

海南岛洋浦港现代沉积速率^①

潘少明 王雪瑜

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室,南京)

John N. Smith

(Bedford Institute of Oceanography, Canada)

提 要 通过对海南岛洋浦港 4 个沉积柱样沉积结构、Pb-210、Cs-137 放射性强度的分析,研究该区的现代沉积速率。洋浦港海域为一潮汐叉道,沉积物的分布主要受潮流分布的影响,近代沉积过程具有阶段性的特点,在港口的许多地方正持续着侵蚀与堆积的循环。洋浦深槽的沉积物主要为粉砂、粘土,砂质物主要由河流、落潮流带入,而大部分的粘土颗粒物质由涨潮流带入深槽,在高水平潮水动力能量减小的条件下沉降下来,由于这种沉积物传输的双向性导致了极易变化的沉积结构。粗砂粉砂的交替沉积反映了风暴潮事件对该区域的影响。根据 Pb-210、Cs-137 测年法,洋浦港深槽的现代沉积速率为 0.5~2cm/a,本世纪初以来,拦门沙处于稳定增长的状态,其平均增长率为 1~2cm/a。该方法应用于地质年代学具有实际的意义。

关键词 海南岛洋浦港 沉积速率 Pb-210 Cs-137

第一作者简介 潘少明 男 35岁 讲师 海洋沉积和地球化学

洋浦港是海南岛即将开发的天然优良港湾,港口的发展需要对泥沙的输运机制进行研究,特别是对口门拦门沙浅滩的现代沉积过程及沉积速率的了解具有重要的意义。洋浦港海域为一潮汐叉道^[1],沉积物的分布主要受潮流分布的影响。粗砂、砾石分布在河口区、洋浦大浅滩的水边缘线处。中砂、细砂沉积物主要分布在新英湾浅滩、洋浦大浅滩及洋浦湾沿岸。粘土分布于深槽深泓线。对沉积物的结构分析表明:近代沉积过程具有阶段性的特点,在港口的许多地方正持续着侵蚀与堆积的循环,这导致了沉积物结构的复杂化。

Pb-210 法自出现以来,被广泛地用来研究过去 100 年来沉积物的沉积年代,沉积速率^[6,9,14]在沉积环境复杂的条件下,还应当用其它的测年技术来加以检验,如核爆炸产生的放射性元素 Cs-137、Pu-239,240 随沉积物深度的分布^[12,13]、孢粉剖面等。1988 年 10 至 12 月,在王颖教授主持的中国—加拿大合作“港湾沉积与深水港的开发利用”研究中,我们利用 Pb-210 法对采自洋浦港深槽及拦门沙的 4 个沉积柱样进行了研究,以确定其现代沉积速率。同时对两个柱样的 Cs-137 分布进行了测量,以验证 Pb-210 法在这种复杂水动力沉积环

① SCIEL 21194117

境下的应用结果。

1 环境概况

洋浦港位于海南岛的西北海岸,由外港洋浦湾,内港新英湾组成(图 1)。新英湾的面积约为 50km^2 ,内港的白马井峡(宽度仅 550m)有一潮汐通道一直延伸到外港,终止于拦门沙浅滩。沿深槽向东形成了一砂质大浅滩。

进入新英湾的两条主要河流为大水江、春江,其流域面积合计为 1419km^2 ⁽¹⁾,河流传输的沉积物形成了两个河流三角洲,三角洲沉积物的细颗粒部分在涨、落潮流的作用下被侵蚀,并随落潮流向海的方向传输。沿岸砂质物的传输造成了粗颗粒物质在潮流通道中的堆积及在涨潮条件下在洋浦大浅滩上的堆积。这些侵蚀和堆积的结果是海岸线向海的方向迁移。据历史记载,新川镇和中和镇(分别距现在的海岸线 4 和 5km)在唐朝时均为海港,后逐渐成陆。

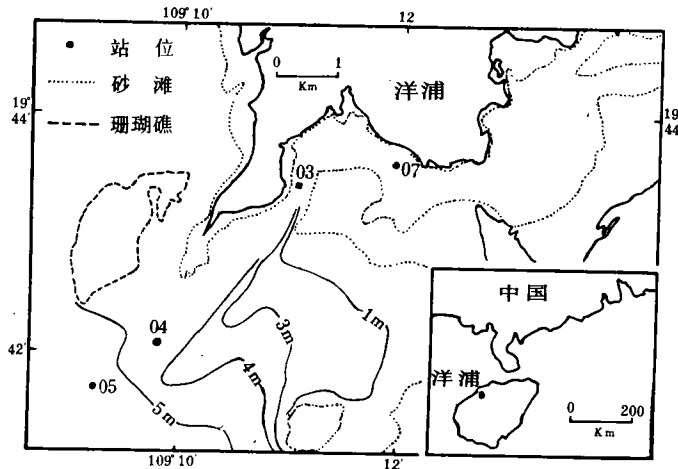


图 1 洋浦港及采样站位示意图

Fig. 1 Sketch map of Yangpu Harbour and Coring stations

洋浦深槽从新英湾口至拦门沙浅滩,长 10km ,宽 $400\sim 500\text{m}$,水深 $5\sim 25\text{m}$,呈明显的河谷形态。目前的深槽段是由潮流作用,特别是新英湾内蓄纳的潮量落潮时的冲刷所维持的。拦门沙浅滩是深槽通向海域的浅水段,水深 5m 左右,长 400m ,宽 $85\sim 150\text{m}$ 。

洋浦港的潮流具有不规则全日潮的特点,平均潮差 2m ,最大潮差 3.8m 。落潮历时小于涨潮历时,而落潮流速大于涨潮流速,因此沉积物的传输方向由内港向拦门沙外海。

风速和风向主要有两种模式。一是 $\text{NNE}-\text{ENE}$ 向(由岸向海的方向),由于有海岸的掩护,不会产生大的波浪。二是 $\text{SSW}-\text{WSW}$ 向,这是强风浪向,由于外港开敞,产生大的波浪,

对外港沉积物的传输(特别是推移质沉积物)及海岸的侵蚀起主要作用。

洋浦港海域沉积物的主要来源有河流传输、海岸侵蚀及珊瑚礁侵蚀。河流传输的沉积物为 15.6×10^4 吨/年、海岸侵蚀量在 6.0×10^4 吨/年,洋浦港附近的珊瑚礁侵蚀量在 1.0×10^4 吨/年左右,其中 0.3×10^4 吨/年进入洋浦港。珊瑚礁侵蚀物还为我们提供了一条重要的沉积物传输轨迹。拦门沙浅滩沉积物的 CaCO_3 含量为 33.1%,南岸水深-2m 以外区域 CaCO_3 含量为 21.6%,而内港(新英湾内) CaCO_3 含量小于 1%。这表明外港的沉积物进入内港的很少^[1]。

2 实验方法

沉积柱样 1988 年 11 月采集于海南岛洋浦港,采样站位见图 1,使用的加拿大贝德福海洋研究所的 Lehigh 重力取样器,采样管内径 10.3cm。沉积柱样取上后,在船上实验室沿纵向破开,经沉积结构、颜色观察、照相后,一半按 1~2cm 的间隔分样,装入密闭的小塑料盒;另一半保存起来存档。

在实验室中,样品放在烘箱中烘干,温度控制在 90℃ 左右,由失去的水份得出沉积物的干、湿密度。

Pb-210 分析采用 Pb-210 法^[6], α 计数采用美国 EG & G 公司生产的 576A 低本底 α 谱仪,后接美国 Canberra 公司生产的 35Plus 多道分析器。补偿 Pb-210 由柱样较深部分 Pb-210 估算,洋浦港区域几个柱样的平均值为 1.0dpm/g。

Cs-137 分析采用 Ge(Li) γ 谱仪直接测量的方法^[2]。仪器为美国 EG & G 公司生产的高纯 Ge(Li)探测器,探测器位于老铅制成的铅室中。Cs-137 标准沉积样 #2033 由加拿大贝德福海洋研究所提供。

3 结果及讨论

3.1 Pb-210 剖面及沉积速率

在大陆架、湖泊等相对稳定的沉积环境中,沉积过程较为连续,各层次沉积物组成较均一,Pb-210 剖面往往呈正常类型分布。然而在波浪潮流作用频繁的海岸、河口地带泥沙运动频繁,沉积物往往经过悬移、沉积、再悬移、再沉积的复杂运动过程。沉积物层结构复杂,给 Pb-210 测年技术的应用带来很大困难。Pb-210 剖面会因沉积物的粒度、有机质、Fe、Mn 元素的含量变化而复杂化^[4,8,9]。洋浦港 4 个沉积柱样的 Pb-210 剖面见图 2、图 3,为了便于对比,将各柱样粒度随深度的变化情况绘在图的上方。可以看出,由于沉积结构的变化导致了各个柱样 Pb-210 剖面不同程度上的不规则分布。象大多数亲颗粒反应元素一样,Pb-210 主要为细颗粒物质俘获(如:粘土、有机质等),细颗粒物质相对于砂质物具有更大的化学反应表面。沉积物中粘土组份对于 Pb-210 从水中到沉积物的传输起主要的作用,而砂质物的注入则稀释了沉积物的 Pb-210 放射性比度^[4,8,15]。

依据恒定通量模式,沉积速率由下式决定:

$$R = -\lambda/B \quad (1)$$

式中:R 为沉积速率(cm/y), λ 为 Pb-210 的衰变常数($0.031y^{-1}$),B 为过剩 Pb-210 取自然对数后与深度之间线性拟合的斜率。

3.1.1 拦门沙浅滩

柱样 y004 采集于拦门沙浅滩,该柱样层理明显,整个柱样的沉积结构变化很大,粘土含量的变化范围为 9~45%,高 Pb-210 含量属于粘土含量高的层段,而明显降低的 Pb-210 含量属于高含沙量的层段,如果我们将粘土含量小于 20%的一些低浓度事件去掉,则可以得到该柱样的沉积速率为 1.06cm/y($\gamma=0.873$;n=6)。严格地讲这个沉积速率仅代表了粘土含量大于 20%的层段的沉积速率。Megumi^[8]、Chanton^[4] 等曾分别采用表面积修正、粒度修正的方法处理不规则的 Pb-210 剖面。为了估算那些高含砂量层段的沉积速率,我们将过剩 Pb-210 按粘土含量归一,图中的方点代表归一后的结果,虚线代表最小二乘法拟合的结果($\gamma=0.915$,n=8),所有点满足很好的线性关系。沉积速率为 1.22cm/y,非常接近于前面所得的结果(1.06cm/y)。图中虚线极好的线性关系表明:柱样 y004 的沉积速率(包括粘土、砂质物的净沉积)在过去 100 年内基本上不变,也就是说拦门沙在 100 年这个尺度范围内处于稳定缓慢增长的状态。这与地形变化的测量结论一致^[1]。

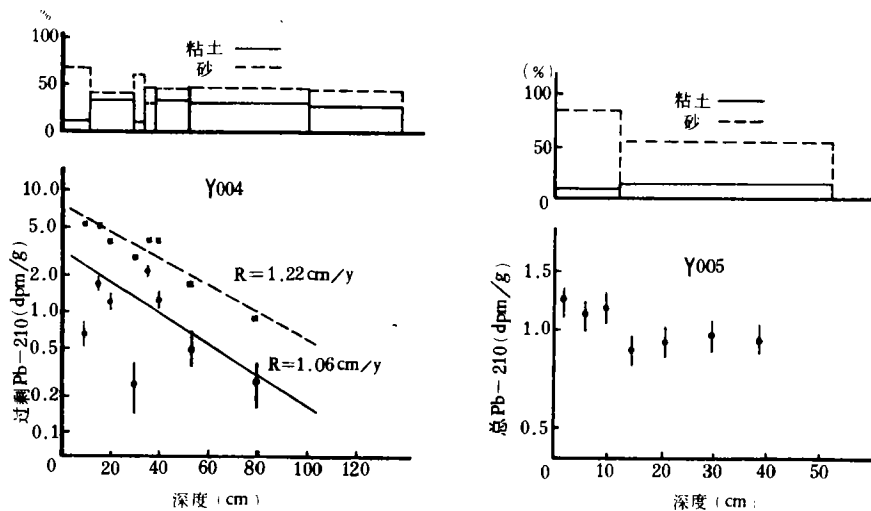


图 2 Y004, Y005 站位 Pb-210 剖面及粘土、砂百分比随深度的变化

Fig. 2 Pb-210 profiles and clay, sand percentage for cores Y004, Y005

柱样 y005 采集于拦门沙外海。该柱样 0~12cm 段含沙量高达 82%,12~52cm 段为 50%,粗砂、粉砂的交替沉积反映了风暴潮事件对该区域的影响。粗砂沉积物主要在风暴潮期间、波浪作用强的条件下沉积下来,而粉砂等细颗粒沉积物则在波浪作用减小的条件下沉积下来,这些细颗粒沉积物均是由内港在落潮流条件下传输过来的。高含砂量使得该柱样的 Pb-210 含量几乎接近于背景值,从 0~12cm 过剩 Pb-210 随深度减小的趋势可以估算出

2cm/y 的沉积速率,由于可利用的数据太少,该估算值的误差至少在 50%。从 y004 与 y005 两柱样沉积结构的对比我们也可得到一些有用的信息,如果我们承认两柱样表层高含砂量层段是在同一时期形成的,则 y005 的沉积速率应为 1.2cm/y 左右。因此,y005 的沉积速率当在 1~2cm/y 之间。

3.1.2 洋浦深槽(潮流通道)

y007 位于洋浦深槽深泓,沉积结构及 Pb-210 剖面见图 3,该柱样呈现出沉积物粗、细明显分界的沉积结构,0~22cm 段含砂量高达 70%,而 22cm 以下含砂量减少到 20%左右,砂质物主要由河流、落潮流带入,而大部分的粘土颗粒物质是由涨潮流带入深槽的,它们在高平潮水动力能量减小的条件下沉降下来。这些结构特征反映了洋浦港沉积物传输的双向性,正是这种沉积物传输的双向性导致了极易变化的沉积结构,这在该区域许多沉积柱样中均可见到。

由图 3 可见,过剩 Pb-210 放射性强度在 22cm 以下呈指数衰减,由最小二乘法拟合,可得该柱样在 22cm 以下的沉积速率为 1.52cm/y,由后面 Cs-137 分析的结果可知该沉积速率也代表了 0~22cm 段的平均沉积速率。

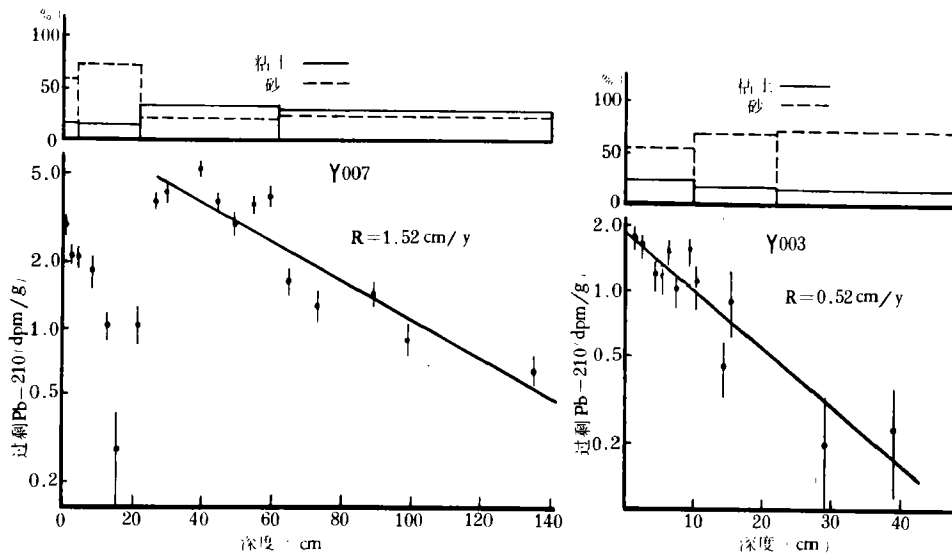


图 3 Y007、Y003 站位 Pb-210 剖面及粘土、砂百分比随深度的变化

Fig. 3 Pb-210 profiles and clay, sand percentage for cores Y007, Y003.

y003 采集于深槽靠近拦门沙,该柱样 Pb-210 含量相对于 y007 要低的多,这与该柱样粘土含量较低(<20%)相符。该柱样的沉积速率为 0.52cm/y 相对于 y007 也明显减小,大部分细颗粒物质沉积在了 y007 所在的位置。

3.2 Cs-137 剖面及沉积速率

海洋沉积物中的 Cs-137($T_{1/2}=30.2$ 年)放射性主要来源于大气核实验,属人工放射性

元素。自 1945 年有核爆炸以来,产生的 Cs-137 随大气参与全球环流,大气中的 Cs-137 随降水等沉降过程进入水体,并被水中悬浮物(主要为粘土矿物)吸附,并随悬浮物一起沉降、运移^[7,12,15]。通过对 Cs-137 随沉积物深度变化的分析,可为我们提供一种独立的测年方法。找出 Cs-137 的最大峰值层就是 1963 年的沉积物层位,因为 1963 年是全球性 Cs-137 的最大沉降年,美国、苏联在这期间进行了大量的大气核实验。因为没有天然 Cs-137 放射性元素,Cs-137 1945 年以后才出现在海洋环境中,故 Cs-137 随深度分布的起始值应对应于 1945 年左右的沉积层。根据 Cs-137 剖面最大值、起始值对应的沉积层深度,即可估算沉积物的平均沉积速率。

图 4 为 y004、y007 两柱样的 Cs-137 深度分布特征,从测量结果可以看出,Cs-137 剖面同样受到粒度变化的干扰,高含砂量的沉积物 Cs-137 含量也低,这与 Olsen^[10] 研究河口沉积物的结果一致。y004 的 1~9cm、29~31cm,y007 的 0~22cm 段由于含砂量高,Cs-137 偏低或很难测出。由于 y007 22cm 以下,沉积结构变化不大(图 3),并不妨碍找出最大值层位。对于 y004,由于 29~30cm 段正位于最大值附近,故必须加以修正,图中虚线代表了按 10~29cm 段粘土含量修正的结果。从图 4 可以看出 y004、y007 站位 Cs-137 极大值分别出现在 26~31cm、36~42cm,起始值分别出现在 53cm、72cm 附近,由此得出的平均速率见表 1。可以看出,由 Cs-137 法得出的平均沉积速率与 Pb-210 法所得的结果符合的很好。Cs-137 起始值得出的平均沉积速率略偏大。Cs-137 在海水中主要以离子状态存在,具有较高的溶解度,Cs-137 进入海洋沉积物后,由于潮流、波浪的扰动作用,Cs-137 解吸作用显著^[8],造成了 Cs-137 的再迁移和重新分布,使 Cs-137 出现在比预期值更深的层段^[11],通常认为这种作用并不影响最大值层位^[3]。洋浦港属潮汐汊道港湾,由于受潮流、风浪的影响,沉积环境较复杂,Cs-137 有可能扩散、迁移比预期的更深。

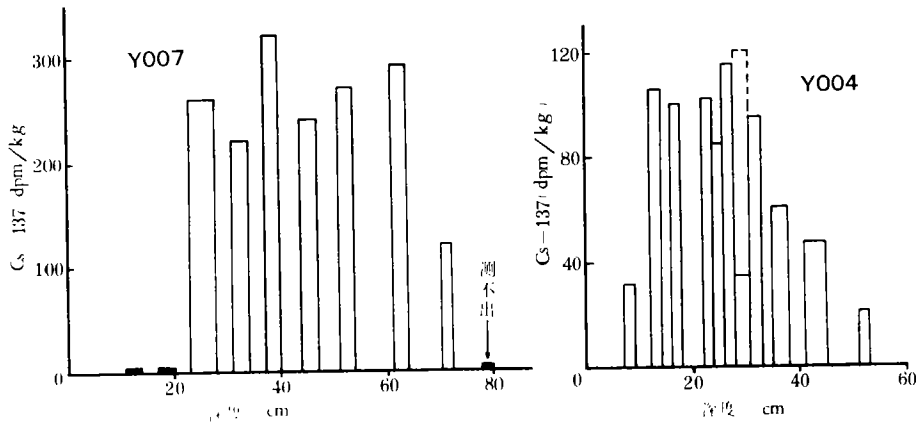


图 4 Y004、Y007 站位 Cs-137 剖面

Fig. 4 Cs-137 profiles for cores Y007, Y004

4 结语

洋浦港深槽中的沉积物主要由河流搬运的物质及近海重新悬浮的粉砂、粘土组成,相对地具有较高的 Pb-210、Cs-137 含量。这些沉积物是在高低平潮、水动力能量减小的条件下沉降下来的。其现代沉积速率在 0.5~2cm/y 之间。本世纪初以来,拦门沙处于稳定增长的状态,其平均增长率为 1~2cm/y。

Pb-210 法、Cs-137 法在洋浦港的应用为我们从不同的角度提供了现代沉积速率的信息。其结果的一致性,证明 Cs-137 法作为一种有意义的地质年代学方法与 Pb-210 法配合使用具有实际的意义。

表 1 海南岛洋浦港现代沉积速率

Table 1 Recent sedimentation rates in Yangpu Harbour on Hainan Island

站 位	平均密度(g/cm ³)	沉积速率(cm/y)		
		Pb-210 法	Cs-137 法(最大值)	Cs-137 法(起始值)
Y003	1.1	0.52		
Y004	1.1	1.06	1.12±0.10	1.25
Y005	1.2	1~2		
Y007	1.0	1.52	1.56±0.12	1.77

致谢:本文在王颖教授指导下完成,朱大奎教授、施晓东等同志提供有关材料及帮助,谨致谢意!

参 考 文 献

- [1] 王颖,朱大奎,1990,洋浦港海岸地貌与海岸工程问题,南京大学学报(地理版),11,1—13。
- [2] 李树庆,1987,中国近海放射性水平,海洋出版社,163—169。
- [3] 陈绍勇等,1988,湄洲湾沉积物的混合速率和沉积速率的研究,海洋学报,10,566—574。
- [4] Chanton, J. P., et al., 1983, Lead-210 sediment geochronology in a changing coastal environment, *Beochim. Geochim. Acta*, 47, 1791—1804.
- [5] Flynn, W. W., 1968, The determination of low levels of Polonium-210 in environmental materials. *Anal. Chim. Acta.*, 43, 221—227.
- [6] Koide, M., et al., 1972, Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1171—1187.
- [7] McCall, P. L., et al., 1984, Cs-137 and Pb-210 transport and geochronologies in urbanized reservoir with rapidly increasing sedimentation rates. *Chemical Geology*, 44, 151—185.
- [8] Megumi, K., 1978, A problem in Pb-210 geochronologies of sediments, *Nature*, 274, 885—887.
- [9] Nittouer, C. A., et al., 1979, The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: Application to the eashington continental shelf, *Marine Geology*, 31, 297—316.
- [10] Olsen, C. R., et al., 1978, A geochemical analysis of the sediments and sedimentation in the Hudson estuary, *J. Sedi. Petro.*, 48, 401—418.
- [11] Robbins, J. A. and Edgington, D. N., 1975, Determination of recent sedimentation events in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39, 285—304.

- [12] Robbins, J. A. , et al. , 1978, Compartive Pb-210, Cs-137 and Pollen geochronologies of sediments from Lakes Ontario and Erie, *Quat. Res.* , 10, 256—278.
- [13] Smith, J. N. , et al. , 1987, Time-dependent modelling of fallout radionuclide transport in a drainage basin: significance of “slow” erosional and “fast” hydrological components, *Chem. Geol.* , 63, 157—180.
- [14] Smith, J. N. , and Walton, A. , 1980, Sediment accumulation rates and geochronologies measured in the Saguenay Fjord using the Pb-210 dating method, *Geochim. Cosmochim. Acta* , 44, 225—240.
- [15] Smith, J. N. and Ellis, K. M. , 1982, Transport mechanism for Pb-210, Cs-137 and Pu fallout radionuclides through fluvial—marine systems, *Geochim. Cosmochim. Acta* , 46, 941—954.

Recent Sedimentation Rates in Yangpu Harbour on Hainan Island

Pan Shaoming Wang Xueyu

(State Pilot Laboratory of Cost & Island Exploitation, Nanjing University)

John N. Smith

(Bedford Institute of Oceanography, Canada)

Abstract

Four sediment cores, collected in Yangpu Harbour on Hainan Island, were analyzed for textural parameters and Pb-210, Cs-137 activities. Yangpu Harbour is tidally flushed and has sediment distribution pattern which is related primarily to the tidal current pattern. Sandy (fine and coarse silty sand) material is distributed along the tracts of relatively high speed tidal currents underlying the shallower regions of the harbour while finer—grained, silty muds tend to accumulate in the deeper parts of the tidal channel itself. Measurements of textural parameters have indicated that sedimentation is episodic in many sections of the harbour with successive cycles of particle erosion and deposition leading to the variable accumulation of material, particularly in the tidal channel. Because of complex stratigraphy of interbedded layers of sand and mud, Pb-210 profiles in Yangpu Harbour reveal abnormal distributions. Since the Pb-210 activity was almost exclusively associated with the finegrained, clay, component of the sediment load, the normalization of these data to the % clay content of the sediment permitted the determination of depositional rates, despite instances of variability in the Pb-210 activities. The distributions of Cs-137 in two cores were measured, both the position of the horizon (corresponding to the first appearance of Cs-137 in the environment) and the peak (corresponding to the period of maximum deposition) have been used to determine sedimentation rates. Rates based on the position of peak of Cs-137 profile are in good agreement with that based on Pb-210 dating, and rates based on the occurrence of the horizon are slightly larger than that based on Pb-210 dating. Sedimentation rates, determined using Pb-210 and Cs-137 dating methods, were 0.5~2cm/y in the sediments underlying the tidal channel, and were 1~2cm/y in the sediments on the swash platform area (“block gate shoal”) during past 100 years.