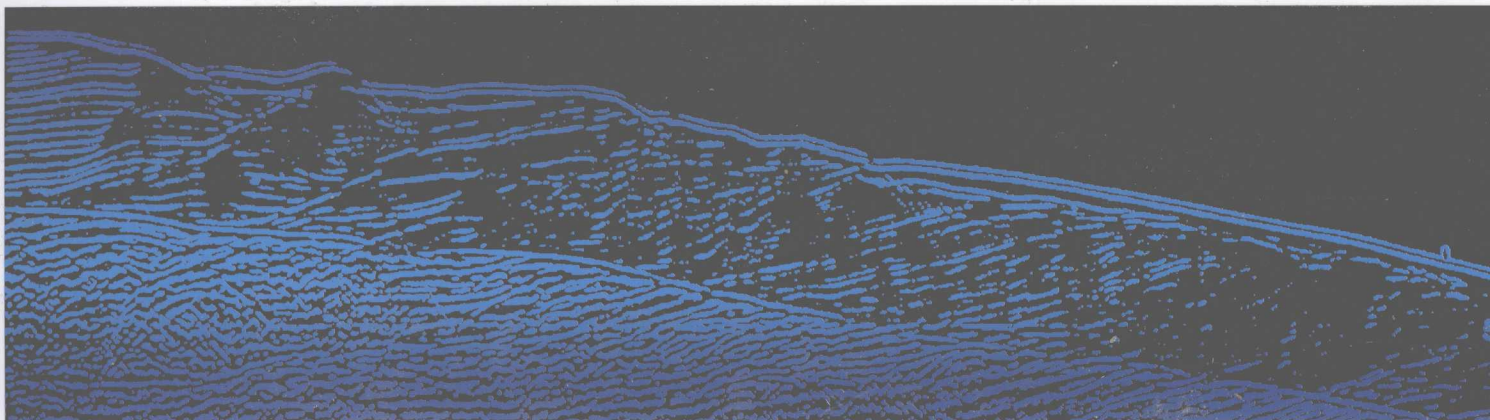




地震灾害比较学

叶耀先 冈田憲夫 著



**Earthquake Disaster
Comparatology**

中国建筑工业出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

地震灾害比较学/叶耀先, 冈田宪夫著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09697-8

I. 地… II. ①叶…②冈… III. 地震灾害-对比研究-
世界 IV. P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 150751 号

本书侧重地震灾害的比较研究。除比较方法以外, 主要从地震和地质, 建筑物和生命线系统以及非结构的地震性状, 减轻地震灾害风险, 灾后恢复重建, 建设抗灾城市, 以及防灾和灾害应急管理等方面进行比较。比较研究主要针对 1976 年中国唐山地震和 1995 年日本阪神-淡路地震, 20 世纪 90 年代前后发生在美国、土耳其、印度、墨西哥和我国台湾的破坏性地震也列入了比较的范围。

本书可供从事地震减灾、工程抗震和地震工程的科研、教学、规划、设计、施工和管理人员以及有关政府部门官员参考。

责任编辑: 唐 旭

责任设计: 董建平

责任校对: 王 爽 兰曼利

地震灾害比较学

Earthquake Disaster Comparatology

叶耀先 冈田宪夫 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京永峥排版公司制版
北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 14 $\frac{3}{4}$ 字数: 472 千字

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月第一次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-09697-8

(16361)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码: 100037)

前言

本书是在中日合作研究成果的基础上撰写的。合作研究项目为“亚太地区减轻地震和海啸灾害技术开发及其整合”(Development of Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation Technologies and their Integration for the Asia-Pacific Region, 简称EqTAP)。这是日本政府资助的大型科研项目,亚太地区有14个国家和地区参与研究。该项目在经过一年的准备以后,于日本1999财政年度正式启动。项目的总负责人是京都大学防灾研究所教授、减轻地震灾害研究中心主任龟田弘行(Hiroyuki Kameda)先生。本书著者叶耀先(Ye Yaoxian)自1999年起就参与该项目的研究,应龟田弘行教授邀请,担任该项目的国际顾问,并根据中国建筑技术研究院(现中国建筑设计研究院)和京都大学防灾研究所签订的合作协议,和本书著者京都大学防灾研究所冈田宪夫(Norio Okada)教授在项目的第一阶段(1999~2001财政年度)共同负责子项目2(1)“城市灾害风险管理”研究,在项目的第二阶段(2002~2003财政年度)共同负责子项目3“城市和系统规划”研究。

2000年6月至9月,应龟田弘行教授、冈田宪夫教授和铃木祥之教授的邀请,本书著者叶耀先作为京都大学防灾研究所的客座教授,在该研究所与本书著者冈田宪夫教授进行合作研究。2002年9月至12月,应本书著者冈田宪夫教授邀请,本书著者叶耀先作为京都大学防灾研究所客座教授,再次到该研究所与冈田宪夫教授进行合作研究。在合作研究期间,用英文撰写了《Integrated Earthquake Disaster Risk Management—Comparative Study between Tangshan (China) and Hanshin-Awaji (Japan) Earthquakes》(《整合地震灾害风险管理—中国唐山地震和日本阪神-淡路地震比较研究》)书稿。

本书由叶耀先主持并参与将英文书稿译成中文,并在中文译稿的基础上,做了较多的补充。一是增加了3章:即第2章灾害比较的数学方法、第9章中国-日本防灾和灾害应急管理比较以及第10章非结构地震性状。二是把房屋建筑和生命线系统的地震性状一章分成了两章。这样,本书共分为10章。第1章导论;第2章灾害比较的数学方法;第3章地震和地质;第4章地基、基础和房屋建筑的地震性状;第5章生命线系统的地震性状;第6章降低地震风险;第7章灾后恢复重建;第8章建设抗灾城市;第9章中国-日本防灾和灾害应急管理比较以及第10章非结构地震性状。

本书著者叶耀先感谢京都大学防灾研究所,特别是龟田弘行教授、冈田宪夫教授和铃木祥之教授为他提供的在日本合作研究的机会和由此而引发的本书的诞生。本书著者冈田宪夫感谢中国建筑设计研究院,特别是叶耀先教授为他提供的在中国进行合作研究的机会。著者感谢中国科学院院士胡聿贤教授、中国工程院院士陈厚群教授和中国科学院院士周锡元教授对本书撰写的鼓励,感谢胡聿贤教授为本书撰写序言,感谢中国建筑工业出版社唐旭编辑对本书出版给予的多方面的支持,感谢

周林洁、贾岚、叶红、叶宁和刘慧梅等在把英文书稿翻译成中文方面付出的辛勤劳动。两次去日本合作研究，本书著者叶耀先的夫人钮泽蓁教授都随同前往，对于她在富于挑战的日本生活和工作环境中给予的支持，表示衷心感谢。

本书著者叶耀先感谢日本滋贺县立大学（The University of Shiga Prefecture）教授藤原悌三（Teizo Fujiwara）先生。20 世纪 90 年代，他在京都大学防灾研究所担任教授期间，作为中日合作项目“减轻城市地震风险”的日方负责人，曾经邀请叶耀先参加 1997 年 10 月在中国西安召开的项目期中研讨会和 1998 年 11 月在日本彦根滋贺县立大学召开的项目总结研讨会。在 1997 年的西安研讨会期间，藤原悌三教授邀请叶耀先参加了与会日本专家的晚间聚会，叶耀先是与会的惟一的非日本专家。在他下榻的不大的标准房间里，近 20 个人随机坐立。叶耀先和龟田弘行教授并肩席地而坐，通过交谈，使他们回忆起 20 世纪 70 年代末在美国的初次见面。在 1998 年的总结会上，叶耀先和龟田弘行教授分别被邀为主旨报告人。藤原悌三教授唤醒了叶耀先和龟田弘行教授的友谊，并使他们在 EqTAP 研究项目中结下了不解之缘，从而为本书的问世播下了种子。

本书著者叶耀先还感谢京都大学防灾研究所教授多多纳裕一（Hirokazu Tatano）先生在两次去日本合作研究期间给予的诸多帮助。

叶耀先 岡田憲夫

2007 年 4 月 28 日

序 言

我和本书著者叶耀先教授的相识，始于1965年新疆乌鲁木齐博克多山地震调查。以后，曾有过多次合作。时间最长的是1974年颁发的《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11-74（试行）编制期间，我们两个人，在建设部代代红幼儿园的大房间里，住了一个多月。

叶耀先教授自20世纪60年代以来一直从事地震工程研究和抗震防灾工作。1970年代以后，曾和美国斯坦福大学 John A. Blume、地震工程研究中心主任 Haresh S. Shah、加州大学伯克利分校 Henry Lagorio 教授，日本京都大学防灾研究所藤原悌三教授、岡田憲夫教授，日本京都大学防灾研究所教授兼地震减灾研究中心主任亀田弘行教授等从事地震减灾合作研究，曾在国内外发表中、外文论文百余篇，编著和翻译书籍8册。曾在前联合国救灾署（UNDRO）和国际地震工程学会（IAEE）组织编写的书籍和美国 Louisville 大学 Mario Paz 教授主编的书中撰写专章。1975年辽宁海城地震以后，从中国建筑科学研究院调到当时的国家基本建设委员会任抗震办公室副主任。1976年唐山地震以后，组织全国抗震科技人员赴唐山调查，以后负责全国的抗震减灾工作，特别是既有建筑物的抗震鉴定和加固工作，直至1985年，调到中国建筑技术研究院任院长。

认识源于实践。中国唐山和日本神户都是对发生大地震没有准备的城市，因而在地震中蒙受了巨大的灾难。人们从一次又一次的地震灾害中，获得了如何抗御地震灾害的知识，验证了抗御地震灾害的发现。从这个意义上来说，地震灾害催生了地震工程学和工程地震学，并且不断地推动着有关抗御地震灾害科学的发展。因此，从地震灾害的实践、研究、总结和吸取经验教训是减轻地震灾害科学发展的基本源泉。

地震灾害属于巨灾类型。灾害性地震在同一个地点的发生概率很低。生活在地震危险地区的居民，终生都可能遇不上一次强烈地震，甚至几代人也感受不到地震的威力。因而，地震灾害血的教训常常被灾害发生地的人们淡忘，其他地震区的人们也难以共享。正因为如此，对发生在不同国度的地震灾害，进行分析比较，总结经验教训，供全球地震危险地区的居民分享，从而增加他们对如何抗御地震灾害的认识，确实是减轻地震灾害的一项最为基础性的工作。本书就是在这方面做出的又一次努力。

本书是在“亚太地区减轻地震和海啸灾害技术开发及其整合”（EqTAP）研究成果的基础上撰写的。著者认为，在减轻地震灾害方面，我们面临的严重挑战是：灾害经验教训不断重现，灾害损失与年俱增，防灾技术与实际脱节。为此，书中提出了灾害比较学、灾害分担技术和实施技术等新的减轻地震灾害的前沿技术；提出了灾害比较的数学方法，应用拓扑指数、图论和生态位等方法对唐山和阪神-淡路地

区生命线系统的地震性状做了比较；根据 1976 年中国唐山地震和 1995 年日本阪神-淡路地震，以及 20 世纪 70 年代以后发生在美国、土耳其、印度、墨西哥和我国台湾的破坏性地震震害，从地震和地质，建筑物和生命线系统的地震表现，非结构地震性状，减轻地震灾害风险，灾后恢复重建，建设抗灾城市，以及防灾和灾害应急管理等方面进行了系统的比较研究；试图填补现有技术和知识同实际应用之间的空缺，建立地震灾害比较学。

本书收集了大量的数据，并做了科学的分析，内容紧密联系实际，从案例分析上升到理性认识，具有较好的应用和科学价值，对促进减轻地震灾害科学的发展具有重要意义。希望本书能对从事地震减灾工作的同行有所裨益。

胡聿贤（中国科学院院士）

2007 年 5 月 6 日

《地震灾害比较学》作者简介



叶耀先 (Ye Yaoxian) 教授

中国建筑设计研究院顾问总工程师，教授，1935年生，主要从事抗震减灾和可持续建筑研究，曾在前苏联列宁格勒工学院实习1年，北京大学进修2年。他是国家减灾委员会专家，建设部城市建设防灾减灾专家委员会委员，北京师范大学兼职教授，中国建筑学会和中国土地学会顾问。曾任国家建委抗震办公室副主任，中国建筑技术研究院院长，美国威斯康星大学灾害管理中心国际顾问，联合国救灾署国际专家组成员，联合国开发计划署、世界银行和亚洲开发银行咨询顾问，日本“亚太地区减轻地震和海啸灾害技术开发及其整合”(EqTAP)大型研究项目国际顾问，京都大学客座教授，同美国斯坦福大学和加州伯克利大学，以及日本京都大学做过合作研究。



岡田憲夫 (Norio Okada) 教授

日本京都大学防灾研究所教授，1947年生，主要从事灾害风险管理和实施科学研究，曾在奥地利国际应用系统分析研究院 (IIASA) 从事2年研究，在美国檀香山东西中心作过1年访问学者。他是日本灾害学会会长，中国北京师范大学、长春师范大学、重庆交通学院和加拿大滑铁卢大学客座教授，曾任鸟取大学教授。他是经济合作和开发网络委员会顾问组成员，通过国际风险管理协会科技委员会和国际应用系统分析研究院参与多个国际合作研究项目。

目 录

第1章 导论

1.1 地震和地震成因	1
1.2 地震的宏观现象	2
1.3 地震灾害	3
1.4 地震灾害的特点和减轻地震灾害面临的问题	4
1.5 解决减轻地震灾害面临问题的构想	5
1.6 地震灾害比较学的内涵	7
1.7 比较研究地震的基本情况	8
1.8 灾害风险管理名词术语	11
1.9 唐山地震和阪神-淡路地震的经验教训	13
1.10 比较研究地区的特点	14
1.11 中国、日本和美国的大地震灾害	16
1.12 结语	19
参考文献	21

第2章 灾害比较的数学方法

2.1 拓扑指数法	23
2.2 生态位法	28
2.3 图论法	32
参考文献	34

第3章 地震和地质

3.1 地震	36
3.2 地质	39
3.3 余震	41
3.4 地面破坏	43
3.5 强地面运动	47
3.6 场地反应	49
3.7 结语	52
参考文献	54

第4章 地基、基础和房屋建筑的地震性状	
4.1 地基	56
4.2 基础	57
4.3 加筋土	59
4.4 地基加固	60
4.5 房屋建筑	60
4.6 结论	74
参考文献	75

第5章 生命线系统的地震性状	
5.1 交通系统（铁路和公路）	77
5.2 水库、水闸和扬水站	85
5.3 港口	87
5.4 地下结构	88
5.5 煤气传输系统和供热系统	88
5.6 供水系统	91
5.7 排水系统	97
5.8 供电系统	100
5.9 通信系统	102
5.10 机场	105
5.11 震后火灾	105
5.12 结语	106
参考文献	109

第6章 降低地震风险	
6.1 风险识别和减灾规划	110
6.2 应急反应	111
6.3 规范、标准和规程	113
6.4 新技术应用	122
6.5 城市规划	124
6.6 房屋建筑和工程抗震加固	127
6.7 金融工具	130
6.8 结语	134
参考文献	137

第7章 灾后恢复重建	
7.1 引言	140
7.2 生活恢复	141
7.3 恢复重建政策	142
7.4 临时住房	144

7.5	住房重建	145
7.6	经济复兴	146
7.7	恢复重建模型	147
7.8	恢复重建经验	148
7.9	结语	150
	参考文献	152

第8章 建设抗灾城市

8.1	地震造成的人员伤亡分析	153
8.2	决策制定	156
8.3	资源管理	157
8.4	城市规划和恢复重建规划	157
8.5	经济损失分析	160
8.6	社会恢复	163
8.7	灾害垃圾管理	170
8.8	采用环境友善技术	171
8.9	结语	171
	参考文献	173

第9章 中国-日本防灾和灾害应急管理比较

9.1	引言	174
9.2	日本防灾和灾害应急管理的体制和对策	175
9.3	中国防灾和灾害应急管理的体制和对策	182
9.4	日本防灾经验和对中国的启示	185
9.5	结语	191
	参考文献	191

第10章 非结构地震性状

10.1	引言	192
10.2	非结构地震安全的重要性	192
10.3	建筑非结构	198
10.4	机械非结构	207
10.5	电气非结构	211
10.6	非结构震害控制	212
10.7	非结构抗震设计规定	215
10.8	结语	217
	参考文献	217

	全书参考文献	219
--	--------------	-----

第1章 导论

1976年中国唐山地震和1995年日本阪神-淡路地震,以及本书比较研究所涉及的地震,都给人类和其他生物种群,以及我们的生存环境带来了巨大的灾难,夺走了数十万人的生命,使我们失去了许多无可替代的宝贵的东西,我们不得不为大自然的威力所震撼。通过研究和比较这些大地震灾害,我们发现我们有许多值得反省的地方,我们也从中领悟了许多宝贵的经验和教训。我们深信,只有谦逊地向大自然学习,我们才有可能同大自然和谐共生。

随着世界经济的发展,城市地区的规模正在迅速扩大,人口正在快速增加,在发展中国家尤其如此。对于这些正在发展中的城市,城市发展决策,需要特别慎重。因为这些决策,可能会在很大程度上影响到这些城市抗御未来地震灾害的能力。为了成功地实施城市发展规划,城市的政府必须要评估地震灾害风险,预测未来采取减灾措施和不采取减灾措施的风险情况,注重减灾措施的长远成效。

如何管理好一座现代城市,特别是一座大型城市和城镇群,是我们面临的一项紧迫的任务。我们必须通过协调发展和可持续管理,使我们的城市能抵御地震灾害,保证城市安全。本书是在“亚太地区减轻地震和海啸灾害技术开发及其整合”(Development of Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation Technologies and their Integration for the Asia-Pacific Region,简称EqTAP)大型科研项目研究成果的基础上写成的,试图从地震灾害比较研究中引证和总结出重要的经验教训,以用于城市防灾风险管理,减轻未来地震对现代城镇地区可能造成的灾难性后果。本书着重对1976年中国唐山和1995年日本阪神-淡路地震的灾害进行比较研究,但为了拓展视野,对20世纪70年代以后发生在美国、土耳其、印度、墨西哥和中国台湾地区的

破坏性地震引发的灾害也进行了比较和思考,试图从中得出一些有启示的经验教训。

我们希望用这种方法来共享减轻地震灾害风险方面的经验,这不仅有助于中国和日本防范地震灾害,而且使世界上的其他国家,尤其是亚太地区的国家也能从中受益。本书重点研究多层次城市系统的交叉科技问题,比如地震灾害风险识别和评估、减轻风险、综合风险管理、灾后恢复重建以及建设抗灾的城市等。

1.1 地震和地震成因^[1]

地震(earthquake)是地球表层的突然而强烈的快速振动,又称为地动,它是地球上经常发生的一种自然现象。全世界每年大约发生500万次地震,其中,人能够感觉到的地震只有5万次左右。据统计,全世界平均每年发生18次能造成严重破坏的大地震,而特大的地震平均每年只有一次。中国地震烈度为7度以上的地震区面积达312万 km^2 ,占全国国土面积的三分之一。近90多年来,中国已经发生过600余次6级以上破坏性地震,平均每年约为5次多。日本的国土面积虽然仅为全球面积的0.25%,但发生的地震次数占全球的比重却很高。例如,1994~1998年,全世界发生6级以上地震454次,其中95次发生在日本,占全球总数的20.9%。^[2]

许多现象都可以引起地震。根据引起地震的现象不同,地震可以分为以下4类:

(1) 火山地震,系指火山爆发时,由于岩浆猛烈喷出而引发的地震;

(2) 陷落地震,系指岩石(如石灰岩)被地下水溶解或由于其他原因形成洞穴,其顶部岩层陷落而引发的地震;

(3) 爆破地震,系指地下爆炸所引发的地震;

2 地震灾害比较学

(4) 构造地震,系指由于地壳的构造运动所引发的地震。这种地震与地壳中的大规模应变有着密切的联系。由于它发生频度高,释放能量大,影响范围广,所以对工程建设的影响最大。可以说,迄今为止,累次给人类带来灾难的正是这种构造地震。我们常说的抗震,也是指抗御构造地震。

关于构造地震的成因,目前有许多种学说,尚无定论。造成这种情况的主要原因是,当今科学水平尚处在“上天有路,入地无门”的阶段。人们已经能够通过卫星登上其他星球,但地下能够直接探测的深度,却只有十多公里。而地震的震源深度,即使是浅源地震,也在10~30km之间。在震源深度的范围,目前我们还只能通过地震波去了解。所谓“地震是照亮地球内部的一盏明灯”就是这个意思。

目前流行最广的地震成因学说大体有两个:一个是断层学说,一个是岩体相变学说。

断层学说认为,地震是由断层滑动引起的。它的主要依据是1910年美国约翰斯·霍普金斯(Johns Hopkins)大学的莱德(Henry Feilding Reid)教授根据1906年旧金山地震圣-安德烈斯(San Andreas)断层地表位移提出的“弹性回跳理论”(elastic rebound theory)。他指出:“岩石在弹性应变没有超过其极限应变时,发生破裂是不可能的。由此可见,在地球的很多部位,地壳在缓慢地移动,而邻近地区位移之差就形成了弹性应变,这种应变可能超过岩体能够承受的应变值。这时,岩体就会发生破裂,并且受到应变的岩体在其本身的弹性应力作用下回跳,直至应变大大减少或完全消失。在大多数情况下,断层两侧的弹性回跳方向相反”。断层首先发生破裂的那一点就是震源。破裂以某个速度迅速沿断层向相对方向移动,遂形成地震。^{[3],[4]}

岩体相变学说认为,地震是由于伴随地壳较小体积内的体积变化的岩体相变所引起。^{[5],[6]}岩体达到平衡的体积变化可能是由于岩石静压力的显著变化所致。这种静压力的变化来自物质向地球表面转移或离开地球表面的迁徙运动。或者也可能由于冰川或水库蓄水等巨大荷载的存在或移走所造成。

目前还缺乏有说服力的资料来证实上述两种学说。但是,也许可以设想,不同的构造地震有不同的产生机理。支持岩体相变学说的人们认为,断层学说是站不住的。理由是,在地下几百公里深处,由于高温及高压,几乎不可能有地质断层。实际情况是,有些地

震的震源深度可达600~800km。他们由此认为,至少有些地震是同断层无关的。但是,另一方面,1934~1963年发生在美国南加州的地震则有力地说明,至少这些地震大部分是由于地质断层的滑动所产生。此外,近些年来对地震记录的精确分析证明,断层滑动确是一种发震机理。^[7]

根据断层滑动引起地震的学说,1965年,美国豪斯纳尔(Housner, G. W.)教授在对岩石的力学性质采取某些假定之后,曾经断言,地震引起的最大可能的地表加速度为0.5g(这里g为重力加速度)。^[8]按照岩体相变学说,地面加速度上限不好确定,但最大地面运动速度却要受岩石破裂应变和剪切波速度的限制。1968年,美国纽马克(Newmark N. M.)教授根据一般岩石力学性质算出的最大水平方向地面运动速度为1~3m/s。^[9]安布拉西斯教授(Ambraseys N. N.)则认为,这个上限在1.0~1.5m/s之间。^[10]

1.2 地震的宏观现象

地震时,强烈的运动常常造成地面破坏,建筑物倒毁,生命线系统失去功能,有时还会间接引发火灾,并使人员无法行动。发生在海中的地震可能引发海啸。人们对地震的认识就是从这些宏观现象开始建立的。

1.2.1 地面破坏

强烈地震震中区的地面,在几十到几百公里的长度上,会沿断层发生相对的水平或竖向错动。例如1970年1月5日中国云南通海地震(震级为7.7级),震后沿曲江形成了全长54km,断距为2m的新断层。

强烈地震时,地面会发生强烈变形,例如1970年通海地震时造成的地面塌陷有的宽达20~30m,长达200多米,下沉深度达6.5m。

地震时,在非岩质高山峡谷地区往往会引起山崩地滑。1933年8月25日,中国四川省迭溪地震后,巨大的山崩在峡谷中筑成了一个天然的堤坝,堵塞了岷山河道,形成了一个“地震湖”,45天后(10月9日),河水漫过堤坝,使堤坝突然崩溃,洪水倾泻而下,造成严重水灾。又如1970年通海地震时,由于地面滑移,使河坎村16户人家的房屋推移了大约100m。

1965年11月22日中国云南禄劝发生巨大的山崩,1.7亿立方米的岩石土块滚下,滑行了数公里,崩塌的最大高差达1800m,堆积物高达180m,底面积达2.6km²。根据仪器记录,这次山崩相当于一次

3.5 级地震。

地震往往会形成地面裂缝,有时地裂缝区可达几十万平方公里,在河岸附近特别发育。地震时,人、畜掉进裂缝的几率极小。那种地震时地面裂开,人、畜掉进后,裂缝又合拢的说法是缺乏根据的。

地震时,在地下有饱和砂土或饱和含黏粒砂土的地区,常常会出现喷水冒砂现象,即饱和土液化现象,冒出来的砂常会毁坏农田和机井。

1.2.2 建筑物破坏

地震最主要的危害是由于地动和其他原因造成建筑物和工程设施的破坏和倒毁,这是地震造成人员伤亡和经济损失的主要原因。例如1976年7月28日中国河北唐山7.8级地震,使3 000多万 m^2 房屋遭到破坏或倒塌。唐山市区地震烈度为X度和XI度,全市1 346万 m^2 房屋中,倒塌和严重破坏的有1 147万 m^2 ,约占85%。其中,生产用房共842万 m^2 ,倒塌和严重破坏的有671万 m^2 ,占80%;生活用房共503万 m^2 ,倒塌和严重破坏的有476万 m^2 ,占94%。极震区房屋建筑尽皆倒塌,几乎成了一片瓦砾。天津市区和塘沽地震烈度为VIII度,汉沽为IX度,全市有4 300多万 m^2 房屋,倒塌和严重破坏的达1 100万 m^2 ,占40%,主要是解放前的旧楼房。北京市地震烈度为VI~VII度,全市有840万 m^2 房屋被震坏,占市区房屋总数的10%左右,主要是解放前建造的旧平房的墙壁倒塌。我国农村房屋抗震能力普遍较差,有些房屋,如土拱窑,遇到VII度地震影响就要倒塌。

1.2.3 海啸

在海中或沿海岸发生的大地震,有时会在海面上形成长周期的波,周期可达数十分钟,甚至一小时以上。当这种海浪袭击岸边时,就会形成海啸。高达数米至十余米的海浪席卷海岸,常常将沿岸洗劫一空。例如,从1900年到1970年的70年间,在太平洋就发生过180次海啸,其中有35次在附近海岸酿成灾害。

2004年12月26日当地时间上午7时58分53秒,在印度尼西亚北苏门答腊岛西海岸发生8.2~9.0级地震,震中位于北纬3.32°,东经95.85°海中。这是自1900年以来全世界发生的第4个最大的地震。地震引发的海啸影响到东南亚、南亚和东非地区10多个国家,印度尼西亚、斯里兰卡、印度、泰国等国灾情最为严重。^[11]截止2005年2月22日,受灾国家政府和联合国的资料显示:海啸夺走了287 046人的生命,

其中:169 752人死亡,127 294人失踪。^[12]

当海浪袭击海岸时,特别是冲入海湾、河口及狭窄的堤岸内时,海浪高度将进一步增高。在夏威夷,曾见到高达16.8m的海啸。然而,在浅海区形成的巨大海浪,由于水中形成的旋涡及海底的摩阻力,使能量逐渐消耗,因此,浅海区越宽,对削弱海啸就越有利。我国沿海浅海大陆架广阔,形成了防止太平洋方向来的海啸的天然屏障。1960年智利大地震,在智利、夏威夷和日本海岸都形成了巨大的海啸,而对我国却影响不大,可能就是这个缘故。

1.2.4 火灾

地震时由于没有熄灭的火源、燃气泄漏及易燃、易爆物品的诱发可能造成火灾。例如,1906年美国旧金山地震造成40亿美元损失,其中80%以上是由于火灾所致。又如,1923年日本关东地震,烧毁房屋47万7千栋,许多人死于火灾。中国1976年唐山地震,震后引起多处起火,幸震后降雨,未酿成火灾。1995年日本阪神-淡路地震后的4天内,神户市共发生148起火灾,烧毁面积达660 000 m^2 ,6 900栋房屋化为灰烬。

1.2.5 人感不适

强烈地震时,往往先听到低沉的轰隆声,如闻远处闷雷。随后地动山摇,人感头晕,站立不稳,开始摇晃,甚至跌倒。有些心脏病患者,因惊吓而死亡。

1.3 地震灾害

地震灾害取决于它所袭击的是什么样的地区,假如地震发生在人烟稀少的地区,生命财产损失极少,或者完全没有。但是,如果地震所袭击的是一个现代化的大城市,则会造成生命财产的巨大损失。

强烈地震通过上述宏观现象给人类带来巨大的灾难。据联合国救灾署的一个资料中说,自公元1 000年以来,地震夺走了500多万人的生命。从1926年到1950年的25年间,因地震而死亡的人数为35万人,即大约每年15 200人。1949年至1968年间因地震而死亡的人数有所下降,约为7万5千人,即大约每年震亡4 000人。许多次强震所造成的灾难使人触目惊心。1970年5月31日秘鲁地震,5万4千人死亡,15万人受伤,170万人无家可归。1923年9月1日日本关东地震,14万人死亡。1966年4月25日前苏联塔

4 地震灾害比较学

什干地震，虽然只有 10 人死亡，但却有 1 000 人受伤，2 万 8 千栋楼房破坏，25 万人无家可归。自 20 世纪以来，平均每年因地震而死亡的人数约 2 万 4 千人。然而，自 1975 年以来，地震灾难特别严重，因为破坏性地震袭击了危地马拉、印度尼西亚、意大利、土耳其、罗马尼亚和中国的人口密集的地区。表 1.1 为一些大地震所造成的死亡人数。

大地震死亡人数统计表 表 1.1

发震年代	发震地点	国别或地区	死亡人数
1556	陕西华县	中国	830 000
1693	西西里	意大利	60 000
1730		日本	137 000
1737	卡尔寇塔	印度	300 000
1755	里斯本	葡萄牙	60 000
1783	卡拉伯瑞	意大利	50 000
1797		秘鲁，厄瓜多尔	40 000
1868		秘鲁，厄瓜多尔	40 000
1908	西西里岛	意大利	83 000
1920	宁夏海原	中国	200 000
1923	东京	日本	140 000
1970	钦保特	秘鲁	54 000
1971	圣·费尔南多	美国	65
1976	河北唐山	中国	242 769
1976	危地马拉	危地马拉	22 778
1977	布加勒斯特	罗马尼亚	1 570
1989	洛马·普里埃塔	美国	63
1994	北岭	美国	51
1995	阪神-淡路	日本	6 348
1995	曼扎尼略	墨西哥	56
1999	伊兹米特	土耳其	15 851
1999	台湾集集	中国	2 405
2001	古加拉邦	印度	20 023

至于地震所造成的经济损失，由于缺乏准确的统计资料，很难以精确的数字表示。表 1.2 为已发表的 1960 年代以来发生的强震所造成的经济损失的统计。

大地震经济损失统计表 表 1.2

发震日期	发震地点	经济损失 (百万美元)
1963. 7. 26	斯考比亚（南斯拉夫）	500
1964. 3. 28	阿拉斯加（美国）	538
1967. 7. 29	加拉加斯（委内委拉）	50
1967. 8. 13	爱瑞特（法国）	4
1968. 1. 15	西西里（意大利）	320
1969. 9. 29	南 非	24
1970. 3. 31	秘 鲁	507

续表

发震日期	发震地点	经济损失 (百万美元)
1971. 2. 9	圣·费尔南多（美国）	500
1972. 12. 23	马拿瓜（尼加拉瓜）	800
1976. 7. 28	唐山（中国）	15 000
1989. 10. 17	洛马·普里埃塔（美国）	16 800
1994. 1. 17	北岭（美国）	44 000
1995. 1. 17	阪神-淡路（日本）	112 000
1999. 8. 17	伊兹米特（土耳其）	16 000
1999. 9. 21	台湾集集（中国）	10 700

除了纯物质损失的经济价值之外，尚应考虑由于地震而造成的直接和间接经济后果，如城市和村庄的迁移，生产的中断，卫生及其他社会服务不能及时提供等。

可见，地震的危害主要有三：人员伤亡、直接和间接的物质损失和社会经济影响。

1.4 地震灾害的特点和减轻地震灾害面临的问题

地震灾害属于巨大灾害，其特点主要有四：

(1) 发生频率低。灾害性大地震在同一个地点，可能上百年，甚至数百年，才可能发生一次。生活在地震危险区的居民，终生都可能遇不上一次强烈地震，甚至几代人也感受不到地震的残酷和威力。因而，一个地震区的人们经受的地震灾害的血的教训常常会被淡忘，后代人因无亲身经历，很难引起重视，其他地震区的人们则更难从离他们遥远的地震灾难中吸取教训。所以，就任何一个国家而言，地震灾害风险管理的经验都是有限的。通常的情况是，每一次巨大的地震灾害都会给政府和公众以极大的刺激，使他们觉醒到一定要付出努力，减轻未来的灾害风险，使类似的灾难今后不再重演。然而，一旦灾害过去，政府和公众的减轻灾害风险的劲头就一落千丈。不消几年，就又回到地震以前那样，对减轻灾害表现越来越淡漠。

(2) 破坏范围大。大地震对建成环境、社会环境和自然环境都会产生重大的破坏和影响，从而引起巨大的损失。这种破坏，不但会直接影响到一个国家的广大地区，而且可能会波及全国，甚至全球。因而，全面防御这种破坏范围广大的灾害，不但需要巨大的人力和物力，更需要有科学的决策支持。

(3) 不确定性高。现在,科学技术的进步,使我们上天“有路”,可以进入太空,可以登上月球。但入地却仍然无门,钻探深度最多才十多公里,而一次浅源地震的震源深度也大多在这个深度以下。至今,我们对于地震发生的机理还不甚清楚,我们还不能准确地同时预测未来地震发生的时间、地点和震级等三个要素。显然,在这种情况下,要想用有限的人力和物力去应对高度不确定性的灾害,几乎是不可能的。

(4) 相互作用强。地震灾害不仅是一种自然现象,而且还是社会、经济和环境现象。地震灾害同多层次社会系统相互作用。这就是说,地震灾害的后果,同该地区的社会、经济和建成环境密切相关。一次大地震如果发生在没有人烟的未开发地区,虽有险情,但不会形成灾害;但是,如果发生在一个现代化的国际大都会,则全球都会受到影响和冲击。

应当说,在减轻自然灾害方面,人类尽了最大的努力,比如,联合国把20世纪的最后10年定为“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR),在这个期间,世界各国,从政府到民间,都制定了规划并采取各种措施来减轻自然灾害;又如,为了帮助发展中国家减轻地震灾害,发达国家和发展中国家之间启动并完成了许多援助合作项目。但是,所有这些努力和行动,都没有达到我们预期的效果。

现在我们面临的实际情况是:

(1) 地震灾害的经验教训不断重演。地震灾害调查报告经常这样说:“经验、教训同过去发生的地震雷同,新的经验教训极少。”“在地震影响区所观察到的破坏现象,基本上是以往地震中已经发生过的,很少看到新的破坏现象。”这就是说,不同地区的人们,在重复其他地区人们曾经犯过的错误。

(2) 类似的地震灾难不断发生,发生次数和它们所造成的生命和财产的损失两者都没有减少,反而与年俱增。过去的经验是,在发达国家发生一次大地震,死亡人数不会超过上百人,而1995年日本阪神-淡路地震却夺走了6千多人的生命。

(3) 地震所带来的绝大部分灾难,运用我们已有的技术和知识,本来是有可能避免的。但是,已有的技术和知识却没有能完全用于实际,科技成果与实际应用之间总是有那么一小段的距离。

我们究竟错在那里?有三个困难的问题一直使我们迷惘,那就是:①如何使人们对地震风险保持清醒

的认识,不忘吸取地震灾害的教训,并见诸行动;②如何使已有的防灾、减灾和备灾技术和知识真正得到运用,走完现有技术同实际应用之间的那一小段距离,解决科技成果和应用的脱节问题;③如何使地震危险区的新的建成区不再蒙受地震灾难,使地震区的人们从地震灾害的惩罚中逐步解脱出来。

1.5 解决减轻地震灾害面临问题的构想

联合国前秘书长安南(Koffie Annan)在1999年曾经说过:“更有效的防御对策不仅可以减少数百亿美元的损失,而且可以挽救数万人的生命。现在花在干预和灾后救援上的资金,如果用于均衡和可持续发展,则将会进一步减少战争和灾害的风险。建设一个防御文化是不容易的。因为,防御的费用必须在今天支付,而其得益却是在遥远的将来。加之,这种得益是看不见的;因为,得益是还没有发生的灾害。”^[13]由此可见,我们所面对的是长期而又复杂的问题。然而,政府、社区和个人都特别不善于长期规划,更不善于投资减少长期风险。所有各级政府都习惯于在地震灾害发生以后采取应急应对行动,而不习惯于在灾前就有所作为。

为了解决上述3个困难的问题,我们提出了如下的构想。

第一,要改变观念。我们必须认识到地震不仅是一种自然现象,而且还是社会、经济和环境现象。因此,为了减轻地震损失,我们不仅需要技术层面的措施,而且需要非技术层面,即社会和经济层面的措施。过去我们对在地震发生以前采取行动关注和研究较多,而对地震发生以后如何减轻灾害,包括震后应急救援、恢复重建和灾后决策等则注意和研究不够。为了减轻地震灾害,我们必须把震前减灾行动和灾后反应放在同等的地位。现在我们关心较多的是个体建筑物和个人以及某些个别系统的安全。中国和日本以及其他国家的抗震设计规范几乎都着重于保护上述个体结构物和系统。但是今后,我们不仅要保护个体结构物和系统的地震安全,而且要注意保护整个社会网络和整个建成环境的安全。^[14]

第二,要对发生在不同国度的地震灾害,进行分析比较,总结经验教训,供全球地震危险区分享,从而增加他们对如何抗御地震灾害的认识,这是减轻地震灾害的一项最为基础性的工作。

第三,要开发以技术为导向的整合的风险管理技

6 地震灾害比较学

术（图 1.1），主要包括以下 4 个方面的技术。

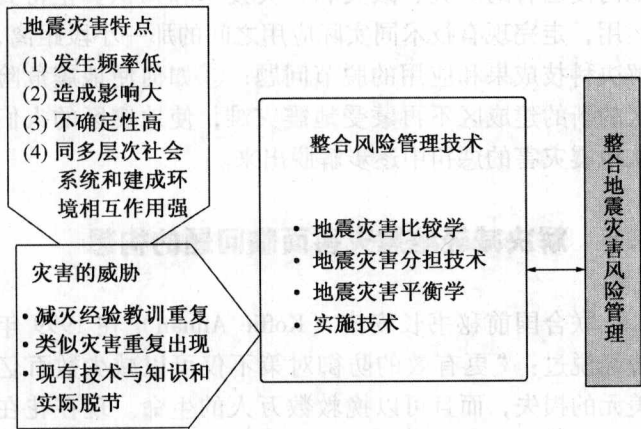


图 1.1 地震灾害特点和以技术为导向的整合地震灾害风险管理

(1) 地震灾害比较学 (Earthquake Disaster Comparatology), 包括:

- 地震灾害描述、分析和分类;
- 地震灾害比较方法和工具;
- 地震灾害发生机理、规律和特征; 以及
- 地震灾害数据库等。

(2) 地震灾害分担技术 (Earthquake Disaster Share Technology), 包括:

—政府、社团、公司、企业、有关责任人 (stakeholders)、非政府组织 (NGOs)、非赢利组织 (NPOs) 以及公民等之间的责任分担;

—风险分担, 诸如风险控制、风险金融、风险转换、贷款和补贴等;

—知识和信息共享, 比如知情公众、建筑规范的编制和修订、法律和规章的制定、减轻灾害规划、加固措施、总结地震灾害经验教训、建设安全而可持续的社区; 以及

—数据库等。

(3) 地震灾害平衡学 (Earthquake Disaster Balance Methodology), 包括:

—结构物的地震性状 (Performance) 和造价之间的平衡方法;

—地震情景 (Scenario) 和可接受的后果之间的平衡方法;

—加固、规划和防备所需的费用和已有资金之间的平衡方法。

(4) 实施技术 (Implementation Technology), 包括:

- 实施计划;
- 有关责任人 (stakeholder) 的正确识别;
- 通过监控和评审对过程进行控制;
- 先进技术的应用;
- 案例研究; 以及
- 项目影响 (Project impacts) 分析等等。

灾害机理、风险管理和城市多层次系统之间的概念和关系如图 1.2 所示, 他们是整合地震灾害风险管理的基础。

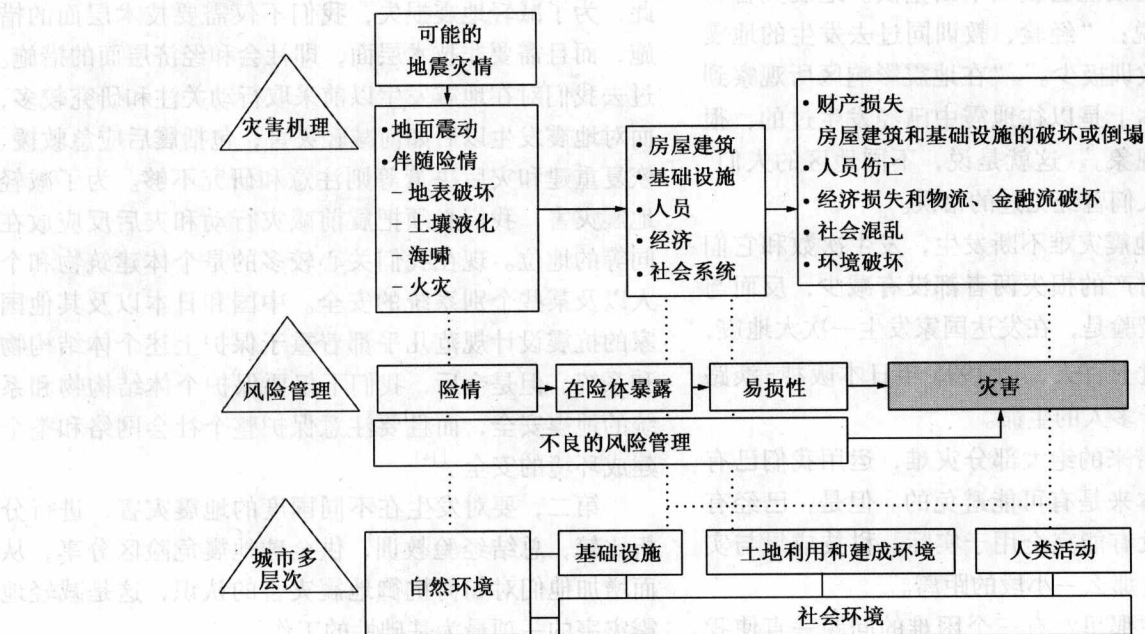


图 1.2 灾害机理、风险管理和城市多层次的概念以及他们之间的关系

城市是一个多层次的系统。这个系统包括自然环境 (Natural Environment, NE)、社会环境 (Social Environment, SE)、基础设施 (InfraStructure, IS)、土地利用和建成环境 (Land - use and Built environment, LB) 以及人类活动 (Human Activities, HA) 等 5 个层次。城市的所有功能就是由这 5 个变化速度不同的层次构成。它们的变化速度从最慢到最快的顺序依次是自然环境, 社会环境, 基础设施, 土地利用和建成环境以及人类活动。图 1.3 为多层次城市系统示意图。^[15]

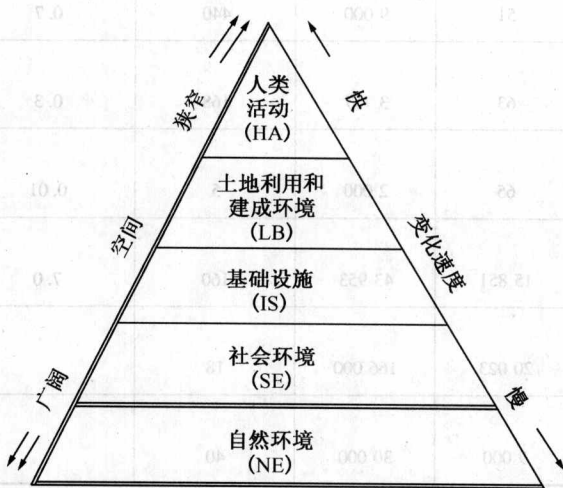


图 1.3 多层次城市系统

城市地震灾害就是地震袭击整个城市的所有这些系统, 使城市的多层次系统质量和功能下降, 从而使城市潜在的最脆弱的和功能不良的部位经受不了地震的考验而遭到破坏。这样, 未来地震灾害可能造成的破坏就在很大程度上取决于城市的每一个层次和所有层次之间的相互作用方式和功能。特别是, 如果对整个城市系统的发展管理不善, 则很可能造成城市灾害潜在的风险增加, 一旦巨大的自然灾害袭击这座城市, 这些薄弱环节最终就会暴露出来。所谓城市诊断 (Urban diagnosis) 就是用系统的方法查明城市的多层次实体的脆弱和功能损坏部分, 并对解决这个系统存在问题和减轻灾害的有效措施做出分析和评价。

如何管理好一座现代城市, 特别是一座巨型城市 (mega-city) 和都市连绵区, 是我们面临的一个紧迫问题。我们必须通过和谐的发展和可持续的管理, 使我们的城市能够经得起地震灾害的袭击。

1.6 地震灾害比较学的内涵

地震灾害比较学是对发生在不同国度的地震灾害进行比较, 研究地震灾害的比较方法, 揭示地震灾害规律和特征的科学。它对共享全球地震灾害经验教训和研究成果, 减轻地震灾害风险具有重要意义。地震灾害比较学还能地震灾害发生机理提供基础科学知识。比较是分析的最基本方法, 没有比较, 分析就无法展开。

地震灾害比较学以发生在不同国度的地震灾害为研究对象。在研究中侧重于不同地震灾害的比较分析, 而且这种比较在原则上并不把人排除在外, 其目的在于更好地了解人与地震灾害的关系。

地震灾害比较学是一门崭新的科学, 正处在萌芽阶段。其主要任务有三: 一是对地震灾害进行描述、分析和分类, 并详细地比较不同地震灾害的特征, 确定和阐明它们之间的关系, 描述地震灾害应该尽可能参阅各种资料, 做到客观、忠实; 二是研究和开发比较方法和比较工具; 三是揭示地震灾害的规律和特征, 提出减轻地震灾害风险的措施和建议。

如前所述, 本书是著者在日本政府资助的“亚太地区减轻地震和海啸灾害技术开发及其整合”(简称 EqTAP) 大型科研项目合作研究成果的基础上写成的, 着重对中国 1976 年唐山地震和日本 1995 年阪神-淡路地震两次地震灾害进行比较研究。这些极为重要的经验和教训可用于城市地震灾害风险管理, 可用来避免未来地震对现代城市社区和发展中的社会可能造成的悲剧。为了开阔我们的视野和有更多的参照, 把 20 世纪 70 年代以后发生在美国、土耳其、印度、墨西哥和中国台湾地区的破坏性地震的灾害也纳入了比较的范围。这些地震及其发生的年份如图 1.4 所示。表 1.3 列出了这 9 次地震的有关参数和造成的损失。

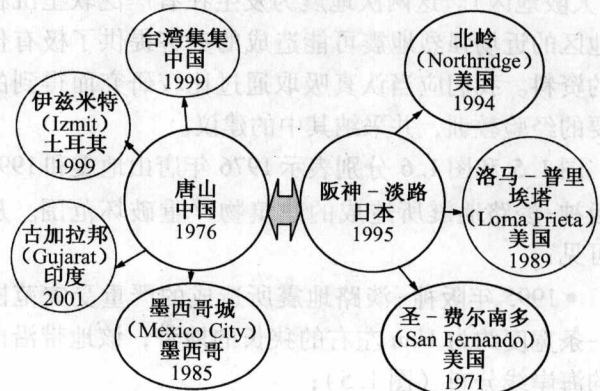


图 1.4 比较研究的地震