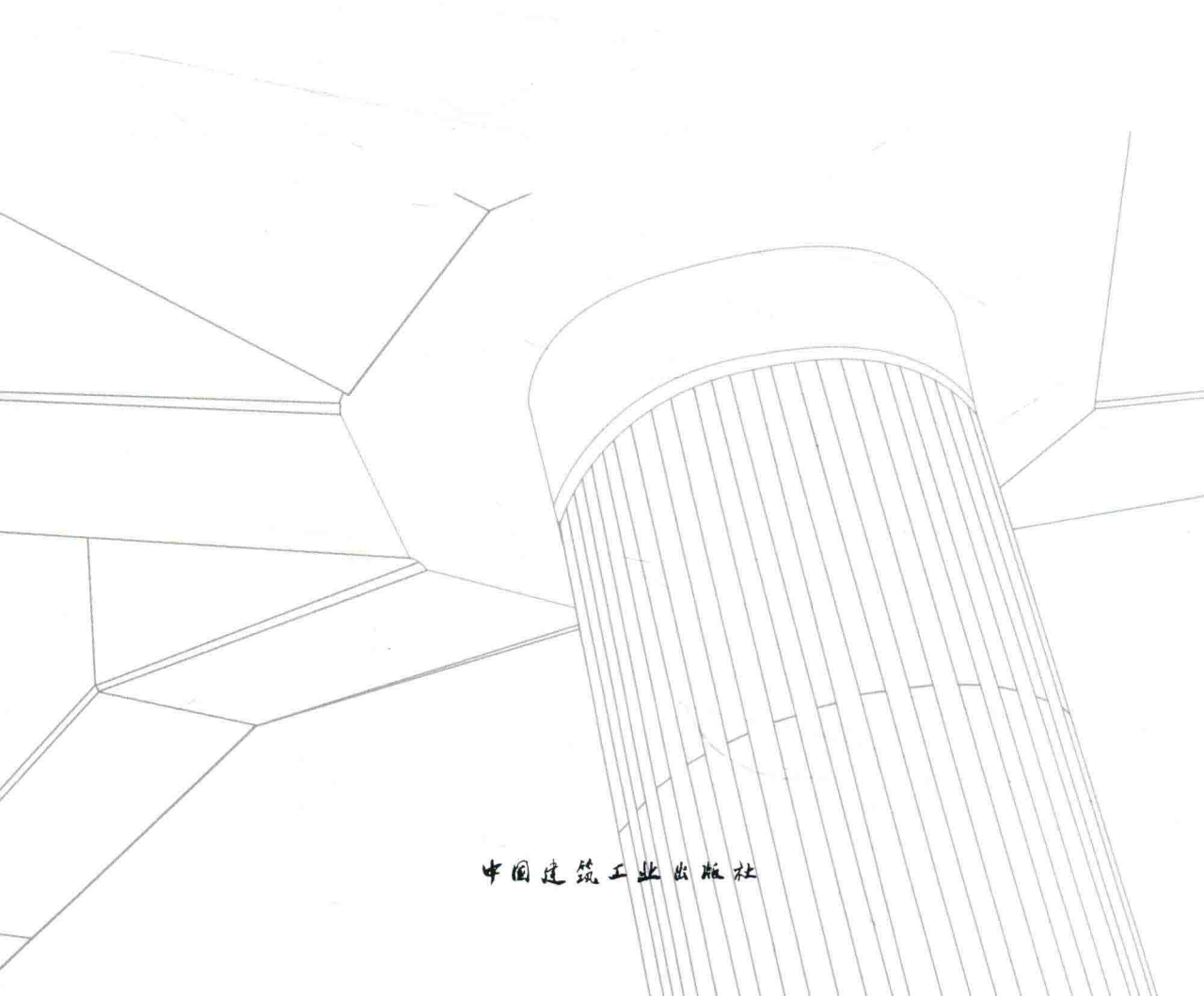


日本土木技术译丛

地下结构抗震分析及防灾减灾措施

[日] 滨田政则 著
陈剑 加瑞 译
吴旭 校



中国建筑工业出版社

日本土木技术译丛

地下结构抗震分析及防灾减灾措施

[日] 滨田政则 著
陈剑 加瑞 译
吴旭 校

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01—2016—0033号

图书在版编目（CIP）数据

地下结构抗震分析及防灾减灾措施/（日）滨田政则著；陈剑，加瑞译，—北京：
中国建筑工业出版社，2016.5

（日本土木技术译丛）

ISBN 978-7-112-19203-8

I. ①地… II. ①滨…②陈…③加… III. ①地下工程—抗震设计②地下工程—
灾害防治 IV. ①TU92

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第042063号

JIBAN TAISHIN KOUGAKU

Copyright ©Masanori Hamada, 2013

Chinese translation rights in simplified characters arranged with Maruzen Publishing
Co. Ltd., through Japan UNI Agency, Inc., Tokyo

本书由日本丸善出版授权我社独家翻译、出版、发行。

责任编辑：刘婷婷 刘文昕

责任设计：董建平

责任校对：陈晶晶

日本土木技术译丛

地下结构抗震分析及防灾减灾措施

[日]滨田政则 著

陈剑 加瑞 译

吴旭 校

*

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

北京嘉泰利德公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：15 字数：332千字

2016年8月第一版 2016年8月第一次印刷

定价：49.00元

ISBN 978-7-112-19203-8

（27471）

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）

中文版序

近几十年来,世界范围内地震灾害频发,由地震引起的砂土液化及地基变形,导致各类构(建)筑物、地下管线破坏,造成了巨大损失。中国是地震多发国,地质构造复杂,很多大中城市都位于冲积地层上,地震灾害风险大,所以有关岩土地震工程防灾减灾的研究具有十分重要的科学价值和实用意义。

本书作者滨田政则先生是岩土地震工程防灾减灾领域的世界著名学者,1966年大学毕业后就投身于岩土地震工程防灾减灾的现场调查、科学研究和工程实践,积累了十分丰富的经验,取得了诸多开创性的成果。本书是作者近半个世纪研究成果的系统总结,具有以下主要特色:

1. 从作者亲身参与的地震灾害调查实例出发,通俗易懂地介绍了近几十年来世界范围内发生的主要地震灾害及其调查成果,涉及日本、印度尼西亚、巴基斯坦、孟加拉等许多国家和地区。

2. 以作者的开创性研究工作为基础,简明扼要地阐述了砂土地震液化及地基液化大变形的现象、规律、机理以及工程对策,核电站结构物抗震安全性评价,隧道、地下发电站、地下油罐的现场地震响应监测和分析,煤气地下管道等生命线工程的防液化对策与抗震设计等系列成果。

3. 结合作者长期担任日本相关学术组织领导者的实践,高屋建瓴地强调了科学研究成果转化为工程设计应用的途径及其重要性,阐明了如何通过地震灾害调查结果,逐步修改完善工程抗震设计规范,为有效制定防灾减灾的行政政策提供科学依据。

4. 根据作者推动国际学术交流的丰富经验,生动形象地记述了岩土地震工程防灾减灾的国际合作和学术交流活动,强调了推广普及的重大意义和深远影响。

本书既介绍了滨田先生个人的学术成就和观点,同时也介绍了以他个人的思想、观点和方法为主导对博大精深的岩土地震工程防灾减灾学科领域进行的独到论述和精辟诠释。本书的翻译出版,无疑可为我国从事岩土地震工程防灾减灾的科技工作者提供一本非常难得的学术精品著作,相信会使各位受益匪浅。

张建民

清华大学教授

清华大学土木水利学院院长

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会理事长

前 言

在本书写作过程中，2011年3月11日发生了东日本大地震（东北地区太平洋近海地震）。该地震震级9.0，是日本有史以来最大的地震。地震引发海啸、地震动和斜坡滑塌等灾害，造成死亡、失踪人数达18641人（截至2012年10月31日）。该地震是日本自关东大地震以来再次发生的巨大地震。作为地震防灾先进国家的日本，该地震造成的重大灾害让该领域的研究者无法释怀。毫无疑问，灾害发生的最大根源是对地震及海啸预测的失败。地震发生之前，政府防灾会议就预测东北地区宫城县近海地震的发生概率高达99%，预测震级为7.5，而本次地震能量是预测值的180倍。文部科学省地震调查研究本部除预测宫城县近海地震外，还预测了日本海沟将发生7.7级地震。然而，即使上述地震同时发生，其震级达8.0，也仅是实际发生地震能量的1/32。预测日本近海地震时，主要关注了沿南海海沟的东海地震、东南海地震及南海地震。多数地震研究者参加了上述近海地震预测工作，国家也投入了大量调查研究经费。若上述近海地震同时发生，其震级可达8.5，但与实际发生的地震位置不符。公元869年发生的贞观地震所引发的海啸，与东北地区太平洋近海地震引发的海啸类似。因此，在东日本大地震发生前，人们就有过预测，从东北地区到茨城县海域的巨大地震及其引发的海啸还有可能再次发生。但是，该预测没有得到政府的重视。因此，为减轻今后地震、海啸灾害，有必要总结地震和海啸预测失败的原因，并在此基础上，指导今后国家的地震防灾减灾工作。

2004年苏门答腊近海发生了9.1级地震，地震引发的海啸造成印度洋沿岸各国总计20万人以上的死亡。地震发生一个月后，作者访问了印度尼西亚苏门答腊岛北部的Banda Aceh市。该市约7万人在这次海啸中丧生，死亡人数占全市总人口的1/4。作者亲眼目睹了海啸造成的惨状，如果日本也发生海啸灾害，估计应该不会发生像苏门答腊海啸所带来的巨大破坏。另外，当时作者也认为日本不会发生震级超过9.0的巨大地震。但事实上，日本于2011年发生了震级为9.0的地震。现在仔细想来，苏门答腊西岸的板块构造与日本太平洋沿岸的板块构造非常相似，甚至日本的板块构造更为复杂和脆弱。作者深刻感受到“日本不会发生9.0级以上地震”的想法是没有科学根据的主观意愿。

作者等地震防灾领域的研究者过去也曾有同样的误判，那就是1995年发生的兵库县南部大地震，造成阪神、淡路地区的巨大破坏。该地震震级为7.2级，是由内陆断层引发的。地震后因各种原因，死亡人数达6400人。在该地震发生的一年前，以美国洛杉矶郊区为震中发生了7.0级的Northridge地震，造成了高速公路等的破坏。当时，日本也派出了调查团，

包括作者在内的研究人员和技术人员,在媒体的采访中,都认为:“日本高速公路的抗震性能很好,不会发生 Northridge 地区高速公路那样的破坏。”但是,兵库县南部地震时,位于断层附近的神户市等大都市圈发生了极为强烈的地震动,造成众多桥梁、建筑物的破坏,神户市发生的震害表明,众多的结构物并没有足够的抗震性能,日本的结构物抗震性能优越也仅是没有根据的盲目自信而已。

东北地区太平洋近海地震导致仙台港及千叶港的石化基地发生火灾。仙台港由于海啸漂浮物造成石化基地设施的破坏,千叶港球形储油罐破坏的原因是受到超过设计值的惯性力作用。另外,气仙沼市多数的船舶用燃料油罐因海啸上浮而漂移,从而引发海上火灾。石化基地火灾在以往的地震中也有发生。1964 年新潟地震时,重油油罐因长周期地震动引起内部液体的晃动,造成火灾。火灾持续了两周。此外,2003 年十胜近海地震苫小牧市的原油和轻油储罐发生火灾。长周期地震动引起的油罐火灾,在 1995 年土耳其的 Kocaeli 市和中国台湾集集地震中也有发生。

东北地区太平洋近海地震中,东京湾的填埋地及利根河和荒河等大河流域的广大范围内发生了地基液化。浦安市等住宅区因地基液化造成大量的房屋下沉和倾斜破坏,排水管道等生命线设施发生了巨大的破坏。东京湾沿岸的石油化工及重工业等地区也发生了地基液化。日本石化基地设施多数建造于东京湾、伊势湾、大阪湾等大都市圈临海区域的填埋地基上。东京湾建设有大小 500 余座高压燃气及储存剧毒物质的罐体。地基液化和液化地基的流动、长周期地震动及海啸将会引起石化基地设施的巨大破坏。油罐引发的火灾如果在大都市圈的临海区域同时发生,将会造成日本前所未有的大灾难。遗憾的是,石化基地设施的地震、海啸对策并不十分完备。

东北地区太平洋近海地震时,除暴露出海啸防波堤等硬件设施的脆弱性以外,还反映了地震发生后,信息收集、紧急救援、救援物质输送及社会系统等软件方面的脆弱性。因此,必须考虑将来可能发生的地震,从硬件、软件两方面对灾害应对的脆弱性进行研究,并采取措施加以防治。

东北地区太平洋近海地震造成的福岛第一核电站事故是非常严重的。2011 年 12 月 16 日,政府发出公告“核反应堆已经达到低温冷却状态”,但仍然存在严重的威胁。作者本人在建设单位工作时就从事过核电站土木结构物的抗震设计,此外,作为核反应堆安全审查委员会委员,对若干座核电站进行了审查。可以说,核能发电是工程技术的综合产物。核能工程集成了地震学、地质学等理科及土木工程、建筑学、机械工程等工科领域的知识和成果。然而,事实上目前的核能工程学仅仅是各学科领域技术的简单堆砌,而不是真正意义上的融合。对核电站整体安全性进行评价时,经常只是各领域统计数据的汇总而已。这次严重事故发生的最大原因是海啸造成外部电源和全部应急电源停止工作,核反应堆冷却机能丧失。如果能从软件方面等进行多重防护,也许可以减小事故的危害程度。

作者自 1966 年大学毕业至今,45 年来一直从事地震防灾领域的研究和应用。在建设单

位工作时,对沉埋隧道和地下油罐的地震行为和抗震设计进行了研究。这些研究对地下结构物抗震设计的反应位移法的提出做出了贡献。从建设单位离职后,就职于东海大学海洋学部时,1983年5月日本海发生了中部地震。对秋田县能代市燃气管道破坏情况进行调查时,专门研究了地基液化造成地基数米的水平移动。与此同时,美国在对地基液化造成的地基流动方面,以康纳尔大学 O'Rourke 教授为首进行了研究。日美两国间对液化地基流动开展了共同研究和国际研讨会。共同研究的目的是揭示液化地基流动的发生机理、开发地基位移的预测方法以及开发抑制地基流动的结构物抗震设计方法和措施。遗憾的是,在没有得到充分的研究结果的情况下,1995年发生了兵库县南部地震,阪神地区的填埋场地因大规模液化地基的流动,造成生命线设施、建筑物及桥梁基础的巨大破坏。

兵库县南部地震后,对土木结构的抗震设计法进行了全面的修订。地震后,土木学会成立了“基本问题研究委员会”,提出了“保证结构物不会完全破坏,从而挽救生命”的结构物抗震设计的基本思想。为实现这一目标,提出了“对两阶段地震动基于性能的设计方法”。该方法是在1923年关东地震及兵库县南部地震的抗震设计中采用的地震动(等级1的地震动)基础上,保证当神户市及其周边地区活动断层附近发生地震时,不会造成结构物的完全破坏的前提下进行设计的。作者作为“基本问题研究委员会”的委员,参与了第一次到第三次土木学会的建议的提出,并且参加了政府防灾会议的防灾基本规划的修订工作(1995年)。随后,按照土木学会的建议和防灾基本规划的要求,对铁道结构物、都市燃气、给排水管道等生命线设施的抗震设计法进行了修订。

2011年东北地区太平洋近海地震、2010年的智利地震、海地地震等,世界范围内地震灾害不断扩大。此外,因全球气候变化引起的风灾、水灾也在增加,地震灾害、风灾、水灾都是由于防灾基础设施建设的迟缓等硬件方面的脆弱性及风险管理和紧急应对等软件方面的脆弱性引起的。为了减轻世界范围内的自然灾害,从国家到研究者的各个层面都需要加强国际合作。日本在经历了东日本大地震这样悲惨的经历后,积累的经验一定会对减轻世界范围内的自然灾害有所帮助。

为减轻自然灾害,必须进行国家、地方团体和个人的联合。防灾领域的研究者及相关人员必须积极参加上述联合,政府必须对防灾政策提出建议、地方团体必须对区域的防灾规划进行支援、研究人员必须对防灾教育及住宅、地基的安全性诊断做出贡献。

减轻自然灾害,需要地震学、地质学等理科,土木工程、建筑学、机械工程、岩土工程等工科以及社会学、经济学等人文学科,信息科学和医学等众多领域的联合。研究者不应局限于各自的专业领域,不仅在日本,全世界的研究人员需要联合众多的研究领域,积极从事减轻自然灾害,为构建抵御灾害的强大社会体系做出贡献,这也是对东日本大地震牺牲者的告慰。

滨田政则

2012年10月

目 录

第 1 章 近年来的地震灾害及其特点

1.1	世界和日本的地震、海啸灾害	1
1.2	世界范围内的地震、海啸灾害	4
1.2.1	1999 年 土耳其 Kocaeli 地震	4
1.2.2	1999 年 中国台湾集集地震	7
1.2.3	2001 年 印度 Gujarat 邦 Kutch 地震	10
1.2.4	2003 年 阿尔及利亚 Boumerdes 地震	13
1.2.5	2004 年 印度尼西亚苏门答腊地震、海啸	14
1.2.6	2005 年 巴基斯坦北部地震	17
1.2.7	2008 年 中国四川省汶川地震	18
1.3	日本的地震、海啸灾害	23
1.3.1	1993 年 北海道西南近海地震	23
1.3.2	1993 年 钏路近海地震	25
1.3.3	1995 年 兵库县南部地震（阪神大地震）	26
1.3.4	2003 年 十胜近海地震	30
1.3.5	2004 年 新潟县中越地震	33
1.3.6	2007 年 能登半岛地震	37
1.3.7	2007 年 新潟县中越近海地震	38
1.3.8	2008 年 岩手—宫城内陆地震	41
1.3.9	2011 年 东北地区太平洋近海地震（东日本大地震）	43
	参考文献	49

第 2 章 抗震设计和抗震加固

2.1	日本的抗震设计起源	51
2.1.1	地震工程学和地震学	51

2.1.2	抗震设计的起源——烈度法	52
2.1.3	修正烈度法	53
2.1.4	反应谱	55
2.2	抗震设计法的发展	57
2.2.1	针对地基液化的抗震设计	57
2.2.2	生命线地震工程学	58
2.2.3	长周期地震动	60
2.3	对两阶段地震动进行基于性能的抗震设计	62
2.3.1	日本土木学会对抗震设计和抗震加固的建议	62
2.3.2	两阶段地震动的设定方法	64
2.4	地基的动力响应	66
2.4.1	表层地基引起地震动的放大和卓越周期	66
2.4.2	地震波动和传播	67
2.4.3	质点系的动力分析	70
2.5	抗震加固	74
2.5.1	混凝土桥墩的抗震加固	74
2.5.2	土工结构物(河道堤防、填土、土坝)的抗震加固	76
2.6	地表地震断层的应对措施	77
2.7	核能发电站的抗震设计	80
2.7.1	东京电力福岛第一核能发电站的重大事故	80
2.7.2	核能发电站抗震设计流程和活动断层的调查	81
2.7.3	地基基础以及结构物、机器等的抗震设计	81
2.7.4	对于海啸安全性的确认	83
2.8	排水管道设施的防海啸对策	84
	参考文献	85

第3章 地基液化及对策

3.1	液化的机理和危害	87
3.1.1	液化发生的机理	87
3.1.2	液化的危害	89
3.2	液化的判别	93
3.2.1	液化的判别	93
3.2.2	液化地图	96
3.3	地基的液化对策	96
3.3.1	地基的液化对策	96

3.3.2 结构物、房屋的液化对策	98
3.3.3 窖井上浮对策	101
3.3.4 沉降、倾斜后的住房、建筑物的修复	102
3.3.5 填土堤防的液化对策	103
参考文献	105

第 4 章 液化地基的流动及对策

4.1 液化地基的流动和实例分析	107
4.1.1 液化地基流动研究的开端	107
4.1.2 1983 年 日本海中部地震	109
4.1.3 1964 年 日本新潟地震	113
4.1.4 1995 年 日本兵库县南部地震	123
4.1.5 1948 年 日本福井地震	127
4.1.6 1993 年 日本北海道西南近海地震	130
4.1.7 1923 年 日本关东地震	132
4.1.8 1971 年 美国圣费南多地震	134
4.1.9 1990 年 菲律宾吕宋岛地震	135
4.1.10 1999 年 土耳其 Kocaeli 地震	137
4.1.11 2010 年 新西兰 Darfield 地震	137
4.1.12 关于液化地基流动及生命线工程抗震对策的日美合作研究	140
4.2 液化地基的流动机理及地基位移推断方法	141
4.2.1 地基流动的机理	141
4.2.2 地表面倾斜引起的地基位移预测	142
4.2.3 护岸移动引起的地基位移预测	144
4.2.4 液化土的流体特性	145
4.3 针对液化地基流动的抗震设计	149
4.3.1 地基的应变与埋设管路的破坏	149
4.3.2 埋设管路的抗震设计	152
4.3.3 基础的抗震设计	153
4.4 防液化地基流动的措施	155
4.4.1 既有护岸流动对策	155
4.4.2 既有结构物基础的流动对策	155
参考文献	158

第 5 章 地下结构物的地震反应特性及抗震设计

5.1 地下结构物与地基共同作用体系的分析 161

5.2 地下储存罐的地震反应特性 163

 5.2.1 地下储存罐与地基的地震观测 163

 5.2.2 地下储存罐的地震特性 165

5.3 关于地下储存罐变形的研究 168

5.4 沉埋隧道动力特性的观测 173

 5.4.1 沉埋隧道与地基的概要 173

 5.4.2 沉埋隧道的地震特性 175

5.5 岩体洞室动力特性与计算 177

 5.5.1 岩体洞室的抗震性能 177

 5.5.2 山岭隧道的地震特性 177

 5.5.3 山岭隧道地震时的变形特性 180

5.6 反应位移法 183

 5.6.1 反应位移法的思路 183

 5.6.2 有接头埋设管道的变形 185

 5.6.3 沉埋隧道观测应变与接头位移验证 186

 5.6.4 由地裂缝及地表面错台引起的埋设管路变形 188

 5.6.5 基于反应位移法的地下结构物抗震设计 189

 5.6.6 地基位移输入 190

参考文献 192

第 6 章 地震、海啸灾害的减轻措施

6.1 让人惊恐的地震 193

 6.1.1 地震、海啸的预测失败及其之后的混乱 193

 6.1.2 首都圈地震 195

6.2 首都直下型地震的对策 197

 6.2.1 灾害预测与课题 197

 6.2.2 临海区域石化基地的安全性 199

 6.2.3 提高丘陵地区住宅地抗震性能 203

6.3 褐煤废弃坑道地震时的安全性 204

6.4 减轻自然灾害的措施 208

 6.4.1 世界范围内自然灾害的增加 208

6.4.2	海啸防御学的构建及防海啸措施的实施	210
6.4.3	日本的防灾体制与组织体系	211
6.4.4	政府的地震防灾战略	212
6.4.5	日本学术会议对减轻自然灾害的建议	213
6.4.6	减轻自然灾害的综合措施	215
6.5	防灾领域的国际合作	217
6.5.1	灾害预防与灾后重建支援	217
6.5.2	无国界工程师代表团（非营利组织）	221
6.5.3	日本学术会议的建議	222
参考文献		224
后记		225

第 1 章 近年来的地震灾害及其特点

1.1 世界和日本的地震、海啸灾害

近年来,世界范围内地震和海啸灾害频发。从 1995 年到 2011 年,世界范围内发生了 20 次地震、海啸灾害,共有 78 万多人被夺去了生命^[1],其中死亡、失踪超过 1000 人以上的地震及海啸灾害如图 1.1 所示。在近 10 年内,如 2004 年印度尼西亚苏门答腊地震、海啸(死亡、失踪人数达 229700 人以上),2005 年巴基斯坦北部地震(死亡、失踪人数达 74700

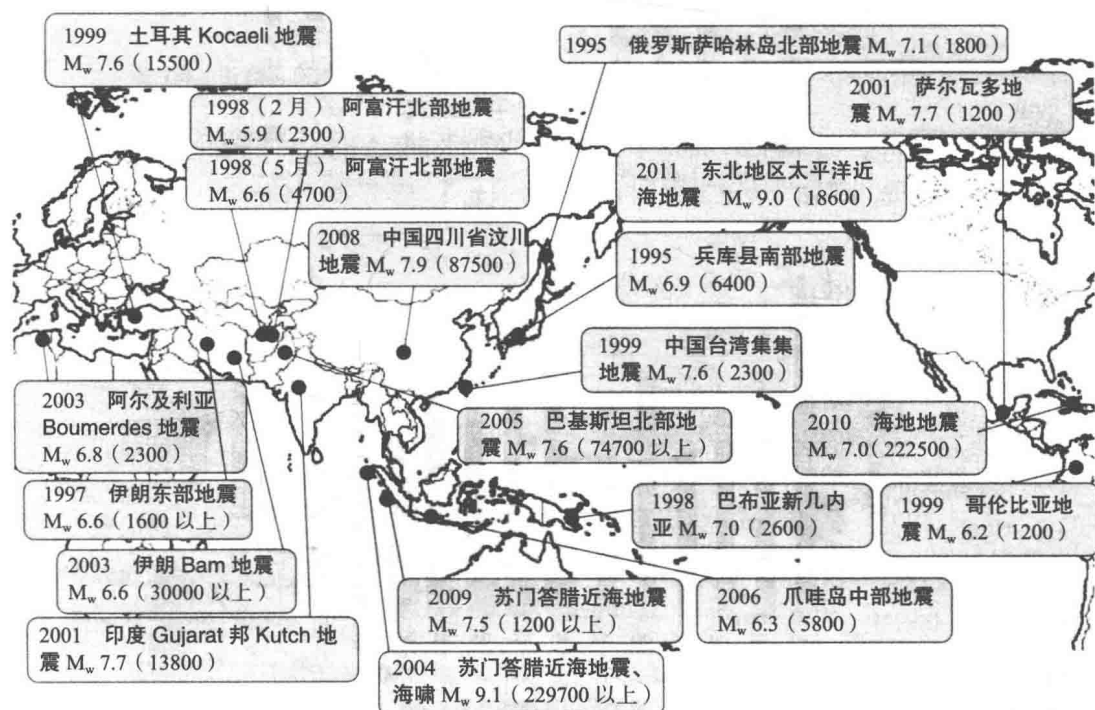


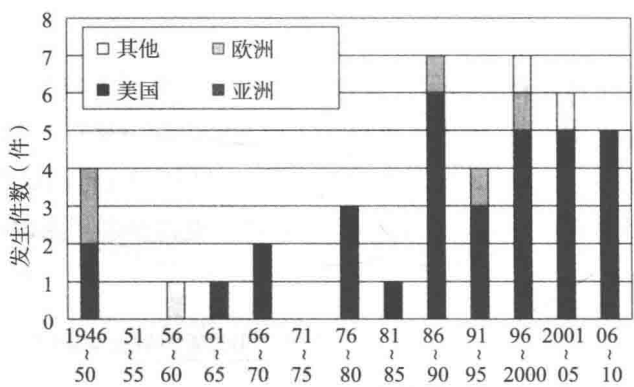
图 1.1 1995 年以后的地震、海啸灾害
(死亡、失踪 1000 人以上的灾害, M_w—矩震级)

人以上), 2008 年中国四川省汶川地震 (死亡、失踪人数达 87500 人), 2010 年海地地震 (死亡、失踪人数达 222500 人以上) 等, 死亡、失踪人数超过 7 万的灾害多发。另外, 日本东北地区太平洋近海地震 (又称东日本大地震), 造成了 18600 人 (截止到 2012 年 12 月 5 日) 死亡或失踪。从图 1.1 中可以看出, 这些地震、海啸灾害多集中在亚洲各国。

从 1946 年到 2010 年的 65 年间, 造成 1000 人以上死亡、失踪的地震、海啸灾害发生次数, 如图 1.2 所示。由图中可以看出, 从 1986 年到 2010 年的 25 年间, 灾害急剧增加, 并且集中在亚洲地区。这 25 年间地震、海啸灾害频发的原因值得思考。

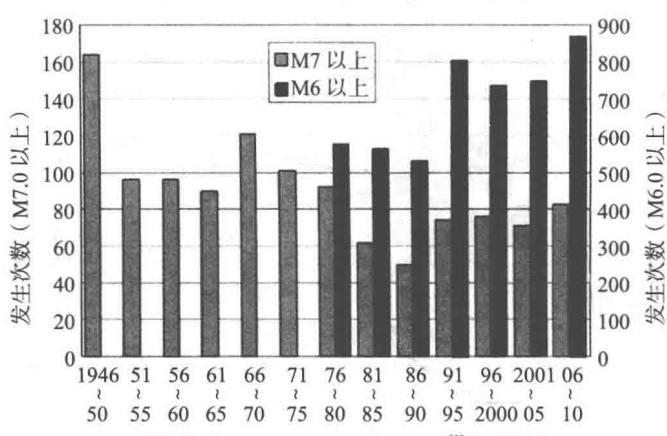
此外, 对这 65 年间世界范围内地震发生的全部次数, 分别按矩震级 M_w 6.0 以上和 7.0 以上进行了统计, 如图 1.3 所示。由图可知, 就地震发生次数而言, 发展中国家发生 M_w 7.0 以上地震的次数有减少趋势, 但发生 M_w 6.0 以上地震的次数在近 20 年间有所增加。

如图 1.3 所示, 地震发生的总次数增加了, 但 M_w 7.0 以上的大地震次数有所减少, 然而,



(基于 2010 年防灾白皮书^[1]的数据)

图 1.2 1946 年以后地震、海啸灾害发生件数
(造成 1000 人以上的死亡、失踪的灾害, 每 5 年间的发生件数)



(基于气象厅以及美国地质调查所^[2]的数据)

图 1.3 世界上地震的发生次数
(矩震级 M_w 6.0 以上及 7.0 以上)

如图 1.2 所示,地震和海啸造成的灾害次数却增加了。图 1.2 和图 1.3 统计结果的差异表明,人类社会应对地震、海啸等自然现象的能力减弱了,其主要原因有:居住在自然灾害脆弱地区的人口增加、城市人口的过度集中、防灾基础设施和预防措施的不完备、灾后救援措施的缺乏等。如日本东北地区太平洋近海地震,在外部荷载条件远超设计值的情况下,突显了防灾减灾措施不完备的问题。

1986 年以后的世界范围内地震、海啸、风灾、水灾、滑坡、泥石流等自然灾害的发生次数和死亡、失踪人数比例,如图 1.4 所示。根据图 1.4 (a),造成 1000 人以上死亡、失踪的自然灾害在 1986 ~ 2010 年的 25 年间共发生了 60 次,其中亚洲地区发生了 42 次。另外,根据图 1.4 (b),这 25 年间的自然灾害夺走了 120 多万人的生命,其中 3/4 是亚洲人。可以看出,减少亚洲的自然灾害是目前最为迫切需要解决的课题。

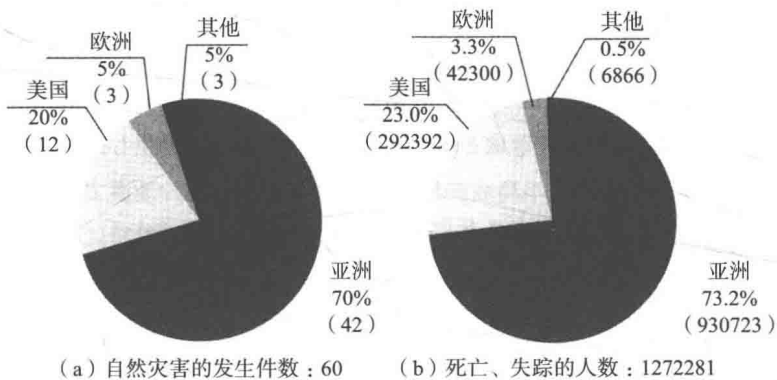


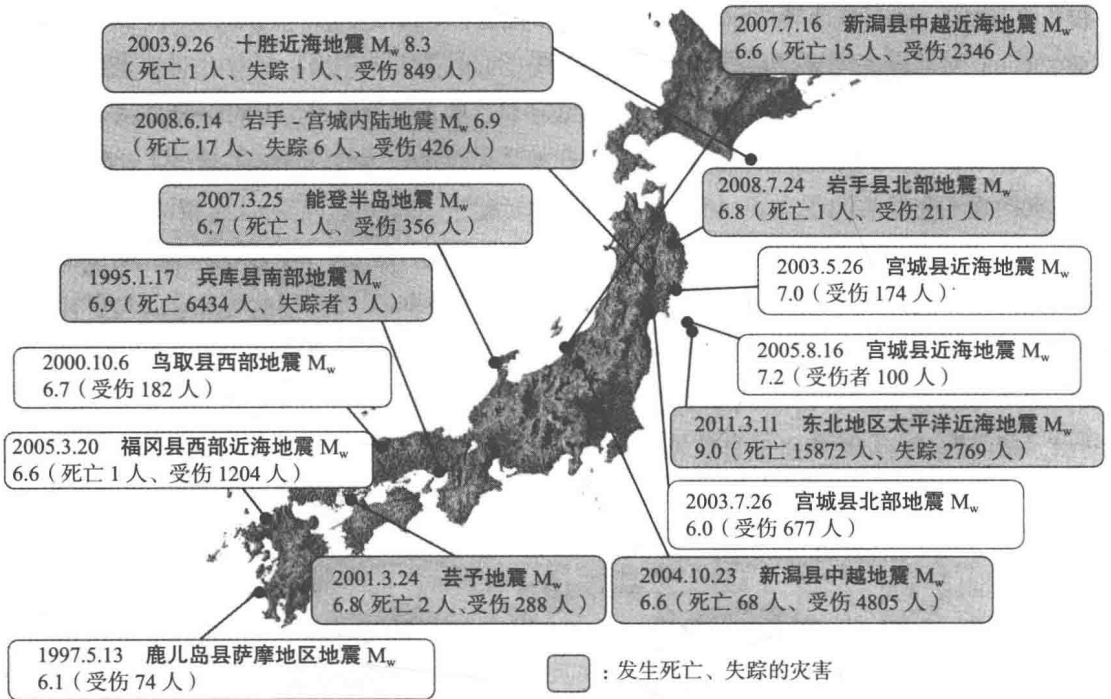
图 1.4 各地区自然灾害的发生件数和死亡、失踪人数的比例 (1986 ~ 2011 年)

图 1.5 为 1995 年以后日本地震、海啸灾害的发生情况。其中,1995 年兵库县南部地震(又称阪神大地震)及 2011 年东北地区太平洋近海地震,是过去一个世纪以来,日本继 1923 年关东大地震后发生的最严重灾害。

在兵库县南部地震中,由于内陆断层附近强烈的地震动,造成道路、港湾等社会基础设施和房屋建筑物等破坏,死亡、失踪人数达到了 6434 人(包括地震后因疾病等致死的人数)。此次地震暴露了灾害信息收集及应对迟缓、地震后火灾救援不利、灾后修复重建时难以协调当地居民诉求等各种问题。此后虽然重新完善了地震防灾措施,包括建筑物的抗震设计和抗震加固等。但是,在东北地区太平洋近海地震中再次暴露出灾害信息收集和紧急应对措施不完备等方面的问题。

东北地区太平洋近海地震所引发的海啸造成了空前的灾难。浪高达 14m 的海啸席卷了从东北地区北部到关东地区的海岸线,很多建筑物被冲走。因地震动、地基液化、斜坡滑塌等造成 129656 栋建筑物完全损坏,266834 栋部分损坏(根据 2012 年 12 月 5 日警察厅的统计数据)。

另外,东京电力福岛第一核能发电站因海啸造成反应堆冷却功能失效,氢气爆炸导致大量放射性物质逸出,从东北地区到关东地区均受到污染。到本书写作时为止,尚未找到妥善



处理污染土壤和瓦砾的措施。此外，位于海岸线附近的污水处理厂等生命线设施、公路、铁路设施等也受损严重。

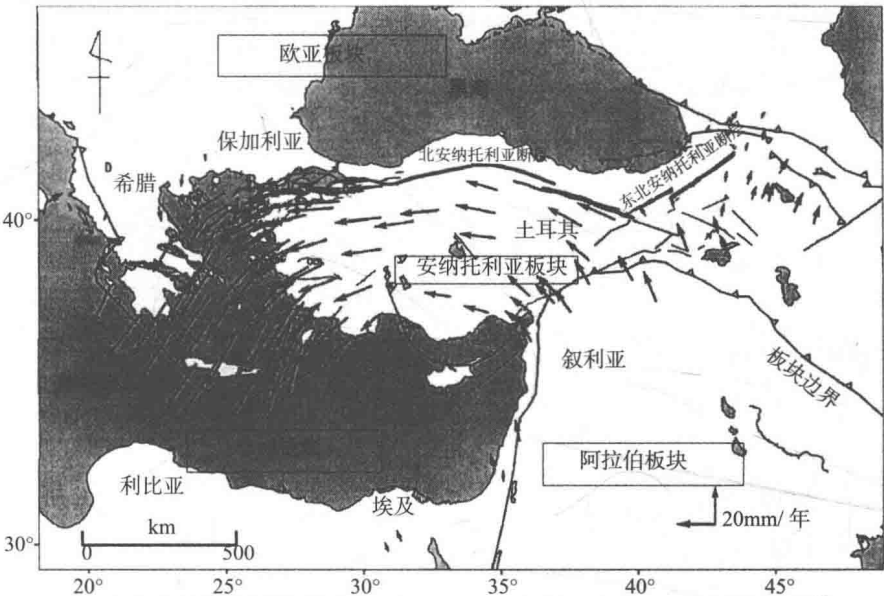
从兵库县南部地震到东北地区太平洋近海地震发生，经历了 16 年的时间，在此期间还发生了其他地震，也出现了许多新的问题。2003 年十胜近海地震中，苫小牧市的储油罐发生火灾，引起了对长周期地震动问题的关注；2004 年以山地为震源的新潟县中越地震，导致斜坡滑塌，形成的堰塞湖淹没了许多村落；此外，2007 年能登半岛地震及新潟中越近海地震，引发地震的活动断层附近建有核能发电站，核能发电站建设前并没有勘察到活动断层的存在。在东京电力柏崎刈羽核能发电站附近发生的新潟县中越近海地震中，除变压器漏油引起的火灾外，还发生了大小 200 余起事故，幸运的是，这次地震没有造成像东北地区太平洋近海地震那样大量放射性物质的逸出。

1.2 世界范围内的地震、海啸灾害

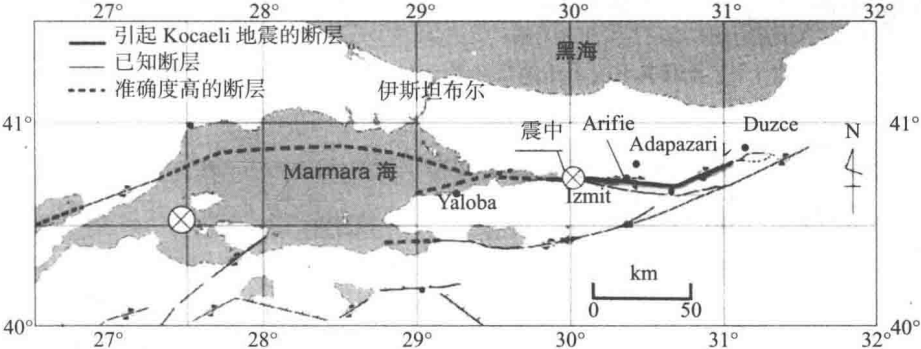
1.2.1 1999 年 土耳其 Kocaeli 地震 [4]

1999 年 8 月 17 日，在土耳其西部的 Kocaeli 省发生了 M_w 7.6 (M_w 表示矩震级，下同) 的地震。震中位于东经 $40^{\circ}77'$ 、北纬 $29^{\circ}97'$ ，震源深度为 17km。地震导致死亡、失踪人数约 15500 人，受伤人数约 23000 人，完全损坏的房屋约 20000 户，受灾总额达 60 亿美元。

如图 1.6 (a) 所示, 由于非洲板块向东北方向移动及阿拉伯板块向北移动, 使得土耳其境内的安纳托利亚板块逆时针方向旋转, 并且向西水平移动, 形成了东西长约 1000km 的北安纳托利亚断层, Kocaeli 地震是该断层西部区域 (从 Duzce 市到 Izmit 市) 的右移引发的。该地震中出现了多个地表断层。照片 1.1 为 Arifie 出现的地表断层的情况, 该处向右位移量达到 3.6m。



(a) 土耳其周边的板块和主要断层 (出处: 根据 R. Reilinger 等的图修改)^[3]



(b) 引起 Kocaeli 地震的断层 (根据土耳其海峡大学地震工程研究所的图修改加工)

图 1.6 土耳其周边的板块构造与主要断层

地表断层的位移引起 Arifie 高速公路上架设的跨路桥倒塌。该跨路桥为 4 跨的预应力混凝土简支梁桥。如照片 1.2 所示, 桥梁与地表地震断层呈约 70° 的交错, 桥跨增大, 导致简支梁从桁座脱落。估计附近的地表地震断层向右平移了约 4m。

图 1.7 表示从伊斯坦布尔到震中区域观测到的水平方向地面加速度的最大值。位于地震断层东部的 Duzce 的记录值为 366cm/s^2 、Adapazari 为 399cm/s^2 。此外, 离震中约 130km 的 Ambarli 为 245cm/s^2 、伊斯坦布尔机场为 88cm/s^2 。