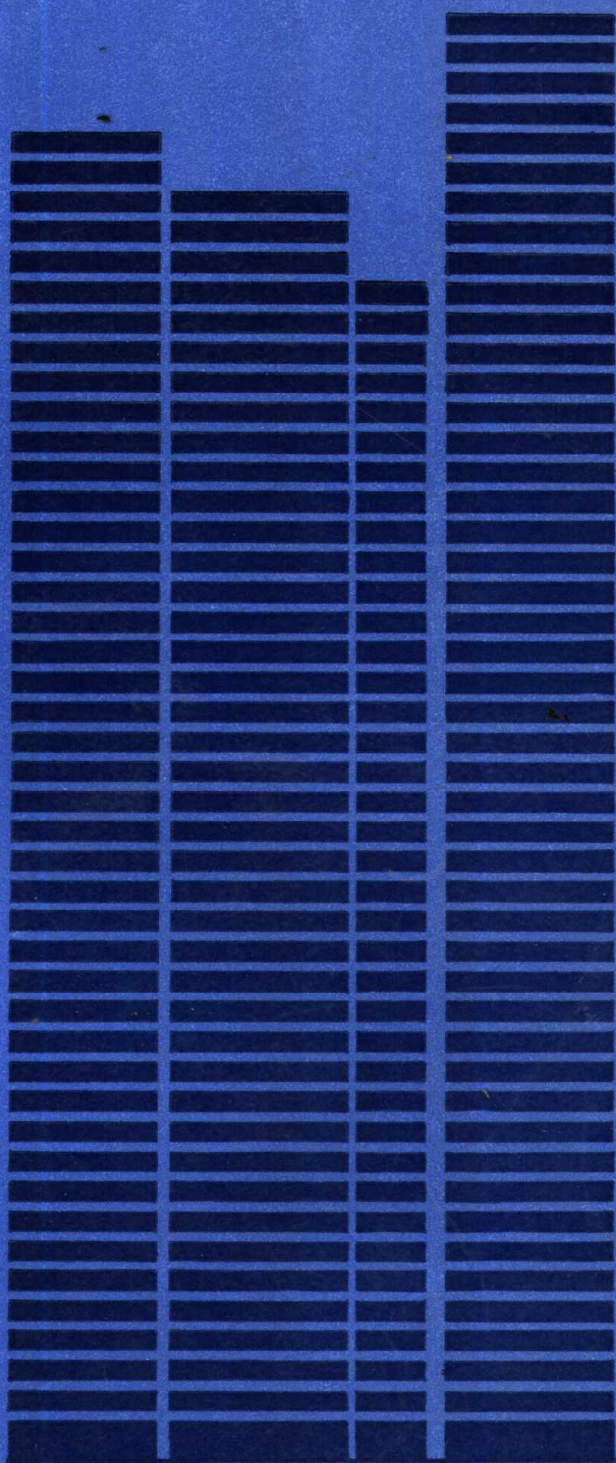


建筑物 隔震 防振 与控振

〔日〕武田寿一 主编
纪晓惠 陈良 鄢宁 译
王松涛 校



建筑物隔震 防振与控振

[日] 武田寿一 主编

纪晓惠 陈 良 鄢 宁 译

王松涛 校

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

著作权合同登记

图字 0·1—96—1109 号

本书专门叙述建筑物的隔震、防振和控振三部分内容。隔震介绍将橡胶垫层或阻尼器设置于上部建筑物与基础之间,以减轻上部结构振动的方法。防振讨论如何减小外界扰动而产生的微小共振。控振介绍使用机械设备对建筑物的地震反应进行控制的技术。全书包括 3 篇共 10 章。第 I 篇隔震分别叙述:原理,隔震部件的力学特性、耐久性和耐火性,隔震建筑物的设计,设计实例;第 II 篇防振与楼板隔震分别叙述对微振动的防振,对机械振动的防振,楼板隔震;第 III 篇叙述建筑物的控制。

本书可供建筑结构抗震和防振设计、规划、科研、教学人员参考。

* * *

本书由日本武田寿一及技报堂无偿赠予翻译出版权,
特致感谢。

構造物の免震 防振 制振

武田寿一 編

技報堂出版

* * *

建築物隔震 防振与控振

[日本]武田寿一 主编

纪晓惠 陈良鄢 宁 译

王松涛 校

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:7 $\frac{3}{4}$ 字数:230 千字

1997 年 4 月第一版 1997 年 4 月第一次印刷

印数:1—4000 册 定价:13.00 元

ISBN7-112-03071-4

TU·2358(8203)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

译者前言

日本独特的地理位置,决定了它是世界上屈指可数的多地震国家。历史上日本的地震灾害是相当惨痛的,如1923年(大正12年)的关东大地震和其伴随灾害导致死亡(包括失踪)达14万余人,毁坏房屋58万余间。痛定思痛,日本结构工程方面的技术工作者集中力量,进行了一系列抗震理论和实用研究,取得了令人瞩目的成果。例如,自1949年至1985年间,日本共发生里氏7级以上地震40余次,但由于地震的直接或间接影响(包括惊吓),造成死亡的人数却不足500人。由此可见,日本的建筑抗震研究是走在世界各国之前列的。

进入八十年代,日本的结构工程界已经将相当一部分力量用于研究如何减少地震后结构物内部设备和装修破坏的问题。许多研究表明,要解决这一难题,与其从增加结构刚度等“抗震”的方面来考虑,不如使用“隔震”的方法,即将橡胶垫层放置于上部建筑物与基础之间,增大建筑物的固有周期,以避开地震的卓越周期,避免共振;同时在上部建筑物和基础之间加设阻尼减震装置,用以吸收地震能量。理论和实际地震都表明,这种结构可以大大地减少地震时上部结构物的加速度和层间变形,从而可以大大减少建筑物的内部破坏。最近(1994年1月)的美国洛杉矶地震也充分地证明了这一点。本书的第一篇用相当篇幅叙述了近十年来这方面的研究成果。

本书的第二篇是“防振”的内容,即如何减小由于外界扰动而产生的微小共振。这一方面的研究成果对于随着新科学、新技术的不断发展而逐渐增加的精密实验室,以及与半导体工业、生物工程有关的建筑设计都具有重要的参考意义。

本书的第三篇叙述了被称为是二十一世纪的建筑技术之一的“主动控振”,即使用机械设备对建筑物的地震反应进行主动的、实时(Real Time)的控制技术。由于这一技术与实用化尚有一些距离,本书主要叙述了数值分析的结果。由于原著采用单位制与我国推行的法定单位

制不完全相同，我们在书末加印了单位制的换算，并在文中需要处加注法定单位制的换算数值。

本书的原作者——株式会社大林组常务董事、技术研究所所长武田寿一博士和原出版社——技報堂出版株式会社，慷慨地将本书的翻译和出版权无偿赠予了中国建筑工业出版社，在此谨致谢意。本书的主要执笔者之一関松太郎博士在本书的翻译过程中给予译者许多具体帮助，另外株式会社大林组原子力本部的户村英正、白浜健二、竹内義高和株式会社 H&B B SYSTEM 的広瀬正行、渡边正明、史杰平等诸位也对本书提供了许多有益的建议，在此一并表示感谢。

本书翻译中还得到了以下诸位的大力帮助：焦占栓、卫明、苑振芳等。我所敬重的好朋友徐建高级工程师（教授级）慨然为本书写了序言，中国建筑工业出版社在编审过程中约请北京工业大学王松涛教授对译稿进行最后校订定稿。在此也表示衷心感谢。

本书的翻译是陈良、鄢宁两位和我共同完成的，由于我们才疏学浅，必定有不少错漏之处，恳请诸位读者指正。

纪晓惠

1994年5月

序

我国是世界上地震灾害严重的国家之一，本世纪以来发生的破坏性地震达数千次，给人民的生命财产带来了巨大的损失，二十年前震惊中外的唐山地震教训是沉痛的。为了减轻地震灾害，我国的地震工程工作者致力于提高建筑抗震能力的研究，形成一套较完整的抗震理论并用于工程实践。这种传统的建筑抗震设计致力于保证结构本身具有足够的强度、刚度和延性，使所设计的建筑做到“小震不坏、中震可修、大震不倒”，以达到减轻地震灾害的目的，这种设计所付出的代价是很大的。随着社会的发展，对建筑物抗震设计的安全性和适用性提出了更为严格的要求，特别是工业向高精度技术发展，采用传统的工程抗震设计方法有时不能适应工程的实际需要，为此各国的地震工程学家开展了隔震、防震、控振的理论研究和工程实践，并得到迅速发展。这种以减少地震动对建筑物影响的设计方法有着广阔的应用前景，目前已有几十个国家开展了隔震防震方面的研究，我国也做了大量的科研工作，并有许多隔震建筑问世。

随着科学技术的发展，工程设计中的振动问题越来越引起人们的重视。工程中的振动问题到处可见，比静力问题更难以处理。如果设计不当，不仅会影响建筑物的寿命和安全，也影响仪器设备的正常工作，影响居住者和生产人员的身体健康。解决振动问题的有效手段之一是采取防振措施。目前我国一些行业已有了防振设计标准，全国的科技工作者在防振领域不断的开拓研究和创新，以适应科学发展和社会需要。

《構造物の免震 防振 制振》一书将地震工程和振动工程中具有共性的隔震、防振、控振做了系统的阐述，其内容颇为新颖，很值得一读。纪晓惠先生将此书译成中文出版，对我国从事建筑工程的科研设计工作者具有一定的实用和参考价值。

徐 建

1996年8月

前 言

就文字而言，所谓隔震就是隔离地震；所谓防振则主要是指防止由于机械和人的步行等而产生的振动，一般说来，它不以地震作为直接研究对象；控振就是控制振动的意思，尽管包含地震振动，但就本书而言，这个词的意思只限于通过传感器检知振动，而后控制之，即所谓主动控制。

对于振动问题来说，不管在哪一种场合，共振都是一个严重的问题，为此，设法避免共振或准共振是一个极为重要的课题。

与普通抗震理论通过抗震强度或由塑性化引起的能量吸收，即所谓粘性抵抗地震动不同，隔震是采用动态的抵抗方法。

就日本而言，隔震结构引人注目始于1980年，这可能是因为对隔震装置的信赖性增加，其设计理论被确立之缘故。

例如，由橡胶片和钢板叠合而成的材料，可以在水平方向为柔性且发生较大变形的情况下，比较刚性而又稳定地承受建筑物的重量。利用这一点，使建筑物水平方向的周期加长，基本上可以避免短周期的地震影响，也可再使用各种阻尼减震装置以减小振动量。如果根据实验确定这些材料的物理性能，再确定输入的地震波，就可以用计算机预想结构物的反应。

最近，经常报道由于中、小地震而引起的建筑物的窗玻璃破损等等，在这一点上，采用层间变形较小的隔震结构将有其优越性。地震时对隔震建筑的实际观测表明，隔震建筑物内的机器和其他用品等也不容易遭到损坏。

另一方面，半导体集成电路工厂的微小振动，工厂中机械对邻近建筑物的影响等等，还将产生许多防振的课题。

1988年春季竣工的科学技术厅无机材质研究所有很多诸如高性能的透过型电子显微镜一类的精密仪器，对这些仪器来说，不管什么样的振动都是不允许的；为此，采用叠合橡胶垫块支承建筑物，使建筑物水平方向的周期加长，垂直方向上则在建筑物内部采用防振台以隔绝日常的微小振动，即建筑物的隔震和防振同时进行。

还有，防止交通振动和噪声，且将整个建筑物作隔震化处理的尝试也在进行。

作为抵抗中小地震和风的对策，上面提到的主动控制近来也出现了应用实例。

随着技术的不断进步，居住条件的不断改善，今后还需要采用各种各样联合的振动对策。若本书对此能有一点帮助，笔者将不胜荣幸。

本书是由与笔者一起工作的株式会社大林组的以下各位共同完成的，在几度修改的过程中，如果产生了表达的失误，以至错误，责任全在于主编。

武田寿一

1988年4月

各篇章的执笔人（按日语发音顺序排列）

内田 壘	I - 1, I - 2
岡田 宏	I - 5
柏原 康則	I - 5
蔭山 満	III - 10
島口正三郎	I - 2, II - 9
鈴木 哲夫	I - 4, III - 10
関 松太郎	I - 1, I - 2, I - 5, I - 6, III - 10
武田 寿一	I - 6
寺村 彰	I - 2, I - 4, I - 6 II - 7, II - 8
中 村 嶽	I - 3
沼本 要七	I - 5
野畑 有秀	I - 4, III - 10
藤谷 芳男	I - 5

目 录

第 I 篇 建筑物的隔震

第 1 章 隔震的历史和原理	1
1.1 历史	1
1.1.1 隔震结构走向实用化的历史	1
1.1.2 从古建筑看隔震	13
1.2 原理和方法	16
第 2 章 隔震部件的力学特性	23
2.1 支承	24
2.1.1 弹簧支承	24
2.1.2 滑动支承	36
2.2 阻尼器	39
2.2.1 弹塑性阻尼器	39
2.2.2 粘性阻尼器	44
2.2.3 油阻尼器	46
2.2.4 摩擦阻尼器	49
第 3 章 隔震部件的耐久性和耐火性	52
3.1 耐久性	52
3.1.1 橡胶材料的耐久性	52
3.1.2 叠合橡胶的耐久性	53
3.1.3 关于橡胶耐久性实验	54
3.1.4 有关叠合橡胶耐久性的应用成果	56
3.2 耐火性	57
3.2.1 标准叠合橡胶的火焰暴露实验	57
3.2.2 插入铅棒的叠合橡胶在火焰燃烧后的加载性能实验	58

第4章 隔震建筑物的设计	60
4.1 输入地震动	60
4.1.1 地震动的选定	60
4.1.2 地震动的输入水平	60
4.1.3 人工地震波	65
4.2 单质点系的地震反应	68
4.2.1 地震波作用下的弹性反应	68
4.2.2 振动分析模型	70
4.2.3 对应于双线性恢复力模型的弹塑性分析	72
4.3 双质点系的地震反应	76
4.3.1 固有振动	76
4.3.2 反应分析	80
4.4 在偏心情况下的地震反应	83
4.4.1 振动方程式	83
4.4.2 静力解的情况	85
4.4.3 动力作用情况	86
4.5 两方向输入的地震反应	95
4.5.1 建筑物的概况	96
4.5.2 数值解的假定与模型	97
4.5.3 固有值	99
4.5.4 地震反应特性	100
4.6 实验验证	104
4.6.1 静力实验	104
4.6.2 动力特性实验	106
4.6.3 地震反应实验	107
4.7 地震观测	111
4.7.1 结构模型及观测系统的概要	111
4.7.2 地震观测实例	112
4.7.3 反应分析实例	113
4.8 居住性	115
4.8.1 可居住性的评价方法	115

4.8.2 对日常振动的居住性	116
4.8.3 对小地震的居住性	116
第5章 隔震建筑的设计实例(高技术研究和发展中心)	119
5.1 建筑物的概况	119
5.1.1 整体概况	119
5.1.2 结构概况	122
5.2 隔震装置	123
5.2.1 隔震装置的结构梗概	123
5.2.2 隔震装置的基本特性	123
5.3 隔震设计	124
5.3.1 隔震设计方法	124
5.3.2 与反应分析及截面计算相关的详细设计	126
5.3.3 地震反应分析结果	127
5.4 维修与保养	130
5.4.1 维修管理	131
5.4.2 临时检查维修管理的内容	131
5.5 实验验证和地震观测	132
5.5.1 静力实验	133
5.5.2 起振机加振实验	134
5.5.3 地震观测	136
5.5.4 风观测	139
第6章 其他国家的隔震建筑物	141
6.1 美国	141
6.2 新西兰	144
6.3 南斯拉夫	147

第 I 篇 建筑物的防振与楼板隔震

第7章 微振的防振	151
7.1 精密机械的容许振动值	151
7.1.1 振动量的表示方法	151
7.1.2 精密机械的容许振动值	152

7.2 设计方法的基本概念	153
7.2.1 振动评价法	153
7.2.2 设计流程图	153
7.3 地基振动反应	154
7.3.1 场地环境调查	154
7.3.2 地基振动的输入损失效果	155
7.3.3 相对于地基振动的反应	157
7.4 相对于机械设备振动的反应	158
7.5 相对于现场作业产生振动的反应	159
7.6 微小振动的综合预测及评定	161
第8章 机械振动的防振	163
8.1 各种防振法与动态平衡防振法	163
8.2 在强制外力作用下单质点振动体的防振理论	164
8.2.1 运动方程式	164
8.2.2 防振原理	165
8.2.3 动平衡防振法	166
8.3 实例	170
8.3.1 钢筋混凝土楼板垂直振动的防振实例	171
8.3.2 4层钢结构水平振动的防振实例	172
8.3.3 由转数可变型机械引起的建筑物回转式振动的防振实例	177
第9章 楼板隔震	182
9.1 隔震楼板的概况	182
9.1.1 隔震楼板的构造	182
9.1.2 隔震装置的机能	185
9.2 隔震楼板的设计	186
9.2.1 隔震楼板的设计方法	186
9.2.2 分析实例	187
9.3 隔震楼板的振动台实验	190
9.3.1 机器的运转临界振动实验	190
9.3.2 隔震楼板的地震输入试验	193
9.3.3 隔震楼板的评价	197

第Ⅱ篇 建筑物的控振

第10章 建筑物的控振	200
10.1 主动控制的原理和方法	201
10.1.1 控制方法	201
10.1.2 控振原理	202
10.1.3 加力方式	209
10.1.4 加力位置	209
10.1.5 控制系统的设计法	210
10.2 使用主动控制方法的建筑物模型的反应	211
10.2.1 基于绝对反应量的控振	213
10.2.2 基于相对反应量的控振	218
附录	234
1. 日本工程常用单位制与国际单位制 (SI) 的对照	234
2. 本书中常用英文及英文缩写	234

第 I 篇 建筑物的隔震

第 1 章 隔震的历史和原理

1.1 历史

1.1.1 隔震结构走向实用化的历史

可以说,隔震的思想具有相当悠久的历史,但在隔震的历史研究尚浅的今天,隔震研究的开始时间还未有公论。在这里,从现代抗震理论的角度,将隔震走到实用化的今天的过程作一综述。

表 1.1 是与隔震有关的年表,表 1.2 是与日本最初的隔震方案有关的,主要以专利申请为中心的年表。

隔震结构历史

表 1.1

公历	日本 年号	国 外		日 本		
		研究文献	事 例	研究文献	事 例	
700						
1200					• 法隆寺五重塔	8 世纪
1400					• 镰仓大佛 (1252)	13 世纪
1900			• 故宫(紫禁城)(1420)(中国明朝)	• 河谷浩藏的隔震结构		15 世纪
1910	明治 M. 43	• Calantarients 的绝缘工程方式(1909 美)	• 旧金山地震 (1906 美)			19 世纪 '00

续表

公历	日本 年号	国 外		日 本		
		研究文献	事 例	研究文献	事 例	
1920	M. 43 T. 1 大正 T. 9					'10
1930	昭 和 S. 5	• 柔性底层的思想(1929 美)		• 鬼头健三郎 “滚轴轴承” (1924) • 山下兴家“柱 脚加设弹簧” (1924) • 中村太郎“泵 装置”(1927) • 岡隆 { “隔震” (1928) } 可摇动式 铰接柱(分析) (1932)	• F. L. Light “帝国饭店” (1921) • 关东大地震 震构造”(1926) • “刚柔论争” 武藤与真岛	'20
1940	S. 15	Martel(1929) Green(1935) Jacobsen(1938)	• 美洛极比奇 强震计记录 (1933 美)	• 真岛健三郎 “鸡腿式结构” (1934) • 岡隆 “漂浮 式隔震”(1932) • 鹰部屋福平 “动态减震装 置”(1938 ~ 1940)	“不功银行姬 路, 下关分行 (1934)	'30
1950	S. 25					'40
1960	S. 35	Perlam 桥 (1956 英)			大佛修理 “隔震构造” (1960. 6. 1)	'50

续表

公历	日本 年号	国 外		日 本		
		研究文献	事 例	研究文献	事 例	
1970	S. 45	Caspe “隔震系统”提案(1970 美)	• Albany 法院(1966 英) • 佩思德罗奇小学(1969 南斯拉夫) • 奥立佛伏医院(1970 美)	• 石田信一“振动能量-吸收装置”(1961) • 万年真也“漂浮式建筑物”(1961) • 胜田千利·益头尚和“自动控制的隔震方法” • 43WCEE ·松下·和泉(1965) • 4WCEE 松下·和泉(1969)		'60
1980	S. 55	• Ikononou 的“Alexiscsmon”(1972. 79 希腊) • MRPRA (英)及 Kelly 等(1975~ 美) • Skinner Megger 等体系(1975 新西兰) • EDF 的计划“德式隔震”(1977~ 德) • Delfosse. “GAPEC 系统”(1977~ 德)	• 圣费尔南多地震(1971 美) • 高层办公楼(1972 希腊) • 拉姆贝斯克小学(1977 德) • 开贝鲁古核电站(1977~ 1984 南非)	• 楼板隔震“大材组动态楼板系统” • 6WCEE ·松下·和泉(1977)		'70