

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.02.010

王仙美, 翟剑峰, 东培华, 等. 基于台风参数模型的江苏海域风暴增减水研究[J]. 水利水运工程学报, 2015(2): 61-66.
(WANG Xian-mei, ZHAI Jian-feng, DONG Pei-hua, et al. A study of storm surge in Jiangsu sea waters based on a typhoon parameter model[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(2): 61-66.)

基于台风参数模型的江苏海域风暴增减水研究

王仙美, 翟剑峰, 东培华, 范 飞

(江苏省水运工程技术研究中心, 江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 以正面袭击江苏的“达维”台风为例, 运用台风参数模型、第三代波浪模型和基于浅水方程水动力模型对台风期间江苏沿海的风暴增减水进行模拟研究。首先, 运用 Je 氏台风参数模型模拟了台风的梯度风场, 并与 NECP 再分析风场数据对“达维”台风场进行合成, 与观测值进行比较, 拟合结果良好; 然后, 以模拟的台风风场为驱动, 模拟台风经过期间江苏海域的波浪场, 同时计算台风期间江苏海域的天文潮; 最后, 运用浅水方程计算江苏海域的增减水, 并研究了沿海增减水分布情况。研究结果表明: 灌河口附近最大风暴增水达 1.9 m 左右, 由于台风中心位置的影响, 江苏沿海最大增水从北往南呈先增大后递减的趋势。

关键词: 台风参数模型; 风暴潮; 增减水; 江苏海域

中图分类号: P731

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)02-0061-06

海岸工程中台风的影响不可忽视。为最大程度减少台风造成的经济损失, 人们从不同角度对台风及其影响进行了研究, 从台风风场的模拟^[1-5], 到台风浪、风暴潮的模拟^[6-10], 再到台风浪与建筑物的相互作用等, 涉及范围非常广泛。江苏省每年因台风造成的经济损失达上亿元。为了研究台风期间江苏沿海的风暴增减水情况, 本文以正面袭击江苏的“达维”台风为例, 对台风期间江苏的风暴增减水情况进行了研究分析。

1 模型理论及参数设定

1.1 台风参数模型理论

基于台风经验计算式的 J. 氏台风参数模型计算台风风场时, 台风最大风速半径内外分别采用不同的方式。在最大风速半径以内, 即 $0 \leq r < R$ 时^[8]:

$$\frac{P(r) - P_0}{P - P_0} = \frac{1}{4} \left(\frac{r}{R}\right)^3 \quad (1)$$

$$w_x = \frac{r}{r + R} v_{cx} - w_m \frac{2r/R}{1 + (r/R)^2} [(x - x_0) \sin\theta + (y - y_0) \cos\theta] / r \quad (2)$$

$$w_y = \frac{r}{r + R} v_{cy} + w_m \frac{2r/R}{1 + (r/R)^2} [(x - x_0) \sin\theta - (y - y_0) \cos\theta] / r \quad (3)$$

在最大风速半径以外的区域, 即 $R \leq r$ 时:

$$\frac{P(r) - P_0}{P - P_0} = 1 - \frac{3R}{4r} \quad (4)$$

收稿日期: 2014-06-20

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2012AA112509); 江苏省沿海建港条件及关键技术集成研究(2011Y01)

作者简介: 王仙美(1964-), 女, 江苏南京人, 研究员, 主要从事水运工程技术方面研究。E-mail: wxm@jsjty.com

通信作者: 范 飞(E-mail: 499696149@qq.com)

$$w_x = \frac{R}{r+R}v_{cx} + w_m \frac{2r/R}{1+(r/R)^2} [(x-x_0)\sin\theta - (y-y_0)\cos\theta] / r \quad (5)$$

$$w_y = \frac{R}{r+R}v_{cy} + w_m \frac{2r/R}{1+(r/R)^2} [(x-x_0)\sin\theta - (y-y_0)\cos\theta] / r \quad (6)$$

式中: $P(r)$ 为计算点的气压值; P 为标准大气压, x_0, y_0 为台风中心位置在 x, y 方向的坐标值; r 为计算点到台风中心的距离; R 为最大风速半径; w_x, w_y 为台风风速在 x, y 方向上的分量; v_{cx}, v_{cy} 分别为台风中心移动速度在 x, y 方向上的分量; w_m 为最大风速; P_0 为台风中心气压。

1.2 波浪模型理论

波浪计算采用的是基于波浪能谱平衡的第三代波浪模型,直角坐标系下,其控制方程^[11]可表达为:

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial x}c_x N + \frac{\partial}{\partial y}c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S_{\text{tot}}}{\sigma} \quad (7)$$

式中: N 为波浪作用谱密度,即 $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$, $E(\sigma, \theta)$ 为波浪密度谱函数, c_x, c_y 分别为波浪在 x, y 方向上的传播速度的分量; c_σ, c_θ 分别为速度在 σ, θ 向的分量。 S_{tot} 为吸收和消耗的波浪能量总和。

1.3 水流理论

水流计算主要求解垂向平均的连续方程和动量方程,其具体表达式^[12]为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = hS \quad (8)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = fvh - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial Pa}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} + \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \quad (9)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = fuh - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial Pa}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} + \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hu_s S \quad (10)$$

式中: η 为水位; d 为静止水深; u, v 分别为 x 和 y 方向的流速; f 为柯氏力加速度; ρ 为水体密度; S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} 为波浪辐射应力的各个分量, $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ 为剪切应力的分量; T_{xx}, T_{xy}, T_{yy} 为侧向压力,其表达式为 $T_{xx} = 2A\partial u/\partial x$, $T_{xy} = A(\partial u/\partial y + \partial v/\partial x)$, $T_{yy} = 2A\partial v/\partial y$ 。

1.4 参数设定

为了满足计算精度需求,波浪和水流模型的计算都采用了嵌套结构,大模型为东中国海模型,小模型为江苏模型,其中,东中国海模型的计算范围为 $117^\circ \sim 138^\circ \text{E}$, $20^\circ \sim 42.5^\circ \text{E}$,风场数据的空间精度为 0.02° ,时间精度为 1 h 。计算波浪时,考虑了波浪之间的非线性相互作用、底部摩擦、折射、绕射、白帽损失以及波浪破碎引起的能量损失等物理现象,波浪谱采用的是Johnswap谱,方向谱把 360° 平均分成了36份。潮流模型的边界采用的是日本NAO东中国海潮波模型的16个调和常数。为了拟合江苏省复杂的海岸线,计算采用了非结构化网格。图1显示了江苏省海域的水深地形。从图1可见:江苏海域的水深从东往西呈依次递减的趋势,南黄海辐射沙

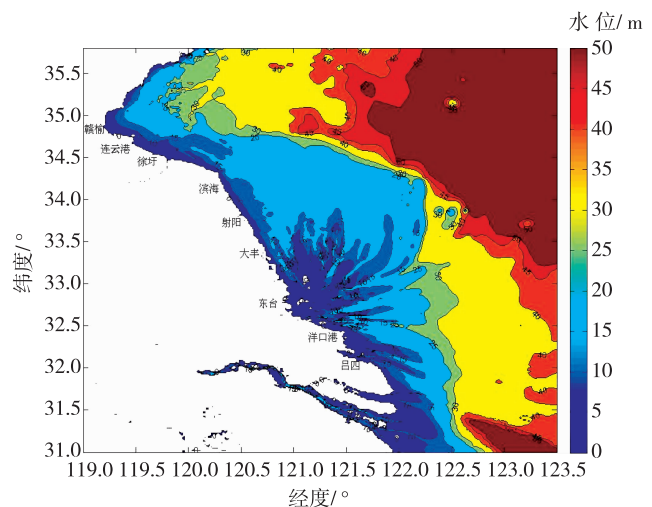


图1 江苏海域水深地形

Fig. 1 Jiangsu Province coast

脊群地形复杂,在落潮时会有部分浅滩露出水面,为满足计算稳定性的要求,模型在计算时采用了干湿节点法来处理动边界的问题。

2 模型验证

为验证模型模拟的准确性,本文选用徐圩海洋站“达维”台风期间实测资料对模拟的台风风速、风向、波浪以及水位进行了验证,拟合结果见图2。可见,该模型对风速、风向、波高和水位的模拟都较为准确。经计算,风速、风向、波高和水位等动力因素的模拟值与观测值的相关系数分别为0.72,0.78,0.73和0.89。水位的模拟值与观测值的相关性最高,说明两者有很强的线性相关关系;其他动力因素的相关性也较高,说明模拟值精度较高。

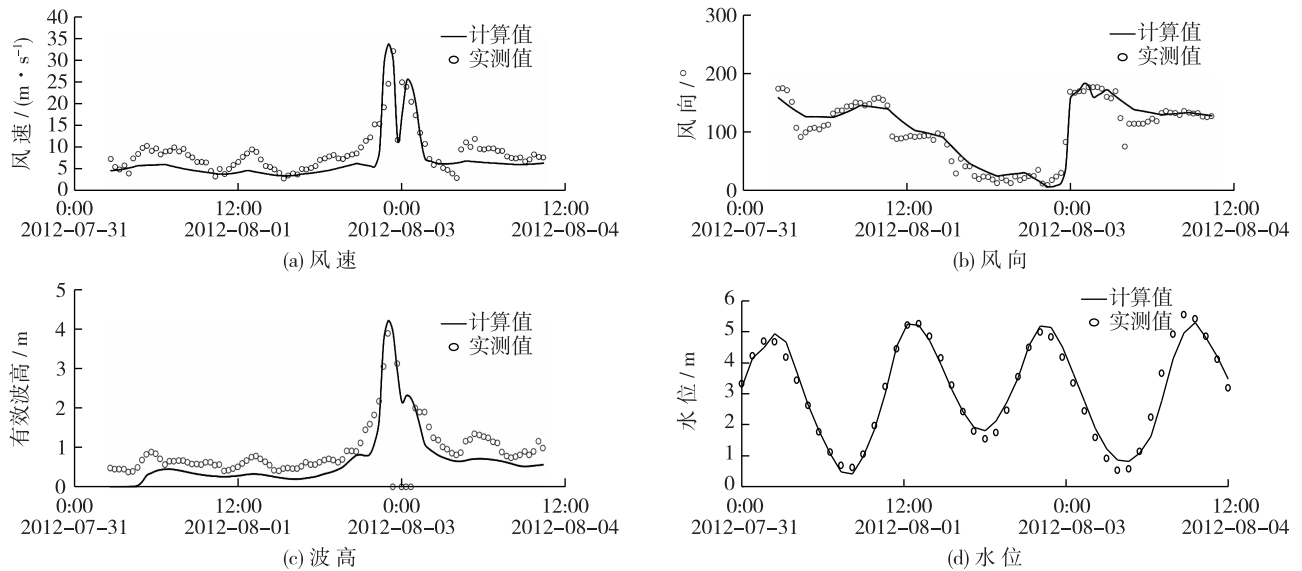


图2 徐圩海洋站台风和波浪要素模拟验证

Fig. 2 Comparison between measured and simulated values of wind wave height and water level

3 模拟结果分析

“达维”台风在日本海域附近形成,途径日本、韩国,在江苏海域的灌河口附近登陆,登陆后向山东半岛前进,最后从山东半岛出海并逐渐消亡。台风登陆前,大范围东中国海模型台风风场的分布情况见图3。从图3可见,台风风速的整体分布趋势表现为由台风中心往外围先增后减。最大台风半径处风速最高。由于台风参数模型属于理论风场模型,故计算的台风场呈圆形分布,由于江苏海域地处北半球,故台风呈逆时针旋转,此刻台风最高风速达42 m/s。

图4为台风登陆期间吕四以北海域的有效波高分布情况。从图中可以看出:台风登陆期间,海州湾波浪较大,最大有效波高达9 m左右,波高的分布趋势呈深水区域往近岸区域逐渐递减,在近岸区域波高达到4 m左右。而对于江苏滨海以南的海域,波高减小明显,这

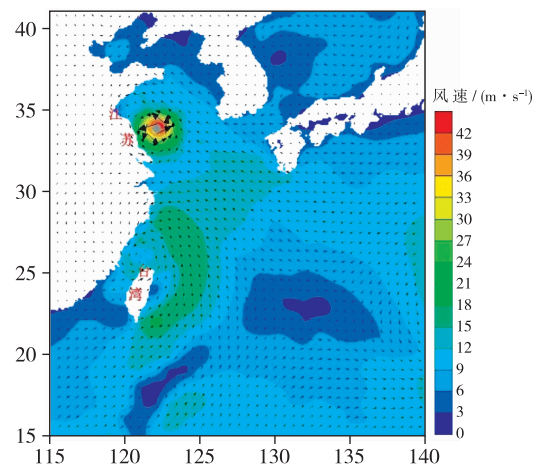


图3 台风登陆附近时刻台风场分布

Fig. 3 Distribution of wind field as typhoon landing

主要是由于“达维”台风在海州湾内的灌河口附近登陆,台风风场呈逆时针旋转,而滨海、大丰、射阳、洋口等地均处于台风中心位置的东南侧,风向都是由陆地吹向海侧,此时,浪向为离岸浪,由于未能经过充分成长,波高减小较为明显。

江苏海域主要受两大潮波系统的作用,一个是东海的前进潮波系统,另一个是南黄海的左旋潮波系统。这两大潮波系统在江苏琼港处交汇,形成了辐聚辐散的现象,且形成了较大的潮差,最大潮差达6m左右。图5为“达维”台风期间,江苏海域天文潮涨潮时刻的流场分布图,可见两大潮波系统在辐射沙脊群附近的琼港处交汇。图6为台风期间风、浪、天文潮共同作用下的江苏海域流场分布情况,可见,受台风影响,台风附近水流流向发生了明显变化。受台风风向影响,涨潮时,台风中心右侧向北的风生流与向南流的潮流相互作用,会产生一个环流,但流速相对较小。

台风引起的风暴增减水与气压场有着最为密切的关系。一般台风中心气压较低,故增水较大。图7为台风登陆时江苏海域增减水情况。由图7可见,台风中心增水达1.6m,台风增水的整体分布趋势为由台风中心往外递减,就江苏海域而言,海州湾内的增水最多,而通州湾内增水最少。

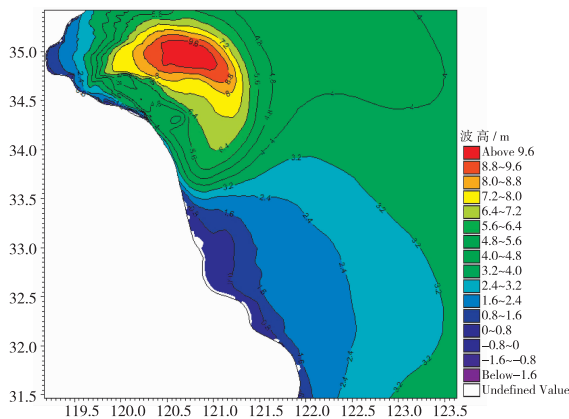


图4 台风登陆前江苏海域波浪场分布

Fig. 4 Distribution of wave height of Jiangsu sea waters before typhoon landing

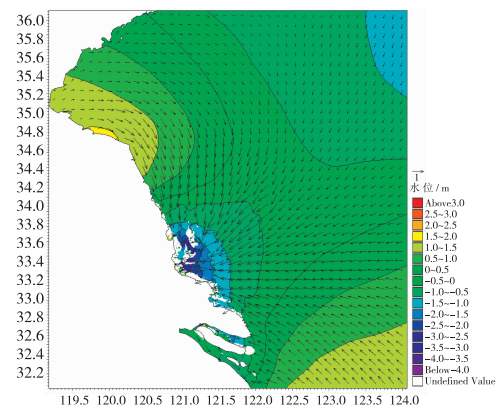


图5 台风期间江苏海域涨潮时刻天文潮流场分布

Fig. 5 Flow field distribution of tidal current in Jiangsu sea waters

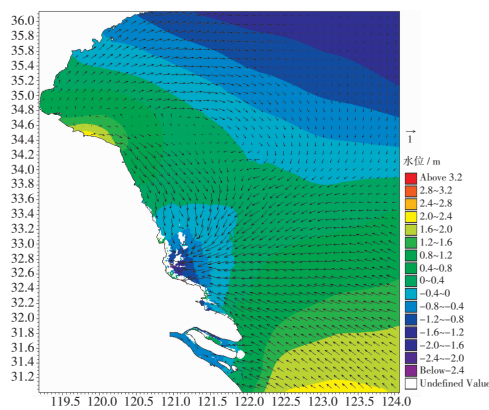


图6 台风期间江苏海域涨潮时刻流场分布

Fig. 6 Distribution of flow field in Jiangsu sea waters during typhoon

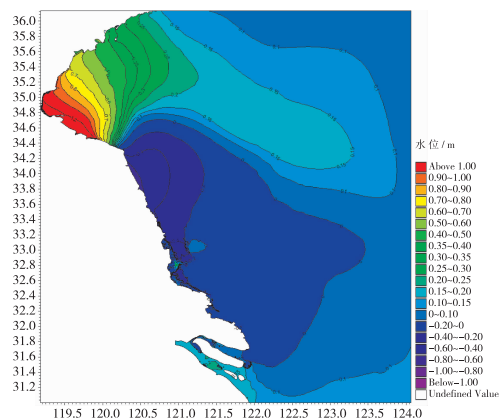


图7 台风登陆时江苏海域风暴增减水分布

Fig. 7 Surge distribution in Jiangsu sea waters as typhoon landing

为研究台风期间江苏沿海最大增水情况,从北往南依次对赣榆、连云港、滨海、大丰、吕四等地的最大增

水量进行计算。其最大增水具体的分布情况如图8所示。

整体而言,灌河口的最大增水比其他测站的最大增水量要大,其值达1.9 m,与海洋局海洋灾害年报中的1.8 m较为相近。海州湾中部、连云港与滨海的最大增水量次之,其值约1.5 m,从滨海往南,最大增水量呈逐渐递减的趋势,通州湾的最大增水量最小,这主要是由于“达维”台风从滨海附近登陆并沿着海州湾前进,因此台风期间海州湾内的最大增水值比其他地区要大一些,由于通州湾离台风中心相对较远,故通州湾内的洋口、吕四等地的最大增水较小,最大增水量都在0.5 m左右。

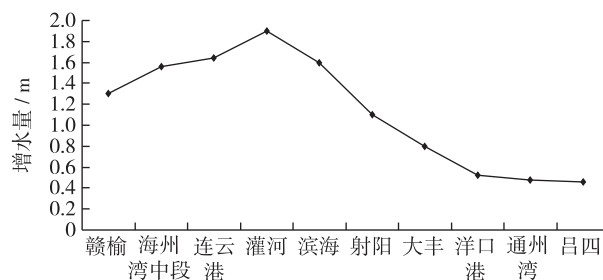


图8 台风经过期间江苏沿海最大增水分布

Fig. 8 Maximum surge distribution in Jiangsu sea waters during typhoon

4 结 语

运用台风参数模型与NECP再分析数据合成的台风风场和气压场具有较高精度,能满足台风浪及风暴潮模拟的精度要求。“达维”台风期间,江苏海域风暴增水最大时刻出现在台风登陆时,最大值出现在灌河口附近,最大值达1.9 m,江苏沿海最大增水从北往南依次呈先增后减趋势,最大值出现在台风中心附近。

参 考 文 献:

- [1] 陈孔沫. 一种新的台风风场分布模式[J]. 海洋科学, 1990, 13(3): 1-5. (CHEN Kong-mo. A new model of typhoon wind field distribution[J]. Marine Science, 1990, 13(3): 1-5. (in Chinese))
- [2] FUJII T, MAEDA J, ISHIDA N, et al. An analysis of a pressure pattern in severe typhoon bart hitting the Japanese islands in 1999 and a comparison of gradient wind with the observed surface wind[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2002, 90(12): 1555-1568.
- [3] BODE L, HARDY T A. Progress and recent development in storm surge modeling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 315-331.
- [4] 俞亮亮,陆培东,陈可锋. “梅花”台风期间江苏辐射沙洲海域风暴潮增水研究[J]. 海洋工程, 2013, 31(3): 63-69. (YU Liang-liang, LU Pei-dong, CHEN Ke-feng. Research on storm surge during typhoon “Muifa” in radial sand ridegs off Jiangsu coast[J]. Ocean Engineering of China, 2013, 31(3): 63-69. (in Chinese))
- [5] MADSEN H, JAKOBSEN F. Cyclone induced storm surge and flood forecasting in the northern bay of Bengal[J]. Coastal Engineering, 2004, 51(4): 277-296.
- [6] 杨洋. 西北太平洋台风浪后报[D]. 上海:上海交通大学, 2009. (YANG Yang. Numerical simulation of typhoon waves in Northwest Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009. (in Chinese))
- [7] 郑立松. 风暴潮-天文潮-波浪耦合模型及其在杭州湾的应用[D]. 北京:清华大学, 2010. (ZHENG Li-song. Development and application of a numerical model coupling storm surge, tide and wind wave[D]. Beijing: Tsinghua University, 2010. (in Chinese))
- [8] 潘丽红. 台风条件下上海地区典型海堤防御能力评价研究[D]. 上海:华东师范大学, 2011. (PAN Li-hong. Assessment of defense capability of sea dikes in Shanghai for typhoon[D]. Shanghai: East China Normal University, 2011. (in Chinese))
- [9] 胡克林,丁平兴,朱首贤,等. 长江口附近海域台风浪的数值模拟-以鹿沙台风和森拉克台风为例[J]. 海洋学报, 2001(3): 23-33. (HU Ke-lin, DING Ping-xing, ZHU Shou-xian, et al. Numerical simulation of typhoon waves in sea waters of the Changjiang estuary: A case study of typhoon Rusa and Sinlaku[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001(3): 23-33. (in Chinese))
- [10] BOOIJ N, HAAGSMA IJG, Kieftebvurg ATMM. SWAN user manual (Cycle version 40.91) [M]. Delft: Delft University of Technology, 2004.
- [11] 范飞. 波浪发电对海湾冲淤演变的影响研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2013. (FAN Fei. The impact of wave farm on the erosion and siltation in the bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. (in Chinese))

A study of storm surge in Jiangsu sea waters based on a typhoon parameter model

WANG Xian-mei, ZHAI Jian-feng, DONG Pei-hua, FAN Fei

(*Aquatic Transportation Center of Jiangsu Province, Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210014, China*)

Abstract: Taking the typhoon “Damrey” hitting land of Jiangsu Province as a case history, based on a typhoon parameter model, the third generation wave model and a hydrodynamic model on the basis of a shallow water equation, simulation study of the storm surge in Jiangsu sea waters is carried out in this paper. The typhoon landed on Lianyungang waters of Jiangsu sea waters. Firstly, the gradient wind field of the typhoon “Damrey” was computed by a Jele wind parameters model, then the NECP ambient wind field and gradient wind field are compounded, and the typhoon “Damrey” field was formed. Model analysis indicates that there are good fitting results between the simulated values and the measured values of the typhoon data. And then, the wave parameters of Jiangsu sea waters during typhoon have been calculated by a wave model, which was driven by the typhoon wind field. At the same time, the tidal current of Jiangsu sea waters during typhoon was simulated with a shallow water equation. Last, a study of the water level fluctuation of storm surge induced by the typhoon “Damrey” in Jiangsu sea waters has been carried out. The analysis results show that the largest storm surge occurred on Guanhe River estuary during the typhoon, which is up to 1.9 m. The largest surge of the observation point of Jiangsu sea waters increases before decrease in the storm surge from north to south Jiangsu Province, due to the impacts given by the typhoon centre.

Key words: a typhoon parameter model; storm surge; water level fluctuation of storm surge; Jiangsu sea waters