

文章编号: 1000-7598-(2005)02-0231-05

自动网格法在大型滑坡模型试验位移测试中的应用

罗先启, 陈海玉, 沈 辉, 吴 剑

(三峡大学, 湖北 宜昌 443002)

摘 要: 应用非接触式光学测量方法中自动网格法原理, 研究了大型滑坡模型试验中的位移测试方法及其分布规律。以石榴树包滑坡模型试验为例, 针对自动网格法用于大型滑坡模型试验位移测量时所存在的问题提出了解决措施, 并对石榴树包滑坡在不同水位运行工况下的位移规律进行了研究分析。

关 键 词: 自动网格法; 滑坡模型试验; 位移测试

中图分类号: TB 115

文献标识码: A

Application of automatic mesh methods to landslide model test

LUO Xian-qi, CHEN Hai-yu, SHEN Hui, WU Jian

(China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The displacement measurement method and distribution character for large-scale landslide model are studied with automatic mesh method, in terms of non-touched optical measurement theory. The automatic mesh method is adopted in Shiliushubao landslide model experiment to solve the problem of displacement measurement. The deformation character of Shiliushubao landslide under different water levels are researched.

Key words: automatic mesh method; landslide model experiment; displacement measurement

1 前 言

在滑坡模型试验中, 位移是需要测试的物理量中最具有代表性的一个, 亦是滑坡试验中最重要也是最基础的测量之一。滑坡系统的动力特征可以用多组状态变量来描述, 而位移能够反映各个变量的痕迹和整个系统的特征, 可以借助该变量对滑坡系统进行分析^[1~3]。位移测量对于揭示滑坡的形成机理和规律、准确描述滑坡的变形破坏特征等具有重要的意义。

模型试验中位移测试手段大致可分为3类: 机械法、电测法和光测法。机械法和电测法属接触式测试方法, 光测法则是非接触式测试方法。非接触式位移光学测试方法对试件扰动小、精度高, 因而, 在模型位移测量中有着广泛地应用。非接触式测试方法主要有^[4~8]: 自动网格法、散斑互相关法、激光数字位移测量法、激光直边衍射 CCD 位移测量方法和高分辨率光纤位移测量系统等, 其中自动

网格法是近几十年发展起来的一种非接触式光学测量方法。它是在传统网格法基础上, 利用现代电子技术(如高分辨率 CCD), 数字图片处理和分析技术而建立起来的一种自动检测技术, 克服了传统网格法工作量大、速度慢、精度差等弱点, 能自动识别变形前后两幅图像中的相应变形, 计算速度大大提高, 精度达到次像素量级^[4]。在滑坡模型试验位移测量中与其他测量方法相比, 自动网格法具有设备简单、精度好、量程大、自动化程度高等优点。

2 自动网格法原理

网格法通过在物体表面上预制正交格栅或正交点阵, 然后在加载前后记录两幅网格图, 比较网格点的位置坐标移动量, 即可求出各网格点的位移大小。自动网格法结合传统网格法原理和现代高科技电子技术, 具备了更多优势, 使得网格法得到了更广泛的应用。

自动网格法处理步骤包括以下几个方面:

收稿日期: 2003-11-17

修改稿收到日期: 2004-02-13

基金项目: 国土资源部“长江三峡地质灾害监测与预报”2000年专项计划资助(No.20001001)。

作者简介: 罗先启, 男, 1965年生, 博士, 教授, 主要从事水工结构、岩土工程方面的教学和科研工作。E-mail: jzgc@ctgu.edu.cn

(1) 网格图的预处理

从 CCD 摄像机摄入计算机图像处理系统的网格图, 由于电噪声和照明的影响, 一般存在点状噪声、斑状噪声和整体灰度分布不均匀的问题, 这给节点分割带来很大的困难。因此, 在分割之前要进行网格图的预处理, 滤除噪声, 进行全场或分区的灰度线性拉伸等。

(2) 图像的分割

将节点与背景分开的过程, 即如果是网格点, 保持该点的灰度不变, 否则置为背景。以黑节点白背景的网格图为例, 图像分割的具体做法是: 先给定一个阈值或阈值函数, 然后对图像上的任一点 (i, j) , 如果其灰度大于给定的阈值, 就将该点的灰度值置为 255 (白色背景), 当某点的灰度值低于给定的阈值时, 保持该点的灰度值不变。这样就可以将网格图分割成一个个孤立的黑点。

(3) 网格点的重心计算

先对分割后的网格图像从上至下逐行进行扫描, 当遇到非零像素点时, 即说明扫描到一个可能的网格点, 就可以采用填充算法或边界跟踪算法, 确定出该网格点所在的区域, 同时得出该网格点的面积。如果该网格点面积小于某一阈值, 则认为该网格点是噪声点, 予以剔除, 否则就利用该网格点所在区域内像素点的灰度值, 采用重心算法, 计算出该网格点的重心坐标。为了精确地计算出各节点的重心坐标, 在计算节点重心坐标之前, 先在节点区域对灰度值按下式处理:

$$I'(x, y) = I_w - I(x, y) \quad (1)$$

式中 $I'(x, y)$ 为灰度反转值; $I(x, y)$ 为像素的灰度值; I_w 为背景的灰度值, 一般取为 255。

经过这样的变化后, 节点中心的灰度由最小变为最大, 而节点边界周围点的灰度由最大变为最小。设任一节点的重心坐标为 $(\bar{x}, \bar{y})$, 则可按下式求出各节点坐标:

$$\bar{x} = \frac{\sum \sum x I'(x, y)}{\sum \sum I'(x, y)}; \bar{y} = \frac{\sum \sum y I'(x, y)}{\sum \sum I'(x, y)} \quad (2)$$

式中 $\bar{x}, \bar{y}$ 为网格点的重心; $I'(x, y)$ 为像素点的灰度反转值(黑网格点); (x, y) 为像素点的坐标(pixel)。式中各求和运算遍历该节点区域的每一个像素。在往下继续扫描的过程中, 将扫描到的网格点的面积和重心坐标记下后, 即将该点抹去, 当所有点都抹掉以后各网格点就完成定位。

(4) 网格点的编码和匹配

编码就是给网格点命名^[9]。由于在试验中, 网格点可能移出图像, 可以利用网格点和与该点相邻点的相对关系搜索编码的方法, 对网格点阵进行编码和匹配。

在记录下各点重心位置的同时, 给各点分配 1 个标记和 8 个索引值, 标记用来表示该点是否已被搜索过, 索引值用来索引该点的 8 个相邻的网格点, 如果相应点不存在, 则对应的索引值为空。搜索前所有网格点的标记和索引值都为空。

取一点 A 为编码起始点 (图 1), 右点 B 和上点 C 与该点形成 1 个标志, 3 点的标志都为 1, A 点右边索引为 B, B 点左边索引为 A, A 点上边索引为 C, C 点下边索引为 A。再沿 AB 或 AC 方向搜索, 搜索半径取 $|AB|$ 和 $|AC|$ 最小值的 1/2, 如果没有搜索到任何点, 可以将半径适当加大继续搜索, 如果没有搜到任何点, 则认为该点空缺, 跳过该空缺点继续搜索, 直到搜索失败 (如遇到图像边界)。对于 4 个象限中的点, 可以以 A, B, C 为平行四边形的 3 个顶点, 把另一点作为搜索中心来进行搜索。搜索到的点标记设置为 1, 该点相对于起始 A 点的行列序号即为该点的“编码坐标”。

当所有网格点的标记都已设置为 1, 各点“坐标”与其相邻各点“坐标”正确无误时, 编码即告完成, 接下来就可以非常方便地完成节点的匹配工作, 只要将前、后具有相同编码坐标的网格点的位置坐标相减, 用下式即可求得网格点的位移。

$$u_{ij} = \bar{x}'_{ij} - \bar{x}_{ij}; v_{ij} = \bar{y}'_{ij} - \bar{y}_{ij} \quad (3)$$

式中 $\bar{x}'_{ij}, \bar{y}'_{ij}$ 为变形后编码为 (i, j) 的点的重心坐标; $\bar{x}_{ij}, \bar{y}_{ij}$ 为变形前该点的坐标。

对于只有很少网格点的情况下, 也可以采用手工编码, 人工给定该点的二维坐标即可。

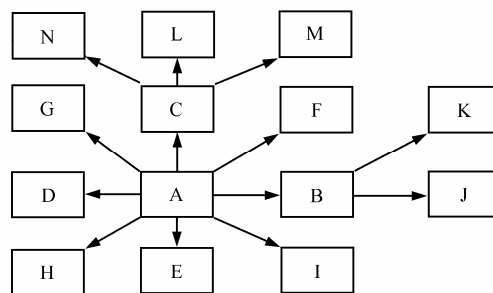


图 1 节点编码示意图
Fig.1 Sketch map of node code

3 自动网格法在位移测试中的应用

石榴树包滑坡位于湖北省巴东县境内, 距三峡大坝约 65 km, 为黄腊石滑坡群的主体部分, 属一大型滑坡。前后缘高程分别为 62 m 和 320 m, 滑坡体平均厚度为 60 m。滑坡体纵长 550 m, 横宽 350~470 m, 面积为 25 万 m^2 , 方量约 1 180 万 m^3 , 滑坡物质成分主要为浅绿色泥灰岩和紫红色泥岩, 滑坡体结构为散裂及碎裂结构。滑坡属复活性蠕滑期渐进推移式水库、降雨型深层岩质切层类滑坡, 滑坡体目前处于自然状态, 在水库第一期蓄水达到 135 m 后, 有可能出现较大的变形。

试验在三峡大学防灾减灾重点实验室内的大型人工降雨滑坡模型试验平台上完成。滑坡模型试验平台主体部分为 3.5 m $\times$ 8.0 m $\times$ 0.8 m 大尺寸模型槽, 与之相配套的有液压抬升系统、降雨模拟系统、坡外补给水控制系统和库水位控制系统 (这样构成了较完整的滑坡水边界体系)、多物理量测试系统、水分测试系统和非接触式位移光学测量系统。

位移测试采用非接触式自动网格光学测量方法。自动网格法较常用于测试小尺寸试件表面变形情况, 用于大型滑坡模型实验尚属首次。位移测试中主要存在以下问题: (1) 滑坡模型尺寸大, 测试范围广; (2) 滑坡模型材料为散粒体, 模型表面网格点制作困难; (3) 滑坡模型试验需考虑库水、雨水作用, 模型周边及两侧布置有玻璃板, 给光学摄像带来难度; (4) 滑坡模型试验属破坏试验, 模型位移较大。

针对上述问题, 试验对自动网格法的测试工艺进行了深入地研究, 尤其在网格点的制作和布置、改善环境条件等方面针对具体情况做了改进。观测点布置如图 2 和图 3 所示。模型尺寸按几何比例进行缩放, 其他参数由相似理论计算获得。试验将模拟三峡水库库水运行方式, 研究在库水位变化时, 滑坡体位移场的分布规律。

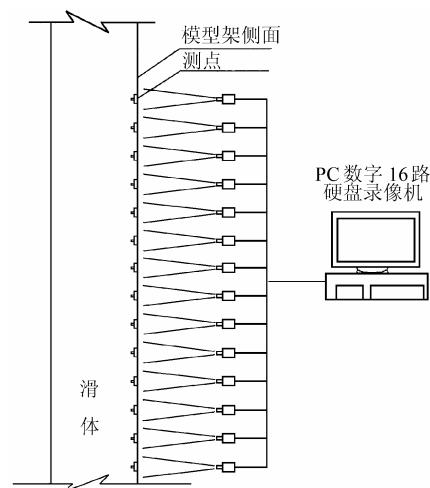


图 2 测点布置俯视图

Fig.2 Top view of measuring points

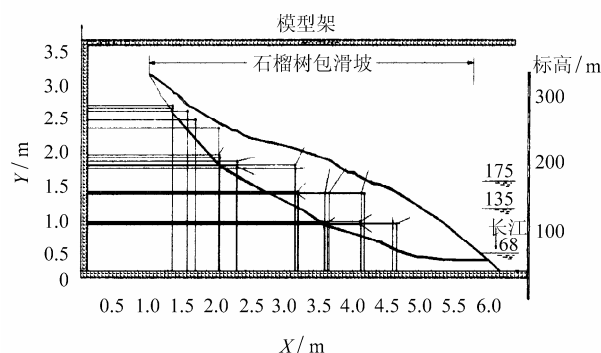


图 3 测点布置侧视图

Fig.3 Side view of measuring points

试验开始时仅远方补给水分, 大约 110 h 后开始蓄水, 132.2 h 后水位蓄到 135 m 高程, 保持这个水位 132.8 h 后继续蓄水, 15 h 蓄到 175 m 高程处。保持这个水位 35 h。后水位降至 145 m 高程处, 并保持这个水位直至试验结束。试验水系统运行流程如图 4 所示。

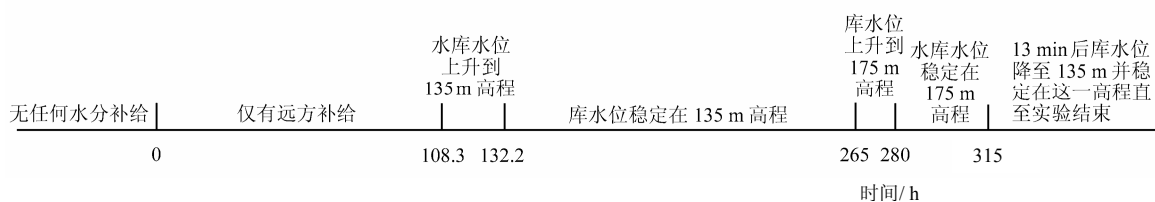


图 4 试验水系统运行流程

Fig.4 Flow chart of water system in test model

图5、图6仅列出模拟水位从175 m落至145 m时滑坡体侧面位移等值线图。从图可以看出,滑坡体后缘深部和175 m高程深部发生较大的位移。在滑坡体中部,从滑带到滑坡体表面,位移量呈层增长,越到滑坡体表面,位移越大。

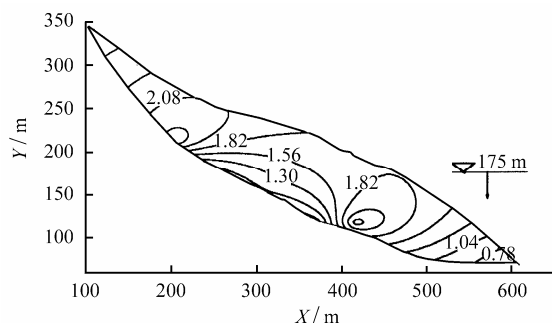


图5 X方向位移等值线图 ($t = 540$ h)

Fig.5 Isograph of horizontal displacements ($t = 540$ h)

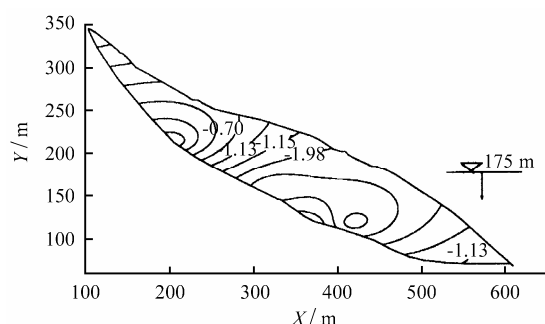


图6 Y方向最大位移等值线图 ($t = 540$ h)

Fig.6 Isograph of vertical displacements ($t = 540$ h)

选取3个分别位于滑坡体的后缘、中部和前缘的测点,它们的位移与时间关系曲线如图7所示。

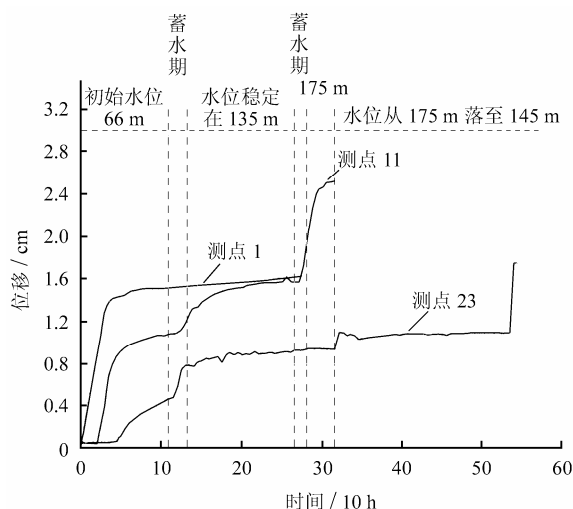


图7 测点1, 11, 23 位移变化曲线图

Fig.7 Displacement graph of measuring points 1, 11 and 23

(1) 测点1位于滑坡体的后缘, 高程246.5 m。它的位移随时间呈增长趋势。在试验开始阶段, 位移变化较大, 这是因为受地下潜水的影响, 土体在自重荷载作用下自行压实。随后的水库蓄水对该点的位移影响不大, 曲线平缓。

(2) 测点11位于滑坡体的中部, 高程153.2 m。它的位移情况主要受到了地下潜水和库水及库水位变动的影响, 曲线在开始有一个陡长段, 这是地下潜水影响滑体发生较大的位移。曲线中间的突变点是因为水库水位升到135 m时, 滑坡体在库水软化作用下, 强度降低、发生较大变形; 曲线末端的的增长段, 是水位上升到175 m时测点11正好位于该水位水幅变动区, 因此, 位移有较大的变化。

(3) 测点23位于滑坡体的前部, 高程71.4 m。曲线显示, 该点的位移情况主要受到了135 m水位变动的影响。受地下潜水和175 m水位的影响没有滑坡体的后缘和中部受到的影响大。

4 结 语

自动网格法应用于大型滑坡模型试验中尚属首次, 虽然还存在一些不足, 例如网格点的制作要求高、图像处理工作量大、试验持续时间长、对光照条件要求高、空间分辨率差等, 但是从结果分析来看, 自动网格法设备简单、对模型无扰动、测量精度高、自动化程度高, 是模型试验位移测试较好的方法之一。

参 考 文 献

- [1] 崔政权, 李宁. 边坡工程: 理论与时间最新发展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
CUI Zheng-quan, LI Ning. The Latest Development of Theory and Time on Slope Engineering[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1999.
- [2] 赵洪波, 冯夏庭, 李邵军, 等. 福宁高速公路八尺门滑坡变形演化规律预测研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 631—633.
ZHAO Hong-bo, FENG Xia-ting, LI Shao-jun, et al. Forecasting evolution of slope deformation by genetic-support vector machine[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2003, 24(4): 631—633.
- [3] 袁从华, 章光, 闵弘, 等. 某高速公路k90~k95滑坡表现形式及工程整治设计[J]. 岩土力学, 2002, 23(3): 334—336.
YUAN Cong-hua, ZHANG Guang, MIN Hong, et al. Behaviors of the landside on the k90-k95 section of a freeway and the rectification design[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2002, 23(3): 334—336.