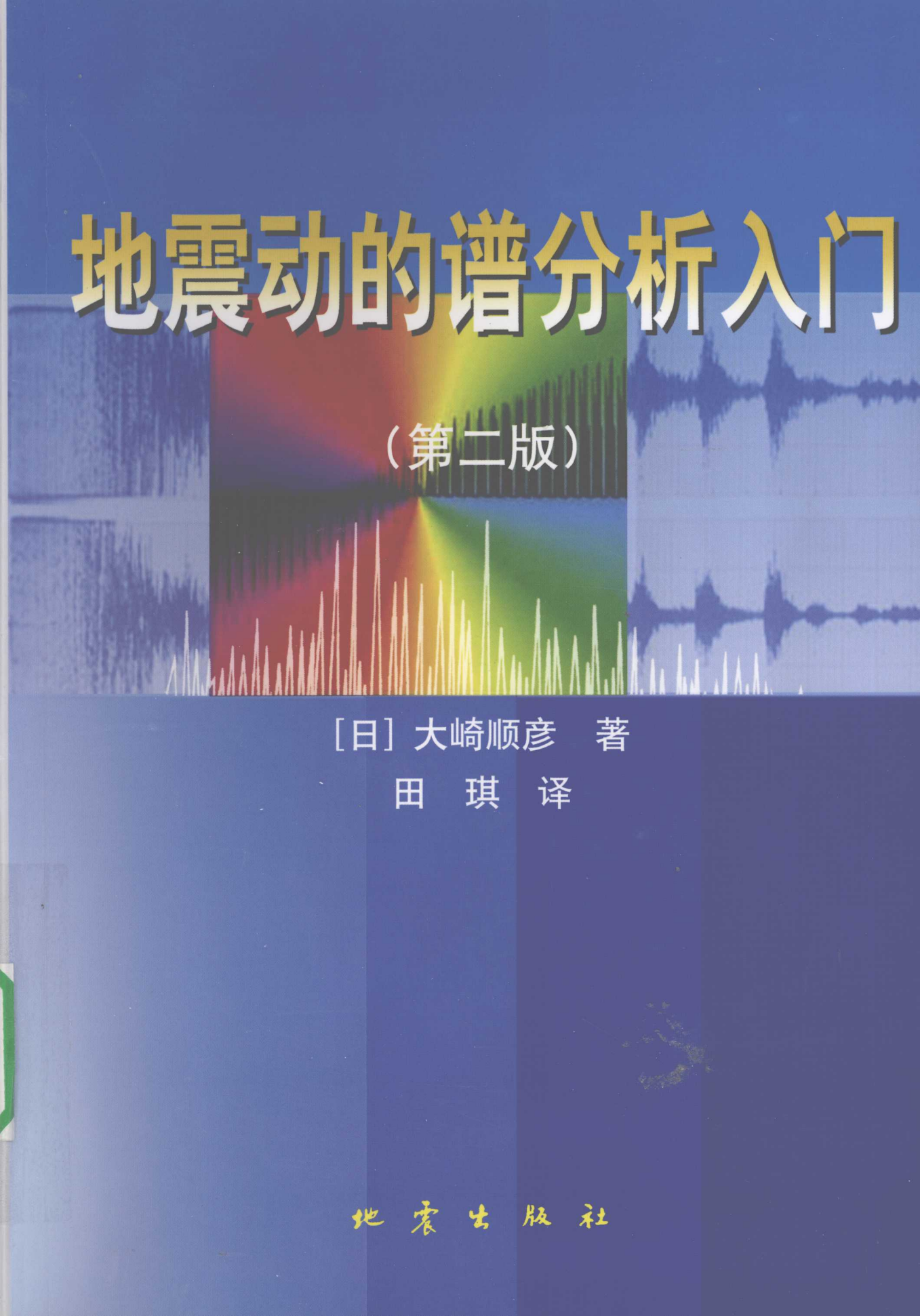


地震动的谱分析入门



(第二版)

[日] 大崎顺彦 著

田 琪 译

地震出版社

地震动的谱分析入门

(第二版)

[日]大崎顺彦 著

田 琪 译

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据
地震动的谱分析入门 / [日]大崎顺彦著; 田琪译. —北京: 地震出版社, 2008.6
ISBN 978-7-302-24412-6
I. 地… II. ①大… ②田… III. 地震动—谱分析 IV. P315.3
中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第014001号
著作合同登记号: 图字01-2008-547
SHIN JISHINDO NO SPECTRE KAISEKI N YOMON
by OSAMI YOSHIDA
Copyright © 1994 The Heirs of OSAMI YOSHIDA. All rights reserved.
Originally published in Japan by KAIHIN INSTITUTE PUBLISHING CO., Ltd.
Chinese (in simplified character only) translation rights arranged with
KAIHIN INSTITUTE PUBLISHING CO., Ltd. AGENCY
地震动的谱分析入门 (第二版)
[日]大崎顺彦 著
田琪 译
责任编辑: 曹 英
责任校对: 宋 王
出版发行: 地震出版社
社址: 北京
发行部: 010-64613993
编辑部: 010-64613993
E-mail: 64613993@163.com
经销: 全国各新华书店
印刷: 北京震大印刷厂 010-64613993
印(印)次: 2008.6
开本: 787×1092 1/16
字数: 200千字
印张: 10.5
印数: 0001-1000
书号: ISBN 978-7-302-24412-6
定价: 60.00元
版权所有 侵权必究
(图书出现印刷质量问题, 本社负责调换)

图书在版编目 (CIP) 数据

地震动的谱分析入门: 第二版/[日] 大崎顺彦著; 田琪译. —北京: 地震出版社, 2008. 6
ISBN 978 - 7 - 5028 - 2442 - 6

I. 地… II. ①大…②田… III. 地震波—波谱分析 IV. P315.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 000015 号

地震版 XT200400117

著作权合同登记号: 图字 01 - 2008 - 2473

SHIN JISHINDO NO SPECTRE KAISEKI NYUMON

by OSAKI Yorihiro

Copyright © 1994 The Heirs of OSAKI Yorihiro All rights reserved.

Originally published in Japan by KAJIMA INSTITUTE PUBLISHING CO., Tokyo.

Chinese (in simplified character only) translation rights arranged with

KAJIMA INSTITUTE PUBLISHING CO., Japan through THE SAKAI AGENCY.

地震动的谱分析入门 (第二版)

[日] 大崎顺彦 著 田 琪 译

责任编辑: 曹 英

责任校对: 宋 玉

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

发行部: 68423031 68467993

门市部: 68467991

总编室: 68462709 68423029

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

邮编: 100081

传真: 88421706

传真: 68467991

传真: 68467972

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 500 千字

印张: 19.5

印数: 0001 ~ 1000

书号: ISBN 978 - 7 - 5028 - 2442 - 6/P · 1189 (3049)

定价: 60.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序（第二版）

第一版《地震动的谱分析入门》一书初次发行是在 1976 年 7 月（昭和 51 年 7 月）。至今已超过 17 年，重印了 15 次。直到现在还经常收到质疑的书信及厚爱者们的问候，这些都是写书当初完全没有料到的。另外，在参加学术会议时，常遇到一些年轻学者，讲他们在学生时代读了这本书后，才立志从事地震工程学工作的，作为著者没有比这更高兴的事了。

海外朋友们不辞翻译的劳累，使第一版的中文版和西班牙语版相继问世。听说许多外国的研究者和学生读过此书，这令人感到十分欣慰。

对著者来说，17 年的岁月仿佛一瞬间就过去了。在这期间，由于计算机性能的提高和软件的充实等都取得了令人瞩目的发展，不禁使人觉得第一版已散发出古董味了。写第一版时，有不少内容必须详细阐述，现在来看，这已无必要了。例如，当时绘图仪等设备既贵又不好用，所以在第一版中，写了若干个用打印机打印曲线的程序，现在来看，这些东西已成为无用之物了。

早在几年前，著者已感到有相当多的部分有必要改写，这是著者的一种责任，因此在本职工作之余，就开始一点点地修改，现在终于有机会作为新版本出现了。

在谱分析领域，随着科学技术的进步，确实有不少引人注目的新东西。写第一版时，虽然也看到了某些东西会得到发展，但觉得它们还不够成熟，所以把内容限定于最基本的原理，书中丝毫没有涉及这些东西。因此第二版在内容上要进行“改正”的地方几乎没有。书名也与第一版相同，各章节的次序与第一版相比，几乎没有多少变化。

但是，在内容上需要作若干补充。第一版如序言中所述的，是本讲解“用于求谱”的分析方法的书，几乎没有涉及到作为谱分析主舞台的“使用谱”的分析方法。本版，则涉及地基震动和抗震设计用模拟地震动的产生等课题。虽然不很深入，但作为实际业务上使用谱的例子，增加了一些讲述。另外，从读者返回的质疑中也发现有些地方值得推敲，就这些内容也追补了一些更详细的说明。还有，第一版为了把理论与程序的内容贯穿起来，在讲解理论后立即在正文中插入程序。在新版中，为了便于那些对理论已熟知，只是想使用程序的读者更有效地利用本书，把程序都汇总到一起，成了卷末的第 11 章。

第一版书写时，尽量写得浅显易懂，便于读者阅读。因此，没按学术论文的风格写，尽量避免学术专门用语，采用易懂的语言讲解方式。虽然对专家们来说有些啰嗦，但由于受到许多读者的好评，所以第二版中仍然采用了相同的书写方式。

这次仔细阅读第一版时发现，在这 17 年中日语的措词也有了很大的变化，这种情况在第一版中还不少。新版中把这些都尽量按现代风格改写了。

本书的原稿，无论是文章还是公式，全部是用计算机打印的，图也都是用计算机绘图程序描绘的。交给出版社的只是五张软盘。

最后，借修订版发行之机，谨向格外关照著者的（株）鹿岛出版会的小田切史夫先生、服部宏先生致以衷心的感谢。

著者

1994年4月

序（第一版）

在上小学的时候人们就熟悉了白光透过棱镜后分解成七色的光谱。虹就是自然界中最壮丽的谱。谱是个不仅适用于光，而且适用于广泛的领域。谱用作反映各种事物现象的本质特征，在自然科学及工程学的各个领域得到了广泛的应用。

在抗震设计中，地震动或地震时结构的反应是重要的研究课题。把它们当作谱分析的对象，再合适不过了。但在抗震工程学领域中开始广泛应用谱这个概念还是比较近的事情。在土木工程领域中，随着高层建筑的动力设计，长大结构的出现等，谱才开始得到应用。现在，谱在实际设计中已经经常出现和利用了。

本书是关于谱分析的入门书。更详细地讲，这是一本浅显地讲解有关地震动的常见谱的种类、它们在工程学上的意义以及“为求这些谱”的分析方法而写的书。作为谱的种类，介绍了周期-频度谱、概率密度谱、傅里叶谱、功率谱、自相关函数和反应谱等。

本书以初学者容易明白和理解为目标，采用了平易细致的写法。在写作中，著者一直在考虑是否在某种程度上达到了这个目标。为了能写得浅显易懂著者尽了最大的努力，在写作中省略了一些必要的数学公式推导而用语言来解说，使读者在理论上得到提高。

即使这样，若读者仍感到有些地方还是难于理解的话，恐怕有以下两种原因。首先本书采用循序渐进的方法，从最基本的东西说起，把它们理解后，作为基础，再进入下个阶段，这是一个理解积累的过程。它不像字典的写法，无论翻开哪页都可以读懂。所以，有读不懂的地方，其原因之一就是在前面的某个地方，读者的理解消化不足。遇到这种情形，只好请读者从头再读了。

另一个难懂的原因，可能是这类入门书的一个本质问题，就是著者不了解读者在什么地方会遇到难理解的内容。当著者听自己读初中的次子问读高中的长子数学问题时，常令我这个比他们具有高深数学知识的著者为长子的教法之巧妙感到吃惊。这恐怕是高中生根据自己最近的体验，确切地知道初中生会在什么地方不懂的原因吧。本书中若出现了这一类使读者难于理解的地方，那就只能归于著者无能，恐怕不适于写这类入门书了。

前面提到，本书是讲解“为求谱”的分析方法而写的。但书名“谱分析”中，还含有“使用谱”这个方面。甚至可以说，后一个方面才是谱分析的主舞台，是谱分析的使命。

但若再讲述这方面的内容，本书的内容就会变得十分冗长，因此只在最后一章对这方面稍有触及。

若读者能以本书为起点，进入更高层的谱分析领域，著者是再高兴不过了。另外，著者也希望业务繁忙的读者能利用本书，对谱有个大致地理解，能感到它是熟悉而切身的东西。

著者

1976年6月

符 号 表

本书中表示物理量的符号,即表示其值变化的常量、变量、函数、上下标等的符号,都采用斜体字,其值不变的常量(如圆周率 π ,虚数单位 i ,自然对数的底 e 等)、运算符号(如 $\sin$ 、表示微分的符号 d 等),以及表示单位的符号,都采用正体字。

另外,本书中采用的单位制全都是一直惯用的重力单位制,没有采用 SI 单位制*。

a, b	常数、实数
A	积分常数,有限傅里叶 $\cos$ 系数,放大倍数
B	积分常数,有限傅里叶 $\sin$ 系数
c	系数,复数,阻尼系数
c_{cr}	临界阻尼系数
C	常数,复傅里叶系数,复振幅,基底剪力系数
d	震源深度
e	自然对数的底
e	体应变
E	包络函数
f	函数,频率,固有频率
F	傅里叶变换,力,傅里叶振幅谱
g	函数
g	重力加速度
G	傅里叶变换,功率谱,谱密度函数,剪切弹性模量
G^*	复刚度
h	阻尼比
H	层的厚度
i	虚数单位
i	层序号
I	冲量
I_h	谱强度
$\Im$	复数的虚部
k	次数
m	样本点序号,质点的质量
M	震级
n	次数,地基层序号
N	个数
p	传播常数
$\bar{q}_a$	标准化加速度反应谱
$\bar{q}_d$	标准化位移反应谱
$\bar{q}_v$	标准化速度反应谱

Q	剪力
R	自协方差系数, 阻抗比, 震中距
$\Re$	复数的实部
S_a	绝对加速度反应谱
S_d	相对位移反应谱
S_v	相对速度反应谱
t	时间, 时刻
T	持续时间, 周期, 无阻尼固有周期
T_d	持续时间, 阻尼固有周期
T_e	有效持续时间
u	x 轴方向的位移, 振型, 时滞域内的截断宽度
v	y 轴方向的位移, 速度
V_s	剪切波速度
w	z 轴方向的位移, 滞后窗, 数据窗
W	面积, 谱窗
x	时间历程数据, 位移, x 轴方向的相对位移
$\dot{x}$	速度
$\ddot{x}$	加速度
X	振幅, x 轴方向的体积力, 震源距
$\ddot{X}$	加速度 $\ddot{x}$ 的傅里叶变换
y	地动位移, y 轴方向的相对位移
$\ddot{y}$	地动加速度
Y	y 轴方向的体积力
$\ddot{Y}$	加速度 $\ddot{y}$ 的傅里叶变换
z	z 轴方向的相对位移
Z	z 轴方向的体积力, 频率响应函数
α	加速度, 地基的 (散射) 阻尼系数
β	地基的 (材料) 阻尼系数
γ	土的单位体积重量
∇t	时间间隔
$\nabla \varphi$	相位差分
ε	不规则指数, 误差, 剪应变, 均方
ζ	包络曲线, 冲量响应函数, z 轴方向的位移
η	粘性系数, y 轴方向的位移, 修正系数
θ	角度
λ	常数
ν	泊松比
ξ	x 轴方向的位移
ρ	自相关系数, 土的质量密度
σ	标准偏差, 法向应力
τ	时滞, (局部) 时间, 剪应力

φ 相位角
 ψ 能量损失
 ω 圆频率, (无阻尼)固有圆频率
 ω_d 阻尼固有圆频率

$\Leftrightarrow$ 傅里叶变换对

$*$ 卷积

$//$ 逆卷积

$*$ (上标) 共轭复数

H(下标) 滞后阻尼模型的

M(下标) 麦克斯韦模型的

V(下标) 沃依特模型的

※ 译注:

1 Å (埃) = 10^{-10} m

1 Gal (伽) = 1 cm/s^2

1 kine (凯思) = 1 cm/s

1 tf (吨力) = $9.8 \times 10^3 \text{ N}$

1 g = 980 Gal, 重力加速度

目 录

1 引言	(1)
1.1 谱	(1)
1.2 本书的目的	(1)
1.3 计算例和例题波	(5)
1.4 记录的数字化	(6)
2 周期-频度谱	(9)
2.1 零交法	(9)
2.2 峰点法	(14)
3 概率密度谱	(16)
3.1 概率密度	(16)
3.2 高斯分布	(18)
3.3 累积概率密度分布	(19)
4 傅里叶谱	(21)
4.1 有限傅里叶近似	(21)
4.2 傅里叶谱	(33)
4.3 巴什瓦定理	(41)
4.4 傅里叶变换的复数表示	(43)
4.5 快速傅里叶变换	(49)
4.6 傅里叶级数	(56)
4.7 傅里叶积分	(58)
4.8 傅里叶谱的意义	(61)
4.9 傅里叶相位谱	(67)
5 功率谱, 自相关函数	(74)
5.1 功率谱	(74)
5.2 谱密度函数	(76)
5.3 功率谱与零交法	(77)
5.4 自相关函数	(78)
5.5 自相关函数与功率谱	(82)
6 谱的平滑化	(85)
6.1 卷积的傅里叶变换	(85)
6.2 数据窗	(87)
6.3 谱窗	(90)
6.4 滞后窗	(94)

6.5	数字滤波器	(96)
6.6	谱窗的选择	(98)
7	反应谱	(100)
7.1	单质点系的振动	(100)
7.2	无阻尼自由振动	(102)
7.3	阻尼自由振动	(104)
7.4	冲击振动	(108)
7.5	卷积	(110)
7.6	地震动反应	(111)
7.7	反应的数值计算	(113)
7.8	地震反应谱	(124)
7.9	反应谱的表示方法	(127)
7.10	反应谱的意义	(132)
7.11	反应谱与傅里叶谱的关系	(134)
8	时域与频域	(137)
8.1	微分	(137)
8.2	积分	(141)
8.3	反应分析体系	(146)
9	地基振动	(150)
9.1	地基动力特性	(150)
9.2	地基阻尼	(151)
9.3	基本方程式	(159)
9.4	运动方程与简谐振动解	(164)
9.5	成层地基的简谐振动	(169)
9.6	放大谱	(171)
9.7	地基地震反应	(175)
9.8	缩幅	(178)
9.9	地基的剥离	(180)
10	模拟地震动	(182)
10.1	强震动特性	(182)
10.2	释放基底面上的地震动	(184)
10.3	大崎谱	(185)
10.4	模拟地震动的产生	(188)
11	计算程序	(196)
11.1	PERD (周期-频度分布)	(199)
11.2	PROD (概率密度分布)	(205)
11.3	FOUC (有限傅里叶系数)	(207)
11.4	FAST (快速傅里叶变换)	(210)
11.5	AUTO (自相关系数)	(214)

11.6	FPAC (傅里叶谱、功率谱、自相关函数)	(216)
11.7	LWIN (用滞后窗进行谱的平滑化)	(221)
11.8	SWIN (用谱窗进行谱的平滑化)	(225)
11.9	RESP (单质点阻尼系的地震反应)	(230)
11.10	IACC (加速度时间历程积分)	(234)
11.11	CRAC (加速度记录基线的修正)	(237)
11.12	ERES (地震反应谱)	(239)
11.13	DIFR (由傅里叶变换求微分)	(243)
11.14	INFR (由傅里叶变换求积分)	(246)
11.15	FESP (地基的频率反应函数)	(249)
11.16	NAFR (地基固有频率)	(255)
11.17	SRES (地基的地震反应)	(258)
11.18	ENVL (地震动的包络曲线)	(263)
11.19	OWAC (地震动的最大加速度)	(266)
11.20	VELK (地震动的最大速度)	(267)
11.21	OHSP (大崎谱)	(269)
11.22	WGEN (模拟地震动)	(276)
11.23	LAIN (按拉格朗日法进行内插)	(283)
12	后记	(289)
	索引	(290)
	译后记	(297)

1 引言

1.1 谱

提到谱,人们最先在脑海中浮现的恐怕是太阳光通过棱镜所呈现的,按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的顺序排列的美丽的七色光谱。太阳光线看起来是无色的,称为白色光,英语用 white 表示。1666 年牛顿首先观察到它通过棱镜后会分解成七种颜色。分解后的七种颜色从波长约 $8000\text{\AA}$ (埃) 的红色起,到波长约 $4000\text{\AA}$ 的紫色止,按波长的顺序依次排列。

谱的英语是 spectrum, 复数为 spectra, 形容词是 spectral, 标题中的“谱分析”译成英语是 “spectral analysis”。

谱除光谱外,还有把复杂的声音分解成单纯的声音,并按频率顺序排列的音响谱,把粒子按其质量大小的顺序排列的质量谱等多种多样的谱。

如果对谱的概念下一个最一般的定义,可以说谱是把具有复杂组成的东西分解成单纯的成分,并把这些成分按其特征量的大小依序排列的东西。

概率统计理论中称为频度分布或概率密度的东西也是一种谱。学校考试后把班上学生的成绩按 5 分、4 分等分组,所得到的成绩统计表也可以叫做成绩谱。

仔细观察白光的谱可以发现,它不像孩子们画的彩虹那样,色与色之间的分界那么清楚。例如,从红色到橙色,或从绿色到青色等都是逐渐变化的,即颜色的变化是连续的。因而这类谱叫做连续谱。与此相反,钠发出的光谱,则清清楚楚地只是一条黄色的光线。还有,氢原子发出光的谱,是由红、青、蓝、紫四条光线组成的。这种由不连续的、离散的线条所组成的谱叫做非连续谱或线谱。

一般来说,谱的排列状态与发光物质的微观结构有密切的关系,所以根据谱分解,可以探索物质世界的信息。这种物理学上常用的研究方法就是普通的谱分析。借助天体发的光,在探索天体及周围物质的状态时,也广泛地使用谱分析法。

1.2 本书的目的

当然,这本入门书并不打算讲解光的谱分析。本书的目的是要介绍对我们来讲更切合实际的、抗震工程学中关于地震动的谱分析问题。

不过,由于光也是一种电磁波,所以光的谱分析与地震动的谱分析在本质上并没有什么区别。事实上,在地震波的分析中有很多术语就是直接借用光谱分析的术语,像线谱、分辨率等。不同之处,就是两者的波长不同,光的波长的数量级约为万分之一毫米左右,是以埃 ($1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$) 为度量单位,而地震波的波长为几十米到几百米。

在抗震工程学的理论中,常把结构物、地基等看作是种电路,借用与电路有关的术语,

如阻抗、导纳等。实际上这儿所讲的地震波的谱分析与这种抗震工程学中的阻抗、导纳等也有非常密切的关系，但在本入门书中几乎不涉及这种高深的内容。

先来看图 1-1。它是高层建筑的动力分析中常采用的，读者大概已很熟悉的，至少它的名字多次听到过的波。该波是 1940 年 5 月 18 日在埃尔森特罗 (El Centro) 记录到的加速度波的 NS (南北向) 分量。最大加速度是 326Gal，图中持续时间截止在 8s 处，实际上还继续有长时间的小振动。

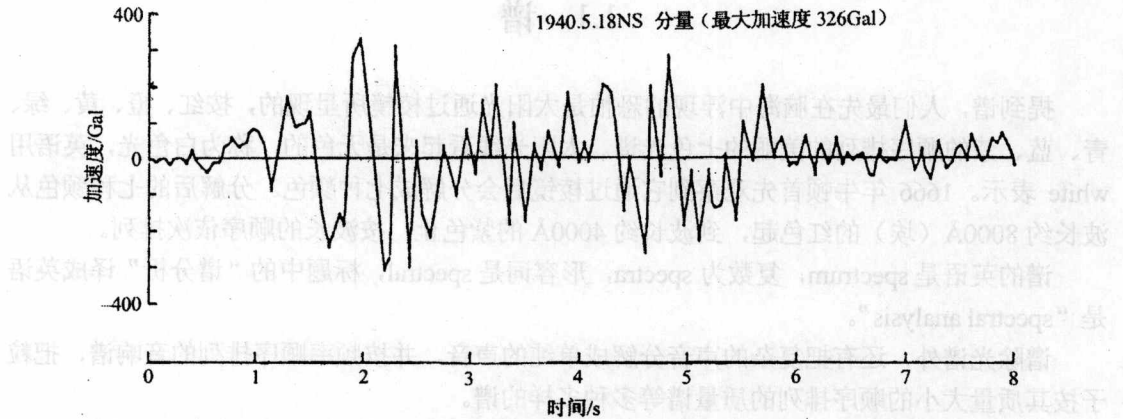


图 1-1 埃尔森特罗地震波

Gal (伽) 是加速度单位, $1\text{Gal}=1\text{cm/s}^2$ 。所以, 重力加速度 $1g=980\text{Gal}$, 静力抗震设计中所采用的 $0.2g$ 就是

$$0.2 \times 980 = 196 \text{ Gal}$$

类似地也用 kine (凯恩) 作为地震动速度的单位, $1\text{kine}=1\text{cm/s}$ 。Gal 这一单位源于曾因宣告“不论怎样, 地球在运动”这一名言的伽利略 (Galileo Gallei) 的名字, 但 kine 的语源则不清楚, 著者猜想大约是起源于表示运动的单词 kinetic 吧。

图 1-1 中的埃尔森特罗地震波由于以下缘故而有名。以前当大地震发生时, 地震仪这种精密仪器的指针早被震飞了。所以, 没有得到任何大地震的记录。即使是有名的关东大地震 (1923 年) 的记录, 虽然最近对它进行了种种复原的尝试, 但实际上并不存在真实的记录。于是制造了强震仪 (strong-motion accelerometer)。强震仪被设计成即使在发生破坏性大地震时, 其自身也不会被损坏, 能真实地记录到地震动的波形。从这点上讲, 它与飞机坠落时仍能真实记录下航迹的飞行记录器是相似的。

美国在 20 世纪 30 年代初期, 主要在加利福尼亚州各地开始设置这种强震仪, 直到 1940 年出色地记录到了最大加速度超过 300Gal 的强震动。这就是图 1-1 所示的记录。它才能说是“人类最初捕捉到的强震真面目”。一般把这次地震叫做埃尔森特罗地震, 其正式名称是 1940 年帝谷 (Imperial Valley) 地震, 震级 $M=7.1$, 取得该地震记录的街名才是埃尔森特罗。

如图 1-2 加利福尼亚州地图所示, 埃尔森特罗街位于因夏季炎热而有名的帝谷南端, 很接近墨西哥。作者从圣地亚哥 (San Diego) 市驱车 150km , 特意访问了埃尔森特罗。虽说是谷, 但和想象中日本狭窄的山谷完全不同, 几乎看不见两边的山, 是一大片平地, 从笔直的高速公路上可看到散落的农家屋顶。埃尔森特罗就是这一农村地带的一条中心街。在那里

的一个变电所（图 1-3）的地下室内至今仍安置着纪念性的强震仪。



图 1-2 加利福尼亚州地图

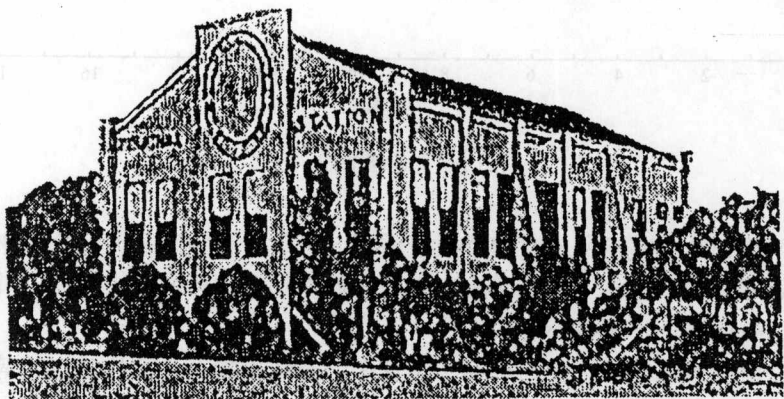


图 1-3 南希阿拉电力公司埃尔森特罗变电所

图 1-2 中除埃尔森特罗外，还标出了大家熟知的地名塔夫特（Taft）。在 1952 年 7 月 21 日阿尔文-塔哈查皮（Arvin-Tahachapi）地震时在塔夫特记录到了 EW（东西）方向最大加速度为 147 Gal 的地震。

再来看图 1-1。地震波的特性中，对抗震工程有重要意义的量是地震波的
i) 最大振幅；

ii) 持续时间;

iii) 包络曲线;

iv) 波数;

v) 振动周期;

vi) 能量。

i) 最大振幅 (maximum amplitude), 当已知地震仪的灵敏度时, 只要把标尺对准地震仪描绘出的记录, 从比长仪就可立即读到它。

ii) 持续时间 (duration), 因记录中大多数含有时间刻度, 所以可直接得到它。

iii) 包络曲线 (envelope curve), 如图 1-4 粗线所示, 它是大致包围波形的曲线。地震波形在开始的一段振幅急剧增大, 其后持续一段振幅似乎不变的大振幅波, 然后振幅逐渐衰减直到零。包络线的直线部分表示在该时间区间持续着称为主震 (principal shock) 的大振幅波。

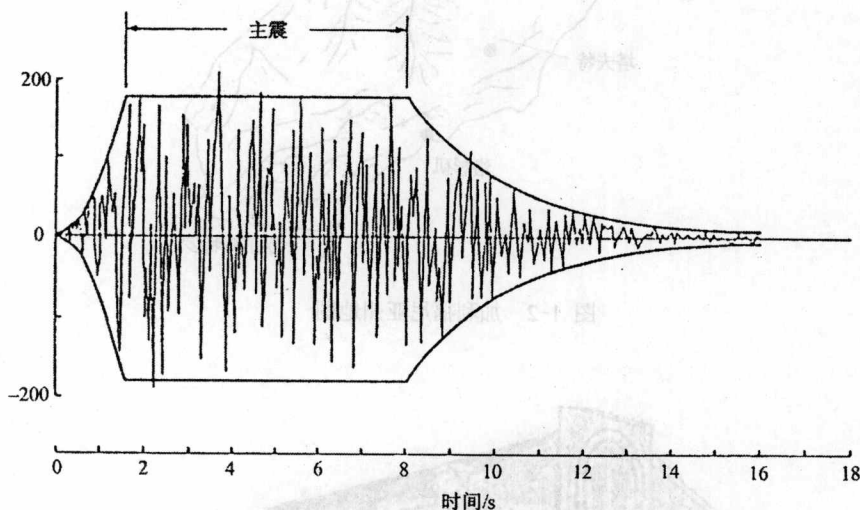


图 1-4 包络曲线

iv) 波数, 特别是主震中所含波的个数很重要, 可从主震中所含波的个数来粗略估计。

v) 振动周期, 例如图 1-1 的地震波, 它是由哪些频率成分的波组成的? 其中哪些成分的波卓越呢? 这些问题一下子搞不明白。

vi) 能量, 就更难估计了。更何况对于像这个波对结构物有什么样的影响等问题, 若仅看记录实际上是根本无法搞清楚的。对于初次接触图 1-1 所示埃尔森特罗地震波的读者来说, 怎么也想象不到, 该波中隐含着周期长达 2.5s 的波的分量, 因此它对高层建筑有严重影响。

这正像看起来没有一点出奇地方的白光, 通过棱镜就会呈现出七色光一样, 谱分析的目就是把原本不甚了解的地震波记录, 施加某种操作, 使该波的性质清晰地呈现出来, 同时也也就给出了一种有效的方法以考虑该波对结构物的影响。另一方面, 从观测到的波的谱, 也可以调查该波的来历, 如该波传播的途径, 以及途中受到了那些影响等。

该入门书是一本学习有关地震波的谱分析的书。谱中包含有许多内容, 希望读者通过实际操作对其重要的内容能有所接触, 并尽可能搞清楚它们之间的关系。为此必须掌握复数运