

DOI: 10.11779/CJGE201810020

# 旱涝急转下斜墙坝渗流特性试验研究

叶 伟<sup>1</sup>, 马福恒<sup>1, 2</sup>, 胡 江<sup>\*1</sup>, 李子阳<sup>1</sup>

(1. 南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 对斜墙坝渗流安全, 关注点多在于是否形成稳定渗流场, 浸润线高低以及渗流量多少等, 渗流分析基本为饱和渗流, 而在旱涝急转情况下, 受旱土体处于非饱和状态, 土体表面分布着裂缝, 渗流情况复杂, 常规渗流分析难以进行。基于室内坝坡模型, 模拟旱涝急转工况, 研究斜墙坝渗流特性。研究结果表明: 对于受旱后裂缝发育程度低的黏土防渗体防渗性能良好, 其渗透系数要小于饱和渗透系数, 而对于裂缝较发育区域, 由于其良好的透水性, 渗透性远大于土体饱和时的渗透性; 降雨及水位上涨时, 裂缝会自行愈合, 但愈合仅限于表面, 土体完整性无法再回到产生裂缝前的状态, 此时坝坡土压力值相对试验初期要小许多, 裂缝的产生增大了土体的孔隙率, 改变了土体渗透性, 永久削弱了黏土防渗体防渗性能。试验得出了旱涝急转下斜墙坝渗流演变规律, 可据此对实际工程中的渗流薄弱部位进行重点监测与保护。

**关键词:** 斜墙坝; 旱涝急转; 模型试验; 裂缝扩展; 渗流分析

**中图分类号:** TV640.31      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000 - 4548(2018)10 - 1923 - 07

**作者简介:** 叶 伟(1992 - ), 男, 博士研究生, 从事水利水电工程专业的研究。E-mail: 1079053235@qq.com。

## Seepage behaviors of inclined wall dams under drought-flood abrupt alternation

YE Wei<sup>1</sup>, MA Fu-heng<sup>1, 2</sup>, HU Jiang<sup>1</sup>, LI Zi-yang<sup>1</sup>

(1. Dam Safety and Management Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Most seepage safety analyses for dams focus on the evaluation of stable seepage field, infiltration line and seepage flow. However, under drought-flood abrupt alternation, the soil surface becomes cracked, making it too complicated to conduct a routine seepage analysis. The seepage characteristics of an inclined wall dam under the drought-flood abrupt alternation are studied using a large-scale physical model. The results show that after drought, the permeability coefficient of clay with low crack development is smaller than the saturated permeability, but for the cracked areas with high permeability, the permeability coefficients are much larger than the saturated permeability. As the water level rises, the cracks can heal themselves, but this healing is superficial, and the soil can no longer return to its pre-drought state. After crack healing, the integrity of the dam slope is much less than that of its original state. In addition, the formation of cracks increases the porosity of the soil and changes its permeability, which permanently weakens the anti-seepage performance of the clay soil. The seepage flow behaviors of the inclined wall dam under fluctuating drought-flood conditions are evaluated, and the results can be used to monitor and protect the weak parts of seepage dams in practical projects.

**Key words:** inclined wall dam; drought-flood abrupt alternation; model test; crack propagation; seepage analysis

## 0 引言

全球气候变化和变异加大了极端水文气候事件的频次和强度<sup>[1-2]</sup>。受其影响, 我国近年气候变化反常、不确定性显著增加, 极度干旱频发。水库极端低水位和干涸引起黏土斜墙和水平铺盖大范围产生裂缝, 破坏了防渗体系连续性和完整性, 任其发展将危及大坝渗流安全。通过对比分析溃坝率最高的山西省和溃坝率低的湖南省发现在经历了长时间干旱后的大量降水会增加水库安全事故的发生率<sup>[3-4]</sup>。深入开展旱涝急转

对斜墙坝的致灾作用研究, 以指导气候变化条件下的水库大坝安全运行、应急管理和决策, 具有一定的科学意义与实际价值。

对于裂缝渗流研究, 国内外许多学者进行了探究并取得了丰硕的成果。裂缝的出现改变了土体边界条

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(51779155); 南京水利科学研究院基金项目(y716007); 国家自然科学基金项目(51879169)

**收稿日期:** 2017-08-24

**\*通讯作者:** (E-mail: huj@nhri.cn)

件,从而影响到水流的入渗形式,水在裂缝土中的渗流方式可以分为两种:首先是通过土体表面的垂直入渗,其次为通过裂缝的横向渗流<sup>[5]</sup>。对于裂缝中水流规律的研究,葛中华等<sup>[6]</sup>通过模型试验,提出了临界水位上升速度的概念,水位上升速度大于临界值时,裂缝中水流量增加,裂缝水流量与水位不呈正比关系。在计算分析中通常认为裂缝打破了土体完整性,对此黄朝琴等<sup>[7]</sup>以离散裂隙概念为基础建立了离散裂隙模型,详细阐述了离散裂隙模型的基本原理及其两相渗流数学模型,基于Galerkin加权残量法建立了该模型的有限元数值计算格式。苗同军<sup>[8]</sup>把分形多孔介质理论拓展到裂缝网络,建立了分形裂缝网络理论,基于此理论,提出了牛顿流体在分形裂缝网络中的渗透率模型,重点分析了裂缝微观参数对滑移流和连续流渗透率的影响。

斜墙铺盖裂缝在一定程度上破坏连续铺盖形成的防渗体系,贯穿性裂缝可能导致坝体坝基渗透压力和渗漏量剧增,坝后薄弱部位出现渗透破坏,形成大坝渗流和稳定安全隐患。为了准确反应裂缝位置以及裂缝大小对渗流的影响,刘子方<sup>[9]</sup>从单一裂缝入手,以裂缝位置和裂缝宽度为参数,计算透水基础顶板上渗透压力水头分布及心墙后浸润线和渗漏量,通过叠加法得出多条不同位置和宽度时渗透压力分布和渗流量。樊建利<sup>[10]</sup>在设计的测试设备内制作单裂缝试验模型,改变裂缝深度及裂缝内水位高度,总结出入渗量与裂缝内水位高度、材料渗透系数及裂缝深度的关系表达式。对于洪水条件下的土体裂缝深度对水力特性的影响,Khandelwal等<sup>[11]</sup>提出了一个二维数值模型,以随机裂缝深度的方式分析渗流变化。裂缝土体的透水性除了与裂缝参数有关外,还受到土体饱和度的影响,Hoang等<sup>[12]</sup>从细观层面上将孔隙结构直观表达出来,研究了因裂缝的变化导致的饱和与非饱和条件下渗透性的演变。裂缝的产生改变了水流入渗途径,裂缝形态影响着水的入渗方式,此时外界水位的不断变化又加剧了渗流研究的复杂性。

目前对于裂缝渗流的研究多为从推求裂缝渗水计算模型到研究裂缝具体参数对渗流的影响<sup>[13-15]</sup>,少有关注旱后强降雨裂缝愈合时黏土体的渗流变化。作为土石坝防渗体,黏土铺盖及斜墙受旱后依旧要发挥着防渗的作用,当库区水位上升时黏土含水率增加,裂缝即会慢慢愈合,了解此时土体内渗流变化情况对于大坝渗流安全至关重要。对此,本文模拟旱涝急转条件,试验分析斜墙坝防渗体的渗流演变规律。

## 1 试验系统

试验系统模拟旱涝急转条件分两部分,分别为长

弧氙灯与风机制成的干燥系统模拟干旱气候以及增压泵、流量计以及降雨管路组成的降雨系统模拟库区水位快速上升,试验系统如图1所示。试验环境箱尺寸为700 cm×200 cm×200 cm(长×宽×高),分3个区域,I区作为蓄水区域(长100 cm),可在要求水位快速上升时向该区域直接注水;II区为试验模型区域(长500 cm),主要进行模型填筑及仪器安装;III区为排水区域(长100 cm),当上游水穿过防渗体进入下游时可通过该区域排出。试验环境箱外壁采用钢化玻璃,便于观察内部模型填筑以及水位控制。降雨管路采用雾化喷头,避免了雨水对坝坡土体的直接冲刷。试验中所用仪器包括渗压计、土压力计以及基质吸力计,渗压计用于监测渗流变化,土压力计用于分析试验过程中的坝坡稳定,基质吸力计用于判定裂缝开展深度,各仪器参数如表1所示。

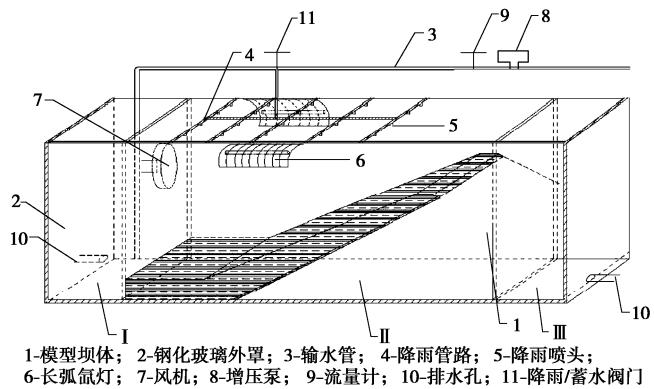


图1 试验系统

Fig. 1 Testing system

表1 试验仪器参数

Table 1 Parameters of test instruments

传感器	型号	量程/kPa	精度
渗压计	BWMK-0.015	0~40	±0.05%F·S
土压力计	BW-0.2	0~600	±0.05%F·S
基质吸力计	FTC-100	1~1500	±0.05%F·S

## 2 试验模型

### 2.1 模型相似性

试验模型的制作根据相似第一、第二及第三定理,需要考虑的模型参数包括:密度 $\rho$ 、黏聚力 $c$ 、内摩擦角 $\varphi$ 、渗透系数 $k$ 、尺寸 $L$ 、侧压力 $p$ 等。根据相似比推算,材料黏聚力、内摩擦角、密度的相似比为1,即保持模型与现场一致;尺寸、荷载相似比为 $n$ ,即按模型制作比例缩小;试验时间与渗透系数相似比为 $\sqrt{n}$ ,在进行必要计算时区别对待。设计时模型尺寸按1:28的比例缩小遵循几何相似;所用材料选取于实际工程现场且在制作模型时土的密度与现场一致以

保证孔隙比相同使模型与原状土有相同的压实度,从而满足介质物理性质相似;对于荷载相似条件在本试验中即为需模拟的水位条件对应于实际工程的校核水位,将各水位按模型尺寸比例缩小进行水位设计;试验模型中安装仪器时尽量远离两侧边界,处于中部位置,使其测量结果受边界影响较小。

## 2.2 模型填筑

为适应环境箱尺寸,试验模型按昭平台水库以1:28的比例制作。模型高165 cm,顶宽25 cm,斜墙迎水面坡比为1:2.5,背水面坡比为1:2,下游坡比为1:2。上游侧黏土铺盖厚40 cm,长度为110 cm,由于试验模型箱总体长度的限制,下游段的长度为90 cm,如图2所示。试验土体取自水库现场,参数如表2所示。

表2 土样物理性质表

Table 2 Physical properties of earth

含水率 w/%	湿密度 $\rho /(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	干密度 $\rho_d /(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	饱和渗透系数 $k/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
18.10	1.65	1.40	$1.69 \times 10^{-6}$

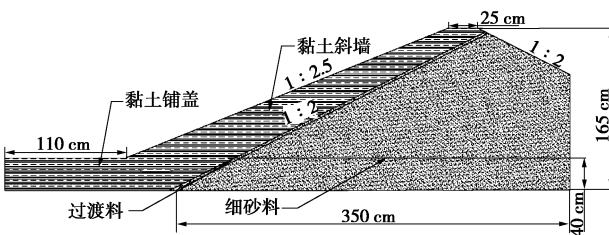


图2 试验模型尺寸

Fig. 2 Sizes of model

模型材料的填筑碾压分层进行,为了控制每次的填筑高度,填筑开始前在钢化玻璃外壁上标出高度,以10 cm为一格,左右两侧每隔0.5 m做一标高。由于细砂较为松散,填筑到一定厚度夯实时器具不易操作,因此进行人工踩压。坝体细砂料填筑完成后,考虑到上游与防渗黏土斜墙相连,因此需铺设一层混合料作为反滤层,厚度约为10 cm,附于细砂料上游面,控制上游坡比保持为1:2。黏土的填筑依附于已完成的反滤砂土料上,上游侧控制坡比为1:2.5,由于填筑是分层进行的,每层控制坡比比较困难,待填筑整体基本完成后进行整体削坡塑形。考虑到在填筑过程中埋设仪器会影响到填筑质量,也可能会损坏仪器,因此在模型整体填筑完成后进行仪器的挖坑埋设安装(位于砂土层的一只渗压计在砂土填筑完成后即进行安装埋设)。

试验所用渗压计9只,土压力计9只,基质吸力传感器5只。对于铺盖层的渗压计与基质吸力传感器,埋设于同一水平高度,距铺盖表面30 cm处,且将渗

压计埋设于基质吸力计的下游侧;黏土斜墙内的3种仪器分底部、中部与上部,土压力计位于上游侧,渗压计位于下游侧,如图3所示(S代表渗压计,T代表土压力计,Z代表基质吸力计)。试验中各仪器与降雨流量计均连接至自动化数据采集系统。

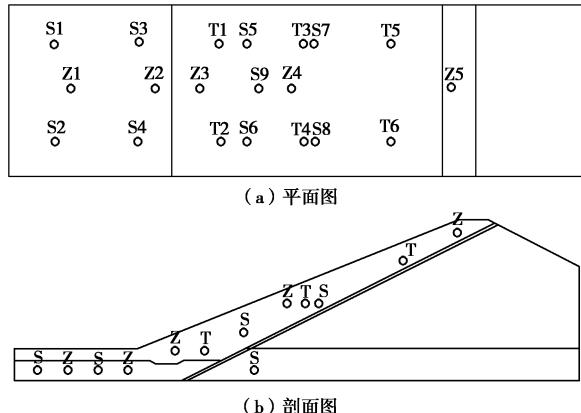


图3 仪器埋设部位

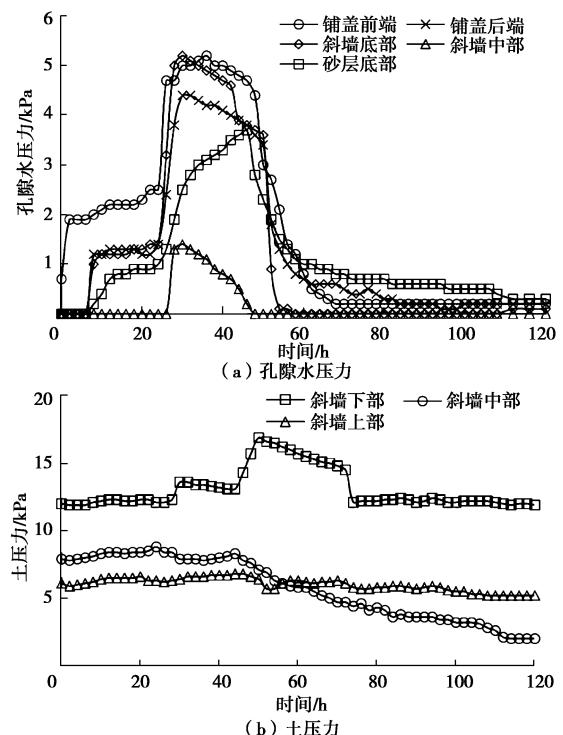
Fig. 3 Location of instruments

## 3 旱涝急转模型试验

旱涝急转模型试验分3步进行,由于模型采用干黏土填筑,第1步先进行蓄水,使坝体内形成稳定渗流场;第2步进行模拟干旱,使防渗体受旱产生裂缝;第3步进行降雨蓄水,模拟旱涝急转。

### 3.1 初期蓄水阶段

初期蓄水时,坝前水位蓄至1.2 m所示,坝体各处孔隙水压力,土压力及基质吸力值变化如图4所示。



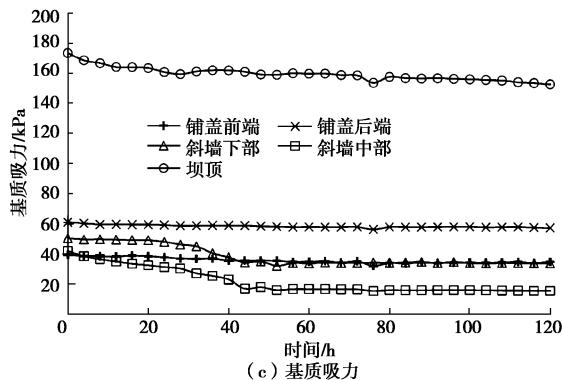


图 4 初期蓄水仪器数据变化

Fig. 4 Variation of data during impoundment period

由于蓄水过程是在 I 区注水，水位最先蓄至与铺盖齐平，因此铺盖前端的孔隙水压力最先产生变化，并先以较快的速度上升后缓慢上升。随后铺盖后端孔隙水压力约 6 h 后产生变化，并且除了铺盖前端外，其余各只渗压计均在同一时间产生了变化，这主要是由于积水已经淹没铺盖，而铺盖前端的水尚未渗入到后端，渗压计数值的变化是坝前及铺盖上部水压所致。在积水淹没铺盖后停止蓄水约 18 h，各只渗压计数值出现接近水平的一段，随后使水位快速上升，除斜墙中部的渗压计外，各只渗压计数值均增长较快，斜墙中部的渗压计由于位势较高，不管是变化速率还是幅度均小于其余部位。当试验进行到 50 h 时，将坝前积水排出，使水位快速下降，从而导致各处孔隙水压力出现骤降。

对于土压力变化，斜墙上部在蓄水前后土压力计上覆土体含水率未发生较大变化，从而土重没有明显改变，土压力值基本维持在一个稳定值；斜墙中部在蓄水过程后，由于下部细砂料出现了湿陷现象，使得土层出现松动，并在坝坡中部形成了少量不均匀沉降缝，最宽的一条沉降缝自上而下位于坝坡中部，与主沉降缝相垂直分布有细微横向裂缝，沉降缝的产生导致中部的土压力值发生很大变化，随着时间的推移，沉降缝附近应力越来越小导致中部土压力值不断减小；最后对于斜墙下部，填料均为黏土，砂土湿陷影响不到此处土压力值，在蓄水过后，坝体含水率发生较大变化，土压力计上覆土重增大，使得土压力值增大，随后土体内的水流出，并通过砂土层排出，土体自重减小，土压力随之减小。

试验初期的蓄水过程使土体含水率增加，各处基质吸力均减小，其中铺盖层的基质吸力受到铺盖前水位影响（人为抽水时水难以全部排出），吸力值整体变化不大，变化幅值在 10 kPa 左右；黏土斜墙土体的含水率主要受坝前水位影响，水位上升时含水率也增大，吸力变化幅值在 20~30 kPa；坝顶处坝前水位难以达到，土体含水率相对较低，基质吸力值较大，试验过

程中有试验人员在坝顶进行相关工作，不断踩压土体，土体积变小，从而体积含水率变大，坝顶基质吸力变小。

### 3.2 模拟干旱阶段

干旱过程与裂缝发展程度如图 5 所示，该时期各仪器参数变化如图 6 所示。



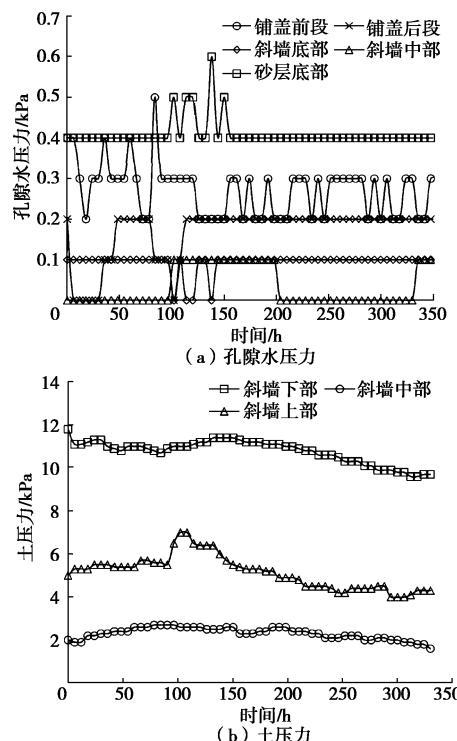
(a) 干旱模拟



(b) 裂缝发展情况

图 5 模拟干旱及裂缝发展

Fig. 5 Drought simulation and crack development



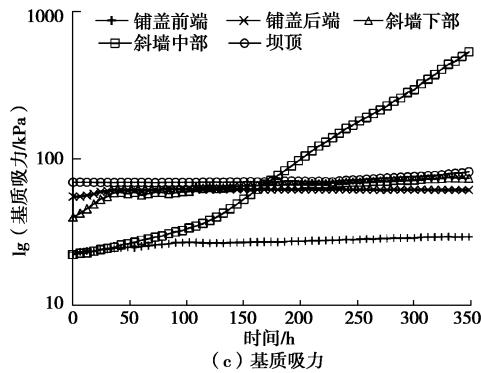


图 6 干旱阶段仪器数据变化

Fig. 6 Variation of data during drought period

在干燥阶段, 除铺盖前端与砂层中的渗压计外, 其余各处孔压值均近乎为 0, 原因在于 I 区与 III 区存在积水未完全排出。根据一般渗压计特性, 在有水环境中其工作状态稳定, 而处于干燥土体中时, 受仪器精度影响, 其测值会出现细微跳动, 试验干旱过程中孔隙水压力数据跳跃与实际工程情况相符。

与初次蓄水时相比, 经历过砂土湿陷沉降后斜墙中部土压力计读数由原先的 0 变为约 2 kPa, 其余各处土压力值前期无太大变化, 基本维持在一个稳定状态, 而进行到干燥后期, 各处土体承受的土压力越来越小, 这与水分的蒸发有关。在干燥过程进行到大约 4 d 时进行了人工测量坝坡含水率, 此时由于需要在坝体上走动, 因而使得土压力计测值出现了一些波动, 随后缓慢降低。

由于铺盖前端含水率一直以来比较高, 铺盖前端的基质吸力值在干燥阶段以稳定的增长速率持续增加, 但增长幅度比较小。铺盖后端基质吸力先出现较大增长后维持在一个相对稳定水平, 原因在于干燥时铺盖与斜墙连接段出现了裂缝, 降低了铺盖后端的含水率, 使得基质吸力增大, 而随着干燥的进行, 由于传感器埋设较深, 加之铺盖前端有水补给, 周围土体含水率较难再受干燥影响, 使得基质吸力维持在一个相对稳定水平。斜墙下部的基质吸力同样也受到铺盖斜墙连接段裂缝影响, 裂缝促使吸力较快增长, 裂缝稳定后此处的基质吸力则呈现缓慢增长现象。由于干燥时坝坡中部裂缝最为发育, 干燥初期裂缝较少, 斜墙中部的基质吸力增长较慢, 干燥一段时间后, 裂缝深度宽度均变大, 导致基质吸力快速变大。对于坝顶而言, 干燥时没有供暖灯的直射, 该部位含水率变化较慢, 以至于基质吸力值无太明显变化, 进入到干燥后期, 由于土层较薄, 含水率基本已无变化, 而基质吸力出现细微增长, 原因在于坝顶出现了较为细小的裂缝, 细微裂缝对吸力值产生影响, 促使基质吸力发生变化。

### 3.3 旱涝急转阶段

旱涝急转阶段初始选择的降雨量为 1.5 m<sup>3</sup>/h, 但降雨进行到 5 min 时, 发现雨水沿钢化玻璃外壁滑落时对模型周边有严重的冲刷现象, 因此使降雨强度下降到 0.8 m<sup>3</sup>/h, 如图 7 所示, 各仪器数据如图 8 所示。



图 7 降水过程

Fig. 7 Rainfall process

在该阶段, 由于渗流为非饱和渗流, 并且裂缝的扩展使水流会最先选择通过裂缝其次才渗入土体孔隙, 导致各处孔隙水压力变化幅度均不大。对于铺盖前端而言, 随着水位的改变, 该处孔隙水压力变化较大, 水流可以从铺盖前端以及铺盖上部渗入土体, 因而孔隙水压力值相对较大。铺盖后端由于连接段有裂缝发育, 在降雨蓄水时水流很快沿着裂缝下渗, 导致铺盖后端渗压计处孔隙水压力产生变化, 而此时为非饱和渗流, 土体渗透系数很小, 裂缝中的水流难以进入土体中, 因此表现出较小的孔隙水压力。斜墙底部同样位于连接段裂缝附近, 变化规律与铺盖后端类似, 但由于埋设位势稍高, 孔隙水压力值比铺盖后端小。斜墙中部的表面裂缝较为发育, 水流最先充满缝隙, 随后由裂缝入渗至土体中, 相比较其他部位, 孔隙水压力最先出现减小趋势, 孔压的变化受水位影响较为显著。在降雨过程中, 会有雨水直接落至坝后砂土层, 而砂土渗透系数较大, 水流很快汇集到最底层, 使得孔隙水压力有所增大; 随着降雨的进行, 环境箱后端的积水会逐渐升高, 人为进行排水后使水位降低, 从而降低了砂土中的水位, 如此反复, 造就了砂土中孔隙水压力的波动。

经历过降雨蓄水后坝坡各处土压力均有不同程度的增大, 其中斜墙底部增长幅度最大, 其余两处增长较小, 就数值而言斜墙底部的土压力最大, 斜墙中部的土压力最小, 这是由于底部承受整个斜墙大部分的压力, 而中部由于原先裂缝较发育, 使得埋设土压力计的部位存在卸荷现象, 即使在降雨过后裂缝表面有一定程度的愈合, 但此区域土体整体性无法再回到裂缝开展前, 因而土压力值依旧较小。

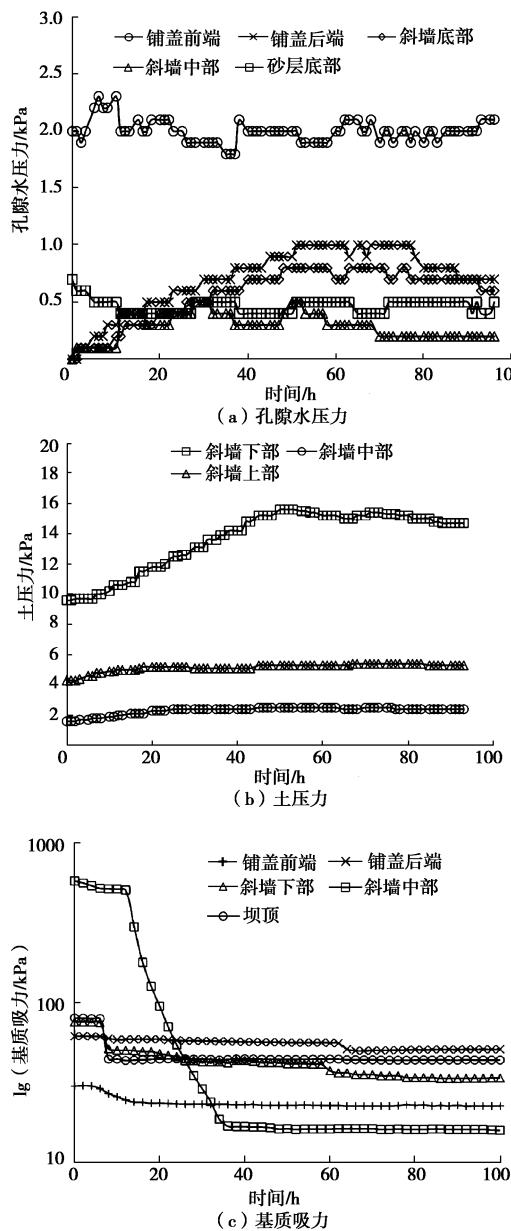


图 8 降雨阶段仪器数据变化

Fig. 8 Variation of data during rainfall period

在降雨蓄水时, 模型各处的基质吸力均会减小, 由于试验中铺盖层裂缝发育程度低, 铺盖层的变化幅度不大; 试验中斜墙裂缝较为发育, 积水直接沿裂缝渗入使土体含水率增大, 基质吸力降低, 因而斜墙底部与中部的变化幅度较大。结合此时的渗流情况, 对于基质吸力变化较平缓的坝前铺盖, 孔隙水压力值变化不大, 而对于基质吸力变化较大的斜墙中部, 孔隙水压力也产生了较大改变, 且大于初次蓄水时的孔隙水压力, 从而可以认为基质吸力的改变实际反应的是渗透系数的改变。

## 4 结 论

基于室内模型试验, 研究了旱涝急转工况下黏土

斜墙坝渗流性态演变规律, 主要结论如下:

(1) 经历过干旱的黏土层表面会出现不同发育程度的裂缝, 裂缝的出现改变了水的入渗路径, 水体先充满裂缝, 再由裂缝入渗至周围土体中。在非饱和区, 对于裂缝较浅或未产生裂缝的区域, 经历过干旱的黏土层渗透系数会大幅度下降, 同一水位蓄水相同时间时, 同一深度处的孔隙水压力值会比旱前小; 而对于裂缝贯穿的区域, 孔隙水压力的变化幅度较大, 且比干旱前大幅增大。

(2) 降雨过程会使得已产生的裂缝愈合, 但愈合后的土体完整性已不如产生裂缝之前, 斜墙内的土压力不再连续, 上部压力不能传至坡底, 当上部土体压力不断增大可能时会出现局部滑坡现象。

(3) 对于裂缝发育较弱的区域吸力变化较平缓, 变化幅度不大, 而对于裂缝发育程度较高的区域, 遭遇降雨时基质吸力会骤然变小, 使得该区域土体的渗透系数变化较快, 由原先较干旱时的微弱渗流转变为接近饱和渗流, 改变了渗流形式, 影响渗流安全。

## 参 考 文 献:

- [1] AHMED A, MADDAUS M. Understanding the impact of climate change on water resources sustainability—AWWA's climate change committee report[C]// World Environmental and Water Resources Congress. 2011: 1347 – 1356.
- [2] YOUNGIL M, TAESUK O, MINSEOK K, et al. Drought frequency analysis for Palmer Drought Severity Index using boundary kernel function[C]// World Environmental and Water Resources Congress. 2010: 2708 – 2716.
- [3] 何晓燕, 王兆印, 黄金池, 等. 中国水库大坝失事统计与初步分析[C]// 中国水利学会 2005 学术年会论文集——水旱灾害风险管理. 青岛, 2005: 321 – 329. (HE Xiao-yan, WANG Zhao-yin, HUANG Jin-chi, et al. Statistics and preliminary analysis of the dam crash of China reservoir[C]// Proceedings of the 2005 Academic Annual Conference of China Water Conservancy Association-Risk Management of Water and Drought Disaster. Qingdao, 2005: 321 – 329. (in Chinese))
- [4] 何晓燕, 王兆印, 黄金池. 中国水库溃坝空间特征分析[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 1 – 4. (HE Xiao-yan, WANG Zhao-yin, HUANG Jin-chi. Analysis on the spatial distribution of dam-failure in China[J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(2): 1 – 4. (in Chinese))
- [5] NOVAK V, ŠIMUNEK J, GENUCHTEN M T V. Infiltration of water into soil with cracks[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2000, 126(1): 41 – 47.

- [6] 葛中华, 范炳恒, 冯启言, 等. 单个黏土体裂缝中水流规律的研究[J]. 地质学报, 1993, 67(2): 159 - 167. (GE Zhong-hua, FAN Bing-heng, FENG Qi-yan, et al. The study of water-flow in a clay fracture[J]. Journal of Geological, 1993, 67(2): 159 - 167. (in Chinese))
- [7] 黄朝琴, 姚军, 王月英, 等. 裂隙介质两相渗流数值模拟研究[J]. 中国科学: 技术科学, 2011, 54(9): 1240 - 1248. (HUANG Chao-qin, YAO Jun, WANG Yue-ying, et al. Numerical study on two-phase flow through fractured porous media[J]. Sci China: Tech Sci, 2011, 54(9): 1240 - 1248. (in Chinese))
- [8] 苗同军. 裂缝型多孔介质渗流特性的分形分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2015. (MIAO Tong-jun. Fractal analysis of seepage characteristics of fractured porous media[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2015. (in Chinese))
- [9] 刘子方. 铺盖裂缝渗流计算[J]. 江西水专学报, 1986, 22(2): 7 - 22. (LIU Zi-fang. Seepage calculation of pavement cracks[J]. Journal of Jiangxi Water Technology, 1986, 22(2): 7 - 22. (in Chinese))
- [10] 樊建利. 裂缝充水对土质滑坡稳定性影响的试验研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2008. (FAN Jian-li. The test research on soil landslide's stability influenced by crack water[J]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [11] KHANDELWAL S, SANCHEZ M, MEDINA-CETINA Z. Effect of depth of desiccation cracks on earth embankments[J]. Geo-Congress, 2012(231): 800 - 803.
- [12] HOANG H, HOXHA D, BELAYACHI N, et al. On the impact of cracking on unsaturated hydrous properties of porous materials[C]// Biot Conference on Poromechanics. 2013: 1560 - 1569.
- [13] 葛祖立. 土坝铺盖裂缝渗漏和淤填的探讨[J]. 水利水运工程学报, 1982, 41(3): 36 - 44. (GE Zu-li. Leaking and warping through cracks of earth dam blanket[J]. Hydro-Science and Engineering, 1982, 41(3): 36 - 44. (in Chinese))
- [14] LI J H, ZHANG L M. Study of desiccation crack initiation and development at ground surface[J]. Engineering Geology, 2011, 123(4): 347 - 358.
- [15] VOGEL H J, HOFFMANN H, LEOPOLD A, et al. Studies of crack dynamics in clay soil: II A physically based model for crack formation[J]. Geoderma, 2005, 125(4): 213 - 223.

## 《岩土工程学报》征订启事

《岩土工程学报》创办于 1979 年, 是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办, 国内外公开发行。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表当今先进理论和实践水平的科学的研究和工程实践成果等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿, 倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿, 并优先刊用这些稿件。主要栏目有黄文熙讲座、综述、论文、短文、工程实录、焦点论坛、讨论和简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续多年确认为核心期刊, 并在建筑类核心期刊中位于前列; 本刊被科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)及“中国科技论文与引文数据库”收录; 本刊被中国科学院“中国科学引文数据库”收录; 本刊被“中国知网”全文收录及“中国学术期刊综合评价数据库”收录; 本刊被“工程索引 Ei Compendex 数据

库”和“日本科学技术振兴机构数据库 JST”等国际数据库收录。本刊网址 ([www.cgejournal.com](http://www.cgejournal.com)) 全文发布本刊所有刊载文章。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

本刊为月刊, A4 开, 双栏排版, 192 页, 每月中旬出版, 每期定价 40 元, 全年定价 480 元。

本刊国际标准刊号 ISSN 1000 - 4548, 国内统一刊号 CN 32 - 1124/TU, 国内发行代号 28 - 62, 国外发行代号 MO 0520。欢迎广大读者在全国各地邮局订购, 也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址: 南京虎踞关 34 号《岩土工程学报》编辑部; 邮编: 210024; 联系电话: 025-85829534, 85829543, 85829553, 85829556; 传真: 025-85829555; E-mail: ge@nhri.cn。

(本刊编辑部)