



某斜坡堤工程消浪措施效果的试验分析

柳玉良, 张华昌, 夏运强, 杨锦凌
(海军工程设计研究院, 北京 100070)

摘要: 通过断面波浪物理模型试验, 实测了某游艇港斜坡式防波堤的越浪量及堤内侧波高数据, 分析防波堤顶高程的调整以及消浪肩台、护面块体坡顶宽度的变化对防波堤防浪效果的影响。试验研究结果为工程设计提供了科学的依据, 同时对类似建港工程也具有比较实用的借鉴意义。

关键词: 斜坡堤; 堤顶高程; 肩台; 护面块体; 消浪效果; 系泊条件; 越浪

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0079-05

Experimental analysis of wave-breaking measure for sloping breakwater

LIU Yu-liang, ZHANG Hua-chang, XIA Yun-qiang, YANG Jin-ling
(Navy Engineering Design and Research Institute, Beijing 100070, China)

Abstract: Based on the physical model test, we measure the wave-overtopping of a sloping breakwater and wave height at the inner side of the breakwater and analyze the adjustment of the top elevation and the effect of variation of the wave berm and armor block's top width on the wave-breaking effect of the breakwater. The research result provides a scientific basis for the engineering design and may serve as reference for similar port construction engineering as well.

Keywords: sloping breakwater; top elevation; berm; armor block; wave absorbing effect; mooring condition; wave overtopping

常见的斜坡堤是在块石堤心外面护以各种抗浪能力强、消浪效果好的混凝土人工块体。斜坡堤波浪反射弱, 附近海面较平稳, 波能易消散。港口的功能不同, 对防波堤防浪效果的要求也不同, 一般情况下防波堤允许不同程度的越浪。在实际工程中, 为了加强防波堤的消浪效果、减小堤顶越浪、改善港内的波浪条件、获得符合作业标准的港域平稳度, 在设计过程中进行调整优化是不可避免的。在确定了合理的防波堤平面布置之后, 结构上可供采取的措施主要有: 调整堤顶高程、在合适的位置设置消浪肩台、采用弧形胸墙等。主要调整堤顶高程及肩台宽度等, 使防波堤产生不同的消浪效果, 明确不同消浪措施的实际作用。

1 试验资料

某游艇港由于受周边条件限制, 以及从方便使用等方面考虑, 其确定的位置海域波况较为恶劣, 增加了防波堤防浪消浪的难度, 而游艇港对系泊条件的要求比较严格 (顺浪 $H_{1\%} \leq 1.1$ m、横浪 $H_{1\%} \leq 0.5$ m^[1], 建设方要求按 0.5 m 控制), 因此, 需要通过物模试验对结构设计方案进行验证。

试验断面共计 9 个, 分别采用不同的堤顶高程、肩台宽度及护面块体坡肩宽度。断面 1、2 外坡不设肩台, 护面块体与胸墙顶高程齐平 (图 1); 断面 3~7 设有不同宽度的消浪肩台 (图 2); 断面 8、9 外坡不设肩台, 胸墙为弧形结构 (图 3)。各断面主要特征参数见表 1, 试验所采用的波浪要素见表 2。

收稿日期: 2015-01-06

作者简介: 柳玉良 (1971—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事近海及海岸工程物模试验研究工作。

$$\beta_j = \frac{0.062\,38}{0.230 + 0.033\,6\gamma - 0.185\,(1.9 + \gamma)^{-1}} \cdot [1.094 - 0.019\,15\ln\gamma]$$

(2)

$$T_p = \frac{\bar{T}}{1 - 0.532\,(\gamma + 2.5)^{-0.569}}$$

(3)

其中: $H_{1/3}$ 为有效波高 (m); T_p 为谱峰周期 (s); γ 为谱峰升高因子, 取 3.3; 不规则波在波形稳定后, 采集连续作用的有效波数不少于 100 个, 数据采集时间间隔为 20 ms, 有效波高、有效周期的偏差为 $\pm 5\%$ 以内。

《波浪模型试验规程》^[3] 规定: 建筑物越浪量

试验宜采用不规则波。可采用称量质量法测出 1 个波列作用下的总越浪水量, 单宽平均越浪量按下式计算:

$$q = \frac{V}{bt}$$

(4)

式中: q 为单宽平均越浪量 [$\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$]; V 为 1 个波列作用下的总越浪水量 (m^3); b 为收集越浪量的接水宽度 (m); t 为 1 个波列作用的持续时间 (s)。

为观测堤内侧次生波高, 布置 4 个浪高仪测点 (图 4)。

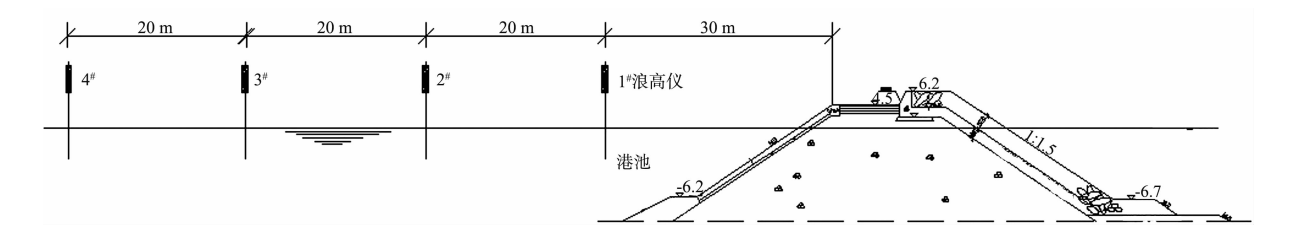


图 4 堤内侧波高测点布置 (尺寸为原型值)

2 试验结果

分别观测各断面的越浪量及堤内侧次生波高, 并分别计算 4 个测点浪高仪实测最大波高的平均值。试验结果见表 3。经试验, 防波堤断面 7 能够有效减小越浪, 港内系泊条件满足要求。

表 3 各影响因素下试验结果分析

断面 编号	越浪量/ $(\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$		堤内侧各点最大波高平均值/m	
	极端高水位	设计高水位	极端高水位	设计高水位
1	0.119	0.026 0	1.74	1.28
2	0.090	0.020 0	1.65	1.16
3	0.077	0.018 0	1.33	0.94
4	0.028	0.005 0	0.89	0.48
5	0.021	0.003 0	0.69	0.27
6	0.011	0.002 0	0.63	0.24
7	0.006	0	0.49	0
8	0.022	0.003 6	1.14	0.23
9	0.013	0.001 8	0.78	0.13

3 各消浪措施对越浪影响的分析

3.1 堤顶高程的影响

本试验研究中断面 1 和 2、断面 5 和 6 的区别均在于堤顶高程不同, 其它结构部位则相同 (表 1), 分别对比这两组断面的试验数据可以反

映堤顶高程变化对越浪的影响。

断面 1 和断面 2 为全斜坡结构, 分析表 3 的数据可知, 堤顶高程从 8.2 m 变化至 8.7 m, 极端高水位越浪量减少了 24.4%、港内由越浪产生的次生波高减小了 5.2%, 设计高水位越浪量减少了 23.1%、港内由越浪产生的次生波高减小了 9.4%;

断面 5 和断面 6 为带肩台结构的斜坡堤, 堤顶高程从 8.7 m 变化至 9.2 m, 极端高水位越浪量减少了 47.6%、港内由越浪产生的次生波高减小了 8.7%, 设计高水位越浪量减少了 33.3%、港内由越浪产生的次生波高减小了 11.1%。

不规则波列中有水体越过堤顶形成越浪量的波浪大小不一, 而试验中观测的港内次生波最大波高由波列中的最大波控制, 当堤顶高程提高, 而又不能做到完全不越浪时, 防波堤能够阻挡一部分原本产生越浪的较小波浪越过堤顶, 但还不足以阻挡大波由堤顶进入港内, 因此, 由试验数据可见, 越浪量明显减小, 但港内次生波减小幅度不大。游艇港的系泊条件标准较高, 且该工程有景观要求, 堤顶高程不宜过高, 调整范围有限, 试验证明, 仅通过提高堤顶高程这一措施来减小

港内波高效果并不理想。

3.2 肩台的影响

本试验研究的断面 2 和断面 3 区别仅在于外坡肩台, 堤顶高程及护面块体坡顶的宽度等均相同, 断面 2 不设肩台, 断面 3 设置了 7.3 m 宽的消浪肩台; 断面 4 和断面 5 均设有肩台, 但宽度不同, 分别为 7.3 m 和 11 m, 其它结构均相同。分析这两组断面的试验数据, 可直接反映肩台的设置与否以及宽度变化对消浪效果的影响。

《防波堤设计与施工规范》^[4] 4.1.6.3 条规定: 对为减少波浪爬高而设置肩台的斜坡堤, 肩台位置宜在设计高水位上、下 0.5 倍设计波高范围以内, 宽度宜为 0.5 ~ 2.0 倍设计波高。

《防波堤设计与施工规范》4.1.9 条还规定: 宽肩台斜坡堤的肩台顶高程, 可定在设计高水位以上 1.0 ~ 3.0 m 处, 肩台宽度宜取 2.3 ~ 2.9 倍设计波高值, 且不宜小于 6.0 m。

本试验的斜坡堤肩台在设计高水位以上 1.0 m 处, 宽度取 7.3 m 时, 为设计波高的 1.87 倍 (极端高水位) 和 1.95 倍 (设计高水位), 宽度取 11 m 时, 为设计波高的 2.82 倍和 2.94 倍。对比以上相关规定可见, 该工程肩台高程较适宜, 当宽度取 7.3 m 时为一般肩台, 而取 11 m 时则为宽肩台。

分析表 3 数据可知, 断面 3 增加了 7.3 m 的肩台后, 防波堤的消浪效果明显好于断面 2, 极端高水位越浪量减少了 14.4%、堤内侧波高减小了 19.4%, 设计高水位越浪量减少了 10%、堤内侧波高减小了 19%, 但由于肩台宽度偏小, 越浪产生的堤内侧波高仍较大 (1.33、0.94 m); 而断面 5 的宽肩台消浪效果较好, 与断面 4 相比, 极端高水位越浪量减少了 25%、堤内侧波高减小了 22.5%, 设计高水位越浪量减少了 40%、堤内侧波高减小了 43.8%, 港内次生波高 (0.69、0.27 m) 已接近或满足使用要求, 设计高水位改善效果尤为显著。由此可见, 该斜坡堤外坡设置宽肩台较合理, 其防浪效果较好。

3.3 护面块体坡肩宽度的影响

防波堤护面块体坡肩宽度的变化对入射波浪

遇防波堤破碎后能量的消散有较大影响。《防波堤设计与施工规范》4.1.8.2 条规定: 当胸墙前护面为随机安放的人工块体 (扭工字块体、扭王字块体等) 时, 墙前坡肩范围内至少应能安放 2 排人工块体。

本试验断面 3 刚好符合规范构造上的要求, 墙前设计 2 排扭王字块体, 坡顶宽 3.85 m, 断面 4 墙前则为 4 排块体, 宽 7.3 m, 两断面其它结构均相同; 断面 5 和断面 7 的区别也只在于护面块体坡肩的宽度, 分别为 7.3 m 和 9.6 m (5 排块体)。这两组断面的试验数据可以反映块体坡肩宽度的变化对越浪的影响。

分析表 3 数据可知, 断面 4 坡顶块体由 3.85 m 增加至 7.3 m 后, 与断面 3 相比, 极端高水位越浪量减少了 63.6%、堤内侧波高减小了 33.1%, 设计高水位越浪量减少了 72.2%、堤内侧波高减小了 48.9%; 断面 7 坡肩块体增加至 9.6 m 后, 与断面 5 相比, 虽然仅增加了 1 排块体, 但消浪效果非常显著, 极端高水位越浪量减少了 71.4%、堤内侧波高减小了 29%, 设计高水位已不发生越浪现象。

3.4 弧形胸墙的影响

通常, 弧形胸墙具有明显减小防波堤越浪的作用, 但这种作用的大小随着弧形曲率半径、水位、波浪等因素的不同而不同。本试验断面 8、9 采用的弧形结构胸墙, 经验证, 在极端高水位波浪条件下, 对减小越浪产生的港内次生波作用较小, 设计高水位下作用较明显。分析表 3 数据, 断面 8 与断面 5 实测越浪量接近, 断面 9 与断面 6 越浪量接近, 但弧形胸墙断面极端高水位下的堤内次生波高明显大于带肩台断面 ($1.14 > 0.69$, $0.78 > 0.63$) 原因是胸墙的弧形半径相对于波高偏小, 导致向港外反浪作用不能充分发挥, 反而易引起墙前反射波与入射波叠加使波高增大, 堤顶溅浪较高 (图 5), 亦使港内波高偏大。由此可见, 本试验中弧形胸墙的设置不能够有效减小越浪, 却使堤顶高程增加较多, 影响港池的使用效果。

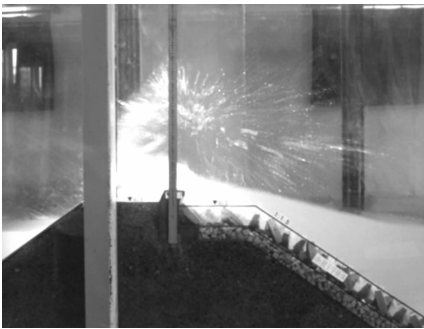


图 5 弧形胸墙引起较高溅浪

3.5 各措施消浪效果比较

分析试验数据可见, 以上几种消浪措施均能不同程度地减少防波堤越浪。但对该工程而言, 通过提高堤顶高程以及增加胸墙的弧形结构, 试图阻挡入射波越过防波堤, 效果不够理想, 在可接受范围内调整高程并不能使港内次生波高满足系泊条件的要求; 而设置肩台消浪, 使波能消散在坡面上, 从而减小越浪, 效果明显好于增加堤顶高程; 试验数据还证明, 增加胸墙前护面块体坡肩的宽度比增加下部肩台宽度, 堤顶越浪及港内波高减小的幅度大得多。总之, 利用护面块体消散波能来减小越浪比采用胸墙阻挡波浪越顶效果要好, 港内系泊条件更容易满足要求。

4 结语

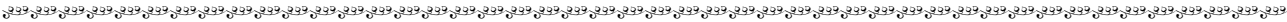
通过对游艇港防波堤工程进行一系列断面物模试验的数据采集及分析, 基本掌握了该工程可能采取的工程措施消浪效果的差异, 因此, 鉴于该工程所处位置及波浪条件特点, 为使港内系泊条件满足要求, 不建议采用较高堤顶高程的单斜坡断面以及设有弧形胸墙的断面结构, 而推荐采用带有肩台的断面 6 或 7 的结构形式进行三维港域泊稳试验, 通过三维试验, 最终确定满足使用要求的结构设计方案。

在港口工程中, 波浪物模试验是进行设计方案优化、比选有效的手段和途径, 可以解决一些难以通过计算来解决的问题, 试验研究结果还可为类似工程提供参考和借鉴。

参考文献:

[1] JTS 165-7—2014 游艇码头设计规范[S].
[2] 俞聿修. 随机波浪及其工程应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002.
[3] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].
[4] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

三亚凤凰岛国际邮轮港二期码头迎来首航

8 月 8 日, 天航局承建的三亚凤凰岛国际邮轮港二期邮轮码头新建成的 3 号泊位迎来了全球十大邮轮之一、亚洲最大的豪华邮轮“海洋航行者号”。这是凤凰岛国际邮轮港二期码头建成后迎来的第一艘大型豪华邮轮。

二期邮轮码头 3 号泊位全长 347 m, 于 2015 年 2 月 1 日开工, 7 月 15 日顺利完工。天航局克服工期紧、预制场地狭窄、材料运输受限、台风多发等不利因素影响, 科学组织施工, 昼夜奋战, 确保 3 号泊位提前完工并具备了大型邮轮停靠条件。

三亚凤凰岛国际邮轮港二期工程是海南省重点工程项目, 总投资约 300 亿元, 于 2014 年 4 月 10 日开工, 同时再建 1 座约 47.4 万 m² 的人工岛。新建二期工程规划建设 4 个泊位, 可停靠世界上最大的邮轮。工程全部完工后, 对促进海南省旅游经济发展、带动南海资源综合开发及推动“一带一路”建设具有重要战略意义。

(摘编自《中国交通建设网》)