

日本南海海沟潜在地震海啸对中国东部沿海影响的数值模拟研究

黄 强, 景惠敏*, 胡 培

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘 要:2011-03-11 日本东北部地震海啸发生后, 围绕日本南海海沟发生潜在 9 级地震的可能性也进一步增大。采用高精度高分辨率有限体积浅水波数值模型 GeoClaw 对日本东北大地震海啸的产生、传播过程进行数值模拟研究, 模拟结果对比海上浮标观测数据及中国东部沿海验潮站记录数据可知首波波峰偏差小于 10%, 表明模型 GeoClaw 可以很好地模拟海啸在大洋中及东海大陆架的传播过程。利用模型 GeoClaw 对日本南海海沟 9 级地震断层模型进行海啸数值模拟研究。研究表明, 地震引发的海啸波能量巨大, 同时向各个方向传播。地震发生 5 h 后海啸波到达中国东部福建沿海地区, 进而影响浙江、上海、江苏等沿海地区, 海啸波高可达到 1 m 以上。鉴于日本南海海沟大地震发生的历史性规律及对中国东部沿海地区造成的潜在灾害, 需要对其进行相应的数值模拟研究。

关键词:地震海啸; 日本南海海沟; 模型 GeoClaw; 数值模拟; 潜在灾害

中图分类号:P731

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2018)02-0206-10

doi:10.3969/j.issn.1671-6647.2018.02.006

海啸是严重的自然灾害之一, 虽然发生频率低, 但其发生时释放巨大能量, 可将海底至海面的“水墙”推动前进, 并在深海中持续不断地向四周传播。海啸波传播速度极快, 到达海岸时由于地势的上升波长变短, 海啸波波幅陡然增高, 在极短时间内爬升并淹没沿海地区, 造成重大自然灾害。海啸的发生一般是由海底大地震所引发的, 大地震造成板块断层之间相对错动, 海底发生大面积的陷落或抬起, 从而引起海水陷落或抬起, 形成较大海面, 即“水墙”。由历史经验可知, 大地震的发生是由板块内部运动碰撞产生的, 而日本南海海沟恰好处于亚欧大陆板块与太平洋板块交界处, 地处全球地震最活跃的地带——环太平洋地震带, 这是地震发生频率最高的地震带^[1]。美国地质勘探局(USGS)实时地震海啸监测图也表明了大型地震海啸的发生集中在板块交界处附近。2011-03-11 发生在日本东北部附近海域 9.0 级特大地震引发了巨大的海啸, 造成了日本沿岸地区严重的人员伤亡和财产损失。近十年来大型地震海啸灾害频发, 引发了各国对海啸研究的高度重视。

1946 年日本南海道发生的 8.1 级大地震, 地震引发了 4~6 m 的海啸, 并使日本沿海地区遭受了重大灾害。日本内阁府的地震专家委员会表示, 南海道每隔 100 a 左右, 都会发生一次 8 级以上的大地震, 震级强, 破坏性大。东日本大地震发生后, 委员会称日本南海海沟存在 9 级以上地震的可能, 引起的海啸高度将达 34 m, 可淹没 10 层高楼, 且海啸将会波及中国江浙沿海地区, 并直接袭击上海, 对此, 日本文部省在 2013 年年度开展了南海海槽大范围地震研究计划^[2]。为应对海啸可能带来的威胁, 需要对潜在风险源进行调查和评估。

地震海啸的数值模拟研究已经相当广泛^[3-6], 国际上主要采用 COMCOT^[7], MOST^[8] 数值模式来进行海啸的数值模拟, 本文采用自适应网格加密技术有限体积模型 GeoClaw^[9] 对潜在地震震源进行海啸数值模拟。各模型的基本特点如表 1 所示, 其中 GeoClaw 的明显特点是自适应网格加密。以 1946 年日本南海道大地震为依据, 对 9 级地震震源断层模型进行海啸数值模拟, 并对海啸模拟结果的产生、传播、爬高等过程进

收稿日期:2017-05-28

资助项目:国家自然科学基金青年基金项目——地震海啸上岸过程的数值模拟研究(41304072)

作者简介:黄 强(1992-), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事地震海啸数值模拟方面研究。E-mail: huangqiangnbu@hotmail.com

* **通讯作者:**景惠敏(1983-), 女, 山东德州人, 讲师, 博士, 主要从事地震海啸、港口风浪、港湾共振方面研究。E-mail: jinghuiamin@nbu.edu.cn

(李 燕 编辑)

行评估和分析,初步得出海啸的灾害分布。

表 1 海啸数值模型对比

Table 1 Comparison among tsunami numerical models

海啸数值模型	控制方程	色散性	网 格	数值方法	并行化
MOST	浅水方程	有(数值)	结构网格	有限差分法	OpenMP
COMCOT	浅水方程	有(数值)	多重嵌套网格	有限差分法	无
GeoClaw	浅水方程	无	自适应网格	有限体积法	OpenMP

1 海啸源模型分析

海啸的产生源于深海地震,日本南海海沟地处深海,且位于板块交界处,由于菲律宾海板块的北西向运动与其向欧亚板块的强烈俯冲,致使该区域频繁发生强烈地震。根据地震的周期性规律^[10]可知该区域发生大地震的概率很高。地震断层的精准判定目前还难以实现,相关研究只能在地震刚发生时根据沿海数据观测站反演得到,也可通过结合全球定位系统和自动识别系统的船高数据^[11]反演而来。对于南海海沟 9 级地震,我们可以在板块相交处确定地震断层的位置参数。参考 1946 年日本南海道大地震的震源参数,数据来源于美国国家地球物理数据中心(NGDC)^[12],并根据地震学理论,矩震级和断层参数之间的重要联系是地震矩 $M_0 = \mu \cdot \Delta U \cdot L \cdot W$, 式中 μ 为地震中地壳岩的剪切模量,取 $\mu = 3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$; ΔU 为断层破裂时的平均位错; L 和 W 为断层面的长和宽,单位均为 m。由 Hanks 和 Kanamori^[13]的经验公式知地震矩和矩震级之间的关系是 $M_0 = 10^{1.5M_w + 9.1}$, M_w 为地震矩,此关系可以用来计算各断层参数。另外,我们注意到大地震通常发生在海洋板块向大陆板块俯冲形成的俯冲带的一侧,采用基于弹性半空间错移理论发展的 Okada^[14]断层模型确定假设的 9 级地震震源参数如表 2 所示。通过输入地震断层参数,利用 GeoClaw 断层模型计算程序可得到地震震源断层模型见图 1。

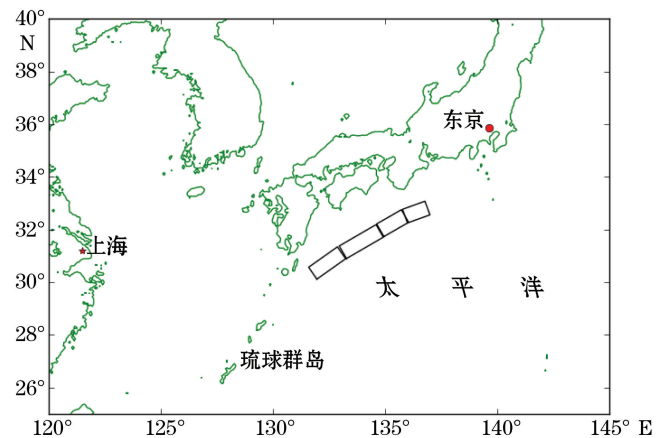


图 1 日本南海海沟潜在地震断层位置

Fig.1 Location of fault plane segments that may cause potential earthquake along the Nankai Trough

表 2 设定潜在地震震源断层参数

Table 2 Configurations of tsunami numerical simulations

断层子段 编号	震中 位置	子段长度 /km	子段宽度 /km	走向 /°	倾角 /°	滑移角 /°	平均位错 /m	震源深度 /km
1	136°30'E, 32°24'N	100	80	70	40	30	30	20
2	135°30'E, 32°00'N	120	80	60	40	30	30	20
3	134°06'E, 31°18'N	180	80	60	40	30	30	20
4	132°36'E, 30°30'N	150	80	55	40	30	25	20

2 模型简介与验证

本文使用的有限体积模型 GeoClaw 是基于 Clawpack 开源软件包(www.clawpack.org/contents.html)所开发出来的一个分支,是在 Godunov 方法的基础上对方程进行离散改进的模型,其地形数据以源项形

式体现。该模型通过高精度、高分辨率有限体积法求解双曲守恒率。通过将计算区域划分成矩形网格单元,基于改进的 Godunov 方法求解相邻网格单元界面处的黎曼问题,同时引入了非线性限制器来抑制数值计算过程中的非物理振荡。模型在空间和时间维都达到了二阶精度,避免了数值耗散项的引入,产生的数值频散恰好弥补了浅水方程未考虑物理频散对远场海啸的模拟误差。均衡算法使数值解既保证了解的光滑性及稳定性,又可以考虑强的激波及解的间断特征,这对模拟海啸传播至近岸时波浪破碎后的水跃是非常重要的。有限体积法可以自然地满足海啸淹没特征计算,无需每个时间步通过判断干湿网格来实现,从而提高了计算效率^[15]。

模型的控制方程如下守恒形式:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2 + 0.5gh^2) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = -gh \frac{\partial b}{\partial x} + fhv - \tau_x, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2 + 0.5gh^2) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) = -gh \frac{\partial b}{\partial y} + fhv - \tau_y, \quad (3)$$

式中, u, v 分别为 x, y 方向的水深平均速度; g 为重力加速度; f 为科氏力; h 为总水深; b 为海底地形随 x, y 变化时的高程; τ_x, τ_y 分别表示 x, y 方向的底摩擦,可以表示为

$$\tau_x = \frac{gn^2}{h^{\frac{7}{3}}} hu \sqrt{(hu)^2 + (hv)^2}, \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{gn^2}{h^{\frac{7}{3}}} hv \sqrt{(hu)^2 + (hv)^2}, \quad (5)$$

式中, n 为曼宁系数。

在海啸的数值模拟中,计算网格的空间分辨率从数千米到数米之间,嵌套或自适应网格加密算法通常被用于跨尺度问题的研究中。本文模型主要计算特征应用自适应网格加密技术,实现大空间范围、不同空间尺度海啸波传播物理过程特征计算,考虑了海啸波在近岸传播的非线性作用、底摩擦以及科氏力效应,并通过在海啸波高的追踪判断来确定是否进行加密计算,海啸波在大洋中的传播过程使用较粗网格分辨率进行计算,当海啸波到达近岸时模型会根据预先的参数设置自动加密到 1' 网格分辨率,体现了自适应加密技术的高效计算特征,特别适合于二维浅水问题的模拟计算。

模型 GeoClaw 在 2010 年智利地震海啸^[16]中得到应用,效果良好,与此同时,我们以日本东北大地震为例对该模型进行验证。此次地震发生后,各国专家纷纷对其进行了大量研究,得到了丰富的地震海啸数据资料^[17-19],有利于我们进行海啸相关数据的对比。本文采用 Wei 等^[21]基于海啸浮标观测数据反演海啸源所得到的大地震断层模型如图 2 所示。

此次海啸传播计算区域为 ($115^\circ \sim 160^\circ \text{E}, 10^\circ \sim 50^\circ \text{N}$),采用来自美国国家地球物理数据中心 ETOPO1 数据库 1' 海洋水深地形数据进行数值模拟,模拟过程对中国东部沿海区域 ($121^\circ \sim 125^\circ \text{E}, 26^\circ \sim 32^\circ 30' \text{N}$) 进行网格加密,在保证模拟结果良好的情况下提高计算效率。东日本大地震海啸的产生、传播数值模拟过程如图 3 所示,其主要呈现了 1 h 内海啸传播过程情况。

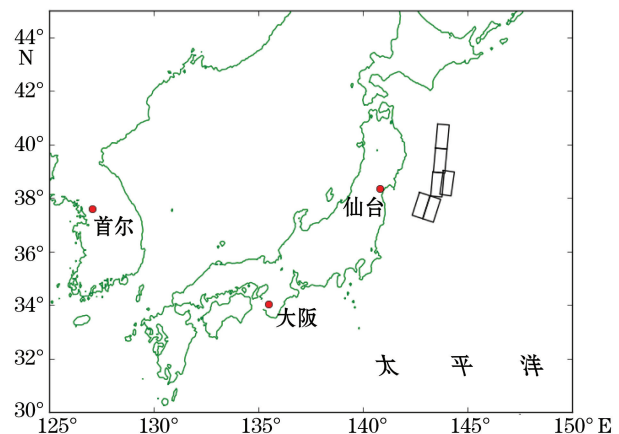


图 2 东日本大地震断层位置

Fig.2 Location of fault plane segments of the Tohoku earthquake

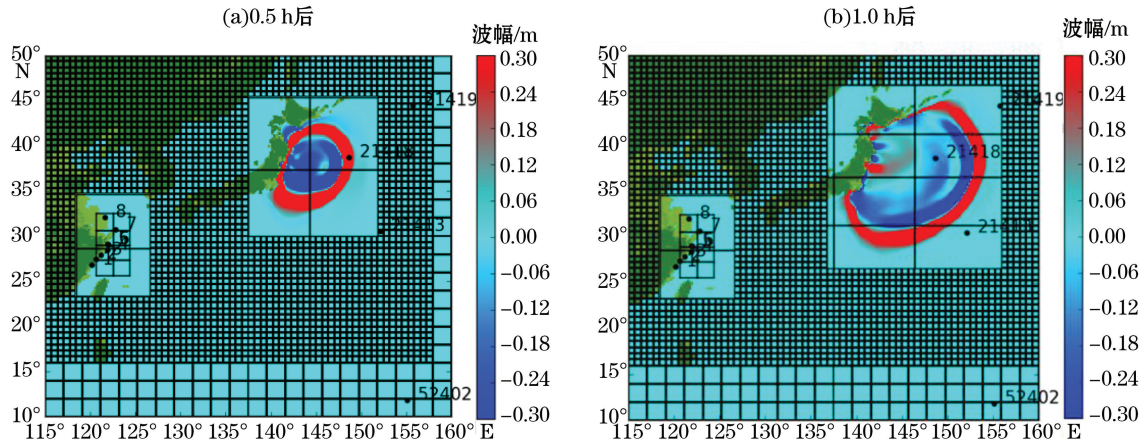


图 3 海啸波传播过程不同时刻示意图

Fig.3 Snapshots of tsunami propagation at various times

图 4 是模型计算结果与日本沿海附近 4 个海啸浮标 DART 观测值的对比图,浮标位置分别为 21418 (38°43'4.8"E, 148°41'52.79"N),21413(30°31'40.8"E, 152°07'22.8"N),21419(44°27'18"E, 155°44'06"N)和 52402(11°52'55.2"E, 154°06'39.6"N)。从图中可以看出,模型计算值和观测序列基本一致,首波到达时间也基本吻合,首波高度略有偏差,其中 21418 站离震源较近,受地震影响较大,故偏差也较大,可不作讨论;21413 站首波峰计算值和观测值分别为 0.85 和 0.82 m;21419 站首波峰计算值和观测站分别为 0.50 和 0.58 m;52402 站计算值和观测值分布为 0.27 和 0.30 m,通过计算可知误差在 10%以内,表明模型可较好地模拟海啸在大洋中的传播过程。

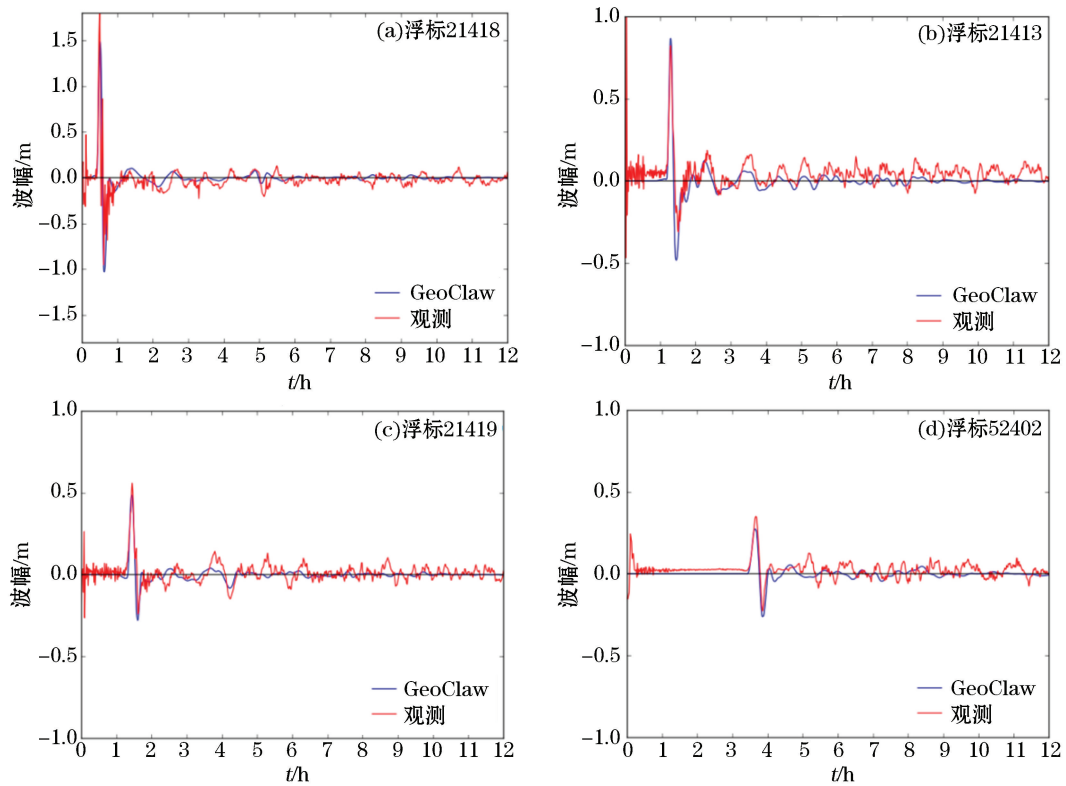
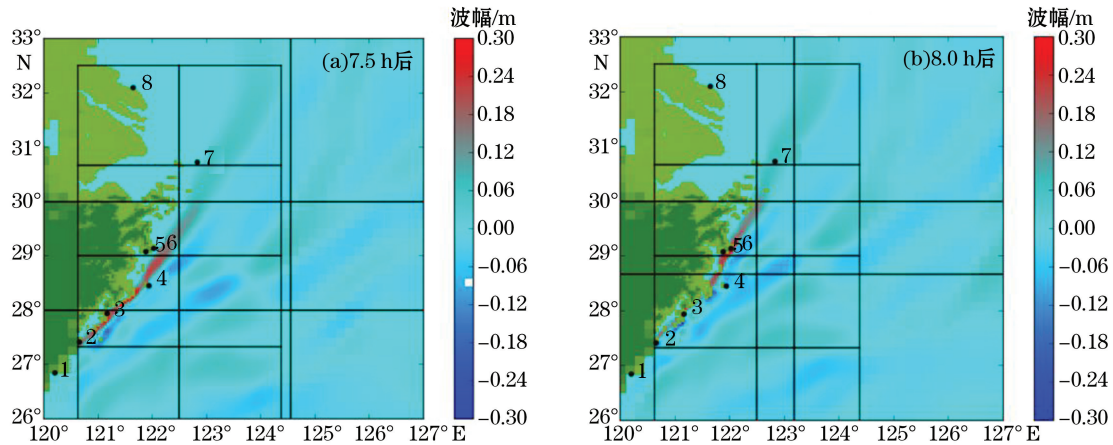


图 4 DART 浮标观测值和模拟值对比

Fig.4 Comparison between numerical simulations and measurements of DART buoys

图 5 为东日本大地震海啸在中国东部沿海地区的传播过程。由图 5 可以看出东日本大地震海啸对中国东部沿海的影响很小;由于地震断层位于日本东部,地震引发的海啸主要向东南方向传播,能量集中传向太平洋,而中国东部沿海位于日本以西,中间隔着日本岛链和东海大陆架,因此海啸传播至中国东部沿海时能量急剧衰减,海啸波幅也趋于平缓。海啸波穿过东海大陆架传播至中国东部沿海时能量急剧衰减,但传播至近海岸时由于地势升高,波长变短,海啸波幅也会在短时间内急剧增高。通过表 3 最大波幅计算值与观测值对比结果可知,模型 GeoClaw 很好地模拟了海啸在东海大陆架的传播过程。



注:图中数字代表沿海地区的一些验潮站

图 5 海啸波在中国东部沿海地区传播过程

Fig.5 Propagation of tsunami waves in the eastern coastal area of China

表 3 沿海验潮站最大波幅

Table 3 Maximum amplitudes at tidal stations in the eastern coastal area of China

项目	三沙	石砰	坎门	大陈	沈家门	石浦	嵎山	吕泗
观测值/cm	23	21	30	15	52	55	21	19
计算值/cm	16	21	35	26	45	48	18	16

3 日本南海海沟地震海啸数值模拟研究

大量历史资料和相关地震海啸研究表明,日本南海海沟未来 50 a 内发生地震的概率为 90% 以上,每 100~200 a 都会发生一次大规模地震^[21]。对于日本南海海沟 9 级地震,本文利用数值模型 GeoClaw 进行模拟,采用来自于 ETOPO1 数据库 1' 精度的海洋水深地形数据,选取计算区域为(115°~145°E, 10°~40°N),并对计算区域(120°00'~122°30'E, 26°30'~32°30'N)进行加密计算。在中国东部沿海设置若干个计算点,以 9 级地震断层模型作为海啸源对其进行地震海啸数值模拟,分析海啸传播过程、分布范围以及对东部沿海地区的影响情况。

3.1 海啸波产生及传播过程

图 6 为日本南海海沟 9 级地震海啸初始位移场及最大波幅分布图。由地震发震特点可知,地震断层的错动过程时间极短,甚至在几秒时间内就能完成,水面变动与地震引起的断层错动同时发生,因此可以假设海水表面的抬升与海底位移是同步瞬时的,忽略了断层破裂的复杂性、错位的多向性、破裂层厚度可变性。

通过输入相应的震源断层参数到断层模型便可得到地震海啸数值模型所需的初始位移场。从图中可以看出,地震发震时破裂过程强烈,海底位移变形量大,引发的海啸波初始能量巨大,以扩散的方式向各个方向传播。由于震源断层沿南海海沟呈条形状,发震时海啸波能量主要向南面太平洋方向传播,部分海啸波能量则会向两侧扩散,其中一部分能量会传向西面至中国东部沿海地区。

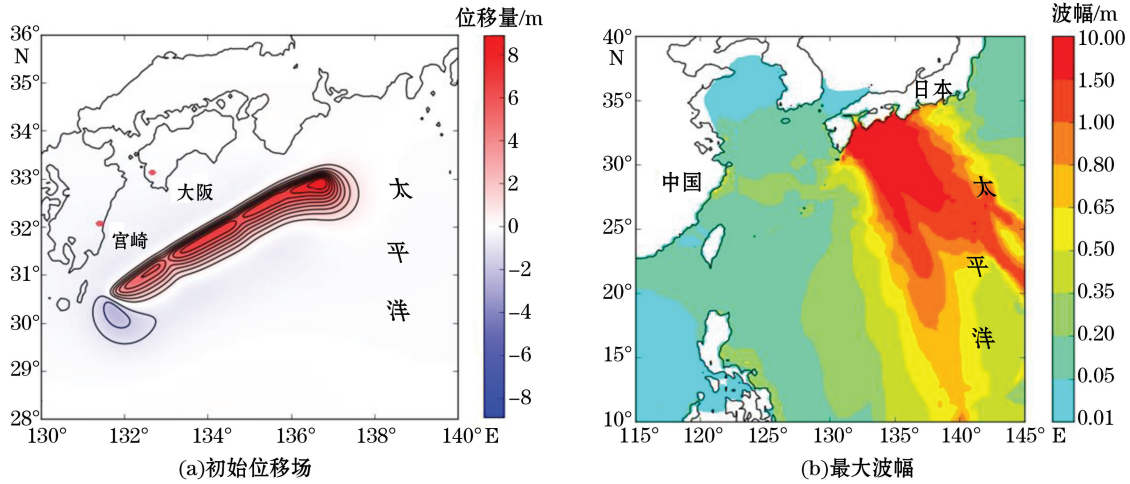


图 6 海啸初始位移场及最大波幅分布

Fig.6 Tsunami initial amplitude and maximum amplitude distribution

图 7 为日本南海海沟 9 级地震海啸初始传播过程,从图中可以看出,地震刚发生时海啸波传播速度极快,1 h 后海啸波穿过琉球群岛传向东海大陆架,与此同时,由于东海大陆架地势宽广平缓,海啸波传播至东海大陆架时水深变浅,海啸波能量部分衰减,其传播速度变慢,从图中也可以看出海啸波传播 1 h 后波幅明显降低,而主传播方向波幅依然较高。

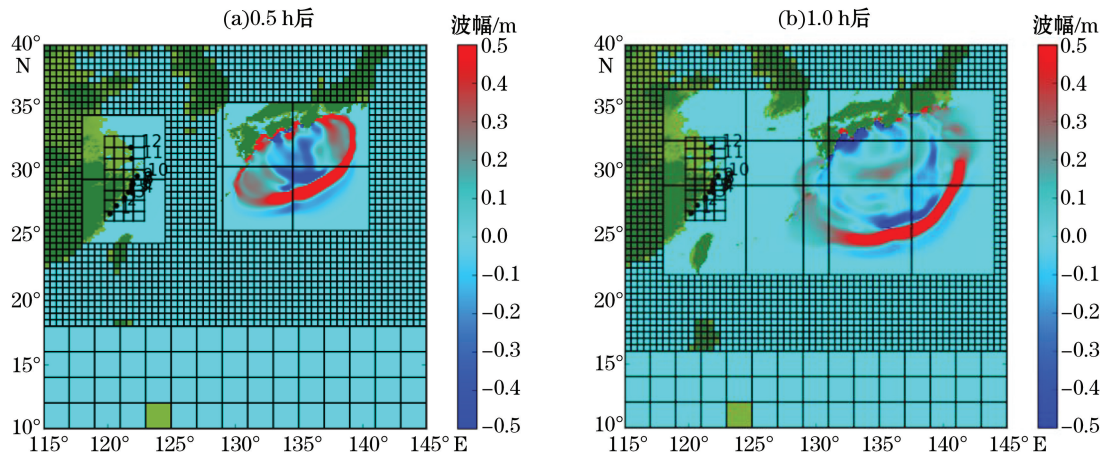


图 7 模拟海啸波产生及传播过程

Fig.7 Generation and propagation of simulated tsunami waves

3.2 中国东部沿海地区受海啸影响情况

中国东部沿海距离日本南海海沟较近,海啸波穿过东海大陆架到达沿岸的时间在 5 h 内,一旦发生大型地震海啸,东部沿海地区可能会遭受重大海啸灾害。图 8 为 9 级地震海啸到达中国东部沿海时的传播过程图。从图中可以看出,地震发生 5 h 后海啸波首先到达福建沿海地区,随后 6~9 h 传播至浙江、上海沿岸等地。图 9 为海啸波在东部沿海传播时的时程曲线,5,6,7 和 8 四个计算点显示海啸波波幅基本都在 0.5 m 以上,浙江部分沿岸地区波幅可达到 1 m 以上,达到了淹没危险等级。从模拟结果来看,由于台湾岛的阻隔作用,此次地震海啸对福建以南及江苏以北沿海地区影响较小,而对浙江温州、台州、宁波沿海地区影响最大。

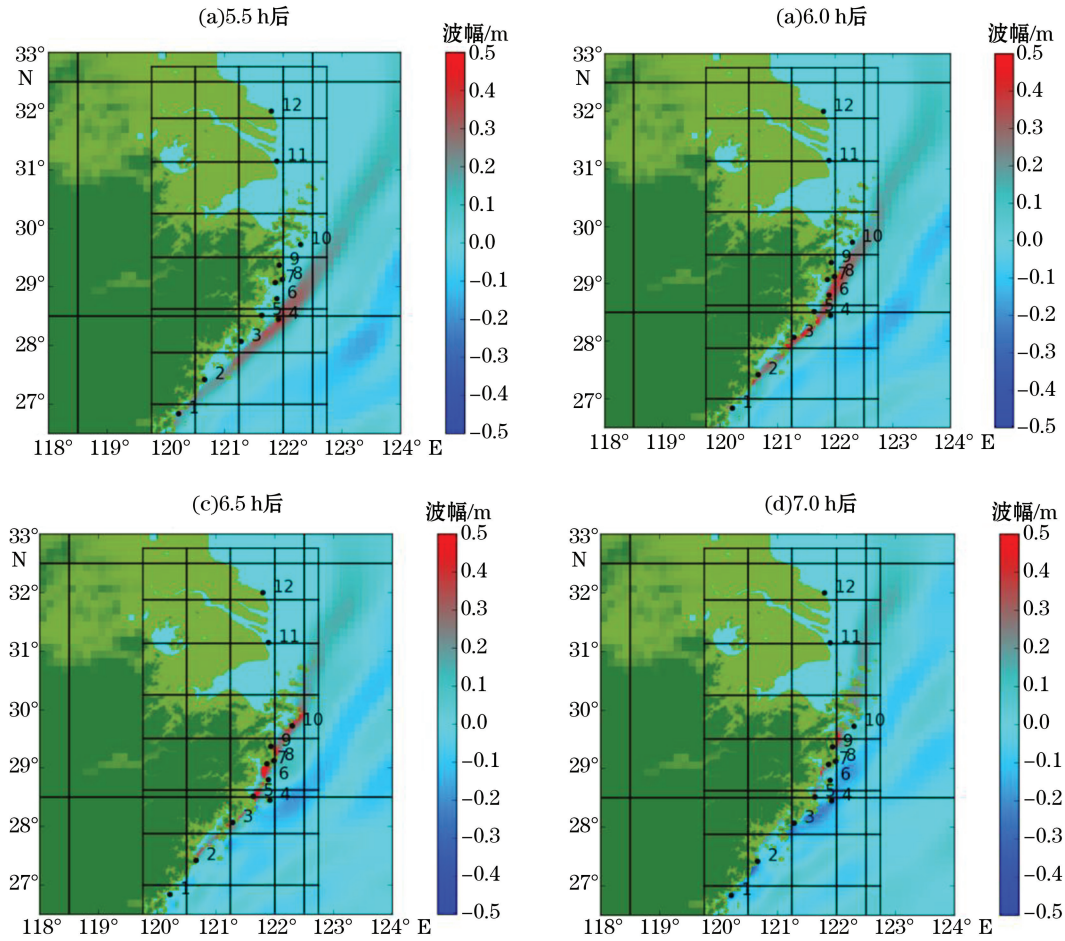


图 8 海啸波在中国东部沿海地区的传播过程

Fig.8 Propagation of tsunami waves in the eastern coastal area of China

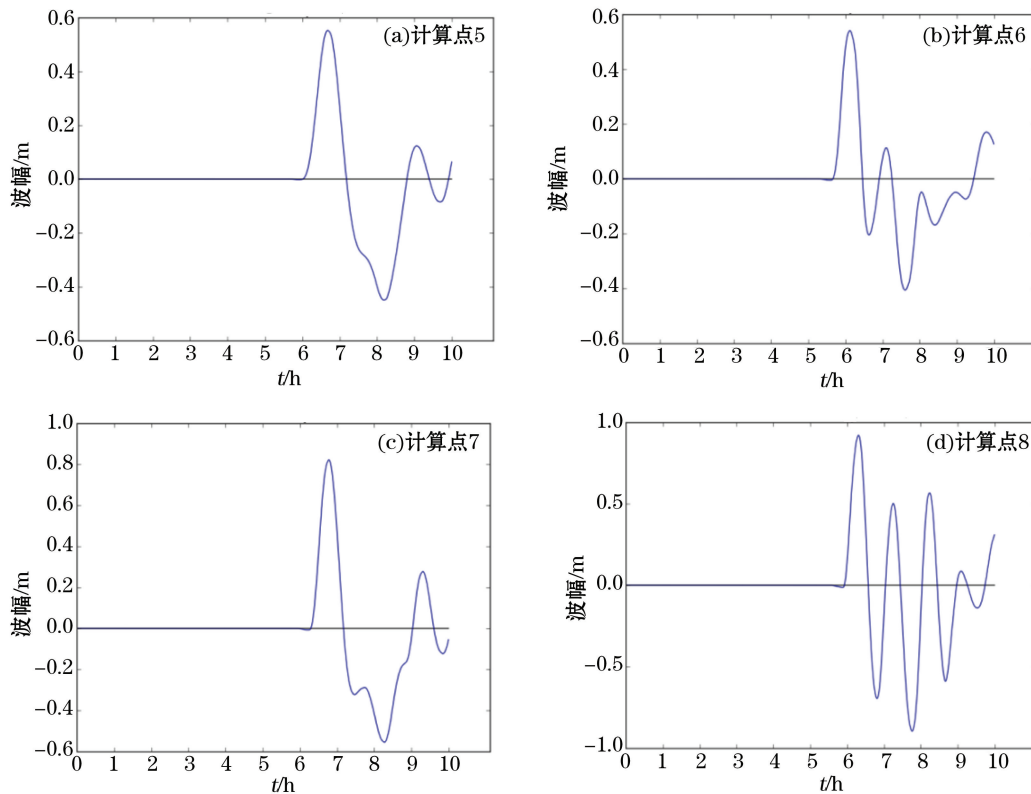


图9 4个计算点记录的海啸波传播时程曲线

Fig.9 Simulated variation of sea level at 4 fixed points

4 结 语

本文首先采用有限体积数值模型 GeoClaw 对东日本地震海啸进行数值模拟分析,模拟海啸波计算值和实测数据误差在 10% 以内,表明模型的实用性;其次通过对日本南海海沟 9 级地震断层进行数值模拟,发现 9 级地震断层产生的海啸波能量巨大,地震发生 5 h 后可传播至中国东部福建沿海海域,进而影响沿海其它海域。从虚拟验潮站数据中可以看出此次海啸的主要影响区域集中在浙江沿海地区,其中温州、台州、宁波沿海地区受海啸威胁最大,海啸波最大波幅分布在 0.5~1.0 m 范围,局部地区可达到 1 m 以上。由于沿海地区水深地形数据精度有限,且海啸上岸过程呈非线性,所以模拟计算时海啸波高要明显低于实际高度。鉴于东部沿海地区地形复杂等特点,海啸波幅会出现放大数倍的情况,局部沿海海岸海啸波高可达到 2~3 m,海啸风险等级也将达到淹没至严重淹没等级。中国东部沿海人口集中,港口密集,海湾众多,加之多数人对海啸危害的认识程度偏低,一旦日本南海海沟发生 9 级地震海啸,将对中国东部沿海造成严重灾害。因此,加强对潜在海啸源的研究非常必要,可为防灾机构和政府决策者提供参考,同时对我国沿海地区海啸灾害的防灾减灾也具有重要意义。

参考文献 (References):

- [1] SUN H, JIANG T, LI C F. Characteristics of gravity flow deposits in slope basin of Nankai Trough and their responses to subduction tectonics[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(10): 1283-1294. 孙辉, 姜涛, 李春峰, 等. 日本南海海槽斜坡盆地重力流沉积特征及其对俯冲构造的响应[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2014, 39(10): 1283-1294.

- [2] PENG Y, BAI L. The Japanese Ministry of Education 2013 year research on earthquake planning[J]. *Recent Developments in World Seismology*, 2013(10): 6-10. 彭岩, 白玲. 日本文部省 2013 年度关于地震调查研究的规划[J]. *国际地震动态*, 2013(10): 6-10.
- [3] BAO X W, CHU Q Q, YU H M. Advances in numerical tsunami prediction models[J]. *Journal of Ocean University of China(Natural Science)*, 2013, 43(3): 1-6. 鲍献文, 褚芹芹, 于华明. 海啸数值预报模型研究进展[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(3): 1-6.
- [4] YAO Y, CAI S Q, WANG S A. Research status of study on numerical simulation of tsunami wave[J]. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(4): 487-494. 姚远, 蔡树群, 王盛安. 海啸波数值模拟的研究现状[J]. *海洋科学进展*, 2007, 25(4): 487-494.
- [5] ZHU H B, YU Y, DAI S Q. The research progress in numerical simulation of tsunami models[J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2006, 21(6): 714-723. 祝会兵, 于颖, 戴世强. 海啸数值计算研究进展[J]. *水动力学研究与进展*, 2006, 21(6): 714-723.
- [6] CAI Y E, ZHAO Z D. Modeling the dynamic process of tsunami earthquake by liquid-solid coupling model[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2008, 30(6): 594-604. 蔡永恩, 赵志栋. 利用流-固耦合模型模拟地震和海啸全过程[J]. *地震学报*, 2008, 30(6): 594-604.
- [7] PAN W L, WANG S A. Introduction and application of COMCOT numerical mode[J]. *Marine Forecasts*, 2009, 26(3): 45-52. 潘文亮, 王盛安. COMCOT 数值模式的介绍和应用[J]. *海洋预报*, 2009, 26(3): 45-52.
- [8] TITOV V V, SYNOLAKIS C E. Implementation and testing of the method of splitting tsunami (MOST) mode[R]. NOAA: Silver Spring, MD, USA, 1997.
- [9] LEVEQUE R J, GEORGE D L, BERGER M J. Tsunami modelling with adaptively refined finite volume methods[J]. *Acta Numerica*, 2011, 20(20): 211-289.
- [10] LI C F, SU X, JIANG T, et al. Deformation at the front of the accretionary prism of the Nankai Trough[J]. *Advance in Earth Science*, 2010, 25(2): 203-211. 李春峰, 苏新, 姜涛, 等. 日本南海海槽俯冲增生楔前缘的构造变形特征[J]. *地球科学进展*, 2010, 25(2): 203-211.
- [11] INAZU D, WASEDA T, HIBIYA T, et al. Assessment of GNSS-based height data of multiple ships for measuring and forecasting great tsunamis[J]. *Geoscience Letters*, 2016, 3(1): 25.
- [12] DUDA, SEWERYN J. Secular seismic energy release in the circum-Pacific belt[J]. *Tectonophysics*, 1965, 2(5): 409-452.
- [13] HANKS T C, KANAMORI H. A moment magnitude scale[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1979, 84(B5): 2348-2350.
- [14] OKADA Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1985, 75(4): 1135-1154.
- [15] BERGER M J, GEORGE D L, LEVEQUE R J, et al. The GeoClaw software for depth-averaged flows with adaptive refinement[J]. *Advances in Water Resources*, 2011, 34(9): 1195-1206.
- [16] YU F J, WANG P T, ZHAO L D, et al. Numerical simulation of 2010 Chile tsunami and its impact on Chinese coasts[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(4): 918-925. 于福江, 王培涛, 赵联大, 等. 2010 年智利地震海啸数值模拟及其对我国沿海的影响分析[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(4): 918-925.
- [17] CHINI M, PISCINI A, CINTI F R, et al. The 2011 Tohoku (Japan) tsunami inundation and liquefaction investigated through optical, thermal, and SAR Data[J]. *IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters*, 2013, 10(2): 347-351.
- [18] WANG P T, YU F J, ZHAO L D, et al. Numerical analysis of tsunami propagation generating generated by the Japan Mw9.0 earthquake on Mar. 11 in 2011 and its impact on China coasts[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55(9): 3088-3096. 王培涛, 于福江, 赵联大, 等. 2011 年 3 月 11 日日本地震海啸越洋传播及对中国影响的数值分析[J]. *地球物理学报*, 2012, 55(9): 3088-3096.
- [19] JING H M, ZHANG H, WU Z L, et al. Numerical simulation of March 11, 2011 Honshu, Japan tsunami[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012(24): 2304-2309. 景惠敏, 张怀, 吴忠良, 等. 2011 年 3 月 11 日日本地震海啸数值模拟[J]. *科学通报*, 2012(24): 2304-2309.
- [20] WEI Y, CHAMBERLIN C, TITOV V V, et al. Modeling of the 2011 Japan tsunami: Lessons for near-field forecast[J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2013, 170(6-8): 1309-1331.
- [21] YANG R, LI G, LONG H Y. Overview of Japan Nankai Trough earthquake disaster prediction[J]. *Recent Developments in World Seismology*, 2016(6): 11-19. 杨锐, 李纲, 龙海云. 日本南海海沟地震灾害预测概述[J]. *国际地震动态*, 2016(6): 11-19.

Numerical Study on the Impact of Potential Earthquake Along the Nankai Trough on Eastern Coastal Area of China

HUANG Qiang, JING Hui-min, HU Pei

(*College of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China*)

Abstract: Probability of the occurrence of magnitude 9 earthquake along the Nankai Trough increases significantly after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Utilizing the shallow water numerical model GeoClaw with high-resolution finite volume method, we simulated the generation and propagation of the tsunami event caused by the Tohoku-Oki earthquake occurred on March 11, 2011. The results show that the first wave peak deviation is less than 10% compared with buoy observation and tide gauge data collected in China eastern coastal region, suggesting the GeoClaw can well reproduce the propagation of the tsunami in deep ocean and continental shelf region of the East China Sea. The GeoClaw model is further used to simulate the tsunami induced by a magnitude 9 earthquake of fault model in the Nankai Trough. It indicates that the tsunami wave energy is powerful and travels in all directions and the waves arrive at Fujian coastal areas in about 5 hours, then affect Zhejiang, Shanghai, Jiangsu and other coastal areas, with tsunami wave height of more than 1m. Considering the frequent occurrence of earthquake in the Nankai Trough and huge potential damage to the eastern coastal area of China that may be caused by tsunami, further numerical simulations are necessary for studying the impacts of the earthquake along the Nankai Trough.

Key words: tsunami; Nankai Trough; GeoClaw model; numerical simulation; potential disaster

Received: May 28, 2017