



# 不规则波作用下涵洞式直立堤 涵洞顶部上托力压强值研究

黄 蕙, 王 禹

(河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098)

**摘要:** 采用不规则波作用下涵洞式直立堤波浪断面物理模型试验, 重点研究波陡 ( $H/L$ )、相对水深 ( $d/H$ )、相对板宽 ( $B/L$ )、涵洞的相对入水深度 ( $t/d$ ) 对涵洞顶部上托力压强值的影响及其变化规律。通过试验数据分析, 对过达公式进行修正, 得出涵洞顶部波浪上托力最大相对压强计算经验公式。

**关键词:** 涵洞式直立堤; 上托力压强值; 物理模型试验; 经验公式

中图分类号: U 656.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)11-0047-04

## Wave uplift pressure intensity on top of culvert of vertical breakwater with culvert under action of irregular wave

HUANG Hui, WANG Yu

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

**Abstract:** Based on the wave model test for the section of vertical breakwater with culvert under the action of irregular wave, we study the main factors such as the wave steepness ( $H/L$ ), relative water depth ( $d/H$ ), relative plate wide ( $B/L$ ), relative depth of the culvert into water ( $t/d$ ) and period affecting the wave uplift pressure intensity on the top of culvert of vertical breakwater with culvert and corresponding variation law. By analyzing the experiment data, we revise and verify the GuoDa formula and obtain the empirical formula for the maximum relative uplift pressure intensity on top of the culvert.

**Key words:** vertical breakwater with culvert; wave uplift pressure; physical model test; empirical formula

涵洞式直立堤属于一种新型的透空式防波堤结构形式, 它是在重力式直立堤的基础上, 在底层开大型涵洞而形成。它根据波能主要集中分布于水体表层上、下1倍波高的特点, 利用有一定入水深度的直立堤堤面挡住波能的传播以达到减小港内波浪的目的。与传统的重力式直立堤相比, 涵洞式直立堤耗材少、造价低、港池内外水体和泥沙交换方便、能减少泥沙淤积、有利于环保; 与桩基透空堤相比, 涵洞式直立堤耐久性好, 而且可以解决桩基透空堤在良好地基上成本太高的问题。

目前, 国内外学者对透空式防波堤进行过一些理论和试验研究, 初步分析了透空式防波堤底板波浪上托力的相关原理, 并总结了透空堤底板波浪上托力的计算方法: 合田良实考虑到水体附加质量随时间变化的动量理论, 进行了栈桥面板上托力的试验研究, 通过分析, 给出波浪上托力的合田良实经验公式<sup>[1]</sup>; 过达等选择窄平板、窄  $\pi$  型板、宽平板及高桩框架码头面板4种不同断面形式的面板作为典型断面进行了推进波上托力试验, 并推导计算波浪上托力的多因次相对压强值的过达公式<sup>[2]</sup>; 《海港码头结构设计手册》也推荐

收稿日期: 2012-04-08

作者简介: 黄蕙 (1964—), 女, 硕士, 副研究员, 从事港口海岸及近海工程规划、设计、试验工作。

了相应的波浪上托力计算公式<sup>[3]</sup>。而对于涵洞式直立堤目前没有相应的上托力计算公式。本文通过波浪断面物理模型试验,讨论了涵洞式直立堤涵洞顶部上托力压强值的影响因素,分析得出:波陡( $H/L$ )、相对水深( $d/H$ )、相对板宽( $B/L$ )、涵洞的相对入水深度( $t/d$ )是影响涵洞式直立堤的涵洞顶部上托力压强值的主要因素。通过分析对过达公式进行修正。修正后的公式可以较好地与试验值相吻合,说明其具有较好的精确度、推广性,对涵洞式直立堤的研究和设计具有一定的参考价值。

## 1 试验设备及方法

断面模型试验水槽长80 m,宽1 m,高1.5 m,用玻璃隔成2部分,各宽0.5 m。水槽一端设有造波机,另一端为消波设施。测量水位、波高均采用多功能采集及监测系统和配套的传感器、浪高仪等。防波堤模型为有机玻璃制成,模型断面见图1。

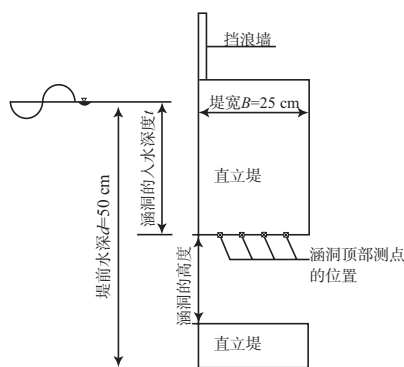


图1 模型断面

试验采用不规则波(JONSWAP谱)。本次试验采用间歇式生波方式,以消除波浪的多次反射,不规则波每次造波200 s,采样时间间隔为0.012 s,停机后待水槽内水面平稳再造波,重复2~3次,以确定试验数据的可靠性。试验参数堤前水深 $d=50$  cm,在涵洞的入水深度 $t$ 分别为0 cm,10 cm,20 cm,30 cm,40 cm,分别造出波高 $H=10$  cm, $L=200$  cm,300 cm,400 cm,500 cm的波浪,计20组次。并在 $t=0$ 时,增加 $L=250$  cm, $H=5$  cm,10 cm,12.2 cm这3个组次,共计23个组次。

## 2 波浪上托力压强值试验数据分析

波浪推进到涵洞式直立堤前,由于直立堤的

阻挡作用,一部分波浪反射,一部分波浪传入堤身内,一部分波浪透过涵洞传入堤后,分别对直立堤各部分结构产生波压力。试验表明,波浪作用于涵洞式直立堤时,对堤身产生沿波向的波压力;对涵洞上部结构顶板产生向上的波压力(简称上托力);而本文不考虑波浪越浪,因此波浪对涵洞式直立堤没有产生向下的波压力。底板上托力压强值随时间呈周期性变化,主要表现为瞬时冲击部分(冲击压强)和缓慢变化部分(缓变静水压强),其中冲击压强起主要作用。由于冲击压强远大于缓变静水压强,且变化复杂得多,因此本文以冲击压强为研究对象。

取涵洞式直立堤的涵洞上部结构迎浪侧边缘最外一点为起始原点,涵洞式直立堤的涵洞上部的各测点距该点的相对距离(距离/板宽)(记为 $X_d/B$ )来描述该测点。取纵坐标为相对冲击压(即冲击压和 $\rho g H_s$ 的比值),横坐标为测点距平板前缘的相对距离,0表示平板前缘。

涵洞顶部上托力压强值影响因素复杂,不规则波作用下的冲击压强是一个随机过程,但是其变化仍然遵循着一定的统计规律,统计特征值有较好的重复性,从试验值的统计资料可得,1/3大值平均值比较稳定,因此本文取有效值(1/3大值平均值)作为特征值来分析底板冲击压强的分布,而后研究底板上托力压强值随时间的变化特性,分析相对板宽( $B/L$ )、相对水深( $d/H$ )、波陡( $H/L$ )、涵洞的相对高度( $t/d$ )等对涵洞顶部波浪上托力压强值的影响。

### 2.1 波陡对相对冲击压强分布的影响

对于波浪冲击压强,波高是发生最大冲击压强的必备条件,而波陡( $H/L$ )可以使波高动力最大限度地对涵洞的顶部发挥冲击作用。波陡变化时,涵洞顶部不同测点上托力相对冲击压强沿板宽的分布变化,见图1。当 $t/d=0$ 时,涵洞顶部与净水面平齐,冲击压强随着波陡的减小而减小,见图1a);而当 $t/d=0.4$ 时,涵洞的顶部位于静水面以下时,冲击压强随着波陡的减小而增大,见图1b)。

### 2.2 相对水深对相对冲击压强分布的影响

本文采取水深不变、改变波高的形式,研究

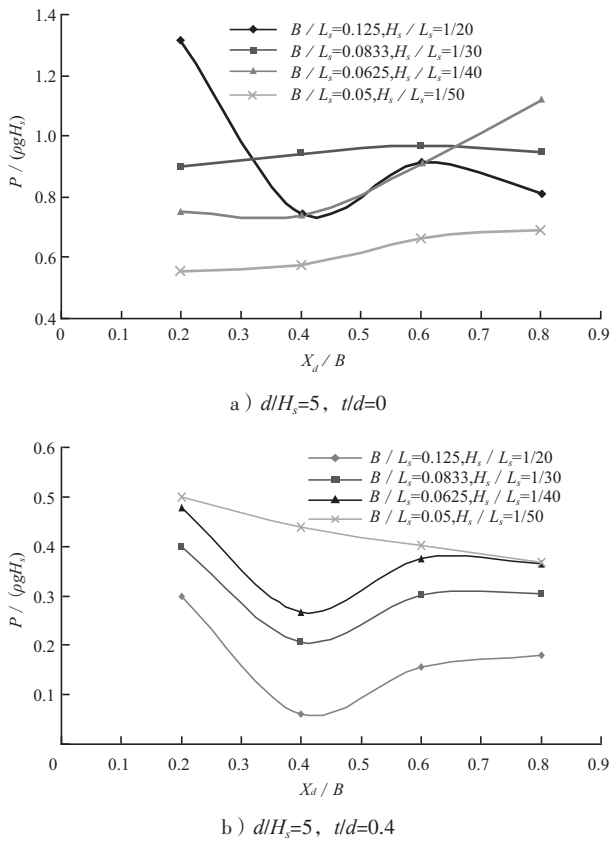


图1 波陡对涵洞顶部不同测点上托力相对冲击压强的影响

相对水深 ( $d/H$ ) 与上托力压强值的关系。从图2中可以看出: 随着相对水深的增大, 涵洞顶部相同测点的上托力的相对冲击压强逐渐减小, 而且在每种波况的作用下, 涵洞顶部上托力的相对冲击压强随着  $X_d/B$  的增加有增大的趋势。

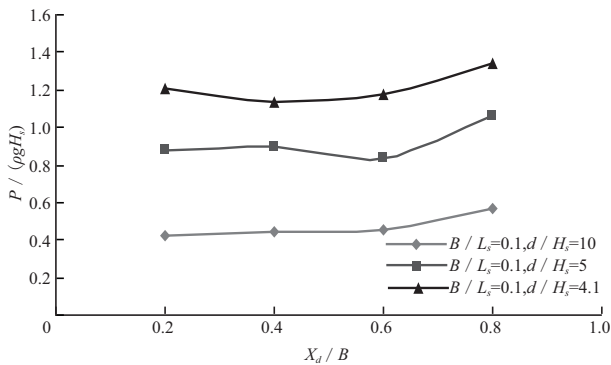


图2 相对水深对涵洞顶部不同测点上托力相对冲击压强的影响

### 2.3 相对入水深度对相对冲击压强分布的影响

由于波能主要集中分布于水体表层上下1倍波高的特点, 所以涵洞的入水深度越大, 传入堤内波能越小, 对涵洞顶部冲击压强影响越小, 反之, 影

响越大。因此涵洞的相对入水深度 ( $t/d$ ) 对其顶部上托力相对冲击压强有重要的影响 (图3)。

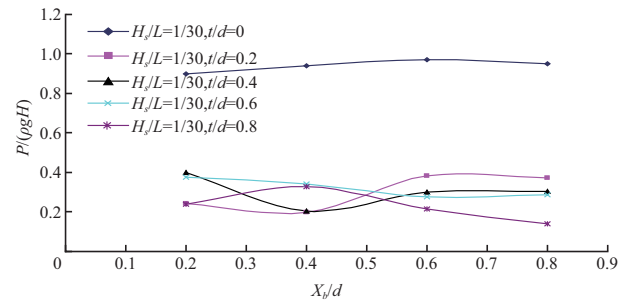


图3 涵洞的相对入水深度对相对冲击压强分布的影响

从图3中可以看出, 每种波况下的最大相对冲击压强 (即最大的相对冲击压强1/3大值) 出现在  $t/d=0$  的曲线上, 即涵洞顶部与静水面相平时出现的相对冲击压强最大; 随着涵洞入水深度的增加 ( $t/d=0$  除外), 相对冲击压强的变化不大, 主要集中在  $0 \sim 0.6$  范围内。

### 3 涵洞顶部上托力压强值计算公式的推求

本文采取因次分析法<sup>[4]</sup>, 运用多元线性回归方法确定各物理参数项的系数, 推求不规则波条件下最大相对冲击压强1/3大值的平均值  $P_{1/3}$  的计算公式。以波陡 ( $H/L$ )、相对水深 ( $d/H$ )、涵洞的相对入水深度 ( $t/d$ )、相对波面高度 ( $\eta/H$ ) 为自变量, 最大相对冲击压强1/3大值的平均值  $P_{1/3}/(\rho g H)$  为因变量, 根据波浪理论及试验资料分析得到的规律, 采用  $\pi$  定理进行因次分析, 得到底板最大相对冲击压强与各因素的函数关系式:

$$\frac{P_{1/3}}{\rho g H} = \frac{H}{2\pi L} \operatorname{th} \frac{2\pi d}{L} f\left(\frac{H}{L}, \frac{d}{H}, \frac{t}{d}, \frac{\eta}{H}\right) \quad (1)$$

式中:  $t$  为涵洞顶部的入水深度 (m);  $\eta$  为波峰顶点在静水面的高度 (m);  $d$  为透直立堤堤前水深 (m);  $H, L$  为入射波波高和波长 (m)。

前人已经论证, 对离岸的栈桥及透空式建筑物面板计算波浪上托力压强值时, 建议采用过达公式, 而本文公式是在过达公式的基础上进行修正。依据试验结果可知, 对波陡 ( $H/L$ )、相对水深 ( $d/H$ ) 和涵洞的相对入水深度 ( $t/d$ ), 分别取相应的函数关系, 运用多元线性回归<sup>[5-7]</sup>各物理参数项的系数, 得到直立堤涵洞顶部波浪上托力压

强值最大相对冲击压强计算公式:

$$\frac{P_{1/3}}{\rho g H} = 7.3(1.6 - 0.081 \frac{\eta}{H} - 0.5253 \frac{d}{H}) e^{(1.4 \frac{d}{H} - 0.2)} \times (0.2276 \frac{t}{d}) \cdot \cos(1 - 4.25 \frac{H}{L}) \quad (2)$$

式中:  $\eta$  为波峰顶点距静水面的高度, 由二阶Stocks波浪理论<sup>[6]</sup>得到

$$\eta = \frac{H}{2} + \frac{\pi H^2}{2L} \left[ \frac{\text{ch} \frac{2\pi d}{L} (\text{ch} \frac{4\pi d}{L} + 2)}{4(\text{sh} \frac{2\pi d}{L})^3} \right] \quad (3)$$

公式的适用范围:  $0.2 \leq t/d \leq 0.8$ ,  $0.02 \leq H/L \leq 0.05$ ,  $4 \leq d/H \leq 10$ 。

### 4 试验值与计算值的比较

通过MATLAB将试验值与修正公式的计算值进行比较, 横坐标为相对冲击压强试验值, 纵坐标为计算值, 见图4。从图中可以看出, 相对冲击压强试验值在0.5以下时, 部分试验组次与计算值拟合稍差些; 相对冲击压强试验值在0.5以上时, 试验值与计算值拟合较好; 得出其综合相关系数为0.834, 总的来说, 试验值与修正公式计算值吻合较好。

### 5 结论

1) 从涵洞的相对高度对相对冲击压强分布的影响中可以看出, 最大的相对冲击压强1/3大值出现在 $t/d=0$ 的曲线上, 这与波能主要集中在水体表层的特点相吻合, 因此涵洞的开挖尽量在直立式防波堤的底部, 且涵洞顶面高程要低于静水面下1倍波高的高程。

2)通过不规则波作用下涵洞式直立堤断面波浪

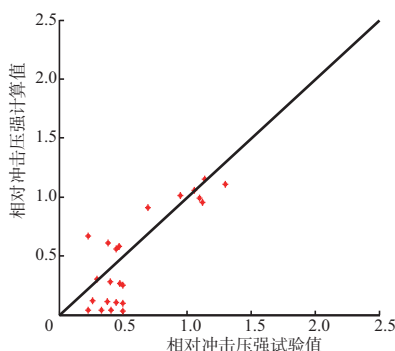


图4 试验值与计算值的比较

模型试验, 重点研究影响涵洞式直立堤的涵洞顶部上托力压强值的主要因素, 包括波陡 ( $H/L$ )、相对水深 ( $d/H$ )、相对板宽 ( $B/L$ )、涵洞的相对入水深度 ( $t/d$ ) 及其规律。根据试验数据, 对过达公式提出半经验半理论的修正公式, 修正公式的计算值与试验值吻合较好。

### 参考文献:

- [1] 合田良实. 港工建筑物的防浪设计[M]. 北京: 海洋出版社, 1983.
- [2] 过达, 蔡保华. 透空式建筑物面板波浪上托力计算[J]. 河海大学学报, 1980(1): 14-33.
- [3] 交通部第一航务工程勘测设计院. 海港工程设计手册(中)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.
- [4] 竺艳蓉. 海洋工程波浪力学[M]. 天津: 天津大学出版社, 1991.
- [5] 陈久宇, 林见. 观测数据的处理方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996.
- [6] 刘则毅. 科学计算技术与Matlab[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [7] 许波, 刘征. Matlab工程数学应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

(本文编辑 武亚庆)

## · 消 息 ·

### 二航局承建的湖南长沙福元路湘江大桥贯通

日前, 由二航局承建的湖南长沙市福元路湘江大桥贯通。

福元路湘江大桥为三跨提篮式钢拱结合梁桥, 全长3 575 m。大桥越江段1 435 m, 宽31.5 m, 双向6车道; 中间的三跨提篮式桥面宽为38.5 m, 是目前跨湘江大桥中桥面最宽的一座湘江大桥, 具有施工新颖、独特, 技术含量高等特点。二航局项目部在桥梁施工过程中, 采用多点步履式顶推法和大纵坡、变曲率、曲线顶推法, 开辟了国内桥梁施工技术的先河, 而在工程中投入的高80 m, 跨度61 m, 最大起吊能力为120 t的超大型龙门吊, 在高度、跨度、自重等方面也堪称国内第一。

摘编自《中国交通建设网》