

文章编号:1002-3682(2014)04-0026-07

港内波浪要素计算方法研究^{*}

杜清华^{1,2}, 于定勇¹, 付新钰²

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100;

2. 中诚国际海洋工程勘察设计有限公司, 山东 青岛 266071)

摘 要:为分析不同计算方法在推算港内波要素中的适用性,分别采用 JTS 145-2—2013《海港水文规范》计算方法和数学模型计算方法计算了防波堤为单突堤、双突堤和岛式堤三种典型布置型式的港内波浪。将计算结果与物理模型试验结果进行了对比,分析了不同布置型式时 3 种方法得到的结果之间的差异性,给出了在计算不同防波堤布置型式下的港内波浪要素时上述 3 种方法的适用程度。

关键词:波浪;防波堤;规范;数学模型;物理模型

中图分类号: P731.22

文献标识码: A

在现阶段的研究过程中,用来计算港内波浪要素的方法主要有:JTS 145-2—2013《海港水文规范》^[1]方法、数学模型计算方法和物理模型试验方法。这 3 种方法各有利弊:规范计算方法简单快捷,但无法综合考虑各种因素的影响;数学模型计算方法可以综合考虑多种因素的影响,但计算过程需设置各种边界条件跟参数,计算结果受人为影响较大^[2];物理模型试验可以较准确地模拟工程边界条件,但需要前期调查、场地建模、模拟试验,且受场地限制、周期较长、费用高。在实际的工程应用中,这 3 种方法给出的计算结果也存在差异性,对此不少工作者进行过研究,如:刘欣明等^[3]以烟台港某工程港为例,进行了复杂水域波浪物理模型与数学模型的对比研究,认为数学模型可较好地模拟整个港区的波高分布情况,但对于波浪折射、绕射、破碎、爬坡等综合因素占主导地位的局部水域,数学模型仍不能较好地模拟。

为进一步明确不同计算方法在推算港内波要素的适用性,本文分别采用规范计算方法和数学模型计算方法计算防波堤为单突堤、双突堤、岛式堤三种典型布置型式的港内波浪。将计算结果与物理模型试验结果进行对比,从而分析不同布置型式时 3 种方法得到的结果之间的差异性,并给出在计算不同防波堤布置型式下的港内波浪要素时上述 3 种方法的适用程度。

^{*} 收稿日期:2014-06-03

作者简介:杜清华(1983-),女,工程师,主要从事港口航道与海岸工程咨询、工程水文资料计算分析等方面研究. E-mail:duqinghua@yeah.net

1 常用方法

1.1 规范方法

JTS 145-2—2013《海港水文规范》^[1]规定:港内波浪要素的计算应以波浪绕射为主;在港内水深变化较大时,应同时考虑绕射与折射;在港域边界为直立墙或陡坡时,应同时考虑绕射与反射;港域风区长度超过 1 km 时,应同时考虑绕射波与局部风浪的合成。

防波堤后某点的绕射波高可按式(1)计算:

$$H_d = K_d H_i \quad (1)$$

式中, H_d 为防波堤后某点的绕射波高(m); K_d 为防波堤后某点的绕射系数,根据 JTS 145-2—2013《海港水文规范》^[1]给出的公式或绕射系数图计算; H_i 为防波堤口门处入射波的波高(m)。

1.2 数学模型计算方法

本文采用荷兰 Delft 技术大学(Delft University of Technology)研制开发的 SWAN 数学模型^[4]进行计算。SWAN 模式是建立在波作用量平衡方程的基础之上,专门用来模拟浅水海浪的数值模式。该模式经过多年的改进,已经逐渐成熟。目前主要用于河口、水库、港口工程等进行海浪数值模拟。其波作用量平衡方程可表示为

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

式中, N 为动谱密度;左边第一项代表 N 随时间的变化率;第二和第三项分别代表 N 在空间 x 和 y 方向上的传播;第四项代表由于流场和水深所引起的 N 在 σ 空间的变化;第五项代表 N 在 θ 空间的传播,也就是水深及流场引起的折射作用;上式右边的 S 代表以谱密度表示的源汇项,包括风能输入、波与波之间非线性相互作用和由于底摩擦、白浪、破碎等引起的能量损耗; C_x 、 C_y 、 C_σ 和 C_θ 分别代表波浪在 x 和 y 方向上及 σ 和 θ 空间的传播速度。

1.3 物理模型方法

海洋中波浪为重力波,其所受的主要作用为重力和惯性力,模型遵循重力相似律,即要求模型与原型的佛劳德数(Fr)相等。具体来讲,在进行港口防浪掩护整体波浪物理模型试验时,必须使模型中的波浪传播速度及水质点运动轨迹,波浪的折射、绕射、反射以及波浪破碎等现象与原型相似。

2 不同方法计算结果差异及适用性

2.1 工程案例

为进一步分析不同计算方法在推算港内波要素的适用性,选取了防波堤分别为单突堤、双突堤、岛式堤布置型式的 3 个工程案例为研究对象。

单突堤布置型式:选取山东半岛北部某港口防波堤工程作为案例,该防波堤东西向长 610 m,接岸段长 890 m,总长 1 500 m。在规划码头及陆域区、围堰位置选取 5 个计算点进行计算;计算波向为 NNE, N, NW 和 WNW 四种波向;入射波要素均采用本工程物理

模型试验报告^①给出的设计高水位(1.69 m)下2 a一遇 $H_{4\%}$ 波高。

双突堤布置型式:选取山东半岛南部沿海某港口规划作为案例,港口建设主要受到 E~SE~S 各向波浪的作用,防波堤采用双堤环抱的型式,口门宽度 400 m。在港池内选取 6 个计算点进行计算,计算波向为 E,ESE,SE,SSE,S 五种波向。入射波要素均采用该规划物理模型试验报告^②给出的设计高水位(5.34 m)下 2 a一遇 $H_{4\%}$ 波高。

岛式堤布置型式:选取山东半岛东部沿海某旅游项目规划作为案例,工程海区主要受到 S,SE,SSE,SSW 方向波浪的作用,在人工岛后近岸选取 4 个计算点进行计算,计算波向为 S,SE,SSE,SSW 四种波向,波要素选择设计高水位(3.60 m)下 2 a一遇 H_s 波高。

案例工程平面布置及计算点位置图见图 1。

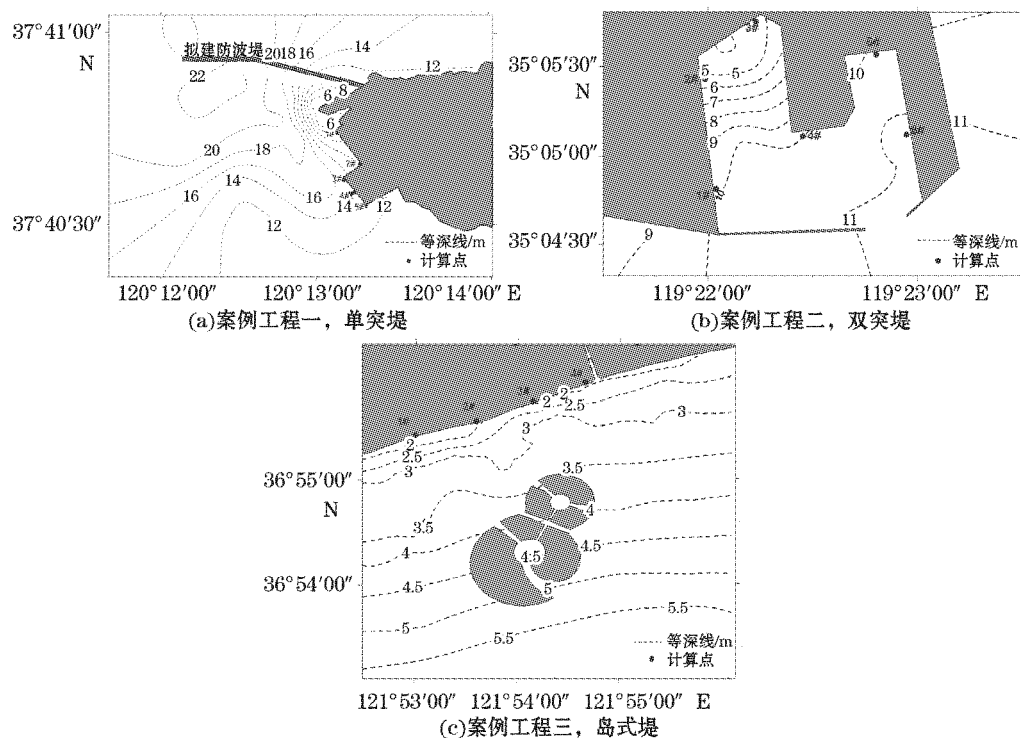


图 1 案例工程平面布置及计算点位置图

Fig. 1 The horizontal layout and the locations of the calculating points in the cases of engineering

2.2 单突堤掩护下的港内波浪要素

3 种计算方法所得计算结果见表 1。

① 郝品正,等. 龙口港防波堤工程波浪整体物理模型试验研究报告[R]. 交通部天津水运工程科学研究所,2009-03.

② 马进荣,等. 日照港岚山港区南作业区防波堤工程及主航道工程波浪整体物理模型试验报告[R]. 南京水利科学研究院,2010-03.

表 1 案例工程一港内特征点波高计算结果/m

Table 1 The calculated wave height of character points in the harbor of engineering case 1/m

波 向	1 #			2 #			3 #			4 #			5 #		
	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模
N	0.19	0.12	0.36	0.19	0.12	0.53	0.26	0.20	0.73	0.26	0.31	0.66	0.25	0.49	0.63
NNE	0.10	0.09	0.23	0.09	0.11	0.34	0.13	0.10	0.68	0.12	0.21	0.45	0.11	0.29	0.38
NW	0.88	1.38	2.83	1.04	1.62	3.40	1.36	1.80	2.77	1.41	1.85	2.01	1.46	1.91	2.95
WNW	2.54	1.96	2.29	2.88	2.25	3.52	3.02	2.34	3.72	3.03	2.36	3.82	3.04	2.40	3.70

对比表 1 中各种方法的计算结果可以看出:

1) 经防波堤掩护后, 3 种方法的计算结果都表明, 防波堤对 N 向和 NNE 向波浪有很好的掩护效果, 提取的 5 个港内计算点的波高均在 0.80 m 以下。

2) NW 和 WNW 向的波浪传播到工程区后, 防波堤的掩护效果变小, 提取的 5 个港池计算点的波高都在 0.88 m 以上。

3) 各点用物理模型所得波高结果大于规范方法计算结果和数学模型计算结果, 尤其是 NW 和 WNW 向波浪的计算结果, 差异较大。

结果产生差异的原因:

1) 防波堤对 N 向和 NNE 向波浪的阻挡作用好, 影响各计算点波高大小的主要因素为波浪的绕射作用。因此, 用规范方法计算波浪的绕射作用和用数学模型及物理模型方法计算所得结果差异不大。

2) 防波堤对 NW 和 WNW 向波浪的阻挡作用较差, 影响各计算点波高大小的因素为水深变形、折射、反射的综合作用, 而规范方法仅计算了波浪绕射的影响, 所得结果差异较大。

3) 物理模型计算方法在计算时可以综合模拟出波浪在遇到防波堤时的传播形态, 当波浪到达拟建码头前沿时, 甚至会产生越浪的作用, 数学模型计算方法和规范计算方法不能计算出这个结果, 因此得出的结果差异较大。

2.3 双突堤掩护下的港内波浪要素

3 种计算方法所得双突堤案例计算结果见表 2。

表 2 案例工程二港内特征点波高计算结果/m

Table 2 The calculated wave height of character points in the harbor of engineering case 2/m

波 向	1 #			2 #			3 #			4 #			5 #			6 #		
	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模	规范	数模	物模
E	0.81	0.90	0.59	0.18	0.08	0.43	0.10	0.06	0.15	0.23	0.09	0.59	0.05	0.05	0.38	0.05	0.04	0.36
SE	0.40	0.91	0.62	1.57	1.05	1.26	0.67	0.08	0.42	1.10	1.20	1.12	0.29	0.72	0.40	0.22	0.75	0.29
SSE	0.15	0.75	0.37	0.50	0.80	0.59	0.05	0.10	0.27	0.89	1.02	1.53	0.59	1.05	0.53	0.39	0.96	0.42
S	0.05	0.11	0.40	0.14	0.52	0.37	0.03	0.45	0.15	0.31	0.72	0.46	1.28	0.81	0.56	0.59	0.85	0.38

通过比较计算结果看出:

1) 采用双堤环抱的型式建设防波堤后, 港内各向波浪都有了明显地衰弱。

2)在计算 E 向波浪时,规范方法和数模方法得出的结果都比较相似,差异较小;与物模方法结果进行比较,除 1#点计算结果偏大外,其余结果均比物模方法结果小,差异较大的为数模方法结果得出的 4#点。

3)在计算 SE 向波浪时,数模方法得出的 3#、6#点的结果与物模方法差异较大。

4)在计算 SSE 向波浪时,规范方法和数模方法得出的 4#点的结果及数模方法得出的 5#、6#点的结果与物模方法差异较大。

5)在计算 S 向波浪时,数模方法得出的 5#、6#点的结果与物模方法差异较大。

结果产生差异的原因:

1)用规范方法和数模方法得出的 1#点 E 向波浪与物模差异较大,但都在 0.5 m 以下,主要是由于物模方法在实验过程中波浪受到双堤阻挡时,也可以模拟出波浪的涌入,规范方法和数模方法不能计算出此过程,但得出的结果也清楚地体现出了双堤的掩护作用,其误差在可接受范围内。

2)工程区 4#点处在跟口门相对的位置,其用数模方法得出的 E 向和 SSE 向的结果与物模方法都差异较大,主要原因在于其位置的特殊性,波浪变化比较大,该位置的结构型式也对波浪影响比较大,物模方法在进行实验时,在该位置按照设计方案设立了消浪设施,而数模方法在计算时,体现出了直立岸壁的反射作用,因此结果偏大。

3)5#、6#计算点的 SSE 和 S 向的数模方法计算结果也与物模方法差异较大,这也是由于物模时岸壁设立消浪设施造成的。

2.4 岛式防波堤掩护作用下的港内波浪要素

岛式堤典型工程案例计算结果见表 3。

表 3 案例工程三港内特征点波高计算结果/m

Table 3 The calculated wave height of character points in the harbor of engineering case 3 wave height/m

波向	1 #		2 #		3 #		4 #	
	规范	数模	规范	数模	规范	数模	规范	数模
S	1.80	0.80	0.88	0.66	0.37	0.42	1.11	0.62
SE	0.56	1.21	0.19	1.05	1.09	1.23	2.32	1.69
SSE	1.61	1.14	0.44	0.97	0.48	1.08	2.05	1.60
SSW	2.12	1.69	1.86	1.31	1.10	1.12	0.77	1.05

计算比较结果表明:

1)用规范方法和数模方法分别对各个方向进行港内设计波浪计算,得出的 S 向计算结果 1#、4#点差异较大,2#、3#点差异较小。

2)SSE 向计算结果 1#、4#点差异较小,2#、3#点差异较大。

3)SE 向计算结果 1#、2#、4#点差异较大,3#点差异较小。

4)SSW 向计算结果 1#、2#点差异较大,3#、4#点差异较小。

结果产生差异的原因:

1)对于 S 向波浪而言,1#、4#计算点处于非掩护区,掩护效果较差,2#、3#处于掩护区,掩护效果好,且 S 向波浪与岸线有一定的夹角,反射波高较小;对于 SSE 和 SE 向波

浪而言,波向与岸线渐成垂直入射状态,波浪反射作用加强,规范方法计算时仅考虑了波浪绕射的作用,造成结果差异较大。

2)对于 SSE 和 SE 向波浪而言,1#、2#点处于非掩护区内,用规范方法计算时仅考虑波浪绕射,波浪变化不能完全体现出来,而 3#、4#计算点处于掩护区内,波浪绕射作用为波浪变化的主导因素,两方法计算结果差异较小。

3 结 论

本文选取了单突堤、双突堤和岛式堤三种布置型式的防波堤作为典型工程案例,利用规范计算方法、数学模型计算方法分别进行了港内波浪计算。与物理模型试验的结果进行了对比,分析给出了防波堤为单突堤、双突堤和岛式堤三种布置型式时 3 种方法得到结果之间的差异性,以及在计算不同防波堤布置型式下港内波浪要素时不同方法的适用性。

1)防波堤为单突堤型式布置时,对于防波堤掩护作用较好的波向,在计算港内波浪要素时,波浪绕射为主导作用,用规范方法计算波浪的绕射作用和用数学模型计算方法及物理模型方法计算所得结果差异不大,方法的适用性均较好。

2)防波堤为单突堤型式布置时,对于防波堤掩护作用较差的波向,在计算港内波浪要素时,需综合考虑折射、绕射、反射等作用的影响,数学模型方法的适用性优于规范计算方法。

3)防波堤为双突堤型式布置时,受防波堤走向、港池形状及港池内岸壁结构型式等多方面的影响,港内波浪分布状况复杂,规范计算方法和数学模型计算方法在某些区域的计算结果差异偏大,需通过物理模型试验研究确定港内波浪要素。

4)防波堤为岛式堤型式布置时,在防波堤掩护区内,波浪绕射作用占据了主导地位,用规范方法直接计算绕射波高或者用数模方法计算均可以很好地体现出防波堤的掩护效果。

5)防波堤为岛式堤型式布置时,在防波堤非掩护区内,数模方法可以很好地体现出波浪的反射作用和水深变化的影响,仅仅用规范方法计算波浪绕射产生的结果误差较大,需分别计算波浪反射和水深影响。

致谢:感谢同学胡曦光和同事王常刚、宋建明在本文的写作过程所给出的建议和帮助!

参考文献:

- [1] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 徐宏明. 港口工程中有关波浪问题的实用计算系统[J]. 海洋工程,1994,12(1):59-68.
- [3] 刘欣明,刘海成,池杰. 复杂水域波浪物理模型与数学模型对比研究[J]. 水道港口,2010,31(3):170-174.
- [4] 徐福敏,张长宽,陶建峰. 浅水波浪数值模型 SWAN 的原理及应用综述[J]. 水科学进展,2004,15(4):538-542.

Study on Calculation Method for Wave Parameter Within a Harbor

DU Qing-hua^{1,2}, YU Ding-yong¹, FU Xin-yu²

(1. *College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;*

2. *China Integrity International Oceaneering Ltd., Qingdao 266071, China*)

Abstract: Normative calculation method and numerical model method are respectively used to calculate the wave parameters within the harbors with three typical layout patterns of breakwaters, that is, single breakwater, double breakwaters and isolated breakwaters. Comparison is made between the calculated results and the physical model test results and the differences in the results from the harbors with different breakwater layout patterns are analyzed. The applicability of these methods is described.

Key words: wave; breakwater; normative method; numerical model; physical model