

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.06.017

管袋堤坝在深水水流作用下的稳定性试验

刘海笑 ,束一鸣 ,王晓娟

(河海大学水利水电工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 通过水流作用下管袋堤坝的稳定性模型试验 ,对边坡系数 m 、坝高 D_c 、坝顶宽度 L 以及水深 H 对管袋堤坝稳定性的影响进行了研究。选用 1.0 ,1.5 ,2.0 ,2.5 共 4 种边坡系数 ,10 cm ,14 cm ,18 cm 等 3 种模型坝高 ,11 cm ,15 cm ,19 cm ,23 cm 等 4 种模型坝顶宽度以及 25 cm ,30 cm ,35 cm 等 3 种模型水深进行研究。试验结果表明 :边坡系数或坝顶宽度增大时 ,临界垂线平均流速增大 ;坝高与水深比增大时 ,临界垂线平均流速减小 ;坝顶宽度增大时 ,临界作用流速增大 ;其余几种因素对临界作用流速的影响不显著。

关键词 管袋堤坝 ;临界作用流速 ;临界垂线平均流速 ;坝体稳定性 ;模型试验

中图分类号 :TU4 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)06-0067-03

Experimental study on geotube embankment stability with deep currents//LIU Hai-xiao ,SHU Yi-ming ,WANG Xiao-juan (College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing , 210098 , China)

Abstract :The effect of the slope coefficient (m) , dam height (D_c) , crest width (L) , and water depth (H) on the geotube embankment stability were examined through a model test of geotube embankment stability in response to currents. Four different slope coefficients (1 , 1.5 , 2 , and 2.5) , three different dam heights (10 cm , 14 cm , and 18 cm) , four different crest widths (11 cm , 15 cm , 19 cm , and 23 cm) , and three different water depths (25 cm , 30 cm , and 35 cm) were selected for the study. The results show that the critical vertical average velocity increases with the slope coefficient and the crest width , and decreases with the ratio of the dam height to water depth. Other factors have no significant impact on the critical velocity.

Key words :geotube embankment ; critical velocity ; critical vertical average velocity ; embankment stability ; model test

随着我国城市化的不断推进 ,土地资源不足的问题日益加剧 ,该问题在东部沿海地区尤为突出 ,围海造陆也由浅滩区向深滩区发展。管袋堤坝作为围海造陆的一种重要坝型 ,在浅滩围海中已经广泛应用 ,但在深滩区的工程实例较少 ,且缺乏理论研究。鉴于此 ,笔者通过试验 ,初步研究了在深滩区建造管袋堤坝时影响坝体稳定的几种因素。

1 试验方法

水流模型试验采用小型玻璃水槽 ,水槽长 22 m ,宽 0.5 m ,高 0.7 m。进入水槽的流量由三角堰控制 ,进水口处设有消浪网 ,水槽末端设有可控制流量的排水口。试验依据相似理论进行设计。由于试验中模拟的水流作用主要是重力起作用 ,加上水深、流速较大 ,一般都位于阻力平方区内。对于恒定流来说 ,比尺间所受到的约束是弗劳德相似率 ,也就是说水

流相似只要求模型和原型的佛劳德数相等^[1] ,参考国内管袋筑坝的实际情况并结合长江口某工程^[2] ,确定该次模型试验的长度比尺^[3]为 30。管袋模型用 150 g/m² 的聚丙烯土工布缝制 ,每层管袋模型高度为 2 m ,长度(等于水槽的宽度)为 50 cm ,顶层管袋宽度(即坝顶宽度)分别为 11 cm ,15 cm ,19 cm 和 23 cm。袋内充填密度为 1.8 g/cm³ 的中粗砂。堤坝铺设在水槽中部偏后的位置。在堤坝前 4 m 处采用 3 点法测量水槽水流的垂线流速。在顶层管袋中央、离顶面 2 cm 处测量堤坝的作用流速。模型整体断面布置如图 1 所示。

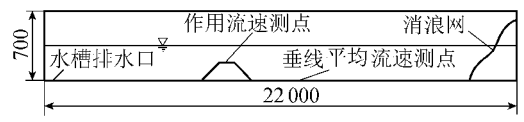


图 1 试验模型布置(单位 :mm)

2 试验结果与分析

2.1 试验结果

试验时 将管袋堤坝铺设于指定位置 为保证水流不至于冲垮坝体 先用小流速往水槽中注水 直到工况所需的水深。然后同时开大进水阀和出水阀 , 在保持水位不变的情况下逐渐加大流速。当流速增大到一定程度时 顶层管袋开始出现轻微滑动 继续加大流速 顶层管袋被水流冲走。为便于测量 当顶层管袋开始出现轻微滑动时 就认为顶层管袋已经失稳 此时开始测量作用流速和垂线平均流速 将它们作为临界作用流速 U 和临界垂线平均流速 v 。将模型数据换算成原型数据 见表 1~5。

表 1 $m = 1.0$ 时各工况下的临界流速

H/m	$U/(m \cdot s^{-1})$			$v/(m \cdot s^{-1})$		
	$D_c = 3.0 m$	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$	$D_c = 3.0 m$	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$
7.50	3.105	3.089	3.056	1.862	1.358	0.909
9.00	3.067	3.144	3.122	2.043	1.676	1.249
10.50	3.177	3.056	3.226	2.267	1.780	1.506

表 2 $m = 1.5$ 时各工况下的临界流速

H/m	$U/(m \cdot s^{-1})$			$v/(m \cdot s^{-1})$		
	$D_c = 3.0 m$	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$	$D_c = 3.0 m$	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$
7.50	3.138	3.105	3.127	1.966	1.429	1.013
9.00	3.193	2.974	3.281	2.257	1.649	1.380
10.50	3.084	3.199	3.182	2.382	1.977	1.506

表 3 $m = 2.0$ 时各工况下的临界流速

H/m	$U/(m \cdot s^{-1})$		$v/(m \cdot s^{-1})$	
	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$
7.50	3.133	3.105	1.484	1.139
9.00	3.182	3.133	1.796	1.440
10.50	3.171	3.144	2.010	1.692

表 4 $m = 2.5$ 时各工况下的临界流速

H/m	$U/(m \cdot s^{-1})$		$v/(m \cdot s^{-1})$	
	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$	$D_c = 4.2 m$	$D_c = 5.4 m$
7.50	3.193	3.171	1.616	1.249
9.00	3.177	3.166	1.955	1.539
10.50	3.204	3.193	2.185	1.813

表 5 不同坝顶宽度时的临界流速
($m = 1.0, D_c = 5.4 m, H = 9.0 m$)

L/m	$U/(m \cdot s^{-1})$	$v/(m \cdot s^{-1})$
3.3	2.623	1.057
4.5	3.122	1.249
5.7	3.264	1.495
6.9	3.801	1.501

2.2 试验结果分析

2.2.1 临界作用流速公式

试验表明 管袋堤坝在水流作用下失稳总是从顶层管袋开始。因此 将顶层管袋失稳作为管袋堤坝失稳的判别标准进行力学分析。顶层管袋所受的

力主要有重力 G 、浮力 F 、摩擦力 F_f 以及水流的推力 F_D [4] 其中：

$$F_f = (G - F)f \tag{1}$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho B d u^2 \tag{2}$$

式中： f 为土工布的摩擦系数 该次试验取 0.35； C_D 为水流推力系数； ρ 为水的密度； B 为顶层管袋宽度（等于水槽宽度）； d 为管袋厚度； u 为作用流速。

由极限平衡原理得

$$U = \sqrt{\frac{1}{C_D}} \sqrt{2gLf \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \tag{3}$$

式中： g 为重力加速度； ρ_s 为充填砂的干密度。

式(3)中等号的右端 L 为自变量 其余的均为常数 其中 C_D 为待求的未知常数。将表 5 中的数据代入式(3)可求得各坝顶宽度时系数 $1/\sqrt{C_D}$ 的值 取其平均值为 0.612 即临界作用流速的计算公式为

$$U = 0.612 \sqrt{2gLf \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \tag{4}$$

2.2.2 临界作用流速与临界垂线平均流速的关系

试验选用 1.0、1.5、2.0、2.5 等 4 种边坡系数，10 cm、14 cm、18 cm 等 3 种模型坝高以及 25 cm、30 cm、35 cm 等 3 种模型水深进行研究。将得到的数据换算成原型数据后 绘制不同坝高时水深与临界垂线平均流速的关系曲线 如图 2 所示 绘制不同水深时边坡系数与临界垂线平均流速的关系曲线 如图 3 所示。

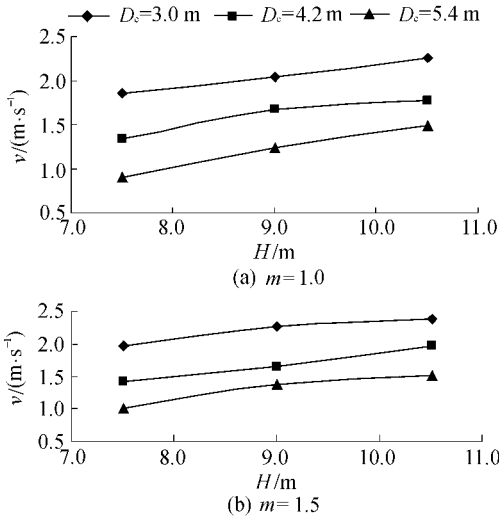


图 2 $L = 4.5 m$ 时的临界垂线平均流速

从图 2 可以看出 v 随 H 及 m 的增大而增大 随 D_c 的增大而减小。当 D_c 一定时 随着 H 的增大 v 逐渐增大 但增长有放缓的趋势。当 H 一定时 随着 D_c 的增大 v 逐渐减小； H 越小 D_c 对 v 的影响越显著。从图 3 可以看出 在各种水深条件下 m

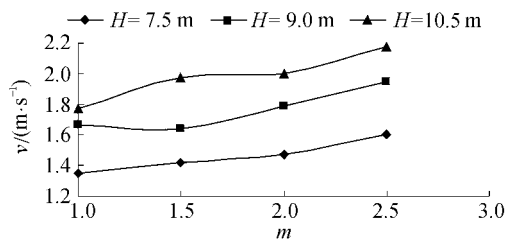


图3 $D_c = 4.2\text{ m}$, $L = 4.5\text{ m}$ 时的临界垂线平均流速

对 v 的影响比较相似。

由以上规律可知, v 主要受 D_c 与 H 之比以及 m 的影响。参考文献 [5] 以 D_c 与 H 的比 (D_c/H) 为横坐标, 以 U 与 v 的比 (U/v) 为纵坐标, 绘制了 4 种边坡系数的曲线, 如图 4 所示。

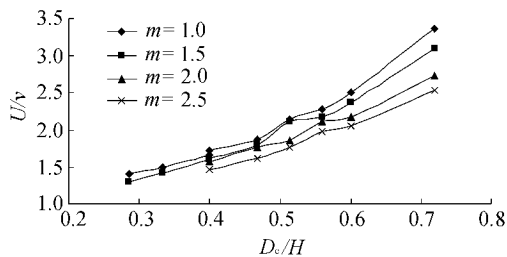


图4 $L = 4.5\text{ m}$ 时 D_c/H 与 U/v 的关系

由图 4 可以看出, 随着 D_c/H 的增大, U/v 也增大。分别对 4 种边坡系数的曲线进行拟合, 得

$$\frac{U}{v} = \begin{cases} 4.037 \left(\frac{D_c}{H} \right)^{0.914} & m = 1.0 \\ 3.856 \left(\frac{D_c}{H} \right)^{0.923} & m = 1.5 \\ 3.582 \left(\frac{D_c}{H} \right)^{0.925} & m = 2.0 \\ 3.389 \left(\frac{D_c}{H} \right)^{0.944} & m = 2.5 \end{cases} \quad (5)$$

分析以上 4 个函数可知, 4 个函数的指数相差不大, 可认为不受边坡系数的影响。而函数系数 C 存在较为明显的规律性, 笔者认为受边坡系数的影响所致。为探求两者的关系, 以边坡系数为横坐标, 以函数系数为纵坐标作图, 如图 5 所示。

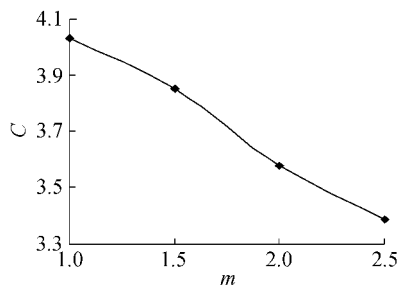


图5 m 与 C 的关系

在图 5 中, 拟合 m 与 C 的关系曲线可得

$$C = 4.085m^{-0.192} \quad (6)$$

所以, U 与 v 的关系为

$$\frac{U}{v} = 4.085m^{-0.192} \left(\frac{D_c}{H} \right)^{0.926} \quad (7)$$

式中 D_c/H 的指数取以上 4 个函数指数的平均值。

2.2.3 稳定公式

为了方便实际应用, 在临界滑动失稳流速公式中, 用 v 代替 U [6]。于是, 管袋堤坝的临界滑动失稳流速公式为

$$v = 0.15m^{0.192} \left(\frac{H}{D_c} \right)^{0.926} \sqrt{2gLf \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \quad (8)$$

3 结 语

通过模型试验研究了施工期管袋堤坝在深水水流作用下的稳定性, 主要考虑了边坡系数、坝高、坝顶宽度以及水深 4 种影响因素。根据试验现象, 确定以顶层管袋发生滑动失稳作为管袋堤坝失稳的判断标准。试验结果表明: 临界垂线平均流速随边坡系数以及坝顶宽度的增大而增大, 随坝高与水深比的增大而减小, 临界作用流速随坝顶宽度的增大而增大, 其余几个因素对临界作用流速的影响不显著。本文通过对顶层管袋的力学分析并结合试验数据, 得出了管袋堤坝的临界滑动失稳流速公式。

参考文献:

- [1] 裴国霞, 唐朝春. 水力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 212-215.
- [2] ZHU Chao-rong, SHU Yi-ming, JIANG Jun-hong. Study on the experiment of stability of unarmored flat geotube dike under wave action [C] // LI Guang-xin, CHEN Yun-min, TANG Xiao-wu. Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2008: 625-629.
- [3] 高学平, 张效先. 水力学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 158-159.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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(S1): 76-79.

(收稿日期: 2009-08-22 编辑: 方宇彤)

