

结构物动力设计

[日] 武藤 清 著

滕家禄 等译

中国建筑工业出版社

序 言

第1章 “抗震设计法的动向” 概述抗震设计法的诞生以至今天世界各国抗震规定的发展全过程，其中重点讲述了“周期决定型的地震系数法”和“动力设计法”，并介绍了其基本概念。

第2章 “结构分析” 讲述用电子计算机分析各种结构物时，构成数学模型基础的构件和结构单元特性的处理方法，并详细而又系统地阐述了具体的抗震分析方法及其程序的编制。

第3章 “钢结构建筑” 主要讲述超高层建筑的结构设计、规划要点，和具有节点域构件的结构特点；为帮助读者理解和应用设计的具体方法，以60层高的大厦为例，介绍设计计算的要点。

第4章 “钢筋混凝土结构建筑” 为了使钢筋混凝土结构具有真正的抗震性能，首先讲清楚必须改进原有的配筋方法，重点是提高其抗剪性能，由此提出了各种箍筋的新方法。从实验和理论分析证明，采用改进的新方法，能够充分改善钢筋混凝土结构物的强度和延性。作为在施工上简便易行的实例，介绍了一座18层钢筋混凝土结构高层公寓建筑。

第5章 “烟囱” 指出按过去的地震系数法设计烟囱是不合理的，同时分析研究了各种高度和形状的烟囱的动力特性和内力特性。为了实际设计的应用，介绍了基底剪力和基底弯矩系数求算各部位内力分布的方法，并以实例加以说明。同时，还介绍了日本建筑学会“钢筋混凝土烟囱结构设计指南”所采用的准动力设计法原理。

第6章 “原子能发电站” 原子能发电站是所有结构物中抗震设计要求最高的结构。本章讲述了进行原子能发电站动力设计的基本观点及实例。

第7章 “建筑设备、机械” 建筑物内部的设备、机械历来是人们关心较少的。这里提出其抗震的重要性，并讲述了关于通信机械、电子计算机、电梯等具体抗震措施的研究成果。

第8章 “振动实验和地震观测” 若想使动力设计具有真正意义和可靠性，不是“寄托于设计”而是必须抓住建成后的振动实物。立足于这样的想法，讲述了为达到此目的而不可缺少的振动实验和地震观测方法，还介绍了用振动实验和地震观测方法描述结构物的动力特性，以及验证结构物本身的抗震性能的例子。这些实测数据是非常重要的资料，对于今后动力设计和分析方法的改进，都将作出宝贵的贡献。

第9章 “框架分析的精确法‘FAPP’的电算程序” “FAPP”法是作者研究提出的精确分析框架的电算程序，为超高层建筑抗震设计的基本方法，并通过很多超高层建筑的设计，进行了不断地改进和发展。首次在这里公布于众。同时为了帮助读者理解，标记出在处理手法上的一些细小注意事项，期望读者能灵活运用。

如上所述，本书力求做到内容独特而新颖，并从大量资料中精选出最适用的部分编写而成。在完成此任务时，一直给予协助、出力最多的是本研究室的主要研究成员：内田一义、高漱啟元、安达守弘、长田正至、津川恒久、太田外气晴、管野 忠、岩田祐喜雄、上野弘道、金山弘雄、福沢荣治、小林俊夫、河西良幸、清水弘道、井上鞆夫、宫村 正光、宫下 丘、增田 洁以及其他诸位，在此表示感谢。同时还向本书编辑过程中付出最大努力的本研究室的金山弘雄先生和丸善出版社的各位致以谢意。

1977年新春

武藤 清

本书系统地论述了建筑物的动力分析方法及其在抗震设计上的应用。全书共分九章。主要包括：建筑物抗震设计的主要计算方法，钢结构、钢筋混凝土结构高层建筑的抗震设计，烟囱、原子能反应堆等特种结构以及机器设备等的抗震设计，振动实验与强震观测方法等。各章都有联系实际工程的典型例题。此外，还专辟一章介绍了著者提出的 FAPP 法所编制的电算程序。本书内容新颖，反映了日本抗震设计的现代水平。

本书可供建筑结构工程技术人员以及高等院校土建专业师生参考。

本书翻译工作分工如下：前言、第 4 章滕家禄；第 1 章、附录奚毓堃；第 2 章，第 5 章吴庆荪；第 3 章、第 9 章董其震；第 6 章、第 7 章滕征本；第 8 章唐业清。全书译文由滕家禄、周耀坤校，并经建研院抗震所刘锡益、徐渭、周锡元审阅。

武藤 清 著
構造物 の 動 の 設 計
丸善株式会社1977

* * *

结 构 物 动 力 设 计
滕家禄 等译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：22³/₈。字数：545千字
1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷
印数：1—14,100册 定价：2.35元
统一书号：15040·4635

序 言

以东京为开端，日本各大城市的高耸入云的建筑正在使天空的轮廓发生巨变，终于迎来了超高层建筑的时代。是什么原因，在日本这样的地震国家能搞起超高层建筑呢？主要是依靠充分运用电子计算机而建立的“动力设计法”这一抗震设计新技术所致。这项新技术的发展基础，要追溯到近二、三十年来强震观测网的充实和强震记录的积累。并且，利用这些观测结果，通过电子计算机分析，弄清地震反应谱等一系列现代研究成果，创立了按建筑物的周期确定设计地震力的方法。此法已为世界各国普遍采用，这一事实也是一个重要基础。与此同时，超高层建筑柔性结构有利论已逐渐为人们所公认，在日本为了进一步证实这一说法，在弄清楚地震时建筑反应的时间过程的同时，推动了能确认其安全度的动力方法的研究。

就在抗震设计变革期间，作者于1963年从东京大学退職。。那时，得到了多年在一起从事研究工作的东京大学梅村魁教授、大沢胖教授，明治大学小倉弘一郎教授，东京工业大学黑正清治教授和其他许多研究工作者的协助，由丸善株式会社出版了抗震设计丛书共五卷。这套丛书从柱、梁等结构单元入手，进而创立了关于由这些单元组成的框架的实验和理论分析方法，并详细阐述抗震设计方法。这是作者在东京大学研究成果的总汇编。在丛书的第一卷抗震算法发行的第二年，受到日本学士院的赏赐，诚感无上荣幸。这也是诸位大力协助的结果，实不胜感谢之至。

离开东京大学之后，加入鹿岛建设公司，专心致力于设计和建筑两方面的技术研究工作。当时的第一个课题是向真正的超高层建筑——霞关大厦——宣战。当时可谓时逢良机，有电子计算机的发展、生产技术的革新和通过大型实验证实的结构单元的弹塑性特性等为基础，使之在抗震问题上毫无担忧的情况下，顺利地建成了日本第一幢超高层大厦。对于这个霞关大厦，用电子计算机进行模拟分析，再现了施工中的振动试验和竣工后的地震考验所获得的观测数据，进一步证明其设计方法极为确切得当；同时，也证实了该建筑物能够有效地控制地震输入所产生的动力放大。搞清楚了超高层建筑的设计秘诀，即结构应有适当的柔性和上、下层刚度要保持均衡。作为设计方法，就是对试设计的建筑物输入假想的地震波，用电子计算机对其反应进行分析研究，并以这些反应的计算结果对该设计进行校验，如有必要，则再加以修正和改进。事实证明这种“动力设计法”确实是最可靠的设计方法。

动力设计法，不仅应用于超高层建筑，而且也应用于原子能发电站、桥梁、地下结构、烟囱等各种结构。另外，不只研究结构物本身的抗震性，还发展到研究结构内部的机械设备的抗震性。这些无论是已应用的还是在发展的，作者所关注的是把每一项研究中所解决的、弄清的问题作为“研究成果”，并把这些成果切实地应用到下一次的設計中去。还有，设计和分析技术的协调一致也是极为重要的，从工程观点来看，不管多么精湛的分析技术，如与设计的要求不协调，也不应采用。通常所采用的，应是现实可行的设计和分析技术。

本书命名为抗震设计丛书的“应用篇”，其理由如前所述，它也是我离开大学后，结合实际工作所进行的研究和创造的大成。因此，在阐述动力设计法的基本内容的同时，还力求使读者理解著者的上述各项意图。以下是本书内容的简要介绍。

目 录

第 1 章 抗震设计法的动向 1

1.1 抗震设计法的发展 1

1.1.1 日本抗震设计法的发展 1

1.1.2 各国抗震规范的现状与动向 5

1.1.3 作用于建筑物的地震地面运动 17

1.2 动力抗震设计法 25

1.2.1 抗震设计的标准 25

1.2.2 动力设计法的设计步骤 27

1.2.3 抗震设计原理 28

1.2.4 动力设计时抗力的评定 29

第 2 章 结构分析 32

2.1 概述 32

2.1.1 抗震设计与结构分析 32

2.1.2 结构分析史 33

2.1.3 武藤研究室的结构分析程序 36

2.2 振动模型 40

2.3 计算机分析方法 41

2.3.1 概述 41

2.3.2 剪切杆 42

2.3.3 弯曲杆 43

2.3.4 弯-剪杆 49

2.3.5 框架计算的精确分析法 (FAPP) 49

2.3.6 高层框架的弹塑性分析 59

2.4 数值分析 66

2.4.1 自由振动 66

2.4.2 强迫振动 (地震反应) 69

2.4.3 抗震设计中的振动分析 73

第 3 章 钢结构建筑物 76

3.1 概述 76

3.1.1 日本的钢结构建筑物 76

3.1.2 超高层建筑物的研究和建造 78

3.2 结构构件和框架的力学特性 80

3.2.1 结构构件的特性 80

3.2.2 框架的力学特性 92

3.3 结构设计 98

3.3.1 结构设计的一般问题 98

3.3.2 典型高层建筑物结构设计上的问题和解决方法 98

目 录

3.4 设计实例——60层办公大楼	110
3.4.1 总体规划	110
3.4.2 建筑概貌	111
3.4.3 结构概况	111
3.4.4 结构设计的方针和过程	116
3.4.5 结构设计	118
3.4.6 地震反应分析	127
第4章 钢筋混凝土结构建筑	136
4.1 概论	136
4.1.1 钢筋混凝土的使用和推广	136
4.1.2 钢筋混凝土建筑的震害	137
4.1.3 钢筋混凝土的抗震基点—强度和延性	147
4.2 抗震钢筋混凝土框架的研究和建造	151
4.2.1 抗震设计原理	151
4.2.2 提高柱子的抗剪性能	151
4.2.3 新配筋法的施工方法	154
4.2.4 粗钢筋接头的施工方法	156
4.2.5 框架的恢复力特性曲线	158
4.2.6 弹塑性地震反应分析	163
4.3 设计实例——椎名町公寓	163
4.3.1 建筑物和构造概述	163
4.3.2 各部详细构造	165
4.3.3 静力初步设计	168
4.3.4 抗震的动力设计	170
4.3.5 COM地震反应动态片	173
第5章 烟囱	182
5.1 概述	182
5.1.1 烟囱的震害情况及其原因	182
5.1.2 地震系数法的不合理性	182
5.2 各种烟囱地震反应特性的研究	183
5.2.1 选为研究对象的烟囱	183
5.2.2 分析时的基本假定	186
5.2.3 自振周期	186
5.2.4 地震反应	187
5.3 考虑动力效应的设计方法	190
5.4 设计例题	192
5.4.1 基本资料	192
5.4.2 内力计算	194
5.4.3 截面计算	196
5.5 突出屋顶的烟囱及塔状物	198
5.5.1 突出屋顶的烟囱	198
5.5.2 突出屋顶塔状物的地震反应分析例题	199

第 6 章 原子能发电站	202
6.1 概述	202
6.1.1 日本的原子能发电站	202
6.1.2 原子能发电站的建筑物	203
6.2 抗震设计方法	205
6.2.1 抗震设计的必要性	205
6.2.2 按重要性分类的地震力计算	205
6.2.3 设计用地震地面运动	206
6.2.4 荷载组合及容许应力	206
6.3 动力分析法	207
6.3.1 地震反应分析模型	207
6.3.2 阻尼的处理方法	210
6.4 设计实例——S 原子能发电站	212
6.4.1 厂房概述	212
6.4.2 地震分析	214
6.5 结语和存在的问题	220
第 7 章 建筑设备及机器	222
7.1 地震破坏实例和教训	222
7.1.1 家具和书架等	222
7.1.2 管道和容器类	223
7.1.3 照明器具和顶棚	224
7.1.4 电力设备和通信设备	225
7.2 设备机器的抗震设计	227
7.2.1 作用在机器上的地震力	227
7.2.2 抗震设计	230
7.3 电子计算机的安装方法	231
7.3.1 安装方法上存在的问题	231
7.3.2 振动实验	232
7.3.3 新安装方法	237
7.4 电梯的抗震设计	240
7.4.1 电梯装置	240
7.4.2 地震破坏实例	241
7.4.3 动力分析	243
7.4.4 抗震设计注意事项	245
第 8 章 振动实验和地震观测	247
8.1 振动实验和地震观测的意义	247
8.1.1 强震记录与动力分析	247
8.1.2 建造前后的调查和研究	247
8.2 振动实验	251
8.2.1 振动实验方法	251
8.2.2 高层建筑物的振动实验	262
8.2.3 原子能发电站的振动实验	269

目 录

8.3 地震观测274

8.3.1 强震仪的研制与发展274

8.3.2 地震观测方法275

8.3.3 高层建筑物的地震观测284

8.3.4 原子能发电站的地震观测289

第9章 刚架分析精确法“FAPP”的电子计算机程序295

9.1 概述295

9.2 程序的构成296

9.3 程序内容（计算机程序编制）297

9.3.1 主程序297

9.3.2 子程序：MBAND300

9.3.3 子程序：BANDM306

9.3.4 子程序：JAKDO309

9.3.5 子程序：STRESS313

9.3.6 子程序：MRESP317

9.3.7 输入数据、格式320

9.4 数值算例324

9.4.1 分析的结构324

9.4.2 输入数据324

9.4.3 输出和图像327

9.5 水平刚度矩阵的解法336

附录338

1.设计时常用的地震波反应谱338

2.日本抗震规范武藤修正案348

抗震设计法的动向

1.1 抗震设计法的发展

1.1.1 日本抗震设计法的发展

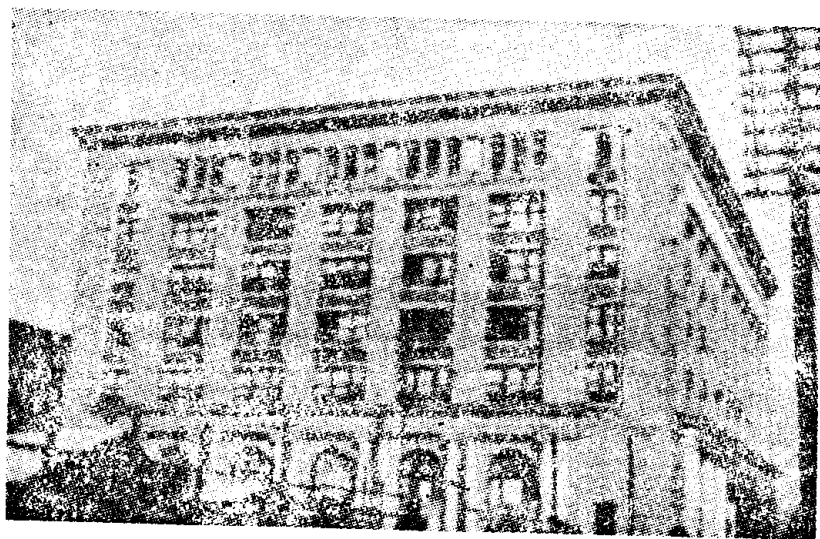
日本抗震结构的研究，是从1891年的濃尾地震开始的。这次地震在日本是少见的大地震，其震中在大陆的内部。在名古屋附近，刚从西欧引进的砖结构建筑，受到了巨大的灾害。由于这次地震的惨痛教训，使文部省设立了“震害预防调查会”，由许多与建筑、土木、地震有关的学者参加，开始了正式的研究工作，同时也给抗震结构方面的研究，迎来了新曙光。

关东大地震发生之前七年，1916年佐野利器博士发表了“房屋抗震结构”¹⁾，提出抗震设计时，应该考虑地震力的计算方法，即所谓佐野地震系数。这个被称为地震系数法的设计方法，就是在建筑物上加一水平方向的地震力，其大小是建筑物重量的某一比率，这个比率就是地震系数。这种形式，极其明晰地表现出复杂的地震作用，因此，对以后抗震工程学研究方向的影响是不可估量的。

然而，具体的设计地震系数究竟为多少，不是那么容易确定的。开始应用佐野地震系数法的几年，内藤多仲博士在改建日本兴业银行的设计里（照片1.1），采用了设计地震系数为1/15。设计该大楼时，将柱与梁之间的钢筋混凝土墙，当作所谓抗震墙，用以承担水平力。因为这座建筑物是根据抗震计算设计的，所以在1923年的关东大地震时没有破坏，以此而闻名，提高了计算的可靠性。

关东大地震²⁾，给东京及横滨带来了毁灭性的大灾害（照片1.2~1.4）。因此，迫切要求在当时的建筑条令中，制订抗震设计的具体规定。第二年，在都市建筑法中增加了设计地震系数0.1这一抗震设计规定。这是世界上最早的抗震设计规范，这对以后世界各国仿效，进行规范化有深刻的意义。

在这里，简单地谈谈关于规定地震系数为0.1的问题。关东大地震时，下町的地面运动的地震系数，并不是所考虑的0.1，据推断在下町约为0.3，横滨约为0.35。但是作为抗震计算，因为当时材料的容许应力大约是强度的1/3，所以设计地震系数按0.1计算。而且还包含有这样的想法，就是在建筑结构里，如果给予高度延性的话，即使是0.3的地震系数，



照片 1.1 日本兴业银行
(震害预防调查会报告第100号(丙)1925)

也能避免倒塌，这点不能忘记。

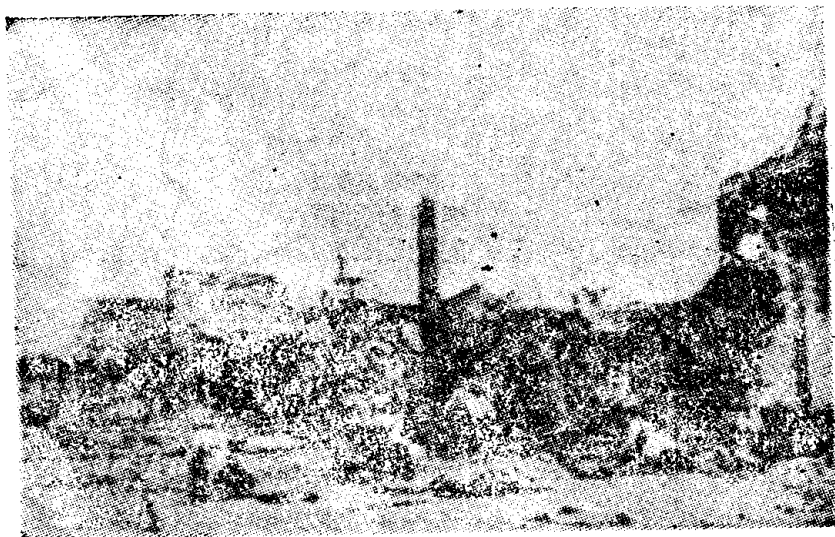
从此以后，就应永远保持地震系数为 0.1 了，但是为了补救1944年战争时期中的物资不足，采用了**极限设计法**，制订了以保证强度为目的的新抗震设计法临时标准。不久战争结束，1950年制订了新的“**建筑法规**”代替“都市建筑法”。按照以前的想法，在建筑法规里所采用的荷载，首次分成永久和临时两类，地震是临时荷载。混凝土的容许应力与临时标准相同，提高到约为战前的 2 倍，同时设计水平地震系数也为 0.2 以上（但是，对于高层建筑的上层，水平地震系数按比例增加）。

从表面上看，地震系数0.2是关东大地震以后不久所规定的地震系数0.1的两倍，但是实质上容许应力与地震力的关系完全没有改变，这就是一直延续到今天的原因。

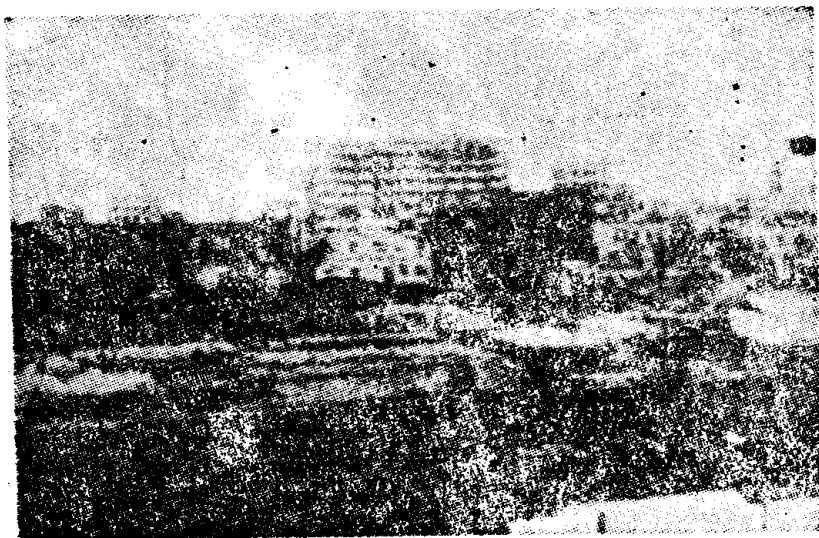
可是，在进行抗震设计的研究时，首先必须知道地震时地面的运动。在日本，气象厅主要根据位移地震仪在全国进行观测，但是抗震研究时，使用加速度记录更简便。以前，在重要的大地震时，由于超过仪器的性能不能取得记录，所以，从1953年制造了SMAC型强震仪以来，强震观测的形势才飞速进展，到现在（1975年）全国已设有 1000 台强震仪（图1.1）。用它们获得了新泻、十胜冲和其他许多地震的记录。

在这以前，美国从1934年起开始获得强震记录。多震的加利福尼亚州，到1950年已经获得了相当可观的地震记录。

当地震波作用于结构物时，在结构上将作用着怎样的地震力。这一课题在美国是以模拟电子计算机进行研究的，从1958年起，开始于加利福尼亚工业大学的豪斯纳(Housner)教授等。在日本，一方面于1961年由东洋人造纤维科学促进会进行了“关于强震作用下高层建筑的反应分析和动力设计方法的研究”³⁾，另一方面，又成立了以作者为委员长的强震反应分析委员会，制造了非线性（弹塑性）SERAC (Strong Earthquake Response Analysis Committee) 模拟计算机。该机能分析最多为 5 个质点的结构物（模拟为剪切型）的地震波的弹塑性反应。在这以后，虽然逐渐地被数字计算机所代替。但就是它，是最早研究实际的地震波作用下多质点体系的非线性反应的，可简单而直接地看出建筑物



1.2



1.3



1.4

照片 1.2~照片1.4 关东大地震破坏实例

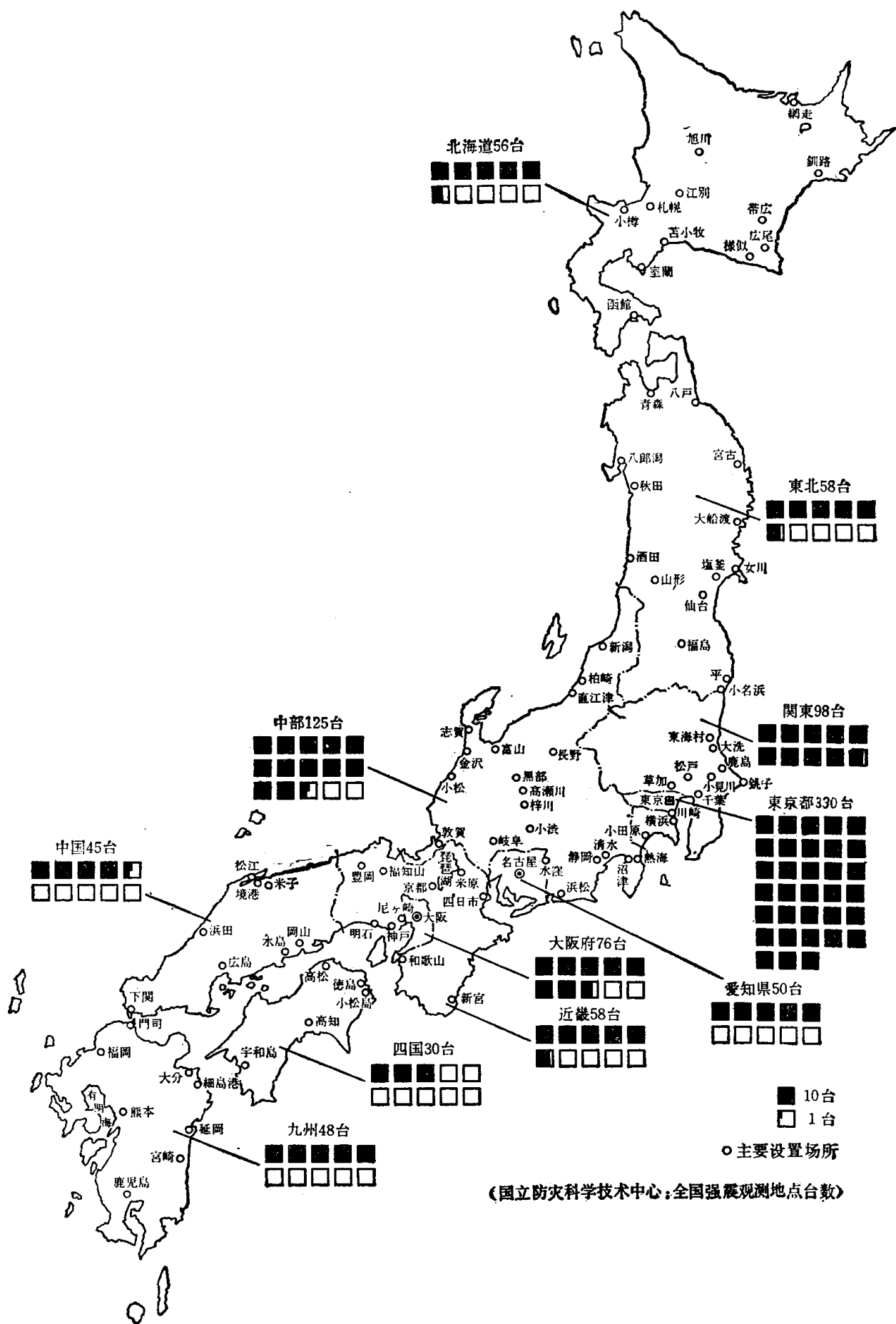


图 1.1 SMAC型强震仪设置分布图
(国立防灾中心：全国强震观测台帐)

的动态, 还有其使用价值。

通过输入地震波, 由电子计算机进行反应分析, 可以了解一个新的事实。这就是在 0.5 秒左右短周期的建筑物, 作用的地震力非常大, 但随着周期变长到 2、3、5 秒, 只作用小的地震力。从这一事实出发, 因而奠定了柔性超高层建筑作用地震力小, 对抗震安全这一柔性结构理论。在“若是柔性结构, 连日本也能实现超高层”这种推测的基础上, 使之实现于具体设计, 该项研究是作者在 1959 年受聘设计高层化的 (24 层) 国有铁道东京站开始的。虽然这个国有铁道的方案没有实现, 但用柔性结构能够建造超高层建筑的结论是很明显的, 致使 1963 年的建筑法规, 废除了建筑物高度的限制。

1967 年 36 层的霞关大厦完工了。该大厦建造时, 进行了一系列新型结构的技术研究: 在结构分析方面, 开始确立了动力设计法 (在以后详述); 在结构材料方面, 出现了大型的 H 型钢; 在结构构造上, 提出了钢筋混凝土带竖缝墙等。

这样, 以超高层设计为目标而发展起来的动力设计法, 也影响到其他结构物的设计。如目前, 原子能发电站、桥梁、坝等结构物的抗震设计, 也采用了动力设计法。并且, 根据原来通行的地震系数法设计的中低层的钢筋混凝土、劲性钢筋混凝土的建筑物, 也可用动力设计法加以鉴定分析。按照这一新的手法, 逐个的重新确定每个结构物的真正抗震能力。

目前, 关于抗震设计的规定是对高度在 45 米以下的建筑物, 按照建筑法规进行设计。对超过 45 米高度的高层建筑, 应按同一法规的 38 条, 以新的设计、施工规定来进行。这些高层建筑要逐个地由“高层建筑结构审查委员会” (1964 年 9 月建设省设立委员是学识渊博者) 审查, 给予批准。这个审查委员会后来为日本建筑中心所继承, 改名为结构鉴定委员会, 工作内容是与建设省的审查委员会完全一样。成立鉴定委员会的结果, 就使超高层建筑能及时的反映抗震工程学的新的研究成果, 使科学的进步直接应用到现有的设计里去。

另一方面, 如上述, 要校核每个建筑物抗震安全度, 而要知道作用在各个建筑物上究竟是多大的设计地震力, 这是难以确定的。因此, 为了知道粗略的设计地震力, 可以参考建筑学会的高层建筑技术指南 (1964 年 3 月制订, 1973 年 3 月修订) 和建设省建筑研究所汇总的建筑法规附修订草案 (通称建研案 1969 年 7 月)。特别是建研案, 作为第一次设计用的地震力, 而被广泛应用, 因此, 有关它的内容在 1.1.2 节中叙述。

1.1.2 各国抗震规范的现状与动向

(1) 前言

世界最早的抗震规范, 是前面所说的日本都市建筑法 (1924 年)。现在, 世界上几乎所有的地震国家, 都有了抗震规范。最初, 象日本的都市建筑法或是象美国的旧金山市条令, 都是属于一个城市的, 而且仅适用于某一限定区域, 现在象美国和苏联那样的大国, 都制订了全国适用的规范。再有联合国教科文组织 (UNESCO), 国际标准化组织 (ISO) 等国际机构, 有制订世界统一规范的动向, 以此推进全世界的技术、学术的交流, 也正在为建立世界统一的抗震观念而奠定基础。虽然这样可以形成世界统一的基础, 但从下面介绍的各国规范来看, 现在的情况是各有千秋。这些规范, 在 1960 年由国际地震工程学会 (IAEE) 汇编了“世界抗震规范集”⁵⁾以来, 现在已经连续 5 次修订出版。

6 第1章 抗震设计法的动向

关于各国抗震规范中的地震力，无论是日本还是其他按静水平力考虑地震力的国家，都引进了动力分析的最新成果和地震观测的新知识，正在改变为按建筑物的振动周期确定地震力的新方法。

决定地震力的因素，大致可分成地震学、土壤力学、结构力学和社会学等方面，这些因素具体地反映在规范里，是以地震区域、地基类型、结构类型、标准基底剪力系数、重要性系数等形式表现出来，这些将在以后叙述。

面对各国抗震规范一个接一个的采用新知识进行了修订的情况下，日本的抗震规范依然采用地震系数法，而孤立于世界科技进步之外，固步不前。在超高层建筑方面，已灵活地应用了先进概念——动力设计法，另一方面无法理解的是，对于一般的建筑却没有任何修改。为此，作者于1976年4月在建筑杂志写了一篇题为“要求修订抗震规范”的文章（全文载于本书的附录中）。其目的是为了批评日本的因循守旧，再次向建筑学会和建设省提出请求书，以求得学会的一致意见。

（2）各国抗震规范概况^{5）}

作用于建筑物的地震力，目前大多数国家用以下形式表示：

$$F=C(Z, I, S, K, T)W=\sum f_i$$

或

$$f_i=K_i(Z, I, S, K, T)w_i$$

式中 F ——总地震力，即建筑物最底层的剪力（称为基底剪力）；

f_i ——作用于第 i 层的水平外力；

C ——基底剪力系数，由 Z 、 I 、 S 、 K 和 T 决定；

K_i ——第 i 层的地震系数，由 Z 、 I 、 S 、 K 和 T 决定；

W ——作为抗震计算用的建筑物总重量；

w_i ——第 i 层的重量；

Z ——区域系数；

I ——重要性系数；

S ——地基类型；

K ——结构型式；

T ——建筑物的基本周期。

以下介绍典型的抗震规范。

日本：建筑法规（1976年）

$$f_i=K_i(Z, S, K)w_i$$

$$=Z[S, K]0.2w_i \quad 0 < H \leq 16\text{m}$$

$$=Z[S, K](0.2 + \Delta)w_i \quad 16 < H$$

式中 H ——建筑物的高度；

$$Z=1, 0.9, 0.8;$$

$$[S, K]=0.6, 0.8, 1.0, 1.5;$$

$$Z[S, K] \geq 0.5;$$

Δ ——地震系数的增量。建筑物高度超过16m后，每层或每4m按0.01增长。

本规范适用于高度45m以下的建筑物；超过45m的建筑物，在按静力法设计的同时，

进行动力设计（参阅 1.2 节）。无论是静力法设计，还是动力设计的开始阶段的第一次设计，都要普遍应用以前提到的建研案，因此这里摘录如下：

日本：建筑法规附修改草案（1969年 7 月）

$$F=C_1 \cdot W$$
$$C_1=C_0 \cdot Z \cdot I$$

式中 C_0 ——标准基底剪力系数，由下式得出：

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= 0.2S & T < G + 1.75\text{sec} \\ &= \frac{0.35S}{T - G} & T \geq G + 1.75\text{sec} \end{aligned} \right\}$$

S ——结构类型系数，钢结构为 0.9，其他钢筋混凝土、劲性钢筋混凝土结构等为 1.0；
 G ——地基类型系数，其值分为 -0.75，0，0.5，0.75 四种，与其相对应的地基为基岩，砂土层，粘土层，软弱冲积层。

标准基底剪力系数 C_0 ，对应 $S=1.0$ 时的情况，如图 1.2 的 C_0 曲线图形。

Z ——区域系数，分为 1.0，0.9，0.8。区域划分与现行的建筑法规相同。

I ——重要性系数，重要的建筑物为 1.25；普通的建筑物为 1.0；震灾时不致伤害生命的建筑物或者临时建筑物为 0.75。

$$f_i = {}_1f_i + {}_2f_i + {}_3f_i$$
$${}_1f_i = \alpha \cdot C_1 \cdot W_x$$

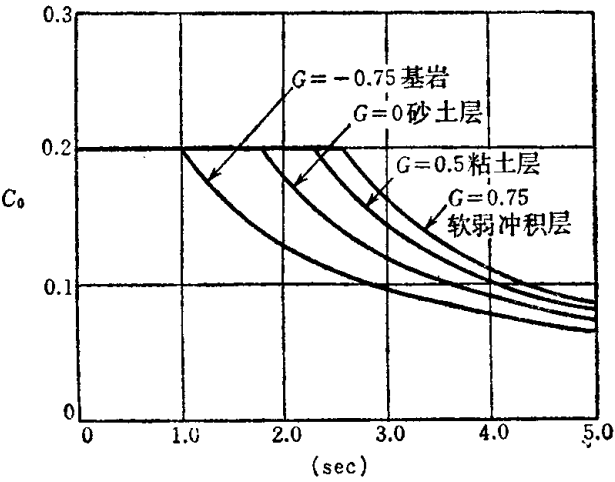


图 1.2 $S=1.0$ 时标准基底剪力系数
标准基底剪力系数 C_0 是由结构类型、地基类型和建筑物的周期决定

$${}_2f_i = \beta \cdot C_1 \cdot W_x \cdot \frac{W \cdot x}{\sum_{x=0}^H W \cdot x}$$

$${}_3f_i = \gamma \cdot C_1 \cdot W$$

其中 W_x —— x 高度处的重量；

x —— W_x 的高度；

H ——建筑物地面以上高度；

$$\alpha = (2 - T) / 2 \quad (T < 2), \quad 0 \quad (T \geq 2)$$

$$\beta = T / 2 \quad (T < 2), \quad (12 - T) / 10 \quad (T \geq 2)$$

$$\gamma = 0 \quad (T < 2), \quad (T - 2) / 10 \quad (T \geq 2)$$

从上式来看，水平力沿高度方向的分布，由建筑物的基本自振周期决定。2 秒以下的建筑物由均匀分布和倒三角形分布组合，随着周期加长，倒三角形分布占的比例增大。超

8 第1章 抗震设计法的动向

过2秒时,由倒三角形分布和顶端集中力组合,随着周期加长,顶端集中力按比例加大。例如,图1.3所示为 $T=1$ 秒和 $T=5$ 秒时,地震力的分布。

美国: 统一建筑规范 (Uniform Building Code, 1976年)

$$F=C(Z,I,S,K,T) \cdot \frac{1}{15\sqrt{T}} \cdot W$$

式中 $Z=1.0, 0.5, 0.25;$

$I=1.5, 1.25, 1.0;$

$$\left. \begin{aligned} S &= 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2 & \frac{T}{T_s} \leq 1.0 \\ &= 1.2 + 0.6 \frac{T}{T_s} - 0.3 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2 & \frac{T}{T_s} > 1.0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T &\geq 0.3 \\ S &\geq 1.0 \end{aligned}$$

$K=1.33, 1.0, 0.8, 0.67;$

$$\frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12;$$

$$C \cdot S \leq 0.14;$$

T ——建筑物的基本自振周期;

T_s ——地基的周期, $0.5 \leq T_s \leq 2.5$ 。

$$f_i = \frac{(F - f_t) w_i h_i}{\sum_{x=1}^n w_x h_x}$$

$$F = \sum_{i=1}^n f_i + f_t$$

$$f_t \leq 0.15F$$

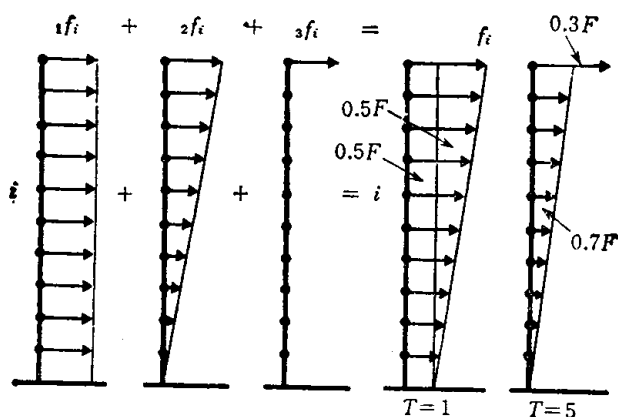


图 1.3 水平力分布

水平力分布是由均匀分布、倒三角分布、顶端集中力的组合而成。它们之间的比例,由建筑物的基本周期决定。

其中 f_t 为细长建筑物的顶端作用集中荷载。

加拿大: 国家建筑规范 (National Building Code of Canada, 1970年)

$$F=C(Z,I,S,K,T) \cdot W$$

$$= Z \cdot I \cdot S \cdot K \cdot \frac{0.05}{\sqrt[3]{T}} \cdot W$$

式中 $Z=1.0, 0.5, 0.25;$

$I=1.3, 1.0;$

$S=1.5, 1.0;$

$K=1.33, 1.0, 0.8, 0.67。$

$$f_i = \frac{(F - f_t) w_i h_i}{\sum_{x=1}^n w_x h_x}$$

$$F = \sum_{i=1}^n f_i + f_t$$

$f_t = 0.15F$ (细长的建筑物)

其中 f_t , T 是与美国相同。

设计地震力，也可以根据动态分析决定。 $\sqrt[3]{T}$ 的规定，仍然是1975年以前美国所采用的。

新西兰：标准建筑规范（New Zealand Standard Model Building Bylaw, 1965年）（NZSS 1900）

$$F=C(Z,I,T)W$$

重要建筑物 $C=0.16 \quad T \leq 0.44$ 秒
 $C=0.08 \quad T \geq 1.2$ 秒
 $C=$ 直线内插 $0.44 < T < 1.20$
 $Z=1, 3/4, 1/2。$

普通建筑物 $C=0.12 \quad T \leq 0.44$ 秒
 $C=0.06 \quad T \geq 1.2$ 秒
 $C=$ 直线内插 $0.44 < T < 1.2$
 $Z=1, 5/6, 1/2。$

$$f_i = \frac{(F - f_t)w_i h_i}{\sum_{a=1}^n w_a h_a}$$

式中 $F = \sum_{i=1}^n f_i + f_t;$

$f_t = 0.1F$ （细长的建筑物）。

对于特殊的建筑物要求动态分析。任何建筑物都准许按动态分析进行设计，但是设计剪力和倾覆力矩不能低于静力计算所要求值的80%。

苏联：地震区建筑法规（Standards and Regulation for Building in Seismic Regions, 1970年）

$$f_{ki} = k_{ki}(Z, I, T_k)w_i = [Z, I] \cdot \beta_k \eta_{ki} \cdot w_i$$

式中 f_{ki} —— k 振型作用于 i 层的设计地震力；

T_k —— k 振型的周期；

$[Z, I] = 0.1, 0.05, 0.025;$

$\beta_k = \frac{1}{T_k}, 0.8 \leq \beta_k \leq 3;$

β_k ——特别细高建筑物的增额

$$\eta_{ki} = \frac{x_{ki} \sum_{j=1}^n w_j X_{kj}}{\sum_{j=1}^n w_j x_{kj}^2}$$

x_{kj}, x_{ki} —— k 振型时 j 点和 i 点的水平位移。

大多数建筑物的设计，只需考虑基本振型。高宽比为5以上的塔式结构物与基本周期为0.5秒以上的柔性结构物，必须考虑三个振型。此时，弯矩、轴力、剪力等这些内力，由下式进行计算：

$$N = \sqrt{N_{max}^2 + 0.5 \sum_{i=1}^n N_i^2}$$

式中 N ——内力值；