

直立折叶板开孔式沉箱之消波特性和初期研究

林 蔚¹, 林 鹏¹, 陈池威¹, 李大鸿¹, 陈德钢¹, 杨升耀¹,
欧阳荣桓¹, 阮天野¹, 杨辉斌¹, 林焰圭²

(1. 福州大学 海洋学院, 福建 福州 350108; 2. 台湾海洋大学 河海工程系, 台湾 基隆 20224)

摘 要:提出一种新型导流式消能结构物的观念,在长方形开孔的内侧加装折叶板,并保留下侧泄水孔。借由波浪及水流运动与折叶板开阖的互动关系,于波峰作用时,推开折叶板让水流进入结构物体内,而在波谷作用时,向外排出的水体力与折叶板重量让折叶板闭合,阻止水流由原路径排出,而改道由下方排水。以水工模型反射率实验方式证明此种新型结构物的消波效果:在设定模型缩尺 1/36 下,造波周期 0.8~3.0 s 间的反射率均在 0.6 以下,其中 1.0~2.8 s 都在 0.4 以下,而 1.3~2.5 s 则都在 0.2 以下。所以本新型结构物有益于削减港内长周期的波动现象。

关键词:直立式消能结构物;沉箱;折叶板;反射率

中图分类号:P753

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2017)04-0010-10

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2017.04.002

港湾建设目的是为了提供一个静稳水域让船舶能安全地进出港、装卸货物与上下人员。但为了提供较多的码头空间给船舶使用,港内往往采用直立式码头岸壁。由于传统直立式沉箱为不透水岸壁,容易反射波浪,而造成港内水面的动荡。因此,近年来港湾建设常考虑采用多孔隙的直立消波岸壁来削减入侵港内的波动能量,以改善港湾的泊稳条件。

自从 Jarlan^[1]提出开孔式沉箱的设想后,国内外许多学者针对开孔沉箱的消波特性和理论分析。Tanimoto 和 Yoshimoto^[2]研究影响开孔沉箱反射率的主要因素,并做了相应的理论分析。结果表明对于部分开孔岸壁沉箱,当相对消波室宽度为 0.15~0.20 和狭缝深度与水深比值为 0.83~0.33 时,反射系数达到最小值。陈雪峰等^[3]通过实验验证得到开孔沉箱前的反射系数及开孔沉箱所受总水平波浪力的经验计算公式。Lee 和 Shin 等^[4]提出了新式狭缝沉箱,靠海侧岸壁的上部做规则狭缝开孔,针对孔洞的宽度及数量调整不同的孔隙率、单消波室与双消波室、消波室的宽度等进行一系列评估。该研究指出,双消波室的消能效果优于单消波室;在双消波室的情况下,一级消波室与二级消波室的宽度一样的时候消波效果最佳;而当一级消波室开孔率为 40%,二级消波室开孔率为 20%时,呈现最好的消波性能。

对于削减长波部分,Hiraishi 等^[5]利用数值模拟探讨自然及人工沙滩对长波的消波效果,表明自然沙滩在周期 $T=30$ s 时反射率可降低到 0.3;Kee 等^[6]发现内部设置多孔板的沉箱,如果适当调整消波室垂直前墙的孔隙度、倾斜角、没水深度和腔长,可以减少长波的反射波振幅;然而 Hiraishi^[7]利用水工模型试验及数值模拟的方式提出消能结构物多孔隙介质的厚度至少需要达到 40 m,才能有效地消减长波的波能。

在直立式开孔沉箱的基础上,邱永芳等^[8]提出削减波能的方式可以从提高水力阻尼角度来思考,即利用港湾结构型式与所形成的水理运动特性形成阻尼或损耗,例如减少碎波水体的回溯造波。该研究进行了以内建斜坡开孔式结构物作为长波抗浪型码头的模型试验和数模,并获得很好的结果,也证实改变入侵到多孔隙结构体内的水体回流的方向,可以有效地降低因波浪打入消波室后直接回流造成二次造波的影响,由此减少反射波的产生,进而减少水面的动荡。

收稿日期:2017-06-16

作者简介:林 蔚(1996-),女,主要从事海岸工程方面研究. E-mail: lociwee@yahoo.com

(陈 靖 编辑)

综上所述,无论在水工模型试验还是在数值模拟方面,文献大多集中在开孔结构物的开孔率、开孔形状等因素对消波效果影响的探讨,而忽略了波浪进入孔隙后的水流运动现象。尤其对于开孔沉箱在长波作用下的消波性能,则除了邱永芳等^[8]外一直未见其他文献报道较有效的消波方式。

在总结前人研究的基础上,本文提出了一种新型的消能结构物,如图 1 所示。此一折叶板开孔式沉箱结构物(以下简称折叶板结构物)结合开孔沉箱与活动折叶板在沉箱迎浪面岸壁上方形开孔的内侧加装折叶板,并设置第二消波室,下侧则保留泄水孔。堤前的反射波由 2 部分组成:1)前侧岸壁的反射;2)从消波室回流的二次造波。本研究针对第二部分做相应的研究。

设计的构想是利用波浪与折叶板的互动关系导引回流水流。当波峰作用时,如图 2a 所示,波力可以推开折叶板进入到消波室,发生振荡从而消减波浪能量;而当波谷作用,如图 2b 所示,堤内水体要排出时,由于向外水流及内外水压差的作用促使折叶板关闭阻挡水流由原来高度流出,并迫使水流向下由波动力较小的泄水孔流出。此种方式可以阻止水体直接回流造波的可能,减少二次反射波的发生。

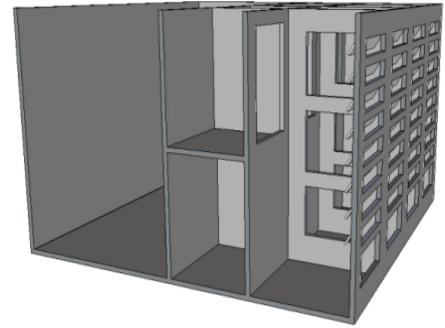


图 1 折叶板开孔式沉箱结构

Fig.1 Structure of the flap plate type perforated caisson



图 2 折叶板沉箱的消波构想图

Fig.2 Conception of the wave dissipation mechanism of the flap plate type caisson

1 实验设计与分析方法

1.1 实验设计

本研究基于水工模型实验,通过对不同波高与周期的规则波作用的基础实验研究,得到波高仪的实测时间序列数据,推算出此结构物前波浪的相对反射系数 K_R 。本研究内容属于初期可行性评估的阶段,旨在找到新型式沉箱对不同周期与波高条件下的影响规律,以评估此种结构物应用于码头及防波堤的设计与规划的可能性,并深入了解可能影响的参数,为后续的深入研究打基础,期许未来对港湾工程实务能有所帮助。此结构物关键在于折叶板能否在适当时间恰当开合,所以折叶板的配重会影响到开合程度,因此折叶板重量也列入评估项目,将通过监控观察具体现象,本阶段先以轻质混凝土版的重量作为依据。

1.1.1 实验设备与仪器

本次实验在台湾海洋大学河海工程系的断面水槽进行。通过不同周期与波高条件下进行规则波水工实验,探讨结构物的消波功能。相关实验设备和仪器、模型尺寸与配置及实验条件说明如下:

1) 断面造波设备

断面水槽总长 28 m、宽 0.8 m、高 0.8 m(有效造波长度为 25.65 m),为混凝土基座加上不锈钢铁板底床,水

槽两边镶嵌透明强化玻璃以便观察造波过程。造波机为英国爱丁堡设计公司所制,属于活塞式造波机,可造规则波与不规则波。通过控制箱面板输入不同的周期、波高等,经由控制盒传送讯号以驱动造波机造波。

2) 波高量测设备及数据采集系统

波高量测设备采用日本 Union Engineering 株式会社电容式波高仪,其测定范围为 ± 0.15 m。水位变化由波高仪测得后,经波高增幅器扩大讯号,传输至类比-数位讯号转换的数据采集系统。

3) 监控装置

试验监控装置采用 4 台 KGuardSecurity 摄影机及一台显示器,可通过监视器来记录实验全过程并观察折叶板的开合情况。

1.1.2 模型设计

根据 Froude 相似律定义^[9],综合考虑最大实验造波水深 $h = 0.5$ m 及一般商港水深范围(15~18 m),选定模型缩尺为 $\lambda = 136$,即长度缩尺为 136,时间缩尺为 16。

模型沉箱由厚度为 0.01 m 的亚克力玻璃板制作,长 0.79 m,高 0.50 m 及宽 0.77 m。沉箱外侧岸壁做方形开孔处理,孔洞尺寸为 30 mm \times 130 mm,水平有 4 排,每排开设 9 个孔洞。考虑到深水处波浪波动较小,最下方保留一层泄水孔,如图 3 所示。在孔洞上端添加 35 mm \times 130 mm 折叶板,每排设有 8 片,共 32 片。折叶板的配重 36 g 是先考虑以轻质混凝土配合点焊钢丝网进行加劲处理,以便评估其受波力作用的反应情形。

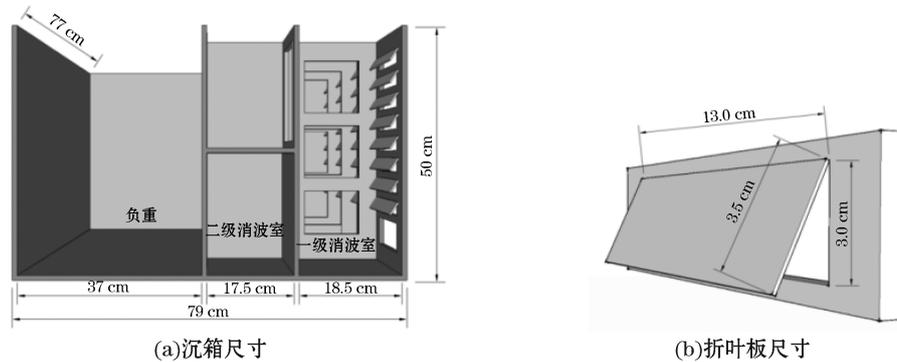


图 3 直立折叶板开孔式沉箱模型尺寸示意图

Fig.3 Dimensions of the model of the flap plate type perforated vertical caisson

1.1.3 实验配置

本实验采用 Goda 两点法^[10]进行堤前反射率量测。实验布置如图 4 所示,以造波板为起点,6.5 m 处设置第一根波高仪量测入射波,其余 6 根波高仪则依 Goda^[11]的建议分别在 13.86, 14.56, 15.26, 17.86, 18.56 与 19.26 m 处设置。实验模型摆放在 23.12 m 处,模型以砖块垫高 11 cm,入水部分深 39 cm。

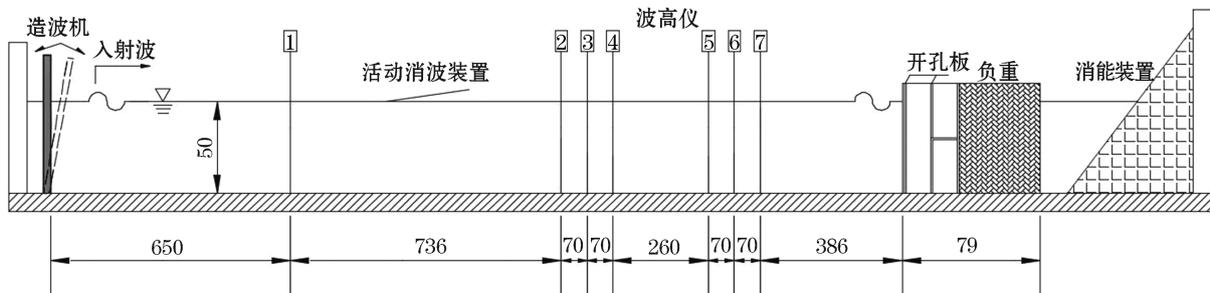


图 4 实验整体布置图(cm)

Fig.4 Overall layout of the experiment (unit: cm)

为了解造波过程中折叶板的运动情形与结构物内外的波浪变化,本实验一共使用 4 台摄影机来监控,如图 5 所示。一号机(CH1)与三号机(CH3)分别设在结构物左右,从两侧拍摄结构物前面折叶板开口、波浪越波的情况。二号机(CH2)放在结构物上端从上往下拍摄,四号机(CH4)放在结构物的前面,拍摄结构物与结构物前面波浪的变化。通过监控器记录实验全过程,并用于实验数据分析的检验工具。



图 5 实验过程监视器

Fig.5 Monitors for the experimental process

1.1.4 实验条件

实验入射波采用规则波,为了模拟正常气候条件下及非常态气候条件如台风波浪,实验波高选择 $H = 3, 6, 9$ 和 12 cm,相当于现场波高为 $1.08, 2.16, 3.24$ 和 4.32 m。实验周期选择 $T = 0.8 \sim 3.0$ s,相当于模拟现场 $4.8 \sim 18.0$ s。波高尖锐度范围为 $0.002 \sim 0.096$ 。造波的周期涵盖了夏季季风波浪、冬季季风波浪及台风波浪的范围。实验造波条件以不发生碎波为原则,一共有 62 组,每组实验重复至少 3 次,每次造波约 90 s。

1.2 分析方法

本实验最后是以第 5、第 6 及第 7 支波高仪的波形纪录进行 Goda 两点法^[11]的反射率分析,详细处理过程说明如下。

将数据采集系统所获波浪原始数据,经过初步归零整理后,绘制原始时间序列的波形图,如图 6 所示,并

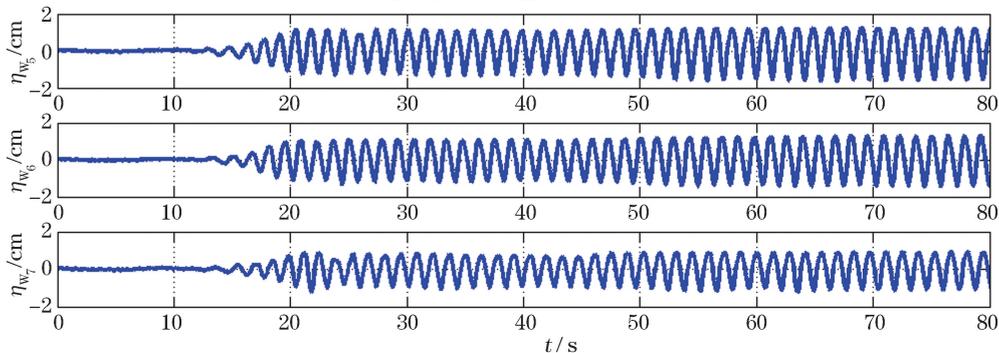


图 6 $T = 1.4$ s, $H = 0.03$ m 波高仪测量原始时间序列图

Fig.6 Wave profiles measured with wave-height gauge at $T = 1.4$ s and $H = 0.03$ m

由图中判断所获数据的正确性(例如由于电压不稳定、或波高变化超过了波高仪电压波动的范围导致所绘图形出现明显错误时应去除)。由于造波机初始造波时前几个波有碎波及不稳定现象,所以撷取入射波时去除个别前导波以确定正确的入射波波高。

由于波浪进出结构物后会发生相位改变,可能会使波高仪恰好测量到波浪节点部分,导致实验数据不准确。因此,实验数据分析采用3支波高仪的数据,将不合理或不稳定波浪数据剔除后再进行分析。由于第2、第3及第4支波高仪附近水面明显地呈现三维震荡效应,不利于数据分析,故采用第5、第6及第7支波高仪数据,在3支波高仪的入射加反射之波段内,在2个零上切点间撷取波形,共撷取10个波作为分析波段,进行发射率分析。

为了获得正确的入射加反射波段,先通过分散关系式 $\sigma^2 = gk \tanh kh$ 求得波速。其中, $\sigma = 2\pi/T$ 为角频率; $k = 2\pi/L$ 为波数; T 为波浪周期; L 为波长; h 为水深; g 为重力加速度。以此波速来计算波浪经过各波高仪及结构物所需的时间,再以波浪从造波机传递至结构物再从结构物传递至波高仪的时间点开始撷取波段,而后以波浪从波高仪传递至造波机并反射到波高仪的时间点(即为二次反射的时间点)停止撷取波段。两次求得之时间点中间则为入射波加反射波之波段,最后再用3支波高仪两两间的入射波及入射加反射波段数据求取反射率。

2 实验结果与分析

结构的消能效果常以提前反射率进行比较,本节首先进行折叶板结构的反射率个别分析,其后分别与 Lee 和 Shin^[4] 狭缝型沉箱及 Hiraishi^[7] 实验进行对比及探讨,具体分析如下。

2.1 个别分析

图7所示为折叶板结构的实验反射率图,由上而下依序为波高3,6,9及12 cm的反射率结果。横轴表示实验周期(T),纵轴表示反射率(K_R)。各图中除了显示3次重复实验中所有合理的反射率数据外,也绘制由这些数据点回归所得的三次反射率曲线。为了比较回归曲线的拟合程度,波高3和6 cm的图里增加了二次反射率曲线,如图7a和图7c所示。

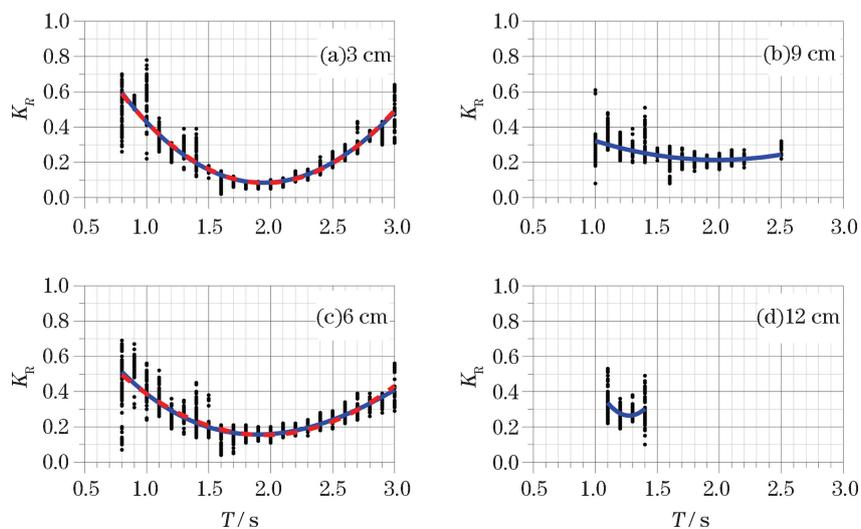


图7 折叶板的反射率

Fig.7 Reflection coefficient of the flap plates

1)波高 3 cm

$$K_R = 1.528\ 632 - 1.478\ 359T + 0.377\ 815\ T^2 \quad (\text{二阶近似函数}, S=5.796) \quad (1)$$

$$K_R = 1.613\ 536 - 1.640\ 429T + 0.471\ 703T^2 - 0.016\ 787T^3 \quad (\text{三阶近似函数}, S=5.773) \quad (2)$$

2)波高 6 cm

$$K_R = 1.146\ 147 - 1.025\ 415T + 0.264\ 505\ T^2 \quad (\text{二阶近似函数}, S=7.039) \quad (3)$$

$$K_R = 1.359\ 236 - 1.431\ 274T + 0.499\ 268\ T^2 - 0.041\ 931T^3 \quad (\text{三阶近似函数}, S=6.899) \quad (4)$$

式(1)~(4)中, S 为最小平方误差。二次及三次回归曲线几乎重合,且总误差平方和相当接近,说明二次曲线已足以表示反射率的变化。由于造波机的性能限制,制造短周期大波高会出现波形不稳定现象而产生碎波,或者长周期的波高因为能量消散的缘故而无法太高,故波高 9 和 12 cm 实验资料较少。本文仅列入参考。

由图 7 可知,本消能结构物在试验的条件中, K_R 均在 0.6 以下,其中 1.0~2.8 s 间都在 0.4 以下,而 1.3~2.5 s 间都在 0.2 以下。因为周期涵盖了一般季风风波及台风波浪,显示本结构物的消波效果相当好。波高 3 和 6 cm 的反射率图趋势相近。最佳的消波周期为 1.2~2.7 s,相当于实际周期 7.2~16.2 s(冬季风风浪及台风波浪), K_R 均在 0.3 以下。而即便是周期大于 2.7 s 的长周期部分, K_R 也都在 0.6 以下,有别于一般消能式结构物的 0.9 以上。这个结果显示本结构物对长周期波的消波性能相当地好。波高为 9 和 12 cm 时的反射率图也呈现出很好的消波效果,在实验周期内,反射率大致为 0.1~0.4。

结合实验录像及数据分析,我们发现由于折叶板的配重较大,短周期波浪的波力不足以将折叶板推开太多,以致大比例的波能直接反射,未来如能减少折叶板重量将有助于改善对短周期的消波能力。但折叶板重量太小则有可能使得波谷作用时折叶板不容易阖上而消减了阻水及导水的作用。

Huang 等^[12]整理的资料指出:对于一个开孔墙的孔隙效应参数 G 值, Jarlan 型结构物反射系数在下列关系下为最低值:

$$\frac{B}{L} = 0.25 + 0.5n \quad (n=0,1,2,\dots)。 \quad (5)$$

式中, B 为消波室的纵深。由于实务上仅考虑消波室的最短宽度,因此只有基本共振模态($n=0$)会用于 Jarlan 型结构物的设计上。目前的实验数据显示,折叶板结构物出现最低反射率所对应的 B/L 比值在 0.058 左右,比 Huang 等^[12]总结所得出的比值小很多,可能是配置折叶板改变了消波室内水体运动形式,也可能有 2 个消波室不同深度的影响。

2.2 比较与讨论

为了了解本新型结构物的适切性,本节分别与 Lee 和 Shin^[5]的狭缝型沉箱及 Hiraishi^[7]的实验相比较。

2.2.1 与 Lee 和 Shin 等狭缝型沉箱的比较

Lee 和 Shin 等^[4]的实验模型如图 8 所示,实验水深 50 cm,实验波高为 2 和 4 cm,周期为 0.8~2.4 s。图 9 为 Lee 和 Shin 等^[4]的模型在 $H_s=4$ cm ($N=3$ 、不同孔隙率)与本实验模型在 $H_s=3$ cm 的反射系数比较。由图 9 可知,在本研究的实验周期范围内,在 $B/L \leq 0.1$ 时(属于较长周期波动,约为 $T > 1.1$ s),新型结构物有较佳的消能效果; $T < 1.1$ s 的短周期部分,则以 Lee 和 Shin 等的狭缝型结构物表现较好。因此,基于港内的动以长周期波的威胁较大,折叶板结构物的整体表现优于 Lee 和 Shin 等^[4]的狭缝型结构物。

2.2.2 与 Hiraishi 等^[7]的长周期消能结构物的比较

Hiraishi^[7]讨论了设置在结构物后的多孔隙介质层的长度、碎石的直径对消波效果的影响。其实验配置如图 10a 所示,模型比尺为 1/40~1/20,实验周期为 2~6 s,实验波高为 2~4 cm,多孔隙介质层长度设有 100 和 200 cm。图 10b 为多孔隙层长度与反射率系数的变化,反射系数随渗透层长度的增加而减小。无渗透层时,孤立波的反射系数几乎为 1.0。当透水层长 200 cm 时,孤立波的反射系数为 0.8 左右,而规则波

$T=6$ s 的反射系数在 0.5 左右,但此时多孔隙层在现场长度相当于 40~80 m,工程实用性不大。

Hiraishi^[7]实验模拟现场周期 9~40 s,其反射率大致处于 0.4~0.9,与新型结构物的消波效果差距较大。本结构物在实际周期 8.4~15 s 中,反射率低于 0.3,而大于 15 s 的反射率也都在 0.6 以下。由于造波机的能力有限,最大周期仅能仿真到 18 s。但是经过计算发现,如图 11 所示,以线性波理论的动水压力公式为参考,假如沉箱开孔顶端在平均水面处,而底端在水下 0.03 m 处,则折叶板式的最大内外动水压差发生在外侧是波峰时而内侧是平均水位时,最小动水压差则发生在外侧是波峰时而内侧是波谷时。最大动压差呈定值形式是因为线性波理论中假设平均水面以上的动水压力以 $p_D = \rho g \eta$ 计算,式中: ρ 为海水密度; g 为重力加速度; η 为水面波形。因此波峰处的动水压力相同。最小压力差则随着造波周期的增长而降低,但仍然属于正向压力。由图显示,只要外侧是波峰时,就有一个正向力推开折叶板,而且不论周期大小。本实验仅为一个简单的示范,尚未考虑堤前波浪因反射而形成波压力较大的重复波或部分重复波,其他水深也尚未考虑。所以在某一个时间点,总作用力会克服折叶板的重量而将板子掀开,因此在长周期下也可以推开折叶板,甚至会比短周期的消波效果更为明显。新型结构物的消波能力优于 Hiraishi^[7]的实验模型,消波室的纵深明显缩短而更实用。

2.3 工程实用讨论

一个新型消能结构物的提出,除了要在理论上证明其消波功能外,也需要从工程实务方面进行探讨,以提高工程可行性。本节以开孔式消能码头为讨论重点,提出工程应用上的可能型式。

一般水深 5 m 以下如渔港或游艇港的近岸湾澳,建议以预制块的方式施作,如图 12 所示。以混凝土框架(壁厚与尺寸可依实际需求调整),在前壁内侧装设折叶板。造型简单、且施工方便。尺寸可依施工的能力与技术及吊放作业流程适当选择。

一般国内商港或天然湾澳的水深大约在 5~10 m,既不是浅水区也不是深水区,使用沉箱结构或预铸型块都有其施工上的问题。此种状况建议以复合型结构物来施作,如图 13 所示,例如以混凝土方块堤作为结构本体,而在平均水面附近以预制块施作。可确保结构体的强度,亦可提供相当的消波能力。

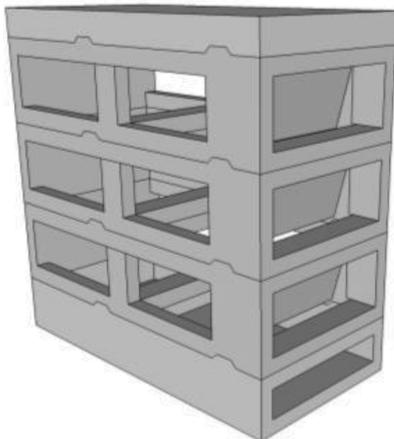


图 12 浅水域的新型结构物示意图

Fig.12 A sketch map of the new structure used in the shallow waters



图 13 中间水深的复合型结构物

Fig.13 A compound structure used in the area with intermediate water depth

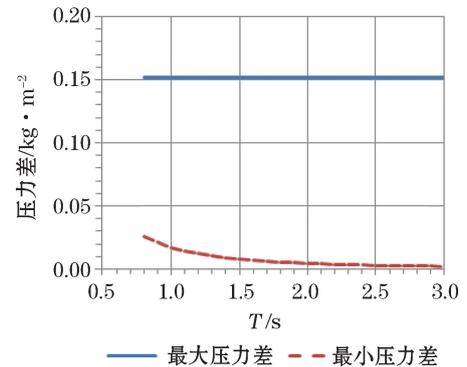


图 11 折叶板式的内外侧水压力差

Fig.11 The internal and external water pressure difference of the flap plates

而就国际商港而言,由于水深较深,可以用沉箱结构型式施作。沉箱本体和折叶板可在预制场完成预制,但折叶板以及码头顶盖以现场施作方式进行。

有关活动折叶板的连结部分,是本新型结构物应用上的关键。此部分可用天然橡胶材料作加劲处理,制作弹性链接材;或以高耐磨性与耐腐蚀性材料当作支撑材料。虽然此连结部分时刻不间断地受到波浪的推力作用,连结部分可能会有磨损或者是材质老化的问题,但由于波动的周期大多在1 s以上,应不致产生高频的材料疲乏问题。如何选取适当材料与链接器的设计,将是今后的研究重点。

3 结 论

本研究利用水工模型试验的方式评估一种新型多孔隙结构物的消能效果,实验结果表明增加堤体内的导流排水功能,及减低波动回溯造波,可以明显地改善结构物的消波效果,尤其是长周期波的部分。应用于港湾实务时,将有利于降低季风波浪及长波所引起的港湾震荡。由上述分析可得如下结论:

1)本研究具体提出一新型结构物的构想,在开孔式消能结构物的前壁开孔内侧装设活动折叶板,并保留下侧开孔作为泄水孔。借由波浪及水流运动与折叶板开阖的互动关系,于波峰作用时,水压力推开折叶板让水流进入结构物体内,而在波谷作用时,向外排出的水体力与重力将折叶板闭合,阻止水流由原路径排出,并导引水流由下方排水孔排出。借此可以降低波浪的反射,提升结构体的消波能力。

2)经水工模型实验证明,在实验造波周期0.8~3.0 s,反射率皆在0.6以下。尤其在实验波浪周期1.4~2.5 s的消波成效最为显著,反射率低于0.2。波高6 cm作用下的消波效果比波高3 cm的消波效果好,应是与波高及开孔高度间的比例有关。

3)本新型结构物对港湾内的长周期波动的削减有显著效果,因此,可以有效地降低恶劣气象作用下(例如台风时期)的港内长周期振荡,提供较佳的静稳性,提高港内船舶停靠安全。而工程实务上则可以针对不同的水深进行不同形式但具备相同消波功能的设计。

4)由于防波堤所要承受的波浪力较大,以及折叶板尺寸与重量直接关系到该新型结构物对短周期波的消波能力,将在后续研究中评估各组件的耐波性能与活动性。

致谢:台湾海洋大学河海工程系提供实验设备,连皓宇、张维庭、蔡世璿和许师瑜悉心协助!

参考文献 (References):

- [1] JARLAN G E. A perforated vertical wall breakwater[J]. Dock and Harbour Authority XII, 1961(486): 394-398.
- [2] TANIMOTO K, YOSHIMOTO Y. Theoretical and experimental study of reflection coefficient for wave dissipating caisson with a permeable front wall[J]. Report of the Port and Harbour Research Institute, 1982, 21(3): 44-77 (in Japanese).
- [3] CHEN X F, LI Y C, SUN D P, et al. An experimental study of wave acting on perforated caisson[J]. China Offshore Platform, 2001, 16(5-6): 1-6. 陈雪峰, 李玉成, 孙大鹏, 等. 波浪与开孔沉箱作用的实验研究[J]. 中国海洋平台, 2001, 16(5-6): 1-6.
- [4] LEE J L, SHIN S W. Experimental study on the wave reflection of partially perforated wall caissons with single and double chambers[J]. Ocean Engineering, 2014(91): 110.
- [5] HIRAISHI T, NAGASE K. Long period wave absorbing by artificial beach[C]// Littoral 2002: 6th International Symposium Proceedings: A Multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning, Porto, 2002: 601-606.
- [6] KEE S T, LEE S H, KO J S. Submerged porous plate wave absorber[C]// Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2006: 626-631.
- [7] HIRAISHI T. Development of long period wave absorber[C]// Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2006: 621-625.
- [8] CHIU Y F, LIN J G, CAI J J, et al. Water wave energy dissipation structures (4/4)[M]. Taiwan: The Institute of Transportation, 2013. 邱永芳, 林绍圭, 蔡金吉, 等. 消能式结构物特性之研究(4/4)[M]. 台湾: 运输研究所, 2013.

- [9] CHANSON H. *Hydraulics of open channel flow: an introduction*[M]. 2nd ed. United Kingdom: Butterworth Heinemann, 2004: 650.
- [10] GODA Y, SUZUKI Y. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments[C]//*Proceedings of 15th International Conference on Coastal Engineering*, Hawaii, 1976: 828-845.
- [11] GODA Y. *Random Seas and Design of Maritime Structures*[M]. Singapore: World Scientific Publishing Company, 1985: 443.
- [12] HUANG Z H, LI Y C, LIU Y, et al. Hydraulic performance and wave loadings of perforated/slotted coastal structures: A review[J]. *Ocean Engineering*, 2011, 38(10): 1031-1053.

A Preliminary Study on Wave Dissipation Characteristics of Flap Plate Type of Vertical Caisson

LIN Wei¹, LIN Peng¹, CHEN Chi-wei¹, LI Da-hong¹, CHEN De-gang¹, YANG Sheng-yao¹,
OUYANG Rong-huan¹, RUAN Tian-ye¹, YANG Hui-bin¹, LIN Jaw-guei²

(1. *College of Marine, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;*

2. *Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University, Keelung 20224, China)*

Abstract: A conception of a new type perforated caisson, i.e. a flap plate type vertical caisson, is proposed. A series of flap plates are installed at the inner side of the rectangular openings of the caisson and the openings at the bottom of the caisson are kept as the drain holes. By interacting between the open and close of the flap-plates and the motions of waves and currents, the flap plates are opened in the action of wave crest and water flows into the caisson. And in the role of wave trough the flap plates are closed by both the outward drained water flow and the weight of the flap plate, and the flow of water is prevented from its original path and forced to discharge through the holes at the bottom of the caisson. In such a mechanism, the reflections induced by the scatter waves can be deducted and the wave dissipation ability of the caisson can be improved. The wave dissipation effect of the new caisson is verified by means of the reflectivity experiments carried out by using a hydraulic model. By setting the reduced scale of the model to 1/36, the reflection coefficients of the flap plates are all smaller than 0.6 for the wave period ranging from 0.8 s to 3.0 s, smaller than 0.4 for the wave period from 1.0~2.8 s, and smaller than 0.2 for the wave period from 1.3~2.5 s. It is shown that this new flap plate type vertical caisson has a very good performance for reducing the long period wave phenomena within the harbor.

Key words: vertical energy dissipation structure; caisson; flap plate; reflection coefficient

Received: June 16, 2017