



规则波作用下矩形浮式防波堤的 消浪性能试验研究

侯勇^{1,2}, 孙大洋¹

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 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: 探讨了正向入射的规则波与矩形浮式防波堤的相互作用关系, 矩形浮式防波堤采用4条锚链与地基连接。通过试验研究了结构相对堤宽(W/L)、相对波高(H/d)、以及相对水深(s/d)等对波浪透射系数的影响。通过对试验数据的拟合, 给出了(W/L)_{0.5}的计算公式。

关键词: 矩形浮式防波堤; 透射系数; 相对堤宽; 相对水深

中图分类号: U 653.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0041-04

Experimental study on wave-damping performance of rectangular floating breakwater in regular waves

HOU Yong^{1,2}, SUN Da-yang¹

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

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

Abstract: This paper investigates the transmission of regular incident waves interacting with a long rectangular floating breakwater with four mooring lines connected. We conduct two-dimensional physical model tests to measure the wave transmission coefficients, and investigate the effects of the relative width (W/L), the relative wave height (H/d) and the relative draft (s/d) on the wave dissipation coefficients. We also define the parameter(W/L) as a standard to deal with this experimental data and fit the formula based on normalized profiles.

Key words: rectangular floating breakwater; transmission coefficient; relative width; relative draft

近年来, 相比较传统的坐底式防波堤(如: 斜坡式、直立式等), 浮式防波堤因其独特的经济性越来越受到海洋工程界的青睐。特别是随着水深的增加, 浮式防波堤的经济效应更加明显^[1]。如图1所示, 在水深为40 m的时候, 每延米浮式防波堤的造价大约是复合式防波堤的70%左右, 随着水深的增加节约的投资越加明显。此外, 浮式防波堤还具有其他形式的防波堤所不具有的特征^[2-3]: 比如随水深的增加, 增加的投资很小(图1); 施工

方便; 可以适用不同形状和尺寸的港口; 不阻碍港内外水体的自由交换, 有利于减小港口淤积和冲刷等。同时浮式防波堤还具有水底不受地形改变影响、满足季节性需求等优点。对于恶劣环境条件下的勘探钻井、救助作业等海上活动, 浮式防波堤常常被作为临时性的防护措施。

虽然浮式防波堤结构在海洋工程中的作用越来越被工程界所重视, 但是对于其水动力特性的研究特别是在实验室内的物模试验研究目前还处

收稿日期: 2012-10-18

作者简介: 侯勇(1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事港口工程结构设计、研究工作。

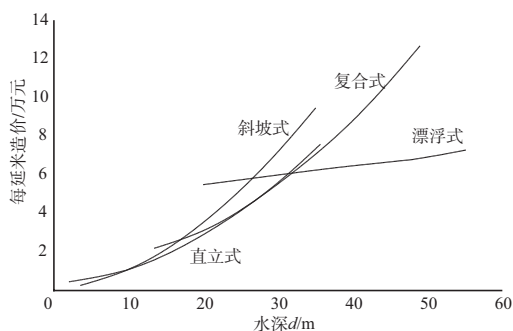


图1 不同结构的防波堤造价随着水深的变化情况

于概念期。在消浪性能研究阶段,董国海等^[4]通过实验室物理模型试验研究了板网式浮式防波堤的透射系数;Williams A. N. 等^[5]开发了线性波作用下锚链式浮式防波堤的透射性能的二维数学模型,并通过物模试验结果验证了模型的正确性;Sannasiraj S. A. 等^[6]通过数模和物模试验计算了矩形箱式浮防波堤的水动力特性;Ikese Shunichi等^[7]通过物模试验研究了双箱式浮防波堤的水动力

特性;Murali K. 等^[8]则比较了一系列不同类型的浮防波堤的透射系数。

本文通过实验室物理模型试验,研究了锚链式浮式防波堤在二维正向规则波下的透射系数,探讨了相对堤宽(W/L)、相对波高(H/d)以及相对水深(s/d)对透射系数的影响程度,通过对试验数据进行处理,给出归一化公式。

1 试验方法

模型在水槽中的布置见图2。其中试验水槽尺寸为:长23 m,宽0.45 m,深0.8 m。两侧分别装有造波器(产生波浪)和消浪装置(吸收波浪),试验水深0.4 m。模型放置于水槽中央,前后分别用对称的锚链与底面连接,锚链长度69.2 cm,刚度均为18 N/m,锚链初始张力均为零。为了更有效地消除波浪反射的影响,距模型前后200 cm处分别设置一对测波仪通过滤波测定模型前后的波浪高度。

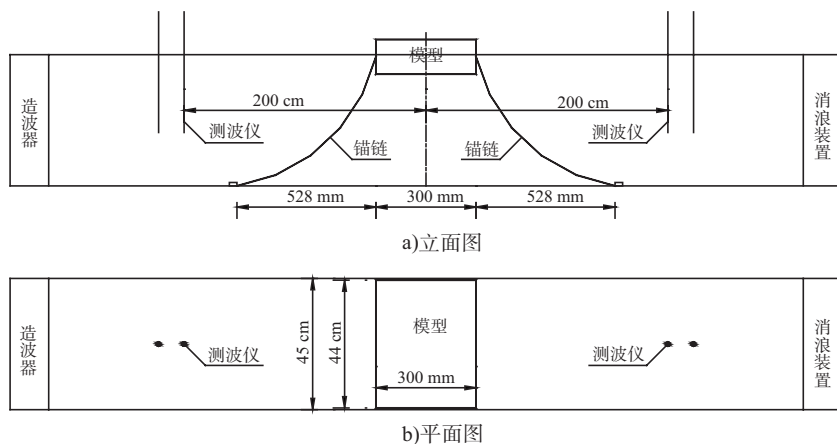


图2 模型在水槽中的布置

模型尺寸为44 cm × 30 cm × 18 cm(长×宽×高),试验水深取0.40 m,生波周期范围0.70~1.55 s,波高取0.07和0.10 m两种,模型吃水取13.5, 9.00和4.50 cm共3种。试验参数为:水深 $d=40$ cm;堤宽 $W=30$ cm;波高 $H=7,10$ cm;周期 $T=0.70\sim 1.55$ s;模型吃水 $s=4.5, 9.0, 13.5$ cm;相对吃水 $s/d=0.1125, 0.225, 0.3375$;相对堤宽 $W/L=0.110\sim 0.394$;相对波高 $H/d=0.175, 0.250$ 。

2 量化分析

针对本次试验数据,结构的透射系数 C_t 可以采用如下函数表示:

$$C_t = f(d, L, H, W, s, k) \quad (1)$$

无量纲处理后

$$C_t = f(W/L, H/d, s/d, k) \quad (2)$$

由于试验模型的锚链刚度恒定不变,从而有:

$$C_t = f(W/L, H/d, s/d) \quad (3)$$

假定相对堤宽(W/L)、相对波高(H/d)以及相对水深(s/d)对透射系数 C_t 的影响互不关联,可以得到:

$$C_t = f_1(W/L) f_2(H/d) f_3(s/d) \quad (4)$$

进而,可以在保持任意两个函数不变的前提下,讨论透射系数 C_t 与第3个函数相对关系^[9]。

3 试验数据分析

1) 相对堤宽 $(W/L)_{0.5}$ 的定义。

为了对数据归一化, 定义一个相对堤宽为 $(W/L)_{0.5}$, 即使波浪高度减小一半的相对堤宽, 如图3所示。

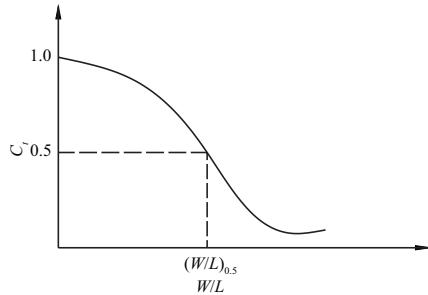


图3 $(W/L)_{0.5}$ 的定义

2) 相对波高 H/d 对透射系数 C_t 的影响。

图4显示了在相对水深 $s/d=0.3375$ 和 $s/d=0.2250$ 时, 不同相对波高 H/d 条件下, 透射系数 C_t 随相对堤宽 (W/L) 的变化规律。图5揭示了在相对水深 $s/d=0.3375$ 和 $s/d=0.2250$ 时, 不同相对波高 H/d 条件下, 透射系数 C_t 随相对堤宽比 $(W/L)/(W/L)_{0.5}$ 的变化规律。图6是在 $(W/L)/(W/L)_{0.5} < 1.0$ 时, 相对波高 H/d 与相对堤宽 $(W/L)_{0.5}$ 的归一化的结果, 可以看出, 随着相对波高 H/d 的变化, 相对堤宽为 $(W/L)_{0.5}$ 几乎不变。换言之透射系数 C_t 与相对波高 H/d 之间没有必然的联系, 而在 $(W/L)/(W/L)_{0.5} > 1.0$ 时相对波高 H/d 对透射系数 C_t 的影响较为明显。

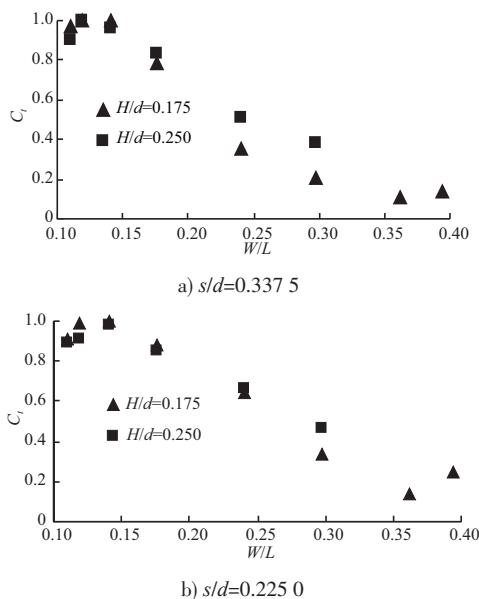


图4 透射系数 C_t 随相对堤宽 (W/L) 的变化规律
(不同相对波高)

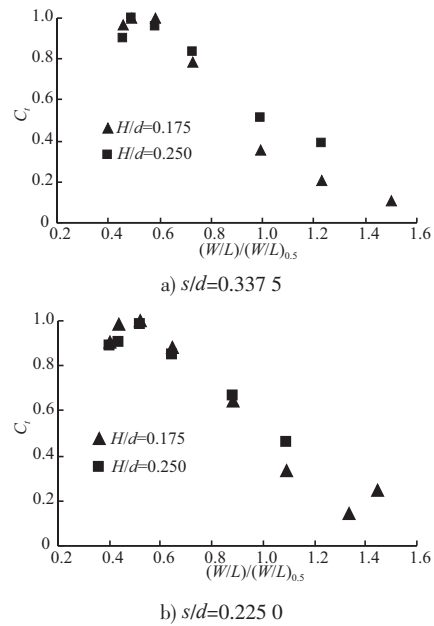


图5 透射系数 C_t 随相对堤宽比 $(W/L)/(W/L)_{0.5}$ 的变化规律
(不同相对波高)

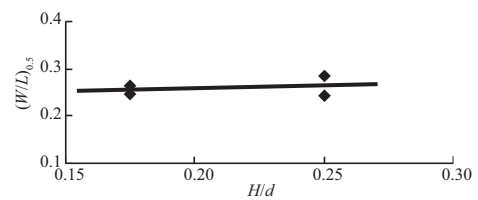


图6 相对波高 H/d 与相对堤宽 $(W/L)_{0.5}$ 的关系

3) 相对水深 s/d 对透射系数 C_t 的影响。

图7和图8分别显示了不同相对吃水 s/d 情况下, 透射系数 C_t 随相对堤宽 (W/L) 和相对堤宽比 $(W/L)/(W/L)_{0.5}$ 的变化规律。总体来说, 透射系数 C_t 随着相对堤宽 (W/L) 的增加而减小, 只是在相对堤宽 (W/L) 较小时, 变化规律有所不同。相对堤宽相同时, 透射系数随着相对吃水的增加而减小, 当相对堤宽较小时, 透射系数差别较小。图9是相对吃水 s/d 与相对堤宽 $(W/L)_{0.5}$ 的归一化结果并给出了拟合公式。可以看出相对堤宽 $(W/L)_{0.5}$ 随着相对吃水的增加而减小。

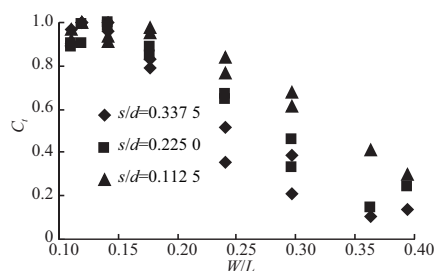


图7 透射系数 C_t 随相对堤宽 (W/L) 的变化规律
(不同相对水深)

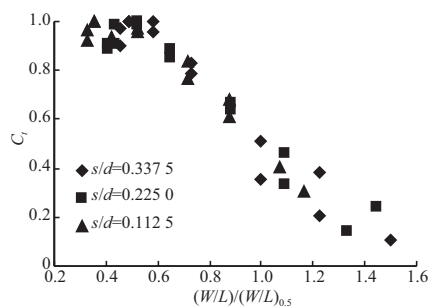


图8 透射系数 C_t 随相对堤宽比 $(W/L)/(W/L)_{0.5}$ 的变化规律
(不同相对水深)

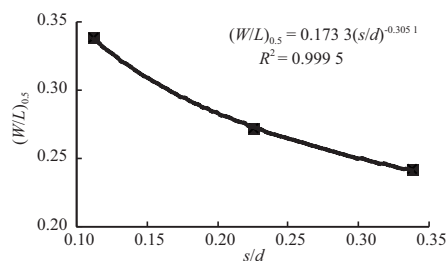


图9 相对水深 (s/d) 与相对堤宽 $(W/L)_{0.5}$ 的关系

4) 透射系数 C_t 的拟合。

通过以上分析,可以把透射系数 C_t 转化成为相对堤宽比 $(W/L)/(W/L)_{0.5}$ 的函数表达:

$$C_t = f[(W/L)/(W/L)_{0.5}] \quad (5)$$

进而有:

$$(W/L)_{0.5} = g_1(s/d)g_2(H/d) \quad (6)$$

由于相对波高 (H/d) 与 $(W/L)_{0.5}$ 之间没有必然的联系,进而得到:

$$(W/L)_{0.5} = g_1(s/d) = 0.1733(s/d)^{-0.3051} \quad (7)$$

图10是利用上述公式和实际试验数据的对比结果,从图中可以看出给定的拟合曲线能很好地拟合真实的试验数据。

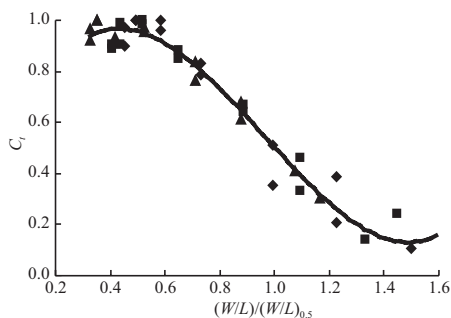


图10 透射系数 C_t 的拟合结果

4 结语

通过物理模型试验和量化分析研究了透射系数随各影响因素(相对堤宽、相对波高、相对水

深等)的变化规律,结果表明透射系数随着相对堤宽和相对水深的变化而变化,但是相对波高对透射系数的影响规律则不同。在目前实际的工程中,一般浮式结构的相对宽度都在0.25以下,因而对于给定的波浪要素和防波堤尺寸,可以通过归一化过程对波浪的消浪性能进行有效估计。

鉴于物理模型试验的局限性和波浪与建筑物作用的复杂性以及实际波浪的不规则性和多向性,进行多方面的物模试验和数值试验研究,逐步完善相关理论论证将是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] Angremond K, Tutuarima W H. Coastal Engineering [M]. New York: ASCE, 1998: 1 951-1 985.
- [2] Bruce L M. Floating breakwater design [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1985, 111(2): 304-318.
- [3] Vittal A H. Performance characteristics of horizontal interlaced multilayer moored floating pipe breakwater [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 2007:275-285.
- [4] Dong G H, Ma Y X, Ma X Z. Experiments on wave transmission coefficients of floating breakwaters [J]. Ocean Engineering, 2008:1-8.
- [5] Williams A N, McDougal W G. A dynamic submerged breakwater [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1996:288-296.
- [6] Sannasiraj S A. Mooring forces and motion responses of pontoon-type floating breakwaters [J]. Ocean Engineering, 1998, 25(1): 27-48.
- [7] Shunichi I. Study on the performance of a floating breakwater with two boxes [C]. Kitakyushu, Japan: Proceedings of the 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002:773-778.
- [8] Murali K, Mani J S. Performance of cage floating breakwater [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1997:172-179.
- [9] Nobuhiro M. Performance of wave absorption by a steel floating breakwater with truss structure [C]. Kitakyushu, Japan: Proceedings of the 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002:768-772.

(本文编辑 武亚庆)