

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.025

码头面板尾部开缝和面板上开孔对波浪上托力的影响

孟艳秋^{1,2}, 陈国平^{1,2}, 严士常^{1,2}

(1.河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室,江苏 南京 210098;2.河海大学海洋学院,江苏 南京 210098)

摘要:为考察码头面板尾部开缝和面板上开孔 2 项措施对减小波浪对斜坡接岸式高桩码头上部结构冲击的效果,在波浪水槽中进行了相应的规则波模型试验.通过分析试验数据研究了开缝和开孔对面板上波浪上托力冲击特性、压强分布、上托力大小的影响.试验结果表明,面板尾部开缝对冲击压的大小和位置有一定影响,对冲击压的影响和开缝宽度有较大关系.开缝对总上托力的影响有限.开孔后总上托力变小,并且开孔数越多,总上托力减小得越多.但板上开孔对减小冲击压的效果不是很明显.

关键词:规则波;上托力;尾部开缝;面板上开孔;斜坡接岸式高桩码头

中图分类号:U656.1⁺13 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2009)06-0736-05

码头上部结构长期处在波浪的冲击作用之下,面板容易发生结构破坏,造成经济损失和安全威胁^[1-2].对于斜坡接岸式高桩码头,由于其结构特点,波浪带来的冲击更为剧烈.这是因为斜坡接岸式高桩码头一般建造在底部地形为斜坡的海岸,码头面板尾部与岸边相连,面板与斜坡构成一封闭空间,当波浪在斜坡上推进时,水深沿程减小,波高沿程变大,波能增加,而面板下封闭空间沿程减小,波能在板尾部积聚,会使得尾部面板下冲击变大^[3-6].基于此,在工程上有研究者提出可以通过在面板与岸的接缝处开缝或在码头面板上开孔泄能来减小波浪作用力.开缝后,尾部波能和空气泄出,对面板上最大冲击压强的大小和位置、面板上的压强分布、总上托力(简称总力)的大小将会产生一些影响.同样面板上开孔后将会有部分能量从孔中泄出,对板上最大冲击压强、总力的特性也会有一定的影响.目前关于波浪对码头面板冲击作用的研究有不少^[7-12],然而对面板尾部开缝和面板上开孔的可行性和效果尚未有人研究.本文通过模型试验对码头面板开缝的效果、开缝宽度的影响、开孔的效果、开孔率的影响进行综合分析.

1 试验概况

1.1 试验设备和方法

试验主要对 3 种结构布置形式进行考察,分别为带横纵梁接岸面板、带横纵梁板尾部开缝面板、带横纵梁板上开孔面板.试验模型布置如图 1 所示.斜坡坡度 1:2,斜坡面形式为抛石护岸,模型比尺为 1:36.试验中面板尾部开缝和面板上开孔试验的主要目的是考察斜坡接岸情况下,码头面板下封存空气对面板上托力的影响,因此试验中面板后缘与斜坡的开缝间距变化范围较小,分别取为 2 cm、3 cm 和 4 cm,开孔率分别为一个框架单元开 3 孔和开 5 孔,孔直径为 1.2 cm,具体布置见图 2.面板的结构形式如图 2 所示.沿波浪传播方向的宽度 B 取为 102 cm,横梁的高为 8 cm,宽 4 cm,横梁间距(中-中)为 24.75 cm,纵梁的高为 5 cm,宽 2 cm,纵梁间距(中-中)为 20 cm.图 2 中压强传感器的编号为从波浪入射方向开始依次为编号 1 至编号 20.试验水深 $d = 50$ cm,波高 $H = 10$ cm、15 cm、20 cm,周期 $T = 1.5$ s,超高波高比 $\Delta h/H = 0.2$.

1.2 试验数据采集和选取

试验测量了面板波浪总力和冲击压强,采样频率为 125 Hz.由于波浪冲击作用的复杂性,即使在规则波情况下每个波周期内波浪力的大小和作用时间都会发生变化,故应对波浪力的重复性进行考察.通过试验分析可知,波浪力数据系列的平均值比较稳定,故在数据分析中采用该平均值作为波浪力的测量值.

收稿日期:2009-04-09

基金项目:交通部规范基金(05640113);河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室开放基金(200806)

作者简介:孟艳秋(1974—),女,江苏如皋人,讲师,硕士,主要从事港口、海岸及近海工程研究.

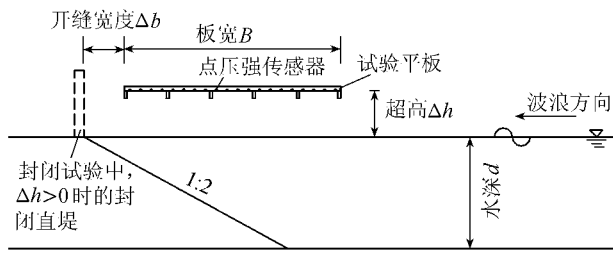


图 1 试验模型布置
Fig. 1 Layout of test model

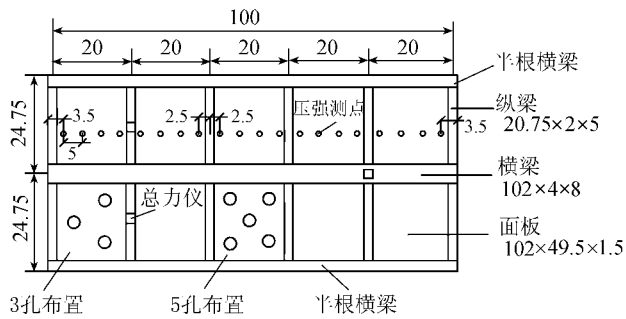


图 2 试验面板平面及传感器布置(单位: cm)
Fig. 2 Plan view of test deck and layout of transducers(units : cm)

2 试验结果和分析

通过前面的分析可知,码头面板尾部接岸端冲击压强通常比板上其他部分冲击压强很大。不过在试验分析时,也发现受相对超高、波陡等因素的影响,不同的波浪条件下,最大冲击压强也会出现在面板的前部,但此时尾部接岸端处的冲击压强仍然是比较大的,大多数情况下和前部的最大冲击压强在量级上是相当的。

2.1 尾部开缝和面板上开孔对面板底部波浪最大冲击压强的影响

当斜坡接岸式高桩码头面板尾部开缝时,面板与斜坡间积聚的波能和封闭的空气层将随面板尾部开缝而减弱,波能消减将使冲击压强减小,然而封闭空气层的减弱却可能使得面板上的冲击压强因为空气层的缓冲作用减弱而增大,此外波浪冲击角度也会有所改变,因此斜坡开缝时,尤其开缝比较小的情况下,在不同的波浪和边界条件下,板上冲击压强尤其是尾部冲击压强可能变大也可能变小,变化比较复杂。当开缝较大时,封闭空气层的影响相对减弱,而波浪也可以从面板后缝隙中透过,实际上也就是斜坡离岸式情况,此时波浪动力和封闭空气的消减程度都比较大。

图 3 为接岸板、开缝板、开孔板 3 种结构下最大冲击压强的比较。图中横坐标为面板上压强测点距面板

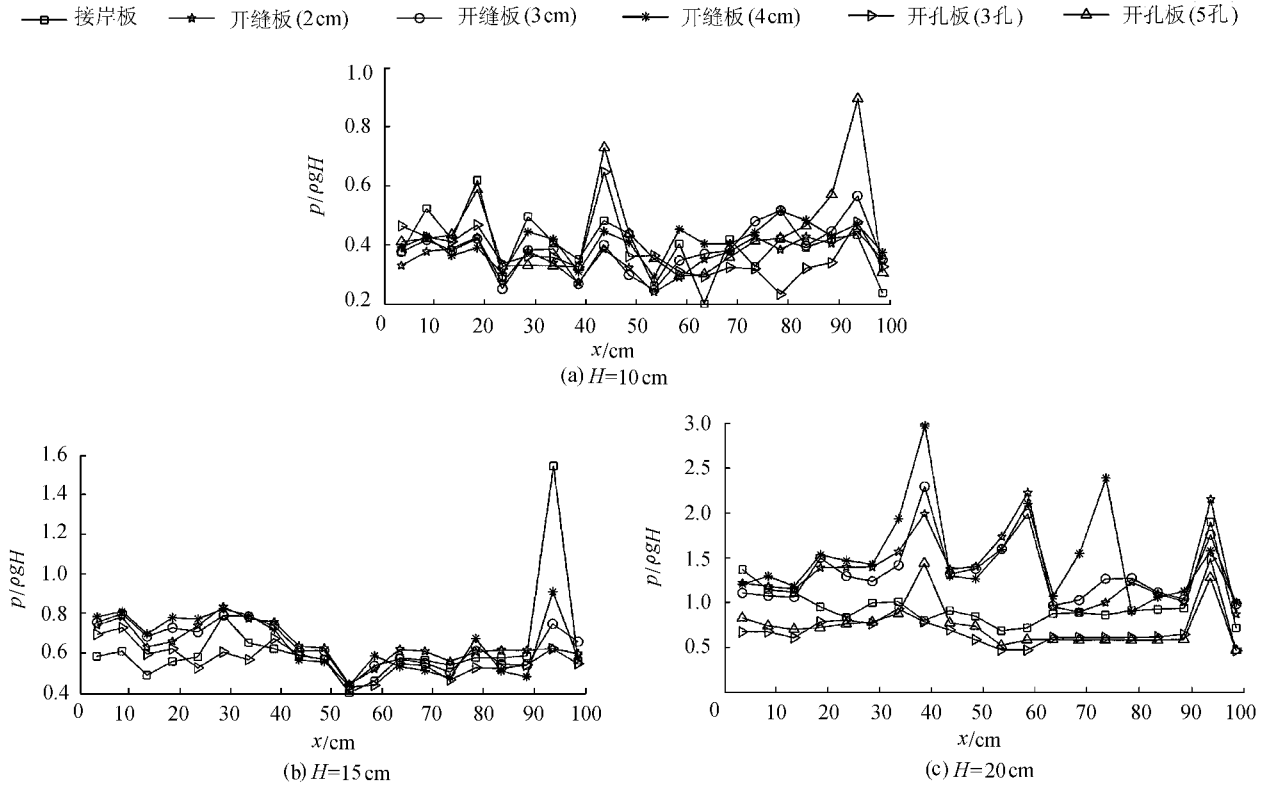


图 3 接岸板、开缝板和开孔板底部各点最大冲击压强的比较
Fig. 3 Comparison of maximum impact pressures on closed deck , deck with gap , and deck with holes

前端的距离 x 纵坐标为相对冲击压强 $p/\rho gH$,其中 p 为各测点冲击压强 , ρ 为水密度 , g 为重力加速度 , H 为入射波高.从图 3 可知,斜坡开缝面板底部冲击压强在面板上的分布与斜坡接岸情况基本类似,但在局部会有些变化.中等周期、波高比较小时,整个冲击压强沿面板近似均匀分布,对于斜坡接岸,面板的前段冲击压强更大些,最大冲击压强出现在面板的前端,而尾部开缝后,前段的冲击压强有所减小,后段的冲击压强则略有上升,因而最大冲击压强反而出现在面板后端,开缝宽度比较大时后部的冲击压强略有下降,中部冲击压强则有所增加.中等波高下,斜坡接岸冲击压强在整个面板上分布较均匀,但在尾部冲击压强大幅度增加,开缝后,尾部对应于接岸结构最大冲击压强所在位置的冲击压强有较大幅度的下降,前段的冲击压强则有所上升.波高比较大时,同样是最大冲击压强出现在尾部,但此时最大冲击压强和面板上其他点压强之间的差别减小,开缝后尾部原最大冲击压强所在位置的压强略有改变,既有增大也有减小,而中前段冲击压强则有较大增加,并出现几个较大的峰值点,使得面板上最大冲击压强转移到面板中前部.总体上来讲,开缝的影响和开缝宽度有较大关系,开缝宽度太小,空气先逸出,而随后泄出的波能水体却不多,这时由于空气的气垫作用减弱,尾部冲击压强反而增大;当开缝宽度比较大时,波能大量泄出,冲击压强则有明显的减小.根据试验资料,建议开缝宽度不宜小于波高的一半即 $H/2$.

斜坡接岸式高桩码头面板上开孔可以泄掉部分板下积聚的波能,使面板下冲击压强减小,此外空气可从孔中向外逃逸,使气层的缓冲作用减弱,这样作用到面板上的冲击又会变大.这两者影响的相对大小,决定了开孔后面板上最大冲击压强是增大还是减小.试验中选用了开 3 孔和开 5 孔 2 种方案以考察开孔率不同对最大冲击压强大小的影响.

从试验结果看,开孔对冲击压强的大小、位置有一定影响,但规律性和效果都不是很明显.当开孔率较小时,气体从孔中缓慢释放,气垫的影响减弱,但对冲击压强仍有一定影响,同时空气下的水体能量释放更有限,因此冲击压可能不变也可能有一定程度的增加,但增幅不大,随开孔率增加,空气释放得更多,波浪能直接冲击到面板上,冲击压强会有比较大的增加.此外,冲击压强的分布也会有一些改变.波高比较小时,封闭面板上各点冲击压强峰值平均值在面板上近似均匀分布,最大冲击压强在面板的前端,波浪动力作用相对较小,开孔后,泄去部分波能带来的影响弱于空气逸出的影响,原封闭面板上冲击压强比较大的几个点冲击压强有较大幅度的增加,最大冲击压强出现的位置随开孔数增加向面板后转移.波高比较大时,封闭面板上最大冲击压强出现在面板的尾部,波浪动力比较大,积聚的波能也较多,相应的波能从孔中泄出的影响更大,开孔后尾部冲击压强有较大幅度的减小,而面板中前部冲击压强略有减小,变化幅度不大.另外波高比较小时,开 3 孔和开 5 孔后的冲击压强在面板后差别较大,而波高较大时 2 种情况下冲击压强很接近,没有太大的差别.

2.2 尾部开缝和板上开孔对面板底部波浪总力的影响

表 1 给出了不同波高下接岸板、开缝板、开孔板底部总力的比较,此处总力为波浪力数据系列中的最大值.表 1 数值为各工况下 3 种面板结构上总力与接岸板上总力的比值.图 4 为与表 1 中 $H = 20\text{ cm}$ 工况下总力对应时刻的面板上压强分布.由文献 [1] 中描述的上托力特征可知,码头面板底部所受的波浪总力与冲击压强的动力过程基本相似,但面板总力除了与面板上压强大小有关外,还与面板上的压强分布有关.从图 4 来看最大总力与最大冲击压强并不对应,也即最大总力对应的面板上压强分布通常为均匀分布,均布压强的量值并不一定很大,但其分布宽度比较大,导致最终面板上总力值很大.故最大总力的大小变化与前面描述的最大冲击压强的变化有一定的区别.开缝后,最大

表 1 接岸板、开缝板和开孔板底部总力比较

Table 1 Comparison of total uplift forces on closed deck, deck with gap, deck with holes						
H/cm	接岸板	开缝板 (2 cm)	开缝板 (3 cm)	开缝板 (4 cm)	开孔板 (3 孔)	开孔板 (5 孔)
10	1	1.25	0.91	1.00	0.84	0.70
15	1	1.27	1.16	1.03	0.93	0.80
20	1	0.82	0.92	0.98	0.81	0.56

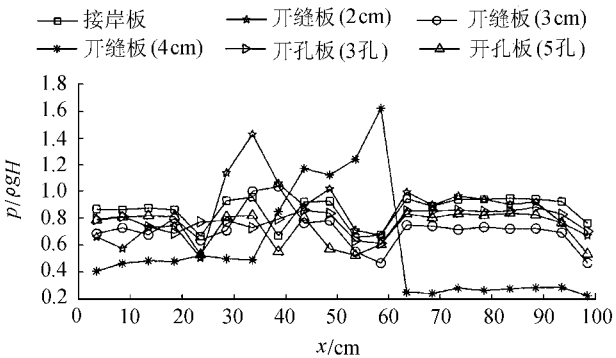


图 4 接岸板、开缝板和开孔板底部最大总力对应时刻的压强分布

Fig. 4 Distribution of simultaneous pressures corresponding to maximum uplift force on closed deck, deck with gap, deck with holes

总力对应的压强分布基本上还保持均匀分布的特点,但对应的分布宽度和压强在面板上的分布布局发生了变化,对总力起主要作用的压强段从面板后逐渐移至面板的中部,中部的均布压强值变大,两端的均布压强值减小,压强分布特点接近于文献[1]中离岸式码头面板底部压强分布。事实上,当面板尾部开缝到一定大小时,开缝结构上波浪力的作用与离岸式结构应当相当接近,而从文献[1]的研究结果可知离岸结构面板底部总力在同样的波浪条件下比接岸结构要小,故可以判断当面板尾部开缝较大时有助于减小面板底部所受的总力。在本试验范围内,由于开缝后面板上压强的大小也发生了变化,结合压强分布的变化使得最终的效应是开缝后总力大小与开缝前相比可能大也可能小,并没有明显的规律,虽然如此,但从规则波试验结果仍可以看出,开缝宽度达到一定值时,总的趋势是总力有所变小,因此较大的开缝对面板上总力仍会有一定的改善作用。

面板上开孔后,面板下空气从孔中逸出,同时部分波能也通过孔泄掉,从而改变了面板下的冲击压强和压强在面板上的分布。从试验结果来看,尽管面板上开孔对面板下气层的分布产生改变,但面板上压强分布的布局没有本质的改变,而局部的压强大小因为气体的逸出和波能的宣泄而发生了变化,最终反映为总力大小的改变。从规则波试验结果来看,开孔对压强分布的改变不大,但总体上开孔后压强值变小,因而最后总上托力随开孔而减小,并且开孔数越多,减小得越多。

3 结 论

a. 从规则波试验来看,开缝的影响和开缝宽度有较大关系,开缝宽度较小时,空气先逸出,而随后泄出的波能水体却不多,这时由于空气的气垫作用减弱,尾部冲击压强反而增大,当开缝宽度比较大时,波能大量泄出,冲击压强则有明显的减小。总力的大小与面板上的均布压强大小和压强分布有关,由于开缝后面板上压强分布和均布压强大小都发生了改变,故开缝后总力大小与开缝前相比可能大也可能小,并没有明显的规律。开缝对总力的影响有限,但开缝宽度达到一定值时,对面板上总力仍会有一定的改善作用。根据试验结果,建议开缝宽度不宜小于 $H/2$ 。

b. 面板上开孔可以泄掉部分面板下积聚的波能,使面板下冲击压强减小,然而空气从孔中向外逃逸,会使气层的缓冲作用减弱,这样作用到面板上的冲击又会变大。开孔后面板上最大冲击压强是增大还是减小,取决于这两者影响的相对大小。从规则波试验结果看,开孔对冲击压强的大小、位置有一定影响,但规律性和效果都不是很明显。对于开孔的情况,规则波下开孔后总力都变小,并且开孔数越多,减小得越多。然而由于码头面板上开孔率不可能很大,在有限的开孔率下对波浪总力的减小也有限。故实际工程中不建议采用面板开孔来减小波浪上托力。

参考文献:

- [1] 陈国平,孟艳秋.不规则波作用下高桩码头面板上托力计算试验研究[R].南京:河海大学,2009.
- [2] CUOMO G, ALLSOP N W H, MCCONNELL K J. Dynamic wave loads on coastal structures: analysis of impulsive and pulsating wave loads [C]//Proc. Conf. Coastal Structures. Portland:ASCE/COPRI, 2003: 356-368.
- [3] 刘海青,杨鹏,李炎保.斜坡接岸码头面板波浪上托力出现类型和统计分布[J].港工技术,1998(3):5-9.(LIU Hai-qing, YANG Peng, LI Yan-bao. The occurrence type and statistic distribution of the wave uplift pressure on the deck of wharf on a slope[J]. Port Engineering Technology, 1998(3): 5-9.(in Chinese))
- [4] 周益人,陈国平,黄海龙,等.斜坡上封闭水平板波浪上托力试验研究[J].水动力学研究与进展:A辑,2004,19(5):687-694.(ZHOU Yi-ren, CHEN Guo-ping, HUANG Hai-long, et al. Experimental study on uplift forces of waves on a horizontal plate of wharf on a slope[J]. Journal of Hydrodynamics Ser. A, 2004, 19(5): 687-694.(in Chinese))
- [5] 周益人,陈国平,王登婷.斜坡上封闭水平板波浪总上托力试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,33(4):442-446.(ZHOU Yi-ren, CHEN Guo-ping, WANG Deng-ting. Experimental study on total uplift forces of waves on a closed horizontal plate on a slope[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004, 33(4): 442-446.(in Chinese))
- [6] 周益人,陈国平,王登婷.斜坡封闭式水平板波浪上托力计算方法及实例应用[J].水动力学研究与进展:A辑,2005,20(1):73-78.(ZHOU Yi-ren, CHEN Guo-ping, WANG Deng-ting. Calculation methods of uplift forces of waves on a horizontal plate of wharf on a slope[J]. Journal of Hydrodynamics Ser. A, 2005, 20(1): 73-78.(in Chinese))
- [7] REN Bing, WANG Yong-xue. Laboratory study of random wave slamming on a piled wharf with different shore connecting structures[J].

Coastal Engineering 2005 53(5):463-471

- [8] 过达 ,蔡保华.透空式建筑物面板波浪上托力计算[J].华东水利学院学报,1980(1):14-33.(GUO Da ,CAI Bao-hua. Calculation of uplift forces of waves on plates for hollow trussed structures[J]. Journal of East China Technical University of Water Resources ,1980 (1):14-33.(in Chinese))
- [9] REN Bing ,WANG Yong-xue. Experimental study of irregular wave impact on structures in the splash zone[J]. Ocean Engineering 2003 , 30(18) 2363-2377.
- [10] 周益人 ,陈国平 ,黄海龙 ,等.透空式水平板波浪总上托力试验研究[J].海洋工程,2004,22(4):43-50.(ZHOU Yi-ren ,CHEN Guo-ping ,HUANG Hai-long ,et al. Experimental study on uplift forces of waves on a horizontal plate of an open-wharf[J]. The Ocean Engineering 2004 ,22(4) 43-50.(in Chinese))
- [11] CUOMO G ,TIRINDELLI M ,ALLSOP N W H. Wave-in-deck loads on exposed jetties[J]. Coastal Engineering 2007 54(9) 657-679.
- [12] CUOMO G ,SHIMOSAKO K ,TAKAHASHI S. Wave-in-deck loads on coastal bridges and the role of air[J]. Coastal Engineering 2009 56 (8) 793-809.

Influence of setting gap in the rear part of wharf deck and opening holes in deck on wave uplift forces

MENG Yan-qiu^{1 2} , CHEN Guo-ping^{1 2} , YAN Shi-chang^{1 2}

(1. Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence of Ministry of Education ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Ocean , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : In order to investigate the effect of two measures , setting gap in the rear part of wharf deck and opening holes in wharf deck , on reducing wave impact on the superstructure of a shore-connecting high-pile jetty on a slope , regular wave tests were conducted in a wave flume . The influences of setting gap and opening holes on the impact characteristics , the pressure distribution and the magnitude of wave uplift forces were studied based on the analysis of collected test data . The test results show that setting gap in the rear part of wharf deck influences the magnitude and position of impact pressure . The influence on the impact pressure relates significantly to the gap width , while there is limited influence on the total uplift forces . The total uplift forces decrease with the opening of holes in decks . As the number of holes increases , the total uplift forces decrease in magnitude . However , opening holes in wharf deck has little effect on reductions of the impact pressure .

Key words : regular wave ; uplift force ; setting gap in rear part of deck ; opening holes in deck ; shore-connecting high-pile jetty on slope