

DOI: 10.11779/CJGE201412008

# 多层堤基中土层结构变化对管涌影响的试验研究

陈建生<sup>1, 2</sup>, 张 华<sup>1, 2\*</sup>, 王 霜<sup>1, 2</sup>, 何文政<sup>1, 2</sup>, 袁克龙<sup>1, 2</sup>

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

**摘 要:** 不同土层结构的堤基, 管涌的发生和发展情形不同。利用室内试验, 通过改变下伏砂层内夹砂层的级配组成, 对 3 种不同夹砂层的多层堤基进行了管涌破坏过程的模拟, 研究了不同颗粒级配组成的夹砂层对管涌发生及发展过程和机理的影响。试验结果表明, 多层堤基夹砂层均为细砂时, 承受的水压力较大, 临界水力梯度较高, 一旦发生管涌破坏后其渗透流量、涌砂量以及破坏范围都比较大, 所以此类堤基发生管涌破坏时具有一定的突然性和剧烈性, 应及早采取防治措施; 夹砂层均为粗砂时, 管涌破坏时的情形与双层堤基类似, 管涌破坏的范围局限于砂砾层顶部, 破坏深度有限; 夹砂层为细砾时, 发生管涌破坏的临界水力梯度较小, 管涌破坏程度逐步增加且破坏速度较快, 由于涌砂量较大容易使堤基产生明显的渗透变形。

**关键词:** 管涌; 多层堤基; 临界水力梯度; 土层结构; 模型试验

中图分类号: TV641

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)12-2213-07

**作者简介:** 陈建生(1955-), 男, 江苏泗阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事同位素水文学、渗流理论与示踪探测技术的研究。E-mail: jschen@hhu.edu.cn。

## Experimental researches on effect of foundation structure on piping in multilayer embankment

CHEN Jian-sheng<sup>1, 2</sup>, ZHANG Hua<sup>1, 2</sup>, WANG Shuang<sup>1, 2</sup>, HE Wen-zheng<sup>1, 2</sup>, YUAN Ke-long<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The situations of the occurrence and development of piping are different because of different soil layer structures of embankment. Based on the laboratory tests, the destruction processes of piping of multilayer embankment with three kinds of different sand layers are simulated. By changing the grain-size distribution of the underlying sand layers, the effect of sand layers with different grain-size distributions on the mechanism and process of the occurrence and development of piping is analyzed. The test results show that when the sand layer of multilayer embankment is fine sand, it bears larger water pressure, and the critical hydraulic gradient is high. Once piping occurs, the seepage discharge, erosion mass and damage range are large. The piping failure of this kind of embankment is sudden and dramatic, and prevention measures should be taken as early as possible. When the sand layer is coarse sand, the situation of piping is like that of sand gravel layer. The damage scope of piping is confined to the top of the gravel layer, and the damage depth is limited. When the sand layer is fine gravel, the critical hydraulic gradient is small, the damage extent gradually increases, and the speed of piping is quick because large amount of erosion embankment can generate obvious seepage deformation.

**Key words:** piping; multilayer embankment; critical hydraulic gradient; soil structure; model test

## 0 引 言

根据调查, 1998年长江洪水险情以渗流险情最为普遍, 沿长江6000余处险情就有4000余处属渗流险情, 其中管涌是一种主要的渗透破坏形式<sup>[1]</sup>。而理论上的管涌(土体中的细颗粒在粗土粒形成的的孔隙中移动并被带出现象)在江河堤防中很少遇到。本文所研究的“管涌”现象是一种工程意义上的渗透破坏的形式<sup>[2]</sup>。

近年来, 国内外多学者对管涌的发展过程、发展机理及管涌模型的建立等开展了大量的研究工作。刘杰<sup>[3]</sup>推导了渗透系数的理论公式为渗流的研究提供了有力的依据; 陈建生等<sup>[4]</sup>、毛昶熙等<sup>[5]</sup>根据井流理论

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ13\_0243)

收稿日期: 2014-05-09

\*通讯作者

对堤防管涌发生后产生的集中渗漏通道的机理进行了详细的分析探讨;刘杰等<sup>[6]</sup>在考虑了土的渗透稳定性的基础上,并以下层出现的承压水头大小,按两土层渗透系数比值将其细分为4种双层地层结构,分别研究了其渗透破坏机理。倪晓东等<sup>[7]</sup>为了揭示管涌发展的细观机理,分析土体内部细颗粒运移引起管涌破坏的动态过程,进行了管涌砂槽模型试验和颗粒流数值模拟;周晓杰<sup>[8]</sup>等采用渗流-管流耦合的方法对管涌的发展规律进行了描述,模拟了管涌通道绕过防渗墙等复杂的发展过程;姚秋玲等<sup>[9]</sup>、梁越等<sup>[10]</sup>通过砂槽模拟试验分别研究了管涌发生及发展过程。

长江中下游堤防主要存在于第四纪冲积平原上,由于沉积条件的不同及堤身填土的复杂性,堤基会呈现出由多种性质的土组合形成的互层结构,实际工程中有不少堤防工程就座落在这种多层堤基上。在洪水汛期,由于各土层的渗透系数不同,导致发生管涌破坏的过程与机理也不尽相同,国内学者也对此类堤基的情况做了初步的研究,如丁留谦等<sup>[11]</sup>对有弱透水层,细砂层和强透水层组成的三层堤基进行了管涌发展的模型试验,研究了细砂层厚度对管涌的影响并与双层堤基管涌破坏的现象进行比较;王霜等<sup>[12]</sup>研究了细砂层在强透水层上部和内部的结构变化对管涌的影响,并与双层堤基管涌进行了比较。但是上述研究仅考虑了砂砾石层厚度以及埋置深度的影响,并未对土层内部结构变化对管涌破坏的影响进行研究。

本文在前人研究的基础上,通过改变下伏砂层中夹砂层的级配进行相互比较试验,对3种不同类型的多层堤基管涌的发生及发展过程进行了模拟。通过逐级增加水头的方式进行试验,记录试验过程中沿程测压管水位、渗透流量、涌砂量等参数变化的情况,对多层堤基的管涌发展机理和管涌破坏的临界水力梯度做了初步的探讨。

1 试验设备与用料

1.1 试验模型

试验在自行设计的有机玻璃槽内进行,如图1所示,该模型槽长为120 cm,宽为30 cm,高为30 cm,模型槽左侧为一进水室,在试样与进水室之间设置一层透水隔板,使水流均匀地流入试样内。模型槽顶面为有机玻璃盖板,模拟实际工程中的刚性坝体,试验时用胶水及螺丝将其与砂槽密封,起到隔水的作用。试样自上而下分别为黏土层、砂砾石层、夹砂层、砂砾石层,厚度分别为6,2,1,21 cm。盖板右端距离进水室85 cm处开有直径为4 cm的出水口,模拟上覆层被冲破后形成的管涌口。模型槽侧壁布置9根测压

管,从侧面深入试样2 cm,距上部玻璃盖板10 cm(每根测压管之间间隔10 cm),设置在夹砂层下部,以便测得试验过程中夹砂层下部孔压的变化情况。

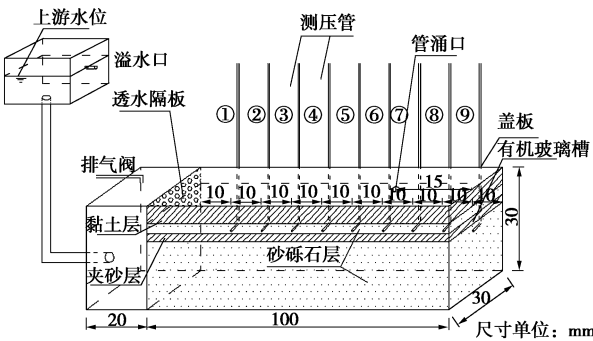


图1 试验装置构造

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

1.2 试验用料

本次试验中的砂砾石和3类不同夹砂层的颗粒级配组成如图2所示,为了清楚地观察试验结束后管涌破坏的情况,夹砂层1、2均采用白砂。试验用料的物理力学性质、各试验方案的条件及试验结果如表1所示。

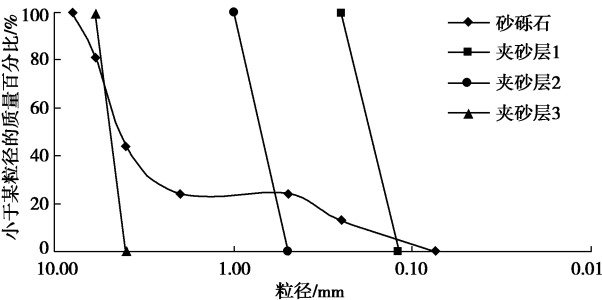


图2 试验用料级配曲线

Fig. 2 Grain-size distribution of materials

表1 试验用料的物理力学性质

Table 1 Physical and mechanical properties of materials

土料	$d_{60}$ /mm	$d_{30}$ /mm	干密度 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	比重
砂砾石	5.00	2.90	1.86	2.65
夹砂层1	0.19	0.16	1.35	2.65
夹砂层2	0.75	0.65	1.45	2.65
夹砂层3	5.00	4.60	1.43	2.65

土料	孔隙率	渗透系数 /( $10^{-3}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )	含有该夹砂层的多 层堤基的破坏比降
砂砾石	0.30	14.6	无
夹砂层1	0.49	5.4	0.30
夹砂层2	0.45	77.0	0.21
夹砂层3	0.47	4703.0	0.13

### 1.3 试验步骤

(1) 装样并饱和。设置试验颗粒级配,按预定的密实度分层装样,每层厚度约5 cm,击实至预定密度,直至设计高度。再在试样上部覆盖黏土层,抹平压实后盖上玻璃盖板,向模型槽中加水至试样顶面以上,饱和24 h以上。

(2) 分级增加上游水头进行试验。用刻度标尺控制水头的上升高度,待渗透变形稳定后进行下一级水头试验。

(3) 试验开始后记录每级上游水头下相应的流量,测压管数值等参数,并收集渗透破坏过程中涌出的砂,待试验结束之后烘干、称重。

(4) 渗透破坏后,静置一段时间,分别揭开盖板和黏土层,观察试样的渗透破坏情况。

## 2 试验过程

试验开始后采用逐级增加上游水头的方式进行试验,每级增加水头为5 cm,在某一级水头下渗流稳定后,再抬升水头进行下一级水头下的试验。判断渗流稳定的标准:渗透流量和测压管数值基本稳定,管涌口水流清澈且无砂粒涌出。由于模型尺寸的限制及内部试样不能达到绝对的均匀,所以沿程测压管只能反映大致的水头分布变化趋势。试验中以模型槽顶面为零势面。试验过程中记录各级水头的数值及测压管读数。本文将管涌破坏的临界水力梯度定义为试样开始涌砂时的水平表观水力梯度,通过公式 $i=H/L$ 求得表观水力梯度。其中 $H$ 为上游水位与管涌口位置高度之差, $L$ 为最短渗径,即管涌口到进水面的最短距离,本模型中 $L$ 为85 cm。

### 2.1 试验一:夹砂层1

图3为沿程各测压管数值随上游水头升高的变化曲线。施加上游水头,结合流量曲线(图4)及试验过程中的现象,试验过程可分为下面2个阶段。

(1) 渗流稳定阶段。试验起始水力梯度为0.07,这一阶段,沿程各测压管水位值随上游水头的增加而增加且保持很好的一致性,但是各测压管的数值相差并不大(图3)。同时这一阶段管涌口清澈,流速缓慢,渗流量很小且随上游水头的上升而增加(图4)。

(2) 砂层渗透变形阶段。当上游水位抬升到25.3 cm,对应的水力梯度为0.3时,在稳定渗流了20 min左右后,渗流量突然增加,测压管水位值突然下降,且距预设管涌口越近变化越明显,表明渗透破坏发生后导致试样内部水头进行了重新分布。同时管涌口变浑浊,砂粒在管涌口处剧烈翻滚,达到起动流速的颗粒被水流一起带出,涌出的砂中夹杂大量白细砂还有

少量较粗的颗粒,说明此时试样已经发生渗透破坏,管涌口附近颗粒正逐渐流失。管涌破坏发生后,沿程测压管水位值降低,靠近管涌口的测压管水位降幅较大,越远离管涌口测压管水位降幅越小。可以看出此时渗透破坏主要是在垂直方向的流土破坏,而且深度已经达到下面的白细砂层。涌砂过后,出水口水流由浑浊逐渐变清澈,之后每增加一级水头管涌口都会涌砂。这一阶段,测压管数值随上游水头的增加时而增加,时而减小,且越靠近进水管室的测压管数值变化幅度越大,可以看出通道在向上游发展的过程中时而堵塞、时而疏通。但这一阶段水力梯度-流量曲线依旧呈线性关系(图4)。

当上游水头抬升到68.8 cm,对应的水力梯度为0.81时,管涌口开始有较粗的颗粒翻滚跳动。继续抬升水头,达到起动流速的大颗粒也开始被水流带出,说明随着渗透破坏的进行试样内部的水力梯度在不断增大。

试验结束时,水力梯度为1.01,流量仍然在增加,而且靠近进水管室的测压管数值也在继续增加,说明试验结束时管涌通道并没有完全贯通。

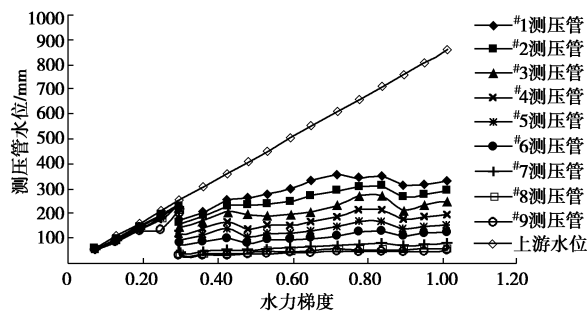


图3 试验一过程中测压管水位值的变化曲线

Fig. 3 Variation of hydraulic head with piping development in experiment 1

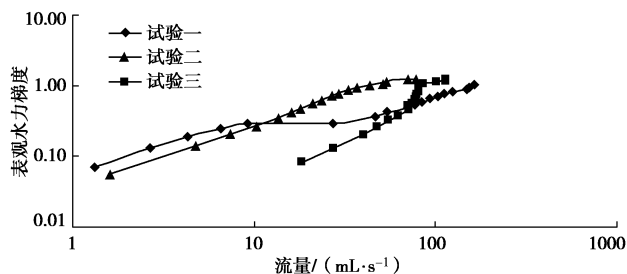


图4 各试验过程中表观水力梯度与流量的变化曲线

Fig. 4 Variation of flux with hydraulic gradient

在试验结束后,对黏土层下部的砂砾石层的破坏情况进行了观察和分析(图5)。发现砂砾石层中的细颗粒在管涌口附近小范围内基本流失完毕,下部的细白砂已经显露出来,黏土层下部砂砾石试样中的细颗粒大量流失,形成强渗透通道,宽度大概约占模型

槽宽度的 1/3。将夹砂层上部的砂砾石层刮开，进一步观察夹砂层的破坏情况，发现白细砂大量流失形成明显的渗透通道，且破坏范围与上部砂砾石层大致相同。

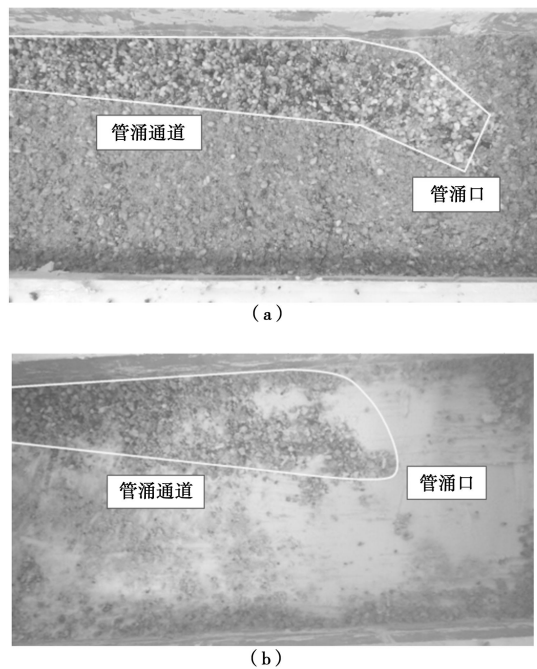


图 5 试验一黏土下部砂砾石层及夹砂层破坏情况  
Fig. 5 Destruction of sand gravel and sand layer at bottom of clay in experiment 1

2.2 试验二：夹砂层 2

试验开始时水力梯度为 0.06，管涌口清澈并冒有气泡。这一阶段，沿程各测压管数值随上游水头的增加逐渐增加（图 6），水力梯度 - 流量曲线呈线性关系（图 4）。与试验一相比，沿程各测压管水位值随上游水头的增加呈现明显的梯度分布且各测压管数值差距越来越大。

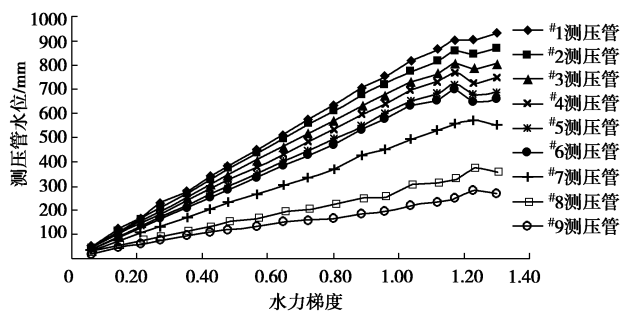


图 6 试验二过程中测压管数值的变化曲线  
Fig. 6 Variation of hydraulic head with piping development in experiment 2

当上游水位升至 18 cm，对应水力梯度为 0.21 时，管涌口开始有砂砾石层中的细小颗粒翻滚并被带出孔口，说明此时渗透破坏已经发生。这一阶段，测压管

数值继续随上游水头的增加逐步增加，流量曲线保持原来的斜率线性增加。同时每一级水头下涌砂量与前一级水头相比，都有小幅度的增加。试验结束时，上游水位 110.5 cm，水力梯度为 1.3。

在试验结束后，观察到黏土层下部试样顶面的细颗粒基本全部流失（图 7），但仍有细颗粒残留，顺着管涌口方向能明显看到细颗粒被冲刷的痕迹（图中箭头所示），通过开挖发现通道厚度较薄，下部白粗砂夹砂层未发生渗透破坏。

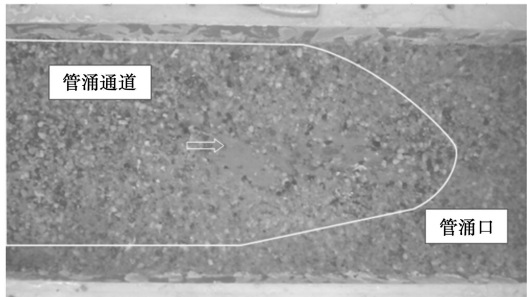


图 7 试验二黏土下部砂砾石层破坏情况  
Fig. 7 Destruction of sand gravel at bottom of clay in experiment 2

2.3 试验三：夹砂层 3

试验三的现象与试验二类似，但是试验三管涌破坏的速度要比试验二快。

试验初始水力梯度为 0.08，管涌口水流清澈并伴有细小砂粒轻微的翻滚但并未被带出孔口。继续抬升水头至 11.3 cm，对应水力梯度为 0.13 时，管涌口翻滚的颗粒被带出，说明堤基渗透破坏已经发生。这一阶段，沿程测压管数值随上游水头的增加而增加（图 8），渗流量也随上游水头的上升开始呈线性增长趋势（图 4），涌砂量也在不断增加。

当上游水头抬升至 90.3 cm，水力梯度为 1.06 时，水力梯度 - 流量曲线开始向上转折（图 4），继续随上游水头的上升呈线性增长趋势。试验结束时，对应的水力梯度为 1.28。

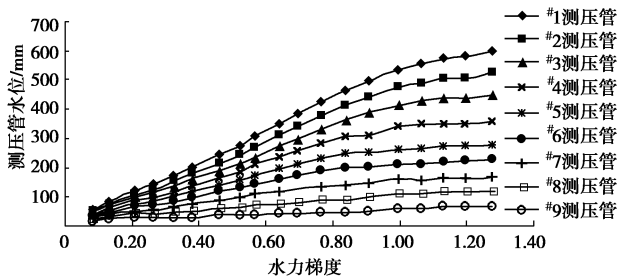


图 8 试验三过程中测压管数值的变化曲线  
Fig. 8 Variation of hydraulic head with piping development in experiment 3

试验结束后，观察黏土下部与细砾夹砂层上部砂

砾石中的细颗粒大量流失(图 9), 形成两条较宽的弯曲状的强渗透通道一直贯穿到进水管, 通过开挖发现通道已达到下部强透水细砾层。

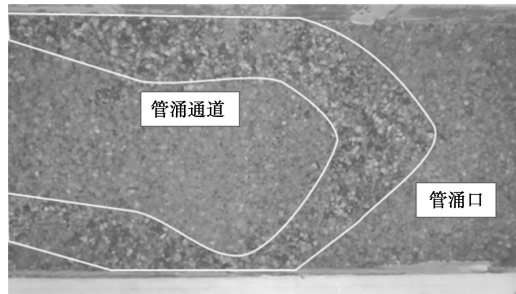


图 9 试验三黏土下部砂砾石层破坏情况

Fig. 9 Destruction of sand gravel at bottom of clay in experiment 3

### 3 试验结果分析对比

以上3种不同夹砂层的多层堤管涌破坏的过程有着很大的差异, 3种不同堤基发生渗透变形时的临界水力梯度分别为0.30, 0.21, 0.13。3组试验的差异还表现在破坏机理、流量、涌砂量和破坏范围等3个方面。

#### 3.1 试验机理的分析对比

试验一中白细砂层将砾石层分为两部分, 由于白细砂层的渗透系数相对较小、透水性很差, 夹砂层下部的水流很难传递到上部, 而上部的砂砾石层厚度较薄, 在上游水头不大的情况下很难发生水平向破坏, 从而导致渗透破坏开始前的渗流量较小, 测压管数值相差不大。在涌砂后, 试样内水头重新分布, 砂砾石层中的水平水力梯度明显增加, 说明在发生管涌破坏前, 上下游的水头差主要由白细砂层以及上部砂砾石层共同承担, 即白细砂层底部要承受很强的向上水压力。当水压力不断增加, 破坏了土体的静力平衡后, 白细砂层和上部砂砾石层便被冲开并发生流土破坏, 所以第一次涌出的砂中有大量的白砂还有少量大颗粒, 此时发生的主要是垂直渗透破坏。随着管涌口附近的白细砂被带出, 原本由白细砂层承担的水头差转由砂砾石层和白细砂层共同承担, 使得整个砂层内的水力梯度上升。伴随着上游水位的不断增加, 又由于白细砂颗粒临界水力梯度小, 白细砂层与砂砾石层接触处的白细砂被不断的带出。白细砂层破坏的同时上部砂层内达到起动流速的细颗粒也被不断带出。当试样内水力梯度不断增加且超过大颗粒的临界水力梯度时, 大颗粒也随之被带出, 这就是试验后期涌出大颗粒的原因。

试验二的渗透破坏过程与试验一不同。由于白粗砂夹砂层的渗透系数略大于砂砾石层, 因此并没有象

试验一一样对水流形成阻挡, 反而对水流的压力产生了消散作用, 使水压力进一步直接作用于上部砂砾石层, 加速了管涌破坏的速度。黏土层与下部砂砾石层接触处的细砂在水平向渗透力作用下起动、输送并被带出孔口。随着细颗粒的不断流失, 黏土层与砂砾石层接触处的渗透系数将不断增大, 进而渗流量增大, 黏土层与下部砂砾石层之间的接触冲刷<sup>[13]</sup>不断地加强, 促使管涌通道不断地加宽并向两边发展(图7)。因此试样内部的渗流场与双层堤基差距不大, 渗透破坏破坏机理与双层堤基相似, 管涌破坏主要沿着黏土层下部砂砾石层表面发展。

试验三由于细砾夹砂层的渗透系数相对于上部砂砾石层来说较大, 且其深度较浅, 经过夹砂层流出孔口的水流的渗径相对于上部砂砾石层增长较小, 所以细砾夹砂层成为一个主要的导水层。试样内部的水流向夹砂层汇集, 经夹砂层流出孔口, 导致了上部砂砾石层中的水量以及水平向流速的减小, 试样内部的流场发生变化, 同时孔口垂直至夹砂层这一段的砂砾石层承担了较大的水头, 所以试验开始时的渗流量很小。但是由于砂砾石层中细颗粒的临界水力梯度较小, 随着上游水头的逐步提升, 试样内的水力梯度很快达到了临界值, 管涌口附近的细颗粒垂直向上运动并被不断的带出, 此时主要是垂直的渗透破坏。随着管涌口附近细颗粒的带出, 管涌口至细砾夹砂层的垂向通道逐渐贯通, 试样内部形成水流集中通道。随着水力梯度的继续增加, 在细砾夹砂层与上部砂砾石层接触面处发生接触冲刷, 细颗粒在水平向渗透力作用下沿层面被带出。

#### 3.2 流量的对比

施加某一水头后, 通过测量单位时间内的涌水量可以测得试验的渗透流量(图4), 结合试验现象对各组试验的流量进行了对比。在未发生管涌破坏前, 各试验流量与水力梯度的变化呈线性关系, 试验二的流量略大于试验一, 但试验三流量明显高于试验一、二。这是由于试验三内部夹砂层渗透系数较大, 相比于试验一和二在试验开始时砂砾石层内部就已经形成水流集中通道, 所以涌水量较大。但是当试验一开始发生渗透破坏后, 流量-水力梯度曲线开始向上偏转, 以更快的速度线性增长。而试验二的管涌破坏以水平向为主, 随着上游水位的增加破坏程度逐步增加, 流量也随之增加, 因此试验二的流量-水力梯度曲线继续沿近似直线变化。如果仅从流量变化的角度去判断渗透破坏的程度, 那么细砂夹砂层在较低水力梯度下会保持较小的流量, 但是一旦发生渗透破坏, 白细砂夹砂层的土层渗透破坏的程度将是最大的。

### 3.3 涌砂量和破坏范围的对比

在试验结束后,对每次涌出的砂颗粒进行烘干、称重,分析瞬时涌砂量和水力梯度的关系(图10)。试验一的土层结构在较高的水力梯度下才开始发生涌砂破坏,但是首次出砂量最大,随着水力梯度的增加涌砂量上下波动,虽然较第一次减少但是依旧较大,说明管涌破坏的速度很快。试验二的每次出砂量较前次都有小幅度增加,但是出砂量都不大,说明破坏是一个缓慢进行的过程。相比于试验一、二,试验三在较小的水力梯度下就开始涌砂。同时结合黏土层下部砂层破坏情况进行分析和对比(图5,7,9),由于试验一白细砂夹砂层颗粒的大量流失,这将导致多层堤基明显的渗透变形,说明试验一发生渗透破坏的程度和深度最大。

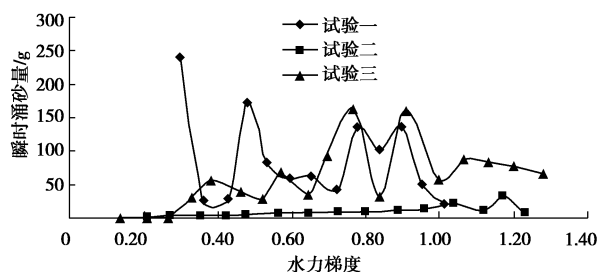


图10 瞬时涌砂量随水力梯度的变化曲线

Fig. 10 Variation of instantaneous amount of sand with hydraulic gradient

## 4 结 论

本文利用室内试验装置,模拟了不同类型夹砂层的土层结构,在上游水位升高的过程中发生渗透破坏的过程,并通过对试验现象,测压管水位、流量等参数的分析,得到了以下3点结论。

(1) 多层堤基中夹砂层的颗粒组成对渗透破坏的临界水力梯度有很大影响。细砂夹砂层渗透系数较小,阻挡了砂砾石中的水量,提高了临界水力梯度;细砾夹砂层颗粒粒径较大,渗透系数较大,加速了内部水流通道的形成,降低了临界水力梯度。说明夹砂层颗粒粒径越小对水力梯度的提高越明显。

(2) 不同颗粒组成的夹砂层发生管涌破坏的机理不同。细砂作为夹砂层的土层先是在管涌口处白细砂层发生垂向的流土破坏,随后伴随着深层管涌破坏的发生,浅层管涌破坏逐步发生<sup>[1]</sup>,与双层堤基完全不同;粗砂夹砂层的土层管涌破坏主要沿着黏土层下部砂砾层表面发展,与双层地基类似;细砾夹砂层的土层主要是在细砾石层与砂砾石层接触处发生的接触冲刷。说明夹砂层的渗透系数越接近砂砾石层,管涌机

理与双层堤基越接近。

(3) 夹砂层颗粒组成对管涌破坏的出砂量和出砂范围有一定影响。在较低的水力梯度下,细砂夹砂层的土层基本未发生破坏,而一旦超过临界水力梯度,管涌破坏的范围、深度和涌砂量均大于粗砂夹砂层的土层,最容易导致上部堤基的坍塌。同时细砾夹砂层管涌破坏的范围和涌砂量也明显大于粗砂夹砂层的土层。说明夹砂层渗透系数与砂砾石层差距越大破坏程度越大。

### 参考文献:

- [1] 毛昶熙, 段祥宝, 毛佩郁, 等. 堤防渗流与防冲[M]. 中国水利水电出版社, 2003. (MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao, MAO Pei-yu, et al. Seepage of dikes & scour defence[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003. (in Chinese))
- [2] 罗玉龙, 速宝玉, 盛金昌, 等. 对管涌机制的新认识[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(12): 1895 - 1902. (LUO Yu-long, SU Bao-yu, SHENG Jin-chang, et al. New understandings on piping mechanism[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(12): 1895 - 1902. (in Chinese))
- [3] 刘杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992. (LIU Jie. Penetration stability and penetration control of the soil[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1991. (in Chinese))
- [4] 陈建生, 李兴文, 赵维炳. 堤防管涌产生集中渗漏通道机理与探测方法研究[J]. 水利学报, 2000, 31(9): 48 - 54. (CHEN Jian-sheng, LI Xing-wen, ZHAO Wei-bing. Study on piping leakage mechanism[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 31(9): 48 - 54. (in Chinese))
- [5] 毛昶熙, 段祥宝, 蔡金傍, 等. 堤基渗流管涌发展的理论分析[J]. 水利学报, 2004, 35(12): 46 - 50. (MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao, CAI Jin-bang, et al. Theoretical analysis of piping development of levee foundation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(12): 46 - 50. (in Chinese))
- [6] 刘杰, 谢定松, 崔亦昊. 江河大堤双层地基渗透破坏机理模型试验研究[J]. 水利学报, 2008, 39(11): 1211 - 1220. (LIU Jie, XIE Ding-song, CUI Yi-hao. Failure mechanism of seepage in levees with double-layer foundation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(11): 1211 - 1220. (in Chinese))
- [7] 倪小东, 王媛, 王飞. 管涌的砂槽试验研究及颗粒流模拟[J]. 四川大学学报, 2009, 41(6): 51 - 57. (NI Xiao-dong, WANG Yuan, WANG Fei. Study on piping by sand-bank model and simulation by PFC<sup>3D</sup>[J]. Journal of

- Sichuan University, 2009, **41**(6): 51 - 57. (in Chinese))
- [8] 周晓杰, 介玉新, 李广信. 基于渗流和管流耦合的管涌数值模拟[J]. 岩土力学, 2009, **30**(10): 3154 - 3158. (ZHOU Xiao-jie, JIE Yu-xin, LI Guang-xin. Numerical simulation of piping based on coupling seepage and pipe flow[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, **30**(10): 3154 - 3158. (in Chinese))
- [9] 姚秋玲, 丁留谦. 单层和双层堤基管涌砂槽模型试验研究[J]. 水利水电技术, 2007, **38**(2): 31 - 36. (YAO Qiu-ling, DING Liu-qian. Experimental studies on piping in single-and two-stratum dike foundations[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2007, **38**(2): 31 - 36. (in Chinese))
- [10] 梁越, 陈建生, 陈亮, 等. 双层堤基管涌发生发展的试验模拟与分析[J]. 岩土工程学报, 2011, **33**(4): 624 - 629. (LIANG Yue, CHEN Jian-sheng, CHEN Liang, et al. Laboratory tests and analysis on piping in two-stratum dike foundation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, **33**(4): 624 - 629. (in Chinese))
- [11] 丁留谦, 姚秋玲, 孙东亚, 等. 三层堤基管涌砂槽模型试验研究[J]. 水利水电技术, 2007, **38**(2): 19 - 22. (DING Liu-qian, YAO Qiu-ling, SUN Dong-ya, et al. Experimental studies on piping development in three-stratum dike foundations[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2007, **38**(2): 19 - 22. (in Chinese))
- [12] 王霜, 陈建生, 黄德文, 等. 土层结构对管涌发展影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, **35**(12): 2334 - 2341. (WANG Shuang, CHEN Jian-sheng, HUANG De-wen, et al. Experimental study on piping development considering effect of foundation structure[J]. Chinese Journal Geotechnical Engineering, 2013, **35**(12): 2334 - 2341. (in Chinese))
- [13] 刘杰, 谢定松, 崔亦昊. 江河大堤堤基砂砾石层管涌破坏危害性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, **31**(8): 1188 - 1191. (LIU Jie, XIE Ding-song, CUI Yi-hao. Destructive tests on piping failure of sandy gravel layer of river dikes[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, **31**(8): 1188 - 1191. (in Chinese))

## 中国土木工程学会第十二届全国土力学及岩土工程学术大会 (第一号通知)

中国土木工程学会第十二届全国土力学及岩土工程学术大会将于 2015 年 7 月在上海举办。这次会议由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会主办, 上海交通大学、华东建筑设计研究院有限公司、同济大学、上海市力学学会岩土力学专业委员会、上海市土木工程学会土力学与岩土工程专业委员会等承办。第十二届学术大会的主题是岩土工程安全与创新, 并设有 12 个专题: ①土的基本性质与本构关系; ②岩土工程勘察、测试与评价技术; ③基础工程与地基处理; ④地下工程及深基坑工程; ⑤岩土工程数值仿真与信息化技术; ⑥土动力学与岩土地震工程; ⑦土工构筑物与边坡工程; ⑧环境岩土工程及灾害效应; ⑨岩土工程中的新技术与新材料; ⑩地质灾害及预警与防治; ⑪重大岩土工程实录; ⑫岩土工程机械设备与施工技

术。热忱欢迎岩土工程勘察、设计、研究和施工领域的科技工作者踊跃投稿。应征论文须符合上述征文内容要求且未发表过的。投稿时须向会务组提交全文电子文件, 投稿前请登录学会网站 [www.geochina-cces.cn](http://www.geochina-cces.cn) 和大会网站 [csmge2015.sjtu.edu.cn](http://csmge2015.sjtu.edu.cn), 详细阅读论文投稿说明及要求。

2014 年 8 月 31 日开始接受论文全文投稿; 2014 年 11 月 31 日提交论文全文截止; 2015 年 1 月 31 日通知论文是否录用; 2015 年 2 月 28 日提交修改后论文; 2015 年 3 月 30 日全文移交出版印刷; 2015 年 7 月会议召开。联系人: 陈锦剑, 周香莲, 地址: 上海市闵行区东川路 800 号上海交通大学土木工程系 (200240), E-mail: [csmge2015@163.com](mailto:csmge2015@163.com), 电话: 021-34204833。

(大会组委会 供稿)