



潜堤掩护水域波浪计算方法

林登荣¹, 陈卫辉²

(1. 温州市瓯飞开发建设管理委员会, 浙江 温州 325000; 2. 温州龙达围垦开发建设有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要: 采用波浪断面物理模型试验和数学模型耦合的方法, 研究了抛石潜堤后方掩护水域的波浪计算方法。潜堤后方掩护水域波高由潜堤越浪后的再生波、潜堤间门口绕射波和小风区浪组成, 其主要影响因素有潜堤结构形式、入射波浪要素、风区长度等。采用耦合模型, 根据物理模型试验的结果, 验证数模计算成果, 考虑了越浪波高传递的沿程衰减, 波浪相互作用时的能量损耗等因素, 通过调整波浪破碎指标和波浪能量耗散参数, 直接计算堤前设计波浪要素, 计算结果更符合实际, 为工程设计提供科学依据。

关键词: 潜堤; 波浪; 耦合法

中图分类号: TV 139 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)12-0032-04

Wave calculation method for water area sheltered by submerged dike

LIN Deng-rong¹, CHEN Wei-hui²

(1. Reclamation Management Committee of Oufei, Wenzhou 325000, China;
2. Ronda Reclamation Development Co., Ltd., Wenzhou 325000, China)

Abstract: Adopting wave sectional physical model test and numeral model test coupling, we study the wave calculation method for the water area sheltered by the riprap submerged dike. The wave height of the water area sheltered by the submerged dike consists of the regeneration wave, diffracted wave from the entrance between submerged dikes and the wind wave of small fetch. The main factors are the structure of dike, wave feature and the length of the fetch. The calculation results of the numeral model are verified using the coupling model and according to the results of physical model test. Considering the overtopping wave height along the transmission attenuation, the energy consumption during the interaction of wave and structure, etc., we calculate directly the design wave in front of the dike by adjusting the wave breaking index and parameters of wave energy dissipation. The results of the study are more realistic and thus provide a scientific basis for the engineering design.

Keywords: submerged dike; wave; coupling method

潜堤被广泛应用于港口、海岸防护和围垦工程。它的主要作用是防浪、挡沙、促淤及导流等。潜堤的形式较多, 有斜坡型、矩型、梯型和薄壁型等, 其中抛石斜坡型为常用结构。目前国内外对潜堤消浪效果的研究成果较多, 1951 年福奇士以线性波理论的基础进行推导, 来计算波浪越过潜堤的传递波高, 《日本港口设施技术标准》引用 Goda 的研究成果^[1], 对计算越过混合式防波堤和

透越堆石堤在港内出现的波高透射系数给出了计算图表, 杨正己^[2]通过物理模型试验得出潜堤透射系数的经验公式。早年研究成果大多为规则波, 20 世纪 80 年代后, 国内外学者相继开展不规则波研究, Van der Meer 通过模型试验, 得出在不同淹没深度区间内透射系数的计算公式^[3], 邹红霞采用物理模型试验^[4], 考虑堤水深、堤顶宽度等影响因素, 分别给出了淹没堤和出水堤堤后波高计

收稿日期: 2015-05-28
作者简介: 林登荣 (1971—), 男, 高级工程师, 从事水利工程建设管理。

算方法。实际工程中大多采用多口门离岸潜堤, 潜堤掩护水域除越浪产生的波浪外, 还有口门的绕射波、小风区浪等。目前, 大多采用波浪数学模型计算和整体物理模型试验确定堤后波高分布。本文采用物理模型和数学模型耦合的方法, 克服了各自的缺点, 有效提高了堤后波高计算精度, 为工程设计提供参考。

1 工程概况

温州市龙湾二期围涂工程位于浙南瓯江口南侧的东海岸。外侧约 3 km 处为瓯飞一期围垦工程海堤, 瓯飞一期海堤的堤轴线与龙湾二期堤轴线基本平行, 故对于外海偏东向波浪的传播路径, 首先要经过瓯飞一期东堤, 然后才能传至龙湾二期东堤 (图 1)。瓯飞一期东堤长 28.8 km, 施工期设置 4 个龙口, 龙口宽度分别为 1 000、900、1 600、600 m, 龙口底坎高程均为 -1.0 m。按照

施工节点计划, 瓯飞一期东堤施工高程分别为: 2015 年 7 月至 1.0 m (黄海高程, 下同), 2015 年 12 月至 4.0 m, 2016 年 7 月至 5.0 m, 2016 年 12 月至 6.0 m, 2017 年 7 月瓯飞一期东堤龙口合龙, 2017 年 12 月至 7.5 m, 最终完建主堤达到 8.8 m 高程, 设计断面见图 2。

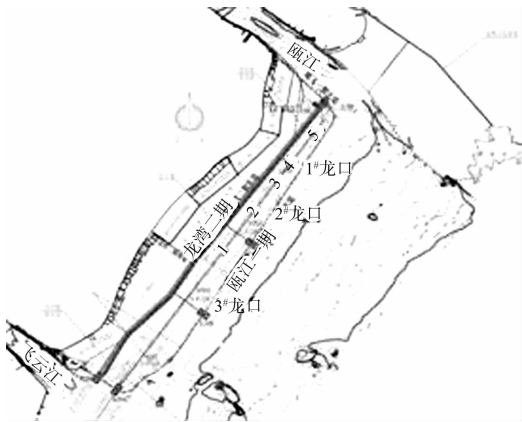


图 1 工程位置

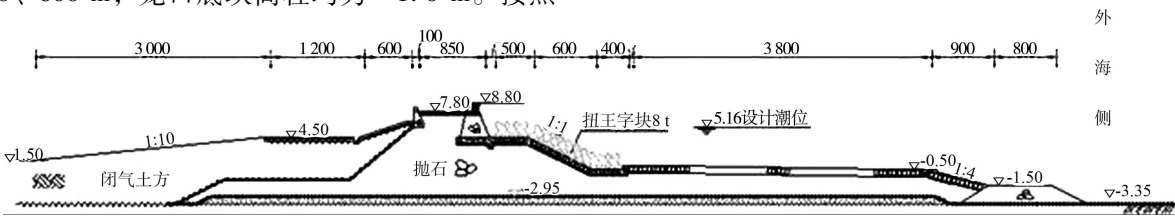


图 2 瓯飞一期围垦工程海堤断面 (高程: m, 尺寸: mm)

随着瓯飞一期围垦工程的建设, 在龙湾二期外围形成了一条潜堤, 并且随着工程的推进, 堤顶的高程将逐渐增加, 龙湾二期海堤的设计波浪要素将逐步减小。龙湾二期目前已基本完建, 挡浪墙顶高程设计高程为 6.2 m, 按照预留沉降施工, 目前高程为 6.8 m, 在不考虑外围瓯飞一期围垦工程建设的条件下, 龙湾二期海堤一阶段度汛断面能达到 10 a 一遇结构强度设计标准, 20 a 一遇超标准工况不发生严重破坏和溃堤情况的要求。如按二线海堤仍需满足 50 a 一遇设计标准, 龙湾二期围涂工程海堤需加高加固, 必将造成巨额投资的浪费, 因此, 如何确定龙湾二期海堤的设计波浪要素是本次研究的重点。

2 研究方法

本工程采用离岸潜堤, 设置 4 个龙口, 潜堤掩护水域除越浪产生的波浪外, 尚需考虑口门的

绕射波、小风区浪等。目前, 大多采用波浪数学模型计算和波浪整体物理模型试验确定堤后波高分布。数学模型中考虑了波浪的折射、反射、绕射、局部风能输入、浅水变形、底摩阻损耗、白浪损耗、水深引起的波浪破碎、波-波非线性作用等因素对波浪传播过程的影响, 但不能考虑堤顶越浪产生的波高影响。波浪整体物理模型可以同时考虑口门波浪绕射和堤顶越浪影响, 但不能考虑小风区浪影响, 且试验周期较长、费用较高。对于同时存在口门绕射波浪、堤顶越浪波浪和小风区波浪的情况, 通常采用各自波高的能量合成, 精度相对较差。本文采用波浪断面物理模型试验和数学模型耦合的方法, 从而克服了各自的缺点, 有效提高了堤后波高计算精度。本次研究方法为:

- 1) 在无瓯飞一期工程掩护条件下, 基于近岸波浪传播模型, 计算确定龙湾二期海堤设计波浪要素;

2) 设计瓯飞一期工程施工期断面波浪物理模型, 确定不同堤顶高程时, 堤顶越浪引起的堤后波高;

3) 不考虑堤顶越浪, 模拟小风区风成浪;

4) 在不考虑越浪及小风区浪的条件下, 模拟龙口绕射波的传播过程;

5) 建立工程区域波浪传播数学模型, 采用断面物理模型试验结果进行验证, 模拟波浪越过堤坝和小风区波浪的综合传播过程;

6) 合成法: 根据《海港水文规范》, 将 2)、3) 和 4) 中结果进行能量叠加, 计算确定龙湾二期海堤设计波浪要素;

7) 耦合法: 在 4)、5) 验证的基础上, 采用波浪数学模型, 选取合理参数直接模拟围区内的波浪分布。

波浪断面物理模型试验在河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室河口航道实验厅波浪水槽内进行, 水槽长 90 m、宽 1.0 m、高 1.8 m, 有效试验段宽 0.5 m。有效试验段用以铺设断面, 另外部分用以减少二次反射。水槽一端铺设消浪缓坡, 以减少波浪的反射; 水槽另一端安装有二次反射吸收装置的不规则波造波机, 通过电机系统控制推波板运动行程和频率, 可产生试验所需要的规则波或不规则波。不规则波的谱型选用 JONSWAP 谱。每个波系列波数为 120 ~ 150 个, 每组试验重复 3 次。试验断面见图 3。波高数据采用电容式波高仪测量, 堤两侧布置了 10 个波高仪, 仪器的灵敏度及稳定性均满足要求。所有量测信号均通过计算机采集、记录, 采样时间间隔为 0.05 s。数学模型采用 MIKE 21 之 SW 模块。该模型考虑了波浪的折射、反射、绕射、浅水变形、风能输入、底摩阻损耗、白浪损耗、水深引起的波浪破碎、波-波非线性作用等因素对波浪传播过程的影响。

3 成果分析

3.1 潜堤越浪后波高

试验结果见表 1, 结果表明在外海 50 a 一遇

波浪作用下, 波浪基本破碎在堤前镇压层上方, 堤后波高主要由破波水流越过堤顶形成, 随着堤顶高程的增加, 堤后波高逐步减小, 堤后波周期约为入射波周期一半。

表 1 潜堤越浪后堤后波高、平均周期

堤顶高程/m	H_s/m	T/s
1	1.84	6.38
2	1.71	6.28
3	1.55	6.20
4	1.29	6.15
5	0.94	6.45
6	0.86	6.79
7	0.67	7.88

注: 潮位 5.16 m, 入射波要素为 $H_s=2.06\text{ m}$, $T=14.8\text{ s}$ 。

3.2 潜堤越浪后波高数模验证

数学模型采用 MIKE 21 之 SW 模块, 通过调整波浪破碎指标和波浪能量耗散参数, 能较好模拟潜堤前后的波高分布, 计算结果如表 2、图 3。

表 2 潜堤越浪后波高验证结果

测量位置	堤顶高程/m					
	3		4		5	
	物模	数模	物模	数模	物模	数模
堤前	4.34	4.31	4.34	4.31	4.34	4.30
堤后 100 m	1.56	1.56	1.31	1.34	1.00	0.94
堤后 150 m	1.60	1.55	1.32	1.31	0.98	0.97
堤后 200 m	1.44	1.56	1.20	1.33	0.87	0.98
堤后 250 m	1.61	1.55	1.31	1.32	0.92	0.96

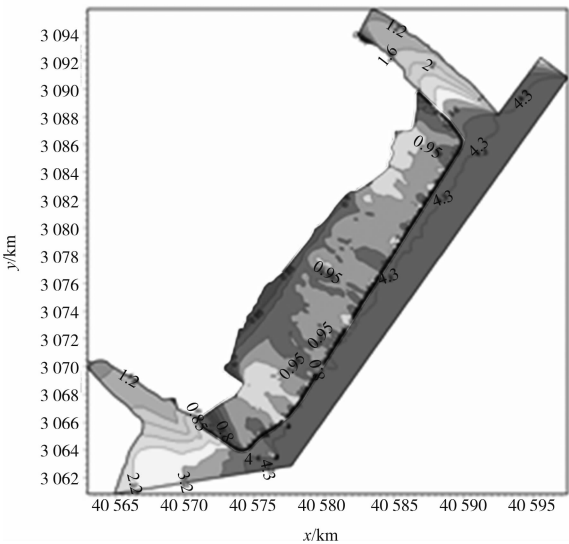


图 3 堤顶高程 5 m 时数模验证结果 (单位: m)

3.3 设计波浪要素比较

合成法是根据波浪断面物理模型和数学模型试验分别计算确定堤顶越浪、小风区浪和龙口绕射波高,按《海港水文规范》进行能量叠加, $H^2=H_1^2+H_2^2+H_3^2$ 。耦合法是在波浪断面试验结果验证的基础上,采用波浪数学模型,选取合理的波浪破碎指标和波浪能量耗散参数,直接模拟围区内的波浪分布。龙湾二期围涂工程如不考虑瓯飞一期围涂工程建设,按 50 a 一遇设计标准,波浪相对较大。不同工况下设计波浪要素见表 3、图 4。

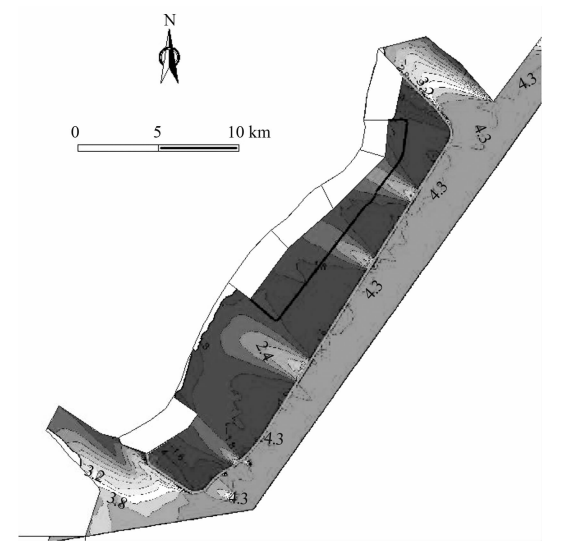


图 4 堤顶高程 5 m 时耦合法波高等值线 (单位: m)

计算结果表明,瓯飞一期围涂工程建设对龙湾二期围涂工程有良好掩护,堤前设计波浪要素明显减小,在考虑瓯飞一期工程的情况下,合成法波高比耦合法波高平均偏大 12%,正对龙口位置的偏大 20%,由于耦合法考虑了越浪波高传递至龙湾二期堤前的沿程衰减、波浪相互作用时的能量损耗等因素,堤前设计波浪要素更符合实际,可作为海堤设计的依据。

根据耦合法确定的设计波浪要素,进行了龙湾二期现有工程断面波浪物理模型试验,越浪量结果见表 4。按瓯飞一期工程施工节点计划,2015 年 12 月,瓯飞一期主堤施工至 4.0 m 高程,外海 50 a 一遇波浪传至龙湾二期东堤前,有效波高分别为 2.15 m,断面结构均稳定,只有堤后方闭气土被越浪水体冲刷,并未造成堤身结构性的损坏,但越浪量大于 0.15 m³/(m·s),考虑到龙湾二期围涂陆域还未形成,短期内不会开发利用,因此,该越浪量可以承受,龙湾二期海堤基本满足 50 a 一遇的设计要求;2016 年 7 月,瓯飞一期主堤施工至 5.0 m 高程,龙湾二期海堤能满足 50 a 一遇的设计要求。综合考虑工程安全、投资和瓯飞一期的建设进度,龙湾二期可以不采取加高加固措施。

表 3 瓯飞一期不同堤顶高程时龙湾二期各特征点有效波高 m

特征点	无瓯飞一期 波高	堤顶高程					
		3		4		5	
		合成法	耦合法	合成法	耦合法	合成法	耦合法
1	3.64*	2.47	2.34	2.19	2.05	1.91	1.77
2	3.82*	3.00	2.53	2.75	2.38	2.56	2.21
3	3.64*	2.74	2.45	2.45	2.22	2.20	1.94
4	3.58*	3.11	2.54	2.85	2.44	2.68	2.28
5	3.70*	2.49	2.32	2.19	1.99	1.80	1.71

表 4 龙湾二期东堤越浪量

入射波高 H_s/m	周期 T/s	越浪量/(m ³ ·m ⁻¹ ·s ⁻¹)		
		挡浪墙 6.2 m	挡浪墙 6.5 m	挡浪墙 6.8 m
0.90	7.0	0.027 2	0.014 7	0.007 1
1.10	7.0	0.054 5	0.033 0	0.014 3
1.29	7.0	0.077 4	0.048 5	0.025 9
1.55	7.0	0.123 8	0.077 4	0.047 8
1.71	7.0	0.144 8	0.085 2	0.060 8
1.84	7.0	0.158 6	0.103 9	0.070 0

4 结论

- 1) 瓯飞一期围涂工程建设对龙湾二期围涂工程有良好掩护,随着瓯飞一期工程建设,堤顶高程不断提高,堤后波浪逐步减小。
- 2) 采用堤顶越浪、小风区浪和龙口绕射波高的能量合成,波高相对较大,偏于安全。