

管袋堤坝在水流作用下的稳定性模型试验

朱朝荣¹, 束一鸣², 姜俊红³, 汪 军²

(1. 广东省水利电力勘测设计研究院, 广东 广州 510635; 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 华南农业大学水利与土木学院, 广东 广州 510642)

摘要 通过水流作用下管袋堤坝的稳定性模型试验, 对边坡坡比、坝高对管袋堤坝稳定性的影响进行了研究. 试验结果表明, 随着边坡坡比的增大, 其所对应的临界作用流速、临界坝顶水深及临界垂线平均流速均有增大的趋势; 随着堤体坝高的增加, 其所对应的临界作用流速、临界坝顶水深及临界垂线平均流速均有减小的趋势. 在试验结果的基础上分析了水流作用下管袋堤坝的稳定公式. 分析结果表明, 随着边坡坡比的增大, 管袋堤坝的稳定性有所提高, 管袋堤坝坝高的增加却导致了其过水稳定性的降低.

关键词 管袋堤坝; 水流作用; 稳定性; 模型试验

中图分类号 TV131.61 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2008)03-0333-04

较之传统河、海堤围的筑堤技术, 采用充填管袋筑堤有就地取材、施工速度快、对软基的适应能力较好、施工工艺简单、造价低等优点^[1-3], 充填管袋筑堤技术已成为河口、沿海等堤岸防护工程、围海造陆工程中采用的一种重要建筑技术. 目前, 我国大多选用矩形断面的扁平型管袋^[4-5], 而国外采用的管袋断面形式为圆形^[6-9].

由于 2 种断面形式的管袋在水流作用下失稳的机理不同(圆形管袋堤坝主要是由于倾覆而失稳, 扁平型管袋堤坝主要是由于层与层之间滑移而失稳), 所以国外总结的一些管袋堤坝设计的规范、公式不能直接应用于国内的管袋堤坝设计. 虽然国内很多管袋堤坝已完工或在建, 但我国充填管袋工程设计时仍鲜有可以依据的设计准则, 大多只是参考以往的工程经验, 因此, 有必要对充填管袋在水流作用下的稳定性进行研究. 本文通过模型试验, 研究了水流作用下不同边坡坡比、不同坝高管袋堤坝的稳定性.

1 试验方法

水流模型试验采用小型水流水槽, 长 20 m、宽 0.5 m、高 1.3 m. 在水槽的一端设有三角堰以控制水流流量, 在水槽的入口处设有消浪设施, 水槽末端设有可控制开口大小的排水口. 堤坝模型长度比尺为 35, 堤顶宽 15 cm, 模型由高 2 cm 扁平型管袋垒筑而成^[10], 管袋采用聚丙烯土工布缝制, 管袋内充填密度为 1.57 g/cm^3 的中粗砂^[11]. 试验中管袋堤坝模型的原型坝高 D_c 为 4.2 m、6.3 m 和 8.4 m, 管袋堤坝边坡坡比 m 为 1.25、1.5、2.0 和 2.5. 在水槽底铺一层与模型管袋材料相同的土工布, 用以模拟工程中铺设于底部的软体排, 在模型所处位置的水槽右侧壁, 黏结一层土工布用来模拟工程中同层相邻管袋之间的接触特性, 而左侧的水槽壁, 为了不影响在试验过程中对管袋位移的观察, 未铺设土工布^[12-15]. 模型整体断面布置如图 1 所示.

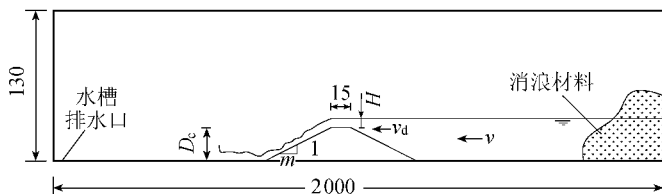


图 1 水流试验模型布置(单位: cm)

Fig.1 Layout of the current test model (unit: cm)

2 模型试验结果与分析

2.1 试验现象

试验过程中,待管袋堤坝垒筑好之后,逐渐加大水槽中过水流量,同时管袋堤坝的上游水位即逐步抬升,过坝流量逐渐加大.坝头处水流与堰流有一些相似,水流流经坝顶时,流股断面收缩,流速增大,流速变化大且流线弯曲.试验发现,不是在刚开始漫顶过流时管袋堤坝就会失稳,一般都能抵御一定坝上水深的水流作用.待此过坝流量达到某一临界流量时,顶层管袋就被水流冲下堤体,随后顷刻间顶层以下管袋全被冲垮.

2.2 试验结果

试验中不同坝高、不同堤体边坡坡比的管袋堤坝,其失稳情况不尽相同,这可以从表1中管袋堤坝失稳时的临界坝顶水深、由旋浆流速仪所测顶层管袋处临界作用流速和堤前临界垂线平均流速看出.试验中各工况的临界水流要素见表1.

表1 各工况的临界水流要素(原型)

Table 1 Critical current parameters under different cases(prototype)

边坡坡比 m	临界作用流速 $v_d/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$			临界垂线平均流速 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$			临界坝顶水深 H/m		
	$D_c=4.2\text{ m}$	$D_c=6.3\text{ m}$	$D_c=8.4\text{ m}$	$D_c=4.2\text{ m}$	$D_c=6.3\text{ m}$	$D_c=8.4\text{ m}$	$D_c=4.2\text{ m}$	$D_c=6.3\text{ m}$	$D_c=8.4\text{ m}$
1.25	1.21	1.12	0.95	0.86	0.61	0.48	1.86	1.61	1.58
1.5	1.43	1.32	1.25	0.92	0.66	0.50	1.93	1.72	1.65
2.0	1.70	1.45	1.37	1.13	0.70	0.52	2.28	1.89	1.75
2.5	1.84	1.58	1.50	1.32	0.82	0.54	2.56	1.96	1.82

2.3 试验结果分析

a. 边坡坡比的影响.从表1可见,随着边坡坡比的增大,其所对应的临界作用流速、临界坝顶水深及临界垂线平均流速均有增大的趋势,即随着边坡坡比的增大,管袋堤坝的稳定性有所提高.

b. 坝高的影响.从表1可见,随着堤体坝高的增加,其所对应的临界作用流速、临界坝顶水深及临界垂线平均流速均有减小的趋势,即管袋堤坝坝高的增加,导致了其过水稳定性的降低.这可能是由于管袋堤坝迎水坡面的导流对单体砂袋产生的上举力增大所致.

3 管袋堤坝的稳定公式

水流作用下管袋堤坝的受力如图2所示,水槽中水流原为均匀流,在流经堤坝处,由于堤坝的阻流作用,水流流线及流速在堤坝处均有所改变.每层管袋均受水流的作用力,但底部的管袋由于受到上层管袋的约束,在小流速下一般不会发生失稳,本试验中均表现为顶层管袋最先开始失稳,故图2只对顶层管袋进行了受力分析.

根据顶层管袋所受荷载及极限平衡原理^[16],得

$$\frac{v_d}{\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}} = \left[C_D \left(\frac{1}{f} + \frac{C_L}{C_D} \frac{B}{d} \right) \right]^{-1/2} \tag{1}$$

式中: v_d ——顶层管袋处的临界作用流速; ρ ——水的密度; ρ_s ——砂的密度; B ——顶层管袋顺水流向的袋宽; L ——顶层管袋纵向长度; d ——管袋高; f ——摩擦系数; C_D ——水平推力系数; C_L ——上举力系数.

式(1)左端的 $\frac{v_d}{\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}}$ 可视为无因次失稳流速,此无因次失稳流速系 f 、 C_D 、 C_L 及 $\frac{B}{d}$ 的函数.其中 f

可视为常数,对于体积较大的管袋,绕流已在阻力平方区, C_D 及 C_L 与雷诺数无关,但与 $\frac{B}{d}$ 、坝高 D_c 及边坡坡比 m 有关^[17].由此可得

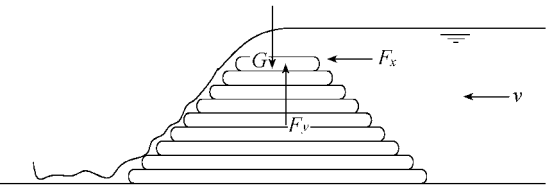


图2 水流试验模型管袋的受力分析
Fig.2 Forces acting on the geotube in river current test

$$\frac{v_d}{\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}} = f_1\left(\frac{B}{d}, D_c, m\right)$$

(2)

与由单体砂袋试验推导出的失稳流速公式相比,式(2)考虑了坝高及边坡坡比对水流上举力系数、水平推力系数的影响。在本试验中,由于顶层管袋的大小及管袋所充填材料均为固定的,所以顶层管袋的失稳流速也就只与顶层管袋处的临界作用流速有关。

文献[17]为了实用起见,用临界垂线平均流速代替临界作用流速,两者间的转换关系为

$$\frac{v_d}{v} = C\left(\frac{d}{H}\right)^{1/5}$$

(3)

式中: H ——坝顶水深; C ——常数; v ——临界垂线平均流速。

水槽中铺设了管袋堤坝之后,在边坡及坝头处的水流条件变得极其复杂,坝前临界垂线平均流速与坝体顶层管袋的临界作用流速的关系也变得更加复杂,本文考虑了坝高及边坡坡比的影响,将式(3)代入式(2)得

$$\frac{v}{\left(\frac{H}{d}\right)^{1/5}\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}} = f_2\left(\frac{B}{d}, D_c, m\right)$$

(4)

函数 $f_2\left(\frac{B}{d}, D_c, m\right)$ 因素较复杂,理论上尚未解决,只能由试验确定。由表1各工况失稳时的临界作用流速及临界垂线平均流速,并利用式(2)、式(4)计算其无因次临界流速 $\frac{v_d}{\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}}$ 及 $\frac{v}{\left(\frac{H}{d}\right)^{1/5}\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}}$,结果见表2。

表 2 无因次临界流速(原型)

Table 2 Nondimensional critical velocity (prototype)

边坡 坡比 m	无因次临界作用流速			无因次临界垂线平均流速		
	$D_c=4.2\text{ m}$	$D_c=6.3\text{ m}$	$D_c=8.4\text{ m}$	$D_c=4.2\text{ m}$	$D_c=6.3\text{ m}$	$D_c=8.4\text{ m}$
1.25	0.157	0.144	0.123	0.072	0.049	0.036
1.5	0.184	0.170	0.161	0.077	0.052	0.038
2.0	0.220	0.188	0.176	0.094	0.055	0.040
2.5	0.239	0.204	0.193	0.108	0.064	0.041

从表2可以看出,无因次临界作用流速明显大于无因次临界垂线平均流速,这也正是由于管袋堤坝改变了水流流态的结果。本试验 $\frac{B}{d}=7.5$,式(2)、式(4)中 $f_1\left(\frac{B}{d}, D_c, m\right)$ 及 $f_2\left(\frac{B}{d}, D_c, m\right)$ 可看作与 D_c 及 m 相关的系数 C_1, C_2 ,将式(2)、式(4)改写为

$$v_d = C_1\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}$$

(5)

$$v = C_2\left(\frac{H}{d}\right)^{1/5}\sqrt{2gB\frac{\rho_s-\rho}{\rho}}$$

(6)

系数 C_1, C_2 可以根据不同的 D_c, m 值从表2中参考选取。

4 结 语

本文通过模型试验研究了水流作用下管袋堤坝的稳定性和管袋堤坝失稳的临界流速及其与边坡坡比、坝高间的相互影响关系。试验结果表明,随着边坡坡比的增大,管袋堤坝的稳定性有所提高,随着堤坝坝高的增加,其过水稳定性却随之降低。在分析前人得出的临界流速公式的基础上,结合试验对其进行了修正。本文仅做了一组 d, B, L, f 的模型试验,日后还需通过更多的模型试验进一步完善。

参考文献:

[1] 中国水利学会围涂开发专业委员会.中国围海工程[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

- [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] 林刚.土工管袋结构坝体在波浪作用下的试验研究[D].南京:河海大学,2005.
- [4] 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会.土工合成材料工程应用手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [5] 张文斌,谭家华.土工布充砂袋的应用及其研究进展[J].海洋工程,2004(2):98-104.
- [6] PERRIER H. Use of soil-filled synthetic pillows for erosion protection[C]//Proceedings of 3rd International Conference on Geotextiles. Vienna, Austria :OIAC, 1986 :1115-1119.
- [7] JACK F. Geotextile tubes and flood control[J]. Geotechnical Fabrics Report, 1997, 15(5):28-37.
- [8] 王钊.国外土工合成材料的应用研究[M].香港:现代知识出版社,2002.
- [9] PILARCZYK K W. Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering[M]. Rotterdam :A. A. Balkema, 2000.
- [10] 左东启.模型试验的理论和方法[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [11] 束一鸣,杨威,武良金,等.河口筑堤土料的工程现场试验[J].水利水电科技进展,2004,24(5):34-36.
- [12] 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.
- [13] 杨智,袁磊,李森,等.充泥管袋和模袋混凝土在堤防中的应用[J].水利水电科技进展,2000,20(2):44-46.
- [14] 朱朝荣.管袋堤坝施工期稳定性试验研究[D].南京:河海大学,2006.
- [15] 汪军,束一鸣,朱朝荣,等.无防护管袋堤坝在波浪作用下的稳定性试验[J].水利水电科技进展,2006,26(增刊1):76-79.
- [16] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1981.
- [17] 李昌华,孙梅秀.汉江土工布沙袋坝、土工布沙垫式软体排及钢筋混凝土框架支撑坝的水槽试验研究[R].南京:南京水利科学研究院,1990.

Experiment on the stability of geotube embankments in river current

ZHU Chao-rong¹, SHU Yi-ming², JIANG Jun-hong³, WANG Jun²

(1. Guangdong Provincial Investigation, Design and Research Institute of Water Conservancy and Electric Power, Guangzhou 510635, China ;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract : The stability of geotube embankments with different slope ratios and heights in river current is studied in this paper through a series of model tests. It can be seen from the results of the tests that the critical current velocity, critical vertically averaged velocity and critical water depth above the top of the embankment increase along with the slope ratio and decrease with any increase in the embankment height. Also, the stability formula for geotube embankments in the river current is analyzed on the basis of the experimental results. This shows that the stability of geotube embankments increases when the slope ratio increases, and decreases when the height of the embankment increases.

Key words : geotube embankment ; the effect of current ; stability ; model test