



双联块体稳定性试验研究及参数测定

陈汉宝¹, 戈龙仔¹, 王美茹², 刘颖辉²

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2. 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

摘要: 运用1:30比尺的物理模型在波浪水槽中试验验证了双联块体在不同水位、不同波浪条件下的稳定性。防波堤为抛石斜坡堤, 单层8 t双联块体护面, 现场有效波高达到5 m以上, 波浪平均周期13.83 s, 试验得到了稳定断面。测定了双联块体的稳定系数 K_D , 形状系数 c 和块体空隙率 P' , 糙渗系数 K_Δ 及每100 m²护面块体个数 N 。结果表明双联块体有随机单层安放、容易制作、稳定性好等特征, 该块体及试验成果在工程中已经采用, 效果良好, 有很好的推广价值。

关键词: 双联块体; 稳定性; 试验; 参数

中图分类号: U 656.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)06-0020-004

Experiment study on stability and parameter of double-link armor block

CHEN Han-bao¹, GE Long-zai¹, WANG Mei-ru², LIU Ying-hui²

(1. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Ministry of Transport, Tianjin 300456, China;

2. CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: Artificial concrete blocks are used for the armor layer of breakwater, withstanding rough sea, with the characteristics of good stability and easily installment. The double-link armor block is a new type one, which is adopted in a breakwater repairing engineering of power station. One scale 1:30 physical model is performed in the wave flume, and the cross section with the double-link armor block is verified in stability under different water levels and wave conditions. The breakwater is mound sloping breakwater, armored by 8 t double-link armor block. The wave is above 5 m in prototype, and the average wave period is 13.83 s. A stable section is obtained by testing. The parameters of double-link armor block are obtained as coefficient of stability K_D , form factor c , porosity of blocks P' , roughness parameter of permeation K_Δ and block number in 100 m² N . It is shown that the double-link armor block has advantages including economizing material as one layer, random placing, easy manufacturing, as well as high stability, etc. The achievements of design and study have been applied to the engineering and achieved favorable effects. The double-link armor block is very worthy of popularizing.

Key words: double-link armor block; stability; experiment; parameter

人工块体经常用于防波堤的护面, 用于抵挡大浪的冲击, 需要具有稳定性好、容易安装、经济性高的特点。新型双联块体^[1]具有单层稳定、容易制作等优点, 是非常值得推广的。

印度尼西亚某电厂工程建成于2007年, 由于工程海区水动力环境条件恶劣, 防波堤建成后受波浪水流等作用发生了破坏^[2-3], 需要对已损坏防

波堤进行紧急修复, 以保港内已建工程安全。防波堤原护面块体为A-JACK块体, 防波堤修复工程设计采用双联块体, 形状见图1。

1 研究条件

用于修复的设计断面为斜坡式(图2)。堤顶高程为8.0 m; 天然泥面高程为-6.0 m; 护底块石

收稿日期: 2012-12-01

作者简介: 陈汉宝(1971—), 男, 研究员, 主要从事港口工程研究。

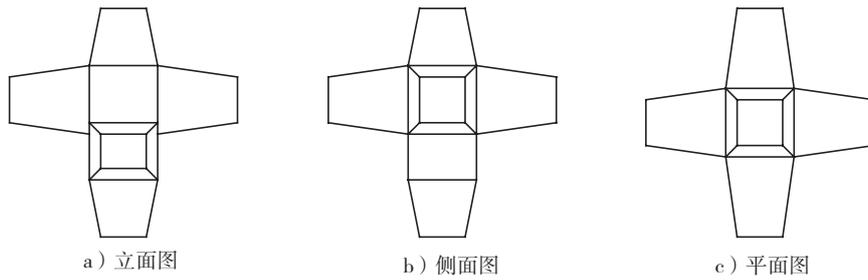


图1 双联块体形状

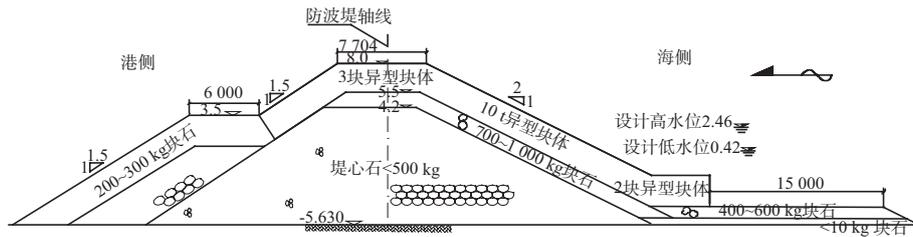


图2 防波堤设计断面

为400 ~ 600 kg, 并加厚至第一排块体高度一半, 起支撑和掩护块体的作用^[4]; 护面块体为8 t双联块体, 由海侧一直护至港侧3.5 m戗台位置; 港侧3.5 m

戗台为1.0 m厚压浆混凝土盖顶。

试验波要素见表1。试验断面采用重现期50 a波要素值, 并用重现期100 a波要素值进行校核^[6]。

表1 试验波要素

重现期/a	设计高水位2.46 m		设计低水位0.42 m		极端高水位2.97 m		周期 \bar{T}/s
	$H_{4\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{13\%}/m$	
50	5.57	4.90	(4.95)	4.60	5.68	4.97	13.83
100	5.72	5.04	(4.96)	4.74	5.83	5.12	13.98

注: 括号内数字为极限波高。

2 模型试验条件与方法

试验在交通运输部天津水运工程科学研究所水工厅波浪水槽中进行(图3)。水槽长68 m, 宽1.0 m, 高1.5 m。造波机为电机伺服驱动推板吸收式造波机, 可以产生规则波与不规则波。用波高

传感器实时采集造波板前的波浪信号, 并输入到计算机中与目标波浪相比较, 以提取(分离)反射波信号; 将该信号以反相形式加到控制信号中去, 使造波板的运动附加一个可消除二次反射波的位移运动, 实现了可吸收二次反射波的造波功能。

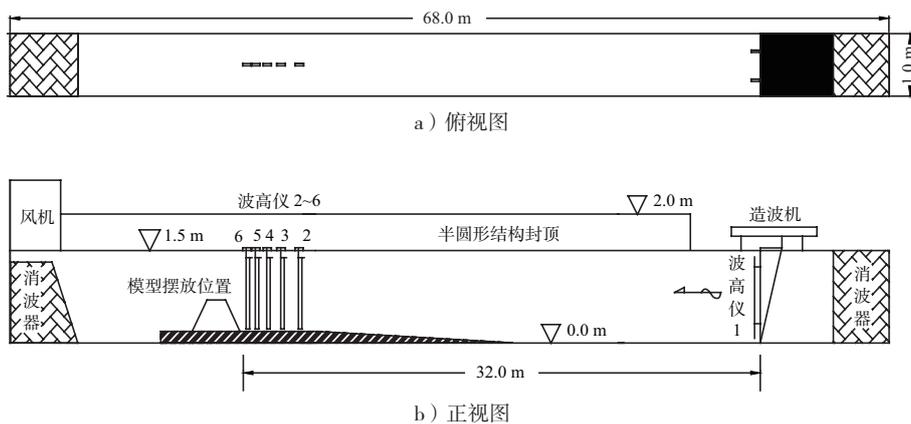


图3 水槽布置

模型几何比尺 $\lambda=30$ ，力比尺 $\lambda_F=27\ 000$ ，时间比尺 $\lambda_T=5.48$ 。断面模型中各种块石按重力比尺挑选，质量偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内。由于模型试验采用的是淡水，而实际工程中为海水，受淡水与海水的密度差影响，试验中考虑 $\rho_{海水}=1.025\rho_{淡水}$ ，在计算模型重力时考虑了这种影响^[7]。

波浪模拟采用JONSWAP谱^[8]，其解析式为：

$$S(f) = \beta_j H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}(T_p f)^{-4}\right] r^{\exp[-(f/f_p-1)^2/2\sigma^2]} \quad (1)$$

式中： $\beta_j = \frac{0.06238}{0.230 + 0.0336r - 0.185(1.9+r)^{-1} \cdot (1.094 - 0.019151nr)}$ (2)

$$T_p = \bar{T} / [1 - 0.532(r + 2.5)^{0.569}] \quad (3)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & f \leq f_p \\ 0.09 & f > f_p \end{cases} \quad (4)$$

式中： r 为谱峰因子，试验取3.3； f_p 是峰频，为谱峰频周期 T_p 的倒数； $S(f)$ 为谱密度； $H_{1/3}$ 为有效波高； f 为频率； \bar{T} 为平均周期。

护面块体稳定性是观察其位移情况进行判断，试验中位移变化在半倍块体边长以上、滑落或跳出，即判断为失稳；当波浪累积作用下出现局部缝隙加大至半倍块体边长以上，也判断为失稳。

3 断面试验结果与分析

断面模型布置见图4。在设计低水位0.42 m 重现期50 a和100 a波浪作用下，波浪最大爬高至堤顶后破碎，仅有少量水花越堤。400~600 kg护底块石在波浪冲击作用下，块石被冲至8 t双联体表面，在波浪连续作用3 h后，400~600 kg护底块石坡度变缓，坡度接近1:4，计算其失稳率为1.83%，未丧失其护底功能，因此判定稳定。由于靠海侧坡脚第一排块体受到400~600 kg护底块石

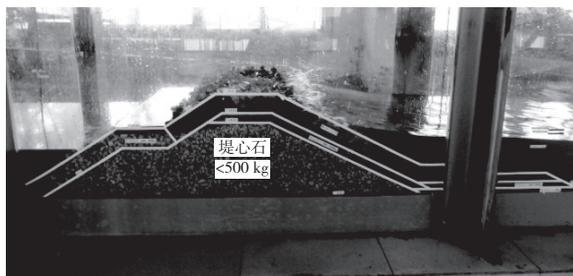


图4 断面模型布置

掩护和支撑，波浪连续作用后，未发现块体有位移，因此判定为稳定，断面其它各部分也稳定。

在设计高水位、重现期50 a和100 a波浪作用下，在堤顶有较大越浪，400~600 kg护底块石随着堤前水深增加，仅有个别随波滚动，计算其失稳率为0.23%，因此判定块石稳定。8 t双联体，在波浪连续作用3 h后，未发现存在位移，因此判定稳定。

在极端高水位、重现期50 a和100 a波浪作用下，堤顶有很大越浪，波浪连续作用3 h后，断面各部分均稳定。

4 双联块体参数测求

测求双联块体的主要设计参数：稳定系数 K_D ，形状系数 c 和块体空隙率 P' （%），糙渗系数 K_Δ 及每100 m²护面块体个数 N^{9-10} 。

1) 稳定系数 K_D 。

对于 K_D 值的测求，试验条件选择在设计高水位，采用不同的 $H_{13\%}$ 有效波高及同一周期 $\bar{T}=13.83$ s进行试验。按《防波堤设计与施工规范》中计算单个块体的稳定重力计算式(2)，在已知块体重力 $W=80$ kN时，返推求 K_D 值。在测量过程中堤顶（8.0 m高程）均有不同程度越浪，通过观测块体的在波浪作用下所处的不同状态，计算得到不同 K_D 值的结果见表2。

$$K_D = 0.1 \frac{\rho_b g H^3}{W(S_b - 1)^3 \cot \alpha} \quad (5)$$

$$S_b = \frac{\rho_b}{\rho} \quad (6)$$

式中： W 为单个块体的稳定重力； ρ_b 为块体材料的密度； $\rho_b=2.3$ t/m³； ρ 为(海)水的密度， $\rho=1.025$ t/m³； H 为设计波高； K_D 为块体稳定系数； α 为斜坡与水平面的夹角（°）， $\cot \alpha=2$ 。

2) 形状系数 c 。

同样按《防波堤设计与施工规范》中计算护面块体厚度计算式(3)，再通过模型上测量摆放该块体的厚度（选取断面不同位置），从而返推 c 值，计算得到 $c=1.524$ 。

$$h = n' c \left(\frac{W}{0.1 \rho_b g} \right)^{1/3} \quad (7)$$

表2 双联块体 K_D 值试验结果

波高 $H_{13\%}/m$	周期 \bar{T}/s	双联块体重力 W/kN	$\cot\alpha$	计算得到 K_D 值	观测失稳率 $n\%$
4.50				6.81	0
4.92				8.89	0
5.53				12.63	0
6.16	13.83	80	2	17.46	0
6.45				20.04	有晃动, 认为临界稳定
6.71				22.56	0.476
7.17				27.53	1.430

注: *失稳率为静水位上、下1倍设计波高范围内的失稳块体数与之间总的块体数之比。

式中: h 为护面层厚度(m); 在模型上分别测量断面不同位置护面的厚度, 结果见表3; ρ_b 为块体材料的密度; $\rho_b=2.3 \text{ t/m}^3$; W 为单个块体的稳定重力, 为80 kN; n' 为护面块体的层数, 等于1。

表3 测量护面层厚度

测量断面位置	测量厚度/m
堤顶(平台)	2.34
拐角	2.31
斜坡	2.28
平均值	2.31

3) 每100 m^2 护面块体个数 N 。

由提供断面图量测其面积为 $S=Lb=42.495 \text{ m}$ (整个防波堤断面护面块体长度) $\times 30 \text{ m}$ (按模型上水槽宽为1 m, 比尺为1:30计算) $=1\ 274.85 \text{ m}^2$, 转化模型值为 $1.416\ 5 \text{ m}^2$, 模型上经多次摆放结果见表4。由表4结果可知, 模型上摆放块体数最多333块, 最少308块。转化成原体值每100 m^2 护面块体个数 N 平均为25.18块。

表4 摆放块体数量

次数	摆放数量/块	
	模型上 $1.416\ 5 \text{ m}^2$	原体每100 m^2 护面
第1次	319	25.02
第2次	308	24.16
第3次	333	26.12
第4次	324	25.41
平均值	321	25.18

4) 块体空隙率 P' (%)。

同样按《防波堤设计与施工规范》中计算护面块体摆放的个数计算式(4), 通过上述计算得到的 N 和 c 值, 从而返推得到 $P'=62.23\%$ 。

$$N = An'c(1 - P') \left(\frac{0.1\rho_b g}{W} \right)^{2/3} \quad (8)$$

式中: N 为人工块体数; W 为单个块体的稳定重力, 取80 kN; ρ_b 为块体材料的密度, $\rho_b=2.3 \text{ t/m}^3$; n' 为护面块体的层数, 等于1; c 为块体形状系数, 计算得到等于1.524; P' 为护面层的空隙率(%)。

由上述 N 的计算结果, 可推求 P' 值, 结果见表5。

表5 护面层空隙率结果

次数	原体每100 m^2 护面块体个数 N	$P'\%$
1	25.02	62.31
2	24.16	63.61
3	26.12	60.65
4	25.41	61.72
平均值	25.18	62.07

5) 糙渗系数 K_Δ 。

在断面迎浪侧护面分别采用不透水板(其糙渗系数 $K_\Delta=1.0$)和双联块体两种材质进行对比试验, 观测在同一试验条件下(采用设计低水位, 规则波作用)的波浪爬高, 将两次得到的爬高进行比较, 从而得出双联块体糙渗系数 $K_\Delta=0.45$ 。

5 结论

1) 重现期50 a和100 a波浪作用下, 采用8 t双联块体护面试验中, 断面各部分均稳定; 低水位堤顶不越浪; 但高水位均存在较大越浪。

2) 双联块体的主要设计参数: 稳定系数 K_D 在临界失稳时为20.04, 形状系数 c 为1.524和块体空隙率 P' 为62.07%、糙渗系数 K_Δ 为0.45及每100 m^2 安放块体个数 N 为25.18个。

(下转第34页)