

(3)
13-16.19

日本兵库地震震害对我国抗震设计的几点启示

张雪亮 黄永林[✓] 章熙海

(江苏省地震局 南京 210014)

TU352.11

摘要 本文对1995年1月17日日本兵库县南部地震震害情况作了介绍,并结合我国的实际情况,提出了我国抗震设计中诸如地震设防标准、活动断层与工程选址、软土地基与液化、隔震技术应用等方面应注意的问题。

关键词 地震 震害 抗震设计 抗震法规 设防标准 隔震技术

日本

1995年1月17日凌晨5时46分(北京时间),日本兵库县南部发生了7.2级大地震。这次地震发生在通过神户正下方的六甲断层上,震中位于淡路岛和神户之间的明石海峡,坐标位置为东经135.0°,北纬34.6°,震源深度为20km,地震断层错动长度约50km,水平方向的最大位移为1.9m,如图1

严重的火灾。破坏极其严重,经济损失巨大。

日本是一个多地震国家,结构抗震设计的理论和实践具有相当的水平。研究这次震害的经验教训,可以从中得到有益的启示。我国现行工程抗震设计中,有几个问题应引起足够重视,应从这次震灾的教训中吸取有益的经验。

1 地震设防标准

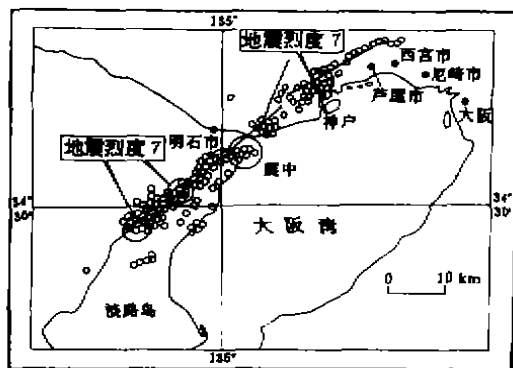


图1 兵库县南部的发震构造和主、余震震中分布图所示。震中附近地区的宏观烈度对应的地震动峰值加速度如图2所示^[1]。从图中可以看出,沿错动断层的两侧的地震烈度较高,地震动峰值加速度竟高达 833cm/s^2 。这次地震造成大量房屋倒塌,墙体开裂,隧道崩裂,桥梁和公路立交桥落梁、梁柱破碎损坏、挡土墙开裂,供水管线和通讯设施破坏。并引发

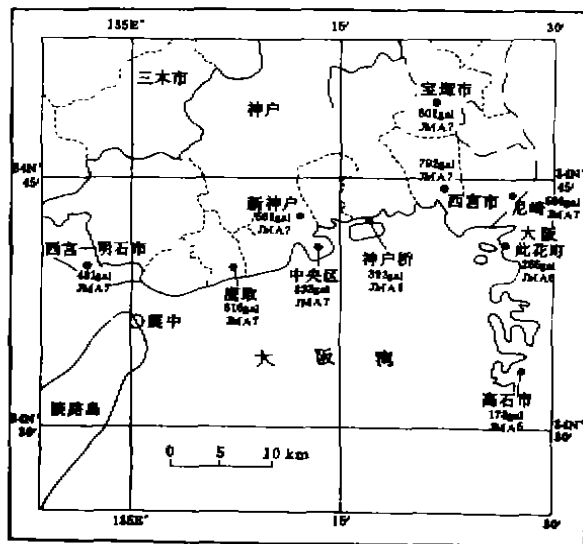


图2 兵库县南部地震宏观地震烈度与地震动峰值加速度

正常评估的工程场地地震设防标准,是工程结构设计的基础资料,也是保证工程抗震安全性的重要依据。对工程场地设防标准低估,会给工程结构的抗震安全性留下隐患;高估则增加不必要的投资。所以,地震设防标准的评估是工程建设决策重要而基本的研究问题之一。

工程场地地震设防标准一般用具有概率含义的地震烈度或地震动水平峰值加速度与地震反应谱来表示。地震烈度是可能发生的震害的宏观定性描述,缺乏工程抗震设计所需的定量指标。工程结构的抗震设计需要量化的地震动参数。为适应工程设计需要,各国研究者进行了不少研究工作,建立了宏观地震烈度和地震动的水平峰值加速度的对应关系式。但由于强震记录难以猎取,且地震动特征随地震地质构造、传播路径、地貌特征和场地条件而变化,人们只能寻求宏观地震烈度与地震动水平峰值加速度的经验对应关系,这种对应关系准确程度随着强震记录的增加而增加。但是由于工程结构的抗震潜力难以估计,加之国家经济建设承受能力等因素的影响,抗震规范中采用烈度与地震动

的对应值在应用时往往取值偏低^[2-3]。这次兵库地震的宏观烈度与地震动的观测对应关系如表1所示^[1]。从表1可以看出,烈度为5(7)、6(8)和7(>9)的对应地震动水平峰值加速度的平均值分别为210、329和637cm/s²。这些对应值远超过我国现行建筑抗震规范的规定值。这也是兵库地震震灾严重的原因之一。我们应吸收兵库地震惨重的经验教训,加强地震设防标准的定量指标的研究。

当前,我国处于经济建设发展时期,正大兴土木,加强能源、交通等基础设施的建设。由于国力有限,不可能对所有工程场址进行地震安全性评价。但至少对重大工程结构(如大型桥梁、高层建筑、电厂、码头、水闸、水坝、高架桥等)应进行地震安全性评价,在这一工作基础上给出考虑场址区域特征的地震设防标准的定量指标,以提高重大工程结构的抗震可靠性。

2 活动断层与工程选址

活动断层系指目前仍在活动的断层,活断层的地震重演周期一般在几十年至几千年之间。因此,对工程建设而言,研究判别断层活动的最新地质年代是有意义的。《核电厂厂址选择中的地震问题》(HAF0101(1))中规定,核电厂厂址必须在以厂址为中心,5km为半径的范围内,实证无能动断层。即在此区域范围内的断层在晚更新世(Q₃)或约10万年以来没有发生过活动迹象,并证明它们与其它能动断层无关^①。这是因为核电厂遭受地震破坏将会造成极其严重的次生灾害。所以从核电厂绝对安全考虑,厂址应座落在无能动断层的区域。其它类型建筑物震害没有核电厂造成地震次生灾害严重,则可参照建

表1 地震动水平峰值加速度与烈度观测值

台 址	PGA (cm ² /s)	北纬 (°)	东经 (°)	震中距	烈度 (日本)
新干线 大阪站	245	34.737	135.516	49.6	5 (7)
大阪此花町	266	34.667	135.425	38.8	6 (8)
高石市	176	34.545	135.412	37.6	5 (7)
尾崎市	580	34.705	135.438	41.2	7 (>9)
宝塚市	601	34.809	135.344	39.2	7 (>9)
西富市	792	34.721	135.355	34.4	7 (>9)
神户桥	393	34.707	135.293	28.5	6 (>8)
神户城 中央区	833	34.397	135.213	20.8	7 (>9)
新干线 神户站	511	34.704	135.200	21.4	7 (>9)
鹰取	616	34.649	135.139	13.8	7 (>9)
西宫—明石	481	34.664	134.964	8*	7 (>9)

注:括弧内的值相当于中国地震烈度表的烈度值。

① 核电厂厂址选择中的地震问题(HAF0101(1))、国家核安全局、国家地震局批准发布,1994年

核电厂的要求适当放宽。从这一观点出发,工程建设场址座落在 Q_3 以来无活动的断层处时可不予考虑断层活动的影响。仅对 Q_3 和 Q_4 (全新世) 以来有活动的断层加以重点研究判别,这样就可以解除一遇断层就担心发震的恐惧心理,有重点地投入对为数不多的 Q_3 尤其是 Q_4 以来活动的断层判别研究。

随着我国经济建设的发展,土地日益升值,在某些地区即使是在证实 Q_3 和 Q_4 活断层的地段,也不可能不利用这珍贵的土地,问题是要加强研究,弄清 Q_3 和 Q_4 断层的活动性质和规模。即要弄清活动的几种可能性:① Q_3 有活动而 Q_4 以来无活动;② Q_3 有活动而 Q_4 活动不明显;③ Q_4 有活动。这样就可根据三种不同断层的活动性质和规模,并按建筑物重要性和次生灾害的严重程度来选取建筑物类型和相关的构造措施。在活动断层区域内,合理设计营造建筑物,以达到充分合理利用土地的目的。虽然在建筑设计、构造措施上比通常的设计多投入一些资金,然而这些资金的投入与用于建筑物装璜等其它费用相比要低,却能提高建筑物的抗震性能,增加安全性。对于在活动断层区域营造的建筑物应着手研究在此区域内断层活动的程度,并采用建筑物的隔震消能减震和抗震构造措施等新技术。合理设计,精心施工以提高抗震可靠性,这对充分合理利用活动断层区域内土地,提高建筑群综合抗震能力,减轻震害和经济损失,保证生产、生活的正常运行等都是具有经济价值和社会效益的一项工作内容。

3 软土地基与液化

在这次兵庫县南部地震中至少有 15 处地面液化发生在人们没有预料到的深度中,松软土壤丧失承载能力,从而使建筑物产生不均匀变形、沉入地下或完全倾倒。在神户港口周围松软的砂土壤筑区发生了大范围的

地面变形以及码头墙和一些建筑物的倒塌。地震波经松软土壤转换为周期约为 1 秒的地面运动,与地面运动周期相近的建筑物破坏特别严重。软土地基上用钢筋多,用水泥少的轻型公路建筑比重型公路建筑损坏要轻^[4]。震害更进一步表明,建于松软地基上的建筑物,由于地基土丧失承载能力或地基土的长周期放大效应正好与建筑物的自振周期相接近等因素的作用将导致建筑物和高架桥、公路建筑物等构造物的严重破坏。

在我国东部沿海地区,覆盖层厚且松软,与神户地区的地基情况十分相似,也应重视松软地基土上桩基础在砂土震动液化后的动力性能变化,以及由此而产生的受震液化性能和长周期效应的现场试验研究,并在重要工程抗震设计中予以考虑。尤其在沿海地区进行高层建筑和高架桥的建造时更应该高度重视,否则将会导致严重震害的隐患。

4 隔震技术应用

为提高工程结构的可靠性,应大量采用新技术,结构隔震技术就是其中一种。该项建筑新技术是在 60 年代出现的,70 年代开始已作为实用技术在房屋建筑和桥梁中广泛应用。我国的结构隔震技术发展较慢,目前已在少量房屋建筑、桥梁和设备中应用。工程结构控制隔震有主动控制和被动控制两类。主动控制涉及震动监测、控制理论、伺服反馈装置以及能源储备等,目前在国际上尚处于研究试用阶段。被动控制无需外界能源,利用特殊的耗能组合材料设计隔震、减震和消能装置,吸收地震时地面输入建筑物的能量,使建筑物受影响相对很小,从而达到隔震、减震的目的。它改变了传统抗震设计采用粗柱、厚梁以抵抗地震力的方法,而采用建筑物与地面之间隔震装置以及建筑物各部件之间的消能装置,达到抗御地震力的目的,并不增加柱、梁的断面面积。采用传

统的工程抗震设计方法,对于有特殊要求的设施和高烈度区工程建设,已不再能适应工程的实用要求和经济设计,而应用隔震技术就更显示了优点,具有经济效益。这一新技术,已在多次地震实践中证实是行之有效的方法。例如1986年5月在日本北部圣达(Sendai)建成了两幢三层钢筋混凝土结构建筑物,一幢隔震建筑应用了6个钢、人造橡胶和铅组合的隔震支座和12个油阻尼器,相邻一幢是通常建筑物,两幢建筑物构造方法相同,平面尺寸均为6m×10m。建筑物的自振频率和阻尼比的实测值列于表2^[3]。建筑物建成后,1987年2月6日的日本本洲(Fukushima)地震(震级为6.7级,震中距168km,震源深度31km)中观测到隔震建筑物的顶部在横向(X向)地震动峰值加速度值为35.8cm/s²,在纵向(Y向)为31.8cm/s²,其值分别仅为通常建筑物的 $\frac{1}{5.7}$ 和 $\frac{1}{4.9}$ 。在1994年1月17日美国洛杉矶6.7级北岭地震中,一座采用了隔震技术的医院几乎未受损坏,但相邻的另一座医院遭受了约3.89亿美元的损失。这次兵库地震,在神户附近两座采用隔震技术的建筑物未受破坏^[4]。由此可见,采用隔震技术的建筑物的地震反应大为降低,可使建筑物免遭破坏产生经济损失。所以,应大力推广在建筑工程中应用隔震新型材料和隔震新技术,以提高建筑的防震能力和城市综合抗灾能力。

表2 自振频率与阻尼比

建筑物	方向	自振频率 (赫芝)	阻尼比%
建筑物	X	3.633	1.6
	Y	4.386	1.4
隔震建筑物 (无阻尼器)	Y	0.737	2.3
隔震建筑物 (有阻尼器)	X	0.722	16.0
	Y	0.731	15.0

5 结 语

兵库地震震害表明,按照日本1981年制定的新抗震设计法建造的建筑物,包括高层建筑和桥梁,除少数由于地基失效,导致建筑物产生倾斜,支柱毁坏,发生了许多剪切破坏外,其余均能很好地抵御地震的袭击,基本上破坏很轻,而1981年以前建造的建筑物、立交桥破坏严重。例如神户市政大厅和一座银行大楼均为15层高,轻微损坏,但是1981年以前建造的较小的市政大厅配楼在地震中被毁,在配楼中间,有一层掉到了下一层的上面,在其周围于1981年以前建造的房屋几乎都倒塌了,特别是传统的木结构灰泥房更易倒塌。在神户、芦屋等受灾的7个市内,对223栋建筑物按日本建设省编制的“震后建筑物等受灾程度评定标准及恢复技术指南”判断,可进入并能正常使用的A类建筑物共154栋,占69%;出入小心并只允许部分利用的B类建筑有33栋,占15%,禁止入内的C类建筑共36栋,占16%。对1981年实行新的抗震标准以来建造的118栋建筑调查,被定为C类的有7栋,占6%,且其中3栋因地基液化而倾斜,4栋受冲击造成钢筋混凝土柱子折断或钢筋弯曲、水泥剥落而损坏。另外,从建筑年代上对比,被定为禁止入内的C类建筑,在1971年以前建造占36%;1972~1980年建造占11%,1981年以后建造的占6%^[4]。这表明,应不断吸收震害经验进行修改和完善建筑抗震设计法规,使建筑物抗震性能弱点不断消除,以提高建筑物的抗震性能,达到减轻地震灾害的目的。1994年1月17日美国洛杉矶6.7级北岭地震也充分地说明了这一点。我国经济建设迅速,尤其在沿海覆盖层厚且土质松软的地区,正在兴建大量的高层建筑、立交桥和城市通讯管道体系等重要工程设施。而我国目前建筑抗震规范对这些重要工程(下转第19页)

考虑余震区形状的影响。

3 其它工程设施震害

3.1 道路

从高速公路到城镇村道大范围受损,桥梁坠落、路面下陷、边坡滑坍,造成各地交通中断。特别是阪神高速公路神户段和名神高速公路等处受害甚大。

3.2 河流

1级河流淀川和2级河流武库川等发生堤岸沉降、龟裂。

3.3 海岸

东播海岸堤坝沉降、裂缝;淡路岛的松帆海岸护岸倾斜,防冲护砌下陷、裂缝。

3.4 砂防设施

西宫市等地砂防堰堤及河道(渠道)维护工程裂缝。

3.5 滑坡及陡坡崩坍防治工程

神户市等地挡土墙、护坡工程裂缝。

3.6 下水道

神户市东滩水处理场处理能力下降、许多管渠破损。

3.7 滑坡及崩坍

西宫市仁川百合野镇滑坡造成人员伤亡;神户市东滩区西冈本镇等处的居民区及西宫市宝生ヶ丘等地也贴出了即将滑坡、要求居民撤离的告示。

参考文献

- 1 建设省土木研究所ダム部. 1995年兵庫県南部地震におけるダム調査(速報). ダム技術, 1995, 2: 46~50
- 2 山田俊郎. 地震. ダム技術, 1995, 2: 1~2
- 3 建设省非常灾害对策本部事務局. 兵庫県南部地震. 河川, 1995, 2: 103~104

(收稿日期: 1995-06-28)

(上接第16页)中所表现出的抗震问题以及日本兵库地震暴露出来的建筑抗震法规中的弱点在近期内较难以修改和完善。我国目前正处于地震活跃期,为减轻地震灾害,重大工程设计和决策者应能结合工程实际的条件,高度重视认真考虑以上所提及的问题,吸收前人的有益的经验解决好这些问题。

参考文献

- 1 Elich Kuribayashi. The Japan's earthquake in Kobe of January 17, 1995 (The Hyogo-Ken Nanbu Earthquake) A Reconnaissance Report. Research Report No. 95-1, Toyohashi University of Technology, February 17, 1995
- 2 国家地震局南京地震大队编著. 挡水建筑物抗震验算. 北京:地震出版社, 1978
- 3 工业与民用建筑抗震设计规范 (GBJ11-89). 北京:中国建筑工业出版社, 1989
- 4 国家地震局地震数据信息中心. 地震科技情报(专辑), 1995 (5)
- 5 Masanori Izumi, et al. Comparison between earthquake response characteristic of base isolated and ordinary buildings. In: Proceedings of 9 WCEE, 1988

世界水

世界人口已达54亿,而且每年增加1亿左右。预计到2005年将有50%的人口居住在城市地区,到2025年这一比例将增加到60%,生活用水和工业用水将大大增加,这就需要采取措施保护淡水资源,以及使土壤免遭城市污染。目前全球年耗水总量约为4 000 km³。可开发利用水的40%用于农业灌溉。根据国际排灌委员会统计,全球的灌溉面积为270×10⁶ km²,其中70%在发展中国家。目前世界上有些国家已能给本国100%的人口供应接近安全的饮用水,而一些国家只能供应不足5%人口的安全饮用水,而且城乡差别很大。联合国计划开发署的一份调查表明,由于人口不断增长,缺乏充足的可再生水资源以供应民用水和灌溉用水的国家的数量在不断增加,1975年为19个国家,2000年将为29个国家,到2025年预计为37个国家。(熊莉芸 供稿)