

钢管-轮胎浮式防波堤消波的几个影响因子

吴维登¹,钟瑚穗¹,黄俊²

(1.河海大学交通与海洋工程学院,江苏 南京 210098;2.河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 结合试验结果,分析了钢管-轮胎结构浮式防波堤消波的几个影响因子,并从筏体的刚度、倾斜度、挡浪面积以及自振频率方面对浮筏结构进行改进,提出了一个新的钢管-轮胎浮式结构.此结构可增加浮筏对波能的反射和消耗,有效减少浮筏的自生波浪,可在较不利的入射波要素下,使浮筏的波高传递系数最低达 0.22.

关键词 浮式防波堤;钢管-轮胎结构;消波系数

中图分类号:U656.2 文献标识码:A 文章编号:1000-198X(2002)05-0079-04

浙江岱山县中心渔港位于长江口南端、杭州湾外缘,拟建的西防波堤主要用于阻挡风浪的侵入.由于拟建的防波堤均处于 15~40 m 的潮汐通道上,基础土质差,涨落潮流流速大,海水含沙量大,25 年及 50 年重现期的波浪 $H_{1\%}$ 为 3.0 m 左右,波周期 $T < 6.0$ s,所以更适合采用浮式结构.考虑到轮胎比较经久耐用,旧轮胎目前国内也比较多,可以回收利用,拟采用钢管-轮胎结构形式.有关单位希望河海大学能提出一个满足堤后波高 0.8~1.0 m 的浮筏形式并进行相应的消波效果断面模型试验.本文根据试验结果,对钢管-轮胎浮式防波堤消波影响因素进行分析.

1 试验条件

该物理模型试验在河海大学航道实验室长 80 m、宽 0.5 m、高 1.2 m 的不规则波水槽中进行,数据采集使用 DJ800 多功能采集系统.规则波试验中每次至少采集 10 个完整波周期记录,重复 2 次取平均值波周期为 $T = 5.32$ s,水深为 $d = 27.2$ m.原型中采用的轮胎规格为 9.00—20 和 11.00—20 两种,钢管外径 40 mm,厚 8 mm.模型比尺为 1:35.

2 模型单元构造形式

模型中的大、小轮胎分别对应原型中规格为 11.00—20 9.00—20 轮胎.模型单元在改造前钢管以木棍模拟,保证外尺寸以及重力相似.每根钢管上穿大轮胎 47 个,管与管之间绑大轮胎 7 列,每列 15 个;小轮胎 6 列,每列 17 个,按一大一小排列(图 1).原型中管与管之间轮胎用皮带穿过,并与钢管上的轮胎绑紧^[1].每个单元有 4 根钢管(3 跨),钢管两端都用铰链与另一个单元连接,或者挂锚链.

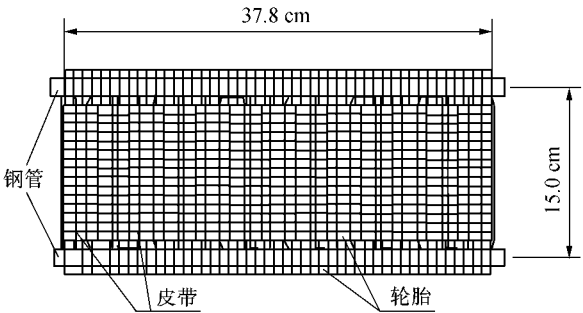


图 1 模型单元尺寸
Fig.1 Unit size of model

3 消波的影响因子

3.1 筏长

筏形浮式防波堤依靠其沿波浪传播方向上的长度来加剧波浪的沿程消耗和破碎,以达到消浪目的.筏体

愈长且糙率愈大则消波效果愈好. 过达等^①就不同筏长所做的试验结果表明, 采用 $B/L = 1.5$ 的筏长可使 $C_t \leq 0.35$. 其中: B 为筏体沿波浪传播方向的长度; C_t 为波高传递系数, $C_t = H_t/H_i$, H_i , H_t 分别为堤前入射波高、堤后波高. 笔者在完成了筏的形式最终的改进后, 测量了在不同入射波周期下相同结构形式浮筏的 C_t , 具体数据见表 1. 从表 1 中可以得出不同 B/L 的波高传递系数, 结果与以上结论一致.

3.2 筏体刚度

筏体刚度指浮筏沿着波浪传播方向变形的大小. 本模型试验最初采用的浮筏结构形式(图 2(a)), 由图 1 中的单元结构作为独立的组成部分, 单元的钢管以木棍来模拟, 单元两端都用铰链与另一个单元连接, 或者挂锚链. 以模型木棍来模拟原型钢管, 保证了原型钢管外尺寸和重量符合波浪试验规程的规定. 试验过程中观察到浮筏在波浪作用下, 各单元产生了波动, 波浪能量损失很少, 其相应的波高传递系数 C_t 达 0.65. 尝试单元间采用固定连接, 但由于木棍本身刚度太小, 浮筏在波浪作用下依然变形严重, 消波效果差. 考虑到原型中钢管内会填充其他材料, 其重量有一个范围, 所以模型中改用相同外径但更长的小钢管代替木棍(原型筏体如果需要增加刚度, 可以在轮胎外沿再焊钢管. 相应增加的重量与筏体产生的浮力经计算比较为小量), 并且把 5 个单元的轮胎直接穿在一根小钢管上, 即浮筏由 5 片小单元变成 1 片大单元, 如图 2(b). 小钢管与轮胎以及轮胎间的相对位置和捆绑方式依然如图 1 所示. 改进后的浮筏 C_t 可达 0.60, 消波效果有所提高.

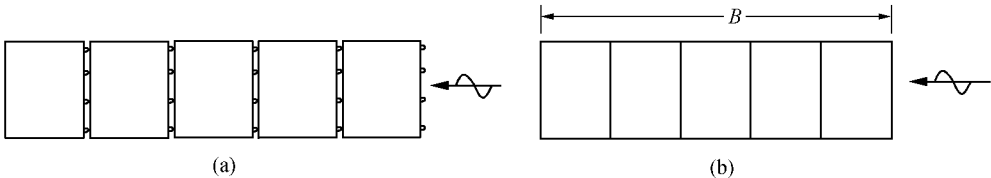


图 2 单元的柔性连接和刚性连接

Fig.2 Flexible connection & rigid connection of units

3.3 吃水深度

模型中的轮胎重量是根据原型轮胎全部填充发泡塑料得到的. 所以如将模型中的单元完全泡在水里, 将产生巨大的浮力, 当筏体自由摆放在水面上时, 浮筏的吃水很小. Harms^[2]曾就不同结构的轮胎浮式防波堤、不同的相对水深 d/L 、不同的相对吃水深度 D/L 情况下浮筏的消波效果做过试验, 得到的基本规律是: 相对吃水深度 D/L 越大, 消波效果越好. 因此, 如在浮筏上压重物, 增加垂直向下的分力, 可以使浮筏有更大的吃水深度. 笔者在筏体刚度改进的基础上, 先进行加重物与不加重物的相对效果试验. 重物为每块重 80 N 的钢筋混凝土块. 重物与浮筏相对位置如图 3(a)、图 3(b)所示, C_t 如表 1 所示. 同时又进行不同吃水下浮筏消波效果的试验, 加重物重为 16 N、32 N、48 N, 布置形式如图 3(b)、(c)、(d), C_t 如表 2 所示. 试验结果和 Harms 的结论基本一致, 但从试验过程中观察到的现象发现, 吃水也并非越多越好, 较多的吃水也可能会有更多的越浪. 在原型施工过程中, 轮胎内可以填充不同密度的材料(从发泡塑料到混凝土). 以

表 2 不同的加重对 C_t 的影响

Table 2 Effect of different weights on C_t

周期/s	H_i /cm	加重/N	C_t
0.9	5.31	8	0.490
0.9	5.31	16	0.414
0.9	5.31	24	0.411

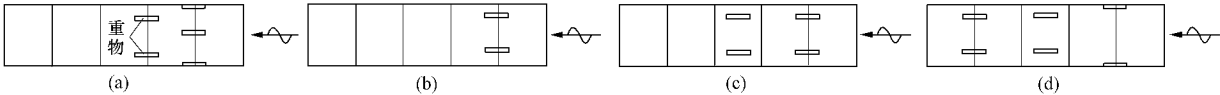


图 3 不同的重物及摆放位置

Fig.3 Different weights and different arrangements

①过达, 钟瑚穗. 岱山县中心渔港浮式防波堤消浪效果及锚力试验报告. 南京: 河海大学海岸及海洋工程研究所, 1994.

上配重换算为原型值后,重量在“筏体轮胎全部填充发泡塑料”与“筏体轮胎全部填充混凝土”之间,所以配重在原型施工中是能够达到的。

3.4 筏倾斜

上述重物在浮筏上是不均匀的,从试验过程中可直观地看到,筏的倾斜能形成迎浪坡度和减少筏的摆动。为验证筏倾斜的作用,采用同样的重物重量、不同的排列方式(图 3 d)图 4)相同的入射条件 $T = 0.9\text{ s}$, $H_i = 5.31\text{ cm}$,观测到其 C_i 分别为 0.411 0.352。通过试验,最后确定最佳的浮筏倾斜为:筏迎浪前端淹没于水下,背浪端浮于水面,整个筏体倾斜度为 1/50。浮筏的倾斜可以通过配重达到,模型中的配重对应了原型施工中轮胎填充泡沫塑料,不填充泡沫塑料,或填充其他材料。

3.5 胸墙及其摆放位置

为减小堤后波高,鉴于固定式防波堤中胸墙具有挡浪作用,在浮筏上再连接钢管-轮胎结构形式的胸墙。试验中的胸墙是一个筏的单元(单层)或将一个筏的单元分成 2 片(一片 6 列轮胎,另一片 7 列轮胎),叠加在一起(双层),再固定在浮筏上。增加的胸墙有效地减少了越浪,收到了预期的效果。但试验过程中发现,胸墙在筏上的摆放位置也会影响到消浪效果。

岑企望^[3]就斜坡式海堤平台对波浪爬高的影响作过研究,其中关于平台因素的几点结论是:静水位近处的平台(有一定宽度时)对减少爬高效果最显著,可减少 20% ~ 40%;平台从静水位起增加或减少,对减少爬高的效果都不利,在一般情况下,相对平台标高 $h_b/H > -0.8$,爬高随着平台宽度的增加而减少,开始比较迅速,当相对平台宽度 $b/H > 3$ 时,就减少得比较缓慢;平台对爬高的影响可用平台系数 K_2 来表示:

$$K_2 = 1 + A \sqrt{b/L}$$

(1)

式中 A 值与平台标高有关。

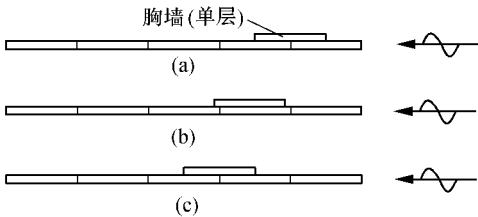


图 5 胸墙在浮筏上的不同摆放位置
Fig.5 Different positions of parapet on FB

在浮筏上放置胸墙(图 5),迎浪侧在外观上很像固定式带平台斜坡堤的上部。胸墙摆放在浮筏上不同的位置,相应有不同的胸墙前筏体长度,形成不同的消波平台宽度。但此处平台宽度与消波效果构成的曲线并不是一根单调曲线,而有一个极点。图 5 给出了胸墙在筏上不同的相对摆放位置。在 $T = 0.9\text{ s}$, $H_i = 5.31\text{ cm}$ 时,图 5 (a) (b) (c) 相应的 C_i 为 0.450 0.405 0.429。此处包含了不同倾斜度一定的影响。在如图 5 (b) 中的胸墙位置及相应的平台宽度(43 cm)下,有最佳的消能效果。此时波浪形态为远破波,波浪打击点正好在胸墙上。也就是说,在浮筏上借助固定式斜坡式海堤平台进行消能,虽然增大平台宽度时也增加了波浪沿程消耗,但浮筏上有很多空隙,波浪如在平台上破碎,仍不能最有效地消去波能。

浮筏胸墙前平台高程也与固定式斜坡堤平台高程有区别。消能效果最佳的平台高程并不在静水位处,而是在低于静水位处的位置。因为浮筏有空隙,在静水位处并不能使波能有效地集中,最后引起波浪的破碎。

3.6 挡浪面积

在波浪入射总波能相等的情况下,如果增加浮筏反射的波能,应该会使传递到堤后的波能有所减少。过达等^①曾就两个不同尺寸的箱式防波堤消浪效果做过比较,其结果是尺寸大的箱体堤前反射较强,波高明显较大, C_i 值较小。由此可见,如果增加浮筏的挡浪面积,应该会增加浮筏的堤前反射。试验中笔者通过在浮筏前部附加“前挂”(图 6 (b))来达到增加挡浪面积的目的。“前挂”由轮胎构成,将轮胎穿在木棍上,然后上下两层绑紧,再固定在筏上。通过调整重量,将“前挂”配重成水中的随遇平衡体而不至于改变浮筏的倾斜度。在 $T = 0.9\text{ s}$, $H_i =$

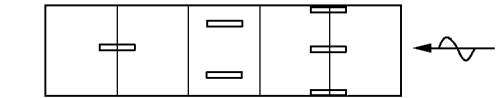


图 4 48 N 重物的另一种摆放位置
Fig.4 Another arrangement of 48 N weight

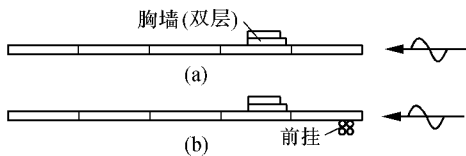


图 6 胸墙及前挂在浮筏上的摆放位置
Fig.6 Position of parapet and front-binding on FB

①过达,钟瑚穗.岱山县中心渔港浮式防波堤消浪效果及锚力试验报告.南京:河海大学海岸及海洋工程研究所,1994.

5.31 cm时,3种不同布置(单层胸墙(图5(b)),双层胸墙(图6(a)),双层胸墙加前挂(图6(b)))下 C_t 分别为0.405 0.373 0.327.

3.7 自振频率

由于浮筏前重后轻,尾部上下频繁摆动,有造波效应,应控制筏体运动.浮筏在水槽中的运动特点是上下摆动,类似于船体在静水中的垂荡(升沉)和纵摇运动,所以应用船舶运动理论对浮筏进行改进,主要目的是控制浮筏自身的运动.船的升沉运动的固有周期近似计算式为^[4]

$$T_Z \approx 2.8 \sqrt{V/S_W}$$

(2)

式中: S_W ——船的水线面面积; V ——船排开水的体积.

船舶升沉运动和纵摇运动的固有周期近似相等.如果能保持浮筏的水线面面积基本不变,增大浮筏排开水的体积,则浮筏在水槽中的升沉运动应该变慢.

应用式(2)对浮筏进行改进,在筏的尾部加一个后挂(图7),类似于前挂,也将后挂配重成水中的随遇平衡体,此时浮筏的水线面面积基本保持不变,但后挂增大了浮筏排开水的体积,自振频率变小.对改进后的浮筏进行试验,结果如表3所示.改进后的浮筏自生波浪明显减小.

4 结 语

笔者引进的浮式防波堤消波改进措施,在较不利入射波要素下,达到了良好的消波效果.影响浮式防波堤最终消波效果的因素是复杂的,本文仅从试验过程中总结出几个比较明显的影响因子.由于这些因子综合影响着浮式防波堤的消波效果,因此没有单独就某个因子对消波的影响进行试验研究.

参考文献:

[1] Nelson E, Christensen D, Schuldt A D. Floating breakwater prototype test program[A]. In: Weggel V R, eds. Proceedings of Coastal Structures '83[C]. New York: American Society of Civil Engineers, 1983. 433 ~ 445.

[2] Harms V W. Design criteria for floating tyre breakwaters[J]. J of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, 1979(2): 149 ~ 170.

[3] 岑企望. 斜坡式海堤平台对波浪爬高的影响[D]. 南京: 华东水利学院, 1964.

[4] 李积德. 船舶耐波性[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981. 30 ~ 46.

Factors influencing wave attenuation effectiveness of pipe-tyre floating breakwaters

WU Wei-deng¹, ZHONG Hu-sui¹, HUANG Jun²

(1. College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
2. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on experiments, an analysis is made of some factors influencing the wave attenuation effectiveness of pipe-tyre floating breakwaters (FB), and the structure of a floating breakwater is improved by change of its rigidity, slope, up-wave area, and natural frequency. The new structure effectively reflects and depletes the incident wave energy and decreases self-made waves. By the improvement, the minimum wave height transmission coefficient of the floating breakwater can reach 0.22 under unfavorable incident wave conditions.

Key words: floating breakwater; pipe-tyre structure; wave attenuation coefficient

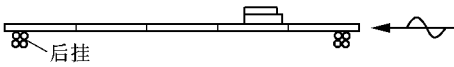


图7 浮筏胸墙及前、后挂

Fig.7 Parape and front and rear bindings of FB

表3 不同周振频率的 C_t

Table 3 C_t under different eigentones

周期/s	H_t /cm	C_t
0.90	5.31	0.260
0.95	5.31	0.288
1.00	5.31	0.338
0.90	6.03	0.243
0.95	6.03	0.283
1.00	6.03	0.330
0.90	6.28	0.220
0.95	6.28	0.256
1.00	6.28	0.300