

波浪与外壁开孔双筒柱群的相互作用¹⁾

李玉成²⁾ 孙 路 滕 斌

(大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 大连 116024)

摘要 应用速度势的特征函数展开和透空壁内两壁间压力差和流体速度成正比的线性模型, 建立了波浪与外壁开孔同轴双筒柱群相互作用的线性解析解. 应用这一模型进行了数值计算, 用以检验孔隙系数对双筒柱上的波浪力和波面高度的影响. 结果表明, 外壁孔隙系数的增加对减小波浪力和柱外波面高度有很大影响.

关键词 波浪绕射, 波浪力, 波面升高, 墩柱群, 开孔结构

中图分类号: TV312 文献标识码: A 文章编号: 0459-1879(2005)02-0141-07

引 言

在海岸及海洋工程中, 有许多结构物是圆柱群组成的. 由于圆柱间的干涉影响, 圆柱的受力与柱表面的波浪爬升与单柱时有很大不同. 为了减小圆柱所受到的波浪力和柱表面的波浪爬升, 将开孔结构应用在圆柱结构上是一种改进其所受水动力作用的优化措施, 人们因此对这个问题进行了大量研究. 在波浪与桩群的相互作用问题上, Spring 和 Monkneyer^[1]应用速度势的特征函数展开, 首次得出多桩柱对势流场绕射问题的解析近似解; Linton 和 Evans^[2]对桩柱周围的速度场做了简化, 得到了墩柱上作用力的简单表达式. 在开孔问题方面, Zhu 和 Chwang^[3]对前壁透空沉箱进行了研究; Yu^[4]研究了半无限长透空防波堤的波浪绕射问题, 并给出开孔壁内流速与其壁两侧间压力差成正比的线性假设; Wang 和 Ren^[5]研究了外筒为均匀开孔的双筒柱问题; Williams 等^[6]研究了上部和下部分别开孔的漂浮直立圆柱的问题; 滕斌等^[7]研究了外壁半开孔的双筒柱问题. 这些均只涉及孤立的双筒柱问题, 双筒柱群问题的理论、数值及物模研究尚未见有报道.

本文建立了波浪对外壁开孔的双筒圆柱群绕射的线性解析解. 透空部分沿环向和水深方向均匀分布. 研究中, 应用了开孔壁内流速与其壁两侧间压力差成正比的线性假设. 圆柱外流域中和内外柱间的速度势展开成特征函数的表达式, 展开系数由内外圆柱表面条件和外壁匹配条件决定. 应用该模型

展开数值计算, 检验了不同孔隙系数对作用在双筒柱上波浪和波面升高的影响. 数值结果表明在一定频率范围内外壁的开孔率和孔隙大小对减小波浪荷载和波面升高有显著影响.

1 控制方程和边界条件

首先考虑波浪与外壁开孔双筒柱群的作用问题. N 个外壁开孔, 内柱密实的双筒柱排列在水中 (如图 1 所示), 开孔外壁半径为 a_p , 内柱半径为 $b_p (p = 1, 2, \dots, N)$. 外壁开孔部分在水深方向均匀分布, 且厚度与波长相比很小, 可以忽略. 采用一个总体坐标系 (o, x, y, z) 和 N 个中心在各圆柱中心的子坐标系, 坐标原点位于静水面上, 且 z 轴垂直

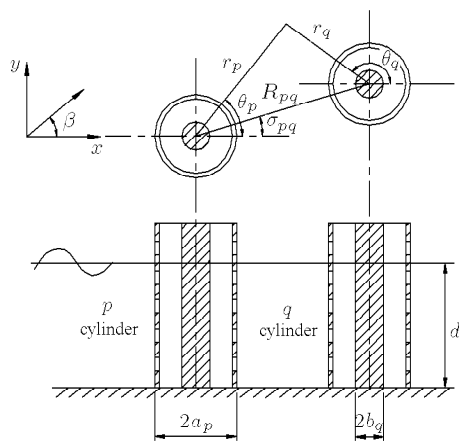


图 1 双筒柱群波浪绕射问题坐标定义图

Fig.1 Definition sketch

2004-01-13 收到第 1 稿, 2004-12-03 收到修改稿.

1) 国家自然科学基金 (50179004) 和交通部港口工程设计规范的修订研究基金资助项目.

2) E-mail: liyuch@dlut.edu.cn

向上. 原点在第 p 个双筒柱中心 (x_p, y_p) 的极坐标系为 (r_p, θ_p) ($p = 1, 2, \dots, N$), 第 q 个双筒柱的中心相对于第 p 个双筒柱来说, 坐标为 (R_{pq}, α_{pq}) ($p, q = 1, 2, \dots, N$).

柱群受到一系列波幅为 A , 频率为 ω , 沿与 x 轴正向成 β 角方向传播的小波幅规则波的作用. 在流域内, 忽略水体黏性并假设流体不可压缩做无旋运动, 速度势可写为

$$\Phi(x, y, z, t) = \text{Re}[\phi(x, y)f(z)e^{-i\omega t}] \quad (1)$$

其中

$$f(z) = -\frac{igA \cosh k(z+d)}{\omega \cosh kd}$$

k 为波数, 满足色散关系 $\omega^2 = gk \tanh kd$.

流域划分为 $N+1$ 个区域: 一个外域和 N 个柱内的区域. 在流域中, 水平分布速度势应满足亥姆霍兹方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \Psi_p(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi_p(x, y)}{\partial y^2} + k^2 \Psi_p(x, y) &= 0 \\ p &= 0, 1, 2, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中 $\Psi_p(x, y) = \phi_1^p(x, y)$ ($p = 1, 2, \dots, N$) 为柱内区域速度势, $\Psi_0(x, y) = \phi_2(x, y)$ 为柱外区域速度势. 速度势还应满足自由水面、海底、柱面及无限远处的边界条件.

在自由水面上, 满足自由水面条件为

$$\frac{\partial \Psi_p}{\partial z} = \frac{\omega^2}{g} \Psi_p, \quad z = 0, \quad p = 0, 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

在水平不透水海床上, 满足条件为

$$\frac{\partial \Psi_p}{\partial z} = 0, \quad z = -d, \quad p = 0, 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

在实体内柱上, 满足

$$\frac{\partial \phi_1^p}{\partial r} = 0, \quad r = b_p, \quad p = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

在外柱上, 满足边界条件和匹配条件

$$\frac{\partial \phi_1^p}{\partial r} = \frac{\partial \phi_2}{\partial r}, \quad r = a_p, \quad p = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$\frac{\partial \phi_1^p}{\partial r} = ikG(\phi_1^p - \phi_2), \quad r = a_p, \quad p = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

式中 g 表示重力加速度, k 为波数, 系数 $G = G_R + iG_I$ 为开孔孔隙影响系数.

2 解析分析

入射势在总体坐标系下可写为

$$\phi_I = e^{ik(x \cos \beta + y \sin \beta)} = e^{ikr \cos(\theta - \beta)} \quad (8)$$

在以第 p 个圆柱轴心为原点的极坐标系下可写为

$$\phi_I^p = I_p e^{ikr_p \cos(\theta_p - \beta)} = I_p \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(kr_p) e^{in(\pi/2 - \theta_p + \beta)} \quad (9)$$

式中 $I_p = e^{ik(x_p \cos \beta + y_p \sin \beta)}$ 表示由桩柱位置引起的相位差, (x_p, y_p) 为桩柱中心在总体坐标系的位置. 对于第 p 个桩柱产生的绕射势在其自身坐标系下可写为

$$\phi_s^p = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^p C_n^p H_n^{(1)}(kr_p) e^{in\theta_p} \quad (10)$$

式中 A_n^p 为待定系数, $C_n^p = J_n'(ka_p)/H_n^{(1)'}(ka_p)$, $H_n^{(1)}(x)$ 为第一类汉克尔函数, a_p 为第 p 个桩柱的外壁半径. 则外域总的速度势可写为

$$\begin{aligned} \phi_2 &= \phi_I + \sum_{p=1}^N \phi_s^p = e^{ikr \cos(\theta - \beta)} + \\ &\sum_{p=1}^N \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^p C_n^p H_n^{(1)}(kr_p) e^{in\theta_p} \end{aligned} \quad (11)$$

对绕射势部分应用 Graf 加法定理, 将第 q 个双筒柱的坐标转化为第 p 个双筒柱上

$$\begin{aligned} H_n^{(1)}(kr_q) e^{in\theta_q} &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} H_{n+m}^{(1)}(kR_{qp}) J_m(kr_p) \cdot \\ &e^{i(m\alpha_{pq} + n\alpha_{qp})} e^{-im\theta_p}, \quad r_p < R_{qp} \end{aligned} \quad (12)$$

对于第 p 个双筒柱, 用 $-m$ 代替 m , 则外域速度势可写为

$$\begin{aligned} \phi_2(r_p, \theta_p) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[I_p J_n(kr_p) e^{in(\pi/2 - \beta)} e^{in\theta_p} + \right. \\ &A_n^p C_n^p H_n^{(1)}(kr_p) e^{in\theta_p} \left. \right] + \\ &\sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^q C_n^q \sum_{m=-\infty}^{\infty} H_{n-m}^{(1)}(kR_{qp}) \cdot \\ &e^{i(n-m)\alpha_{qp}} J_m(kr_p) e^{im\theta_p} \end{aligned} \quad (13)$$

对于第 p 个双筒柱, 柱内区域速度势可写为

$$\phi_1^p(r_p, \theta_p) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} [B_m^p H_m^{(1)}(kr_p) + D_m^p H_m^{(2)}(kr_p)] e^{im\theta_p} \quad (14)$$

B_m^p 和 D_m^p 为待定系数, $H_m^{(1)}(x)$ 和 $H_m^{(2)}(x)$ 分别为第 1 类和第 2 类汉克尔函数. 将式 (14) 代入边界条件式 (5) 中, 可得

$$D_m^p = -B_m^p \frac{H_m^{(1)'}(kb_p)}{H_m^{(2)'}(kb_p)}$$

定义

$$F_m(x) = H_m^{(1)}(x) - \frac{H_m^{(1)'}(kb_p)}{H_m^{(2)'}(kb_p)} H_m^{(2)}(x)$$

则柱内速度势为

$$\phi_1^p(r_p, \theta_p) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} B_m^p F_m(kr_p) e^{im\theta_p} \quad (15)$$

将柱内外速度势表达式代入边界条件式 (6) 中, 整理得

$$\sum_{q=1}^N \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^q C_n^q H_{n-m}^{(1)}(kR_{qp}) e^{i(n-m)\alpha_{qp}} = B_m^p \left[\frac{F_m'(ka_p)}{J_m'(ka_p)} \right] - A_m^p - I_p e^{im(\pi/2-\beta)} \quad (16)$$

将柱内外速度势表达式应用边界匹配条件式 (7), 可得

$$\begin{aligned} B_m^p F_m'(ka_p) = & iG \left\{ B_m^p \left[F_m(ka_p) - \frac{F_m'(ka_p)}{J_m'(ka_p)} J_m(ka_p) \right] + \right. \\ & \left. A_m^p \left[J_m(ka_p) - \frac{J_m'(ka_p)}{H_m^{(1)'}(ka_p)} H_m^{(1)}(ka_p) \right] \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

整理后, 得到关于系数 A_m^p 和 B_m^p 的联立线性方程组

$$\left. \begin{aligned} A_m^p - B_m^p \left[\frac{F_m'(ka_p)}{J_m'(ka_p)} \right] + \sum_{q=1}^N \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^q C_n^q H_{n-m}^{(1)}(kR_{qp}) e^{i(n-m)\alpha_{qp}} = & -I_p e^{im(\pi/2-\beta)} \\ \left[F_m'(ka_p) - \frac{2G}{\pi ka_p J_m'(ka_p)} \left(1 + \frac{H_m^{(1)'}(kb_p)}{H_m^{(2)'}(kb_p)} \right) \right] B_m^p = & -\frac{2G}{\pi ka_p H_m^{(1)'}(ka_p)} A_m^p \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

对各桩柱的速度势均取 $2M+1$ 项近似, 则可得到关于 $2N \times (2M+1)$ 个系数 A_m^p, B_m^p 的 $2N \times (2M+1)$ 个联立方程, 从而求出待定系数 A_m^p 和 B_m^p . 利用式 (16), 外域速度势式 (13) 可简化为

$$\phi_2(r_p, \theta_p) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left\{ A_m^p [C_m^p H_m^{(1)}(kr_p) - J_m(kr_p)] + B_m^p \left[\frac{F_m'(ka_p)}{J_m'(ka_p)} \right] J_m(kr_p) \right\} e^{im\theta_p} \quad (19)$$

在开孔外壁表面上, 应用 Wronskian 关系式并对展开式截断, 可得表达式

$$\begin{aligned} \phi_2(a_p, \theta_p) = & \sum_{m=-M}^M \left\{ B_m^p \left[\frac{F_m'(ka_p)}{J_m'(ka_p)} \right] J_m(ka_p) e^{im\theta_p} \right\} + \\ & \left(\frac{-2i}{\pi ka_p} \right) \sum_{m=-M}^M \frac{A_m^p}{H_m'(ka_p)} e^{im\theta_p} \end{aligned} \quad (20)$$

3 波浪荷载和波面高度

求得速度势之后, 桩柱表面上的波动压力可由伯努利方程计算, 圆柱上的波浪荷载可由壁面上的压力积分得到. 波浪荷载分为作用在内柱上和作用在外柱上的两部分. 在一阶波陡近似下, 内柱上的 x, y 方向波浪力分别为

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} f_{bx}^p \\ f_{by}^p \end{Bmatrix} = & - \begin{Bmatrix} 1 \\ i \end{Bmatrix} \frac{\rho g A \pi b_p \tanh kd}{k} \cdot \\ & \left[B_1^p F_1(kb_p) \begin{Bmatrix} + \\ - \end{Bmatrix} B_{-1}^p F_{-1}(kb_p) \right] \end{aligned} \quad (21)$$

外壁上的作用力分为两部分

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} f_{a+x}^p \\ f_{a+y}^p \end{Bmatrix} = & - \begin{Bmatrix} 1 \\ i \end{Bmatrix} \frac{\rho g A \pi a_p \tanh kd}{k} \cdot \\ & \left\{ B_1^p \left[\frac{F_1'(ka_p)}{J_1'(ka_p)} \right] J_1(ka_p) \begin{Bmatrix} + \\ - \end{Bmatrix} B_{-1}^p \cdot \right. \\ & \left. \left[\frac{F_{-1}'(ka_p)}{J_{-1}'(ka_p)} \right] J_{-1}(ka_p) \right\} - \\ & \begin{Bmatrix} i \\ 1 \end{Bmatrix} \frac{2\rho g A \tanh kd}{k^2 H_1'(ka_p)} \left(A_{-1}^p \begin{Bmatrix} - \\ + \end{Bmatrix} A_1^p \right) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{Bmatrix} f_{a-x}^p \\ f_{a-y}^p \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} 1 \\ i \end{Bmatrix} \frac{\rho g A \pi a_p \tanh kd}{k} \left[B_1^p F_1(ka_p) \begin{Bmatrix} + \\ - \end{Bmatrix} B_{-1}^p F_{-1}(ka_p) \right] \quad (23)$$

其中 f_{a-} 和 f_{a+} 分别表示作用在开孔外壁的内外表面上的力。

总的波浪力为

$$\left. \begin{aligned} f_x^p &= f_{bx}^p - f_{a-x}^p + f_{a+x}^p \\ f_y^p &= f_{by}^p - f_{a-y}^p + f_{a+y}^p \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

利用柱内外速度势表达式, 可求得柱内外波面升高分别为

$$\eta_1 = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n^p F_n(kr_p) e^{in\theta_p} \quad (25)$$

$$\eta_2 = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ A_n^p \left[C_n^p H_n^{(1)}(kr_p) - J_n(kr_p) \right] + B_n^p \left[\frac{F_n'(ka_p)}{J_n'(ka_p)} \right] J_n(kr_p) \right\} e^{in\theta_p} \quad (26)$$

其中 A 为波幅。

4 数值结果

4.1 方法检验

为了检验本方法是否合理, 编制计算程序进行计算并取以下算例与已有结果进行比较。

4.1.1 孤立实体圆柱

图 2 为本方法对作用在孤立实体圆柱上波浪力的计算结果与 MacCamy 和 Fuchs^[8] 计算结果的比较。图中点表示的是本方法的计算结果, 线表示的是 MacCamy 和 Fuchs^[8] 的计算结果。计算相对水深为 $d/a = 1.0$, 波浪力采用 $f/\rho g A a d$ 的无因次化形式, 可以看出两种方法的计算结果完全一致。

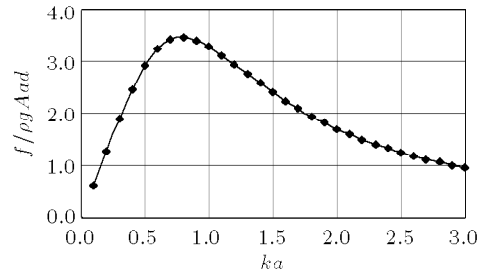


图 2 孤立实体圆柱上波浪力与 MacCamy 和 Fuchs^[8] 结果的比较

Fig.2 The comparison of wave force comparing with the result of MacCamy and Fuchs^[8]

4.1.2 孤立开孔双筒柱

图 3 为本方法对作用在孤立开孔双筒柱上波浪力的计算结果与滕斌等^[7] 计算结果的比较。图中点表示的是本方法的计算结果, 线表示的是滕斌等^[7] 的计算结果。其中相对水深为 $d/a = 1.0$, 内外径之比为 $b/a = 0.5$, 波浪力采用 $f/\rho g A a d$ 的无因次化形式, 可以看出两种方法的计算结果完全符合。

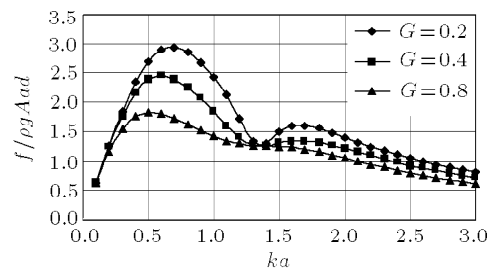


图 3 开孔孤立双筒柱上波浪力与滕斌等^[7] 结果的比较

Fig.3 The comparison of wave force comparing with the result of Teng et al.^[7]

本方法计算孤立开孔圆柱结果与物理模型实验结果的比较见表 1。表中 f 为实际受力, ρ 为密度, g 为重力加速度, a 为圆筒外径, A 为波幅, d 为水深。从表中比值可以看出, 多数的理论值与实验值误差在 10% 左右, 除去实验中误差和系统误差因素的影响外, 可以认为理论模型在力的分析上比较符合实际。(表 1 中 G 值的确定详见参考文献 [9].)

表 1 孤立开孔圆柱物理模型试验与计算结果的比较

Table 1 The wave force comparison between experimental and numerical results on single porous cylinder

	$b/a = 0.5$			$b/a = 0.75$		
wave number k	4.19	3.14	2.51	4.19	3.14	2.51
porous effect factor G	1.276	1.410	1.542+1.975i	1.276	1.410	1.542+1.975i
calculated results ($f/\rho g A a d$)	0.97	1.05	0.82	1.47	1.39	1.28
model test results	0.92	0.89	1.13	1.36	1.39	1.33
ratio	1.05	1.18	0.72	1.08	1.00	0.96

4.1.3 多实体圆柱

图 5 为作用在按方阵排列的 4 个双筒柱中的两个圆柱上波浪力的计算结果与 Linton 和 Evans^[2] 的计算结果的比较. 图中点表示的是本方法的计算结果, 线表示的是 Linton 和 Evans^[2] 的计算结果. 方阵排列如图 4(a) 中所示, 其中相对水深为 $d/a = 2.0$, 入射角度 $\beta = 0^\circ$, 方阵边长与水深之比为 $S/d = 2.0$, 波浪力采用的是圆柱上的波浪力与实体孤立圆柱上受力之比的形式. 可以看出两种方法的计算结果一致.

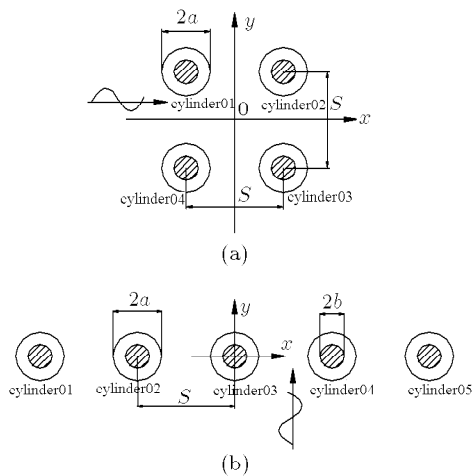


图 4 方阵排列双筒柱和横向排列双筒柱位置定义图

Fig.4 Definition sketches for array of cylinders

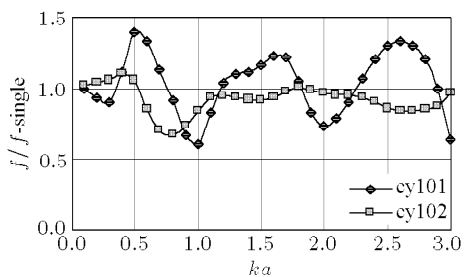


图 5 实体圆柱方阵计算结果与 Linton 和 Evans^[2] 的计算结果的比较

Fig.5 The comparison of wave force comparing with the result of Linton and Evans^[2]

4.2 本文计算的若干开孔双筒柱群结果

4.2.1 阵列

对如图 4(a) 所示排列的双筒柱群进行计算, 计算结果如图 6~ 图 9 所示. 图 6 和图 7 分别为作用在按方阵排列的 4 个双筒柱中的两个圆柱上的力随相对波数 ka 的变化. 其中相对水深为 $d/a = 2.0$, 内外径之比为 $b/a = 0.5$, 入射角度 $\beta = 0^\circ$, 方阵边

长与水深之比为 $S/d = 2.0$, 波浪力采用 $f/\rho g A a d$ 的无因次化形式. 图 8 为 $G = 0.4$ 时不同双筒柱上的力随相对波数 ka 的变化. 波浪力采用的是双筒柱上的波浪力 f 与孤立实体圆柱上受力 f -single 之比的形式. 图 9 为双筒柱迎浪端波浪爬升随相对波数 ka 的变化, 孔隙影响系数 $G = 0.40$. 可以看出波浪力在一定的相对波数下出现峰值, 而后随相对波数的增加而逐渐减小. 由于桩柱之间的干涉影响, 受力与孤立单柱时有所不同, 孔隙影响系数的增加对波浪力的减小有很大作用. 波浪爬升随相对波数变化而波动, 在相对波数 $ka = 1.4$ 时, 迎浪端波高较大.

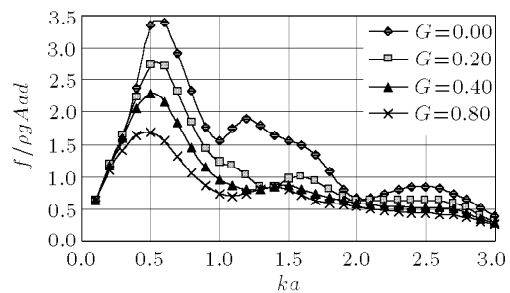


图 6 柱 1 上波浪力随 ka 的变化

Fig.6 Wave force on cylinder 01

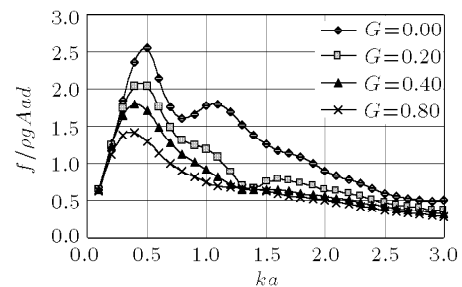


图 7 柱 2 上波浪力随 ka 的变化

Fig.7 Wave force on cylinder 02

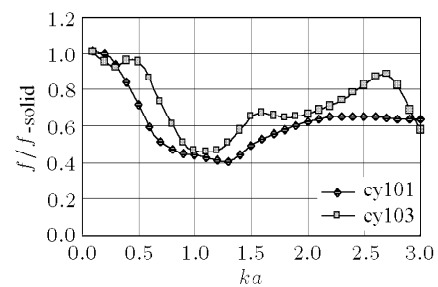
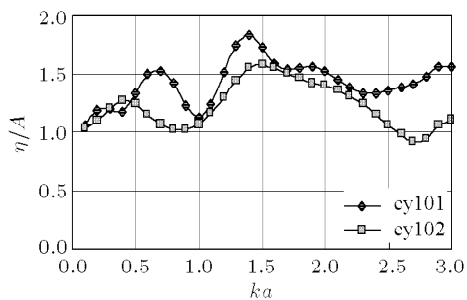


图 8 $G = 0.4$ 时波浪力随 ka 的变化

Fig.8 Wave force for $G = 0.4$

图 9 $G = 0.40$ 时柱外迎浪端波浪爬升随 ka 的变化Fig.9 Wave run-up at the wave-side for $G = 0.4$

4.2.2 横向排列 5 个双筒柱

图 10 为成横向排列的双筒柱群中柱 1 的波浪力随相对波数 ka 的变化情况, 其它各柱受力结果相似. 横向排列结构如图 4(b) 所示, 其中相对水深为 $d/a = 2.0$, 内外径之比为 $b/a = 0.5$, 柱中心距为 $S/a = 4.0$, 入射角 $\beta = 90^\circ$, 波浪力采用 $f/\rho g A a d$ 的无因次化形式. 由图中可以看出对于外壁开孔双筒柱受力, 孔隙影响系数 G 和相对波数 ka 的影响较大. 波浪力在一定的相对波数下出现峰值, 在有些相对波数情况下出现波动, 而后随 ka 的增加而逐渐减小. 孔隙影响系数 G 的增加可以减小结构所受波浪力. 在相对波数 ka 较小即波长较长的情况下, 孔隙影响系数 G 对波浪力的影响较大; 而在相对波数 ka 较大即波长较短的情况下, 孔隙影响系数 G 对波浪力的影响较小, 且各柱受力结果趋于平均.

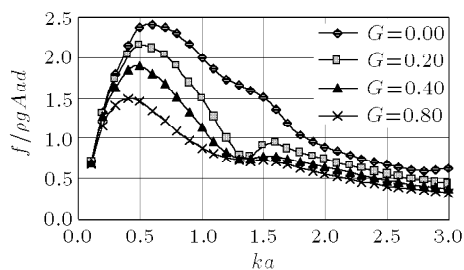
图 10 柱 1 上的波浪力随波数 ka 的变化

Fig.10 Wave force on cylinder 01

5 结 语

本文研究了波浪与开孔外壁双筒柱群相互作用的问题, 应用速度势线性假设, 得到双筒柱内外域速度势的特征函数展开的表达式. 孤立双筒柱及实体柱群为本文方法的特例, 经验证, 符合良好. 在此基础上对波浪与一定形式排列的双筒柱群进行了计算, 计算结果表明双筒柱所受的波浪力和柱外波浪爬升随相对波数 ka 变化, 在一定频率下出现较大值. 孔隙影响系数的增加对减小波浪力和波浪爬升有很大作用.

参 考 文 献

- 1 Spring BH, Monkmeyer PL. Interaction of plane waves with vertical cylinders. In: Proceedings 14th International Coastal Engineering Conference, Copenhagen, Denmark: 1974. 1828~1847
- 2 Linton CM, Evans DV. The interaction of waves with arrays of vertical circular cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 1990, 215: 549~569
- 3 Zhu S, Chwang AT. Performance of a caisson-type porous wave absorber. *Proc of Int Hydrodynamics*, Seoul, 1998, 2: 913~918
- 4 Yu XP. Diffraction of water waves by porous breakwaters. *Jour Wtrwy Port, Coastal and Ocean Engrg, ASCE*, 1995, 121(6): 275~282
- 5 Wang KH, Ren X. Wave interaction with a concentric porous cylinder system. *Ocean Engineering*, 1994, 21: 343~360
- 6 Williams AN, Li W, Wang KH. Water wave interaction with a floating porous cylinder. *Ocean Engineering*, 2000, 27: 1~28
- 7 滕斌, 李玉成, 孙路. 波浪与外壁透空双筒柱的相互作用. 中国工程科学. 2001, 3(10): 41~47 (Teng Bin, Li Yucheng, Sun Lu. Wave interaction with a partial porous double-wall cylinder. *Engineering Science*, 2001, 3(10): 41~47 (in Chinese))
- 8 MacCamy RC, RA Fuchs. Wave forces on piles: a diffraction theory. Tech Mem, 69, US Army Coastal Engineering Research Center, 1954
- 9 Li Yucheng, Sun Lu, Teng Bin. Wave action on double-cylinder structure with perforated outer wall. In: Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE, v 1, 2003. 149~156

WAVE INTERACTION WITH ARRAYS OF COMBINED CYLINDERS WITH AN SOLID INTERIOR COLUMN AND A POROUS EXTERIOR COLUMN¹⁾

Li Yucheng²⁾ Sun Lu Teng Bin

(State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract The interaction of water wave with arrays of combined cylinders with an solid interior column surrounded by a coaxial exterior column with perforated wall at a section in azimuthal direction is investigated theoretically. A semi-analytic linear solution has been acquired based on an eigenfunction expansion of velocity potential and a linear model between the pressure difference between two sides of a perforated wall and the fluid velocity inside it. Numerical experiments have been carried out to examine the influences on the wave force and wave run-up on the arrays of combined cylinders with perforated wall by the porous coefficient. The combined cylinder may reduce both the wave run-up and the wave loads on it through combination of certain parameters. It is found that the porous rate of the exterior wall have a significant influence on the wave run-up and wave loads. For certain parameter combinations, the porous combined cylinder may reduce the wave run-up or wave loads on it.

Key words wave diffraction, wave force, wave run-up, cylinders group, porous cylinders

Received 13 January 2004, revised 3 December 2004.

1) The project supported by the National Natural Science Foundation of China (50179004) and the Foundation for the Development of Design Code of Ministry of Communication.

2) E-mail: liyuch@dlut.edu.cn