

防治崩岸的土工包沉落轨迹试验

王晓娟,束一鸣,刘海笑

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 根据设计水流流速和土工包的尺寸,对防治崩岸的土工包这种新型护岸措施进行了水槽模型试验。土工包在水面投放后,受重力和水流阻力的影响,在向水下沉落的同时还产生顺水流方向的位移。通过模型试验,观察水槽中投放土工包的沉落轨迹,对实测资料进行整理分析,得到单个充填砂土工包沉落位移计算的有关参数,建立了土工包顺水流方向位移(水平位移)和向水下沉落位移(竖向位移)公式。

关键词 土工包 模型试验 沉落轨迹 位移

中图分类号 :TU4 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2009)S1-0217-03

土工包(Geocontainers)护岸是由新型土工合成材料形成的新的护岸方式,属于土工包容系统,是土工合成材料应用领域的开拓,其最大的特点是体积大、整体性好、稳定性高^[1]。土工包发展的最早形式是砂袋(Sandbags),20 世纪在欧洲、马来西亚、日本和美国成功地将充填砂的大体积土工包用于海岸防护工程,近几年来,我国在围海造地、围堤工程、港口建设和航道整治等工程中开始大量应用土工织物充填袋技术^[2]。土工包是以土工织物包裹的大块体,体积达数百立方米至上千立方米,通常将高强土工织物铺设在特制的开底船上,充填砂、疏浚河道的淤泥或废料,待充填至 50%~80% 后,用高强度线将开口缝合,靠地球定位系统运至规定地点,打开船底,将土工包投放至水底。

做为新型的护岸方式,土工包护岸具有就地取材、节省投资、保护环境、稳定性高等优点,得到广泛应用,其中也有许多问题要研究。笔者在水槽中进行模型试验,观察土工包在水流作用下的沉落轨迹,拟总结土工包的沉落规律,建立土工包的沉落轨迹公式。

1 土工包沉落模拟试验

1.1 试验的基本条件

试验采用矩形断面玻璃水槽,槽长 22 m,宽 0.5 m,高 0.7 m,水槽首部设有能测定流量的三角形薄壁堰,尾部有可调节大小的排水口。土工包的土

工织物由聚丙烯扁丝编织而成,其有效孔径满足反滤设计准则。该次试验采用重力相似准则,主要有:长度比尺 $\lambda_L = 65$,流速比尺 $\lambda_v = \lambda_L^{0.5} = 8.06$ 。实际土工包为两端椭圆的柱体,模型土工包的尺寸参照国外已有工程确定,为了观察土工包体积对沉落状态的影响,该试验采用了 3 种土工包尺寸,见表 1。

表 1 土工包原型与模型尺寸 m

包型	实际尺寸			模型尺寸		
	长度	长轴	短轴	长度	长轴	短轴
小	15.600	5.200	2.600	0.240	0.080	0.040
中	17.600	5.850	2.930	0.270	0.080	0.045
大	19.500	6.500	3.250	0.300	0.100	0.050

土工包填充度为 80%,填充砂的密度 $\rho_s = 1600 \text{ kg/m}^3$ 。参照卵石推移质起动相似要求^[3],土工包在水下的有效密度比尺采用 1。设计江河流速为 1~2.5 m/s,取 1 m/s,1.5 m/s,2 m/s,2.5 m/s 共 4 种流速,对应的模型流速为 0.12 m/s,0.18 m/s,0.23 m/s 和 0.3 m/s。水深取 15 m,对应的模型水深为 0.23 m(以下数据均采用模型尺寸的数据)。

1.2 试验方法

水深为 0.23 m 时,将 3 种不同大小的土工包分别在流速为 0.12 m/s,0.18 m/s,0.23 m/s 和 0.3 m/s 的 12 种工况下进行投放。本文主要研究单个土工包的沉落规律,先将土工包浸湿,以湿态投放,并均匀地铺平,使其长度方向轴线平行于水槽底部,并贴水面摆放在水槽的正中间,以减小水槽边壁对土工

包沉落的影响。每种工况重复多次,以便总结规律。在投放每种包的同时观察包体的沉落轨迹,测量起抛点及落地点的位置,记录位移量。

1.3 土工包的沉落形式

通过对不同流速下多次抛投土工包的试验观察表明,不同大小土工包的沉落轨迹基本相同。一般情况下,土工包从水面落入水中时,一方面在水下有效重力作用下产生向下沉落的竖向位移 S_1 (包体前端底部至水面的距离),另一方面在绕流阻力的作用下产生顺水流方向向前移动的水平位移 s_2 (包体向前移动的距离)。在水流作用下,土工包往往是前端先着地,即土工包长度方向轴线不再平行于水槽底部,而是与槽底有一定的夹角,接着前端在槽底向前滑移一段距离 Δ ,直到尾端沉入槽底,土工包与槽底稳固接触,停止运动。包体最终的水平位移 S_2 为 s_2 与 Δ 之和,即 $S_2 = s_2 + \Delta$ 。在沉落一段距离后,土工包的轴线发生轻微偏移,沉落至槽底时不在水槽的正中间,且偏移方向不定,均为投放误差所致,由于偏移量较小,可以忽略不计。在整个沉落过程中,土工包的运动轨迹成弧线,见图 1。

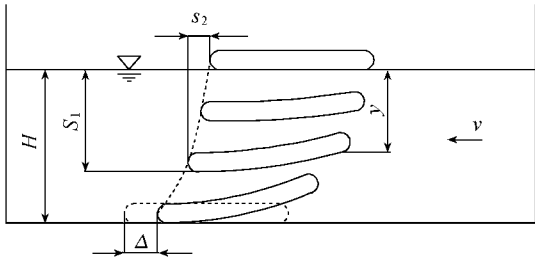


图 1 土工包沉落轨迹示意图

2 试验分析

由于流速大小和包体尺寸的不同,包体前端着地时其长度方向轴线与槽底夹角的大小也有所不同,即土工包前端底部着地时包体尾端底部距水面的距离大小(y)不同。由试验观察到,相同体积的土工包,随着流速的逐渐增大,其轴线与槽底的夹角也逐渐增大,即土工包前端底部着地时 y 值逐渐减小, Δ 逐渐增大, S_2 也逐渐增大。在流速相同的条件下,随着体积的逐渐增大,土工包轴线与槽底的夹角逐渐减小, Δ 和 S_2 也逐渐减小。

公式(1)~(3)的分析运用量纲和谐原理其最重要的用途在于能确定方程中物理量的指数,从而找到物理量间的函数关系,以建立结构的物理、力学方程式,在这些方程式中各项的量纲是一致的。假使表示某一物理过程的函数式中包含 n 个物理量,其中 k 个具有互相独立的量纲,则经过处理,这函数可改变为包含 $(n - k)$ 个由这些物理量所组成的量

纲为一的准数 (π_i),即每个准数都是几个量的指数幂的乘积,即“ π 定理”。

2.1 竖向位移 S_1

竖向位移 S_1 与土工包体积 V 、流速 v 、包体尾端底部至水面的距离 y 、水深 H 、包体长度 l 、包体在水平面的投影面积 A_1 、重力加速度 g 、砂和水的密度有关,在 MLT 单位制中,上述各个物理量的因次分别为 $[S_1] = L$ $[V] = L^3$ $[v] = LT^{-1}$ $[y] = L$ $[H] = L$ $[l] = L$ $[A_1] = L^2$ $[g] = LT^{-2}$ $[\rho_s] =$ $[\rho_w] = ML^{-3}$,将 $\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$ 作为整体考虑,描述整个物理过程的函数式为:

$$f(S_1, v, V, H, l, A_1, y, \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, g) = 0 \quad (1)$$

根据“ π 定理”,将 H, v, g 3 个量作为相互独立的量纲,其余的物理量用这 3 个量纲表示,变成若干无量纲项,由量纲和谐原理和试验数据得出竖向位移的计算公式:

$$S_1 = k_1 \frac{y l v H}{(\beta V)^{1/6} A_1 \sqrt{g}} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (2)$$

式中: k_1 为包体沉降综合系数,与流速和包体大小有关,其取值可在图 2 中查得; β 为填充率; ρ_s 为填充砂的干密度; ρ_w 为水的密度; A_1 为包体在水平面的投影面积, $A_1 = l d_1$,其中 d_1 为椭圆的长轴。经试算可得不同流速和不同体积的 y 值,如图 3 所示。

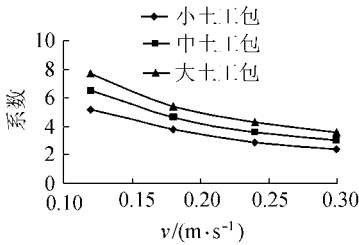


图 2 包体沉降综合系数 k_1

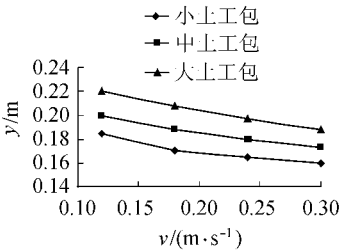


图 3 不同流速下的 y 值

在实际施工中的 k_1 和 y 值可参考该次试验得出的结果,换算比尺,从图 2、图 3 中进行内插得出。

2.2 水平位移 S_2

同理,根据量纲和谐原理和试验数据得出水平位移的计算公式:

S2 = s2 + Δ =

k2 (γ^2 v H / (β V)^{1/6} A2 √g (ρs - ρw) / ρw) + Δ (3)

式中:k2为与流速分布有关的系数,参考文献[4],从水面开始到水面下0.35H处k2=0.3,从水面下0.35H处开始至包体前端着地k2=0.2;A2为来流方向包体的投影面积,A2=πd1d2/4,其中,d1,d2分别为椭圆的长短轴。见图4。

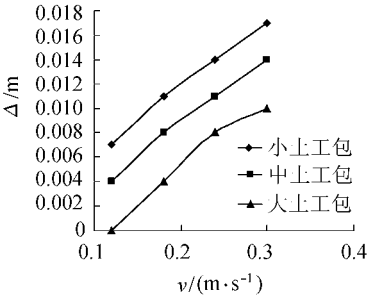


图4 不同流速下的Δ值

3 计算数据与试验数据比较

最终包体沉落到槽底,即竖向位移为水深,因本文主要研究土工包的沉落轨迹,观察其运动过程,所以主要对沉落过程中的竖向位移进行比较。限于篇幅,本文仅以小体积土工包在0.3 m/s流速下的竖向位移为例,对其计算值与试验值进行比较,见表2。不同流速和不同体积土工包的水平位移计算值与试验值比较见表3。由表2、表3可见,试验值和计算值比较接近,即式(2)和式(3)符合试验结果。

表2 小体积土工包在0.3 m/s流速下竖向位移的计算值与试验值

工况				S1	
y/m	L/m	v/(m·s ⁻¹)	H/m	计算值/m	试验值/m
0	0.24	0.3	0.23	0	0
0.027	0.24	0.3	0.23	0.038	0.031
0.037	0.24	0.3	0.23	0.052	0.043
0.045	0.24	0.3	0.23	0.064	0.060
0.055	0.24	0.3	0.23	0.078	0.082
0.069	0.24	0.3	0.23	0.098	0.100
0.076	0.24	0.3	0.23	0.108	0.119
0.093	0.24	0.3	0.23	0.132	0.138
0.107	0.24	0.3	0.23	0.152	0.160
0.125	0.24	0.3	0.23	0.178	0.182
0.139	0.24	0.3	0.23	0.198	0.209
0.155	0.24	0.3	0.23	0.221	0.225
0.162	0.24	0.3	0.23	0.231	0.230
0.230	0.24	0.3	0.23		0.230

表3 不同流速和体积的土工包水平位移的计算值和试验值

包型	工况		y/m	s2/m	滑移/m	S2	
	H/m	v/(m·s ⁻¹)				计算值/m	试验值/m
小	0.23	0.12	0.185	0.052	0.007	0.059	0.052
	0.23	0.18	0.171	0.066	0.011	0.079	0.065
	0.23	0.24	0.165	0.082	0.014	0.096	0.088
	0.23	0.30	0.16	0.097	0.017	0.112	0.105
中	0.23	0.12	0.200	0.045	0.004	0.049	0.040
	0.23	0.18	0.188	0.059	0.008	0.067	0.050
	0.23	0.24	0.180	0.073	0.011	0.084	0.072
	0.23	0.30	0.173	0.084	0.014	0.098	0.092
大	0.23	0.12	0.220	0.044	0	0.044	0.035
	0.23	0.18	0.208	0.056	0.004	0.060	0.045
	0.23	0.24	0.197	0.067	0.008	0.075	0.064
	0.23	0.30	0.188	0.076	0.010	0.090	0.074

4 结论

试验分析了防治崩岸的土工包在各种因素影响下的沉落轨迹,总结规律,得出了反应土工包沉落过程的竖向位移及顺水流方向的水平位移公式。用0.2 m的模型水深进行再次试验,对这2个公式进行验证,由公式计算得出的结果同试验结果比较接近。通过计算值和试验值的分析可以得出,土工包竖向位移和水平位移均同水深、流速、尾端底部至水面的距离成正比,同体积、填充率成反比。

参考文献:

[1]《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 322-323.

[2]张文斌,谭家华.土工包充砂袋的应用及其研究进展[J].海洋工程 2004(2) 98-104.

[3]AHMAD K. Experiments on design and behavior of spudikes [C]/Proceedings of IHAR, ASCE JointMeeting. Twin Cities: University of Minnesota, 1953.

[4]庞启秀,徐金环,辛海霞.水流作用力垂向变化对块体投放影响的综合研究[D].南京:河海大学,2005.

(收稿日期 2008-08-22 编辑:方宇彤)

