



# 不规则波作用下斜坡堤越浪量试验研究

王 聪, 陈国平, 严士常, 钟雄华, 周 雅

( 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098 )

**摘要:** 通过物理模型试验, 研究不规则波作用下挡浪墙顶高度、宽平台长度及高度、波高和消浪墩等因素对越浪量的影响, 发现挡浪墙、平台和消浪墩对减小越浪量有较好的作用。将现有计算越浪量公式值与实际物模试验值进行比较, 推荐了越浪量计算方法。

**关键词:** 不规则波; 斜坡堤; 越浪量; 消浪墩

中图分类号: U 65; TV 139.2\*5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0049-04

## Experimental study on wave overtopping of sloping seawall under irregular wave action

WANG Cong, CHEN Guo-ping, YAN Shi-chang, ZHONG Xiong-hua, ZHOU Ya

( College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China )

**Abstract:** Based on the physical model experiment, we study the wave overtopping of sloping seawall influences of the height of wave wall, the length and height of platform, the wave height, the wave dissipation pier, etc. on the wave overtopping under the irregular wave, which shows that the wave wall, platform and wave dissipation pier can reduce the wave overtopping. Comparing the result calculated by the exiting formula on the overtopping and that from the physical model test, we propose the recommend calculation method for the wave overtopping.

**Keywords:** irregular wave; sloping seawall; overtopping; wave dissipation pier

随着经济的发展, 全球气候变暖, 海平面上升, 我国沿海地区不同程度上遭受风暴潮和海浪等自然灾害<sup>[1]</sup>的影响和威胁。确定堤防工程的堤顶高程, 不仅关系到后方的安全稳定, 也关系到工程造价, 因此确定一个合适的堤顶高程十分重要。

堤顶高程应根据越浪量来确定, 越浪量是指波浪作用在海堤上水体沿坡面上爬后越过堤顶的水量。由于实际波浪中最大单波越浪量可能是平均越浪量的 100 倍, 因此用单位时间和单位宽度的平均值来表示越浪量更加经济合理。从 20 世纪 50 年代开始, 国内外学者就对越浪量进行了大量的研究工作, 并且取得了很多成果。1955—1958 年美国的 Saville<sup>[2-3]</sup>进行了规则波在斜坡堤直立式挡浪墙上的越浪量物理模型试验, 提出平均越浪

量计算公式; 1965 年日本的 Iwagaki<sup>[4]</sup>绘制了水深和波高与越浪量的关系曲线; 1976 年美国的 Weggel<sup>[5]</sup>对前人越浪量实验资料分析整理, 提出了不同海堤形式下的越浪量公式, 并为 SPM (1984) 所采用; 1980—1991 年英国的 Owen<sup>[6]</sup>对单坡和复坡斜坡堤进行了深入研究, 提出越浪量计算公式。我国对越浪量也进行了不少研究, 1992 年虞克等<sup>[7]</sup>提出了带直立胸墙的斜坡堤的平均越浪量计算公式; 1996 年王红等<sup>[8]</sup>通过物理模型试验, 提出了单坡堤上的平均越浪量计算公式, 被 JTJ 213—1998《海港水文规范》所采用; 2010 年陈国平等<sup>[9-10]</sup>通过物理模型试验, 提出了不规则波平均越浪量计算公式。但由于越浪量的影响因素很多, 各公式都有其条件限制性和局限性, 我国和

收稿日期: 2016-06-24

作者简介: 王聪 (1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为波浪与建筑物的相互作用。

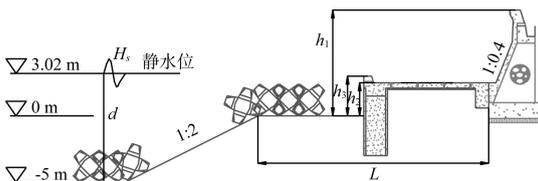
欧美国家的潮流、气候以及规范标准都有差异，加之越浪量直接关系到海堤的安全性和经济性，因此继续开展越浪量的研究意义重大，对工程具有实用价值。

### 1 设备仪器和试验方法

本次试验在河海大学海岸灾害与防护教育部重点实验室中的风浪水槽中进行。水槽全长 80 m、宽 1 m、高 1.5 m，水槽在宽度方向上用玻璃板分为两部分，分别是 0.5 m 和 0.5 m，其中一部分用于放置模型，铺设试验断面，另一部分用于降低波的反射影响。水槽一端安装有推板式造波机，由计算机自动生成所要求模拟的波浪要素，另一端设有消浪缓坡。

试验采用 JONSWAP 不规则波，越浪量的采集采用集水称重法。

本次物理模型试验共计 4 个断面，包括 3 个东堤断面和 1 个西堤断面。本文以东堤断面 2 为主要研究对象，堤身外侧采用反弧型挡浪墙，半径为 300 m，挡浪墙的前坡坡度为 1:0.4，堤身结构外坡 2.5 m 处设置宽平台，靠近挡浪墙的宽平台采用 0.4 m 厚混凝土护面，靠近斜坡的宽平台采用 5 排单块质量 15 t 的扭王块体规则排放护面，宽平台至底高程为斜坡式结构，坡度为 1:2，采用 15 t 的扭王块体随机摆放护面，坡脚采用 2 排单块质量 15 t 的扭王块体规则排放护面，扭王块体外侧为单块质量 800 kg 的大块石护底。试验参数及组合：水位为 50 a 一遇设计高潮位 3.02 m，有效波高  $H_s$  为 4.80、5.02 和 5.71 m，平均周期  $T$  为 16.08、16.08 和 16.09 s。试验断面见图 1。



注：d 是堤前水深 = 8.02 m； $h_1$  是挡浪墙顶高度； $h_2$  是宽平台高度； $h_3$  是消浪墩顶高程；L 是宽平台长度； $H_s$  是波高。

图 1 试验断面

文中所述高度与高程都是相对图中 0 m 线的高度。在试验过程中，没有改变扭王护面平台段，长度始终为 8 m，只改变了混凝土平台段的长度分别为 10、15、20 m。

### 2 试验结果

经过整理得到东堤断面 2 和修改方案的越浪量结果如表 1 和 2 所示。

表 1 东堤断面 2 越浪量

挡浪墙顶高度 $h_1$ /m	宽平台高度 $h_2$ /m	消浪墩顶高程 $h_3$ /m	宽平台长 L/m	越浪量 $Q$ / ( $m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ )
8.00	2.5	3.0	18	0.214 10
9.50	2.5	3.0	18	0.108 20
10.22	2.5	3.0	18	0.072 06
9.50	3.5	4.0	18	0.095 25
10.22	3.5	4.0	18	0.065 43
10.55	3.5	4.0	18	0.046 69
9.00	3.5	4.0	28	0.075 00
9.50	3.5	4.0	28	0.047 50
9.85	3.5	4.0	28	0.037 69
10.22	3.5	4.0	28	0.030 23
10.55	3.5	4.0	28	0.024 85

表 2 东堤断面 2 修改方案越浪量

波高 $H_s$ /m	宽平台长 L/m	宽平台高度 $h_2$ /m	消浪墩顶高程 $h_3$ /m	挡浪墙顶高度 $h_1$ /m	越浪量 $Q$ / ( $m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ )
5.71 ( $T=16.09$ s)	23	4.0	5.0	9.0	0.049 6
		3.5	4.5	9.0	0.052 3
		3.5	4.5	8.5	0.064 0
5.02 ( $T=16.08$ s)	23	4.0	5.0	9.0	0.046 4
4.80 ( $T=16.08$ s)	23	4.0	5.0	9.0	0.039 0
		4.0	5.0	8.5	0.053 0

其中，表 1 是在 50 a 一遇潮位及相应波浪作用下，即水位 3.02 m，波高  $H_s = 5.71$  m，平均周期  $T = 16.09$  s。

#### 2.1 挡浪墙顶高度对越浪量的影响

挡浪墙顶高度  $h_1$  是影响越浪量的一个主要因素，图 2 为东堤断面 2 增加挡浪墙顶高度对越浪量的影响。

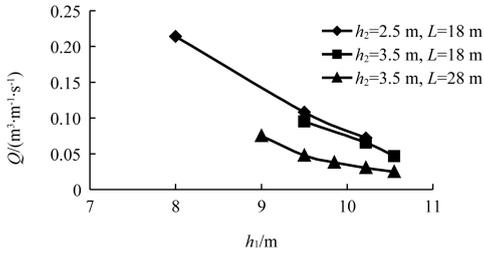


图2 挡浪墙顶高度对越浪量的影响

由图2可见,在其余因素不变的情况下,波高5.71 m,消浪墩高度0.5 m,越浪量随着挡浪墙顶高度的增加明显减小,但如果只增加挡浪墙顶高度来减小越浪量,不仅不经济,而且影响景观。

### 2.2 宽平台高度对越浪量的影响

由表1和2可知,随着宽平台高度增加,越浪量减小。从消浪的角度进行解释:当波浪传到斜坡上,在波浪爬坡过程中,水体会在扭王字块体的缝隙之间进行掺混消浪,宽平台的高度越高,其上的水深就越小,波浪就越容易发生破碎,波浪的能量消耗的也就越多,因此越过挡浪墙的水体越少,即越浪量越小,与试验结果一致。

### 2.3 宽平台长度对越浪量的影响

从表1和表2还可明显看出:宽平台长度增加,越浪量减小。当波浪传到斜坡上时,在波浪爬坡过程中,宽平台上的扭王字块体通过摩擦力消耗水体的能量,水体也会渗透进扭王字块体之间的缝隙,不断地掺混消浪,并且由于宽平台上的水深较小,宽平台越长,波浪越容易破碎,因此越浪量随着宽平台长度的增加而减小,与试验结果一致。

### 2.4 波高对越浪量的影响

选取宽平台长度23 m,宽平台高度4.0 m,消浪墩顶高程5.0 m,挡浪墙顶高度9.0 m,在波高分别为4.80,5.02和5.71 m作用下的断面试验结果进行分析,绘出波高对越浪量的影响见图3。

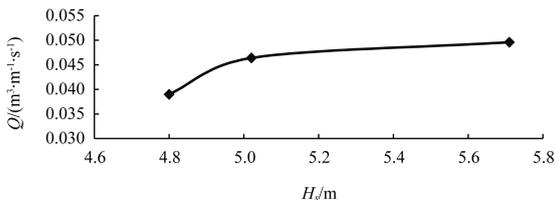


图3 波高对越浪量的影响

从图3中可以看出:波高增加,越浪量增大。

这是因为从能量的角度 $\left(E = \frac{1}{8} \rho g H_s^2\right)$ ,波高 $H_s$ 增大,水体能够获得更大的能量,当水体沿斜坡上爬时,可以转化为更多的势能,即可以爬坡更高,形成越浪水体。

### 2.5 消浪墩对越浪量的影响

在东堤断面2的试验组次中选取波高5.71 m,挡浪墙顶高度9.0 m,宽平台长28 m,宽平台高度3.5 m,消浪墩顶高程4.0 m,越浪量 $0.075 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ ,即第7组方案,此时消浪墩高度0.5 m;在修改方案的试验组次中选取波高5.71 m,挡浪墙顶高度9.0 m,宽平台长23 m,宽平台高度3.5 m,消浪墩顶高程4.5 m,越浪量 $0.0523 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ ,即第2组方案,此时消浪墩高度1.0 m。当平台长度减小时,如果其余因素不变,越浪量应该增大,但比较发现,消浪墩高度仅增加0.5 m,越浪量明显减小。说明消浪墩高度增加,可以明显减小越浪量。

从波浪破碎的角度进行分析:当波浪传播到斜坡上时,首先会被消浪斜坡阻碍,消浪墩越高,波浪越容易破碎,而且消浪墩还起到挑浪的作用,破碎的波浪继续在宽平台上传播形成越浪水体,消浪墩不仅能够减小越浪量,而且相比增加挡浪墙顶高度而言,增加消浪墩顶高程造价小、荷载小;缺点是对消浪墩的结构强度要求很高。因此,不建议建造过高的消浪墩,以防冲垮后带来严重后果。

## 3 越浪量经验公式与模型实测值比较

多年来,国内外学者对越浪量总结了不少经验公式,公式各有不同,且均有其适用条件。本文分别用《海港水文规范》<sup>[11]</sup>公式、Van der Meer公式<sup>[12]</sup>和陈国平公式计算经验值,与实际物理模型试验值比较,结果见表3。

《海港水文规范》公式考虑了波浪要素、堤前水深、斜坡堤形式、护面结构、墙顶超高对越浪量的影响,没有考虑平台长度对越浪量的影响,其计算结果偏小;Van der Meer对波浪要素、斜坡

堤形式、护面结构、波浪入射角和防浪墙都做了大量深入研究，其计算结果与物模试验值较为符合；陈国平公式考虑了波浪要素、堤体结构形式、

护面结构、波浪入射角、防浪墙顶超高、堤前水深和多级平台等因素，适用于复杂断面结构的越浪量估算，其计算结果与物模试验值较为接近。

表3 斜坡堤越浪量实测值与经验公式计算值对比

方案	$h_1/m$	$h_2/m$	$h_3/m$	$L/m$	$H_s/m$	越浪量/ $(m^3 \cdot m^{-1} \cdot s^{-1})$			
						物模试验值	海港水文规范	Van der Meer 公式	陈国平公式
1	9.50	2.5	3.0	18	5.71	0.108 20	0.034 77	0.087 75	0.091 32
2	10.22	2.5	3.0	18	5.71	0.072 06	0.024 87	0.056 31	0.068 35
3	9.50	3.5	4.0	18	5.71	0.095 25	0.034 77	0.087 02	0.125 49
4	10.22	3.5	4.0	18	5.71	0.065 43	0.024 87	0.055 87	0.093 97
5	9.50	3.5	4.0	28	5.71	0.047 50	0.014 49	0.017 70	0.080 62
6	10.22	3.5	4.0	28	5.71	0.030 23	0.010 36	0.009 76	0.058 25
7	9.00	4.0	5.0	23	5.02	0.046 40	0.011 59	0.110 72	0.074 64
8	9.00	4.0	5.0	23	4.8	0.039 00	0.008 13	0.086 54	0.059 75
9	8.50	4.0	5.0	23	4.8	0.053 00	0.010 72	0.121 65	0.077 99

#### 4 结论

1) 挡浪墙顶高度是影响越浪量的一个主要因素；挡浪墙顶高度增大，越浪量显著减小。当挡浪墙顶高度增加到一定限度时，增加挡浪墙顶高度对越浪量的影响变小。

2) 在波浪作用下，随着宽平台高度和长度的增加，越浪量逐渐减小。

3) 随着波高的增加，爬坡水体可以获得更大的能量，越浪量逐渐增大。

4) 平台消浪墩对越浪量的减小有明显作用，推荐在实际工程斜坡堤平台上建造消浪墩，但不宜过高。

5) 推荐陈国平公式和 Van der Meer 公式用于斜坡堤的越浪量计算。

#### 参考文献：

[1] 李加林, 张殿发, 杨晓平. 海平面上升的灾害效应及其研究现状[J]. 灾害学, 2005(2): 49-53.

[2] SAVILLE T. Laboratory data on wave run up and overtopping [R]. Washington D C: Lake Okeechobee Levee Sections, US Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1955.

[3] SAVILLE T. Large-scale model tests of wave run up and

overtopping on shore structures [R]. Washington, DC: TM-64, US Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1958.

[4] IWAGAKI Y, SHIMA A, INOUE M. Effect of wave height and sea water level on wave overtopping and wave run-up [G]//JSCE: Coastal Engineering in Japan, 1965.

[5] WEGGLE J R. Wave overtopping equation[C]//Proceedings of 15th Conference on Coastal Engineering. Hawaii: University of Hawaii, 1977.

[6] OWEN M W. Design of seawalls allowing for overtopping [R]. Wallingford: Hydraulics Research Station, 1980.

[7] 虞克, 余广明. 斜坡堤越浪试验研究[J]. 水利水运科学研究, 1992(2): 211-219.

[8] 王红, 周家宝, 章家昌. 单坡堤上不规则波越浪量的估算[J]. 水利水运科学研究, 1996(1): 58-63.

[9] 陈国平, 周益人, 严士常. 不规则波作用下海堤越浪量试验研究[J]. 水运工程, 2010(3): 1-6.

[10] 陈国平, 王铮, 袁文喜, 等. 不规则波作用下波浪爬高计算方法[J]. 水运工程, 2010(2): 23-30.

[11] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港水文规范: JTS 145-2—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.

[12] VAN DER MEER J W. Wave run-up and wave overtopping at dikes[R]. Delft, Netherlands: [s.n.], 2002.

( 本文编辑 郭雪珍 )