

滑坡自动监测系统开发研究的新进展

——日本土谷尚等人研制的滑坡自动监测系统介绍

崔 中 兴

(西安理工大学岩土工程研究所·西安市·710048)

提 要

日本是一个多山国家,滑坡区分布广泛,仅由建设省指定的滑坡点,在全国就有2997处,每年滑坡都给人民的生命财产和道路交通带来巨大的损失,因此,滑坡的防治研究工作受到高度重视。该文对我国的滑坡监测现状作了简要叙述,着重介绍了日本滑坡自动监测系统的原理和功能,供我国从事滑坡科研工作的同志参考。

关键词: 滑坡 自动监测系统 采集中继站 智能系统。

Development of a Field Automatic Measuring System For Landslide

——An Brief Introduction on a Field Automatic Measuring System For
Landslides Had Created by Hisashi TSUCHIYA and Others

Cui Zhongxing

(Xian university of technology, 710048)

Abstract

Japan is a nation with many mountains. landslides are wide-spread. 2997 landslide points have been appointed by the department of construction in Japan. landslides give damages to people's living and traffic a great losses in a year; the efore, it has been paid great attention to the prevention strategies of landslides, a field measuring of landslide's state in china has been introduced briefly, the principles of system and the function of system that Hisashi TSUCHIYA and others created a field measuring system for landslides has been introduced in this paper, the introduction are just for the researcher's consideration.

Key words Landslide automatic measuring satellite intelligent system

一、前 言

滑坡是一种重要的、常见的山地环境灾害。世界各地每年都发生滑坡,给人民生命财产和各项建设事业均带来了巨大的损失。为了认识征服这种灾害,国内外学者对滑坡的基本特征、形成机理、运动规律、力学机制、预防治理和预测预报进行了广泛的研究。

滑坡预测的方法有两种途径^[1],即形成条件迭置法和分级指标综合评价法。二者都是基于对各种形成条件同滑坡的发育进行相关分析。前者为定性判定,后者为半定量指标判定。

滑坡预报的重点是对于将发生严重危害的滑坡的时间作出预报,同时包括滑坡速度和危害范围的预报。滑坡预报的基础是对滑坡运动规律的认识。捕捉滑坡孕育过程中的各种信息并及时分析它们的变化,是能够对滑坡作出预报的。

滑坡观测技术手段是从测绘、水工、地貌、水文地质、工程地质等学科中移植过来的。近年来已有专门用于滑坡的观测手段,对滑坡的防治起到了极大的推动作用。目前,滑坡地面观测常用陆地摄影经纬仪、光电测距仪、固定式倾斜仪及伸缩仪等。滑坡深部观测应用有各种型号的滑动面深度仪、钻孔伸长仪、钻孔倾斜仪、土压计、孔隙水压计等。

笔者在日本研修时,接触了由土谷尚等人开发研制的《滑坡自动观测系统》,认为该系统把滑坡的观测技术向智能化、自动化、远传、抗干扰和自动报警等方面的发展向前大大推进了一步。该系统具有以下特点:

1. 系统由传感器→采集中继站→中继转换器→主计算机等构成。
2. 根据观测规模的大小不同,可自由构成灵活系统,一般工作人员即可操作,是经济又通用性很强的系统。
3. 传感器以种类丰富的应变仪为主,包括全部滑坡观测所必需的伸缩仪、地基倾斜仪、钻孔应变仪,孔内倾斜仪、地下水位仪、孔隙水压计、雨量计等。
4. 采集中继站(SM301)具有自动定时计测和记忆的功能,是节能化的数字式数据记录仪。
5. 中间转换器通过主计算机的指令和采集中继站,中转临时记忆的数据。
6. 主计算机设于管理事务所等处,自动进行系统整体的控制和计测数据的调用、历时变化的表示,以及警报发出等工作。另外,通过同一计算机还能进行数据分析等的插入作业。
7. 该系统通常由 AC100V 驱动,停电时可由采集中继站单独继续进行数日的连续观测,停电一结束,即自动恢复原状。
8. 由于采集中继站的分散和数字信号通路的广泛采用,使系统成为可抗干扰等影响的可靠性很高的自动观测仪。
9. 不仅只限于停电,就是发生信号线路中断等事故,采集中继站仍可独立进行自动观测,所以是安全性很高的系统。
10. 本系统工作温度为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。
11. 本系统已通过建设部(建技评价第 87204 号)主持的系统鉴定会的技术评价。

二、自动观测系统开发的目标和设想

日本的滑坡主要有第三纪滑坡、破碎带滑坡、温泉滑坡等。这些滑坡中,在数量和规模等方面,最多的要数第三纪滑坡。东北地区的滑坡差不多都处在第三纪地层,在山形县最上川流域的月山周围和米尺小国盆地周围分布也较多。

为了掌握滑坡的变形,要对地表面和坡体的地基变位、倾斜、地下水位、雨量等进行观测。但是,在过去的观测中,常常利用手工作业来进行现场监测数据的收集,室内数据的整理、分析等工作。而且,观测区域多位于山间,需要大量的用工和时间,所以,很难迅速利用观测结果。因此,希望能够进行自动化观测,以收到较高的工作效率。

1987年,在建设省以技术评价制度为依据,进行了《滑坡自动观测系统的开发》研究工作的公开招标,建设省标书的主要开发目标如下:

1. 能以足够的精度来自动观测滑坡的变形;
2. 能在远离现场的管理事务所等处记录存贮监测结果;
3. 仪器能够很方便的在现场设置,具有足够的气候适应性和持久性;
4. 经济性能好,容易维护管理,操作简单。

如果引进最新电子监测技术成果,仅利用一般的市售产品是很容易达到预定目标的。倘若这些成为可能,即可以利用价钱便宜、质量好、可靠性高的仪器,在经济上是合算的。事实上,在以往所进行的滑坡自动观测方面,已有许多工程采用了这类仪器。但是,只使用一般的市售产品,在观测数据的质量、功能、经济性能等方面,滑坡观测具有以下问题,要达到上述目标就比较困难。

(1)由于一般的监测仪器,都考虑集中设置,所以由监测仪器到传感器的距离一长,在监测数据的稳定性方面就会有问题。另外,传感器和监测器对雷电的防护也不够。

(2)由于一般的监测仪器,是利用稳定的商用电源为前提而设计的。所以,在偏远地区对电源的保证和停电的对策方面存在困难。

(3)由于一般的监测仪器,是在室内常温下使用为前提而设计的,所以在严寒季节的低温下不能工作。另外,还容易产生因漏水而出现工作不良的状况。

(4)由于一般的监测仪器,多为专业使用的通用机,往往操作复杂,对外行来说使用困难。

(5)在小规模的滑坡自动监测上,经济性能方面也未必有利。

然而,作为专用器材,若能够开发出新式仪器的话,就很容易克服这些问题。不过,开发的造价,也就是在系统的经济性能方面会产生较大的问题。因此,在本系统的设计方面,就是在上述不利的条件下,新开发的仪器最低限度应包括进行监测和为记录与保存结果的专用数据记录仪,其它器材则利用一般市售的仪器,就可克服这些问题。另外,为了确保观测数据的质量,将该数据记录仪按照观测传感器的配置分散安装。土谷尚等人在此思想基础上参加了招标,开发了具有前述特点的滑坡自动观测系统。

三、系统的采集中继站

由土谷尚等人所开发的系统特征称为采集中继站(Satellite)的数据记录仪。采集中继站因为是对滑坡自动观测而特别开发的仪器,所以可用电池驱动,长时间单独地进行自动定时监测,具有在内藏的半导体存贮器里记录保存结果的功能。

表 1 表明:采集中继站的规格参数;图 1 显示出采集中继站的流程框图。

联结的传感器须满足滑坡观测所必要的观测项目,而且是易购买的应变型传感器(最大 16 道)和翻倒式雨量计(1 道)。雨量计是用于气象观测的标准仪器。

滑坡的变形用传感器测出,转换成电信号后,传入采集中继站,根据预先设定的测定时间间隔,通过 A/D 转换器使之数字化,再加入数据编号、测定时刻后,记入半导体存贮器。A/D 转换器是不受噪音干扰的积分型仪器。另外,半导体存贮器可以记忆 1 246 组的观测数据,数据组数超过 1 246 组时,新观测的数据自动记入最早的数据的地址,从而,经常保持最新的 1 246 组数据。另外,采集中继站的部件就是在 -20 C 也能使用,所以,可以在寒冷地区使用。

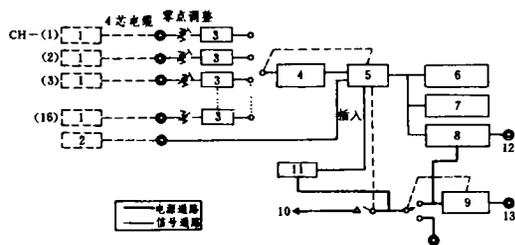
表 1 采集中继站的规格参数

传 感 器	应变计型:最大 16 道 雨量计:1 道
应变计型传感器输入	桥电压:2.5V 桥电阻:120~360Ω
A/D 转换器	积分型 A/D 转换线路 输出:±8000dig 输入:±4mv/v 存贮速率 2 道/S (2 道同时工作)
计 时 器	保持时间 年月日时分秒(闰年自动修正) 精度:±10 ⁻⁴ /年(-20℃~50℃)
观测数据	数据记忆容量:56KB(1246 组)
数据传送接口	RS232C 依据 半双工,1200 波特,7 位+1 停止位,偶数同位,换行代码=CR+LF
采集中继站控制指令	1. 设定计测条件(计时器时刻的修正,测定时间间隔等);2. 已设定的测定条件的回代;3. 采集中继站的初始化;4. 观测的开始、中断、终了;5. 记忆计测数据的回代;6. 现在时刻的计测,数据的回代;7. 记忆部(memory)空容量的回代;8. 传感器桥电压的开/关(on/off)
电 源	AC100V 或 DC12V(电池)耗电(DC12V 驱动时):待机时 0.2mA, 测定时 120mA×11s(测定一次)
工作温度	工作温度:-20℃~50℃ 保存温度-30℃~85℃
外形尺寸	400(mm)×154(mm)×300(mm)

采集中继站智能化后,通过 RS232C 线路,与从外部来的指令相对应,具有各种实用功能。记入半导体存贮器的数据,通过外部指令,可以在任何时刻调用。另外,与预先设定的观测时间无关,可在任意时刻进行观测,直接传回其结果,或查询现在记忆的数据的组数。此外,也可以发出自动观测条件的设定、观测的起始、中断和终了等指令。这些指令的操作,可直接或间接通过光缆、电话线路等,用个人计算机进行,不必直接接触仪器本体。

考虑到采集中继站在山区和偏僻地区进行测定,为了能用电池长时间持续工作,采用了节电设计。如图 1 所示,平常仅给计时器、半导体存贮器等极少一部分线路供给电力。测定时间一到,对增幅线路、A/D 转换线路、传感器等其它线路再供给电力,进行观测。数据一记入半导体元素里,旋即返回原来状态。这样一来,由于低耗电力的设计,以及使用低耗电力的半导体元件,就使得联结一次电池可在数月时间里进行持续的观测。而且,由于与个人计算机联结的电源是由别的端子供给的,通常以商用电源的工作为标准,就是只通过电池,也能达到数天连续使用的效果。

由于智能化和节电化的特点,采集中继站可以用作各种规模滑坡的观测系统进行工作。



1. 传感器 2. 雨量计 3. 放大器 4. A/D 变频器 5. CPU
6. 程序用 ROM 7. 记忆部 56KB 8. 数据接收线路 RS232C
9. AC-DC 转换器 10. 总体用电源 11. 计时器
12. 调制解调器端子 13. 通信用电源端子(AC100V 及电池)

图 1 采集中继站的流程框图

四、滑坡自动观测系统

以采集中继站为中心,用电话线路将观测现场和事务所联结起来,根据实际时间观测滑坡变形的滑坡自动观测系统的实例,如图 2 所示。

该系统特点如下,其大致是与采集中继站的各种功能相应的系统。

1. 滑坡监测所必要的功能差不多是采集中继站所具备的功能,其它器材一般可利用市售仪器,以成为经济并可靠度高的系统。

2. 检测滑坡变形的传感器以种类丰富,容易到手的应变计式传感器和雨量计为标准,满足滑坡必要的观测项目。

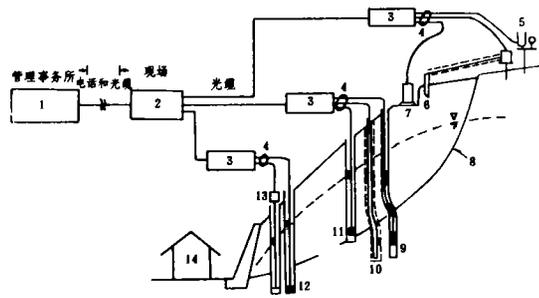
3. 由于停电和通信线路的故障,就是系统运行暂时中断,因为仍有采集中继站继续观测,所以系统的安全性高,停电对策也容易。

4. 管理事务所等的个人计算机,以仅在必要时与现场设置的采集中继站进行通信联络为最佳,其余时间可有效地用于其它业务。

滑坡自动观测系统的主要性能列于表 2。

表 2 Lss-01 型滑坡自动观测系统主要功能

可能接续的传感器	各种应变计式传感器、翻倒集式雨量计
可能接续的采集中继站数	最大 8 台(应变计式传感器,128ch)
测定时间间隔	1min~24h 的范围任意设定、变更
数据收录方法	由个人计算机通过电话线收录
测定值监视机能	观测值或历时变化的监视的表示,制图管理基准值,测定值的取舍,因测定值急变的警报发出
停电对策	停电时用备用电池继续自动观测。主计算机用备用电池作停电处理后,自动停止。观测数据在电源恢复后收录。
落雷对策	模拟信号系:使用稳压二级管 数字信号系:使用光导纤维电缆 电源系:使用抗雷型绝缘变压器



- 1. 个人计算机 2. 中继转换器 3. 采集中继站 4. 橡皮绝缘软线
- 5. 雨量计 6. 伸缩仪 7. 地基倾斜仪 8. 滑动面 9. 孔内倾斜仪
- 10. 钻孔应变仪 11. 孔隙水压计 12. 地下水位仪 13. 纵向伸缩仪
- 14. 住户

图 2 Lss-01 型滑坡自动观测系统示意图

采集中继站与传感器的设置状况相对应而分散设置,使由于噪音容易混入的传感器到采集中继站的电缆最短。设于现场的中继转换器是为了能使计算机与各自的采集中继站相互通信的转换数字线路的仪器,也是一般的市售产品。作为抗雷电的对策,中继转换器和采集中继站的通信线路采用光缆。管理事务所的个人计算机,通过电话线路等将随时由采集中继站收入的临时记忆的数据,记入软盘。其时,根据观测数据的滑坡监测工作(数据历时变化的表示,警铃的发出)也同时进行。这些工作均自动进行,但通过键盘操作,还可以加入对观测数据的分析、滑坡变形的预测或观测条件的变更等其它工作。

时变化的表示,警铃的发出)也同时进行。这些工作均自动进行,但通过键盘操作,还可以加入对观测数据的分析、滑坡变形的预测或观测条件的变更等其它工作。

该系统通常用商用电源驱动,但停电对策由下述三级构成。首先,不管在什么情况下,采集中继站通过应急用电池可以连续进行数月的观测。在现场,调制解调器和中继转换器等,接在其它用途的备用电池上,因为是希望仅在停电时供给电话通信的电力而设计的节电化装置,所以即使有一周的停电时间,系统也不会停止工作。在事务所的观测系统运行中,计算机通常监视着停电与否,一旦发现停电,自动启动系统在记录了必要的的数据后,自动停止系统工作,其间仅用 1min 或 2min 时间,所以,计算机的应急用电源也以小规模的一般市售产品为好。即使在紧急情况下,也可采用家用简易发电机等继续进行数据回收,这无疑是非常经济的。

另外,采集中继站可独立地进行自动定时观测,长期在内部保存结果。所以,在管理事务所的数据回收工作,不像现场观测时间那样频繁,只在情况合适的时间里进行即可。例如,除在梅雨和台风袭击等滑坡活动容易活跃的时期,进行滑坡活动的监测和监视外,其它时期,不限时间进行作业的运行方法都是可以的。

另外,在这个系统里,通过电话线路,可在两个以上的事务所存取,在有关的机关里,由于能够常时间保存同样的数据,所以,可以更迅速、更精确地进行观测数据的探讨和分析。同时,对系统的存取,特别的处理是必要的,对外部的保密和由于错号电话的错误动作也应注意和避免。

五、简易滑坡观测系统

对较小规模的滑坡的自动观测,由于前述的系统不够经济,所以有时不得不利用人工进行观测。但即使在这样的情况下,由于可利用采集中继站的特点,构成简单经济的自动观测系统,所以,可望得到观测作业的高效率化。在这个简易的系统里,除现场的采集中继站和传感器外,只需装入电池。观测数据的回收是在现场直接采用手提式计算机,将数据记入软盘的方式进行的,所以不需要电话线路等设备。在这个系统里,1~6 个月内不用更换电池,而可以进行 1 200 组左右的数据观测和结果保存。另外,由这样的简易系统向正式的系统转换也不会出现器材的废弃,运行程序也在两系统中通用,所以,更换系统时,不必更换运行程序。

六、滑坡危险度的判定

为了判定滑坡的危险度,在本系统中可利用下述两种方法进行。

1. 根据管理基准值判定;
2. 根据预报的滑塌时间判定。

现对两种方法作以介绍:

(1)根据管理基准值判定。这是根据滑坡观测所得到的监测值,分析其本身的变化速度,当超出某界限值时,即判定滑坡的危险度高的方法。

在本系统里对任意道(ch)的计测值(最大 4 道),可以设定下限值或其变化速度的上限值,观测数据一超过这个值时,就开始报警。

表 3 滑坡管理基准值参考表

危险度水平	管理基准值 (mm/日)	应变速率	至滑塌的时间(天)	对策
I	1	7×10^{-4} /日	115	加强观测
II	10	7×10^{-3} /日	14	警戒状态
III	50	3.5×10^{-2} /日	3	避难

在已有的例子中,多以根据伸缩仪测出的地表变形速度或应变速度为对象而判定。另外,作为当时的管理基准值,可采用表 3 给出的参考值。但是,以这样的管理对象得到的观测值或管理基准值,与各滑坡的特征作相应的调整是十分必要的。

(2)根据预报的滑塌时间判定

这是利用齐藤公式,由地表的变形或应变速度来预测滑坡斜面的滑塌时间,以其结果为依据,判定滑坡危险度的方法。这里所说的应变速度或变形是指包括龟裂在内的地表两点之间的平均值。

在本系统里,以该观测值为基础,可以试算以各个时刻的数据为依据的滑塌时间。

齐藤公式是根据观测结果而提出来的,其大致的考虑方法如下:

对滑坡的滑塌过程来说,具有一定的模式,最初时应变速度大致有一定的范围(第二蠕变阶段),随着时间的推移,经过应变速度增大的阶段(第三蠕变阶段)达到破坏。

从已有的观测例子可以看出,应变和变形与滑塌时间之间,在各阶段具有特殊的关系,利用这些关系,可得到下述滑塌时间。

①第二蠕变阶段

在第二蠕变阶段里,某时刻的应变速度 ϵ 和由该时刻到滑塌时间 t_r 之间存在着如下关系:

$$\log t_r = \alpha + \beta \log \epsilon \quad (1)$$

t_r 与 ϵ 的关系可从有关图上查出。系数 α 、 β 可由已有的观测事例中确定。

②第三蠕变阶段

在第三蠕变阶段里,某时刻 t 的应变 ϵ 和滑塌时刻 t_r 之间有如下关系:

$$\epsilon = a \cdot \log \frac{t_r - t_0}{t_r - t} \quad (2)$$

在这种情况下,系数 a 、 t_r 、 t_0 、可由三组以上的 ϵ 的计测值反算得出。

(1)式可用于长期预报,(2)式在接近滑塌时刻时有用。但是往往在计测时,因为不知道其时到底处于哪个阶段,所以在实际预报时,需采用两种方法进行预报,同时,对其它观测数据也要进行综合分析。

另外,齐藤公式对崩塌型的滑坡和斜面崩塌的适用例子较多,对粘滞型的滑坡很少适用。所以,在运用这个公式时,要注意滑坡的类型

七、结 语

本文介绍了日本土谷尚等人研制的滑坡自动观测系统,特别对系统的精华部件“采集中继站”进行了详细介绍。该系统不但可以对重要的、规模较大的滑坡进行监测,而且还可以对较小规模的滑坡采用简易系统进行监测,其经济性能和适应性均有不可比拟的优点。同时,根据观测数据可以对滑坡的安全度作出判定,以便采取相应的防治措施。综上所述,这是一种先进的、人工智能化的滑坡自动监测系统。

本文的撰写中,受到日本基础地基咨询公司的土谷尚先生、西安市地震局的杨作棟、田正逊同志以及西安市临潼县滑坡办公室杨清金、田永进、张树艺、宋保尔等同志的热情帮助和指导,表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈自生等.《滑坡分析与防治》.重庆:科技文献出版社重庆分社,1984年
- [2] 况仁杰.长江西陵峡新滩北岸大滑坡.《灾害学》,1987年,第1期