

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2020.06.012

波流作用下破波带内污染物输移扩散试验

郁重¹,任春平^{1,2}

(1. 太原理工大学水利科学与工程学院,山西太原 030024;
2. 天津大学水利工程安全与仿真国家重点实验室,天津 300072)

摘要: 利用在破波带内连续采集的污染团图像,研究平直斜坡上规则波斜向入射时破波带内污染物的输移扩散特性。在介绍试验情况以及图像处理方法的基础上,获取污染团的形心点和离散程度,通过追踪形心点在水平二维空间的变化,线形拟合得到污染团在沿岸和垂直岸线方向的输移速度,并分析沿岸方向输移速度与时均沿岸流速最大值的关系;基于高斯扩散理论拟合得到垂直岸线方向扩散系数。利用该方法获得了5种波况下污染团水平方向输移速度、垂直岸线方向的扩散系数,并对其进行分析。结果表明:沿岸方向的污染物输移速度约为时均沿岸流速最大值的33%,垂直岸线方向输移速度及扩散系数分别在 $0.008 \sim 0.030$ m/s 和 $0.16 \times 10^{-3} \sim 2.6 \times 10^{-3}$ m²/s 范围内。

关键词: 破波带; 规则波; 平直斜坡; 坐标校正; 扩散系数

中图分类号: P731.21 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2020)06-0569-08

Experimental study on transport and diffusivity of pollutant under action of waves and currents in surf zone

YU Chong¹, REN Chunping^{1,2}

(1. College of Water Resource Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
2. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on the images of pollution mass continuously collected in the breaking zone, this paper studied the transport and diffusivity of pollutant in the surf zone under the oblique incidence of regular waves on the plane beach. Firstly, the experiment and image processing methods were introduced, and the centroid point and dispersion degree of the pollution mass were obtained. The transport velocity of pollution mass in the longshore direction and the cross-shore direction were obtained by following the change of centroid point in horizontal two-dimensional space and the alignment fitting. Then the relationship between the transport velocity in the longshore direction and the maximum time-averaged current velocity in the long-shore direction were analyzed. The cross-shore diffusion coefficient was estimated by assuming a Gaussian diffusion process in this study, and five horizontal transport velocities of pollution mass and five cross-shore diffusion coefficients were obtained and analyzed. The results show that the alongshore transport velocity of pollution mass is about 33% of the maximum time-averaged current velocity in the long-shore direction, and the transport velocity as well as the diffusion coefficient in the cross-shore direction is respectively within the range of $0.008 \sim 0.03$ m/s and $0.16 \times 10^{-3} \sim 2.6 \times 10^{-3}$ m²/s.

Key words: surf zone; regular wave; plane beach; coordinates correction; diffusion coefficient

基金项目: 水利工程安全与仿真国家重点实验室开放基金(HESS-4406); 中国博士后基金(2013M541179); 太原理工大学校基金(2017MS07)

作者简介: 郁重(1995—),男,硕士研究生,主要从事河口、海岸水动力学研究。E-mail: yuq5325539@163.com

通信作者: 任春平,副教授。E-mail: chunpingren@163.com

引用本文: 郁重,任春平. 波流作用下破波带内污染物输移扩散试验[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 569-576.

YU Chong, REN Chunping. Experimental study on transport and diffusivity of pollutant under action of waves and currents in surf zone [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2020, 48(6): 569-576.

波浪传播到近岸区后由于水深减小,发生浅水变形,引起波高增大,当某点的波高大于该点的最大破碎波高时,该点波浪发生破碎,一般将波浪从开始破碎到静水线的范围称为破波带^[1]。近年来随着沿海经济发展,由于破波带毗邻海岸,导致该区域内沿海企业排污等海洋环境问题愈加严重,同时破波带也是许多生物种群的活动区域^[2]。因此,对破波带内污染物输移扩散特性的研究尤为重要。

破波带内波浪破碎的同时除了水体紊动还会产生平行于海岸的单向水流——沿岸流^[3],因而沿岸流也是破波带内污染物输移扩散的主要研究方面。近半个世纪以来对于破波带内污染物扩散已有诸多研究成果。许多学者利用示踪剂(rhodamine 或其他染料) 来研究破波带内污染物输移规律并测量海岸扩散系数^[4-11]。

Harris 等^[4]、Inman 等^[5]、Clarke 等^[6]通过定点测量示踪剂浓度及 Fick 溶液扩散律拟合等方法得到的破波带内垂直岸线及沿岸方向的污染物扩散系数范围在 $10^{-3} \sim 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$ 范围内。Satoshi 等^[10]利用现场系泊视频系统观测破波带内示踪剂的时空变化来分析污染物的输移扩散特性。Clark 等^[11-12]通过现场试验研究了污染物在破波带内垂直岸线方向上受涡流及剪切波影响的对流特性。Kumar 等^[13]利用物理模型研究了破波带内斯托克斯漂移和瞬时裂流对水体表面污染物输移的影响。

部分学者通过建立数学模型对破波带内污染物输移扩散特性进行探究。Spydell^[14]基于 Boussinesq 模型定量分析了破波带内正常入射波和斜向入射波的扩散系数。Hsu 等^[15]建立了基于浅水和缓坡地形的二维沿岸流模型,分析了近岸地形和湍流效应对破波带内流速场的影响。Spydell 等^[16]通过现场试验建立了假设初始参数的拉格朗日随机模型来估计垂直岸线方向及沿岸方向的扩散系数。孙涛等^[17]用物理模型试验和数学模型计算相结合的方法,研究了均匀缓坡岸滩上,规则波及不规则波作用下形成的沿岸流及其对岸边排放污染物输移扩散的影响。邹志利等^[18]进行了在规则波作用下测量破波带内水平混合系数的物理模型试验,通过在沿岸流场中投放墨水点源测量其扩散过程,并利用水深平均二维扩散方程近似解析解得到了计算混合系数的方法。

上述现场试验由于不可控因素较多,并且大部分扩散过程为点源扩散,进行的试验还不能代表破波带内的情况,因而有必要通过试验对破波带内污染物输移扩散特性做进一步的研究。本文通过物理模型试验及图像分析对破波带内不同波况作用下的污染物输移情况及垂直岸线方向的扩散系数进行分析,着重讨论波浪破碎产生的沿岸流及旋涡导致的污染物输移扩散运动的变化特点,总结变化规律,并估计污染物扩散系数。

1 试验简介

试验在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室的多功能综合水池内进行,水池长 55.0 m、宽 34.0 m、深 1.0 m。海岸模型与造波板成 30° 角放置,以增加海岸线的长度。在水池上下外壁设置了波导墙(内壁处设有消浪网),水流可在外部形成循环(图 1 箭头方向为水流方向),通过模拟可得到真实的沿岸流场。在垂直岸线方向设置 2 列共 32 个电阻式流速仪来测量沿岸流速度,流速仪端部与水底的距离为水深的

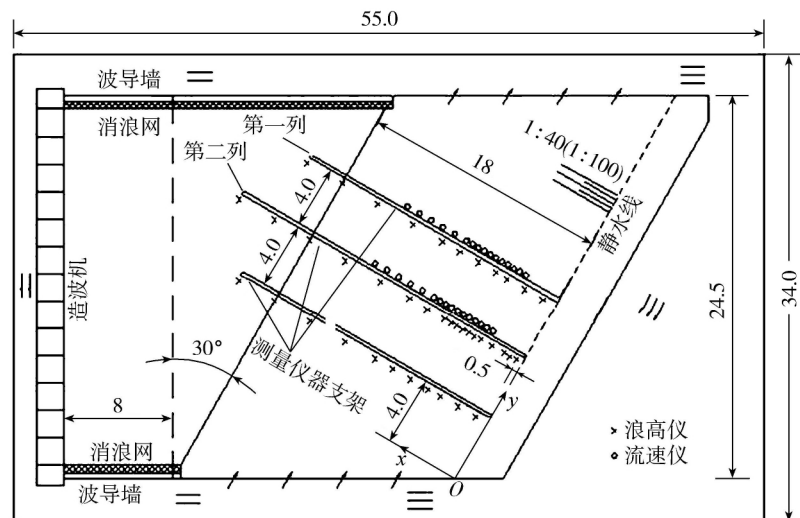


图 1 试验布置(单位: m)

Fig. 1 Experimental setup (units: m)

1/3以测量沿岸流沿水深的平均值。

试验采用 1 : 100 坡度的平直斜坡海岸模型(图 2),入射波浪为多组规则波斜向入射(30°角),针对规则波波高及周期参数不同,试验分为 5 组工况进行,波况参数见表 1。

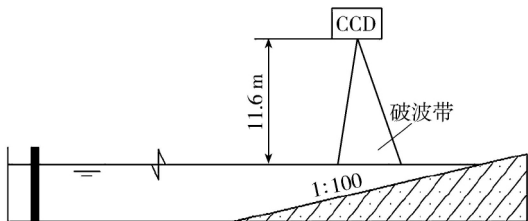


图 2 污染团采集系统示意

Fig.2 Acquisition system of pollution mass

表 1 波况参数

Table 1 Wave parameters

波况	入射波	坡度	波高/cm	周期/s
1	规则波	1 : 100	4.5	1.0
2	规则波	1 : 100	2.7	1.5
3	规则波	1 : 100	4.2	1.5
4	规则波	1 : 100	3.0	2.0
5	规则波	1 : 100	4.5	2.0

试验通过在水体中投放墨水的方法来模拟近岸污染物的运动,选取波浪破碎点为污染物排放点,规则波入射时排放点坐标为(3.0 m, 4.5 m),墨水的排放形式采用连续源排放。试验图像利用摄像装置 CCD 采集,再通过图像采集卡 DT3155 进行转换,形成计算机可以存取的图像文件。图 3 给出了试验中波况 2 拍摄得到的部分墨水运动轨迹,从图 3 中可以看出,墨水随时间的输移变化可以被清晰记录。

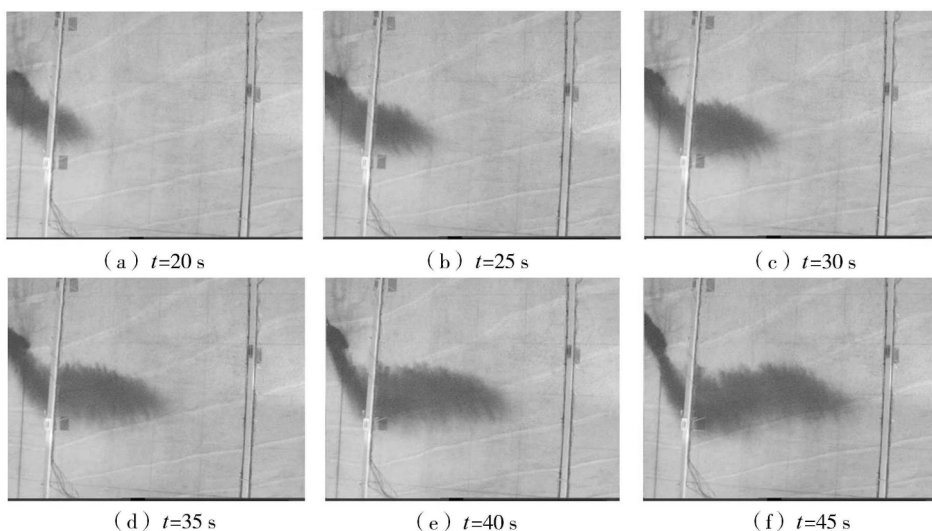


图 3 波况 2 采集的 t=20 s、25 s、30 s、35 s、40 s、45 s 时污染团结果

Fig.3 Measured results of pollution mass for case 2 at t=20 s, 25 s, 30 s, 35 s, 40 s and 45 s

2 图像处理方法

在造波机制造的规则波稳定后连续投入墨水,分别获取不同波况下每秒的墨水团扩散图像,同时取波况 1~5 墨水开始投入时的图像为各个波况的背景图。受到试验场地的限制,在排放点污染物浓度会存在一定的累积效应,因此在开始处理图像时,需要在采集到的每秒图像中减去各波况污染物排放时的背景图像。以下取波况 2 中墨水投入后第 45 s 时的墨水团图像来介绍分析方法。图 4 给出了图像处理流程。

通过 CCD 摄像机获取的图像像素都为 752×576,对应试验场地的物理坐标为 7 m×5 m,图像的像素坐标与物理坐标一一对应。由于墨水团区域需在笛卡尔坐标系中进行分析计算,但试验中采集图像的 CCD 摄像头视点与水体表面存在仰角,需要对上述得到的墨水团区域进行畸变校正。在波况 2 获得的图像中

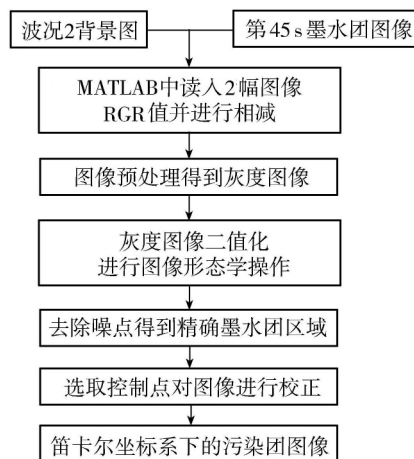


图 4 图像处理流程

Fig.4 Flow chart of image-processing steps

选取 30 组物理坐标及与其对应的 30 组像素坐标作为控制点 (图 5) , 采取从控制点到生成空间变换结构的仿射变换形式作为校正方法对图像进行处理 . 校正后对该图像进行二维空间变换得到图 6 , 即为笛卡尔坐标系下的污染团图像校正结果 .

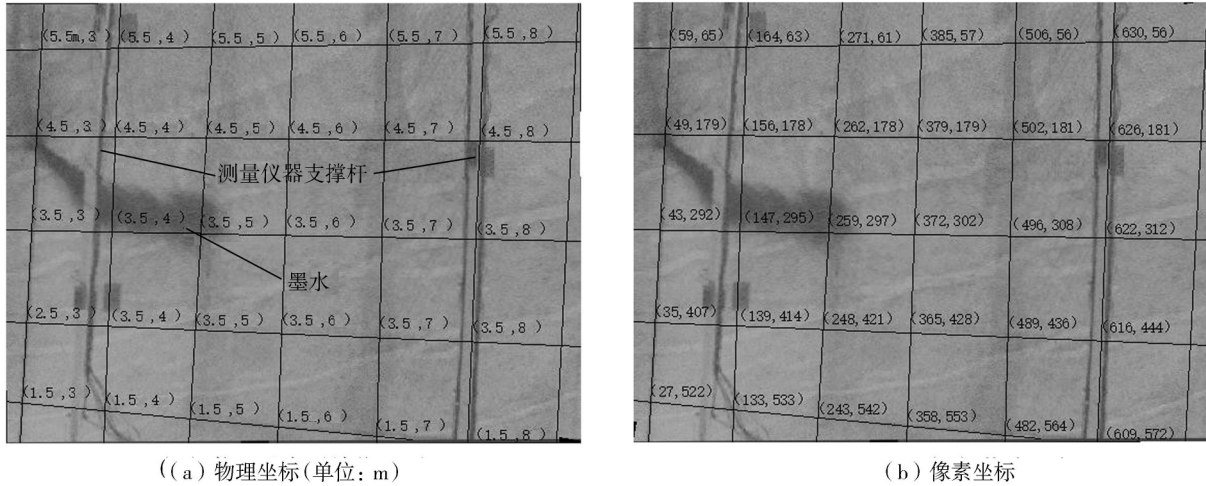


图 5 校正采用的物理和像素坐标
Fig. 5 Physical and image coordinates

3 污染团输移扩散特性

3.1 获取污染团形心点及离散程度

校正后的污染团图中有黑、白、灰 3 种颜色 , 其对应的像素值分别为 0、255、200。定义像素阈值函数 $g(u, v, t)$:

$$g(u, v, t) = \begin{cases} 1 & \text{像素值} \leq 5 \\ 0 & \text{像素值} > 5 \end{cases} \quad (1)$$

式中: u, v ——像素坐标; t ——墨水投入后经过的时间。利用该函数确定污染团范围。

用参数 $X_c(t), Y_c(t)$ 表示某一时刻污染团形心点坐标 , 用 $\sigma_x(t), \sigma_y(t)$ 表示污染团 x, y 方向离散程度 , 具体见图 7。某一时刻污染团形心点坐标 $X_c(t), Y_c(t)$ 的计算公式如下:

$$X_c(t) = \frac{1}{N} \sum xg(u, v, t) \quad (2)$$

$$Y_c(t) = \frac{1}{N} \sum yg(u, v, t) \quad (3)$$

式中: N ——校正后图像内污染团区域像素点个数; x, y ——校正后图像内污染团区域像素点的物理坐标。

污染团在 x, y 方向的离散程度 $\sigma_x(t)$ 和 $\sigma_y(t)$ 用以下公式计算得到:

$$\sigma_x(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum [x - X_c(t)]^2 g(u, v, t)} \quad (4)$$

$$\sigma_y(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum [y - Y_c(t)]^2 g(u, v, t)} \quad (5)$$

3.2 污染团输移速度分析

由于不同波况下污染物输移的速度及方向不同 , 且图像采集范围是固定的 , 故不同波况在该范围内的有效采集时间及图像数量不同。波况 1~5 对应的有效采集时间分别为 38 s、60 s、40 s、36 s 及 38 s。利用上述图像处理方法对采集到的图像进行处理可得到 5 种波况每秒图像的污染团形心点及离散程度 , 图 8 给出了

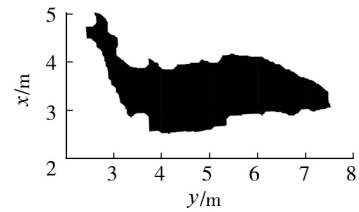


图 6 图像校正后结果 ($t=45$ s)
Fig. 6 Transformed result of image at $t=45$ s

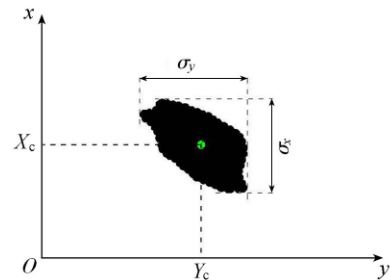


图 7 污染团分布特征参数示意图
Fig. 7 Distribution characteristic and parameters of pollution mass

波况 1~5 污染团形心点随时间在沿岸和垂直岸线方向的位移变化,并对位移与时间的变化进行了线形拟合,进而确定 5 种波况中污染团在 2 个方向上的输移速度。

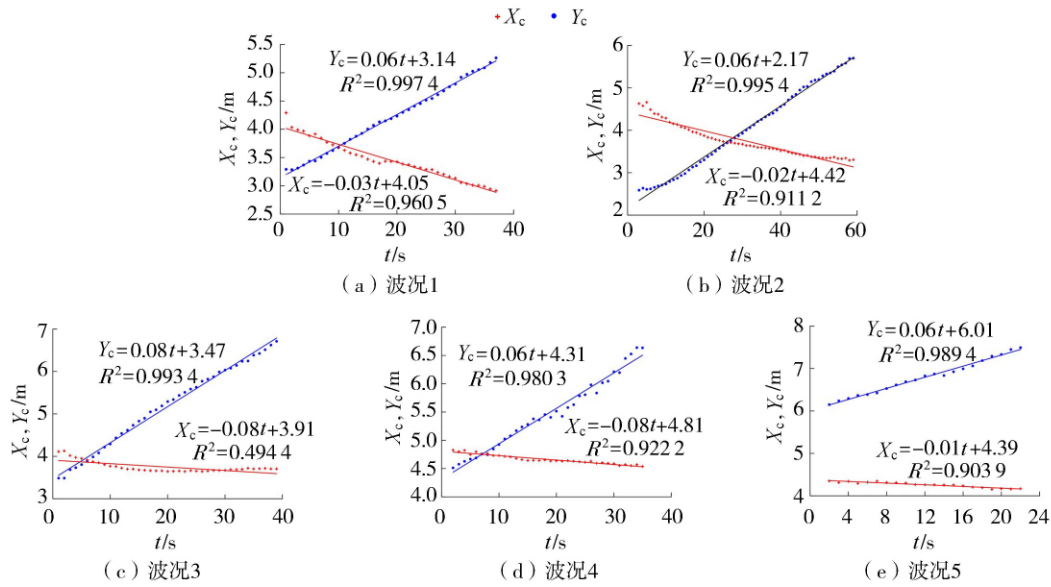


图 8 波况 1~5 污染团形心点在沿岸和垂直岸线方向输移结果
Fig. 8 Transport results of pollution mass centroid in the alongshore direction and the cross-shore direction for Case 1 to Case 5

图 9 给出 5 种波况下污染团分别在垂直岸线方向和沿岸方向的输移速度对比。可以看出在垂直岸线方向上 5 种波况污染团输移速度并不一致,其影响因素可能有以下几种: (a) 波浪在向岸边传播过程中波峰线与海岸线并不平行,接近岸边时深度变浅导致波浪破碎,波浪破碎的同时能量分解引发垂直岸线方向波流紊动从而影响了该方向的输移速度; (b) 由于波浪的非线性使水质点的运动轨迹不封闭而引起的质量输移流,质量输移流表现为水流紊动,由于惯性其方向近似垂直于岸线,并对破波带内物质在垂直岸线方向的输运起主要作用; (c) 在波浪破碎时可能会导致流体产生有旋运动从而影响波浪表面污染团的输移速度。在沿岸方向上 5 种波况污染团的输移速度基本一致,主要原因是该方向水体表面污染物输移的主要影响因素是沿岸流,而波的作用相对可以忽略不计。

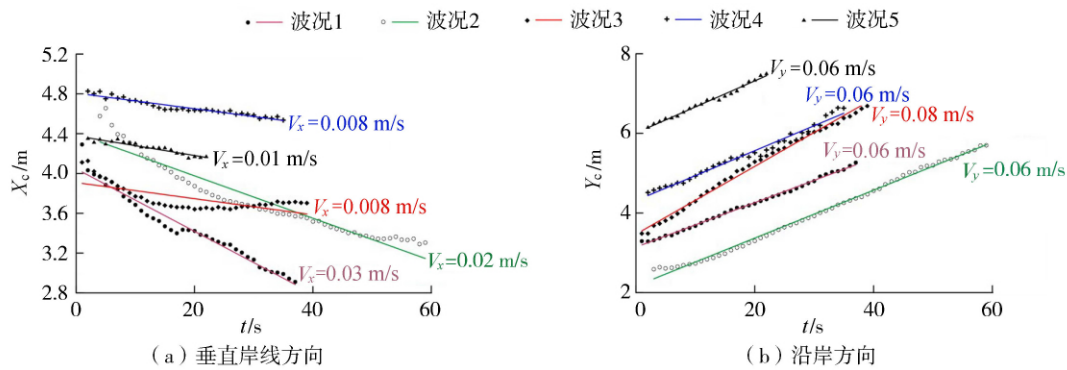


图 9 波况 1~5 垂直岸线方向和沿岸方向输移速度对比
Fig. 9 Comparison of transport velocities in the alongshore and cross-shore directions for Case 1 to Case 5

表 2 给出了 5 种波况下污染团垂直岸线方向和沿岸方向的输移速度的关系与沿岸方向输移速度和时均沿岸流速最大值的关系。比较波况 2 与 3、波况 4 与 5,可以看出在周期一致的情况下,时均沿岸流速最大值随着波高的增大而增大;比较波况 1 与 3、波况 2 与 4,在波高接近的情况下,但时均沿岸流速最大值随周期的增大而减小,由此说明在规则波入射情况下时均沿岸流速最大值随波高增大而增大,随周期增大而减小。不同波况下时均沿岸流速差异明显,但污染团在沿岸方向的输移速度却基本一致,其原因一方面可能是由于沿岸流速沿水深并不是均匀分布的,在规则波入射情况下,波浪沿垂直波峰线方向传播到破波带时破碎程度

不高,水体紊动并不剧烈,各水层间混合不明显,试验中将流速仪置于距床底水深1/3处来测量某点沿岸流速^[19],进行时均后将其作为该点不同水深处的流速平均值,而污染物则主要受到水体表面流速影响发生输移扩散,其大小与时均沿岸流速并不一致,导致污染团沿岸方向的输移速度与时均沿岸流速存在差异;另一方面试验中规则波为斜向入射,波浪破碎的同时在垂直岸线及沿岸方向的分解引发的波流紊动也会影响2个方向上污染团的输移速度。

表2 污染团输移速度与时均沿岸流速的关系

Table 2 Relationship between the transport velocity of pollution mass and time-averaged longshore current velocity

波况	波高/cm	周期/s	沿岸方向输移速度 $V_y/(m \cdot s^{-1})$	垂直岸线方向输移速度 $V_x/(m \cdot s^{-1})$	时均沿岸速度最大值 $V_{max}/(m \cdot s^{-1})$	$\frac{V_x}{V_y}$	$\frac{V_y}{V_{max}}$
1	4.5	1.0	0.060	0.030	0.215	0.500	0.279
2	2.7	1.5	0.060	0.020	0.157	0.333	0.382
3	4.2	1.5	0.080	0.008	0.200	0.100	0.400
4	3.0	2.0	0.060	0.010	0.150	0.167	0.400
5	4.5	2.0	0.060	0.008	0.186	0.133	0.323

破波带内水动力特性异常复杂,在分析沿岸方向污染物输移扩散特性时需将离散及扩散作用的影响区别讨论。由表2中可以看出,各波况垂直岸线方向的输移速度约为沿岸方向输移速度的10%~50%,这是由于污染物在破波带内沿岸方向上不仅有扩散,还存在离散,而且在沿岸方向对流对污染物输移的影响要远大于垂直岸线方向波的影响。沿岸方向的输移速度约为时均沿岸速度最大值的27.9%~40%,并且变化幅度不大,说明在沿岸方向对流作用是波浪表面污染物输移的主要动力因素。

通过上述分析可以发现规则波情况下沿岸方向的污染物输移速度基本在时均沿岸速度最大值的33%左右,该估计值可以在实际应用中作为参考,如果能够建立时均沿岸流与沿岸方向物质输移速度的关系,对于近岸污染物预报、保护、排污设施选址等都有积极的意义。

3.3 垂直岸线方向扩散系数的确定

对于由波浪引起的扩散,由于沿岸流速沿水深不是均匀分布的,存在离散现象,即沿岸扩散系数中包括离散系数,故分析难度比较大。但本文研究的是浅水问题(这时水平速度沿水深近似均匀分布),垂直岸线方向离散作用较小,所以可以忽略波浪破碎引起的离散。

沿岸流垂直岸线方向扩散系数的确定一直是一个难题。本文通过假设垂直岸线方向的墨水扩散为一个高斯扩散过程,参考 Satoshi 等^[10]分析得到的扩散系数估计值定义(式(6)),将污染物在一定浓度下通过高斯分布拟合得到的 $\sigma_{xa}(t)$ 与本文得到的污染团离散程度数据比较,结果如图10所示。

$$\sigma_{xa}(t) = \frac{1}{3} \left[-4 K_x t \log \left(\frac{C}{C_0} \sqrt{4\pi K_x t} \right) \right] \quad (6)$$

式中: $\sigma_{xa}(t)$ ——垂直岸线方向利用高斯分布拟合得到的离散程度; K_x ——垂直岸线方向的扩散系数估计值; C_0 ——污染物初始浓度; C ——某一时刻污染物浓度。

污染团边界浓度 C 在输移过程中与初始值浓度 C_0 的比值不断降低,图10给定的浓度比 $C/C_0=0.05$,该浓度对应的 K_x 变化最符合试验结果^[20]。通过高斯扩散分布拟合5种波况的标准偏差得到 $\sigma_{xa}(t)$,从而计算得到波况1~5垂直岸线方向的扩散系数估计值分别为 $2.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 及 $0.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 。由波况2与波况4、波况3与波况5可以看出,在波高接近情况下,周期由1.5s变为2s,对应的扩散系数则都相应减小,该结果同 Bowen 等^[21]提出 $K_x \propto H_b Y_b / T$ (其中 H_b 为该点水深, Y_b 为破波带宽度)中的扩散系数与波周期成反比相一致。

Satoshi 等^[10]在日本 Hasaki 海岸沿岸流场中进行污染物扩散

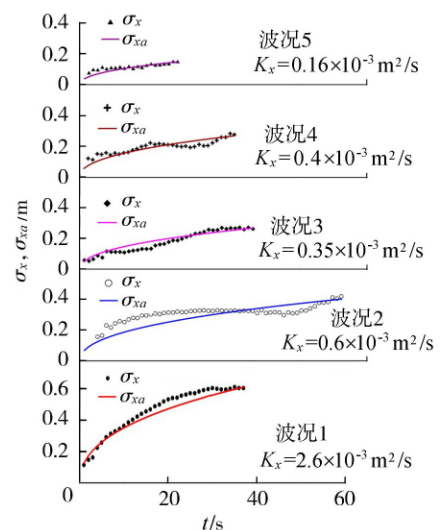


图10 波况1~5垂直岸线方向扩散系数的估计($C/C_0=0.05$)

Fig. 10 Estimation of diffusion coefficients in the cross-shore direction for Case 1 to Case 5 ($C/C_0=0.05$)

试验,得到浓度分别为0.1%、0.5%、1.0%时,对应的垂直岸线方向的扩散系数 K_x 依次为 $0.01\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.017\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.025\text{ m}^2/\text{s}$ 。本文得到的扩散系数要比现场试验结果小1~2个量级,出现这种差异是有一定必然性的。这是因为,一方面二者空间尺度与水体掺混强度存在较大差异;另一方面野外非规则波与室内规则波的动力差异及近岸流场的易变性也明显不同,如现场试验中污染物扩散要受不平整地形的约束及海岸风应力的影响等,且现场近岸区域入射波都是多向不规则波(本文为单向规则波入射)。本文考虑将模型试验数据按照弗劳德相似准则换算成原型后进行量值比较分析。试验模型采用波高为3~5 cm,而实际工程中入射波波高为3~5 m,比例关系约为1:100,考虑到试验模型的比尺效应,将扩散系数按比尺放大后各波况的结果为 $0.26\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.06\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.035\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.04\text{ m}^2/\text{s}$ 及 $0.016\text{ m}^2/\text{s}$,与Satoshi等^[10]现场试验的结果基本在同一量级范围内,故将本文试验结果进行比尺放大后可对实际工程中近岸污染物的监测及预报进行相应的研究指导。

4 结 论

a. 破波带内波流同时存在,由于沿岸流的作用,破波带内污染物主要在沿岸方向扩散。沿岸方向对流作用是水体表面污染物扩散的主要动力因素,规则波斜向入射情况下,沿岸方向的污染物输移速度约为时均沿岸速度最大值的33%。

b. 通过对污染团形心点坐标及离散程度的时空变化进行拟合,得到破波带内垂直岸线方向输移速度在 $0.008\sim 0.03\text{ m/s}$ 范围内,相对应的垂直岸线方向的扩散系数在 $0.16\times 10^{-3}\sim 2.6\times 10^{-3}\text{ m}^2/\text{s}$ 范围内。

c. 本文研究得到的结果比现场试验结果小1~2个量级,考虑物理模型的比尺效应,将试验模型波况要素数据换算成原型后进行量值比较,得到的结果与在日本Hasaki海岸的沿岸流场中的污染物扩散试验结果基本在同一量级范围内,故可将本文试验结果作为实际工程中近岸污染物监测、预报及控制等方面的研究参考。

参考文献:

- [1] 邹志利. 海岸动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] MORGAN S G, SHANKS A L, MACMAHAN J H, et al. Planktonic subsidies to surf-zone and intertidal communities [J]. *Annual Review of Marine Science*, 2018, 10(1): 345-369.
- [3] 季海嘉, 任春平, 蒋利君. 规则波致剪切波的时空变化[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(1): 51-57. (JI Haijia, REN Chunping, JIANG Lijun. Temporal and spatial variations of shear waves under regular waves [J]. *Journal of Hohai University(Natural Sciences)*, 2016, 44(1): 51-57 (in Chinese))
- [4] HARRIS T F, JORDAAN J M, MCMURRAY W R, et al. Mixing in the surf zone [J]. *Air & Water Pollution*, 1963, 7(1): 649.
- [5] INMAN D L, TAIT R J, NORDSTROM C E. Mixing in the surf zone [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76(15): 3493-3514.
- [6] CLARKE L B, ACKERMAN D, LARGIER J. Dye dispersion in the surf zone: measurement and simple models [J]. *Continental Shelf Research*, 2007, 27: 650-669.
- [7] CLARK D B, LENAIN L, FEDDERSEN F, et al. Aerial imaging of fluorescent dye in the near shore [J]. *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology*, 2014, 31(6): 1410-1421.
- [8] HALLY-ROSENDAHL K, FEDDERSEN F, CLARK D B, et al. Surfzone to inner-shelf exchange estimated from dye tracer balances [J]. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2015, 120(9): 6289-6308.
- [9] RODRIGUEZ A, SÁNCHEZ-ARCILLA A, REDONDO J M, et al. Pollutant dispersion in the nearshore region: modeling and measurements [J]. *Water Science and Technology*, 1995, 32(9/10): 169-178.
- [10] SATOSHI T, SHOICHIRO M, TAKASHI N. Dye diffusion experiment in a longshore current field [J]. *Coastal Engineering Journal*, 2003, 45(3): 471-487.
- [11] CLARK D B, FEDDERSEN F, GUZA R T. Cross-shore surfzone tracer dispersion in an alongshore current [J]. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2010, 115(C10): 1876-1890.
- [12] CLARK D B, ELGAR S, RAUBENHEIMER B. Vorticity generation by short-crested wave breaking [J]. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(24): L24604-1-L24604-6.
- [13] KUMAR N, FEDDERSEN F. The effect of stokes drift and transient rip currents on the inner shelf (Part II): with stratification

- [J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2017, 47(1): 243-260.
- [14] SPYDELL M S. The suppression of surfzone cross-shore mixing by alongshore currents: surfzone mixing and suppression [J]. *Geophysical Research Letters*, 2016, 43(18): 070626.
- [15] HSU C E, HSIAO S C, HSU J T. Parametric analyses of wave-induced nearshore current system [J]. *Journal of Coastal Research*, 2017, 33(4): 795-801.
- [16] SPYDELL M S, FEDDERSEN F. A lagrangian stochastic model of surf zone drifter dispersion [J]. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2012, 117(C3): 007701.
- [17] 孙涛, 陶建华. 波浪作用下渤海湾近岸海域污染物的输移扩散规律 [J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(2): 110-119. (SUN Tao, TAO Jianhua. The study of pollutant transport on the action of waves in the near-shore area of Bohai Bay [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(2): 110-119. (in Chinese))
- [18] 邹志利, 李亮, 孙鹤泉, 等. 沿岸流中混合系数的试验研究 [J]. *海洋学报*, 2009, 31(3): 137-148. (ZOU Zhili, LI Liang, SUN Hequan, et al. Experimental study on the depth-averaged mixing coefficient in longshore currents [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(3): 137-148 (in Chinese))
- [19] 任春平. 沿岸流不稳定运动的实验研究及理论分析 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [20] 沈良朵. 缓坡沿岸流不稳定性特征研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- [21] BOWEN A J, INMAN D L. Nearshore mixing due to waves and wave induced currents [R]. [s.l.]: [s.n.], 1974.

(收稿日期: 2019-06-12 编辑: 张志琴)

• 简讯 •

教育部高等学校水利类专业教学指导委员会第四次全体会议召开

2020年11月22日,教育部高等学校水利类专业教学指导委员会(以下简称教指委)第四次全体会议召开。水利教指委主任委员、河海大学校长徐辉教授,副主任委员、清华大学水利系学术委员会主任金峰教授,副主任委员、河北工程大学副校长练继建教授,副主任委员、武汉大学原常务副校长谈广鸣教授,副主任委员、三峡大学党委书记李建林教授,副主任委员、水利部人才资源开发中心陈楚主任及委员代表出席会议。教育部高教司理工处徐源主任出席会议。会议由水利教指委秘书长、河海大学副校长董增川主持。

教育部高教司理工处徐源主任在讲话中对水利教指委两年来围绕水利专业内涵建设所开展的一系列工作给予了充分肯定,他围绕“四新”建设简要介绍了教育部高教司2020年以来主要工作和近期工作安排,就专业布局、专业认证、一流专业建设等方面谈了对水利专业的认识,最后他重申了教育部领导对教指委工作的纪律要求。

水利教指委主任委员、河海大学校长徐辉做工作报告,传达了2020年高等学校教学指导委员会工作会议精神,围绕着健全组织体系、强化制度建设、推进“双万”计划、开展品牌活动等方面汇报了水利教指委2019年工作开展情况,并从一流专业遴选推荐、一流专业认证标准预研、一流课程建设指南研究、实践体系构建等方面部署了下一阶段的重点工作。

会上还讨论了水利教指委重点工作分工方案、水利行业高等教育“十四五”规划教材建设方案,围绕重构办学理念、创新教育模式、打造示范项目、整合教育资源、提升教师能力等方面进行了深入研讨,并形成了共识,为下一阶段教指委工作开展明确了方向。

(本刊编辑部供稿)