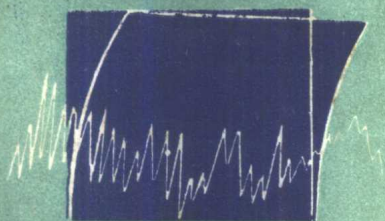


231119



耐震结构物设计法

岡本舜三 著



752

建 筑 工 程 出 版 社

551
711/7752

耐震結構物設計法

袁汝誠 譯

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內容提要 本书系日本工学博士岡本舜三先生根据近三十年来有关地震方面的論文百余篇編写而成。书中詳細的介紹了日本近百年来发生多次大地震时的各种結構物的实际受害情况与特点，以及地基、地質和地震动的关系；闡明了地震現象、地震成因、地震强度及对地震进行科学观测和研究的方法；介紹了計算結構物地震时应力的各种方法和設計耐震結構物的各种方法；提出了防止結構物发生震灾的有效措施。

书中有些图表和地名，以及某些节、款，由于参考价值不大，譯者略而未譯，对书中的公式和文字中的某些笔誤和排誤，譯者也根据自己的体会，进行了訂正。

本书是目前研究耐震結構設計較为完备的书籍，可供土木、水利、建筑科学研究、工程技术人员及大专学校土木、建筑系师生参考之用。

原本說明

书 名 地震力を考えた構造物設計法

著 者 岡本舜三

出版者 オーム社

出版地点 东京—1954年
及 年 份

耐震結構物設計法

袁汝誠 譯

編 輯：刘嘉林

設 計：赵文林

1958年12月第1版 1958年12月第1次印刷 3,560册

787×1092 · 1/32 · 120千字 · 印張6⁵/₈ · 定价(10) 0.88元

建筑工程出版社印刷厂印刷 新华書店发行 書号：993

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业營業許可証出字第052号)

緒 言

象在日本这样地震很多的国家里，土木結構物的設計必須考虑到地震。因此，对于这一现实問題應該怎样考虑，應該怎样設計，就成了問題。這項問題很久以来就不斷地進行着研究，但从問題本质来看，它的进步很慢，已經了解的地方还非常少。尽管如此，我仍不揣浅陋，編写了这样题目的书籍，虽然感到非常困难，但是将来在这門學問的发展方面如能得到拋磚引玉的效果，作者心情将是无限愉快的。

我是避忌在头脑中設想地震，以确定削足适履的設計方法的。我想設計人本身如不先掌握地震和震灾的实际情况来看和判断，从而研究結構物的耐震方案，就不可能得到合理的設計。如果通过本书而能引起在这方面的注意，就是一点点也好，也是作者的莫大荣幸。

耐震土木工程学所处理的問題非常广泛，以一人的力量决不可能全面詳細地論述。因此，本书参照各方面的研究，整理編成，书中誤解一定很多，体会不够之处，亦在所难免，这完全是由于我的学識不足，只好等待将来讀者指教之后再行更正。这門學問存在的問題尚多，能够作出肯定結論的地方很少，但是为了避免冗长，往往又不得不表示肯定的看法，这一点深望讀者原諒。

所采用的参考文献已列于卷末（譯文从略，讀者需要参考时，請查閱原书——編者注），以供詳細参考。最后謹向这些文献的著者們表示衷心的敬意和感謝。

著 者

目 录

緒 言	3
第一章 地震	8
(一) 地球的构造	8
(二) 地震現象	9
(三) 地震的原因	11
(四) 震源	12
(五) 震波	12
(六) 地震的观测	13
(七) 地震记录	17
第二章 地震的强度	19
(八) 日本中央气象台的地震烈度等級	19
(九) 按照加速度确定的地震烈度等級	20
(十) 地震的能量	26
第三章 日本的地震	28
(十一) 过去的地震	28
(十二) 地区的分布	29
(十三) 将来的地震	32
(十四) 設計地震系数	33
第四章 大地震和受害情况	39
(十五) 关东地震	39
(十六) 北丹后地震	45
(十七) 三陆海啸	46
(十八) 静岡地震	48
(十九) 男鹿半島地震	49

(二十) 南海地震	51
(二十一) 福井地震	55
(二十二) 今市地震	59
(二十三) 十胜海中地震	61
第五章 地基和震灾	64
(二十四) 沿着棒状体进行的弹性波	64
(二十五) 冲积地的振动	70
(二十六) 坚硬地基的振动	73
(二十七) 地表以下的振动	74
第六章 结构物在地震时的应力	75
(二十八) 对于设计的假设	75
1 关于地震的假设	76
2 关于结构物的假设	77
(二十九) 地震系数法	78
(三十) 荷载的组合	79
(三十一) 许可应力	80
(三十二) 悬臂梁	82
(三十三) 刚架结构	83
1 构件端部的弯矩	83
2 构件旋转角	84
3 节点旋转角	84
(三十四) 墙壁	98
第七章 结构物的振动	101
(三十五) 质点的简谐振动	101
(三十六) 质点的阻尼振动	105
(三十七) 质点的强迫振动	107
(三十八) 自由振动周期的决定方法	110
(三十九) 梁的弯曲振动	111
(四十) 梁的剪切振动	115

(四十一)	变截面梁的振动	117
(四十二)	連續梁和剛架結構的振动	121
(四十三)	梁的强迫振动	125
(四十四)	結構物的强迫振动	128
(四十五)	雷理的方法	132
第八章	在地震时的土压理論	137
(四十六)	坡面的穩定性	137
1	只有內部摩擦力的土質	138
2	只有粘着力的土質	138
3	具有摩擦力和粘着力的土質	139
(四十七)	影响挡土牆的土压	142
1	庫倫的土压理論	142
2	物部博士的在地震时的土压理論	147
3	佐野博士的在地震时土压的計算方法	151
4	松尾博士的實驗的研究	151
(四十八)	地基的承压力	152
1	平时的地基極限承压力	152
2	在地震时的地基極限承压力	154
3	地基的沉陷	156
第九章	灾害和措施	159
(四十九)	一般事項	159
(五十)	灾害的性質	160
(五十一)	公路的震害	163
1	填土堤	163
2	路塹	164
3	隧道	164
4	暗渠	165
5	鋪裝	166
(五十二)	鐵路	166

(五十三) 河流	166
1 山腰崩落	167
2 填土堤	168
3 护岸	170
4 水閘的閘門和閘洞	170
(五十四) 海港	170
1 填埋地	171
2 防波堤	171
3 岸壁	171
(五十五) 桥梁	190
1 桥台	190
2 叠脚	194
3 桥桁	198
(五十六) 坝	199
1 混凝土重力坝	199
2 拱坝	201
3 土坝	202
(五十七) 給排水管道	205
1 埋設管道	205
2 池狀結構物	209
3 水管桥、虹吸管	209
4 水塔	210

第一章 地 震

(一) 地球的构造

地球是半径 6,400 公里的球体。其内部构造虽用种种方法来测定，但在地震的时候，对地面上各点的振动进行比较等也是有效的方法。地震是由于地球内部发生变化而放射出来的能量，传达于地表面而生的振动，因此按照它的传播路径的构造，有的振动就成为特别的形状，因而反转过来成为研究地球内部构造的线索。

根据这样的调查，地球是由性质非常不同的两层即内核与地壳所构成（图 1）的。内核成为地球的中心，它是半径 3,500 公里的球体，比重大，平均为 8.2，成分主要是铁、镍。在这一部分内变形波不能传播，故其表面的性质可以认为与液体相同。地壳是包在内核外侧的部分，厚 2,900 公里，比重 3.0~3.3，主要成分是辉绿岩、玄武岩、橄榄岩。地壳的表层部分特称为地壳表层，其性质与地壳内部大不相同。这一部分是由地球内部喷出来的物质，由这些喷出物变质的物质，以及又因风化而堆积的物质等所构成，比重轻为 2.6~2.7，其厚度最大约为 200 公里，在大海底往往没有这一层。在日本可以认为约有 50 公里的厚度，但在深 20 公里的位置上认为有不连续面存在。地壳表层中的外部表层部分，

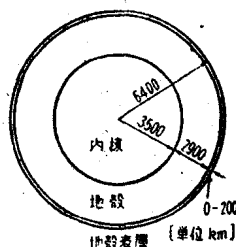


图 1

同。这一部分是由地球内部喷出来的物质，由这些喷出物变质的物质，以及又因风化而堆积的物质等所构成，比重轻为 2.6~2.7，其厚度最大约为 200 公里，在大海底往往没有这一层。在日本可以认为约有 50 公里的厚度，但在深 20 公里的位置上认为有不连续面存在。地壳表层中的外部表层部分，

即由岩石风化沉淀而生成的沉淀层的构造与其以下部分大不相同，目前正由地质学界详细调查中。

引起巨大灾害的地震大体发生于地壳表层部分，地壳表面沉淀层的性质显著的影响结构物的被害程度。

(二) 地震现象

在地壳或地壳表层内随时发生激烈的变动，因之弹性振动就传播到地表之上，使地面振动，这就是所谓地震。

在地震的时候除地发生振动之外，还有地块变动、断层、地裂、海啸等现象。通常地面的振动最初在短時間內不断地微动，接着便发生激烈振动，经过短時間以后才逐渐消失。在大地震时象这样一系列的振动要反复发生若干次。其中最初发生的振动通常最为激烈，称做主震，后面继续发生的称做余震。普通余震的間距在主震以后随着時間而愈增大。但是地震也有很难平静的，在这样的情况下就有警戒的必要。又在主震以前有时发生很可認為是前兆的大地震，称为前震。例如在1949年今市地震的8分鐘前，在同一地点曾有很强烈的地震，便可認為是前震。

在地震时可以听到象颶风“呜呜”的声音和象放大炮“轰轰”的声音，这种声音称做地鳴。又有不少报告說见到发光。不过关于发光的现象往往由于錯觉所致，所以还不能够确定。例如，1933年的三陆海啸地震，曾經記載在东方的海洋上表现很亮，这似乎是发光微生物的作用；1951年今市地震时震中地区的发光，显然是居民对于摄影队的摄影閃光发生了誤解。

断层、地裂等的地变也是大地震时每每发生的现象。最著名的断层为1891年的浓尾地震，岐阜县内发生的根尾谷断层，

长达100公里，其錯开最大处上下达到6公尺，左右达到2公尺。

根据测量在地面的广大范围内还有水平及垂直方向的位移。但不如断层那样明显地可以看出，此时，如能在地震前后进行测量，就可以了解由于地震而发生的变动，但在多数情况下是把地震很久以前和地震以后相比較的，因此不能了解变动是否全部由于地震，但由于地震而变动的量，似乎可以肯定是相当大的。图2是由于1923年关东^①地震的地变

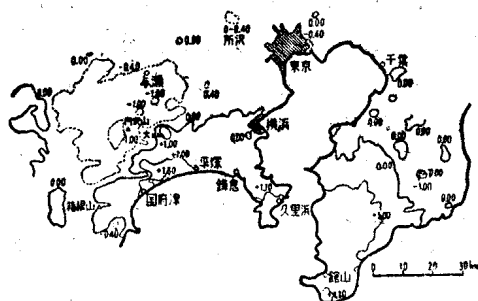


图 2

图，从这图来看，相模湾沿岸及房总半島南端隆起，丹泽山区一带下沉，东京也大約沉下40公分。又图3是根据永田博士的研究，由于1946年南海地震而发生的四国地方南岸水准

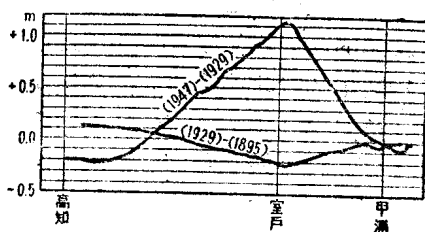


图 3

① 日本東京橫濱一帶地區，總稱關東——譯者注。

点标高的变化。上方凸起的曲线表示 1947 年的测量标高与 1929 年的测量标高之差。凹下的曲线表示 1929 年的测量标高和 1895 年的测量标高之差。由此可知：由于地震室戸岬的前端显著地发生隆起。室戸岬原来是向南继续倾斜的，但是由于地震却急峻地倾斜于反对方向，而且根据其后的测量，得知地震以后还逐渐向南继续倾斜。

海啸是在海中发生地震时侵袭到海岸地区的长波。海啸不易衰减，可以达到相当遥远的距离，其波高按照海岸线的形状而显著不同。例如，在九十九里滨那样平坦的海岸线之处，波高并不很大，几乎没有引起水灾，但在宫城、岩手两县的东海岸及纪伊半岛的西海岸与东海岸凹凸很多的大牙交错的海岸，其湾口处的波浪原不很高，但进入湾的深处则成为非常高大的波浪，汎滥于陆地之上。特别是靠近海岸的陆地要是平原，那么海水便要侵入到它的整个区域，接着又以迅速的速度退去，因而完全冲洗了地上的所有物品，受害之大是难以言语形容的。在 1933 年三陆海啸时有的地方整个村庄被水冲毁达到 90% 之多。

由于地震而发生的自然现象除上述以外，还有地磁和地电流的变化等等。这些由于地球物理学上的需要正在研究中，在目前与耐震工程学还没有直接关系。

(三) 地震的原因

地块发生激烈的变动，固然是引起地震的直接原因，但是对于这样变动发生的原因，考虑到发生是间歇的、规模有大有小，在地域上偏向于某些地方等性质，还有种种不同的学说。现在采用的主要学说可以分为岩浆作用学说与造山力作用学说。

前者認為岩漿湧入正在凝固的地壳中，扩大了原有裂縫，从新形成裂縫，因而地壳发生了激烈的变动；后者認為地球由于温度变化和重量分布变化而在地壳內存在着不平衡的状态，日久其一部分破坏，就引起了激烈的地块变动。这些学說由于甲說适合于某一种地震，乙說又适合于另一种地震，而在某些情形下又可認做是两种原因的双重作用，所以还没有定論。关于地震的原因，实际說来，似乎还有很多不明白的地方。

此外，由于火山的噴火和大规模的地滑便在局部地区发生了地震，但从其受害规模来看乃是微不足道的。

(四) 震 源

发生地震的部分称做震源，其垂直上方的地表部分称做震中。震中不一定就限于狭小的区域，还有相当辽阔的区域，而且也不一定限于一个地方。

根据观测，震源的深度大体在地表下面 700 公里以內，其中超过 100 公里的称做深源地震，在此以下的称做浅源地震，特別在 30 公里以下的称做极浅源地震。引起重大灾害的地震大半是极浅源地震。

如果在各地观测达于地表的地震波的初动大小和方向，就可以用弹性理論来推测发生于震源的力的分布情况。这样地推测出来发生地震处所的构造，就能說明分布在地表上的地震烈度的原因，特別能說明各地发生大小异常不同的地震烈度，也就是所謂特殊地震区的問題。

(五) 震 波

放散在地下的能量成为波动而传播于地中达于地表。这时在地中传播的波动有两种，称做纵波和横波、其性質各不

相同，而在地表又有沿着地表传播的地面波。在纵波中其物质粒子的运动方向和波动的进行方向一致，其传播速度在理論上有下式的数值：

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

式中： E ——弹性模量； σ ——泊松比； ρ ——密度

在横波中其物质粒子的运动方向垂直于波动的进行方向，其传播速度是：

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}}$$

由于地壳的构造并不一致，所以震波的传播速度在地表下越深越快，大約是：

$$v_p = 7.5 \sim 13.7 \text{ 公里/秒}$$

$$v_s = 4.4 \sim 7.2 \text{ 公里/秒}$$

当分布于地表的洪积层与冲积层内时，其传播速度較上列数值特別緩慢，就地表的地基来說，有如下的实例，在沙层上为 $v_p = 275$ 公尺/秒， $v_s = 108$ 公尺/秒，在壩埠层上为 $v_p = 135$ 公尺/秒， $v_s = 69$ 公尺/秒。

又如果这些波动达到地表面，就使地表发生地面波。由于地面波而引起的土地移动，在表面上大，随着深入地下就迅速减小。在沒有特殊表面层的情况下而生的地面波，按照发现人的名称叫做雷理(Rayleigh)波，其传播速度較横波稍慢。地面波和纵波、横波相比較具有不易阻尼的性质。距震源土地較远的振动主要是地面波。

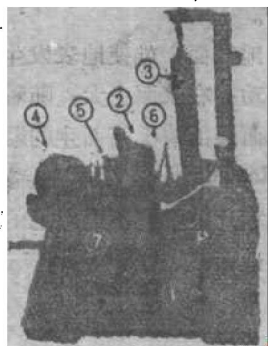
(六) 地震的观测

日本地震在科学上的观测从1870年前后开始。观测网分

布于全国約50所，其密度为世界第一，但地震却由于地形、地质而显著不同，所以甚至它的性质概要也还没有充分了解。又历来設置的地震仪虽然能够记录微震，但遇强大的地震，它的描針就要脫离，測定也就不可能进行，因为它是这样性能的地震仪，所以耐震工程所需要的大地震记录便无法取得，誠属憾事。因此，为使耐震工程发生实际作用，無論如何必須在全国广泛設置强震时所需用的地震仪。

地震可用地震仪进行观测。记录地震上下方向成分的称做上下动地震仪，记录水平方向成分的称做水平动地震仪；如要完全观测地震，那么就需上下动地震仪一架与水平动地震仪两架。

地震仪的原理是依靠适当的装置使物体与地面发生不同的运动，记录地面和物体間的相对运动，因而按照理論計算出来地动。图4是上下动地震仪。重錘从立在底座上的支柱上用弹簧吊住，所以即使底座移动，由于弹簧的作用，重錘亦不会和底座同样搖动。底座的振动周期如較由弹簧和重錘而成的摆的振动周期短，那么就恰如用手激烈地振動吊鐘一样，



- | | |
|-----|---|
| ① 底 | 底 |
| ② 重 | 錘 |
| ③ 彈 | 簧 |
| ④ 制 | 振 |
| ⑤ 描 | 針 |
| ⑥ 杆 | 桿 |
| ⑦ 記 | 錄 |

图 4

重錘几乎不再动摇。在廻轉的記錄圓筒上可以卷上記錄紙，使其穩靜地廻轉，因圓筒固定在底座上而與底座進行相同的運動，最後可使裝在重錘上的描針描在廻轉圓筒的紙上，記錄出來底座和重錘的相對運動。此時為使記錄明了，必須擴大裝置。這個裝置就是杠杆，因此擴大的倍數叫做幾何倍率。如擺過於容易振動，擺的自己振動就不容易消失，為了制止這樣的振動可以使用制振器。

地震儀的理論大致如下：假設地面有 y 的位移，從與地面共同運動的物體來看，靜止的物體就成為以 $-\ddot{y}$ 的加速度進行運動。如擺的重錘只移動了 x ，那麼在重錘上除有還元力 kx (k 是彈簧的常數) 和制振器的制振力 $c\dot{x}$ (c 是比例常數) 作用之外，還有上述的力 $-m\ddot{y}$ (m 是重錘的質量) 作用着。因此，重錘對於地面的相對運動方程式就是

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{y}$$

現在假設地震是下式所示的周期運動

$$y = a \sin \omega t$$

那麼運動方程式就成為

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m\omega^2 a \sin \omega t$$

這時擺本身振動的圓振動數可以 $\sqrt{k/m}$ 表示。擺本身的振動周期較地震的振動周期要長，因此和 ω 相比可以忽視 $\sqrt{k/m}$ 時，振動方程式就是

$$\ddot{x} = \omega^2 a \sin \omega t$$

它的解就是

$$x = -a \sin \omega t$$

即重錘的運動和地面的運動相反，地震儀就這樣地描繪出來位移。實際上， $\sqrt{k/m}$ 也有較 ω 不十分小的情況，但若適當地使用制振器， $\sqrt{k/m}$ 便可達到 ω 的 80% 左右作為位移儀來

使用。制振器的适当使用方法就是：当摆自由振动时，其振幅所呈阻尼的状态最好是使其相继而生的振幅之比大约成为 4~7 (图 5)，由于制振器的适当使用方法及 ω 和 $\sqrt{k/m}$ 的比， x 和 y 的比就成为与 1 稍有不同的数值。这比率叫做倍率系数。因此在位移地震仪的记录纸上的

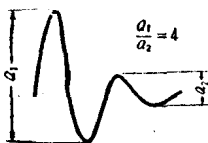


图 5

记录就成为

记录 = 地面的位移 × 倍率系数 × 几何倍率

其次，使地震仪的摆的振动周期小于地震的振动周期时， $\sqrt{k/m}$ 就较 ω 显著增大，因此，运动方程式就成为以下的近似式

$$kx = m\omega^2 a \sin \omega t$$

故而，

$$x = \frac{m}{k} \omega^2 a \sin \omega t = -\frac{m}{k} \ddot{y}$$

即这时摆的运动和地震的加速度成比例。在这种情况下，正确地說，比例常数不是 m/k ，实际上不得不乘以适当的系数，称做感度系数。因此在这时的记录纸上的记录成为

记录 = 地面的加速度 × 感度系数 ×

$$\times \left(\frac{\text{地震仪本身的振动周期}}{2\pi} \right)^2 \times \text{几何倍率}$$

于是记录就表示出来加速度。这样的地震仪叫做 加速度地震仪。

一般認為有問題的地震周期大約为 0.1~1 秒，因此位移地震仪的振动周期制造成数秒，加速度地震仪的振动周期则在 0.1 秒以下。无论位移地震仪或加速度地震仪，显然