

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.11.028

斜坡式海堤挡浪墙波浪力对比分析

邹恒, 曹坤, 顾威, 王弘元

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092)

摘要:以东部沿海某海堤工程为例,分别通过物理模型试验方法和数值模型方法模拟海堤挡浪墙受到的波压力大小及其分布情况,并进行对比分析。结果发现两者结论较为一致,说明数值模型方法在计算海堤挡浪墙波浪力方面具有较高的精度,可为类似工程提供借鉴。

关键词:斜坡式海堤;挡浪墙;波浪力

中图分类号: U656.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)11-0100-04

0 引言

我国东南沿海为台风常登陆地区,海堤受损的情况屡有发生,往往造成巨大的经济损失^[1]。海堤结构的坚固和稳定是河口、海岸地区抵御风暴潮、风浪侵袭的重要保障,准确地计算作用于挡浪墙上的波浪力,对设计合理安全的海堤具有现实意义^[2]。本文对海堤挡浪墙模拟波浪力的物理模型试验方法和数值模型方法进行对比分析,以期为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

新建海堤位于长江口北岸江苏省南通市东部海岸,全长 6.0 km。

1.1 设计水位(当地理论基面)

极端高水位:8.13 m(50 a 一遇高潮位)。

设计高水位:5.86 m(高潮累积频率 10%)。

设计低水位:0.47 m(低潮累积频率 90%)。

25 a 一遇高水位:7.92 m。

10 a 一遇高水位:7.64 m。

1.2 设计波要素

根据潮位资料推算出设计高水位 5.86 m 和极端高水位 8.13 m 时 50 a 一遇的波要素;同时考虑到上述 2 种水位相差 2.27 m,再增加 25 a 一遇高水位 7.92 m 的波要素试验。试验中各频率波要素见表 1,表 1 中: H 为累积频率为 F 的波高; H_e 为有效波高; \bar{H} 为平均波高; \bar{T} 为平均周期; L 为波长; \bar{T}^* 为破碎波波周期; L^* 为破碎波波长。

2 物理模型试验

挡浪墙顶高程 11.0 m,挡浪墙底高程 8.4 m。

收稿日期:2020-04-22

作者简介:邹恒(1991—),男,硕士,工程师,从事海岸工程、水利工程设计研究工作。

在 8.13 m 和 7.92 m 水位、2 个波周期、规则波工况下,对海堤断面进行波浪物理模型试验。海堤断面结构图见图 1。

在波浪物理模型试验中,在挡浪墙模型上布置压力传感器,以测定多个工况下的挡浪墙波压力大小及其分布规律。底高程为 8.4 m 的挡浪墙断面上,在 8.13 m 和 7.92 m 水位、2 个波周期、规则波工况下,传感器测得的波压力数据取一段时间内传感器测得压力峰值的平均值。

4 种工况下挡浪墙波压力分布包络图见图 2。

由图 2 可知,挡浪墙迎浪面波压力最大值出现在中间偏下位置,该位置是波浪在挡浪墙上最集中的直接作用位置,然后向上、向下分别逐渐递减分布,与《海堤工程设计规范》(SL435—2008)认为的均匀分布并不符合;波压力在挡浪墙前趾表面基本呈现均匀分布,波压力数值较大,对于挡浪墙的稳定具有正面作用;挡浪墙底部的波压力从外侧向内侧逐渐递减,呈现三角形分布,与上述规范表述一致。

3 数值模拟

本文采用 VOF 模型方法,利用推板式造波与动量源消波方法,建立二维数值波浪水槽和斜坡式海堤断面模型进行规则波作用下的数值模型试验。

图 3 为数值波浪水槽示意图。整个水槽划分为造波区、前端消波区、工作区和末端消波区 4 个区域。水槽在造波区实现数值造波,为消除工作区波浪与结构物作用形成的二次反射设立了前端消波区,为消去波浪与尾端边界作用形成的二次反射设立了末端消波区,在工作区对波浪与结构物相互作用进行数值模拟。其中自由液面为静水面,水槽上层为空气、下层为水体。采用推板式动边界造波法,

末端进行消波设置,还需对入射波与结构物作用后的二次反射波进行消波处理^[4]。

3.1 控制方程

在二维直角坐标系下,对于不可压缩且黏性系数为常数的流体,其连续性方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

式中: u 为 x 方向的速度分量; w 为 z 方向的速度分量。

Navier-Stokes 方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial y} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

式中: t 为时间; ρ 为流体密度; p 为流体压力; ν 为流体的运动学黏性系数。

VOF 输运方程:

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + \frac{\partial (u \alpha_q)}{\partial x} + \frac{\partial (w \alpha_q)}{\partial z} = 0, \alpha_1 + \alpha_2 = 1, q = 1, 2 \quad (4)$$

式中:体积分函数 α_q 为单元内第 q 相流体所占体积与该单元的体积之比。

为了简化问题,取推板作谐波运动,所产生波浪的波面方程 $\eta(x, t)$ 为:

$$\eta(x, t) = \frac{S w^2 \sinh 2kd}{kg(2kd + \sinh 2kd)} \cos(kx - wt) \quad (5)$$

式中: S 为造波板冲程; t 为时间; $w = \frac{2\pi}{T}$,为圆频率; d 为水深; k 为波数; g 为重力加速度。

消波方法采用动量源消波法,在水槽末端大于1倍波长范围内添加消波段,定义动量源来实现消波。在消波段内,动量方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - \mu u \quad (6)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial y} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] - \mu w \quad (7)$$

式中: μ 为消波系数,沿波浪传播方向取线性分布 $\mu = \mu(x)$ 。

$$\mu(x) = \frac{\alpha(x-x_1)}{L_c} \quad (8)$$

式中: α 为阻尼系数内的经验参数; x_1 为消波区的起始坐标; L_c 为消波区的长度^[5]。

3.2 波要素的验证

沿数值波浪水槽长度方向 $x=150$ m和 $x=250$ m处定义监测面,监测水槽内的波浪数据。各水位下水槽 $x=150$ m和 $x=250$ m处模拟得到的波要素与理论波要素对比结果见表2、表3。

表2 数值波浪与理论波浪波高对比

水位 /m	理论波高 /m	$x=150$ m		$x=250$ m	
		数模值 /m	误差 /%	数模值 /m	误差 /%
8.13	3.77	3.71	1.6	3.68	2.4
7.92	3.52	3.43	2.6	3.38	3.9
5.86	2.44	2.39	2.1	2.35	3.7

表3 数值波浪与理论波浪波周期对比

水位 /m	理论波周期 /s	$x=150$ m		$x=250$ m	
		数模值 /s	误差 /%	数模值 /s	误差 /%
8.13	8.09	8.0	1.1	8.0	1.1
7.92	7.58	7.4	2.3	7.5	2.3
5.86	6.79	6.6	2.8	6.6	2.8

比较数值模拟生成波浪与理论波浪的波要素($x=150$ m处波高和周期)可知,两者误差极小,且当波浪传播到试验平台段($x=250$ m)时未发生破碎现象,波要素误差值也能控制在5%以内,证明可用此数值模型进行具体试验研究。

根据建立的数值水槽模型,模拟斜坡式海堤断面在不同波要素工况下挡浪墙迎浪面受到的波压力作用情况。根据《海堤工程设计规范》(SL435—2008)波浪破碎临界水深公式(E.0.6)可知,波浪在斜坡堤消浪平台处开始发生破碎,堤顶挡浪墙所受波浪作用为整个波浪水体的冲击。图4是在高水位8.13 m长周期波要素工况下,波流作用于斜坡堤挡浪墙时的动压分布情况。

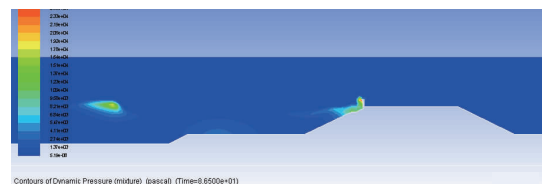


图4 高水位8.13 m长周期波浪作用于挡浪墙动压分布图

4 对比分析

数值模型试验通过监测挡浪墙迎浪面波压力历时数据,对多个波压力峰值取平均,统计得到波浪作用下挡浪墙上的波压力大小和分布情况。统计结果与物理模型试验结果的对比见图5。

波浪从远海传播至海堤过程中,存在触底破碎和波能耗散现象,波流冲上海堤越到挡浪墙过程中,海堤斜坡上的护面块体对于波浪具有消浪作用。数值模型通过对模型底部和海堤斜坡设置糙率来模拟上述2种界面对于波浪水流的作用。

由图5可知,数值模型模拟的挡浪墙迎浪面波压力比物模试验结果略微偏大,但十分接近,误

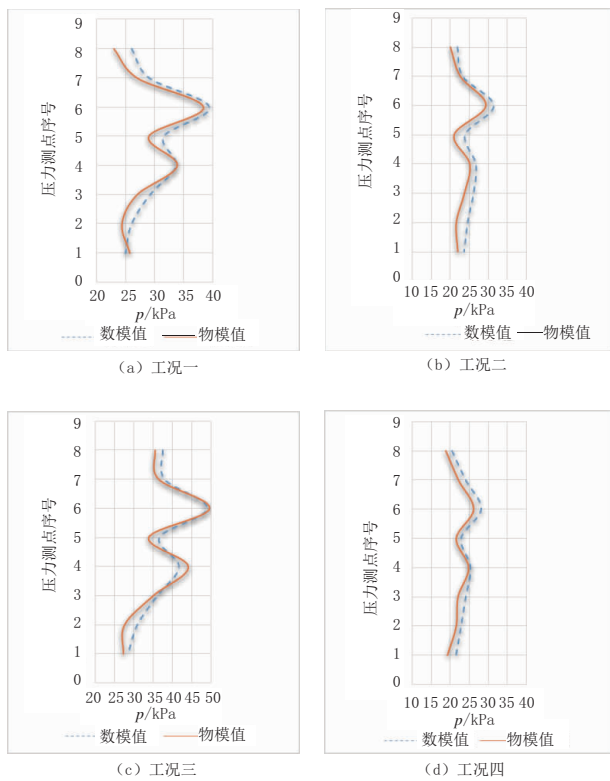


图5 挡浪墙迎浪面波压力物模试验与数模结果对比
差都在15%以内,波压力分布规律也比较一致。

各工况下挡浪墙迎浪面各测点波压力始终保持不为0,而波压力主要集中于挡浪墙中下部分,自拐点向两端逐渐减小。在控制其他波要素保持

一致条件下,各测点波压力随着堤前水深和波周期的增大而增大。

5 结 语

(1)海堤挡浪墙是承受波浪水流冲击作用,保护海堤安全的重要结构。在波浪作用条件下,由于波浪集中的现象,墙身受到不均匀波浪力影响,与《海堤工程设计规范》给出的计算假设不一致。在外海波浪较大条件下,类似工程设计应考虑因波浪力作用的不均匀分布造成的挡浪墙不稳定因素。

(2)在不同工况条件下,数值模型计算得到的波压力分布与物理模型试验结果比较一致。说明数值模型方法在计算海堤挡浪墙波浪力方面具有较高的精度,可以为类似工程设计提供参考。

参考文献:

- [1] 张丽佳,刘敏,陆敏,等.中国东南沿海地区台风危险性评价[J].人民长江,2010(3):26-35.
- [2] 严恺.海岸工程[M].北京:海洋出版社,2002:7-9.
- [3] 兰雅梅,郭文华,宋秋红,等.基于VOF方法的造波、消波技术[J].中国海洋平台,2010,25(1):22-25.
- [4] GE Jarlan. A perforated vertical wall breakwater[J].The Dock and Harbour Authority, 1961, 41(486):394-398.
- [5] 顾挺锋.海洋工程水池波浪生成的数值模拟[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.

(上接第87页)

新性设计,具有满足桥梁梁端的多向变位;无螺栓连接,使用过程中不产生松动;耐久性好、不渗水;降低车辆通过噪声污染及振动的优点。

通过对新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置的有限元分析,表明伸缩装置强度、挠度以及疲劳性能均满足规范要求,伸缩装置安全可靠。

参考文献:

- [1] 赵煜,蒲广宁,贺栓海.基于外观调查的桥梁伸缩装置破损评价方法[J].公路交通科技,2013,24(11):61-65.

- [2] 辛荣亚,张启伟.桥梁旋转式伸缩装置的缝宽控制性能[J].公路交通科技,2013,30(5):53-57.
- [3] 王建波.公路桥梁伸缩装置模数式与梳齿板式之比较与选型研究[J].公路交通科技应用技术版,2019(2):194-195.
- [4] 平树江,田芳,郭斌,等.大跨径3塔斜拉桥伸缩缝的设计与施工应用研究[J].公路交通科技应用技术版,2012(1):159-162.
- [5] 刘炜勃,李锋,张健,等.多向变位桥梁伸缩装置在西南高速公路特大桥梁中的应用[J].公路交通科技应用技术版,2012(3):141-144.
- [6] JT/T 327—2016,公路桥梁伸缩装置通用技术条件[S].