

防汛抢险演练的均质黏性土坝漫顶溃决演练方法

朱献军

常州市城市防洪工程管理处 江苏常州 213002

摘要: 用于防汛机动抢险演练的均质黏性土坝漫顶溃决模型及其演练方法, 溃坝断面创一种用于防汛抢险演练的均质黏性土坝漫顶溃决演练方法。基于一套溃坝模型, 包新设计, 实现在低速水流条件下的“想溃于漫顶水流作用下黏性土坝溃决机理的揭示及溃坝过程中水土耦合作用的展示, 同时还具备对防汛机动抢险专业队伍开展溃坝灾害培训的功能。就溃”的溃坝模拟, 解决了以往模型试验时“想溃不溃”的技术难点, 特别适用。

关键词: 抢险演练; 溃决模型; 演练方法

Drill method of flood control and emergency drill for breaking of homogeneous clay dam

Xianjun Zhu

Changzhou City Urban Flood Control Engineering Management Office Changzhou 213002, Jiangsu Province

Abstract: This paper introduces a homogeneous cohesive soil dam overtopping failure model and its training method for flood emergency response exercises. The dam breach section creates a training method for flood emergency response exercises using a homogeneous cohesive soil dam model. Based on a set of dam breach models, including new designs, the model achieves the revelation of the failure mechanism of cohesive soil dams under the action of low-velocity water flow and demonstrates the coupled interaction between water and soil during the dam breach process. It also serves as a training tool for flood emergency response teams. This paper addresses the technical challenges of simulating dam breaches and resolves the previous difficulty of achieving realistic failure scenarios in model tests, making it particularly suitable for this purpose.

Keywords: Emergency drill; Outburst model; Drill method

一、背景技术

第一次全国水利普查数据显示, 我国已建成水库大坝近 10 万座, 其中均质土坝 9 万座以上, 且我国水库工程大多兴建于 20 世纪 50~70 年代, 受当时经济技术条件限制, 大坝建设标准低、质量差。加上管理经费长期投入不足, 维修保养不到位, 工程老化失修严重, “先天不足、后天失调”导致我国病险水库大量存在。据我国水利部大坝安全管理中心普查资料统计, 自 1954 年至今, 我国有 3500 多座水库大坝发生溃决, 且溃决大坝中 95% 以上是均质坝。因此有必要揭示均质土坝的漫顶溃决机理, 为防灾减灾提供有效的技术手段。目前国内外已开展大量的溃坝模型试验, 但存在以下主要问题:

1.1 模型试验材料一般采用砂土替代黏性土

由于均质坝一般由黏性土组成, 而黏性土的抗冲蚀性能较强, 其启动流速一般在 2m/s 左右, 小比尺模型试验很难具备使其溃决的水力条件, 目前的模型试验多采用启动流速约为黏性土 1/100 的砂土替代, 但砂土坝溃决形式表现为剪切破坏, 而黏性土坝溃决形式表现为倾倒破坏, 二者的溃决机理完全不同。

1.2 模型比尺较大, 试验成本较高

大比尺实体坝溃坝试验可较好地揭示黏性土坝的溃决机理, 但一般很难寻找到合适的试验场地, 而且试验费用高、耗时较长, 同时随着坝高的增加, 试验的风险也较大。

二、技术方案

针对上述技术问题, 本方案基于均质黏性土坝的“陡坎”冲蚀机理, 并充分考虑黏性土的物理力学特性, 提出一种均质黏性土坝漫顶溃决过程的模型及其试验方法。用于快速模拟均质黏性土坝的漫顶溃决过程, 特别适用于漫顶水流作用下黏性土坝溃决机理的揭示及溃坝过程中水土耦合作用的展示, 同时还具备对防汛机动抢险专业队伍开展溃坝灾害培训的现实功能。

为了实现上述技术目的, 采用如下具体技术方案:

用于防汛机动抢险演练的土坝漫顶溃决演练方法, 基于一套溃坝模型, 模型包括由粘性土填筑而成的土坝本体, 所述土坝本体包括上游坝肩、坝顶和下游坝肩, 在模型上游设有用于对水位进行调节的控制闸门;

在土坝本体的下游坝肩底部设有空腔层, 空腔层内填充粉砂层,

包括以下几个步骤:

步骤一: 在粘性土填筑而成的土坝本体下游坝肩底部挖掘出所述空腔层;

步骤二: 往所述空腔层内填充粉砂, 直至将空腔层填满;

步骤三: 开始漫顶试验, 通过控制闸门将水流流速控制在 0-2m/s, 漫顶水位与坝顶高度的高度差不小于 10cm;

步骤四: 当水位达到预定漫顶高度, 在漫顶水流冲刷作用下, 坝体冲蚀首先从下游坝肩开始, 溃口迅速下切到坝体底, 在下切过程中伴随侧壁坍塌和溃口的横向扩展, 溃口在下切过程中, 水流对坝体的冲蚀从下游坝体迅速发展到上游坝肩, 然后再从上游坝肩发展到坝体底部, 下游坝肩底部的粉砂首先被水流冲刷带走, 然后下游坝段发生沿水流方向的倾倒式破坏, 随漫顶后水流流速的增大, 溃口宽度和深度不断扩展, 土坝本体逐渐发生横向倾倒式的扩展破坏, 最终完全溃坝。

粉砂层的厚度由以下公式确定:

$$T_v = h + \frac{2h_w \gamma_w}{\gamma_s} - \frac{2C}{\alpha \gamma_s}$$

当下游坝肩底部失稳发生时必满足下式:

$$W_s + (h - T_v) \alpha H_w \gamma_w - (h - T_v) C = 0$$

式中, W_s 为下游坝肩底部悬空处粘性土土块质量, h 为坝高, T_v 为下游坝肩底部粉砂层厚度, C 为粘性土黏聚力, H_w 为漫顶过流水深, γ_w 为水体容重, α 为下游坝肩边坡比; γ_s 为土体容重。其中:

(1) 土坝本体上设有溃口, 所述溃口为设置在坝顶上的上部开口通槽, 所述通槽连接上游坝肩和下游坝肩。

(2) 通槽的截面呈倒梯形。

(3) 土坝本体内部设有加快土坝本体溃坝的触发单元。

(4) 触发单元为在土坝本体内部布置的若干个石块。

(5) 触发单元为在土坝本体内部布置的若干个小气囊。

(6) 上游坝肩的坡比为 1: 1.5; 下游坝肩的坡比为 1:

2。

三、附图说明

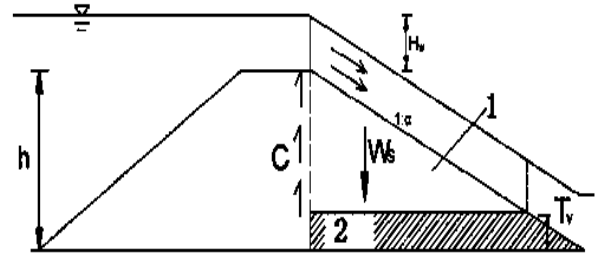


图 1 为土坝漫顶溃决模型下游边坡简化受力示意图;

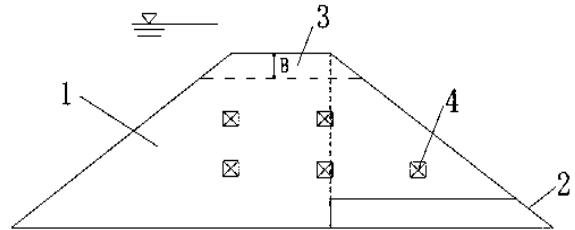


图 2 为土坝漫顶溃决模型的断面示意图;

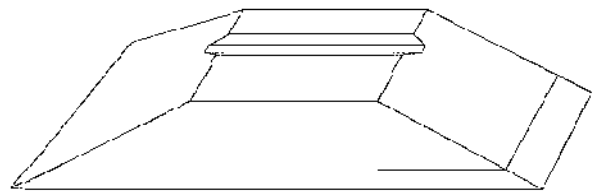


图 3 为土坝漫顶溃决模型的立体图;

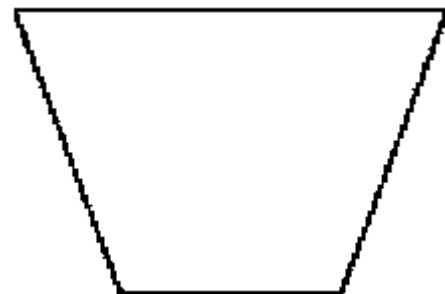


图 4 为槽道的截面示意图

其中, 1 为黏性土; 2 为粉砂; 3 为槽道; 4 为触发单元。

四、具体实施方式

如图 1 所示, 用于防汛机动抢险演练的土坝漫顶溃决演练方法, 基于一套溃坝模型, 溃坝模型溃坝坝体高度为 1m, 坝顶宽度 0.5m, 坝体长度 2m, 上游坡比可根据实际模拟情况调整, 下游坡比 1:2, 坝体部位大部分采用黏性土填筑, 仅在下游坝脚处采用黏聚力几乎为零的粉砂填筑。

粉砂层厚度的确定:

考虑到黏性土较高的黏聚力特性, 在漫顶溃坝初期, 一般可假定除下游坡脚外土坝整体结构保持完整。由于漫顶水流会对下游边坡施加压力, 此时下游边坡简化受力示意图如

图 1 所示:

当下游坡脚失稳发生时必满足下式:

$$W_s + (h - T_v) \alpha H_w \gamma_w - (h - T_v) C = 0$$

式中, W_s 为下游坝脚悬空处土块质量, h 为坝高, T_v 为下游坝脚处粉砂层厚度, C 为土体黏聚力, H_w 为漫顶过流水深, γ_w 为水体容重, α 为下游边坡比。

因此, 可通过下式确定下游坝脚处的粉砂层的厚度:

$$T_v = h + \frac{2h_w \gamma_w}{\gamma_s} - \frac{2c}{\alpha \gamma_s}$$

其中 γ_s 为土体容重。

所述坝顶上设有连接上游坝肩和下游坝肩的通槽, 通槽深度为 10cm。

为防止在试验未开始时发生漫顶, 同时方便试验时调节水位, 上游设计控制闸门。

包括以下几个步骤:

步骤 1、在粘性土填筑而成的土坝本体下游坝肩底部挖掘出所述空腔层;

步骤 2、往所述空腔层内填充粉砂, 直至将空腔层填满;

步骤 3、开始漫顶试验, 通过控制闸门将水流流速控制在 0-2m/s, 漫顶水位与坝顶高度的高度差不小于 10cm;

步骤 4、当水位达到预定漫顶高度, 在漫顶水流冲刷作用下, 坝体冲蚀首先从下游坝肩开始, 溃口迅速下切到坝体底, 在下切过程中伴随侧壁坍塌和溃口的横向扩展, 溃口在下切过程中, 水流对坝体的冲蚀从下游坝体迅速发展至上游坝肩, 然后再从上游坝肩发展到坝体底部, 下游坝肩底部的粉砂首先被水流冲刷带走, 然后下游坝段发生沿水流方向的倾倒式破坏, 随漫顶后水流流速的增大, 溃口宽度和深度不断扩展, 土坝本体逐渐发生横向倾倒式的扩展破坏, 最终完全溃坝。

如图 2~图 4 所示, 进一步的, 为了加快溃坝发生的时间和增加演练效果的逼真性, 作为溃坝模型的所述土坝本体上设有溃口, 所述溃口为设置在坝顶上的上部开口通槽, 通槽连接上游坝肩和下游坝肩。进一步的, 溃口的截面形状呈

倒梯形, 倒梯形断面过水面积大, 断面稳定。

我们做了 4 组粘度不相同的对比试验, 见表 1

表 1 现场试验主要参数

试验组数	F1	F2	F3	F4
黏粒含量(%)	11.50	11.50	17.80	33.00
压实度 (%)	97	96	98	88
含水率 (%)	19.2	15.74	17.6	28.55
C/KPa	9.3	7.5	13.0	39.5
Φ (°)	28.25	27.8	16.0	14.4
摩阻流速 $v^*(m/s)$	0.06	0.06	0.17	0.35

从上表的溃坝试验结果对比可以得出, 坝体的摩阻流速受土坝本体中黏性土的粘度值影响最大。

五、有益效果

用于防汛机动抢险演练的土坝漫顶溃决演练方法, 具有以下特点:

(1) 溃坝断面创新设计, 实现在低速水流条件下的“想溃就溃”的溃坝模拟, 解决了以往模型试验时“想溃不溃”的技术难点。

(2) 溃坝试验过程安全可控, 确保模型试验时现场工作人员安全。

参考文献:

[1]大尺度土坝漫顶溃决试验工程性态测试与分析[J]. 王士军;谷艳昌;王宏;黄海兵;严吉皞;庞琼. 岩土工程学报,2016(10).

[2]无粘性土石坝漫顶溃决水槽试验研究[J]. 王立即. 低温建筑技术,2020(10).

[3]土石坝漫顶过程水力特性分析[J]. 李云;王晓刚;刘火箭;宣国祥;曾晨军. 水动力学研究与进展 A 辑,2012(02).

作者简介: 朱献军 (1969-), 男, 汉族, 江苏常州人, 本科, 研究方向: 水利工程管理。