

· 综 合 ·



## [技术讲座] 斜坡堤次护面块体的稳定性研究 II

李贺青, 柳玉良, 夏运强

(海军工程设计研究院, 北京 100070)

**摘要:** 通过两个断面的模型试验, 进一步研究次护面块体的稳定性。试验断面1次护面块体位于静水面下1.5倍波高 $H_{13\%}$ 的坡面, 断面2次护面块体位于静水面下1.5倍波高 $H_{13\%}$ 的肩台上。试验波浪范围分别为 $\bar{H}/d=0.11\sim 0.14$ 和 $\bar{H}/d=0.09\sim 0.11$ 。试验发现, 肩台上护面块体的稳定性较坡面上护面块体的稳定性差。从试验结果得出以下结论: 1) 位于静水面下1.5倍波高处及以下坡面的护面块体, 其稳定重力为主护面块体稳定重力的1/3; 2) 位于静水面下1.5倍波高肩台处的护面块体, 其稳定重力为主护面块体稳定重力的0.9倍。

**关键词:** 斜坡式防波堤; 护面块体稳定性; 安全度; 次护面块体

中图分类号: U 653.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)05-0018-03

### Stability of minor armor blocks for rubble mound breakwater II

LI He-qing, LIU Yu-liang, XIA Yun-qiang

(The Navy Engineering Design and Research Institute, Beijing 100070, China)

**Abstract:** The stability of minor armor blocks are studied further based on two types of model tests. The minor armor blocks are positioned on the slope 1.5 times  $H_{13\%}$  under the MWL in test 1, and on the berm 1.5 times  $H_{13\%}$  under the MWL in test 2, with  $\bar{H}/d=0.11\sim 0.14$  and  $\bar{H}/d=0.09\sim 0.11$  respectively. It is found that the stability of armor blocks on the slope is better than that on the berm. Following conclusions are drawn from the tests: 1) The stable weight of minor armor blocks on the slope 1.5 times  $H_{13\%}$  under the MWL is 1/3 of that of main armor blocks; 2) The stable weight of minor armor blocks on the berm 1.5 times  $H_{13\%}$  under the MWL is 0.9 of that of main armor blocks.

**Key words:** rubble mound breakwater; stability of armor blocks; safety factor; minor armor block

#### 1 上文回顾

原防波堤设计规范<sup>[4]</sup>规定, 外坡在设计低水位以下1~1.5倍设计波高之间的护面块体重力, 取计算水位上下1倍波高间护面块体计算重力的1/5。在上文“斜坡堤次护面块体的稳定性研究 I”<sup>[1]</sup>中介绍了两个断面的模型试验, 其次护面块体分别位于静水面下1倍和1.5倍波高 $H_{13\%}$ 处, 重力按上述规定确定。利用护面块体安全度的概念<sup>[2]</sup>, 得到次护面块体的安全度分别为2.43和2.46以上, 都大于2.2。试验说明, 在 $\bar{H}/d\geq 0.3$ 时上述规定是正确的, 但在 $\bar{H}/d=0.16$ 时失效,

说明这一规定有其适用范围。本文通过断面模型试验进一步研究其适用性。上文为叙述方便使用了主护面块体和次护面块体的概念, 本文沿用。

#### 2 试验方法

试验在海军工程设计研究院港工实验室进行, 采用不规则波浪。试验水槽长81 m, 宽1.4 m, 高2.6 m。水槽一端安装低惯量直流电机及滚珠丝杠系统驱动的不规则造波机, 另一端设消能设施。水槽沿宽度方向分成两格, 分别为0.8 m和0.6 m, 宽度0.6 m的窄水槽部分放置模型, 另一侧用于

收稿日期: 2013-09-30

作者简介: 李贺青(1963—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事港口工程设计和研究。

消能, 以减少造波机推板二次反射的影响。不规则波造波机可产生波高 0.03 ~ 0.5 m, 周期 0.5 ~ 5.0 s 的不规则波。

根据试验水槽和造波条件, 分别按 2 个断面进行试验 (图 1), 波浪要素见表 1。断面 1 肩台位于静水位以下 1.0 倍波高  $H_{13\%}$  处, 肩台处护面块体采用与上部护面相同的较大的 590 g 扭王字块, 并向下延伸了 2 排, 与 32 g 扭王字块体相接, 波高  $H_{13\%}$  范围 0.130 ~ 0.177 m, 平均周期 1.5 ~ 2.5 s,  $\bar{H}/d = 0.11 \sim 0.14$ ; 断面 2 肩台位于静水位以下 1.5 倍波高  $H_{13\%}$  处, 肩台及以下部分采用 48 g 扭王字块体护面, 波高  $H_{13\%}$  范围 0.120 ~ 0.156 m, 平均周期 1.5 ~ 2.5 s,  $\bar{H}/d = 0.09 \sim 0.11$ 。研究对象分别为断面 1 的 32 g 护面块体和断面 2 的 48 g 护面块体。每组次重复进行试验, 每次试验前重新摆放块体。

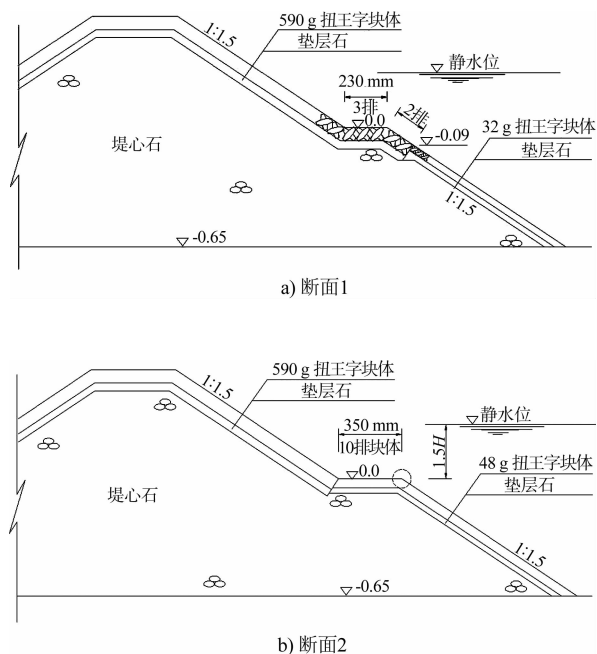


图 1 试验断面

表 1 试验波浪要素

断面	工况	$d/m$	$\bar{T}/s$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$\bar{H}/m$	$\bar{H}/d$	$\delta$
断面 1	1-11	0.780	1.54	0.154	0.130	0.083	0.11	1/13
	1-12		2.08	0.157	0.133	0.085	0.11	1/23
	1-13		2.51	0.159	0.134	0.086	0.11	1/33
	1-21	0.800	1.62	0.177	0.149	0.096	0.12	1/13
	1-22		2.08	0.175	0.148	0.095	0.12	1/21
	1-23		2.48	0.177	0.149	0.096	0.12	1.30
	1-31	0.825	1.64	0.201	0.170	0.110	0.13	1/12
	1-32		2.09	0.209	0.177	0.115	0.14	1/18
	1-33		2.46	0.208	0.176	0.114	0.14	1/26
断面 2	2-11	0.830	1.58	0.145	0.122	0.078	0.09	1/15
	2-12		1.99	0.146	0.123	0.079	0.09	1/25
	2-13		2.54	0.143	0.120	0.077	0.09	1/40
	2-21	0.845	1.48	0.154	0.130	0.083	0.10	1/13
	2-22		2.07	0.154	0.130	0.083	0.10	1/25
	2-23		2.51	0.154	0.129	0.083	0.10	1/37
	2-31	0.875	1.66	0.185	0.156	0.100	0.11	1/14
	2-32		2.04	0.177	0.149	0.096	0.11	1/22
	2-33		2.46	0.181	0.153	0.098	0.11	1/31

### 3 试验结果分析

#### 3.1 断面 1

32 g 扭王字块体位于坡面上, 块体间相互挤靠, 嵌固较好。个别块体失稳后, 经波浪继续作用, 相邻块体会向空缺处填补, 自动修复护面而

保持稳定状态。当块体重力不足以抗御波浪作用时, 则会引起坡面的破坏。发生失稳的位置主要是高程 -0.18 m 以上范围, 波浪影响显著的深度达到静水位以下约 2 倍有效波高深度处。观测结果见表 2, 破坏情况见图 2。

表 2 断面 1 护面块体失稳个数统计

组次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{n}/\%$
1-11	0	0	0	0							0
1-12	0	0	0	0			0				0
1-13	0	0	0	0			0				0
1-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-23	0	1	1	0	0	3	2	0	0	1	0.13
1-31					0	0	0	1	0	0	0.03
1-32					0	2	0	1	0	0	0.80
1-33					0	S	8	4	1	0	0.42

注：S 代表大面积破坏。



图 2 断面 1 扭王字块体失稳情况

因  $\bar{H}/d < 0.3$ ，分析块体稳定性时采用  $H_{5\%}$  [3]。从表 1 和表 2 可以看出，工况 1-22 试验波高  $H_{5\%} = 0.175$  m 时块体稳定，工况 1-23 波高  $H_{5\%} = 0.177$  m 时块体出现失稳现象。随波高加大，失稳概率相应增大，且破坏程度加剧。因此可以将  $H_{5\%} = 0.175$  m 作为临界稳定波高。按安全度  $K_N = 2.2$ ，则由文献[2]式 (3) 得稳定波高  $H_{5\%} = H_c / \sqrt[3]{K_N} = 0.175 / \sqrt[3]{2.2} = 0.135$  m。依此，由赫德森公式算得主护面块体稳定重力 0.945 N，32 g 次护面块体的重力为其 1/3。

工况 1-22 及以下各工况的次护面块体位于水面下 1.5 倍  $H_{13\%}$  处以下的坡面上。试验结果说明，位于水面下 1.5 $H_{13\%}$  处坡面的护面块体，宜采用主护面块体 1/3 的重力。这个结论不同于原防波堤规范 1/5 的规定。

### 3.2 断面 2

试验中观察到，肩台的坡肩处 (图 1b) 圆圈

处) 最为薄弱。水平面与斜坡面连接处块体间嵌固作用较弱，块体发生失稳破坏首先从这一位置开始 (图 3)。块体一旦出现失稳，易导致块体大面积破坏。因为肩台平面及坡肩上块体的受力状态与坡面上不同，相互之间连接比较松散，个别块体失稳后，没有自我恢复能力。



图 3 断面 2 肩台坡肩处破坏情况

从表 3 和表 1 看到，48 g 扭王字块体在  $H_{5\%} = 0.145$  m 的波浪作用下是稳定的，波高增大至  $H_{5\%} = 0.146$  m 时，在 7 次试验中，有 3 次块体失稳，4 次稳定；波高继续增大，几乎每次试验均出现块体失稳。48 g 扭王字块体的临界稳定波高可取  $H_{5\%} = 0.145$  m。按安全度  $K_N = 2.2$ ，得到稳定波高  $H_{5\%} = 0.111$  m，主护面块体稳定重力 0.537 N。48 g 次护面块体重力相当于主护面块体重力的 0.9 倍。试验说明，位于水位下 1.5 倍  $H_{13\%}$  处的肩台宜采用主护面块体的重力，而不宜改用小重力块体。

表 3 断面 2 护面块体失稳个数统计

组次	1	2	3	4	5	6	7
2-11	0	0	0	0	0	0	0
2-12	1	S	0	0	0	4	0
2-13	0		0	0	0		0
2-21	0		0	0	0	0	0
2-22	S		1	S	1	S	1
2-23			0	0		0	0
2-31			0	0	0		0
2-32			S				
2-33				3	4		S

注：S 代表大面积破坏。