

译者说明

劲性钢筋混凝土结构是由型钢、钢筋和混凝土结合成整体的一种结构形式。它具有钢筋混凝土造价低，刚度大，防火性能好，施工方便的优点，又有钢结构抗震性能好，承载能力大的优点，因此，是一种很有发展前景的新型结构。

目前随着我国高层建筑结构的增多，体型日趋复杂，地震设防要求逐渐提高，劲性钢筋混凝土结构已开始高层建筑中应用。目前已建成了采用劲性钢筋混凝土结构的北京香格里拉饭店（28层），上海瑞金大厦（27层）等工程，更多的工程正在兴建。

由于国内劲性钢筋混凝土结构发展的需要，此项课题已列入了工程建设国家标准重点科研计划。鉴于目前我国这方面的原著，译著都还是空白，我们翻译出版了日本权威人士梅村魁教授主编的《铁骨铁筋コンクリート构造の耐震设计》一书，本书将会对我国广大的科研、设计、施工、教学人员有较大的帮助。

参加本书翻译和校对工作的有：

第一、二章	周齐雄译	赵西安校
第三、四章	耿花荣译	龚炳年校
第五、七章	朴玉芬译	龚炳年校
第六章	杨晓鸥译	赵西安校
第八章	杜莉译	龚炳年校
总校对	孙慧中	

刊印出版

中国建筑科学研究院

1988年6月

译者说明

劲性钢筋混凝土结构是由型钢、钢筋和混凝土结合成整体的一种结构形式。它具有钢筋混凝土造价低，刚度大，防火性能好，施工方便的优点，又有钢结构抗震性能好，承载能力大的优点，因此，是一种很有发展前景的新型结构。

目前随着我国高层建筑结构的增多，体型日趋复杂，地震设防要求逐渐提高，劲性钢筋混凝土结构已开始高层建筑中应用。目前已建成了采用劲性钢筋混凝土结构的北京香格里拉饭店（28层），上海瑞金大厦（27层）等工程，更多的工程正在兴建。

由于国内劲性钢筋混凝土结构发展的需要，此项课题已列入了工程建设国家标准重点科研计划。鉴于目前我国这方面的原著，译著都还是空白，我们翻译出版了日本权威人士梅村魁教授主编的《铁骨铁筋コンクリート构造の耐震设计》一书，本书将会对我国广大的科研、设计、施工、教学人员有较大的帮助。

参加本书翻译和校对工作的有：

第一、二章	周齐雄译	赵西安校
第三、四章	耿花荣译	龚炳年校
第五、七章	朴玉芬译	龚炳年校
第六章	杨晓鸥译	赵西安校
第八章	杜莉译	龚炳年校
总校对	孙慧中	

刊印出版

中国建筑科学研究院

1988年6月

主 编 的 话

从1950年以来,日本建筑标准法已施行了30多年,1981年6月对法令中用作抗震设计的结构计算条文进行了大幅度的修改。

在建筑物的抗震技术方面,大家公认日本处于世界先进国的地位。

在最近的地震中,虽然人和物的损害与其他国家相比是极少的,但其物质损失近一千亿日元以上。

这个数额与国家预算额和GNP的数额相比也许是很少的,但对那些被害的个人来说,就要牺牲长年累积的大笔积蓄,所以,在研究救济措施的同时,必须要考虑抗震技术问题。就抗震技术来说,不但要防止建筑物结构的破坏,而且有必要防止次要的构件,如家具、设备机器等的综合破坏。

正确地预测地震时建筑物的动态反应如何,是建立抗震设计的基础。

估计建筑物在地震时被摇动程度的工程设计方法称为动态分析法,这是经过30年来,从基本工作开始的全新开发项目。

本讲座第一卷叙述了有关动态分析的知识;其他四卷根据材料、构件、结构等基础知识说明了有关钢结构、钢筋混凝土结构、劲性钢筋混凝土结构、木结构、砌块结构的抗震设计;此外,还介绍了许多设计实例,这些实例都是按照1981年修订的新抗震设计法的主要条文来解说的,而且还叙述了建筑物的极限强度和变形能力方面的近期知识;并介绍了按动态分析结果来进行抗震设计的方法。

关于本讲座的编制和各卷内容的探讨,都是由各位编委们进行的,编委名单另行列出;执笔者是建筑设计的研究者、设计者;而全部的审核与汇总工作是拜托大泽胖博士完成的,对于各位多年的努力,我想借此机会深表谢意。

梅村魁 1983年8月

目 录

第一章 前 言

第二章 劲性钢筋混凝土结构的特性

2.1 劲性钢筋混凝土结构的实例	(3)
2.2 劲性钢筋混凝土结构的力学特性	(4)
2.2.1 SRC结构的概要说明	(4)
2.2.2 受弯曲和轴力性能	(5)
2.2.3 剪切性能	(5)
2.3 劲性钢筋混凝土结构的抗震性能	(6)
2.3.1 动态设计的现状	(6)
2.3.2 SRC结构的抗震性能	(8)
2.4 劲性钢筋混凝土结构建筑物的主体数量及其造价	(10)
2.4.1 影响主体造价的主要原因	(10)
2.4.2 主要材料数量的细目	(12)
2.4.3 主体造价的细目	(12)

第三章 构件的性能

3.1 材料的性质	(18)
3.2 劲性钢筋混凝土构件的性能	(21)
3.2.1 受弯梁的性能	(21)
3.2.2 同时承受轴力和弯曲柱的性能	(22)
3.3 劲性钢筋混凝土框架结构的性能	(22)
3.3.1 纯框架结构的性能	(22)
3.3.2 梁、柱节点的性能	(25)
3.4 剪力墙的性能	(26)
3.4.1 SRC结构中的剪力墙	(26)
3.4.2 剪力墙的性能	(28)
3.4.3 剪力墙的模式	(31)

第四章 构件及结构的极限承载能力

4.1 构件的极限强度	(33)
4.1.1 构件的极限抗弯强度	(33)
4.1.2 构件的极限抗剪强度	(37)

4.1.3 剪力墙的极限强度	(38)
4.2 结构的极限承载能力	(45)
4.2.1 纯框架结构的极限承载能力	(45)
4.2.2 剪力墙的极限承载能力	(46)
4.3 极限承载能力的计算	(48)
4.3.1 增量解析法	(48)
4.3.2 虚功法	(50)
4.3.3 解析结果	(50)

第五章 结构选型和布置

5.1 结构选型和结构设计	(54)
5.2 劲性钢筋混凝土结构的结构型式	(57)
5.2.1 结构型式的确定	(57)
5.2.2 平面及立面布置	(58)
5.2.3 梁柱节点	(60)
5.3 抗震设计	(61)
5.3.1 结构特性系数 (D_s) 和形状系数 (F_{os})	(61)
5.3.2 抗震结构布置	(61)
5.4 结构设计与施工	(64)
5.4.1 工程和管理	(64)
5.4.2 构件设计与施工	(65)
5.4.3 型钢与钢筋的构造	(66)
5.5 基础设计	(68)
5.5.1 设计条件的确定	(68)
5.5.2 地基与基础结构的选择	(70)
5.5.3 地震力的计算	(72)
5.5.4 基础保有承载能力的计算	(74)
5.5.5 施工方法的研究	(75)

第六章 结构计算

6.1 结构计算的步骤	(77)
6.2 容许应力设计 (一次设计)	(79)
6.2.1 材料、荷载及外力	(79)
6.2.2 构件截面的假定	(92)
6.2.3 结构的内力	(94)
6.2.4 层间变形角、刚性率、偏心率	(96)
6.2.5 构件截面的计算	(104)
6.3 保有水平承载能力的计算 (二次设计)	(108)
6.3.1 关于保有水平承载能力计算的基本事项	(109)

6.3.2 保有水平承载能力的计算	(115)
6.4 地震反应分析	(117)
6.4.1 建筑物等效振动系数	(117)
6.4.2 恢复力特性及其模型化	(120)
6.4.3 地震反应及其评价	(122)

第七章 设计例 1—10层办公大楼

7.1 概述	(128)
7.1.1 建筑物概况	(128)
7.1.2 结构设计原则	(129)
7.1.3 使用材料及材料的容许应力、材料强度	(130)
7.1.4 结构平面图、剖面图	(130)
7.1.5 假定断面	(130)
7.1.6 恒荷载和活荷载	(133)
7.2 初步计算	(135)
7.2.1 刚度比的计算	(135)
7.2.2 竖向荷载作用下梁的 C 、 M_0 、 Q_0 的计算	(138)
7.2.3 柱轴向力的计算	(140)
7.2.4 地震时层剪力的计算	(141)
7.3 结构的内力计算	(143)
7.3.1 竖向荷载下的内力计算	(143)
7.3.2 地震时层剪力分配系数(D值)的计算	(143)
7.3.3 层间变位角的计算	(149)
7.3.4 刚度比、偏心率的计算	(150)
7.3.5 地震时的内力计算	(151)
7.4 截面计算	(151)
7.4.1 梁、柱的截面计算	(151)
7.4.2 剪力墙的设计	(170)
7.5 基础设计	(172)
7.5.1 土压力的计算	(172)
7.5.2 基础梁的设计	(173)
7.6 保有水平承载能力的计算(二次设计)	(174)
7.6.1 保有水平承载能力的计算原则	(174)
7.6.2 框架部分极限承载能力的计算	(175)
7.6.3 剪力墙部分极限承载能力的计算	(192)
7.6.4 保有承载能力和必要的保有承载能力	(199)

第八章 设计例 2——14层医院

8.1 概述	(208)
--------	-------

8.1.1	建筑物概况	(208)
8.1.2	结构设计原则	(209)
8.1.3	使用材料和材料的容许应力	(209)
8.1.4	平面图	(209)
8.1.5	框架轴线图	(211)
8.1.6	恒荷载及活荷载	(215)
8.2	初步设计	(216)
8.2.1	假定截面	(216)
8.2.2	刚度估算	(217)
8.2.3	柱轴向力	(220)
8.2.4	地震荷载及地震时的层剪力	(220)
8.2.5	垂直荷载下的 C, M_0, Q 的计算	(222)
8.3	结构的内力计算	(222)
8.3.1	长期荷载下的内力计算	(222)
8.3.2	地震作用下的内力计算	(223)
8.3.3	层变形角及刚性率	(230)
8.3.4	偏心率	(230)
8.3.5	地震作用下的内力	(230)
8.3.6	连续开口剪力墙的墙肢和连梁的内力	(230)
8.3.7	短期荷载下的内力	(232)
8.4	截面计算	(235)
8.4.1	梁、柱的截面计算	(235)
8.4.2	剪力墙的设计	(243)
8.5	保有水平承载能力的计算	(243)
8.5.1	保有水平承载能力的计算原则	(243)
8.5.2	框架部分的极限承载能力	(245)
8.5.3	墙的极限承载能力	(254)
8.6	必要保有承载能力及保有水平承载能力	(264)
8.6.1	必要保有承载能力计算	(264)
8.6.2	框架部分的保有承载能力	(264)
8.6.3	墙的屈服型式和极限承载能力	(264)
8.6.4	保有承载能力和必要保有承载能力	(264)
8.7	振动分析	(272)
8.7.1	分析方法和假定	(272)
8.7.2	恢复力特性	(273)
8.7.3	分析结果	(273)
	附录	(280)
	参考文献	(283)

第一章 前言

日本的劲性钢筋混凝土结构 (SRC结构) 以前主要用于 6—10 层的建筑物。1964 年建筑物的高度限制取消后, 超高层建筑结构得到应用。在得到建设大臣承认, 而在建筑中心申请来 347 个层高 45 米以上的建筑物中 (1965 年~1980 年), SRC 结构的建筑物占 98 个。在法规的, SRC 结构一直是按照钢结构 (S 结构) 和钢筋混凝土结构 (RC 结构) 各自强度相加的方法上设计的。在新抗震标准法实施法令中, 新设立了独立的 SRC 结构的规定, 这表示 SRC 结构的建筑物逐渐增多, 同时, 由于 SRC 结构抗震性能好, 因而, SRC 结构已确定为一种独立的结构形式。

有关 SRC 结构的研究, 最初是 1929 年浜田稔发表的关于“钢—混凝土受压构件、受弯构件的研究”, 以后进行了关于梁柱节点的研究; H 形实腹型钢的 SRC 构件的试验研究和有关力学性能的理论研究等。许多研究者不断的进行分析和实验, 从构成 SRC 构件的型钢、钢筋和混凝土等各个参数如何相互作用出发, 研究如何提高 SRC 构件的强度和韧性; 研究型钢、钢筋和混凝土采用什么比例时才能得到最为有效的结构性能, 通过研究取得了很多有益的见解, 当然, 也还存在不少有待研究的问题。

型钢和钢筋混凝土并用的方法, 很久以前便有赏试。1905 年白石直治设计的和田岬旧东京仓库的柱, 1918 年内田祥三设计的旧东京海上大楼和梁便是例子。1923 年, 也是在东京丸之内建成了由内藤多仲设计的日本兴业银行, 其建筑面积约 15000m^2 , 高约 30m, 是真正的 SRC 结构。为了抵抗地震力, 它设置了足够的剪力墙, 它有很高的抗震性能, 在关东大地震中, 几乎没有受到震害。SRC 结构作为日本特别广泛应用的抗震结构, 还是在关东大地震以后的事。我们把上述的结构认为是初期的 SRC 结构, 那么, 型钢作为主体, 钢筋被用于辅助作用的结构例子是很多的。另外, 不能忘记必须充分配置起抗震作用的墙, 并且要有完整的翼缘部分。

另一方面, 日本建筑学会 1951 年在结构标准委员会下面创设了 SRC 结构分科会, 通过调查研究, 于 1958 年初, 制订了“劲性钢筋混凝土结构计算标准和说明 (SRC 结构标准)”, 这个标准在截面的承载能力计算中, 采用了叠加强度公式, 对梁、柱及其节点部分, 通过一系列试验结果, 形成了近似于极限强度的设计方法。

1963 年进行了第一次修订, 补充了详细的分析方法和设计例子, 1975 年进行了第二次修订, 全面修改了梁柱的抗剪设计方法, 并补充了实腹式型钢的 SRC 结构。由于在钢筋混凝土结构的新研究成果基础上, “钢筋混凝土结构计算标准及说明 (RC 标准)” 进行了修订, 所以 SRC 标准相应地也进行了有关部分的修订。此后又进行了各种足尺试验, 对于塑性范围内的构件性能也作出了评价; 另一方面使用计算机进行结构分析方法的发展, 使技术发展有了很大可能。

随着结构计算的电子计算机化, 抗震设计的方法及计算的精度也有极大的提高, 但也出现了轻信计算机结果而盲目轻率的设计现象, 由此提出结构设计人员必须反思的问题。在这方面, 从结构整体设计出发, 回顾过去的经验, 展望未来的发展方向, 大概很重要吧!

由于 SRC 结构是由型钢和钢筋混凝土组合而成的一个整体结构，因此，首先必须要对两者相互关系有更深入的认识，绝不能认为是两者强度的简单相加，而必须充分理解两者的特性，将两者的优点互为补充进行设计，这才可以认为充分掌握了 SRC 结构的特点，而且，由此而设计出来的建筑物是综合地既经济又安全的建筑物，这样的结构设计人员才能算是对社会作出了贡献。

由于建筑标准法实施法令的修改，颁布了新抗震标准，从实际设计的角度来看，在这一标准中还有许多方面的课题，例如构件的构造、模型化方法、分析方法等等，但是，从实际工程设计出发，必须在一定程度上舍去这些在理论上尚未解决的问题。本书所述的设计方法，是确保抗震结构的安全，不仅从结构计算，而且从规划、设计、施工等综合各方面来考虑劲性钢筋混凝土结构的抗震设计问题。

第二章 劲性钢筋混凝土结构的特性

2.1 劲性钢筋混凝土结构的实例

SRC结构的实例可以分为两类：一是必须经建筑中心进行评定，高度45m以上的建筑物，二是其他的建筑物。现将资料分别进行归纳，以45m以上的建筑物，并经过评定的项目为对象，经调查并提出报告。

从近年的SRC结构实例看，高度31—45m的建筑物为多，这是由于按照建筑标准法第38条规定：凡是超过45m的建筑物都要经建筑中心进行评定，所以，许多建筑物都设计得刚好不超过45m。这可以说是由于法规的规定而出现的不正常现象。

现列出经过建筑中心评定的按年度变化的项目分类情况。由图2.1可见，SRC结构约占全部评定件数的 $\frac{1}{3}$ 。图2.2是SRC建筑物地面以上层数和件数的关系；图2.3表示了地面以上高度与件数的关系，由图清楚地表明，评定过的SRC结构建筑物高度以50~70m范围内为最多。

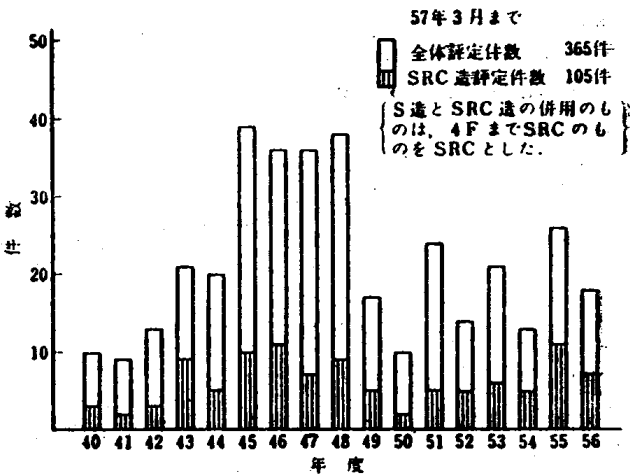


图 2.1 高层建筑年度评定件数变化

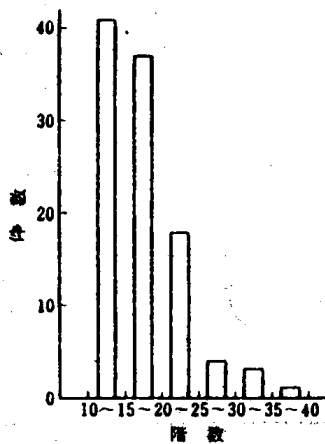


图 2.2 SRC建筑物的地面以上层数与件数关系

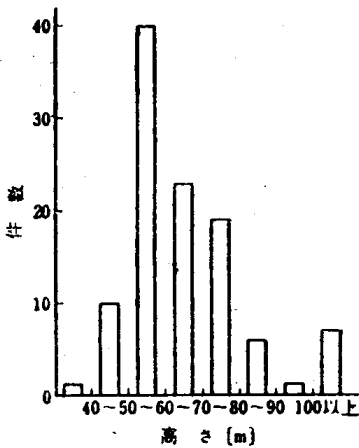


图 2.3 SRC建筑物的地面以上高度与件数关系

2.2 劲性钢筋混凝土结构的力学特性

本节介绍了 SRC 结构与其他结构比较有那些特性；还叙述了 SRC 构件承受弯曲和轴力的性能以及承受剪切的性能。

2.2.1. SRC结构的概要说明

在建筑物的结构设计中，按照满足建筑物的用途，以建筑的功能来选择空间要求的结构方案是很重要的。SRC结构多用于高层住宅、医院、办公楼、店铺、旅馆等，不适用于低层建筑和大跨度结构。

SRC结构是型钢和钢筋混凝土的合成结构，由于型钢自身的强度和延性，再加上二者成为一体共同工作，而且型钢包围的混凝土部份也受到约束，所以，SRC结构比通常的钢筋混凝土结构的强度与延性要大得多。同时，剪力墙也由于受到沿周边配置的型钢的约束作用，提高了墙的有效性和可靠性。而且使型钢结构避免了纵向屈曲的弱点，从而提高了钢材的使用效率。基于这些优点，它在包括超高层在内的很多建筑中被采用。但是 SRC 结构与预应力混凝土结构（以下称PC结构）相比较不可避免地在设计、施工方面复杂、

造价也高。在这里，我们看一下 SRC 结构与其他结构比较有什么样的特性。首先，以弯曲承载能力为主要内力的梁，在设计中所用的跨度范围与其他结构相比较见图2.4。

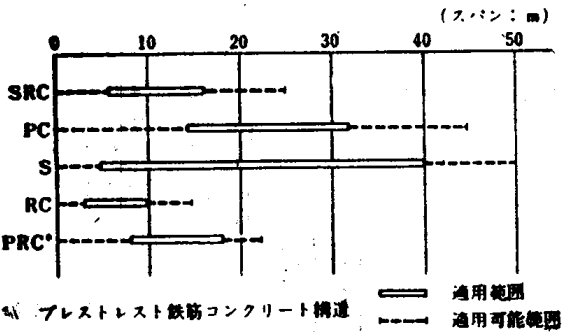


图 2.4 适用跨度比较

另外，有关耐火性，耐久性，韧性，裂缝、挠度和振动，恢复力特性和稳定性，最大强度以后的承载能力下降等与其他结构比较在表2.1中表示。

表 2.1 各种结构的特性

	耐火性	耐久性	韧性	裂缝	挠曲振动	恢复力特性的稳定性	最大强度后的承载力降低
SRC 结构	好	好	配筋率高 韧性 配筋率低 韧性较好	难以发生	难以发生	弯曲破坏好 剪切破坏较好	弯曲小 剪切较大
PC 结构	比较好	好	比较好	不发生	较易发生	弯曲破坏好 剪切破坏较好	弯曲小 剪切较大
S 结构	差	普通	好	不发生	易发生	弯曲破坏好 剪切破坏好	弯曲小 剪切小
RC 结构	好	好	比较差	容易发生	难以发生	弯曲破坏较好 剪切破坏非常坏	弯曲较小 剪切非常大

在SRC结构中，由于型钢位于钢筋混凝土中间，弯曲和剪切强度高，构件的刚性大，对于变形控制也是有效的。即使在承受大的重复的弯剪构件中，也显示了稳定的滞回特性。此

外，还表明了型钢数量多，则延性一般较好。

2.2.2. 受弯曲和轴力的性能

SRC构件是柱、梁和型钢按各种方式组合而成（参照5.2.3柱、梁的节点一节）。

SRC结构是以钢筋混凝土部份能充分约束型钢，型钢不会发生纵向屈曲为前提，因此，混凝土的保护层必须有适当的厚度，而且应配足够的增强钢筋，使型钢能一直工作到它的抗拉和抗压屈服强度。反之，如果混凝土压坏，型钢和混凝土的粘结相脱离，型钢翼缘周围混凝土的约束作用减少，那么，型钢就有纵向屈曲的危险。因而，在这样的情况下，就不能满足设计的条件。

图2.5表示柱在主筋压屈情况下，主筋在箍筋的位置受到约束。在角隅部主筋（1）受到约束的力是由于箍筋受拉力而产生的侧压力得到了充分发挥，但是，柱边的中央部位的主筋（口）受箍筋的约束力小，中央部位的主筋有效压屈长度比角隅部要长。

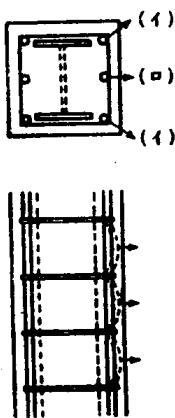


图 2.5 柱主筋压屈

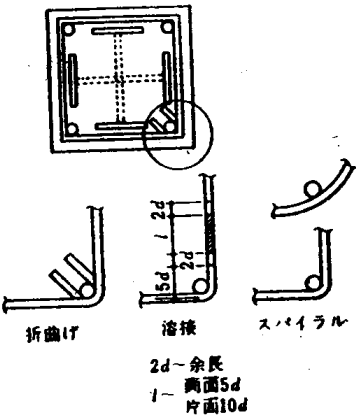


图 2.6 箍筋的锚固

另外，在箍筋锚固不完全的情况下，对主筋就没有约束，所以，有必要选择箍筋能充分锚固的做法。如图2.6所示。

此外，在十字形型钢的情况下，由于受到翼缘和腹板的约束，主筋的压屈长度差不多没有什么变化。

在SRC标准中，非实腹形型钢柱的翼缘的细长比规定为70以下。

关于实腹形的翼缘部份的宽厚比以钢结构的构件的限制值作为依据，至于新抗震设计法中，关于SRC结构的条文是单独的，并放宽了宽厚比的限制，但是，实际上，由于受混凝土约束效果的影响很大，所以在设计时，对压屈必须充分注意。

2.2.3. 剪切性能

SRC结构的剪切特性，受荷载的作用方式及构件的结构形式的影响而显著不同，尤其在构件承受特大的反复剪力的情况下，由于型钢和混凝土的粘结力小，型钢表面和混凝土会脱离，可能产生所谓剪切粘结破坏的危险，因此，在设计承受很大剪力的SRC构件时，应按照RC部份和S部份各自的刚度大小分配弯矩和相应的剪力，再按照各个部份的强度叠加起来，就可求得SRC构件的剪切强度。

即使在SRC构件的总体剪切强度相等的情况下，如型钢部份的剪切强度和RC部份的剪切强度的比例不同，作为两者之和的SRC构件，其延性也显著不同。在RC部份所占比例大的情况下，SRC构件在到达最大强度以后的刚度下降较快，延性变小；在型钢部份所占比例大的情况下，SRC构件的刚度下降较少，延性较好，例如，配有H实腹型钢的SRC构件的性能，比格构式的非实腹形的SRC构件好，对于反复荷载下的时程曲线的包络线来说，大致以完全弹塑性的形状为多，由于在塑性变形中伴随着钢材的应变强化，所以所采用的型钢构件的剪切强度也随着增大。其增加率与RC部份的剪切强度的减少率大致相等（见若林实等的有关文章）。

一般来说，剪切破坏先于弯曲破坏的SRC构件是不好的，在设计时有必要使型钢部份和RC部份都有足够的延性。1975年日本建筑学会的SRC标准第二次修改时，SRC结构的梁、柱的设计剪力取构件的端部达到弯曲极限强度时对应的剪力值。因此，用这个原则进行抗剪设计时，建筑物的破坏机构毫无疑问是弯曲型的破坏机构。

2.3 劲性钢筋混凝土结构的抗震性能

本节叙述高度超过45m的SRC结构的动态设计现状和SRC结构的抗震性。

2.3.1. 动态设计的现状

为了评价动态设计的现状，我们调查一下，经过日本建筑中心评定，SRC结构建筑物（1965—1980）采用了什么样的设计方法，这对于今后的设计是会有好处的。

建筑物的基本自振周期和层数的关系；设计用的基本剪力系数和基本自振周期的关系；动态分析用的输入地震波和其最大加速度的关系，见图2.7—图2.10。

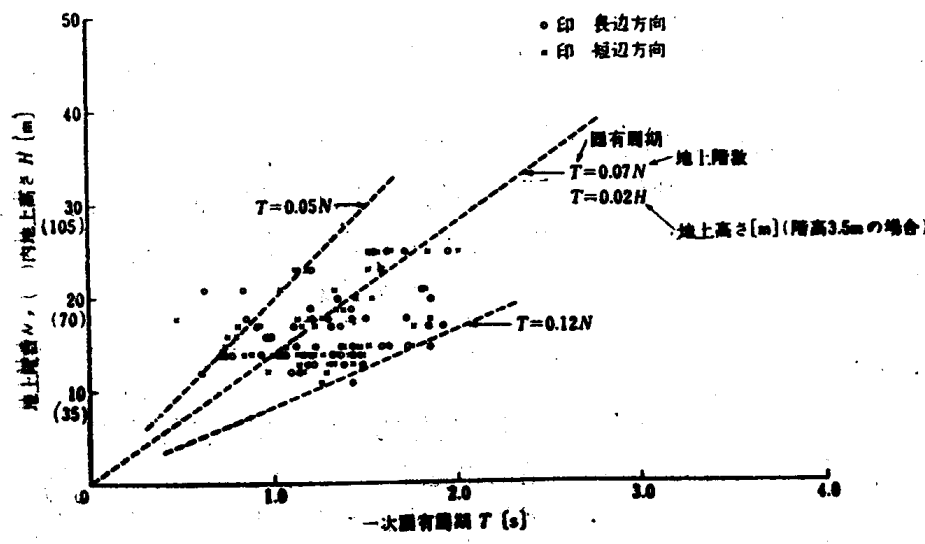


图 2.7 一次固有周期与地上层数的关系

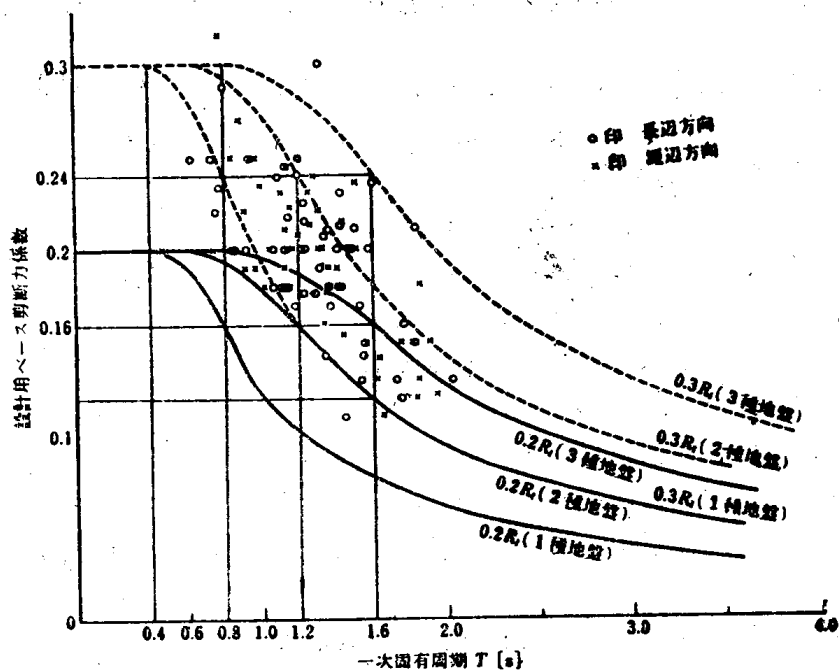


图 2.8 SRC建筑物的设计用基底剪力系数与一次固有周期的关系

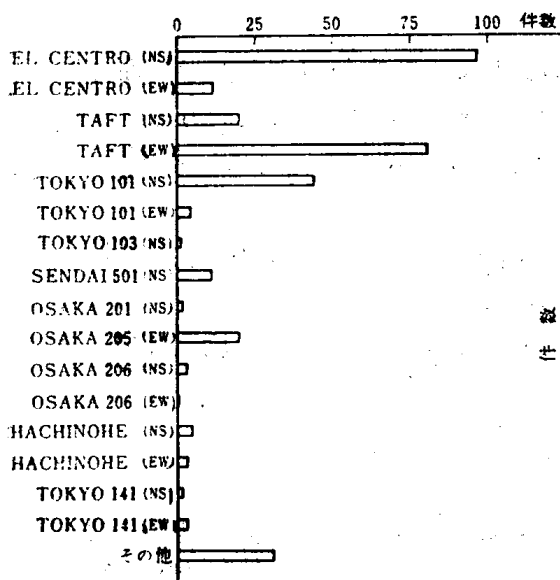


图 2.9 SRC结构的输入地震波

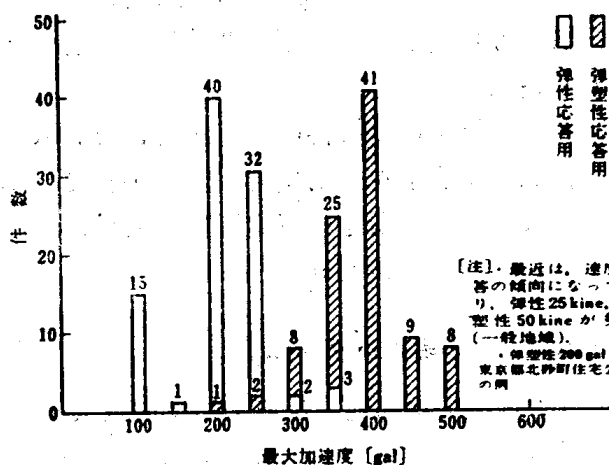


图 2.10 SRC结构输入地震波的最大加速度

SRC结构的建筑物地面以上的层数，地面以上的高度与基本自振周期的关系见图2.7，在地面以上高度为50—70m，地面以上层数(N)约12—20层的SRC结构中，多数建筑物的基本自振周期保持在0.8—1.4秒范围内，近似 $T = 0.07N$ 或 $T = 0.02H$ 。

设计用的基底剪力系数和基本自振周期的关系见图2.8。图中剪力系数(C_0)是根据新的抗震设计法标准，定为0.2和0.3，由地基类别和建筑物的基本自振周期，决定了振动特性系数(R_0)，以曲线表示，由图可见，在SRC结构中，已评定的45—60m高的建筑物，其标准剪力系数达到0.3，这种情况是引人注目的。

当不进行动态分析时, 根据建筑标准法实施法令, 通过外力进行设计, 以上数值可以作为设计参考值。

图2.9表示地震反应分析中所采用的输入地震波, 最常用的是ELCENTRO (NS), TAF-T (EW) TOKYO101 (NS) 的3种波。一般来说, 输入地震波可选用:

- ① 强震记录的代表性的波形。
- ② 场地地基和类似地基上观测到的地震记录波形。
- ③ 场地地基上地震波的记录波形。
- ④ 考虑场地地基的振动特性的模拟地震波形。

图2.10表示分析用的输入地震波最大的加速度。弹性反应是200—300gal为最多, 弹塑性反应是300—450gal为最多, 地区的差别为: 关西是200gal弹性, 300gal弹塑性, 关东是250gal弹性, 400gal弹塑性被使用的多, 最近从全局来看, 弹塑性用400—500gal的有所增加。至于阻尼系数, 对内部粘性系统3%用的最多。

恢复力特性多用双线性型和三线性型。双线性型的第二斜率大半相当于第一斜率的10—30%。

弹塑性反应分析用的恢复力特性可按下面的方法采用:

① 每层的屈服强度可由极限分析求得。首先在各节点上, 比较梁端和柱端的屈服弯矩的和。求得柱头柱脚的屈服弯矩, 将屈服弯矩之和转换成柱的屈服剪力, 各个柱的屈服剪力的总和就是层的屈服剪力。就可以决定双线性理想弹塑性的恢复力特性。有墙的情况下, 首先要定出墙的屈服承载力, 然后将它加进去。

② 假定混凝土有裂缝, 各层的钢筋混凝土部份的变形特性与型钢的变形特性叠加。

③ 采用追踪构件的屈服过程, 逐渐改变结构的刚度, 以得到其反应的方法。在某些情况下, 墙也可替换成斜撑, 还有些情况下, 构件也可以是带刚域的。再者, 各构件也有采用三线型的情况。

还有, 从弹塑性分析得出的反应变位与屈服变位的比(反应塑性率 μ)平均约为1.5。但是作为标准的屈服变位如何决定, 却有各种各样的方法。

综上所述, 根据所见的评定资料的调查结果, 接受评定的SRC结构的抗震性能, 都充分满足了新抗震设计法的要求。

2.3.2. SRC结构的抗震性能

对于SRC建筑物的地震反应加速度的放大率, 参见日本建筑中心的评定结果, 比较短的周期的建筑物的加速度放大2.0—4.0倍。比较长的周期的建筑物是1.5—2.0倍, 两种情况下, 建筑物加速度都比地面加速度大, 现以地震加速度200—250gal左右的地震来进行探讨, 基于旧建筑标准法的震度法, 用SRC标准设计的实际SRC建筑物的抗震性, 其设计条件, 特别是抗震结构, 截面组成, 破坏机理, 变形能力等都差别很大。很难一概而论。由于用叠加强度公式计算构件的截面, 所以, 可以想象建筑物的实际强度与建筑物的全部必要强度相比, 富裕不会太多。根据南宏一的推断, SRC结构中, 近似纯框架建筑物与RC结构的建筑物的强度相比是1.5—2.0倍。具有连层剪力墙, 墙又较多的建筑物估计为2.0—4.0倍。

对于地震中, 地面运动加速度为200~250gal时, 不管是比较短的周期还是比较长的周期的建筑物, 构件截面产生的应力大致能保持在弹性范围内, 估计建筑物不会发生显著的结果。

构损坏。

但是，对于地面运动加速度为350~450gal以上的大地震时，建筑物的各部份会超出弹性范围，而发生相当的结构损坏。构件屈服后到破坏的储备能力与输入塑性区域的地震能量的吸收状况决定了结构的抗震能力。

对于这样的大地震，必须有确保结构的保有水平承载能力，这就是二次设计。

SRC结构的抗震性能，就是要使建筑物在大地震时不会倒塌，也就是说，必须确认建筑物的保有水平承载能力超过大地震时的地震力，现阶段保有水平承载能力的计算，必须正确找出破坏的形态，这要求很大的工作量。因此，要采用几种简化的计算方法。

为了确保SRC结构的抗震性，不仅要注意各构件本身，尤其要进行极其细微的结构设计，注意处理好梁、柱节点的构造，防止产生集中的破坏。而且很重要的是要设计好垂直的构件柱等，以免在大地震中遭受破坏，尤其重要的是充分考虑质量管理，施工管理上的问题。

SRC结构的抗震性与其他结构比较强得多，这是众所周知的。1978年6月宫城县冲地震，在仙台市内95栋从7层到17层的，全部SRC结构或者部份SRC的单元住宅震害调查情况见表2.2。

表 3.2 宫城县冲地震建筑物震害状况

主体结构	震害栋数	震害率(%)
	12	13
非结构墙	轻微31 显著23 } 54	33 24 } 57
场地	18	19
大门和门框	24	25
高水箱	12	13
给排水管	20	21
玻璃	15	16

$$\text{震害率} = \frac{\text{震害栋数}}{\text{调查栋数(95栋)}}$$

从表中可清楚看出，柱、梁、剪力墙的主体结构受到轻微裂缝损害的占建筑物的13%。更严重的大震害，在主体结构部份未被发现，但是，非结构墙的剪切裂缝以及剪切破坏的损



图 2.11 非结构墙的震害

(a) 北边走廊门周围预制混凝土墙的剪切破坏。

(b) 电梯前厅南侧预制窗间墙连结部位混凝土剥落