



## 护面块体掩护下胸墙波浪力分析

于忠涛<sup>1</sup>, 张文杰<sup>2</sup>, 赵凯<sup>1</sup>

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 沧州市黄骅港务局, 河北 沧州 061113)

**摘要:** 在JTJ 213—1998《海港水文规范》及JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》中对斜坡式防波堤胸墙波浪力计算有所规定, 但与物理模型试验实测结果相比有一定差异。结合工程实例, 对现行规范计算结果与物理模型实测结果进行对比分析, 总结了本工程防波堤胸墙的实际受力模式, 供类似工程设计时参考。

**关键词:** 围堰; 胸墙; 波浪力; 模型试验

中图分类号: U 656.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0050-05

### Wave force analysis for breakwaters crest under protection of armor block protect

YU Zhong-tao<sup>1</sup>, ZHANG Wen-jie<sup>2</sup>, ZHAO Kai<sup>1</sup>

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. City of Cangzhou, Port Authority of Huanghua, Cangzhou 061113, China)

**Abstract:** Code of Hydrology for Sea Harbor and Code of Design and Construction of Breakwaters provide the calculation method of wave force for breakwaters crest. But there are some differences between calculation results and physical model test. Combining with the project example, this paper compares and analyses the calculation results by current codes and physical model tests to summarize the actual stress mode of breakwater's crest and to provide reference for similar projects.

**Key words:** cofferdam; parapet; wave force; model test

胸墙是防波堤、围堰的重要组成部分, 良好的胸墙设计不仅起到较好的防护效果, 还可以有效节约工程造价<sup>[1]</sup>。防波堤、围堰胸墙长期承受波浪力的作用, 为保证胸墙的稳定, 通常在胸墙前设置护面块体作为掩护。现行的JTJ 213—1998《海港水文规范》<sup>[2]</sup>及JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》<sup>[3]</sup>对护面块体掩护下的防波堤、围堰胸墙波浪力计算做了规定。本文通过围堰胸墙断面物模试验波浪力实测数据与现行规范规定波浪力计算进行对比分析, 得出了护面块体掩护下防波堤、围堰胸墙的实际受力与规范计算时的差异, 供类似工程设计时参考。

### 1 工程概况

#### 1.1 水位

极端高水位5.61 m, 设计高水位4.05 m, 设计低水位0.62 m, 极端低水位-1.22 m。

#### 1.2 设计波要素

本工程重现期25 a, 各累计频率设计波要素如表1所示。

表1 设计波要素

设计水位/m	$H_{1\%}$ /m	$H_{4\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	$\bar{H}$ /m	$\bar{T}$ /s
5.61	6.02	5.26	5.12	4.43	2.98	9.0
4.05	5.65	4.96	4.83	4.20	2.86	9.0
0.62	4.27*	4.06	3.97	3.50	2.45	9.0

收稿日期: 2012-07-20

作者简介: 于忠涛(1979—), 男, 注册土木工程师(港航), 从事港口航道工程设计工作。

### 1.3 设计断面

该工程位于黄骅港散货港区, 围堰结构形式为抛石斜坡堤, 护面块体为7 t扭王字块, 胸墙为浆砌块石结构。

首先抛填10~100 kg堤心石, 外坡及内坡均为1:1.5。堤心石外侧设500~700 kg块石垫层、7 t

扭王字块护面。堤心石内侧由内到外依次设置二片石垫层0.8 m, 混合倒滤层0.8 m, 土工布倒滤层2层及模袋混凝土0.25 m。堤心石顶部设浆砌块石胸墙, 胸墙顶高程6.0 m。设计结构断面如图1所示, 胸墙结构断面如图2所示。

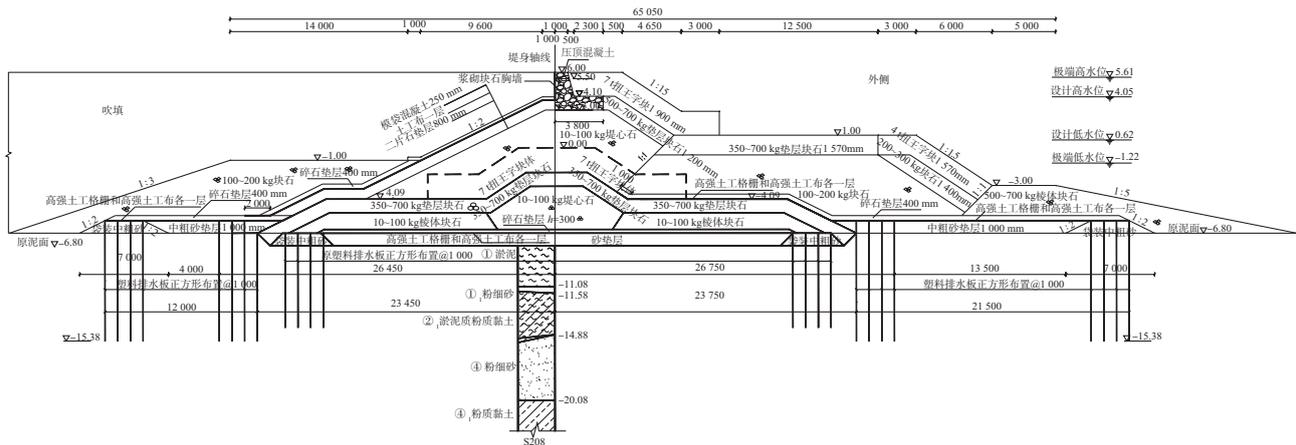


图1 围堰结构断面 (单位: mm)

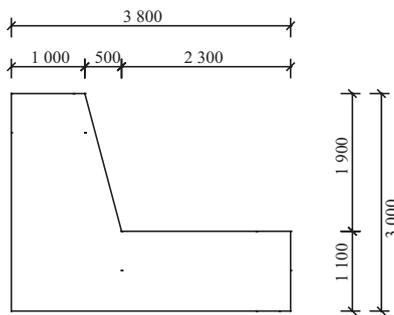


图2 胸墙结构断面 (单位: mm)

### 2 胸墙波压力计算

按照JTJ 213—1998《海港水文规范》<sup>[2]</sup>规定, 波峰作用下胸墙上的平均波压力强度按下式计算:

$$\bar{p} = 0.24gHK_p \quad (1)$$

式中:  $\bar{p}$  为平均压力强度 (kPa);  $K_p$  为与无因次参数  $\zeta$  和波坦  $L/H$  有关的平均压强系数。

按照JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》<sup>[3]</sup>第4.2.21条规定, 胸墙前有块体掩护时, 作用在胸墙上的水平波浪力和波浪浮托力乘以折减系数0.6~0.7。

根据规范计算本工程胸墙在极端高水位、设计高水位承受波浪力如表2所示, 胸墙波压力如图3所示。计算结果见表3。

表2 胸墙波浪力计算结果 kPa

水位	$\bar{p}$	$0.6\bar{p}$
极端高水位	79.97	47.98
设计高水位	65.33	39.20

表3 胸墙受力计算结果 kN/m

水位	水平力	浮托力	竖向波压力
极端高水位	143.94	91.16	110.35
设计高水位	117.60	74.48	90.16

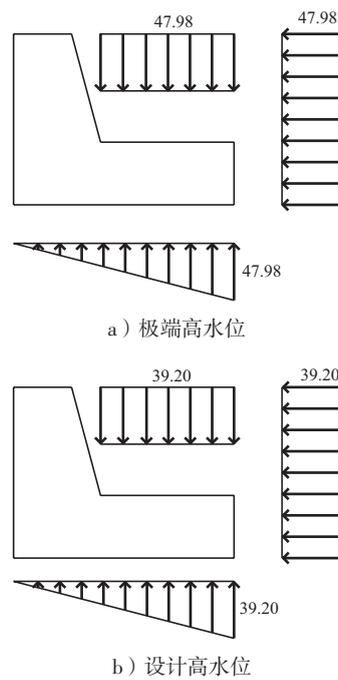


图3 极端高水位、设计高水位胸墙波压力(单位: kPa)

### 3 断面物理模型试验<sup>[4]</sup>

#### 3.1 断面物理模型试验参数

本工程对围堰胸墙进行了断面物模试验，断面物理模型试验在水槽中进行，水槽长68 m，宽1.0 m，高1.5 m，如图4所示。造波机为电机伺服驱动推板吸收式造波机，可以产生规则波与不规则波。断面模型按重力相似准则设计，结构断面尺寸满足几何相似，模型选用几何比尺 $\lambda=25$ ，即水深比尺、波高比尺、波长比尺均为25，周期比尺为 $\lambda_t=5$ ，力比尺为 $\lambda_f=15\ 625$ 。不规则波采用频谱模拟，试验波要素规范谱计算参数如表4所示。进行断面试验时，每个水位条件下模拟原体波浪作用时间取3 h。断面模型摆放如图5所示，胸墙压力测点布置如图6所示。

表4 试验波要素规范谱计算参数

水位/m	水深d/m	$H_{13\%}/m$	$T_s/s$	$H^*$	$P$
极端高水位5.61	12.41	4.43	10.35	0.22	1.29
设计高水位4.05	10.85	4.2	10.35	0.24	1.20
设计低水位0.62	7.42	3.5	10.35	0.30	0.94



图4 风浪水槽实景

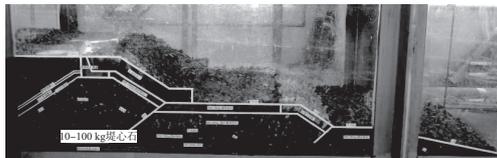


图5 围堰断面模型摆放

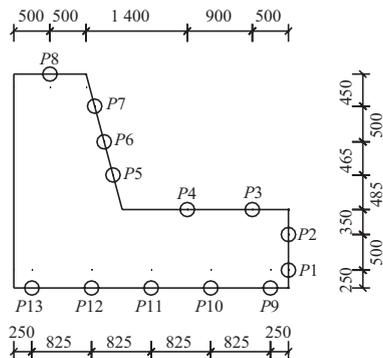
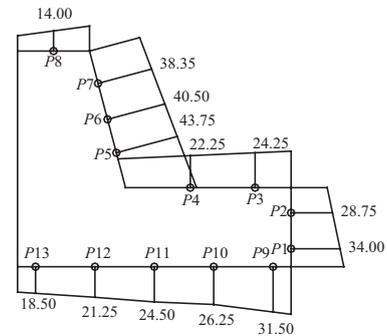


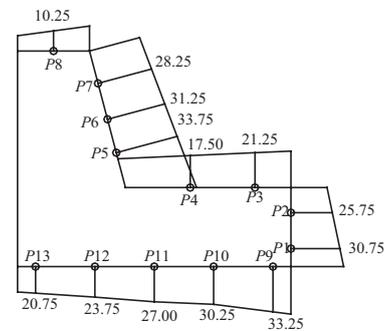
图6 胸墙波压力(单位: mm)

#### 3.2 胸墙各测点压强实测结果

按照表1所提供波要素，围堰胸墙各测点波浪力试验实测结果如表5及图7~10所示。

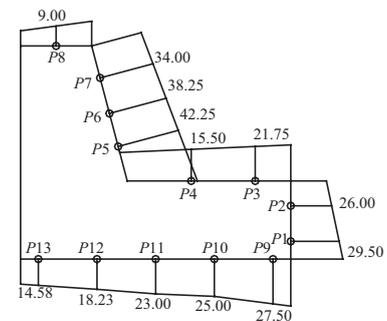


a) 水平点

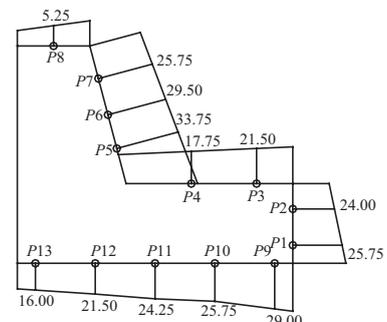


b) 竖向点

图7 不规则波、设计高水位最大压力(单位: kPa)

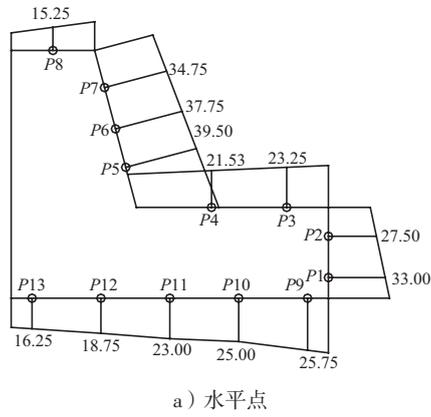


a) 水平点

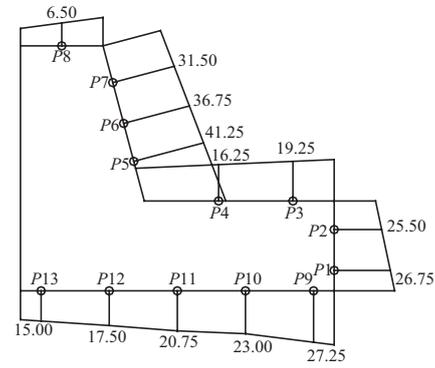


b) 竖向点

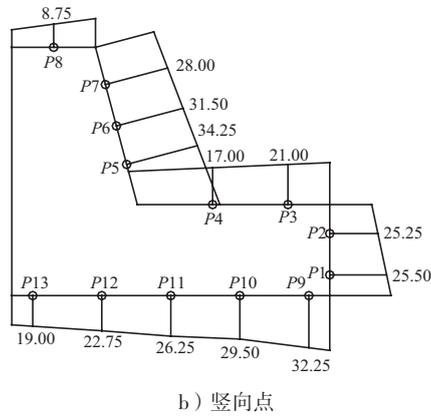
图8 不规则波、极端高水位最大压力(单位: kPa)



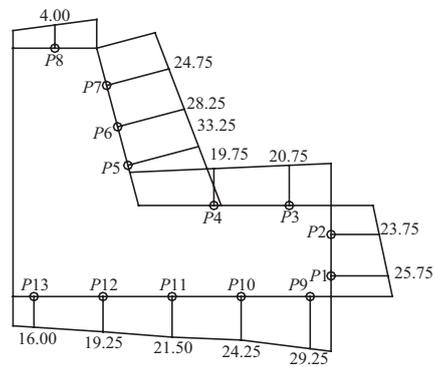
a) 水平点



a) 水平点



b) 竖向点



b) 竖向点

图9 规则波、设计高水位最大压力(单位: kPa)

图10 规则波、极端高水位最大压力(单位: kPa)

表5 不同水位各测点压强结果

条件	测点位置	测点号	kPa			
			设计高水位		极端高水位	
			最大水平力	最大竖向力	最大水平力	最大竖向力
不规则波	胸墙迎浪侧	P1	34.00	30.75	29.50	25.75
		P2	28.75	25.75	26.00	24.00
		P3	24.25	21.25	21.75	21.50
		P4	22.25	17.50	15.50	17.75
		P5	43.75	33.75	42.25	33.75
		P6	40.50	31.25	38.25	29.50
		P7	38.50	28.25	34.00	25.75
		P8	14.00	10.25	9.00	5.25
	胸墙底部	P9	31.50	33.25	27.50	29.00
		P10	26.25	30.25	25.00	25.75
		P11	24.50	27.00	23.00	24.25
		P12	21.25	23.75	18.23	21.50
		P13	18.50	20.75	14.58	16.00
规则波	胸墙迎浪侧	P1	33.00	25.50	26.75	25.75
		P2	27.50	25.25	25.50	23.75
		P3	23.25	21.00	19.25	20.75
		P4	21.53	17.00	16.25	19.75
		P5	39.50	34.25	41.25	33.25
		P6	37.75	31.50	36.75	28.25
		P7	34.75	28.00	31.50	24.75
		P8	12.25	8.75	6.50	4.00
	胸墙底部	P9	25.75	32.25	27.25	29.25
		P10	25.00	29.50	23.00	24.25
		P11	23.00	26.25	20.75	21.50
		P12	18.75	22.75	17.50	19.25
		P13	16.25	19.00	15.00	16.00

### 3.3 计算结果

根据胸墙各测点波浪力波压力试验实测结果, 得出胸墙每延米承受波浪力如表6所示。

受力方向	水位	波要素	水平力	浮托力	竖向波压力
水平力 最大	设计 高水位	不规则波	109.60	90.21	30.26
		规则波	101.58	80.29	24.45
	极端 高水位	不规则波	100.56	80.28	34.06
		规则波	95.80	76.73	34.48
竖向力 最大	设计 高水位	不规则波	87.97	99.76	52.47
		规则波	85.34	95.99	50.75
	极端 高水位	不规则波	81.91	86.08	43.38
		规则波	80.15	81.73	38.46

## 4 综合分析

1) 根据JTJ 213—1998《海港水文规范》<sup>[2]</sup>中波压力计算公式, 极端高水位工况下胸墙承受波压力强度为47.98 kPa, 设计高水位工况下胸墙承受波压力强度为39.20 kPa, 极端高水位工况下胸墙承受波压力大于设计高水位。

根据断面物模试验结果, 胸墙在极端高水位情况下各测点波压力均小于在设计高水位下各测点波压力。

2) 按照JTJ 213—1998《海港水文规范》<sup>[2]</sup>及JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》<sup>[3]</sup>, 胸墙在波浪作用下浮托力为三角形分布。根据断面物理模型试验结果, 胸墙在波浪作用下浮托力为梯形分布。

本工程中, 胸墙承受的浮托力按照规范计算, 外侧最大压强为47.98 kPa (极端高水位时 $H_{1\%}$ ), 内侧压强为0, 胸墙断面受到的浮托力为91.16 kN/m (极端高水位时 $H_{1\%}$ )。断面物理模型试验结果为外侧最大压强为33.25 kPa (设计高水位时 $H_{1\%}$ ), 内侧最小压强为20.75 kPa (设计高水位时 $H_{1\%}$ ), 胸墙断面受到的浮托力为99.76 kN/m (设计高水位时 $H_{1\%}$ )。胸墙断面每延米承受波浪浮托力规范计算值比物理模型试验值偏小。

3) 按照规范胸墙承受的波浪水平力为矩形分布。根据断面物理模型试验结果, 胸墙在波浪作

用下水平波浪力为梯形分布。

本工程中水平波浪力规范计算结果为47.98 kPa (极端高水位时 $H_{1\%}$ ), 胸墙断面受到的水平波浪力为143.94 kN/m (极端高水位时 $H_{1\%}$ )。断面物理模型试验结果胸墙底部最大压强为34.00 kPa (设计高水位时 $H_{1\%}$ ), 胸墙顶部最小压强为28.25 kPa (设计高水位时 $H_{1\%}$ ), 胸墙断面受到的波浪水平力为109.60 kN/m (设计高水位时 $H_{1\%}$ )。胸墙断面每延米承受波浪水平力规范计算值比物理模型试验值大。

4) 按照规范, 胸墙承受竖向波向力为矩形分布。根据断面物理模型试验结果, 胸墙承受竖向波压力为梯形分布。

本工程中胸墙承受竖向波压力规范计算结果为47.98 kPa (极端高水位时 $H_{1\%}$ ), 胸墙断面受到的水平波浪力为110.35 kN/m (极端高水位时 $H_{1\%}$ )。断面物理模型试验结果胸墙承受竖向波压力最大压强为24.25 kPa (设计高水位时 $H_{1\%}$ ), 最小压强为22.25 kPa (设计高水位时 $H_{1\%}$ ), 胸墙断面受到的竖向波浪力为52.47 kN/m (设计高水位时 $H_{1\%}$ )。胸墙断面每延米承受竖向波压力规范计算值比物理模型试验值大。

## 5 结语

1) 根据规范计算, 胸墙在极端高水位时 $H_{1\%}$ 作用下波浪力比设计高水位时 $H_{1\%}$ 作用下波浪力大。断面物理模型试验结果刚好相反, 主要原因为极端高水位 $H_{1\%}$ 波浪能量大部分越过胸墙顶高程, 在设计高水位 $H_{1\%}$ 波浪能量大部分作用在胸墙上。

2) 护面块体掩护下胸墙承受的波浪水平力, 规范计算比断面物理模型试验结果要大, 在进行胸墙结构稳定时, 胸墙稳定性计算偏于安全。

3) 护面块体掩护下胸墙承受的波浪浮托力, 规范计算与断面物理模型试验结果基本接近。

4) 护面块体掩护下胸墙所承受波浪竖向力, 规范计算比断面物理模型试验结果大, 若在胸墙稳定计算时, 考虑该部分波浪竖向力的稳定因素, 胸墙稳定性偏于危险。

(下转第64页)