

⑤

18-20, 36

挡板式护岸结构稳定性分析方法

王润富

任青文

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

TV861

摘要 在总结现场量测资料、有限元分析成果和已有分析方法的基础上,提出分析挡板式护岸结构的一种新方法。分析、计算表明该方法计算简便,精度较高,较好地反映了挡板式护岸结构的实际工作状态,可供设计计算时采用。

关键词 护岸 稳定性 水道工程

护岸结构, 挡板式.

1 挡板式护岸结构的特点

挡板式护岸结构是一种新型护岸结构型式。它的特点是结构型式简单,施工方便,节省材料和经费;且抗滑、抗倾性能好,又可防船行波冲刷。

挡板式护岸结构由上下两部分组成:下部为深入土中的垂直挡板和相联结的底板,合成 T 型,均用素混凝土浇成;上部为置于底板上的浆砌块石挡土墙,如图 1 所示。

挡板式护岸结构具有下列优点:①挡板面水,且深入土中,可防船行波冲刷,避免了岸坡塌方。②抗滑性能好,挡板和带齿底板能较好地抵抗滑移。③抗倾性能好,结构重心在岸侧,有利于抗倾覆变形。④由于底板上抬,减少了挡土墙断面,节省了材料;结构简单,施工简便快速;成本低,经济效益十分显著,每米护岸结构比重力式挡土墙可节省 199 元,约省 20% ~ 25% 的经费。在苏申内港线上的 26.2 km 的护岸结构中,采用挡板式护岸后节省了 522.4 万元。⑤此类结构使用后质量可靠,工程寿命长,也容易维修;减少了疏浚工作,增加了通航能力,用户较为满意。

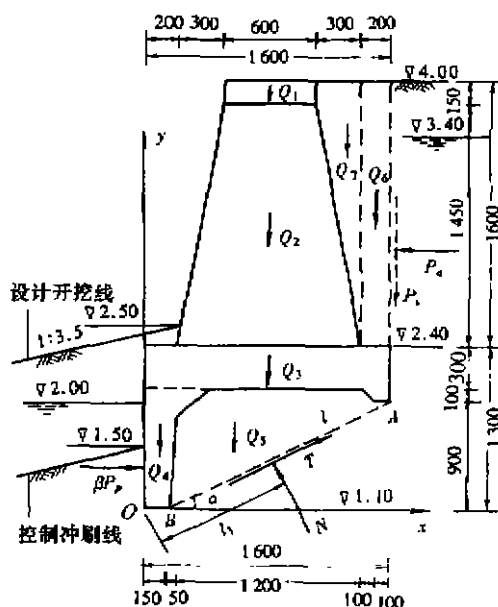


图 1 挡板式护岸结构的计算简图(单位:cm)

从现场量测和用有限单元法分析的结果看:①挡板式护岸结构本身的强度是充分满足的,其应力均在允许应力范围之内;②由于建造挡板式护岸之前,原边坡已经稳定,根据以前所做的工作,工程单位认为不必考虑深层滑移的稳定性;③因而,挡板式护岸结构是否安全的问题,可归结为结构本身的抗滑移、

第一作者简介:王润富,男,教授,从事温度应力及孔附近应力集中问题研究,曾发表《初应力法》等论文。

①河海大学等. 苏申内港线挡板式护岸结构应力应变及稳定性分析报告, 1994. 9

抗倾覆的稳定性条件是否满足。

挡板式护岸结构可以广泛地用于水位变化不大的护岸工程。

2 现有的稳定性分析方法

对挡板式护岸,人们已采用了下列方法进行稳定性分析:①圆弧滑动法;②条分法;③刚体极限平衡法;④离心机试验方法;⑤有限单元法^①;⑥现场实测方法^②。

为了便于推广挡板式护岸结构,需要有一种计算简便、精度较好的实用简化计算方法,以下便是关于简化计算方法的初步方案。

3 挡板式护岸结构稳定性分析的实用计算方法

将挡板式护岸结构本身作为计算对象,分析其稳定性。首先,作如下计算简化假定(见图1):

a. 岸侧的土压力按朗肯主动土压力 P_a 计算。根据实测资料,挡土墙岸侧土体的平均位移为 4.1 mm,达到发生朗肯主动土压力的条件,即墙体位移达到墙高的 1‰~3‰(2~6 mm);且原边坡土体的变形大部分已完成,填土的范围又较少(宽约 1 m 左右),因此可认为该处土压力较小;实测资料还表明,岸侧土压力的总值也接近于朗肯主动土压力值。因此,取朗肯主动土压力作为作用于结构岸侧的土压力。

b. 取 AB 线作为可能发生的滑移面,进行滑移稳定性分析——从离心机试验和有限单元法分析,都验证了最危险的滑移面是接近 AB 线的。即当荷载不断增大,离心机试验至破坏时,出现的滑移面在 AB 线附近;有限单元法分析得出的塑性区也沿 AB 线附近首先出现。因此,AB 线是最危险的可能滑移面,必须进行滑移稳定性分析。

令 AB 线下部土体对上部的作用力为 N, T 。 N 为法向力, T 为切向力(摩擦力)。在未达到滑动状态时,切向力 T 处于下列数值之间:

$$0 \leq T \leq (fN + cl)$$

式中 $f = \tan\varphi$, 为摩擦系数; c 为土壤的凝聚力; l 为 AB 线长度;上式右侧为极限状态的摩擦力。令实际的摩擦力为

$$T = \beta(fN + cl) \quad (1)$$

β 为与极限摩擦力相比的折减系数,若 $\beta = 1/K_1$, K_1 即为 AB 线上的抗滑安全储备,即抗滑安全系数。

c. 近河道一侧的挡板处,在极限状态时的最大土压力为朗肯被动土压力 P_p 。根据经验,要发生被动土压力,其挡土墙的位移必须达到 2%~5% 的墙高,即 26~65 mm,而实测位移只达到 4 mm 左右。因此实际作用于挡板的土压力处于 0 和 P_p 之间,令作用于挡板的土压力为 βP_p , β 是同式(1)中相同的折减系数(即表示结构各部分有相同的安全储备)。

3.1 滑移稳定性分析

在上述简化假定基础上,分析结构的力的平衡条件:

$$\sum F_x = 0, \quad \beta P_p - P_a = N \sin \alpha - T \cos \alpha \quad (2)$$

$$\sum F_y = 0, \quad Q = N \cos \alpha + T \sin \alpha \quad (3)$$

式中 Q 为垂直力, $Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_7$; α 是 AB 线的倾角。

在上述式(1)~(3)中,包括未知数 N, T, β , 具体有两种解法。

3.1.1 直接求解法

从式(1)~(3)中消去 N 和 T , 得到求解 β 的二次方程式,由此解出:

$$\beta = [b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}] / 2a \quad (4)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} a &= P_p \tan \varphi \tan \alpha \\ b &= P_p - P_a \tan \varphi \tan \alpha + Q \tan \varphi + cl / \cos \alpha \\ c &= -P_a - Q \tan \alpha \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

因为 $\beta \geq 0$, 故在式(4)中应取“+”号。

求出 β 后,由式(2)、式(3)可求出 N :

$$N = Q \cos \alpha + (\beta P_p - P_a) \sin \alpha \quad (6)$$

再由式(1)求出 T 。

由此,得挡板式护岸结构沿 AB 线的抗

滑移安全(储备)系数:

$$K_1 = 1/\beta \quad (7)$$

3.1.2 图解法

式(2)、式(3)是力的平衡条件,结合式(1)可用力的矢量图解出 N, T, β 。此法比直接求解法更简便,一般作图3次(见图2),并作简单运算即可求出 N, T, β 。

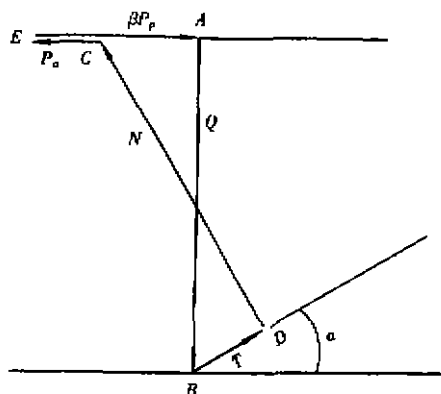


图2 图解法求 N, T, β

具体解法如下:在式(1)~(3)中, Q, P_p, P_a, N, T 的方向均已确定,且 Q, P_p, P_a 的数值已知,若 N, T, β 已求出,则它们的力的矢量图如图2所示。 AB 为垂线, $AB = Q$; $BD = T$,与水平线倾角为 α ; $CD = N$, $CD \perp BD$ ($N \perp T$); AE 为水平线, $EC = P_a$, $AE = \beta P_p$, $AC = \beta P_p - P_a$ 。上述力的矢量是平衡的,故构成封闭的力的矢量图。由于 N, T, β 未知,可以采用试算法求解,步骤如下:

a. 作垂线 $AB = Q$ 。

b. 过 B 点作倾角为 α 的线 BD ,取初值 $BD = l_0$ 。

c. 过 D 点作 $DC \perp BD$,记 $DC = m, AC = n$ 。

d. 求出第一次近似解: $DC = m = N_0$;

$BD = l = T_0 = \beta(fN_0 + cl)$,解出 $\beta_1 = \frac{l}{fm + cl}$;

$AC = n = \beta P_p - P_a$,解出 $\beta_2 = \frac{n + P_a}{P_p}$ 。

e. 若 $\beta_1 = \beta_2$,则得出 N, T, β 为真解。通常 $\beta_1 \neq \beta_2$,则可作新的 $BD' = l', DC' = m', AC' = n'$,求出 β'_1, β'_2 。

f. 若 $\beta'_1 \neq \beta'_2$,重复步骤 d, e,直到两者

• 20 •

充分接近为止,一般作图两三次即可求出足够精确的 β 值和相应的 T 值。

图解法简便快速,作图两三次即可求出足够精确的 N, T, β 值,其解答与理论的直接解法相比,误差在 1% 以下。因此,作为计算方法,图解法是更简便的实用方法。

3.2 倾覆稳定性分析

在实际受力状态,考虑对 O 点的力矩平衡条件:

$$\sum M_O = 0, \quad (8)$$

$$M(Q) + M(\beta P_p) = M(P_a) + Nl_1$$

由此解出 N 的力臂 l_1 :

$$l_1 = [M(Q) + M(\beta P_p) + M(P_a)]/N \quad (9)$$

抗倾安全系数为

$$K_2 = \frac{M(Q) + M(P_p) + M(P_y)}{M(P_a) + Nl_1} \quad (10)$$

式中 分母为 P_a 和 N 引起的倾覆力矩;分子为抵抗倾覆的力矩,包括 Q 引起的 $M(Q)$,朗肯被动土压力 P_p 引起的 $M(P_p)$,和岸侧 AC 线上(见图1)在倾覆时的极限摩擦力 P_y 引起的抵抗力矩 $M(P_y)$,其中:

$$P_y = fP_a \quad (11)$$

此项仅在倾覆的极限状态时才计入。

4 各种方法的简单比较

表1列出了各种计算方法的结果范围,其中有限单元法和本文计算方法结果是对同一结构分析的。其它计算方法的结果是对不同尺寸和情况的挡板式护岸进行计算的。

表1 挡板式护岸结构抗滑、抗倾安全系数计算范围

计算方法	K_1	K_2
圆弧滑动法	2.39 ~ 1.88	
有限单元法	3.36 ~ 1.54	2.70 ~ 2.33
本文计算方法	3.25 ~ 1.38	2.04 ~ 1.55

注:有限单元法中按摩尔——库仑模型进行计算,当荷载超载至 AB 线上塑性区贯穿时的超载系数作为安全系数。

一般认为,安全系数应满足下列条件:

设计安全系数 $K_1 \geq 1.2, K_2 \geq 1.3$

校核安全系数 $K_1 \geq 1.1, K_2 \geq 1.2$

(下转第36页)

现行节水措施投资效益情况详见表1。

表1 现行节水措施效益分析

指 标	间接冷却水 循环利用	污水处理 回收利用	串联 复用	合 计
节水项目/项	5	2	3	10
复用水能力 /m ³ ·h ⁻¹	6138.60	1314.00	30.40	7483.00
年实际复用水 量/万 m ³	4837.77	488.30	11.50	5337.57
土建投资/万元	631.55	945.76	3.90	1581.21
设备投资/万元	94.20	789.76	2.00	885.96
电费/万元·a ⁻¹	125.86	67.20	0.81	193.87
管理费/万元·a ⁻¹	4.92	78.80	0.50	84.22
维修费/万元·a ⁻¹	13.72	50.90	0.10	64.72
其它运行费 /万元·a ⁻¹	0.10	28.40	0.27	28.77
每吨水投资 /元·a ⁻¹	0.15	3.35	0.51	0.46
效益/万元·a ⁻¹	4208.86	424.82	10.01	4643.69
费用/万元·a ⁻¹	180.89	312.08	1.98	494.95
效益费用比	23.27	1.36	5.06	9.38

注:表中指标按静态法计算。

3 结 语

a. 采取节水措施的目的是提高水资源

(上接第20页)

针对图1所示的结构,分别按本文计算方法(计算或图解)和有限单元法计算得出的结果列于表2。从表2中可知,本文计算方法得出的结果是偏安全的。

表2 抗滑、抗倾安全系数 K_1 , K_2 计算结果

断冲刷 面情况	K_1				K_2	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	未	3.2559	3.2689	0.40	3.361	2.0475
	冲	1.7782	1.7867	0.48	2.268	1.5915
II	未	2.6944	2.7230	1.10	2.548	1.8671
	冲	1.3766	1.3828	0.45	1.543	1.5777
III	未	2.4246	2.4092	0.63	2.616	1.8248
	冲	1.3838	1.3825	0.10	2.029	1.5510

注:①岸侧地下水位▽3.4,河道中水位▽2.0;②表中(1)为本文计算方法计算;(2)为本文计算方法图解;(3)为(2)相对于(1)的误差(%);(4)为有限单元法计算;(5)为本文计算方法计算;(6)为有限单元法计算。

的利用率,尽可能减少单位产品或产值的取水量,但还应对各种节水措施从技术、经济、社会影响等各方面进行综合分析,为今后推广节水措施或制订节水规划提供科学依据。

b. 本文收集的资料比较翔实,为经济效益的分析带来方便。投资及各种费用大多根据各工程项目的财务预决算报表,按照国家水利经济计算规范计算得到。由于各种设施、设备及材料费用都是当年价,目前又没有一种较合理的折算方法,故在计算中没有考虑物价对年运行费的影响。节水效益的计算也是以水源成本或供水成本计算为基础的。因为节水项目的投资一般比较小,工期也很短,所以采用了静态分析法进行分析。

c. 每吨水投资指单位复用水量投资。由于复用水量在水质或水温方面都和新鲜水存在一定差异,因此,单位复用水量投资也不一定完全等同于单位节水量投资,还有待今后继续进行深入探讨。

(收稿日期:1996-08-26 编辑:张志琴)

5 结 语

本文计算方法是针对挡板式护岸结构的特点,并在多次工程实践、模型试验、现场量测、有限单元法及其它分析方法的基础上,作了适当的简化假定后提出的,可供设计挡板式护岸结构时使用和参考。该方法分析了两侧的土压力和底部的土体抗力,考虑三个平衡条件,建立了较为合理的计算公式和解法。其计算结果与已有的各种方法较为接近,并比有限单元法的结果略为偏小。因此,该方法是可信的、偏安全的,计算步骤较简便,推荐此方法作为挡板式护岸结构的一种设计计算方法。

参考文献

1 钱家欢.土力学.南京:河海大学出版社,1991

(收稿日期:1996-05-27 编辑:张志琴)