

热带风暴过程中珊瑚礁坪示踪砂运移的 现场实验研究^{*}

刘新安 崔金瑞 王文海 杨玉娣

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266003)

提要 1995年10月在小东海珊瑚礁海岸的礁坪上进行示踪砂运移的现场实验。本次实验对浪、流以及示踪砂采样作了同步观测。根据所获的实验数据,分析了在9516号热带风暴天气过程礁坪上示踪砂运移的基本规律。在一级近似下,测定并计算了泥沙在波生流作用下的漂移速度与流速比因子为0.002,混合深度小于2cm。这一结果与其它已往结果相比明显小得多。通过现场比较,作者认为引起此差异的原因为:1)示踪砂的投放远离波浪破碎带,破碎波的影响很小,因此引起泥沙运移的动力条件比已往沙质海滩的示踪砂为弱;2)珊瑚礁海岸的糙率较砂质海滩大。

关键词 珊瑚礁坪 示踪砂 现场实验

学科分类号 P736.4

示踪砂是进行泥沙运移现场观测的一种重要手段。采用示踪砂来研究海滩的泥沙运动最早可追溯到50年代末(Inman *et al.*, 1959);70年代初,Komar等(1970)曾尝试利用示踪砂定量观测泥沙的输运率。中国南部沿海,特别是海南岛南部珊瑚礁海岸分布广泛。因此,进行珊瑚礁海岸示踪砂运移的现场实验研究,对该种类型海滩的资源保护利用和开发均有重大意义。笔者于1995年10月在三亚小东海珊瑚礁海岸的珊瑚礁坪上进行了示踪砂的现场实验研究工作。作为该研究成果的一部分,本文旨在通过现场观测分析珊瑚礁坪上的示踪砂的运移特征,研究泥沙运动与动力要素(波生流)的响应关系,测定泥沙的漂移速度及混合深度。

1 示踪砂现场实验的观测

1.1 现场实验的背景

现场实验于三亚市小东海海滩的珊瑚礁坪上进行。该海岸的一个特点是海滩的前沿存在一较平坦的珊瑚礁坪。实验所选的珊瑚礁坪分布在小东海沿岸的南侧,礁坪台的宽度为50—250m,坡降为0.3%—1%,其高程为-0.5—-1.0m,因此礁坪在低潮时裸露出水面。礁坪的外缘即为坡降比为2.5%—4%的陡坡,与深水区相连接。当深水波浪在向岸传播过程中,波浪在礁坪外缘破碎,形成一段较强的波生流。而越过外缘传至礁坪上的波浪相对很小。因此,在海滩及礁坪上引起泥沙运动的主要动力因素应是波生流。

^{*} 国家自然科学基金资助项目,49606071号;国家海洋局青年基金资助项目,95205号;华东师范大学河口海岸动力沉积和动力地貌综合国家重点实验室开放基金资助项目,SKLEC-9504号。刘新安,男,出生于1964年12月,硕士,副研究员,Fax:0086-0532-2879562

收稿日期:1997-08-05,收修改稿日期:1998-09-20

在实验区内岸线附近的海滩主要以粒径较粗的生物碎屑(珊瑚碎屑和残体为主)组成,约占海滩砂的90%。礁坪的表层覆盖着薄层珊瑚砂砾(由暴风浪作用形成的珊瑚礁碎片)以及少量石英砂,中值粒径为 $-0.49-0.05\phi$,即 $0.95-1.40\text{mm}$,较一般的沙质海滩的粒径($0.25-0.5\text{mm}$)要粗。另外,在整个礁坪台上分布着很多较大的珊瑚砾石。上述的物质组成决定了礁坪台的糙度比沙质海滩大。

1.2 实验的设计与数据的观测

本次实验的数据是在1995年10月11—17日观测得到的,在此期间第9516号热带风暴直接影响本区。由于本次实验重点考虑礁坪上的泥沙与波生流的响应关系,因此测流点及示踪砂投放点均远离礁坪的外缘(约150m),从而使其避免受礁坪外缘处波浪破碎的直接影响。

用949浮式测波仪进行深水波浪的观测,测波浮球的位置位于礁坪外缘的深水区(图1),测点的海图水深为16m,观测间隔为3h一次,每次连续记录20min,共9段记录。

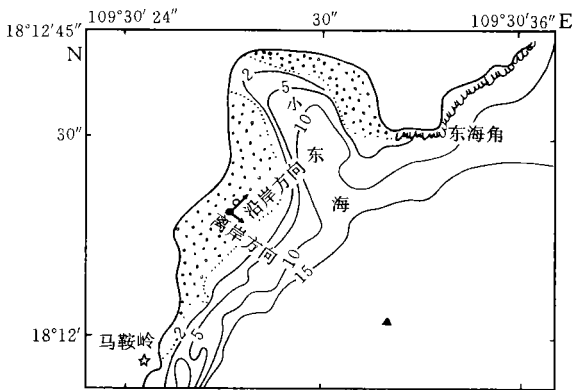


图1 小东海研究区观测站位及示踪砂投放点(水流单位:m)

Fig.1 Stations for hydrodynamic measurements and the location of tracer release for the field experiment at Xiaodonghai (bathymetry in metres)

○测流点; ▲949测波浮球; ●示踪砂

运移的距离而定,即保证取样点以外的抽查点上的泥沙样基本不含示踪砂。本次实验沿示踪砂运移的主方向取5条剖面,剖面的间距为1.5m,剖面上取样点间距为2m。表层样的采集是在采样点 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的范围取1cm厚度的泥沙做样品。柱状样的采集是将 $7\text{cm} \times 7\text{cm}$ 见方周围的沙移开,然后自上而下分层取样,样品的垂直间隔为1cm。所取样品先用淡水洗净、晾干、称重,然后用作室内粒度分析,用2mm的筛筛选,2mm以下细粒在显微镜下判别计数,大于2mm的砾石在紫光灯下鉴别并计算每100g样品的示踪砂的颗粒数。

2 实验结果的分析

2.1 9516号热带风暴作用下小东海区的波浪

9516号热带风暴自1995年10月11日下午4时起至12日下午4时止影响小东海海区并

海流的观测采用智能式海流计SLC9-2型进行。于大风天气过程期间(10月12日)在礁坪上(图1)连续观测2h,采样间隔为15s,共获取374个流速、流向数据。为便于比较,在9月5日无大风天气下,在同一点进行流速、流向的观测。

本次实验选取当地的海滩沙作为示踪载体,根据已知的配方和流程(王文海,1994),用流明根蓝色、流明根黄色和流明根红色三种染料把实验用砂染成三种颜色作为示踪砂。示踪砂在9516号热带风暴到达本地区的前一天(10月11日)投放在离岸50m距离的礁坪上。砂样每天采集一次,取样点的空间分布是以覆盖示踪砂扩散的整个范围为前提,根据泥沙运动的方向、

表1 9516号热带风暴过程小东海的波浪统计报表(共9段记录)

Tab.1 Statistical values of wind waves at Xiaodonghai during No. 9516 tropical storm

观测日期 (月.日)	时间	波型	H_{\max}	T_{\max}	$H_{1/10}$	$T_{1/10}$	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	\bar{H}	\bar{T}
10.11	16:55	F/U	1.85	5.6	1.32	5.4	1.09	5.6	0.75	4.8
	19:55	F/U	2.48	7.3	2.03	5.8	1.65	6.1	1.09	5.0
	22:55	F/U	3.44	9.8	2.10	7.2	1.72	6.3	1.13	5.3
10.12	01:55	F/U	3.28	8.6	2.42	8.1	1.84	6.2	1.21	5.1
	04:55	F/U	3.39	9.6	2.54	7.8	2.12	6.4	1.42	5.4
	07:55	F/U	2.12	8.2	2.32	6.9	1.93	6.1	1.30	5.2
	10:55	F/U	2.80	7.5	1.98	7.2	1.62	6.8	1.37	5.1
	13:55	U/F	2.63	7.7	1.92	6.8	1.58	6.2	1.06	5.6
	16:55	U/F	2.12	6.9	1.73	6.9	1.52	6.1	0.97	5.7

产生较大的波浪。对9段波浪资料进行分析,结果见表1。从表1可知,本过程的最大波高为3.44m。十分之一大波一般出现在2.00—2.54m之间,平均波高的变化范围为0.75—1.42m,平均周期为4.8—5.4s。

2.2 大风天气过程礁坪上海流的运动特征

对10月12日9516号热带风暴作用下礁坪上的海流资料(图2a、b)进行分析表明:此时间内流速的变化范围一般为15—60cm/s,平均流速为35.9cm/s,远远大于相应时刻的潮流的流速(9月7日测得的平均流速为9cm/s),其中流速值在20—49cm/s之间的占94.12%。大于50cm/s和小于20cm/s的流速所占比例很小。流向的变化范围为336—112°N,平均流向为47.6°N,其中NNE—ENE向占80.48%。

从上述观测数据可以看出,大风天气过程中礁坪上的流速和流向均比较稳定,礁坪上的流速值明显较潮流流速大,而主流向为单一方向,这与沙质海滩上形成的往复流向有着明显的不同。产生上述现象的主要原因是波浪在礁坪的外缘破碎后产生较强的波生向岸流,受地形的影响其在近岸处变成沿岸流,其流向基本与岸线平行。关于由深水波浪计算该地区的波生流的讨论将另文给出。

2.3 大风天气过程礁坪上示踪砂的运动特征

10月13号、15号和17号的观测分析结果(图3a、b、c)表明,在9516号热带风暴作用下礁坪上泥沙的运移具有如下的特

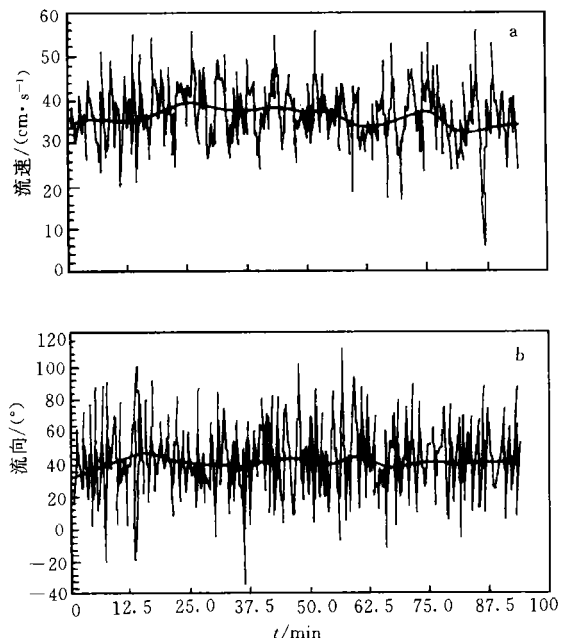


图2 9516号热带风暴作用下礁坪上海流的流速、流向变化过程曲线

Fig.2 Time series of the current on the coral reef platform during No. 9516 tropical storm

征: 1) 在风暴对本地区作用最强烈的 12 日, 示踪砂移动的最为显著, 其中心移动距离每天不足 2m; 2) 从泥沙的运移方向来分析, 泥沙扩散的主方向与岸线成 60° 的交角, 即指示泥沙向岸与沿岸输沙量约为 1:1.7, 而泥沙在其他方向的扩散数量不大, 这表现在示踪砂的峰值一直出现在一条剖面上; 3) 示踪砂漂移的空间分布出现不同的峰值(图 3a、c 分别有一个峰值, 图 3b 出现两个峰值)。这是由于泥沙的扩散是以群体形式进行而引起的。在 9516 号热带风暴期间, 不同粒径的示踪砂在强流的作用下均有所移动, 这反映在 13 日观测的结果中(图 3a), 示踪砂漂移的空间分布仅有一个峰值。当海水流速变小时, 粗粒的泥沙难以起动, 泥沙的移动以细粒为主, 开始分选, 从而可看到形成两个峰值(图 3b)。之后细粒物质扩散较远, 以粗粒物质为主重新形成只有一个峰值的情况(图 3c)。

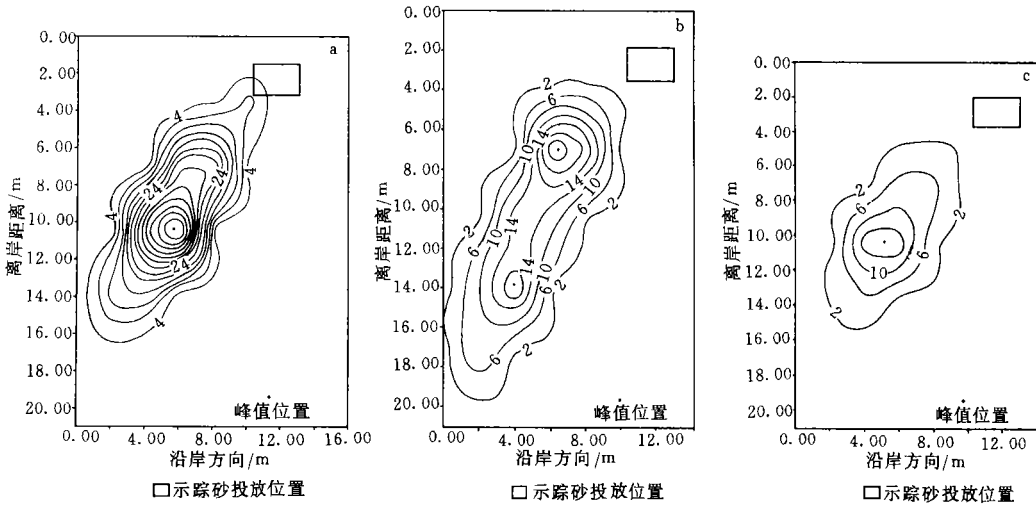


图3 示踪砂扩散分布(颗/g, 图中方框为示踪砂位置)

Fig.3 Patterns of tracer sand dispersion

a为1995.10.13; b为1995.10.15; c为1995.10.17

3 泥沙漂移速度和混合深度的测定

3.1 示踪砂漂移速度

示踪砂漂移速度是按照示踪砂的中心移动速度来定义的, 即

$$V^a = L / t_0 \tag{1}$$

其中 L 表示示踪砂的中心移动距离, t_0 为示踪物投放与采样时间的有效间隔。示踪砂中心移动距离的定义和计算与测量的设计方案和方法有关, Kraus等(1982)对空间积分法(SIM)和时间积分法(TLM)分别提出了考虑采样时间和空间间隔的示踪砂中心漂移的计算公式。在本文, 由于示踪砂的采样是在礁坪干出后定点进行, 因此, 每次(日)取样, 对其中心漂移距离采用如下的计算公式

$$\bar{X} = \frac{\sum_i X_i \left(\sum_j N_{i,j} \right) \Delta_x}{\sum_{i,j} N_{i,j} \Delta_x}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_j Y_j \left(\sum_i N_{i,j} \right) \Delta_y}{\sum_{i,j} N_{i,j} \Delta_y} \quad (2)$$

其中 X_i, Y_i 分别为第 i, j 采样网格点在沿岸和垂直海岸方向与投入点的距离, $N_{i,j}$ 为 i, j 网格点上的颗粒数。则中心漂移距离为: $L = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2}$; 中心漂移方向为: $\theta = \arctg(\bar{X} / \bar{Y})$ 。

在一级近似下, 假定示踪砂的漂移速度与礁坪上的流速成线性比例关系, 即

$$V^a = \alpha V \quad (3)$$

其中 V 为波生流的流速, α 为一系数。对这一系数, 利用 10 月 13 日的观测结果进行粗略的计算, 测得示踪砂的中心漂移距离为 $L = 10.3\text{m}$, 礁坪上的流速平均值为 $V = 0.359\text{m/s}$, 考虑高潮位时海滩的时间和泥沙的起动速度, 取有效的时间间隔为 4h, 则系数 α 粗算值为

$$\alpha = 0.002 \quad (4)$$

在沙质海岸, Komar(1978) 利用在太平洋沿岸进行的 12 次示踪砂实验获得式 (3) 中的系数 α 的平均值为 0.008 1; Kato (1984) 在日本沿岸示踪砂实验测定的该系数为 0.01; Kraus 等 (1982) 测定的系数为 0.014 等等。本文观测结果 [(4) 式] 与上述系数值相比明显要小得多。将本文的实验现场与上述作者的观测现场比较存在如下的不同: 1) 前述沙质海滩上示踪砂的投放多位于破波带附近, 因此, 影响示踪砂移动的主要动力因素是破碎波及其波生流, 与本文单纯考虑波生流的作用相比, 其动力作用明显复杂和强烈得多; 2) 与沙质海滩相比, 珊瑚礁海岸的海滩砂的组成是以粗沙为主, 且礁坪面平滑的程度亦较沙质海滩差。因此, 其颗粒糙率和形态糙率均比较大, 从而影响了泥沙的推移输运。当然, 滩面糙率对泥沙漂移输运影响的实验数据的观测尚需进一步开展。

3.2 混合深度

在现场实验的 10cm 高的沙柱分析结果为: 在每 100g 样品中, 表层 1cm 的样品含示踪砂 1 400 粒, 第二层仅含 100 粒, 第三层以下的样品中未发现示踪物。这一结果说明, 混合深度小于 2cm。

4 小结

利用在小东海海滩的示踪砂实验的系统观测数据, 分析了大风天气过程珊瑚礁海岸这一特殊类型海滩及礁坪上的动力要素以及泥沙的运动特征。现场实验数据分析结果表明, 引起海滩以及礁坪上泥沙运动的主要动力因素是波生流。

在大风天气过程, 研究海岸的示踪砂的移动较为强烈。相反, 在正常天气下泥沙的运移速度比较缓慢, 示踪砂的扩散是以群体形式来进行的且扩散的方向比较集中, 其峰值处在一条剖面上。

另外, 还在一级近似下, 测定并计算了该海岸类型泥沙在波生流的作用下的漂移速度与海水流速比因子为 0.002, 混合深度小于 2cm。这一结果与其他已往结果相比明显要小得多。究其原因: 1) 示踪砂的投放远离破波带, 破碎波的影响很小, 因此引起泥沙运移的动力条件比已往沙质海滩的示踪砂为弱; 2) 珊瑚礁海岸的糙率较砂质海滩的大。

参 考 文 献

- 王文海, 1994. 蓬莱西庄海滩示踪砂实验研究. 黄渤海海洋, 12(1): 19—26
- Horikawa K, 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Processes. University of Tokyo Press, 433—439
- Inman D L, Chamberlain T K, 1959. Tracing sand movement with irradiated quarts. J Geophys Res, 64:41—47
- Inman D I, Zampol J A, White T E *et al.*, 1980. Field Measurement of Sand Motion in the Surf Zone. Proc 17th Coastal Eng Conf. ASCE, 1 213—1 234
- Kato K, Tanaka N, Konto T *et al.*, 1985. Field observation of local sand movement in the surf zone using fluorescent sand tracer (second report). Report Port and Harbour Res Inst, 24(4)3—63
- Komar P D, 1978. Relative quantities of suspension versus bed-load transport on beach. J Sedim Petrol, 48(3): 921—932
- Komar P D, Inman D L, 1970. Longshore sand transport on beaches. J Geophys Res, 75:5 914—5 927
- Kraus N C, Isobe M, Igarashi H *et al.*, 1982. Field experiments on longshore sand transport in the surf zone. Proc 18th Coastal Eng Conf. ASCE, 969—988

A FIELD EXPERIMENT OF TRACER SAND MOVEMENT ON CORAL REEF COAST DURING A TROPICAL STORM

LIU Xin-an, CUI Jin-rui, WANG Wen-hai, YANG Yu-di

(First Institute of Oceanology, State Oceanic Administration, Qingdao, 266003)

Abstract A field experiment of tracer sand movement on the coral reef coast of Xiaodonghai was carried out in October 1995 during the No. 9516 tropical storm. In this experiment, the wave conditions, the wave-induced currents and the tracer sand dispersion were observed simultaneously. Based on the data obtained in this experiment, some preliminary characteristics of sand motion on coral reef platform are identified in this paper. At first approximation, the rating factor between the advection speed of sand motion and the current velocity under the wave-induced current is 0.002 and the depth of mixing is less than 2cm. These values are much smaller than the previous results which have been observed on sand beaches elsewhere. Such differences are caused by: 1) the position for tracer releasing on the coral reef platform in this experiment is far away from wave breaking zone and the effect of breaking wave is much less significant than that in previous field measurements; and 2) the bed roughness on the coral reef coast in this experiment is larger than that on the sand beach for previous studies.

Key words Coral reef platform Tracer sand Field experiment

Subject classification number P736.4