banon, H, Irving H. M. and biggs, J. M. Seismic Damage in Reinforced Concrete Frames. J. Structural Division, ASCE, Vol. 107, 1981, 9
- 8 Park Y. J. and Ang A. H-S. A Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete. J. Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, Apr. 1985
- 9 Park Y. J. Seismic Damage analysis and Damage-Limiting Design of R/C Structures. UIIU-ENG-84-2007
- 10 J. E. Stephens and J. T. P. Yao. Damage Assessment Using Response Measurements. J. of Structural Engg. Vol. 113. April, 1987
- 11 S. L. McCabe and W. J. Hall. Assessment of Seismic Structural Damage. J. of Structural Engg. Vol. 115, Sept. 1989

(下转 21 页)

Jiang Yong

(Yinchuan Urban and Rural Construction Commission,
Ningxia Hui Autonomous Region)

ABSTRACT This paper presents the style and features of Yinchuan with a long history and culture, and analyses the relations between protection of the city and the modernization of the city.

KEY WORDS Yinchuan's style and features, protection and inherit of a city, natural environment of a city

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

(上接 8 页)

- 12 S. L. McCabe and W. J. Hall. Evaluation of Structural Response and Damage Resulting from Earthquake Ground Motion. UILU-ENG-87-2009
- 13 S. L. McCabe and W. J. Hall. Damage and Reserve Capacity Evaluation of Structures Sujected to Strong Earthquake Ground Motion. 10, WCEE. 1992, Vol. 7, pp. 3653~3658
- 14 Newmark N. M. and Rosenblueth E. A. Fundamentals of Eathquake Engineering. Prentice-Hall, 1971
- 15 P. Argoul and H. Afra. Characterization and Identification of The Non-linear Behavior of Building. 10, WCEE

(编辑:徐维森)

A REVIEW AND ANALYSIS OF FAILURE CRITERIA FOR ASEISMIC STRUCTURES

Liu Boquan

Baishaoliang

Lai Ming

(Dept. of Civil Engineering)

ABSTRACT This paper Extensively discusses the current failure criteria for aseismic structures and points out the drawback. A method how to thoroughly study the failure criteria is presented.

KEY WORDS aseismic structures, failure criteria, cumulative damage, ductility