

倾斜基底护岸结构稳定性分析

陶桂兰,徐明磊

(河海大学交通学院,江苏 南京 210098)

摘要 结合 JTJ 300—2000《港口及航道护岸工程设计与施工规范》中推荐的抗滑、抗倾稳定计算方法,考虑倾斜基底对护岸结构稳定性影响以及内河航道船形波等荷载作用效应,对不同倾斜基底护岸进行了受力分析,建立了基于分项系数法的倾斜基底护岸稳定性表达式。算例表明,内倾基底护岸结构有利于提高结构的抗滑稳定性。

关键词 倾斜基底 护岸结构 抗滑稳定性 受力分析

中图分类号 :U656.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2007)04-0038-02

Stability analysis of revetment structure with inclined soleplate//TAO Gui-lan, XU Ming-lei (Traffic College, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : In consideration of the influence of inclined soleplate on the stability of revetment structure and the load effect of ship waves in inland river channels, the stress analysis of revetment structure with different soleplates was performed by use of the methods for anti-sliding and anti-inclining stability calculation, which was recommended by *Code for Design and Construction of Port and Waterway Revetment Engineering* (JTJ 300-2000), and formulas for the stability of revetment structure with inclined soleplate were established based on the partial coefficient method. Case study shows that the internal inclined soleplate is beneficial to improvement of the anti-sliding stability of revetment structure.

Key words : inclined soleplate ; revetment structure ; anti-sliding stability ; stress analysis

重力式护岸设计时应满足抗滑和抗倾覆稳定性要求。通常通过改变护岸结构的断面形状来满足抗倾覆稳定性要求,为提高抗滑稳定性,通常采用减小作用在结构上的土压力、提高基底摩阻系数以及通过设置齿坎或倾斜基底来满足。倾斜基底护岸的出现和使用已久,根据其基底倾斜方向有内倾和外倾两种形式。如何正确地分析倾斜基底对护岸抗滑的作用,对于降低工程造价、提高现有设计水平有着积极的工程意义。

1 倾斜基底护岸结构受力分析

1.1 作用荷载

作用于护岸结构上的荷载有墙前的被动土压力,墙后土体作用于护岸结构的主动土压力,此外墙体上还受到重力、墙前水压力、墙后水压力、船形波压力、扬压力等荷载。根据经验,要发生被动土压力,其墙体的位移必须达到 2% ~ 5% 的墙高,而实际位移往往达不到,因此,实际作用的被动土压力要乘以折减系数^[1],本文计算时取值为 0.3。

1.2 受力分析

如图 1 所示,设置倾斜基底即保持墙顶高度不变,而使墙踵下降,从而使基底具有向内或向外的斜坡。与水平基底相比,内倾基底后踵下降,外倾基底前踵下降。设平基底时作用于结构的水平力合力为 E_H ,垂直力为 $\sum N$,按倾斜基底的法线和切线方向分解,则内倾基底法向力和切向力为

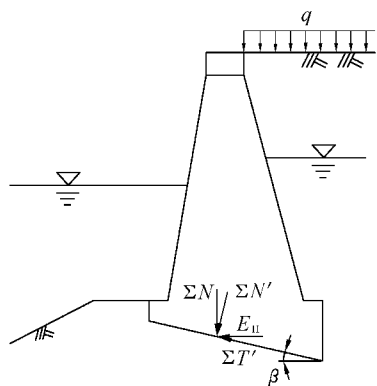
$$\begin{cases} \sum N' = \sum N \cos \beta + E_H \sin \beta \\ \sum T' = E_H \cos \beta - \sum N \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

式中 β 为基底与水平面的夹角。

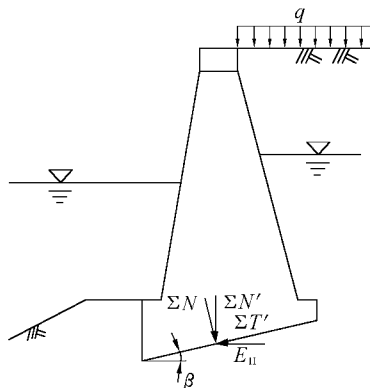
当垂直力 $\sum N$ 及水平力 E_H 大小不变时,由于设置内倾基底,其抗滑稳定性明显增大,且基底倾角越大,越有利于抗滑稳定。值得指出的是,由于内倾基底墙后踵加厚,使墙背土压力计算高度增大^[2],即墙后土压力将有所加大,抵消了部分内倾基底的抗滑作用。

对外倾基底,同样沿倾斜基底的法线和切线方向分解,则外倾基底法向力和切向力为

作者简介 陶桂兰(1962—),女,江苏南通人,副教授,硕士,从事港口航道工程结构研究。E-mail :shuigangxi@tom.com



(a) 内倾基底



(b) 外倾基底

图1 倾斜基底护岸结构示意图

$$\begin{cases} \sum N' = \sum N \cos \beta - E_H \sin \beta \\ \sum T' = E_H \cos \beta + \sum N \sin \beta \end{cases} \quad (2)$$

当垂直力 $\sum N$ 及水平力 E_H 与平基底相比大小不变时,由于设置了外倾基底,阻滑力变小,滑移力加大,抗滑稳定性将减小。但由于外倾基底前踵加厚,其墙前被动土压力将有所加大,有利于结构的抗滑稳定。

2 倾斜基底护岸结构稳定性分析

2.1 抗滑稳定性

当基底的倾角 β 不大于 45° 时,可假定滑动面即为基底斜面。根据 JTJ 300—2000《港口及航道护岸工程设计与施工规范》^[3] 5.5.4 要求,内河航道护岸结构的稳定性分析采用分项系数法,对内倾基底护岸,其抗滑稳定条件应满足:

$$g_1(x) = [(\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_u P_{Bu}) \cos \beta + (\gamma_E E_H + \gamma_{pw} P_w + \gamma_P P_B) \sin \beta] f / \gamma_d - \gamma_0 [(\gamma_E E_H + \gamma_{pw} P_w + \gamma_P P_B) \cos \beta - (\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_u P_{Bu}) \sin \beta] \geq 0 \quad (3)$$

对外倾基底护岸,其抗滑稳定条件应满足:

$$g_1'(x) = [(\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_u P_{Bu}) \cos \beta - (\gamma_E E_H + \gamma_{pw} P_w + \gamma_P P_B) \sin \beta] f / \gamma_d - \gamma_0 [(\gamma_E E_H + \gamma_{pw} P_w + \gamma_P P_B) \cos \beta + (\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_u P_{Bu}) \sin \beta] \geq 0 \quad (4)$$

式中: γ_G 为自重力分项系数,取 1.0; G 为自重力的标准值, kN; γ_E 为主动土压力的分项系数; E_H, E_V 分别为计算面以上永久作用总主动土压力的水平分力标准值和竖向分力标准值, kN; P_{Bu} 为波谷作用时计算面以上波浪浮托力的标准值, kN; f 为沿计算面的摩擦系数设计值; γ_0 为结构重要性系数,根据安全等级二级、三级分别取 1.0 和 0.9; γ_{pw} 为剩余水压力分项系数,取 1.05; P_B 为波谷作用时计算面以上水平波吸力的标准值, kN; γ_P 为波浪水平力分项系数; P_w 为作用于计算面以上的剩余水压力的标准值, kN; γ_u 为波浪浮托力分项系数,持久组合取 1.30, 短暂组合取 1.20; γ_d 为结构系数,无波浪作用取 1.0, 有波浪作用取 1.1; β 为基底与水平面的夹角。

2.2 抗倾稳定性

验算护岸抗倾稳定性时,可假定后趾底部以上土体对护岸的侧压力为主动土压力,前趾土压力为被动土压力。当墙体绕前趾转动时,即达到倾覆的极限状态。

根据 JTJ 300—2000^[3] 5.5.6 要求,结构须满足抗倾稳定,即:

$$g_2(x) = (\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_u M_{PBu}) / \gamma_d - \gamma_0 (\gamma_E M_{EH} + \gamma_{pw} M_{pw} + \gamma_P M_{PB}) \geq 0 \quad (5)$$

式中: M_{EH}, M_{EV} 分别为永久作用总土压力的水平分力标准值与竖向分力标准值对计算面前趾的倾覆力矩和稳定力矩, kN·m; M_{PBu} 为波谷作用时,作用在计算面上的波浪浮托力标准值对计算面前趾的稳定力矩, kN·m; M_{pw} 为剩余水压力标准值对计算面前趾的倾覆力矩, kN·m; M_{PB} 为波谷作用时水平波浪力标准值对计算面前趾的倾覆力矩, kN·m; M_G 为结构自重力标准值对计算面前趾的稳定力矩, kN·m; γ_d 为结构系数,无波浪作用取 1.25, 有波浪作用取 1.35。

3 算例分析

3.1 工程概况

某护岸工程,墙高为 3.0 m,航道为二级航道,水深 4 m,航道底坡为 5:1,墙体采用浆砌块石,墙后回填土的内摩擦角 30° ,土的密度是 1.8 g/cm^3 ,土的浮密度是 1 g/cm^3 ,基础与地基间的摩擦系数 $f = 0.4$,地基允许承载力 200 kPa,浆砌片石密度 2.3 g/cm^3 ,允许抗拉强度 120 kPa,墙前水深 0.5 m,墙前、墙后水位差为 0.3 m,压顶的长和高分别为 0.5 m 和 0.3 m,墙前被动土压力的折减系数取为 0.3,不考虑土的黏聚力。

3.2 计算结果分析

为了便于比较,将不同倾斜基底护岸结构的稳定性计算结果列于表 1 中。

(下转第 45 页)

明,超贫胶结材料坝的应力水平最大值出现在坝趾及坝踵处,坝踵处由于局部拉应力导致应力水平 $s \geq 1$,而坝趾处的应力水平最大值小于0.8,说明所设坝体剖面不会产生剪切破坏。

5 结 语

本文通过数学推导和计算程序编制,实现了超贫胶结材料坝的非线性有限元分析,通过‘虚加刚性弹簧法’和‘分步迭代法’解决了超贫胶结材料的软化特性引起的负刚度问题,并编制了非线性有限元计算程序,确定了应力控制标准,对胶凝材料用量为

50 kg/m³ 的超贫胶结材料坝进行了非线性分析,所得应力及应力水平分布规律合理,为超贫胶结材料坝非线性有限元分析奠定了基础。

参考文献：

[1] 张镜剑,孙明权.超贫胶结材料土石面板坝研究阶段报告[R].郑州:华北水利水电学院,2002.
[2] 孙明权,杨世锋,张镜剑.超贫胶结材料本构模型[J].水利水电科技进展,2007,27(3):35-37.
[3] 郭诚谦,陈慧远.土石坝[M].北京:水利电力出版社,1992:584-589.

(收稿日期:2007-04-12 编辑:熊水斌)

(上接第39页)

表1 不同倾斜基底护岸稳定性计算结果

基底倾斜方向	基底宽度/m	基底前趾厚度/m	基底后趾厚度/m	基底前趾长度/m	基底后趾长度/m	墙背倾角/(°)	抗滑稳定 $g_1(x)/kN$	抗倾稳定 $g_2(x)/(kN \cdot m)$	最大基底压力/kPa	墙身应力/kPa
平 基 底	3	0.4	0.4	0.2	0.2	73.34	4.830	150.616	38.076	42.829(压)
基底外倾	3	0.5	0.4	0.2	0.2	73.34	0.299	147.331	40.148	40.510(压)
基底内倾	3	0.4	0.5	0.2	0.2	73.34	9.904	158.082	40.958	42.829(压)
允 许 值							≥ 0	≥ 0	200	120(拉)

由表1计算结果可以看出,对于基底内倾的情况, $g_1(x) = 9.904 kN$,明显大于基底外倾时的0.299 kN,表明基底内倾有利于提高结构的抗滑稳定性,基底水平时,其抗滑稳定性介于内倾与外倾基底两者之间,而抗倾稳定性富裕度较大,一般不起控制作用。由此可见基底内倾的稳定性总体来说比基底外倾要好,在进行重力式护岸结构设计时,以采用内倾基底护岸结构更为经济合理。但需要注意的是,基底的倾斜角度一般不宜过大,以免挡土墙连同地基土体一起滑动,对于土基上的护岸结构,基底倾

角一般宜控制在10°以内^[4]。

参考文献：

[1] JTJ 290—98,重力式码头设计与施工规范[S].
[2] 陈忠达.公路挡土墙设计[M].北京:人民交通出版社,1999:70-101.
[3] JTJ 300—2000,港口及航道护岸工程设计与施工规范[S].
[4] 交通部第二公路勘察设计院.路基[M].北京:人民交通出版社,2001:591-604.

(收稿日期:2006-01-13 编辑:熊水斌)

(上接第41页)

c. 对于 $40 kg/m^3 < C < 70 kg/m^3$ 的超贫胶结材料坝,坝体剖面既要考虑坝体整体稳定和坝体应力状况,又要考虑坝坡的自身稳定及坝体局部抗剪强度,坝体剖面应介于土石坝剖面 and 混凝土坝剖面之间。

由上述分析,考虑 $C \leq 40 kg/m^3$ 时,超贫胶结材料坝采用上、下游等坡比的土石坝剖面,而 $C \geq 70 kg/m^3$ 时,采用上游较陡而下游较缓的、类似混凝土重力坝的剖面形式。

根据表1中计算的坝体稳定临界坡比,拟定超贫胶结材料坝的坝体剖面形式见表3。

4 结 语

本文对超贫胶结材料坝的剖面形式进行了研究,通过对不同胶凝材料用量的超贫胶结材料坝进行坝坡稳定分析,得出胶凝材料用量与坝坡稳定坡比值之间基本呈双曲线关系,提出了针对不同胶凝材料含量超贫胶结材料坝的‘三段设计法’,即‘超贫

表3 超贫胶结材料坝的上下游坡比

胶凝材料用量 $C/(kg \cdot m^{-3})$	稳定临界坡比	上游坡比	下游坡比
40	1:0.65	1:0.70	1:0.70
50	1:0.32	1:0.40	1:0.60
60	1:0.25	1:0.30	1:0.65
70	1:0.12	1:0.20	1:0.70

胶结材料坝胶凝材料用量小于 $40 kg/m^3$ 时,控制坝体剖面的是坝坡自身稳定性能,更趋于土石坝剖面;胶凝材料用量介于 $40 \sim 70 kg/m^3$ 之间的超贫胶结材料坝,坝体剖面既有混凝土重力坝的特征又有土石坝的特征;当胶凝材料用量为 $70 kg/m^3$ 以上时坝体剖面则属于重力坝剖面,这为进一步研究超贫胶结材料坝的剖面设计提供了指导性建议。

参考文献：

[1] SL319—2005,混凝土重力坝设计规范[S].
[2] 陈胜宏.水工建筑物[M].北京:中国水利电力出版社,2004:135-136.
[3] SL274—2001,碾压式土石坝设计规范[S].

(收稿日期:2007-02-15 编辑:熊水斌)