

· 综 合 ·



桩基挡板透空堤透浪特性试验研究

郑桂兰¹, 姚成一¹, 戴江山²

(1. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098;

2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 通过不规则波作用下桩基挡板透空堤断面波浪物理模型试验, 分析总结无量纲因素即挡板相对入水深度 (t/d)、相对水深 (d/H_s)、相对超高 ($\Delta t/H_s$)、相对堤宽 (B/L_s)、波陡 (H_s/L_s) 等因素对透浪系数的影响, 在拉帕公式的基础上拟合出新的透浪系数计算公式, 并将新公式计算的透浪系数值与试验值进行比较验证。研究成果对桩基透空堤的研究和设计具有较高参考和借鉴价值。

关键词: 桩基挡板透空堤; 透浪系数; 物理模型试验; 经验公式

中图分类号: U 656.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0018-05

Experimental study on wave transmission coefficients of piled baffle permeable breakwaters

ZHENG Gui-lan¹, YAO Cheng-yi¹, DAI Jiang-shan²

(1. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Taking a systematic physical model experiment under irregular wave, we analyze the factors such as the relative immersed depth of the piled baffle (t/d), relative water depth (d/H_s), relative height of the piled baffle ($\Delta t/H_s$), relative width (B/L_s) and wave steepness (H_s/L_s), which impact the wave transmission coefficient. The formula for calculating the wave transmission coefficient is achieved on the basis of the theory formula of lapa. Its calculation results are compared with experimental records, which has a great referential value for the research and design of the piled baffle permeable breakwater.

Keywords: piled permeable baffle breakwater; wave transmission coefficient; physical model experiment; empirical formula

桩基透空堤是在重力式支墩或高桩承台的上部结构下伸入一道或前后两道挡浪板至水下一定的深度, 用以阻挡波浪对港内水域的影响, 起到挡浪、内外水沙交换的作用。该防波堤主要是利用波能集中在水体表层设计的。波浪透过桩基透空式防波堤时波能转化为3部分: 堤前反射波能、堤后透射波能、因波浪之间的相互作用而损耗的能量。

国内外很多专家学者^[1-4]很早便开始研究桩基透空堤透浪系数, 分析桩基透空堤的透浪原理, 提出不同条件下桩基透空堤透浪系数的计算公式。

我国规范^[5]用的是苏联科学家拉帕所推出的公式。

桩基透空式防波堤属于新型结构形式, 在国内外虽有一定的研究成果和工程实践, 但至今在该领域还未能很好地形成系统的设计体系。本研究分析了不同水位和波要素条件下, 相对入水深度、相对水深、相对超高、相对堤宽、波陡等因素对桩基挡板透空堤透浪系数的影响, 在拉帕公式的基础上采用因次分析和多元线性回归的方法, 推导一定波浪条件下桩基挡板透空堤透浪系数的计算公式。

收稿日期: 2014-01-03

作者简介: 郑桂兰 (1966—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事海岸带资源开发方面的研究工作。

1 物理模型试验^[6]

1.1 试验设备

本研究采用的水槽长 75 m、宽 1.0 m、高 1.5 m,在中后部将水槽分成等间距的两部分,取外部的一侧水槽进行模型试验。水槽前端有造波机,末端有消浪设施。本试验断面采用承台式双向挡板桩基透空堤结构形式,模型胸墙顶高程为 70 cm,外海侧和港侧均设挡浪板,承台底板底高程为 40 cm,厚 10.53 cm,堤顶高程 50.53 cm,堤顶宽度 43.3 cm,挡浪板底高程由 5 cm 变化到 40 cm,每个横向排架设 4 根 20 mm × 20 mm 预应力混凝土方桩,4 根桩组成两对叉桩,叉桩斜度均为 4:1。结构断面见图 1。

试验段水槽中心线上堤前距防波堤 200、170 cm 处布置 1[#] 和 2[#] 波高仪,堤后距防波堤 150、300、450、600 cm 处布置 3[#]、4[#]、5[#]、6[#] 波高仪。水位

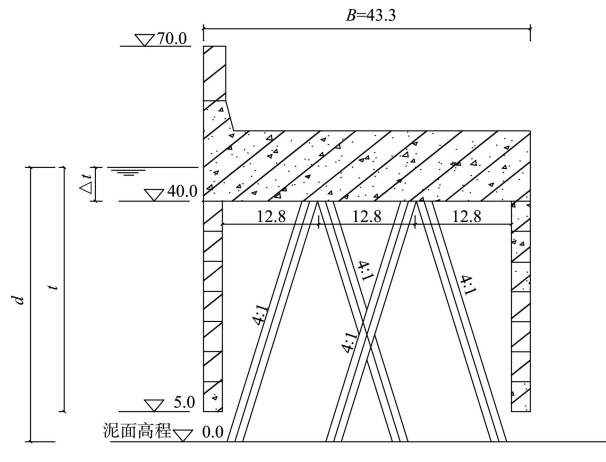


图1 透空堤断面结构(单位:cm)

和波浪力的量测、采集均采用水利部北京水电科学院研制的 DJ 800 型水工实验采集系统及其配套的传感器(波高仪、温度补偿仪、点压强传感器)。水槽、模型及波高仪布置见图 2。

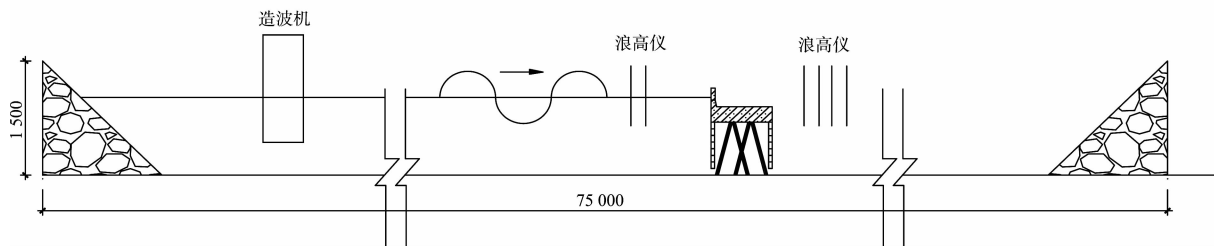


图2 试验水槽、模型及波高仪布置

1.2 试验方法

试验采用间歇式生波方式,不规则波每次造波 192 s,采样时间间隔为 0.012 s,停机后待水槽内水面平稳再造波,重复 2~3 次,取平均值作为结果。考虑平板对波浪的影响,通过不改变平板的宽度,改变堤前水深、波高、波长的办法来实现研究各种波浪要素对透浪系数的影响,挡浪板底高程分别为 5、10、15、20、25、30、35、40 cm,试验考虑的堤前水深分别为 57.5、50.0、49.0、47.5、45.0、44.0、42.5、40.0、39、37.5、35.0、34、32.5、30.0 cm,波高分别为 6、10、15 cm,波长分别 120、150、200、250、300 cm,试验共 71 个组次。由于本试验组次较多,会占用大量篇幅,故未列出具体试验组次。

2 试验结果^[6]及数据分析

桩基透空堤透浪系数 $K_t = H_{\text{堤后波高}} / H_{\text{入射波高}}$ 。堤

前入射波高 $H_{\text{入射波高}}$ 可以近似取为堤前入射波(建堤前)的有效波高 H_e 。由于堤后波高的沿程变化很小,3[#] 后波高由于水面壅高、波浪形态紊乱等原因表现不稳定,6[#] 处的堤后波高可能由于水槽后半段反射波的影响,数值略微偏大。现取 4[#]、5[#] 测得的堤后有效波高的平均值作为本次试验透空式防波堤的堤后波高值 $H_{\text{堤后波高}}$ 。

2.1 相对入水深度对透浪系数的影响

相对入水深度 t/d 与透浪系数 K_t 呈线性变化趋势,在各级水位不同水深的情况下,透浪系数 K_t 随着挡浪板入水深度的增加而减小,即随相对入水深度增加而减小。这是因为随着挡浪板入水深度的增加,挡板的挡浪面积也随之增加,波能反射得多,从挡浪板底部透射过去的波浪随之减少,消浪效果明显增强,故堤后波高较小,透浪系数也随之变小。透浪系数 K_t 和相对入水深度 t/d 的关

系见图 3。

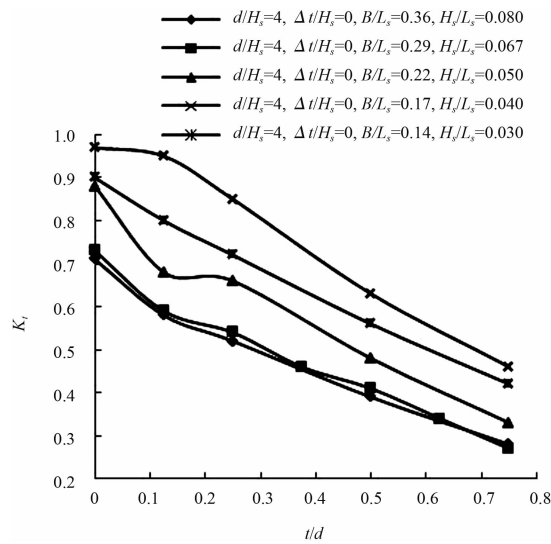


图 3 相对入水深度和透浪系数的关系

2.2 相对水深对透浪系数的影响

本试验通过在保持波高、波长不变的情况下改变堤前水深的办法来达到改变相对水深的目的。随着相对水深 d/H_s 的增加，透浪系数 K_t 呈减小趋势，即堤前水深减小，透浪系数随之增加，这是因为随着水位的降低，水体与挡浪板接触面积变小，消浪效果较差，透射的波能就较大，堤后波高则较大，从而透浪系数较大。透浪系数 K_t 和相对水深 d/H_s 的关系见图 4。

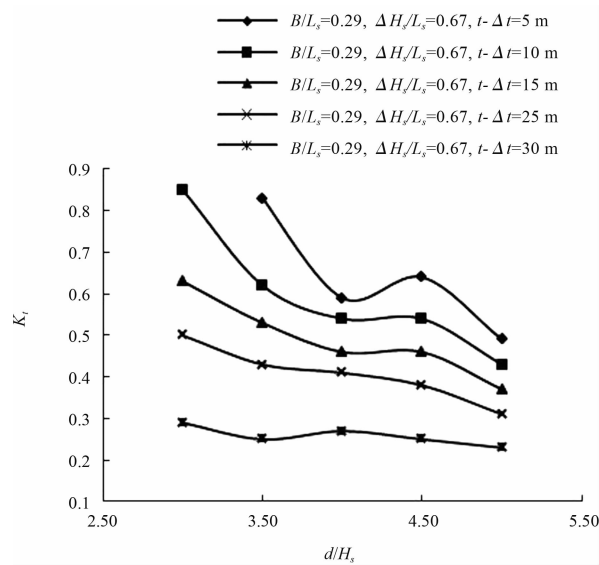


图 4 相对水深和透浪系数的关系

2.3 相对堤宽对透浪系数的影响

改变透空堤堤宽 B 比较麻烦，本文通过改变波长 L_s 的办法来达到改变相对堤宽的目的。当相对堤宽 B/L_s 小于 0.17 时，其与透浪系数 K_t 近似于正弦函数的关系，当相对堤宽 B/L_s 大于 0.17 时，随着相对堤宽增大时，透浪系数 K_t 总体上呈减少的趋势。虽然透浪系数 K_t 随相对堤宽 B/L_s 的增大而减小，但随着相对堤宽增大到一定程度后， K_t 的减小趋于平缓，并趋于一个定值，即相对堤宽的影响范围也是有限的，在超过一定宽度后，消波作用就不再明显增大。透浪系数 K_t 和相对堤宽 B/L_s 的关系见图 5。

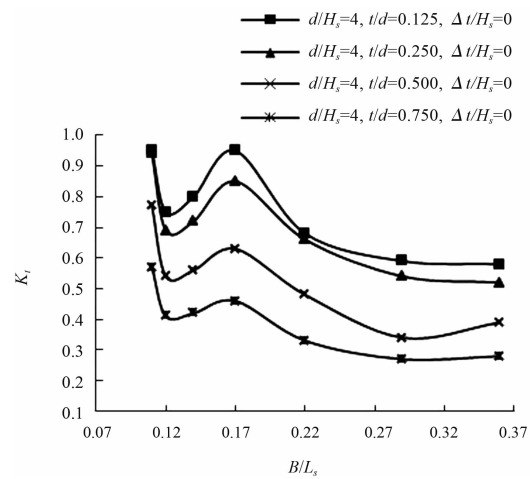


图 5 相对堤宽和透浪系数关系

2.4 相对超高对透浪系数的影响

根据挡板式桩基透空堤的消浪机理可知，在同一入射波高下，随着水位的降低，挡板下部穿透的波浪与透空堤面板接触面积的比例减小，即紊动消能的比例减小，透空堤的消能效果减弱。由图可见，随着相对超高 $\Delta t/H_s$ 的增大，透浪系数呈现小幅度增长的趋势。可近似将相对超高与透浪系数的变化关系认为是线性变化。透浪系数 K_t 和相对超高 $\Delta t/H_s$ 的关系见图 6。

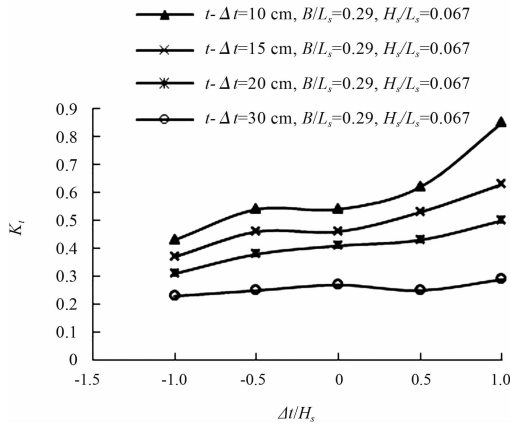


图6 相对超高和透浪系数关系

2.5 波陡对透浪系数的影响

当 $H_s/L_s < 0.04$ 时,透浪系数随波陡的增加而增加;当 $H_s/L_s > 0.04$ 时,透浪系数随波陡的增加而减小,进而又趋于不变。在水深一定的情况下,波陡愈小,消浪效果越差。透浪系数 K_t 和波陡 H_s/L 的关系见图7。

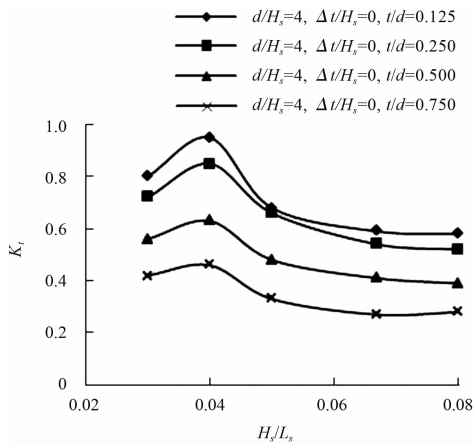


图7 波陡和透浪系数关系

3 修正公式

规范公式是拉帕教授基于双侧挡浪板透空堤的规则波试验研究结果提出的经验公式,表达式如下:

$$K_t = \frac{(1 - \varepsilon) \operatorname{sh} \left[\frac{2\pi}{L} (d - t) \right] \operatorname{sh} \left[\frac{2\pi}{L} (2d - t) \right]}{\operatorname{sh} \frac{2\pi d}{L} \operatorname{sh} \frac{4\pi d}{L}} \quad (1)$$

$$\text{其中, } \varepsilon = \frac{H}{H + 0.5L} \exp \left[-\frac{t}{2(d - t)} \right] \quad (2)$$

式中: K_t 为浪系数; L 为波长 (m); d 为堤前水深

(m); t 为挡浪板的入水深度 (m); ε 为计入局部损失的阻力系数。

拉帕公式考虑了入射波陡 H_s/L_s 的影响,引入了一个参数 ε ,该参数同时能很好地体现入射波高 H_s 对透浪系数的小幅影响,公式适用范围较大,但仍未考虑堤宽 B 的影响及超高 Δt 的影响,需要对其作进一步的修正。本文将在拉帕教授研究成果的基础上,进一步考虑无量纲因素对透浪系数的影响,即相对堤宽、相对超高、相对入水深度、波陡、相对水深等因素对透浪系数的影响,在拉帕公式的基础上对其作进一步的修正。

通过几个无量纲因素与透浪系数的图表关系分析可知,相对超高、相对入水深度、相对水深三个因素对透浪系数的影响可近似认为是线性关系,而相对堤宽、波陡对其的影响则近似认为正弦函数的关系。

采用因次分析法,运用多元线性回归方法确定各物理参数项的系数,推求不规则波条件下桩基挡板透空堤透浪系数的计算公式。以相对堤宽 (B/L_s)、相对超高 ($\Delta t/H_s$)、相对入水深度 (t/d)、波陡 (H_s/L_s)、相对水深 (d/H_s) 为自变量,透浪系数为因变量,根据理论及试验资料分析所得到的规律,采用 π 定理进行因次分析。

在拉帕公式基础上乘以一个修正系数 $C_{\text{拟合值}}$,即 $K_{\text{拟合值}} = C_{\text{拟合值}} K_{t\text{拉帕}}$,将本次试验各工况的所有数据进行拟合,提出修正公式为:

$$K_t = (K_1 K_2 K_3 + 3.993) \frac{(1 - \varepsilon) \operatorname{sh} \left[\frac{2\pi}{L} (d - t) \right] \operatorname{sh} \left[\frac{2\pi}{L} (2d - t) \right]}{\operatorname{sh} \frac{2\pi d}{L} \operatorname{sh} \frac{4\pi d}{L}} \quad (3)$$

$$\text{其中, } K_1 = 8.011 \left(\frac{\Delta t}{H_s} - 4.268 \right), K_2 = \sin \left[\left(0.277 \frac{B}{L_s} - 0.018 \right) \frac{H_s}{L_s} + 0.862 \right], K_3 = \left(\frac{t}{d} - 3.487 \right) \frac{d}{H_s}$$

式中: Δt 为底板在静水面以上的高度 (m); B 为面板在波浪传播方向的宽度 (m); H_s 、 L_s 为入射波有效波高和波长 (m)。

将本文试验值和拉帕公式作比较,结果见

图 8。将本文试验值与修正公式计算值进行比较,结果见图 9。将图 9 与图 8 对比,可以看出修正公式的误差明显减小,公式计算值和试验值之间比拉帕公式吻合更好,可以应用于今后类似波浪要素和结构尺度下,挡板式桩基透空堤透浪系数的计算。

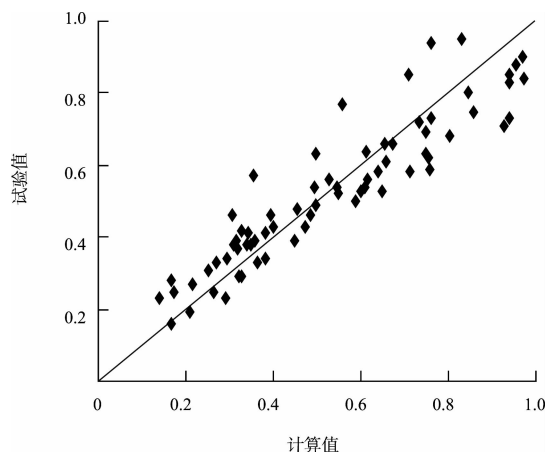


图 8 透浪系数试验值和拉帕公式比较

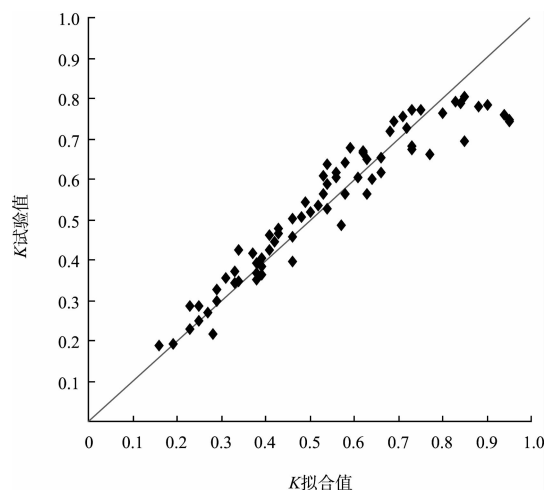


图 9 透浪系数试验值和修正公式比较

4 结论

通过系列试验的数据分析,探讨桩基透空堤的透浪特性。通过改变相对入水深度 (t/d)、波陡 (H_s/L_s)、相对水深 (d/H_s) 等因素,分析这些因素对桩基透空堤透浪系数的影响。在总结前人经验的基础上,提出对拉帕公式的修正。主要结论如下:

1) 在分析国内外有关透空堤研究的基础上,认为规范公式比较适合双侧挡板桩基透空堤。

2) 对于桩基透空式防波堤,影响透浪效果的首要因素是挡浪板入水深度,即相对入水深度 (t/d),透浪系数随着挡浪板的入水深度的增加而减小。其次是相对水深 (d/H_s),随着相对水深的增加,透浪系数呈减小趋势,即堤前水深减小,透浪系数随之增加。相对堤宽 (B/L_s)、相对超高 ($\Delta t/H_s$) 也是影响透浪系数 K_t 的重要因素。随着波长的减小,即相对堤宽增大时,透浪系数总体上呈减少的趋势,当相对堤宽达到一定的程度时,透浪系数变化较缓慢,并趋于一个定值。随着相对超高 $\Delta t/H_s$ 的增大,透浪系数呈现小幅度增长的趋势。波陡 H_s/L_s 对透浪系数 K_t 的影响相对较小:当 $H_s/L_s < 0.04$ 时,透浪系数随波陡的增加而增加;当 $H_s/L_s > 0.04$ 时,透浪系数随波陡的增加而减小,进而又趋于不变。

3) 根据试验数据,对拉帕公式提出半经验半理论的修正公式,利用修正公式计算的理论与试验值吻合较好,对今后研究和类似工程设计有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] Neelamani S, Vedagiri M. Wave interaction with partially immersed twin vertical barriers [J]. Ocean Engineering, 2002(29): 215-238.
- [2] Requejo S, Vidal C, losade I J. Modeling of wave loads and hydraulic performance of vertical permeable structure [J]. Coastal Engineering. 2002, 46(4): 249-276.
- [3] 王文鼎,王永学. 有挡浪设施的桩基透空码头透浪特性分析 [J]. 中国海洋平台, 2008, 23(1): 20-25.
- [4] 琚烈红,杨正已. 设有挡浪板透空堤波浪透射系数实验研究 [J]. 水运工程, 2008(4): 19-22.
- [5] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范 [S].
- [6] 戴江山. 不规则波作用下桩基挡板透空堤透浪特性的研究 [D]. 南京: 河海大学, 2011.

(本文编辑 郭雪珍)