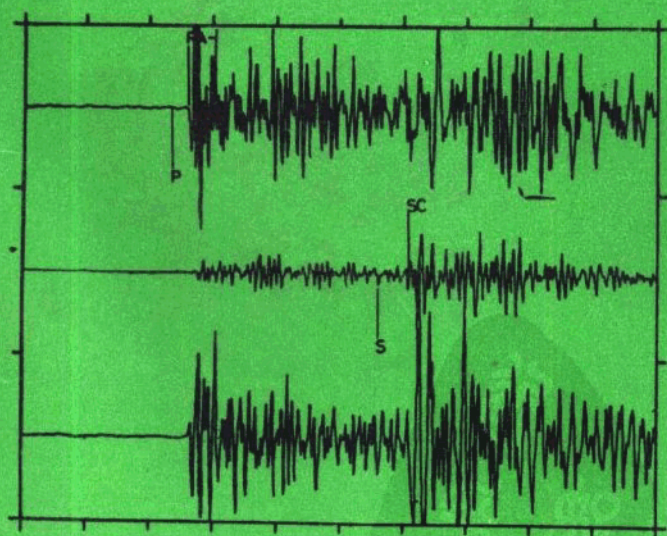


地震前兆解析システム
The Analyzing System for Precursors of Earthquakes (APE)

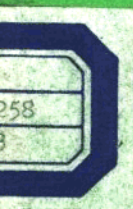
国立防災科学技術センター研究報告

地震前兆分析系统

潘元振等 译 卢振恒 校



海洋出版社



地震前兆分析系统

潘元振 丁颂华 译
陈翰明 杨荣生

卢振恒 校

海洋出版社

• 1990 •

内 容 提 要

本书主要介绍日本近期研究和开发出来的一种检测、处理、分析地震前兆的新技术即地震前兆分析系统(APE: The Analyzing System for Precursors of Earthquakes)及其研究成果。它是一种进行实际地震预报的研究手段,属于一种专家系统。本书是根据日本国立防灾科学技术中心《地震前兆分析系统》专题研究报告翻译的。

本书适于从事地震研究、地震前兆检测和地震预报研究以及与地震有关学科的科技人员、大专院校师生作参考。

地 震 前 兆 分 析 系 统

潘元振 等译

卢振恒 校

特约编辑:修济刚

责任编辑:王加林

海洋出版社出版发行

海洋出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 6.75 字数: 160千字

1990年3月第1版

1990年3月第1次印刷

印数: 1—1200

定价: 5.00元

ISBN 7-5027-0909-6/P·103

序

减轻对人类生命财产能造成巨大灾难的地震灾害这一严峻的科学课题，目前已成为世界上多地震国家的政府和有关科学家们瞩目的热门问题。

开展地震预报的实用化研究，能在地震发生前即有所察觉，从而采取各种预防措施来减少损失，无疑是减轻地震灾害最有效的一种方法。众所周知，地震科学和地震预报研究是一门观测性很强的学科。一切卓有成效的研究成果均来自于最基础的工作——观测。因此建立一套采用当代各种先进技术来自动采集并快速自动处理与地震有关的各种信号和数据的分析处理系统，为地震学家开展地震预报实用化研究提供一套强有力的研究工具是国内地震学家迫切要求解决的问题。

日本国立防灾科学技术中心，从1984年起设计和开发了一套地震前兆分析系统。于1988年出版了一本专辑。在该专辑中汇集的10篇文章，较详细地阐述了开发这套系统的背景和意义，介绍了系统的组成及其功能，进一步详细介绍了对采样率高的地震数据和对采样率低的地震前兆数据的处理内容、方法和初步取得的新的成果。在该专辑中还介绍了震源自动测定的新方法、地震预报用自动监视系统、由个人计算机组成的地倾斜日常监视系统、数字地震数据的光盘存储及其使用、五个处理地震数据的应用程序以及计算震源和发震机制用程序的改进等。

鉴于这本专辑所介绍的内容较新，对我国地震界目前正在建立的新一代地震和地震前兆观测系统、各种手段预报地震指标的客观判定和专家系统等都有一定的参考价值。故上海市地震局组织对该专辑进行了全文翻译。相信该专辑的出版将会起到其应有的作用。

在编印过程中得到国家地震局科技监测司和科技情报中心卢振恒等同志大力支持，特表示感谢。

张奕林

地震前兆分析系统

目 录

地震前兆分析系统开发的背景及意义 (浜田和郎)	(1)
地震前兆分析系统的功能和组成 (松村正三等)	(4)
地震前兆分析系统的地震数据 (高速采样数据) 的处理 (松村正三等)	(11)
地震前兆分析系统低速采样数据的处理 (岛田诚一等)	(31)
地震前兆分析系统的自动确定震源 (堀 贞喜等)	(47)
用地震前兆分析系统自动监视地震前兆 (堀 贞喜等)	(56)
应用个人计算机的地倾斜常时监视系统 (大久保 正)	(66)
数字地震图的光盘存储及其应用 (井元政二郎)	(76)
地震数据应用的程序系统 (冈田义光)	(81)
震源计算和震源机制解的计算程序的改进 (冈田义光)	(93)

地震前兆分析系统开发的 背景及意义

浜田和郎

(日本国立防灾科学技术中心)

摘 要

大规模地震对策方案在1978年制定并付诸实施。其结果使地震预报进入了一个新的阶段。它强调地震的实际预报。自那时开始,东海地区被指定为地震灾害的强化监视区,参照以前制定的法规,成立了地震判定委员会,受日本气象厅管辖。由该机构对东海地区大地震($M=8$)发生的可能性作出紧急判别和决断。

自从1965年开始进行全国性的地震预报规划以来,地震预报的各种观测技术得到了加强和提高。因此,最近有关伴随地震出现前兆的数量的报告已显著增加(严格地说,前兆类似于异常现象)。这些地震前兆是指1985年前十年间在日本周围发生的所有灾难性地震。总共89个前兆现象与这些大震有关。在强化监视区对每一大震所记录到的前兆现象,最少为一种,平均为9种,最多为23种,这就是目前日本灾害性地震前兆现象监测能力的状况。然而遗憾的是,从来没有根据短期前兆来预报这些灾难性地震。因为在当时,我们还没建立相适应系统来辨认地震前兆,也就不可能在主震到来之前作出紧急判断。

在这样的情况下,1984年着手设计和开发了地震前兆分析系统(APE)。APE是一种能进行实际预报的研究手段,它属于某一种专家系统。它能从观测数据中自动检测出地震前兆,并在地震前判断出其发生的可能性有多大。我们期望APE能在未来所有规模的地震预报系统开发中奠定可靠的基础。

本书中这九篇研究报告是国立防灾研究中心开发努力的成果。

1978年制定了大规模地震对策特别措施法,使地震预报向着实用化方向迈进,并迎来了新阶段。翌年东海地区被指定为地震防灾对策强化地区,在气象厅成立了地震防灾对策强化地区判定会,将对预想在东海地区发生的大规模地震($M8$ 级地震)迅速地作出短期以及临震预报的判别和决断。

过去的震灾对策都是在灾害发生后进行的,现在可以在事前根据法律实施由预报技术作出估计的大规模地震的震灾对策。在地震国日本的悠久历史中,这是划时代的事情。

日本在1965年开始执行地震预报计划以来,一直在加强预报所需要的观测。因此,观测到地震前兆现象(正确地应该说类似前兆的现象,这里简单地看作前兆)的报告逐年增加,1956~1960年的5年间报告的前兆现象数,包括所有的领域在全国是30件左右,1981~1985年超过160件(浜田,1987)。其中当然也包括很多破坏地震的前兆。1976~1985年的10年间,在日本及其周围发生的10个破坏地震,伴有前兆的最少1种,平均9种,最多23种。其中特别值得注意的是在当时观测力量最强的地区发生的1978年伊豆大岛近海地震

(M7.0)。这个地震在重力、大地测量、验潮、地壳变动连续观测、地震、地磁、地球化学各领域有23种前兆报告(浜田, 1987)。这是日本地震前兆观测的现状。

如果那样的话,为什么连像伊豆大岛近海地震那样伴有很多前兆的地震也不能预报呢?这是因为存在种种没有解决的问题。最大的问题是许多前兆是在主震发生后才报告的,事前没有知道。地震后对前兆作解释与事前判断出是前兆,这两者之间有非常大的距离。如果没有正确规定的判定标准,不建立观测系统和联机连接的强有力的数据处理系统,事前识别前兆一般是不可能的事情。这就是开发地震前兆分析系统的意义。也就是说,开发这一系统,不仅仅是把观测到的地震前兆现象提供给事后进行研究,而且在事前进行判断供预报使用,这是一个充满奋斗精神的挑战。

防灾中心开发的“地震前兆分析系统(APE系统)带着这样的背景和意义而从1984年开始研制的。该系统是为事前进行实际的地震预报所必要的迅速的判别和决断而作的研究工具。将来可能会开发更正式的实用系统。与将来的系统相比,今天的系统还是相当初步的。但是,能够为重要的实用问题进行基础研究。

APE系统是一种专家系统,它能处理通过联机集中而来的各种观测数据,输出进行地震预报判断所需要的若干种参数。在本系统中,抽取参数的处理几乎都依靠软件,相当灵活,也容易与预报研究的发展相配合,向新的处理过渡。为了让计算机进行处理,必须在程序中正确地记述处理内容。因此,APE系统具有使地震学家根据长期的经验获得的宝贵财产——“知识”达到更正确的更客观的效果。在APE中,由24小时自动运转的系统对各种前兆进行识别,并作出一种综合判断。不管成绩好与坏,其结果都自动地积累着。因此,它具有的最大优点是,能以事前确定的识别前兆的方法和以此得出的预报方法,进行实际试验,并对其结果进行严密评价。

在我国进入八十年代后期,在分析、计划和设计等领域,在社会上已经建立并应用专家系统,在地震预报领域也值得注意这一动向。更高级的人工智能和知识信息系统无疑会成为地震预报而作出迅速的综合判断所必不可少的系统。

使用这样的APE系统进行的地震预报研究,在过去的地震学和地震预报学上是从未有过的。但是这是在以地震预报实用化为目标的工作中,特别是在防灾中心的地震预报研究的进行过程中,不可避免地出现的新的研究领域。这超越了过去物理地震学的范畴,是一个预报实用化所需要的应该称为“地震预报工程学”的新的领域的工作。这方面存在大量的地震学家过去从未经历过的新的工作。需要不拘泥于目前的成果,要扎实地反复努力。这有待于今后加以发展。

地震前兆分析系统的开发是以作业部会的研究人员为中心,和有关人员共同合作进行的。

本文以后论文有:

- 1) 地震前兆分析系统的功能和组成(松村正三等)
- 2) 地震前兆分析系统的地震数据(高速采集数据)的处理(松村正三、冈田义光、堀贞喜)
- 3) 地震前兆分析系统的低速采集数据的处理(岛田诚一等)
- 4) 地震前兆分析系统的自动确定震源(堀贞喜、松村正三)
- 5) 用地震前兆分析系统自动监视地震前兆(堀贞喜等)

- 6) 应用个人计算机的地倾斜常时监视系统 (大久保正)
- 7) 数字地震图的光盘存储及其应用 (井元政二郎)
- 8) 地震数据应用的程序系统 (冈田义光)
- 9) 震源计算和震源机制解的计算程序的改进 (冈田义光)

以上论文是从事地震前兆分析系统的开发的各有关人员迄今为止的研究成果。

地震前兆分析系统的 功能和组成

松村正三 冈田义光 井元政二郎 浜田和郎
岛田诚一 堀贞喜 大久保正 大竹政和

(日本国立防灾科学技术中心)

摘 要

国立防灾科学技术中心目前正致力于开发和研制一个称之为地震前兆分析系统(APE)的数据处理系统。作为实验性质的这个系统,对于实现地震的短期预报确实是一种极有可能成功的方法。在该系统中,所有的过程均为监测地震前兆服务,如地壳活动的观测、数据分析、异常活动的检测以及无论哪一种前兆的判断都是自动进行的。

该系统实际上由三台计算机组成,每一台都具有它自有的作用和功能。第一台计算机用于观测,即对数据进行采集,以及对观测系统运转状况进行监视。第二台计算机用于监测,它连续不断地检测地壳活动的状况,以便发现异常变化。第三台计算机用于分析。这样,有关地震前兆研究的综合分析主要根据最先提供的数据组来进行的。这三台计算机相互连接组合,构成了适合于该课题研究的智能系统。

1. 前言

在1979年度开始的第4次地震预报计划的最后阶段,国立防灾科学技术中心(以下简称防灾中心)结束了关东和东海地区地壳活动观测网的骨干建设,完成了拥有超过70个观测点的大范围观测网(浜田等,1982)。同时为了高效率地收集和检测分析从观测网传来的数据,准备了与遥测设备直接连接的专用数据处理系统(Matsumura等,1981),每天都在运用它进行数据收集和确定震源等正常的作业。

这样,将观测和基本数据处理统一起来的系统,大致已经完成。但是,正如前文(浜田,1987)所说,随着具体地实施地震预报和对前兆现象的深入阐明,强烈地指出有必要开发以地震预报为目标的新型的数据处理系统。于是,在第5个地震预报计划中,开始开发命名为“地震前兆分析系统”(“The Analyzing System for Precursors of Earthquakes”,下面简称为APE)的系统。为了使地震的短期预报实用化,必须使从观测至分析、异常变化的检测以及对地震前兆的判断的整个预报过程完全系统化。APE开发的目的是旨在探索这种系统的实现可能性而确定的实验系统。

1984年度开始的开发工作,在1986年度首先完成了基础部分的工程。

APE的具体功能是极其多样的,各种内容由其他文章详细叙述。所以,本文只介绍整个系统的总的功能和组成。

2. 地震前兆分析系统的地位和目标

为了进一步明确APE的地位, 先对观测地壳活动的一般的系统, 回顾一下过去的变迁过程, 如图1那样, 可以分成4个阶段考虑。

(1) 在初期阶段, 观测仪器和记录仪器都设置于观测现场。数据在现场收集, 分析是将数据带回研究室后再进行。因此, 待能看到结果已经过了相当时间。

(2) 进入第2阶段, 配备了遥测仪, 能够在观测中心就地集中记录数据和进行实时监视。这时能够当场看到原始记录, 但是待能得到震源等的分析结果多少仍要化一些时间。

(3) 接着进入第3阶段, 模拟记录器由电子计算机取而代之, 使过去借助人工进行的平时的分析作业实现了自动化。因此, 譬如在地震发生后, 能在极短时间内就知道大致的震源。

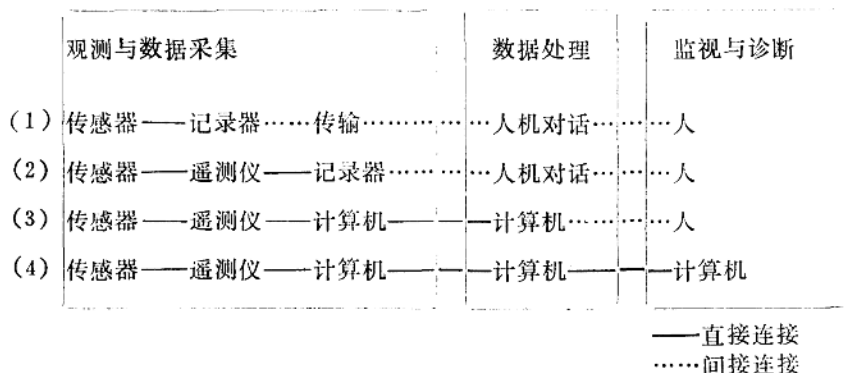


图1 (1)→(2)→(3)→(4)表示观测系统的发展的阶段

(4) 在我们的系统中, 为进一步推进自动化的程度和检测前兆现象所进行的分析, 譬如地震活动性的变化和大地构造原因引起的地壳变化等, 将过去从研究方面所做的大部分分析作业, 现在通过自动处理来实现。甚至连预报判断的某种程度的高层次工作也由计算机承担, 以此向地震预报的实用化挑战。

现在, 一般认为, 为了对地震前兆进行评价或判定, 不仅要看地震数据, 还必须看地壳变化、地球化学等多种多样的数据。这些数据通常由研究人员用独自的方法进行分析, 用独自的表示方法给予提示, 所以要综合地掌握包括时间轴在内的各种活动状况, 这是一件麻烦的工作。譬如现在假设发现有前兆性的异常, 事态又强迫你要争分夺秒地作出反应, 那么, 由过去的系统对数据分析、异常判定以及综合判断这一预报过程立即作出反应是非常困难的。在这种情况下, 就需要有能不断地输出分析处理后的信息并达到完全自动化的系统, 这一点是很容易理解的。但是, 由这种自动化系统进行判定仍存在一定的限度, 这也是事实。因此, 我们当前的目标是开发一种能自动监视异常事态, 能按照需要发出警报, 并在面临紧急事态时能立即提供判断资料的系统。

由此, 对APE具有的功能特征作一归纳:

- ①通过完全自动运转实现的实时数据处理系统
- ②以多种多样的观测项目和分析项目为对象进行的综合分析系统

③以客观的基准为依据的自动判定系统

3.地震前兆分析系统的功能

本系统既包含由过去的数据处理系统所做的地震波检测等日常处理功能，同时又具有应用进一步发展了的自动处理系统来检测地壳活动的异常变化并进行评价的机能。但是，实际上并没有确定对异常变化进行评价的具有决定性的方式，现在还只能说处于发现了什么样的异常或异常怎样与地震前兆相结合这些主要问题作为研究对象的阶段。在这样的现状下，仅仅追求系统的自动化反而有可能偏离系统开发的本来宗旨。我们的开发的首要目标，目前人们期望它作为地震前兆分析的方法，并就此把它建成一个能够自动监视的系统。同时，另一个重要目标是通过系统的运用，对前兆分析方法本身进行改进或研究新的方法。

在上述目标的基础上，对必要的功能和与此相对应的具体的计算机系统反复研究，其结果得出的结论是，组成一个由实时进行自动处理的专用计算机和具备进行自由分析研究环境的泛用计算机相结合起来的系统。

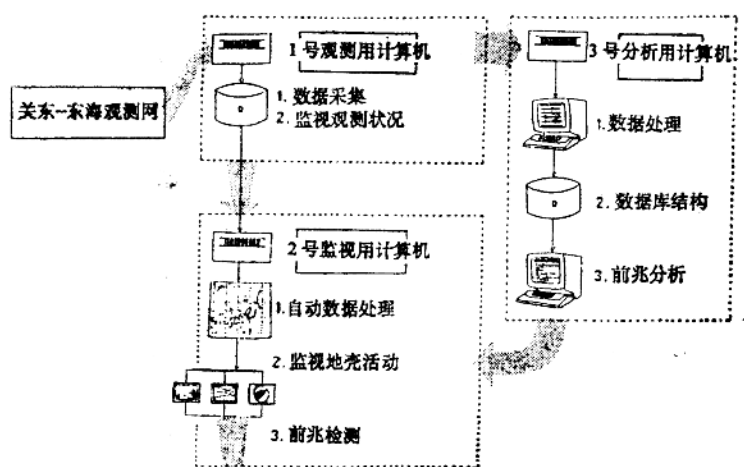


图2 表示地震前兆分析系统的功能的模式图
由用遥测设备和联机连接的3台计算机组成。
1号机观测用，2号机监视用，3号机分析用

图2是用模式表示实际建成的系统的功能和组成。整个系统由互相结合的3台组计算组成的子系统构成。各个子系统按接近遥测设备的顺次分别称为1号机、2号机、3号机。1号和2号机是实时工作的自动处理用计算机，3号机是进行上述的分析研究用的泛用计的算机。下面概要地介绍各子系统的功能。

(1) 1号机

1号机作为直接与遥测设备连接的“观测用系统”，负责数据收集、编辑以及观测状

状况的监视。遥测观测网传送来的数据大致分为80Hz采样的地震波数据和1Hz采样的地壳变化数据。在该系统中,前者称为高速采样数据(松村、冈田、堀,1987),后者称为低速采样数据(岛田、大久保、冈田、堀,1987),对它们分别赋以288通道、960通道的收容量。低速采样数据除了倾斜、地下水、氡浓度等地壳变化信息以外,把气象要素也作为观测项目包括在内。现在收集的数据的规格参数归纳在表1内。

对高速采样数据,进行地震检测。抽出的地震波数据存储在于1号机和2号机之间的共用盘里(可以由两台计算机存取)。其容量是1千兆字节(GB),通常能够收容1000件,半个月左右的地震波形数据。发生群震来不及连续处理时,采取把数据暂时存储到磁带内待查的措施。

表1 输入到地震前兆分析系统的数据成分

	台站	通道	样本	数据容量
1) 微震	80	243	80Hz	8bits
2) 地倾斜	26	74	1Hz	16bits
3) 地应变	5	36	do.	do.
4) 氡放射	1	1	do.	do.
5) 地下水位 或流量	4	8	do.	do.
6) 外界因素				
温度	27	34	do.	do.
大气压	6	6	do.	do.
降雨量	23	23	do.	do.

另一方面,对于低速采样数据使用中值(median)法,每分钟选出1个数据,编成由这些代表值组成的连续文件(分值文件)。共用盘确保180兆字节(MB)的范围,可收容约2个月的数据。另外,使用与高速采样数据同样的方法,从低速采样数据中取出倾斜仪、应变仪捕捉到的大振幅的长周期地震波。为此,这一用途的范围准备了90兆字节(MB),用1Hz能连续收容12小时的量。

在进行以上作业的同时,还用1号机监视观测网的工作状况。如果有70个以上观测点,全部都正常工作是很少有的。在一定条件连续观测的基础上,事先掌握设备的运转过程,这具有重要的意义。但是经常检查情况,保留正确的记录,一般来说这是一件非常麻烦的工作。使这种作业系统化就是从侧面使观测能力保持稳定。在本系统中,遥测装置或观测装置等,发生故障不能传送正常的信号时,故障内容会在图形显示器上显示,而且会记录下故障的次数。图3就是观测状况的监视画面。各观测点的编码通常用绿色显示。按照地震波或者故障等的情况,显示的颜色可变为兰、黄、红。右上方的条状图形表示上面提到的共用盘中的3种数据的存储量。另外,右下方的模式图表示计算机的结合状况。不论哪个子系统发生故障,故障情况都能一目了然。

1号机担任观测的基础工作,1号机停止就意味着观测中断。为了防止出现这种事态,在1号机和2号机的背后安装了工作状态监视装置,并在设计上采取了措施,当1号机因维修和意想不到的事故停止时,通过自动地转换到2号机,以此避免观测功能中断。转换几乎

是在一瞬間完成的，這時產生的漏測在1秒以下。此外，共用盤也分割成2個系統，而且為了防止漏測，採取了一切有效的手段，如供給遙測設備以及1號機、2號機用的電源採用了不停電電源。

图3 由1号机的图形显示器表示观测况状的监视画面

如上所述, 2号机是作为1号机的后备系统, 而它本来的任务是用于发现地震前兆现象的“监视系统”。从系统的总名称——“地震前兆分析系统”来看, 该子系统可以说是担负着全系统的核心任务。

(3) 3号机

在这里，地震波检测等通常的数据处理作业是由操作手与计算机进行人机对话的形式进行的。处理的内容基本上与2号机所做的相同。通过操作手的目检，确保研究方面用的可靠性更高的结果，该结果作为最终数据存入数据库。

数据库原则上建在磁盘内，但磁盘的可容量一年在200兆字节(MB)以内。地震波形数据以及低速采样值数据的数据量超过这一数字，所以数据的收容要依赖于光盘（井元，1987；岛田、大久保、冈田、堀，1987）。

建立的数据库向研究人员开放，应用过去的事例来推进新的前兆项目的开发。这样开发的程序移植到2号机内，并通过在2号机中运算来检验其功能。按照以上形式进行了设计，使1、2、3号机作为整体构成一个系统体系。

4. 地震前兆分析系统的硬件组成

图4表示地震前兆分析系统的硬件组成。1、2号机由富士通公司的超级计算机S3500组成。如前一节所述，因为2号机具有1号机的后备功能，所以其组成包含与1号机相同部

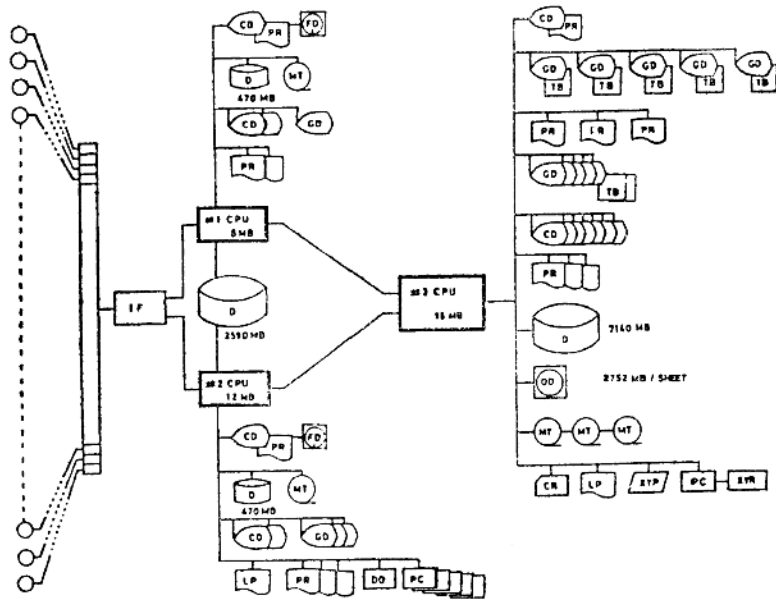


图4 地震前兆分析系统的硬件组成图

- | | |
|------------|-------------|
| CD: 信息显示装置 | LP: 行式打印机 |
| CR: 卡片阅读机 | MT: 磁带机 |
| D: 硬盘 | OD: 光盘 |
| DO: 数据输出装置 | PC: 个人计算机 |
| FD: 软盘 | PR: 打印机 |
| GD: 图形显示器 | TB: 图形输入板 |
| IF: 接口装置 | XYP: X—Y绘图仪 |
| | XYR: X—Y读出器 |

分,而且从遥测设备角度看,两者成对称形式配置。与2号机连接的5台个人用计算机,1号机是没有的。这用于倾斜数据的平时监测(大久保,1987),担负2号机的部分任务。1、2号机作为实时处理系统,24小时不停地运转。

3号机同样是以富士通公司的泛用计算机M360AP为中心组成。在组成图的右上方列出的图形显示器、图形输入板以及打印机等配套设备是供操作手分析数据用的装置,可由5名操作手同时工作。另外还配备了10多台TSS终端、总容量7GB的磁盘装置、3台磁带装置、2台光盘装置等外围设备。

3号机的OS(操作系统)与1、2号机的OS亲合性好,在共同拥有数据或程序的基础上,形成了有利的结构。

5. 结语

1984年度开始的“地震前兆分析系统”的开发工作,今年进入了第4年。在整个工程中,1号机的数据收录以及3号机的分析部分的开发已首先在1985年度完成,从1986年3月开始运用以来,正在稳步而顺利地积累数据。

另一方面,2号机的自动处理部分,晚了1年在1986年度开始研制,系统的骨干部分已经形成。包括自动确定震源在内的分析部分,已在1986年10月开始运转,运转状态良好。另外,对自动前兆监视系统,采取各个项目逐步加入的方式,达到开始预定的10个项目全部投入工作还需要时间。但是,b值等若干个项目的程序已经送入系统,并证实系统在判定异常的结果的输出等方面大致达到设计水平。据此我们认为,对于实际上是否能够作为实时自动监视系统发挥功能这一问题,大致取得了肯定的答案。但是还存在诸如检测异常用的判定标准的设定方法、评价大地震发生的可能性的综合判定方式等等很多应该探讨的问题。今后我们想一边运用现在的系统,一边朝着建立适应于短期地震预报的实用系统这一最终目标进行开发研究。

谢词

作者以外的很多人都参加了地震前兆分析系统的开发。首先,为了考虑本系统的设计方针,在国立防灾科学技术中心第2研究部内组织了地震前兆分析系统(APE)研究委员会,大约用了1年时间反复地进行了细致地讨论。具体设计是由作者等组织的“作业部会”和富士通公司的SE小组商讨进行的,实际的程序设计大多委托给SE小组。特别是该公司的渡边进、小两秀之两位先生作为主任技师,对整个工作的运营尽了莫大的努力,在此表示谢意。

地震前兆分析系统的地震数据 (高速采样数据) 的处理

松村正三 冈田义光 堀 贞喜

(日本国立防灾科学技术中心)

摘 要

运用新的数据处理系统, APE(地震前兆分析系统), 使地震数据处理的方法和过程得到了进一步改善。与老系统相比, 该系统研制的结果使地震检测能力有了提高。通过应用 STA/LTA 数据采集监测法能使检测到的多种地震波数目显著增加, 滤波技术的进一步提高, 使 APE 能记录到深震或远震的数据。

尽管由于技术得到改进而使数据剧增, 但操作者在读取地震波参数时的处理效率并没降低。因为在处理过程中任何步骤都运用了自动操作技术, 这样就减轻了操作者的负担。

除上述这些改进外, 还有地震波参数的读取, 如: 频谱、尾波衰减参数等也被放在常规处理中。这些参数反映了地震震源机制和地壳介质状况的各种重要信息, 它或许与某些前兆现象有关。

在处理过程中得出的所有结果, 都以数据组的形式储存起来, 并注意采用通用程序有效地管理和方便地运用这些数据。

1. 前言

地震前兆分析系统处理的地壳运动观测数据大致分为高速采样数据(地震数据)和低速采样数据(与地壳运动有关的数据)。本论文就其中的高速采样数据的处理方式作一介绍。

如另一篇文章(松村等, 1987)介绍的那样, 地震前兆分析系统由3台计算机(1号机、2号机、3号机)组成。在应用这些计算机进行高速采样数据(以下称地震波数据)的处理中, 有2个系统: 一是数据从1号机(FACOM·S3500)传送到2号机(FACOM·S3500), 与自动前兆监视相连接的处理系统; 二是数据从1号机传送到3号机(FACOM·M360), 由操作手进行人机处理的系统。前者的处理方式除了包括检测在内的全部工序实现自动化以外, 基本上与后者相同。另外, 有关自动前兆监视将由另一篇文章(堀等, 1987a)详细解说, 所以本文解说一下用1号机和2号机进行地震波数据的处理。

由遥测装置从各观测点传送到筑波的数据, 通过接口装置送入1号机。存储在1号机的共用磁盘内的地震波数据, 根据操作手的指示传送到3号机, 经过事先设计好的数次处理后, 作为最后结果形成震源要素、检测参数、发震机制解、波形数据等4种数据文件。上述处理方式虽然沿袭了过去的专用系统(Matsumura等, 1981)的地震波数据处理方式, 但是按照地震前兆分析系统的目的(浜田, 1987), 其内容大大地得到了充实。关于

处理内容,将在下一节中按照各种处理过程逐一进行说明。

2. 各过程中的处理内容

图1 是地震波数据处理的流程图。给各过程加的标题是与各种处理相对应的程序或指令的名称。从TTM100至THR200的处理过程在1号机处理,完全自动化。另外,从HSE-ND至HRDB的处理过程是在3号机通过与操作手对话进行处理。

数据一旦存储在1号机的共用磁盘内,它成为缓冲,在1号机随时接受的数据,由3号机以天为周期进行处理。

2.1 数据存储 (TTM100, TTM200)

从观测点经遥测装置传送来的信号,先在接口装置内集中,形成各为1秒的数据包。如图2所示,1个数据包中的地震波数据,是将3个通道*96个观测点即288通道的信号分成12个信息组组成的。各信息组是由时刻信息等标题区和80Hz*3通道*8个观测点的数据区组成,具体的观测点的配置如表1所示。再加上2KB低速采样数据,以大约25KB的数据作为一个单位,在接口装置内把它分成2份,再通过TTM100、TTM200的程序把它们分别存入1号机。1号机在存储器内已准备好了60秒钟量的数据缓冲器(1.37MB),循环地将其存储,这样它具有延迟电路的作用。

2.2 地震波的检测 (THR100)

THR100是通过研究在存储器内的最新数据进行地震波检测的程序。

从接口装置输入的数据是在观测点现场进行过AD转换的8比特对数压缩数据。把它转换成线性数据后,再通过数字滤波器。设输入数据为 $\{x_i\}$ 、输出数据为 $\{y_i\}$,测滤波器的公式可用下式给出:

$$y_i = |x_i - x_{i-2}| + |x_i x_{i-1} x_{i-2}|$$

底标的字与用80Hz采样的各数据相对应,第1项相当于在20Hz有峰值的滤波器(松村、大久保、胜山、浜田,1979)。以此可检测出具有比较高的频率成分的近震。另外,第2项是为了拾取直流成分以外的低频而引进的项,以此则可以检测出远震。

其次,噪声的平均振幅以较长时间的周期变动时(譬如白天和夜间的噪声水平的差异等),为了有效地检测出重叠于上的地震波,要计算信号电平 $\{y_i\}$ 的短时间平均(STA; Short Term Average)和长时间平均(LTA; Long Term Average),调查两者的比。两者可用下式每秒进行计算。

$$STA(k) = y_i + y_{i+1} + \dots + y_{i+7}$$

$$LTA(k) = LTA(k-1) + C\{STA(k) - LTA(k-1)\}$$

STA是1秒钟的信号电平的累计。LTA相当于信号电平的代表值,该代表值是用确定响应的快慢的常数C来规定的时间幅度估计的。这里, $C=0.0167$,也就是设定时间常数为1分钟,像地震波这样的具有陡的上升脉冲的信号进入时,因为LTA不能随其变化而变动,所以,STA/LTA的值会急剧增加。对该比值设定一定的阈值,进行地震波检测,但对大部分的观测点,给的值是2.5。一旦检测到地震波时,相同的STA/LTA这时被用于检测地震波的结束时间。为此而设定的阈值通常用1.5。并且,为了确保检测的可靠性,还设定以下条件:对上升脉冲的检测,超过阈值的状态要持续3秒钟以上;对于地震