

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2011.06.017

河床透水层暴露深度对悬挂式防渗墙防渗效果的影响

刘光磊¹, 王保田², 李守德²

(1. 中铁十一局集团城市轨道交通工程有限公司, 湖北 武汉 430000; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:对二元结构堤基中悬挂式防渗墙防止渗透变形的发生、发展过程进行了模拟试验研究, 通过改变塑料排水板深入细砂层深度, 模拟河床透水层暴露深度对悬挂式防渗墙防渗作用的影响, 得到了研究区域内临界水头、破坏水头、渗流量等数值以及渗透变形发展过程的特征现象。试验结果表明, 随着河床透水层暴露深度的逐步增加, 渗流场发生了变化, 渗透变形的发生和发展都更加容易, 悬挂式防渗墙的防渗作用有所减弱, 而渗流量受其影响不大, 当河床透水层暴露达到一定深度后, 其影响将趋于稳定。

关键词:悬挂式防渗墙; 二元结构堤基; 渗透变形; 河床; 透水层; 模型试验

中图分类号: TV131 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)06-0682-05

研究表明, 不同的河床透水层暴露深度对二元结构堤基的渗透变形发生、发展以及流量都有影响^[1]。堤基地层结构一般不会改变, 而河床透水层暴露深度却会由于人为或自然原因而发生变化。通常在进行悬挂式防渗墙的设计施工时, 不会考虑河床透水层暴露深度的影响。目前进行的悬挂式防渗墙的模拟试验研究都是针对防渗墙体本身和堤基下游各影响因素的研究^[2-3], 并且是在上游入渗流量固定情况下进行的。入渗方式大致可以概括为 2 种: (a)“点入渗”方式^[4-6], 上游临水面位于强透水层顶部; (b)“平行入渗”方式^[7-14], 即模型入水结构深入到设备底部, 整个强透水层一侧临水。据堤基现场探测地质资料显示, 介于点入渗和平行入渗之间的情况较为普遍。

由于目前河床透水层暴露深度对渗流场和悬挂式防渗墙控制作用影响的研究极少, 本文主要针对较为普遍的二元结构堤基, 即上、下 2 层分别为弱透水性的黏性土和强透水性的细砂土, 通过模拟改变河床透水层暴露深度的室内砂槽试验, 研究在有悬挂式防渗墙的情况下, 渗透变形的发生和发展以及相关情况。

1 模型结构及试验操作步骤

室内试验所采用的渗流模型设计如图 1 所示, 其长、高、宽分别是 200 cm, 100 cm, 10 cm。在从左侧起 40 cm 处设进水装置, 通过其上阀门的开闭来调节上游水位, 调节间距为 5 cm。距左侧 100 cm 和 198 cm 处分别设置有直径 2 cm 的圆形渗流出口, 为出水口和远处溢出口。出水口是模拟堤脚附近存在的薄弱环节或管涌口, 远处溢出口是模拟无穷远处的渗流出口。为了方便观察土的渗透变形过程, 试验仪器采用 1 cm 厚的透明有机玻璃加工而成。在仪器一侧距顶部 20 cm 和 40 cm 处各设一排测压管, 以监测沿程水位的变化情况。此外, 还设有饱和装置, 供试验前饱和土样之用。

试验模拟二元结构堤基, 模型下层 85 cm 填筑具强透水性的细砂层, 上层填筑 15 cm 具有弱透水性的粉质黏土。为保证室内试验和现场情况一致, 上述 2 种土均取自于长江大堤南京段。

由图 2 分析可知, 上层覆盖粉质黏土颗粒分析曲线较为平缓, 说明其级配不均匀, 且基本粒径均小于 0.075 mm, 容易形成密实土体, 起到封水作用, 相应的其渗透系数也较小。细砂土的颗粒分析曲线呈台阶型, 基本粒径都大于 0.075 mm, 级配不良而咬合力较小, 容易发生渗透破坏, 其渗透系数也大。

细砂土的不均匀系数:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.16 \text{ mm}}{0.08 \text{ mm}} = 2$$

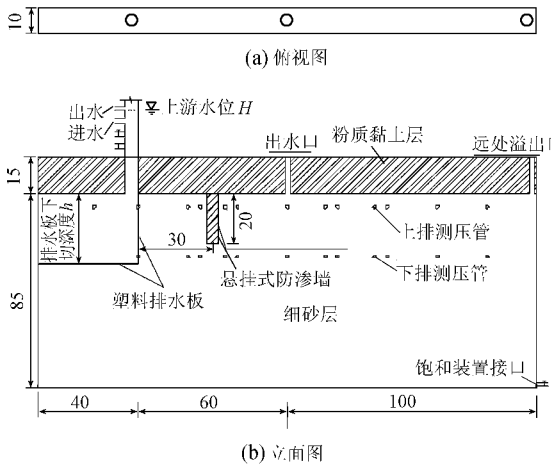


图 1 砂槽渗流模型(单位 :cm)

Fig. 1 Schematic diagram of sand-box model (unit :cm)

由于不均匀系数 $C_u < 5$, 根据 GBJ 145—90《土的分类标准》, 该细砂土级配不良, 属均匀土. 根据 GB 50286—98《堤防工程设计规范》, 该细砂土的破坏类型属于流土破坏.

试验用土物理力学性质如下 粉质黏土渗透系数为 $6.16 \times 10^{-6} \text{cm/s}$, 干密度为 1.6g/cm^3 细砂土渗透系数为 $1.28 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, 干密度为 1.42g/cm^3 孔隙率为 42%. 土层振捣时, 为能很好地模拟实际情况, 均对砂槽内粉质黏土层和细砂层的分层厚度和振捣力量有相应要求^[6].

模型上层粉质黏土渗透性与悬挂式防渗墙渗透性一致, 因此防渗墙采用粉质黏土制作. 墙厚 5 cm, 设计深度 20 cm, 位于上游入水口和出水口之间, 见图 1.

上游进水装置下方设置了塑料排水板, 通过调节排水板深入细砂层的深度, 完成河床透水层暴露深度改变的模拟. 该试验预定为 5 组, 排水板深入细砂层深度 h 分别为 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 再根据试验结果决定是否再增加试验. 在进行每组试验时, 上游水位从 7 cm 起, 待每级水位下渗流场稳定后再加下一个水头, 以 5 cm 为一级增加.

定义 河床透水层暴露深度与整个透水层厚度之比为下切度; 发生渗透变形时的上游水头为临界水头; 临界水头除以表观渗径为表观临界水力梯度(本文表观渗径为进、出水口之间水平距离 60 cm); 冲刷通道发展并绕过防渗墙, 防渗墙失去效用时的上游水头为破坏水头.

2 试验成果及分析

2.1 试验数据及分析

如表 1 所示, 随着排水板深入透水层深度增加, 代表渗透变形发生和发展的临界水头和破坏水头均有降低. 第 1 组到第 5 组的临界水头在数值上有 2 次变化, 由 37 cm 降为 32 cm, 由 32 cm 降为 27 cm 破坏水头同样也是有 2 次变化, 由 67 cm 降为 62 cm, 由 62 cm 降为 57 cm. 结合李向凤等^[7]在相同试验条件下所得试验数据, 塑料排水板深入细砂层深度为 85 cm, 所得临界水头为 28 cm, 近似于第 5 组的临界水头 27 cm, 其模拟下切度和表观临界水力梯度分别为 0.47 和 0.45, 与表 1 中第 5 组试验结果相同.

表 1 各方案试验结果

Table 1 Results of experimental schemes

试验编号	排水板深入细砂层深度/cm	模拟下切度	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
1	0	0	37	67	0.62
2	10	0.12	32	62	0.53
3	20	0.24	32	62	0.53
4	30	0.35	32	62	0.53
5	40	0.47	27	57	0.45

由表 1 所示数据变化可以看出, 渗流场中研究区域内的临界水头和破坏水头受排水板深入砂层的深度影响, 随着下切度增加, 其影响幅度在减小. 影响幅度的变化仅在一定范围之内, 即下切度位于 0 ~ 0.47 之

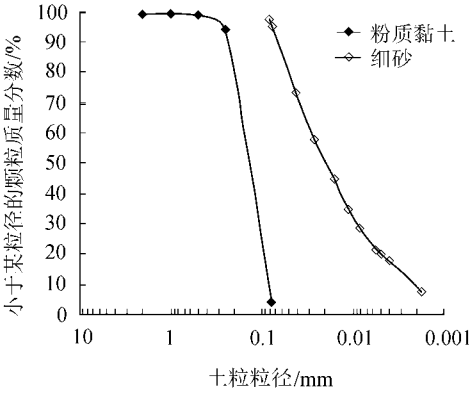


图 2 试验用土的颗粒分析曲线

Fig. 2 Curves of particle sizes of tested soils

间. 当下切度大于 0.47 时, 排水板深入透水层深度对于渗流场的影响基本没有变化. 临界水头和破坏水头的降低也说明, 随着排水板深入细砂层深度的增加, 悬挂式防渗墙抵抗渗透变形的能力也随之下降.

2.2 测压管沿程变化

图 3 是以上游水位 $H = 22\text{ cm}$ 时为例, 建立排水板深入细砂层不同深度时的测压管沿程水位变化曲线. 由图 3 可以看出, 在研究区域内(进、出水口之间 60 cm), 随着排水板进入细砂层深度的逐步增加, 相同位置的水头也在依次增加. 说明河床透水层暴露深度变化会影响渗流场研究区域内的水头值, 河床透水层暴露深度越深, 研究区域内某一位置的水头值也越高. 塑料排水板等距增加, 而相邻曲线间水头增加值有减小趋势, 说明随着河床透水层暴露深度的增加, 其对渗流场的影响幅度在逐渐减小.

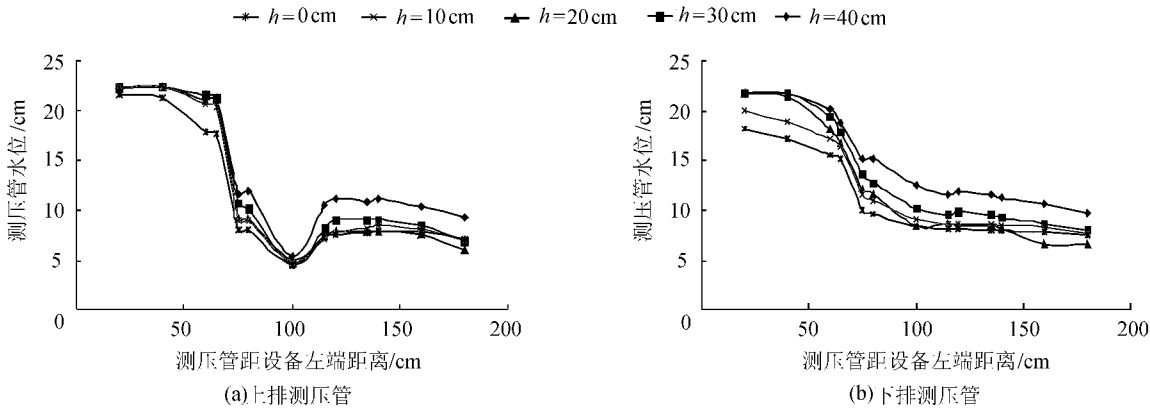


图 3 排水板深入细砂层不同深度测压管沿程水位变化曲线 ($H = 22\text{ cm}$)

Fig. 3 Curves of spatial variation of water levels in piezometric tubes with drainage plate placed at different depths into fine sand layer ($H = 22\text{ cm}$)

2.3 试验现象

试验过程中发现, 当上游水头达到临界水头时, 出水口流出的水比较浑浊, 见图 4(a). 通过有机玻璃板壁可以看到在出水口下方有蜂窝状流土破坏现象, 图 4(b) 为出水口黏土层与细砂层界面位置的现象, 这种现象属于流土破坏, 表明渗透变形已经开始. 当上游水头继续增加, 2 层土料接触位置会出现水平方向的接触冲刷. 在水平冲刷的发展过程中, 已冲刷部分下方一定范围内会出现砂体块状脱离现象, 图 4(c) 为黏土层与细砂层界面冲刷的现象. 渗流通道发展后, 在黏土层和细砂层之间存在空隙, 下层砂体在较强水力托动下出现脱离, 这在没有防渗墙的试验中是没有的. 由于水平方向的接触冲刷优先于竖向破坏, 脱离的砂体不至于被整体冲走. 在水平向冲刷发展至防渗墙后就会向下发展, 开始防渗墙与砂体接触部位的接触冲刷. 冲刷通道沿着防渗墙向下发展时, 通道时堵时通, 水流时慢时快.

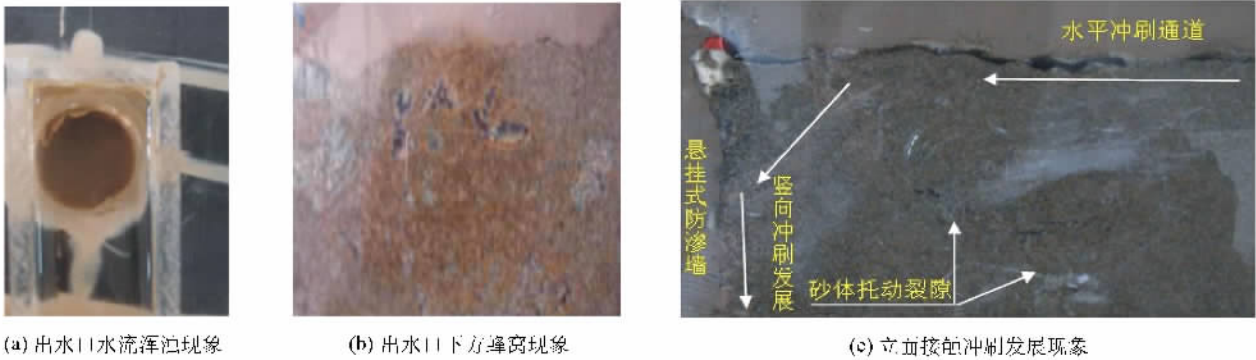


图 4 渗透变形发展记录

Fig. 4 Generation and development of seepage deformation

水平冲刷向竖直冲刷发展后, 由于竖直冲刷较水平冲刷困难, 有一定能量的流水冲起的细砂会在防渗墙上方速度降低而下沉, 如此反复冲起、沉淀, 在紧贴防渗墙中上部形成循环现象. 一般认为, 当接触冲刷发展至防渗墙上游后, 防渗墙已经失去了作用, 故当冲刷通道发展至防渗墙下方时, 试验结束.

2.4 出水口渗流量变化

图 5 为试验过程中每级上游水头下渗流场稳定后的渗流量和相应的上游水位关系曲线.各曲线最后 1 个渗流量为通道发展至防渗墙下方时记录的没有稳定情况下的渗流量.如图 5 所示,各曲线在稳定渗流和渗透变形中前期形状类似于直线,说明是相对稳定的,但渗透变形发展到一定程度,各曲线起伏较大,并出现相互交叉现象,此时渗流量受到了较大影响.图中曲线距离相差不大,部分部位还时有交叉,说明排水板的下切深度对于渗流量的影响不大.

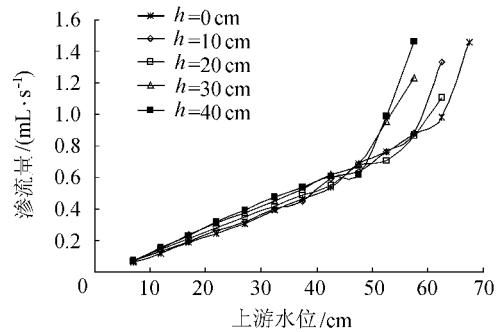


图 5 出水口渗流量与上游水位关系曲线

Fig. 5 Relationship between seepage discharge in outlet and upstream water level

3 结 论

- a. 试验表明,随着河床透水层暴露深度的增加,研究区域渗流场变化明显,使临界水头和破坏水头均有降低.透水层下切度的增加,降低了悬挂式防渗墙对渗透变形的发生和发展的控制能力.
- b. 等距增加的河床透水层暴露深度对渗流场影响幅度在逐渐减小,当透水层下切度达到某一数值继续增加时,临界水头和破坏水头趋于稳定,渗流场受到的影响也基本稳定.
- c. 河床透水层暴露深度和局部渗透变形的发生对渗流出口渗流量的影响都不大.渗透变形发展前期的渗流量基本随着上游水头的变化而变化,比较稳定,后期由于渗漏通道的发展而出现渗流量起伏现象.

参考文献：

[1] 刘光磊,王保田,李守德.河床下切深度对二元堤基渗透变形的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(4):378-381. (LIU Guang-lei,WANG Bao-tian,LI Shou-de. Influences of different depths of riverbed entrenchment on seepage deformation of two-layer foundation of levees[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2010,38(4):378-381. (in Chinese))

[2] 姚汝方.高土石坝防渗墙混凝土性能试验[J].水利水电科技进展,2009,29(4):44-46. (YAO Ru-fang. Experiment on the concrete properties of cutoff wall of high earth rock dam[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009,29(4):44-46. (in Chinese))

[3] 燕乔,王立彬.混凝土防渗墙墙体材料发展探讨[J].水利水电科技进展,2009,29(增刊 1):174-177. (YAN Qiao,WANG Li-bin. Discussion on the development of concrete cutoff wall material[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2009,29(Sup1):174-177. (in Chinese))

[4] 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 effection of suspended cut-off wall with simulation test[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2008(Sup1):2766-2771. (in Chinese))

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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))

[8] 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 type[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2002,33(9):108-111. (in Chinese))

[9] 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))

[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,蔡金榜,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))
- [12] 毛昶熙, 段祥宝, 蔡金榜, 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))
- [13] 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))
- [14] 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.

Influence of depth of exposure of permeable layer in riverbed on seepage control effect of suspended cut-off wall

LIU Guang-lei¹, WANG Bao-tian², LI Shou-de²

(1. Urban Mass Transit Engineering Co., Ltd. of China Railway 11th Construction Bureau Group, Wuhan 430000, China ;

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

Abstract : A simulation experiment was conducted to examine the occurrence and development of seepage deformation under the effect of the suspended cut-off wall in the two-layer foundation of a levee. The critical head, failure head, seepage discharge, and characteristics of seepage deformation in the study area were obtained by changing the depth into the permeable layer for the plastic drainage plate and simulating the influence of the depth of exposure of the permeable layer in the riverbed on the seepage control effect of the suspended cut-off wall. The results show that with the increase of the depth of exposure of the permeable layer in the riverbed, the seepage field changed, seepage deformation occurred and developed more easily, and the seepage control effect of the suspended cut-off wall decreased. Meanwhile, the seepage discharge was not significantly affected. The effect on the seepage field tends to be constant when the depth of exposure of the permeable layer reached a certain level.

Key words : suspended cut-off wall ; two-layer foundation of levee ; seepage deformation ; riverbed ; permeable layer ; model test