



# 有护面块体掩护的斜坡堤弧形胸墙波压力研究

王海峰, 柳玉良, 夏运强

(海军工程设计研究院, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 弧形胸墙可以有效减小斜坡堤越浪、降低胸墙顶高程, 因此越来越多地在工程中采用。但在规范中对斜坡式防波堤弧形胸墙波压力计算方法没有明确规定。结合工程实例, 将弧形胸墙波压力物理模型实测结果与现行规范直立胸墙波压力计算结果进行对比分析, 总结了该工程防波堤弧形胸墙在有掩护条件下所受的波压力情况, 供工程设计参考。

**关键词:** 物理模型试验; 斜坡堤; 弧形胸墙; 波压力

中图分类号: U 656.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)06-0016-004

## Pressure of arc parapet covered by accropodes on sloping breakwater

WANG Hai-feng, LIU Yu-liang, XIA Yun-qiang

(Navy Institute of Engineering Design & Research, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Arc-shaped crest wall can effectively decrease overtopping across sloping breakwater and help reduce elevation of crest wall. So it is more and more used in coastal engineering. But there is not any provision on how to calculate wave pressure on arc-shaped crest wall in current standards. Based on a physical experiment on an actual project, this paper presents measured pressure results along the arc-line of the crest wall, which is further compared with the calculated results following the standard provisions on vertical crest-wall. Finally, pressure distribution on the crest wall is summarized. These results can be used as reference to other similar projects.

**Key words:** physical model experiment; sloping breakwater; arc-shaped crest wall; wave pressure

在港口水工建筑物中, 斜坡式防波堤以其波浪反射弱、对地基不均匀沉降不敏感、施工较简单、易于修复等优点而广泛应用。开敞海岸的港口外, 波高大、周期长, 较多使用人工块体护面的防波堤<sup>[1]</sup>。防波堤除了起到防御波浪侵袭、维护港内水域平稳等基本作用外, 堤顶还可用作通道或堤内兼作码头, 这时, 在堤顶需要设置胸墙, 而弧形胸墙能减少顶部越浪, 降低胸墙顶高程。在胸墙前放置人工护面块体, 可以有效减小作用于胸墙上的波浪力, 增加结构的稳定性。本文通过某防波堤断面物理模型试验的实测数据, 分析了护面块体掩护下的弧形胸墙波压力。

### 1 试验资料

该工程地处外海开敞水域, 波浪较大, 且工程规模大, 防波堤结构的安全稳定性成为该港区工程建设的关键所在。为了减少越浪量, 胸墙顶部设计了反射弧, 该胸墙方案断面见图1。工程水位与相应波浪要素见表1, 波浪重现期为50 a, 浪向为SE向。

表1 试验波浪要素

工况	水位	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$\bar{T}/s$
1	极端高水位5.91 m	7.2	6.2	5.1	8.9
2	设计高水位4.71 m	7.2	6.2	5.1	8.9
3	增加水位5.5 m	7.2	6.2	5.1	8.9

试验在长86 m, 宽1.4 m, 高2.6 m的室内不规则

收稿日期: 2012-12-28

作者简介: 王海峰(1984—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事近海及海岸工程试验研究。

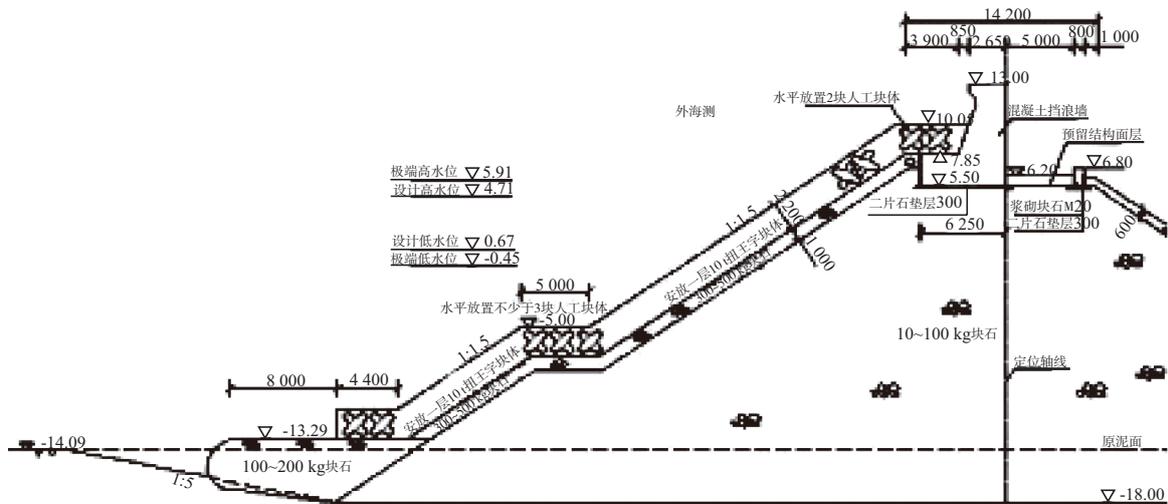


图1 试验断面

则波水槽中进行, 模型长度比尺 $\lambda=25$ 。波浪要素采用JONSWAP谱进行模拟, 其谱公式如下<sup>[2]</sup>:

$$S(f) = \beta_j H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}(T_p f)^{-4}\right] \cdot \lambda \exp\left[-(f/f_p - 1)^2 / (2\sigma^2)\right] \quad (1)$$

式中:  $H_{1/3}$ 为有效波高(m);  $\gamma$ 为谱峰升高因子, 取3.3;  $T_p$ 为谱峰周期(s)。

$$\beta_j = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \cdot [1.094 - 0.01915 \ln \gamma] \quad (2)$$

$$T_p = \frac{\bar{T}}{1 - 0.532(\gamma + 2.5)^{-0.569}} \quad (3)$$

为了测量作用于胸墙上的波浪力, 在胸墙迎浪面和底面布置了压力传感器, 见图2。

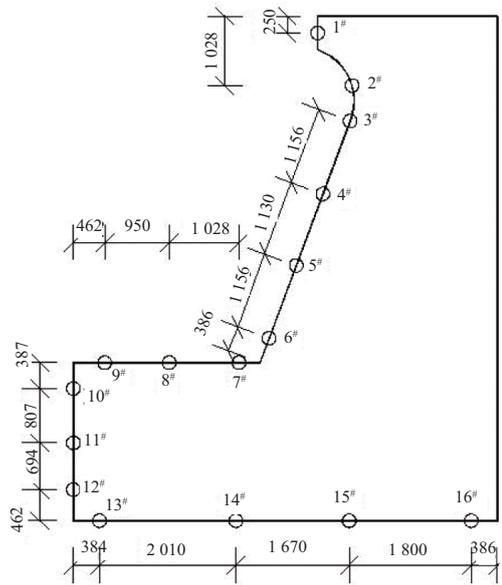


图2 压力传感器布置

## 2 试验结果

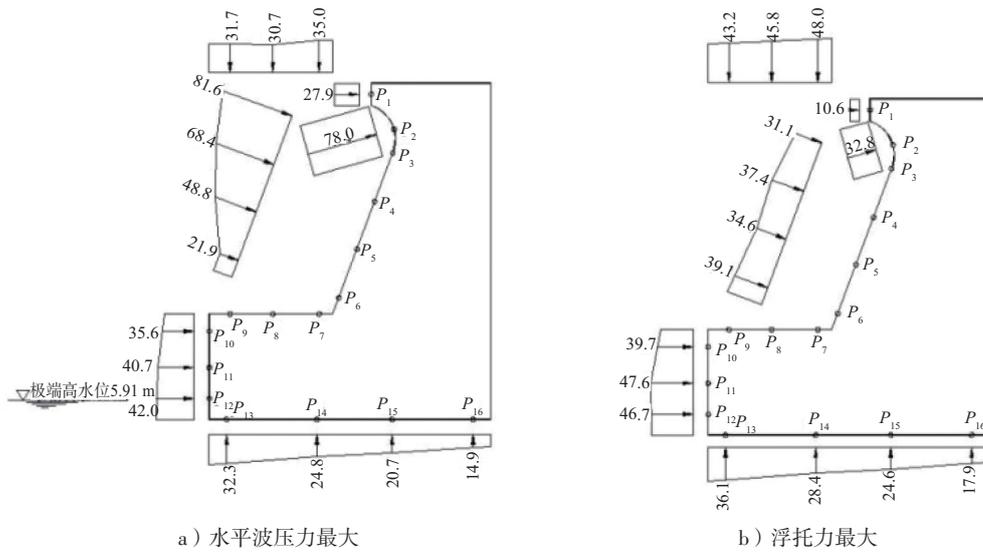
对观测的波浪力数据进行统计分析, 得到水平总力最大时各测点的同步压力分布, 并沿胸墙高度积分计算单位长度的水平总力, 沿胸墙底积分计算单位长度的浮托力, 本文仅计算了浮托力, 未对垂直总力进行计算(表2, 图3~5)。

## 3 规范方法计算胸墙波浪力

《海港水文规范》<sup>[3]</sup>8.2.11条规定了斜坡式建筑物顶部胸墙的波浪力计算方法, 当无因次参数 $\xi \leq \xi_b$ 时, 波峰作用于胸墙上的平均压力强度按下式计算:

表2 各测点同步压力值

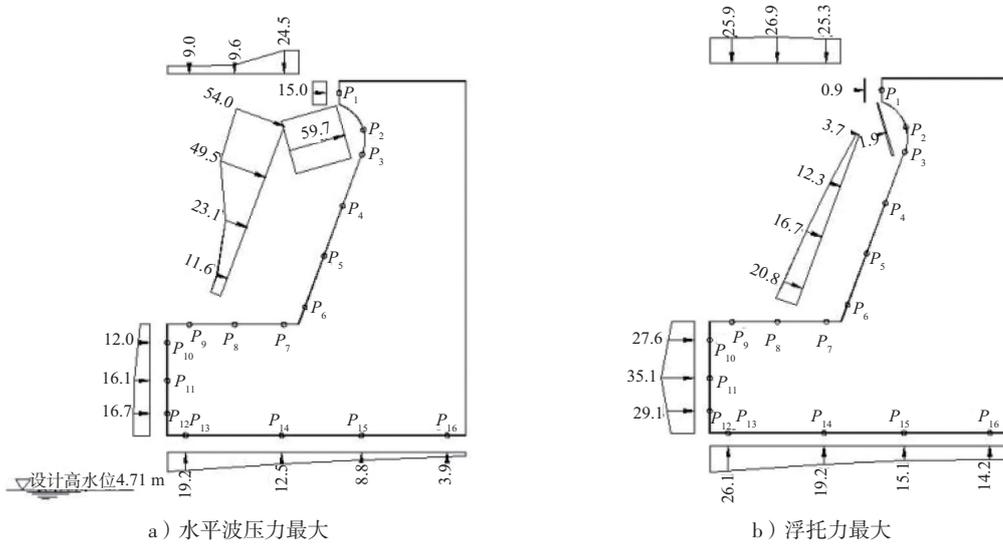
条件	工况	各测点压力/kPa																总力/(kN·m <sup>-1</sup> )	
		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$	$P_{15}$	$P_{16}$	水平力	浮托力
水平总力最大	1	27.9	78.0	81.6	68.4	48.8	21.9	35.0	30.7	31.7	35.6	40.7	42.0	32.3	24.8	20.7	14.9	382.2	
	2	15.0	59.7	54.0	49.5	23.1	11.6	24.5	9.6	9.0	12.0	16.1	16.7	19.2	12.5	8.8	3.9	225.9	
	3	17.4	51.1	58.7	55.7	33.5	35.2	49.6	37.2	34.3	37.7	43.5	40.0	35.0	26.3	22.1	16.6	319.1	
浮托力最大	1	10.6	32.8	31.1	37.4	34.6	39.1	48.0	45.8	43.2	39.7	47.6	46.7	36.1	28.4	24.6	17.9		168.1
	2	0.9	1.9	3.7	12.3	16.7	20.8	25.3	26.9	25.9	27.6	35.1	29.1	26.1	19.2	15.1	14.2		116.1
	3	6.7	40.5	46.7	49.8	38.8	29.4	47.5	43.3	38.3	38.9	43.7	42.2	37.4	28.6	24.7	18.6		171.4



a) 水平波压力最大

b) 浮托力最大

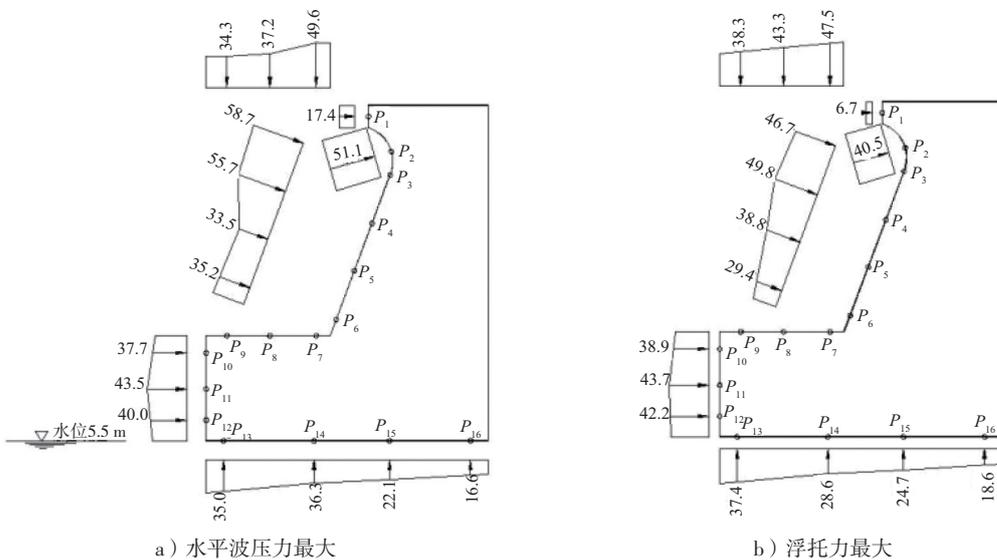
图3 极端高水位同步压力分布 (单位: kPa)



a) 水平波压力最大

b) 浮托力最大

图4 设计高水位同步压力分布 (单位: kPa)



a) 水平波压力最大

b) 浮托力最大

图5 5.5 m水位同步压力分布 (单位: kPa)

$$\bar{p}=0.24\gamma HK_p \quad (4)$$

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

$$\zeta=\left(\frac{d_1}{d}\right)\left(\frac{d}{H}\right)^{2\pi H/L} \quad (5)$$

$$\zeta_b=3.29\left(\frac{H}{L}+0.043\right) \quad (6)$$

但该规定仅适用于胸墙前无掩护的情况。按照规范给出的方法,计算试验波浪作用于胸墙上的波浪力,将计算值与试验值进行比较,得出比值。计算结果与比值见表3。

表3 规范方法计算胸墙波压力及与实测值的比较

条件	工况	规范计算波浪力		实测值/ ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ )	实测值/ 计算值	平均 比值
		压强/ $\text{kPa}$	压力/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$			
水平力 最大	1	69.98	337.7	382.2	1.132	
	2	57.69	170.7	225.9	1.323	1.211
	3	67.39	270.6	319.1	1.179	
浮托力 最大	1	69.98	153.1	168.1	1.098	
	2	57.69	126.2	116.1	0.921	1.061
	3	67.39	147.4	171.4	1.163	

## 4 波浪力结果对比分析

### 4.1 实测值与规范计算值的比较

从表3的数据可以看出,相对于墙前无掩护的情况,防波堤胸墙水平力实测值与计算值的平均比值为1.211,浮托力实测值与计算值的平均比值为1.061。

本试验中,胸墙前块体为1层2排扭王字块体,对胸墙形成了一定的掩护作用,从表2可以看出,有块体掩护的传感器( $P_5\sim P_{12}$ )压强明显小于没有块体掩护的传感器( $P_2\sim P_4$ )压强,也小于理论计算值。

### 4.2 弧形胸墙与直立胸墙波压力实测值的比较

本试验的胸墙掩护条件与文献[4]基本相同,胸墙前部都是反L型结构。反L型胸墙对波能有一

定集中作用,是水平力增大的原因之一。在文献[4]中,水平波浪力实测值与理论计算值的比值为0.801,浮托力的比值为0.802<sup>[4]</sup>,本试验得到的结果分别是文献[4]的1.512倍和1.323倍。

弧形胸墙水平波浪力峰值可达到直立式胸墙的1~1.6倍<sup>[5]</sup>,这主要是波浪在胸墙圆弧位置集中,且在胸墙的作用下改变方向返回海洋导致的。从表2可以看出,水平波浪力主要集中在胸墙上部圆弧位置,对应测点为 $P_2\sim P_4$ ,占水平波浪力的55%。

浮托力最大值是在胸墙圆弧位置有波压力的时刻测到的,弧形胸墙限制了向上的波能消散,浮托力受此影响而增大。

## 5 结语

本试验条件下的弧形胸墙与直立胸墙相比较,胸墙所受的水平力与浮托力都有较大增加,甚至大于规范计算值,增加的波浪力主要是由弧形胸墙的特殊结构引起的。因此,在计算有掩护的弧形胸墙波浪力时,应在规范计算值基础上增加一定的安全系数,必要时应通过试验确定。

## 参考文献:

- [1] 陈万佳. 港口水工建筑物[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
- [2] 俞聿修. 随机波浪及其工程应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002.
- [3] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [4] 柳玉良, 韩炳辰, 李玉龙. 斜坡式防波堤护面对胸墙波浪力的影响[J]. 水运工程, 2010(8): 36-38.
- [5] 于忠涛, 张文杰, 赵凯. 护面块体掩护下胸墙波浪力分析[J]. 水运工程, 2012(9): 50-54, 64.

(本文编辑 武亚庆)