

半潜条件下双层四环网结构消浪性能研究

南金刚, 上官子昌*, 王志云, 尚付瑶

(大连海洋大学海洋与土木工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 通过物理模型实验, 研究了半潜式双层四环网新型消浪结构的消浪性能。主要研究了波浪周期、入射波波高、模型排布宽度、模型层间距以及模型下潜深度对其在不同工况下消浪性能的影响。实验结果表明: 本结构消浪效果比较明显, 最小透射系数达到了 0.22。

关键词: 半潜条件下; 双层四环网; 透射系数; 试验研究

中图分类号: TV651.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2018)09-0025-04

doi: 10.7640/zggwjs201809006

Wave-elimination performance by double-layered four-ring network under semi-submersible condition

NAN Jin-gang, SHANGGUAN Zi-chang*, WANG Zhi-yun, SHANG Fu-yao

(College of Ocean and Civil Engineering, Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023, China)

Abstract: Through the physical model experimental method, we studied the wave-elimination performance of semi-submersible double-layer four-ring network, and mainly studied the effects of wave period, incident wave height, model arrangement, model layer spacing and model dive depth on wave attenuation performance under the different operating conditions. The experimental results show that the wave elimination effect of this structure is obvious, and the minimum transmission coefficient reaches 0.22.

Key words: under semi-submersible conditions; double-layer four-ring network; transmission coefficient; experimental research

0 引言

随着对海洋资源的不断开发和利用, 海洋周边环境生态的保护愈来愈受到关注, 沈雨生等人在浮式防波堤研究进展中表明: 多种透射系数的计算方法均具有一定的局限性, 并提出了今后的研究中宜采用物理实验的方法得出透射系数的经验公式^[1]。贺大川在板式浮筒型防波堤波浪力与运动响应分析中指出: 在不同工况条件下, 随着波长的逐渐减小, 浮式结构比潜式结构更早达到波浪力和运动幅值的极大值^[2]。王环宇在多孔浮式防波堤的实验研究与数值模拟中得出, 对于同一结

构不同的结构排布、缆绳系泊方式以及镂空与否等对装置的消浪效果影响较大^[3]。杨彪等人对双浮箱-双水平板式浮式防波堤的消浪性能研究表明: 相对宽度是影响结构的水动力特性的主要因素, 而锚链刚度主要影响锚链的受力, 刚度越大受力越大^[4]。董国海等人对板-网结构浮式防波堤消浪性能进行的研究表明: 防波堤的宽度越大其消浪效果越好, 通过对在平板下部添加网衣和增加其刚度可以提高浮式防波堤的消浪性能^[5]。姚卓琳在新型半潜式开孔防波堤水动力特性的研究中提出, 开孔板与实体底板相比, 随着相对板间距的增大其透射系数呈增大趋势; 而对于无底板来说, 周期对其透射系数的影响呈非线性变化趋势^[6]。

在总结以往对浮式防波堤研究的基础上, 本文设计并提出了一种新型半潜条件下双层四环网

收稿日期: 2018-05-03 修回日期: 2018-07-25

基金项目: 海洋公益性科研专项 (201405025)

作者简介: 南金刚 (1993—), 男, 甘肃白银人, 硕士研究生, 水工结构工程专业。

* 通讯作者: 上官子昌, E-mail: shangguan@dlou.edu.cn

消浪结构,此结构造价便宜、施工方便,易海水交换,减少海域内的泥沙淤积、不会影响海面景观。模型采用轻型耐腐蚀性塑料管和金属锚链衔接而成,自重轻、制作简单,同时其下部可以系一些网兜用于海水养殖,在保护海岸带设施及环境的同时可带来可观的经济效益。

1 物理模型试验

1.1 试验设备及仪器

试验在大连海洋大学辽宁省海岸工程重点实验室的波浪水槽(长40 m,宽0.7 m,高1 m)中进行。一端安装有造波机,可产生波形平稳、可重复性好的单向规则波、不规则波,另一端安装消能网用来吸收波浪能量从而防止由于波浪反射导致实验结果产生较大误差。水槽两侧采用角钢骨架焊接固定钢化玻璃做槽壁,以便于实时对实验状况的观察和控制。造波机、DS30型64通道浪高仪等仪器均由计算机系统控制,此系统可以实现试验数据的自动采集和处理。试验前对所有测量仪器均进行了精度标定和校准,从而保证最终能够测得精确有效的试验数据。

1.2 试验波浪要素

试验结合营口白沙湾常年的波浪数据,综合考虑波浪水槽尺寸、消浪结构以及设计波浪要素和水深等因素,并按照重力相似准则确定模型比尺为1:20。波浪要素如表1所示,其中波浪模拟时规则波以 $H_{1\%}$ 控制,不规则波以 $H_{13\%}$ 控制。

表1 试验波浪要素

Table 1 Test wave elements

试验水深/m	波类型	模型波高/m	实际波高/m	周期/s	实际周期/s
0.5	规则波	0.06、0.07、0.08、	1.2、1.4	0.8、0.9	3.58、4.02
		0.09、0.10、0.12	1.6、1.8	1.0、1.1	4.47、4.92
		($H_{1\%}$)	2.0、2.4	1.2	5.37
	不规则波	0.06、0.07	1.2、1.4	0.8、0.9	3.58、4.02
		0.08、0.09	1.6、1.8	1.0、1.1	4.47、4.92
		0.10($H_{13\%}$)	2.0	1.2	5.37

1.3 试验模型设计

试验模型采用直径为16 mm的空心管和三通弯头制成,为防止模型内部进水减小模型浮力,在每个接口处都采用密封胶封死,单个模型单元如图1所示。

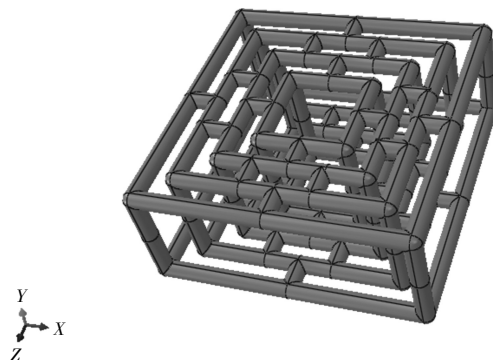


图1 模型单元图示

Fig. 1 Illustration of a model unit

每个模型单元之间采用柔性连接方式,受水槽宽度影响,横向布置两个模型单元,其间距为6 cm;根据不同工况,纵向分别布置3、4、5、6个模型单元,其排布单元整体长度分别为220 cm、240 cm、290 cm、340 cm;竖向排布方式采用单层模型单元布置和双层模型单元布置,双层模型单元之间垂直净间距分别为2 cm、4 cm、6 cm。

水槽内部布置情况如图2所示,从左到右依次是造波机→1号浪高仪→2号浪高仪→试验模型→3号浪高仪→4号浪高仪→消能网,其间距依次为20 m、2 m、2 m(模型前端到2号浪高仪之间的距离)、2 m(模型末端到3号浪高仪之间的距离)、2 m、8.6~9.6 m,其中浪高仪用于量测入射波高和透射波高;每组试验数据均采集3次,取其3次试验的平均值,其采样间隔为0.02 s,试验中,待波形稳定后开始采集数据,采样个数为1 024个。

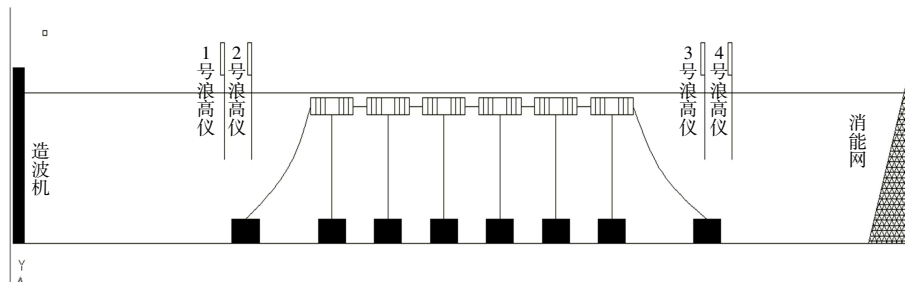


图2 模型在水槽内布置情况

Fig. 2 Layout of the model in the sink

2 试验结果分析

本次试验重点研究半潜条件下双层四环网结构的消浪性能, 即透射系数, 其表达式为 $K_t = H_t/H_i$, 其中 H_i 为入射波高, H_t 为透射波高, 即经过模型消浪后的波高。对入射波和反射波进行分离, 得出对应条件下模型透射系数 K_t 。

2.1 不同周期及波高对透射系数的影响

在水深 $d=0.5$ m, 模型单元采用横 2 纵 6 布局情况下, 分别取波高 $H=0.06$ m、 0.07 m、 0.08 m、 0.09 m、 0.10 m, 周期 $T=0.8$ s、 1.1 s 时, 透射系数变化曲线见图 3。

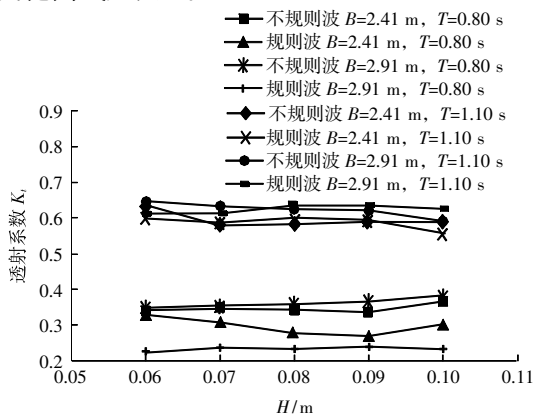


图 3 周期、波高与透射系数的关系

Fig. 3 Relationship between period, wave height, and transmission coefficient

由图 3 看出, 无论是规则波还是不规则波, 随着波高的改变, 模型透射系数变化范围很小, 其相邻两个波高的波动范围在 $0.002 \sim 0.010$ 之间; 而周期的改变对模型透射系数影响效果显著, 当周期从 0.80 s 变化到 1.10 s 时, 透射系数的增长范围在 $0.28 \sim 0.35$ 之间。综上所述: 周期对模型的消浪效果影响显著, 随着周期的增大其消浪效果逐渐减弱, 而此时波高对模型的消浪效果影响并不明显。

2.2 相对宽度 B/L 对透射系数的影响

在水深 $d=0.5$ m 保持不变, 模型单元采用横 2 纵 6 布局结构情况下, 通过改变模型的布置宽度。分别取波高 $H=0.07$ m、 0.10 m 情况下分析本装置的消浪效果, 其变化曲线如图 4 所示。

由图 4 看出, 随着相对宽度的逐渐增大, 透射系数逐渐减小, 也就是说结构的消浪能力越来越强; 但是显然可以看出相对宽度 B/L 在 $1.52 \sim 2.33$ 之间变化时, 在 $B/L=1.91$ 处出现了一个峰值点, 在 $B=3.41$ m、 $T=1.1$ s 的情况下, 结构消浪能力明显减弱, 尽管其相对宽度较小, 而结构纵向

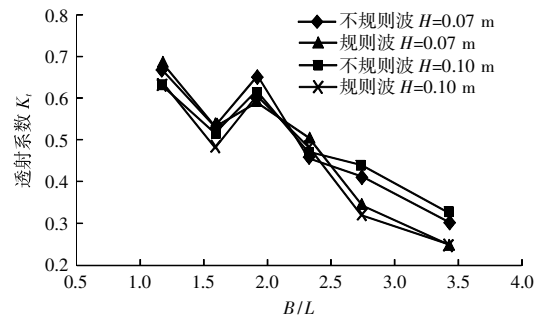


图 4 相对宽度与透射系数的关系

Fig. 4 Relationship between relative width and transmission coefficient

布置宽度最大, 说明并不是结构布置的越宽越好, 当以结构布置净间距为 15 cm 即相对宽度为 $B=2.41$ m 时, 结构消浪效果最佳; 这种情况对大周期的波浪消浪能力有所减弱, 但其透射系数 $K_t < 0.7$, 满足要求。同一波况下, 规则波的消浪能力明显强于不规则波, 当 $B=2.41$ m, $B/L \leq 2.33$ 时, 规则波和不规则波的消浪效果差别不大。

2.3 波陡 H/L 对透射系数的影响

在水深 $d=0.5$ m 保持不变, 模型单元采用横 2 纵 6 布局结构情况下, 通过改变模型的布置宽度。分别取波高 $H=0.06$ m、 0.10 m 情况下结构消浪能力, 其曲线如图 5 所示。

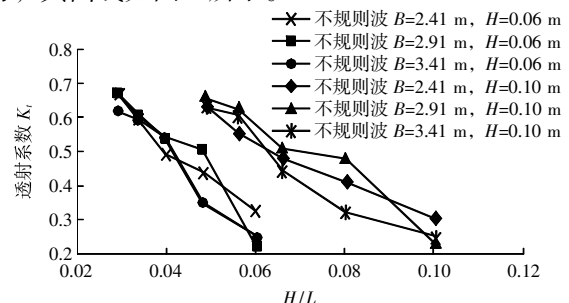


图 5 波陡与透射系数的关系

Fig. 5 Relationship between wave steepness and transmission coefficient

由图 5 看出, 随着波陡的逐渐增大, 透射系数逐渐减小, 消浪效果较好, 透射系数最小达到了 0.22 ; 在相同波陡条件下, 不同布置宽度对结构消浪效果的影响差别很大, 说明结构的消浪效果并不是由单一因素来决定的, 应当综合考量各个影响因素, 选取最经济的优选方案; 在图中很明显的出现了小宽度大透射的现象, 此情况是因为结构布置宽度小, 模型单元之间间距变小, 此时的半潜式防波堤类似于直墙式防波堤, 对波浪的反射较大, 使波浪在堤前发生破碎, 从而大大减小了波浪能量, 这种情况也符合波浪运动规律^[7]。

2.4 模型双层布置层间距对透射的影响

在水深 $d=0.5$ m, 模型排布宽度 $B=2.2$ m 保持不变的情况下, 改变模型排布为双层柔性连接排布, 分别取波高 $H=0.06$ m、 0.12 m, 周期 $T=0.8$ s、 0.9 s、 1.0 s、 1.1 s、 1.2 s, 宽度层间距分别为 0.02 m、 0.04 m、 0.06 m。其透射系数变化见图 6。

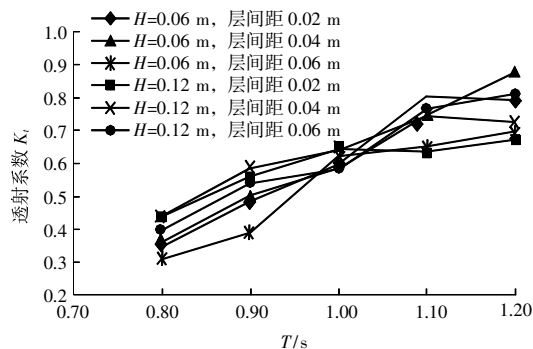


图 6 双层情况下层间距改变

Fig. 6 Layer spacing changes in double layers

图 6 中在双层情况下通过改变模型单元间的层间距来观察结构的消浪性能, 可以看出, 在层间距保持不变的情况下, 周期在 $0.8\sim 1.0$ s 之间变化时, 小波高消浪效果明显优于大波高, 但周期在 $1.0\sim 1.2$ s 之间变化时, 情况则相反, 这是因为在水体 $2\sim 3$ 倍波高的表层间大约集中了 $90\%\sim 98\%$ 的能量^[8]。在保持同一个周期不变的情况下, 随着层间距的逐渐增大, 结构的消浪效果反而变得越来越差, 这意味着虽然模型竖向排布双层结构能够增大其消浪效果, 但是对于双层结构单元之间的层间距也不是说越大越好, 相应的要注意到试验的波高数值, 一般以 $2\sim 3$ 倍波高来布置模型层数以及层间距, 正确的布置方式有助于增大模型所发挥的作用; 在间距为 0.04 m 时, 其透射系数达到了最大的 0.88 , 此时模型的消浪效果轻微, 所以间距为 0.04 m 为最不理想的排布方式, 应当以间距为 0.06 m 为最佳层间距排布。

3 结语

本文针对半潜条件下双层四环网结构的消浪性能的试验研究, 分析了周期、波高、相对宽度、波陡以及层间距等因素对半潜条件下双层四环网消浪结构透射系数的影响, 得出以下结论:

1) 双层四环网结构消浪装置的整体消浪效果显著, 尤其以结构布置宽度为 2.41 m, 也就是说结构单元之间的净间距为 20 cm 时, 模型的消浪效果表现最佳, 其他排布次之。

2) 波陡以及层间距的变化对于消浪效果的影响也比较明显, 不同排布对模型透射系数的影响差别很大, 应考虑其他因素综合分析; 由本次试验可知, 双层结构比单层结构具有更大的优势, 双层结构的排布可以更大的改变波浪水质点的运动轨迹, 从而使波浪产生波能的衰减。

3) 由于模型单元自身透空, 可以减小波浪对模型造成的破坏使得其相对于其他同等类型结构来说具有更加长的使用寿命。

参考文献:

- [1] 沈雨生, 周益人, 潘军宁, 等. 浮式防波堤研究进展[J]. 水利水电工程学报, 2016(5): 124-132.
SHEN Yu-sheng, ZHOU Yi-ren, PAN Jun-ning, et al. Research progress and application of floating breakwater[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(5): 124-132.
- [2] 贺大川. 板式浮筒型防波堤波浪力与运动响应分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
HE Da-chuan. Wave exciting force and motion response analysis of plate-pontoon type breakwater[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012.
- [3] 王环宇. 多孔浮式防波堤的实验研究与数值模拟[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
WANG Huan-yu. Experimental study and numerical simulation of a porous floating breakwater[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [4] 杨彪, 陈智杰, 王国玉, 等. 双浮箱-双水平板式浮式防波堤试验研究[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 2014, 29(1): 40-49.
YANG Biao, CHEN Zhi-jie, WANG Guo-yu, et al. Experimental investigation of twin pontoon-twin horizontal plate floating breakwater[J]. Chinese Journal of Hydrodynamics A, 2014, 29(1): 40-49.
- [5] 董国海, 郑艳娜, 李玉成, 等. 板-网结构浮式防波堤消浪性能的试验研究[J]. 工程力学, 2006(7): 142-146, 135.
DONG Guo-hai, ZHENG Yan-na, LI Yu-cheng, et al. Experimental study on wave dissipation coefficient for board-net floating breakwater[J]. Engineering Mechanics, 2006(7): 142-146, 135.
- [6] 姚卓琳. 新型半潜式开孔防波堤水动力特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
YAO Zhuo-lin. Hydrodynamic performance of new semi-immersed perforate breakwaters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [7] 俞聿修. 随机波浪及工程应用[M]. 3 版. 大连: 大连理工大学出版社, 2003: 269-301.
YU Yu-xiu. Random wave and its applications to engineering[M]. 3rd ed. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2003: 269-301.
- [8] 祁隆, 上官子昌, 汪学强, 等. 多层废旧轮胎半潜式防波堤消浪性能研究[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(1): 48-52.
QI Long, SHANGGUAN Zi-chang, WANG Xue-qiang, et al. Wave-dissipating performance of semi-submerged breakwater constructed by multi-layer waste tires[J]. China Harbour Engineering, 2018, 38(1): 48-52.