

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.04.005

# 河床下切深度对二元堤基渗透变形的影响

刘光磊<sup>1,2</sup>, 王保田<sup>1,2</sup>, 李守德<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:通过室内砂槽试验模拟二元堤基不同河床下切深度条件下渗透变形的发生和发展过程,测得了不同河床下切深度条件下研究区域内的临界水头、破坏水头、渗流量和渗透变形。试验结果表明,随着河床下切深度的增加,渗流场会呈规律性变化,临界水头和破坏水头均有所降低,渗流量有所增加,但降低和增加幅度均会逐渐减小;当河床下切到一定深度后,河床下切对二元堤基渗透变形的影响将趋于稳定。

关键词:河床下切;二元堤基;渗透变形;临界水力梯度;模型试验

中图分类号:TV223.6 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2010)04-0378-04

河流位置不同,河床下切深度也不同,同一河段的左、右岸也会因河水冲刷作用差异等产生不同的下切深度,因此,在进行堤坝灾害防治时,应根据河床下切深度采用相应的处置方法。目前许多学者的模拟试验研究都是在上游入渗条件不变的情况下进行的,他们通过室内试验或数值计算来研究渗透变形,所采用的入渗方式大多为点入渗和平行入渗 2 种。如陈西安等<sup>[1-3]</sup>采用点入渗方式模拟了河床底面刚好与堤基透水层接触的情况,但这种情况实际并不多见,张家发等<sup>[4-12]</sup>采用平行入渗方式模拟了模型给水深入透水层底部,即整个透水层临水的情况,这种情况不仅少见,而且试验结果也过于保守。堤基现场地质勘探资料显示,介于平行入渗和点入渗之间的入渗情况较为普遍,但目前关于河床下切深度对渗流场影响的研究却很少。为此,笔者针对较为普遍的二元结构堤基,即上、下层分别为弱透水性的黏性土和强透水性的细砂土,通过逐步改变河床下切深度的二维室内砂槽模型试验,研究了渗透变形的发生和发展过程。

## 1 模型及试验方法

室内试验所采用的渗流模型如图 1 所示,其长、高、宽分别是 200 cm、100 cm、10 cm。距左侧 40 cm 处设有进出水装置,通过该装置进出水阀门的开闭来调节上游水头,水头调节间距为 5 cm。距左侧 100 cm 和 198 cm 处分别设有直径 2 cm 的圆形渗流出口,即出水口和远处溢出口。出水口用来模拟堤脚附近所存在的薄弱环节或管涌口,通过出水口可以观察二元结构堤基下层透水层的渗透变形情况,远处溢出口用于模拟无穷远处的渗流出口。为便于观察土的渗透变形过程,试验模型外壁采用 1 cm 厚的透明有机玻璃。为了监测沿程的水头变化情况,在仪器一侧距顶部向下 20 cm 和 40 cm 处各设置了一排测压管。此外,还设置有饱和装置,供试验前饱和土样之用。

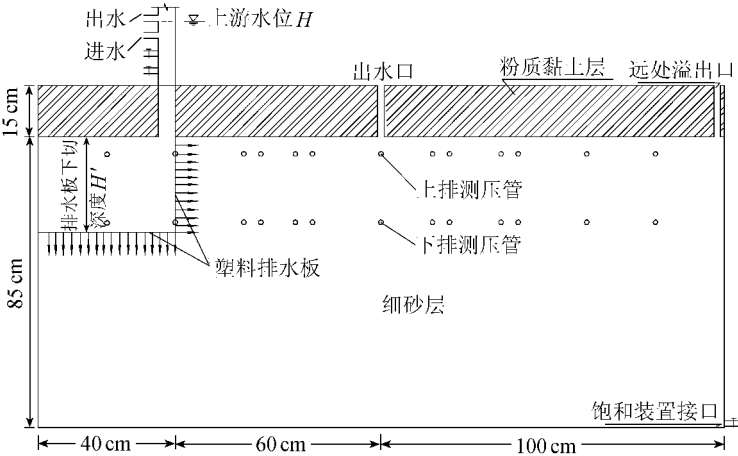


图 1 砂槽渗流模型

Fig. 1 Seepage model of sand flume

为模拟二元结构堤基,模型下层填筑 85 cm 厚的具有相对强透水性的细砂层,上层填筑 15 cm 厚的具有弱透水性的粉质黏土。为保证室内试验和现场情况的相似性,上述 2 种土均取自于长江大堤南京段。粉质黏土的渗透系数为  $6.16 \times 10^{-6}$  cm/s,干密度为  $1.6 \text{ g/cm}^3$ ,相对密度为 2.75,细砂的渗透系数为  $1.28 \times 10^{-2}$  cm/s,干密度为  $1.42 \text{ g/cm}^3$ ,孔隙率为 42%,相对密度为 2.65。

上游进水装置下方设置了塑料排水板,通过调节排水板的埋置深度,可将上游水头引至透水层相应位置,从而达到模拟河床下切进入细砂层深度  $H'$  变化的目的。本试验共分 5 组,5 组的  $H'$  分别为 0 cm、10 cm、20 cm、30 cm、40 cm。在进行每组试验时,上游水头从 7 cm 起开始提高,待一级水头稳定后再提高下一级水头,每级水头的提高幅度为 5 cm。每一组试验都由渗透变形发生到最终破坏,即形成贯通的通道时结束。由于砂土材料结构不均等因素的影响,破坏水头的形成不确定因素很多,因此,本次试验偏重于渗透变形发生的研究。

2 试验结果及分析

2.1 临界及破坏水头变化

试验结果如表 1 所示。从表 1 可以看出:当临界水头由 22 cm 降为 17 cm 时,破坏水头由 42 cm 降为 37 cm;当临界水头由 17 cm 降为 12 cm 时,破坏水头由 37 cm 降为 32 cm。这表明,塑料排水板下切细砂层深度对渗流场渗透变形的发生和发展都有一定的影响,塑料排水板下切细砂层越深,临界水头和破坏水头就越低。从表 1 还可以看出,第 5 组与第 6 组试验所得到的临界水头和破坏水头一样。这说明,河床下切超过一定深度后,河床下切深度对研究区域内渗透变形影响幅度会减小。

2.2 测压管水头沿程变化

为了说明上游水头不变情况下,渗透变形发生前渗流场受排水板下切深度的影响,绘制了上游水头为 12 cm 时的测压管水头沿程变化曲线,如图 2 所示。从图 2 可知,随着排水板下切深度  $H'$  的增加,曲线位置会不断向上抬升,即研究区域内相同位置的水头值在增加;随着排水板下切深度  $H'$  的增加,相邻曲线间的距离也越来越小,即下切深度对渗流场的影响越来越小。

表 1 试验结果

Table 1 Results of laboratory tests

| 试验组次 | 排水板深入透水层深度/cm | 河床下切度 $P'$ | 室内试验临界水头/cm | 室内试验破坏水头/cm | 表观临界水力梯度 $i_{\text{mcrit}}$ |
|------|---------------|------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| 1    | 0             | 0          | 22          | 42          | 0.37                        |
| 2    | 10            | 0.12       | 17          | 37          | 0.28                        |
| 3    | 20            | 0.24       | 17          | 37          | 0.28                        |
| 4    | 30            | 0.35       | 17          | 37          | 0.28                        |
| 5    | 40            | 0.47       | 12          | 32          | 0.20                        |
| 6    | 85            | 1          | 12          | 32          | 0.20                        |

注:临界水头指发生渗透变形时的上游水头,破坏水头指进、出水口渗漏通道贯通时的上游水头;表观临界水力梯度指临界水头与表观渗径(本试验表观渗径为 60 cm)之比;河床下切度为河床下切透水层深度与整个透水层深度之比。第 6 组试验结果引自文献[2]同一试验设备所出数据。

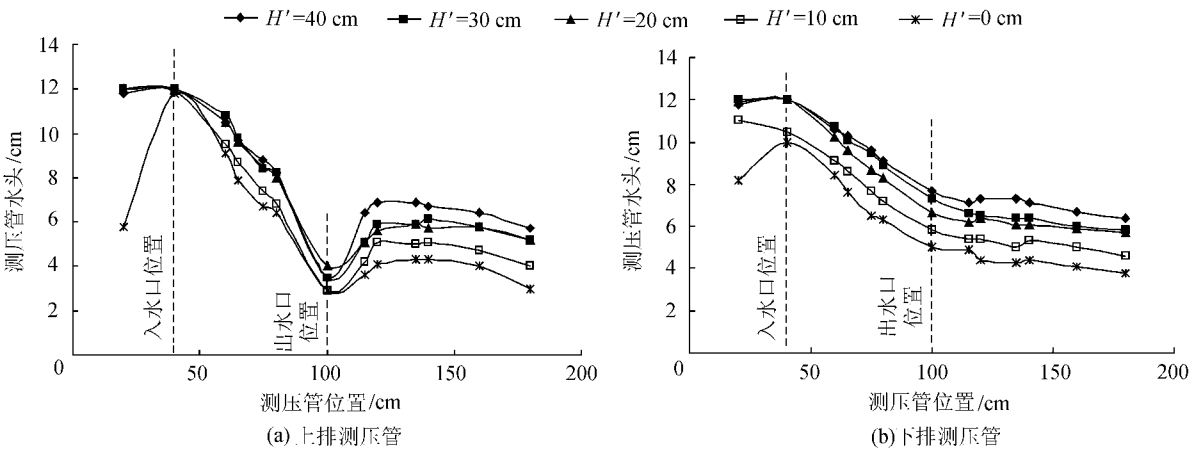


图 2 上游水头 12 cm 时,不同下切深度  $H'$  下测压管水头沿程变化曲线

Fig. 2 Hydrographs of water head in piezometric tube under different entrenchment depths for upstream level = 12 cm

2.3 渗透变形的发生和发展

根据物理指标,可判断试验细砂破坏属流土类破坏。试验结果表明,在渗透变形刚发生时,出水口出现浑浊现象(图 3),出水口下方黏性土与细砂土接触处出现流土型破坏,并且出水口附近的细砂体呈现蜂窝状(图 4)。随着上游水头的增加,浑浊现象更加明显,蜂窝状砂体部位也在扩大,出水口下方出现向上游发展的

接触冲刷现象(图5);当上游水头达到破坏水头时,出现明显的接触冲刷和渗流通道贯通现象(图6);通道形成后,出水口渗流量明显增加,而远处溢出口流量有所下降。



图3 出水口的浑浊现象  
Fig. 3 Turbidity at outlet

图4 出水口下方的流土破坏现象  
Fig. 4 Flowing soil below outlet

图5 出水口下方的接触冲刷现象  
Fig. 5 Contact scour below outlet



图6 渗透变形发展的通道  
Fig. 6 Channels for generation and development of seepage deformation

### 2.4 出水口流量变化

出水口渗流量与上游水头关系曲线如图7所示.从图7可知,在渗透通道贯通前,各曲线近似为直线,即出水口渗流量随着上游水头的增加而增加,而局部渗透变形对出水口流量的影响并不明显.图7所示最后一级水头为破坏水头,流量因通道发展至上游入水口而急速增加,记录的仅为贯通后的某一瞬间数值.图7表明,当 $H'$ 从0 cm增加到10 cm,再从10 cm增加到20 cm时,同一上游水头下的出水口渗流量会相应增加,但当 $H' > 20$  cm时,曲线几乎重合.这说明排水板下切深度对出水口渗流量的影响仅在一定范围内产生.试验结果表明,当下切度 $P' \geq 0.24$ 时,排水板下切深度对出水口渗流量的影响就趋于稳定了.

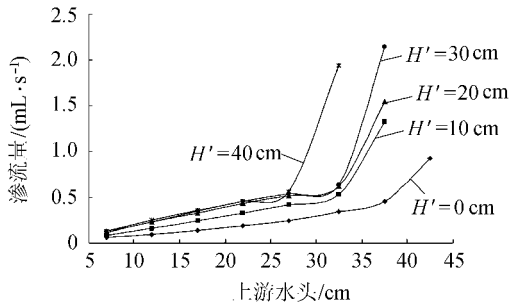


图7 出水口渗流量与上游水头关系曲线  
Fig. 7 Relationship between seepage discharge at outlet and upstream water level

## 3 结 论

- 相同上游水头作用下,随着河床下切深度的增加,研究区域内渗流场会发生变化,临界水头和破坏水头均有所降低;当河床下切到一定深度,即下切度 $P'$ 达到某一数值(0.5)后继续增加时,河床下切深度对渗流场的影响就趋于稳定。
- 二元结构堤基中渗透变形的发展过程:首先在出水口下方出现流土类破坏,随着上游水头的增加,流土范围向出水口上游并在深度上有所发展,而且有向上游发展的接触冲刷现象出现;至破坏水头时才出现明显接触冲刷现象,以致渗流通道贯通。
- 局部渗透变形的发生对出水口渗流量的影响并不大,渗流量基本上还是随着上游水头变化而变化;河床下切度对出水口渗流量的影响仅在某一数值范围(0~0.24)内产生,超过这一范围,影响就很小了。

### 参考文献:

[1] 陈西安. 悬挂式防渗墙防渗效果的模拟试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.  
[2] 曹杰. 悬挂式防渗墙控制堤基渗透变形的模拟试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.

- [ 3 ] 王保田,陈西安.悬挂式防渗墙防渗效果的模拟试验研究[J].岩石力学与工程学报,2008(增刊1):2766-2771.(WANG Bao-tian,CHEN Xi-an. Research on effect of suspended cut-off wall with simulation test[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008(Sup1):2766-2771.(in Chinese))
- [ 4 ] 张家发,吴昌瑜,朱国胜.堤基渗透变形扩展过程及悬挂式防渗墙控制作用的试验模拟[J].水利学报,2002,33(9):108-111.(ZHANG Jia-fa, WU Chang-yu, ZHUGuo-sheng. Experimental study on seepage deformation propagation control using impervious wall of suspension typ[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2002 33(9):108-111.(in Chinese))
- [ 5 ] 李向凤,王保田,安彦勇.悬挂式防渗墙结合堤后压渗盖重防渗效果的试验研究[J].岩土工程技术,2009,23(2):75-78.(LI Xiang-feng, WANG Bao-tian, AN Yan-yong. Experimental study on seepage control by means of suspended cut-off wall with landside seepage berm[J]. Geotechnical Engineering Technique 2009 23(2):75-78.(in Chinese))
- [ 6 ] 姚秋玲,丁留谦,孙东亚,等.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):13-18.(YAO Qiu-ling, DING Liu-qian, SUN Dong-ya, et al. Experimental studies on piping in single-and two-stratum dike foundations[J]. Water Resources and Hydropower Engineering 2007 38(2):13-18.(in Chinese))
- [ 7 ] 毛昶熙,段祥宝,蔡金傍,等.堤基渗流无害管涌试验研究[J].水利学报,2004,35(11):46-53.(MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao, CAI Jin-bang, et al. Experimental study on harmless seepage piping in levee foundation[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2004, 35(11):46-53.(in Chinese))
- [ 8 ] 毛昶熙,段祥宝,蔡金傍,等.北江大堤典型堤段管涌试验研究与分析[J].水利学报,2005,36(7):818-824.(MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao, CAI Jin-bang, et al. Experimental study and analysis on piping of levee in Beijiang River[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2005, 36(7):818-824.(in Chinese))
- [ 9 ] 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))
- [ 10 ] 丁留谦,姚秋玲,孙东亚,等.双层堤基中悬挂式防渗墙渗控效果的试验研究[J].水利水电技术,2007,38(2):23-26.(DING Liu-qian, YAO Qiu-ling, SUN Dong-ya, et al. Experimental studies on the seepage control effects of suspended cutoffs[J]. Water Resources and Hydropower Engineering 2007 38(2):23-26.(in Chinese))
- [ 11 ] 毛昶熙,段祥宝,蔡金傍,等.悬挂式防渗墙控制管涌发展的试验研究[J].水利学报,2005,36(1):42-50.(MAO Chang-xi, DUAN Xiang-bao, CAI Jin-bang, et al. Experimental study on piping development control by means of suspended cut-off wall[J]. Journal of Hydraulic Engineering 2005 36(1):42-50.(in Chinese))
- [ 12 ] 姚秋玲.堤基管涌机理及悬挂式防渗墙渗控效果试验研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2006.

## Influences of different depths of riverbed entrenchment on seepage deformation of two-layer foundation of levees

LIU Guang-lei<sup>1,2</sup>, WANG Bao-tian<sup>1,2</sup>, LI Shou-de<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, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The laboratory flume model tests were carried out to simulate the generation and development of seepage deformation in two-layer foundation of levees with different depths of riverbed entrenchment. The critical head, failure head, seepage discharge and seepage deformation in the study under different depths of riverbed entrenchment were obtained. The test results indicate that with the increasing depths of the riverbed entrenchment, the seepage field regularly changes, the critical head and failure head both have certain decrease, and the seepage discharge has certain increase. However, the decrease amplitude of the critical head and failure head and the increase amplitude of the seepage discharge gradually decrease. When it reaches a certain value, the influences of the depth of riverbed entrenchment on the seepage deformation of two-layer foundation of levees are stable.

**Key words:** riverbed entrenchment; two-layer foundation of levees; seepage deformation; critical hydraulic gradient; model test