

开孔式空箱结构海堤试验

王晓波¹ 胡金春¹ 王志平²

(1.浙江省水利河口研究院,浙江 杭州 310020;2.浙江广川工程咨询有限公司,浙江 杭州 310020)

摘要 在江南海涂围垦工程海堤波浪模型试验中,采用不同的开孔形式,分析开孔式空箱的消浪效果和稳定性,试验证明开孔式空箱的消浪效果是明显的。针对空箱结构海堤失稳后危险程度相对较高的特点,提出合理设置空箱开孔形式和前后趾脚的宽度、在空箱内布置一定厚度的压重块石、空箱后侧设置足够高度的土石支撑以及空箱与桩基础结合等提高空箱稳定性的改进措施。

关键词 开孔式空箱;空箱结构;海堤;反射波高;消浪;越浪量;堤顶高程

中图分类号:TV139.2⁺5 文献标识码:B 文章编号:1006-764X(2008)S1-0093-03

1 开孔式空箱结构海堤基本结构形式

开孔式空箱在港口工程中的直立式码头和防波堤已有应用,近年来随着浙江省围垦工程向低滩发展,在海堤设计中逐步引入开孔式空箱结构作为消浪结构。开孔式空箱的海堤结构基本形式见图 1,一般在迎潮面设置开孔式空箱,使一部分波浪通过开孔进入内部空室,空箱内侧为抵抗波浪力的抛石体和用于防渗的闭气土方,通过空箱的消浪作用,减小海堤越浪量,降低堤顶高程,并可减小越浪对内坡的冲刷。

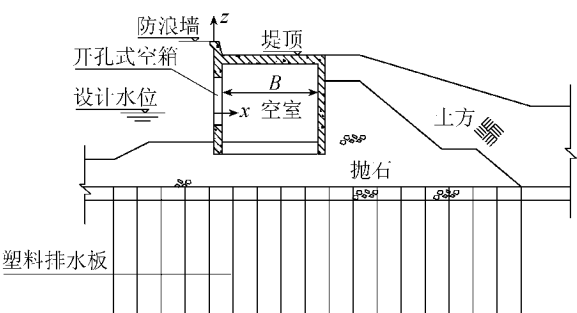


图 1 开孔式空箱结构海堤

将反射波 η 与入射波高 H_0 的比值定义为波高反射系数,即

$$K_r = \eta / H_0$$

则根据微幅波理论,可得到以下结论:①空室宽度 B 与波长 L 的比值 $B/L = 0.25$ 时反射系数 K_r 最小,即空箱消浪效果最佳;②在 $B/L = 0.25$,开孔率 $n = 0.38$ 时反射系数 K_r 最小^[1],且开孔率过大或过

小,消浪效果均较差。

由于波浪对直立式建筑物的波浪压强与堤前波高成正比,波浪力与堤前波高的平方成正比,因此通过开孔降低堤前波高后,也降低了波浪的作用力。综上所述,在海堤迎潮面设置开孔式空箱,可减小入射波的反射作用,与不开孔的重力式直立堤相比,开孔式空箱结构海堤具有堤前波浪压力小、波高反射小等优点。进入空室内的波浪遇到空箱内壁和空箱顶板后,难以翻越,可有效降低越浪量,降低堤顶高程,并减小越浪对内坡的冲刷作用。但由于空箱要承受较大的波浪力,因此一般在设计阶段需要通过波浪模型试验验证其稳定性。在软土地基条件下,空箱还可起到减轻堤身自重、减小堤身宽度、降低地基处理费用等作用。在软土地基应用空箱时,应注意因海堤沉降变形而造成空箱倾斜,可采取超载预压,或与深层搅拌基础、桩基础结合等措施,均能有效降低堤身沉降变形对空箱的影响。

2 开孔式空箱结构海堤波浪模型试验

2.1 工程概况

江南海涂围垦工程位于浙江省最南端的温州市苍南县鳌江河口南岸,围垦面积约 0.29 万 hm^2 。该工程是浙江省重点围垦工程,也是温州市面积最大的在建围垦工程。工程中北堤和顺堤面临开敞式海域,堤前风大浪高,北堤为西北至东南走向,顺堤为北西偏北至东南偏南走向。海堤为 3 级建筑物,设计挡潮标准为 50 年一遇,允许部分越浪。

2.2 试验海堤方案

海堤试验方案包括开孔式空箱结构和作为对比的土石结构两类,试验典型断面选择了涌浪较大的顺堤和北堤(篇幅所限,本文仅说明北堤试验情况)。空箱开孔形式又分为开大方孔和格栅状开孔2种形式。北堤开孔式空箱结构和土石结构海堤试验断面见图2和图3,空箱结构见图4。海堤设计方案由浙江广川工程咨询有限公司提出,试验由浙江省水利河口研究院完成。

2.3 试验目的与试验要求

试验目的主要是分析海堤在各种工况作用下空箱的稳定性和空箱的消浪效果,并与土石堤比较,测量越浪量和观测越浪对护坡结构的破坏情况。试验工况包括设计工况(50年一遇)和超标准工况(从100年一遇~500年一遇),以分析海堤在超标准工况下的失稳情况。试验要求如下:

- a. 分析设计工况下空箱结构和土石堤防浪墙的稳定情况,以观察空箱结构在超标准工况下的失稳情况。超标准工况包括100年、200年和500年一遇高潮位分别和相应50年一遇波要素的组合,以及100年一遇高潮位和100年一遇波要素组合。
- b. 测定设计工况下波浪爬高和越浪量,以及越浪对堤内坡的冲损情况分析。

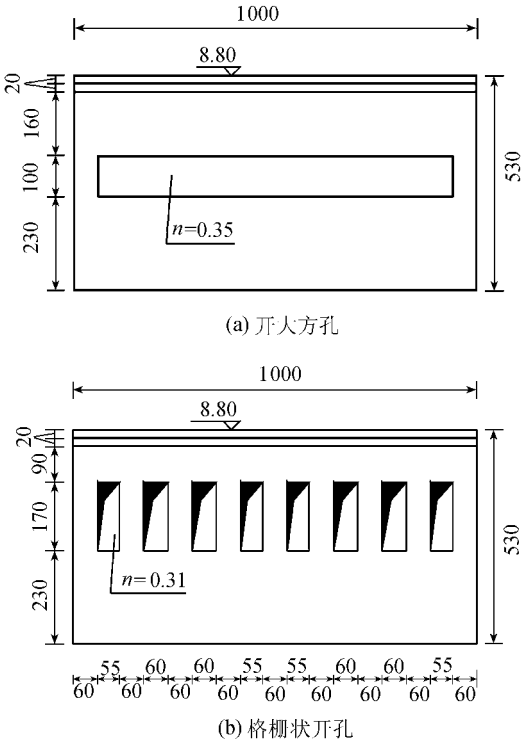


图4 空箱结构(单位:m)

- c. 设计工况下迎水坡、背水坡护坡结构的稳定性。

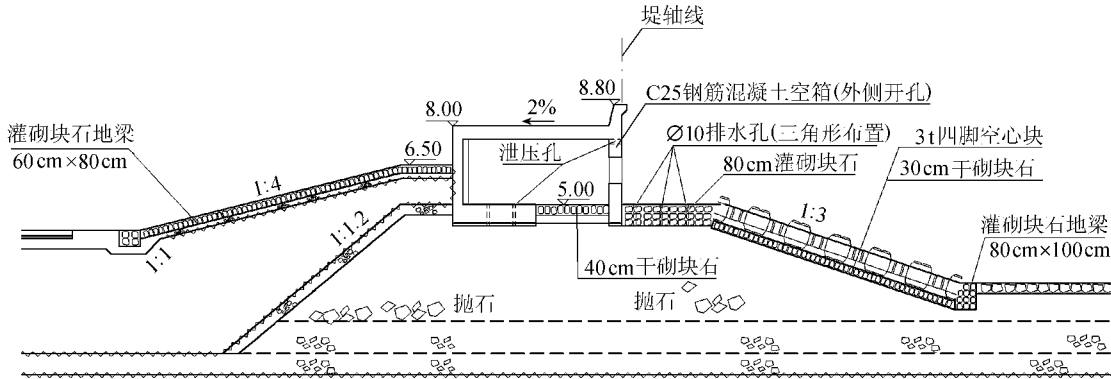


图2 开孔式空箱结构海堤试验断面(单位:m)

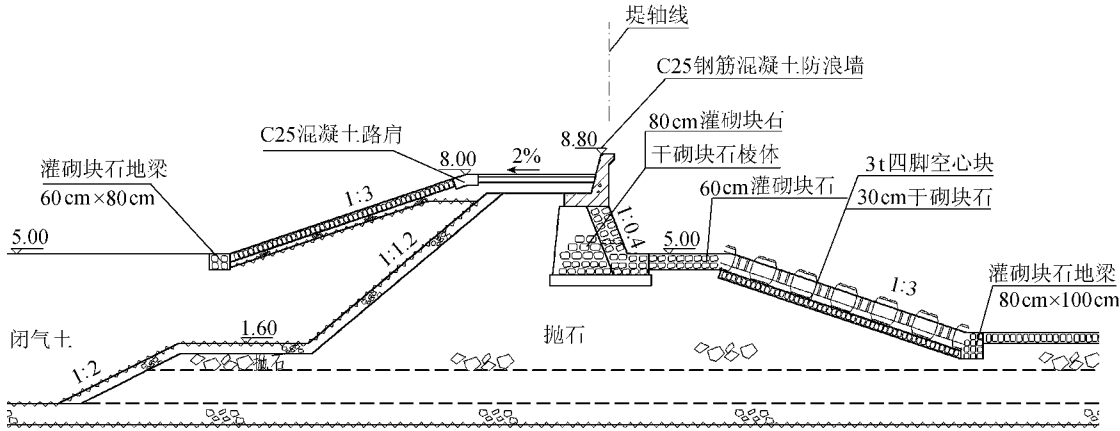


图3 土石结构海堤试验断面(单位:m)

表 1 北堤波浪模型试验结果

工况组合	设计潮位		堤前设计波要素		主要试验结果		
	重现期/a	潮位/m	重现期/a	波高 H_b /m	开孔式空箱方案 (开大方孔)	开孔式空箱方案 (格栅状开孔)	土石结构方案
设计工况	50	4.91	50	4.2	空箱保持稳定 ;内坡 30 cm 厚干砌块石可保持稳定 ;累积率 1% 的波浪爬高至 $\nabla 10.55$ m ,爬高为 5.64 m ;空箱消浪效果明显 ,越浪量很小 ,为 $0.0004\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$	空箱能保持稳定 ,内坡 30 cm 厚干砌块石可保持稳定 ;累积率 1% 的波浪爬高至 $\nabla 11.3$ m ,爬高为 6.40 m ;空箱消浪效果比开方孔稍差 ,越浪量为 $0.0088\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$	防浪墙约有 5° 的偏转 ;内坡 30 cm 厚干砌块石仍可保持稳定 ;累积率 1% 的波浪爬高至 $\nabla 12.6$ m ,爬高为 7.7 m ,越浪量要远大于相应的空箱结构方案 ,为 $0.049\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$
超标准工况	100	5.12	50	4.3	空箱稳定	空箱稳定	
	100	5.12	100	4.3	空箱稳定	空箱稳定	
	200	5.34	50	4.5	箱体微有晃动 ,已处于失稳临界状态	空箱先滑移后倾覆失稳	
	500	5.60	50	4.6	箱体滑移 ,同时倾覆		

注 :平均波高为 3.6 m ,堤前波浪均已破碎 ,堤前波高采用破碎波高 H_b 。

2.4 模型制作和量测方法

试验时不考虑水体黏性的影响 ,保持模型与实物之间的 Froude 数和 Strouhal 数相同 ,即满足重力和惯性力的相似准则。在该试验中模型比尺 $M = 25$,长度比尺 $\lambda_L = 25$,高度比尺 $\lambda_H = 25$,时间比尺 $\lambda_T = 5$,重量比尺 $\lambda_W = 15\ 625$ 。模型中的空箱结构、防浪墙、护面块石或块体等均由水泥砂浆注模浇筑 ,并掺以铁砂 ,在保证几何相似的同时保证比重相似。

试验在长 60 m ,宽 1.2 m ,高 1.6 m 的水槽中进行 ,水槽首端采用液压造波机生成波浪。为消除波浪反射 ,在水槽末端设置消波滩 ,滩上装有格栅及袋装块石 ,借以吸收波浪能量 ,试验中消波设施性能良好 ,基本上能消除反射波。

防浪墙顶部外缘放置 1 个波高仪 ,用于测量波浪的爬高。在堤后安放容器承接越浪水体 ,可称重得出越浪量。每个工况组合试验均重复量测 3 次 ,稳定性试验时波浪累积打击时间相当于原型 2 h 以上。

2.5 试验结果

波浪模型试验结果如表 1 所示。

3 结 论

通过对顺堤和北堤的空箱结构和土石结构方案在设计标准、超标准等组次的试验 ,其结果表明 :

a. 空箱结构海堤在设计工况下是稳定的 ,且越浪量明显小于土石结构海堤 ,前者为后者的 10% 以下 ,证明空箱的消浪效果是明显的。对于开孔形式 ,开大方孔和栅格状开孔都有很好的消浪效果 ,而以开大方孔消浪效果更佳 ,且稳定性更好。

b. 通过空箱的消浪作用 ,相同堤顶高程的空箱结构海堤的波浪爬高和越浪量要明显小于土石结构海堤。根据《浙江省海塘技术规定》 ,越浪量须控制在 $0.05\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ 以下 ,因此按相同的越浪量控制要求确定堤顶高程 ,则空箱结构海堤可显著降低堤顶高程。

c. 在北堤各组次的试验中 ,空箱稳定性好于防浪墙 ,开大方孔的空箱在挡潮标准为 500 年一遇时失稳 ,格栅状开孔空箱在 200 年一遇时失稳 ,土石堤防浪墙在 50 年一遇时已有偏转。故空箱结构海堤的稳定性并不比传统土石结构海堤差。但考虑到空箱结构海堤失稳后 ,堤顶高程迅速降低 ,可能导致漫堤。因此空箱结构海堤失稳后的危险程度要大于土石结构海堤。建议在具体工程设计中 ,要通过工程措施进一步提高空箱结构海堤的稳定性 ,如 ①通过合理设置空箱开孔形式和前后趾脚的宽度、在空箱内布置一定厚度的压重块石、空箱后侧要有足够高度的土石支撑等措施 ,提高空箱抗滑、抗倾覆稳定性 ;②空箱与桩基础结合 ,通过桩基础的抗拔作用提高空箱的抗倾覆能力。

在该工程初步设计审查中 ,审查部门考虑到空箱结构海堤消浪效果好、断面小、投资省(全线应用可降低工程投资约 6000 万元)等优点 ,原则同意应用空箱结构海堤 ,但开孔式空箱结构海堤在浙江省围垦工程中应用经验较少 ,建议在北堤划出 500 m 范围作为试验段应用空箱结构。

参考文献 :

[1] 习和忠 . 开孔沉箱防波堤消浪作用的理论研究与应用 [J]. 港口工程 , 1994 (6) : 11-16.

(收稿日期 2007-08-30 编辑 : 方宇彤)