

日本阪神大地震考察

中国赴日地震考察团

地震出版社

序

地震是具有极大破坏力的自然灾害，人类为抗御地震灾害一直在进行不懈的努力。随着社会经济和文明的发展，现代化城市的规模越来越大，生命线系统也越来越复杂，因而一旦发生地震，损失也随之增大。目前世界上地震多发国家都十分重视城市防震减灾工作，我国已明确提出争取用十年左右时间，使我国大中城市和人口稠密、经济发达地区具备抗御6级左右地震的能力，这是一项非常重要和艰巨的任务。为达到这一目标，还要做很多工作，其中之一就是总结已发生地震的经验教训。地震是小概率事件，破坏性地震不仅发生的机会少，而且从中得到的经验和教训都是以巨大的伤亡损失为代价的，因此，有关破坏性地震的资料更为宝贵。

1995年1月17日凌晨5时46分，在日本兵库县南部发生了7.2级地震，震中位于兵库县首府神户市和淡路岛之间的海底，震害集中在以神户市为中心的狭长地带。日本气象厅将这次地震命名为兵库县南部地震，但是新闻媒介称之为阪神大震灾或阪神大地震；而后，日本政府在官方用语中谈到震灾时也用“阪神、淡路大震灾”的称呼。这次地震造成5438人死亡，直接经济损失约1000亿美元，是日本自关东大地震以来损失最严重的一次，引起世界各国极大关注。

日本是最重视防灾的国家之一，为防灾减灾投入了大量人力物力，苦心经营了一套防灾体制，并且在这次地震中经受了考验。这次地震发生在一个现代化的大城市，震级大，震源浅，破坏重。为借鉴日本用高昂的代价取得的极其珍贵的经验教训，国家地震局、国家自然科学基金委员会和北京市市政管理委员会组织了专业考察团，前往地震现场实地考察，并访问了日本有关政府机关、大学、官方及企业的研究机构，同官员、学者、市民以及工作在第一线的救灾工作人员座谈，获得了许多资料。本书即为考察团的总结汇报，可供从事防震减灾工作的有关人员在工作中参考。相信这些资料和经验教训会对我国的防震减灾事业起到积极的作用。

李裕激

1995年5月21日

前 言

1995年1月17日当地时间凌晨5时46分,日本兵库县南部发生了7.2级破坏性地震,震灾殃及人口集中、经济发达的神户—大阪地区,造成了严重的损失,这就是震惊世界的日本阪神大地震。

这次地震引起了世界许多国家的关注。为了吸取日本在这次地震中防震减灾工作经验教训,国家地震局、国家自然科学基金会和北京市市政管理委员会三方组成中国赴日地震考察团,在国家地震局国际合作司的安排下,一行11人由国家地震局震灾防御司李裕澈司长带队,于1995年2月17日赴日考察。

考察团分成三个小组:监测预报组、工程抗震与震害考察组和防震减灾对策考察组,在日工作12天,对地震监测预报、地震基本特征、地震地面运动、场地条件与地基破坏、房屋建筑破坏、生命线工程破坏、港口码头破坏、经济损失及人员伤亡、震前预防、震时应急、震后重建、防灾体系与防灾立法等诸多方面展开考察。通过灾害现场考察,访问各级政府有关人员,有关大学、研究机构,听取介绍,进行座谈讨论,收集已有的录像、照片、图表、报告、文章、报纸等,通过各种渠道和途径取得了第一手资料。

本书根据考察结果和资料分专业汇总。第一章由袁一凡编写,第二章由李宣瑚、郑斯华、张晓东编写,第三、四、五章由张敏政、那向谦、罗奇峰编写,第六章由冯启民、罗玲编写,第七章由李裕澈、袁一凡、陈永编写,第八章由冯启民编写。这次地震称呼很多,在本书中我们称之为阪神大地震。本书资料取自地震后不久,有些图件及符号按原文不变,由于对这次地震的研究还在不断深入,所以难免有遗漏或错误之处,请读者指正。

这次赴日考察得到了中国驻大阪总领事馆、日本京都大学防灾研究所、中国在地学者和研究人员、日本国土厅防灾局、日本气象厅、东京都市政府、兵库县政府防灾对策本部、兵库县洲本市防灾对策本部、大阪西管区气象台、神户大学、大阪朝日新闻电视台、日本东京大学生产技术研究所、日本国际减灾工程中心(INCEDE)、日本东京大学地震研究所、清水建设公司技术研究所等单位和个人的大力协助;日本京都大学防灾研究所松波孝治副教授安排访问和陪同我们进行现场考察;在整理和编写报告的过程中,还得到国家地震局有关部门和地震信息中心的帮助,在此一并表示感谢。

编 者

1995年5月

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 阪神大地震概况	(1)
1.2 阪神大地震的经验教训	(2)
第二章 地震的基本特征及前兆现象	(4)
2.1 阪神 7.2 级地震的基本参数	(5)
2.2 余震基本特征	(8)
2.3 阪神及其周围地区历史地震活动及阪神 7.2 级地震的发震构造	(16)
2.4 阪神大地震的几个可能前兆现象	(19)
2.5 日本学者对震后地震趋势的估计	(24)
2.6 几点认识与思考	(25)
第三章 地震动和地基破坏	(27)
3.1 地震烈度和地震动	(27)
3.2 场地条件和地基破坏	(40)
第四章 房屋建筑破坏	(41)
4.1 房屋破坏概况和震害特点	(41)
4.2 房屋破坏原因分析	(44)
4.3 两类特殊破坏现象	(47)
4.4 经验和启示	(50)
第五章 生命线工程系统震害及修复	(51)
5.1 公路与铁路桥梁	(51)
5.2 港口码头及河岸堤防	(53)
5.3 地铁	(54)
5.4 隧道	(54)
5.5 电力供给系统	(54)
5.6 通讯系统	(56)
5.7 供水系统	(57)
5.8 供气系统	(59)
第六章 防灾救灾	(61)
6.1 震前预防	(61)
6.2 震时应急救援	(65)
6.3 城市震灾特点对救灾的影响	(68)
6.4 震后恢复	(69)
第七章 结语	(70)
附录一 日本的地震保险	(73)
附录二 日本政府机关在阪神大地震中的应急行动	(75)
震害照片	

第一章 概 述

1.1 阪神大地震概况

近年来,日本列岛附近地震频繁,仅 1993 年以来就发生 7.5 级以上地震 4 次,但这些地震都发生在近海,对陆地造成的破坏不算严重。1995 年 1 月 17 日当地时间凌晨 5 时 46 分,日本兵库县南部受到了 7.2 级地震的袭击,震源在兵库县首府神户市和淡路岛之间的海底。这次地震的震源浅,震级大,发震断层穿城而过,日本称之为“直下型”地震,给神户市、及其附近的芦屋市、西宫市、淡路岛等地区造成了极其严重的震害:房屋倒塌,交通中断,城市一时瘫痪,大量居民被困埋在倒塌的房屋中,继起的大火更加剧了震害和伤亡,这是日本自 1923 年关东大地震以来损失最为严重的一次地震,直接经济损失的绝对值超过了关东大地震。据日本国土厅防灾局到 2 月 27 日为止的统计,地震造成的人员伤亡及破坏情况如表 1.1。

表 1.1 阪神大地震人员伤亡及破坏情况统计 (截止 1995 年 2 月 27 日)

项 目	数量及破坏情况	备 注
死亡	5438 人 ¹⁾	据我国驻大阪总领事馆统计,我国留学生及家属遇难 22 人
受 伤	34523 人	
下落不明	3 人	仅神户市
避难人数	319638 人	
避难所	1239 处	
住宅 全坏	89423 栋	
半坏	68762 栋	
部分损坏	32970 栋	
公共建筑损坏	547 栋	
其他建筑	3105 栋	
火灾	531 起	
停电	100 万户	
停水	129 万户	3 条高速公路、山阳新干线、JR (日本铁路) 铁路线、2 条私营铁路及城市地铁均被切断
停气	44.2 万户	
道路破坏	9402 处	
港湾码头	大量液化、沉陷、开裂,岸壁破坏 80% 以上,港口作业停止	

1) 后来公布的数字略有增加。

据通产省 2 月 14 日统计概算,这次地震的直接经济损失约为 96000 亿日元,约合 1000 亿美元 (表 1.2)。

表 1.2 阪神大地震直接经济损失分类统计 (截止 1995 年 2 月 14 日)

类 别	经济损失 (亿日元)	折合美元 (亿)
建筑物 (住宅、店铺、办公楼等)	63000	656
港湾设施	10040	105
交通 (高速道路、铁路)	11960	125
公共土木设施	2926	30
文教设施	2603	27
电气	2300	24
上、下水	521	6
通信	309	3
其他	2341	24
合计	96000	1000

上述损失未包括企业库存和个人财产。据日本经济企画厅推算,这次地震的直接损失占全国资产额的 0.8% (全国资产额指除去土地、对外纯资产等外的全国资产),约占国民经济总收入 (GNP) 的 0.2%。按当时货币价值计算,日本几次大灾害和战争损失比较如表 1.3。

表 1.3 自然灾害与战争损失比较

事 件	时 间	经济损失 (亿日元)	占全国总资产比例
阪神大地震	1995.1	96000	0.8%
伊势湾台风	1959.9	3035.31	1.9%
太平洋战争	1945.8	642.78	25.4%
关东大地震	1923.9	52.75	10.5%

1.2 阪神大地震的经验教训

日本是一个多灾害的国家,地震灾害最为严重,百余年来,日本政府和国民吸取了与灾害作斗争的经验教训,辛勤经营了一套以法律为中心的防灾救灾体制,在地震预报、工程抗震、防灾准备等方面投入了大量的人力和物力。人们普遍认为日本在预防和抗御自然灾害方面处于世界各国前列。然而,阪神大地震的破坏引起了日本全国上下和世界的震动,新闻媒介形容:阪神大地震的震害打破了“日本是世界防灾强国”、“日本高速道路固若金汤”的神话。实际情况究竟如何?日本在防震减灾事业中所作的努力有哪些是成功的?有哪些不足或失误?这是震后普遍为人们所关注的问题,也是我们考察的重点。

事实表明,阪神大地震的经验教训是非常丰富、非常深刻的,特别对于人口密集、经济发达的地区和现代化城市更为有益,这主要反映在以下几个方面:

1. 地震预报和设防标准方面

本次地震出现了一些可能的前兆现象,但如何将它用来实现短临预报还有很多工作要做。对于城市防震减灾来说,正确地确定设防水平是整个工作的基础,这就向中长期预报,尤其是历史上地震活动性弱的地区进行中长期预报提出了更高的要求。同时,阪神大地震的教训表明,设防标准还应综合考虑地区的人口、经济状况,以及目前预报水平的现状。

2. 工程抗震方面

可以说阪神大地震是对各类结构抗震能力的一次大检查。震害调查表明：①经过良好抗震设计的建筑物，如按日本新的规范（1981年）设计的高层和超高层建筑都完好，隔振房屋表现良好；②老旧房屋和以高架桥为代表的生命线工程遭到了前所未有的致命打击，供水系统破坏严重，影响救灾；③首次出现地铁主体结构的震害；④建筑物的中间层破坏和巨型钢结构的破坏，这是历次地震中很少见到的现象；⑤建在人工回填软地基上经过地基处理的高层建筑经受了振动和液化考验，表现良好，但港口码头遭到破坏，所有码头几乎都停止作业。也就是说，这次震害向现有抗震设计理论和方法提出了新的挑战，提出了软地基的抗震、竖向地震力的影响以及抗震验算模型等一系列新的有待研究的课题。

3. 城市防灾救灾方面

这次地震的情况表明，日本的国家和地方政府的防灾体制起到了作用，但也暴露出不足之处，主要表现在大震应急救援方面。防灾体制如何适应大震救灾要求？在城市生命线系统遭到超过预料的甚至是毁灭性的破坏后，如何迅速判断灾情、组织及时有效的应急救援行动？防灾规划如何更具体、更具可操作性？如何加强市民防震减灾的心理准备？阪神大震在这些方面提供了极为宝贵的经验教训。

以下各章在上述几个方面汇集了考察团所收集到的资料和初步认识。这些分析是粗浅的，有待于今后进一步充实和修正，更重要的是以此为借鉴，用以促进和改进我们的防震减灾工作。

第二章 地震的基本特征及前兆现象

日本是世界上多地震的国家之一，自 1923 年关东大震以来，曾有 20 次 6.8 级以上破坏性地震发生，除关东大震灾之外，本次阪神地震灾害最为严重，其中 20 次地震分布及有关参数见图 2.1 及表 2.1。

表 2.1 日本关东大地震以来主要地震

序号	名 称	发 震 时 刻	震 级
1	关东大地震	1923 年 9 月 1 日 11 时 58 分	7.9
2	北但马地震	1925 年 5 月 23 日 11 时 10 分	6.8
3	奥丹后地震	1927 年 3 月 7 日 18 时 28 分	7.3
4	鸟取地震	1943 年 9 月 10 日 17 时 37 分	7.3
5	东南海地震	1944 年 12 月 7 日 13 时 36 分	8.0
6	三河地震	1945 年 1 月 13 日 3 时 38 分	7.1
7	南海道地震	1946 年 12 月 21 日 4 时 19 分	8.0
8	福井地震	1948 年 6 月 28 日 17 时 15 分	7.1
9	十胜近海地震	1952 年 3 月 4 日 10 时 23 分	8.2
10	新潟地震	1964 年 6 月 16 日 13 时 过	7.5
11	十胜近海地震	1968 年 5 月 16 日 9 时 49 分	7.9
12	伊豆半岛近海地震	1974 年 5 月 9 日 8 时 33 分	7.9
13	伊豆大岛地近海地震	1978 年 1 月 14 日 12 时 24 分	7.0
14	宫城县地震	1978 年 6 月 12 日 17 时 14 分	7.4
15	日本海中部地震	1983 年 5 月 26 日 12 时 过	7.7
16	钏路近海地震	1993 年 1 月 15 日 8 时 6 分	7.8
17	北海道南西近海地震	1993 年 7 月 12 日 22 时 17 分	7.8
18	北海道东方近海地震	1994 年 10 月 4 日 22 时 23 分	8.1
19	三陆逼近海地震	1994 年 12 月 28 日 21 时 19 分	7.5
20	阪神大地震	1995 年 1 月 17 日 5 时 46 分	7.2

下面从地震学和地震预测研究的角度，介绍这次地震中所获得的重要观测资料和初步分析结果。

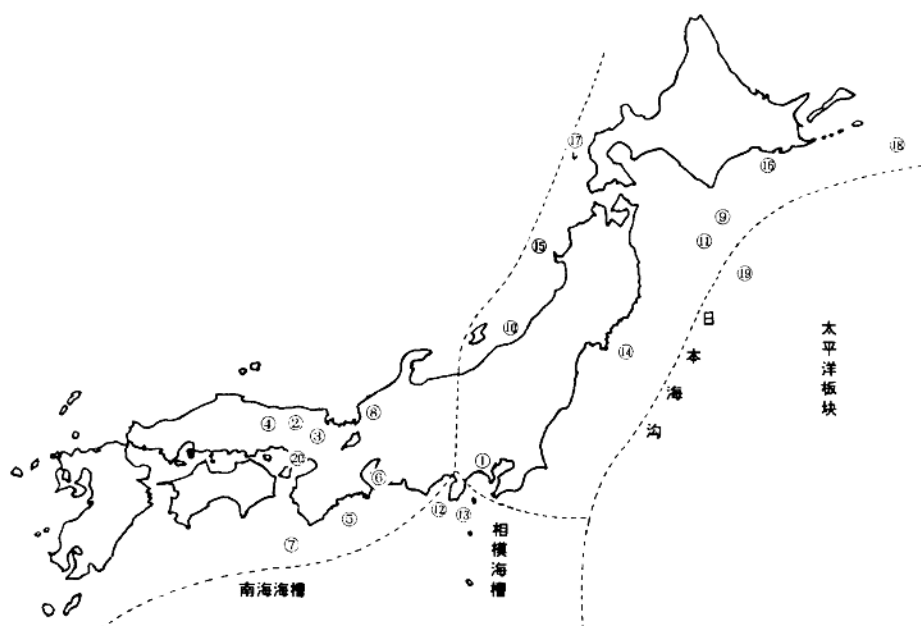


图 2.1 关东大震后日本主要地震分布（图中数字为地震序号，同表 2.1）

2.1 阪神 7.2 级地震的基本参数

1. 主震的震源位置

京都大学防灾研究所地震预知研究中心根据该中心地震台网的观测资料，并加上在大阪湾周围地区其他研究机构的观测资料，重新测定了主震的位置，所得的结果为：

发震时刻：1995 年 1 月 17 日 05 时 46 分 57.7 秒（日本时间）

震中位置：北纬 34.604° ，东经 135.034°

震 级：7.2

震源深度：17.27km

震中位于明石海峡附近。图 2.2 为地震定位所采用的观测点的位置。这些观测点分别属于京都大学防灾研究所（6 个）、东京大学地震研究所（4 个）、关西地震观测研究协议会强震观测点（10 个）、气象厅（3 个）。图中实心圆点为阪神 7.2 级地震的主震位置。

图 2.3 为各研究单位确定的震源位置的比较，图 2.3 中 JMA 代表日本气象厅、USGS 代表美国地调局、WAKAYAMA 代表东京大学地震研究所的和歌山观测站、ERI（AUTO）代表东京大学地震研究所自动定位结果、DPRA 代表京都大学防灾研究所地震预知研究中心。

2. 主震震源机制

根据京都大学防灾研究所、东京大学地震研究所和名古屋大学理学部地震观测台网的 44

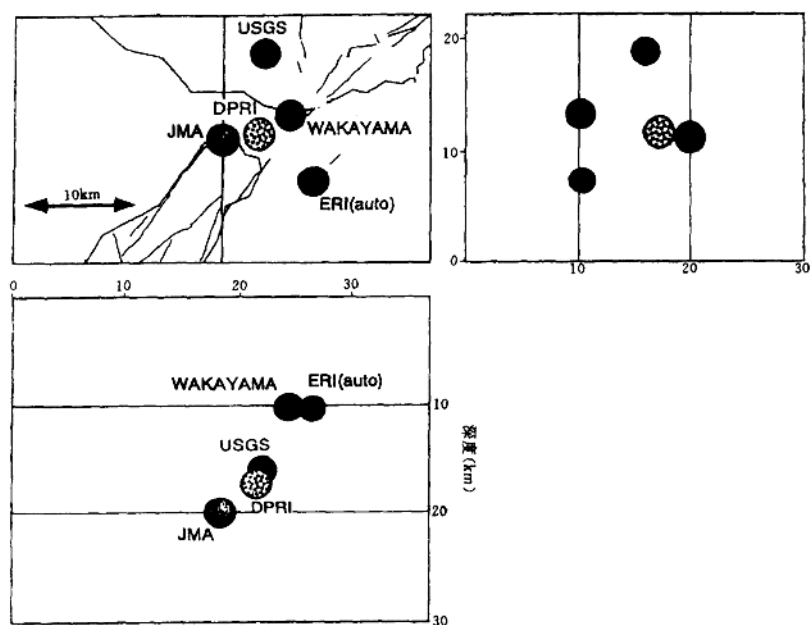


图 2.3 各研究单位测定的震中位置比较

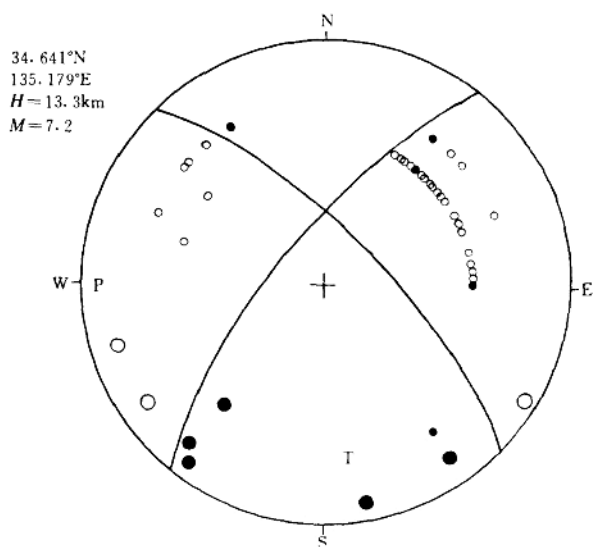


图 2.4 根据 P 波初动确定的主震震源机制解

矩震级: $M_w = 6.9$

破裂持续时间: $T = 11\text{s}$

3. 主震破裂过程

菊地正幸通过对世界数字化地震台网体波波形的详细分析, 初步确定主震由 3 次子事件组成, 各次子事件的参数列于表 2.2。

表 2.2 主震 3 次子事件参数

事件号	走向/倾角/滑动角	地震矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	矩震级 M_w	破裂起始时间 (s)	破裂开始点距 震源的距离(km)
1	229°/86°/171°	1.81×10^{15}	6.8	0~6	0
2	214°/66°/136°	0.30×10^{15}	6.3	4~9	10~15
3	70°/85°/-6°	0.59×10^{15}	6.4	6~11	15~20

如果假设刚性率 $\mu = 3 \times 10^5 \text{N/cm}^2$, 破裂传播速度 $v = 3.0 \text{km/s}$, 断层纵横比 $L/W = 2$, 则可以进一步得到 3 次子事件的震源参数如表 2.3。

表 2.3 主要子事件震源参数

事件号	破裂持续时间 (s)	断层面积 (km^2)	滑动量 (m)	应力降 (bar)
1	4 (双侧)	24×12	2.1	93
2	3	9×5	2.5	130
3	4	12×6	2.1	242
合计	11	40×10	2.1	100~200

图 2.5 给出了在波形分析中观测波形与理论波形的比较。由上述参数可见, 3 个子事件的断层总长度为 45km ($= 24 + 9 + 12$), 但考虑到 3 个子事件的断层有相互重叠的部分, 因此从总体断层面积推测, 实际的断层长度为 $39 \sim 43 \text{km}$ 。

4. 烈度分布

图 2.6 给出了主震的烈度分布。黑圈中的数字为日本气象厅烈度表的烈度值^①。除 7 度区以外, 均为烈度计测定的数值。由于日本在本次地震之前从未观测到 7 度的地震动, 所以目前所使用的烈度计最大值为 6 度。震后通过现场调查发现了木结构房屋破坏率超过 30% (有些地区出现山崩、地裂、地震断层) 的地区, 根据日本气象厅烈度表, 这种破坏已达到最大烈度 7 度。因此在这次地震中, 日本首次观测到 7 度的破坏。图 2.7 给出了通过现场调查确定的 7 度区分布。

2.2 余震基本特征

1. 余震的空间分布

东京大学地震研究所和歌山地震观测站(台站分布见图 2.8)给出了在主震后 4 小时内的余震观测结果(图 2.9), 并发现初期余震有如下特点:

^① 本书中阿拉伯数字表示的烈度值均为日本气象厅烈度表的烈度值。

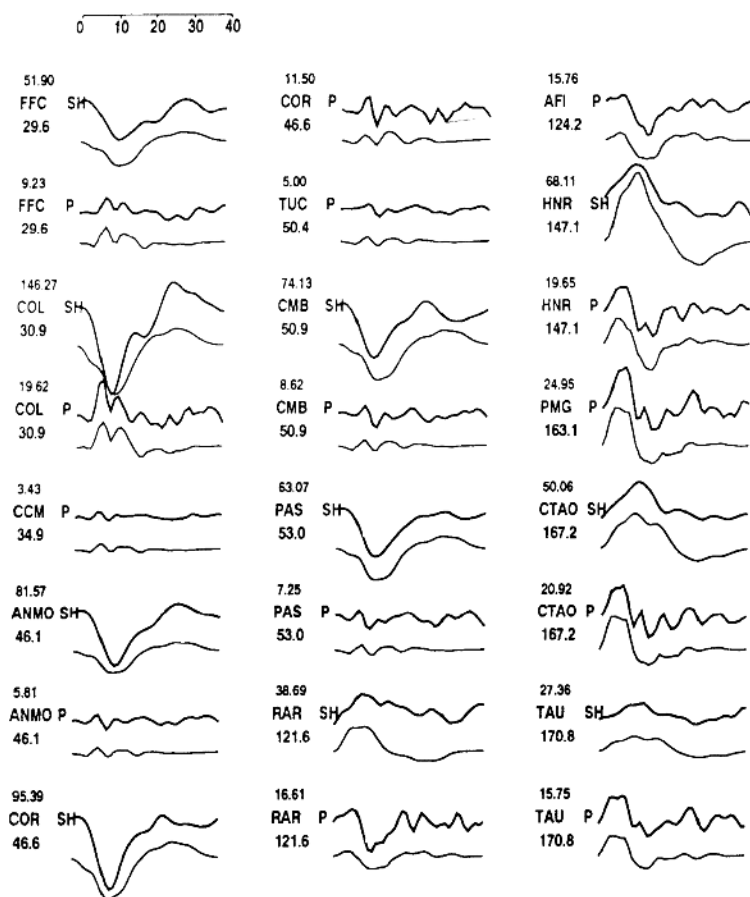


图 2.5 波形分析中观测波形与理论波形的比较

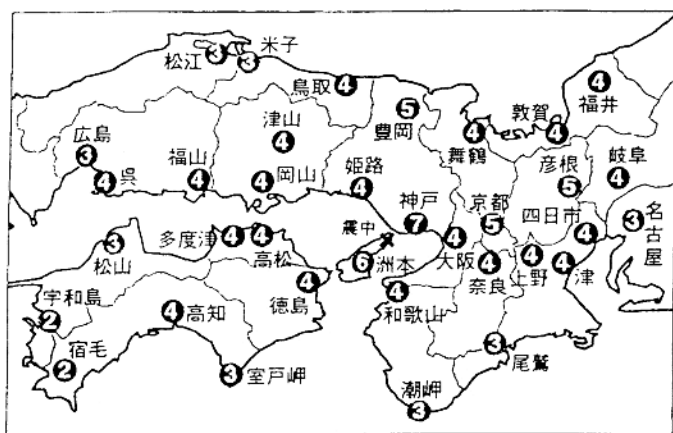


图 2.6 阪神 7.2 级地震的烈度分布 (圈内数字为烈度)

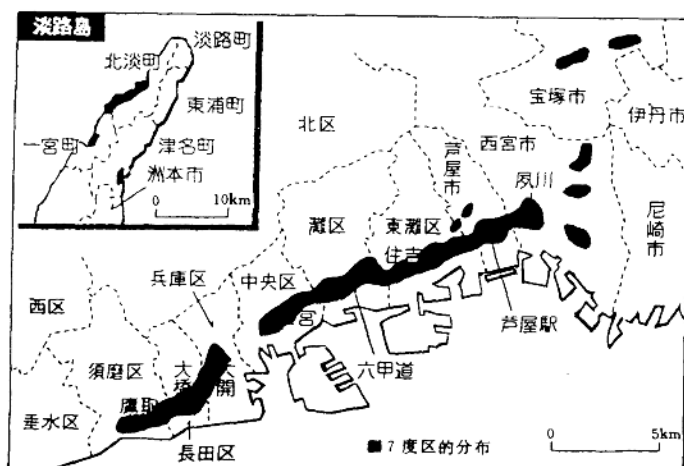


图 2.7 根据现场调查确定的 7 度区的分布

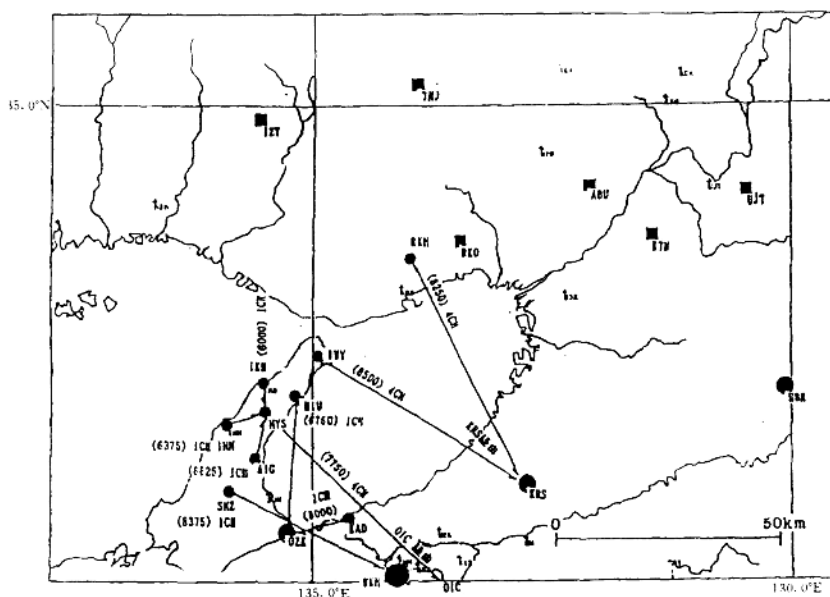


图 2.8 和歌山地震观测所所属余震观测网分布

(1) 1月17日05时50分~06时00分余震发生在主震位置的西南侧(淡路岛一侧), 神戸市附近余震较少;

(2) 1月17日06时00分~06时40分淡路岛的余震继续活跃, 余震活动扩展到神戸市长田区附近;

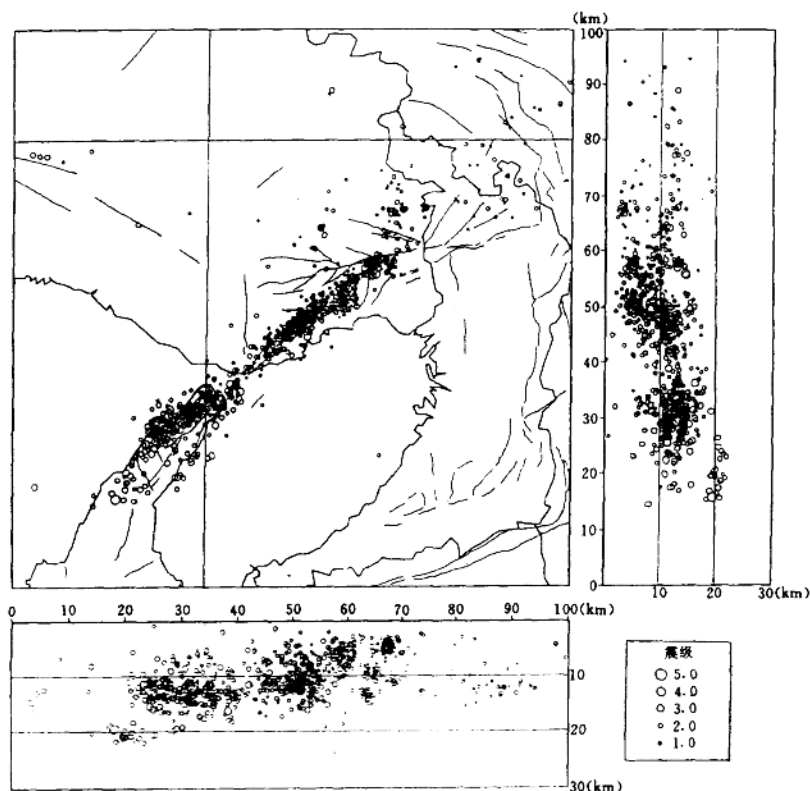


图 2.9 由阿武山地震观测网测定的余震分布

(3) 1月17日06时40分~08时00分余震活动主要分布在淡路岛北部及神戸附近，但在明石海峡（主震震源位置）附近，余震不太活跃；

(4) 1月17日08时以后，余震以淡路岛北部及神戸为中心活动，而在主震附近的明石海峡余震活动很低。此后一直保持着这种倾向；

(5) 在17日晚和18日观测到的最小S-P为0.7s，相当于余震活动的深度上限为5km。在淡路岛北部附近，余震活动深度下限为20km，深度分布中心为12.3km。

京都大学防灾研究所地震预知研究中心所属的阿武山地震观测台网距震中最近，因此可以精确地确定余震的震源位置。图2.9是阿武山地震观测网在自动测定的基础上，采用人机结合方式重新测定的余震分布图。从1月19日16时至1月27日23时59分，可以精确测定震源位置的余震共有959个。图2.9的右侧为南北方向的剖面图，图的下部为东西方向的剖面图（截至2月20日，余震约达2000个）。

由图可见，从淡路岛经过神戸到西宫市的北部，余震基本沿直线分布。余震区全长60km。图2.10为淡路岛地区的余震分布。考虑到余震展布的方向，图中的地图已旋转了45°，因此图的下部是沿余震展布方向的剖面，而右侧为沿着与余震展布方向相垂直方向的剖面。值得

注意的是，在淡路岛的东海岸附近也出现了余震，对此还有待进一步研究。

图 2.11 是神户一侧的余震分布，图中的地图已旋转了 45° 。由图可见，神户一侧余震沿着神户山麓的活断层分布，并且在神户市区内没有观测到有明显的余震活动。

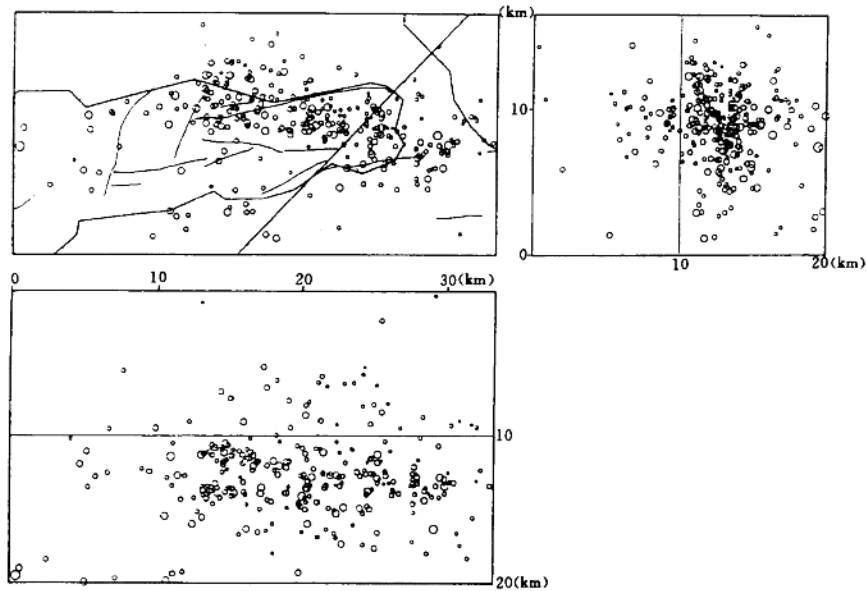


图 2.10 淡路岛地区的余震分布

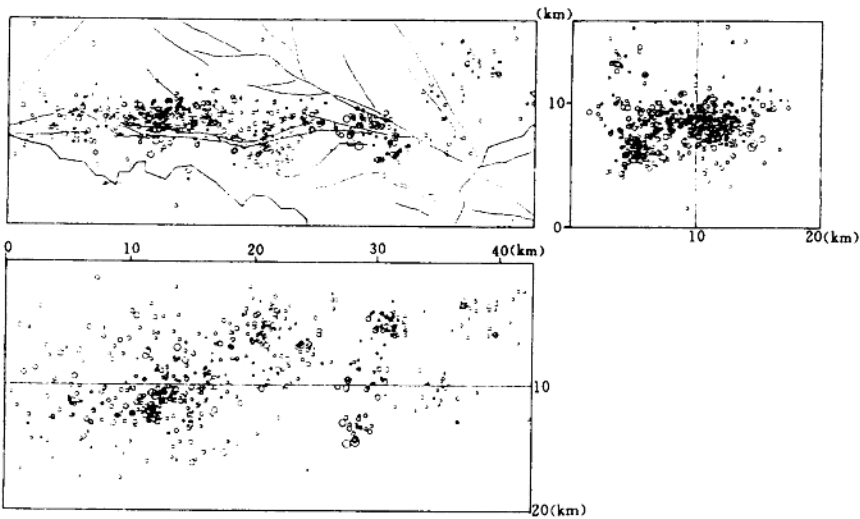


图 2.11 神户地区的余震分布