

新型浮式防波堤水动力特性试验研究^{*}

侯勇¹,王永学²,高军¹,李聪¹

(1.中交第四航务工程勘察设计研究院有限公司 广州南华工程管理有限公司,广东 广州 510230;2.大连理工大学海岸与近海工程国家重点实验室,辽宁大连 116024)

摘要:结合开孔圆弧型结构和矩形结构在防波堤工程上应用的优点,提出了一种由开孔圆弧、矩形方箱和锚链系统组成的新型浮式防波堤结构。通过二维波浪水槽中的规则波物理模型试验研究了该浮堤的消浪性能、运动和锚链受力等水动 力特性与相对宽度(W/L),相对吃水(s/d)等因素之间的关系并与传统的箱型浮堤进行了对比。结果表明在试验范围内 该新型浮堤具有消浪效果好、运动幅度小以及锚链受力小等良好的水动力特性。

关键词:新型浮堤;锚链系统;试验研究;水动力特性;相对宽度
中图分类号:U656.31⁺3
文献标志码:B
文章编号:1002-4972(2013)S1-0160-05

Experiments on hydrodynamic performance of new floating breakwater

HOU Yong¹, WANG Yong-xue², GAO Jun¹, LI Cong¹

(1. CCCC-FHDI Engineering Co.Ltd.-Guangzhou Nanhua Project Mangement Co.Ltd. Guangzhou 510230, China;

2. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A new-type floating breakwater structure which consists of perforated circular arc, rectangle box and anchor-chain system is proposed based on the advantages of perforated circular arc structure and rectangle structure applications in the breakwater engineering. The relationship between hydrodynamic characteristic such as wave attenuation performance, movement and anchor-chain stress, etc., and relative width (W/L), relative draft (s/d), and other factors of the floating breaker was tested and researched by means of a regular wave physical model in a 2D wave flume, and then compared with the traditional box-type floating breakwater. The result indicates that the new-type floating breakwater has the hydrodynamic characteristics of good effect of wave-damping, small range of motion as well as small stress of anchor chain in the range of test.

Key words: new-type floating breakwater; anchor-chain system; test and research; hydrodynamic characteristics; relative width

随着人类进军海洋步伐的加快,浮式防波堤 因造价低廉、修建迅速、拆迁容易、受水深和地 质条件影响小、海水交换功能强等优点而倍受海 岸工程领域的关注。近年来国内外学者提出了诸 多新型浮式防波堤结构,如Mani^{III}于1991年提出了 一种在倒梯形浮箱底部,安装一排圆柱体的Y字 形的浮式防波堤结构; Murali等^[2]于1997年报道了 一种"笼式"浮堤; 我国学者张日向等^[3]于1996年 提出了一种带阻尼结构的浮式防波堤结构形式; Atilla^[4]对斜坡形浮式防波堤进行了试验研究; 董 国海等^[5]对板-网结构浮式防波堤的消浪性能进行 了试验研究; Mohamed R. Gesraha^[6]对于∏型浮式

作者简介:侯勇(1984-),男,硕士,助理工程师,主要从事浮式结构物研究。

收稿日期: 2009-05-18

^{*}**基金项目:**国家自然科学基金(50479054)

防波堤进行了数值模拟和试验研究; Murali K^[7]对 笼式浮堤的水动力特性进行了研究。本文结合开孔 圆弧型结构^[8-9]和矩形结构在防波堤工程上应用的 优点,提出一种上部为开孔圆弧加矩形浮箱,下部 是锚链和水底相连的新型浮式防波堤结构。对于锚 链式浮式防波堤结构而言,透射系数(*C*_t)和锚链 受力固然是研究的主要内容,同时结构的运动特性 (特别是横荡运动幅值)也不能忽略,因为这直接 关系到海上作业的安全、有效海域的使用效率、当 地管线与缆线的敷设和其他船只在该水域的锚泊等 一系列问题。为此作者通过二维物理模型试验研究 了该种浮堤模型的透射系数、运动幅值及锚链受力 等水动力特性与相对宽度及相对吃水的关系,并与 传统方箱浮堤进行了比较。

1 物理模型试验

1.1 试验设备与量测仪器

试验在大连理工大学海岸和近海工程国家实验室的溢油水槽中进行,水槽长23 m,宽0.8 m,最大水深0.7 m。水槽前端配有自行研制的DL-3型液压伺服不规则波造波机,可产生单向规则波和不规则波,水槽的尾端安装有消能网。

波浪数据测量采用2000型数据采集处理系 统采集,并结合Goda的两点法测定模型的透射系 数;锚链力采用DYL-1A型,量程0~50 kN,精度 ≤1%RL的应变式拉力传感器测定;模型运动通过 CCD图像采集系统采集。

1.2 模型设计及其在水槽中的布置

模型的三视图及模型在水槽中的布置见图 1。模型放置在水槽中央距造波机12 m处。模型 延长度方向与水槽的长度方向正交(波浪正向人 射)。堤处地形平整,堤前造波坡度为1:150。采 用白钢锚链,总长为600 mm,根据悬链线理论知 悬链线段长692 mm,无拖地段长度。锚链刚度采 用弹簧线形模拟,弹簧刚度为1.8 kN/cm。

1.3 试验组次与试验方法

分别对3种模型的两种吃水进行试验,3种 模型矩形方箱尺寸相同、锚链特性与布置方式相



图1 模型的三视图 (图中单位均为mm,圆孔直径均为15 mm)

同。模型1, 传统浮箱, s/d=0.3375; 模型2, 开孔 圆弧加矩形浮箱, s/d=0.3375; 模型3, 开孔圆弧 加矩形浮箱, s/d=0.450。

试验采用规则波,共有2种波高,8种周期, 2种吃水,1种水深,试验波要素为:水深0.40 m; 波高0.07,0.10 m;周期0.70,0.73,0.81,0.91, 1.10,1.28,1.46,1.55 s;模型吃水0.135,0.180 m。

模型放置前,于水槽内轴线处测定原始波要素。波面采样时间距为0.02 s,采样长度为1 024。 模型放置后,于堤前、后各放置2个工字形浪高仪 测定堤前后的波面历时曲线,利用2000型数据采 集处理系统得到透射系数;同时采用CCD处理系 统和拉力传感器测定模型的运动和锚链受力历时 曲线。

所有试验重复3次,结果取其平均值作为试验 值。



图2 模型在水槽中的布置

2 试验结果及讨论

2.1 试验数据的无因次化

为了使试验所得结论具有代表性,能够反映 浮堤结构的普遍规律,特对所得到的试验数据进 行无因次化处理。

透射系数*C_t=H_t*/H₀是反映结构消浪性能的主要 指标,由于其本身已是无因次量,因此不需要无 因次化。在这里,*H_t*表示模型后的透射波高;*H*₀ 表示入射波高。

对于模型的二维运动特性中的垂荡和横荡, 用*RAOs*(结构运动幅值/波浪幅值)加以描述;对 于结构的横摇则透过它除以波陡*kA*使无因次化。 其中,*k*是波数;*A*是入射波的波幅。

对于锚链受力的无因次化处理为F/F。

$$F_0 = \rho_g SA$$
 (1)
金测得的锚链力(N); ρ 为水的密

式中: *F*为试验测得的锚链力(N); ρ为水的密度, ρ=1 t/m³; g为重力加速度; *S*为模型迎浪面面积(m²); *A*为波幅(m)。

2.2 浮堤的消浪性能

图3给出了两种入射波高(H=0.07 m和H=0.10 m) 情况下,3种工况的透射系数C,随相对宽度W/L (W表示模型宽度,L表示入射波长)变化的试 验结果。由此可知,透射系数C,随着相对宽度W/ L的增加而减少。CASE2与CASE1的消浪效果几 乎相同,这主要是由于两者的吃水相同,同时 波浪没有作用到CASE2上面的开孔圆弧,使其没 有起到任何的消波作用的缘故;相对于CASE1和 CASE2,CASE3在W/L<0.20的时候透射系数C, 减小了20%左右,这一方面是吃水增加有效地增 加了反射效果,另一方面是开孔圆弧阻止了部分 越浪,减小了透射波浪。但是当相对宽度W/L>



图3 透射系数C_t随相对宽度W/L变化的试验结果

0.20时, CASE3的透射系数C,反而大于CASE1和 CASE2, 主要是CASE3的垂荡和角位移明显小于 CASE1和CASE2,导致有效挡水面积减小、透过 的波浪能量多、透射波高大、透射系数大所致。

2.3 浮堤的运动特性

图3给出了两种入射波高(H=0.07 m和H=0.10 m) 情况下,3种工况的运动特性(横荡、垂荡和横 摇)随相对宽度W/L(W表示模型宽度,L表示入 射波长)变化的试验结果。总的来看,对于3种模 型其3个自由度的值都随着相对宽度的增大而减 小。对于横荡而言,CASE2和CASE3几乎相同且 都较CASE1为小;对于垂荡来说,CASE1和CASE2 几乎相同且都较CASE3为大;对于横摇角位移, 相同波要素条件下,CASE1为最大,CASE2次 之,CASE3位最小。这主要是由于CASE3吃水较 CASE1和CASE2大,模型重心相对较低,增加了 模型的稳定性的缘故。

3.4 浮堤锚链受力特性

图4给出了两种入射波高(H=0.07 m和H=0.10 m) 情况下,3种工况的迎浪面锚链所受合力随相对 宽度W/L(W表示模型宽度,L表示入射波长) 变化的试验结果。需要说明的是,由于CASE3与 CASE1、CASE2的吃水不同,所以无因次的F₀也有 所不同,相同情况下,CASE1和CASE2中的 F_0 相同 而CASE3中无因次的 F_0 是CASE1和CASE2中的1.25 倍。



由图5可知,当相对宽度W/L很小的时候(小 于0.15),3种模型下的锚链受力几乎相等;当相 对宽度W/L很大的时候(大于0.15),相同波况条 件下CASE2的锚链力最大,CASE1次之,CASE3 为最小,且随着W/L的增加有减小的趋势。例如 当W/L=0.30时,CASE1和CASE2的锚链力较CASE3 增加80%和160%不等。这种现象主要是由CASE3 的运动特性(横荡、垂荡和横摇)优于CASE1和 CASE2造成的,特别是垂荡和横摇都为最小,大 大增加了锚链的有效长度,使锚链处于次张紧状 态,从而有效地减小了锚链张力。

相比较CASE1, CASE2的锚链力之所以较 大,主要原因可能是CASE2中的开孔圆弧增加了 结构的横摇惯性矩从而增加了结构的运动特性 (相对角位移最大),以至于增加了锚链受力的 缘故。



3 结论

通过规则波物理模型试验,本文对一种由 开孔圆弧、矩形方箱及锚链系统组成的浮式防波 堤新结构的水动力特性进行了研究,得出以下结 论:

 1)结合开孔圆弧和矩形方箱以及锚链系统在 防波堤工程上的优点,本文提出的新型浮堤结构 有着良好的应用前景。

2)相对宽度较小(W/L<0.20)时,与传统的 浮堤结构相比,新型浮堤有着较好的消浪性能, 这也为探讨浮堤衰减较长周期波提供了一种新的 结构设计思路。

3)与传统的浮堤结构相比,新型浮堤的横 荡、垂荡以及横摇幅度都较小,有着良好的运动 特性。

 4)由于开孔圆弧结构在有效减小受力方面的 优点,因此新型浮堤结构所受锚链力较传统方箱 大大减小。

本文只是对这种浮堤结构进行了初步的实 验室单向规则波下的探讨,实际的海浪总是多向 且不规则的,建议下一步的工作进行这方面的研 究,同时开发数学模型。

参考文献:

- Mani J S. Design of Y-frame floating breakwater[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1991, 117(2): 105–118.
- [2] Murali K, Mani J S. Performance of cage floating breakwater[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1997, 123(4): 172–179.
- [3] 邢至庄,张日向.一种应用在深水中能降低长波透过率的浮式防波堤[J].大连理工大学学报,1996,36(2):246-

247.

- [4] Atilla Bayram. Experimental study of a sloping float breakwater[J]. Journal of Ocean Engineering, 2000, 27 (1): 445-453.
- [5] Dong G H, Zheng Y N, Li Y C, et al. Experiments on wave transmission coefficients of floating breakwaters[J]. Ocean Engineering, 2008, 35(8–9): 931–938.
- [6] Mohamed R G. Analysis of 5 shaped floating breakwater in oblique waves: I. Impervious rigid wave boards[J]. Applied Ocean Research, 2006, 28(5): 327–338.
- [7] Murali K Mani J S. Performance of cage floating breakwater[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1997, 123(4): 172–179.
- [8] Aburatani S, Koizuka T. Field test on a semi-circular caisson breakwater[J]. Coastal Engineering in Japan, 1996, 39(1): 59–78.
- [9] 俞聿修,张宁川,饶永红.半圆型防波堤的水力特性研究[J].海洋工程.1999,17(4):39-48.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

浮式防波堤因造价低、施工方便、适应性强等优点逐渐受到港工领域的关注。特别是随着码头向 深水区发展,浮式防波堤的优势愈加明显。

论文提出了一种由开孔圆弧、矩形方箱和锚链系统组成的新型浮箱式防波堤结构,并针对其动 力特性与设计要素开展了研究,对于改进传统浮箱式防波堤提供了新的思路。作者通过二维物理模型 试验,分别研究了2种不同相对吃水条件下新型浮箱式防波堤透射系数、运动幅值(横荡、垂荡和横 摇)、锚链受力与相对宽度的关系,并与传统浮箱式防波堤进行了比较,证明了该新型防波堤具有消 浪效果好、运动幅度小以及锚链受力小等良好的特性。建议对多种工况、多参数条件下浮式防波堤进 行深入研究,为该结构的推广应用提供更多的理论支撑。



ĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊŶĊ

评委简介:

陈达,博士,副教授,河海大学港口海岸与近海工程学院副院长。

从事港口、航道、海岸及近海工程领域的教学和科研工作,主要研究方向为混凝土结构腐蚀防 护与修复技术研究及工程应用。主持省部级以上项目10余项,发表论文30余篇,其中SCI收录5篇;申 请发明专利17项(8项已授权);参与编制规范2部;获得省部级以上奖励3项。