

防波堤对消减台风浪波高的影响

姬厚德^{1,2}, 蓝尹余^{1,2}, 涂振顺^{1,2}

(1. 福建海洋研究所, 福建 厦门 361013; 2. 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室, 福建 厦门 361013)

摘要: 本文以“尼伯特”台风为例, 利用 Holland 经验风场模型和 SWAN 波浪模型搭建台风浪场数值模型, 计算不同设计工况下防波堤对消减台风浪波高的影响。结果表明防波堤长度和走向是消减台风浪的重要因素, 防波堤设计时应综合考虑台风特点、岸线走向、地形地貌等因素合理确定长度和走向, 最大程度提高台风浪消减率和避风水域面积, 同时也表明数值模拟是防波堤优化设计的有效手段之一, 可为防台减灾提供重要的技术支撑。

关键词: 台风浪; 防波堤; SWAN 模型; 海洋灾害

中图分类号: P753 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 05—0085—03

福建省地处台湾海峡西侧, 海岸线蜿蜒曲折, 每年受台风侵袭严重^[1], 2006 年 - 2019 年影响福建省的台风有 66 个^[2], 其中 33 个直接登陆福建地区, 平均每年 2.36 个。台风每年对福建造成严重损害^[3], 其造成的海洋灾害尤以台风浪威胁最大^[4], 2016 年 - 2020 年造成 63 人的海洋灾害死亡事故全部是由台风浪灾害引起。福建省是全国典型的渔业大省, 海洋灾害事故主要集中于渔业作业区, 全省已建设渔港近 300 个, 为沿海渔业生产、保障人民生命财产安全提供保障。防波堤是消减台风浪波高最有效的措施, 防波堤可以有效地阻挡海浪进入掩护水域, 为港池内的渔船避台提供掩护, 但防波堤建设周期长、耗费成本高, 如何利用有限的资金建设具有最佳消减台风浪波高效果的防波堤是渔港建设的重要问题之一。本文在不同设计工况下分别模拟建设防波堤后东埔渔港附近海域台风浪场分布情况, 分析防波堤在消减台风浪波高中的影响, 为防台消浪、防波堤优化设计等提供技术支撑。

1 研究概况

1.1 区域概况及工况设计

东埔渔港处于福建省中部的泉州湾南部海域, 东侧直面台湾海峡, 该海域受台风侵袭严重。为研究防波堤对消减台风浪波高的影响, 设计了分别建设不同长度、不同走向防波堤的 4 种工况及未建设防波堤的工况, 比较分析不同工况下台风浪场的分布情况及防波堤对消减台风浪波高的影响。工况设计说明见表 1, 建设位置示意图见图 1。

表 1 不同工况设计说明

序号	工况设计说明
工况0	未建设防波堤
工况1	从岬角处向南建设长210m防波堤
工况2	在工况1基础上向西南延伸90m, 防波堤总长300m
工况3	在工况2基础上向西南继续延伸300m, 防波堤总长约600m
工况4	从岬角处向东南侧建设长约600m防波堤



图 1 不同设计工况及特征点分布示意图

1.2 台风概况

选取超强台风“尼伯特”(1601 号)为例, 该台风于 2016 年 7 月 3 日 8 时形成, 60 小时后加强形成超强台风, 先后在台湾省台东县和福建省石狮市登陆, 对台风影响区域造成较大经济损失, 并直接造成 83 人死亡。

1.3 模型简介

台风风场的模拟对台风浪的模拟非常重要, 本文选取 Holland 经验模型模拟台风风场^[5-6], 该模型涉及台风中心气压, 台风外围气压, 最大风速、最大风速半径等参数, 这些参数可以从网络上获取。

波浪场利用 SWAN 模型^[7-8]进行模拟, 该模型基于

波作用守恒方程, 计算中包含了绕射、波浪破碎、白帽等波浪计算的大部分物理过程, 是目前较为常用的模拟台风浪的数值模型。

2 模型设置与验证

2.1 模型设置

为减少模型计算量, 本次模拟采用粗网格(大区域)、细网格(小区域)嵌套的方法进行计算, 粗网格计算边界为经度 $116^{\circ} \sim 124^{\circ}$, 纬度 $19^{\circ} \sim 27^{\circ}$, 网格边长约 1000m, 计算区域覆盖整个台湾海峡。细网格的计算边界为经度 $118^{\circ} 41' \sim 118^{\circ} 52'$, 纬度 $24^{\circ} 36' \sim 24^{\circ} 46'$, 网格最小边长约 50m, 由粗网格计算出小区域的边界条件, 不仅可以提高计算效率, 还便于更为细致地刻画近岸区域的波浪场分布特征。

为了保证计算模型的稳定并覆盖整个台风过程, 计算时间从 2016 年 7 月 3 日 8:00~7 月 10 日 11 点, 时间步长设为 600s, 频率离散范围为 0.055 ~ 1.100Hz, 方向离散数量为 32。

2.2 模型验证

为了验证 SWAN 模型的准确性, 选取位于福建省北部的北礮站实测资料进行验证, 有效波高对比图见图 2。受经验风场模型限制, 当风速较小时, 模拟风速要比实际风速小, 当风速达到一定值后, 两者相关性逐渐变好, 进而反映到波浪的模拟结果上。从图 2 可以看出, 当模拟的有效波高大于 1.5m 时, 计算值和实测值符合性较好, 当模拟的有效波高小于 1.5m 时, 计算值与实测值的误差明显加大。总体上, 有效波高平均相对误差为 11.7%, 在有效波高大于 1.5m 期间平均相对误差最大仅为 7.0%, 说明建立的波浪场模型在“尼伯特”台风浪模拟中取得了较为可信的效果。

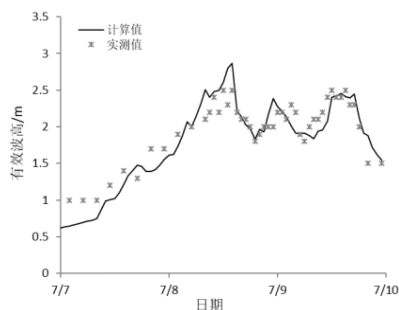


图 2 实测有效波高和计算值对比图

3 结果分析与讨论

3.1 不同工况计算结果分析

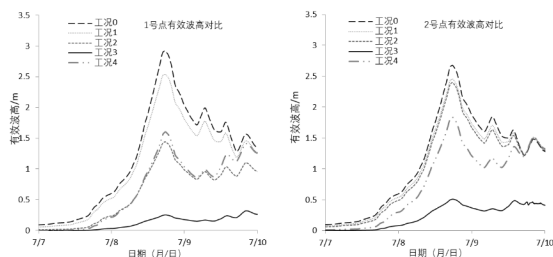


图 3 台风期间不同工况下特征点的有效波高计算值

选取附近海域 2 个特征点(见图 1)作为对比分析点, 计算不同工况下所在位置波浪变化情况, 分析防波堤消减台风浪波高的影响, 计算结果见图 3。从图中可以看出, 在未建设防波堤时, 台风期间 1 号点最大有效波高略大于 2 号点, 这主要是受近岸反射波叠加影响所致, 总体上两个点波高相差不大。工况 1 的防波堤建设过短, 仅能阻挡 1 号点附近少量的台风浪, 对 2 号点基本无掩护作用; 工况 2 相较于工况 1 防波堤向西南侧延伸, 对 1 号点附近台风浪消减明显, 有效波高最大消减率约 50%, 但仍有大量能量绕过防波堤进入掩护水域, 台风期间 1 号点最大有效波高仍有 1.6m, 难以起到足够的防护效果, 2 号点处于工况 2 防波堤外侧, 附近海域台风浪消减效果甚微; 工况 3 在工况 2 的基础上继续延伸防波堤, 台风期间 1 号点和 2 号点的有效波高均在 0.5m 以下, 有效波高最大消减率达 80%, 防波堤对掩护水域起到了极大的防护作用, 防波堤内侧形成的掩护水域可达到避台要求。由此说明, 防波堤长度是影响消减台风浪波高的重要因素。

工况 4 虽然与工况 3 的防波堤长度一致, 但受防波堤走向影响, 消减台风浪效果一般, 对于 1 号点, 工况 4 比工况 2 防波堤长度长约 300m, 但防护效果与其相当, 对于 2 号点, 工况 4 对台风浪消减效果较差, 说明工况 4 形成的掩护水域面积较小。由此说明, 防波堤走向也是影响消减台风浪波高的重要因素。设计防波堤走向时应充分考虑台风旋转方向、海岸线走向, 结合当地地形地貌, 尽量减少波浪绕射进入掩护水域的能量, 并减小防波堤与波浪入射方向的夹角以提高防波堤防护效果。

3.2 典型时刻台风浪场分布特征

选取台风靠近渔港附近海域时的典型时刻分析防波堤对消减台风浪波高的影响, 以工况 3 下 2016 年 7 月 8 日 18:00 的有效波高分布为例(见图 4)。从图中

可以看出,此时近岸海域有效波高均在 2.0m 以上,距离海岸 2km 以外较深处有效波高达 4.0m 以上,而此时受防波堤保护,东埔渔港内侧水域有效波高均在 1.0m 以下,渔港内东北侧海域掩护效果最好,有效波高在 0.4m 以下,计算结果表明,该设计方案下,防波堤对消减台风浪波高具有良好的效果。此外,还可根据波高分布情况安排不同类型的船舶在不同区域合理避台,使防台资源得到最优配置。

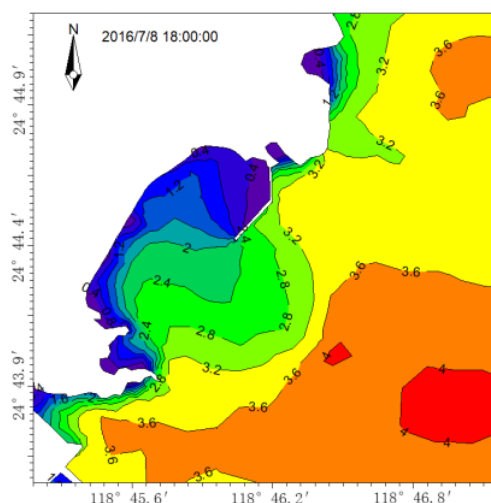


图 4 典型时刻台风浪有效波高分布图

选取台风靠近渔港附近海域时的典型时刻分析防波堤对消减台风浪波高的影响,以工况 3 下 2016 年 7 月 8 日 18:00 的有效波高分布为例(见图 4)。从图中可以看出,此时近岸海域有效波高均在 2.0m 以上,距离海岸 2km 以外较深处有效波高达 4.0m 以上,而此时受防波堤保护,东埔渔港内侧水域有效波高均在 1.0m 以下,渔港内东北侧海域掩护效果最好,有效波高在 0.4m 以下,计算结果表明,该设计方案下,防波堤对消减台风浪波高具有良好的效果。此外,还可根据波高分布情况安排不同类型的船舶在不同区域合理避台,使防台资源得到最优配置。

4 结语

利用搭建的数值模型模拟了“尼伯特”台风过境时不同长度、不同朝向的防波堤下台风浪场的分布特征,进而分析了防波堤对消减台风浪波高的影响,结果表明:

(1) 利用模型计算的有效波高与北礮站实测资料符合性较好,总体上有效波高平均相对误差为 11.7%,在有效波高大于 1.5m 期间平均相对误差最大仅为 7.0%,

建立的波浪数值模型可较为准确的反映“尼伯特”期间的台风浪分布特征。

(2) 随着防波堤长度的增加,台风浪消减率提高,避风水域面积也有所扩大,说明防波堤长度是消减台风浪波高的重要因素;防波堤合理的走向可有效阻挡波浪进入掩护水域,也可以大大减少波浪绕射进入掩护水域的能量,提高防波堤防护效率,因此防波堤走向也是消减台风浪波高的重要因素。

(3) 利用建立的数值模型可直观地反映台风期间波浪分布情况,今后可将台风预报信息加入模型中进而预报台风期间避风水域内波浪分布情况,合理安排不同类型船舶在不同区域避风,为防台减灾资源优化配置提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 谢丽,张振克.近 20 年中国沿海风暴潮强度、时空分布与灾害损失[J].海洋通报,2010,29(6):690-696.
- [2] 钟卓璇,林添水,陈臻皓.影响福建地区典型台风天气特征研究[J].农业开发与装备,2021(08):97-98.
- [3] 唐艳平,林祥.福建沿海台风浪数值模拟及特性分析[J].水运工程,2017,(4):53-93.
- [4] 于丰武.台风浪特征分析及其对船舶安全影响探析[J].中国水运(下半月),2013,13(02):31-32.
- [5] 杨万康,尹宝树,伊小飞,等.基于 Holland 风场的台风浪数值计算[J].水利水运工程学报,2017(4):28-34.
- [6] Holland G J. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes[J]. Monthly Weather Review, 1980, 108:1212-1218.
- [7] Ris R C, Holthuijsen L H, Booij N. A spectral model for waves in the near shore zone[J]. Coastal Engineering, 1994,1.
- [8] 冯芒,沙文钰,朱首贤.近岸海浪几种数值计算模型比较[J].海洋预报,2003,20(1):52-53.

基金项目:福建省公益类科研院所专项基金
(2022R1006004)