

研究简报

连云港海峡西口外淤泥海滩演变的 随机模拟

唐寅德 张勇 虞志英 陈德昌

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海, 200062)

本文试用统计学方法对淤泥海滩演变进行随机模拟, 研究区域位于江苏连云港海峡西口外淤泥海滩。

一、方差分析

近年来, 随着连云港港口的大规模扩建, 需要处理开挖及疏浚泥土日增。例如, 自1983年起, 邻近连云港海峡西口的大路口吹泥站每年向海中排放180—350万 m^3 的疏浚泥土; 1986年伊始, 又在西口外海滩外缘处倾抛工程废泥土。这种泥沙条件的改变对海滩冲淤演变的响应程度, 即由方差分析判断^[1]。

1. 模型的建立

(1) 资料来源 考虑到实际海滩冲淤变幅及其资料的系列性, 取连云港海峡西口外海滩3条(I, II, III)固定断面1982—1987年的水深检测数据, 水深取值的固定点位如图1所示。

(2) 因素选择 选取时间(以不同泥土吹抛量的年份表示)作为因素A, 取值点的原始水深为因素B, 距泥源(大路口吹泥站)距离为因素C。各因素的水平数如表1所示。

表1 因素的水平数

Tab. 1 Level numbers of factors

因素	水 平 数						总数
	1	2	3	4	5	6	
A(a)	1982	1983	1984	1985	1986	1987	6
B(m)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0		5
C(km)	5.10	3.90	2.70				3

三因素方差分析的模型为:

收稿日期: 1989年1月20日。

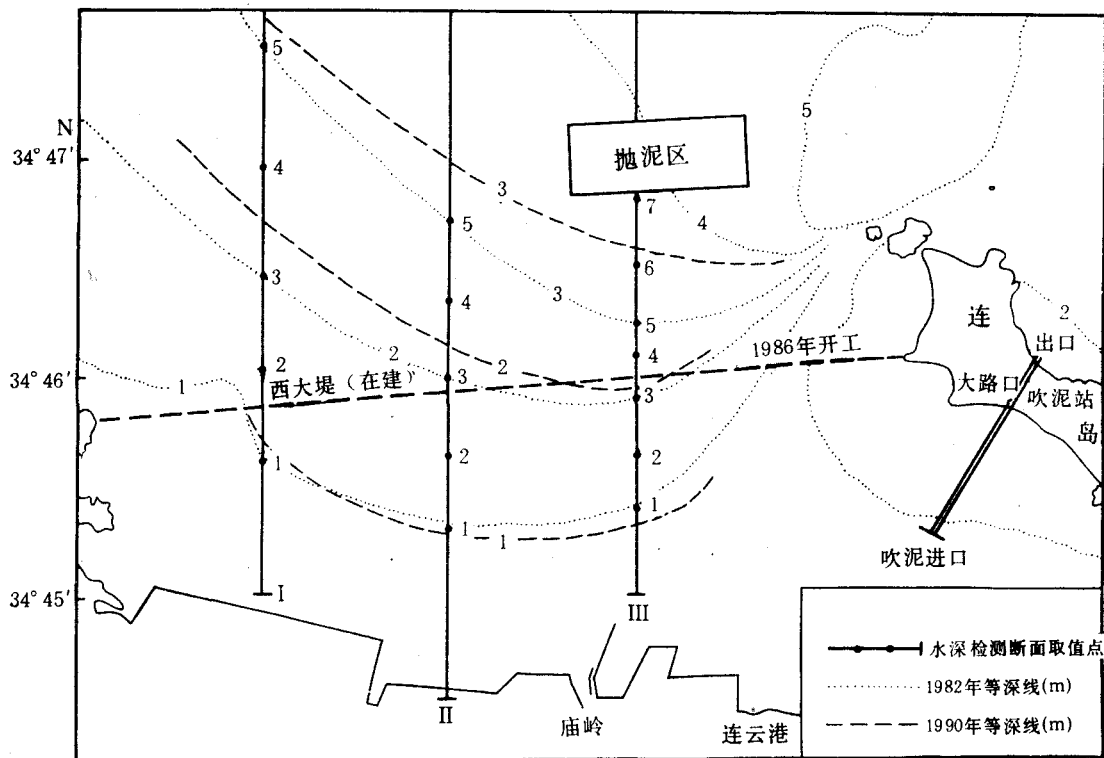


图1 连云港海峡西口外海滩断面点位图
Fig. 1 Sampling transects in the western muddy beach of Lianyung Strait

$$\begin{cases} Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk} \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i = 0, \sum_{j=1}^n \beta_j = 0, \sum_{k=1}^q \gamma_k = 0 & \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, q \end{matrix} \\ \varepsilon_{ijk}, i, j, k; \varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \quad (1)$$

式中, Y_{ijk} 为海滩冲淤值; μ 为一般平均值; α_i , β_j 和 γ_k 分别为因素 A, B, C 的第 i, j 和 k 个水平的效应; ε_{ijk} 为随机误差。模型的水平数分别为 $m = 6, n = 5, q = 3$ 。

该模型要检验的假设有:

$$\begin{aligned} H_{01}: \alpha_i &= 0, & i &= 1, 2, \dots, 6 \\ H_{02}: \beta_j &= 0, & j &= 1, 2, \dots, 5 \\ H_{03}: \gamma_k &= 0, & k &= 1, 2, 3. \end{aligned}$$

(3) 计算结果 分析模型(1)式的求解计算结果列于表 2。

在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下, 对各因素进行显著性检验, 得:

$$\begin{aligned} F_{\alpha=0.05}(5, 40) &= 2.45 < F_A = 31.3661 \\ F_{\alpha=0.05}(4, 40) &= 2.61 > F_B = 0.3214 \\ F_{\alpha=0.05}(2, 40) &= 3.20 < F_C = 3.8036 \end{aligned}$$

据此, 以 0.95 的概率保证, 拒绝原假设 H_{01} 和 H_{03} , 接受 H_{02} 。

表 2 方差分析结果

Tab. 2 Results of avariance analyzing

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	临界值
A	1.756 6	5	0.351 3	31.366 1	$F_{0.05} = 2.45$
B	0.014 3	4	0.003 6	0.321 4	$F_{0.05} = 2.61$
C	0.085 2	2	0.042 6	3.803 6	$F_{0.05} = 3.2$
误差	0.449 2	40	0.011 2		
总和	2.305 2	89			

2. 结果与讨论

显著性检验结果表明, 原假设 H_{01} 被拒绝, 这意味着该海滩冲淤的年际变化差异显著。从原始海滩剖面图的比较中亦能看出这一现象(图 2)。表 3 给出了邻近连云港海峽西口外废泥土吹抛量及吹抛作业期。无疑, 它们的变化影响着基滩冲淤。

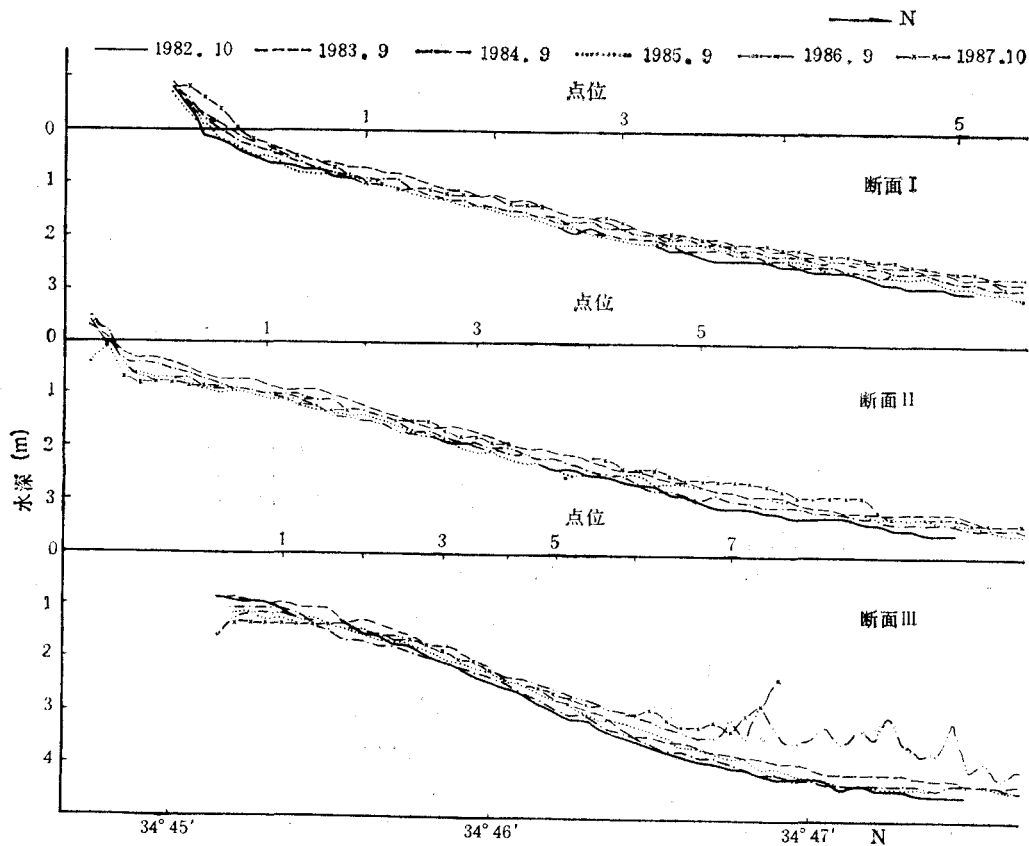


图 2 实测海滩剖面变化图

Fig. 2 Measured change of beach profile

接受原假设 H_{02} , 亦就是说, 在不排斥局部海滩尚有冲淤的情况下, 总体来看, 海滩的不同水深部位之间的冲淤变化差异并不显著。显然, 西口外海滩接受吹抛泥土的沉积, 其泥沙的输移形式和落淤多半是潮流作用下的悬移质运动, 而这种过程与吹抛泥土的力

表 3 邻近连云港西口外废泥土吹抛量及作业期

Tab. 3 Quantity and duration of dredging in the western beach of Lianyung Strait

年 份	1983	1984	1985	1986	1987
废泥土吹抛量 (m^3)	1 879 266	1 856 760	1 700 222	3 271 462	3 210 000
作业期 (月)	3—9	3—9	3—10	2—11	1—12

学性质是一致的^[3]。

从拒绝原假设 H_{03} 来看, 距泥源不同距离的三条断面之间的冲淤存在着差异。这个结论定性地说明了吹抛泥土对西口外不同海滩的冲淤影响存在着一定的差异。

综上所述可知: (1) 邻近连云港海峡西口外的废泥土吹抛对西口外海滩的冲淤影响, 表现为吹抛泥土量的年际变化和距泥源距离的差异, 亦即原假设 H_{01} 和 H_{03} 被拒绝, 其中由于 H_{01} 的差异显著性较 H_{03} 高, 因此, 前者为主要影响因素, 后者为次要影响因素。(2) 吹抛泥土对海滩演变影响虽不十分强烈, 但已经使原在自然状态下的局部冲刷之势发生了变化, 局部地区的淤积已较明显(图 2)。

二、门限自回归模型

运用时间序列分析-分段非线性的门限自回归 (TAR) 模型^[2], 对连云港海峡西口外淤泥海滩剖面上各点的水深值 (系列) 进行拟合, 建立以门限值即临界水深值加以分段判别的水深预测方程, 进行海滩演变趋势的预测。

1. 模型的建立

(1) 资料来源 1983 年 7 月—1987 年 5 月间, 在西口外海滩连续进行了 24 次定期断面水深检测。将海滩断面上任一点的水深检测值 x_1, x_2, \dots, x_{24} 构成一时间序列, 记为 $\{x_t\}$ 。确定该海滩三条断面不同水深的 17 个代表点位, 建立它们各自的模型。

(2) 分析模型 设 $\{x_t, t = 1, 2, \dots\}$ 为一海滩点的水深时间序列, 若 d 是正整数, r 是实数, 则 $\{x_t\}$ 可表示为:

$$x_t = \begin{cases} a_0^{(1)} + \sum_{i=1}^{p_1} a_i^{(1)} x_{t-i} + \varepsilon_t^{(1)} & \text{当 } x_{t-d} \leq r \\ a_0^{(2)} + \sum_{i=1}^{p_2} a_i^{(2)} x_{t-i} + \varepsilon_t^{(2)} & \text{当 } x_{t-d} > r \end{cases} \quad (2)$$

式中, p_1 和 p_2 是正整数, 分别为模型第一、二分段的 水深时间序列长度; $a_0^{(j)}$ 是海滩水深变化的下限值, 为常数项; $a_i^{(j)}$ 是海滩水深的自回归系数, 它们的 $i = 1, 2, \dots, p_j, j = 1, 2$ 是常数; $\{x_{t-i}\}$ 是 x_t 减 x_i 时的实际海滩水深值; $\{\varepsilon_t^{(j)}\}$ 是包括水深测量和由动力随机现象造成水深随机变化等所有误差的总和, 均值为零, 方差为 $\sigma_{\varepsilon_t^{(j)}}^2$ 的白噪声 ($j = 1, 2$), 且 $\{\varepsilon_t^{(1)}\}$ 和 $\{\varepsilon_t^{(2)}\}$ 是相互独立的。

那么 $\{x_t\}$ 就称海滩水深门限自回归模型, r 是门限值, d 是延迟参数, p_1 和 p_2 分别为模型的第一、二分段的阶数, 以 $TAR(2, p_1 p_2)$ 表示该模型。

表 4 各点海滩水深

Tab. 4 Parameters of the threshold auto-regressive

项目	断								
	I					II			
点位	1	2	3	4	5	1	2 ^①	3	
原始水深 (m)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	1.0	1.5	2.0	
d	1	1	1	2	2	2	1	1	
r (m)	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	1	0.15	1.8	
p_1	a_0	0.519 1	-0.526 3	0.433 3	3.115 9	3.652 6	0.563 1	0.059 3	2.525 0
	a_1	0.441 2	0.310 8	0.857 1	0.135 8	-0.316 7	0.061 0	0.613 7	1.095 4
	a_2		0.128 4		-0.467 1	0.742 8	-0.274 1		-1.733 8
	a_3		0.166 0		0.016 8	-0.255 6	0.121 7		-0.322 7
	a_4		0.765 3		-0.545 3	-0.434 1	0.527 1		0.710 6
	a_5		0.084 1		0.546 0				
	a_6		0.227 4						
	a_7		-0.321 3						
p_2	a_0	1.288 3	0.526 3	0.749 2	1.483 6	1.465 4	4.383 3	0.348 3	0.330 6
	a_1	-0.328 6	1.539 9	0.817 9	0.360 7	0.458 9	-1.258 3	-1.148 3	0.802 6
	a_2		-0.715 3	0.362 2			-0.416 7		
	a_3		0.920 1	-0.618 8			-0.833 3		
	a_4		-0.890 7				-0.758 3		
	a_5		1.284 7						
	a_6		-1.204 8						
	a_7		-0.321 3						
均方误差	0.099 2	0.006 4	0.071 3	0.094 4	0.091 3	0.074 5	0.104 9	0.067 4	
最大误差	0.283 8	0.014 0	0.161 2	0.261 5	0.303 9	0.192 7	0.209 2	0.164 2	

① 模型预测需作对数还原。

(3) 计算结果 对三条断面 17 个海滩点水深时间序列数值分别以(2)式进行求解计算,获得了各点海滩水深门限自回归方程的参数(表 4)。它们的数学方程表达式,以断面 III 7 点为例可表示为:

门限自回归方程参数

equation at places with different water depths

		面						
		III						
4	5	1	2	3	4	5	6	7
2.5	3.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1	2	1	2	1	1	1	1	1
2.3	2.7	1.1	1.57	2	2.4	2.8	3.4	3.9
-0.965 6	1.373 8	-6.109 1	0.839 1	1.887 7	1.684 4	1.765 6	-0.562 2	-0.397 4
-0.741 2	0.398 2	-0.600 7	0.032 8	0.460 1	1.692 5	0.388 9	0.204 6	1.351 8
1.108 8	-0.696 5	1.343 1	0.648 7	-0.422 8	-0.605 8		-0.213 9	-0.757 7
0.988 2	0.906 4	1.335 3	0.043 3		-0.691 6		0.662 2	0.527 4
	-0.156 7	1.453 9	-0.166 1				0.075 2	
		1.165 2	0.438 5				0.430 7	
		2.042 9	-0.474 7					
1.094 3	4.388 9	1.542 0	-3.135 8	7.500 0	0.174 8	2.255 4	-11.185 4	-5.707 6
0.758 0	-0.575 2	-0.153 6	0.882 2	-1.999 9	-0.022 5	-0.810 4	2.241 9	1.593 2
0.050 0			1.240 1	-0.666 7	-0.200 5	-0.069 2	0.403 2	0.178 0
-0.288 8			0.215 4		0.228 2	0.142 2	-0.154 4	0.016 9
			0.241 9		0.265 1	0.117 2	1.274 2	-1.161 0
			0.455 9		0.645 0	0.833 0	0.403 2	1.762 7
			-0.124 4					
0.077 7	0.107 6	0.049 2	0.014 1	0.102 4	0.066 6	0.080 0	0.047 5	0.176 1
0.262 6	0.264 1	0.142 4	0.033 5	0.245 0	0.133 8	0.154 4	0.128 6	0.514 0

$$x_t = \begin{cases} -0.397 4 + 1.351 8x_{t-1} - 0.757 7x_{t-2} + 0.527 4x_{t-3}, & x_{t-1} \leq 3.9 \\ -5.707 6 + 1.593 2x_{t-1} + 0.178 0x_{t-2} + 0.016 9x_{t-3} \\ \quad - 1.161 0x_{t-4} + 1.762 7x_{t-5}, & x_{t-1} > 3.9 \end{cases}$$

其他各点海滩水深门限自回归方程式可以相仿形式表达。

2. 方程的检验

上述各点海滩水深门限自回归方程,分别模拟了各海滩地点水深变化的时间过程。若方程的拟合误差很小,说明所建立的方程具有较高的可信度,这时就可进行未来海滩水深值的预测。

从表 4 可知,各个方程的均方拟合误差大多小于 0.1m, 仅断面 III 7 点的拟合误差达 0.176 1m, 它们均具有可靠的水深复演拟合精度。经预测值分别与 1987 年 7 月、9 月、11

表 5 预测误差统计表

Tab. 5 Statistical error of prediction

原始水深 (m)	点 位	断 面											
		I				II				III			
		实测值 (m)	预测值 (m)	相对 误差 (%)	平均相 对误差 (%)	实测值 (m)	预测值 (m)	相对 误差 (%)	平均相 对误差 (%)	实测值 (m)	预测值 (m)	相对 误差 (%)	平均相 对误差 (%)
1.0	1	0.9	0.982	9.11	14.25	0.95	1.071	12.74	6.28	1.35	1.339	0.81	2.15
		0.95	0.965	1.58		1.05	1.049	0.10		1.30	1.336	2.77	
		0.9	0.971	7.89		1.1	0.973	11.55		1.33	1.336	0.45	
		0.7	0.969	38.43		1.1	1.092	0.73		1.4	1.336	4.57	
1.5	2	1.4	1.346	3.86	8.66	1.35	1.346	0.30	1.85	1.55	1.610	3.87	5.33
		1.3	1.362	4.77		1.35	1.376	1.93		1.5	1.707	13.80	
		1.2	1.360	13.33		1.33	1.394	4.81		1.53	1.576	3.01	
		1.2	1.352	12.67		1.4	1.405	0.36		1.6	1.590	0.63	
2.0	3	1.8	1.758	2.33	7.84	1.8	1.799	0.06	7.46	2.0	1.962	1.90	5.26
		1.75	1.940	10.86		1.8	2.060	14.44		2.0	1.945	2.75	
		1.7	1.840	8.14		1.19	1.984	10.84		2.07	1.953	5.65	
		1.7	1.869	9.94		1.84	1.923	4.51		2.2	1.964	10.73	
2.5	4	2.2	2.331	5.95	7.92	2.15	2.278	5.95	7.97	2.45	2.452	0.08	2.43
		2.2	2.458	11.73		2.2	1.980	10.0		2.45	2.490	1.63	
		2.2	2.370	7.73		2.2	2.198	0.09		2.47	2.443	1.09	
		2.2	2.338	6.27		2.2	1.852	15.82		2.6	2.420	6.92	
3.0	5	2.75	2.718	1.16	1.60	2.5	2.519	0.76	3.01	2.75	2.842	3.35	3.59
		2.7	2.712	0.44		2.55	2.564	0.55		2.75	2.838	3.20	
		2.67	2.710	1.50		2.62	2.525	3.63		2.73	2.865	4.95	
		2.8	2.708	3.29		2.67	2.481	7.08		2.8	2.880	2.86	
3.5	6									3.15	3.192	1.33	7.36
										3.0	3.267	8.90	
										2.9	3.192	10.07	
										2.9	3.165	9.14	
4.0	7									2.9	3.048	5.10	12.73
										2.7	3.062	13.41	
										2.73	3.104	13.70	
										2.6	3.086	18.69	

月和 1988 年 1 月 4 次水深实测值逐点预测效果的统计(表 5)表明,用各个方程预测未来海滩水深值,其平均相对误差均小于 15%,一般仅在 5—8%。由此可见,这些预测方程均具有较高的精度。

三、海滩冲淤变化趋势预测

根据上述预测方程对海滩水深预测,从图 1,3 得知,若邻近连云港海峡西口外的废泥土吹抛量仍维持目前的水平,那么西口外海滩除原始水深 1 米处的部位将逐渐趋于微弱冲刷外,其余大部分的淤泥海滩将会产生较为明显的淤积现象,其中以地处泥源最近的 III 断面淤积现象尤为突出,因此该区域的海滩坡度将会逐渐趋于平缓。究其原因,一方

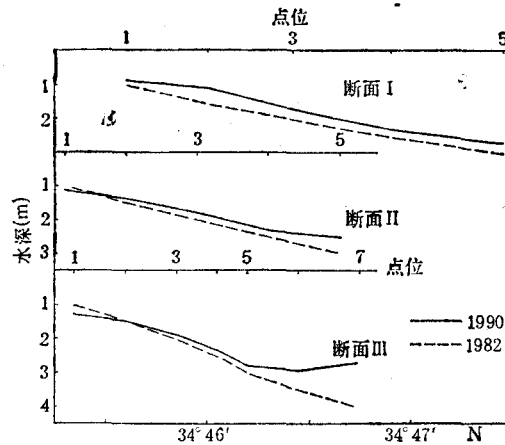


图 3 海滩剖面变化趋势图

Fig. 3 The trend of beach process

面是因离泥源距离的不等,使不同地点的海滩淤积强度出现明显差异;另一方面由于连云港海峡西口外堵海大堤的建筑和吹抛泥土的本身落淤,造成海滩过水断面缩狭,原淤积弱处的水流速度就随通过水量的增加而增大,使过境泥沙落淤的水平降低,并逐渐向冲刷趋势发展,直至西大堤合拢。予以指出,上述解释尚有待作进一步的动力机理分析与论证。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院数学研究所统计组编,1977。方差分析。科学出版社,183—189 页。
- [2] Tong, H., 1983. Threshold models in nonlinear time series analysis, Lecture notes in statistics, 21, New York, Springer Verlag.
- [3] Yu, Z. Y., Tang, Y. D., Zhang, Y. et al., 1990. Impact of dredged material disposal on environment of muddy coast. *China Ocean. Engin.* 4(3): 359—369.

STOCHASTIC MODELING OF WESTERN MUDDY BEACH PROCESS IN LIANYUN STRAIT

Tang Yinde, Zhang Yong, Yu Zhiying and Chen Dechang

(East China Normal University, Shanghai, 200062)

ABSTRACT

The nonlinear time series analysis method is used in this paper to simulate the muddy beach process (1982—1987) in Lianyungang harbour, Jiangsu Province. Through the variance analysis, the influence on the beach process of dumping dredged materials is estimated. The result shows that annual change of dump amount was the first main factor and the distance was the second main factor for the erosion and siltation of that beach. Furthermore, the threshold auto-regressive model of the muddy beach process is established. The prediction of the beach evolution is that, except for the beach part of 1 meter water depth which will undergo a slight erosive process, this beach tends to be in an accumulative process.