

L型城市应急防洪屏挡水稳定性研究

徐进超¹,王小东²,董 家²,赵 君¹,孟 伟³

(1. 南京信息工程大学 水文与水资源工程学院,江苏 南京 210044; 2. 南京水利科学研究院,江苏 南京 210029;
3. 德尼尔科环境技术(苏州)有限公司,江苏 苏州 215000)

摘要: L型城市应急防洪屏是一种新型防汛应急抢险装备,论文采用理论分析和有限元计算结合的方法,对防洪屏挡水过程中的受力稳定条件和应力应变特性进行了研究,可为L型城市应急防洪屏的设计提供参考依据。结果表明,防洪屏在挡水过程中,其体型尺寸需满足相应的长高比条件,在静、动水作用下,防洪屏的最大应力和应变发生在防洪屏踵部边缘两侧,最大变形发生在顶部两侧。

关键词: 应急防洪屏; 挡水稳定性; 理论分析; 有限元计算

中图分类号: TV122 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2023)04-0070-0003

Research on hydraulic stability characteristics of L-shaped urban emergency flood barrier

XU Jinchao¹, WANG Xiaodong^{2*}, DONG Jia², ZHAO Jun¹, MENG Wei³

(1. School of Hydrology and Water Resources, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;
3. Denilko Environmental Technology (Suzhou) Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

Abstract: L-shaped urban emergency flood barrier is a new flood emergency equipment which can be used in urban flood control. In this paper, the stability conditions and stress-strain characteristics of flood barrier are studied with theoretical analysis and finite element calculation, which can provide references for the design of L-shaped urban emergency flood barrier. The results show that the size of flood barrier should meet the corresponding aspect ratio in order to keep stable in operation. Under the action of static and dynamic water flow, the maximum stress and strain of flood barrier appear on both sides of heel, and the maximum deformation always occur on the two sides of top.

Key words: emergency flood barrier; hydraulic stability; theoretical analysis; finite element calculation

近年来,随着气候年景总体偏差,极端气候频发,短历时强降雨等导致的城市内涝时有发生^[1]。随着我国经济水平的快速发展,城市防洪领域对于防洪抢险新技术、新设备应用需求也日益增长^[2]。

L型城市应急防洪屏是一种城市内涝应急抢险专业装备,每块防洪挡水单元设有专用搭接卡槽及

止水系统,在使用时只需将相邻防洪挡水单元搭接即可快速实现有效挡水,最大挡水高度约1.0 m,L型城市应急防洪屏结构示意图1。该技术装备具有轻巧便捷、组装灵活、绿色环保、耐久性好、可重复使用等显著优点,能较好地适用于平原河网地区城市内涝挡水等场景^[3-4]。

收稿日期: 2022-12-07

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020022;2021024)

作者简介: 徐进超(1983—),男,讲师,博士,研究方向为水工水力学。E-mail:jcxu@nuist.edu.cn

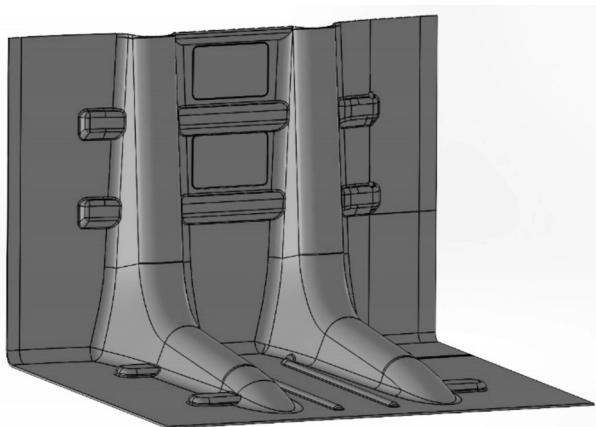


图1 L型城市应急防洪屏结构示意图

L型城市应急防洪屏在实际城市防汛应急抢险中发挥着至关重要的作用,但针对其在各类使用场景下的力学性能研究较少,防洪性能难以得到保证和提升。本文采用理论分析和数值仿真模型相结合的方法,对防洪屏在水压力作用下的受力特性展开研究,旨在为防洪屏在不同应用场景下的安全使用和功能提升提供技术支撑。

1 受力分析

防洪屏在使用过程中,其主要受水压力作用,假定防洪屏底部紧贴地面,其受力示意图见图2。

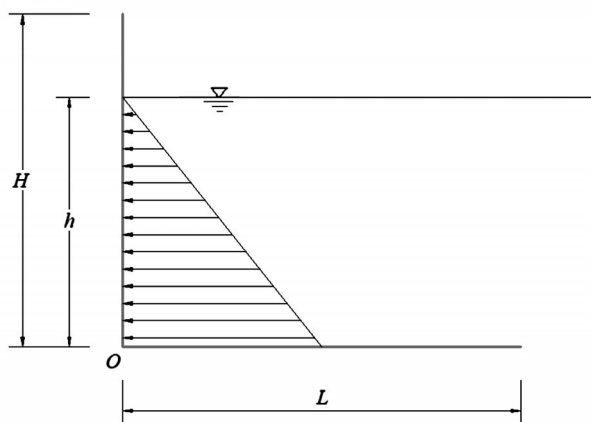


图2 L型城市应急防洪屏受力示意

在水压力作用下,防洪屏需满足受力平衡和力矩平衡^[5]。

受力平衡计算公式为

$$F_j \leq \mu N \quad (1)$$

式中: F_j 为静水作用于防洪屏的水平推力; μ 为摩擦系数; N 为地面对防洪屏的支撑力。

力矩平衡试算式为

$$F_j \cdot \frac{h}{3} \leq G \cdot \frac{L}{2} \quad (2)$$

式中: F_j 为静水作用于防洪屏的水平推力; h 为水深; G 为防洪屏上方水体的重力; L 为防洪屏承水面长度。

为满足稳定性,L型城市应急防洪屏的体型应满足 $h/L \leq \min\{2\mu, \sqrt{3}\}$ 。

2 防洪屏稳定性分析

2.1 长高比特性

假定防洪屏与地面的摩擦系数为0.5,水流流速垂直于防洪屏,流速为1 m/s,可得防洪屏不同挡水高度所需的长高比。根据L型城市应急防洪板、防洪屏不同挡水深度下所需的长高比(图3)可知,在同一流速和摩擦系数条件下,随着挡水高度的增加,所需的长高比逐渐趋于一个定值。在摩擦系数0.5、垂向流速1 m/s条件下,随着水深增加,满足滑动稳定条件下,长高比约趋于1.2;满足力矩稳定条件下,长高比约趋于0.7。在相同条件下,防洪屏抗滑所需的长高比要求高于力矩所需的长高比。在防洪屏的设计中,应主要考虑滑动稳定性的影响。

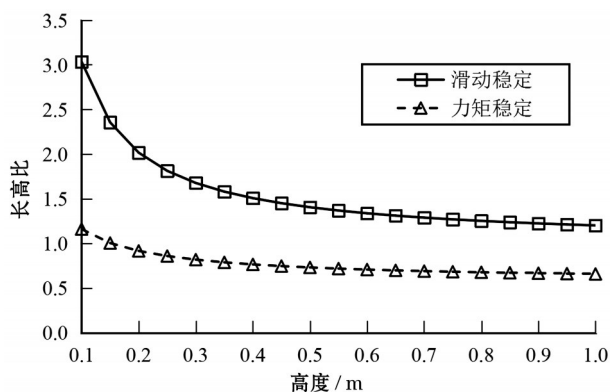


图3 L型城市应急防洪屏不同挡水深度下所需的长高比

2.2 结构受力特性

为进一步论证防洪屏在不同水位和流速上的结构稳定性,采用有限元分析方法,基于Ansys Mechanical软件,L型防洪屏在静、动水作用下,对防洪屏的应力、应变和变形等特性进行进一步的分析。选取典型防洪屏(长宽高 $L \times B \times H$ 分别为664 mm×692 mm×500 mm),在计算过程中,假定防洪屏为稳定状态,即底部始终与地面保持紧贴状态。为保证计算精度,模型采用5 mm的网格对防

洪屏进行划分,网格数量为144 284个。L型城市应急防洪板、防洪屏结构计算网格见图4。

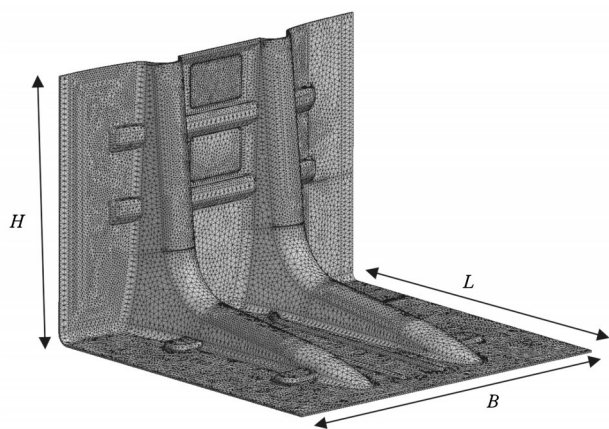


图4 L型城市应急防洪屏结构计算网格

在水流速度为1 m/s条件下,当挡水高度为0.10~0.45 m时,对防洪屏的应力和应变特性进行了研究。其中静水压力采用Hydrostatic Pressure模型,动水压力考虑与防洪屏垂直的水流。各工况下计算所得的结果见表1,典型工况下(流速1.0 m/s,水深0.45 m)计算所得变形图见图5。

表1 L型防洪屏结构受力最大值

| 水深/m | 应力/MPa | 应变系数 | 变形/m |
|------|--------|-------|-------|
| 0.10 | 1.0 | 0.003 | 0.001 |
| 0.20 | 6.0 | 0.016 | 0.006 |
| 0.30 | 18.4 | 0.050 | 0.025 |
| 0.40 | 42.2 | 0.110 | 0.070 |
| 0.50 | 59.2 | 0.160 | 0.120 |

由计算结果可知,在流速保持1.0 m/s的条件下,随着水深的增加,应力、应变和变形等特性有了较大的增加。当水深由0.1 m增加到0.45 m时,防洪屏的变形由0.001 m增加到0.120 m时,最大应力由1 MPa增加至59.2 MPa,最大应变由0.003增大到0.160。其中,最大应力和应变发生在防洪屏的踵部两侧边缘,在该处较易发生破坏,最大变形发生在

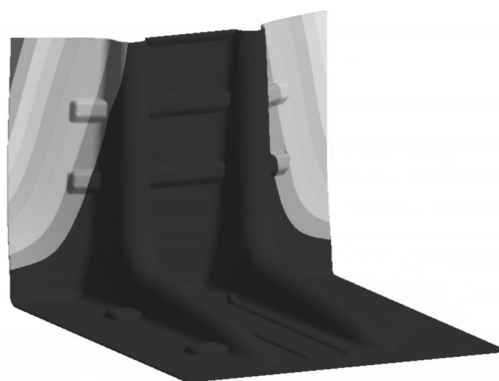


图5 典型工况下防洪屏结构受力变形示意

防洪屏顶部的两侧。

因此,在防洪屏的设计中,应重点保障踵部强度,使其满足挡水强度要求。

3 结 论

L型城市应急防洪屏由高分子材料制成,具有轻巧便捷、组装灵活、绿色环保、适应性强、耐久性好、可重复使用等特点,在城市防汛应急抢险中的应用前景广阔。目前,针对防洪屏的研究还较为少见,本文采用理论分析和有限元计算等手段对防洪屏在挡水过程中的受力稳定条件和应力应变特性进行了分析,可知在一定流速条件下,长高比随着挡水高度的增加趋于一个定值,防洪屏在挡水过程中最大应力和应变发生在防洪屏踵部边缘两侧,最大变形发生在顶部两侧。研究成果可为L型城市应急防洪屏的设计提供参考依据。

参考文献:

- [1] 胡彩虹,姚依晨,刘成帅,等. 降雨雨型对城市内涝的影响[J]. 水资源保护,2022,38(6):15-21,87.
- [2] 曹雪健,戚友存,李梦迪,等. 极端暴雨威胁下的城市内涝风险预警系统研究[J]. 大气科学,2022,46(4):953-964.
- [3] 喻谦花,冯峰,罗福生,等. 基于ARIMAX的开封“7·20”特大暴雨城市内涝预报研究[J]. 人民黄河,2022(10):44.
- [4] 董宗炜,李晓庆. 土工袋护岸技术在塔里木河干流应用的适宜性分析[J]. 水利规划与设计,2022(7):108-111.
- [5] 陈梁擎,袁沛,章立,等. 组合式防洪挡子堤系统抗冲击能力分析[J]. 中国防汛抗旱,2018,28(12):70-73.