

目 录

编译者的话	(1)
一、新西兰建筑抗震设计规范中有关剪力墙的规定	(3)
二、美国房屋统一规范UBC (1979年版) 有关抗震结构体系及 抗震设计中剪力墙的规定	(5)
三、美国“房屋抗震规定暂行条文ATC”中有关结构体系及剪力 墙的规定	(6)
四、美国钢筋混凝土规范ACI318-77有关抗震设计中剪力墙的 规定	(8)
五、加拿大钢筋混凝土结构设计规范中 (CSA Standard C ANS A23.3-M77) 有关抗震设计中剪力墙的规定	(9)
六 钢筋混凝土剪力墙的延性	(11)
七、钢筋混凝土延性剪力墙的承载能力设计法	(18)
八、计算实例—悬臂剪力墙的设计	(29)

编 译 者 的 话

高层建筑中用剪力墙作为主要的抗地震侧力构件是不是一个好的结构选型？对它如何估价？十年前许多国家的规范对于采用剪力墙作为高层建筑的抗地震侧力构件是持保留态度的。以美国1970年版 UBC 规范为例，它规定：

“高于160英尺的房屋必须具有能抵抗不少于整个建筑物25%地震力之延性抗弯空间框架……。例外：在地震1区（美国烈度低的地区，编者注）对于高于160英尺的房屋，可以由混凝土剪力墙来代替延性空间框架。”

1976年版 UBC 规范对此条文无大变动。

1972年版新西兰标准以及加拿大1970年国家抗震规范关于剪力墙的规定与 UBC 的条文大同小异。^①

由此可见，这些国家对剪力墙在高层建筑中之应用是小心翼翼的。主要顾虑是怕它是否会发生脆性破坏。

近年来许多国家的专家对这个问题进行了研究，并做了大量的试验。其中有新西兰的 T. 鲍雷 (Paulay)、美国的 M. 费因德 (Fintel) 和加拿大的 C. M. 阿伦 (Allen) 等人。他们的研究成果改变了剪力墙在高层建筑中作为抗震构件的评价。各国的抗震规范对剪力墙的有关规定均作了修订，应用的限制被取消或放松了，与此同时还提出了如何防止脆性破坏，即明确地提出了延性剪力墙的设计要求。

这里针对这个问题选译了一部份资料。从国外的一些设计规范中可看到官方的规定，从中可作出对比分析。选译的两篇论文系统地论述了延性剪力的设计、计算和构造

问题；最后还编入了一个计算例题，有助于读者更好的理解。

加拿大 C. M. 阿伦 (Allen) 等写的《钢筋混凝土剪力墙的延性》（见本资料第六篇）一文中，根据他们试验所得的资料，论述了影响剪力墙延性性能的各种因素，提出了防止过早出现剪切破坏和保证剪力墙具有足够延性性能的设计计算方法。加拿大现行钢筋混凝土规范中有关抗震剪力墙的条文是按该文的一些观点和建议修订的。

新西兰 T. 鲍雷 (Paulay) 教授发表的文章、书籍很多，这里仅选译了他最近发表的《钢筋混凝土延性剪力墙的分析，设计和设计作用力计算》一文中“承载能力设计法”一章（见本资料第七篇）。该文具体地介绍了如何从设计、计算和构造来保证该墙的延性要求，既有必要的理论，又提出便于实际应用的建议。新西兰的抗震规范也是吸收了鲍雷教授的观点作了修订的。

最后编入的例题也是摘自鲍雷的同一著作。

从五本规范的各种观点来看，它们之间有一致的地方，也有不同的地方，主要体现在以下几方面。

1. 对剪力墙作为主要抗地震侧力体系的评价。

新、美、加三国的旧规范对此均持有保留态度，且明确地提出限制，而现行规范对于这些限制均予以放松或取消。新、加规范将这些限制全部取消。新西兰对于联肢剪力墙甚至认为“可能是现今钢筋混凝土最好的

^①参见: Earthquake Resistant Regulations-A World List (1973) p.275, 450, 71 Edited by the International Association of Earthquake Engineering.

抗地震体系（见新西兰建筑抗震设计规范之第3.3.4.1条）。UBC规范对于建筑物的高度仍在限制，但放松了限制，原来地震震区不允许在高于160英尺房屋中采用剪力墙，而现行规范允许了（见本资料第二篇之2312(j)1分条的(B)）。ATC规范是美国最新的（暂定）现行规范，它对高烈度地震区所采用抗震体系的房屋高度虽有限制，但比UBC要松（见本资料第三篇之3.3.3~3.3.5条）。

剪力墙可以作为抗地震侧力结构，同时必须满足严格的延性及构造要求，这是各国一致的结论。

2、考虑延性的基本设计原则

所谓“延性”系指构件（或者结构体系）经受重复的变号的非弹性变形后，不减少其承重能力的性能。混凝土是延性较差的材料，从结构体系来说，剪力墙的延性比框架要差；因此，如何使钢筋混凝土剪力墙避免脆性破坏、如何处理细部构造来提高其延性性能，是抗地震剪力墙设计的关键问题。

加、新规范的一个基本观点是抗震剪力墙的抗剪强度必须高于抗弯强度。换言之，如果结构发生破坏，则弯曲屈服破坏应先于剪切脆性破坏（见本资料第一篇的3.3.4.2条及第五篇的19.9.8.1条）。本资料第六篇及第七篇文章中阿伦及鲍雷教授都强调了这个问题。

美国的三本规范没有这个规定，而是要求在剪力墙两端加强边缘构件以提高其延性性能。

3、对剪力墙计算的规定

UBC规范的剪力公式与ATC规范对于地震区与非地震区用同一剪力公式，只是荷

载系数、组合系数以及强度折减系数有所不同。

应该着重指出，加拿大的钢筋混凝土规范与三本美国规范之最大差别在于前者提出墙下半部计算剪力时，不计混凝土强度，全部剪力由钢筋来承担（见本资料第五篇的19.9.8.4条）。本资料第七篇文章中也提到在墙中可能产生塑性铰的区域，混凝土的抗剪强度假设为零。

日本《钢筋混凝土结构计算规范暨解释》（有中译本）规定抗震墙承受水平荷载的允许水平剪力 Q_A 应取 Q_1 及 Q_2 之较大值。其中 Q_1 为墙的混凝土可承受的剪力， Q_2 为墙中抗剪钢筋可承受的剪力（见该规范的第18条）。这说明日本规范对剪力计算也有较严格的要求。

美国的三本规范则没有这个规定。看来，他们的思路与新、加不同。新、加的基本思路是尽量消除剪力破坏的可能性，如果墙之某处的混凝土产生剪力破坏，则受剪钢筋可承担全部剪力。美国三本规范，与此相反，要求剪力墙两端的边缘构件做得非常牢靠（见ATC规范11.8.4条；UBC规范2627—C条；ACI规范A8.5.1条）。他们的基本思路是：即使剪力墙的腹板由于受剪而遭受破坏，但由于边缘构件能承受全部静荷载活荷载和地震荷载所产生的轴向力，剪力墙也不会倒塌。

4、提出严格的构造要求

几本规范对构造要求均有具体和细致的规定。特别提出了所配的钢筋应满足对混凝土约束的要求。这些细部设计在工程设计中是不容疏忽的。

胡世平

地震区钢筋混凝土延性剪力墙的设计

一、新西兰建筑抗震设计规范中有关剪力墙的规定

编者说明：下边的条文摘自《新西兰标准NZS4203:1976》。

此标准共分四部份，其中第三部份为抗震设计之条例。对抗震设计中有关剪力墙之规定为第三部份之3.3.4条。该条又分为若干小条。以下为3.3.4条之全文。条文冠以英文字母C者为条文之注释。

3.3.4条 剪力墙

C.3.3.4 在平面内产生的动力倾覆，剪力墙固有抵抗能力比框架要好；当产生严重开裂或当地面有局部开裂的情况下，墙体也比框架更为稳定。这主要是因为墙体的尺寸比框架的构件尺寸要大。因此也规定了墙体的最小宽度。尽管有时会有难以区分为这种或那种结构类型的中间情况(见C 3.3.4.1条)可是从构造来说，墙与框架是显著不相同的。

3.3.4.1条 联肢延性剪力墙

C3.3.4.1 比例适当的联肢延性剪力墙可能是现今钢筋混凝土最好的抗震结构体系，这种剪力墙总的性能与抗弯框架相似，但由于墙的刚度很大，它具有一些优点，即在联肢梁达到相当大的屈服以后，这种体系仍能保护非结构构件免于破坏。联肢梁通常仅承担不大的重力荷载且它很便于修复。

按弯曲屈服设计的单个悬臂剪力墙与联肢延性剪力墙之间的主要区别在于后者可以

使联结体系成为主要的地震能量耗散装置。设计宜按下述顺序进行，即：当联肢梁承受作用于结构上绝大部份的倾覆力矩而将屈服能力耗尽时，墙体构件才屈服。

这样便可推迟类似建筑物歪斜的永久性的破坏。甚至最后在全部延性都被利用仍不一定因失稳而产生灾害。

3.3.4.1.1 联肢延性剪力墙(表1—2第3项)应由两片或两片以上的延性悬臂剪力墙通过确实有能力把某一片墙的剪力传递给另一片或若干片墙的联肢梁相互连接而组成。

(见3.3.4.1.2和3.3.4.2条)

3.3.4.1.2 联肢延性剪力墙。当竖向构件的构造满足延性框架柱规定时，可以不遵守3.3.4.2条中关于高宽比和最小宽度的规定

C3.3.4.1.2 3.3.4.1.2条默认延性框架与延性联肢剪力墙之间没有一个明确的分界线，两者之间只有一个逐渐的过度。

3.3.4.1.3 设计应做到联肢梁的屈服必定发生在墙体屈服之前。联肢梁的截面设计应做到使它能耗散较大一部份地震能量。

C3.3.4.1.3 近期的研究表明：在任何一标高处，如果墙体中的轴向力能抵抗总倾覆力矩的三分之二以上，则可满足3.3.4.1.3条的要求。

钢筋混凝土联肢梁通常要求配有斜向钢筋使之在适当的循环次数下具有受拉和受压的屈服能力。为让房屋管道通过而在联肢梁上不适当地开洞会严重损害梁的抗震性能。因此对这类结构应在设计过程中及早考虑如何配置这些服务设施。

3.3.4.2 悬臂延性剪力墙

3.3.4.2.1 应对悬臂延性剪力墙(表1—2中之第4和第5项)恰当地进行设计与处理构造问题,以保证能量可由弯曲屈服延性来耗散,从而保证墙体不至过早地发生非延性状态的破坏。高宽比应不小于2,宽度应不小于1.5米。而且,墙内之开洞都不得对地震冲击下的墙体性能有重大的影响。(表1—2及有关文字见文后—编者注)

C3.3.4.2.1 表1—2中第4和5项所给的S值只用于符合3.3.4.2.1条的墙体。非延性方式耗散能量的危险将随着轴向力和剪应力的增加而增加。在配筋百分率很高或主筋配筋不对称的钢筋混凝土墙中这种危险也会增加。

为数不多的研究(1975年)表明:按承载力设计的地震剪力宜按以下近似系数提高:(见表1—1)

表1—1

层数	建筑物等级		
	I	II	III
1—5	1.0	1.2	1.3
6—9	1.2	1.3	1.5
10—14	1.4	1.5	1.7
15—20	1.4	1.6	1.8

这是由于在真实的动力状态下各振型的迭加使产生铰时惯性荷载的中心将比预计的低很多,且可能在墙体的中间高度处形成塑性铰。这些情况在刚性及柔性悬臂剪力墙中都会发生。

另外一种办法是:不用表中的提高系数,而在剪力墙的抗剪设计中将荷载乘以 $S=2$ 的系数。不论采用哪一种方法,墙铰处的全部剪力都应由钢筋承担。

3.3.4.3 不按弯曲屈服延性设计的悬臂剪力墙

3.3.4.3.1 不按弯曲屈服延性设计但能耗散一定数量的地震能量的剪力墙(表1—2中之第6项),宽度应不小于1.5米,

且应适当地进行构造处理,以便保证:

(a)提供有限的弯曲屈服延性,在可能出现塑性铰处,混凝土应有适当的约束;

C3.3.4.3.1(a)表1—2第1到第5项中的结构,必须具有弯曲屈服延性,因此要求有较高的截面曲率延性率。在轴向荷载较大和配筋不对称的混凝土截面中,此系数可能达不到这样高;在T形,L形类似的截面中,此系数也可能达不到这样高。

(b)高宽比小于或等于2的墙体中,要作成在地震冲击下裂缝能均匀分布且可控制开裂宽度的体系,以免过早发生剪切破坏。

编者注:前边诸条文中提到系数S及表1—2可参见本规范中第3.4.2节及此节之注释。摘译如下:

结构数型系数S是用来反映不同结构体系的潜在抗震性能。确定S值的标准时,首先要考虑结构类型在若干次荷载循环中耗散能量的能力,其次是按适当的条件确定该结构类型的超静定次数。此时假定该给定的结构类型所有主要抗震构件中作为耗散能量的构件大部分都参与了耗散能量。

当某个建筑物的抗震性能必须由多种结构类型的组合来提供时,则需要从表1—2中经合理判断选用适当的S值,这就需要考虑各种构件在强震时参与耗散地震能量的程度。

结构类型系数按S考虑的

每个方向分别确定 表1—2

项目	说明	S
1	有足够数量可能形成梁塑性铰的延性框架	0.8
2	不具备足够数量可形成梁塑性铰的延性框架	1.0
3	联肢延性剪力墙	0.8
4	两片或更多的平行且近似对称排列的悬臂剪力墙	1.0
5	单片悬臂剪力墙	1.2
6	未按延性弯曲屈服设计但具有耗散大量地震能量能力的剪力墙	1.6
7	以下从略	

二、美国房屋统一规范— UBC (1979年版)有关抗震结构体系 及抗震设计中剪力墙的规定

第2312条(j)

1、延性要求

(A) 从略

(B) 凡高于160英尺的房屋必须具有延性抗弯空间框架。这些框架必须可以抵抗不小于整个结构物地震力之25%。

例外：在一及二地震区域，当房屋高度高于160英尺，可以不用延性抗弯空间框架而用混凝土剪力墙。但这些剪力墙之设计必须遵照本规范之第(2627)条或者这些抗侧力竖向支撑必须遵照第(2312)条(j)1之(G)设计。设计时水平系数 K 必须等于1或1.33。

(文字左侧有竖虚线者为1979年版之新添的条文下同。编者注)

C~G. 从略

H. 所有房屋的钢筋混凝土剪力墙应符合第2627条之规定。

在关抗震的钢筋混凝土剪力墙及抗侧力竖向支撑

第2627条

(a) 一般规定

建筑物中凡承受轴向力为主的抗震剪力墙和钢筋混凝土抗侧力竖向支撑均应遵循本章之规定进行设计和施工。

剪力墙及抗侧力竖向支撑应按强度法进行设计，但也可使用第2608(j)条另一设计法。但是此时剪力的安全系数应该与强度法的安全系数相当。

第2609条(d)中之式(9-2)及(9-3)当用于地震荷载时应改为：

$$U = 1.4(D + L) + 1.4E \quad (27-1)$$

$$U = 0.9D + 1.4E \quad (27-2)$$

除了符合使用水平力系数 $K = 0.67$ 之房屋

以外，在计算房屋剪力墙的剪应力及斜向主拉应力时，式(27-1)及(27-2)中应采用 $2.0E$ 。

上式中

U = 承担乘以荷载系数的荷载或相应的力矩或内力所需的强度

D = 静荷载或相应的力矩或内力

L = 活荷载或相应的力矩或内力

E = 地震荷载或相应的力矩或内力

(b) 关于抗侧力竖向支撑(从略)

(c) 关于剪力墙边缘的竖向构件

当房屋的抗侧力体系有如表23-1中 $K = 0.8$ 时的体系，则在混凝土剪力墙端头应设置特种的边缘竖向构件。这些构件应由混凝土包裹的、使用A36, A441, A572(除去60级及65级钢)或A588结构钢的钢构件组成(指劲性配筋混凝土—编者注)也可以使用如第2626条(f)中所要求的钢筋混凝土柱且在柱全长设有第2626条(f)4中所规定的特种横向钢筋。在这些混凝土边缘构件中竖向钢筋应符合第2626(d)2中之要求。

例外：如果由静荷载、活荷载及地震荷载组合产生的应力不大于许可应力的一半，则在一和二地震区域建筑时可以不用上述的特种横向钢筋。

设计边缘竖向构件所需的其它相似的竖向构件时必须使之能承担墙的全部荷载。此外，还要承担从属的静荷载及活荷载以及第2313条规定的水平荷载。墙中的水平钢筋应与这些竖向构件牢固地锚住。

例外：在一及二地震区域中竖向边缘构件仅需承担起按一般承重墙考虑的剪力墙所未负担的那部份从属的静和活荷载。

在墙的开洞处，水平向和竖向边缘也应有类似的约束，除非计算证明开洞处之压应力之荷载系数比上述式(27-1)和式

* K 值系UBC规范中确定地震力系数之一，刚度愈大， K 值愈大，反之则愈小， K 值幅度为 $0.67 \sim 1.33$ —编者注。

(27-2) 所需大一倍。

(d) 墙身钢筋

剪力墙中抗剪钢筋端头应加90°弯钩及一般等于6倍直径的长度。这些钢筋端头均应伸出墙身竖向及水平向边缘钢筋之外侧。墙之边缘如有边柱及边梁,则这些钢筋应牢固地锚在这些边缘构件中。

三、美国“房屋抗震规定暂行条文ATC”中有关结构体系及剪力墙的规定

编者说明:此规范系由美国应用技术委员会(Applied Technology Council)主编。简称为“ATC”暂行抗震规范”。该规范于1978年出版第一版。规范中对地震区之划分以及其它一些规定与美国其它抗震规范,如加州之抗震规范(SEAOC),美国房屋统一规范(UBC)均有较大的不同。

第三章的部分条文

3.3.3条 结构布置体系

本规范将结构体系分成四类如表3-B所示。每一类又按其抗侧向地震力的竖向构件之不同而另行分类。不同的设防标准的建筑物有一些专门要求。这些要求在第36条以及第九、十、十一、十二章给出。

3.3.1条 结构布置体系的分类:

每个建筑物或部份建筑物可划为表3-B所列四类不同结构布置体系之一。在表3-B中给出了反应修正系数R以及变形放大系数C_d。这些是用来确定基底剪力及设计层间位移。表3-B也包括房屋中类似倒置摆的特殊结构。

3.3.2条 不同结构布置体系的组合

当一个建筑物内有不同结构布置体系的组合,则应满足下列要求。

(A) R值:抗震体系的最低R值在任

意一方向及任意一标高处均不得超过表3-B所列此方向以及此标高以上的值。

例外:当支承体系之重量等于或小于房屋重量之十分之一,则无需满足此要求。

反应修正系数 表3-B

结构体系的类型	竖向抗震体系	系数 R	系数 C _d
承重墙体系:由承重墙承受全部或主要的垂直荷载。	有剪力板的轻框架墙	6½	4
	剪力墙 钢筋混凝土	4½	4
	配筋砖墙	3½	4
地震力由剪力墙或带有支撑的框架来承受	带有支撑的框架	4	3
	无筋或部份配筋的砖剪力墙	3¼	3½
框架体系:系由一个空间框架来承受垂直荷载。	带有剪力墙的轻质框架墙	7	4½
	剪力墙 钢筋混凝土	5½	5
	配筋砖墙	4½	4
地震力由剪力墙或带有支撑的框架来承受	带有支撑的框架	5	4½
	无筋或部份配筋的砖剪力墙	1½	1½
抗弯框架体系:由空间框架承受垂直荷载,全部地震力由一般的或特殊抗弯框架承受	特殊框架 钢	8	5½
	钢筋混凝土	7	6
	一般的抗弯框架 钢	4½	4
	钢筋混凝土	2	2
双重体系:由空间框架承受垂直荷载,由特殊抗弯框架承受至少25%的地震力,总的地震力用特殊抗弯框架和剪力墙,或带支撑的框架按刚度比例来承受	剪力墙 钢筋混凝土	8	6½
	配筋砖墙	6½	5½
	拼装的承剪木板	8	5
	带有支撑的框架	6	5
倒置摆结构,这种结构承受地震力时类似于孤立的悬臂梁同时也承受轴向力	特殊的抗弯框架 钢	2½	2½
	钢筋混凝土	2½	2½
	一般的抗弯框架 钢	1¼	1¼

(B) 构造要求: 当构件同时属于有不同R值的体系, 则此构件应满足R值较高的构造要求。

3.3.3条 设防标准(注1)为A及B类

当设防标准为A及B时, 本规范规定的任何一种结构布置体系均可应用。

3.3.4条 设防标准为C类

设防标准为C类之房屋, 除应满足B类之要求外, 尚须满足本节附加之要求及限制。

(A) 抗震体系: 房屋超过160英尺的抗震体系应是下列之一种:

1、具有特殊抗弯框架的抗弯框架体系。

3、双重体系。

3、钢或现浇混凝土带有支承框架或剪力墙。这些带支承的框架或墙必须布置得使任意一平面中它们不能承受大于地震力之33%。此地震力也包括由扭转产生的影响。此体系适用于不超过240英尺高度的房屋。

(B) 共同作用的影响(从略)

(C) 变形的协调(从略)

(D) 特殊抗弯框架(从略)

3.3.5条 设防标准为D类

设防标准为D类之房屋, 除应满足C类之条件外, 尚须满足本节附加要求及限制。

第3.3.4条中有关高度的限制应由160英尺降到100英尺, 有关带支撑的框架及剪力墙之最大高度应由240英尺降到160英尺。

第十一章的部份条文

11.8条 剪力墙, 带有支撑的框架及横隔板

本条的要求适用于抗震体系中的剪力墙、带有支撑的框架以及横隔板, 也适用于传递地震运动所引起的轴向力之短撑、拉杆及受力部件。

剪力墙及横隔板每方向之最低含钢量不得少于0.0025。钢筋间距在每方向均不得大于18英寸。抗剪的配筋必须是连续的, 并须

均匀分布。

剪力墙及横隔板的极限剪应力应根据下式确定:

$$V_u = 2\sqrt{f'_c} + \rho_h f_y \quad (11.5)$$

式中 N_u = 极限剪应力。

f'_c = 混凝土抗压强度(磅/平方英寸)

ρ_h = 水平钢筋之含钢量

f_y = 钢筋之屈服强度(磅/平方英寸)

轻质骨料的混凝土之极限剪应力为(11-5)式乘以0.75。

11.81条 剪力墙构造及对它的限制

竖向钢筋的含钢量 ρ_v 及水平钢筋的含钢量 ρ_h 应相等, 抗剪所需之钢筋应均匀分布。水平钢筋搭接接头应该错开, 如果使用两层钢筋网, 则其搭接接头不应在一处。

除非剪应力小于 $2\sqrt{f'_c}$, 不然剪力墙中应使用两层钢筋网。

当所有的窗间墙垛共同承担同一侧向力时, 其平均剪应力不得大于 $8\sqrt{f'_c}$, 且其中的任意一个窗间墙垛或墙的水平部份的剪应力不得大于 $10\sqrt{f'_c}$ 。

双重体系的剪力墙以及框架体系或承重墙体系的剪力墙中, 在任意荷载, 包括地震荷载在内的荷载组合的作用下, 其设计压应力超过 $0.2f'_c$ 时, 则应沿墙边缘布置满足11.8.4条中要求的竖向边缘构件。求应力时应根据建筑物之毛截面采用线性弹性模型。当求得在某一个标高的应力小于 $0.15f'_c$, 则竖向边缘构件可在此标高处断掉。

注1:

本规范根据地震分区(分为四个区)及房屋重要性(分为三类), 将设防标准分为A, B, C, D四类。地震分区与我国之烈度之间无明确对照, 大致地说, 八度相当于ATC地震分区为A之低档, 在我国八度地震区建设住宅, 学校、大旅馆则相当ATC设防标准为C, 7度地震区则相当于设防标准为B。

为满足剪力或最低含钢量而配置的墙内水平钢筋,必须牢固地锚在边缘构件中以便发挥其抗拉屈服强度。

11.8.2条 横隔板的构造以及对它的限制

在横隔板中,在任意荷载包括地震荷载在内的荷载组合的作用下其设计压应力超过 $0.2f'_c$ 时,则应布置满足11.8.4条中要求的边缘构件。求应力时应根据建筑物之毛截面采用线性弹性模型。当某点之计算应力小于 $0.15f'_c$ 时,此边缘构件可在此断掉。

预制楼板上满铺现浇面层可做横隔板,但此面层的配筋及构造应能承担设计剪力。

11.8.3条 剪力墙及横隔板之开洞

除非在剪力墙及横隔板的洞口边缘的压应力小于 $0.2f'_c$,不然则应在洞口边缘设置边缘构件。计算时应考虑任意荷载,包括地震荷载在内的荷载组合并按弹性计算。

11.8.4条 边缘构件

边缘构件应按11.8.1条及11.8.2条的要求而设置。边缘构件用钢筋混凝土或劲性配筋混凝土制作,并与墙或横隔板连续地连在一起。

劲性配筋混凝土的钢材应符合第十章的要求。

钢筋混凝土的边缘构件应按11.7.2条之要求设置横向钢筋,它应布置在边缘构件之全长内。

当剪力墙需要竖向边缘构件时,则它应承担所有作用在墙上的动力荷载以及地震倾覆力矩引起的竖向力。

横隔板的边缘构件应能抵抗轴向力以及墙截面的设计力矩除以该截面高度所求得之力之和。

布置在洞口的边缘构件在某给定方向的轴向力承载能力应与削弱截面的强度相同。这些边缘构件应该锚住,使得它有开洞边上能发挥其抗拉度。

11.8.5条 带有支撑的框架(从略)

11.8.6条 钢筋搭接与锚固(从略)

11.8.7条 施工缝

剪力墙、横隔板以及其他承受地震力构件之施工缝必须设计并建造得使它能承受在缝处之设计力。

如果施工缝处之剪力仅仅是由粗糙混凝土面上的销键作用和磨擦力来承担,则在缝处总的剪力不能超过下式的 V_j 值。

$$V_j = \phi (A_{vf} f_y + 0.75 p_n)$$

式中 A_{vf} = 垂直于施工缝并承受剪力与磨擦作用的全部钢筋(包括抗弯钢筋)

f_y = 钢筋的屈服强度

p_n = 与剪力同时作用于施工缝面上的地震力与最小重力荷载之和。

ϕ = 折减系数

承受侧向力构件的施工缝的表面必须彻底地使之粗糙。

四、美国钢筋混凝土规范ACI-318-77有关抗震设计中剪力墙的规定

(摘自该规范之附录A:“抗震设计之特殊规定”)

A-8 特种剪力墙

A.8.1 特种剪力墙应设计成能抵抗倾覆力矩、竖向荷载和剪力的共同作用。应采取适当的措施将墙的弯矩、竖向荷载和剪力传递到基础上或其它支承体系上。

A.8.3 在特种剪力墙内水平和竖向分布钢筋的最小面积应各自不小于墙的毛截面的0.0025。

A.8.3 在设计中由于包括了延性抗弯空间框架或与之相当的结构而允许采用水平力折减系数时,这种系数不得用来计算剪力的受剪钢筋。

A.8.4 当 $P_c \leq 0.4 \phi P_b$,而且在墙的毛截面上,如果不计钢筋作用,按式(9-2)

和式(9-3)算出的受拉力边缘纤维力大于 $0.15f_t$ 时,则集中布置于墙两端的特种竖向钢筋应按第A.8.4.1条配置。(符号含义见本文后)

A.8.4.1 剪力墙中在集中布置于墙两端的竖向钢筋的面积应按下式计算

$$A_s = \left(\frac{200}{f_y} \right) h d \quad (A-3)$$

式中 d 是受压边缘纤维至该项钢筋重心的水平距离(按英寸计),但是墙的钢筋数量不应小于抗弯、抗剪和抗轴向力之需要。

A.8.5 当 P_c 大于 $0.04\phi P_b$,剪力墙可根据一些被认可的工程原理或根据第A.8.5.1及A.8.5.2条文的规定进行设计。

A.8.5.1 剪力墙的竖向边缘构件应承受乘以荷载系数的墙恒载、从属恒载、活载以及水平力等引起的全部竖向荷载。

A.8.5.2 边缘构件的配筋应按A.6.5条沿构件全长用横向钢筋加以约束。

A.8.6 特种剪力墙的施工缝应按第6.4条设置。对于水平施工缝,则应在浇筑下一段前,将已凝固的混凝土的顶面进行清理和凿毛。

A.8.7 竖向钢筋的接头应符合A.6.8条之规定。

符号:

A_s : 非预应力的受拉钢筋面积,(平方英寸)

f_t : 混凝土弯曲受拉强度

f_y : 非预应力钢筋规定的屈服强度(磅/每平方英寸)

h : 构件厚度(英寸)

P_c : 在地震时作用于柱上或墙上最大的、且乘以荷载系数的轴向力

P_b : 偏心受压构件中当钢筋达到屈服同时混凝土达到允许应变时的标定轴向荷载。

ϕ = 强度折减系数

五、加拿大钢筋混凝土结构设计规范中(CSA Standard CANS A23.3-M77)有关抗震设计中剪力墙的规定

(摘自该规范之第19章:“对抗震设计的特殊规定”)

19.9 延性抗弯墙(注1)

19.9.1 延性抗弯墙应根据一般原理设计使其有足够的延性及吸收能量的能力。

19.9.2 一般设计与构造问题

延性抗弯墙的设计与构造除应满足在第19.9节中附加的要求外,尚应满足第十二章中的要求。(第十二章中有一般非抗震的非承重或承重的素混凝土墙或钢筋混凝土墙的条文。—编者)

19.9.3 分布筋的面积与间距

19.9.3.1 抗弯墙的水平分布筋的最小面积不少于墙身水平截面面积的0.0025。

19.9.3.2 竖向分布筋的最小面积应不少于墙身水平截面面积的0.0015。

19.9.3.3 分布筋在任意方向之最大间距为500mm,但在结构之下半部最大间距为300mm。

19.9.4 集中配筋

19.9.4.1 在延性抗弯墙靠近两端处,每端应集中配置竖向钢筋。

19.9.4.2 这些钢筋之数量(墙每端之数量—编者)应按下示方法配置:

(a) 按下示两种荷载效应计算受拉钢筋 A_{sw} ,并取其大者。

(1) M_u 与其相应的轴向荷载,计算时应考虑适当的荷载系数。

注1:抗弯墙原文为flexural wall,本规范以及其他一些书籍避免使用“剪力墙(shear wall)”这个词,因为许多情况下这种墙不是抗剪而是抗弯为主—编者

(2) 总的轴向荷载 P 及 $M_{c,r}$, $M_{c,l}$ 计算方法如下:

$$M_{c,r} = S(0.6\sqrt{f'_c} + P/A_g)$$

(b) 计算最小受拉钢筋面积 $A_{s,m}$, 当使用300级钢筋时 $A_{s,m} = 0.002b_w d$, 当使用400级钢筋时 $A_{s,m} = 0.0018b_w d$ 。

(c) 采用 $A_{s,w}$ 及 $A_{s,m}$ 之较大者。

19.9.4.3 如果建筑物之上半部不会出现塑性铰则在此区域内延性抗弯墙一端集中配筋的面积可以减少, 但不小于 $0.001b_w b$ 。

19.9.5 集中配筋之接头

19.9.5.1 在同一位置上, 抗弯墙每端之受拉主筋之接头数量不得大于50%。

19.9.5.2 如果使用搭接接头, 则搭接长度应符合C类搭接。其搭接长度为 $1.7l_d$, (对一般钢筋 $l_d = 0.19A_b f_y / \sqrt{f'_c}$, 但不小于 $0.058d_b f_y$, 见本规范之5.7节及10.6节, 一编者)

19.9.6 集中钢筋之箍筋

在延性抗弯墙端部集中的竖向钢筋之箍筋应与本规范之第五章柱子相同。只是在结构的下半部以及可能出现塑性铰之上半部位墙身内的箍筋间距不应大于8倍主筋直径。

19.9.7 关于翼缘宽度之假设

在设计截面为I, L, [及T形时, 伸出腹板边之翼缘宽度应为:

(a) 到相邻抗弯墙腹板距离之一半。

(b) 杆件长度(截面高)之10%。

19.9.8 剪力设计

19.9.8.1 延性抗弯墙任何截面之剪力计算如下:

$$V_{u,c} = 1.1FV_u$$

式中 $F = \frac{M_{u,c}}{M_u}$ 按墙底部计算

19.9.8.2 计算剪应力 V_u 应按下式计算:

$$V_u = \frac{V_{u,c}}{\phi b_w d}$$

19.9.8.3 计算剪应力 V_u 在任何截面

不能大于 $0.5\sqrt{f'_c}$

19.9.8.4 由混凝土承担的剪应力 V_c 应根据第9.5节中之条文计算, 但是在结构物之下半部以及估计可能出现塑性铰部位上下距离各等于 d 之范围内, 全部剪力应由钢筋承担。

19.9.8.5 水平剪力筋应不少于按第9.7.2条中式(40)所求得之面积, 在任何情况下水平剪力筋不应少于19.9.3.1的规定。

19.9.9 施工缝

19.9.9.1 抗弯墙的施工缝应符合第4.1条

19.9.9.2 在浇灌第二批混凝土时, 第一批混凝土之表面应该干净并有一定的粗糙度。

19.9.9.3 通过一条缝上的竖向钢筋数量不得少于

$$A_{s,r} = \frac{V_{u,c}}{0.85f_y}$$

19.9.10 开洞的影响

在延性受弯墙的腹板或翼缘中可以开洞。此时应将洞侧之墙设计得使截面削弱的面积得到补偿。

符号:

A_b = 钢筋面积, mm^2

A_g = 构件截面毛面积, mm^2

$A_{s,w}$ = 延性抗弯墙中计算受拉钢筋面积, mm^2

$A_{s,r}$ = 通过延性抗弯墙之一条施工缝处竖向钢筋之面积, mm^2

b_w = 受弯构件中之腹板厚度, mm

d = 受拉钢筋之重心至受压边缘之间的距离, mm

d_b = 钢筋直径, mm

f'_c = 混凝土的规定受压强度, MPa

f_y = 钢筋的规定屈服强度, MPa 。

h = 构件厚度, mm

l_d = 钢筋锚固长度, mm

$M_{e.}$ = 在延性抗弯墙中使混凝土外翼缘达到产生裂缝之弯矩, N-mm

M_u = 弹性分析所得的弯矩乘以规定的极限荷载系数, N-mm

$M_{u.c}$ = 墙的抗弯能力, N-mm

P = 总的轴向使用荷载, N

S = 受弯构件中之抵抗矩, mm^3

$V_{u.c}$ = 当抗弯墙底之弯距为 $M_{u.c}$ 时, 在任何水平截面之剪力。此时该剪力已乘以一个系数, (见19.9.8条), N

ϕ = 承载力折减系数

$\rho_w = \frac{A_s}{bd}$ = 含钢率

(以上一~五篇规范系胡世平选译)
顾子聪校)

六、钢筋混凝土剪力墙的延性

C.M. 阿 伦 (Allen)

L.G. 耶 格 (Jaeger)

V.C. 芬 顿 (Fenton)

引言

本文的目的是讨论剪力墙之性能以及对它如何进行延性设计。多年来, 在高层建筑中用剪力墙承受由风和地震引起的侧向力已很普遍。在地震区, 还须考虑延性设计的准则, 即: 衡量它吸收能量的能力。

几乎所有的建筑规范经常都这样假设: 剪力墙系脆性构件, 特别在抗地震时, 认为剪力墙结构不具有延性性能。举例来说, 在 SEAOC 的规范中, 对主要依靠剪力墙构件承受侧向力的盒子状结构其 K 值为 1.33, 而对延性抗弯空间框架结构体系的 K 值定为 0.67。

由于剪力墙的结构材料, 承受轴向力的能力, 形状等是多种多样的, 特别是墙的高宽比 (H/D) 变化范围很大。作者的意见是: 不能认为所有剪力墙必然都是脆性的。

剪力墙的分类

为了能评定剪力墙的结构功能, 首先有

必要按照它们的作用分为不同的类型。作者提出下列三种基本类型:

a) 剪切剪力墙

b) 抗弯剪力墙

c) 延性—抗弯剪力墙

剪切剪力墙系指当墙平面内承受侧向力时, 其剪切变形量与弯曲变形量相比前者占很大的比重, 并且贮存大量的剪切应变能。为便于分类, 剪切剪力墙在侧向力作用下, 当剪切变形超过全部变形 (弯曲加剪切) 的 10% 时, 这些墙应按深梁或剪力托架设计。对这类构件的延性性能目前正在进行研究, 对它的可能延性反应已有资料发表, 本文作者同意这些构件是非延性构件。

抗弯剪力墙系指当墙平面内受到侧向力时, 其基本变形是弯曲变形, 储存的能量基本上是弯曲应变能。它具有受弯梁的特性 (也就是说: 剪切变形可以忽略且假定弯曲前后处于同一平面) 且在侧向力作用下, 剪切变形是总变形 (弯曲加剪切) 的 10% 或更小些。

延性—抗弯剪力墙是计算求得的延性系数等于或大于 3 的抗弯剪力墙。本文主要是论述延性—抗弯剪力墙的性能和设计。

定义和材料性能

延性 μ 一般定义为结构构件在循环荷载作用下, 第一个四分之一周期的任一点的破坏计算曲率与屈服计算曲率之比; 也就是全部能量与弹性能量之比。剪力墙的延性计算方法见附件 B。破坏的定义是指构件外侧纤维的混凝土的应变首先达到 0.003 值。屈服的定义是指当受拉钢筋的重心到达该钢号的屈服点。

在此文中考虑了三种钢筋: 中级钢 ($f_y = 40$ 千磅/平方英寸) 硬钢 ($f_y = 50$ 千磅/平方英寸) 和 A432 钢 ($f_y = 60$ 千磅/平方英寸)。在过去, 受弯构件中不推荐用 A432 钢, 但最近研究指出, 用 A432 钢对延性没有不利之处。钢筋的假定性能见图 6-1。

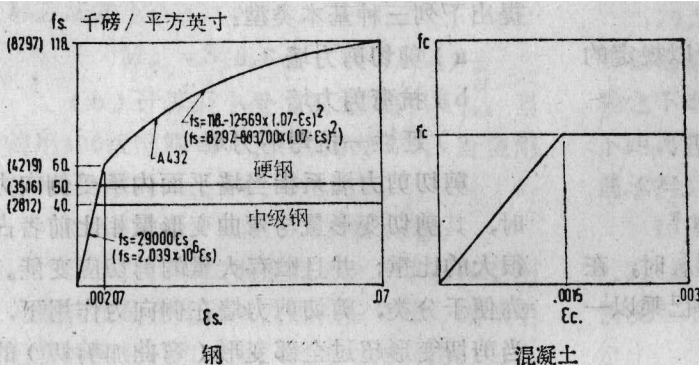


图 6-1 钢和混凝土的假定应力—应变曲线

混凝土实际的应力—应变曲线是随着混凝土的强度，加荷速度等的改变而变化。作为延性分析用的简化的混凝土应力—应变曲线见图 6-1。

延性—抗弯剪力墙的特性

为了论证延性—抗弯剪力墙的特性，制作了一块长32英尺（9.75米）64平方英尺（5.94平方米）等截面的剪力墙进行精确的研究，该剪力墙具有各种不同的轴向荷重，不同的翼缘面积和整个面积比率，以及变化的抗拉钢筋面积和混凝土强度等各种组合，如图 6-2。除已注明的，

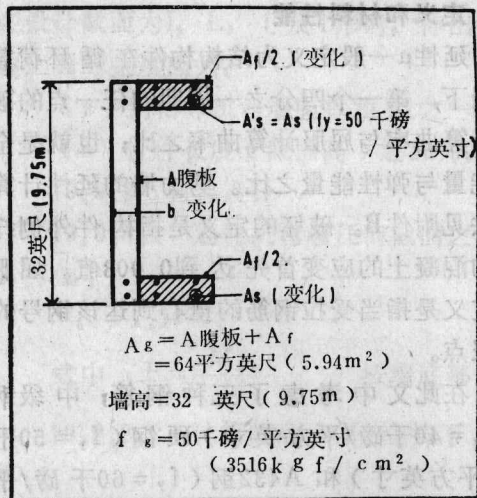


图 6-2 用在试验研究中的剪力墙

在计算中假定混凝土强度为4000磅/平方英寸和硬钢 ($f_y = 50$ 千磅/平方英寸)。在附

录B中所示的步骤是用来计算受力特性。图 6-3 表示变换配筋率 ρ 时，即当墙两端的配筋率同时改变时，弯矩和曲率两者之间的关系，可以看到对所有 ρ 值其极限曲率均非常接近 7×10^{-4} /英寸。当轴向荷重和 A_f/A_g 的比为定值时，墙的屈服和极限曲率不随 ρ 值改变而仍保持不变，当然相应的弯矩值将随用钢量的增加而增加。

剪力墙端部配筋率 ρ 不同，但延性值相对地说是一个常数，这个现象可在图 6-4 中看出，一般说来，当剪力墙的轴向力等于或大于 $0.2\rho_b$ 时是这样的。

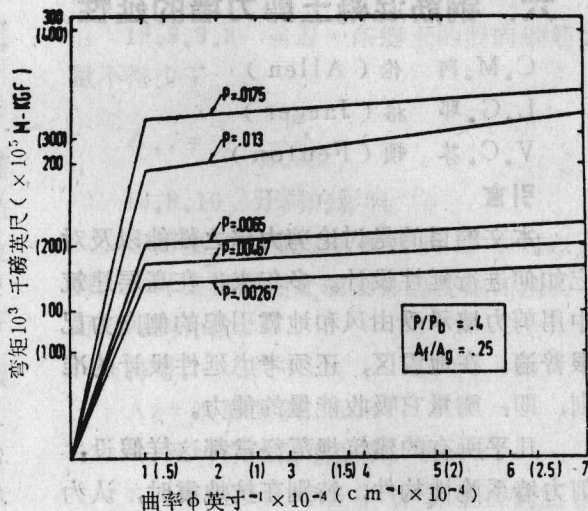


图 6-3 模型墙的弯矩曲率—变换配筋率 ρ

当配筋率和 A_f/A_g 为定值时，轴向荷重对延性的影响见图 6-5，一般说来延性和非弹性能量随着轴向荷重与 P_b 比值的增加而减少。

翼缘面积所占的百分比对延性的影响见图 6-6，延性将随翼缘面积占全部面积百分比的增加而增加。

混凝土强度的变化对延性的影响见图 5-7，一般地说，延性将随混凝土强度的减

少而减少。而延性的损失更突出地表现在带翼缘的剪力墙。

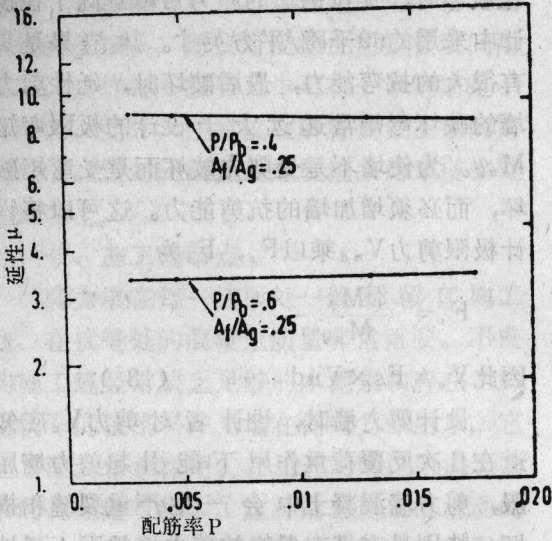


图 6—4 延性—变换配筋率

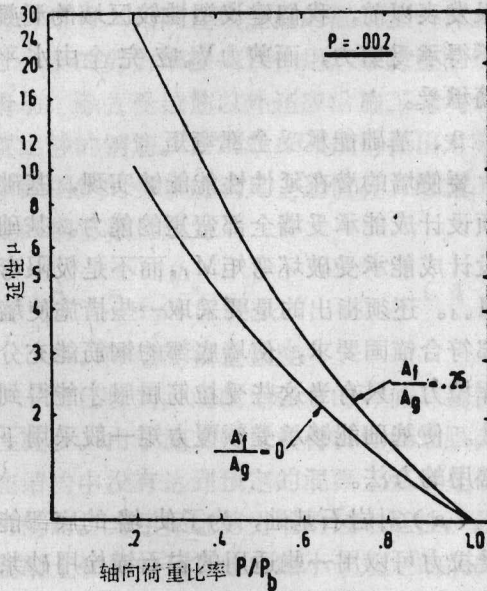


图 6—5 延性—变换轴向荷重

延性—抗弯剪力墙的设计

为了能保证达到按附录B计算方法所得的延性，有几个因素必须在设计延性—抗弯剪力墙时予以考虑，这些设计条件如下：

a) 有足够的受拉钢筋来保证弯矩—曲率两者之间有“良好的关系”。

b) 防止在弯曲破坏以前，过早地出现剪切破坏。

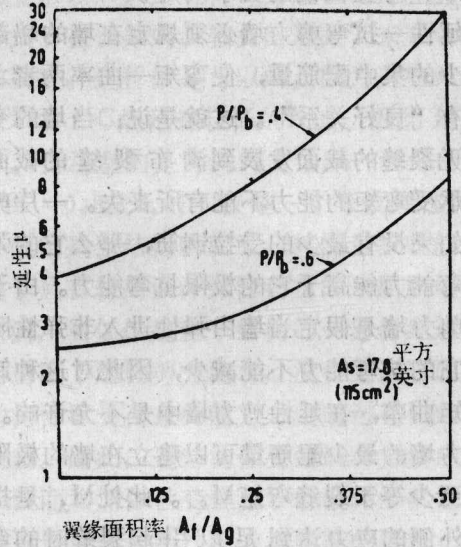


图 6—6 延性—变换墙的形状

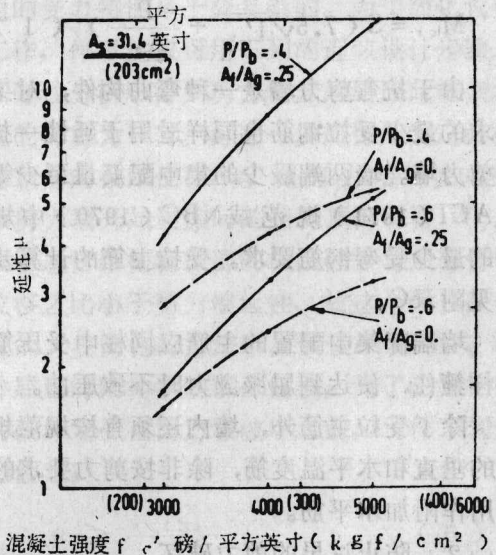


图 6—7 延性—变换混凝土强度

c、使基础面上的墙能发挥全部抗弯能力。

d、防止受拉钢筋在受弯破坏以前出现过早的锚固破坏。

e、施工缝节点的考虑。

f、要考虑混凝土强度未达到要求。

g、防止其它结构构件的过早破坏。

h、当剪力墙的塑性铰形成时结构的整体稳定。

1、对受拉钢筋要求的建议

延性—抗弯剪力墙必须规定在墙的端部有最少的集中配筋量，使弯矩—曲率两者之间具有“良好关系”。这就是说：当墙的变形从无裂缝的截面发展到布满裂缝的截面时，承受弯矩的能力不能有所丧失。一片剪力墙如果没有最少的受拉钢筋，那么它的弹性抗弯能力能高于它的极限抗弯能力。由于延性剪力墙是假定当墙由弹性进入非弹性阶段时它的抗弯能力不能减少，因此对这种卸载弯矩曲率，在延性剪力墙中是不允许的。对剪力墙的最少配筋量可以建立在墙的极限弯矩至少等于裂缝弯矩 M_{cr} 。此处 M_{cr} 是指墙最外侧的应力达到足以引起裂缝时的弯矩。

$$M_{cr} = S \left(7.5 \sqrt{f'_c} + \frac{P}{A_g} \right) \quad (1)$$

由于抗弯剪力墙是一种弯曲构件，对梁要求的最少受拉钢筋也同样适用于延性—抗弯剪力墙。墙两端最少的集中配筋量至少等于ACI(1971)规范或NBC(1970)中规定的最少受弯钢筋要求。受拉主筋的计算步骤见附录C。

墙端部集中配置的主筋应同柱中受压筋一样箍住，使达到屈服应力时不致压曲。

除了受拉主筋外，墙内还须有按规范规定的垂直和水平温度筋，除非按剪力要求的可用作附加水平筋。

2、防止过早的剪力破坏

在延性—抗弯剪力墙的设计中，特别重要的是要保证在产生吸收延性能量形式的破坏之前不发生脆性破坏。在设计墙的配筋时，经常会遇到墙的破坏弯矩超过设计的极限弯矩，这是由于当墙内设计的受拉钢筋 A_{sm} 是零或非常少时，由于上一节所提到的原因，仍须在墙端部配置最少的集中钢筋，因而使破坏弯矩大于设计极限弯矩。

此外，假如采用A432钢筋，当超过屈服点后，钢的应力仍能同钢的变形同时增长。故在破坏时，受拉钢筋的应力可以远高于在设计中采用的60千磅/平方英寸。其结果是具有很大的抗弯能力，最后破坏时，延性剪力墙的破坏弯矩常远远大于设计的极限弯矩 M_{ud} 。为使墙不是受剪先破坏而是受弯矩破坏，而必须增加墙的抗剪能力。这可以将设计极限剪力 V_{ud} 乘以 F_s ， F_s 为

$$F_s = \frac{M_f}{M_{ud}}$$

因此 $V_u = F_s \times V_{ud}$ (3)

设计剪力墙时，设计者对剪力 V_u 应知道在几次反覆荷重作用下能引起剪力墙屈服，剪力墙混凝土中会产生严重裂缝和损坏，特别是在带有翼缘的剪力墙截面。延性剪力墙承受循环荷重作用下的抗剪能力试验结果发表以前，我们建议塑性铰区域的混凝土不得承受剪力，而剪力 V_u 应完全由水平钢筋承受。

3、基础能承受全部弯矩

要使墙的潜在延性性能能够实现，基础必须设计成能承受墙全部弯矩的能力。基础须设计成能承受破坏弯矩 M_f ，而不是极限弯矩 M_{ud} 。还须指出的是要采取一些措施使墙底部符合锚固要求，使墙底部的钢筋能充分发挥拉力，只有当这些受拉筋屈服才能得到延性。使基础能够承受倾覆力矩一般采用下列常用的方法。

(a)对岩石基础，为了使墙的底部能承受拉力可以用一些适用的岩石锚栓用砂浆把它们锚固在岩石里。

(b)将剪力墙的底脚放大如同挡土墙的方式来承受倾覆力矩。

(c)可将剪力墙底脚延伸与相邻柱子相连，因此，可利用柱子荷重产生约束弯矩来承受倾覆力矩。

4、预防过早的锚固破坏

为了能发挥受弯构件的全部延性，不能

使钢筋的锚固早期破坏,习惯作法是避免将钢筋搭接在关键性的弯矩处。可惜,这在剪力墙中是不能实现的,除非是采用焊接。若采用搭接接头,建议对受拉主筋按楼层间隔搭接,这样每一楼层至少可有一半钢筋是不搭接的。此外,还建议在所有受拉主筋的搭接处应设置封闭钢箍或螺旋箍来约束搭接处的混凝土。

5、施工缝节点

剪力墙在每一楼面处一般都留有施工缝,在接缝处的混凝土质量非常重要。不良的施工缝经常缺乏足够的水泥浆和存在“蜂窝状”的粗集料,当墙在侧向力作用下,它起了滚动轴承作用。在最近的阿拉斯加地震中的几座建筑物中,这种沿着施工缝滑动的现象是很明显的。施工缝处应干净和有粗糙的表面,或间隔地放入剪力键,务使两者之间的结合,如同连续浇灌的混凝土一样。为了必要的剪力摩擦夹紧作用,来防止沿缝面滑动,除去受拉筋以外还应沿施工缝均匀配置足够的钢筋。1971年ACI规范提出对剪力摩擦钢筋的要求能满足上述情况。沿施工缝处的钢筋数量应为

$$A_{s,v} = \frac{V_u}{f_y \cdot 0.9} \quad (4)$$

6、降低混凝土强度

前已提到,混凝土强度的降低,会使延性减少。由于施工质量或材料性能的原因,在结构中没有达到预定的混凝土强度是很有可能。为了保证剪力墙的最小延性,建议混凝土强度的计算值应略小于规定的混凝土强度。但目前对混凝土强度的降低值尚有争议,有人提出在计算中用 $0.85f'_c$ 混凝土强度来保证最少的延性。

7、预防框架其它结构构件的过早破坏

随着剪力墙底部的塑性铰出现,结构物的位移也增加了,在剪力墙中不可能再承受更多的弯矩(钢筋的应变硬化作用除外)。余下的结构构件,不管是其它剪力墙或是抗

力矩的空间框架,必须随着延性剪力墙而移动。当结构的变形超过剪力墙最初屈服时的变形以后,这些构件必须以弯矩和剪力的形式(在框架则以轴力的形式)来吸收增加的荷重。这样做是可以的,因为这些结构根据SEAOC规范有较低的K值,因此延性较好。要注意的是对侧向力给以一较低的K值($K=0.8$ 或 0.67)仅是一个等效弹性荷重,其假定是当结构物屈服,其能量吸收能力相当于具有较高设计弹性荷重的未屈服结构。然而,当仅仅是整个结构的一部份到达屈服的情况(延性剪力墙),没有到达屈服的结构构件承受荷载的能力必定超过它们的设计荷重。因此,这些构件要随同剪力墙出现塑性铰而增加弹性变位且不能破坏。其它构件也可设计成与延性剪力墙相等的延性。

由于每个构件的屈服时间不同,因此结构的受力特性是十分复杂的。为了简化设计工作,作者建议可用下列的近似设计步骤。从弹性分析中得到剪力墙开始屈服时框架承受的荷重为 $M_{1\gamma}$ 。再进一步简化是假定结构物顶部的极限位移 Δ_u ,是剪力墙延性 μ_u 乘以剪力墙开始屈服时的结构顶部位移 W_{γ} 。由于通常结构物顶部的极限位移与顶部弹性位移之比小于剪力墙延性,故这个假设是保守的。在简化的方法中,假设 Δ_s^f 是框架杆件屈服时结构物的顶部位移,为了防止框架的破坏发生在剪力墙破坏之前,可作下列近似假定:

$$\mu_f \geq \frac{\Delta_u}{\Delta_s^f} \quad (5)$$

若 Δ_s^f 大于 Δ_{γ}^f ,框架必定吸收由顶部位移 Δ_{γ}^f 发展到顶部位移 Δ_s^f 时,超过 $M_{1\gamma}$ 的侧向荷重。随着结构的变形顶部位移为 $(\Delta_s^f - \Delta_{\gamma}^f)$,结构物可以假定剪力墙在超过屈服变形 Δ_{γ}^f 后,在底部形成实际的铰,因为当剪力墙底部达到屈服后可以假定已不能再承受弯矩。因此框架必须设计成能承受下列要增加的弯矩:

$$M_{f,r}(\text{增加}) \geq M_{f,r}^0 \frac{(\Delta_y^f - \Delta_y^w)}{\Delta_y^w} \quad (6)$$

从(6)式可得

$$M_{f,r}(\text{增加}) \geq M_{f,r}^0 \left[\frac{\Delta_y^f \Delta_u}{\Delta_u \Delta_y^w} - 1 \right]$$

按上式,可近似得到

$$M_{f,r}(\text{增加}) \geq M_{f,r}^0 \left[\frac{\mu_w}{\mu_f} - 1 \right]$$

假设框架延性 μ_f 不大于剪力墙延性 μ_w ,因此在近似计算中,框架或其它构件须设计成能承受下列全部荷重:

$$M_{u,f} \geq M_{f,r}^w + M_{f,r}^0 \left[\frac{\mu_w}{\mu_f} - 1 \right] \quad (7)$$

8、结构的稳定

最近有人提出(指加拿大一格雷格教授—译者注)在考虑采纳作者所推荐关于如何增加剪力墙的延性的一些建议之外,还应包括结构抗侧力构件产生塑性铰时如何避免整个结构不失稳的条款。如果要避免失稳,结构物在过屈服点后,产生塑性铰时,它的荷重—变形曲线的特征,必须具有某一个极限坡度。假若达不到这个特征,结构物由轴向荷重引起的次生弯矩作用下,会引起结构弯曲而造成失稳。对延性剪力墙这个问题的研究已开始,有下列几种介决方法。

(a)当延性剪力墙塑性铰形成时,在结构中另外一些剪力墙尚能处于弹性状态,它们又有足够的刚度来防止全部结构失稳。这种情况可能产生于全部由剪力墙构件组成而仅有一部份剪力墙产生塑性铰的结构中。要注意的是须要做周密的分析,来确定哪些剪力墙将压服,而那些剪力墙直到这些延性剪力墙破坏时,尚能保持弹性状态。

(b)结构中具有辅助的抗弯空间框架来实施与上述相同的作用。这种介决方法对框架—剪力墙形式的结构是合适的。

(c)在延性剪力墙中采用A432钢筋,依靠这种钢号在结构超过屈服点后能提高弯矩能力的应变硬化特征。

摘要和结论

为了评价剪力墙的结构效能,有必要按照剪力墙之性能分类。作者对剪力墙分为三类:剪切剪力墙、抗弯剪力墙和延性—抗弯剪力墙。延性—抗弯剪力墙的实质是承受轴向荷重的弯曲构件,延性至少为3。

一般地说,延性剪力墙的延性将随着轴向荷重的减少而增加,并随着 A_f/A_g 的增加而增加,随着混凝土强度的减少而减少,而墙两端的受拉主筋面积的变化对延性影响不大。

为保证延性剪力墙较好的延性,对设计有很多要求。为了使构件的弯矩和曲率之间有“良好的关系”,延性—抗弯剪力墙的两端须集中配置一定数量的抗拉钢筋。必须通过足够的墙的抗剪能力和基础的抗弯能力来发挥墙的抗弯能力。另外要特别注意节点构造和竖向钢筋的搭接要求。要校核其它结构构件,保证它们在延性剪力墙破坏之前不遭受破坏。最后,在结构中要有足够的刚度,在延性剪力墙产生塑性铰后,能防止整个结构不失稳。

作者认为如果遵守上述的设计原则,延性抗弯—剪力墙能处理成具有延性性能,在遭受中等或很强的地震力时不会丧失承载能力或立即倒塌。

附录A

符号

A_f = 剪力墙翼缘的全部面积,不包括在翼缘内的腹板部份

A_g = 剪力墙全部截面积

A_s = 集中在剪力墙端部的纵向主筋

$A_{s,m}$ = 抵抗设计弯矩要求的受拉筋

$A_{s,v}$ = 沿缝长形成剪力摩擦要求的钢筋面积

b = 剪力墙的腹板厚

C_c = 当剪力墙受到弯矩后,在混凝土中形成的全部压力

C_s = 当剪力墙受到弯矩后,在钢筋中