



港口工程混凝土结构界面糙率试验模拟

夏运强, 张华昌, 柳玉良, 李玉龙

(海军工程设计研究院, 北京 100070)

摘要: 通过两个典型案例, 对港口工程中影响混凝土结构抗滑稳定性的界面糙率模拟问题进行讨论, 阐述波浪模型试验中对结构物界面糙率进行准确模拟的必要性, 并提供了对预制和现浇混凝土结构底部糙率的试验室模拟技术, 为相关工程设计和模型试验提供参考。

关键词: 港口工程; 模型试验; 糙率模拟; 抗滑稳定; 摩擦系数

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0045-04

Interface roughness simulation of concrete constructions in harbor engineering

XIA Yun-qiang, ZHANG Hua-chang, LIU Yu-Liang, LI Yu-long

(Navy Institute of Engineering Design & Research, Beijing 100070, China)

Abstract: Based on two typical cases, this paper discusses the interface roughness of concrete construction in harbor engineering which plays an important role in the stability of sliding resistance, expounds the necessity of accurate simulation of the interface roughness, and provides the practical simulation techniques, which may serve as reference for the engineering design and model test concerned.

Key words: harbor engineering; model test; roughness simulation; stability of sliding resistance; friction coefficient

现浇混凝土结构是港口工程防波堤设计中常用的结构形式, 大多数斜坡式防波堤胸墙、部分斜坡堤的肩台(戗台)或护面采用现浇混凝土结构。这些现浇混凝土结构必须满足波浪作用下的抗滑稳定要求, 规范^[1]规定了抗滑稳定的验算方法, 并将“防波堤结构应进行波浪模型试验验证”作为强制性条文执行。

设计方案的模型试验验证通常采用断面模型试验手段, 现行《波浪模型试验规范》^[2]对胸墙等结构的稳定性试验仅提出满足几何相似、质量和重心位置相似, 并提出应测量胸墙底和堤顶间摩擦系数, 并未对结构底部界面糙率模拟提出具体要求和办法。事实上, 结构物底部界面糙率是影

响其抗滑稳定性的重要因素, 模型试验应该对其进行准确模拟, 以保证试验结果的可靠性。

本文通过2个典型模型试验案例, 重点对现浇混凝土结构界面糙率对抗滑稳定的影响和糙率的模拟方法进行了研究探讨, 可为相关的工程设计和模型试验作参考。

1 糙率模拟的必要性和方法

根据规范^[1], 胸墙的抗滑稳定按照承载能力极限状态设计, 其验算公式见式(1)。

$$\gamma_0 \gamma_P P \leq (\gamma_G G - \gamma_U P_U) f + \gamma_E E_b \quad (1)$$

式中: γ_0 为结构重要性系数; P , G , P_U , E_b 分别为水平波浪力、自重、波浪浮托力、土压力标准

收稿日期: 2012-12-28

作者简介: 夏运强(1971—), 男, 博士, 高级工程师, 注册土木工程师(港航), 主要从事港口、海岸及近海工程设计、试验和研究工作。

值; γ_P , γ_G , γ_U , γ_E 分别为上述各力分项系数; f 为胸墙底面摩擦系数设计值。

规范表4.2.3-3给出了不同基础条件下的 f 值: 对于胸墙为预制混凝土或钢筋混凝土结构, f 取0.60; 对于胸墙采用浆砌块石结构, f 取0.65, 但规范未对现浇混凝土结构作明确规定。在实际工程设计中, 对现浇结构, 设计单位往往根据经验取大于0.65的值, 例如采用灌浆石现浇胸墙时, f 值取0.80。摩擦系数 f 与接触面的糙度关系密切, 很明显, 底面糙度大的现浇结构比糙度小的预制结构更有利于抗滑稳定。设计中充分利用这一点, 可以避免采用增大尺寸和自重等不经济的方式以达到结构抗滑稳定要求。

在波浪断面模型试验中, 通常情况下, 若采用预制结构胸墙结论是稳定的, 则可推断采用现浇结构抗滑稳定将会有更大的安全度; 但若预制结构出现失稳, 采用现浇结构有可能满足抗滑稳定要求。因此, 试验中需要按照设计方案进行模拟, 反映设计人员的实际意图。

预制混凝土结构与基础的接触面通常为光滑的平面, 试验模拟时对模型接触面进行光滑处理即可, 但对于现浇混凝土结构, 实验室中无法采用现浇手段模拟, 只能对预制模型进行特殊处理来进行界面糙率相似性模拟。为了实现现浇混凝土要求的底面糙率模拟, 这里推荐采用2种方法: 第1种方法是在模具底部用较厚的泡沫板作模板, 在模板上插入一层模型堤心石, 然后浇筑模型, 或将模具倒置, 浇入砂浆, 在砂浆初凝前, 在接触面上插入一层模型堤心石; 第2种方法: 将模具直接置于整平密实的模型堤心石基础上浇筑模型。其中第1种方法可以通过调整插入堤心石的数量和级配来进一步控制糙率。第1种方法适用于较小摩擦系数设计要求, 第2种方法适用于较大摩擦系数设计要求。经试验测试证实: 光滑平底模型摩擦系数在0.55~0.60, 第1种糙率模拟方法摩擦系数在0.65~0.70, 第2种糙率模拟方法摩擦系数在0.80左右。试验中, 可根据设计要求采用不同的模拟方法。

现有研究^[3-5]表明, 界面摩擦系数与接触面糙

度、接触面垂直平均应力、基床表层密实度均有关系。因此, 模拟过程中, 需要满足结构物的重量相似, 并应将加糙堤心石的重量计入结构物的重量; 另外, 断面模型制作时, 结构物下层的堤心石基础要按现场情况进行密实模拟处理, 并尽量满足级配要求。

试验中界面摩擦系数测试方法: 将胸墙等混凝土模型水平置于密实的模型堤心石上, 施加水平荷载, 记录胸墙有明显位移时的最大拉力荷载, 该荷载与胸墙自重的比值即为摩擦系数值。每次试验都需重新平整密实堤心石, 一般重复试验5~8次, 取其平均值作为测试结果。

2 模型试验案例

2.1 胸墙稳定模型试验案例

某防波堤工程设计断面如图1, 采用灌浆石和现浇混凝土组合胸墙。模型试验目的是验证设计断面的结构稳定性, 模型长度比尺采用1:26, 断面模型见图2。

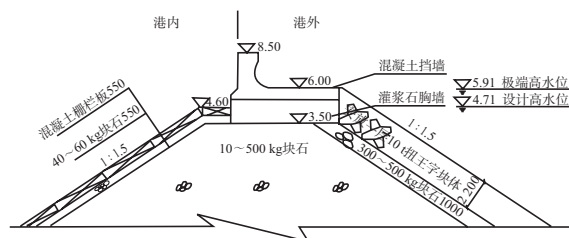


图1 案例1防波堤设计断面(局部)

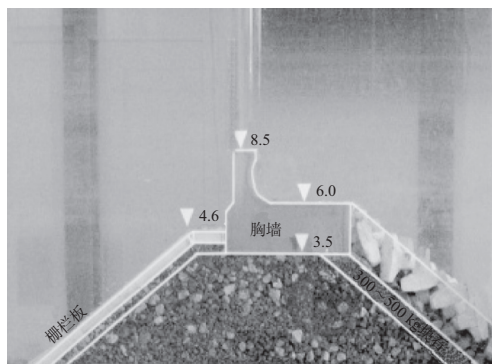


图2 案例1防波堤断面模型(局部)

对胸墙底面糙率对其稳定的影响进行对比试验: 首先, 采用底面光滑的胸墙模型模拟预制胸墙。试验前, 测量胸墙与堤心石之间的静摩擦系数 f , 6次测量数据分别为0.57, 0.58, 0.58,

0.59, 0.60, 0.58, 其平均值为0.58(样本标准差为0.01), 略小于规范值0.60。正式试验时, 在设计波浪作用下, 胸墙出现了滑动失稳, 累积位移原型值达到0.3 m。

重新制作胸墙模型, 底面采用前述第2种加糙方法进行处理(图3), 经测试, 加糙后胸墙与堤心石之间的摩擦系数 f 达0.78, 接近设计单位要求的0.8, 经波浪试验验证胸墙未出现滑动失稳现象。

案例充分说明, 只有对结构物的底部界面糙率进行正确模拟, 才能得到科学合理的试验结论, 从而对设计方案进行正确的评价。



图3 模型胸墙底部加糙处理

2.2 护肩体稳定模型试验案例

某防波堤按允许越浪的斜坡堤设计, 设计断面如图4, 胸墙和异型内坡护肩体均采用现浇结构, 内坡护面采用6 t四脚空心方块。断面波浪试验目的是验证设计断面外坡护面块体、胸墙、内坡护肩体、内坡护面块体等结构稳定。模型长度比尺取1:32, 模型见图5。

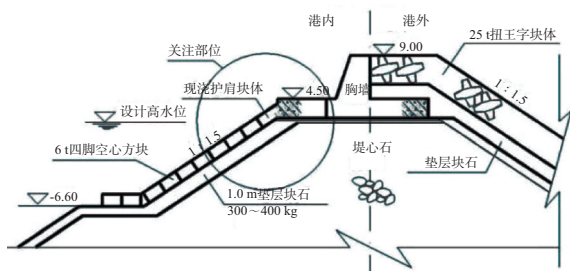


图4 案例2防波堤设计断面(局部)

从试验现象看, 在设计水位下和设计波浪条件下, 防波堤顶部发生明显的越浪现象, 越顶水体对

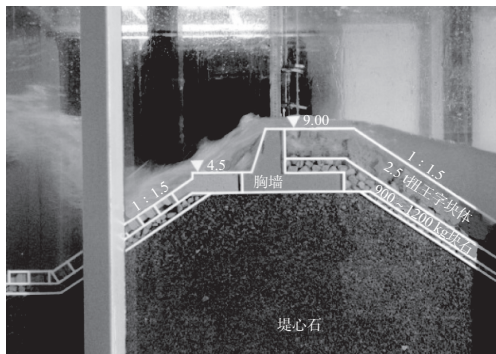
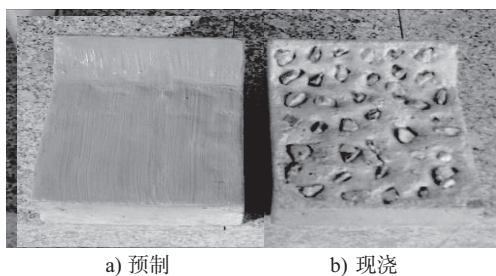


图5 案例2防波堤断面模型(局部)

内坡护肩及护面块体产生较强的冲击力(图5), 是影响防波堤内坡稳定的主要外力因素。试验中, 胸墙底部对第1种方法进行了加糙处理。试验表明胸墙未出现滑动失稳现象, 但内坡护肩体以及其下方的6t四脚空心方块却因为内坡护肩体的底部糙率影响出现了稳定和失稳的判别问题。

首先, 内坡护肩体未作加糙处理, 见图6a), 经设计波浪作用, 护肩块体与胸墙间出现较小的缝隙(原型值小于0.1 m), 斜坡堤内坡四脚空心方块未出现失稳。接着, 将护肩块体对第1种方式进行了底部加糙处理, 见图6b), 进行对比试验, 试验中, 先是护肩体和顶层四角空心方块间出现较大的缝隙, 随后水位附近6 t四脚空心方块出现失稳现象(图7), 将内坡四角空心方块增大



a) 预制 b) 现浇

图6 护肩体底部糙率模拟

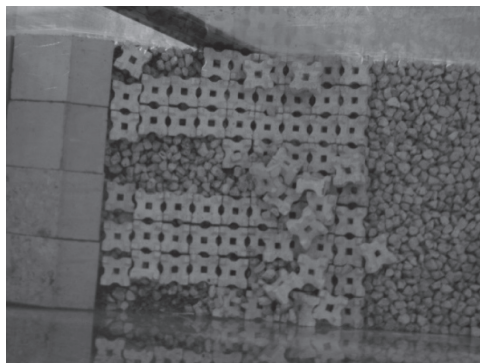


图7 内坡6 t四脚空心方块失稳

到10 t,才达到稳定状态。分析原因,四脚空心方块的稳定主要是靠其本身重量外,还与块体间的挤靠力(嵌固力)有密切关系,未进行加糙处理的异型护肩块在越浪的冲击下发生一定量的位移,挤紧了其下方的四脚空心方块,未出现四脚空心方块失稳现象;加糙处理后,异型护肩体抗滑稳定性增强,基本无位移,但其下方的四脚空心方块在越浪冲击下出现下滑,上层四脚空心方块失去了护肩体的挤靠力,个别四脚空心方块失稳,连锁反应造成相邻块体失稳。从这个案例可以看出:1)结构物底部的糙率模拟对试验结论有很大的影响;2)对于本工程,从满足内坡护面块体稳定要求的角度说,异型护肩体采用预制结构要优于现浇结构。

3 结语

港口工程中,位于散粒体基础(堤心石等)上的现浇混凝土结构的界面糙率是影响结构抗滑稳定性的重要因素,模型试验中应对其进行正确的模拟,以便客观真实地对设计断面的稳定性进

行评价。

模型试验中,胸墙等模型体制作采用泡沫板嵌入堤心石作底模板或模型倒置插入堤心石方法以及直接在模型堤心石基础上浇筑模型方法能较理想地模拟出代表不同摩擦系数的接触面糙率情况。

现行《波浪模型试验规程》^[2]未明确规定混凝土结构的界面糙率相似性模拟要求,建议在规范修订中予以明确说明。

参考文献:

- [1] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [2] JTJ/T 234—2001 波浪模型试验规程[S].
- [3] 贾德庆. 马尔他直立式沉箱防波堤摩擦系数的模拟试验[J]. 水运工程, 1981(8):1-4.
- [4] 张文仲. 抛石基床面与预制混凝土块体间摩擦系数取值问题[J]. 水运工程, 1986(8): 49-53.
- [5] 天津大学摩擦系数研究课题组. 混凝土预制块体与块石基床间摩擦系数的现场试验研究[J]. 港口工程, 1993(6): 37-40.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

四航局成功研制国内首台海洋环境与动荷载耦合试验设备

4月15日,四航局成功研制国内首台海洋环境与动荷载耦合试验设备,并拥有了该产品的自主知识产权。

该设备包括动载加载装置与海洋环境试验箱两部分。其中,动载加载装置为50 t 疲劳试验机,可提供多种频率与加载方式的动荷载;海洋环境试验箱可提供盐水浸泡、盐水涨落及盐雾喷洒环境,模拟海洋水下区、水位变动区及浪溅区等海洋环境特点。整个设备真实模拟了海工建筑物在荷载与环境耦合作用下的工作环境,首次实现了动载与海洋环境耦合加载,填补了工程实际中环境与荷载耦合作用下混凝土耐久性研究领域的技术空白。

该设备同时也为四航局参与的交通运输部“十一五”重大专项课题“环境与荷载耦合作用下海工混凝土结构耐久性及可靠度设计方法研究”的顺利开展提供了技术保障。

摘编自《中国交通建设网》