

704951

5511
7/1023

桥梁抗震计算

(日) 西山啓伸、小寺重郎 著
易建国、林志兴 译 李明昭 校



11
1023

人民交通出版社

704951

5511
7/1023

桥梁抗震计算

(日) 西山啓伸、小寺重郎 著

易建国、林志兴 译 李明昭 校

人民交通出版社

内 容 提 要

桥梁抗震，是在设计每一座桥梁时都必需考虑的问题。对此，一般以“震度法”为基础而进行计算。但在地震时，由于结构物反应情况极为复杂，按此法计算的结果未必可靠，因而近年来国际上出现了动态分析法。本书着重介绍了这个方法。应用此法可如实地分析结构物的振动现象，从而采取必要的抗震措施。

书中阐述了桥梁抗震的基本概念，地震反应计算，桥梁的抗震措施，杆件和基础的动力特性等。为便于读者理解，还列举了一些反应分析的实例。

本书可供铁路、公路及其它土建部门的桥梁技术人员参考之用。

桥梁抗震计算

西山啓伸、小寺重郎著

桥りようの耐震計算

山海堂株式会社 東京1979

本书根据山海堂公司1979年东京版本译出

易建国 林志兴 译 李明昭 校

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：12.25 字数：275千

1983年9月 第1版

1983年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,900册 定价：1.90元

前 言

近来，日本的桥梁技术有了显著的进步。在公路和铁路方面，正在计划和架设居世界各国桥梁技术最前列的桥梁。

在构件设计方法方面，不久将要采用极限状态设计法，人们期待着在探讨更合理的设计方法这方面取得进展。

在这种现状下，进行桥梁抗震设计，对于一般桥梁，可以采用把地震的复杂现象作为静力现象的所谓“震度法”来处理，作出实际使用上非常安全的设计，而对于那些大跨度的桥梁及特殊的结构物等超出震度法适用范围的，则随着地基和结构材料的动态特性的查明，正尝试着按动态进行地震反应分析。

今后，随着桥梁结构型式的多样化和构件设计方法的进步，可以设想，地震反应分析的必要性将日趋增大。

本书在使从事桥梁设计的技术人员加深理解以往通用的震度法和修正震度法的同时，从地震反应分析的基本事项直至应用方面都作了详细的叙述，特别是在记述地震反应分析的各种方法的同时，指出了其关键性的问题，力求使年轻的技术人员易于理解。再者，考虑到为便于应用，列举了较多的例题。

借本书发行之际，向为著者提供了宝贵资料的各单位同行表示深切的谢意。

执笔干事	西山啓伸
执笔者	小寺重郎
	榎波義幸
	中島英治
	上原七司
	西山文男

序

为了简化设计计算，结构物的抗震设计一般是按照以震度法为基础而制订成的规范进行的。但是，由于在地震时结构物本身的反应情况极其复杂，因而很难肯定只要按规范进行研究就足够了。在这种情况下，就有必要从结构物的形状、尺寸等方面去考虑，按照动态分析法进行校核。

以往人们认为，虽然抗震设计也相当重要，但却极其困难，这是因为，如设计中所考虑的那种地震自然现象通常是极少发生的，而且总是在不同的地区出现不同的情况。随着结构物的形状、尺寸、杆件刚度等条件的变化，其反应情况也是多种多样的。

近年来，由于制定了非线性振动计算等解析方法，并且随着根据地基振动的地震输入波形进行研究的工作的进展，以及电子计算机应用的日益广泛，使得实际应用中的分析工作已变得愈来愈简便了。此外，有限单元法也得到了发展。据此，只要能正确地掌握结构材料和地震的动态特性，即可以颇为如实地分析出结构物的振动现象。现在，已将此方法应用到实际设计的研究中，提高了抗震设计的可靠性。

从上述情况还可看出，今后动态分析将会越来越发展。另一方面，在结构设计中，要有社会的、经济的观点以及对以往的地震记录等多方面的了解。

因此，设计者应该充分考虑实际地震的影响，致力于设计那些既能抗震又较经济的结构物。在这个意义上，本书特别叙述了桥梁抗震的基本概念，并以许多实例讲解了地震反应的计算，以便读者更容易理解。

希望桥梁设计者参考本书，更好地做出既能抗震而又经济的设计。

日本首都高速道路公团 常任参事
工学博士 上前行孝

目 录

第一章 概论	1
§1.1 何谓地震	1
1.1.1 地震的概念	1
(1) 术语定义	1
(2) 地震的原因	1
(3) 地震波的传播	2
1.1.2 地震的规模	3
(1) 烈度级	4
(2) 震级	4
1.1.3 地震的强度	7
(1) 加速度	7
(2) 工程震度 (地震系数)	7
1.1.4 不同地区的地震	8
(1) 数学期望值分析	8
(2) 河角的烈度数学期望值	11
1.1.5 烈度级与震害	13
1.1.6 桥梁的震害	15
(1) 支座的震害	15
(2) 落梁	15
(3) 下部结构的震害	16
(4) 基础的震害	17
(5) 桥梁整体的问题	20
§1.2 抗震设计方法的演变及动态抗震设计方法	21
1.2.1 抗震设计方法的演变	21
1.2.2 震度法及其适用范围	22
1.2.3 考虑结构物动态反应的抗震设计法 (修正震度法)	24
1.2.4 动态分析	28
第二章 结构系的振动分析	30
§2.1 结构系的振动	30
§2.2 动力学基础理论	30
2.2.1 单自由度体系的自由振动	30
2.2.2 单自由度体系的强迫振动	33
2.2.3 达朗贝尔原理	36
2.2.4 二个自由度体系的固有振动	37

§2.3 梁的固有振动	38
2.3.1 固有振动的计算	38
2.3.2 固有振动的性质	44
§2.4 梁系的离散化	47
2.4.1 离散化	47
2.4.2 离散化的各种方法	47
(1) 差分法	48
(2) 静力学位移法的应用	49
(3) 有限单元法	51
2.4.3 矩阵特征方程的解法及其解的性质	52
2.4.4 离散化误差的评定	55
S 桥计算图式	56
2.4.5 振动体系的聚缩及其界限	58
§2.5 离散体系的振动特征方程	60
2.5.1 平面结构的面内振动	60
2.5.2 平面结构的面外振动	61
2.5.3 空间结构系	62
2.5.4 受固定轴向力作用的梁	62
2.5.5 梁的扭转振动	63
2.5.6 预应力缆索的振动	64
第三章 地震反应计算	65
§3.1 地震输入的模式化	65
§3.2 反应谱	66
§3.3 按振型分析法的反应计算	67
§3.4 不用振型分析法的反应计算	72
§3.5 非线性振动体系的反应	76
§3.6 统计的方法	77
3.6.1 随机量	77
3.6.2 随机过程	79
3.6.3 地震输入模式	80
3.6.4 地震反应	81
第四章 地震反应分析设计例	83
§4.1 吊桥的设计例 (大鸣门桥)	83
4.1.1 动态分析指导原则	83
(1) 设计方针	83
(2) 全桥计算图式	84
(3) 各类结构的计算图式	84
4.1.2 动态分析的输入数据	87
(1) 全桥的动态分析	87
(2) 全桥的输入数据	95

4.1.3	动态分析结果	107
(1)	动态分析的基本解	107
(2)	顺桥向动态分析结果	109
(3)	横桥向动态分析结果	114
(4)	振型及直接反应波形图	119
§4.2	钢筋混凝土高桥墩(简支梁铁路桥)实例	121
4.2.1	分析的条件与假定	123
4.2.2	单独桥墩的分析结果	125
4.2.3	墩、梁复合振动体系的分析结果	128
4.2.4	实测值与分析条件的研究	130
4.2.5	钢筋混凝土杆件的弹塑性反应分析	132
(1)	弹塑性恢复力图式的假定	132
(2)	8号墩(P_8)顺桥向的分析	135
4.2.6	活动支座的摩擦影响	138
§4.3	预应力混凝土桥的反应分析	140
4.3.1	浦户大桥	140
4.3.2	日川桥	142
(1)	设计和分析条件	142
(2)	分析结果	143
(3)	在设计中的应用	144
4.3.3	I桥(阻尼器的使用示例)	149
(1)	设计和分析条件	149
(2)	分析结果及其在设计中的应用	151
(3)	刚度降低的影响	153
第五章	桥梁的抗震措施	157
§5.1	抗震的考虑方法	157
5.1.1	抗震设计和抗震措施	157
5.1.2	抗震装置的作用	158
§5.2	抗震装置	158
5.2.1	种类和构造	158
5.2.2	抗震装置示例	159
(1)	限制活动支座位移的装置(A种方式)	159
(2)	保证支座边缘至下部结构顶部边缘的距离(B种方式)	161
(3)	梁间连结装置(C种方式)	161
(4)	梁和下部结构的连结装置(D种方式)	163
(5)	突起挡块装置(E种方式)	166
(6)	阻尼器装置(F种方式)	167
第六章	桥梁杆件和基础的动力特性	172
§6.1	钢筋混凝土杆件	172
§6.2	钢杆件	178

§6.3 基础和土	179
6.3.1 浅基础	179
6.3.2 沉井基础, 桩基础	180
6.3.3 土的非线性性质	182
6.3.4 由振动引起的砂质地基的承载力的降低和液化	182
§6.4 单独桥墩的振动特性	184
§6.5 梁-墩复合体系的振动特性	186

第一章 概 论

§1.1 何谓地震

1.1.1 地震的概念

(1) 术语定义

要了解地震的概念，必然会牵涉到有关地震的术语的定义。关于这些术语，日本气象厅在《公路桥抗震设计指南》中作了如下的定义。

地震	地球内部某部分因自然原因引起急剧运动而发生的传播振动的现象。
地震动	地震发生后，地震波的传播在沿途地基上所产生的振动。
震源	将最初的地震波看成是由地壳内部某点产生的，该点就称为震源。
震源区	产生地震的地壳部分并非是个点，它具有一个广泛的区域，该区域就称为震源区。
震中	震源正上方的地面上的点。
震中区	震中附近的区域。
震源距离	从震源到观测点的距离。
震中距离	从震中沿地面到观测点的距离。
火山性地震	与火山喷发及其他火山活动有关的地震。
火山性微动	与火山活动有关，在某段时间里连续发生，但不能确定其在火山地带所产生的相位的振动。
脉动	在不能确定相位的地面振动中，由各种气象或波浪冲击等引起的振动。
微动	脉动中由地下原因引起的振动简称为微动。
人工地震	爆破物爆炸，或因物体坠落而产生的与地震相同的现象。
人工微动	交通工具、工厂和施工工地等因操作所引起的微动。
主震	在某地区的某段时间内，与其前后相比，地震显著频繁发生，将其中规模最大者称为主震。
前震	发生在主震以前的地震。
余震	发生在主震以后的地震。
海震	海面上的船舶因受地震而感受到冲击，称为海震。
无感地震	人体不能感知的、只能在地震仪上被记录到的地震。
有感地震	能被人体感知的地震。

(2) 地震的原因

在地震发生机理逐渐清楚起来的背景下，战后地震观测网得到迅速发展。试看图 1-1。该图是以全世界震源在 100 公里以内、震级为 4 级以上的资料绘制而成的。由图可以看出，这些地震带包括有：环太平洋地震带（经由南美、中美、北美、加拿大太平洋海域的阿留申

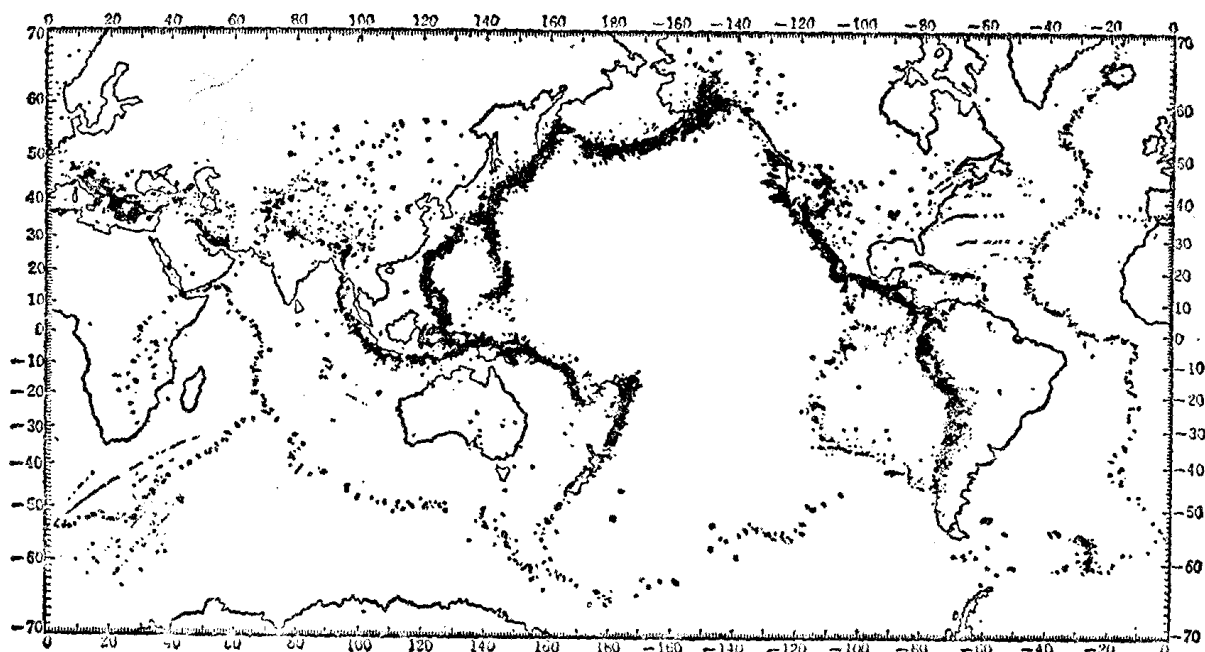


图1-1 世界各地的地震
(根据 WWSSN 资料)

群岛，堪察加半岛，千岛，日本列岛，由此分为一条经过菲律宾直至新几内亚的，另一条则一直延伸至伊豆七岛、马里亚纳群岛、新几内亚和新西兰）；欧亚大陆南部边缘地震带（经由地中海北部、小亚细亚、中亚细亚直至缅甸、苏门答腊、爪哇、新几内亚）；以及通过太平洋、大西洋、印度洋等海洋的中央，呈细长带状的地震带。

关于这些在有限区域内发生的地震，人们产生了以洋底扩张说来加以解释的愿望。所谓板块结构就属于此类学说。若不对它们作详细的说明，而只给以浅显的解释，那就可以说是生于海岭之间的板块，随着地幔的对流而向太平洋沿岸移动，并在那里与坚硬的大陆板块（陆地、岛屿）相撞后沉入地幔。此时两板块间作用着很大的摩擦力，大陆板块被拖曳下移。但是，一旦这种作用力使变形加大，大陆板块积聚的应变达到极限时便会产生破坏。于是大陆板块又被弹回，恢复到原来的状态（参见图 1-2）。随着这一破坏现象的产生，被释放的能量就以地震能的形式表现出来。

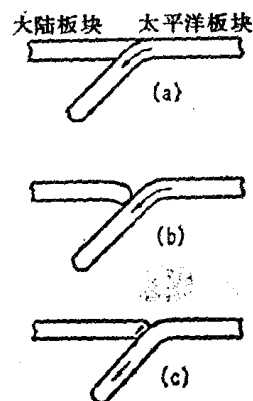


图1-2 板块移动与地震

日本的地震分布示于图 1-6。日本的地震分布大致可分为：发生在太平洋沿岸海中的地震带和发生在日本海海岸线及沿其内陆的地震带。太平洋沿岸的地震带往往发生震级 $M = 8$ 左右的大地震，震害区域也大。日本海一侧规模较小，为 7 级左右的地震，但由于它是属于内陆的性质，因此会对城市引起直接冲击，尽管范围小但震害却非常严重。太平洋沿岸的地震分布，以板块结构学说可作出说明，而日本海沿岸的地震、断层等活动被认为是地震的产生原因。

(3) 地震波的传播

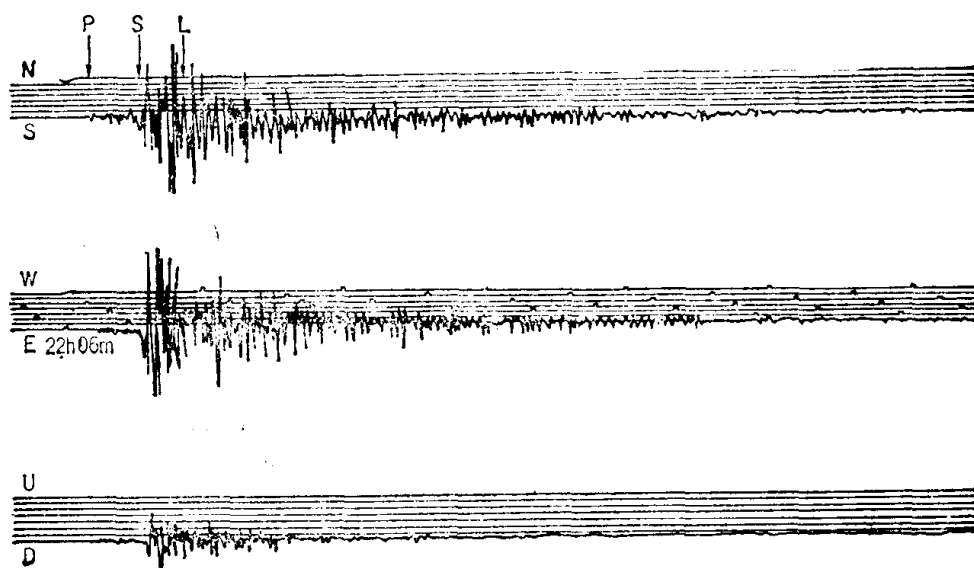
由上述原因产生的地震通过地基为媒介将波动传向四方。此时，纵波与横波虽然同时产

生并一起从震源出发，但由于纵波传播的速度大于横波，故愈向前方传播，其到达的时间之差将愈增大，反映在地震记录上便是纵波的到达时间先于横波。

这些波中由于最初的纵波具有 Primary（起初的）之意，故称作 P 波；后面的横波，因具有 Secondary（第二的）之意，故称作 S 波。

此外，在地表附近所传播的，是该二种波经变形、复合而成的另一种波，这种波以发现者（Lord Rayleigh）的名字命名，称作为瑞利波（Lr 波）。同样，乐甫波也是一种地面波。这就是说，地震发生后所传播的地震波，大致可区分为地球内传播的 P 波、S 波，以及在地面传播的 L 波。

从地震记录来看，对这些 P 波、S 波与 L 波的相位是很好区分的（参见图1-3）。



1968年9月21日22点6分，浦河冲地震，测震地点：八户气象站，烈度Ⅳ。

图1-3 地震振动的相位

P 波组成了地震记录的开头部分，紧接着的波群主要是振幅很小、周期很短的上下振动。继P波后不久到达的是振幅急剧增大、周期也变长的 S 波，S 波的水平振幅很大。继 S 波之后到达的是周期更长的 L 波。这种波的相位可大体给出其最大振幅。

从 P 波到 S 波这段时间内的振动称作初期微动，S 波以后的振动叫做主震动。初期微动是由 P 波和 S 波的传播速度的差值所产生的，由于它持续的时间会随离开震源距离的加大而变长，所以根据这一时间就能推算出震中距离。对于 $l \leq 1000$ 公里的近地震，下列大森公式成立：

$$l = 7.42t$$

式中：l——震中距离；

t——初期微动的持续时间。

1.1.2 地震的规模

衡量地震规模的大小，一般采用烈度和震级。两者的根本区别在于：烈度是表示某现场振动的大小，它随离开震中距离的加大而变小；而震级则是某次地震的固有值，对于一次地震仅有一个数值。

此外，尚需提及的不同之处，就是烈度是以人体的感觉或震害的程度作为判别的标准，

而震级则是以地震仪上实际测读到的数值来作为其判断的标准。所以单纯地讲“大地震”，这是很不确切的，还需要分清究竟是烈度大、还是震级大的地震。通常我们习惯使用震级来表示地震的规模，但是为了能直观地判别和作出一般说明，尚需经常结合烈度一起加以考虑。

(1) 烈度级

关于烈度级，1949年日本气象厅曾制定过一个烈度分级的标准（7个等级）（参见表1-1）。其他的国家，特别是美国，所采用的烈度级是1931年制定的修正的米卡利烈度级（12个等级）（参见表1-2）。

日本气象厅烈度级与修正的米卡利烈度级之间的关系，一般可用下式表示

$$I_M = 1 + 1.5 I_K$$

式中： I_M ——修正的米卡利烈度级；

I_K ——日本气象厅烈度级。

另外，目前作为国际上的烈度分级，是由麦德维捷夫（С.В.Медведев）、施蓬怀尔（M.Sponheuer）、卡尔涅克（V.Karnik）诸博士提议的MSK烈度级（12级）（参见表1-3）。

这些烈度级与加速度之间的关系，汇总示于图1-4。

(2) 震级

关于震级，1935年李希特在他的论文《用仪器测定地震的震级》中曾作过如下的定义：

“地震的震级是：以微米（1微米

$= \frac{1}{1000}$ 毫米）为单位测出离开震中

100公里处由标准地震仪记录的最大振幅，然后以它的常用对数来表示。这里所提的标准地震仪，就是指的周期为0.8秒，阻尼比为0.8，放大倍数为2800倍的地震仪。”

例如在距震中距离为100公里处，恰好安设了一台这种地震仪，在记录纸上测得的振幅值假设为10毫米^①，以微米计，便为10毫米^① = 10,000微米。由于 $\lg 10000 = 4$ ，所以震级就定义为4。

但是，由于目前实际上并没有真正使用这样的标准地震仪，而在离开震中距离正好为100公里处安放这种地震仪的事实又几乎没有，所以可根据由震中距离、烈度等计算震级的经验公式，来决定震级的数值。

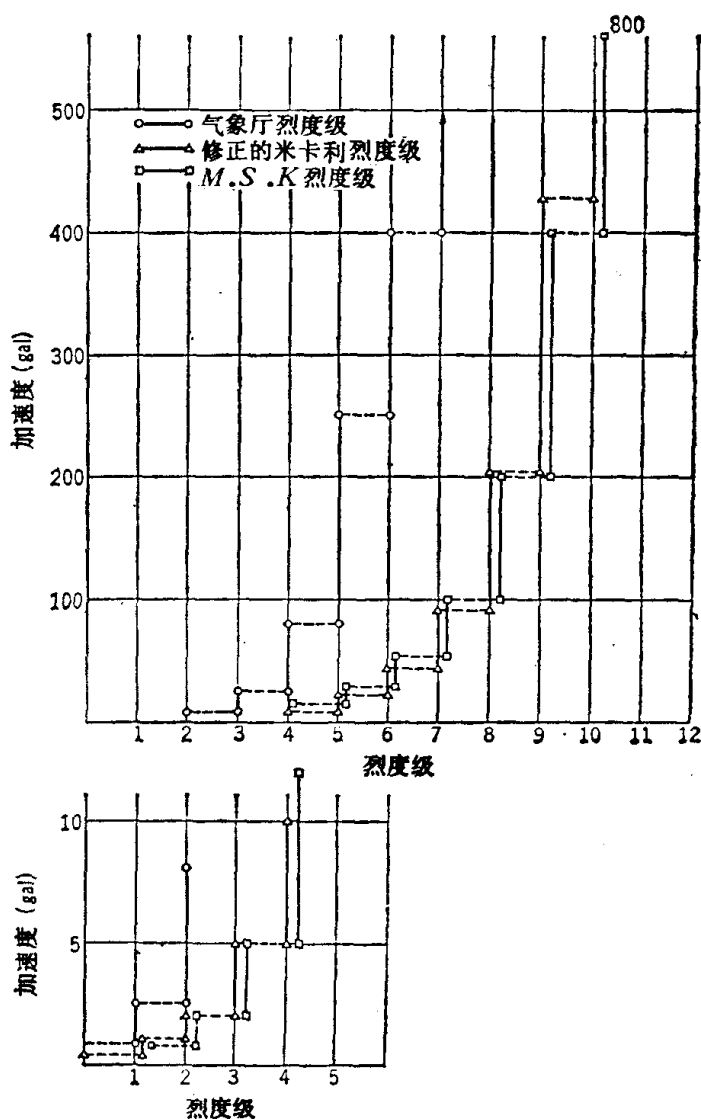


图1-4 各烈度级与加速度的关系

① 原书该两处均误写为10cm。——译者

日本气象厅烈度级 (1949年)

表1-1

烈度级	名称	加速度	现象
0	无感地震	0.8 伽 以下	人体不能感觉, 仅能在地震仪上记录到。
I	微震	0.8~2.5 伽	处于静止状态的人, 或对地震特别注意的人才能感觉到。
II	轻震	2.5~8.0 伽	一般的人都能感觉到, 门、窗等轻微晃动。
III	弱震	8.0~25 伽	房屋摇动, 门窗振动, 发出响声, 电炉之类悬吊物体以及容器内的水面会出现晃动。
IV	中震	25~80 伽	房屋激烈摇动, 未放稳的器皿倾倒, 贮有八成水的容器之中的水会向外晃出。
V	强震	80~250 伽	房屋墙壁产生裂缝, 墓碑、路灯石柱等发生倾倒, 砖烟囱、泥皮土坯墙仓库等破损。
VI	烈震	250~400 伽	木结构房屋倒塌30%以下, 山崩崖塌甚多, 地面开裂。
VII	激震	400 伽 以上	木结构房屋倒塌30%以上。

修正的米卡利烈度级 (1931年)

表1-2

烈度级	加速度	现象
0	0.5 伽 以下	只有地震仪才能测到的地震。
1	0.5~1.0 伽	感觉特别灵敏的极少数人才能感觉到的地震。
2	1.0~2.1 伽	只有在大楼高层的处于静止状态的少数人才能感觉到, 易于晃动的物体开始摇动。
3	2.1~5.0 伽	在大楼高层的室内的人有非常明显的感觉, 停着的汽车轻微晃动, 但绝大多数人想不到就是地震。
4	5.0~10.0 伽	白天室内的多数人能感觉到, 器皿、窗框玻璃、门扇等出现摇晃, 停着的汽车产生相当大的摇动。
5	10.0~21.0 伽	几乎所有的人都能感觉到, 多数人会从睡梦中醒来, 没有放稳的东西倾倒, 摆钟停摆。
6	21.0~44.0 伽	人人都可感觉到, 许多人受惊跑到室外。
7	44.0~94.0 伽	几乎人人都跑到室外, 不稳的或设计不好的建筑物发生相当程度的损坏。
8	94.0~202 伽	坚固的建筑物也遭受相当大的损坏, 烟囱、纪念碑、壁墙等坠落, 家具翻倒, 泥砂等多少冒出一些, 井水发生变化。
9	202~432 伽	坚固的建筑物也受到破坏, 局部倒塌, 地面出现明显的裂缝。
10	432 伽 以上	砖石结构房屋多数遭受破坏, 地面出现许多大裂缝, 铁路线路弯曲变形。
11		已经没有残存的建筑物, 桥梁被破坏, 地面大开裂。
12		所有的结构物全部遭受震灾毁坏, 地面呈波浪形状, 某些物体被上抛至空中。

MSK 烈度级 (1964年)

表1-3

烈度级	程度	加速度	现象
1	无感	0.8 伽 以下	(a)地震振动几乎未给人体以任何感觉, 只是从地震仪上才能得知有地震存在。
2	微动	0.8~2.1 伽	(a)只有在房间里, 特别是在大楼的高层房间, 处于静止状态的人才能感觉到。
3	弱震(少数人能感到)	2.1~5.0 伽	(a)室内的某些人能感到。特别是比较留心的人能察觉到悬吊物体的摇晃。振动产生犹如轻型卡车驶过时的那种感觉。

续表1-3

烈度级	程 度	加 速 度	现 象
4	多 数 人 能 感 知	5.0~12.0 伽	(a)室内的多数人,室外的少数人能感觉到,窗、门、器皿等嘎嘎作响。容器中的水轻微晃动,在静止的车子里能感觉到有振动产生。
5	惊 醒	12.0~25.0伽	(a)室内全部、室外也有多数人能感觉到。很多人惊醒逃到室外。摆钟停摆,装满水的容器中的水有少量溢出。 (b)A类建筑物产生少量的震害。
6	受 惊	25.0~50.0伽	(a)无论室内或室外,大多数人都能感觉到。很多人逃至室外。重型家具出现滑移。 (b)A类建筑物多数遭受震害,B类建筑物只有较小震害。 (c)往往在潮湿的土层中出现1厘米的裂缝,山区也有岩崩出现。
7	建筑物遭 受 震 害	50.0~100.0伽	(a)多数人跑至室外。正在驾驶中的人也感觉到有振动。大警报器鸣叫。 (b)C类建筑物多数遭受较小震害,B类建筑物多数遭受相当程度的震害。A类建筑物大部遭受严重震害,少数倒塌。道路出现裂缝,管线接头也受到震害。 (c)井水水位、泉涌水量发生变化。
8	建筑物受 震害破坏	100~200 伽	(a)人们处于恐惧的状态。车辆行驶发生困难。树枝断裂坠落,重型家具倾倒。 (b)C类建筑物大多遭受相当程度的震害,少数出现严重震害;B类建筑物多数遭受严重震害;A类建筑物多数倒塌。管道接头折断,纪念碑、石塔等柱脚移动或翻倒。基碑倒塌,石壁崩毁。 (c)陡峻的河床斜坡和填土道路产生滑坡,地面出现数厘米宽的裂缝。
9	建 筑 物 遭 受 严 重 震 害	200~400 伽	(a)人们都处在恐惧的状态。 (b)C类建筑物大多遭受严重震害而出现倒塌;B类建筑物多数或全部倒塌。纪念碑、柱等倾倒,铁路线路弯曲,路基也受到震害破坏。 (c)在平坦的地面上也有水、泥、砂等不断喷出。地面裂缝宽度达10厘米。塌落、山崩、滑坡、水面起波浪。
10	建 筑 物 崩 塌	400~800 伽	(b)多数C类建筑物遭到破坏,也有完全毁坏的。多数B类建筑物全部毁坏,大部分A类建筑物已全部倒塌破坏。坝和水渠堤岸遭受震害,处于危险状态。桥梁受到相当程度的震害,地下管线也遭到破坏或弯曲变形。 (c)裂缝宽度从10厘米到1米。井水水位发生变化,运河、水池、河流等的水溢流至地面。
11	特大震害	800 伽 以 上	(b)施工完好的建筑物、桥梁、堤坝和铁路也遭受到严重的震害。公路已不能使用,地下管线也遭到破坏。 (c)地面出现很宽的裂缝与断裂而招致严重的破坏。
12	地形地貌 改 变		(b)地面上下的一切建筑物实际上都受到很大震害或全部被毁。 (c)地面形貌已完全变样,地表出现了许多裂缝,岩石坠落,河流堤坝被淹,此种情形将扩展至广大地区。

注: 1. 结构型式分类

A类建筑物 块石房屋, 田园房屋, 砖砌房屋, 粘土房屋。

B类建筑物 普通砖砌建筑, 大型砌块或装配式建筑, 半木结构建筑, 块石建筑。

C类建筑物 钢筋混凝土建筑, 优质木结构建筑。

2. 有关数量方面的术语定义

少数 5%左右;

多数 50%左右;

大多数 75%左右。

3. 叙述次序

(a)人体的感觉和对周围环境的描述;

(b)建筑物情况的描述;

(c)自然现象的描述。

4. 关于震害程度

分为: 震害甚少, 震害中等, 震害严重, 破坏, 完全破坏五种。

$$M = \log_{10} A + 1.73 \log_{10} l - 0.83 \quad (\text{坪井})$$

$$M = 0.5 I_K + 4.85 \quad (\text{河角})$$

式中: M ——震级;

A ——最大振幅 (微米);

l ——震中距离 (米);

I_K ——距离震中100公里处的平均烈度 (日本气象厅烈度级)。

$$M = 0.46 I_K + 4.42 \quad (\text{宇佐美})$$

按照这些方法,即使是对过去毫无地震记录资料的地震,也能用公式来推求其震级的大小,确定出地震的规模。

1.1.3 地震的强度

工程技术人员往往应用加速度来衡量地震的强度,但这只是对不将高层建筑及高桥墩等考虑在内的刚性较好的低矮结构物所给出的正确的判断。然而,随着高、薄结构物的相继增多,在地震强度的考虑方法上,可以看到,采用以振动周期、振幅、波形等来计算重现的地震状态配合以合理的结构形式进行处理的趋向,已在抗震设计方法中占有重要的地位。

抗震设计的方法,可大致分为静力与动力的两种设计方法,一般采用的设计方法是以震度法为代表的静力设计法,它通常是以加速度表示出地震的强度,再替换成震度而与结构物的设计联系起来。如上所述,这些方法由于有它一定的适用范围,所以不应该理解为能用加速度来代替一切场合。

(1) 加速度

如前所述,当由基础传来的地震动使结构物的主体发生振动时,一般是着眼于进行由惯性力引起的变形、应力等方面的静力和动力的研究。但是地震波传播会因传播介质的某些地质情况不同,表现出极不相同的反应;这一反应产生的加速度或地基位移的大小,都会给地基上的结构物带来震害。目前由于记录到的地震资料都是以使用加速度仪为主的,所以地震强度也是以加速度论述的。

再者,大家知道,即使所经受的是相同的地震,也是软弱地基上的振动较大,这已为计算所证实,所以当考虑地震的强度时,也应结合地基振动,考虑结构的惯性力与地基的位移,对地震强度作出评价。

(2) 工程震度 (地震系数)

震度可分为如§1.1.2所述日本气象厅等制定的烈度表中的烈度和本节中所讲的工程震度 (Seismic intensity)。

工程震度 (地震系数) K 可用地震动的最大加速度 α_m 与重力加速度 g 之比值表示为:

$$K = \frac{\alpha_m}{g}$$

通常在抗震设计中所采用的震度指的就是工程震度。应用这一震度评价结构物遭受地震作用的影响的方法即称为震度法。日本是首先以震度法作为简单分析的手段的,此法在其他国家也广泛应用。

1972年4月日本制定的《公路桥抗震设计指南》(日本道路协会),将结构物抗震设计计算中所采用的以重力加速度为标准的系数定义为设计震度,并由下式决定。

$$K_h = v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot K_0$$

式中: K_h ——设计水平震度;

K_0 ——标准设计水平震度(0.2);

v_1 ——各类地区的修正系数(参见表1-4, 图1-5^①);

v_2 ——各类地基的修正系数(参见表1-5);

v_3 ——重要程度修正系数(参见表1-6)。

各类地区修正系数 v_1 表1-4

类 别	系 数
A	1.00
B	0.85
C	0.70

各类地基修正系数 v_2

表1-5

类 别	地 基 分 类 ¹⁾	系 数
第1类	(1)第三纪以前的地基(以下称为基岩) (2)基岩以上洪积层 ²⁾ 厚度不满10米	0.9
第2类	(1)基岩以上洪积层厚度在10米以上 (2)基岩以上冲积层 ³⁾ 厚度不满10米	1.0
第3类	冲积层厚度不满25米,且软弱层 ⁴⁾ 厚度不满5米	1.1
第4类	上述情形以外的地基	1.2

注: 1)地基类别由于反映的只是大致的标准,规定应根据架桥地点的情况来判定其系数的大小,这里厚度是指从地面起算的厚度。

2)包括冲积压密砂层、砂砾层和卵石层。

3)包括因崩塌后形成的新堆积层。

4)指日本《公路桥抗震设计指南》一书中§3.7所规定的“抗震”计算时可以忽略承载力的土层。

重要程度修正系数 v_3

表1-6

类 别	重 要 程 度 的 类 别	系 数
1级	高速公路、一般的国家公路、主要地方公路的桥梁,一般的都道府县以及市镇村道路中的重要桥梁	1.0
2级	除上述以外的情形	0.8

注: 在1级桥梁的个别场合,可将系数增大到1.25。

1.1.4 不同地区的地震

看一下留传的古书所记载的震害状况,据以推断地震规模,结合图1-6所示震源的分布情形,便可了解地震的规模在某些地区较为集中。规模很大的地震(震级在8级左右)都集中在从千岛群岛、北海道的南端起直到四国海面的太平洋沿岸,内陆地区几乎就没有见到如此巨大的地震。地震之所以会集中在太平洋沿岸,其原因可从板块结构学说得到说明。

(1)数学期望值分析

若从某一地区的地震活动程度来看,产生大震害的地震发生概率,也只不过是数百年内仅一次左右;与此相反小地震的发生概率,在一年或数月之内就能重复出现1次。这样,便可认为地震的大小,与发生概率之间存在着有某种相关关系。因此,在选择相宜地震输入波的数据时,考虑该区域内地震的活动程度(换句话说,考虑地震时的环境)是十分重要的。

① 此图对我国读者无甚参考价值,故予删去——编者