

文章编号:1673-2049(2013)03-0030-09

不同内填材料生态复合墙体非线性损伤分析

陈国新, 李建华

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:利用有限元分析软件 ABAQUS 建立 5 榀不同内填材料生态复合墙体的数值模型, 对其进行非线性损伤分析, 并与试验结果进行对比, 研究 5 榀生态复合墙体的损伤场的分布状况和塑性损伤行为, 分析墙体典型部位区域的损伤演化全过程, 提出生态复合墙体基于性能的分灾设计方法的理念。结果表明:生态复合墙体的损伤区域主要集中在中间层砌块、肋梁和肋柱交界处以及外框柱脚和柱顶处;局部和整体损伤指数时程变化规律在变形累积效应下表现出非减特性;整体损伤指数为生态复合墙结构震后评估提供一定的理论依据;砌块、肋格及外框是生态复合墙结构的 3 道抗震防线。

关键词:生态复合墙结构;非线性;损伤演化;损伤指数;砌块;肋梁;肋柱

中图分类号:TU352 文献标志码:A

Analysis of Nonlinear Damage of Ecological Composite Walls Filled with Different Materials

CHEN Guo-xin, LI Jian-hua

(School of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: The numerical models of the 5 ecological composite walls filled with different materials were established by finite element analysis software ABAQUS, then the nonlinear damage analysis was carried out, and the results were compared with experimental results. The damage field distribution and plastic damage behavior of 5 ecological composite wall models were studied, the damage evolution process of typical region of wall was analyzed, the idea of damage-reduction design method based on the performance of ecological composite wall structure was put forward. The results show that the damaged areas of ecological composite walls are mainly concentrated in the middle layer of blocks, the junctions of ribbed beam, ribbed column and base and top of end frame; the changing laws of damage indexes of local and global are increased by the effects of accumulative deformation; global damage index provides certain theory basis for earthquake evaluation of ecological composite wall structure; block, ribbed grid and frame are three seismic fortification lines of ecological composite wall structure.

Key words: ecological composite wall structure; nonlinear; damage evolution; damage index; block; ribbed beam; ribbed column

0 引言

生态复合墙结构体系^[1-2]是一种生态、节能、抗

震的建筑物结构新体系,它主要由预制的生态复合墙板与隐形外框及楼板装配整浇而成。作为结构主要受力构件的生态复合墙体是由生态复合墙板与隐形

收稿日期:2013-04-05

基金项目:国家自然科学基金项目(11242007);教育部科学技术研究重点项目(212194);

中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(RCPY201208)

作者简介:陈国新(1978-),男,新疆巴州人,副教授,工学博士,E-mail:xjbnchgx@163.com。

外框组成的墙肢或墙段,其中,生态复合墙板是以截面和配筋较小的钢筋混凝土肋梁、肋柱为框格,内嵌以工业、农业废料或其他生态材料为主的高性能砌块预制而成。

本文中笔者建立5榀同尺寸不同内填材料的生态复合墙体有限元模型,对墙体进行非线性分析,研究墙体在受力过程中构件各典型部位材料的塑性损伤^[3-5]行为,得出生态复合墙体内部损伤场的分布状态;用损伤指数分别衡量墙体局部和整体的损伤程度,分析生态复合墙体的非线性损伤演化规律;并用整体损伤指数对墙体的损伤程度进行评价,从而从微观层面上揭示墙体的3个部分构件——砌块、肋格及外框在受力过程中分阶段释放地震能量、实现多道抗震防线^[6-7]的全过程宏观反映;揭示损伤从低阶尺度的材料损伤到高阶尺度^[8]的构件损伤迁移演化规律;同时提出生态复合墙结构基于性能的分灾设计方法的理念。

1 非线性分析

1.1 模型的建立

图1中给出了生态复合墙体构造示意。利用有限元软件ABAQUS,建立5榀外形尺寸及框格大小相同、配筋也相同、内填砌块材料不同的生态复合墙体试验构件数值模型^[9],试件的规格及配筋如表1所示。试件编号分别为:XML-1,XML-2,XML-3,

表1 试件的规格及配筋

Tab. 1 Dimensions and Reinforcements of Specimens

长度/m	高度/m	厚度/m	框架、肋格尺寸/mm				框架钢筋型号			肋格钢筋型号		
			框架梁	框柱	肋梁	肋柱	框架梁	框柱	箍筋	肋梁	肋柱	箍筋
1.40	1.44	0.10	100	100	50	50	4φ6	4φ6	φ4@100	4φ4	4φ4	φ2@100

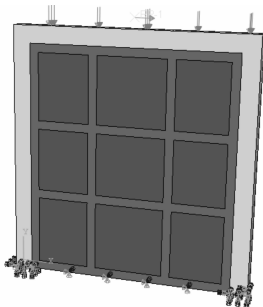


图2 生态复合墙体数值模型

Fig. 2 Numerical Model of Ecological Composite Walls

1.2 荷载-位移曲线

先将竖向荷载施加在墙体顶部,再施加水平荷载。水平荷载采用位移控制,加载过程与墙体试验

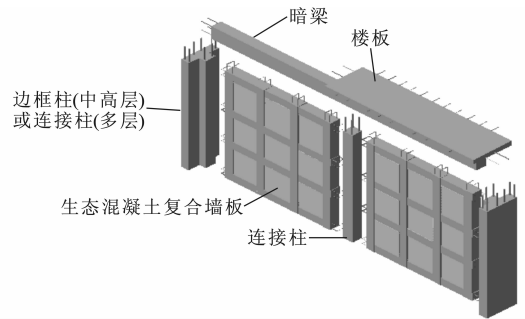


图1 生态复合墙体构造示意

Fig. 1 Construction Detail of Ecological Composite Walls

ECW-1,ECW-7,其中,XML-1为内填植物纤维生土基砌块生态复合墙体,XML-2为内填再生EPS轻骨料混凝土砌块生态复合墙体,XML-3为内填植物纤维水泥基砌块生态复合墙体,ECW-1为内填加气混凝土砌块生态复合墙体,ECW-7为内填棉花秸秆砌块生态复合墙体。模型建立时假定:①不考虑墙体平面外位移;②墙体底部的两端边框柱与底梁完全固接;③底部肋梁与底梁为铰接,如图2所示。建模时,混凝土和砌块采用线性缩减积分三维实体六面体单元(C3D8R),钢筋采用T3D2单元。砌块与肋格之间的接触关系中,砌块接触表面为从属面,肋格接触表面为主控面;肋格与外框之间的接触面关系中,肋格接触表面为从属面,外框接触表面为主控面。

相同。将5榀生态复合墙体骨架曲线的试验结果与数值模拟结果进行对比,如图3所示。

由图3可以看出:

(1)数值模拟结果与试验结果的骨架曲线在加载初期吻合较好,在弹塑性阶段有一定的偏差,但偏差不大,表明建立的生态复合墙体数值模型具有一定的适用性和精确性。

(2)墙体在弹塑性阶段骨架曲线的荷载,其数值模拟结果稍大于试验结果,分析其原因,主要有以下3个方面:①数值模拟时将加载条件理想化,而与实际情况下的竖向加载与水平加载均有一定的偏差;②墙体数值计算中未考虑内填砌块之间的拼缝及材料初始缺陷的影响;③内填砌块与混凝土肋格、肋格

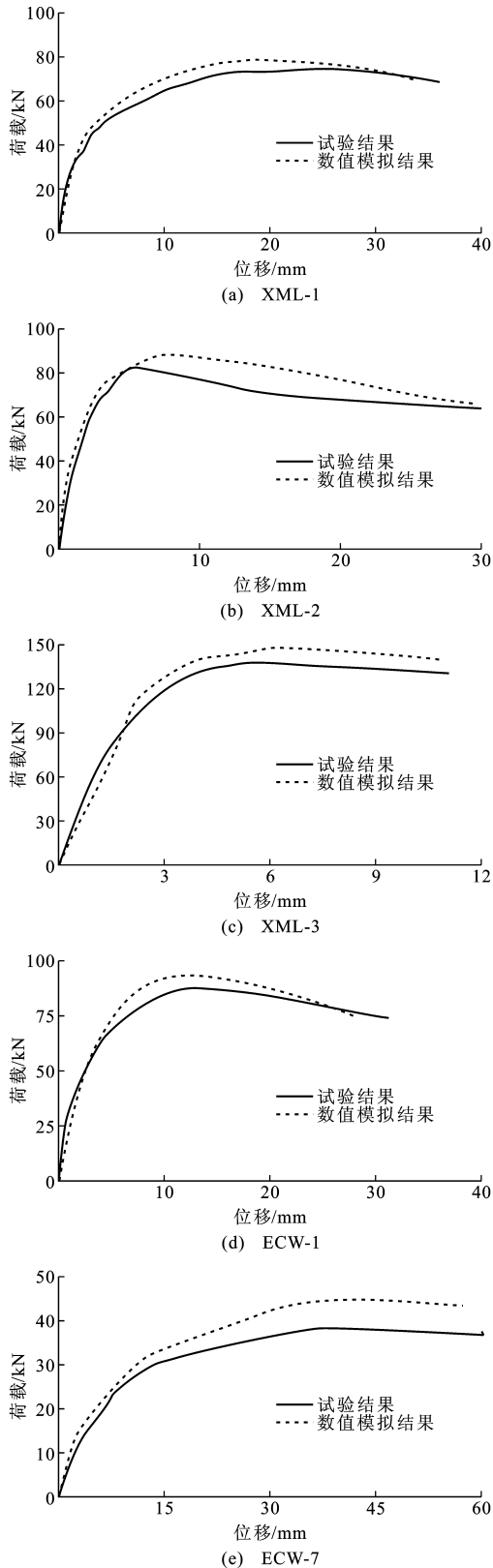


图3 墙体骨架曲线的试验结果与数值模拟结果对比

Fig.3 Comparisons of Skeleton Curves of Walls Between Experimental Results and Numerical Simulation Results

与外框之间的摩擦因数均参考相关文献取得,与实际情况存在一定的偏差。

2 损伤分析

2.1 损伤场

在损伤力学中,一般用损伤指数 D 表示损伤的状态和程度, $D=0$ 表示无损状态, $D=1$ 表示体元断裂,完全损伤。研究生态复合墙体在反复荷载作用下的损伤,可以衡量结构局部区域内应力重分布行为和刚度的变化程度^[10],通过损伤变量的分布云图可以对结构的损伤区域给予准确定位^[11]。图4为用损伤云线图来表示反复水平荷载作用加载末期不同内填材料生态复合墙体损伤场的分布状况,并与试验结果的最终破坏形态进行了对比。

由图4可以看出:在低周反复循环荷载加载后期,生态复合墙体的内填砌块、中肋梁、边肋柱和外框柱的上端和下端均出现了较为严重的损伤。除XML-3复合墙体外,其余4榀墙体内填砌块的损伤发育都较完全,尤其是生态复合墙体中层砌块,该部分各处的损伤指数基本都达到1.0,说明内填砌块完全发挥了耗能减震的作用。肋格混凝土的损伤主要集中在肋梁与肋柱交接处,且具有明显的集中效应。外框柱左右两侧的损伤主要集中在柱顶和柱脚处,且左右柱基本对称。

XML-3复合墙体内填砌块的损伤发育不完全,尤其是上层砌块,损伤指数较小,整个墙体的损伤区域主要集中在最下层砌块及外框柱脚处。由于配置砌块的强度较高,导致墙体在受力过程中内填砌块未能发挥损伤耗能的作用,在加载过程中表现出损伤指数较小。当荷载继续加大时,墙体外框底部发生了较大损伤而导致整个墙体破坏。

上述各墙体损伤场分布与墙体最终破坏后的试验结果及现象基本一致。

2.2 各部件关键区域损伤

由于生态复合墙体构造的特殊性和所用材料的复杂性,墙体在加载阶段末期,各部件的损伤程度不同,可用损伤指数衡量构件的破坏程度。损伤指数可以分为局部损伤指数和整体损伤指数^[12],局部损伤指数用来描述构件各部件的破坏程度,整体损伤指数用来描述构件的整体破坏程度。

根据损伤变量的分布来定义局部损伤指数。将生态复合墙体分为砌块、肋格和外框3个区域,每个区域又有一些关键部位,该关键部位包含了若干个有限单元。由试验现象和有限元数值模拟的结果可知,墙体中部砌块严重破坏,中间两道肋梁与肋柱交接处破坏最为严重,外框柱的柱顶与柱脚处破坏较

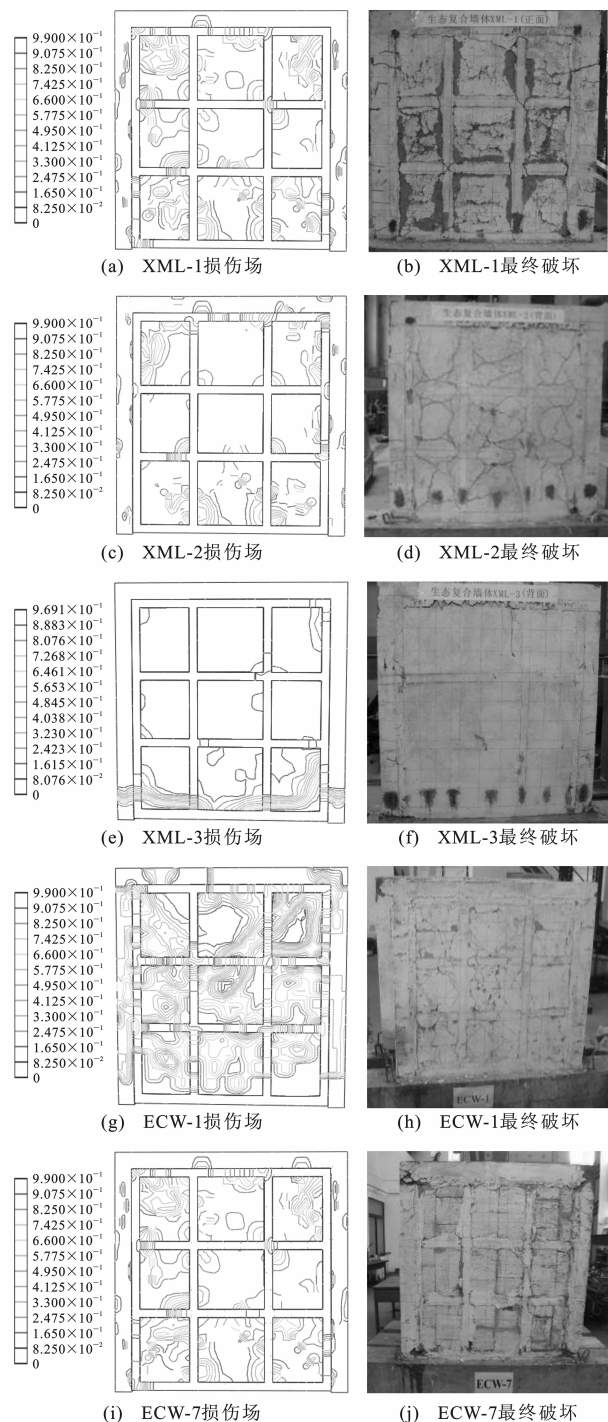


图 4 生态复合墙体损伤场与最终破坏

Fig. 4 Damage Fields and Final Failures of Ecological Composite Walls

为严重,将这 3 个部分设为损伤破坏的关键区域。通过非线性分析可以得到各单元的损伤变量,局部损伤指数定义为区域内各单元损伤变量的加权平均值,取单元面积为权重系数,即

$$D_i = \frac{\sum d_j S_j}{\sum S_j} \quad (1)$$

式中: D_i 为区域 i 的局部损伤指数; d_j 为区域 i 中第 j 个单元的损伤因子; S_j 为区域 i 中第 j 个单元的单元面积。

5 榀生态复合墙体各部件的局部损伤指数如图 5 所示。比较 5 榀生态复合墙体各部件关键区域的损伤情况,可以看出:

(1)除 XML-3 复合墙体外,其余 4 榀墙体的砌块、肋格和外框关键区域的局部损伤指数呈递减规律变化,而 XML-3 复合墙体的砌块和肋格的局部损伤指数较外框的小很多。

(2)XML-1 和 ECW-1 复合墙体 3 个部件的局部损伤指数相差较大。砌块的局部损伤指数最大,几乎达到 1.0,即内填砌块损伤较严重,充分发挥了积极耗能的作用;肋格的局部损伤指数大致是砌块的一半左右,而外框的局部损伤指数又比肋格小,这说明 3 个部件在墙体破坏过程中发挥了各自的作用,分阶段释放能量。

(3)XML-2 和 ECW-7 生态复合墙体的 3 个部件的局部损伤指数虽呈递减规律变化,但三者的数值相差不大,这是由于这 2 榀墙体的内填材料(再生 EPS 轻骨料混凝土和棉花秸秆砌块)的弹性模量都较小,类似于柔性材料,在反复荷载作用下,内填材料仅起到一个填充作用,变形大,受力小,肋格和外框承担了更多的水平荷载。

(4)XML-3 复合墙体砌块和肋格的局部损伤指数较其余 4 榀墙体小很多,而外框的局部损伤指数是砌块、肋格损伤指数的 2 倍~3 倍,这说明在墙体最终破坏后,砌块和肋格的损伤程度轻,未能发挥积极耗能作用,而外框损伤较大,导致墙体发生了不利的骤然破坏。

2.3 整体损伤指数

通过上述分析可以得知生态复合墙体各部件的损伤程度,但是局部损伤程度难以反映整个结构或构件在地震作用下的损伤情况。因此,需要从宏观上对生态复合墙结构的主要受力构件——生态复合墙体的整体损伤程度进行衡量,用整体损伤指数对墙体进行评价^[13],得出整个墙体的损伤情况。本文中通过对局部损伤指数 D_i 进行加权平均得到整体损伤指数 D ,即将生态复合墙体的砌块、肋格和外框典型区域的局部损伤能耗作为权重系数,与该区域的局部损伤指数加权平均,最终得到墙体的整体损伤指数,其计算公式为

$$D = \frac{\sum D_i E_i}{\sum E_i} \quad (2)$$

表2 墙体整体损伤指数

Tab.2 Global Damage Indexes of Walls

试件编号	XML-1	XML-2	XML-3	ECW-1	ECW-7
损伤指数	0.92	0.85	0.78	0.96	0.88

出:各墙体破坏后最终的整体损伤指数都较大,基本接近1.0,这也与定义墙体最终破坏后的损伤指数为1.0相一致,其中,XML-3生态复合墙体的整体损伤指数较小,这是因为墙体最终发生外框柱的弯曲型破坏,而典型区域的肋格和砌块破坏程度轻,即局部损伤指数小造成的。

3 损伤演化全过程分析

3.1 各部件损伤演化规律

图6为5榀生态复合墙体各部件典型区域在受力全过程中的损伤演化过程。

对生态复合墙体各部件的损伤过程进行分析,可以看出:局部损伤指数时程变化规律基本一致,在局部由于变形累积效应,损伤指数表现出非减特性。

从加载历程看,砌块几乎全部损伤破坏后,肋格典型区域才发生损伤,而随后外框很快发生轻微的损伤。

内填砌块的局部损伤几乎是一次完成的,即材料的损伤指数由初始值几乎是瞬间增加到最终值,说明材料的局部损伤是突发性的,能量几乎在瞬间一次性释放,这也与内填砌块的脆性破坏一致。

肋格和外框的局部损伤曲线具有明显的台阶形状,材料的损伤指数由初始值增加到最终值并不是一次完全完成的,而是经历了几个相应的阶段,这是由于肋格和外框中钢筋骨架的约束作用,能有效约束混凝土的裂缝发展和破坏。

除XML-3外,其余4榀墙体的损伤演化过程都呈现出上述类似的规律,而内填植物纤维水泥基砌块的生态复合墙体XML-3各组成部件的损伤演化规律表现出明显的不同,内填砌块和肋格各处的损伤指数都较小,外框柱的损伤指数基本为0,这与试验过程中观察的现象基本一致,即试验过程中砌块与肋格鲜有目测可见的裂缝,直至墙体外框柱钢筋拉断,墙板与外框都保持较好的整体性,砌块未能发挥耗能作用,导致墙体发生了不利的弯曲破坏。

3.2 墙体整体损伤演化规律

采用第2.3节所述的计算墙体最终整体损伤指数的方法,分别计算5榀墙体在水平荷载作用下的受力过程中的整体损伤指数。图7为5榀生态复合墙体整体损伤指数随加载次数的变化曲线。

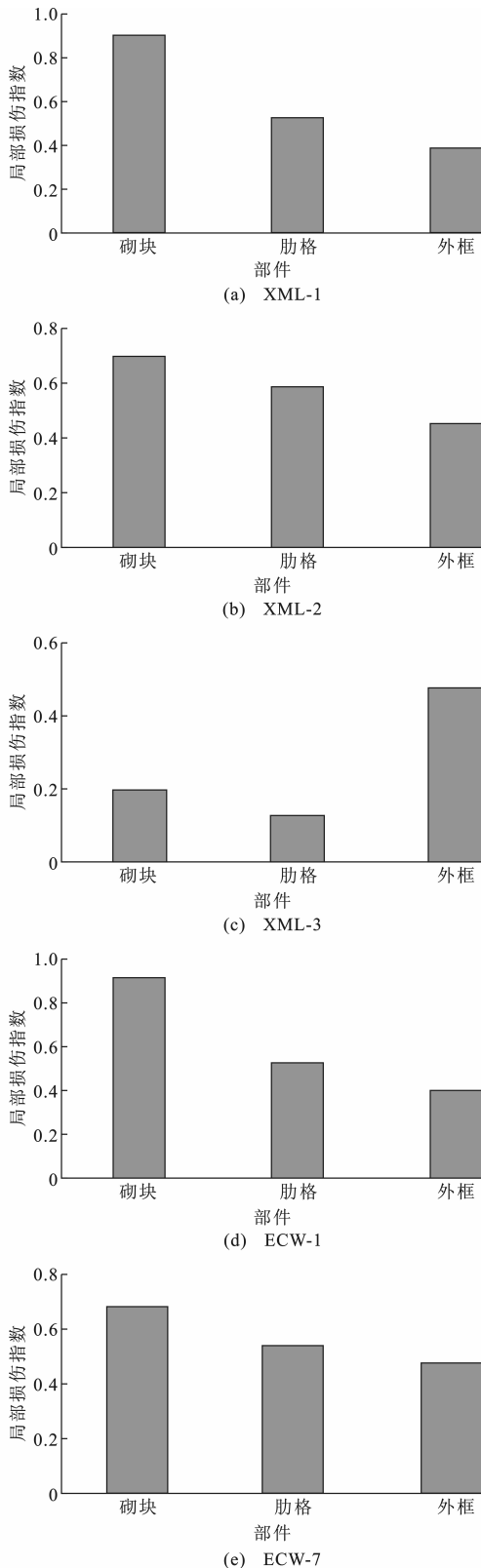


图5 生态复合墙体各部件局部损伤指数

Fig.5 Local Damage Indexes of Parts for Ecological Composite Walls

式中: E_i 为区域*i*的局部损伤耗能。

墙体整体损伤指数如表2所示。从表2可以看

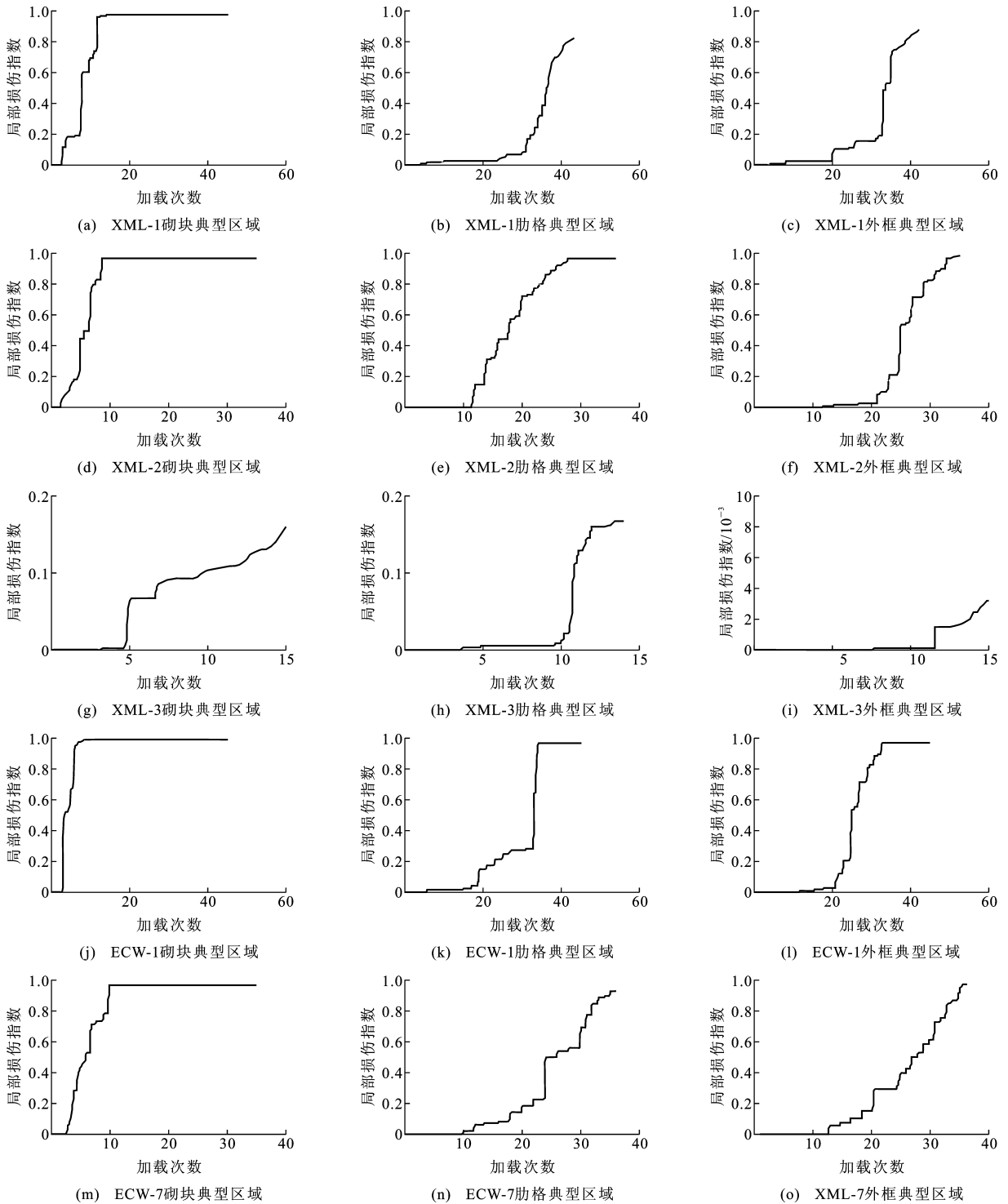


图 6 生态复合墙体各部件损伤演化全过程

Fig. 6 Damage Evolution Processes of Parts for Ecological Composite Walls

通过对不同内填材料生态复合墙体损伤演化全过程的对比,可以得到:

(1)各条损伤演化曲线都从细观层次深刻再现了生态复合墙体的非线性,即内填砌块均匀受力破坏-肋梁屈服-内力重分布-外框柱柱脚压溃屈服。

(2)除 XML-3 复合墙体外,其余各墙体的损伤

演化全过程曲线变化都是均匀的、缓慢的,说明墙体的损伤破坏具有一定的征兆性。而 XML-3 复合墙体的整体损伤曲线在加载后期迅速变陡,这是由于内填砌块损伤不完全,损伤直接迁移至外框典型区域,导致墙体最终破坏。

(3)加载前期,损伤曲线变化较缓慢,这时的损

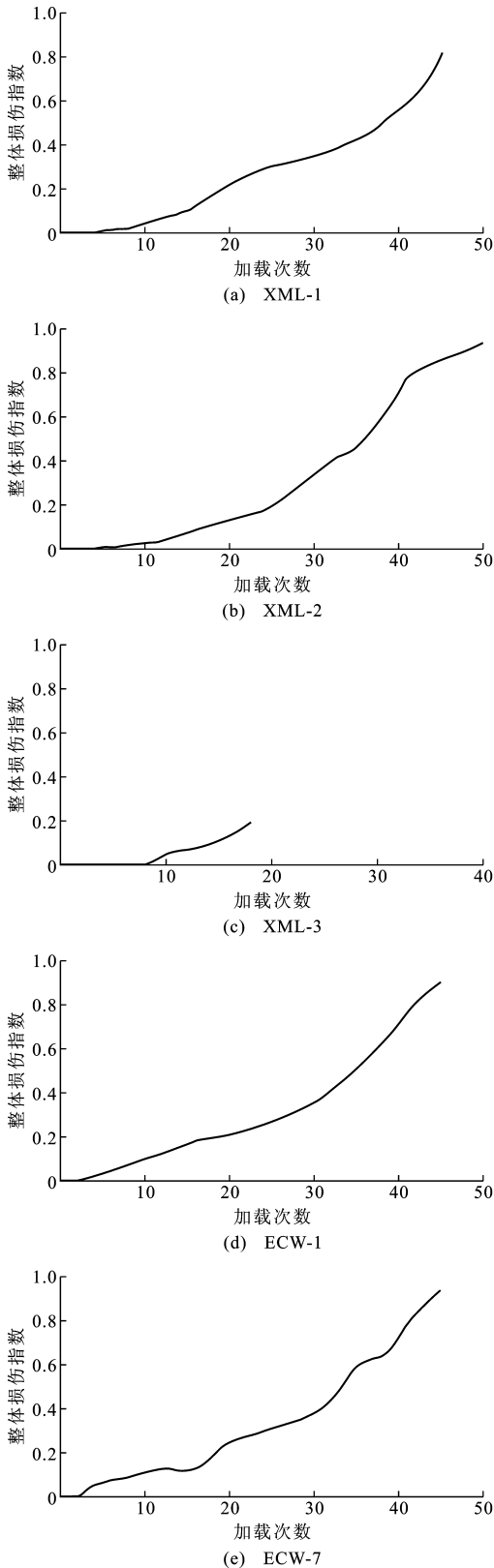


图7 生态复合墙体损伤演化全过程

Fig. 7 Damage Evolution Processes of Ecological Composite Walls

伤基本集中在中下部的内填砌块中;随着荷载的增大,墙体的损伤区域扩大,延伸至整个砌块范围,继

而到肋梁,直至外框柱的典型区域,此阶段的损伤演化曲线较前期变化快。

3.3 损伤评价

损伤指数作为一个标量,其取值范围从0~1.0分别对应无损状态和完全破坏状态,随着损伤指数中间取值的连续变化,可以反映结构或构件的损伤演化动态过程,精确地计算出各阶段的损伤指数可以真实再现结构体系在荷载作用下的损伤态势。

根据试验破坏全过程现象以及对不同受力阶段墙体损伤指数的研究,本文中给出了生态复合墙体不同震害等级下的损伤指数,如表3所示。

表3 生态复合墙体不同震害等级下的损伤指数

Tab. 3 Damage Indexes of Ecological Composite Walls Under Different Earthquake Levels

震害等级	震害现象描述	损伤指数范围
基本完好	肋梁、肋柱中没有出现裂缝,砌块中也没有明显的裂缝	[0, 0.10)
轻微破坏	墙体中层中砌块内沿砌块对角线出现比较明显的斜裂缝,并开始向肋梁内逐步延伸,其他砌块中也出现较均匀的细裂缝	[0.10, 0.20)
中等破坏	砌块内的裂缝增多且延伸至肋梁、肋柱,墙体中的裂缝分布比较均匀,发展比较缓慢、充分	(0.20, 0.55]
严重破坏	墙体中的斜裂缝已在肋梁、肋柱中贯通,并延伸至框柱,砌块破碎、剥落现象比较明显,并开始逐步退出工作	(0.55, 0.97]
倒塌	边框柱及肋梁、肋柱钢筋屈服,混凝土压酥,墙体结构局部丧失功能	(0.97, 1.00]

表3中根据损伤指数的大小将生态复合墙体的震害等级划分为5级,同时给出墙体相应的损伤宏观现象描述。对实际结构发生的震害现象,参照表3,可以评估生态复合墙结构在不同荷载作用下的损伤态势。

3.4 3道抗震防线及基于性能的分灾设计方法

在生态复合墙结构中,墙体各部件在各阶段的损伤破坏,体现了“主体-分灾元件”的概念设计思想^[14]。在设计中将整个结构体系视为主体结构 and 分灾元件2个部分,其中,主体结构为外框柱、连接柱、暗梁以及现浇楼板构成的整体,分灾元件为生态复合墙板。在非地震作用下,生态复合墙结构的主体分灾元件应共同工作,融为一体。地震作用下,充当分灾构件的填充砌块作为结构的第1道分灾防线,通过“变形→开裂→屈服”达到消耗输入能量、退化结构刚度、改变结构动力特性等目的;随着荷载继

续增加,充当分灾子结构的墙板肋梁、肋柱作为结构的第2道分灾防线,承担结构重力和水平荷载;而外框架及连接加强措施是结构体系的第3道防线。据此可建立生态复合墙结构的分灾抗震设计模型。

为反映生态复合墙结构分灾耗能全过程,利用地震损伤原理,建立生态复合墙结构地震损伤模型,同时分别计算分灾元件的损伤指数。依此制定生态复合墙结构地震损伤性能目标,以达到如下3道分灾防线:

(1)第1道分灾防线:小能量输入阶段(小震),结构保持较大刚度,不出现或出现较小程度损伤。

(2)第2道分灾防线:中等能量输入阶段(中震),砌块出现大量弥散裂缝,结构刚度逐渐降低,周期变长,此阶段结构损伤主要由砌块和墙板部分肋梁、肋柱形成。

(3)第3道分灾防线:强能量输入阶段(大震),生态复合墙板达到目标损伤指数,砌块退出工作,结构过渡到另外一种新的稳定体系,结构受力类似于框架结构,结构变柔,地震反应变小。

4 结 语

(1)5榀墙体的数值计算结果和试验得出的骨架曲线吻合较好,说明所建立的有限元数值模型具有一定的精确性和高效性。

(2)生态复合墙体的损伤区域主要集中在中间层砌块、肋梁和肋柱交界处以及外框柱脚和柱顶处。不同部位的砌块损伤破坏存在差异,局部和整体损伤指数时程变化规律一致,在变形累积效应下表现出非减特性。

(3)利用得出的整体损伤指数可以对墙体的破坏程度进行评价,为生态复合墙结构震后评估提供了一定的理论依据。

(4)从材料到构件的损伤研究分析,在微观层面上揭示墙体的3个部分构件——砌块、肋格及外框在受力过程中分阶段释放地震能量、实现3道抗震防线的全过程宏观反映,揭示损伤从低阶尺度的材料损伤到高阶尺度的构件损伤迁移演化规律,为生态复合墙体3个部分构件之间的协同工作作用分析提供了一定的理论依据,同时提出生态复合墙结构基于性能的分灾设计方法的理念。

参考文献:

References:

[1] 郭 猛,徐 健,徐福泉,等.加气混凝土砌块墙力学

性能研究现状与展望[J].建筑科学与工程学报,2012,29(4):44-52.

GUO Meng, XU Jian, XU Fu-quan, et al. Research Status and Prospect in Mechanical Properties of Aerated Concrete Block Wall [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2012, 29(4): 44-52.

[2] 陈国新,黄 炜,张 荫.内填不同材料填充砌块生态复合墙体抗震性能对比[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(11):4491-4500.

CHEN Guo-xin, HUANG Wei, ZHANG Yin. Comparison on Seismic Behavior of Ecological Composite Walls Filled with Different Materials Block[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(11): 4491-4500.

[3] 陈适才,陆新征,任爱珠,等.基于纤维梁模型的火灾下多层混凝土框架非线性分析[J].建筑结构学报,2009,30(6):44-53.

CHEN Shi-cai, LU Xin-zheng, REN Ai-zhu, et al. Nonlinear Analysis of Multi-story Concrete Frame Under Fire with Fiber Beam Model [J]. Journal of Building Structures, 2009, 30(6): 44-53.

[4] 张毅刚,周海涛,杨大彬.考虑材料损伤累积的空间网格结构弹塑性分析建模方法[J].世界地震工程,2011,27(2):38-44.

ZHANG Yi-gang, ZHOU Hai-tao, YANG Da-bin. Modeling Method on the Elastic-plastic Analysis of Spatial Grid Structures Considering Cumulative Damage Effect [J]. World Earthquake Engineering, 2011, 27(2): 38-44.

[5] 李兆霞.损伤力学及其应用[M].北京:科学出版社,2002.

LI Zhao-xia. Damage Mechanics and Application [M]. Beijing: Science Press, 2002.

[6] 曾桂香,黄 慧.地震作用下的结构耗能与抗震防线设置[J].自然灾害学报,2010,19(5):115-118.

ZENG Gui-xiang, HUANG Hui. Structural Energy Dissipation and Setting Up of Multiple Lines of Defence Under Seismic Action [J]. Journal of Natural Disasters, 2010, 19(5): 115-118.

[7] 姚谦峰,庞乃勇,夏 雷,等.基于抗震概念设计的密肋复合墙新型抗震结构体系[J].北京交通大学学报,2010,34(4):50-55.

YAO Qian-feng, PANG Nai-yong, XIA Lei, et al. Development of a New Seismic Structure with Multi-ribbed Composite Wall Based on Seismic Concept Design [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(4): 50-55.

[8] 郭 力,李兆霞,陈志文.面向结构状态评估的多尺度

- 损伤模型[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2010, 40(5):1047-1051.
- GUO Li, LI Zhao-xia, CHEN Zhi-wen. Structural State Assessment Oriented Multi-scale Damage Model [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2010, 40(5): 1047-1051.
- [9] 李正, 朱炳寅, 李宁. 基于 ABAQUS 的钢筋混凝土框架结构地震损伤分析[J]. 建筑结构, 2011, 41(增1):249-252.
- LI Zheng, ZHU Bing-yin, LI Ning. Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures Based on ABAQUS[J]. Building Structure, 2011, 41(S1):249-252.
- [10] 左熹, 杨树才, 陈国兴. 地铁车站结构非线性地震损伤演化规律分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2010, 32(1):110-116.
- ZUO Xi, YANG Shu-cai, CHEN Guo-xing. Analysis on Evolution of Nonlinear Seismic Damage of Subway Station Structure[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2010, 32(1): 110-116.
- [11] 倪红, 左熹. 地铁地下车站结构的地震反应特性研究[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(11): 1692-1698.
- NI Hong, ZUO Xi. Seismic Response Characteristics of Subway Station Structure [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(11):1692-1698.
- [12] 熊耀清, 姚谦峰, 夏雷. 密肋复合墙框格单元的损伤和耗能分析[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2011, 27(5):859-866.
- XIONG Yao-qing, YAO Qian-feng, XIA Lei. Study on Damage and Energy-dissipation of the Fundamental Element of Multi-ribbed Composite Wall[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2011, 27(5):859-866.
- [13] 尹攀, 易伟建, 胡其高. 结构整体抗震性能评估新方法[J]. 工程力学, 2010, 27(3):123-132.
- YIN Jiang, YI Wei-jian, HU Qi-gao. The New Method for Estimating Seismic Performance Structures [J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(3):123-132.
- [14] 苏原, 吴晟, 赵崇丰. 基于分灾模式的框架结构抗震加固设计方法[J]. 土木工程与管理学报, 2011, 28(3):40-45.
- SU Yuan, WU Sheng, ZHAO Chong-feng. Design for Frame Structures Seismic Retrofitting Based on Damage-reduction Model[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2011, 28(3):40-45.

《建筑科学》2014 年征订通知

《建筑科学》创刊于 1985 年,是由中华人民共和国住房和城乡建设部主管,中国建筑科学研究院主办的建筑科学类综合性科技期刊。《建筑科学》是原建设部优秀科技期刊,被《中文核心期刊要目总览》2004 年版收录,是中国科技核心期刊、《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范建筑核心类期刊》,同时也是国际 CODEN 中心收录期刊、国际连续出版物数据系统收录期刊、ICONDA 国际建筑文献数据库收录期刊。为适应当前建筑科学发展的需要,《建筑科学》于 2006 年 6 月起由双月刊改为月刊,并新增“可持续建筑”版面。

《建筑科学》在内容上注重工程的实用性和可借鉴性,主要为读者提供地基基础、建筑结构、建筑防灾、暖通空调、建筑材料、建筑物理等专业领域的研究成果和新技术工程、大型工程、重点工程的设计实例以及标准规范编修背景及动态、国外建筑工程先进经验等。

《建筑科学》“可持续建筑”版面内容则着重介绍建筑新能源、新技术、新设备、新材料、新产品的开发和推广以及在节能和可持续建筑中的规模化应用,涉及建筑设计、暖通空调、建筑物理、水资源利用、环保建材为主的各相关专业。

《建筑科学》为月刊,大 16 开本,112 页,每月 20 日出版,每期定价 12 元,全年共 144 元;国内邮发代号:2-381;也可直接到本刊发行部购买,邮费为书刊定价的 20%。

地 址:北京市北三环东路 30 号《建筑科学》编辑部 邮 编:100013

电 话:(010)64517786 64517427 E-mail:busc@263.net;bjb365@126.com