

波浪作用下影响管袋堤坝稳定因素的试验

夏炎,束一鸣,杨向权

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 试验研究了在波浪作用下无防护管袋堤坝的稳定性,试验中无防护管袋堤坝模型的坝高分别为 26 cm 和 30 cm 坝坡坡比分别为 1.0,1.5,2.0,2.5,波浪采用波坦分别为 1/15 和 1/20,并区别是否有越浪现象。通过模型试验得出不同条件下坝体破坏时的临界波高及坝体稳定的影响因素,研究波高、波坦、越浪及坡比对无防护管袋堤坝所受堤前波压力、管袋底上抬波压力的影响规律,并给出无越浪情况下无防护管袋堤坝所受堤前波压强的简化计算公式。

关键词 管袋堤坝 波压力 临界波高 模型试验 堤坝稳定影响因素

中图分类号 :TV139.2 ;TV64 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2009)S1-0220-03

近年来,在河口、沿海等处的海岸防护和围海造地等工程中,充填管袋堤坝得到了广泛的应用,例如海岸防护、填海造陆、航道和河流整治。鉴于充填管袋堤坝技术尚缺乏应用基础研究,笔者通过模型试验得出不同条件下坝体破坏时的临界波高,并讨论了不同波浪作用下影响无防护管袋堤坝稳定的因素,最后通过对比分析试验结果得出各种影响因素对管袋堤坝稳定的影响规律,并给出无越浪情况下无防护管袋堤坝所受堤前波压力的简化计算公式。

1 稳定性试验方法

试验采用波浪水槽,尺寸为长 35 m、宽 0.5 m、高 1.3 m。模型整体断面布置如图 1 所示,水槽一端设置有造波机,用悬挂式推波板产生正向规则波,整个造波机由微机系统控制,并由微机自动进行数据采集和分析;另一端安装消浪斜坡,用于消除波浪反射的影响,管袋堤坝模型布置于两者之间。

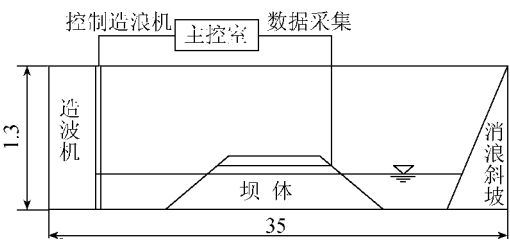


图 1 水槽及试验布置示意图(单位:m)

结合国内采用的充填管袋堤坝的实际情况,参考太仓市第二水厂水源工程设计工程所采用的施工

管袋尺寸,结合试验水槽的实际尺寸,试验模型长度比尺采用 1:30 较为合适。堤坝模型由扁平充填管袋垒筑,填充管袋采用聚丙烯土工布缝制而成,模型管袋内采用砂石混合料充填。管袋尺寸采用统一尺寸,其宽度为 0.5 m、厚度为 0.02 m,长度由试验要求从 0.12 m 到 1.7 m 不定,坝顶宽度均垒筑为 0.12 m。选用 4 种坝体坡度(1:1,1:1.5,1:2,1:2.5)及 2 种水深(0.3 m 和 0.26 m)。

依据《波浪模型试验规范》^[1]进行试验模型布置,测量堤前波压力采用参考文献^[2]使用的方法,在管袋层与层之间固定波压力传感探头。本试验中采用 5 个传感探头,传感探头的布置如图 2 所示。

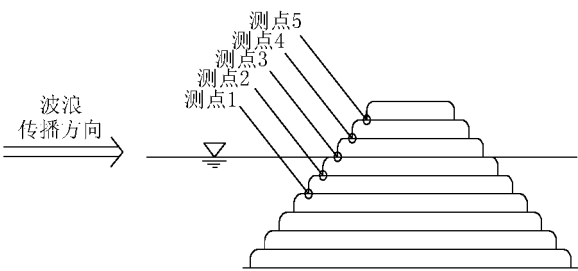


图 2 传感探头布置示意图

试验过程如下:首先结合实际工程中坝体破坏的范围,确定模型中管袋堤坝从水面下 10 cm 开始垒筑。分别针对不同的水深和坝坡,每垒筑 1 层管袋,改变波的要害,获得不同水深、坝坡和波高条件下的管袋堤坝破坏时的临界波,然后安装传感探头测定不同波对管袋堤坝产生的堤前波压力。此外,

为了获得越浪对堤前波压力的影响,试验中采用坝顶挡板来控制是否产生越浪。

试验中模型采用的材料和原型的相同,根据重力相似准则(即弗汝德相似准则),此时压强比尺和长度比尺相同,均为 1:30。

2 波浪作用下管袋堤坝施工期不同阶段破坏时的临界波高

临界波高是指刚好使管袋坝处于临界稳定状态的波高。试验中在水深不变的条件下,通过变化管袋堤坝的坡比,同时变化波的要素(即波高、波坦),研究各工况条件下管袋堤坝的稳定性。在进行一系列波浪作用下坝体的稳定性观察后,初步对坝体临界状态进行如下分类^[3] ①稳定 管袋之间没有相对位移,保持静止。②临界状态 管袋之间开始有轻微的相对滑动,随后保持稳定,但整体性没有破坏,可以保证其应用性。③破坏 坝体被冲垮或者管袋之间有明显滑动以至于不能保证其整体性和应用性。

分别固定水深,变化波的要素,得到施工期不同阶段的临界波高,考虑到工程应用实用性,将模型试验中的临界波高换算成原型临界波高,长度比尺和压强比尺均为 30。试验中水深分别为 26 cm,30 cm,试验完成后坝高为分别为 32 cm,36 cm。对应于原型水深分别为 7.8 m,9 m,对应坝高分别为 9.6 m,10.8 m。对应的施工期不同阶段的临界波高如表 1、表 2 所示。

由表 1、表 2 可以看出:当坡比为 1:1 和 1:1.5 时坝高达到静水深时最容易破坏;当坡比为 1:2 时坝的各阶段临界波高基本一致;当坡比为 1:2.5 时坝高达到最大坝高时最容易破坏。

表 1 水深 7.8 m,施工期不同阶段的临界波高 m				
坝高/ m	临界波高			
	坡比 1:1	坡比 1:1.5	坡比 1:2	坡比 1:2.5
6.6				
7.2	2.4~2.7			
7.8	1.8	2.1	2.1	2.1
8.4	2.4	2.4~2.7	2.1	2.7
9.2	2.7	2.4	2.4	1.8

表 2 水深 9.0 cm,施工期不同阶段的临界波高 m				
坝高/ m	临界波高			
	坡比 1:1	坡比 1:1.5	坡比 1:2	坡比 1:2.5
7.8				
8.4		3.6		
9.0	2.7	3.0	3.3	3.6
10.2	3.0~3.3	3.3	3.3	3.9
10.8	3.3~3.6	3.6	3.6	2.7~3.0

FÜHRBÖTER 将水柱射流理论应用在斜坡波压力研究中,推算出抛物线射流的打击位置在静水面

偏下处^[4],所以当坝高达到或接近静水面处是容易破坏的。随着坡比的逐渐增大,一方面在坝顶宽度不变的情况下静水面处的坝宽较大,增加了自身的自重和摩擦作用面积,有利于自身稳定;另一方面,随着坡比的逐渐减缓,波浪的爬升特别是越浪对于静水面以上坝层产生的压力和上的抬力都会增大,不利于静水面以上坝层的稳定。所以当坡度较陡时,坝高达到静水面处时最容易破坏,当坡度较缓时,坝高超过静水面某一高度时最容易破坏。

3 坝体稳定的影响因素及规律

3.1 坝前波压力及其影响因素

为了分析波高、越浪、管袋堤坝坡比、波坦等单一因素对坝前波压力的影响,对试验数据进行了对比分析。

3.1.1 波高

试验中研究了坡比为 1,波坦为 1/20,水深为 26 cm,波高分别为 7 cm,8 cm,9 cm,10 cm,11 cm,无越浪情况下各测点压力随波高变,分析波高变化对坝前波压力和最大坝前波压强的影响。长度和压强比尺均为 30,将模型数据转化为原型数据见图 3。图 3 结果表明,各测点的坝前波压强随着波高的增大而增大。

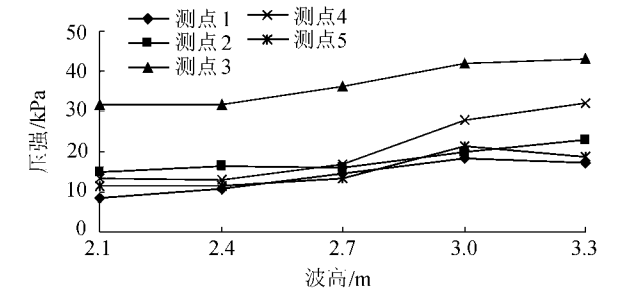


图 3 坝前波压强随波高变化情况

3.1.2 越浪

当波高较大、坡度较缓的时候,波浪会有越浪现象。试验中保证坡比、波坦、水深、波高固定不变的情况下,分析越浪对坝前波压强的影响。将水深为 0.3 m,波高为 0.12 m、坡比为 2、波坦为 1/20 时有越浪和无越浪时各测点的压强值转化成原型后如图 4(a)所示;将水深为 0.3 m,波高为 0.13 m,坡比为 2,波坦为 1/15 时有越浪和无越浪时各测点的压强值转化成原型后如图 4(b)所示。由图 4 可见,测点 5 的坝前波压强在有越浪情况下远大于无越浪情况。其他各测点由于波浪状态改变,压强值也有变化,相对并不明显。

3.1.3 波坦

试验中研究了 2 种波坦($H/L = 1/20$ 和 $H/L = 1/15$)在不同波高作用情况下的波压强,将坡比为

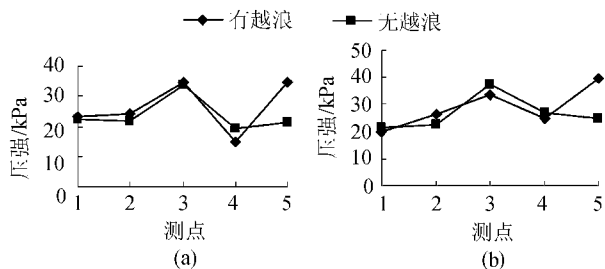


图4 不同测点的压强变化

1:1、波坦分别为 1/20 和 1/15、水深为 26 cm 时各测点的压强换算成原型堤前波压强,见图 5。为减少其他因素对波浪的影响,均采用无越浪的情况进行试验。

由图 5 可知,当波高为 2.1 m 时,波坦为 1/15 的波产生的压强较大;不断加大波高,当波高达到 2.7 m 时,波坦为 1/20 的波在测点 1 和测点 5 的压强大于波坦为 1/15 的波在这 2 个测点的压强;当波高达到 3.0 m 时,波坦为 1/20 的波在测点 2 和测点 4 的压强基本等于波坦为 1/15 的波在这 2 个测点的压强;当波高达到 3.3 m 时,波坦为 1/20 的波在测点 3 的压强也大于波坦为 1/15 的波在该测点的压强。

由此可见,当波高较小时波坦比较陡的波产生的压强较大,波高较大时波坦比较缓的波产生的压强较大,而且这个变化的过程是从波浪作用区域的最高和最低点开始,最后在区域中心点(一般为静水面处)结束。同时由图 5 可以看出,波坦为 1/20 的波产生的压强变化幅度不大,最大压强与最小压强之比在 2.3 到 3.8 倍,波坦为 1/15 的波产生的压强变化幅度较大,最大压强与最小压强之比在 3.5 到 5.7 倍。

3.2 无越浪情况下最大堤前波压强的计算

根据本试验中采集的无越浪情况下的数据,整理出最大堤前波压强,通过因次和谐原理和数值回归分析,得到无越浪情况下管袋堤坝最大堤前波压

强计算式:

$$\frac{p}{\rho g H} = c_1 \left(\frac{D}{L} \right)^{c_2} \quad (1)$$

其中

$$c_1 = 3.5522 m^{-0.694} \quad (2)$$

$$c_2 = 0.014 m^2 - 0.0545 m + 0.6378 \quad (3)$$

式中: p 为堤前波压强; H 为波高; ρ 为水的密度; D 为坝前水深; L 为波长; m 为堤体边坡坡比; c_1, c_2 为只与斜坡坡比 m 有关的数。

计算结果和试验值进行比较,换算成原型值后由图 6 可见与试验值吻合较好。

- ▲ $m=1$ 试验值 - - - $m=1$ 拟合曲线
- $m=1.5$ 试验值 — $m=1.5$ 拟合曲线
- $m=2$ 试验值 $m=2$ 拟合曲线
- $m=2.5$ 试验值 - - - $m=2.5$ 拟合曲线

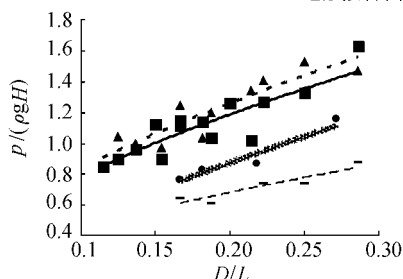


图6 不同坡比情况下最大堤前波压强试验值与拟合曲线比较

4 结 语

a. 由试验得出不同条件下的管袋堤坝体破坏的临界波高,坡比较大和较小的情况下,都没有充分发挥坝体各层的抗滑动能力,因此工程中要采用合适的坡比。

b. 通过试验研究了波高、波坦、坡比及是否发生越浪对堤前波压强的影响及变化规律,并给出无越浪情况下无防护管袋堤坝所受堤前波压强的简化计算公式。

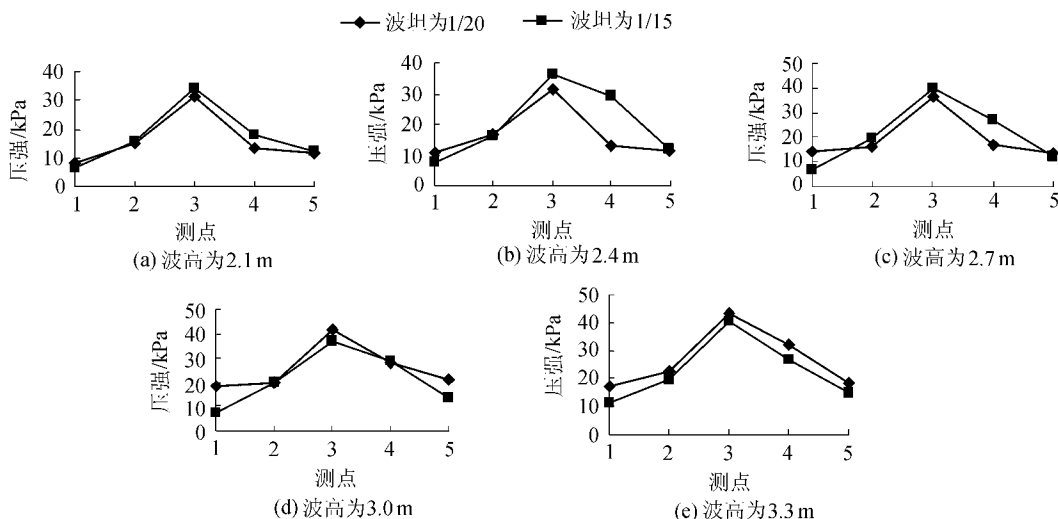


图5 2种波坦下压强随波高的变化

(下转第 238 页)

后期的维护费用,因此选用铰接式护坡是经济合理、技术可行的。铰接式混凝土护坡在哈达山灌区输水干渠上的成功应用,其经验具有推广价值。但在北方寒冷地区的应用还很少,在实际工程应用中难免发现新的问题,这有待于今后进一步的研究和论证。

参考文献：

[1] 张玉清,宓永宁.铰接式混凝土砌块护坡在北方地区的

(上接第 216 页)

2.6 排水反滤层的设计

加筋土挡墙需能够及时排出墙后的地下水,以降低土水压力对加筋土挡墙的影响,此时反滤层必须充分发挥作用。尽管目前许多加筋土挡墙产品被认为自身墙体能够排水,但为安全起见,建议在加筋土挡墙后设置不小于 20 cm 的碎石反滤层,并采用无纺土工布包裹,以提高反滤的可靠性。

3 结 语

在强调‘人水和谐’的今天,加筋土生态挡墙的应用将越来越广泛,相应的土工合成材料亦将进一步用在更多的工程中。为使加筋土生态挡墙更好地

(上接第 222 页)

c. 由于试验时间和条件的限制,试验中没有考虑波浪的作用时间、管袋堤坝地基的坡度、地基土体及渗透性等对坝体稳定性的影响,对此还需要做进一步研究。

d. 在试验过程中观察到由于波浪爬高产生的越浪对于管袋堤坝的稳定有很大影响,但是波浪的爬高高度具有随机性,测量数据有时会因此出现较大变化,对于这种现象需要深入研究。

(上接第 227 页)

4 结 论

土工织物作为排水反滤的优良材料,在防洪抢险确保堤坝安全方面有着广阔的前景和巨大的潜力。我国至 1998 抗洪行动后就广泛开展了土工材料在防洪抢险中的应用研究,尤其是着重研究了土工织物在防治管涌、漏洞等险情的机理,并取得了一定的研究成果。应用土工织物进行防洪抢险时,要时刻把握住土工织物选材、备料和施工 3 个重点环节,必须根据具体险情灵活采取措施,把常规抢险技术与土工织物抢险技术结合使用,防洪抢险的成功

应用[J].人民黄河,2008,30(8):38.
[2] 陈小华,李小平.河道生态护坡关键技术及其生态功能[J].生态学报,2007,27(3):1168-1176.
[3] 吴义锋,吕锡武,王新刚,等.4 种生态混凝土护坡护砌方式的生态特性研究[J].安全与环境工程,2007,14(1):9.
[4] GB/SL23—2006,渠系工程抗冻胀设计规范[S].
[5] 曲祥民,张滨.季节冻土区水工建筑物抗冻技术[M].北京:中国水利水电出版社,2008:102-106.

(收稿日期 2009-08-19 编辑 高建群)

服务于水利工程,笔者在总结大量工程设计实践的基础上,重点从加筋土挡墙的防渗排水方面阐述了一些值得注意的问题,供相应工程参考。

参考文献：

[1] 周琳.高速公路边坡生态防护技术研究[J].公路,2000(9):185-187.
[2] 刘玫.浅谈景观设计在城市河道整治工程中的应用[J].北京水利科技,1993(3):20-23.
[3] 颜文.生态河堤和应用与实验[J].供水与排水,2000(3):46-48.
[4] 包承纲.堤防工程土工合成材料应用技术[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

(收稿日期 2009-07-02 编辑 高建群)

参考文献：

[1] JTJ 294—2001,波浪模型试验规范[S].
[2] 林刚,束一鸣,林勇.充填管袋填筑的原理与实践[J].人民长江,2005(2):25-27.
[3] 朱朝荣,束一鸣,林刚,等.波浪作用下充填管袋堤坝的稳定性试验研究[J].黑龙江水专学报,2006,33(1):23-26.
[4] 钟瑚穗.波浪冲击压力理论和模比影响的研究[J].河海大学学报·自然科学版,1988,16(2):20-28.

(收稿日期 2009-07-08 编辑 高建群)

也离不开必要的组织指挥,要在汛前组织专业的快速抢险队,并进行相关培训和演习。只有这些环节都做好了,土工织物在防洪抢险中才能发挥其强大的功能和作用,做好安全防汛。

参考文献：

[1] 俞仲泉.土工合成材料与防汛抢险[M].郑州:黄河水利出版社,2003:61-64.
[2] 冯琳,胡亚林.土工合成材料在防汛抢险中的应用[J].中国水利,2001(5):47-48.
[3] 朱太顺.土工合成材料在黄河防汛抢险中的应用研究[J].人民黄河,2003,25(3):7-8.

(收稿日期 2009-08-22 编辑 方宇彤)