

堤防背坡脚水平排水技术开发与研究

朱伟¹,高玉峰¹,刘汉龙¹,山村和也²

(1.河海大学岩土工程研究所,江苏南京 210098; 2.日本大学生工学部,日本千叶 275-8575)

摘要:为了降低河堤在行洪时的出口比降,提高堤防的稳定性,提出水平排水板工法的概念.利用一套特殊的试验装置,通过试验明确了上覆土压力对水平排水板排水性能的影响;使用有限元渗流分析法对不同土压力、不同设置长度下的排水效果进行了分析;揭示了土压力对排水效果的影响;讨论了水平排水板的设置方法;论述了水平排水技术所具有的效果和发展前景.

关键词:河堤;渗流;排水褥垫;水平排水板;透水性;排水效果

中图分类号:TV143+.3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)03-0029-04

洪水渗透时河堤的破坏形态虽然有很多种^[1],但大多与长期高水位渗透时的出渗有关.在高出渗点、大渗流出口比降的条件下长期行洪时,河堤的背水坡脚会出现渗漏、堤身管涌、土体软化,最终发展为滑坡以至决堤.为了保证河堤在行洪时的稳定性,在加固河堤时一般所采用的方法有两种,也就是对堤内渗流进行堵截或者疏导,其目的都是为了抑制浸润线的抬高和降低出口比降.

对堤内渗流进行堵截的方法中以防渗帷幕为多,如采用混凝土板桩,各种注浆、机械搅拌、插塑板等方法.这些方法一般处理深度大,造价相对较高,加之施工时不允许下部帷幕之间出现错开或形成透水通道,在施工管理、质量管理上都存在较大的难度.

对堤内渗流进行疏导的方法以排水褥垫、排水棱体为代表,一般使用砾石在背水坡面底部水平设置.在新筑堤时进行设置可以取得经济有效的效果,但是河堤加固多在旧堤的基础上进行,排水褥垫的设置需要进行大规模的旧堤开挖工程,在造价和工期上不具优势.

对堵截和疏导渗流的两种方法进行比较,认为如果能够避免开挖工程,疏导的方法有一定优势,由于其设置与透水层的分布深度关系不大,因此其长度要比防渗帷幕小一些.从施工管理、质量管理上讲,疏导的方法要容易得多.因为防渗帷幕中如有错开就会发生漏水,而排水层即使端部出现一些错开也不会对其排水性能产生很大影响.这就是人们所说的“疏水容易堵水难”的道理.

根据上述情况,提出了水平排水板工法的概念,

也就是说使用由土工布和塑料板构成的排水板代替砾石,而施工则采用机械插入法以避免开挖工程,以达到经济、有效、施工简单的目的.本文通过实验、计算,对这一新工法中存在的的技术问题和使用效果进行研究.

1 水平排水板工法概念

1.1 水平排水板

水平排水板的构成与塑料排水板相似(图1),由3层土工织物组成.加工成凹凸形状的PVC板作为芯材,两侧张贴由聚脂作成的土工布,在起反滤作用的同时保护在土工布和PVC凹凸之间形成的通水空隙.土中水可以从上下或侧面进入排水板,然后水平排出.

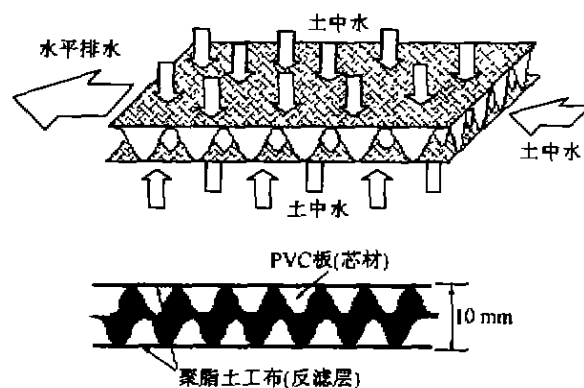


图1 水平排水板的构成和排水原理

1.2 水平排水板工法

水平排水板工法的特点是不用开挖河堤,而是用特殊的机械将排水板插入背面坡脚,如图2所示.利

用水平排水板所具有的良好透水性降低洪水渗透时的出口比降,达到提高河堤稳定性的目的。

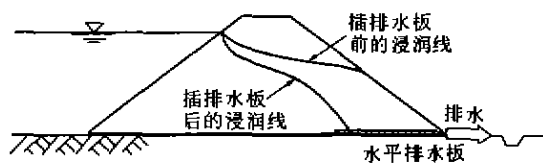


图2 水平排水板工法的工作原理

由于排水板水平设置,加之聚脂土工布和土体之间具有一定的摩阻力,不会对坡面的稳定性产生不良影响;而且可以根据河堤土质选择反滤材料(聚脂土工布)的开口孔径,也可以避免长期使用时的堵孔问题。另外,水的流动发生在两层聚脂土工布和PVC板之间的空隙中,不会在排水板和土体的接触部位发生侵蚀而引起管涌。在这些方面水平排水板具有得天独厚的优势。但在投入正式使用之前,必须明确水平排水板的透水性和具体的设置长度。一是验证其使用效果,二是为设计提供资料。

2 水平排水板的面内方向透水性

水平排水板主要是利用两层聚脂土工布和PVC板之间所形成的空隙而保持良好的透水性能。但是排水板插入堤身后承受上部土体的土压力的作用时,土工布会发生变形而致使透水通道变小,影响排水板的透水性。因此,我们首先应该研究土压力作用下排水板的透水性的变化。

对于土工布来说,其透水性可以分为两种:一种是水分垂直布面渗透,比如作为反滤材料时的透水性;另一种则是水分平行于布面渗透,称为面内方向透水性。由于水平排水板的透水性能主要与其面内方向的透水性相关,所以我们针对这一问题进行了实验研究。

2.1 实验装置

对于土压力作用下面内方向的透水性的实测,由于没有现成的方法和装置,我们研制了图3所示的实验装置。

实验装置是在60cm×25cm×50cm的水槽中设置加荷承台而构成。由加荷承台将水槽分为进水槽和出水槽两部分,并在进水槽内设置水位调节器,出水槽口设置流量测量仪,可在0.1~1.0的水力梯度范围内测定通过排水板的流量。为了准确反映排水板的工作条件,也就是说聚脂土工布受到土压力作用被挤进PVC板的凹部,从而影响通水断面这一条件,在排水板的上下设置了土枕。土枕既要反映土压力对聚脂土工布的挤压作用,又不能允许水分通过而影响排水板内水的流动。实验采用了一种包膜内

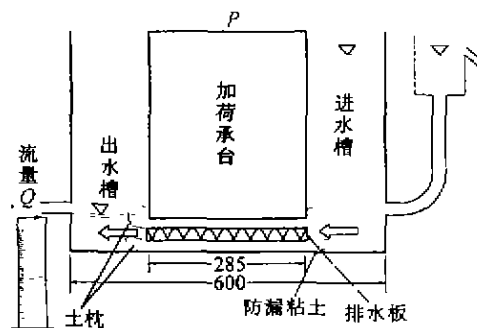


图3 面内方向透水实验装置

装土构成的土枕满足了实验的需要。另外,为了防止漏水,在土枕和水槽底面、土枕和加荷承台之间都用粘土作了防渗处理。

2.2 水平排水板的透水能力和透水系数的定义

由于土工布的断面较小,一般用透水能力这一概念对其透水性进行表达,也就是说不考虑排水板的厚度,用单位宽度的透水量来区分透水性的好坏。

$$\theta = Q/(Bi) \quad (1)$$

式中: θ 为透水能力, $\text{cm}^3/(\text{s}\cdot\text{cm})$; Q 为单位时间的流量, cm^3/s ; B 为排水板的宽度, cm ; i 为水力梯度。

由于在此后的计算中需要传统的透水系数的概念,因此忽略排水板厚度在实验中的变化,按照最初的厚度进行计算:

$$k = Q/(Ai) \quad (2)$$

式中: A 为排水板的断面积, cm^2 ; k 为透水系数, cm/s 。

2.3 水平排水板的透水能力和透水系数的实验结果

实验是在各种水力梯度和垂直压力下进行的,其结果见图4。图4表示水力梯度 $i=0.3$ 时垂直压力和透水性的关系。由于本次采用的排水板的厚度正好是1.0cm,所以无论使用透水能力还是透水系数其数值都是一样的。从实验结果可以看出,垂直压力对排水板的透水性产生一定的影响。随着垂直压力增大到 $\sigma=150\text{ kPa}$ 时,排水板的透水系数下降到初期压力($\sigma=30\text{ kPa}$)时的1/10~1/15。可见垂向土压力对排水板的透水性有着较大的影响,在水平排水板工法的应用中应该考虑。

3 排水效果的计算与分析

3.1 有限元渗流计算方法

作为水平排水板工法开发研究的一环,本文使用有限元渗流计算对其使用效果进行预测。计算方法采用Neuman^[2]提出的饱和-非饱和渗流的有限元计算方法。对象堤防使用了在日本江戸川所实施的洪水渗透实验河堤^[3]。这一河堤地在长期试验洪水的作用下最终发生了破坏。

计算使用了图5所示的计算网格,在背水坡脚

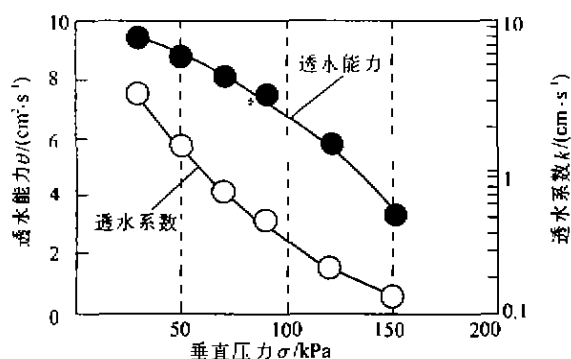


图4 垂直土压力作用不排水板的透水性

中设置了排水板,其水平位置到达河堤顶部平台边缘,并与没有设置排水板的河堤进行了比较.河堤和地基的透水系数使用实测结果,排水板的透水系数采用上述实验值,具体参数见表1.由于在地基透水性小于堤防时出口比降易于上升,计算是基于这样的条件下进行的.这里需要说明的是,由于非饱和透水参数对饱和领域的渗流没有影响,依据 Van Genuchten^[4]提出的数值模型对堤防和地基采用了经验值,而排水板只采用其饱和参数,洪水则采用设计高水位进行了稳定流计算.

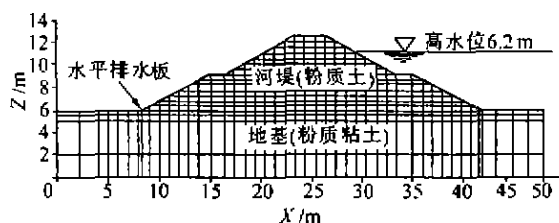


图5 有限元计算网格

表1 有限元计算时采用的参数

材料	透水系数		非饱和透水参数(VC参数)			
	$k_v/(cm \cdot s^{-1})$	$k_h/(cm \cdot s^{-1})$	α/cm^{-1}	n	θ_s	θ_r
河堤土	5.0×10^{-4}	5.0×10^{-4}	0.019	2.1	0.541	0.162
地基土	5.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}	0.010	1.2	0.541	0.200
排板 $\sigma = 50 kPa$	5.7	5.7	—	—	—	—
水 $\sigma = 90 kPa$	3.1	3.1	—	—	—	—
板 $\sigma = 120 kPa$	1.3	1.3	—	—	—	—

3.2 垂直压力与排水效果

选用了3种垂直压力(50kPa, 90kPa, 120 kPa)对水平排水板的效果进行了计算.此时排水板的设置长度为15.5m.为了进行对比,对没有设置排水板的河堤也进行了计算.

计算结果见图6,在没有设置水平排水板时,出渗点高度超过2.0m,渗流出口比降较大.设置水平排水板以后,出渗点一般降低到坡脚与地基的交界处,渗流出口比降很小.垂直压力在50~120 kPa的范围内,虽然排水板的透水系数变小到1/5,但浸润线的上升变化较小,可以认为其对排水效果的影响不大.

从排水板内的流速和流量来看,垂直压力为50 kPa的计算值最大,最大流速为0.076 cm/s.这一流速如果发生在土粒子的孔隙之间的话,可能引起微小粒子的流失而引发内部侵蚀,但如发生在排水板的内部应该不会引起土粒子的流失.每延长米最大流量为0.055 m³/h.也就是说,在一天之间,从100m的河堤内排水132m³.只要设置适当,这一流量不会形成内涝.

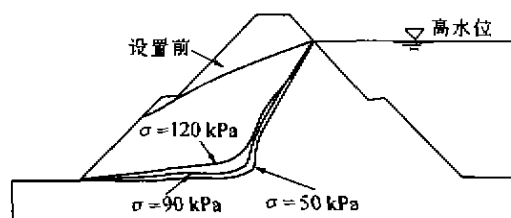


图6 设置水平排水板前后的浸润线

3.3 设置长度与排水效果

排水板的设置长度对水平排水板工法的安全性有着重要影响.实验对设置长度分别为15.5m, 13m, 10m, 7m, 4.5m, 1.5m的河堤进行了计算.排水板的透水系数采用了垂直压力为120 kPa时的数值,计算结果见图7.从图7中可以看出,排水板的设置长度越大,对浸润线的抑制作用就越明显.若从坡面稳定性的角度考虑,排水板的设置长度应在4.5m以上,就江户川实验河堤来说,考虑4.5~7.0m为安全经济设置长度.

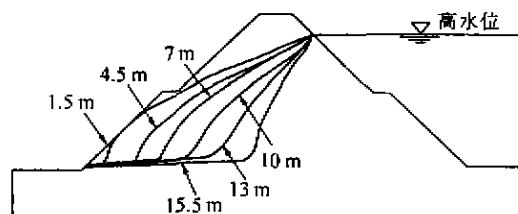


图7 水平排水板设置长度与浸润线

4 结论

a. 水平排水板工法利用河堤内渗透水堵塞困难疏导容易的特征,采用避免开挖的设置方法,可以达到既安全又经济的加固效果.

b. 水平排水板工法的关键是土压力作用下排水板是否具有足够透水性的问题.通过面内方向的透水实验,对普通河堤之土压力作用下的透水能力和透水系数进行了实测.根据本次实验所使用的两面一板的排水板所得到的结果,可以认为,排水板具有较好的透水性,并确认土压力作用下透水系数的下降局限于1/10~1/15的范围内.

c. 利用有限元渗流计算方法,对设置排水板后的河堤进行了计算.通过比较可以认为,水平排水板

在抑制出渗点,对降低出口比降方面具有明显的效果,可以提高河堤在行洪时的稳定性。

d. 对于合理的设置长度作了一些探讨,认为应根据河堤的土质条件和断面条件决定,一般需要在4.5 m以上。

e. 为了使水平排水技术尽快进入实用阶段,进一步研究这一方法的施工技术以及施工过程对排水板透水性的影响是很重要的。

参考文献:

- [1] 朱伟,山村和也. 雨水、洪水渗透时河堤的稳定性[J]. 岩土工程学报,1999, 21(4): 414~419.
- [2] Neuman S P. Saturated-unsaturated seepage by finite elements [J]. Proc ASCE HY, 1973, 99(12): 2233~2250.
- [3] 朱伟. 堤防的安定性に影响を持つ堤体内渗透流の研究 [D]. 东京:日本大学,1997.
- [4] Van Genuchten M Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Sci Am J, 1980, 44(5): 892~898.

(收稿日期:2000-01-17 编辑:张志琴)

·简讯·

用于反渗透与超滤预处理系统的筛滤技术

据《国际水与灌溉评论》1999年第3期报导,在过去的10多年间,不锈钢筛网制造技术的发展使机械过滤器能够去除15 μm 范围内的微小颗粒。1996年进行的试验表明,过滤筛网能有效地去除小如1 μm 的颗粒。

10 μm 机械过滤器有三种外形型式,它们通过直径100~200 mm的法兰连接。过滤器的单位额定流量为2661~3040 L/min。过滤器主要由滤体和筛网组成:①滤体。由碳钢材料制成的标准过滤器滤体的额定压力为1.03 MPa,内外表面都涂有5层环氧树脂。②筛网。筛网结构有了巨大的发展,它使机械过滤器可用作反渗透过滤器。利用欧洲技术,过滤筛网全部用316 L不锈钢制造。

过滤器装有法兰接头,水流从筛网内部流出,这可以用内部筛网面收集水中悬浮的物质。典型的过滤器在过滤筛网上将有6.86~13.72 kPa的压降。随着淤泥聚积在筛网上,压差将上升到48 kPa,筛网自清洁装置将由一个差动压力开关启动。这种自清洁装置由一个自上而下贯穿过滤器体中心线的中空轴构成。该轴有一个距筛网面约为3.22 mm (1/8")的喷嘴。该轴一端密封而在另一端通向过滤器顶部的排气室。当排气阀打开时,在排气室排气口处供给气压与大气压之间的压力差,在喷嘴末端产生一个巨大的真空将筛网上的物

质吸走。自清洁动作会使排气阀打开,电动机开始转动。电动机使这根轴以17 r/min的转速转动并使轴轴向移动,这样喷嘴就能清洁到整个内部筛网。清洁的持续时间为17~45 s,这要取决于过滤器的类型。

机械过滤器与传统的多介质过滤系统相比具有许多优点:①设备投资低30%~50%;②机械过滤器所需的反冲水不到1%,而多介质过滤器却需要5%~7%;③能源费用低,运行压力范围为13.72~48 kPa;④不需要絮凝化学制剂;⑤机械过滤系统仅需很小的占位面积,阀控配置简单;⑥机械过滤筛网的使用年限为8 a;⑦滤筛可保护反渗透膜,确保悬浮固体颗粒不会通过。

将机械过滤器用于反渗透与超滤是在设计或改造水处理厂时值得考虑的一种可行的方案。可进行价廉的水分析以确定对任何供水进行机械过滤的适用性。与传统的预处理系统相比,机械过滤系统所具有的优点说明,在以资金投入或运行与维护为基础进行评估时,机械过滤系统是合算的。

利用海流发电的两种新技术

研究和试验表明,两种获得专利的水轮机设计可以相对高效地利用海流发电,这两种水轮机分别称之为“螺旋状”水轮机和“中心开敞”式水轮机。这两项技术都可以在水下某一固定地区放置多台水轮机及与之相连的发电机。

a. 螺旋状水轮机。螺旋状水轮机有时也称为“戈洛夫”(Gorlov)水轮机,它是在20世纪90年代中期由波士顿的东北大学研制的,专用于在低水头、高水流条件下发电。水轮机由一个或多个长叶片组成,这些叶片就像螺旋线缠绕成一个圆筒状。对于来自任何一个方向的水流,螺旋状水轮机叶片都产生一个与叶片前缘垂直的推动力,可以比水流更快的速度推动叶片。水轮机的轴带动与之连接的发电机旋转,从而发电。试验表明,当潮流流速达到0.488 m/s时,水轮机可稳定地转动,螺旋状水轮机开始发电的流速约为0.6 m/s。流速增加,发电量增加。水流速为1.5 m/s时,水轮机产生的电力为500 W,水流速在2.4 m/s时,出力达2000 W。

b. 中心开敞式水轮机。中心开敞式水轮机由一塑料和不锈钢漂浮舱及框架组成,框架用来固定在水流中可朝相反方向转动的环型水轮机叶片。舱室部分充水以将水轮机降至水面以下适宜的深度。舱室中的一个空气包将水轮机固定于与水流垂直的位置上。叶片旋转驱动沿叶片边缘安置的液压泵,而液压泵带动一台常规的交流发电机从而产生电。中心开敞式水轮机的发明人威廉斯测算,大规模安装这种水轮机的单价约为500美元/kW。

(张惠英供稿)