

建筑物耐震结构纲要

日本学朮振兴会 編

建 筑 工 程 出 版 社

建築物耐震結構綱要

高履泰 譯

建筑工程出版社出版

• 1957 •

內容提要 本書是日本自 19 世紀後半期到 20 世紀前半期,對於建築物耐震結構研究的主要經驗總結。

書中闡述了地震、結構物的振動性,結構物的耐震強度以及耐震設計方法等專題研究的成果。

書中除對木結構、鋼筋混凝土結構、鋼結構、磚石結構的耐震設計原則和有關結構方面的注意事項作了簡明地解釋外,還根據需要對於個別結構提出有關應力計算、材料及施工等方面的注意事項。

本書可供建築科學研究人員、設計與施工技術人員在工作中研究參考。

原本說明

書 名 建築物耐震構造要項

編 者 日本學術振興會

出版者 岩波書店

出版地點及年份 東京—1943

建築物耐震結構綱要

高履泰 譯

*

建築工程出版社出版 (北京市阜成門外南風土路)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 052 號)

建築工程出版社印刷廠印刷 · 新華書店發行

書號 569 97 千字 850×1168 $\frac{1}{32}$ 頁數 4

1957 年 11 月第 1 版 1957 年 11 月第 1 次印刷

印數: 1—1,550 冊 定價 (11) 1.00 元

目 录

譯者序	7
第一章 总 則	9
第一節 地震和災害	9
1. 地 震	9
2. 震源距离和地震	10
3. 地表層和固有振动周期	10
4. 地震烈度(地震系数)	11
5. 地震所引起的大地变化	13
6. 建築物受害概要	14
第二節 在耐震設計上的一般注意	15
1. 概 說	15
2. 平面和立面的設計	15
3. 建筑地基的選擇	16
4. 基 礎	17
5. 地震以后的火災	18
第三節 建築物的耐震設計原則	18
1. 地震預測的困难	18
2. 建築物振动預測的困难	19
3. 設計原則	20
第四節 耐震結構方法概要	21
1. 概 說	21
2. 木 結 構	21
3. 鋼筋混凝土結構	22
4. 鋼 結 構	22
5. 磚石結構	23
第五節 耐震計算方法	23
1. 概 說	23

2. 震 力	23
3. 在应力計算上的注意	26
第六節 以材料强度为对象的計算方法	29
1. 概 說	29
2. 荷 載	29
3. 材料强度	30
4. 構件形狀	31
第七節 特殊結構	32
1. 免震方案	32
2. 柔性結構方案	32
3. 五重塔的特殊性質	33
参考書籍	33
第二章 木結構	46
概 說	46
第一節 結構設計	47
1. 結構方案	47
2. 設計概要	48
3. 对于基礎的注意	49
4. 木結構的安全度	50
5. 特殊結構	50
6. 木材的特性及其他有关的注意	51
第二節 在結構上的注意	52
1. 結合、接榫	52
2. 組合構件	57
3. 木 地 梁	60
4. 柱	61
5. 梁	63
6. 对角支撐	64
7. 垂直隅撐	68
8. 戢 木	69
9. 牆 壁	70
10. 地 板	72
11. 屋 架	73

12. 屋 頂	73
第三節 保存和修繕	74
第四節 对于防火的注意	75
参考書籍	76
第三章 鋼筋混凝土結構	81
概 說	81
第一節 結構設計	82
1. 概 說	82
2. 框 架	83
3. 牆 壁	85
4. 樓 板	88
5. 基 礎	89
6. 板 結 構	90
第二節 在結構上的注意	91
1. 施 工	91
2. 鋼 筋	92
3. 柱	93
4. 梁	94
5. 牆 壁	96
6. 樓 板	97
第三節 在应力計算上的注意	97
1. 彈 性	97
2. 框 架	97
3. 樓 板	98
4. 剪力分布系数	98
参考書籍	100
第四章 鋼 結 構	102
概 說	102
第一節 結構設計	103
1. 高層建築物	103
2. 單層建築物	103
3. 大跨結構	104
第二節 在結構上的注意	105

1. 概 說	105
2. 鉚 釘	105
3. 焊 接	106
4. 桁 架	107
5. 梁	108
6. 柱	109
7. 剛性結合	111
8. 柱脚和鉸	113
9. 對角支撐及其他	114
10. 鋼骨鋼筋混凝土	114
參考書籍	115
第五章 磚石結構	116
概 說	116
第一節 在結構上的注意	118
1. 結構方案	118
2. 設計概要	118
3. 牆 壁	119
4. 牆壁的加固	120
5. 石料的混用	122
6. 硬山牆、壁爐用煙囪及其他	124
7. 基 礎	125
第二節 在材料和施工上的注意	125
1. 概 說	125
2. 磚	126
3. 砂 漿	126
4. 施 工	126
參考書籍	127

譯 者 序

我国是受地震災害国家之一。西北、西南和东部地区被国外的烈震地区包圍着；甘肅、內蒙古西部、陝西、四川、西康、云南、西藏、台湾等地直接位于烈震地区。在历史上有过記載的地震次数曾經达到几千次，而且大多分布在陝西、甘肅等省。这些次地震往往是規模較大历时很長的。如1556年(明嘉靖34年)的西北大地震延續年余未息。20世紀以来仅就甘肅一省來說就有过1920年的海原地震，1927年的武威、古浪地震，1932年的玉門地震，1954年的山丹地震和武威、民勤及阿拉善地震。这些次地震所引起的災害是极端慘痛的：人畜伤亡，建筑物摧毁，从而对于国家所造成的損失是难以估計的。我国在第二个五年計劃中間將有許多工业基地建設位于烈震地区。为了保障祖国經濟建設的安全，开展建筑物耐震結構的研究就具有重大的现实意义。

然而这一項研究工作是非常复杂的，必須依靠土木建筑工作者与物理、地質、地震工作者的共同努力才能开展和作出貢獻。我国在这一方面的研究还是年輕的。在世界上对于建筑物耐震問題研究比較全面的国家，除了苏联以外，还有俗称“地震国”的日本。特別是在1923年日本关东地震以后，参加这项研究的建筑工作者突然增加，而且开拓了广泛的研究范围。例如，对于地震現象、結構物的振动性、結構物的耐震强度、耐震結構設計方法以及强迫振动等方面，都作出了相当的貢獻；同时对于耐震結構設計方法也作了比較全面的研究；此外，还提出了富有創造性的免震結構方案和柔性結構方案。而且在这些建筑工作者之間往往坚持着爭鳴的学說。

这本书就是把这些学說在日本学术振兴会的努力下总结出来

的結論。他們共用了3年的時間，經過幾乎100次的詳盡討論和改稿，最後由委員會通過於1943年發表的。本書的譯出，相信對於我國研究建築物耐震結構方面是有一定參考價值的。但是畢竟日本的地理條件和我國是有很大的不同的，我們必須根據我國具體情況考慮取捨，這是勿庸贅述的。

由於譯者所瞭解的耐震結構的知識不多，兼以譯筆拙劣，錯誤之處在所難免，至希專家們不吝指正。

譯者一九五六年八月

第一章 总 則

第一节 地震和災害

1. 地 震

地震是起源于地殼(特別是地塊)的突然变动,从而傳播到地殼中的波动并因此而引起的地殼中的运动。

如果震源是由于火山的爆发时,常常是單純的,否則由于地塊的变动就未必單純了。震源有时 沿着极長的路綫,又有时擴張到非常广泛的地域。也就是說震源有大小,震动時間 也有長短。因此震源本身有时是极其复杂的。

由震源傳播到地殼的波动中,有縱波(疏密波)和橫波(扭轉波)兩種。地殼構造并非均質的,不同性質的东西可構成层,因此入射到各层境界面內的地震波又重新产生了折射波和反射波。这些新生的波未必就与入射波类型相同。因此虽然是由震源发生出来的單純波动,可是波及到相当距离时就变为很复杂的 波动了。不仅如此,再加上沿着地表傳播的各种性質的面波,那么就更要增加了复杂性。这样,距震源在相当距离的某地的地震,乃是集合各种波动而成的极为复杂的立体振动。

像这样在某地的复杂的地震,也可以分为垂直分量与 水平分量来考虑。前者叫做升降振动,后者叫做水平振动。同时 这些升降和水平地震,各个可以視為是簡諧运动的集合,而且可以其中主要部分的周期、振幅或加速度来表示它的性質。

用地震仪观测地震时,通常先記錄振幅小的振动,繼續一定時間以后突然 記錄振幅大的 振动,再繼續相 当時間 后逐漸变得微弱,最后竟然停止。最初的小振幅叫做初期微动,以后的大振幅叫

做主要振动。建筑物受到损害的原因，主要是由于加速度和振幅大的主要振动的作用所致。初期微动是以出发于震源的縱波为基础的，主要振动则以横波为主，并在其中混杂着面波。

2. 震源距离和地震

在地震中有縱波、横波和面波，已經在前节叙明。至于傳播速度則縱波最快，横波次之，面波最慢。

以縱波为主的初期微动的繼續時間和震源距离大致成为比例，就是因为这种緣故。

縱波和横波是以立体形式傳播的波动，因此即在完全彈性体中它的振幅和距离也按反比例而减少，但是地基的彈性是不完全、不連續而且具有粘性的，因而振幅的减少也就更加显著了。至于面波則是以平面形式傳播的，它的振幅和距离的平方根按反比例而减少，因此波及远方时比縱波、横波應該殘留時間較長。又从震源傳播出来的震波分量中可含有各种周期，但是随着傳播漸远，周期較小的就受到阻尼，而周期較大的却仍然存在。

由于这些关系，震波傳播到远距离时，就只有成为周期大的面波了。

这样在极接近震源的地方初期微动与主要振动并没有区别，即是縱波、横波也几乎是同时的，升降振动和水平振动也共同激烈地冲击而活动着。在距震源稍远的地方初期微动繼續进行中間就感觉相当强的升降振动和强烈的水平振动，不久就进入了以水平振动为主的激烈的主要振动，这时变化着的周期振幅，經過相当時間之后逐漸消失。至于在距震源极远的地方，初期微动是微弱的，升降振动几乎不能感觉，初期微动繼續時間較長。虽然已經进入主要振动但是振动是緩慢的；又由于周期大，即使有大的振幅也不感觉激烈。而且它的繼續時間也是較長的。

3. 地表层和固有振動周期

在某地利用变位地震仪或加速地震仪觀測許多地震，就可以

发现振动周期大致近似的振动分量較多，即超越地存在着。这样的超越周期由于地基而不相同。在比較接近而地基条件不同的兩地进行比較，由于同一地震引起的地震动，便可得到兩者在各自超越地存在的周期中却显著不同的事实。这可以解釋为地表层的固有振动是由于震波的刺激所引起的。

根据观测結果茲列举加速度大的超越周期实例如下：

地 点	超越周期
东京本郷东京大学校址	約为 0.3 秒
东京丸之内大街	約为 0.2 秒及 0.6 秒
横濱山下公园	約为 0.49 秒及 1.2 秒
筑波山	約为 0.05 秒

地基的超越周期，应该是 由于在其上面的建筑物的固有振动周期所引起的共鳴，这是极为 重要的事实。但是上列 数值乃是根据較小地震进行观测的結果。至于大地震时激震地带究竟如何却还是疑問，再者建筑物的固有振 动周期是随着災害发展情况而变化的也是应该一并考虑的事。

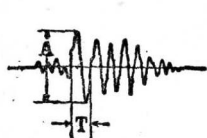
4. 地震烈度(地震系数)

地震等級。正如前节所述，地震是极端复杂的，虽然可以把它看做簡諧运动的集合，可是仍然含有振幅和周期不同的各种成分，因此簡單地表示地震烈度是困难的。

現时日本中央气象台 为了表示地震烈度 所用的地震等級如下：

地震等級	名 称
0	無 感 觉
I	微 震
II	輕 震
III	弱 震
IV	中 震
V	强 震
VI	烈 震

如果主要振动中最激烈部分可以看做简谐运动的一部，那么它的最大加速度值 α 如次(图1)：



$$\alpha = \frac{2\pi^2 A}{T^2}$$

式中 A ——全振幅；

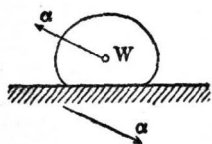
T ——振动周期。

图 1

这就是地震中的最大加速度，假如采用某种方法可将这一数值测定、查明或判断，那么就可用它做为表示地震烈度的一个指标。

地震系数。在耐震结构中采取地震中最大水平和升降加速度与重力加速度的比，叫做地震系数并用它做为表示地震烈度的指标。

假设与地震共同运动的刚体的重量为 W ，质量为 m (图2)，地震最大加速度为 α 时，物体对于地基相对地以相反方向受到加速 α ，因而受到下列的震力 F 。



$$F = \alpha m = \frac{\alpha}{g} W = KW$$

式中 $K = \frac{\alpha}{g}。$

图 2

这就可以了解当地震最激烈时与地共同运动的所有刚体受到它的重量 K 倍的震力的作用。

采用这样的地震系数观念，由于烈度和力直接结合起来，就便于简明地掌握地震的破坏力。

K 就是0.1或是0.3等的数字。又在 K 中用 k 表示水平成分，用 k_1 表示升降成分。 k_1 在地震中央附近是相当大的，而且有着相当作用，但是距离稍远就突然变小，作用主要归于水平成分也就是 k 。因此对距离观念不加重视而就一般情形来说，烈度可由水平地震系数 k 来表示。

再者，当考虑结构物所受震害时，只靠地震系数是不够的，还

須同时考虑時間因素，也就是繼續波数、周期和振幅的变化等等。根据关东大地震时在东京本乡东京大学校址的观测，地震的振动纪录如下：

主要振动最初部分的振动周期平均是 1.35 秒，由最初到 3 周期以后的全振幅是 8.6 公分，而且假定这一部分是簡諧运动，那么最大加速度就是 98 公分/秒²，地震系数大約是 0.1，后来虽然繼續出現更大的波动，但是周期大約是 2 秒或者在此以上；由最初到 40 秒左右陸續出現着更为緩慢的大震动，到 1.5 分鐘就变成周期为 4 秒左右的波动，由最初繼續到 10 分鐘則表現出来极大的波动。

这些事实乃是定量地掌握地震烈度的貴重資料。

5. 地震所引起的大地变化

作为地震的来源或結果，在地表上往往出現各种变动。下面說明它的主要項目。

断层。有的經過很大長度水平剪切的或升降剪切的。在剪切面上建筑物下部被撕开或沉落，因此它的致害是难以估計的，但是必須考虑到在其附近土地上也是有着相当活动的。

隆起和陷沒。跨越相当广大地域发生隆起和陷沒。在其中一般是有复杂的冲击活动的，因此建筑物从四面八方受到剧烈地揉挤，被害极大。

地裂、山崩。傾斜急峻的地方，山崖地帶、堤坝等，由于地震就发生地裂或引起崩坏。又在山地中发生山崩，土块失去凝結力如流体一样流下斜面，有所謂山嘯的情形。在这样活动旋渦中的建筑物所受損害又和單純烈震不同，大多是出人意料之外的。

海嘯。由于地震海中发生了長的波动，这样波动到达海岸以后，海水就溢流到陆地上去。假設湾的形狀是漏斗狀的，在其深奥的地方海水异常上升，海嘯甚至要襲击到高处来。海水上升不仅与灣的平面形象而且与其深度变化有关。这样上升的海水退下时，便以浩大之势冲去其中所有的东西，因此建筑物的受害又是很難估計的。

6. 建築物受害概要

建築物由於地震的損害按照地震性質、地點和建築物的性質、規模、結構等等是千變萬化的，根據過去經驗，僅就結構種類大致說明受害大要如次：

在鋼結構建築物中鋪釘鐵皮或石棉板的工廠等量輕的建築物所受損害是極少的。即使是施工方法相當粗草的建築物所受損害也是一概輕微的。在鋼骨砌磚結構中雖有磚牆發生裂紋、脫落、鋼骨發生變形的情形，但是還沒有建築物倒塌的情形。

鋼筋混凝土結構的受害率總的說來是少的，但是結構不堅的建築物則有發生極慘的崩壞情形。在關東大地震時，垂直水平構件的組成方法不夠完全的和交叉牆壁較少的建築物所受損害顯著。鋼結構而有鋼筋混凝土樓板和牆壁的，所受損害一般可以說是輕微的。

木結構房屋即使不是烈震，頂面瓦滑落、牆壁發生裂紋、牆壁橫筋脫離等微小損害還是很多的，甚至可以發生傾斜、移動或骨架破壞等等。因此在烈震地區常常出現相當大的倒塌率。這乃由於過去的木結構房屋對於水平外力的抵抗一般是脆弱的緣故。屋頂重破壞力就強，房屋大抵抗力就小，因此量重和面積大的建築物所受損害是大的。

木骨架抹泥的牆壁特別是頂部多有裂紋、脫落的情形，但是倒塌的例子還是比較少的。

用木材做為骨架、用磚石做為牆壁的建築物，在烈震地區磚石等材料多崩落下來，另外整體倒塌的情形也是不少的。

磚石結構房屋一般是很脆弱的。有木屋架和土地板的房屋牆壁發生裂紋和崩壞特別容易。像磚砌煙囪就是屬於最脆弱的結構。

第二节 在耐震設計上的一般注意

1. 概 說

为了使建筑物耐震，首先应減輕其各部分的重量。重量減輕不仅可減輕由于地震而生的震力，而且当柱、牆壁等傾斜时还可減少由于自重发生倒塌的副作用，另一方面还有縮小建筑物的固有周期、縮小与主要振动呼应的危險的效果。

其次，在結構物或骨架上使其具有足够的水平强度和剛度是必要的。增加强度可以說是較任何方法还要优越的积极方法，增加剛度、减少撓度同时也有縮小固有振动周期的效果。

上述兩件事項，乃是使一般建筑物能够耐震的最为重要的事項(參照第三节1.)。

对于像木結構那样的輕量結構物增加强度和剛度，实际上往往会有困难，因此还須努力減輕屋頂的重量。

磚結構之类虽然重量很大，但是不仅强度与其不相应甚至反而有很小的强度，因此在耐震結構方面大多是很困难的。

鋼筋混凝土結構虽有重量大的缺点，但是容易增加其骨架的水平强度而且可以增加很多，这一点是有优越性的。鋼結構的强度与其重量相比較是很大的，如果进一步使鋼筋混凝土牆壁的剛度与其配合，便可發揮出最大的耐震性来。

無論如何，材料和結構要尽量使各部分一致，具有均等的剛度，而且应具有大的强度和粘韌性，它的剛度一般來說也要强大。具有粘韌性的材料和結構虽然可有超过彈性极限的形变，可是崩坏的危險是少的。

2. 平面和立面的設計

建筑物的平面尽量簡單而且体形紧凑在耐震方面最为重要。就体形來說最好尽量接近正方形。一字形的平面最好对于橫方向

各部分剛性均等，振動性均齊。巨大建築物有着T字形、U字形、H字形等的平面當其翼部較長時各部分的振動性必然不同，因而它的接合角隅易受震害。日字形、田字形等體形緊湊的平面在這一點是有利的。無論是哪種平面對於接合部分的結構都應特別注意。

對於附屬房間、耳房、穿廊等必須注意其接連問題，也是由於振動性不同所致。

柱要在縱橫兩方面盡量布置整齊，而且布置得易于組成一條直綫的骨架。

剛性牆是建築物中最容易具有強度和剛度要素的。因此在建築物的各部分、各方向盡量均等地布置剛性牆，乃是容易取得耐震效果的主要原則。

建築物的立面最好高低少、各部分有均等的高度。如屋頂上有突出部分時，或左右高度不一致時，必須考慮由於振動性的不同而發生的應力狀態，以期在結構上萬無一失。

柱在樓層做為通柱來布置，隔牆上下相重地來布置，是最適宜於耐震要求的。

3. 建築地基的選擇

做為建築地基，土質堅硬的為最好。也就是岩石層、堅硬的粘土層、夾雜碎石的粘土層、碎石層等是優良的地基，沒有水分的砂層和普通粘土層（壩母層）等次之。水分多的砂地和泥地或填埋地之類是不適宜的地基。要在這樣的地基上進行建築時，必須按照建築物的種類對於基礎特別考慮。

在大地震時磚結構倉庫（有時鋼筋混凝土結構）等類，量重而有剛性的結構，在硬地基上表現出相當的震害痕迹，而在軟地基上却往往受害輕微。對此有兩種說明：其一是軟地基的超越周期大，硬地基的超越周期小，量重而有剛性的建築物由於固有振動周期小，從呼應的機會來看，軟地基是有利的。另一則是軟地基在接近量重而有剛性的建築物之處發生所謂緩沖作用，地基的振動不能