

围头港斜坡堤护脚棱体修复优化试验研究

吴中杨越,马洪蛟

(河海大学交通与海洋工程学院,江苏南京 210098)

摘要: 晋江围头万吨级对台贸易码头的引堤护脚遭到了台风浪的破坏.根据模型试验研究,发现不规则波比规则波对棱体的破坏严重.在综合考虑影响棱体稳定的3个主要因素的基础上,提出了满足稳定要求的优化修复断面形式.

关键词: 护脚棱体 斜坡堤 稳定性 围头港

中图分类号:U656.2 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2002)03-0099-04

晋江围头万吨级对台贸易码头建于晋江围头湾北侧,码头为突堤式,布置在自然水深10m左右的离岸水域,通过长约600m的引堤与岸连接.其中与岸连接的后引堤段200m,为加糙丁砌条石断面(凹凸护面),条石长1.2~1.4m(一般条石长1.2m、加糙条石长1.4m),坡度1:2.条石护坡下部采用顶宽1.5m、底宽2.0m的压脚混凝土方块,压块顶标高为+1.8m,底标高为+0.6m(当地理论基面,下同).混凝土压块外为块石棱体,采用300~400kg天然块石,表面两层至三层采用理砌方式填筑.天然块石棱体外部有5.0m宽的护底,护底高程-1.9m,底标高-2.4m.原设计断面如图1所示.

该堤完工以后,经历年风浪作用及几次台风浪的考验,斜坡堤丁砌条石护面及下部压脚方块仍基本完好,但压脚混凝土块体外侧块石棱体遭到损坏,高程0.6m以上块石大都被风浪带走.根据现场考察了解,后引堤原断面抛石棱体块石300~400kg偏小,而中低水位时波浪较大,波浪在此处破碎而产生较大的破坏力是造成抛石棱体损坏的重要原因.

斜坡式防波堤水下抛石棱体的作用,除了可以减少主护面块石的数量外,还起着支撑护面、防止护面块石下滑及保护护底块石免遭冲刷的作用.由于围头万吨级对台贸易码头的后引堤斜坡护脚棱体遭到严重损坏,需要提出经济合理的修复断面设计.

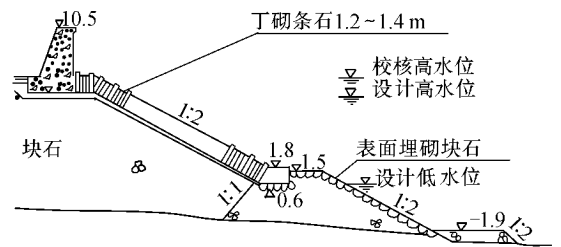


图1 围头对台贸易码头原引堤断面示意图
Fig.1 Cross-section of damaged approach bank of Weitou Harbor

1 护脚棱体修复的设计思路

棱体断面的修复主要应考虑块石的重量和形式,在满足稳定的条件下,寻求工程量小、费用低的修复方案.针对棱体不稳定的现象,从提高棱体稳定性的角度出发,设计修复方案从两个方面考虑.其一是增大棱体平台,同时增大棱体表层部分块石重量,预想通过增大块石重量提高棱体的稳定性.棱体平台的加大可以更好地保护斜坡堤脚.初始的设计如图2所示(方案1),其护脚部分在原护脚混凝土方块外侧安放三排4t重四脚空心方块压顶,顶高程+1.8m.在四脚空心方块外侧设天然块石棱体,宽5.0m.棱体为两层350~500kg块石护面,块石棱体顶部高程+1.5m.其二是改变棱体平台的形式,降低抛石棱体平台的高程.考虑到围头码头后引堤斜坡护面在棱体平台遭受损坏的情况下仍保持稳定,设想采用人工块体护面的二级平台的形式,减少入射波浪破碎对棱体的直接作用,从而提高棱体的稳定性.护面的人工块体形式和重量由试验确定(方案2).两种不同思路的棱体修复方案需要通过模型试验验证和优化.

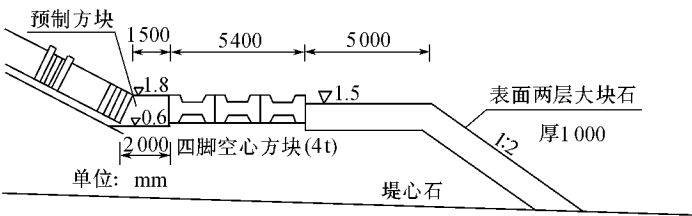


图2 围头对台贸易码头棱体修复断面示意图(方案1)
Fig.2 Schematic diagram of repaired cross-section(alternative 1)

2 试验方法

模型按重力相似律设计,模型比尺为1:33.6.支撑插砌条石的压脚混凝土方块、斜坡护面块体、抛石棱体的压顶和四脚空心方块等人工块体都按比重用水泥、黄砂和铁砂浇制而成,密度为2.3t/m³,重量误差控制在±3%.试验累计时间相当于原型3h左右^[1~3].

试验波浪重现期定为50年一遇,在规则波试验时,采用中低水位的有效波高及极限波高的波浪进行棱体稳定试验.为确保棱体试验结果的可靠性,还进行中高水位规则波试验和若干水位的不规则波试验,波谱采用福建沿海海域现场波浪观测资料拟合的JONSWAP谱,谱峰升高因子取 $\gamma=2.3$ ^①.试验参数见表1.

表1 波浪试验参数
Table 1 Parameters of wave tests

水位/m	规则波			不规则波	
	波高/m	极限波高/m	周期/s	有效波高/m	谱峰周期/s
5.00	3.75		7.23	3.75	7.95
3.50	3.40		7.23	3.40	7.95
2.50	2.95	3.80	7.23	2.95	7.95
1.50	2.40	3.00	7.23	2.40	7.95
0.66	1.97	2.30	7.23	1.97	7.95

3 护脚棱体修复试验结果

3.1 方案1试验

对方案1按表2进行了有效波和极限波的规则波试验,其压顶四脚空心方块和抛石棱体在波浪作用下稳定或基本稳定(位移的块石为3%~10%,护脚填筑体有少许被波浪打击而变平缓,但护脚支撑的上部护面层的整体功能仍然完整,其破坏程度尚可容忍).但对此方案的棱体进行了3种水位的不规则波试验结果都不能满足稳定要求(表2).

表2 不规则波试验棱体稳定观察结果
Table 2 Observed results of toe berm in irregular wave tests

水位/m	水深/m	有效波高/m	四脚方块(4t)	350~500kg棱体块石
0.66	3.06	1.97	稳定	棱体块石堆筑断面有较大变形,部分块石被打至四脚方块上,棱体外角处心石裸露,不稳定
1.50	3.90	2.40	个别前排块体有振动感,稳定	棱体块石堆筑断面有较大变形,部分块石被打至四脚方块上,棱体外角处心石裸露,不稳定
2.50	4.90	2.95	前排部分块体迎浪有振动现象,临界	一些块石随波来回移动,一些块石滚落或被打上人工块体平台与斜坡,棱体断面有较大变形,内心石裸露,不稳定

3.2 方案1棱体损坏原因分析

从方案1试验可以发现,不规则波相对规则波而言对棱体有较大的破坏作用,相应棱体的损坏较为严重.这是因为规则波的波长、波坦等波动特征量在水下地形一定时相对较为一致,从而规则波行进至堤前与

① 福建省港航管理局,河海大学,海洋局第三海洋研究所.福建沿海海浪谱分析研究,1997.

棱体作用的打击点位置也相对固定.因此,在规则波作用下,块石棱体虽有局部损坏(如棱体转角处),但经过一段时间的波浪作用会有一定的调整,尚可保持棱体的整体稳定.在试验时段内也未发现棱体损坏现象进一步恶化,棱体的堤心石也未暴露.而在不规则波作用下,由于其波长、波坦等波动特征量是随机变化的,对棱体作用时的打击点位置、力的大小和作用历时长短也随机变化,而且不规则波波列中还有比规则波波高更大的波存在.如果棱体表面块石达不到足够的重量,经过一段时间波浪作用,便不能通过棱体断面的自然调整形成新的较稳定棱体断面.因而在不规则波浪作用下,棱体表面块石上抛下滚、逐层剥蚀,最终出现堤心石裸露.如果遇大风浪作用势必影响压脚方块稳定,进而威胁护面条石的稳定.究其根本原因,仍是块石棱体顶部高程偏高,波浪对棱体块石的作用较强烈,原设计断面的棱体块石在波浪作用下难以保持稳定.

3.3 方案 2 试验及断面优化

针对方案 1 试验所反映出的棱体失稳的原因,采用方案 2 思路进行断面修复,方法是降低块石棱体顶部高程,增加棱体块石重量,采用人工块体掩护坡脚,并对多种修改断面形式进行规则波和不规则波试验.修改断面采用上下两级平台,上平台顶高程仍为 +1.8 m,采用人工块体护顶及护坡,下平台为块石棱体,棱体块石护面采用 800~1000 kg 块石,块石棱体顶面采用 0.0~-1.4 m 不同高程进行试验.上平台护顶、护面块体先后采用 1.8 t、2.8 t 扭王块、1.8 t 扭工块、4.0 t、5.0 t 和 6.6 t 四脚空心方块进行比较试验,在满足稳定要求的前提下,尽可能减少工程量.从施工方便、单位面积用混凝土量少的因素综合考虑,最终采用 6.6 t 四脚空心方块修复断面,棱体采用 800~1000 kg 天然块石,两块四脚空心方块护面斜坡(单块四脚空心方块宽 2.13 m,高 1.28 m),下平台宽 3.50 m,顶高程 -0.7 m(图 3).

3.4 方案 2 优化断面试验结果

对方案 2 优化棱体修复断面进行了规则波、规则极限波和不规则波试验,结果表明基本能够满足 50 年一遇风浪作用下自身的稳定(见表 3).

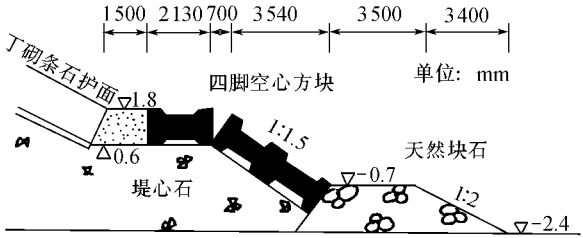


图 3 方案 2 优化棱体修复断面

Fig.3 Optimum repaired cross-section (alternative 2)

表 3 方案 2 优化断面试验观察结果
Table 3 Test results of alternative 2

水位 /m	水深 /m	有效波高 /m	规则波		不规则波	
			四脚方块 (6.6 t)	800~1000 kg 块石	四脚方块 (6.6 t)	800~1000 kg 块石
0.66	3.06	1.97	稳定	稳定	稳定	稳定
0.66	3.06	2.30*	稳定	稳定		
1.50	3.90	2.40	稳定	稳定	第二排个别块体迎浪面转动上抬后卡住,最大位移小于 30 cm,块体未脱出,也未复位,处于临界状态	个别块石向上滚动,稳定
1.50	3.90	3.00*	稳定	稳定		
2.50	4.90	2.95	稳定	稳定	稳定	少量块石被打上人工块体,稳定
2.50	4.90	3.80*	稳定	稳定		
3.50	5.90	3.40	稳定	少量块石被打上人工块体,基本稳定	稳定	少量块石被打上人工块体,部分块石有来回移动,基本稳定
5.0	7.40	3.75	稳定	稳定	稳定	部分块石有来回移动,基本稳定

* 该水深下的极限波高

4 结 论

通过模型试验研究,得到图 3 所示的晋江围头万吨级对台贸易码头后引堤优化修复设计断面,修复断面能基本满足 50 年一遇大风浪作用下的稳定要求.总体上说,该断面工程量较小,工程费用比较少,福建当地也能够满足 0.8~1.0 t 棱体块石的工程需求.为确保低水位(高程为 +1.5 左右)时四脚空心方块的稳定,建

议在棱体坡肩的两个块体之间采取加固措施 ,以阻止第二排块体迎浪上抬时产生的块体转动 ,并可以减小波浪水流上冲和下泻时对第一排和第二排四脚空心方块的冲击力.

模型试验表明 ,不规则波对斜坡堤护脚棱体的作用比对应于有效波高的规则波大 ,在进行断面设计试验时应进行不规则波试验.

模型试验证明 ,抛石护脚棱体的稳定 ,除波浪因素外 ,主要由棱体平台水下深度、块石重量以及棱体和斜坡堤形式决定. 棱体断面设计的优化可以从这 3 个因素入手 ,求得综合较优的棱体结构形式 ,但同时还应该注意棱体结构的改变对斜坡堤护面稳定的影响.

围头港斜坡堤护脚 2000 年 7 月按方案 2 修复后 ,经受了 2000 ~ 2001 年的台风浪考验 ,修复工程效果良好.

参考文献 :

[1]JTJ 213-98 ,海港水文规范 [S].
[2]JTJ 301-88 ,波浪模型试验规程(试行) [S].
[3]JTJ 298-98 ,防波堤设计与施工规范 [S].

Experimental Study on Optimization of Toe Berm Repair for Weitou Sloping Breakwater

WU Zhong , YANG Yue , MA Hong-jiao

(College of Traffic and Ocean Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The toe berm of the approach bank at the Weitou Harbor is damaged by typhoon surges . From model tests , it is found that the damage caused by irregular waves is more serious than that by regular waves . Based on comprehensive consideration of three main factors , an optimal alternative for toe berm repair , which satisfies the demand of stability , is put forward .

Key words : toe berm ; slopping breakwater ; stability ; Weitou Harbor