

# 弧形海岸中间过渡带海滩剖面的地貌动态分析\*

陈子葵 李春初

(中山大学地理系, 广州)

收稿日期: 1989年4月1日

关键词 弧形海岸, 海滩剖面, 地貌动态

**提要** 本文根据海滩剖面实测数据, 结合海滩物质组成、波浪观测和地貌特征等, 应用R型因子分析、功率谱分析与交叉谱分析等方法分析了粤西水东弧形海湾中间过渡地带海滩剖面的地貌动态。

海滩剖面始终和波浪特征紧密联系。以Aubrey为代表的一些研究人员利用定位观测的剖面数据, 应用经验正交函数把大量的重复测量数据分解成时间函数和空间函数两部分, 定量地描述了剖面空间变化的主要类型和这些空间类型的时间变化特征, 为海滩剖面的理论研究提供了较好的方法<sup>[5-10]</sup>。

华南多砂质弧形海岸, 弧形岸滩一般可分为开敞切线段、隐蔽曲线段和连接二者过渡段。过渡带海滩兼具切线段和曲线段的特征以及多变的复杂性而成为独立研究的内容。深入研究该地带海滩剖面的地貌动力过程与海滩运动性(时间变化特征)对于海岸防护、海港建设等具有一定的参考价值, 对于进一步全面认识弧形岸滩地貌结构、泥沙转换特点及其控制因素也有重要意义。为此, 作者选择粤西水东弧形海湾过渡带海滩为研究对象, 对海滩剖面地貌动态特征作专题讨论。

## I. 研究区概况

研究区位于粤西水东弧形海湾。海岸由砂坝-潟湖-潮汐通道体系构成, 巨大的落潮三角

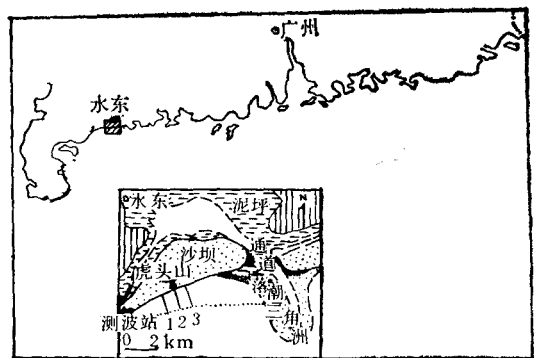


图1 水东湾地形和剖面位置  
Fig. 1 Morphologies of the Shui Dong Bay and location of the profiles

洲以“堆积性岬角”性质和晏镜岭岬角控制了海岸的平面形态。研究岸段的海滩剖面介于弧形海岸的切线段和曲线段之间的过渡地带(图1)。

海区属不正规半日潮类型。平均潮差1.75m, 大潮平均潮差2.6m, 最大潮差大于4m。海浪以风浪为主, 平均波高0.66m, 实测最大波高4.42m, 平均周期4s。常浪向为ESE, 夏季出

\* 参加野外工作的还有罗章仁、彭炳健、张镇元等同志, 特此致谢。

现 SE 和 SSE 向浪。根据 Davies<sup>[8]</sup> 的潮汐海岸分类和 Short 等<sup>[13]</sup> 的波能分类, 水东湾属中等潮差低波能区。海区几乎全年都可受到台风的影响。从邻近海域过境的台风常引起波况变化和海岸的增水效应, 是海滩剖面短周期变化和海滩蚀积的重要动力过程。

## II. 研究方法

### II. 1. 海滩剖面测量、动力要素观测、泥沙样品采集与数据处理

研究区内布设三条观测断面。对海滩进行重复测量, 每条剖面在高潮暴风浪不易到达的海岸前丘 (foredune) 底部和后滨相接处或直接在丘上埋设固定桩, 各固定桩高程与平均海面连测以获得各剖面绝对高度。以固定桩为起点直至低潮位附近。用经纬仪测量剖面上各地形特征点的距离和高程, 其中 2 号剖面每月于大小潮期间各测一次, 1, 3 号剖面每月大潮期间各测量一次以作对比。测量工作自 1986 年 4 月至翌年 12 月。同期, 在水东设立了波浪观测站和潮位站。每月在各剖面的高潮位、中潮位和低潮位各取表层沉积物样一次, 以了解泥沙纵向和横向的变化。

获取的海滩剖面信息, 在计算机上做了如下处理: 剖面水平距离以等距分点, 打印出各点相对于固定桩的距离和绝对高程及剖面图; 计算 1986 年 9 月至 1987 年 10 月各剖面在平均海面以上海滩单宽体积 (以宽 1m 计), 然后插值得到一等间隔的时间序列数据, 相应时段的波能时间系列则用小振幅波理论计算了实测波高的平方值得到的。

### II. 2. 计算方法

II. 2.1. 海滩剖面地貌动力过程的 R 型因子分析

R 型因子分析方法同 Aubrey 等人所使用的经验正交函数都是建立在分量分解的数学基础上, 都具有以下优点: a. 在不失数据的内在关系的前提下压缩原始数据, 利于进行综合分析; b. 正交函数由数据本身决定, 因此它能反

映出海滩剖面中最主要的特征, 收敛性是各类正交函数分解中最快的; c. 这一数学分解方法可根据方差贡献提取少数几个主因子以代表几种剖面地貌动力过程, 并通过数据矩阵内在的地貌学意义加以证实。

此外, 因子分析方法常通过对特征向量场的方差极大旋转的数学处理, 满足简单结构准则, 利于对各个主因子所代表的海滩地貌动态特征的解释。具体的计算过程见文献[1]。

II. 2.2. 计算海滩体积的功率谱和波能与海滩体积的交叉谱

建立在自相关函数的富里叶变换基础上的功率谱分析方法是用来估计时间序列周期性变化特征的, 通过由无限多个波动所组成的一个连续谱来分析时间序列, 得出序列功率谱后, 以倍度检验来判别哪些波动存在可能性较大, 能较好地反映出时间序列的周期性。计算一个时间序列的谱分析方法可推广到两个时间序列  $f_1(t)$  和  $f_2(t)$  的联合谱分析上, 反映出两个序列在频域变化上的相互关系称为交叉谱。其分析结果可得到以下的谱估计: 协谱、正交谱、位相谱和凝聚谱等。协谱反映两个序列的同位相变化关系; 正交谱是两序列在某些频率上位相差  $90^\circ$  时的交叉相关关系; 位相谱反映两序列中各种频率波动结构中的位相差关系, 其值变化在  $-\pi/2$  到  $\pi/2$  之间; 凝聚谱反映了两序列谱分量之间的相关程度, 取值在零到 1 之间。此外, 根据位相谱可导出落后时间长度谱。具体计算步骤参见文献[2]。

## III. 海滩特征与剖面变化的地貌动力过程

### III. 1. 岸滩物质组成和地形结构

海滩沉积物组成见表 1。从表中可看出, 2 号剖面以东的平均粒径自低潮带向高潮带变细, 分选变好; 2 号剖面以西的平均粒径自低潮带向高潮带变粗, 分选性以中潮带较差。2 号剖面则以中潮带粒级最粗, 分选最差为特征, 反映了过渡段海滩物质变异较激烈的特点。

表 1 海滩剖面沉积物粒级参数

Tab. 1 Grain-size parameters of the beach profile sediment

剖面分带 参数		低 潮 带		中 潮 带		高 潮 带	
		MD <sub>φ</sub>	QD <sub>φ</sub>	MD <sub>φ</sub>	QD <sub>φ</sub>	MD <sub>φ</sub>	QD <sub>φ</sub>
站 号							
W	1	2.78	0.55	2.15	0.58	1.99	0.52
↑ ↓	2	2.78	0.51	1.38	0.76	2.40	0.60
E	3	2.65	0.54	2.96	0.31	3.17	0.20

海滩地形结构可以剖面方向和沿滩方向的地貌组合及其变化得以反映。从 1 号剖面到 2 号剖面,滩肩和滩角出现的频度递减,2 号剖面以东基本上不出现或极少出现滩肩地形,或者说堆积性的水上形态自西向东趋于消失。与此相应的是,海滩坡度沿滩方向也存在着从陡向缓的过渡变化。剖面方向的地形结构可以 2 号剖面为代表。后滨向陆与低矮的海岸前丘连接,水下存在着一准周期性向岸迁移的脊-沟地形或砂坝。当水上部分建造起滩肩时,低潮线附近则形成低潮台地,水上水下地形之间的转换关系较明显。



图 2 2 号海滩剖面示意

Fig. 2 Schematic diagram of the beach profile 2

### III. 2. 海滩反射性和碎波特征

Guza 和 Inman (1975) Guza 和 Bowen (1975) 认为波能对海滩作用的强度可通过海滩反射性和碎波类型来表征,经实验总结提出了碎波级参数 (Surf-Scal-Parameter)  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = a_1 \omega^2 / g \tan^2 \beta$$

式中,  $a_1$ : 入射波振幅;  $\omega$ : 辐射频率, 等于  $2\pi/T$ ,  $T$  为波周期;  $g$ : 重力加速度;  $\beta$ : 海滩坡度。当  $\varepsilon > 33$  时, 海滩高度消散, 碎波类型为

溢破波; 当  $2.5 \leq \varepsilon \leq 33$  时, 海滩部分反射和部分消散, 碎波性质属卷破波; 当  $\varepsilon < 2.5$  时, 海滩高度反射, 碎波类型为激散波和塌滚波。Wright 等建议把碎波级参数  $\varepsilon$  分为碎波带  $\varepsilon_s$  和滩面  $\varepsilon_b$  两个分量, 以更正确地反映天然海滩的实际地形。本文用高潮带  $\varepsilon_h$  和低潮带  $\varepsilon_l$  计算 2 号剖面反射性和碎波指标:  $\varepsilon_h = 28$ ,  $\varepsilon_l = 324$ , 反映了过渡段海滩高潮带附近具部分反射和部分消散的特征, 碎波类型以卷波为主, 低潮带以下部分则以高度消散和溢波破碎为典型特征。该数值反映的是平均状况, 野外观测表明, 在低潮带和碎波带范围内时有见到卷波破碎, 这和海滩水下脊-沟体系或各类型砂坝向岸迁移时向海侧坡度较大有一定关系, 剖面地形重复测量证实了这一点。

### III. 3. 剖面地貌动力过程分析

海滩剖面特征是在以波浪为主以及潮流、风等动力要素共同作用下的产物, 然而, 这往往是单一动力过程对剖面变化影响的定性描述<sup>[12]</sup>。天然海滩上各种动力的不同组合是随时空变化而异常复杂的。海滩和各种波浪运动形式是一相互作用的过程-响应系统, 即海滩以其物质组成来建立响应动力过程的形态, 而各种动力过程也力图找到其各自主要作用范围, 海滩剖面正是这些复杂过程在较长时段相对平衡状态下叠加的结果。基于这一点, 可以从海滩剖面特征的时间分布来探求海滩剖面的空间地貌动力成因。R 型因子分析为这些地貌动力

过程的分解提供了一种有效的方法。

2 号剖面 R 型因子分析结果提取的因子数,特征值及其方差贡献、累积方差贡献见表 2。

表 2 2 号剖面因子分析主因子方差贡献  
Tab. 2 Variance contributions of three factors of the Profile 2

因子数	第一主因子	第二主因子	第三主因子	累积方差
特征值 $\lambda$	24.0	6.0	2.3	
方差贡献 (%)	67	17	6	90

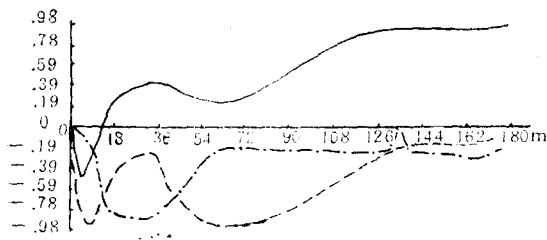


图 3 2 号剖面方差极大旋转因子载荷

Fig. 3 Factor loadings of the profile 2 after varimax orthogonal rotation

—— 第一因子载荷    - - - - 第二因子载荷  
- · - · - · 第三因子载荷

图 3 为海滩剖面方差极大旋转后的因子载荷图,该图指出了剖面上各高程点的组合状况。为了说明各因子载荷的剖面地形意义,把它们分别转换成和海滩平均剖面关系图(图 4),由此更直观地反映出这些主因子分别代表了海滩上不同的地貌动力过程或剖面不同地带上的过程-响应特征。

第一主因子是剖面变化最重要的地貌动力过程(占总方差 67%),图 4a 体现了这一过程对于中潮带附近滩肩形成与消亡的控制作用,说明中潮带和碎波带之间是泥沙横向交换运动最活跃的地带。这一泥沙交换过程是通过中潮带附近的滩肩和脊-沟体系或各种水下砂坝之间的转换得以体现的。2 号剖面变化的这一最基本过程不仅在剖面实测中广泛地反映出来

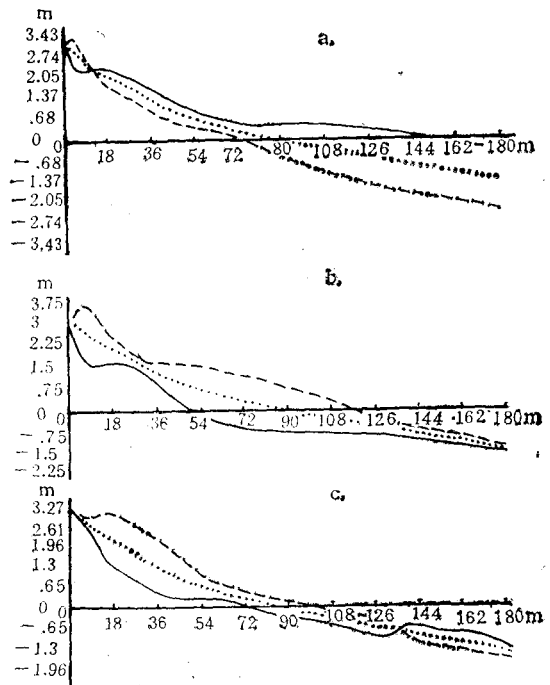


图 4 2 号剖面因子载荷与平均剖面的关系

Fig. 4 The relation between the factor loadings and the mean profile

..... 平均剖面    —— 平均剖面+因子载荷  
- - - - 平均剖面-因子载荷

(图 5a),野外地貌观察也得到了确认。如 1986 年 12 月 27 日大潮低潮时,在这一带海滩的低潮线附近观察到大型韵律地形,形态为横向砂坝或砂波,波长长达数百米。1987 年 7 月 6 日观察到低潮带以下存在着斜向砂坝韵律地形的沿岸分布,间距为 80~90m。实地观察、剖面测量和因子分析结果不但反映了这一过程对剖面变化的重要作用,也说明了水下韵律地形向岸迁移的不同方式可能是和当时的波况及裂流、边缘波等水体运动形式有一定的联系。

第二主因子以平均剖面高程为 0.95~ -0.24m 之间地带的高因子负载荷为特征(图 4b),大致对应于平均海面至平均高潮位之间。这一因子载荷特征指示了冲流过程中,以退流运动为主导的过程对海滩剖面水上部分的重要影响(占总方差 17%)。剖面重复测量表明,伴随着脊-沟体系等水下地形向岸迁移连滩并经冲流

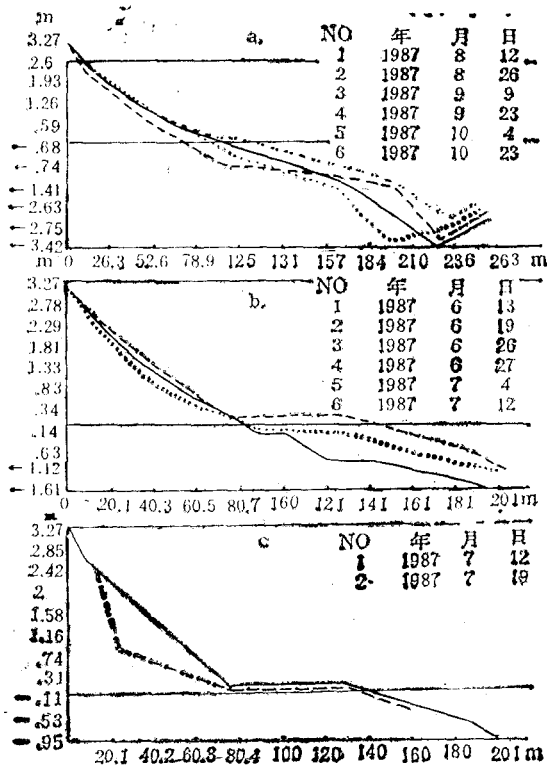


图5 2号海滩实测剖面变化

Fig. 5 The measured variations of the beach profile 2

作用而建立起来的滩肩主要出现在夏半年5—8月之间波况相对平静期间。滩肩较低小而且易受波况变化影响,较大的波浪可产生较大的冲流体,而周期较短的波浪形成了上冲流和退流运动之间的更大干涉,从而通过保持海滩内高潜水面来降低滩面高度<sup>[1]</sup>。King (1959) 则把海滩坡度变化归结于上冲流和退流体积之间相对大小的作用。对于此岸段海滩来说,也许更直接的效应在于泥沙粒径大小。由于海滩以细沙为主,水体下渗作用弱,退流作用一般大于进流作用,因而通常出现缓坡度的剖面形态。

第三主因子反映了平均高潮带以上海滩的变化(图4c),这一过程占整个剖面变化的6%。无论从这一部位的动力过程、相对频率、出现季节和实测剖面所反映的地形变化来看,这一地带主因子高负载荷的地貌动力学意义指示了受台风影响引起大浪和增水切割后滨(图5c)。

#### IV. 海滩的时间动态及其与波况的关系

为了明确认识此海滩地段剖面的时间变化规律和剖面对波浪作用的响应特征,特对2号剖面的海滩体积作功率谱分析和交叉谱分析。

功率谱分析结果的红噪音过程检验表明,在95%的置信区间功率谱线在波数11处峰值大于检验谱SR值(图6),反映了此频率上的波动具有较明显的意义,对应于19.7d的准周期性变化。交叉谱分析结果反映二者在正交谱的第4,5,6波段上有较大的负值(图7a),说明波能和海滩体积在这一频域具有不同位相的负相关,凝聚谱在这些频域上具有高出信度0.05水平的显著峰值(图7b)。由相应频域计算的落后时间长度为-10.6~-8.5d,说明海滩对波能变化的响应有较长的时间滞后。如果联系到此地段海滩体积变化具有19.7d的周期性,这一时间滞后现象可能反映了独特的地貌动力学意义:脊-沟体系或砂坝连接滩面过程中,随波况变化进退流作用消长引起滩面蚀积变化的一种准周期性泥沙向离岸转换过程。这和

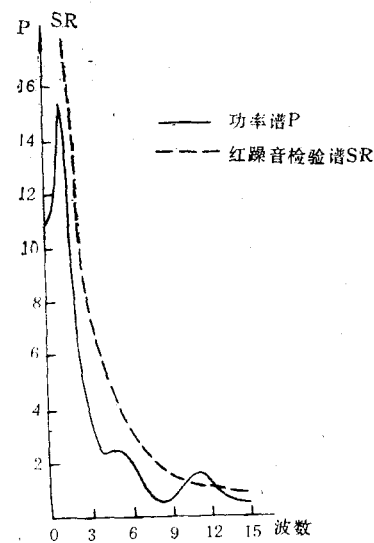


图6 海滩体积功率谱

Fig. 6 Power spectrum of the beach volume

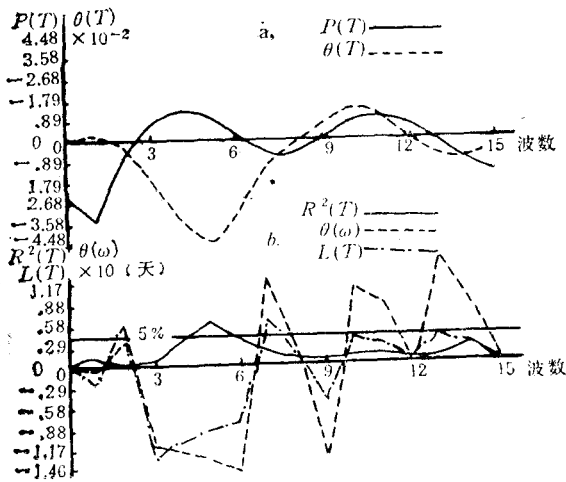


图7 波能和2号剖面海滩体积交叉光谱

Fig. 7 Cross spectra between the wave energy and the beach volume of the Profile 2

Aubrey (1976)等对美国加州 Torrey Pines 海滩剖面所做的谱分析结论——剖面变化主要归结于波况和潮位变化导致向离岸泥沙搬运的转换是一致的。谱分析和因子分析的结果可与实测的剖面地形变化及野外地貌观察互相验证、互相补充。

## V. 讨论与结论

本文以海滩剖面测量数据、地貌观察、波要素和泥沙粒度参数等基本资料为依据分析了水东弧形海岸中间过渡带海滩剖面的地貌动态特征,给出了海滩时空变化过程较清晰的轮廓。

对这一过渡岸段海滩剖面的研究可得出如下结论:

V. 1. 海滩剖面地貌动态主要由三个地貌动力过程构成:(1)中潮带的滩肩和低潮带以下的脊-沟体系之间的地形转换是剖面变化最主要的过程;(2)中高潮带的退流运动使海滩保持了低缓坡度;(3)台风大浪是造成后滨侵蚀切割的直接动力。

V. 2. 海滩体积较短的准周期性(约 20d)

变化是和华南台风多发性的影响联系在一起的,海滩的季节变化不明显。

V. 3. 海滩体积对波况变化的响应有较大的滞后时间(约 10d),可能是与海滩水上和水下大型的三维地形之间的转换周期有密切的关系。

## 参考文献

- [1] 於崇文等,1980. 数学地质的方法与应用,冶金工业出版社。
- [2] 黄嘉佑,1984. 气象中的谱分析,气象出版社。
- [3] Aubrey, D. G., 1979. Seasonal patterns of onshore/offshore sediment movement. *J. Geophys. Res.* 84: 6347—6354.
- [4] Aubrey, D. G., 1980. The statistical prediction of beach changes in Southern California. *J. Geophys. Res.* 85: 3264—3276.
- [5] Aubrey, D. G., and Ross, R. M., 1985. The quantitative description of beach cycles. *Mar. Geol.* 69: 155—170.
- [6] Bowman, D., 1981. Efficiency of eigenfunctions for discriminant analysis of subaerial non-tidal beach profiles. *Mar. Geol.* 39: 243—258.
- [7] Clarke, D. J., Eliot, I. G., and Frew, J. R., 1984. Variation in subaerial beach sediment volume on a small sand beach over a monthly lunar tidal cycle. *Mar-Geol.* 58: 319—344.
- [8] Davies, J. L., 1980. Geographical variation in Coastal development. Longman. 50—52.
- [9] Davis, R. A. Jr., 1978. Beach and nearshore zone. In: Coastal Sedimentary environments. ed. by Davis, R. A. Jr., Springer-Verlag. New York Heidelberg Berlin. 237—285.
- [10] Guza, R. T., and Inman, D. L., 1975. Edge Waves and beach cusps. *J. Geophys. Res.* 80: 2997—3012.
- [11] Kemp, P. H., 1961. The relationship between wave action and beach profile characteristics. *Proc. 7th. Conf. on Coastal Eng.*, 262—277.
- [12] Komar, P. D., 1976. Beach Processes and sedimentation. Prentice-Hall, Englewood Cliff, N. J. 429.
- [13] Short, A. D., and Hesp, P. A., 1982. Wave, beach and dune interactions in Southeastern Australia. *Mar. Geol.* 48: 259—284.
- [14] Winant, C. D., Aubrey, D. G., 1976. Stability and impulse response of empirical eigenfunctions. *Proc. 15th Coastal Eng. Conf.* 2: 1312—1325.
- [15] Winant, C. D., Inman, D. L., and Nordstrom, C. E., 1975. Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions. *J. Geophys. Res.* 80: 1979—1986.

## ANALYSIS ON GEOMORPHOLOGICAL DYNAMICS OF BEACH PROFILE OF INTERMEDIATE TRANSITIONAL ZONE IN ARC-SHAPED SHORE

Chen Zishen and Li Chunchu

(*Geography Department, Zhongshan University, GuangZhou*)

Received: Apr. 1, 1989

**Key Words:** Arc-shaped bay, Geomorphological dynamics, Beach profile

### Abstract

Based on the repeatedly measured profile data, and beach sand samples, morphological features and wave observation, the geomorphological dynamics of beach profile in intermediate transitional zone of the arc-shaped Bay of Shuidong in western Guangdong province was dealt with by statistical methods.

The result of R-factor analysis of the profile data extracted three factors which accounted for 90% of the total variance of the original data. The first factor showed that the transformation between the beach berm located in the mid-tidal zone and the subaqueous ridge-tunnel below the low-tidal zone, which represented the most important process of the beach profile. The second factor indicated the effect of the backwash process on the beach profile slope. The third represented the cutting action of typhoon waves in backshore.

The result of power spectrum estimation of the beach volume showed about 20 days quasiperiod oscillation of the beach in this zone. The cross spectrum estimation between beach volume and wave energy indicated about 10 days lag in response of this beach to the wave variations.