



高桩码头岸坡变形对岸坡稳定性影响分析

张强¹, 郑锋勇¹, 李辉²

U655.54.3

(1. 天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2. 天津港务局, 天津 300456)

摘要: 根据对天津港高桩码头岸坡现状的调查, 利用 REAME 程序分析了泥沙淤积对码头岸坡整体稳定性的影响。

关键词: 码头岸坡; 泥沙淤积; 变形临界值; 岸坡稳定

中图分类号: U655.54*4.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8443(2000)-02-0020-05

1 前言

高桩码头在使用一段时间后, 其岸坡因泥沙、杂物的淤积而发生变化, 造成其坡面标高和形状与设计值有较大的差别。在此情况下, 码头岸坡的稳定性是否会降低? 对码头基础稳定性是否会产生不良影响? 是否会发生危及码头安全的岸坡滑坡? 本文以天津港高桩码头岸坡为例, 通过采用 REAME¹⁾ (Rotational Equilibrium Analysis of Multilayered Embankments) 土坡稳定分析程序对高桩码头岸坡现状的稳定性进行验算分析, 探讨了这方面的问题。

2 REAME 程序说明

REAME 程序是采用传统的瑞典圆弧法, 即 Dellenius 法和简化的 Bishop 法, 通过计算滑动土体沿着圆筒状滑动面滑动的抗滑最小安全系数, 分析土坡的稳定性。该程序可用于分析由多种土质构成的斜坡, 可以考虑地震荷载, 渗流作用, 能自动搜索最危险的破坏面的圆心。

REAME 程序可用以求解最多达 20 条边界线 (19 种不同的土), 每条边界线上可有 50 个点、40 个条块、10 个半径控制区, 每个半径控制区的底部有 9 条边界线和 5 种渗流情况的土坡稳定课题。

REAME 程序中没有考虑任何支挡结构的加固作用, 它适用于素土坡的稳定计算。将有支挡结构的高桩码头岸坡按素土坡看待, 不计入桩的抗滑作用, 这在港工地基规范中是允许的。因此, 我们可以将天津港高桩码头岸坡, 按素土坡结构用 REAME 程序进行稳定计算分析。

3 码头岸坡地质资料及计算规定

天津港高桩码头的地基土层由上而下一般可分为淤泥质粘土、粘土、淤泥质粘土、粘土、亚粘土、亚砂土和粉砂层共 7 层, 各码头的地质结构基本相似。尽管是相同的土质, 但其物理力学指标也并不是完全一样, 有的差别还较大。但由于天津港高桩码头的岸坡结构形式较少, 且设计岸坡面形状相差不大, 所以本文挑选有代表性的天津港 16~18 段和 25~26 段码头为例进行岸坡稳定性分析, 计算其岸坡现状的稳定性指标—抗滑最小安全系数。码头岸坡土层物理力学指标见表 1。用于码头岸坡现状稳定分析的土层断面图如图 1 所示。图中“ A、B……”为土层编号。在计算分析中作以下规定:

a. 根据设计低水位 (+0.5 m 标高) 线来考虑土层内水的渗流作用;

收稿日期: 1999-12-23

作者简介: 张强 (1972-), 男, 天津市静海人, 研究实习员, 学士, 1995 年毕业于杭州大学, 港口工程专业, 现从事老结构评估及老码头修复新技术的开发等工作。

基金项目: 天津港务局资助项目

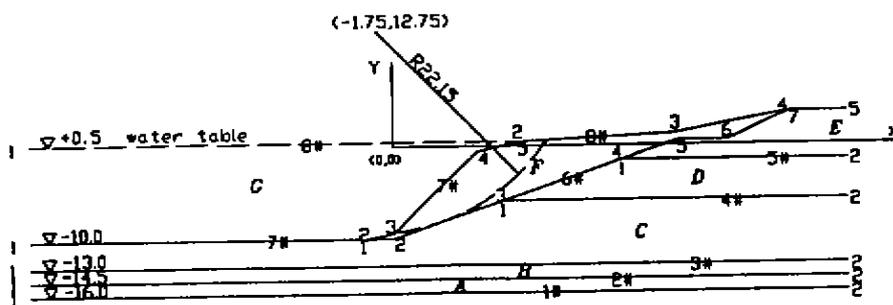
1) 黄仲贤. 土坡稳定分析程序 REAME. 美国肯塔基大学. 1981



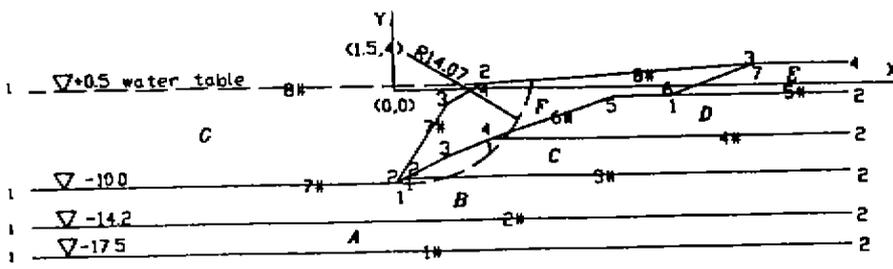
- b. 限于现有的土层力学参数,采用固结快剪试验所取得的 Φ (内摩擦角)和 C (内聚力)值;
- c. 岸坡上层的填砂抛石层 (E号土层)以 $\Phi = 45^\circ$ 、 $C = 490 \text{ kN/m}^2$ 、容重 $\gamma = 19.6 \text{ kN/m}^3$ 来考虑;
- d. 海水 (G号土层)以 $\Phi = 0$ 、 $C = 0$ 、 $\gamma = 10.05 \text{ kN/m}^3$ 的土层来考虑;
- e. 不考虑坡顶的荷载作用。

表 1 码头岸坡土层物理力学指标

码头泊位	土层编号	土层	标高 (m)	天然容重 (kN/m ³)	固结快剪	
					Φ (°)	C (kN/m ²)
16 ~ 18 段	A	粘土	-14.5 ~ -16.0	18.42	20.4	22.15
	B	砂质粘土	-13.0 ~ -14.5	18.62	13.62	29.4
	C	粘土	-6.0 ~ -13.0	17.05	15.65	13.33
	D	带状粘土	-6.0 以上	17.44	19.42	12.35
	E	填砂抛石层		19.6	45.0	490.0
	F	沉积淤泥		16.5	16.0	7.0
	G	海水		10.05	0.0	0.0
25 ~ 26 段	A	亚粘土	-14.2 ~ -17.5	18.62	26.5	7.84
	B	粘土	-9.5 ~ -14.2	16.76	14.5	6.86
	C	淤泥质粘土	-5.5 ~ -9.5	15.95	18.0	8.82
	D	粘土	-5.5 以上	16.76	14.5	8.82
	E	填砂抛石层		19.6	45.0	490.0
	F	沉积淤泥		16.5	16.0	7.0
	G	海水		10.05	0.0	0.0



a. 16-18段码头



b. 25-26段码头

图 1 岸坡现状稳定土层分析断面图



4 岸坡现状稳定性验算及分析

4.1 土层边界线及边界线上点的控制

用于进行岸坡稳定性验算的两个断面分别选自两个码头中淤泥最严重的断面。断面上边界线是由底部向顶部按顺序编号，每条边界线是由多点定义的，这些点自左向右编号，当两条边界线相交时，则该交点具有各属一条边界线的两个编号，如图1,a中6#线上的1号点也是7#线上的2号点。为了保证所有的圆弧都能计算到，寻求到最小的安全系数，要求最低和最高边界线的端点(如图1,a中1#边界线的1号点和2号点、8#边界线的1号点和5号点)要尽可能延伸得远些。表2列出了进行稳定性计算所需的两个码头实际岸坡断面土层边界线上各点的坐标。

4.2 岸坡现状稳定性计算结果及分析

通过 REAME 程序计算所得具有抗滑最小安全系数的岸坡滑动圆弧的圆心、圆弧半径和安全系数见表3,其圆弧滑动线见图1中的虚线。

表2 边界线上各点坐标

码头泊位	边界线号	边界线上各点坐标						
		1	2	3	4	5	6	7
16~18段	1#	(-40.0, -16.0)	(50.0, -16.0)					
	2#	(-40.0, -14.5)	(50.0, -14.5)					
	3#	(-40.0, -13.0)	(50.0, -13.0)					
	4#	(12.0, -6.0)	(50.0, -6.0)					
	5#	(25.2, -1.6)	(50.0, -1.6)					
	6#	(-3.0, -10.0)	(0.0, -10.0)	(12.0, -6.0)	(25.2, -1.6)	(31.5, 0.5)	(37.0, 0.5)	(43.8, 3.6)
	7#	(-40.0, -10.0)	(-3.0, -10.0)	(0.0, -9.45)	(9.15, -0.6)	(14.0, 0.5)		
	8#	(-40.0, 0.5)	(14.0, 0.5)	(31.0, 1.25)	(43.8, 3.6)	(50.0, 3.6)		
25~26段	1#	(-40.0, -17.5)	(50.0, -17.5)					
	2#	(-40.0, -14.2)	(50.0, -14.2)					
	3#	(-40.0, -9.5)	(50.0, -9.5)					
	4#	(10.3, -5.5)	(50.0, -9.5)					
	5#	(30.5, -1.0)	(50.0, -1.0)					
	6#	(0.0, -10.0)	(1.0, -9.5)	(5.6, -7.2)	(10.3, -5.5)	(24.2, -1.0)	(30.5, -1.0)	(39.8, 2.32)
	7#	(-40.0, -10.0)	(0.0, -10.0)	(7.25, -2.31)	(9.5, 0.5)			
	8#	(40.0, 0.5)	(9.5, 0.5)	(39.8, 2.32)	(50.0, 2.32)			

表3 抗滑最小安全系数

码头泊位	滑弧圆心坐标(m)	滑弧半径(m)	抗滑最小安全系数
16~18段	(-17.5, 12.75)	22.150	1.180
25~26段	(1.5, 4.0)	14.075	1.198

港工地基规范中对土体按固结快剪力学指标所确定的岸坡抗滑最小安全系数为 1.1~1.3,如计算所得岸坡抗滑最小安全系数大于该标准,则表示土坡稳定,反之则可能滑坡。表3中计算所得岸坡抗滑最小安全系数均符合规范标准,这表明码头岸坡现状是稳定的。另外,如考虑桩的抗滑作用,则安全系数还会提高。



5 引起码头岸坡滑坡的岸坡变形临界值

关于引起岸坡滑坡的岸坡变形临界值的确定，由于对不同范围和程度的岸坡滑坡都有其对应的岸坡变形临界状态，所以要确定岸坡变形临界值，必须先假设岸坡滑坡的范围和程度。在此我们规定因岸坡变形而产生的岸坡滑坡，其范围和程度以临界状态滑动圆弧面（岸坡抗滑最小安全系数为 1）不破坏原码头设计岸坡线为准。引起岸坡变形的原因有两种，一种是泥沙在岸坡上的淤积所为，一种是在码头前沿处对岸坡的开挖所造成的。由于后一种违反了规定的条件，故不作讨论。这里仅就第一种情况来寻求使岸坡处于滑坡临界状态的岸坡变形值。

从图 1 来看，由于泥沙淤积，6[#]、7[#] 和 8[#] 边界线将发生变化，而其它边界线不会改变，所以这里只对 6[#]、7[#] 和 8[#] 边界线条件进行假设，来寻求岸坡抗滑最小安全系数为 1 的岸坡临界状态。表 4 数据是经过反复多次假设，利用 REAME 程序计算得出的码头岸坡抗滑最小安全系数为 1 时的岸坡情况，其滑弧面见图 2 中的圆弧虚线。从图 2 中虚线所示土坡圆弧滑动线来看，滑弧面没有穿过原设计岸坡线，若岸坡土体滑坡，也仅限于设计岸坡线上的沉积淤泥部分，且是局部性的，原码头岸坡的整体性没有破坏。从这一点来看，可以认为它对岸坡整体稳定性将没有影响。使岸坡具有抗滑最小安全系数为 1 的岸坡线就是我们所寻求的引起岸坡滑坡的岸坡变形临界值。

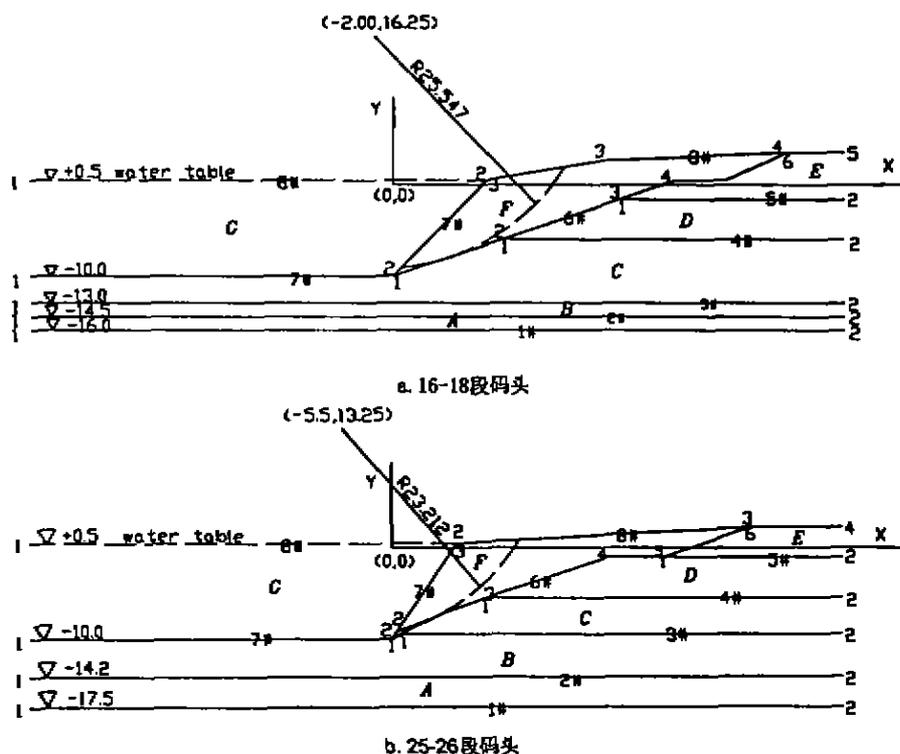


图 2 岸坡变形临界值假设土层分析断面图

其实，寻求得到具有抗滑最小安全系数为 1 的岸坡变形临界值的岸坡线假定情况不止表 4 中的一种，通过不断改变边界条件，还可以寻求到其它的岸坡变形临界值。对此，我们继续寻求了其它几种岸坡变形临界值，但其滑弧面都没有穿过原设计岸坡线，只是滑弧圆心和滑弧半径改变了。尽管假定的岸坡变形临界值并不一定是实际上的岸坡变形临界值，但这足以说明岸坡因泥沙淤积而变形到一定程度（滑坡临界状态）之后，岸坡表层泥沙淤积部分将产生局部滑坡。



表 4 岸坡线假设边界上各点坐标

码头泊位	边界线号	边界线上各点坐标						
		1	2	3	4	5	6	7
16	6#	(0.10, -10.0)	(12.0, -6.0)	(25.2, -1.6)	(37.0, 0.5)	(37.0, 0.5)	(43.8, 3.6)	
-	7#	(-40.0, -10.0)	(0.0, -10.0)	(10.29, 0.5)				
18	8#	(-40.0, 0.5)	(10.29, 0.5)	(23.0, 2.64)	(43.8, 3.6)	(50.0, 3.6)		
25	6#	(0.0, -10.0)	(1.0, -9.5)	(5.6, -7.2)	(10.3, -5.5)	(24.2, -1.0)	(30.5, -1.0)	(39.8, 2.32)
-	7#	(-40.0, -10.0)	(0.0, -10.0)	(7.16, 0.5)				
26	8#	(40.0, 0.5)	(7.16, 0.5)	(39.8, 2.32)	(50.0, 2.32)			

由以上分析可以推知,在码头前沿岸坡标高不变的前提下,码头岸坡因泥沙淤积而发生的变形不会无限发展,它有一个临界值,岸坡变形在到达该临界值之后将会发生局部失稳而滑坡,滑坡主体为沉积淤泥,滑坡之后土体又恢复到平衡稳定状态,如此反复循环,滑坡面不破坏原码头设计岸坡线.淤泥在码头岸坡上的沉积始终处于一种动态平衡的状态.所以,岸坡因泥沙淤积而产生的变形对岸坡稳定性没有影响.

6 结 语

通过以天津港为例对其高桩码头岸坡现状的稳定性计算分析表明:高桩码头岸坡虽因泥沙淤积而发生变形,但它不会无限发展,它有一个变形临界值(即极限值)。在岸坡变形到达该临界值之后,岸坡将发生仅限于沉积淤泥的局部滑坡,其滑弧面不破坏原码头设计岸坡线。沉积淤泥的局部失稳滑动是淤积泥沙稳定性的内部自我调整,对码头岸坡的整体稳定性没有影响,码头岸坡不存在因岸坡淤积变形而发生整体滑坡的危险。

参考文献

[1] 中华人民共和国交通部. 港口工程地基规范(JTJ250-98)[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

Analysis of the Influence of Bank Deformation of Open Type Pier on Piles Its Bank Stability

ZHANG Qiang¹, ZHENG Feng-yong¹, LI Hui²

(1. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China;

2. Tianjin Port Authority, Tianjin 300456, China)

Abstract: Based on the investigation of the bank slope conditions of the open type pier on piles in Tianjin Port, the effect of sediment deposition on the whole bank stability of open type pier on piles is analyzed by using the program "RE-AME"

Keywords: bank slope of wharf; sediment deposition; critical value of deformation; bank stability