

波浪模型(YW-SWP)在海岸工程中的应用

林 祥 ,冯卫兵 ,李 杰

(河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室 ,江苏 南京 210098)

摘要 :在缺乏波浪观测资料无法求得深水波要素的情况下 ,利用岸站观测的风场资料 ,采用在国际通用的 WAM 波浪数学模型上建立的 YW-SWP 模型求得深水波要素 .计算结果表明 :在同一风场下 ,利用 YW-SWP 模型得到的波高与实测值相比 ,其最大相对误差为 7% ,而利用海港水文规范、国家堤防工程规范、SMB 公式求得的波高与实测值相比 ,最大相对误差分别为 10% ,30% ,40% .

关键词 :风场 ;波浪数学模型 ;海岸工程

中图分类号 :P731.22 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2007)05-0596-03

波浪是海洋中最为活跃的动力因素之一 ,大部分的海洋及海岸工程都受到波浪的作用 .近几十年来 ,人们从以各种经验公式来推算波浪发展到以波浪数学模型来预报波浪^[1-4] .在缺乏波浪观测数据无法得到深水波要素时 ,人们往往采用间接的方法来推求波浪要素 ,即利用相关气象站的风场资料来计算波要素 .本文所介绍的 YW-SWP 波浪数学模型就是其中的一种方法 .YW-SWP 数学模型是以国际上通用的 WAM 波浪数学模型基础建立的 ,其主要特征有 :模式从组成波谱能量平衡方程出发 ,直接采取谱方法进行非线性风浪和涌浪的计算 ;在模式中考虑了地形变化引起的浅水效应 ,使其在浅水和深水条件下具有同样的适用性 ;模式在源函数的选取上吸取了波浪第 2 代和第 3 代模式的最新成果 ,模式中采取最新风浪谱进行非线性波波间相互作用的处理 ,考虑了风浪和涌浪的相互转化问题 ,区分了浅水深度破碎和“白帽”破碎 2 个不同的机制 ;假定开边界处波浪已达充分成长状态 ,并输入相应的 PM 值 ,以此作为开边界条件 .因此 ,该模式对于地形复杂、水深梯度较大的海域有较好的适用性 .

1 数 学 模 型

1.1 控制方程

在 YW-SWP 模型^[5]中 ,解相对频率谱 $N(\sigma, \theta)$ 作用平衡方程 :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x [(C_g + u)N] + \frac{\partial}{\partial \sigma} [C_\sigma N] + \frac{\partial}{\partial \theta} [C_\theta N] = \frac{S}{\sigma} \tag{1}$$

$$N = N(\sigma, \theta, x, t) = \frac{F(\sigma, \theta, x, t)}{\sigma} \tag{2}$$

式中 : N ——相对波谱 ; F ——JONSWAP 谱 ; t ——时间 ; C_g ——波群速 ; u ——流速 ; C_σ, C_θ —— σ, θ 方向上的波速 ; S ——源函数

$$S = S(\sigma, \theta, x, t) = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{dbre} \tag{3}$$

式中 S_{dbre} 为白帽破碎函数 ,由总能量控制 : $\bar{E}_{max} = 0.035 C^{-4} / g^2$.

风输入源函数 :

$$S_{in} = \max \left\{ 0, \left[0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left(\frac{28 u_*}{\sigma / k} \cos(\theta - \theta_w) - 1 \right) \right] \right\} \sigma F(\sigma, \theta)$$

$$u_* = u_{10} [(0.8 + 0.065 u_{10}) 10^{-3}]^{1/2}$$

式中 : ρ_a, ρ_w ——空气密度 ,海水密度 ; $k, \theta, \theta_w, u_{10}$ ——波数、波向、风向、高度 10 m 处的风速 ; σ ——角频率 .
非线性相互作用采用 Hasselmann^[6]离散相互作用计算方法 ,对浅水采用如下公式 :

$$S'_{nl} = R(kd)S''_{nl}R(kd) = 1 + \frac{5.5}{x}\left(1 - \frac{5}{8}kd\right)\exp\left(-\frac{5}{4}kd\right)$$

式中： S'_{nl} ——有限水深处的非线性相互作用； S''_{nl} ——深水处的非线性相互作用； d ——平均水深。

破碎耗散源函数：
$$S_{dis} = -2.36 \times 10^{-5} \hat{\sigma} \frac{k}{\bar{k}} \left(\frac{\alpha}{\alpha_m}\right)^2 F(\sigma, \theta)$$
$$\alpha = \hat{k}^2 \iint F(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad \hat{\sigma} = [1/\sigma]^{-1} \quad \hat{k} = [1/\sqrt{k}]^{-2} \quad \alpha_m = 3.02 \times 10^{-3} \quad \bar{k} = \frac{\iint k F(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\iint F(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}$$

底摩擦耗散源函数：
$$S_{bot} = -\frac{8}{3\pi} f_w < u^2 >^{1/2}$$
$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \lg \frac{1}{4\sqrt{f_w}} = m_f + \lg \frac{a_b}{k_n} \quad < u^2 >^{1/2} = \sqrt{\iint \frac{2gk}{\sinh 2kd} F(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}$$
$$a_b = \sqrt{2 \iint \frac{1}{\sinh^2 kd} F(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \quad m_f = 0.08 \quad k_n = 0.05$$

1.2 初始条件和边界条件

初始条件 取 $t = 0$, $F(\sigma, \theta) = \frac{\alpha g^2}{\sigma^5} \exp\left[-\beta\left(\frac{g}{u\sigma}\right)^4\right] \frac{2}{\pi} \cos^2(\theta - \theta_w) \cos(\theta - \theta_w) > 0$, 其中 $\alpha = 8.10 \times 10^{-3}$, $\beta = 0.74$. 开边界条件 采用能量驱动方法以模拟涌浪的传入 , 即在开边界处假定波浪已达充分成长状态 , 输入相应风速的 PM 谱值 .

2 模型检验与结果分析

2.1 模型选取区域

模型选取区域为江苏省某海域 , 拟建人工岛位于海滨 , 所在海域属于苏北辐射沙脊群 , 由于拟建人工岛附近只有完整的 1 年(1996 年 10 月 ~ 1997 年 10 月) 现场波浪观测资料 , 不足以推算可靠的重现期波浪要素 , 为此 , 深水风浪的计算采用由历史天气图结合定点实测风速、风向资料确定的风场要素间接推算方法 , 确定安全可靠的设计深水波要素 .

2.2 常用的定常风浪计算的经验公式

a. 海港水文规范公式^[7]：

$$\frac{g\bar{H}}{V^2} = 0.13 \tanh\left[0.7\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.7}\right] \tanh\left\{\frac{0.0018\left(\frac{gF}{V^2}\right)^{0.45}}{0.13 \tanh\left[0.7\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.7}\right]}\right\} \quad \frac{g\bar{T}}{V} = 13.9\left(\frac{g\bar{H}}{V^2}\right)^{0.5}$$

b. 国家堤防工程规范^[8]：

$$\frac{gH_s}{V^2} = 0.283 \tanh\left[0.53\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.75}\right] \tanh\left\{\frac{0.0125\left(\frac{gF}{V^2}\right)^{0.42}}{\tanh\left[0.53\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.75}\right]}\right\} \quad \frac{g\bar{T}}{V} = 13.9\left(\frac{g\bar{H}}{V^2}\right)^{0.5}$$

c. 美国 SMB 公式^①(美国海岸工程防护手册)：

$$\frac{gH_s}{V^2} = 0.283 \tanh\left[0.53\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.75}\right] \tanh\left\{\frac{0.0125\left(\frac{gF}{V^2}\right)^{0.42}}{\tanh\left[0.53\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.75}\right]}\right\}$$
$$\frac{gT_s}{V} = 7.54 \tanh\left[0.833\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.375}\right] \tanh\left\{\frac{0.077\left(\frac{gF}{V^2}\right)^{0.25}}{\tanh\left[0.833\left(\frac{gd}{V^2}\right)^{0.375}\right]}\right\}$$

式中： F ——对岸风区长度； V ——计算风速； $\bar{H}$ ——平均波高； H_s ——有效波高； $\bar{T}$ ——平均波周期； T_s ——

① U S Army Coastal Engineering Research Center, Shore Protection Manual, 1976.

有效波周期; g ——重力加速度.

2.3 个例风场^[9]

选取9711号台风作为风场资料.9711号台风1997年8月14号生成于 15.9°N , 152.8°E 的洋面上,在稳定向西北方向移动的过程中逐渐加强为台风,并于18日13时32分在浙江省温岭市石塘镇登陆.登陆后台风穿过浙江、安徽、江苏等地,直到8月20日18时在东北境内减弱为低气压.整个持续时间为11d.此台风生命期长,强度大,影响面广,受其影响华东的大部分地区都出现了大风和暴雨,狂风暴雨造成的风暴潮给沿海地区造成巨大损失.因此选取该台风进行模拟具有一定的代表性.

2.4 波要素计算结果比较与分析

选取该海域在1997年8月18日的波浪观测值作为检验.观测点位置为: $32^{\circ}32'54''\text{N}$, $121^{\circ}24'45''\text{E}$.计算区域为 $117^{\circ}\text{E}\sim 129^{\circ}\text{E}$, $21^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$.

从表1可以看出计算波高与实测波高比较吻合,由于深水风浪特征波数值模型计算的波周期达到定常所需的时间较长,而实际计算中采用的时间较短,因此计算得到的波周期比实测波周期要小.另外,由于波浪观测点位于辐射沙脊群的中部,波浪实测值包含了涌浪的影响,而涌浪的周期较大,使得实测波周期较大.从表1也可以看出,YW-SWP模型相对于其他经验公式来说,其计算值与实测值更加吻合.

表1 波要素计算值与实测值比较

Table 1 Comparison of calculated results of wave factors with measured data

特征值	08时		14时		20时	
	H_s/m	T_s/s	H_s/m	T_s/s	H_s/m	T_s/s
海港水文规范公式计算值	0.85	3.25	1.01	3.49	1.37	4.43
国家堤防工程规范计算值	0.95	3.48	1.21	3.96	1.49	4.93
SMB公式计算值	1.01	3.58	1.28	4.05	1.56	5.04
YW-SWP模式计算值	0.86	4.64	0.96	4.89	1.43	5.53
实际观测值	0.80	5.40	0.90	6.80	1.40	5.30

3 结 论

本文介绍了在缺乏波浪实测资料地区采用YW-SWP波浪模型推算不同重现期波浪的方法.通过个例的分析,表明YW-SWP波浪数学模型可以满足海洋工程的需要.

参考文献:

[1] 袁业立,潘增弟,邹建生. LFSD 海浪数值预报方法: [J] 海浪数值预报模式[J]. 黄渤海海洋, 1988, 1(2): 1-5.
[2] 袁业立,潘增弟,华锋,等. LAGFD-WAM 海浪数值模式: [J] 基本物理模型[J]. 海洋学报, 1992, 14(5): 1-7.
[3] 袁业立,华锋,潘增弟,等. LAGFD-WAM 海浪数值模式 [J] 区域性特征线嵌入格式及其应用[J]. 海洋学报, 1992, 14(6): 12-24.
[4] 文圣常,宇宙文. 海浪原理与计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
[5] 尹宝树. 渤海波浪和风暴潮潮汐运动相互作用的理论和数值研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 1996.
[6] HASSELMAN K. Computation and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum: part1 a new methods for efficient computation of the exact nonlinear transfer integra[J]. Phys Oceanography, 1985, 15: 1369-1377.
[7] 中华人民共和国交通部. JTJ213—98 海港水文规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
[8] 中华人民共和国建设部. GB50286—98 国家堤防设计工程规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
[9] 李杰. 风浪要素数值模拟[M]. 南京: 河海大学出版社, 2005.

Application of wave model YW-SWP to coastal engineering

LIN Xiang, FENG Wei-bing, LI Jie

(Key Laboratory of Coastal Disaster and Defense of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract In consideration of the fact that the lack of wave observation data made it difficult to obtain deep water wave factors, a wave model YW-SWP was established based on the observed data of wind field and the universal mathematical model WAM, which could provide rational design parameters for coastal engineering. The result of calculation with this model shows that the maximal relative error of wave height obtained with this the model is 7% as compared with the measured data under the same wind field, while the maximal relative errors of wave height obtained by means of Code of Hydrology for Sea Harbor, Code for Design of Levee Project and SMB formula are 10%, 30%, and 40% respectively as compared with the measured data. Therefore, YW-SWP model can be applied to coastal engineering.

Key words wind field; numerical model of wave; coastal engineering