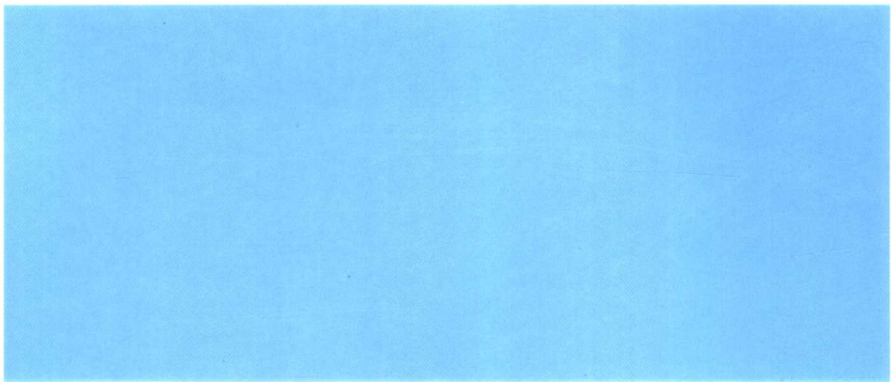


隔震结构设计



Recommendation for the Design
of Base Isolated Buildings

日本建筑学会 著

刘文光 译 冯德民 校

地震出版社

隔震结构设计

Recommendation for the Design of Base Isolated Buildings

日本建筑学会 著

刘文光 译

冯德民 校

地震出版社

中文版序

致中国读者朋友们：

中国是具有五千年历史的文明古国，自古以来，地处亚洲东部的日本和中国就交往甚密，一依带水，唇齿相依。从地理位置来说，日本和中国一样，都属于太平洋火山带，是地球上地震最多的地区之一。在经历了无数次惨重的地震灾害后，我们通过数十年对抗震理论的研究和工程的实践，得以在对抵抗地震自然灾害、保障人类生命安全等方面取得了一定的进步。

传统的建筑抗震设计只能保证结构本身具有足够的强度、刚度和延性。一方面，没有塑性变形能力的结构遭受大地震时，容易发生脆性破坏，造成人员伤亡；另一方面有一定柔性的结构可以保证人身安全，但发生震灾后也会造成结构物倾斜，以致地震后不能维持其功能。更重要的并不是提高结构的强度就能解决问题的，结构强度大时，结构内部的加速度反应也随之增大，会引起家具的倾覆、重要机器的破损等。这样的建筑很难称为理想的抗震结构形式。

隔震结构的构想是在设法抵抗震害时自然而然产生的，如果可以把结构物和地面隔离开，即使地面出现振动，建筑物也不会受影响。也就是通过引入隔震装置来延长结构的周期，避开地震能量相对集中的频段，改变结构动力特性，并利用耗能装置来抑制结构的位移，从而达到全面降低结构动力响应的目标。100年前就已经有按照此设想的建筑，但现代隔震技术的实现只有30年左右的历史，这要归功于具有革命意义的叠层橡胶支座的诞生。美国 Northridge 大地震(1994年)和日本神户大地震(1995年)地震区隔震建筑的地震观测结果表明，隔震结构体系是当前一种有效的减轻地震灾害的新型结构体系。

可以说隔震结构弥补了抗震结构的不足，隔震结构在日本得到了极为广泛的应用，并在现实地震中表现出良好的抗震性能。这些应用包括医院、计算机中心、美术馆、博物馆等国家公共建筑，还有超过100m的高层住宅建筑等。到目前为止，日本共有约1500多栋大楼和1500栋住宅采用了隔震技术。

日本建筑学会的《隔震结构设计》初版是在福岡大学名誉教授多田英之委员长指导下于1989年发行的，1992年在东京大学名誉教授秋山宏委员长的指导下完成了第一版的修订工作，这次翻译成中文版是在我的带领下于2001年完成的第二版修订版。

这次中文版的翻译工作是由刘文光教授倾心完成的，并经冯德民博士校对，也得到了周福霖院士的支持和帮助，相信本书能够确切地反映原著的内容。本书篇幅庞大，内

容广泛，技术深入，能够顺利翻译成中文是与以上两位的不懈努力分不开的，在此对他们作出的努力再次表示深深的谢意。希望本书的出版能够加深与中国同行的交流，共同促进隔震技术在世界范围内的发展。

东京工业大学教授 建筑物理研究中心所长

日本建筑学会构造委员会委员长

和田章

2005 年 6 月

前言（2001 年版）

发生过地震的国家受益于抗震工程学至 20 世纪所取得的成果，建筑物都开始了抗震设计。尽管抗震设计还不是十分成熟，但可以说新近设计的建筑物的抗震性能在不断提高。设计方法大体上可以分为强度抵抗型和韧性抵抗型，前者是针对地震时产生的地震作用充分提高建筑物强度的设计方法；后者是发挥建筑物的塑性变形能力来吸收地震输入的能量，从而防止建筑物倒塌破坏的设计方法。根据 20 世纪中后期众多的研究成果，人们一直认为韧性抵抗型是合理的抗震设计方法。但是，1994 年美国的北岭地震和 1995 年兵库县南部地震之后，允许结构损伤的设计方法问题暴露明显：承受大地震后的建筑物很难继续维持其使用功能，且修复费用昂贵。能够从根本上解决这些问题的新型抗震结构就是隔震结构。

如果能事先知道建设场地将来可能发生的地震动的性质和大小，则进行抗震设计的困难就几乎不存在了。但是，即使利用最新的板块构造理论，也不能得到进行详细建筑设计所必需的信息。如上所述韧性抵抗型的建筑结构允许的结构的塑性变形，在地震作用下的反应非常复杂，再加上这个反应受地震动性质的影响很大。所以，为了保证建筑物的安全性，有必要确保建筑物的各构件具有充裕的强度。隔震结构是利用隔震支座、阻尼器等隔震装置把地基和建筑物隔离的结构，隔震层产生的变形虽然受地震动性质的影响，但上部结构产生的变形、应力受地震动的影响很小。即使在大地震作用下，这些变形、应力也非常小，所以按允许应力设计上部结构是可行的。

本书经过约 20 余年的研究，以设计实践中取得的成果为基础，初步形成了隔震结构的设计体系。通过参考本书，期待设计并实施更好的隔震结构，同时，也希望能够促进抗震结构的发展。

2001 年 9 月

日本建筑学会隔震结构小委员会

多田英之·和田 章

序（2001年版）

日本建筑学会于1986年在结构委员会之下，成立了隔震结构小委员会，经过4年的活动，出版了《隔震结构设计》（1989年），并于1993年进行了第一次修订，得到了众多建筑师、技术人员、研究人员的评价。目前日本已建成了约1000栋隔震建筑，根据迄今为止的众多研究成果，特发行第二次修订版。下面刊登的文章是初版和第一次修订版解说编前部分的内容，它叙述了开始编写本书的基本思路，故再刊登于此。1989年和1993年版的序言中阐述了有关隔震结构的重要思路，值得参考。

“建筑设计行为是一种创作”的观点是绝大多数人所赞成的。

正如本学会章程里阐述的“会员同心协力，以推进建筑相关的学术·技术·艺术进步为目标”，为了设计出更好的建筑，学·技·艺的综合能力是必不可少的。具有这种综合能力，担负起创作出有价值的建筑物的重大责任者是设计人员。结构设计也是建筑设计的一个分支，作为设计的立场并没有特别变化，尤其是在自然灾害频发的我国，结构设计以保护国民的生命财产为具体目标，承担着社会的重任。

鉴于以上社会背景，在本学会的活动当中，有关建筑结构安全性的领域是很活跃的，给很多设计者提供了技术性指导。

可是，这些具体的技术性指导（各标准、指南等）易忘记本意，不是“以建设更优质建筑物为目标”，而更侧重于“遏止劣质建筑物”。

本书对设计中出现的各种各样的问题指出了注意事项，与此相比，一般的指南性书籍里“如果这样就可以”等重视手续的一贯性的记述很多，在这些指南里并非寻求设计者的判断，而是让他们遵循或服从的情形难道不是很突出吗？这可能起因于相应的社会背景吧，存在下述强烈要求的情况也是不可否认的：虽然指出问题所在，可是如果没有解决的话，很多人都不会采用，这样作为指南也就没有实际意义了。

结果而言，一种情况是几乎固定了数值或公式，另一种情况是虽然本来是一个非常重要的事项，却没有叙述。这些在运用的时候，大多被认为“适当”的事情就变成了“那就可以了”，更进一步变成“必须那样”！另外，没有记述的东西往往被视为不用评价就可以的，相反地，记述的东西就变成了必须要按部就班。

很遗憾的是如果从相反角度来看“绝对服从”，因为不要求设计者做出判断，结果上可能有利于保证设计质量。

如果是这样，原来应该具有的设计的质量能够得到保障吗？本书编写过程中所坚持的观点就是否定这种看法。因此，本书和迄今为止的各种指南相比，会有不同的印象。

本书编写时着重于叙述基本的重要事项，并尽可能提供在进行设计判断时所必须的有益资料。

本书中指出：以这些资料为基础，更多的是要设计者做出判断，则建筑物的质量会发生变化；相反当设计者自身不能做出重要判断时，就不应该进行设计。

2001 年 9 月

日本建筑学会隔震结构小委员会

山口昭一・和田 章

序（1989年版）

本书主要以隔震建筑物为研究对象，这种隔震建筑物是以隔震层为基层，并在其上建造普通结构（上部结构）的建筑。隔震层由橡胶和钢板相互叠置而成的隔震支座与抑制位移的阻尼器共同构成。

隔震支座的水平刚度与竖向刚度相比很小，即使在超过隔震支座半径的水平位移时，也可以保持处于弹性状态。该结构的力学特性是由隔震层吸收水平地震施加在结构上的大部分能量。对于上部结构，在一般结构设计时要求的能量吸收能力并不重要，可按弹性进行设计，当然，残余的能量还是会传给上部结构，所以地震也作用于上部结构。隔震支座的水平刚度越低，上部结构的地震作用就越小，隔震效果也越好；另一方面，隔震层的水平位移变大，有可能超过隔震支座的极限变形。

阻尼器是为了抑制隔震层的水平位移而设置的，阻尼器主要具有弹塑性的滞回特性，滞回吸收能量是抑制变形的源泉。为了提高阻尼器的效果，有必要提高阻尼器的水平抵抗力，但由此会增加上部结构的地震作用。隔震设计的重点是尽量减小上部结构的地震作用，同时，还要控制隔震支座的变形在允许变形范围内。为了保证上部结构处于弹性范围、隔震支座做弹性运动，由水平地震带来的能量初时由隔震支座和阻尼器来承受，最终由阻尼器全部吸收，这是阻尼器的基本设计条件。

隔震结构的构造特点是将隔震支座、阻尼器作为主要的结构构件，把两者组合设置构成隔震层。构成隔震支座的橡胶材料，作为建筑结构的材料而言是一种新型材料，因此对隔震支座的耐久性、耐火性、产品质量管理提出了新的研究课题。用于阻尼器的组成材料除钢材以外，铅、粘弹性材料和高阻尼橡胶等新型材料也开始应用。

本书以具备上述特性的隔震结构为主，是有关抗震问题的设计指南和相关资料收集的一本书。抗震设计以预测输入地震动为前提，然而目前技术还不成熟，准确地预测出建设场地的地震动几乎是不可能的。虽然有这些不确定的条件，但设计者还是在继续进行着设计，进行这类设计需要设计者的判断和健全的法律制度（建筑规范）。隔震结构根据这些构件的特性，可以比较准确地评价能量的吸收能力，所以，把地震动输入的基本量用地震动传递给建筑物的能量来评价是有效的方法。

本书的重点是整理有助于设计人员进行判断的客观资料。在探索新结构方法的可能性方面，重要的是认识到设计的本质，不应该只重视设计手法形式上的完整性。也就是说，对不确定的事实，本书提出的方便设计人员进行设计的结论是应该回避的。这些结论表面看来使设计容易进行，但剥夺了设计者的创造性，从而会阻碍技术的发展。

本书由第一编“设计指南”，第二编“设计指南的解说和补充”，第三编“设计应用

实例”；第四编“设计资料”等组成。在设计指南中叙述了隔震结构的特性、设计基本要点和设计基本设想；设计指南的解说和补充是为了深入理解本书而提供的说明和资料；设计应用实例中通过隔震结构的设计实例，论述了设计目标和目标的实现方法；设计资料编是为进行设计判断而提供的辅助性资料。实现目标的过程不是单一的，而是存在多种选择。必须以设计者为主体综合地把握这些选择，完成每一个设计。

根据以上观点，本书尽可能重视客观性，具体设计的实现手法分述于解说编以下的各章中，这样可根据今后的技术发展，对其进行适当的补充、修订。另外，本书第1、2章编写时使用了与过去结构设计指南不同的表现手法，以便结构设计人员以外的设计者也能通俗易懂。

1989年9月

日本建筑学会

前言（1989年版）

最近，我国建筑界的建筑公司和材料厂商关于隔震结构的开发竞争日异激烈。

从我国的结构设计，也就是抗震设计的实际情况而言，面对这种前景广阔的结构体系，各公司积极参与竞争也是理所当然的。可是，在现实设计决策阶段，还存在一些重要的亟待解决的问题，为此我们不能不担心在安全性评价方面会产生误解。

另一方面，自八千代台隔震住宅的审查评定以来，日本建筑中心已经评定了 20 余栋隔震建筑，再加上之前成立的研究会，可以认为在行政上已经采取了措施。在这种情况下，从科学、技术、艺术等所有方面，让人们正确认识有重要影响的隔震建筑，并为设计者提供有效的帮助是学会的必然使命。

此次，根据后述的宗旨，有关人员成立了“隔震结构小委员会”（昭和 61 年 11 月 29 日发起）（译者注：1986 年）编辑本书，主要任务是认识当前的问题，阐明将来研究发展基础的理论依据，并提出恰当的使用方法。

本书的编撰得到了大学、设计院、建筑业、材料厂商等多方面的协助，在短短时间内高效率地收集了资料，并通过工作小组的努力，进行了 2~3 个重要的试验研究。

本书为隔震结构的设计提供了基本资料，期待今后会有更多的研究成果涌现出来。

1989 年 9 月

日本建筑学会

序 (1993 年版)

隔震结构是从“把建筑物和地震隔开”的理想目标开始的。在对隔离装置进行了各种各样的试验后发现,到目前为止,性能最稳定的是把天然橡胶片和钢板相互叠置而成的隔震支座(叠层橡胶支座)。

夹在钢板中的薄天然橡胶片具备天然橡胶的“不漏之水”的特性,在压应力作用下,橡胶片中央位置好像三向受压状态的水,能发挥无限大的承载能力,因此,叠层橡胶支座在竖向荷载作用下的破坏模型是整体屈曲或钢板的破坏,而不是橡胶破坏,这一点已经被证实。

天然橡胶剪切变形状态下破坏时的剪切应变可达到 500%~600%,因此,如果对隔震支座的形状加以限制,就能够防止竖向荷载作用下的屈曲,从而可以生产出竖向支承能力高和剪切变形能力大的隔震支座。

本书的主要研究对象是隔震建筑物,它是以叠层橡胶支座和抑制位移的阻尼器组成的隔震层为基层,在其上建造普通结构(上部结构)的建筑物。隔震层在水平力作用下的剪切刚度比一般建筑物低很多,把建筑物从短周期的水平地震动隔开来来的目标基本得以实现,可是,把它从水平长周期地震动和竖向地震动中隔开来还是相当困难的。因此,在隔震结构实现之时,同时应用抗震设计技术是不可欠缺的。

评价水平地震动情况下的抗震性能时,隔震结构的上部结构与隔震层相比,其刚度相当大,因而可以把隔震结构简化为单质点振动体系,抗震设计简单明了。

第一版中以具备上述特性的隔震结构为主体,收集了有关抗震问题的设计指南和相关的资料。在本修订版中,遵从初版基本方针的同时还着重阐述了以下几点。

1) 隔震支座的极限特性

明确了隔震支座的极限承载力、极限变形等,因此对扩大隔震结构适用规模,明确其抗震充裕度成为了可能。

2) 天然橡胶的耐久性

根据使用 100 年的桥梁支座所采用的天然橡胶的调查结果,同时结合加速热老化实验结果证明:天然橡胶的耐久性是极高的,无需对隔震支座的维护采取特别措施,也不需要考虑替换隔震支座,这一点几乎已成定论。

3) 输入地震动

表明综合现有的输入地震动知识,根据建设场地的地基构造来设定输入地震动能量反应谱是可能的。

4) 隔震结构的反应预测

综合隔震结构的地震反应分析结果,以能量反应谱为基础,提出了即使不进行地震反应分析,也能预测隔震层和上部结构反应的包络评价法。

本书由第一编“设计指南”,第二编“解说编”,第三编“设计实例”,第四编“设计资料编”及附录构成。

实现设计目标的过程不是单一的,而是存在多种选择。必须以设计者为主体综合地把握这些选择,完成每一个设计。根据以上观点,本“设计指南”尽可能重视客观性,具体设计的实现手法分述于“解说编”中。但是,“解说编”中表示的都是在现有知识上的判断,根据今后的技术发展,有必要对其进行适当的补充、修订。

“设计实例”中,利用实例论述了设计目标和设计目标的实现方法。本次修订版中,在通常的基础隔震之外,也有意增加了阐述上部结构减震效果的情况,为今后展开多样性的设计做准备。

“资料编”是为进行设计判断而提供的辅助性资料。尽量避免重复初版的资料,刊登了新的内容。

随着隔震结构的长周期化,对输入地震动的长周期成分也要求进行精密的评价。另外,为综合评价建筑物的性能提高程度,对隔震结构、制振结构、抗震结构的概念进行了整理,为今后发展做准备的相关资料也收录到“资料编”中。

1993年12月

日本建筑学会隔震结构小委员会

主查 秋山 宏

前言（1993 年版）

本书是 1989 年 9 月出版的《隔震结构设计（初版）》的修订版。

初版发行以来，隔震结构小委员会继续致力于隔震结构相关的技术收集和开发工作，在 1992 年 4 月召开了以“隔震结构的最新发展”为主题的国际研讨会，1992 年在日本建筑学会全国大会上举行了以“隔震结构的可能性”为主题的分组讨论会。

本次修订是依据这些活动取得的成果，与初版合在一起，基本上将关系到隔震结构的基础性资料收集完整。

隔震结构是实现高性能抗震结构最好的选择，这一点已经得到了确认，在建筑规模、形式、维护管理方式等方面与一般建筑物相比，不应该受到任何特别的限制，这一点也是十分明确的。

期待本书能为隔震结构的普及和发展有效地发挥作用，同时希望本学会会员对本书提出宝贵意见和指正。

1993 年 12 月

日本建筑学会

编撰相关委员

(按五十音顺序, 敬称略)

结构委员会

委员长: 西川孝夫
干事: 久保哲夫 松奇育弘 绿川光正
委员: 略

隔震结构小委员会

主查: 和田章
干事: 高山峰夫
委员: 小崎均 小幡学 加藤宏宣 可儿长英
公塚正行 关松太郎 竹中康雄 田村和夫
富岛诚司 永井洁 中村纪吉 早川邦夫
柳泽延房

振动运营委员会

主查: 篠崎又三
干事: 崛家正则 三浦贤治 三田彰
委员: 浅野幸一郎 井口道雄 石丸辰治 大川出
大越俊男 冈田成幸 日下部馨 工藤一嘉
栗田哲 小林喜久二 铃木有 濑尾和大
多贺直恒 壇一男 藤堂正喜 西川孝夫
西谷章 秋尾坚治 滨本卓司 林康裕
福和伸夫 官本裕司 山田真 若松邦夫
和田章

结构设计工作组

主查: 和田章
干事: 北村春幸 田春和夫
委员: 加藤广宣 可儿长英 关松太郎 高山峰夫
竹中康雄 长桥纯男 中村纪吉 速水浩
翠川三郎 山口昭一 山田哲 吉川秀章

试设计工作组

主 查: 小 幡 学
干 事: 小 崎 均
委 员: 岚 山 正 树 岩 部 直 征 上 田 忠 男 胜 田 庄 二
公 塚 正 行 金 原 晃 雄 小 林 利 和 多 田 英 之
岛 居 次 夫 中 泽 俊 幸

隔震装置工作组

主 查: 高 山 峰 夫
干 事: 早 川 邦 夫
委 员: 北 村 春 幸 田 边 太 一 富 岛 成 司 柳 泽 延 房

编辑工作组

委 员: 小 崎 均 小 幡 学 北 村 春 幸 高 山 峰 夫
多 田 英 之 田 村 和 夫 早 川 邦 夫 山 口 昭 一
和 田 章

原文执笔者

第二编

前 言		秋山 宏	
第 1 章	1.1~1.6	可儿长英	速水 浩
第 2 章		高山峰夫	
第 3 章		高山峰夫	
第 4 章	4.1~4.2	翠川三郎	田村和夫
	4.3	山田 哲	
第 5 章	5.1~5.4	秋山 宏	北村春幸
	5.5.1~5.5.2	竹中康雄	关松太郎
	5.5.3	和田 章	
	5.6	关松太郎	
	5.7	北村春幸	

第三编

前 言		多田英之	小幡 学
设计实例 1		小崎 均	
设计实例 2		金原晃雄	
设计实例 3		鸟居次夫	
设计实例 4		岩部直征	
设计实例 5		中泽俊幸	
设计实例 6		胜田庄二	
设计实例 7		岚山正树	小林利和
后 记		小幡 学	

第四编

第 1 章	1.1~1.2	高山峰夫	
	1.3	柳泽延房	
	1.4	早川邦夫	
	1.5	富岛成司	
	1.6~1.9	高山峰夫	
第 2 章	2.1	高山峰夫	田边太一
	2.2~2.3	田边太一	

第 3 章	3.1	翠川三郎	
	3.2	佐藤俊明	壇 一男
	3.3	釜江克宏	
	3.4	中村纪吉	
	3.5	翠川三郎	
	3.6	山田 哲	
第 4 章	4.1	高山峰夫	
	4.2 ~ 4.3	吉川秀章	
	4.3.1	和田 章	片野赖昌
		获野伸行	
	4.3.2	竹中康雄	
	4.4.1	和田 章	
	4.4.2	关松太郎	
	4.5	关松太郎	
	4.5.1	和田 章	关松太郎
	4.5.2	关松太郎	
	4.6	田村和夫	福武毅芳
	4.7	公塚正行	加藤广宣
	4.8	中村纪吉	
第 5 章	5.1	中泽俊幸	服部宏治
	5.2	伊泽清治	
	5.3	田边太一	
附录	附录 1	高山峰夫	