

# 免震结构设计指针及解释

关宝树 译

西南交大“隧道免震技术研究”课题组  
一九九二年九月

# 免震结构设计指针及解释

关宝树 译

西南交大“隧道免震技术研究”课题组  
一九九二年九月

# 目 录

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第 I 篇 免震结构设计指针    | 1  |
| 第一章 免震构法的解说       | 1  |
| 1-1 节 免震构法的概要     | 1  |
| 1-2 节 免震构法的实用化背景  | 1  |
| 1-3 节 免震结构的概要     | 2  |
| 1-4 节 免震装置的概要     | 3  |
| 1-5 节 免震构法的适用性    | 4  |
| 第二章 设计一般原则        | 5  |
| 2-1 节 有关抗震性能的观点   | 5  |
| 2-2 节 基本规划        | 5  |
| 2-3 节 免震装置的选择     | 6  |
| 2-4 节 免震装置的质量管理   | 6  |
| 2-5 节 二次构件        | 7  |
| 2-6 节 设备设计        | 7  |
| 2-7 节 维修管理        | 7  |
| 2-8 节 建筑业务认可      | 7  |
| 第三章 输入地震动         | 8  |
| 3-1 节 基本观点        | 8  |
| 3-2 节 影响输入地震动的因素  | 8  |
| 3-3 节 注意事项        | 9  |
| 第四章 结构设计          | 9  |
| 4-1 节 基本观点        | 9  |
| 4-2 节 结构概要及设计方针   | 9  |
| 4-3 节 设计地震输入      | 10 |
| 4-4 节 设计地震响应预测    | 10 |
| 4-5 节 响应解析模式      | 10 |
| 4-6 节 保有水平承载力     | 11 |
| 4-7 节 构造规定        | 11 |
| 第 II 篇 说明篇        | 12 |
| 第一章 设计一般原则        | 12 |
| 1-1 节 概述          | 12 |
| 1-2 节 抗震性能的观点     | 12 |
| 1-3 节 规划和设计上的注意事项 | 16 |
| 1-4 节 施工和质量管埋     | 17 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1—5 节 维修管理.....        | 20 |
| 第二章 输入地震动.....         | 22 |
| 第三章 绝缘器(积层橡胶支承).....   | 24 |
| 3—1 节 概述.....          | 24 |
| 3—2 节 机械的性质.....       | 24 |
| 3—3 节 绝缘器的设计.....      | 28 |
| 3—4 节 积层橡胶支承的耐久性.....  | 36 |
| 第五章 结构设计.....          | 39 |
| 5—1 节 序言.....          | 39 |
| 5—2 节 结构概要.....        | 41 |
| 5—3 节 设计用地震输入.....     | 42 |
| 5—4 节 抗震性的判定条件.....    | 49 |
| 5—5 节 简易解析法的响应预测.....  | 52 |
| 5—6 节 时序响应解析的响应预测..... | 73 |
| 附录一 积层橡胶的有限元解析.....    | 83 |
| 附录二 绝缘器的计算图表.....      | 89 |

免震结构设计指针  
Recommendation for the Design of Base  
Isolated Buildings  
(日本建筑学会·1989年制定)

## 第I篇 免震结构设计指针

### 第一章 免震构法的解说

#### 1-1节 免震构法的概要

本文里例举的“免震结构”多数是目前已实施的，主要是使用积层橡胶的基础绝缘型免震结构。

纵观地震灾害，建筑物如不与基础紧密联接而能顺利的滑动时，受害是较少的，这种想法是很自然的，是从古以来就存在的。事实上，在许多文献中也提出了许多提案，在震灾地区的调查中，也有关于基础和土台设有用螺栓紧密联接的建筑物没有受害的报告，因此，这种想法绝不是单纯的想象，而多是得到实证的现象。

因此，不使建筑物和基础刚性地形成一体，而松动地支持，使建筑物不受强烈的地震动这种建筑物的设计方法，提议者分别以“消震”“避震”“免震”“减震”“制震”等命名，但时下流行的称呼是“免震”。

随着使建筑物为刚性，以其强度抵抗地震力的“抗震”手法的确立，与之相对立的概念，对“抗”字来说“免”字在语感上也是合适的，得到了广泛的支持。

#### 1-2节 免震构法的实用化背景

以关东大地震为契机，在加速抗震设计方法的研究中，免震结构也引起关注，开展了所谓的刚柔之争论。这个争论继续了很长时间，但终于以瞬味的形式结束，这是因为当时还没有明确地震动的性质以及振动响应解析的手法还不充分所致。其次，由于建筑法的静力震度法的制定，以及二次大战后建筑基础法的抗震规定等的约束，免震结构的研究，长期处于停滞的状态。

使“基础与建筑物不紧密联接，能顺利滑动”的设想，在抗震上也是有效的。为了实现这一点提出了许多提案，但都没有超出理想的范围，在实际的建筑物上都没有应用。为了实用化，用什么样的机构使建筑物滑移，滑移到什么程度合适，其效果如何以及这些机构的可靠性如何等等都应做出合适的评价，但这正是所缺少的。由于缺少这些，技术水准也就不能成熟。

目前,对免震结构很关注,正在锐意开发之中,其动机是:

1. 由于支持动力设计的抗震工程学的进展,具体地表示免震结构的效用已成为可能(技术上的背景)

2. 社会设施,特别是建筑物向高功能化方向急剧发展,使要求的抗震安全性的观念有了很大变化,即基于建筑物功能的安全性,从广义上说的居住性比作为建筑物损伤尺寸的安全性来得更为重要(社会上的背景)。

3. 积层橡胶绝缘器的出现等

特别是,积层橡胶绝缘器具有以下优越特性,在实用化上是个很大的贡献

- a. 具有很大的垂直支持能力;
- b. 能制作出柔性的水平弹簧,同时承受大变形;
- c. 动力解析模式化容易;
- d. 装置单纯,施工容易;
- e. 价格便宜(与滚珠轴承等比较)。

### 1—3节 免震结构的概要

目前实施最多的免震结构,作为结构系统其模式示于图1。

此图模式化为垂直方向支持建筑物的机构①、水平方向支持的机构②和吸引起建筑物和基础相对位移时运动能量的机构③。这些都是免震结构具有特征的结构单元。

也就是说,用①、②、③机构使建筑物与基础柔接合。

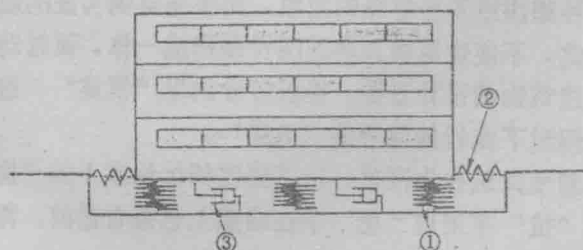


图1 建筑物模式图

这种柔接合的特征支配着免震结构的特征,利用①的弹簧的柔性,

减少高频域的纵向振动,但使地震动造成的摇动变大。利用②的弹簧的柔性,减少了水平振动产生的输入加速度,但位移增大。利用提高③的衰减力来控制位移的增大。作为实际装置,由于用什么来做①、②、③的不同,可作出具有各自特性的系统,此外,即使在同样系统中,由于①、②、③的物性不同,也能得到具有不同特性的系统。

目前采用的典型系统有:

- a. 具有①+②的功能的积层橡胶,配以具有③的功能的装置;
- b. 具有①+②+③功能的积层橡胶,插入铅塞或采用高衰减性橡胶;
- c. 具有①+③功能的滑动支承(把滑动产生的摩擦力作为衰减力),配以具有②的功能的装置。

钢筋混凝土建筑物的一次固有周期约为 $0.02H$ 秒( $H$ :高度(m))高度15m的建筑物约为0.3秒。这种建筑物用绝缘器支持,可很容易地使建筑物一次固有周期达到3秒。一次固有周期从0.3秒变成3秒时,作用在建筑物上的地震力,视地震动的周期特性及振幅特性而异。

也就是说，如果地动含有接近 3 秒振幅大小的成分居多，则建筑物产生很大的摇动。如果不是这样，就没有什么反应。视地动的性质，建筑物的响应有所变化，但一般来说，从宏观上来看地动和响应的性质，示于图 2。

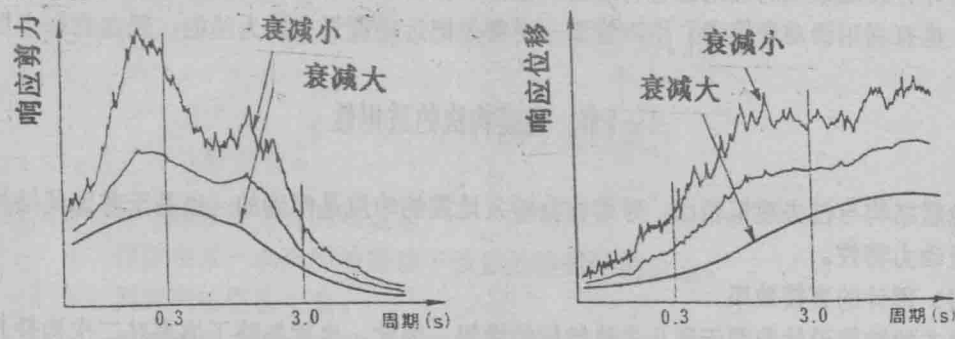


图 2 地震响应矢量模式图

### 1—4 节 免震装置的概要

#### (1) 绝缘器

免震装置的主要构件是绝缘器，一般多采用积层橡胶。

所谓积层橡胶。如图 3 所示是由橡胶和钢板呈交互层状而形成的。橡胶的弹性率低，接近非压缩性。薄层橡胶通过钢板约束因受轴压而向横向挤出，使轴向沉降小，而且有很强的耐压力。

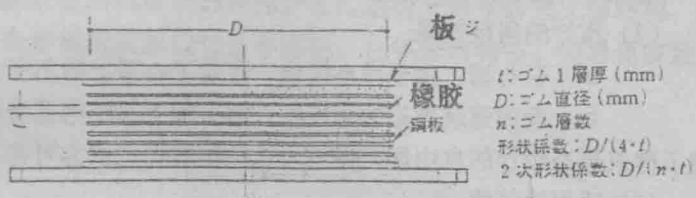


图 3 积层橡胶

积层橡胶作用有水平力时，橡胶按其弹性率变形(似剪切变形)，结果，形成轴向硬，与之呈直角方向柔的支承。

其次，在积层橡胶中，作为支承的性能，当然保持承载能力状态下的水平变形能力是最重要的。为了确保水平变形能力，可增加橡胶层数，使积层橡胶成分增加，但这将降低轴向承载力(屈服荷载)和影响水平方向刚性的轴向力。

即，可以选择积层橡胶的形状来制作具有不同特性的绝缘器。但在形状选择中，研究一次形状系数、二次形状系数是很重要的。

一次形状系数：与一层橡胶支承的刚性有关，是橡胶受到钢板约束的面积和自由表面积之比。(在橡胶分科中可简单地称为形状系数)

二次形状系数：与承载能力、水平方向刚性有关，是橡胶直径和橡胶总厚度之比(进行免震结构积层橡胶设计用的系数)

二次形状系数对积层橡胶稳定性有很大的影响，在选择中应给以注意。

橡胶作为建筑的主要构件还没有使用过，所以要注意其耐久性。根据过去的类似实绩

(数量不多)及实验室内的劣化试验结果, 60~80年的耐久性是有。

## (2) 阻尼器

预计有衰减效果的阻尼器有利用粘弹性体的流动阻力、金属(钢、铅等)的塑性变形者, 也有利用滑动摩擦者, 但不管那一类都是把运动能量变换为热能, 现在有许多提案。

# 1-5节 免震构法的适用性

免震结构与过去建筑相比, 对结构物输入地震的响应是明确的, 也易于掌握其结构承载力及动力特性。

## (1) 预计的直接效果

过去的结构设计着眼于防止主体结构的崩坍。因此, 也就忽略了地震对二次构件及内部人员的影响, 但在免震结构中, 减少作用其上的地震力是最大的直接效果。

a. 建筑物: 由于减小了作用在主体结构、二次构件、设备、配管上的地震力, 扩大了设计的自由变, 使构造等简化。

b. 收容物: 因易于防止建筑物内的家具、杂品、备品、机器等的移动, 倾倒及随之而造成损伤, 保证了安全, 对怕振动的精密仪器具有防止振动和误动作的效果。

c. 居住性: 对内部人员, 在中小地震时, 几乎没有摇晃感, 地震时也能继续作业。缓和了对居住者的地震影响, 还可以遮断外部的微振动。

## (2) 预计的间接效果

a. 安心感: 由于减小振动, 消除了心理上的不安, 不快感。

b. 新的建筑形态的可能性: 因可使上部结构瘦身化, 适用的工法范围广, 故增加了建筑形态设计的自由度, 使采用新的建筑形态成为可能。

## (3) 适用建筑物

免震结构是很一般的建筑物, 故适用于所有结构, 但对下列建筑物更为有效。

a. 社会的重要建筑: 情报中心、原子能设施, 急救医疗等要求具有高度抗震性的设施。

b. 文化的重要建筑, 美术馆, 资料馆等重点保护收容物的设施。

c. 高度技术设施: 超精密加工工厂, 计算机中心等怕振动的设施。

d. 需有安心感的设施: 旅馆、医院、老年设施, 集团住宅等消除摇动恐怖感具有很大价值的设施。

e. 其它需要防振的设施: 音响试验室等需防止振, 噪声的设施。

## 第二章 设计一般原则

### 2-1节 有关抗震性能的观点

在抗震设计中确保安全性的观点是：

- a. 评价在某一水准的地震动下造成的建筑物的动态。
- b. 同时预估受害水准。
- c. 根据地震动水准和受害水准的相关评价抗震性能，决定适宜的抗震性能。

此外，从震害的厂史以及宫城县冲地震(1978年6月)，最近的千叶县东方冲地震(1987年12月)来看，死伤人员虽与建筑物的崩塌等构造安全性有关，但是物体的倾倒，掉落等附属物的抗震性不足也是一个原因，因此，高功能化建筑的内部设施及收容物等的震害也成为一个重要问题。

免震结构的开发，是对改善这种状况的一个尝试。也就是说，在特征上采用了免震装置，可以确保建筑物主体的安全性，同时也可提高附属物等的安全性。因此，所谓免震建筑的抗震性的研究，主要是免震装置的抗震性的研究，在此基础上再来研究上部结构，附属物等的抗震性。这一点与过去建筑的抗震设计是不同的。在免震结构中，要对免震装置的构造特性给以最大的关心。

### 2-2节 基本规划

在基本规划中，要根据建筑物的规模，形状，重要度，要求性能等，确认采用免震构法的必要性、目的，意义等并设定目标性能(设计基准)是重要的。根据这些并考虑地层及上部建筑物的特性，选择与此性能最合适的免震装置并着手进行设计。在这种场合，应该考虑的主要因素有如下几点：

#### (1) 上部结构的条件

研究高度、重量、结构类型等规划的上部结构条件是否适于采用免震构法。采用免震构法时要与过去的建筑物加以比较，作为结果要使固有周期变长。

#### (2) 地层条件

在软弱地层中，通常要采取不均下沉的措施，这一点与过去建筑物没有变化，地震时有液化可能持层的措施也是一样的。同时，在振动论中，考虑不产生地层和免震结构的共振，或者不产生与此接近的现象也是重要的。

#### (3) 地下室

有地下室的建筑物可考虑二种方法。一个是在地下的最下部设免震装置，把地下的全外周与地层分离的方法，另一个方法是，在地下和一层之间设免震装置。前者在地下层要设干燥区等双层墙。后者的上部结构要做成耐火结构。电梯、配管等的联接，不管那种方

法都要专门考虑细部结构。

#### (4) 用地的富余

在免震结构中, 预计地层和建筑物之间会产生很大的相对位移(20~40cm), 因此, 要确保与此可动范围相适应的建筑范围。

#### (5) 目标性能(设计基准)

针对各种振动的原因(常时微动及微振动、常时风、台风、中小地震、大地震), 以何种振动为对象, 允许何种水准的振动, 以及对其振动如何处理等, 都要加以研究。

### 2—3节 免震装置的选择

目前, 在绝缘器上从大的分类看, 有积层橡胶和摩擦型二类 进入实用阶段。此外, 在积层橡胶型中, 还有插入铝塞的积层橡胶型和依靠橡胶本身衰减能力的积层橡胶型。在阻尼器中, 目前种类繁多, 也还有一些新的提案。

选择免震装置的要点如下:

#### (1) 绝缘器的情况

- a. 一边支持建筑物全重, 一边具有承受地震时大的水平变形的变形能力;
- b. 地震结束后, 具有复归原位置的复元能力;
- c. 具有要求的垂直, 水平刚性;
- d. 经济性;
- e. 施工性;
- f. 耐久性;

#### (2) 阻尼器的情况

- a. 吸收能量的能力;
- b. 变形跟踪能力;
- c. 经济性;
- d. 施工性;
- e. 耐久性;
- f. 上部结构内收容物的振动有问题时要解决阻尼器的历时变化曲线的问题;

### 2—4节 免震装置的质量管理

#### (1) 积层橡胶支承

积层橡胶的材料——橡胶的耐久性, 根据劣化试验, 已确认可与建筑物的耐久年限相等或超过。在实际使用的绝缘层, 为了确认其是否满足设计上的要求, 应进行检查。在性能试验中, 应确认最大变形能力及最大位移时有无破损, 并应量测垂直, 水平弹簧的常数。

#### (2) 阻尼器

阻尼器的材料有铁、铅、粘(弹)性材料等。关于铁、铅的耐久性已有许多情报加以

论证,但对粘(弹)性材料,情报还是不充分的,还要对其历时变化等进行充分的调查。

阻尼器的作用是吸收地震造成的振动能量。为了了解此吸收能力,要进行试验。在试验中,要对阻尼器的复元力特性(刚性、屈伏承载力与振动的关系等)量测出必要的数数据,其次,对阻尼器的终局状态,破坏状态也最好进行试验。

## 2-5节 二次构件

在免震结构中,可能把上部结构的层间变形减小到数mm级。所以,在安装间隔墙,外墙等时,可采用比过去构法更简单的细部构造,相反地在位移集中位于免震层的门口及建筑物分界处,要求有能追踪大位移的细部构造。

## 2-6节 设备设计

在免震层中,因发生很大的层间变形,故要有能追踪此变形的设备配管。对上部结构的配管,机器,考虑减少层间变形,底部响应,采用适宜的固定方法为宜。此外,如具有接近建筑物一次固有周期的器具(例如,悬挂照明)时,要注意引起共振的可能。

## 2-7节 维修管理

### (1) 免震结构的维修管理

在免震结构中,地震时预计会在上部结构和基础,地层之间产生很大的相对位移,故要设置足够的隙间。特别是,除了设计时导入的东西外,跨过这个隙间设置东西时,要注意不使之约束位移。此外,为了防止向隙间掉东西,要尽量使免震装置不接近人员活动处。

免震装置采用了过去建筑物没有使用过的橡胶和油等新材料,而且考虑到这些新材料的寿命还是个未知数,因此,慎重地进行免震装置等的检查是很必要的。为此,不仅建筑物管理者,所有的建筑物利用者都最好详细理解免震结构物的性质,并事先明确管理体制和检查方法等。

### (2) 检查

免震装置的检查可分为日常检查,定期检查和临时检查三类。

日常检查,至少每半年一次,以目视为主。及早找出即使不是专门人员也能发现的异常。检查者最好是建筑物管理人员。为此,管理者要经常给以注意。

定期检查每3~5年进行一次。以对细部进行专门检查为主,主要是调查装置有无损伤,变形的程度等,判断是否是修正建筑物的位置和更换装置。此外,有必要时,把装置拆下进行物性试验。

临时检查是在大地震、火灾、浸水等灾害后实施的。检查者和检查内容以定期检查为准。

对各种检查都要事先明确检查对象、检查项目、判定基准,低于判定基准的处理等。对安装好的装置的弹性系数不能简单测定的项目,要准备同类的装置,在另外地点测定其

性能的历年变化。

检查的结果,发现装置有损伤和老化征兆时,要进行补修或更换、修正、补修,更换的方法事先要明确规定好。

### (3) 管理体制

最好事先决定好在定期检查,临时检查中 发生任何异常时处理的实施体制。这些作业的承担者多数是承担施工的会社作业部门。但是,从免震结构的特殊性来看,还应借助于免震结构的技术部门或免震结构的设计者的积极支援的体制。在维修管理合同中要规定出实施各种检查的时期,检查项目,判断基准和必要的措施。检查的实施体制以及检查,处理各项费用的分担等。

设置地震计时,对观测和仪器的维修管理也要确立相应的管理体制。

## 2-8节 建筑认可业务

免震建筑,在现阶段是一种的构法,在法规上是指建筑基准法第38条的对象。需建设大臣予以批准。所以,建设新的免震建筑时,要履行这个手续,再进行设计。

# 第三章 输入地震动

## 3-1节 基本观点

目前确切地预测建筑物用地的地层未来产生的地震动是不容易的。但是,设定输入地震动,要注意使免震建筑大变形时的周期属于地震动稍长周期域,并参考地震学,地震工程学的知识,对个个建筑物给出合适的判断。

## 3-2节 影响输入地震动的因素

影响作用在建筑物上的输入地震动的特性(最大加速度值,最大速度值,波谱特性,位相特性,波形包络线,持续时间,波谱非正常性等)的因素有:

- a. 周围地区地震的活动度
  - b. 震源特性
  - c. 距震源的距离衰减性
  - d. 深部地区特性
  - e. 表层的地形,地层特性
- 其影响应在设计中加以考虑

### 3—3节 注意事项

在评价结构物的抗震安全性时，要求在输入地震动和结构物抗震性能两方面进行工程的定量评定。但是，输入地震动的设定目前不得不依赖于某种经验的判断，设计人员应针对以上各点，力求作出正确的决策。

## 第四章 结构设计

### 4—1节 基本观点

免震结构抗震设计的基本原则是使作用在上部结构的地震力尽量小，而且使绝缘器的变形在允许范围之内。

上部结构吸收的能量比免震层小得多，上部结构以抵抗与其刚体动态相匹配的地震力为宜。根据为了确保通常建筑物所要求的能量吸收能力的各种判断条件进行释放。此外，应从基本上消除因上部结构质量，刚性的偏移等产生的扭曲振动对免震层的不良影响因素所以，与过去结构物相比，免震结构设计的自由度是很大的。

过去结构物都是按抗震设计的，对地震以外的荷载赋以剩余的承载力，但在免震建筑中，地震荷载以外的荷载支配着设计，这就是说，在免震建筑中，更应慎重地对地震荷载以外的荷载进行设计并确保其施工精度。

设计用地震输入应按第3章适宜地加以规定，但从满足现行法规看，可按与过去建筑同等的地震输入加以设定。

过去结构的抗震分析的许多不确定因素，在免震结构中，显著地减少。但支配免震建筑的设计的变量多了。对地震的动态应从多方面研究，充分考虑这些变量的变动幅度。免震结构的解析模式可从简单到精巧，分阶段设定，并用以进行时序响应解析来掌握实际动态，这是很有效的手段。

### 4—2节 结构概要及设计方针

(1) 免震建筑由基础，绝缘器及阻尼器形成的免震层及上部结构所构成

(2) 对地震力以外的荷载，外力的结构设计，依通常的建筑物进行。在抗风设计中，要注意对风的振动响应

(3) 对地震力的免震层以及上部结构的设计，要根据在设计地震输入的建筑物响应进行各种分析，这些分析要按建筑物的跨度方向，梁方向二个方向独立进行。

(4) 绝缘器和阻尼器。在视上部结构为刚体的，按不使免震层产生扭曲来布置

绝缘器要按设计地震输入，用响应分析求出最大位移和最大轴力，阻尼器要吸收必要的能量，但要在各自的允许值之内。

(5) 上部结构在设计地震荷载下的应力按允许应力法进行设计

(6) 基础结构与通常的情况一样, 不允许产生过大的下沉, 转动及水平移动。

### 4-3节 设计地震输入

(1) 设计地震荷载, 原则上由设计者决定, 可参照第3章“输入地震动”, 并考虑建筑物的重要性、经济性、社会的要求等。

(2) 一次固有周期从1秒到5秒左右的建筑物, 按水平地震动的荷载效果用总能量输入的方法是有效的, 设总能量为 $E$ ,  $E$ 的速度换算值为 $V_c$ , 则 $V_c = \sqrt{2E/M}$ 。 $V_c$ 和结构物的一次固有周期的关系可用能量谱定义。

(3) 垂直地震动的荷载效果, 可用垂直震度加以评价

### 4-4节 设计地震响应预测

(1) 免震结构的地震响应预测可用直接地震响应解析或简易解析法进行

(2) 直接地震响应解析可在4-5节中所述的模式, 选用合适的振动模式进行, 此时, 地震加速度记录取复数用的(三波左右)。地动的强度, 按输入振动系的总能量输入与设计能量谱相符的条件决定。

(3) 简易解析法的地震响应解析, 是利用免震结构的刚性大得多的性质, 置换为单质点系解析模式, 因而可采用以下方法进行。

#### a. 基于能量平衡的简易解析法

地震能量输入集中到免震层, 因此, 视免震装置的性质, 可按由完全弹塑性型的复元力特性的阻力器和完全弹性的绝缘器的情况和阻尼器是一个粘性衰减构件的情况求出免震层的最大位移。

#### b. 基于等效线性化方法的简易解析法

置换为单质点系, 着重于免震层的最大位移振幅下的一循环的吸收能量的等效性, 并基于单质点弹性振动系的响应, 求出免震层的最大位移。

采用此法时的上部结构的设计层间剪力, 设计倾侧力矩, 可根据免震层的最大剪力及上部结构的刚性和免震层的刚性, 基于导出的剪力系数分布决定。

(4) 在免震结构中, 上部结构的刚性比免震层的刚性大的多, 故上部结构受到的地震力可视为静力的。所以, 由于上部结构的刚心和重心的偏离所产生的扭曲振动, 在动力上增幅的可能性很小, 因此, 在计算上部结构各部的应力时, 可采用与设计层间剪力一致的地震力, 用考虑建筑物扭曲变形的静力解析来求解。

### 4-5节 响应解析模式

(1) 免震结构的响应解析模式, 视其目的, 可从简易模式到详细模式分几个阶段设定

#### a. 单质点模式

此模式是把上部结构视为刚体的模式，根据此模式求出免震层一个水平向地动下的响应。

#### b. 多质点模式

此模式，把免震层作为第一层，把上部结构的各层视为多质点的模式。根据此模式求出免震层的动态及上部结构各部的响应。

#### c. 扭曲振动模式

此模式基于刚性板的假定，取各板的位移分量，考虑水平2个方向位移 $\mu$ 、 $\nu$ ，转动位移 $\theta_z$ 的模式。据此，可以求出对扭曲振动及2个方向水平输入的响应。

#### d. 立体振动模式

此模式，把结构全体视为立体结构，也考虑除 $\mu$ 、 $\nu$ 、 $\theta_z$ 以外的各柱上下动的模式。据此模式可以求出包括耐震墙的规则布置、绝缘层部分浮起现象在内的响应。

#### (2) 免震装置的模式化

绝缘器、阻尼器通常都分别模式化为具有时间特性的一个弹簧。但是，为了忠实地反映绝缘器、阻尼器动态，而按其反映力学特性的因素细分，采用复合因素机构模式化是有效的。

### 4—6节 保有水平承载力

(1) 所谓保有水平承载力是对建筑各层的地震的抵抗力，按各层的基准强度和变形能力之积，即与能量吸收能力表述的各层基准强度相当的一个量值。保有水平承载力的概念，把变形能力和基准强度分离来处理是必要的。

(2) 在免震结构免震层的设计中，为了直接进行免震层能量吸收能力的评价，保有水平承载力的概念不见得是必要的。对上部结构的能量吸收能力在解析上是不重要的。在与免震层最大剪力匹配的静地震力下，上部结构各部的应力都要控制在允许应力之内，所以，保有水平承载力的概念，就没有什么必要。

### 4—7节 构造规定

(1) 在免震结构中，评价上部结构地震时能量吸收能力，在设计上是不重要的。因此，构造规定可采用强度设计上所需要的即可

#### (2) 上部结构为钢筋混凝土结构时

根据设计判断可适当缓和为确保变形能力下述条件。

- a. 为确保构件的变形能力而保有的抗剪加强筋数量
- b. 为防止脆性破坏的尺寸限制

#### (3) 上部结构是钢结构时

根据设计判断可适当缓和为确保变形能力的下列条件

- a. 防止局部屈伏的板单元的宽厚比限制
- b. 防止横向屈伏的构件长度的限制
- c. 保有承载力接合的条件。

## 第Ⅱ篇 说明篇

### 第一章 设计一般原则

#### 1-1节 概述

“建筑的设计行为是一种创造”，对此特有异议的人是不多的。（下略）

#### 1-2节 抗震性能的观点

##### (1) 概要

在进入为了确保免震结构的抗震性能，安全性的具体技术研究之前，先对抗震设计前提的基本观点按下面三个方面加以说明

1. 地震灾害和免震结构
2. 现行的抗震设计和免震结构
3. 免震结构的方法，抗震性能

总之，抗震设计应从地震灾害中吸取教训，但说明近年地震灾害（尤其是在城市）的趋势及特征的同时；还要论及免震结构的作用，“今天为什么？免震结构”。

同时还要探索在抗震设计中，免震结构的位置，存在理由及做法。

最后，还要用事例说明免震结构在设计上的可靠性，抗震安全性等。

##### (2) 地震灾害及免震结构

到目前为止的建筑物震灾，从大的方面上如表2-1所示，由于抗震技术的进展，地震时建筑物躯体的全面崩塌逐渐得到了控制，当然，离开应该满足的要求还很远。全面崩塌本来应该说是零的，但这里关注的值是与全面崩塌相比，局部破坏的迅速增加。

全部崩塌与局部破坏户数

表2-1

| 地 震                     | 全面崩塌户数 | 局部崩塌户数 |
|-------------------------|--------|--------|
| 福井地震(1948年, $M=7.3$ )   | 35420  | 11449  |
| 新潟地震(1964年, $M=7.7$ )   | 879    | 1602   |
| 十勝沖地震(1968年, $M=7.9$ )  | 643    | 2822   |
| 宮城県沖地震(1978年, $M=7.4$ ) | 651    | 5450   |

建筑物全面崩塌的减少由表2-2所列的死伤人数，特别是死方人数的变化得到说明。

| 地 震    | 死亡数  | 负伤数   |
|--------|------|-------|
| 福井地震   | 3895 | 16375 |
| 新潟地震   | 26   | 241   |
| 十腾冲地震  | 49   | 330   |
| 宫城县冲地震 | 28   | 11028 |

这是近几年的地震，呈现城市型灾害的宫城县冲地震(1978.6)，其死伤者多是物体倾倒，掉落等附属物，付属结构的抗震性不足所造成的(见表2-3，表2-4)今天，高功能化建筑物内的设备设施、收容物的地震灾害、以及玻璃等的破损，掉落都是重大的，由表所见负伤人数的急剧增加是很严峻的。

宫城县冲地震的死亡原因

表2-3

| 原 因   | 宫城县 | 仙台市 |
|-------|-----|-----|
| 压在屏封下 | 10  | 7   |
| 压在门柱下 | 6   | 3   |
| 房屋倒塌  | 5   | 1   |
| 地震震动  | 3   | 1   |
| 其 它   | 3   | 1   |
| 计     | 27  | 13  |

宫城县冲地震负伤的原因

表2-4

| 原 因    | %    |
|--------|------|
| 玻璃破碎掉落 | 22.5 |
| 倾倒     | 22.5 |
| 家具倾倒   | 17.4 |
| 掉物     | 13.1 |
| 墙、顶板破损 | 5.6  |
| 火伤     | 3.9  |
| 屏封     | 1.6  |
| 其它     | 13.6 |
| 计      | 100% |