# 海岸輸砂機制及偵測之研究

執行單位：海岸工程組

主 持 人：莊甲子

共同主持人：林柏青、吳 基

# 海岸輸砂機制及偵測之研究

## 摘 要

本研究於台中港海域置放深水波浪儀、淺水波浪儀，並於碎波帶內裝置流速儀、底床懸浮質濃度計等，量測波浪由深海向淺海推進後所產生之能量變化。同時利用波浪之時序列水面水位變化資料，求出其平滑化瞬時波能(SIWEH)之分佈，用之以與群波現象與特性作比較分析。其次，利用不同底床高度之懸浮質濃度實測資料，分別求出懸浮質濃度與入射波浪尖銳度或相對水深等之關係。就底床上 47cm 與 12cm 懸浮砂濃度之相對濃度比值($C_{47}/C_{12}$)的分析結果而言，得其值之變化確與入射波浪尖銳度有相當一致的相關性，其比值約在 0.35 上下。其次，就群波因子(Grouping Factor)而言，本區海域之群波因子(GF)值經分析結果約在 0.8 左右。此外，就底床懸浮砂濃度因受波浪作用而產生之濃度時間變化而言，發現波動作用下所產生之底床懸浮砂濃度變化有由基本背景濃度($C_{min}$)往上躍昇形成砂泉(sand fountains)之現象，而此基本背景濃度值有隨相對水深增加成指數遞減之趨勢。最後，在衛星影像海岸變遷偵測方面，本年度經利用地面四次實測資料與影像水線位置作比對後發現衛星影像偵測精度其平均誤差可達 ±0.5 像元，偵測模式具相當的可靠性。

# 海岸輸砂機制及偵測之研究

## 目　錄


圖目錄 ..... I

表目錄 ..... V

照片目錄 ..... VI

第一章　前言 ..... 1

第二章　文獻回顧 ..... 2

第三章　理論分析 ..... 3

第四章　現場調查 ..... 8

第五章　資料分析結果討論 ..... 9

5.1　第一次觀測資料分析 ..... 9

5.2　第二次觀測資料分析 ..... 10

5.3　懸浮質濃度變化相關性分析 ..... 11

第六章　衛星影像海岸變遷偵測 ..... 16

6.1　研究目的及方法 ..... 16

6.2　研究步驟及分析結果討論 ..... 16

第七章　結論 ..... 20

參考文獻 ..... 22

# 圖 目 錄


圖 1. 台中港近岸各觀測站位置圖

圖 2. 台中港北防砂堤北側各觀測站地形斷面圖

圖 3. 台中港北防波堤測站 D 之觀測波高圖

圖 4. 台中港北防波堤測站 D 之潮位變化圖

圖 5. 台中港北防波堤測站 D 之群波現象與其波能變化圖

圖 6. 台中港北防波堤測站 D 之群波現象與其波能變化圖

圖 7. 台中港北防波堤測站 D 之群波係數 GF 值變化圖

圖 8. 台中港北防波堤測站 D 之推算深海波尖銳度變化圖

圖 9. 台中港北防波堤測站 D 之當地波浪尖銳度變化圖

圖 10. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之懸浮沙濃度變化圖

圖 11. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之懸浮沙濃度變化圖

圖 12. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之懸浮沙濃度比值變化圖

圖 13. 台中港北防砂堤測站 B 之潮位變化圖

圖 14. 台中港北防砂堤測站 B 之觀測波高圖

圖 15. 台中港北防砂堤測站 B 之相對水深變化圖

圖 16. 台中港北防砂堤測站 B 之推算深海波尖銳度變化圖

圖 17. 台中港北防砂堤測站 B 之群波係數 GF 值變化圖

圖 18. 台中港北防砂堤測站 B 之推算底床最大流速變化圖

圖 19. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度變化圖

圖 20. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之背景濃度變化圖

圖 21. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之平均濃度與背景濃度比值

圖 22. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之水位變化圖

圖 23. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之推算深海波尖銳度變化

圖 24. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之相對水深變化

圖 25. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之觀測波高變化
圖 26. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之群波係數 GF 值變化
圖 27. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之推算底床最大流速變化
圖 28. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之當地波浪尖銳度變化
圖 29. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之懸浮沙平均濃度
圖 30. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之懸浮沙背景濃度
圖 31. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之平均濃度與背景濃度比值
圖 32. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之平均濃度與相對水深關係
圖 33. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之平均濃度與相對水深關係
圖 34. 台中港北防波堤測站 D 之群波係數 GF 值與深海波尖銳度關係
圖 35. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之平均濃度與深海波尖銳度關係
圖 36. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之平均濃度與深海波尖銳度關係
圖 37. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之平均濃度與當地波浪尖銳度關係
圖 38. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之平均濃度與當地波浪尖銳度關係
圖 39. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之懸浮沙濃度關係
圖 40. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之濃度比值與相對水深關係
圖 41. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之濃度比值與深海波尖銳度關係
圖 42. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之濃度比值與當地波浪尖銳度關係
圖 43. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度與相對水深關係
圖 44. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度時序列變化(a)
圖 45. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度時序列變化(b)

圖 46. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度時序列變化(c)
圖 47. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之背景濃度與相對水深關係
圖 48. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之底床最大流速與相對水深關係
圖 49. 台中港北防砂堤測站 B 之群波現象與其波能變化圖(a)
圖 50. 台中港北防砂堤測站 B 之群波現象與其波能變化圖(b)
圖 51. 台中港北防砂堤測站 B 之群波現象與其波能變化圖(c)
圖 52. 台中港北防砂堤測站 B 之群波係數 GF 值與相對水深關係
圖 53. 台中港北防砂堤測站 B 之當地波浪尖銳度與相對水深關係
圖 54. 台中港北防砂堤測站 B 之平均濃度與背景濃度比值與相對水深關係
圖 55. 外傘頂洲初始影像水線之分佈(紅色線條)(1998 年 11 月 12 日)
圖 56. 外傘頂洲微調後影像水線之分佈(紅色線條)，橘色線條則為 GPS 所測之實際水線(1998 年 11 月 12 日)
圖 57. 觀音海邊影像水線(紅色)及實際水線(橘色)位置(1998 年 11 月 25 日)
圖 58. 大肚溪口影像水線(紅色)位置，橘色點為經緯儀及測距儀所測實際水線之位置(1996 年 1 月 30 日)
圖 59. 1999 年 4 月 24 日大肚溪口影像水線(黃色)及實際水線(紅色，以 GPS 所測)之比較圖
圖 60. 1998/11/03(潮位 515.6 公分)影像水線(黃色)分佈(上圖為北防波堤地區，下圖為大肚溪河口地區)
圖 61. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/02(潮位 451.3 公分)影像水線(黃色)分佈
圖 62. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/01(潮位 339.3 公分)影像水線(黃色)分佈
圖 63. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/12(潮位 125.8 公分)影像水線(黃色)分佈
圖 64. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/11(潮位 85.8 公分)影像水線(黃色)分佈

圖 65. 北防波堤區域之坡度測量
圖 66. 大肚溪河口區域之坡度測量
圖 67. 1998/11/02(潮位 451.3 公分)，1998/11/12(潮位 125.8 公分)
1998/11/01(潮位 339.3 公分)大肚溪口影像水線分佈情形(分別以黃、淺藍及綠色)代表，內插(潮位 339.3 公分)影像則以紅色線條表示
圖 68. 同圖 60，唯日期(潮位)為 1986/10/03(潮位 505 公分)影像水線(黃色)分佈
圖 69. 1993/12/08(潮位 122.7 公分)及 1998/11/12(潮位 125.8 公分)影像水線(前者為深藍色，後者為淺藍色)分佈情形(上圖為北防波堤地區，下圖為大肚溪河口地區)

# 表 目 錄

表 1　本計畫所使用之 SPOT 衛星影像(台中港地區 9 幅，東部地區 4 幅)
表 2　影像水線及實測水線比較圖

# 照　片　目　錄

照片 1.　台中港北防砂堤北側測站 A(觀測樁)
照片 2.　台中港北防砂堤北側測站 C 之儀器配置情形

# 第一章 前 言

台灣西部海岸多屬平緩沙灘，近年來由於河川上游整治，海埔新生地開發，及港埠建設等，阻斷沿岸輸砂平衡，使海岸呈現侵蝕狀態，嚴重威脅海岸地區居民生命及財產安全。而近岸淺水海域是海岸漂沙活動最頻繁的水域；例如，碎波帶附近漂沙傳輸行為受波浪特性、流場分佈、底床邊界層等影響，在海岸地形變遷上扮演極重要角色，但其力學機制及底床邊界層變化，卻仍無法完全瞭解，主要原因為實驗室之漂沙試驗受水槽規模及歪比影響無法完全模擬實際海域輸砂行為，而現場觀測又極為困難之故。因此，一般海岸輸砂模式僅能以區域性之長期平均變化量來描述當地海岸地形變遷，而對其輸砂過程及力學機制則仍有待探討。

當波浪由深海進入淺水區域，因水深變淺，波形不對稱，使底床邊界層之往復振盪流動成非線性變化。而當底流流經底床砂漣之漣峰時，因水流分離作用產生渦漩運動，捲起底床砂粒形成懸浮砂，懸浮砂隨水流移動、跳躍或再沉積，其機制極為複雜。現場觀測時，一般使用固定儀器方式，僅能量測水面下某固定位置之流速或濃度變化，對於活動底床因砂漣運動造成之邊界層變化，則根本無法掌握。

本研究於平緩沙灘海岸進行現場觀測，以改良式活動支架，可任意改變儀器測點高度與位置，利用儀器設備，對底床輸砂行為及流場特性進行詳細觀測及分析，深入探討碎波帶附近之流場與懸浮輸砂行為，以瞭解底床邊界附近之輸砂特性。此外，本研究另利用衛星影像資料對台中港附近及台灣東部台 11 線路段海域等作海岸水線、潮間帶地形及海岸線變遷偵測，結果可作為海岸長期變遷偵測之應用。

# 第二章　文獻回顧

於海岸現場擬正確的量測近岸懸浮砂含量是一件非常困難的事，尤其是擬直接量測瞬時間之懸浮砂含量的情況。至於過去大部份使用於實驗室內的量測技術，其例如虹吸取樣法(Shinohara et al., 1958；Fairchild, 1959)，照相比對法(Bijker, 1971)，光電計量測法(Homma, Horikawa and Kajima, 1965；Bhattacharya et al., 1969；Horikawa & Watanabe, 1970)或顆粒計數法(Hattori, 1969)等則都太過於精細，致其無法於海岸現場觀測時實際採用。再者，對於海岸現場之懸浮砂採樣器而言，有些只能用於單相流流場，有些則取一段時間內數十個波之懸浮砂濃度求取平均值(Inman, 1949；Watts, 1953；Nagata, 1961；Homma & Horikawa, 1963；Cook, 1970)，或是以垂直水深之總含砂量來加以表示(Basinski & Lewandowski, 1975)。另亦有用放射性鈷 60 之強度來表示濃度。此外，Wenzel(1975)則嘗試以超音波計來量測懸浮砂之濃度。上述各種量測方法有一共通困擾，即在近岸地區因波浪碎波作用，波浪能量大量釋放及強烈之紊流致對現場安裝之觀測儀器產生極大的破壞力，其使得現場資料之取得變得極為困難。而且當波浪進入淺海後，強烈之非線性以及複雜之力學機制，每每亦使得理論模擬也變得極為不易。雖然如此，惟就海岸懸浮輸砂之研究而言，過去仍有不少之研究成果發表，其中例如 Rouse(1964)根據濃度擴散理論求得懸浮砂之垂直濃度分佈，Einstein & Abdel(1972)應用濃度分佈式求得垂直方向的相對濃度。Bijker(1971)將之應用於波、流作用下之懸浮質濃度計算，發現計算結果與實際濃度尚稱吻合。

# 第三章　理論分析

在波浪作用下，海岸底床附近流場為一種往復振盪流，屬於非穩態流場，其引致之懸浮砂的連續方程式為

$$\frac{dc}{dt} = w_s \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial x}) \tag{1}$$

式中　$w_s$：懸浮砂粒之沉降速度

$\varepsilon_s$：懸浮砂之紊流擴散係數

上式中左式代表懸浮砂濃度之時間變化；右式第一項代表懸浮砂之沉降，後兩項則為懸浮砂之垂直與水平擴散式。由於懸浮砂之濃度變化在垂直方向遠大於水平方向，因此右式第三項可予忽略即

$$\frac{dc}{dt} = w_s \cdot \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z}) \tag{2}$$

另濃度之時間變$(dc/dt)$可近似為

$$\frac{dc}{dt} = \frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} + w\frac{\partial c}{\partial z} \cong \frac{\partial c}{\partial t} \tag{3}$$

將(2)式取時間平均得

$$w_s \frac{\partial \overline{c}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(\overline{\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z}}) = 0 \tag{4}$$

或 $$w_s \overline{c} + \overline{\varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial z}} = 0 \tag{5}$$

其中 $\overline{c}$ 為底床上某一高度 z 之濃度平均值，如代入一與時間無關之 $\varepsilon_s$ 值則可得

$$w_s \overline{c} + \varepsilon_s \frac{\partial \overline{c}}{\partial z} = 0 \tag{6}$$

根據 Lundgren(1972)之研究指出，$\varepsilon_s$ 隨高度 z 而變

$$\varepsilon_s = k \cdot U_{f,\max} \cdot z \Big/ [1 + 1.34 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} f_\omega} \cdot \frac{z}{\delta_1} \cdot \exp(\frac{z}{\delta_1})] \tag{7}$$

式中 $k$：Von Karman's 常數

$U_{f,\max}$：一個波浪週期中之最大剪力速度

$f_\omega$：波浪摩擦係數

$\delta_1$：平均邊界層厚度

上列(7)式為來自 Jonsson(1963)之量測經驗式，該式為一個波動週期之平均值。將(7)式代入(6)式可求得

$$\overline{c} = kz^{\frac{-w_s}{kU_f}} \cdot \exp[-\frac{w_s}{kU_f} \cdot 1.34 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} f_\omega} \cdot \exp(\frac{z}{\delta_1})] \tag{8}$$

在穩定狀態下，Rouse(1964)根據懸浮質濃度擴散理論求得垂直濃度分佈式為

$$\frac{c}{c_a} = (\frac{h-y}{y} \ \frac{a}{h-a})^{\alpha} \tag{9}$$

$$\alpha = \frac{w_s}{kU_*} \tag{10}$$

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \tag{11}$$

式中 $a$：底床附近一參考點之高度

$c$：體積濃度

$c_a$：參考點$a$之懸浮砂體積濃度

$h$：水深

$y$：離底床任一位置高度

$k$：Von Karman's 常數($\approx 0.435$)

$U_*$：底床摩擦速度

$\tau_0$：底床剪應力

$\rho$：流體密度

將該式由$a$至$h$垂直積分，得單位寬度之輸砂量為

$$q_s = \int_a^h c\,u\,dy \tag{12}$$

其中 $c, u$：分別為瞬時之垂直濃度分佈及速度分佈

$q_s$：單位寬度每單位時間之懸浮載輸砂量

假設在垂直方向上，水平流速成對數分佈，即

$$u = 5.75\,U_*' \cdot \log\frac{30.2y}{r} \tag{13}$$

式中 $U_*'$：純由懸浮砂粒引起之剪力速度

$r$：底床粗糙度

將(9)及(13)式代入(12)式可得

$$q_s = \int_a^h c_a \left(\frac{h-y}{y}\ \frac{a}{h-a}\right)^{\alpha} \cdot 5.75\,U_*' \log\frac{30.2y}{r}\,dy \tag{14}$$

在波浪運動下，$c$與$u$均為時間之函數，屬於非穩定狀態。懸浮砂之瞬時濃度並非由底床剪應力之瞬時值決定，此因為砂粒由底床懸浮後須要經過一段時間才會沉降，故底床濃度與底床剪應力兩者間會有時間差。

而計算懸浮載總輸砂量時必須由其瞬時值積分而非由波動平均值，即

$$Q_s = \int_0^T \int_a^h c\, u\, dy\, dt \tag{15}$$

# 第四章　現場調查

本研究於台中港附近海域設立四觀測據點並安裝儀器以進行現場資料之蒐集。四個測站位置如圖 1 所示。其中，測站 A 位於台中港北防沙堤北側之 1 號觀測樁附近(照片 1)。測站 A, B, C 為由外海向岸，沿北北西向南南東方向亦即波浪向岸入射方向成一直線排列。測站之地形斷面如圖 2，由 A 至 C 距離約 425 公尺，測站 A 至 B 間有一砂洲結構，底床起伏較大；測站 B 至 C 間底床地形較平緩，底床坡度約 0.014。測站 D 位於台中港北防波堤之堤頭外約 30 公尺位置，該處中潮位水深約 17.2 公尺。

本年度計畫第一次觀測為由民國 87 年 12 月 30 日至 88 年 1 月 18 日，觀測期間東北季風強勁，近岸風浪甚大，測站 D 之底床上 1 米位置安裝一具 Micro-Lite 壓力式波浪儀，以記錄外海入射波浪。而北防沙堤外潮間帶內沙灘上之測站 C 則安裝一具 SP2100 壓力式波浪儀及兩組 Micro-Lite 濁度計，分別觀測近岸波浪以及底床上 15 公分與 47 公分位置處之懸浮砂濃度，各類儀器配置如照片 2。

第二次觀測由民國 88 年 5 月 7 日至 6 月 4 日止，觀測期間海上西南氣流旺盛，北防沙堤北側之 A, B, C 三個測站受北防沙堤之地形遮蔽影響，風浪較小，但是作業船隻仍須由台中港港口出海。由港口至北防沙堤測站約須半小時航程，且風浪不小。本次觀測於 1 號觀測樁附近之測站 A 底床上安裝一具 Micro-Lite 潮波儀及一具 3D-ACM 流速儀；測站 B 則安裝一具 Micro-Lite 潮波儀，兩組 ATU-8M 濁度計，一具 ADP 剖面流速儀及一具 3D-ACM 海流儀。該兩組濁度計分別量測底床上 15 公分高度及 65 公分高度由波浪與流捲起之懸浮砂濃度。另外，近岸潮間帶內平緩沙灘上之測站 C 仍安裝一具 SP2100 潮波儀，以觀察碎波帶內之波浪變化。

# 第五章　資料分析

## 5.1　第一次觀測資料分析

第一次觀測期間為探討外海入射波浪進入碎波帶後之波況變化及其引起之底床懸浮漂沙濃度變化以瞭解波浪對近岸輸砂活動之影響，故分別於外海及近岸各安裝一具波浪儀及兩組濁度計加以量測。可惜由於近岸測站之潮波儀故障，致無法取得懸浮砂濃度與當地波況間變化之相互關係以及外海波浪入射至近岸淺灘之波況變化情形。

觀測期間有數次強烈鋒面通過，外海波高高達 5 公尺如圖 3 內所示。另測站 D 之水深潮位時序列變化如圖 4，圖中顯示本次量測時段為由 5 米大潮經 2 米小潮再至大潮。任取二時段分析(1 月 5 日 12 時及 1 月 17 日 12 時)可看出外海入射波浪大抵呈強烈之群波特性分如圖 5 及 6 所示。各圖中，上圖為波浪之時序列水面水位變化，下圖為其平滑化瞬時波能(SIWEH)分佈，其可顯示時序列之波能變化，即在群波大波集中處，其相對波能量亦較大。而當波浪進入淺灘後，因波浪觸底，底床磨擦或碎波等造成底床砂大量懸浮，被水流流動所攜帶而造成懸浮輸砂現象。其次，對於平滑化瞬時波能(SIWEH)之 GF 值(grouping factor)的分析而言，一般說來，GF 值可代表群波現象之明顯程度。通常 GF 值愈大則大波振幅與小波振幅之比值愈大，亦即群波現象愈明顯。圖 7 為波浪時序列中各區段之 GF 值變化情況。其中粗實線為各區段中之 GF 平均值。由圖中可看出本時段本區海域之波浪 GF 值大約在 0.8 上下。再者，由於測站 C 位於平緩沙灘潮間帶內，故在乾潮時之時間區段內儀器將露出水面，故儀器所取得資料便成區段式序列。茲為對照比較測站 C 與測站 D 間相關資料特性，是以資料分析結果皆以區段式序列顯示。此外，為探討本區海域之波浪特性，乃就所觀測到之波浪資料做各種波浪特性因子分析。首先就入射波浪之波浪尖銳度分析而言，於測站 D 由波浪資料推算得之深海入射波浪尖銳度($H_s/T^2$)對時間之變化示如圖 8，其中粗實線為各

區段之平均值。圖 9 則為測站 D 之當地局部波浪尖銳度($H_s/L$)對時間之變化情況。圖 10 為測站 C 在底床上 12 公分處之懸浮砂濃度時序列變化，圖 11 為測站 C 在底床上 47 公分高處之懸浮砂濃度時序列變化，兩者均顯示懸浮砂濃度約隨入射波浪尖銳度大小之增減而增減。圖 12 則為離底床 47 公分高處懸浮砂濃度與在底床上 12 公分高處之懸浮砂濃度的比值，由此圖中可看出其平均值約在 0.35 左右。

## 5.2 第二次觀測資料分析

第二次觀測期間，由測站 B 測得之潮位變化如圖 13。測站 B 位於平緩沙灘最低潮位線附近，儀器大部份時間都位於零水位線下。惟當大潮且海面波浪較大時，儀器偶而亦會露出水面，此時將無實測資料可得。對測站 B 而言，所取得之波高時序列變化分析結果如圖 14，如同上述原因，其亦形成區段式時序列變化，由於是春夏交接季節，風浪不大。至於相對水深變化部份示如圖 15，此時推算所得之深海波高尖銳度($H_s/T^2$)之時序列變化如圖 16。而代表波浪群波特性之 GF 值之時序列變化則如圖 17，一般說來，其值皆略低於 0.8。圖 18 為根據小振幅波理論推算而得之每小時一筆的底床最大流速之時序列變化圖。而位於同一測點底床上 15 公分高度之懸浮砂濃度變化則如圖 19 所示。懸浮砂濃度觀測為每小時記錄 180 筆濃度值，每筆之取樣間隔為 1 秒，故此 180 秒內濃度值為隨經過測點波浪所引致之水流運動所引發之起伏變動，惟其變動範圍皆在某一環境濃度值之上，此環境濃度值又稱為背景濃度值，其值與當時之波候流況有關，該值之時序列變化如圖 20。對每一時段濃度平均值與背景濃度值之比值而言，其可顯示該時段懸浮砂之變動程度，其時序列比值變化則如圖 21 所示。

今另取一觀測時段即由民國 88 年 5 月 8 日低潮位經高潮位後再回至 5 月 9 日之低潮位的情況來加以分析，此時間段於 B 站處之水深變化如圖 22，推算深海波浪尖銳度($H_s/T^2$)之時序列變化如圖 23，相對水深

$(d/L_0)$之時序列變化如圖 24，波高$(H_s)$變化如圖 25，群波因子(GF)變化如圖 26，推算底床最大流速$(U_{bottom})$變化如圖 27，斯時斯地之波浪尖銳度$(H/L)$變化如圖 28，底床附近離底床高 15 公分處之懸浮砂平均濃度$(C_{ave})$變化如圖 29，濃度背景值$(C_{minimum})$變化如圖 30，而平均濃度與背景濃度之比值變化則如圖 31。由以上之分析結果中可約略看出，$H/T^2$與$H/L$之時序列變化有一相同的趨勢，GF 與$d/L_0$亦有相同的時序列變化趨勢，$U_{bottom}$與$H/L$間另有相同之變化趨勢，$C_{ave}$與$C_{minimum}$間亦有一大段的相同趨勢，此些特殊現象因時間關係來不及作進一步分析，有待日後補充探討。

### 5.3 懸浮質濃度變化相關性分析

就海岸底床上懸浮質濃度之變化而言，其可能與入射波浪尖銳度或相對水深變化有關。就後者而言，於近岸測站 C 之懸浮砂濃度變化可發現其隨所在位置之相對水深變化成反比，即隨相對水深之減小而增大，且可發現不管是底層濃度$C_{12}$或較高層之濃度$C_{47}$皆有相同趨勢如圖 32 與圖 33 所示，其變化關係分別為

$$C_{12}(ppm) = 2586.4 - 7900(d/L_0)$$

$$C_{47}(ppm) = 867.5 - 2591.8(d/L_0)$$

其次，就群波因子(GF)之分析而言，由測站 D 之波浪資料分析可得波浪群波特性有隨波浪尖銳度增加而增加之趨勢如圖 34 所示，其相關性可得為

$$GF = 0.613 + 3.225(H_s/T^2)$$

至於底床上不同水深處之懸浮砂濃度$C_{12}$及$C_{47}$與入射波浪尖銳度

$(H_s/T^2)$間之關係(深水情況)可分別得如圖 35 及 36 所示，兩者皆有懸浮質濃度隨入射波浪尖銳度之增加而增大之趨勢，其相關方程式則分別為

$$C_{12}(ppm) = 423.9 + 22487.6(H_s/T^2)$$

$$C_{47}(ppm) = 168.6 + 7026.6(H_s/T^2)$$

當在淺水域(近岸碎波帶內測站 C 處)時，底床上不同高度處懸浮質濃度與近岸波浪尖銳度$(H_s/L)$間亦有一相同的增大趨勢(圖 37 及 38)，其相關方程式分別為

$$C_{12}(ppm) = 455.5 + 28929.7(H_s/L)$$

$$C_{47}(ppm) = 177.1 + 9102.1(H_s/L)$$

就測站 C 處而言，底床上水深 47 公分處之懸浮砂濃度$C_{47}$與底床上水深 12 公分處者$(C_{12})$兩者間之關係因入射波浪大小變化而變化之相關性示如圖 39，由圖中可看出兩者間具甚良好之相關性，其相關方程式可得為

$$C_{47}(ppm) = 26.3 + 0.33C_{12}(ppm)$$

其次，對相對濃度比值$(C_{47}/C_{12})$與相對水深$(d/L_0)$而言，其相關性如圖 40 所示，而相對濃度比值與入射波浪尖銳度間之關係則分如圖 41 及 42 所示，各別之相關方程式可得如下

$$\frac{C_{47}}{C_{12}} = 0.3 + 0.26(d/L_0)$$

$$\frac{C_{47}}{C_{12}} = 0.38 - 1.06(H_s / T^2)$$

$$\frac{C_{47}}{C_{12}} = 0.38 - 1.29(H_s / L)$$

上列關係式中 $H_s/T^2$ 代表深海入射波浪尖銳度，$H_s/L$ 則代表淺水區之入射波浪尖銳度，雖有深水淺水之別，不過仍可看出相對濃度比值確與入射波浪尖銳度有某相當一致的相關性。

就測站 B 而言，因其位於水深較深之轉換區(transition zone)，其水深因潮位而變(0.5~4 公尺)，此水深範圍含括了碎波帶內外。由資料分析結果發現底床附近(離底床 15 公分)之懸浮砂濃度($C_{15}$)隨相對水深($d/L_0$)增加而遞減，其遞減率分成兩段，前段相對水深由 0.015~0.04，其遞減斜率較陡。後段相對水深由 0.04~0.09，其遞減斜率較緩，而整體則成指數衰減如圖 43。其衰減關係式為

$$C_{15}(ppm) = 7085.1 \cdot e^{-35.6(d/L_0)}$$

此外，另由懸浮砂濃度之量測資料分析結果可以看出每段時間都有其基本的背景濃度，而由波動作用所造成之濃度變化則是由基本背景濃度($C_{minimum}$)往上躍昇而形成砂泉(sand fountains)現象如圖 44~46 所示。該基本背景濃度 $C_{minimum}$ 亦隨相對水深成指數函數遞減如圖 47，其遞減相關方程式為

$$C_{min} = 1765570(d/L_0)^3 - 280885(d/L_0)^2 + 117406(d/L_0) - 181$$

再者，由於底質懸浮濃度主要為由波動作用在底床附近之流體剪應力所產生，因此如以小振幅波理論推算底床附近流速可發現在相對水深

為 0.04 附近有較大底床流速出現如圖 48 所示。此底床流速與相對水深之關係式可得為

$$U_{bottom} = 7981(d/L_0)^3 - 1434(d/L_0)^2 + 73(d/L_0) - 0.52$$

經比對圖 48 於圖 47，可看出底床懸浮砂基本背景濃度與底床流速確具相當密切的關係性，即當相對水深接近 0.04 時都可得最大的底床背景濃度與底床流速。

此外，在群波特性分析方面，由測點 B 附近所測得之波浪資料分析可發現水面波動存在有群波現象如圖 49~51 所示。其群波特性如以 GF 值表示可看出在相對水深為 0.04 附近亦有較大之 GF 值，向岸後則迅速遞減如圖 52 內所示。其相關性方程式可得為

$$GF = 0.46 + 50(d/L_0) - 817(d/L_0)^2 + 3992(d/L_0)^3$$

就近岸淺水區之波浪尖銳度$(H/L)$與深海相對水深$(d/L_0)$之相關性而言，其相對關係示如圖 53，由圖中可看出，如同底床懸浮砂濃度之於相對水深之關係，亦可發現淺水區之波浪尖銳度在相對水深約在 0.04 時出現最大值。其間之關係方程式可寫為

$$\frac{H}{L} = 3.6(d/L_0) - 71(d/L_0)^2 + 401(d/L_0)^3$$

一般說來，懸浮砂濃度之變化為由當地之背景濃度值往上躍昇，其濃度增加量及躍昇高度皆代表濃度變化之變化率，其亦可顯示當地之紊流強度。今如以平均濃度$(C_{ave})$與濃度背景值$(C_{\min})$之比值表示之可得分析結果如圖 54 所示。其關係方程式則可得為

$$\frac{C_{ave}}{C_{\min}} = 8.2 - 368(d/L_0) + 6858(d/L_0)^2 - 41667(d/L_0)^3$$

由上圖中亦可看出當相對水深由 0.08 減至 0.04 時，相對濃度比值與相對水深間並無明顯的增減相關性，此意味著波浪由深水向淺海推進時，相對濃度之變化顯然所受影響不大。但當相對水深低於 0.04 後，相對濃度比值即快速成長，此代表碎波帶內之懸浮輸砂量有快速的升高現象。

# 第六章　衛星影像海岸變遷偵測

## 6.1 研究目的及方法

本部份研究為延續上年度計畫「衛星 SAR 影像海面特徵分析及海岸線偵測系統之建立」的工作，利用上年度已開發完成之「海岸線偵測系統」，於衛星影像中繪出於衛星拍攝時刻之潮位時所對應之水線位置，並藉 GPS 的定位技術，確立影像中水線與實際水線間之位置關係，利用此項成果，分析短期間多日期衛星影像，以獲得潮間帶之地形分佈。此外，亦可分析長期間多日期衛星影像，以獲得潮間帶範圍之動態變化。分析方法第一步為作影像水線與實際水線之分佈分析，配合衛星影像實際拍攝時間前往海岸現場，利用 GPS 定位技術，確定影像水線與實際水線之關係。第二步為潮間帶地形分佈分析，其方法為利用短時間多日期衛星影像，估算在不同潮位之水線位置，進一步利用沙灘邊緣線之內插流程，即可獲得潮間帶地形變化。第三步為潮間帶(即海岸線)變遷偵測，此法為選取早期(約十年前)品質良好之衛星影像，獲得影像水線分佈，對應此影像之潮位選取近期同一季節，同一(或相近)潮位影像獲得其影像水線分佈，比較此兩者之影像水線分佈，即可獲得潮間帶(即海岸線)之變遷偵測。

## 6.2 研究步驟及分析結果討論

1. 影像蒐集

歷年來所收集之台中港地區 SPOT 衛星影像，自 1986 年 10 月 3 日至 1998 年 11 月 12 日止，共計有 30 組，經進一步自簡式影像選取品質較佳，且同時有潮位可供比較分析之影像計有 8 組。此外配合本年 4 月 24 日實地觀測衛星影像資料增加一組，合計九組如表 1 所示。其範圍涵蓋 11 km × 20 km(左上角座標:N2,694,000,E194,000；

右下角座標：N2,674,000，E205,000)。

2. 影像水線分佈

利用上年度研究開發之「海岸線偵測系統」，經選用 1998 年 11 月 12 日在外傘頂洲之SPOT衛星影像作測試，將影像輸入該系統後，系統本身立即以影像本身特性自動求取「臨界值」，從而計算影像水線之位置及分佈，其結果如圖 55 所示。從螢光幕上所顯示之水線分佈與影像本身強度特別變化地區即水線界面，略有差異，利用滑鼠略為調動「臨界值」，即可獲得滿意之結果，如圖 56 所示。其中影像水線與實測水線之比較結果如表 2 所示。

3. 影像水線及實際水線分佈之比較

依據前述之步驟，分別萃取 1997 年 11 月 25 日在觀音海邊以及 1996 年 1 月 30 日在大肚溪口之水線分佈，其結果如圖 57 及圖 58 所示。圖 57 至圖 58 中，紅色線條為影像水線位置，圖 57 中橘色線條為利用 GPS 定位技術所測出之實際水線位置，至於圖 58 中橘色點則為利用經緯儀及測距儀所測出之實際水線位置。另就前節表 2 中所得結果觀之，正值表示影像水線位置較實測位置略為接近岸邊，反之，負值則其位置略為遠離岸邊。平均值及絕對值誤差分別為 3.7 公尺及 18.1 公尺。影像本身幾何校正平均誤差為 ±0.5 個像元(對應現地為 12.5 公尺)。整體而言，如果海面平靜，模式結果應為可靠，反之如具有碎波之海面或附近出現雲層，其結果將較不理想，相關細節於後再進一步評估。此外，就大肚溪口個案而言(如圖 58 所示)，影像水線之位置幾乎都較地面實測位置偏離岸邊，這是否反應 GPS 定位與經緯儀及測距儀定位技術有所偏差以導致不同地面實測結果，值得再加探討。經過 4 月 24 日重返大肚溪口，利用 GPS 定位技術測量實際水線位置，結果得如圖 59 所示，結果尚稱意。

4. 台中港地區潮間帶之地形分佈變化分析

為了解台中港地區潮間帶之地形分佈，乃就已有影像中選取自1998年11月1日至11月12日中可用資料共五組加以分析，由於前後日期相差11天而已，故可假設地形保持不變。此五組衛星影像之潮位高低排列分別如下：(1)11月3日(515.6公分)，(2)11月2日(451.3公分)，(3)11月1日(333.9公分)，(4)11月12日(125.8公分)，(5)11月11日(85.8公分)。圖60至64表示自高潮位到低潮位，影像水線(黃色線條)分佈情況，各圖中上圖為台中港北防波堤地區，下圖則為大肚溪河口地區。由圖60看來，當潮位在515.6公分時，所有潮間帶都被水淹沒，當潮位降為451.3公分時(圖61)，有小部份潮間帶，比較圖62及圖63，在防波堤與海岸交接附近地區，圖62所自動求出之海岸線外移，其主要原因在於該地區近紅光波段資料太強(從顏色略帶紅色可知)，無法與陸地區隔出來，當潮位低至85.8公分(如圖64)，潮間帶離岸邊達數公里之多。由上觀之，隨著潮位逐漸降低，潮間帶自岸邊向外海延伸頗為明顯。比較在潮位451.3公分及125.8公分間影像水線之變化可推算沙灘之坡度，其結果如圖65及圖66，分別得台中港北側海灘坡度A為0.158 %，B為0.403 %。另大肚溪口A為1.564 %，B為0.169 %。此外，「海岸線偵測系統」尚具有影像水線內插之功能。換言之，就不同之潮位所獲得之影像水線分佈，可設定兩個潮位間之任何潮位，從而獲得在該潮位時，影像水線之分佈情形。茲以大肚溪口海岸地區為例說明。如圖67中上圖所示，黃色及淺藍色線條分別代表1998/11/02(潮位453.1公分)及1998/11/12(潮位125.8公分)時，影像水線分佈位置。利用本系統之內插功能，獲得潮位為339.3公分之影像水線(如紅色線條所示)。為便於比較，1998/11/01(潮位339.3公分)之影像水線(以綠色線條表示)與內插影像水線同時顯示於圖67中之下圖。一般說來，兩者分佈尚稱近似，部份差異較大地區，顯示附近地形並非線性變化。

5. 台中港地區潮間帶動態變化分析

在國立中央大學太空遙測中心之接收站正式運轉(1993 年 7 月)前所購置到之台中港地區衛星影像品質較好可用者其日期為 1986 年 10 月 3 日，其潮位高為 505 公分(圖 68)。圖中北防波堤及大肚溪口之潮間帶全部為海水淹沒(其情形與 1998/11/03 潮位 515.6 公分情況相似)。另外，就可用之影像選出 1993/12/08(潮位 122.7 公分)及 1998/11/12(潮位 125.8 公分)二者加以分析，這兩組影像潮位差僅 3.1 公分，月份相差不到一個月，季節性影響因素略而不計，因此，潮間帶之變化可歸納為 1993 年至 1998 年五年間之變化。圖 69 中，深藍及淺藍線條分別代表 1993/12/08 及 1998/11/12 影像水線之分佈。圖中上圖為北防波堤地區，下圖則為大肚溪口。根據影像水線分佈，從 1993 年至 1998 年五年期間，北防波堤潮間帶面積自 594 公頃增為 605 公頃，僅僅增加 7 公頃而已。反之，大肚溪河口地區，在同一期間則自 765 公頃減為 679 公頃，淨減 76 公頃，其變化遠較北防波堤地區為大。

# 第七章 結 論

1. 波浪由外海向海岸推進逐漸進入淺水區後，波浪因觸底而消耗波能，此消耗之能量引起底床上之紊流作用連帶帶動底床砂懸浮而形成漂砂。波浪進入淺水區後其尖銳度緩慢增加，而在越過相對水深約 0.04 附近後再迅速遞減，而代表波浪群波特性之 GF 值此時亦迅速變小，顯示在此臨界點前後波浪特性發生了重大變化。

2. 由外海向海岸方向，底床附近懸浮砂濃度之背景值$C_{\min}$將逐漸增加，惟至相對水深在 0.04 時仍大約維持一穩定增長狀態，但當相對水深低於 0.04 後，懸浮砂濃度平均值與背景濃度比值卻持續迅速增加。其原因可能為底床砂泉現象(Sand fountains)發生所致。

3. 波浪進入淺水區後，底床附近懸浮砂背景濃度逐漸增加，但到達某一定值後即維持穩定，反而平均濃度值會因底床砂泉作用頻率增加或強度增加而持續增加。此種可能因紊流作用所引起砂泉現象與個別波之關係至今仍不易釐清。且由於砂泉現象所引起之懸浮砂濃度增加量可達背景濃度值之數倍，其影響近岸輸砂量之估算甚大，有必要進一步深入探討以改善目前近岸輸砂模式沿用已久之平均量計算法。

4. 利用本研究結果可依據影像本身特性，自動求取「臨界值」，從而計算影像水線之位置及分佈，並在螢光幕顯示水線分佈情況，如有必要，利用滑鼠略為調動「臨界值」，即可獲得滿意之結果。

5. 經利用四次地面實測水線與影像水線位置比對，發現兩者之平均誤差約為 0.5 像元，此與影像本身幾何校正之誤差相同，足見本研究所得系統對於影像水線之確認，具有相當之可靠性。

6. 依據 1998 年 11 月間資料，計算台中港不同潮位之影像水線分佈，從而獲得潮間帶地形變化，比較潮位 451.3 公分及 125.8 公分影像水線變化，可推求得其坡度變化。其坡度在台中港北側海岸介於 0.158 %

至 0.403 %間，而在大肚溪口海岸則介於 0.169 %至 1.564 %間。

7. 依據 1993 年 12 月至 1998 年 11 月間衛星影像分析結果顯示，台中港北防波堤地區潮間帶範圍面積互有增減，其淨增面積約為 7 公頃。反之，大肚溪河口地區則有較明顯潮間帶向內陸退縮之現象，淨減面積約為 76 公頃。

# 參 考 文 獻


1. Basinski, T., & Lewandowski, A., (1975): Field investigation of suspended sediment. Am. Soc. Civil Engineers, Proc. 14th Conf. On Coastal Eng., p. 1096-1108.
2. Bhattacharya, P. K., Glover, J. R., & Kennedy, J. F., (1969): An electrooptical probe for measuring suspended sediment concentration. Internat. Assoc. for Hydraulic Res., Proc. 13th Congr., v. 2.
3. Bijker, E. W., (1971): Longshore transport computions. Am. Soc. Civil Engineers Proc., Jour. Water Harbors & Coastal Div., v. 97, WW4, p. 687-702.
4. Einstein, H. A., and Abdel-Aal, F. M., (1972): Einstein's bedload function at high sediment rates. Am. Soc. Civil Engineers, Proc., Jour. Hydraulics Div., HYI, v. 98, p. 137-151.
5. Hattori, M., (1969): The mechanics of suspended sedment due to standing waves. Coastal Eng. In Japan, v. 12, p. 69-81.
6. Homma, M., and Horikawa, K., (1963): A laboratory study of suspended action due to wave action. Internat. Assoc. for Hydraulic Res., Proc. 10th Congr., v. 1, p. 213-220.
7. Homma, M., & Horikawa, K., (1965): A study of suspended sediment due to wave action. Coastal Eng. In Japan, v. 3, p. 85-103.
8. Horikawa, K., & Watanabe, A., (1970): Turbulence and sediment concentration due to waves. Am. Soc. Civil Engineers, Proc. 12th Conf. On Coastal Eng., p. 751-766.
9. Inman, D. L., (1949): Sediment trap studies of suspended material near the surf zone. Scripps Inst. Oceanography, Quart. Prog. Rep. To U.S. Army Corps of Engineers Beach Erosion Board, No. 2, p. 5-6.
10. Jonsson, I.G. (1963): Measurements in the turbulent wave boundary layer. IAHR, 10th Congr., London, 1:85-92.
11. Kennedy, J. F., and Locher, F. A., (1972): Sediment suspension by water waves: In R. E. Meyer (ed.), Waves on beaches. Academic Press, New York, p. 249-295.Lundgren, H. 1972, 'Turbulent currents in the presence of waves', Proc. 13th Int. Conf. Coast. Eng., Vancouver, Canada, 1:623-634.
12. Nagata, Y., (1961): Balance of the transport of sediment due to wave action in shoaling water, surf zone, and foreshore. Recs. Oceanog. Works Japan, v. 6, p.

53-62.
13. Rouse, H., (1964): Sediment transport mechanics: Suspension of sediment: A discussion. Am. Soc. Civil Engineers, Proc., Jour. Hydraulics Div., HYI, v. 90, p. 361-363.
14. Shinohara, K., Tsubaki, T., Yosbitaka, M., & Agemori, C., (1958): Sand transport along a model by wave action. Coastal Eng. In Japan, v. 1, p. 111-130.
15. Watts, G. M., (1953): Development & field tests of a sampler for suspended sediment in wave action. U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board Tech. Memo. 34, 41p.
16. Wenzel, D., (1975): Measuring sand discharge near the sea-bottom. Am. Soc. Civil Engineers, Proc. On Coastal Eng., p. 741-755.
17. 陳景文、薛志宏 (1994)：以模型試驗探討砂質底床在波浪作用下之力學行為，第十六屆海洋工程研討會論文集，p.C186~201。
18. 林柏青、莊甲子、周憲德 (1998)：群波與近岸底床輸砂關係之研究，第二十屆海洋工程研討會論文集，p.453~458。
19. 陳國欽、林意楨 (1998)：波浪作用下沙連底床特性之實驗研究，第二十屆海洋工程研討會論文集，p.500~506。

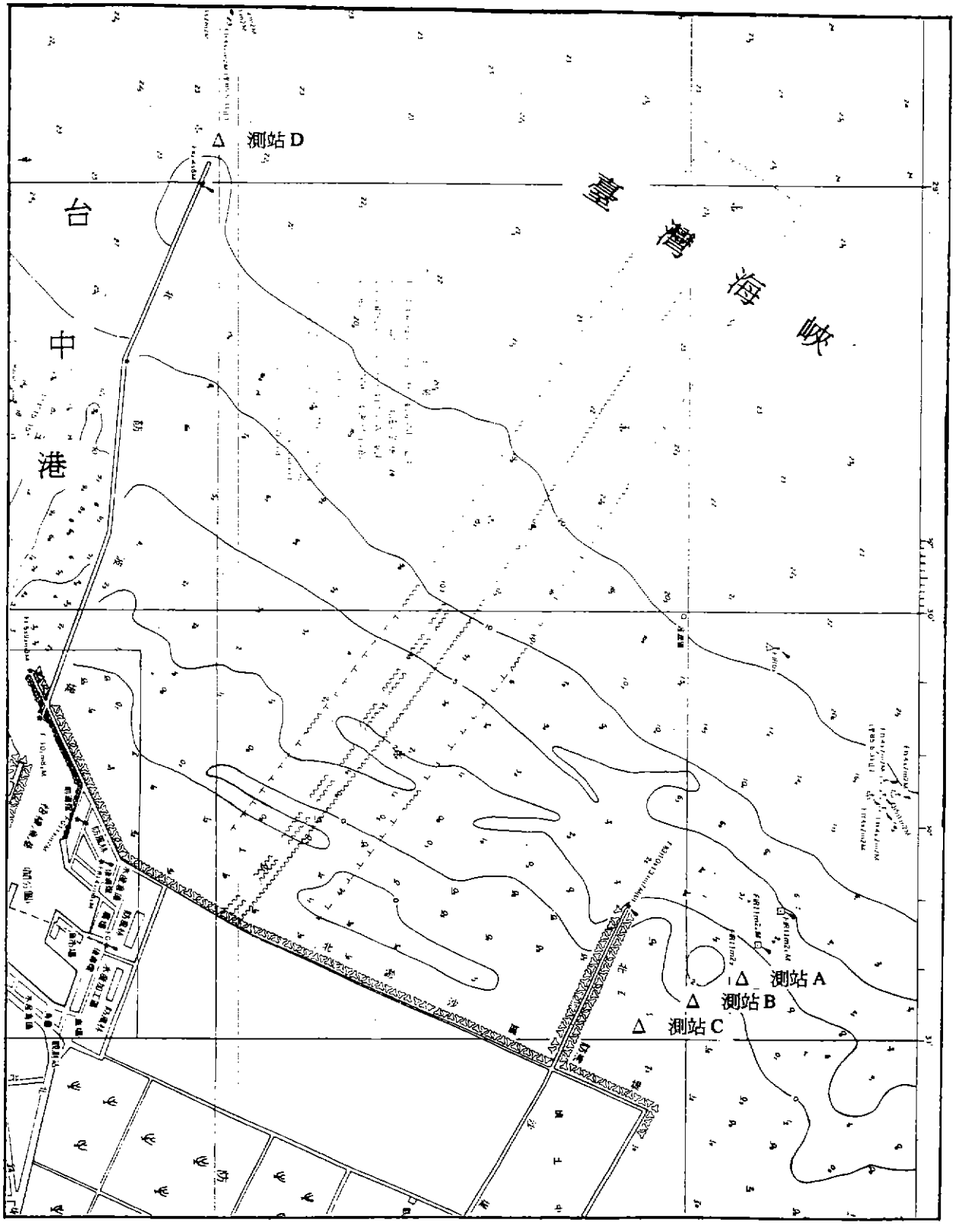



圖 1. 台中港近岸各觀測站位置圖

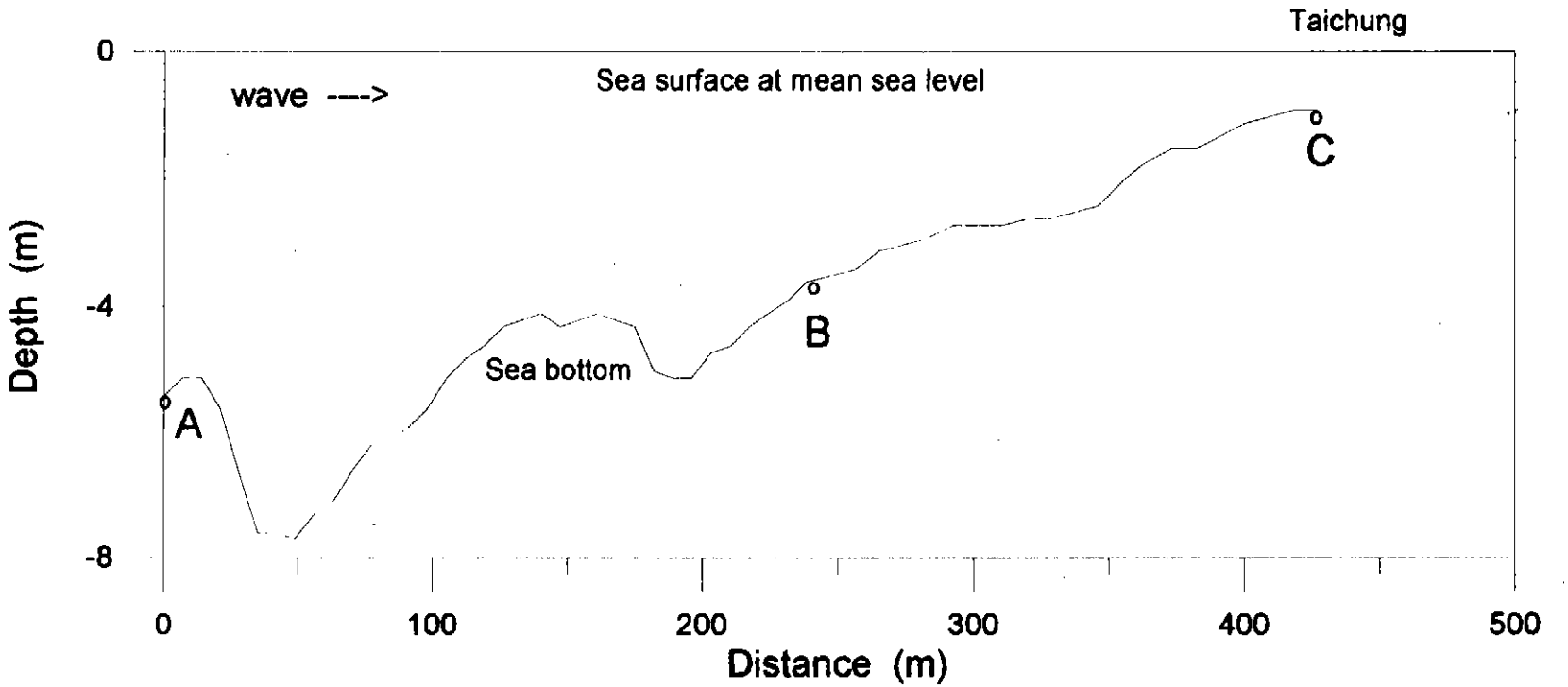



圖 2. 台中港北防砂堤北側各觀測站地形斷面圖

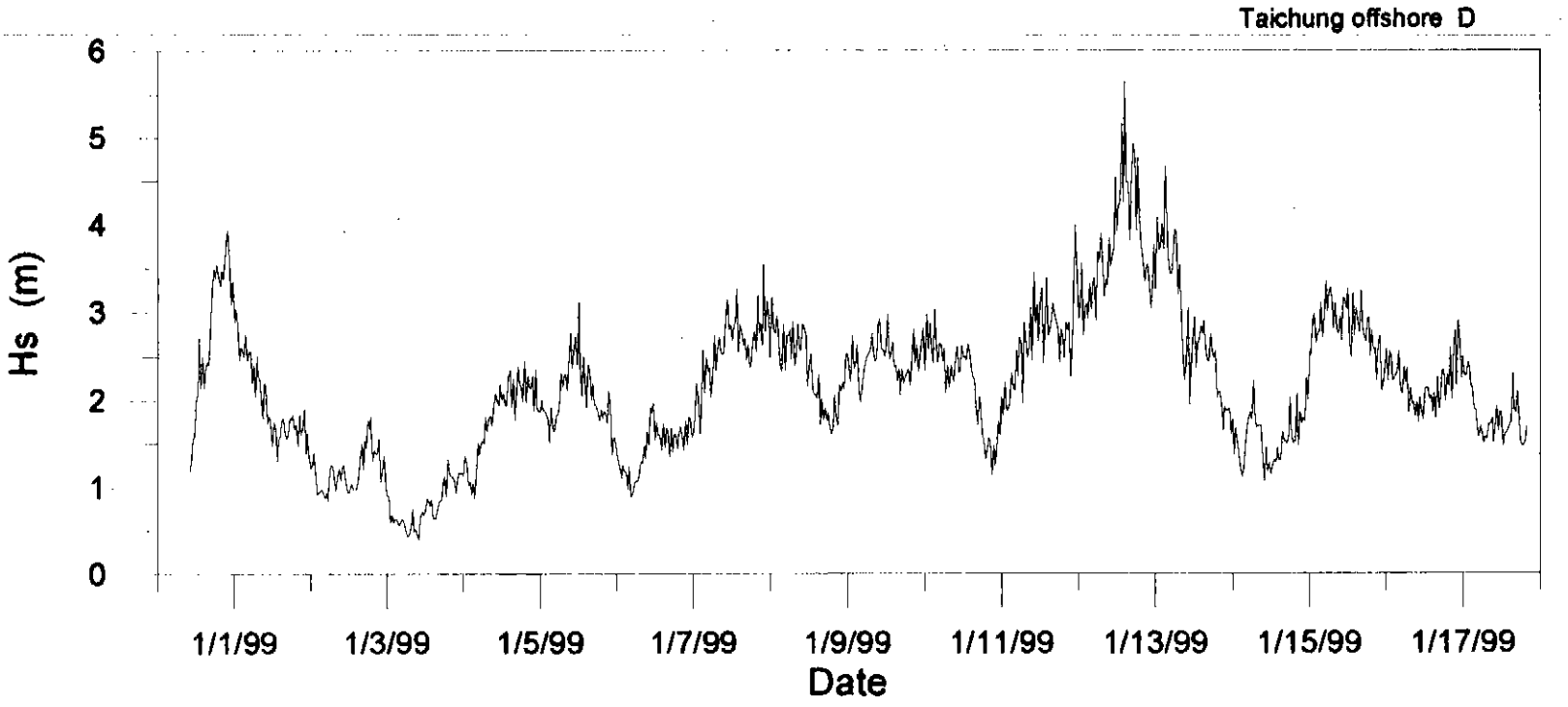



圖 3. 台中港北防波堤測站 D 之觀測波高圖

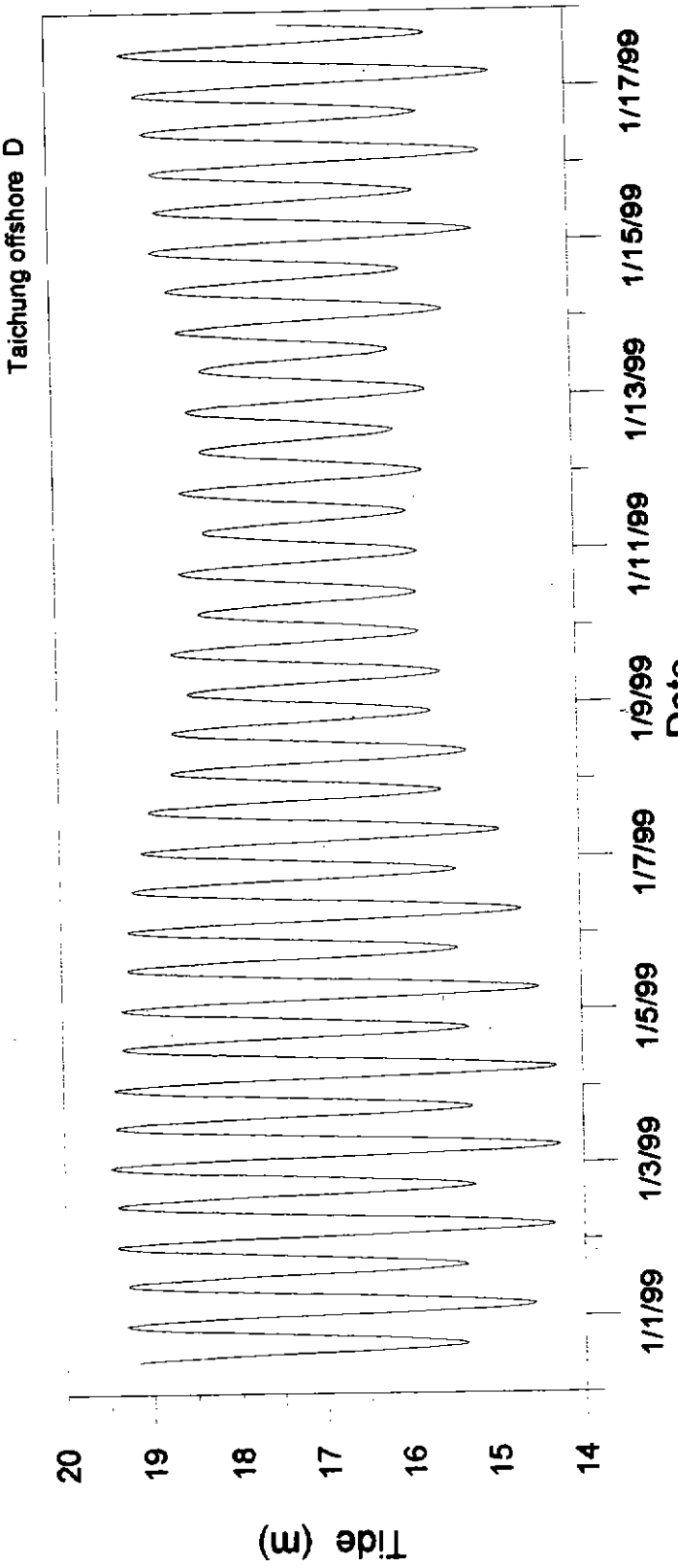



圖 4. 台中港北防波堤測站 D 之潮位變化圖

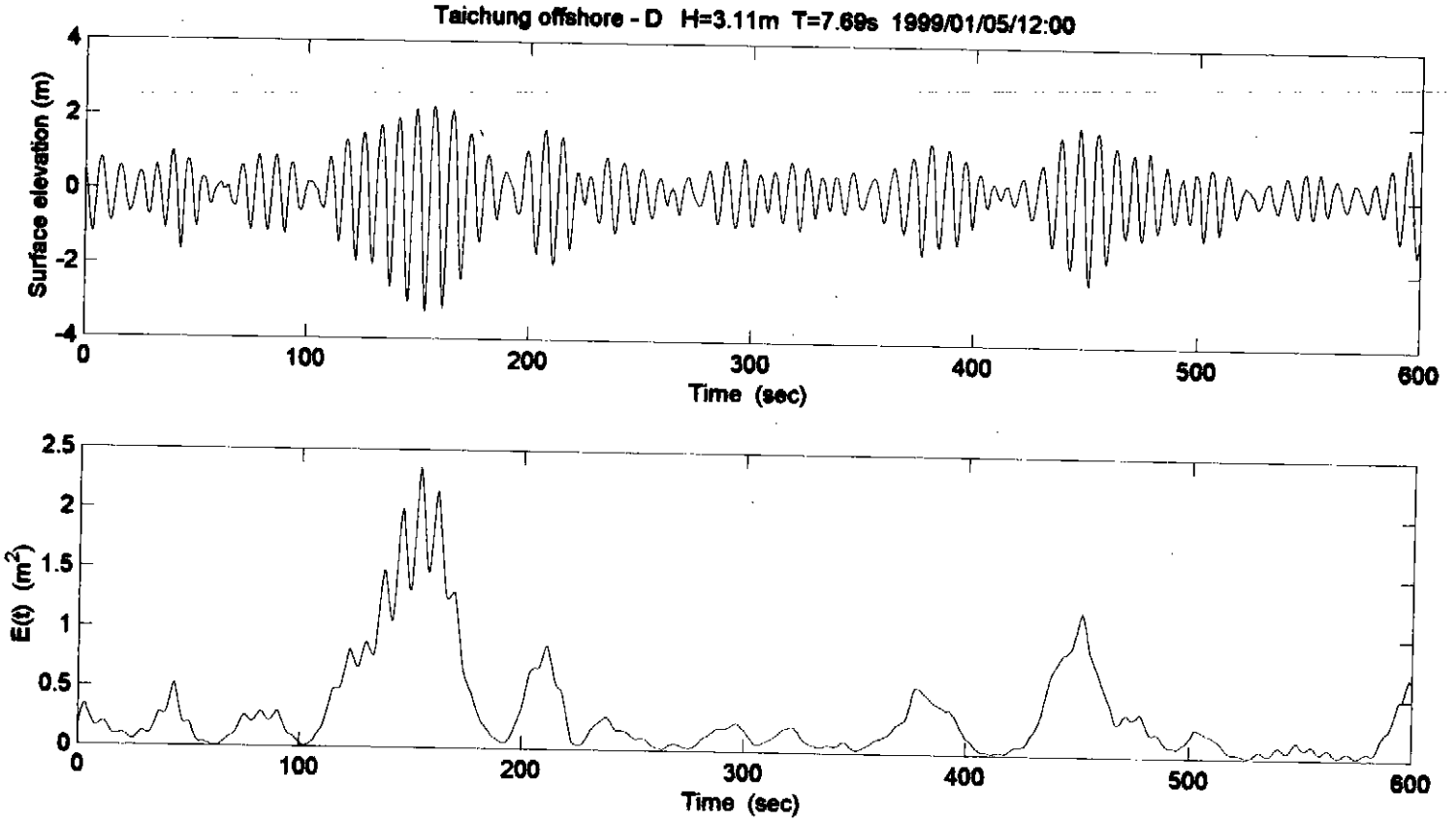



圖 5. 台中港北防波堤測站 D 之群波現象與其波能變化圖

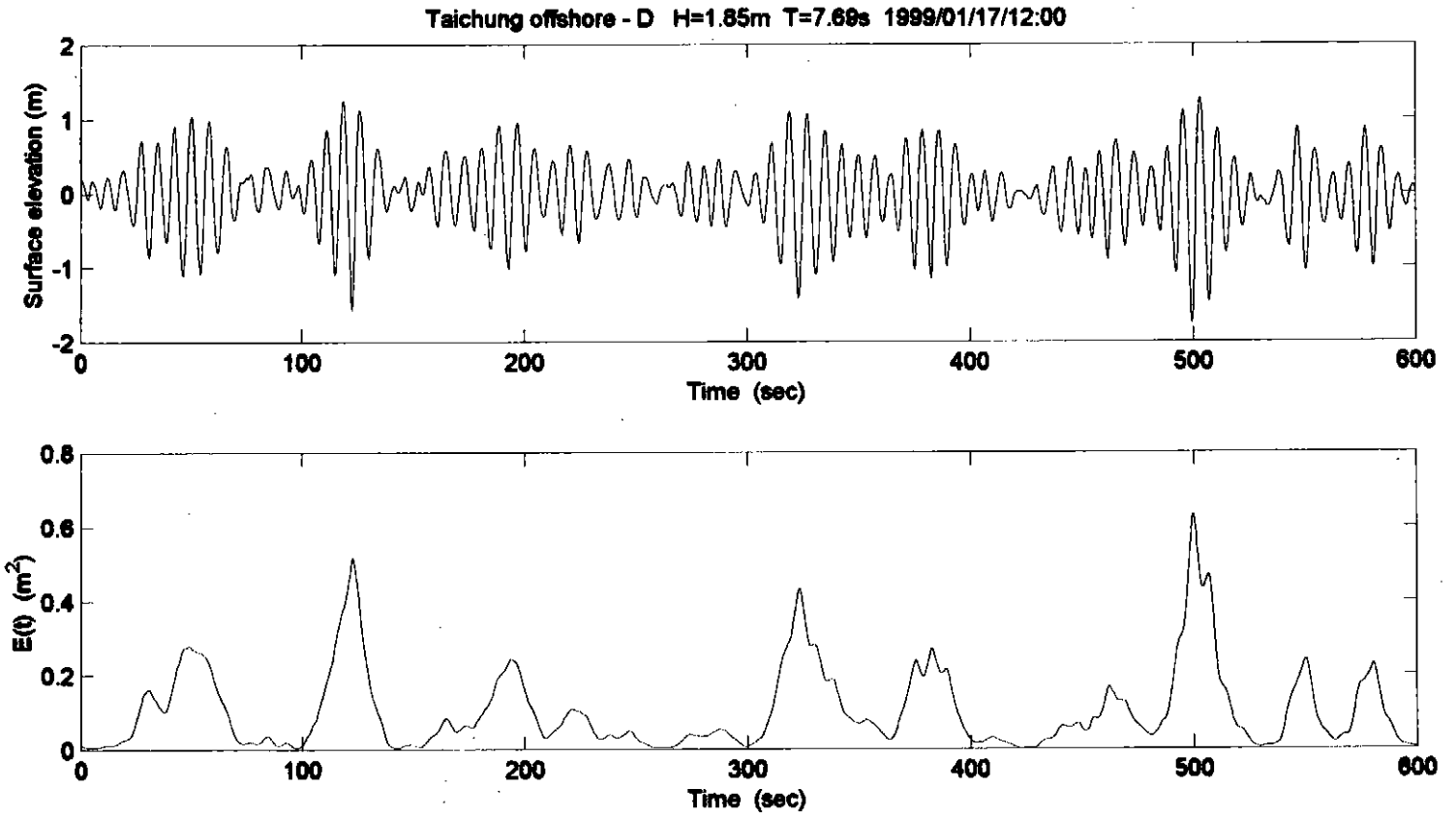



圖 6. 台中港北防波堤測站 D 之群波現象與其波能變化圖

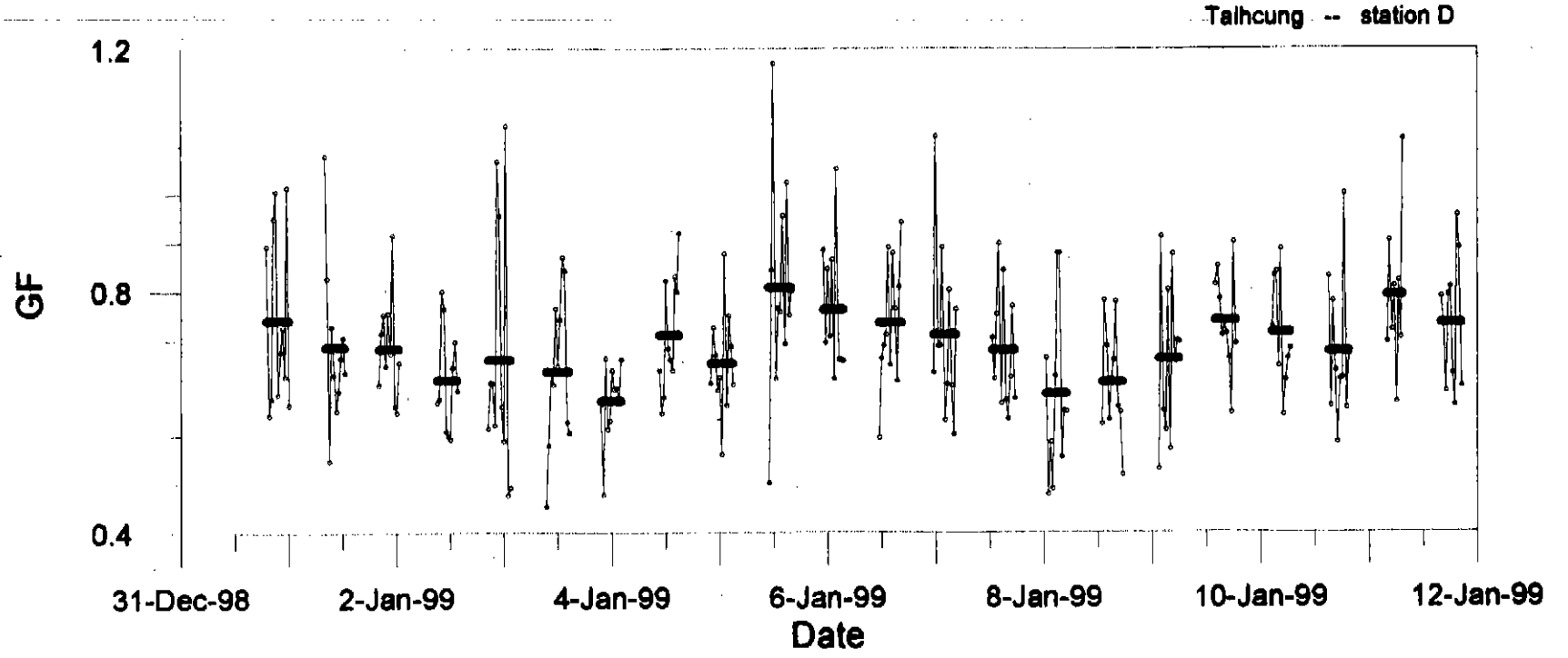



圖 7. 台中港北防波堤測站 D 之群波係數 GF 值變化圖

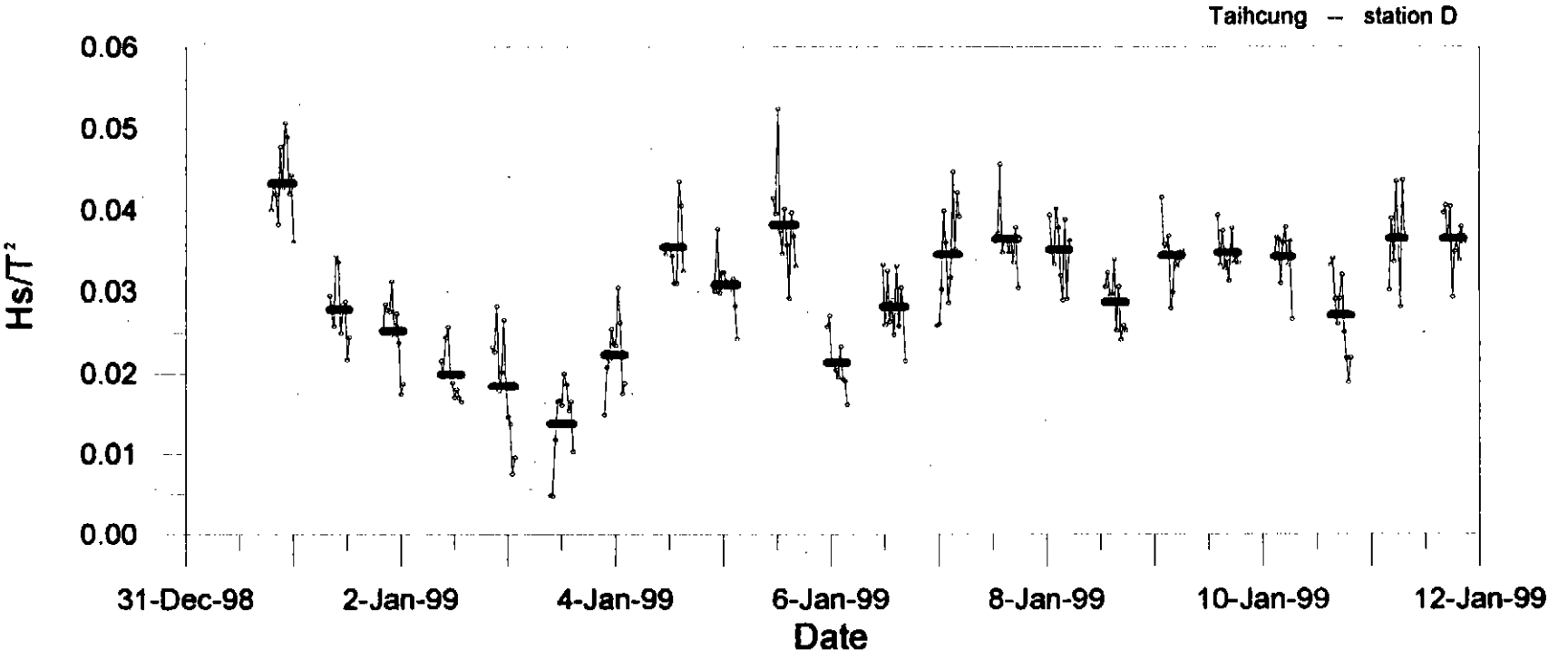



圖 8. 台中港北防波堤測站 D 之推算深海波尖銳度變化圖

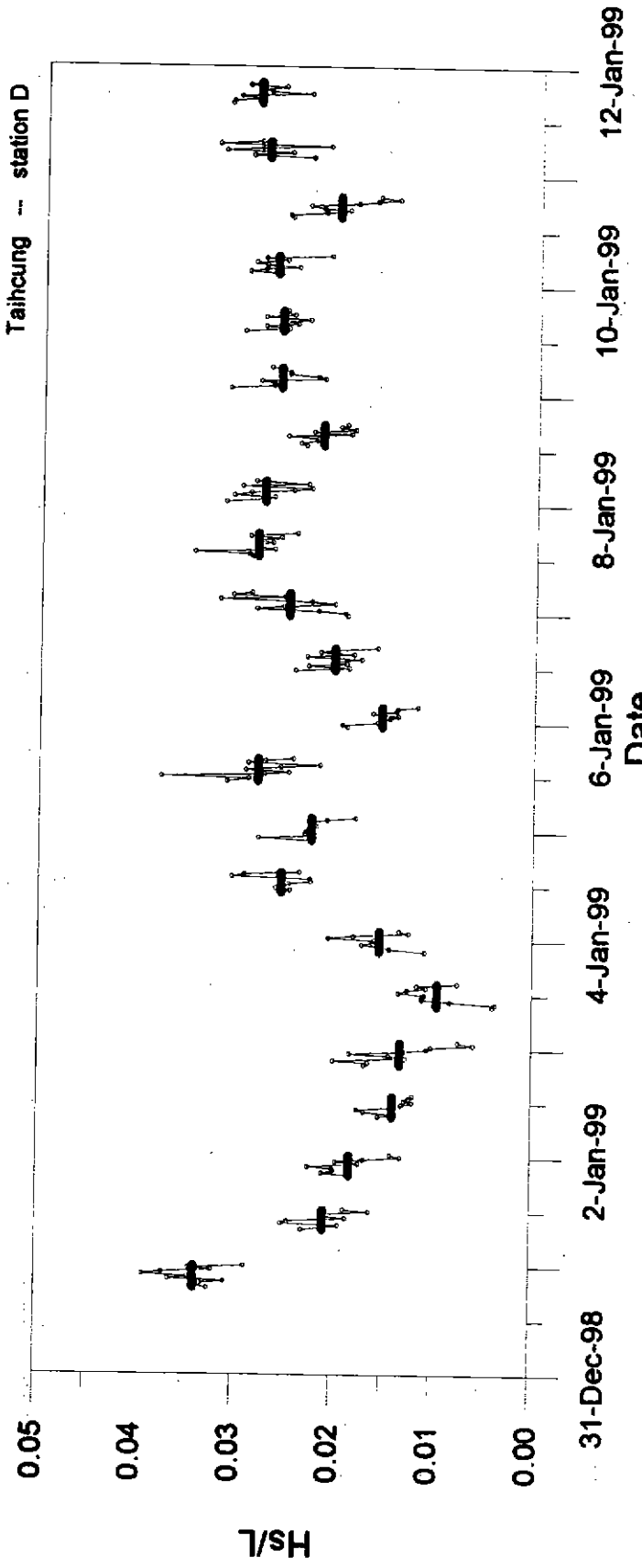



圖 9. 台中港北防波堤測站 D 之當地波浪尖銳度變化圖

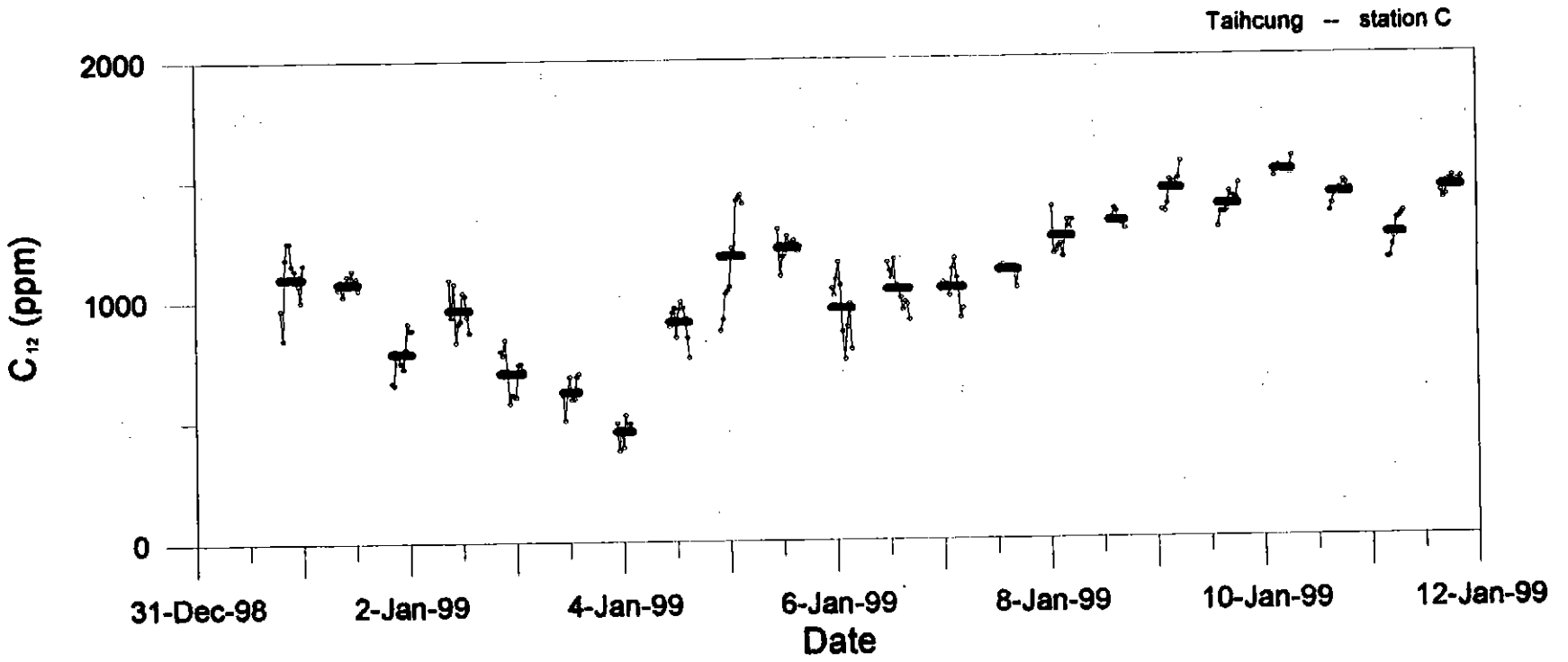



圖 10. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之懸浮沙濃度變化圖

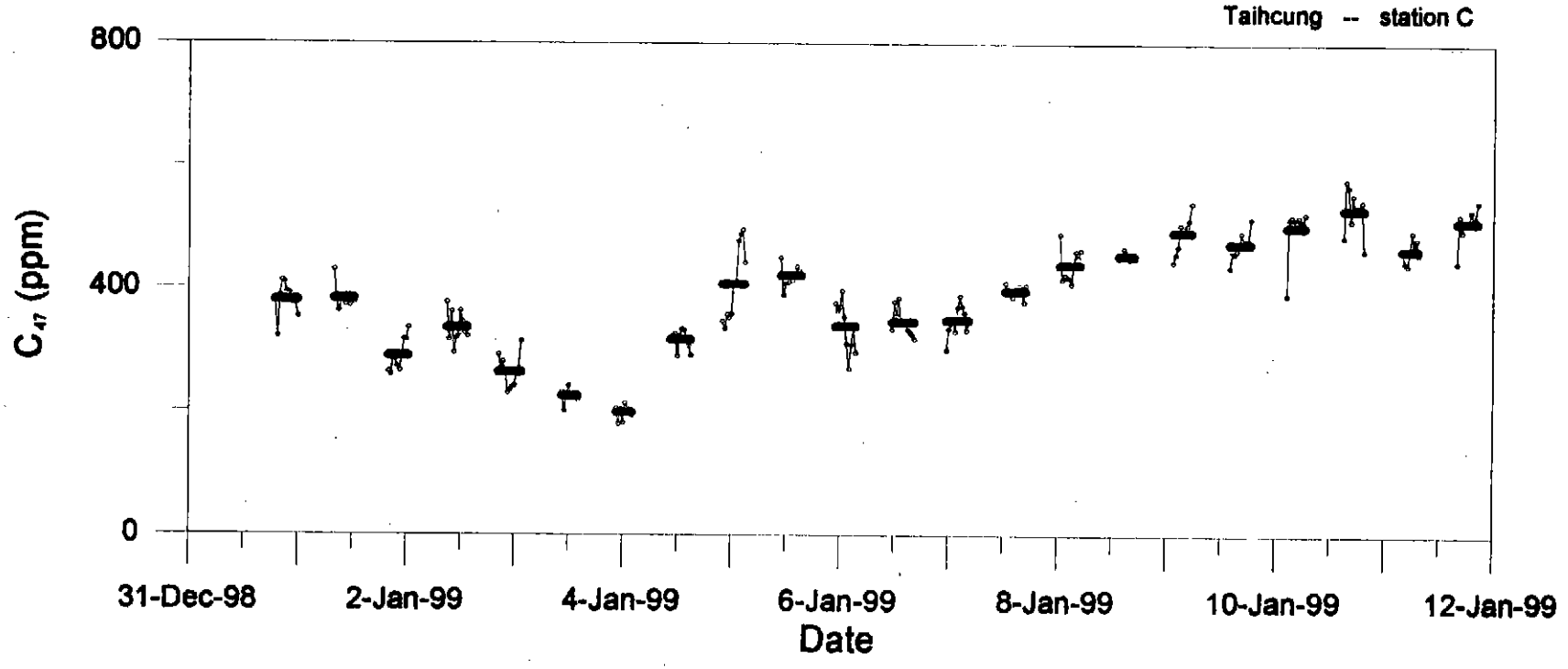



圖 11. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之懸浮沙濃度變化圖

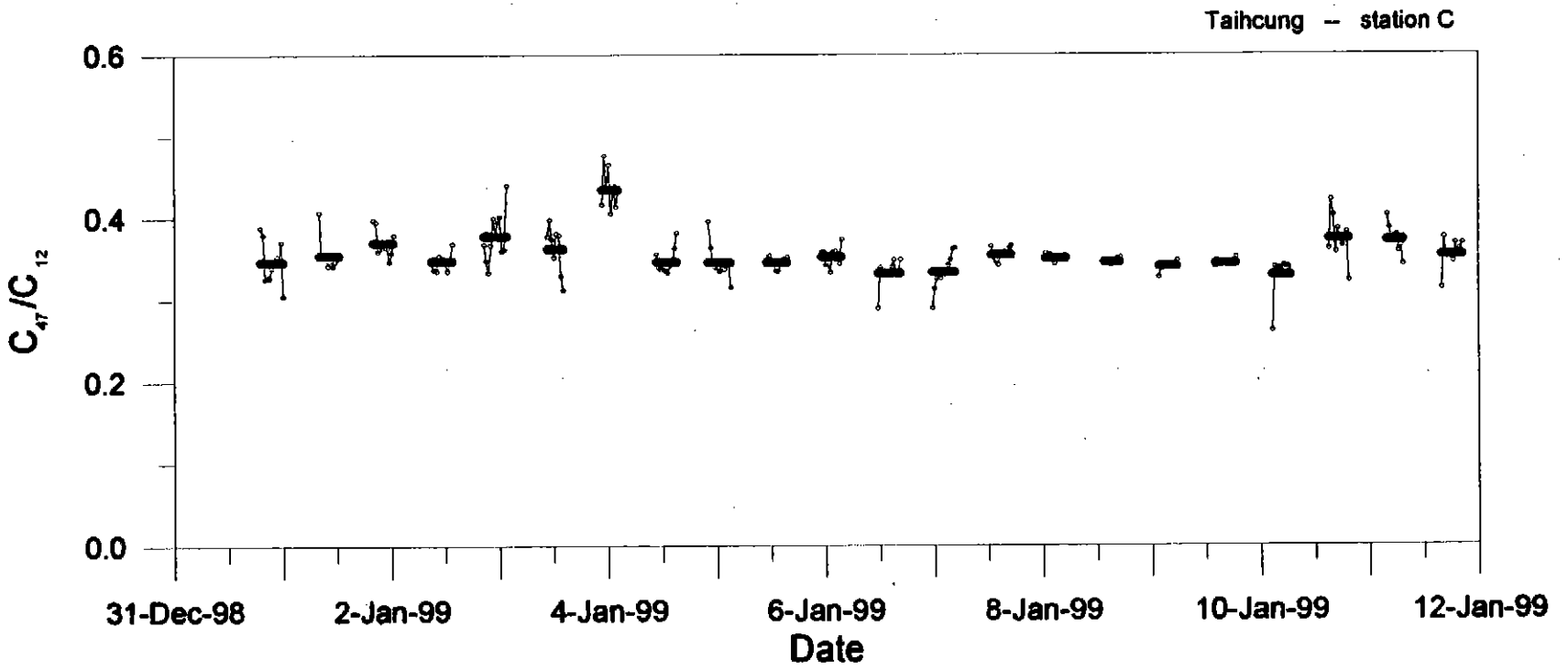



圖 12. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之懸浮沙濃度比值變化圖

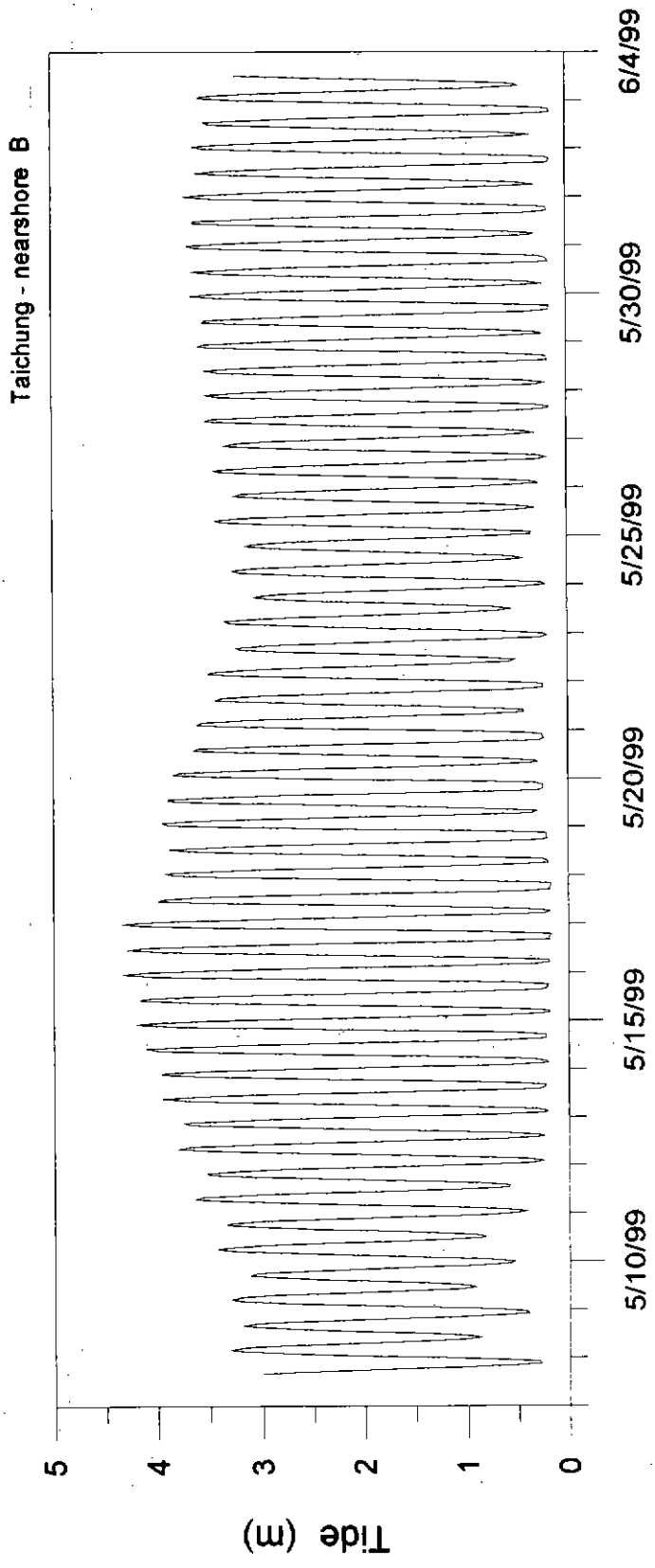



圖 13. 台中港北防砂堤測站 B 之潮位變化圖

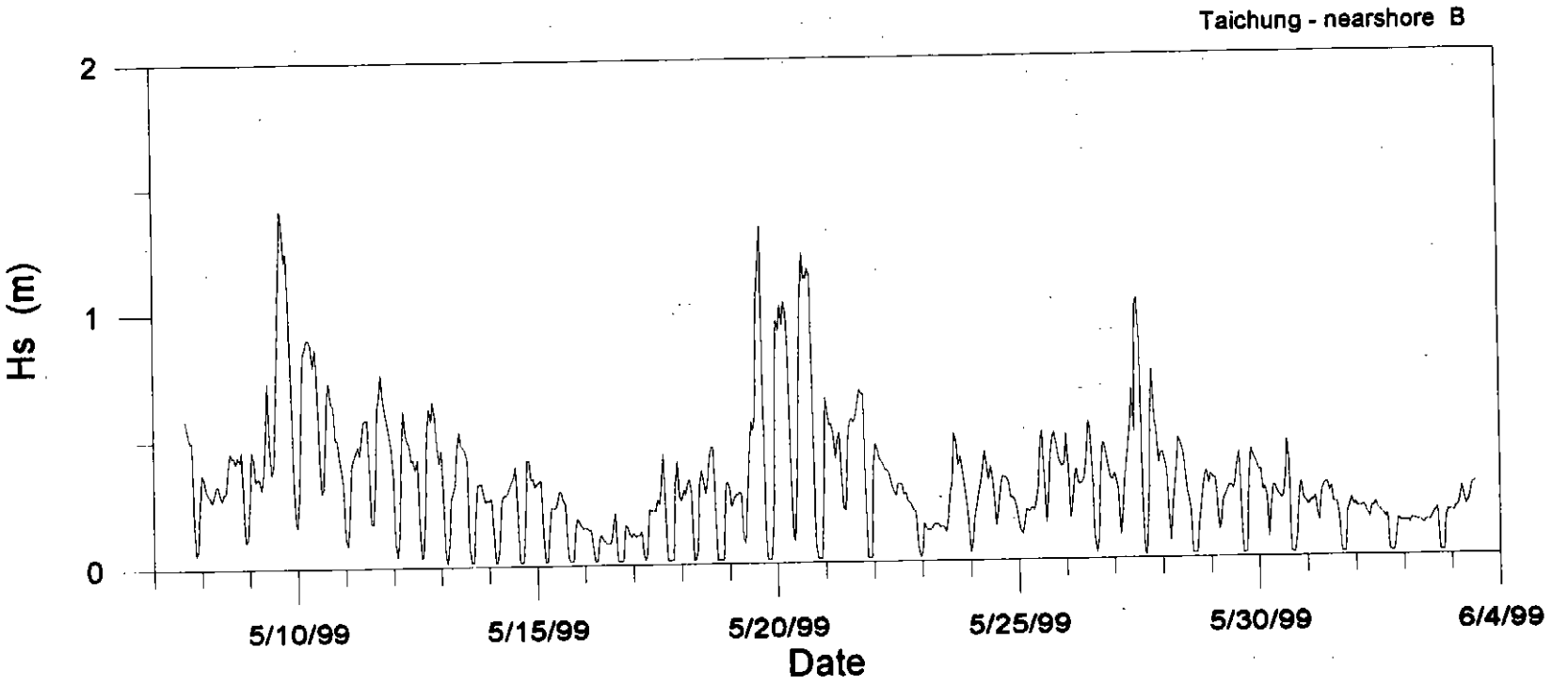



圖 14. 台中港北防砂堤測站 B 之觀測波高圖

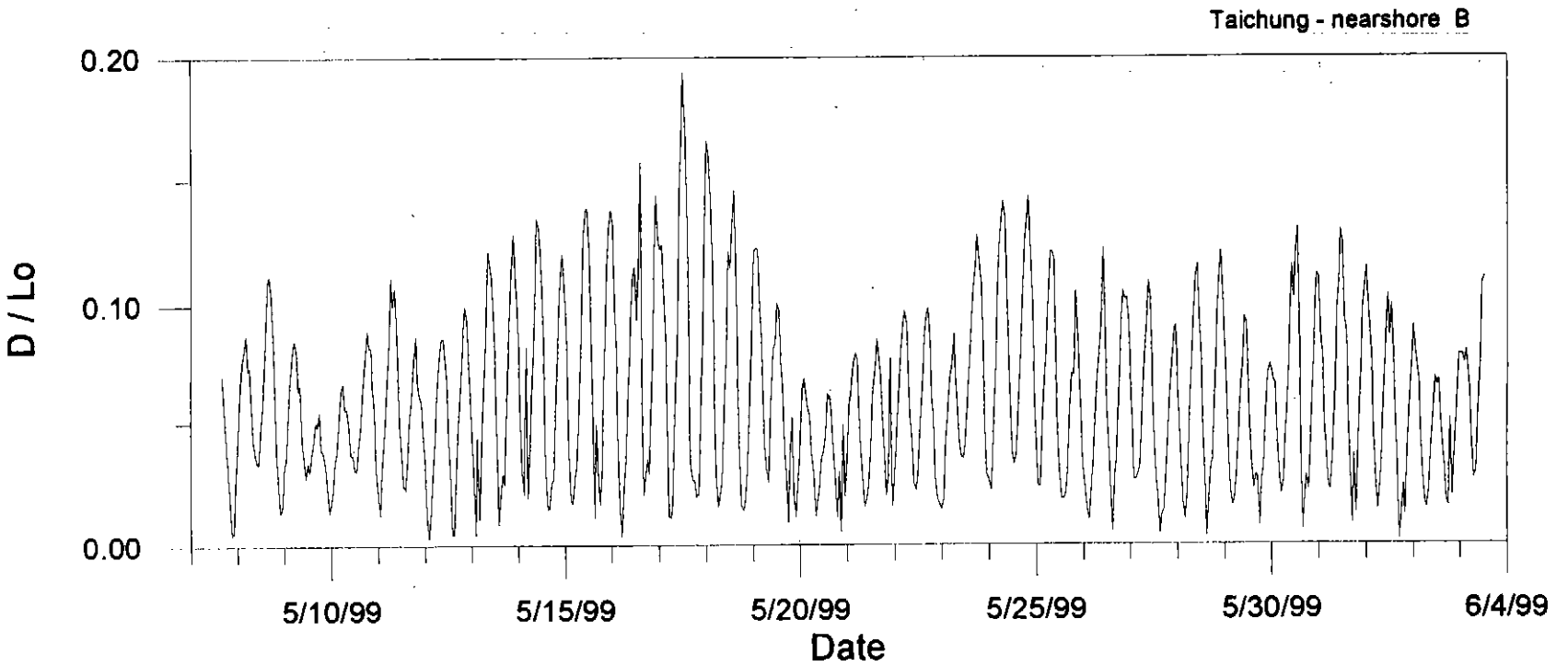



圖 15. 台中港北防砂堤測站 B 之相對水深變化圖

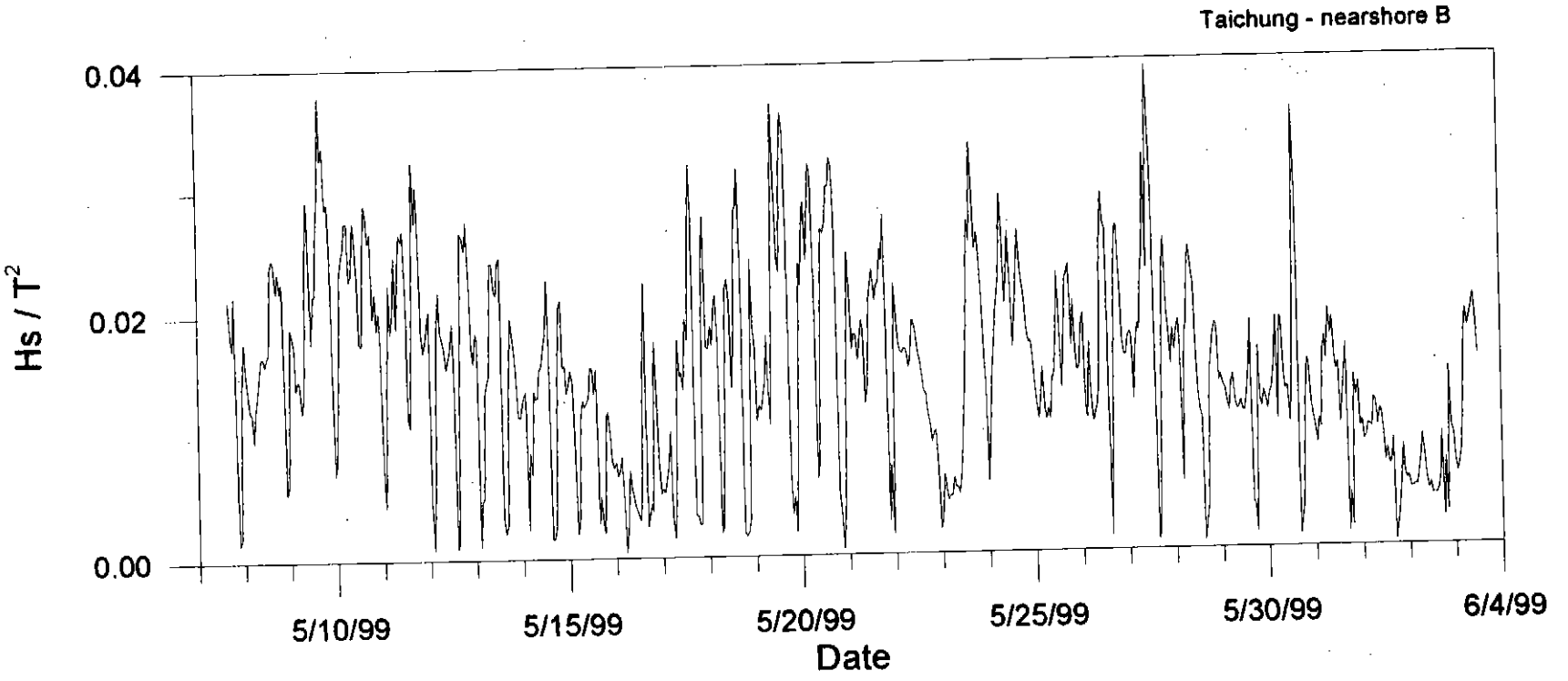



圖 16. 台中港北防砂堤測站 B 之推算深海波尖銳度變化圖

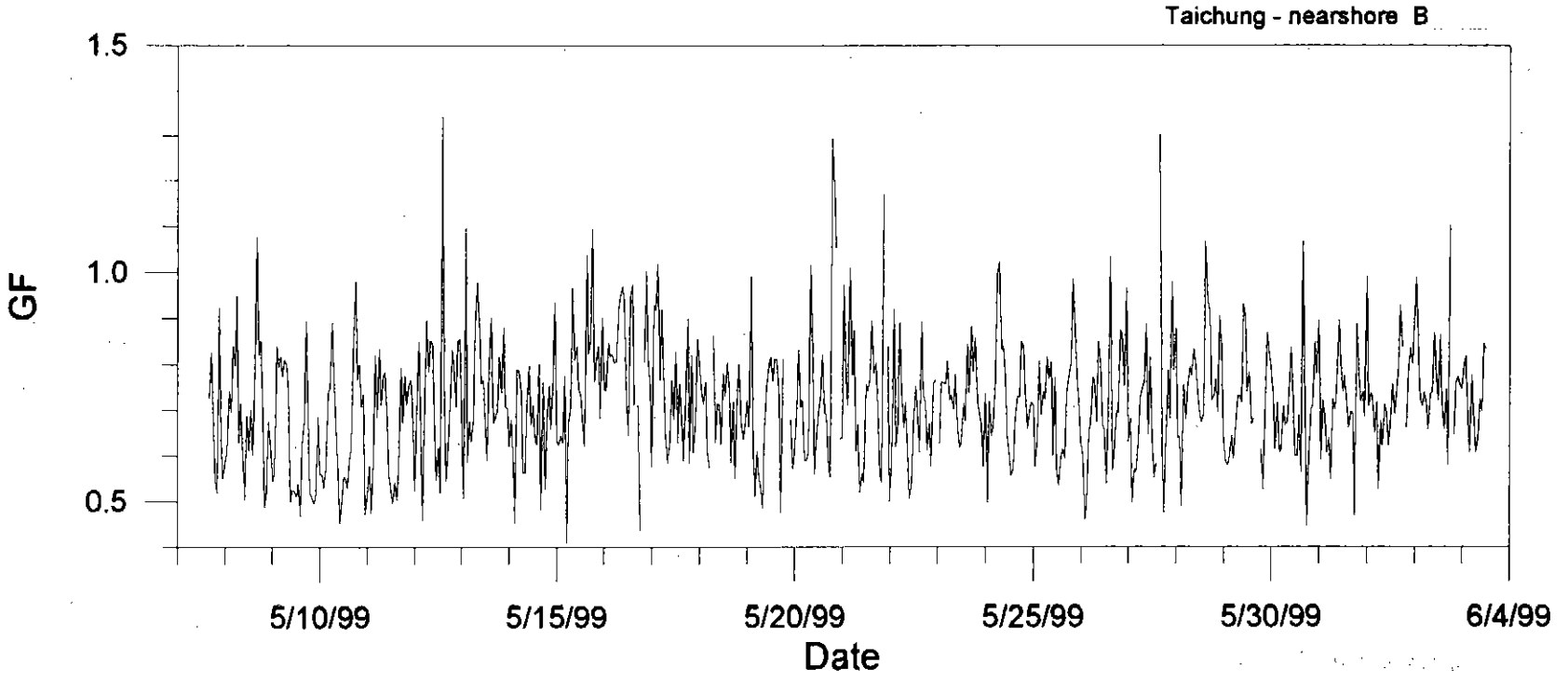



圖 17. 台中港北防砂堤測站 B 之群波係數 GF 值變化圖

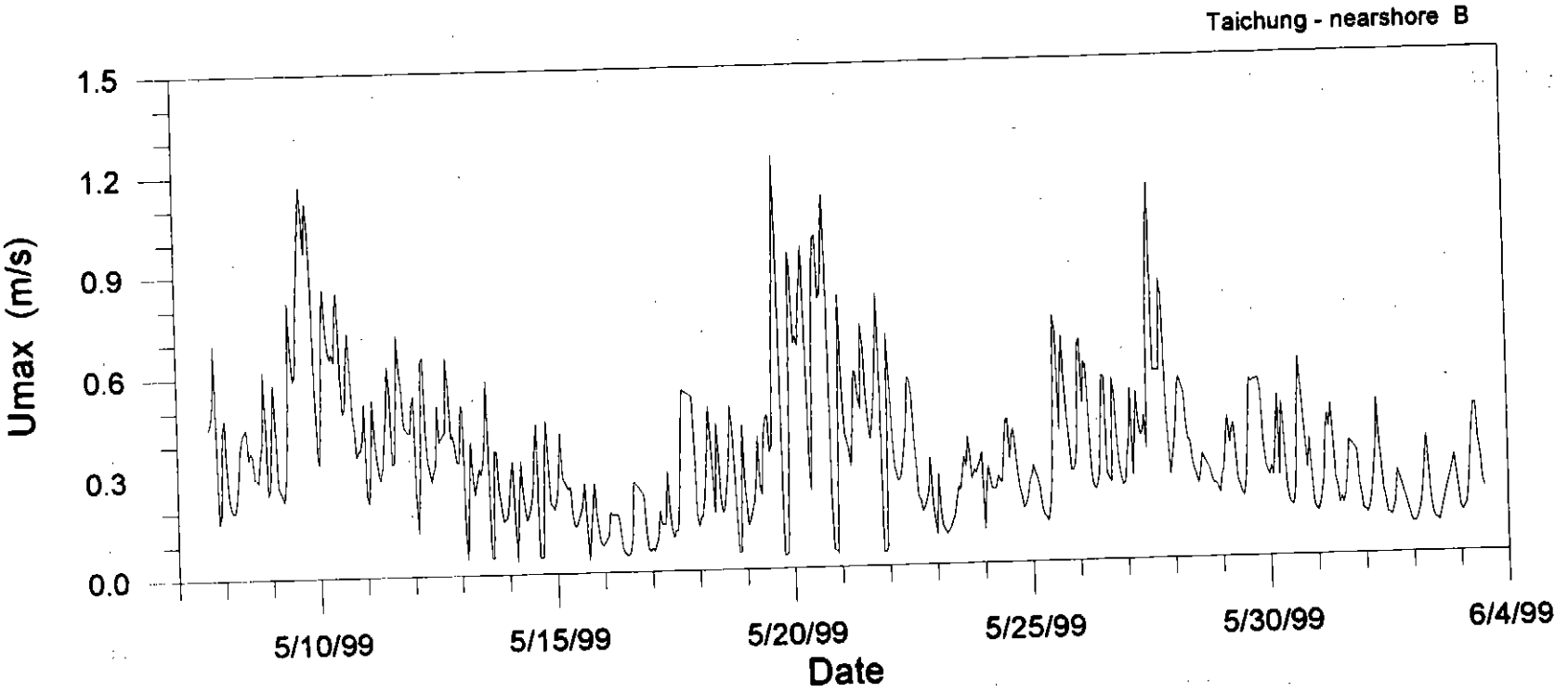



圖 18. 台中港北防砂堤測站 B 之推算底床最大流速變化圖

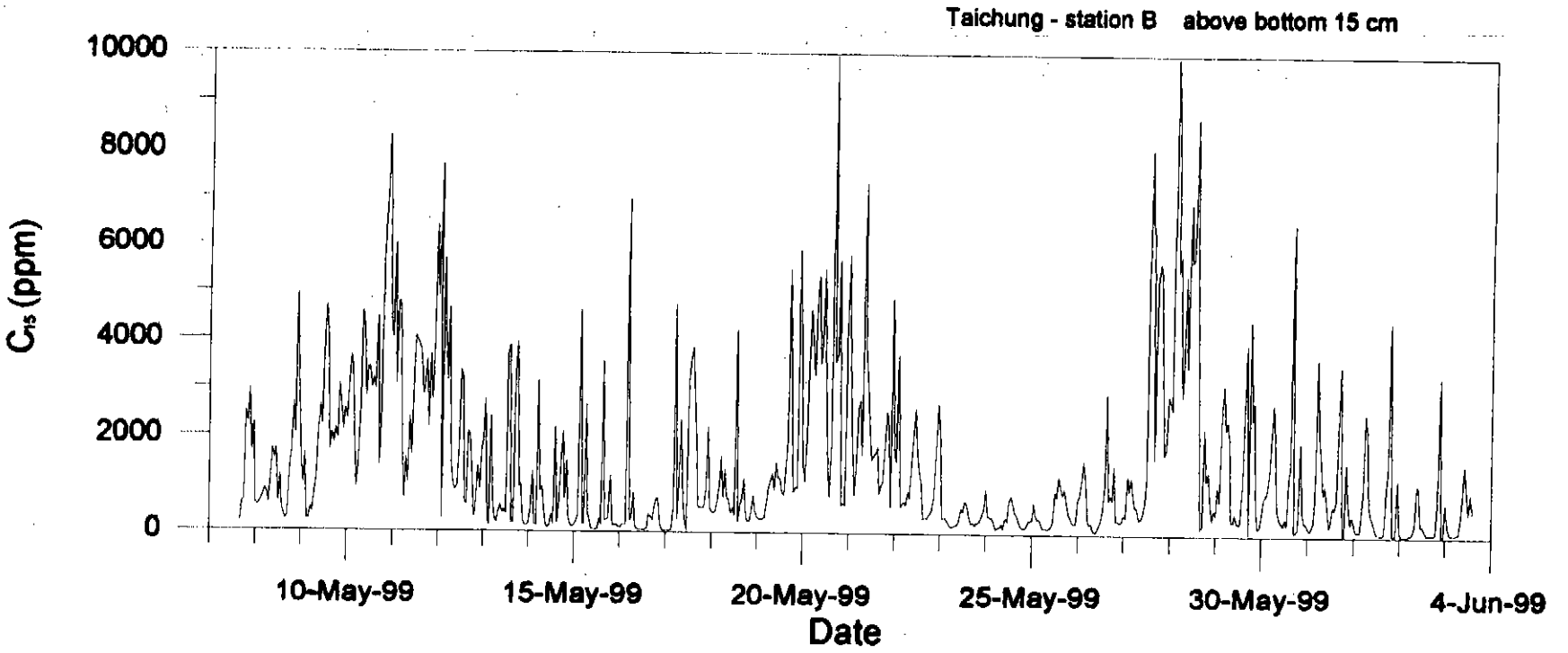



圖 19. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度變化圖

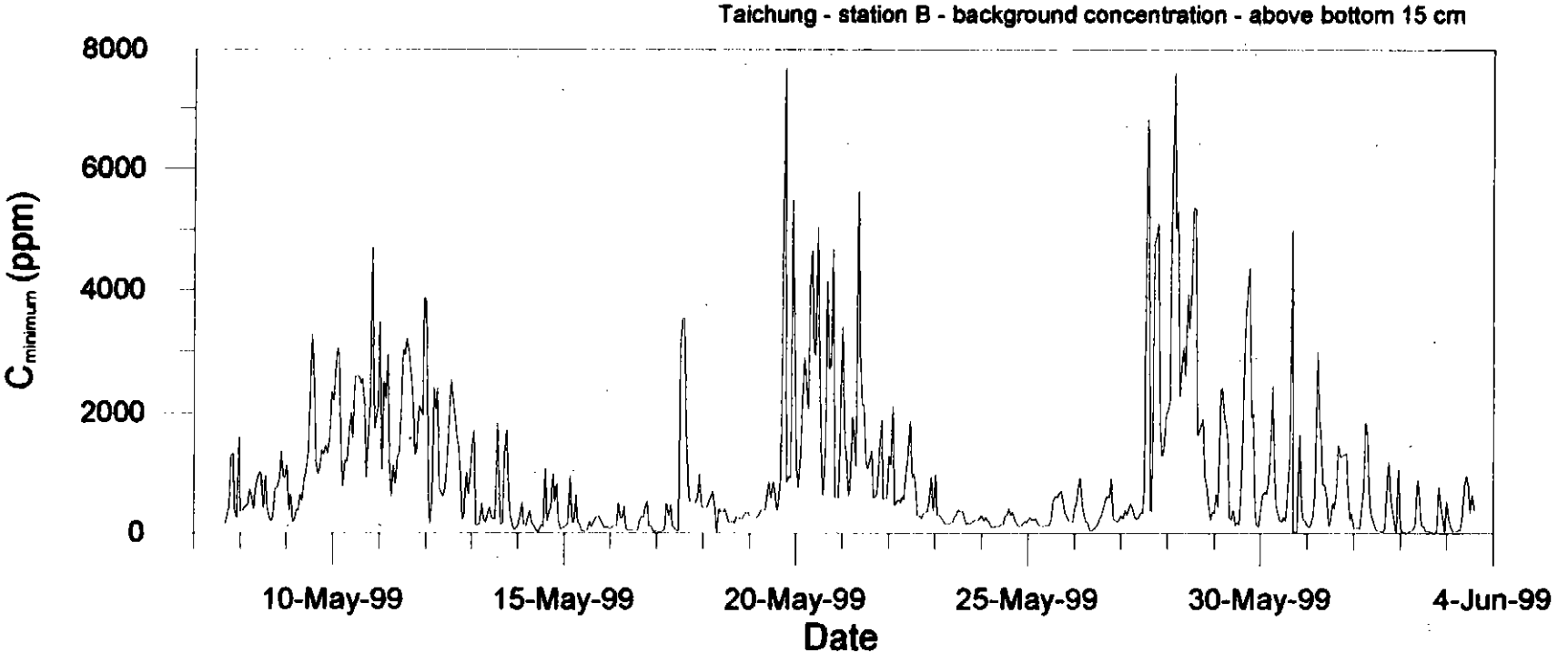



圖 20. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之背景濃度變化圖

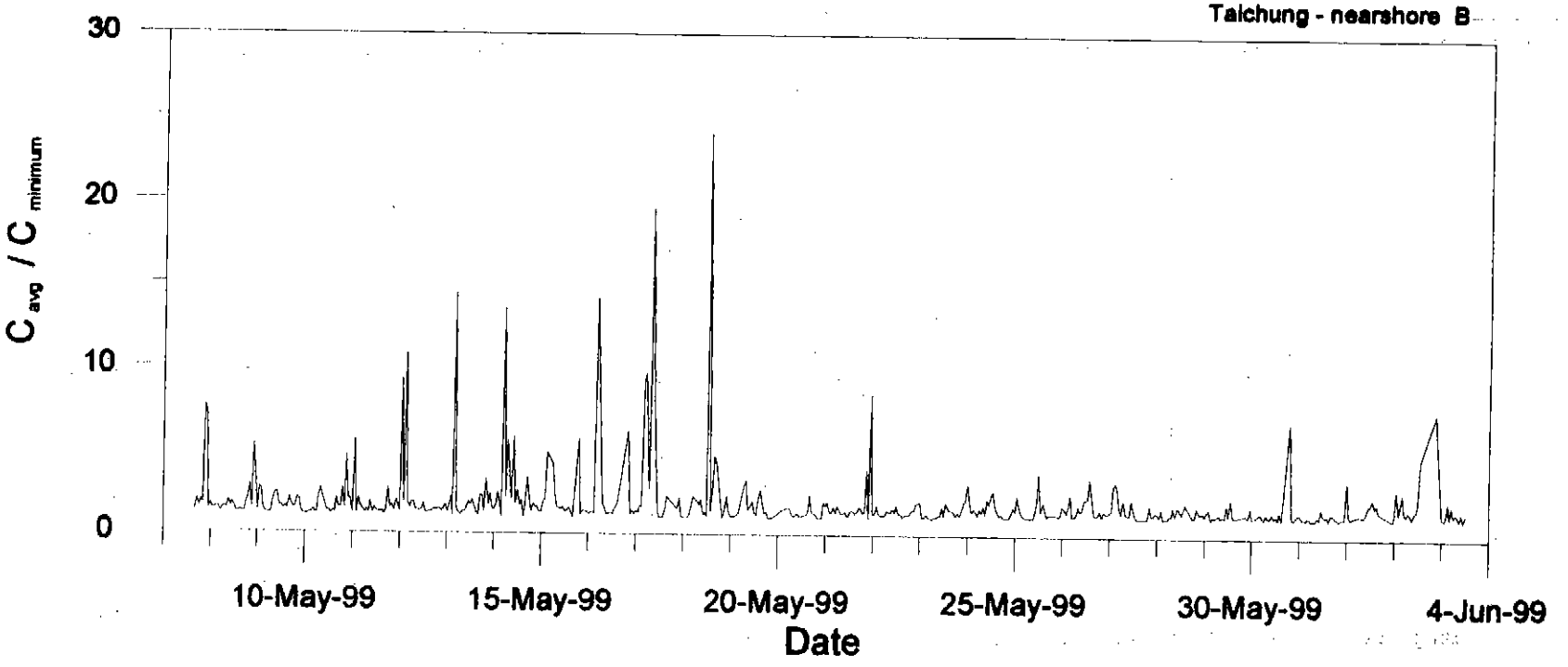



圖 21. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之平均濃度與背景濃度比值

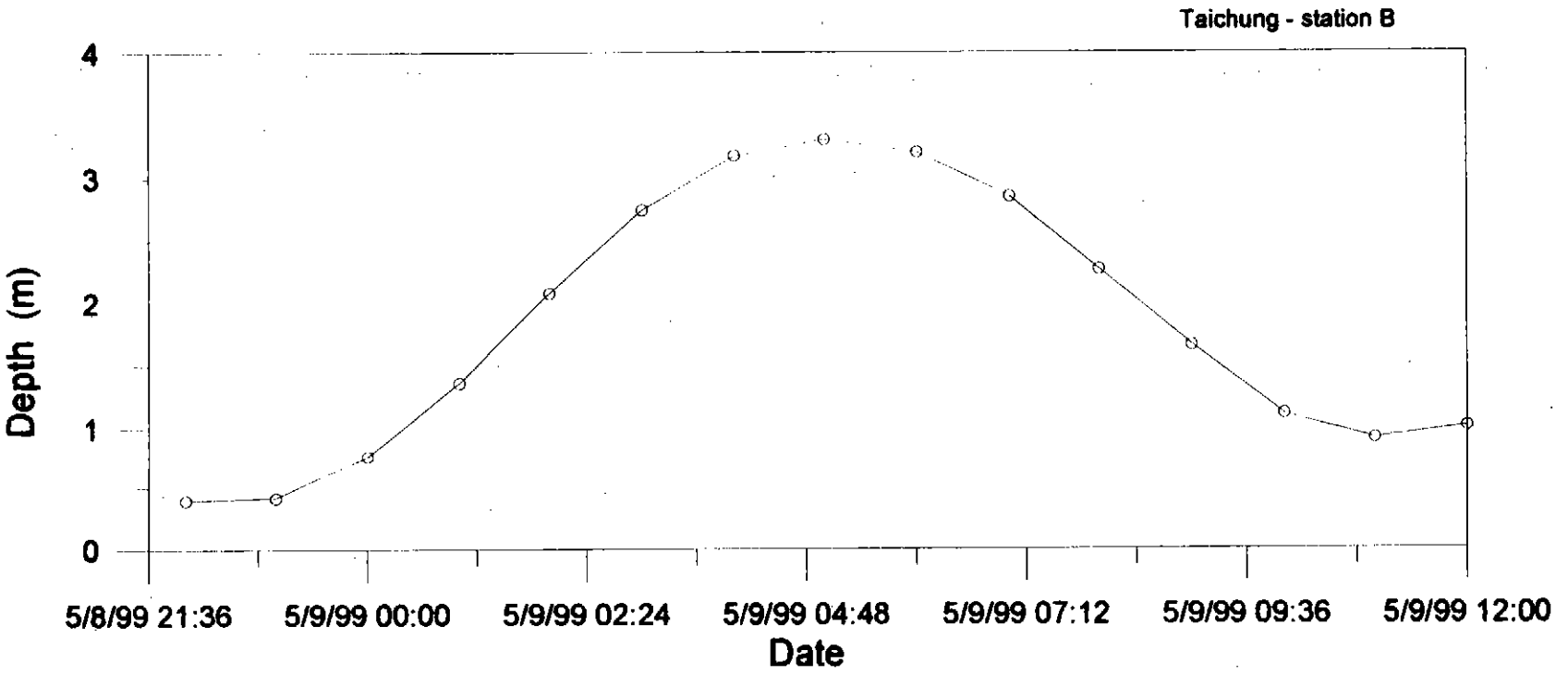



圖 22. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之水位變化圖

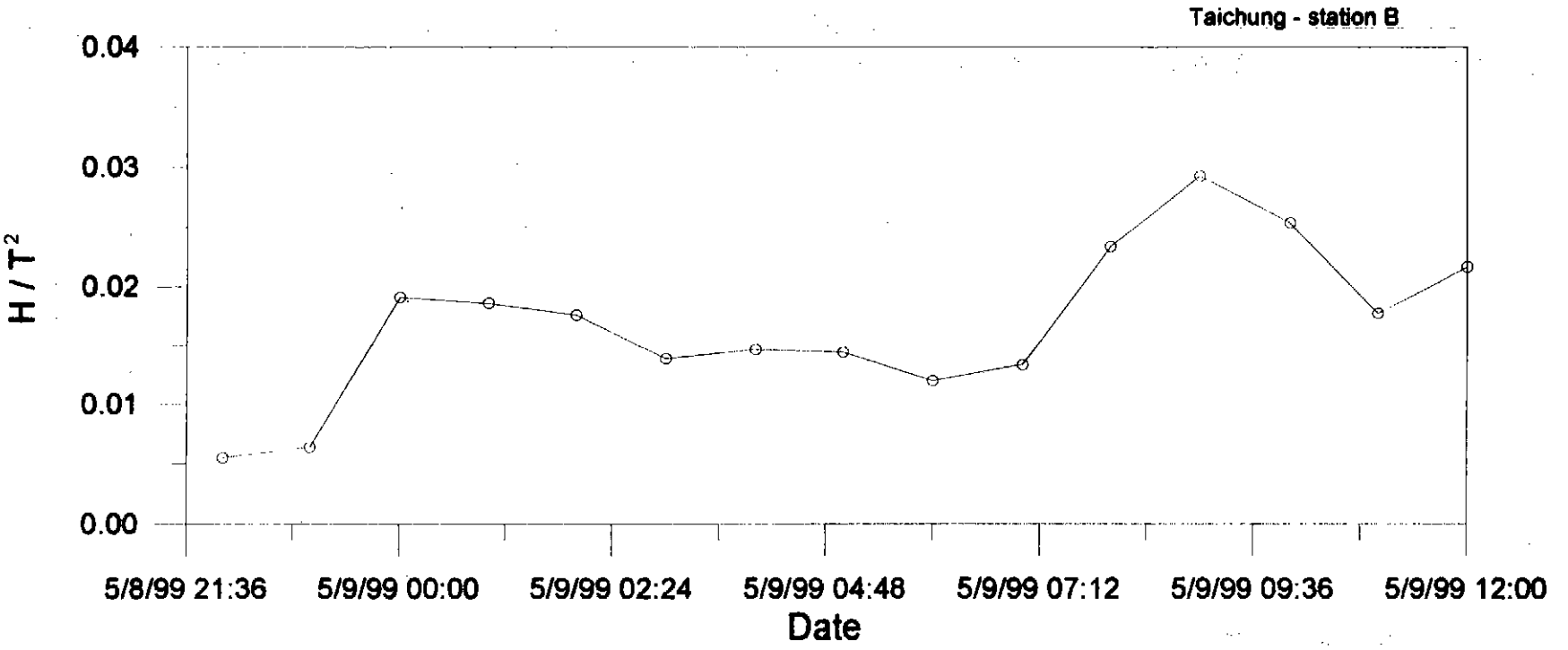



圖 23. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之推算深海波尖銳度變化

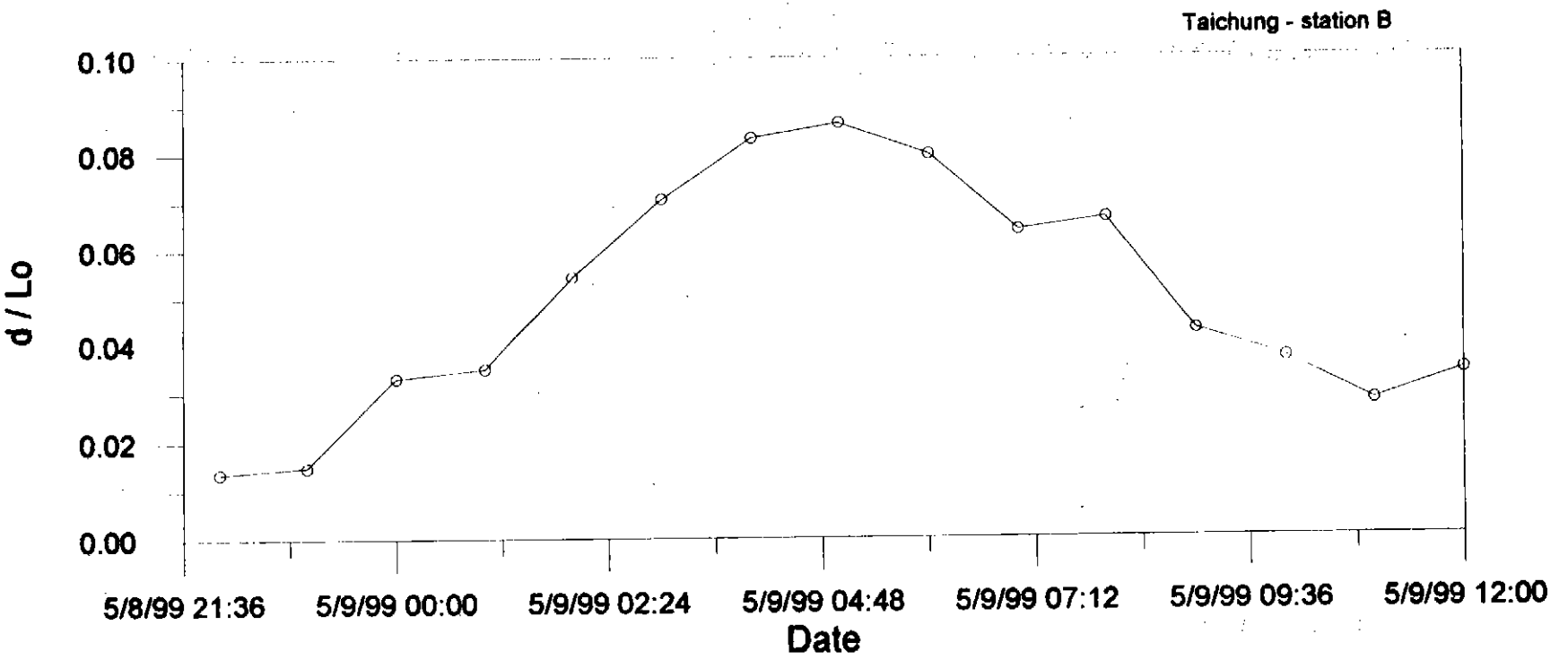



圖 24. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之相對水深變化

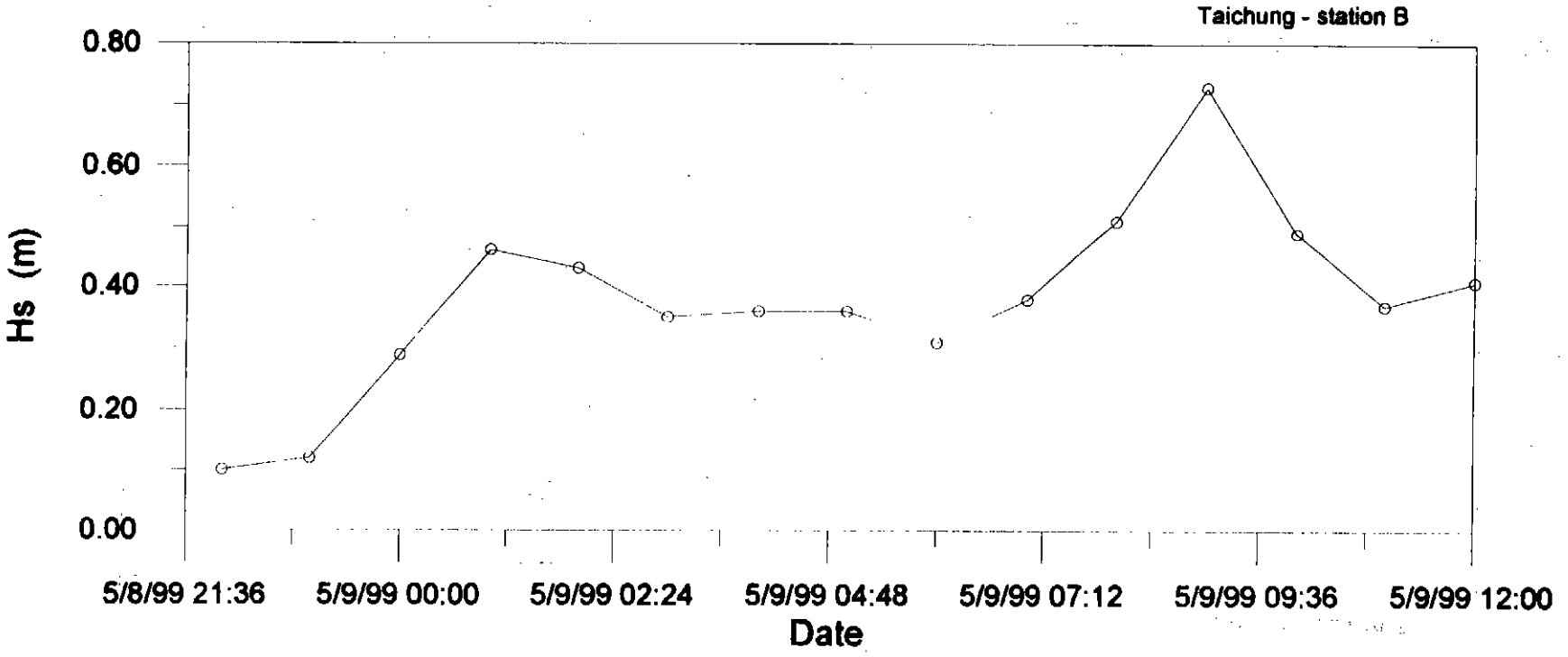



圖 25. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之觀測波高變化

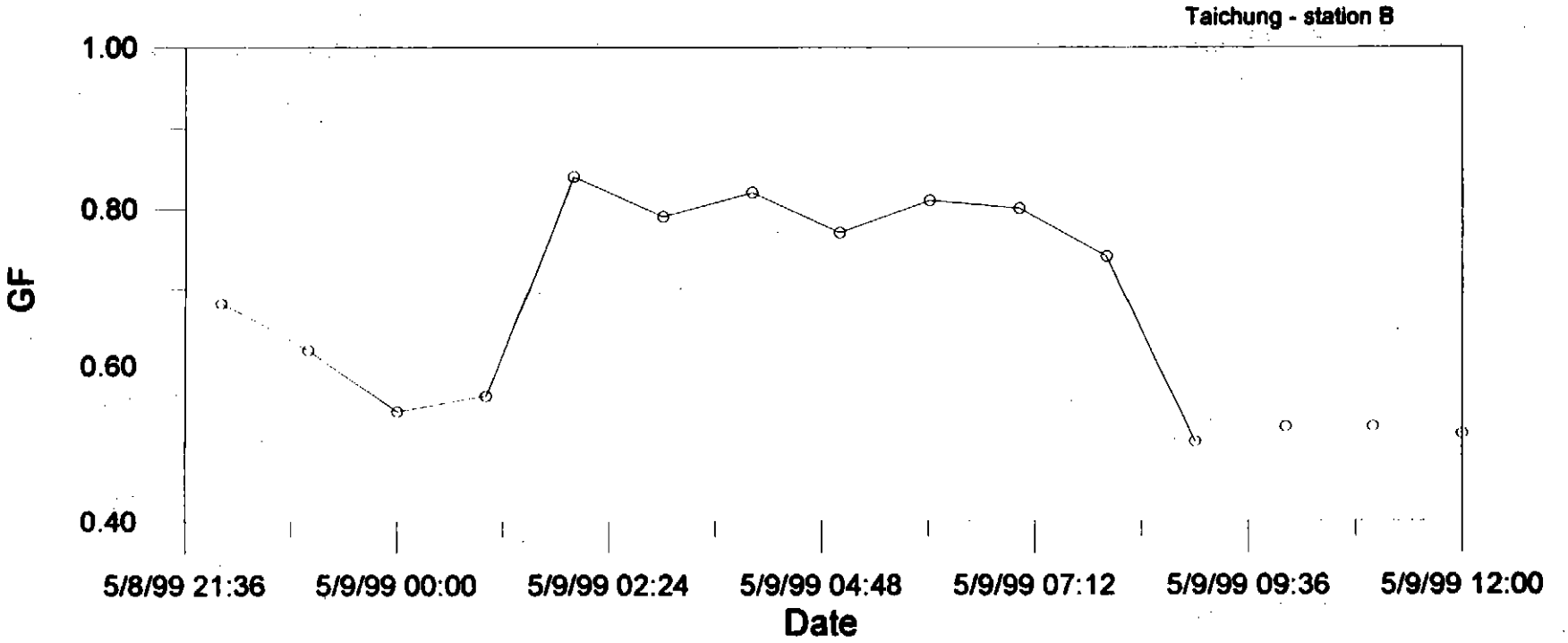



圖 26. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之群波係數 GF 值變化

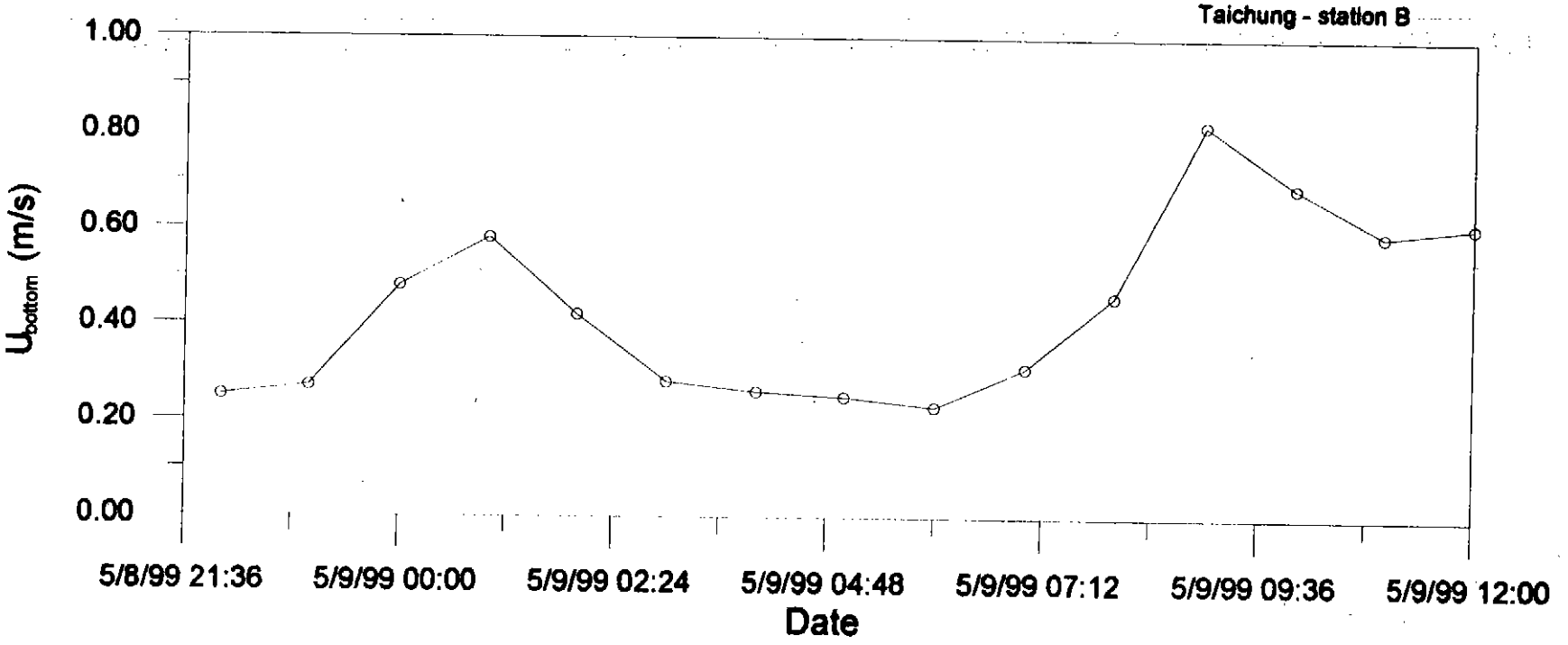



圖 27. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之推算底床最大流速變化

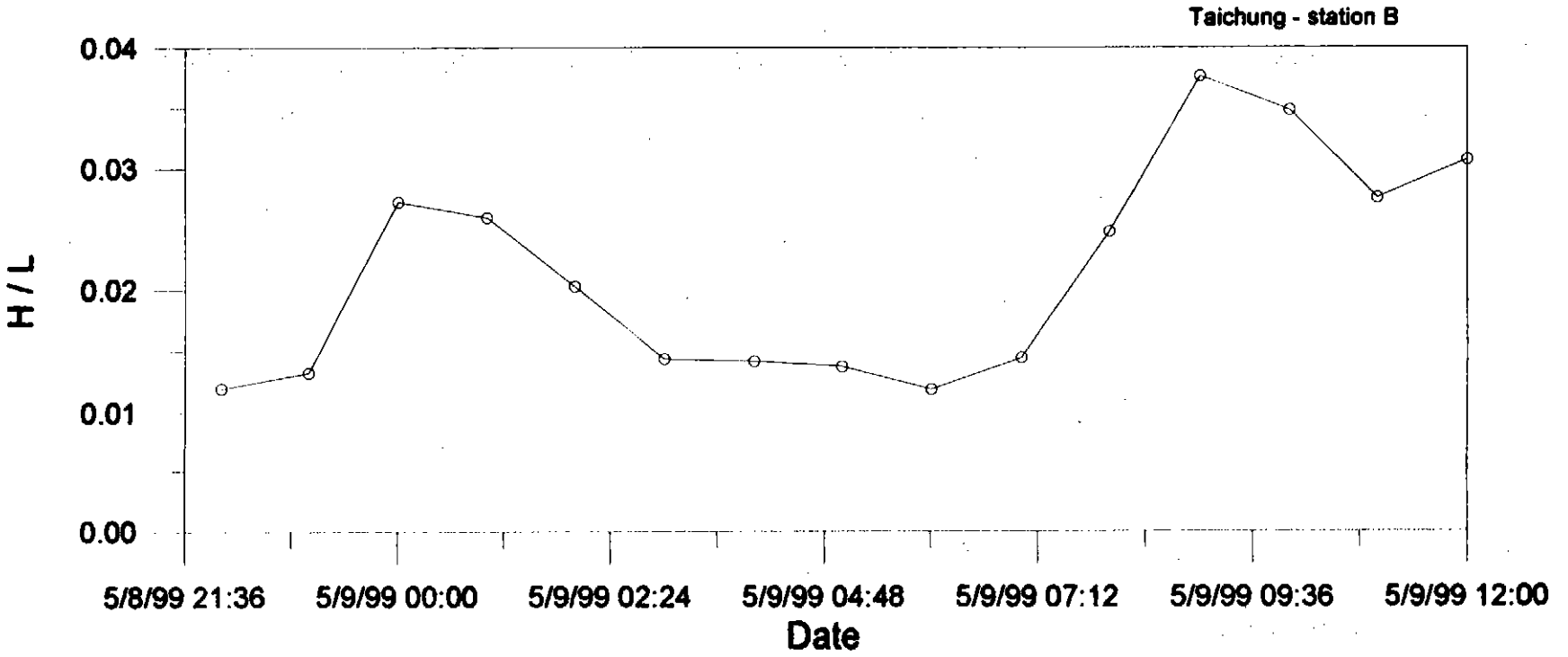



圖 28. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之當地波浪尖銳度變化

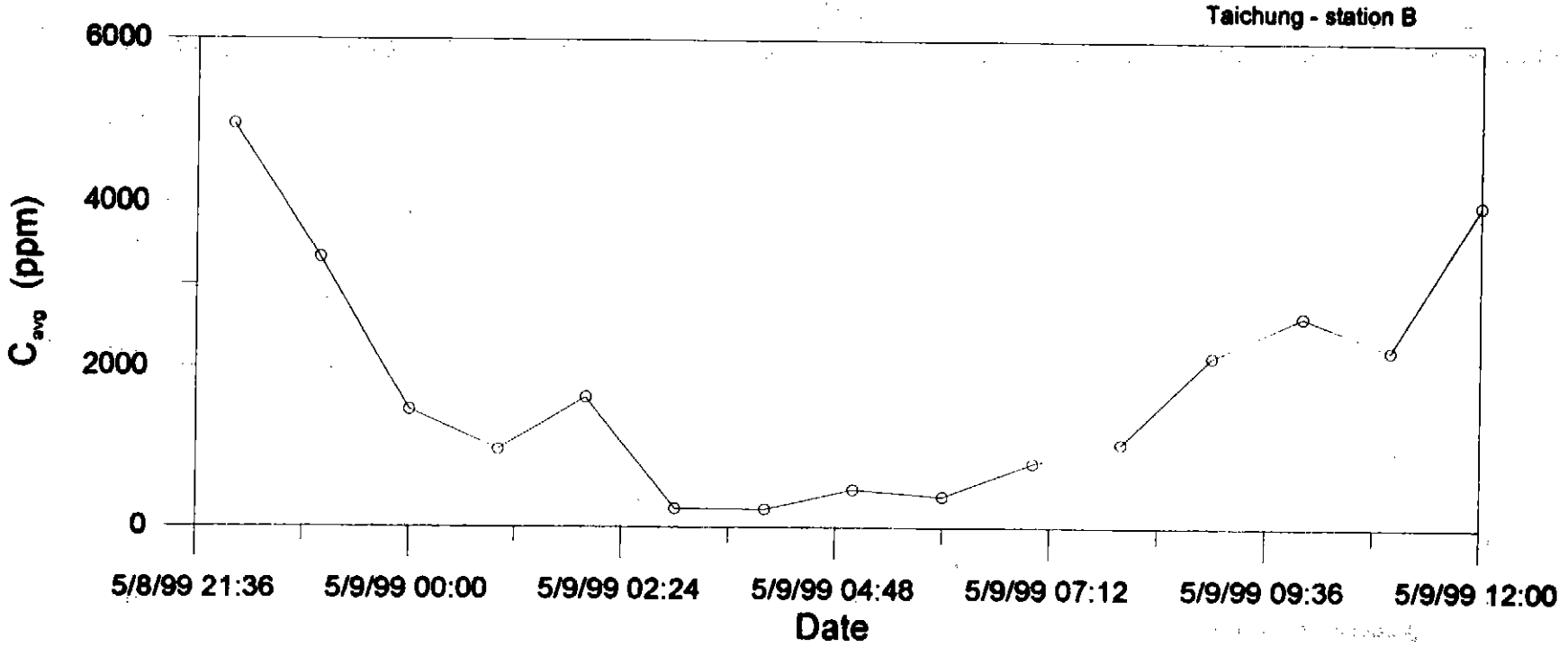



圖 29. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之懸浮沙平均濃度

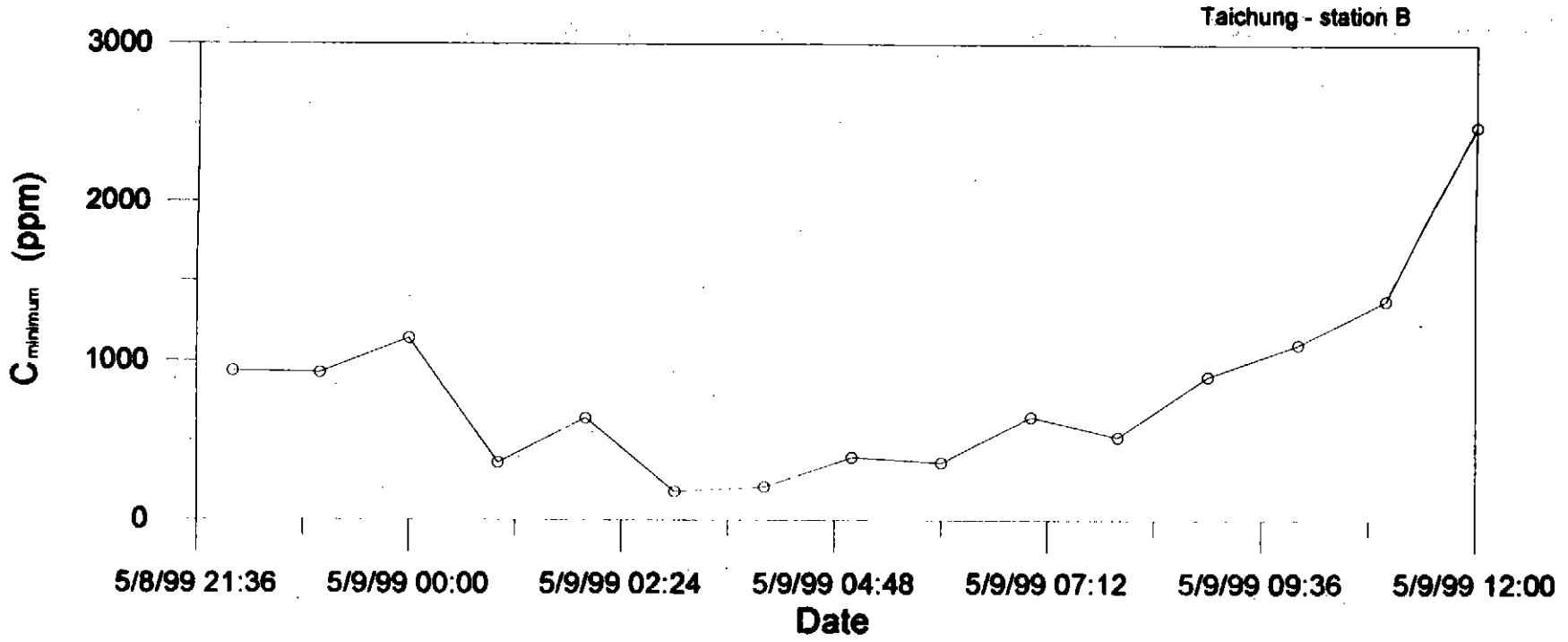



圖 30. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之懸浮沙背景濃度

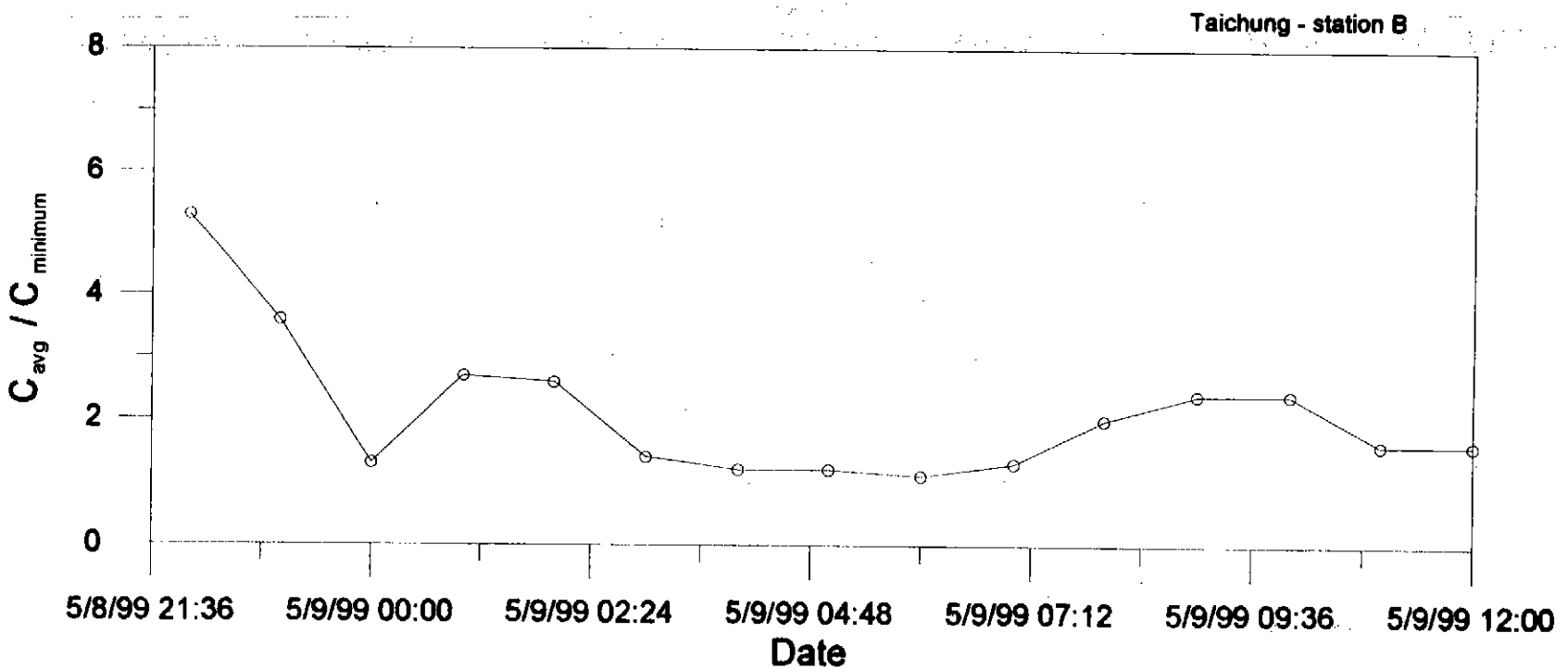



圖 31. 台中港北防砂堤測站 B 一個潮位週期之平均濃度與背景濃度比值

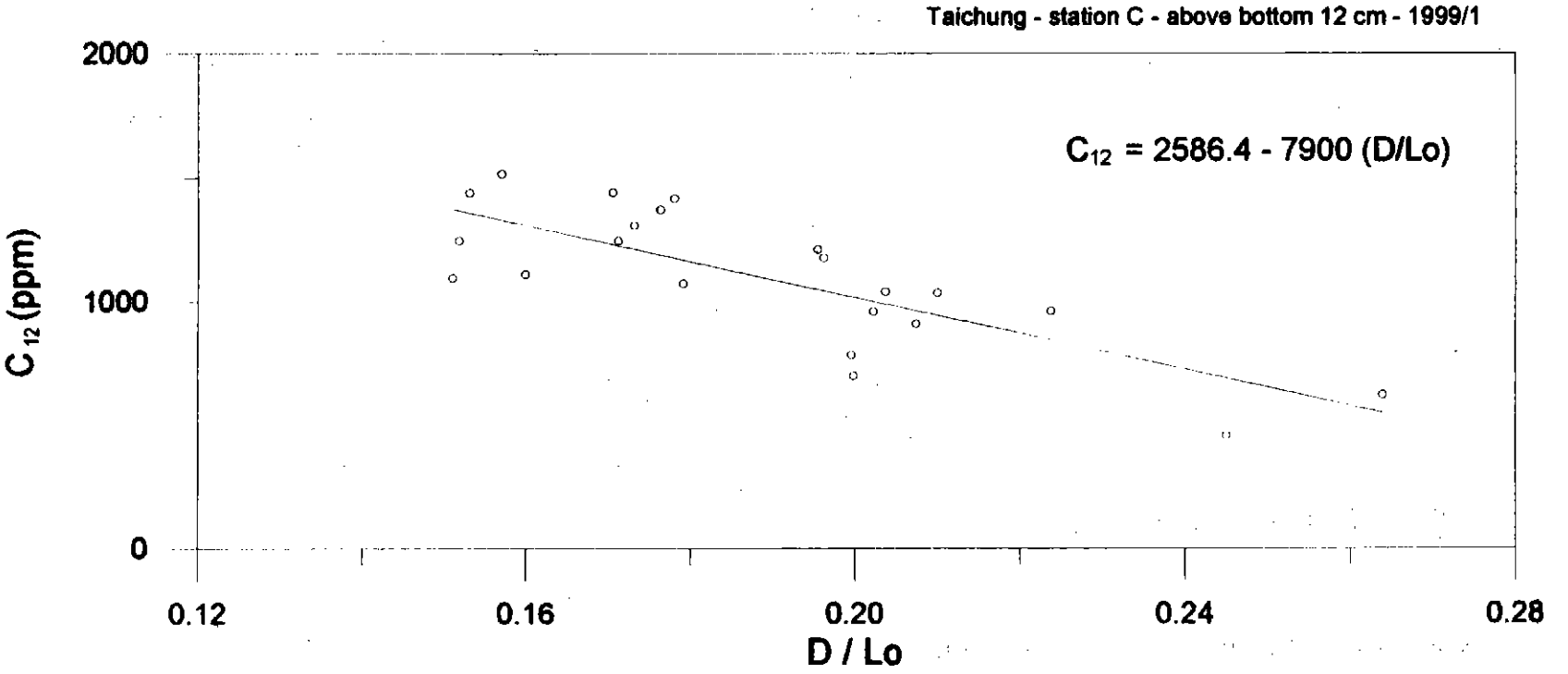



圖 32. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之平均濃度與相對水深關係

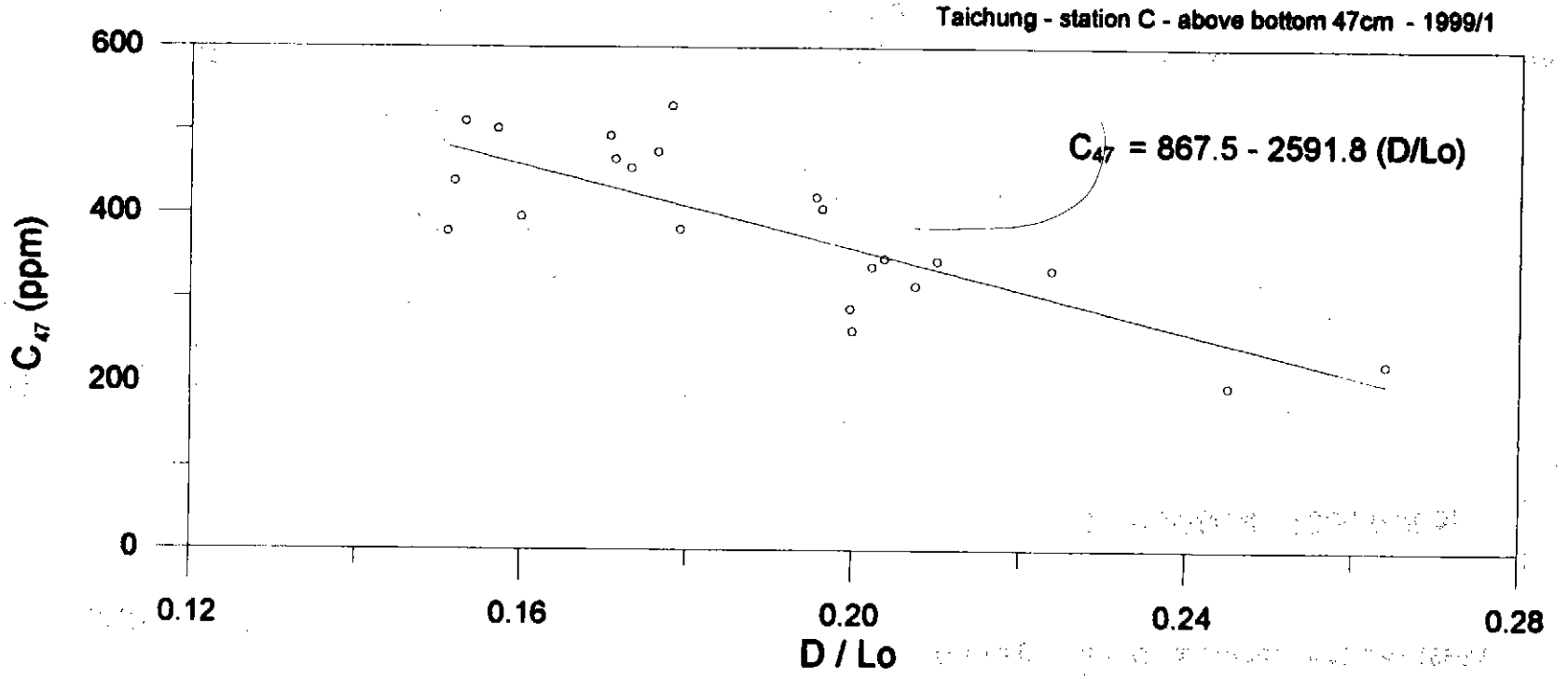



圖 33. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之平均濃度與相對水深關係

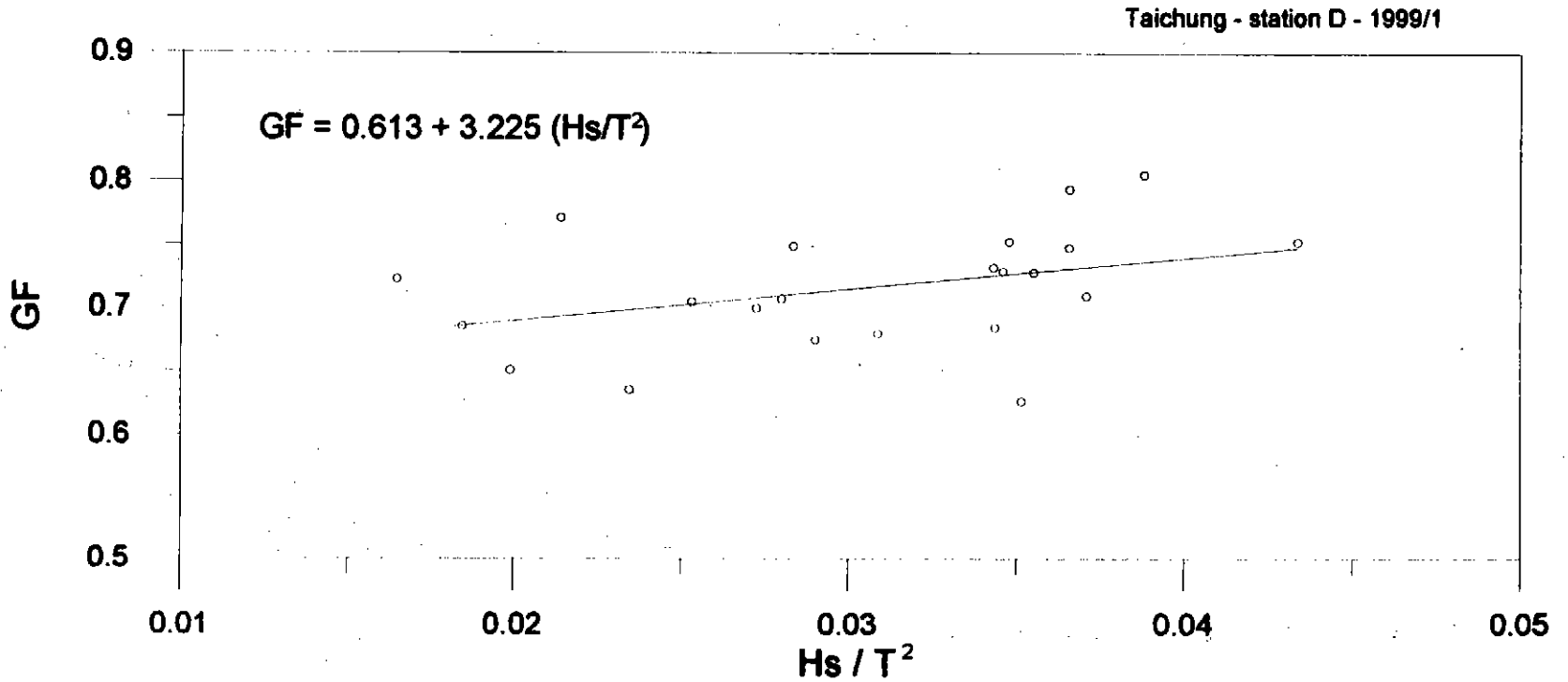



圖 34. 台中港北防波堤測站 D 之群波係數 GF 值與深海波尖銳度關係

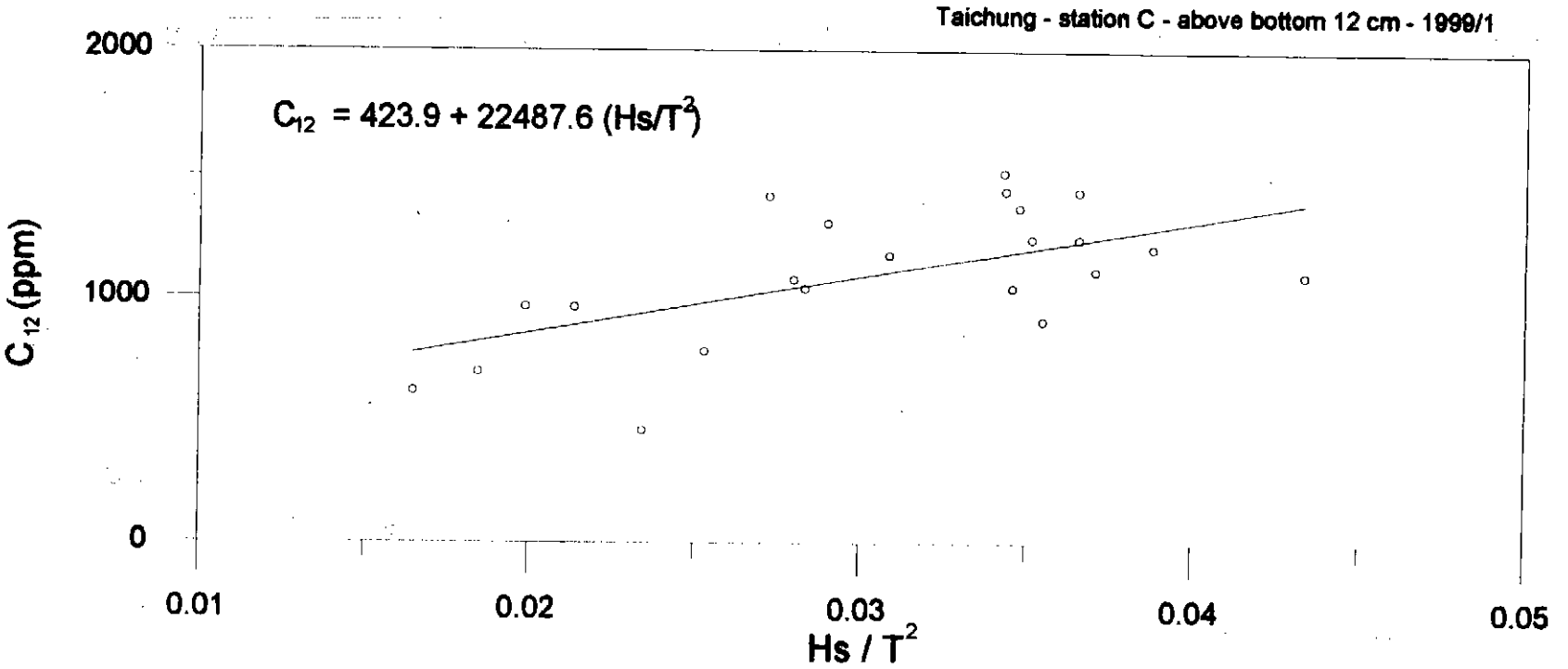



圖 35. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之平均濃度與深海波尖銳度關係

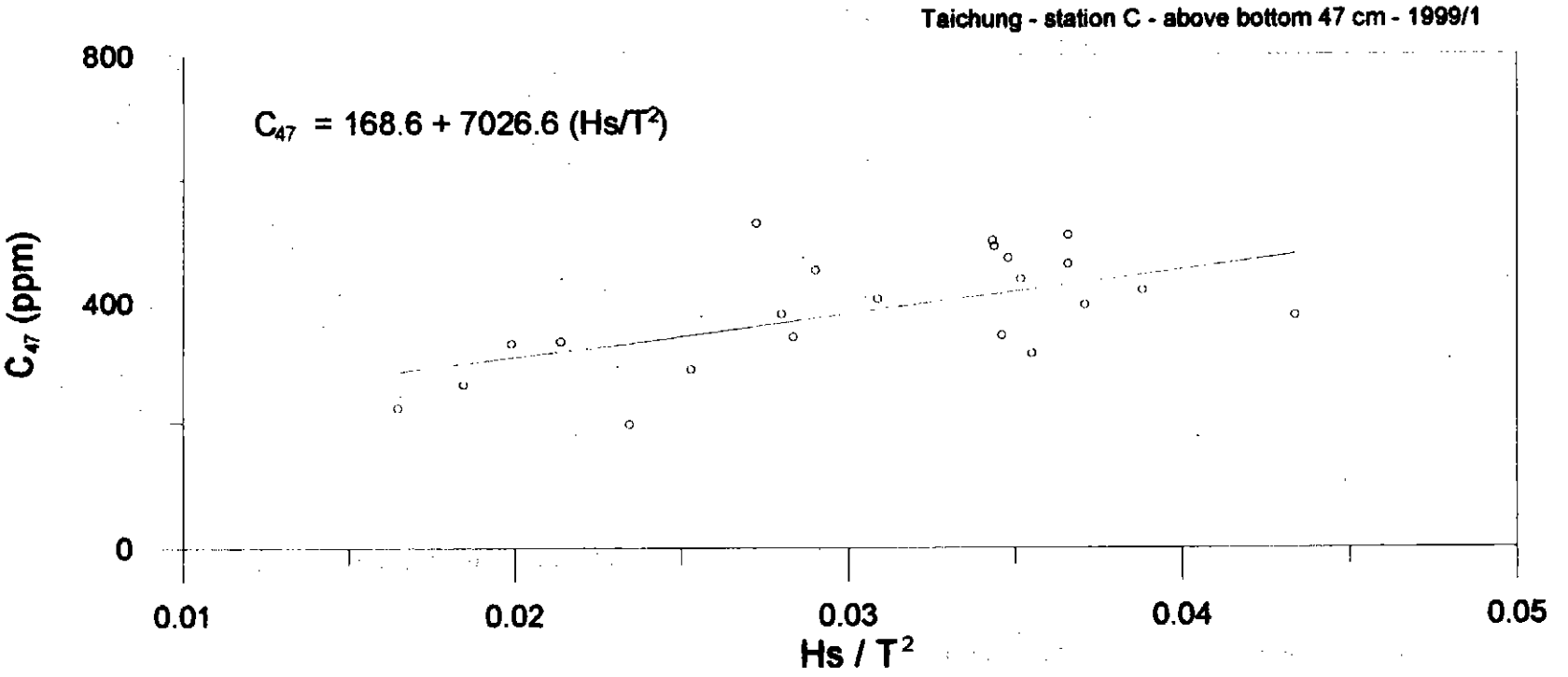



圖 36. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之平均濃度與深海波尖銳度關係

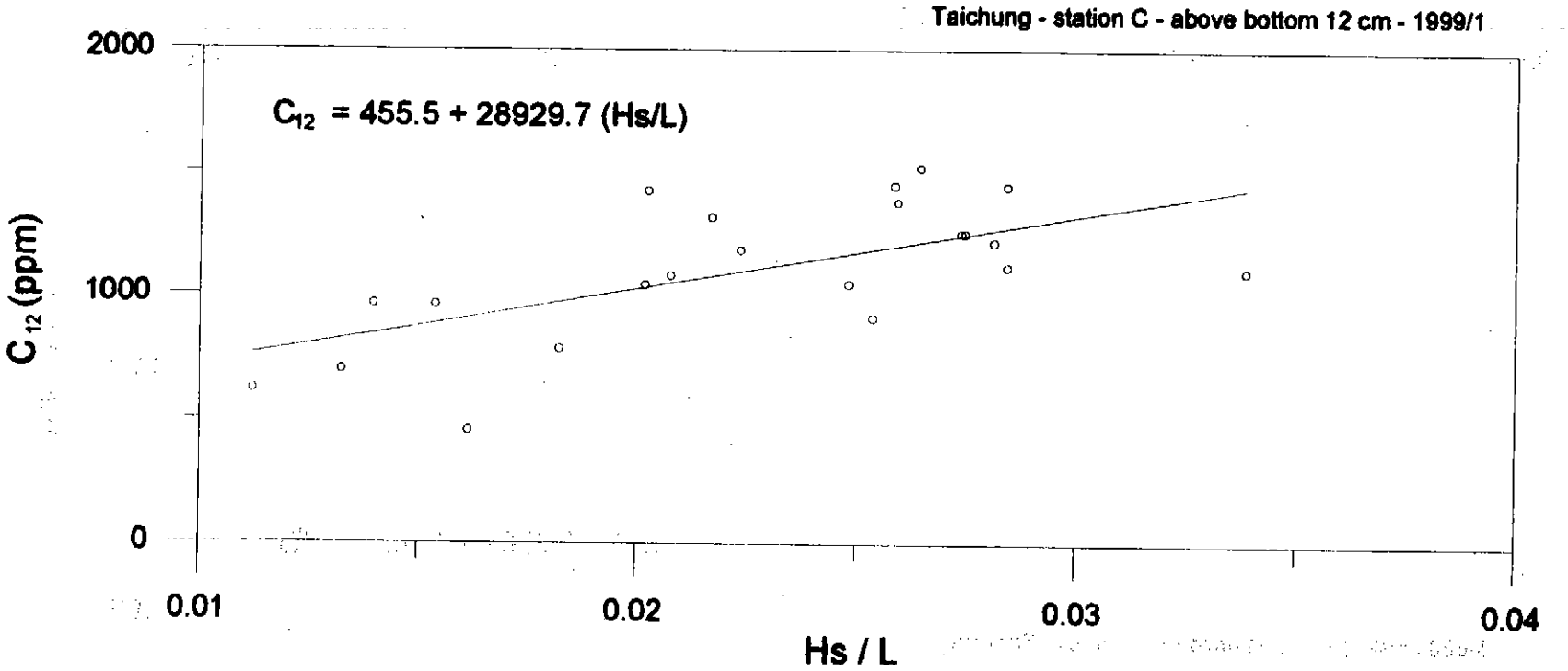



圖 37. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 12cm 之平均濃度與當地波浪尖銳度關係

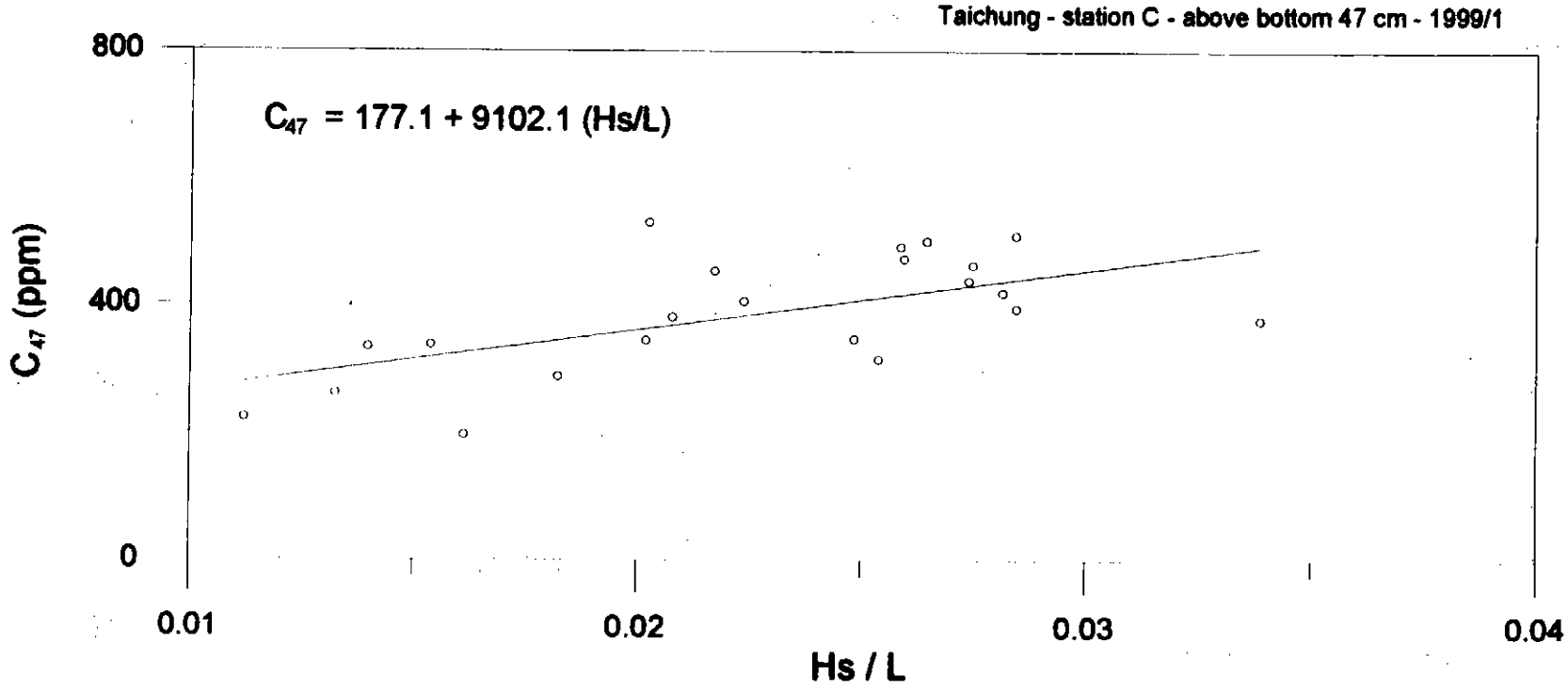



圖 38. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 之平均濃度與當地波浪尖銳度關係

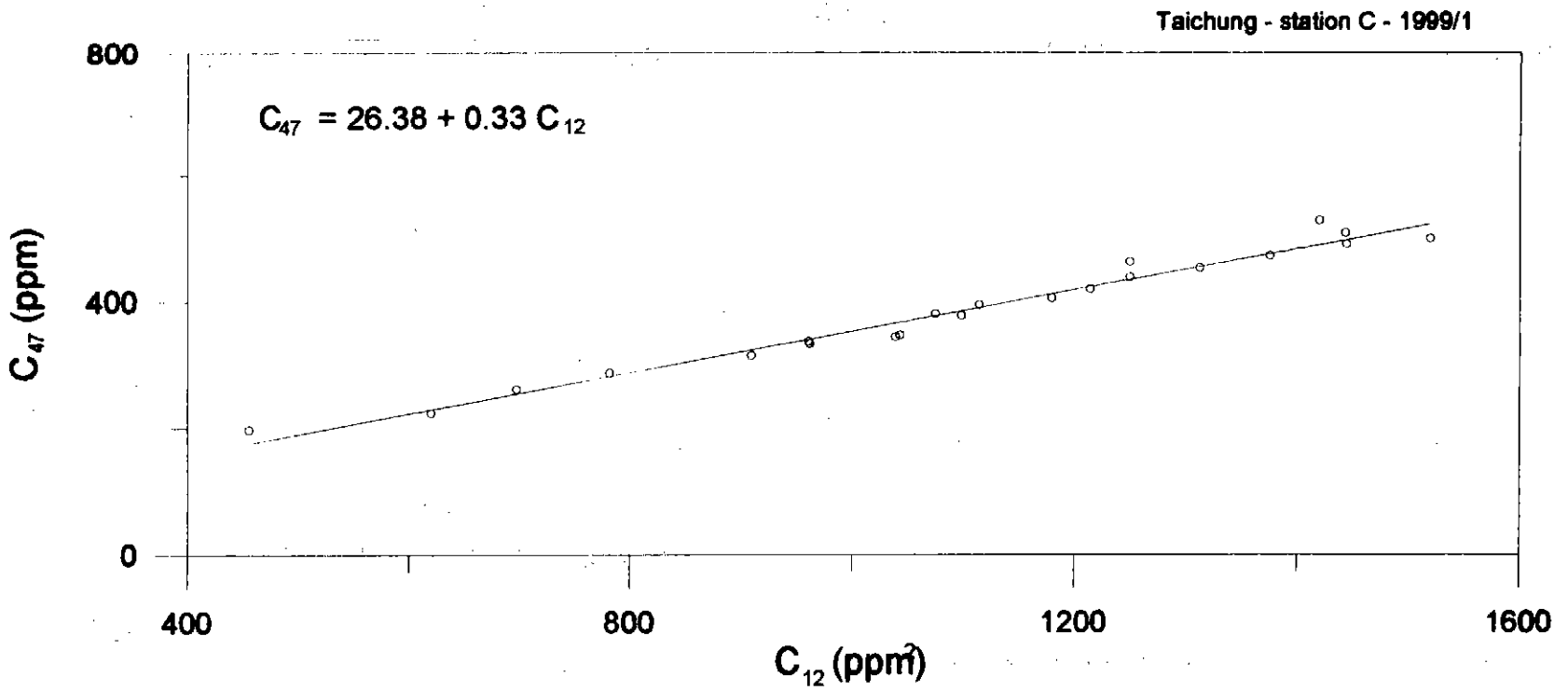



圖 39. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之懸浮沙濃度關係

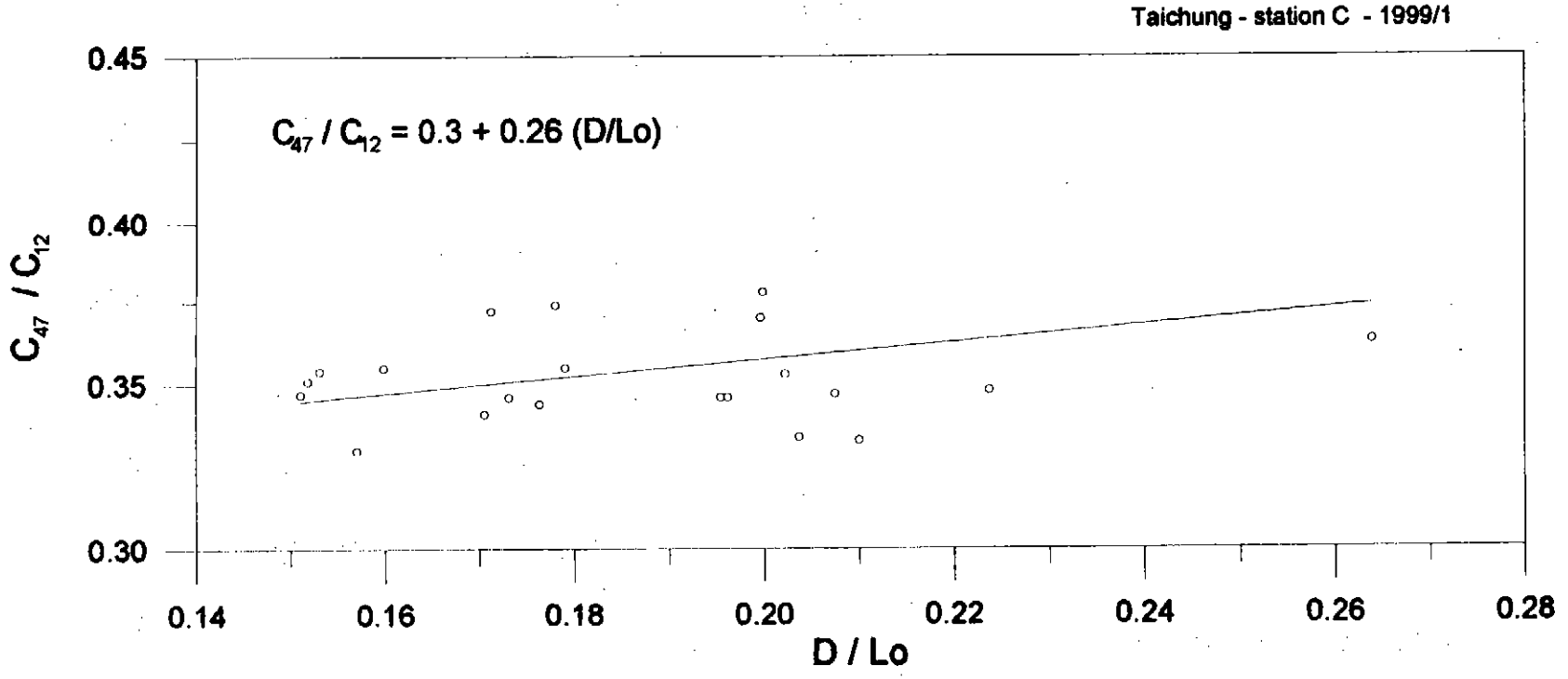



圖 40. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之濃度比值與相對水深關係

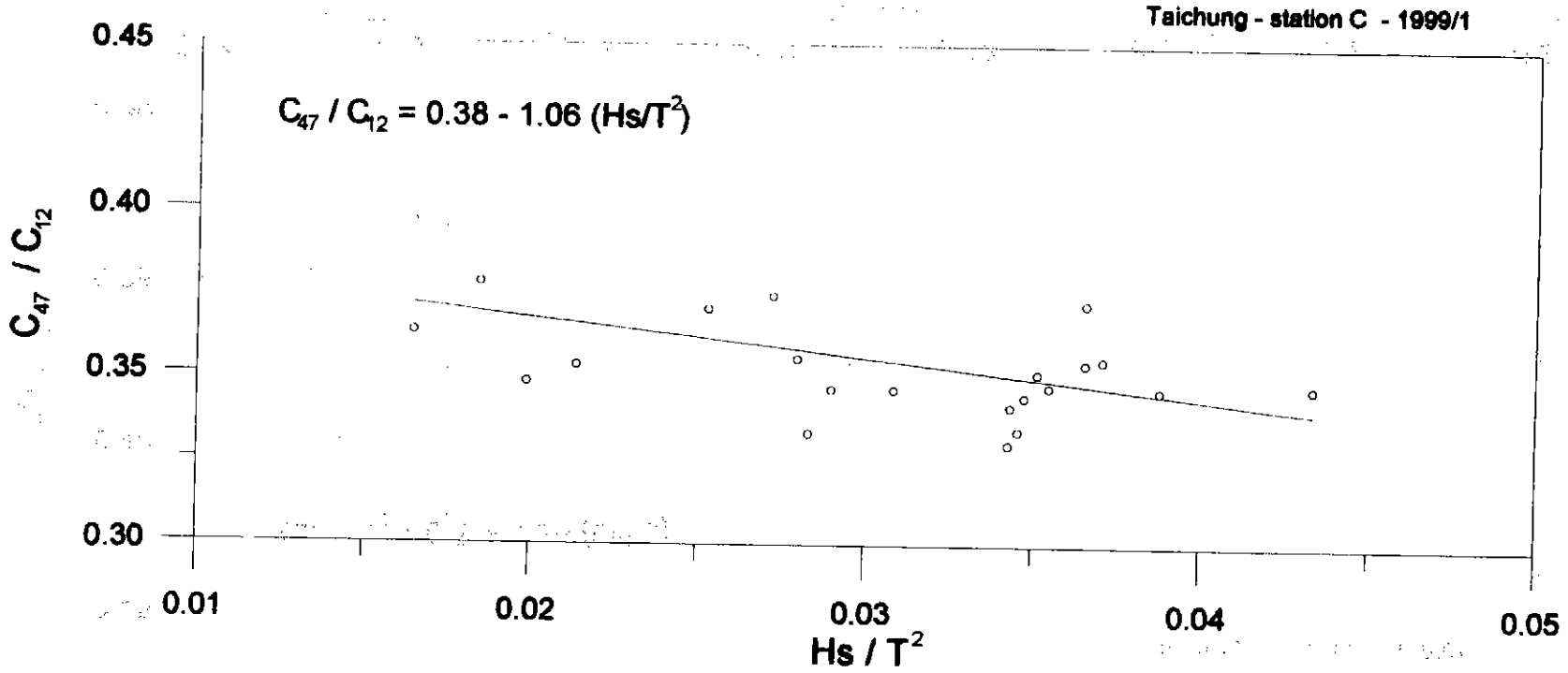



圖 41. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之濃度比值與深海波尖銳度關係

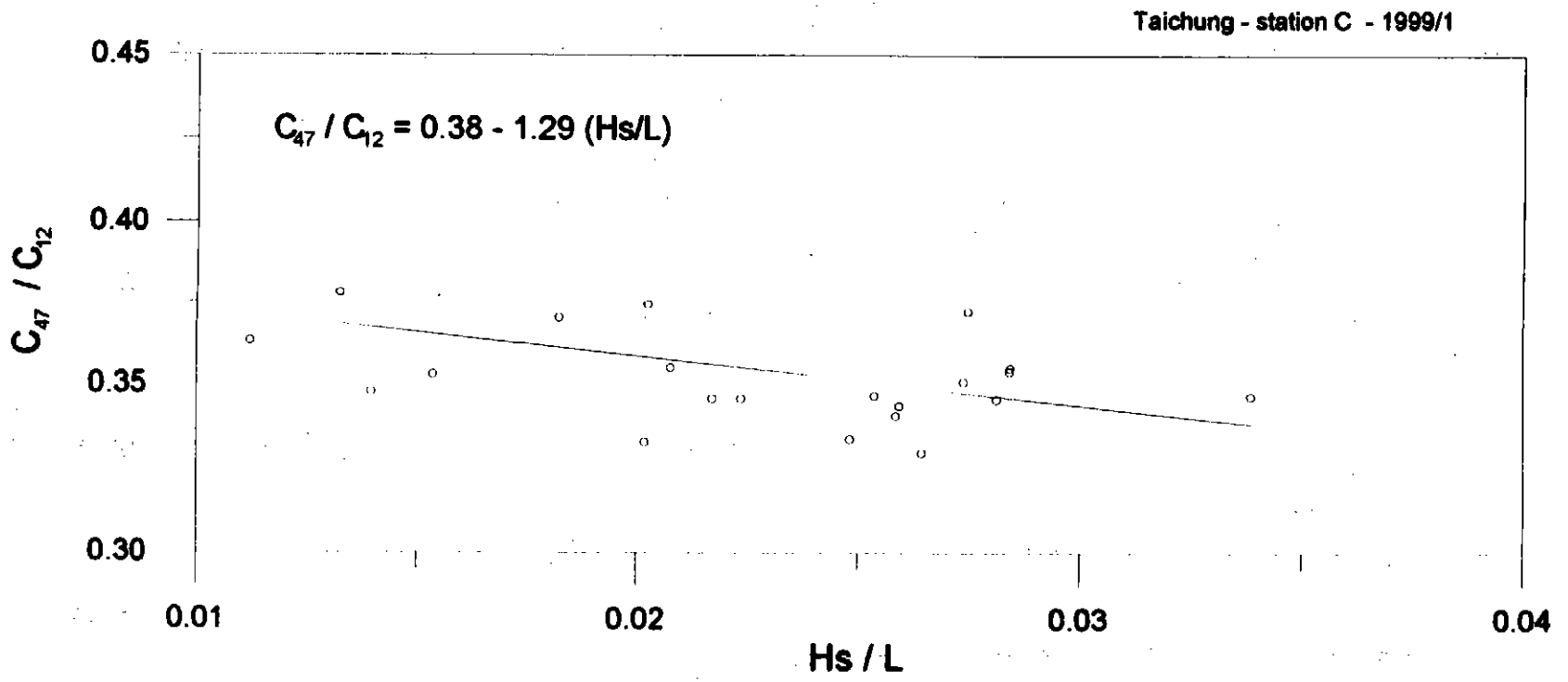



圖 42. 台中港北防砂堤測站 C 底床上 47cm 與 12cm 之濃度比值與當地波浪尖銳度關係

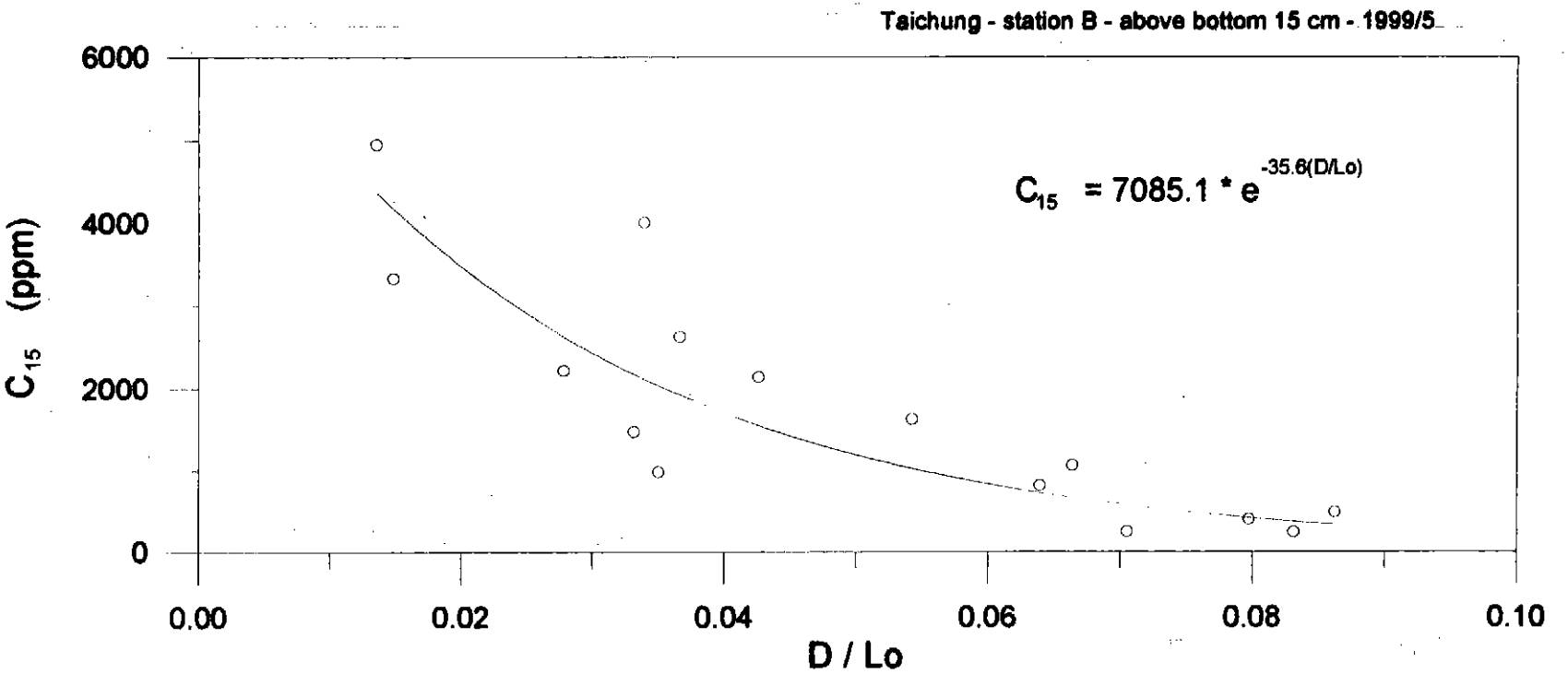



圖 43. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度與相對水深關係

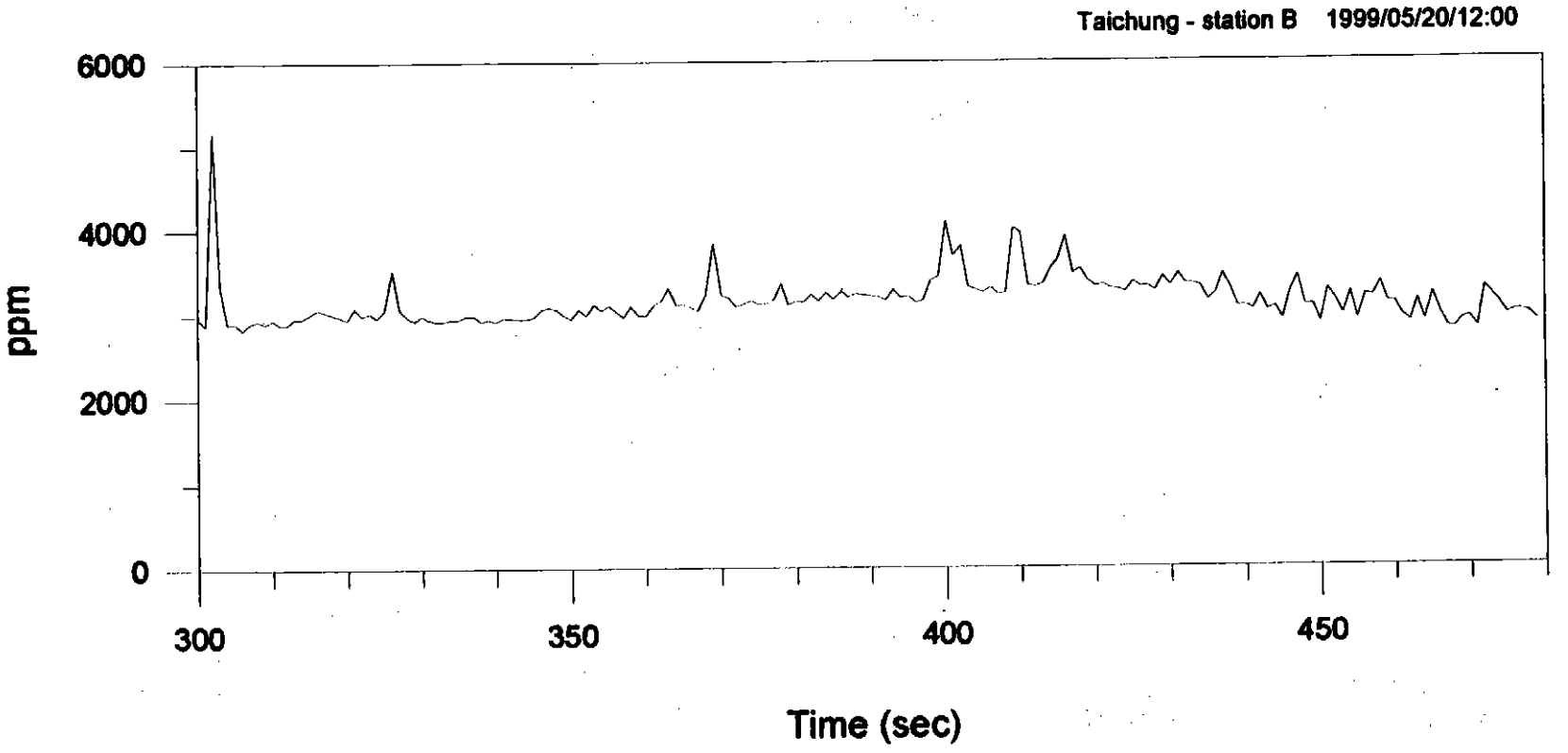



圖 44. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度時序列變化(a)

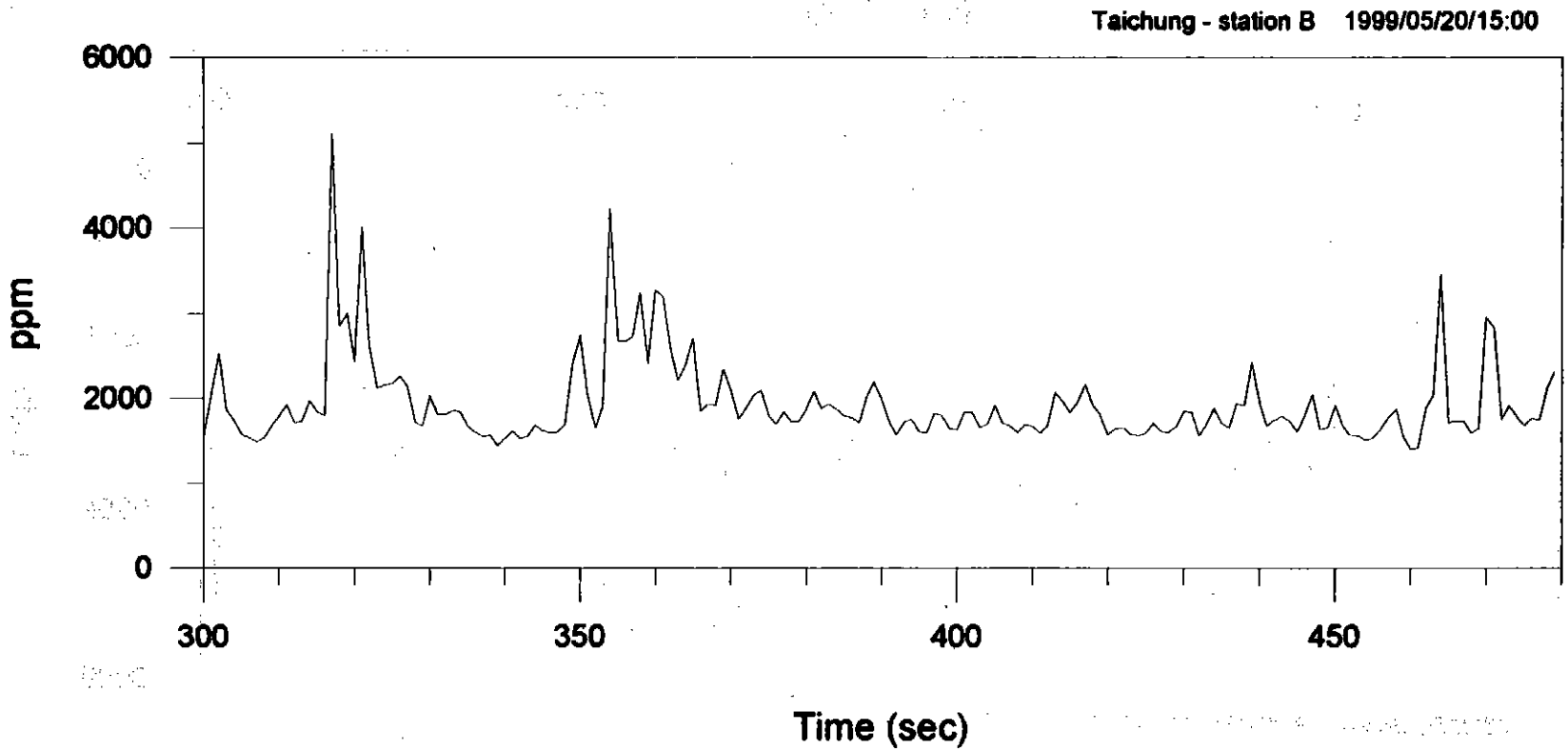



圖 45. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度時序列變化(b)

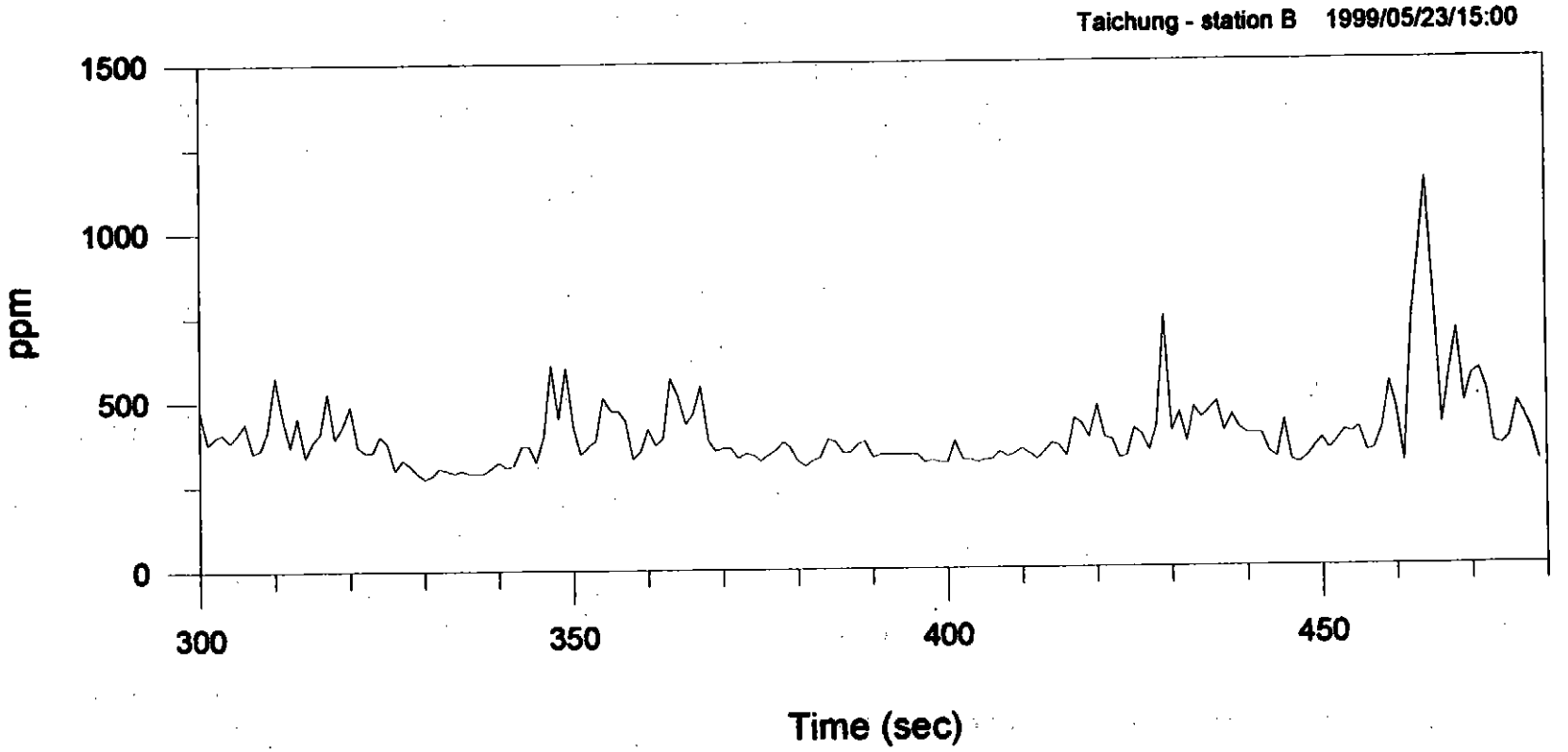



圖 46. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之懸浮沙濃度時序列變化(c)

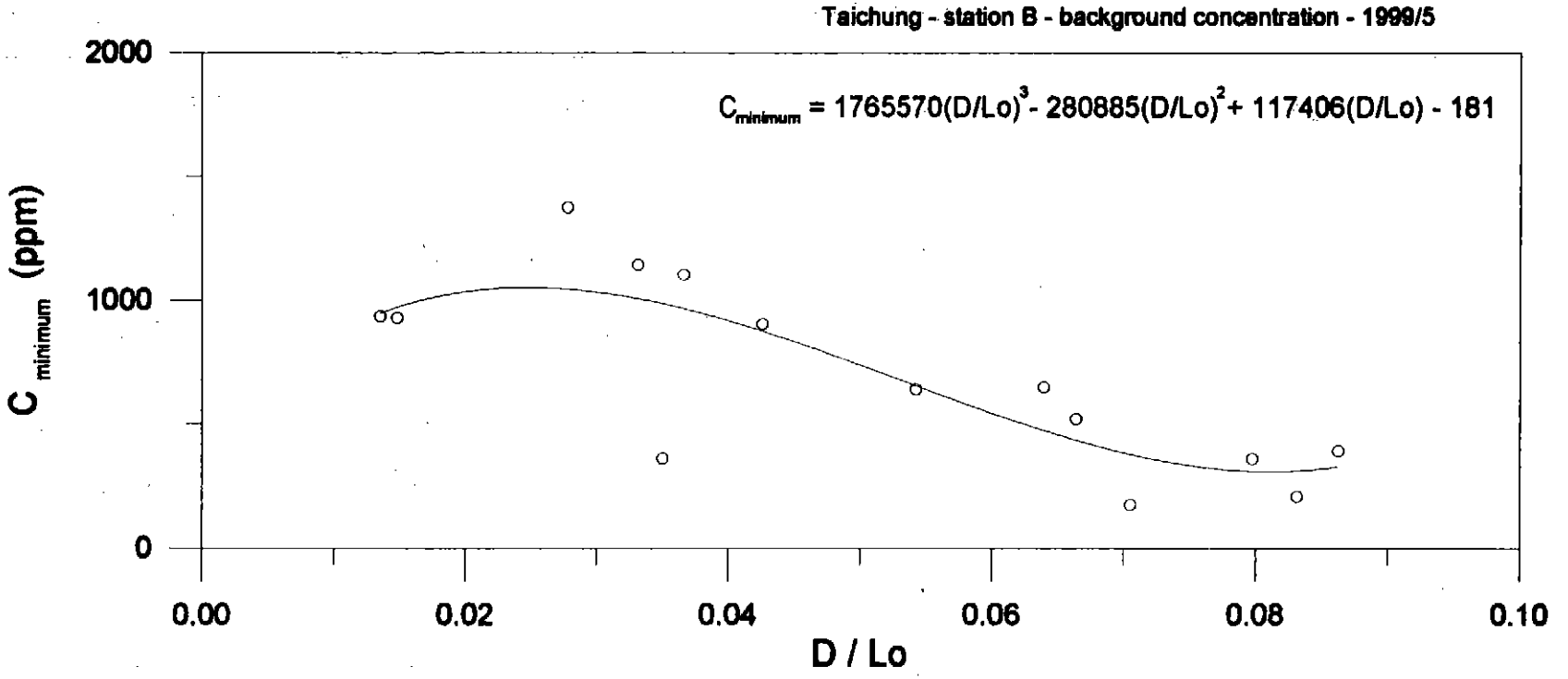



圖 47. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之背景濃度與相對水深關係

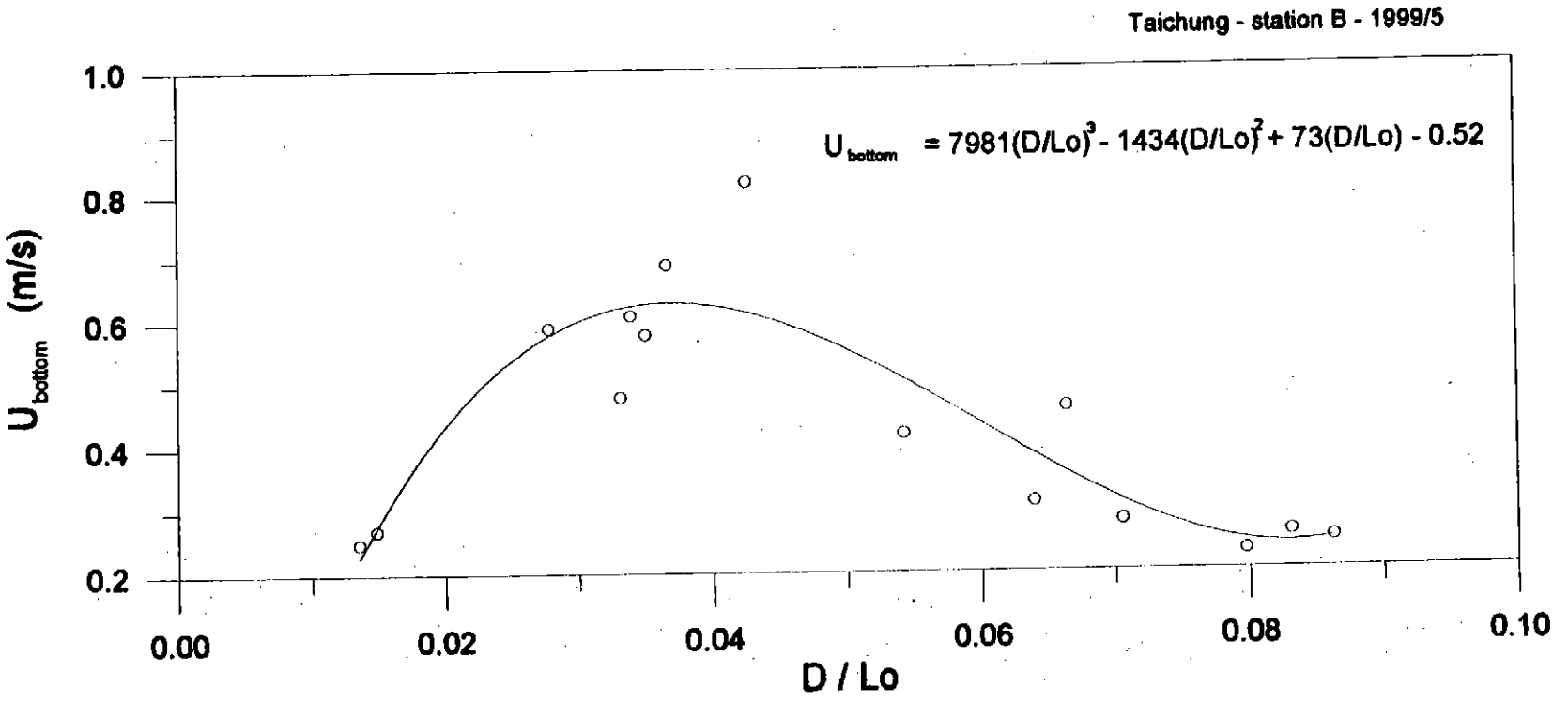



圖 48. 台中港北防砂堤測站 B 底床上 15cm 之底床最大流速與相對水深關係

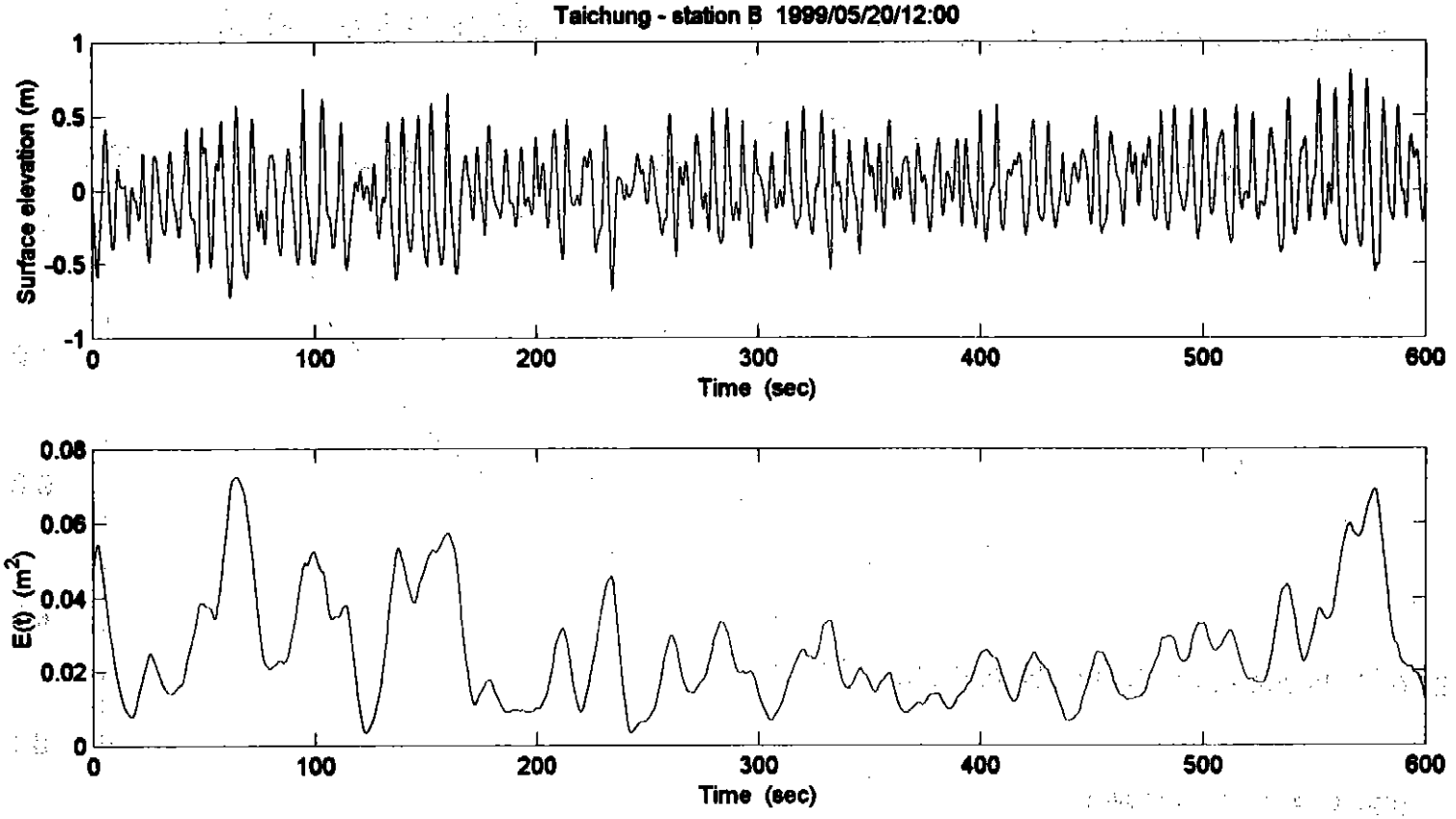



圖 49. 台中港北防砂堤測站 B 之群波現象與其波能變化圖(a)

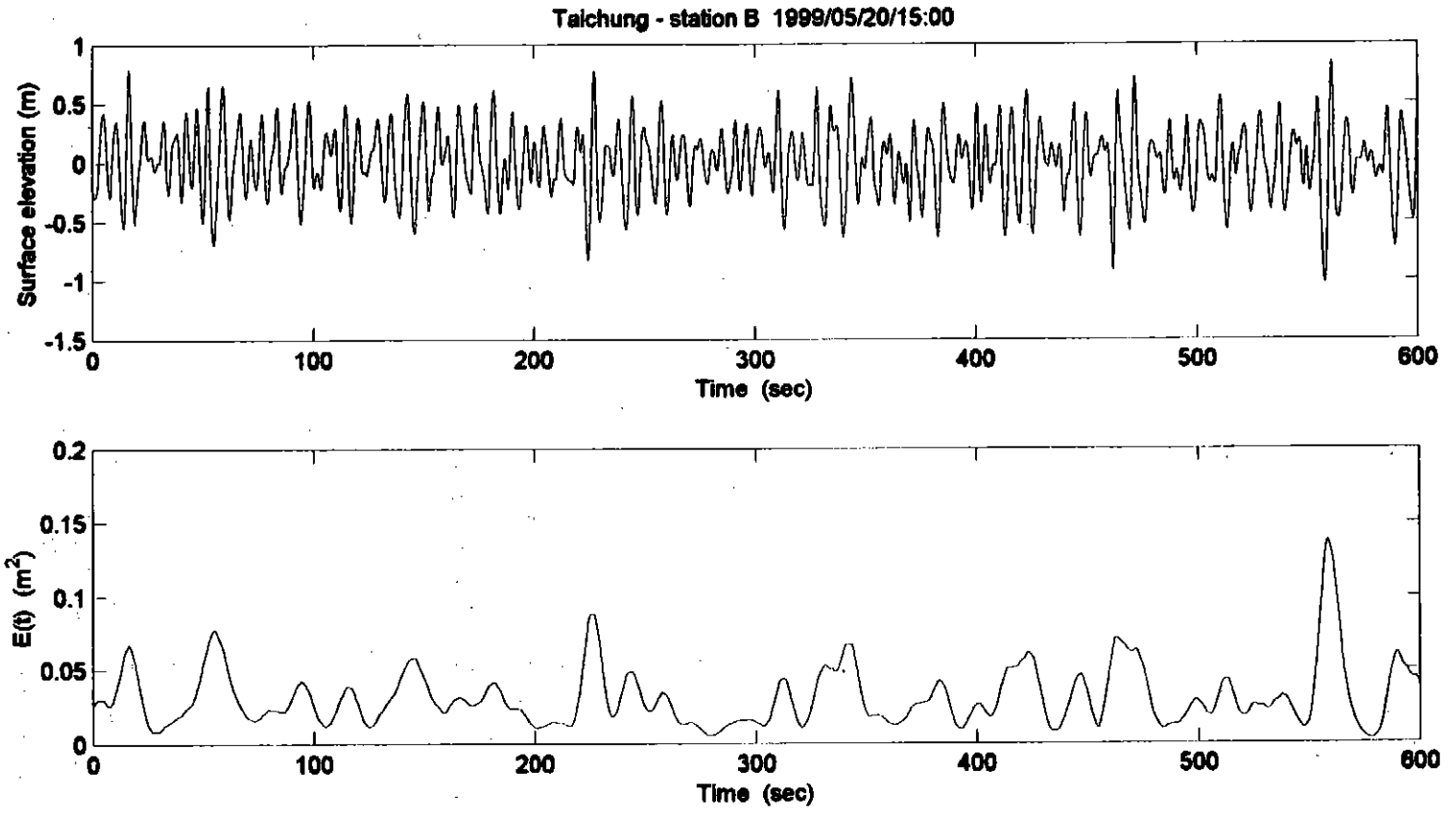



圖 50. 台中港北防砂堤測站 B 之群波現象與其波能變化圖(b)

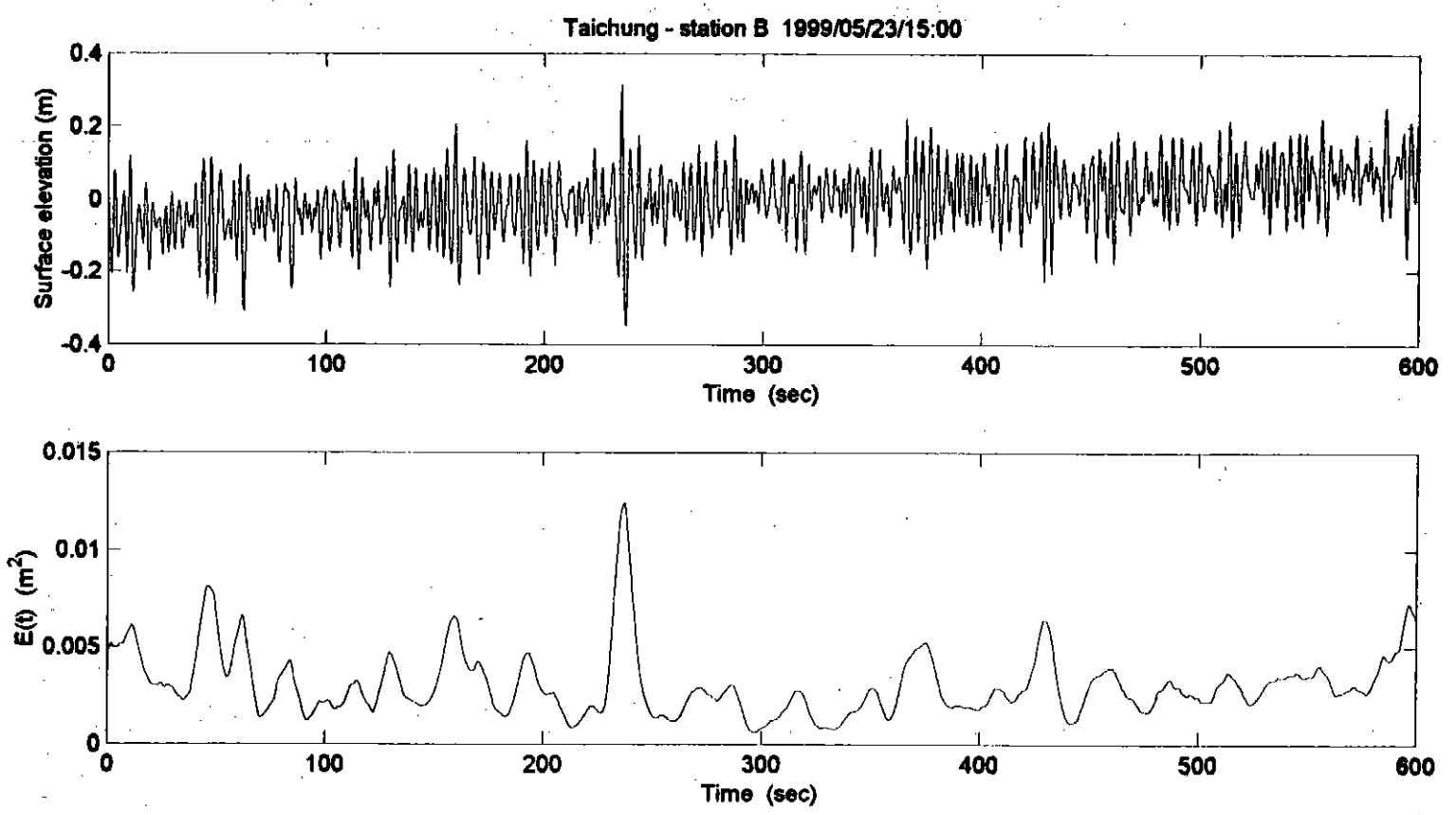



圖 51. 台中港北防砂堤測站 B 之群波現象與其波能變化圖(c)

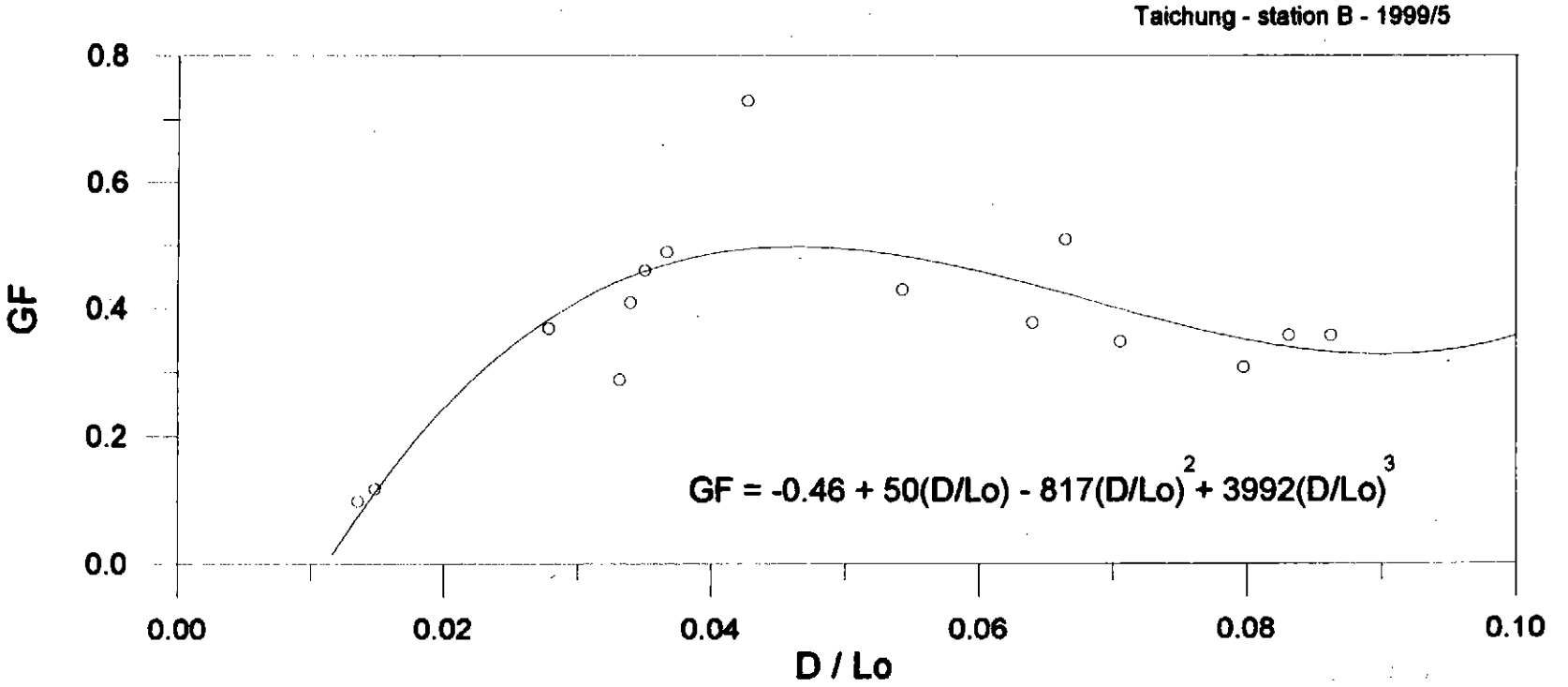



圖 52. 台中港北防砂堤測站 B 之群波係數 GF 值與相對水深關係

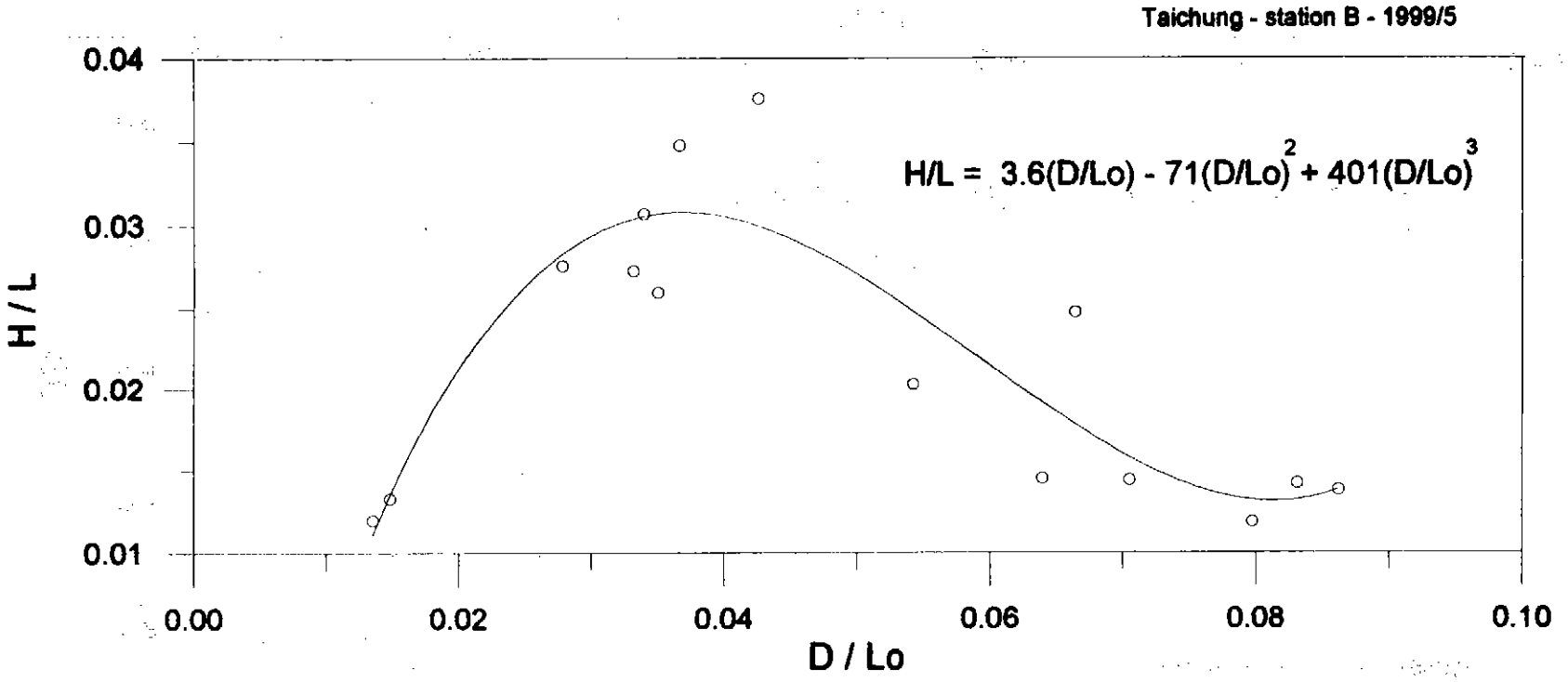



圖 53. 台中港北防砂堤測站 B 之當地波浪尖銳度與相對水深關係

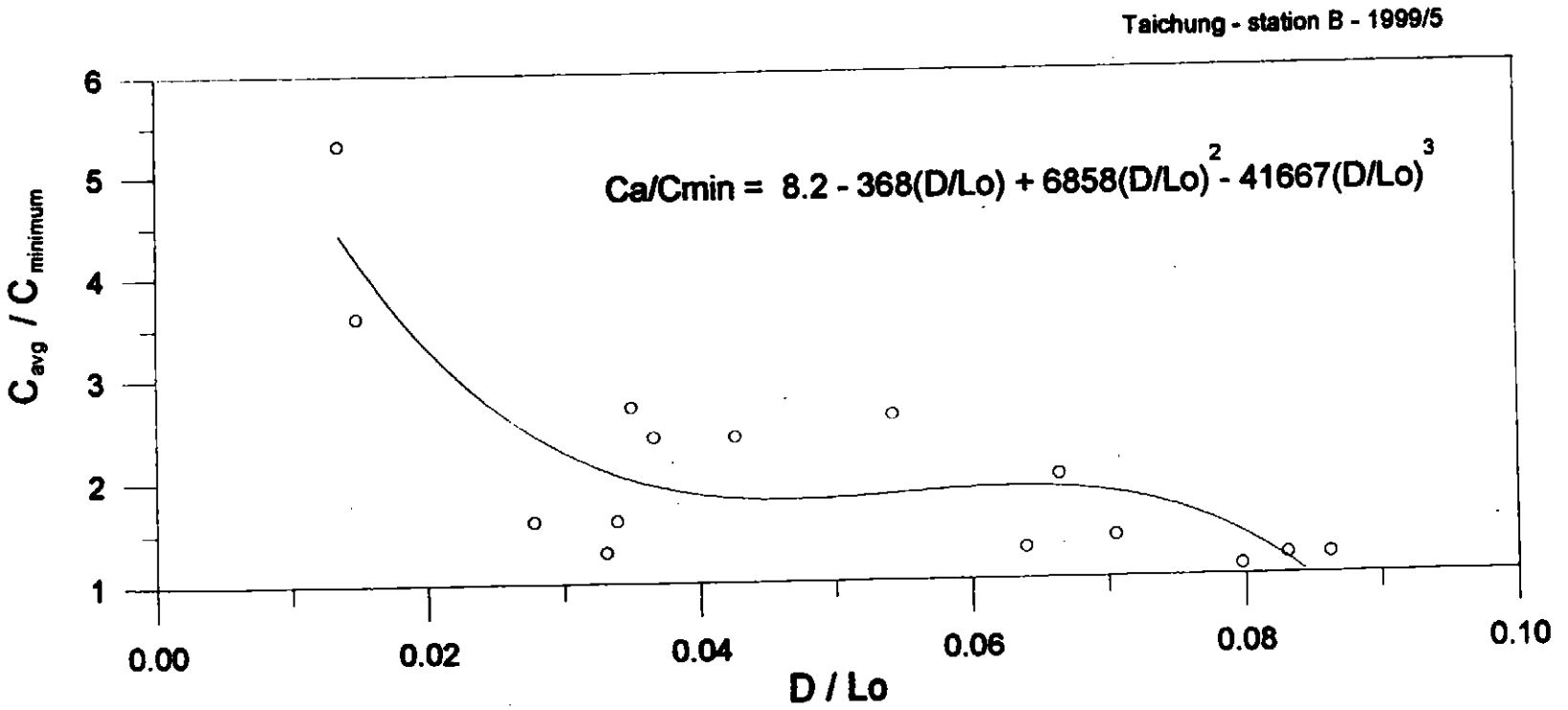



圖 54. 台中港北防砂堤測站 B 之平均濃度與背景濃度比值與相對水深關係

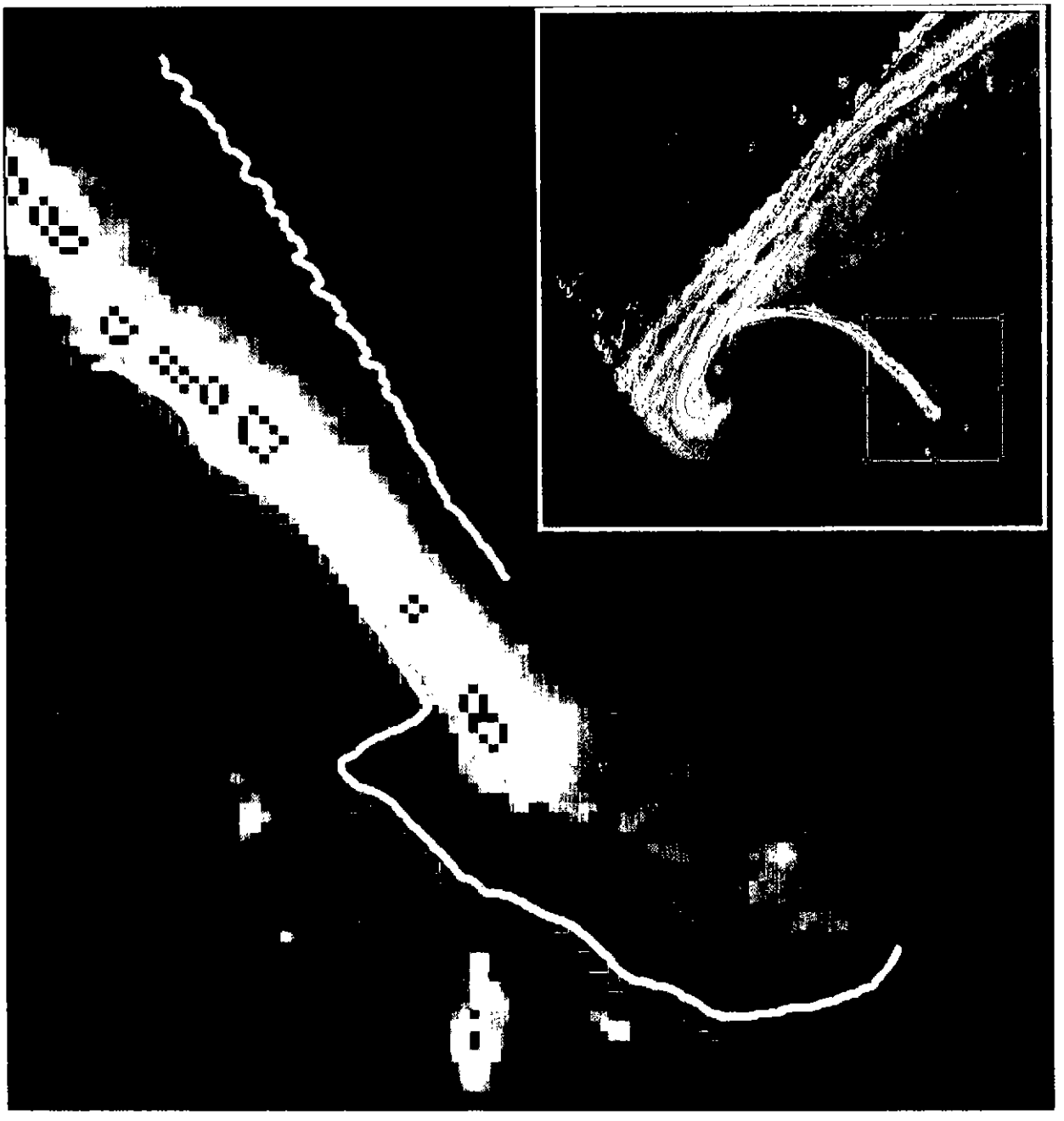


圖 55. 外傘頂洲初始影像水線之分佈(紅色線條)(1998 年 11 月 12 日)

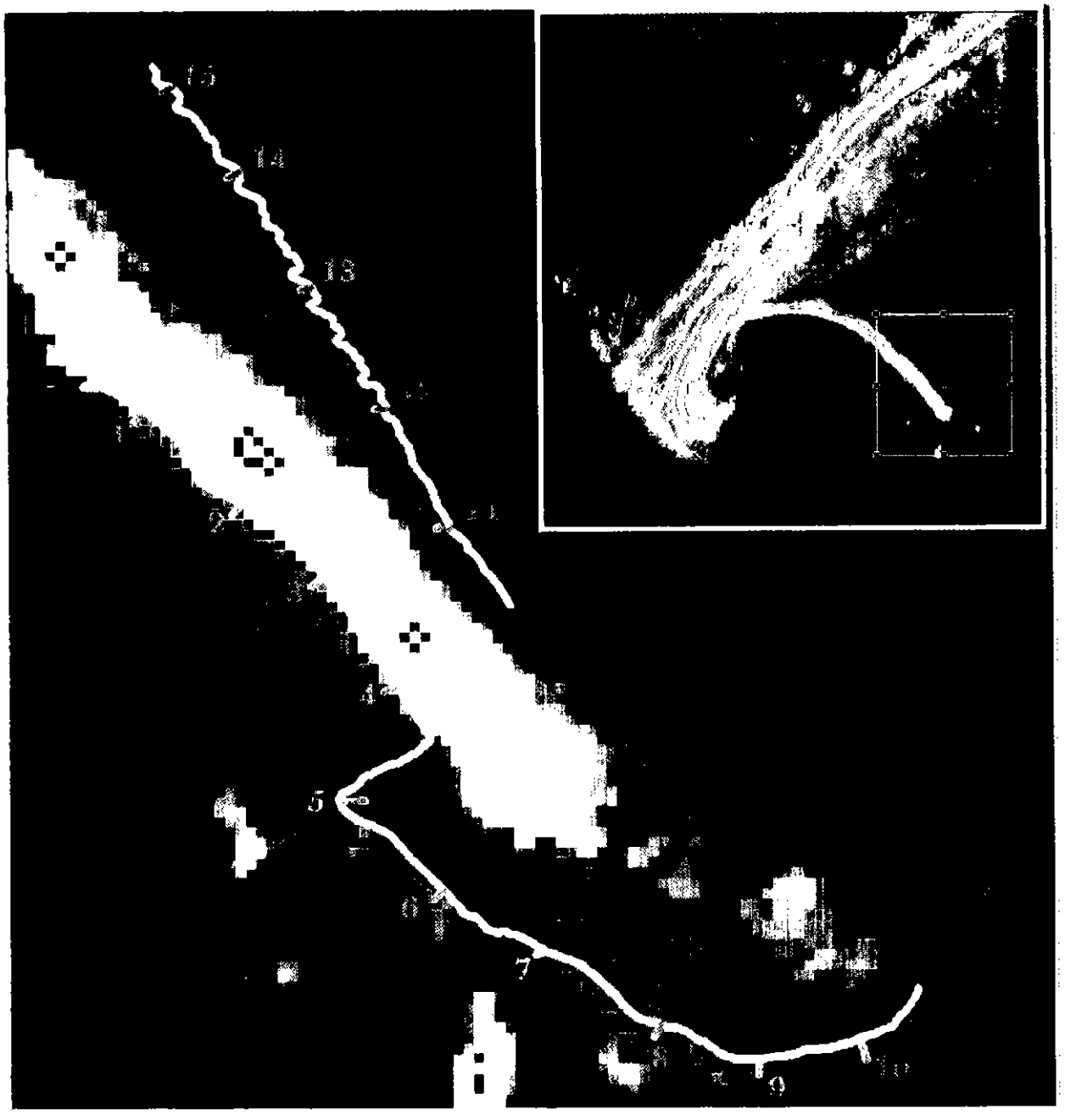



圖 56. 外傘頂洲微調後影像水線之分佈(紅色線條)，橘色線條則為 GPS 所測之實際水線(1998 年 11 月 12 日)

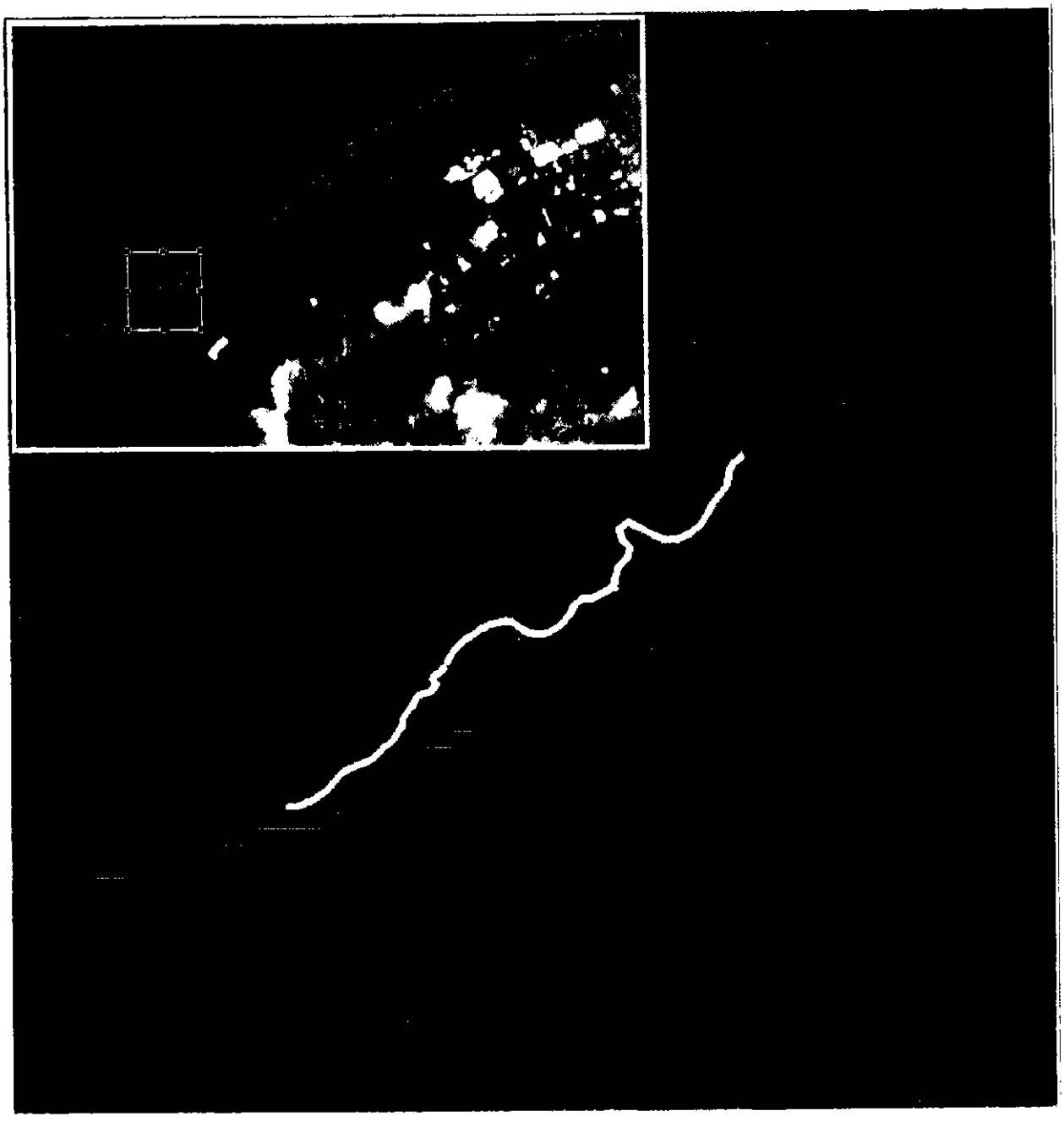


圖 57. 觀音海邊影像水線(紅色)及實際水線(橘色)位置(1998 年 11 月 25 日)

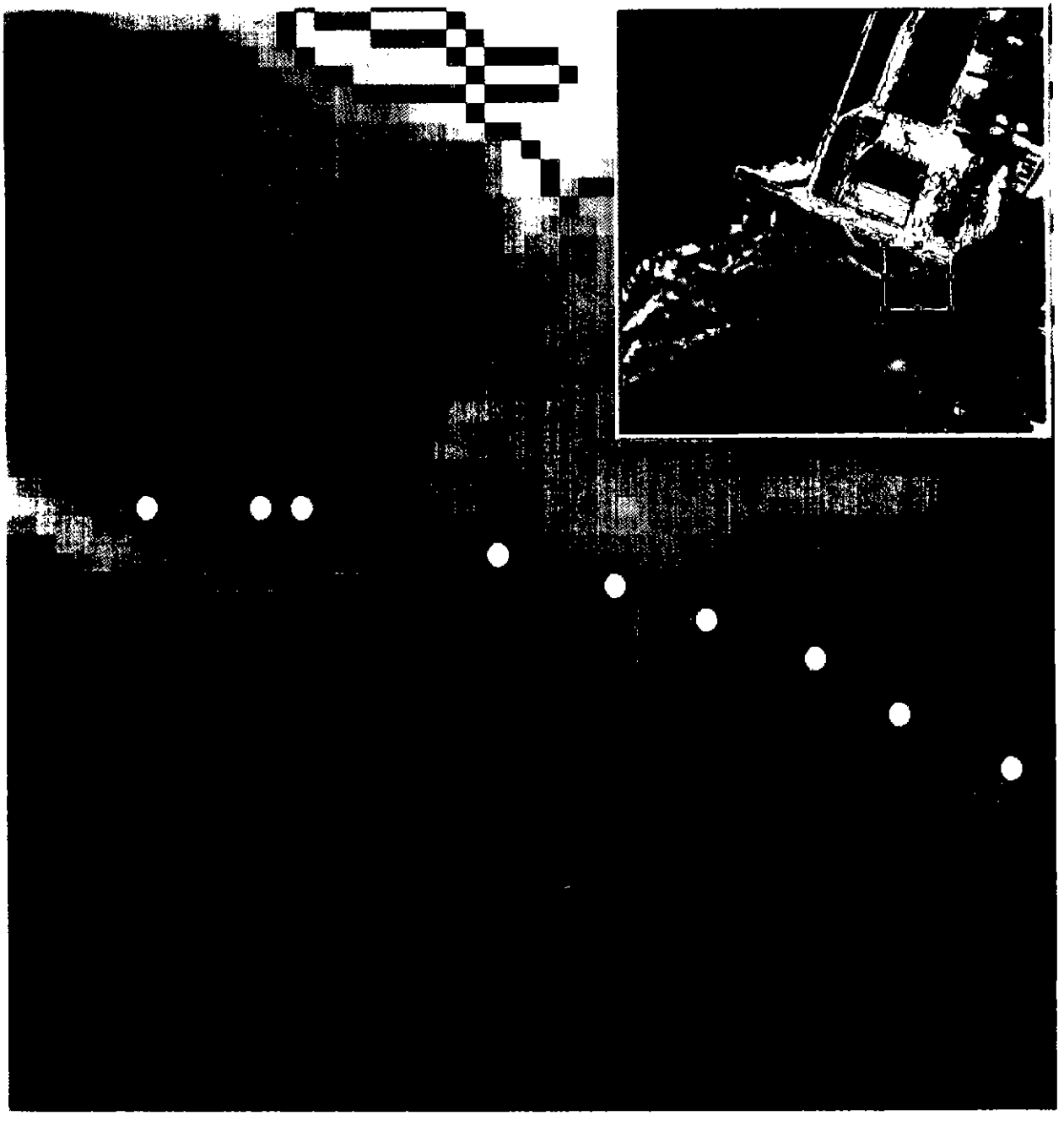


圖 58. 大肚溪口影像水線(紅色)位置，橘色點為經緯儀及測距儀所測實際水線之位置(1996 年 1 月 30 日)

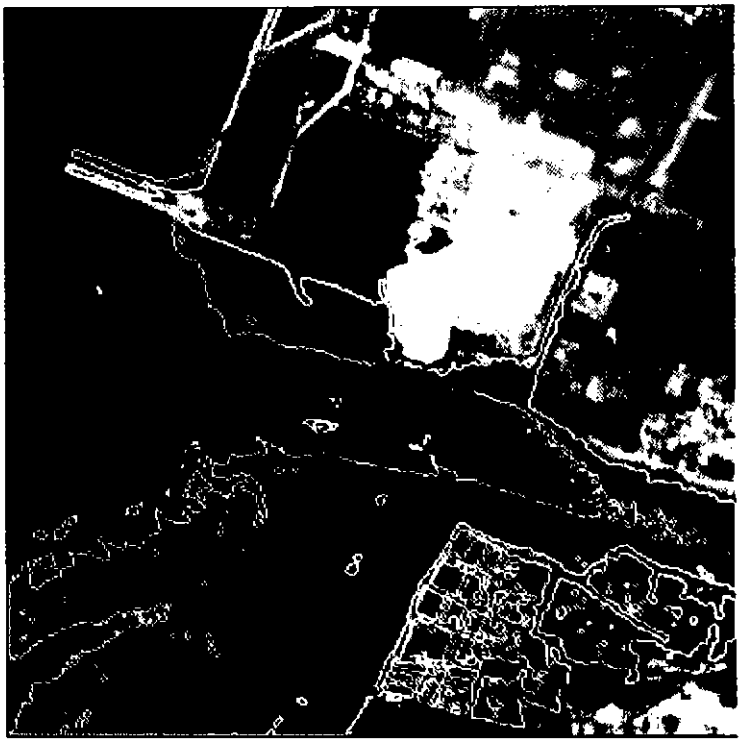


圖 59. 1999 年 4 月 24 日大肚溪口影像水線(黃色)及實際水線(紅色，以 GPS 所測)之比較圖

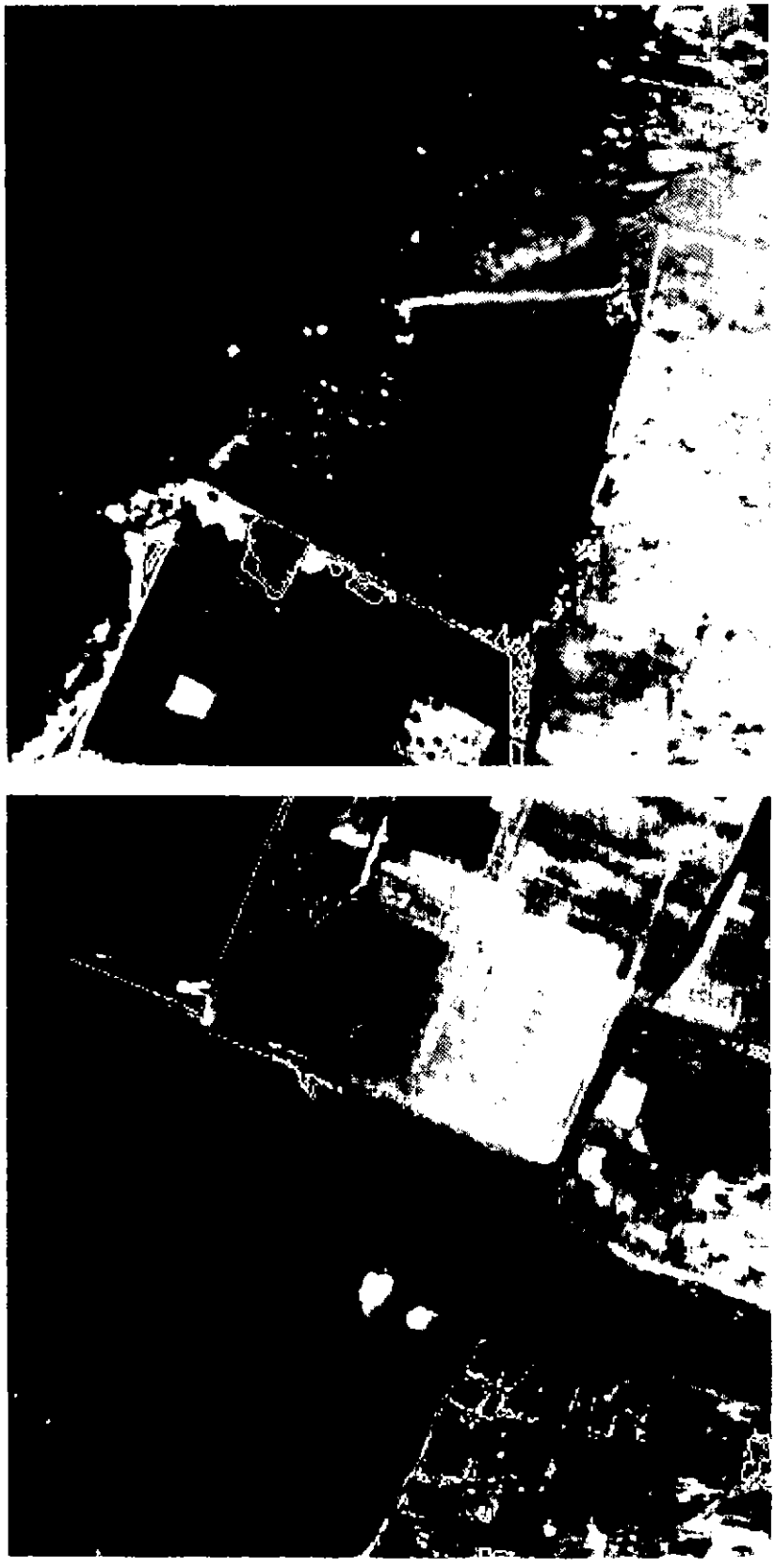


圖 60. 1998/11/03(潮位 515.6 公分)影像水線(黃色)分佈
(上圖為北防波堤地區，下圖為大肚溪河口地區)

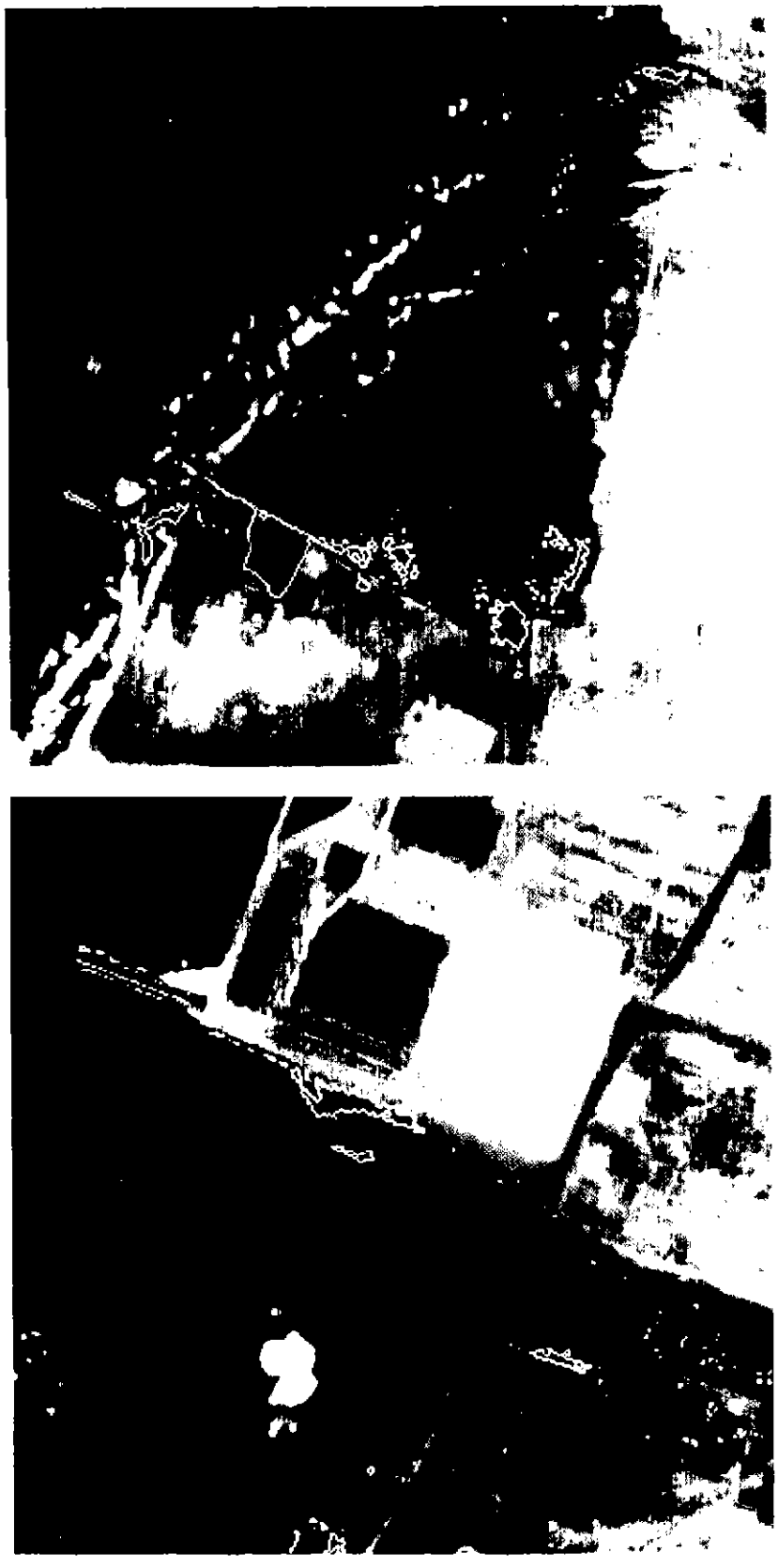


圖 61. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/02(潮位 451.3 公分)影像水線(黃色)分佈

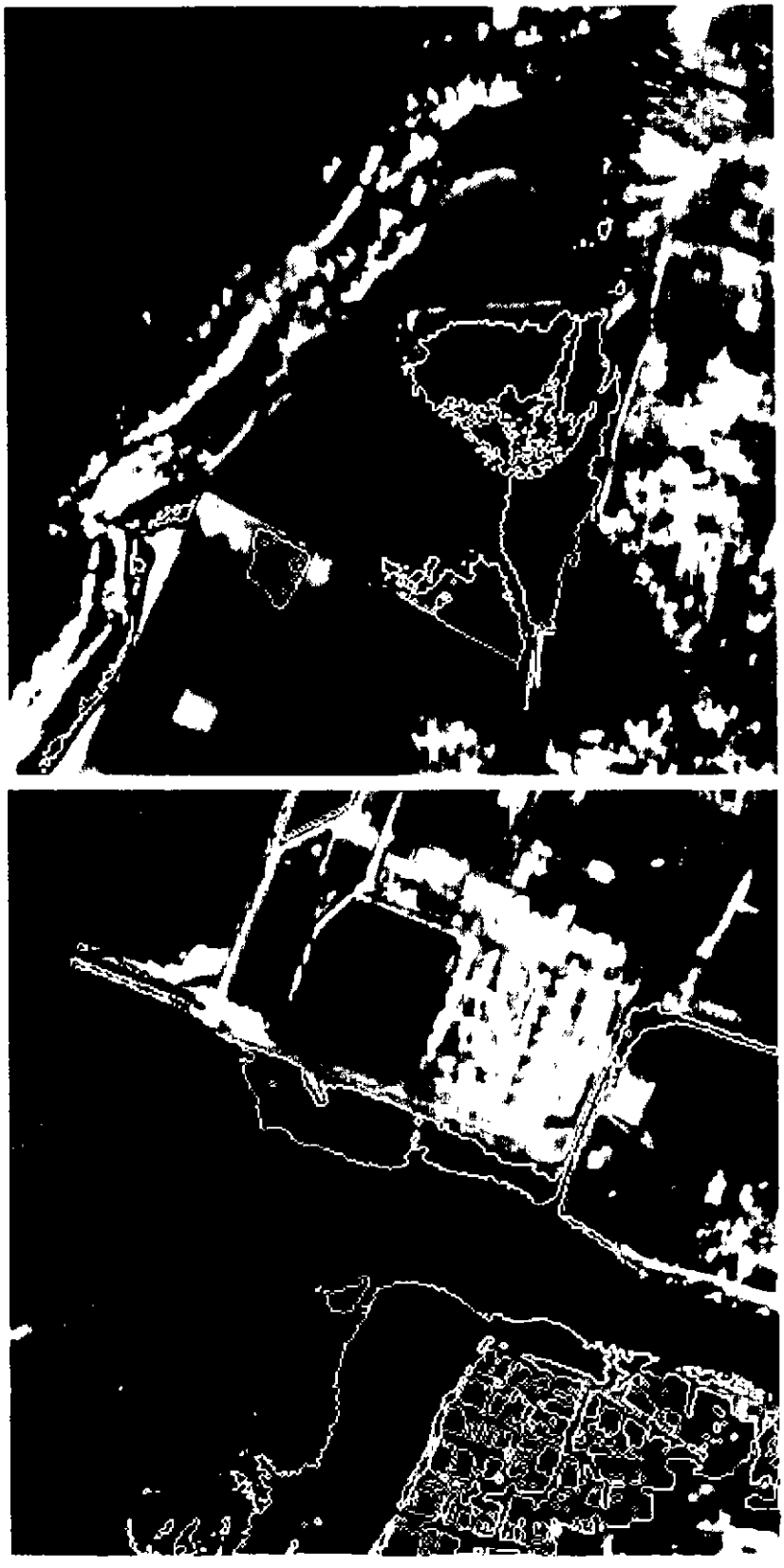


圖 62. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/01(潮位 339.3 公分)影像水線(黃色)分佈

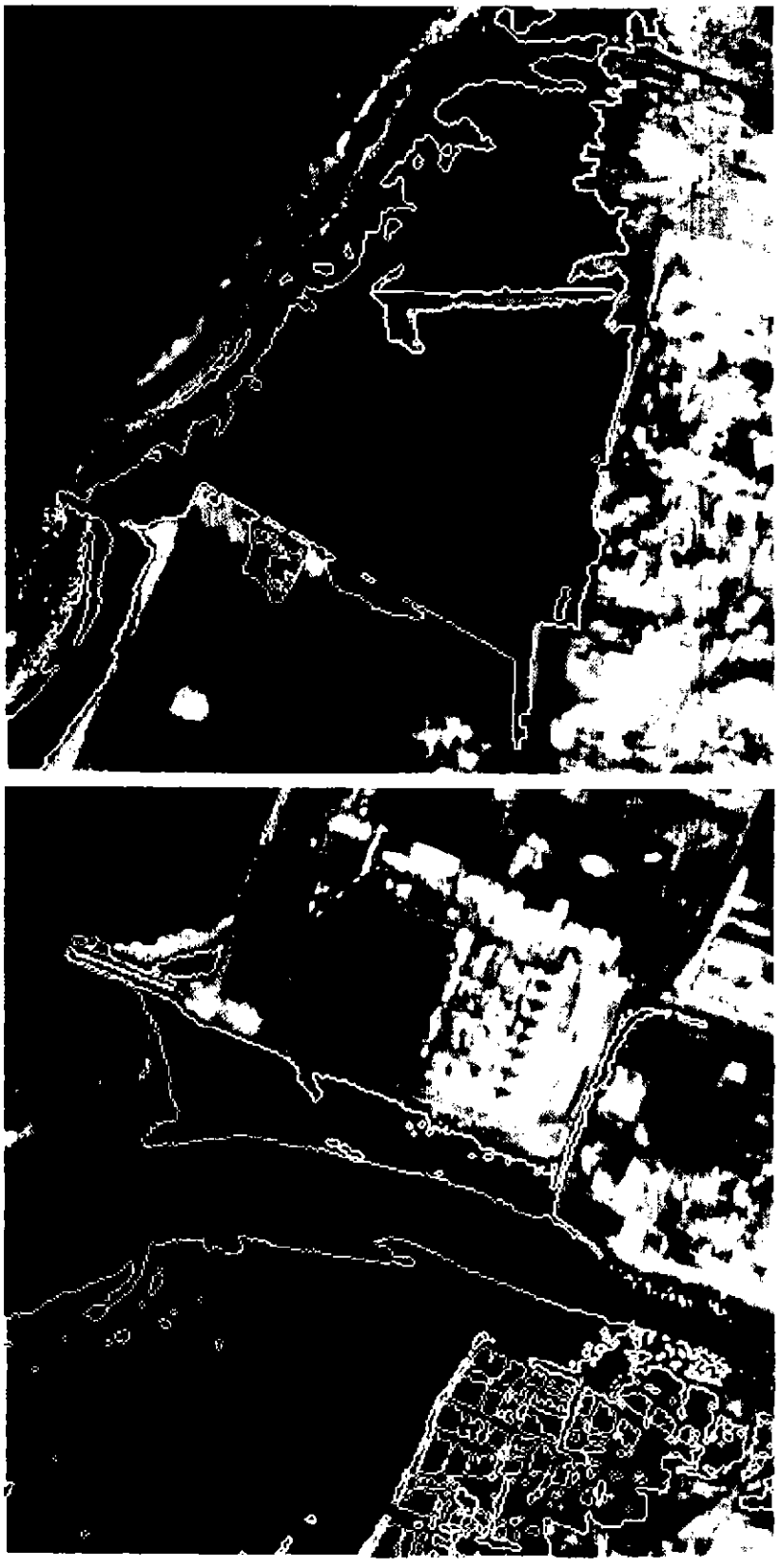


圖 63. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/12(潮位 125.8 公分)影像水線(黃色)分佈

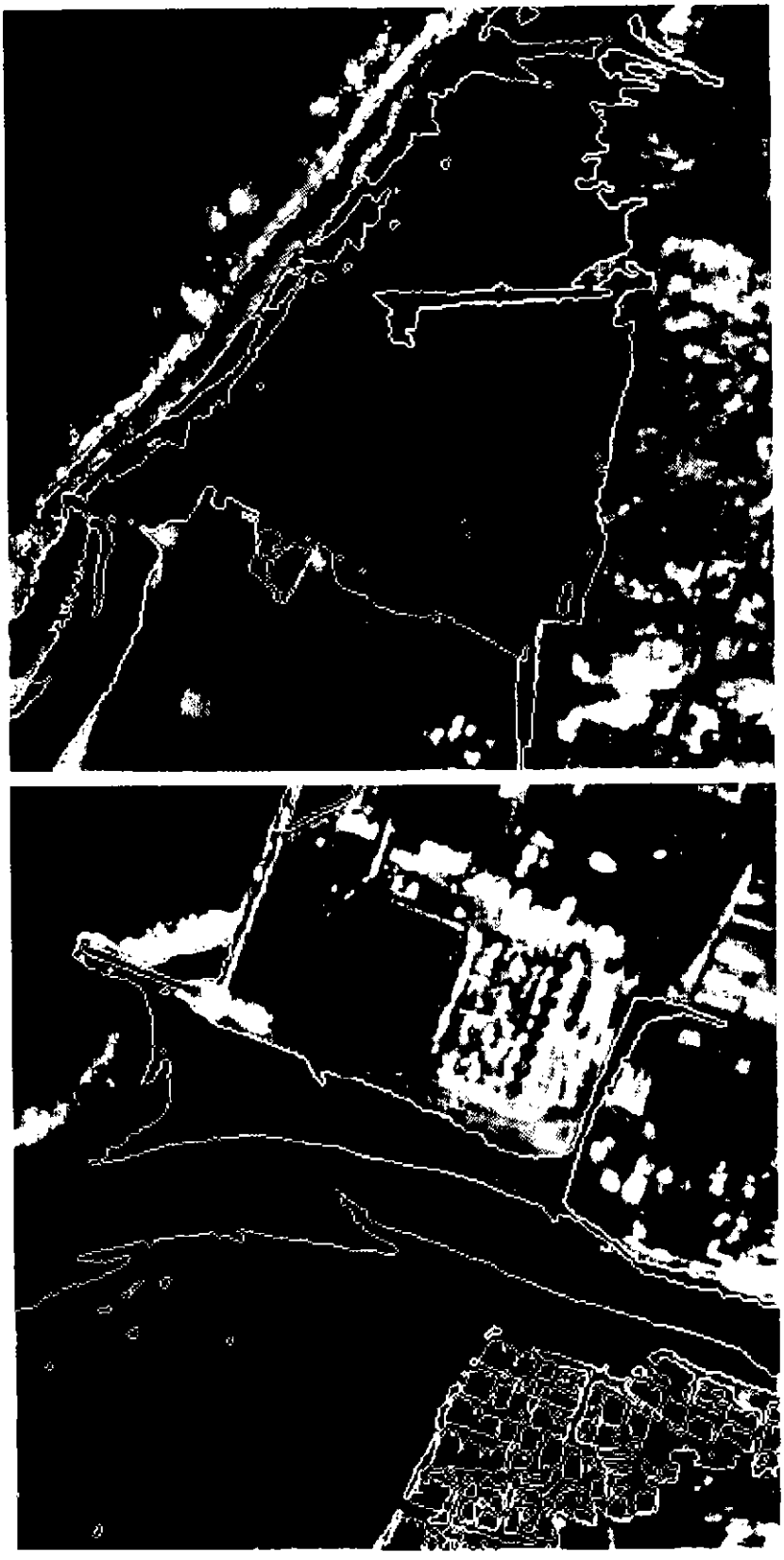


圖 64. 同上，唯日期(潮位)為 1998/11/11(潮位 85.8 公分)影像水線(黃色)分佈

圖 65. 北防波堤區域之坡度測量

應用SPOT衛星影像分析所得沙灘邊緣線進行北防波堤區域之坡度測量，使用之影像日期為98/11/12（潮位高度125.8cm，沙灘邊緣線為黃色）與98/11/02（潮位高度451.3cm，沙灘邊緣線為紅色），其中位置A之長度為2057m，坡度為0.158%，位置B之長度為809m，坡度為0.403%

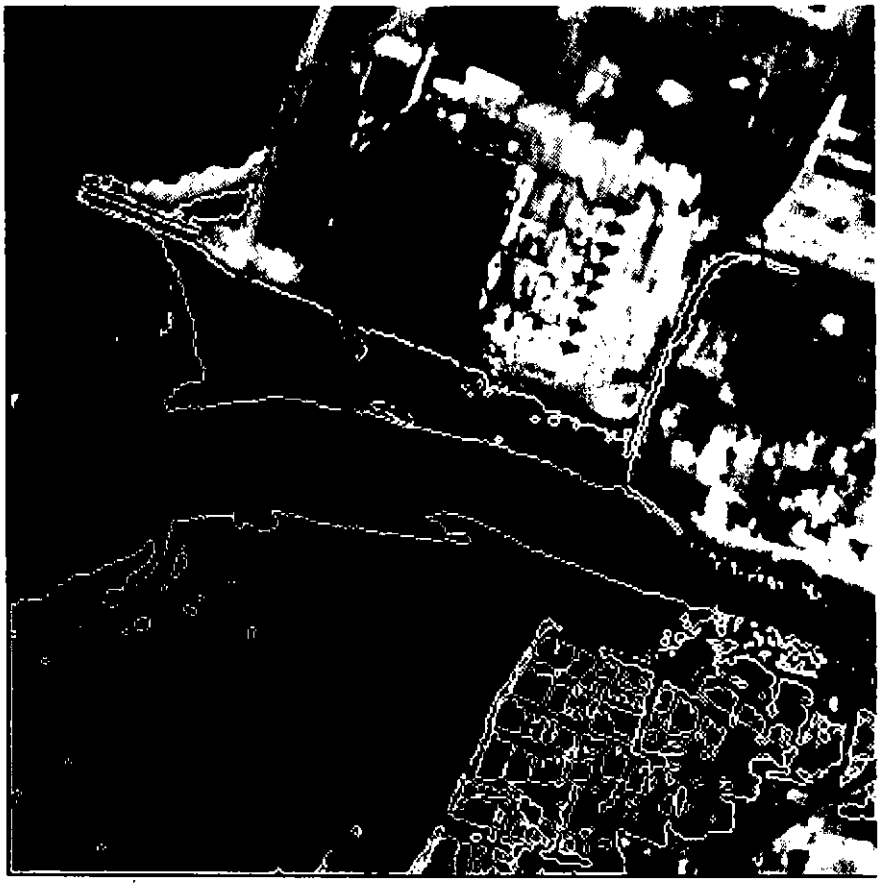


圖 66. 大肚溪河口區域之坡度測量

應用SPOT衛星影像分析所得沙灘邊緣線進行大肚溪河口區域之坡度測量，使用之影像日期為98/11/12（潮位高度125.8cm，沙灘邊緣線為黃色）與98/11/02（潮位高度451.3cm，沙灘邊緣線為紅色），其中位置A之長度為208m，坡度為1.564%，位置B之長度為1923m，坡度為0.169%。

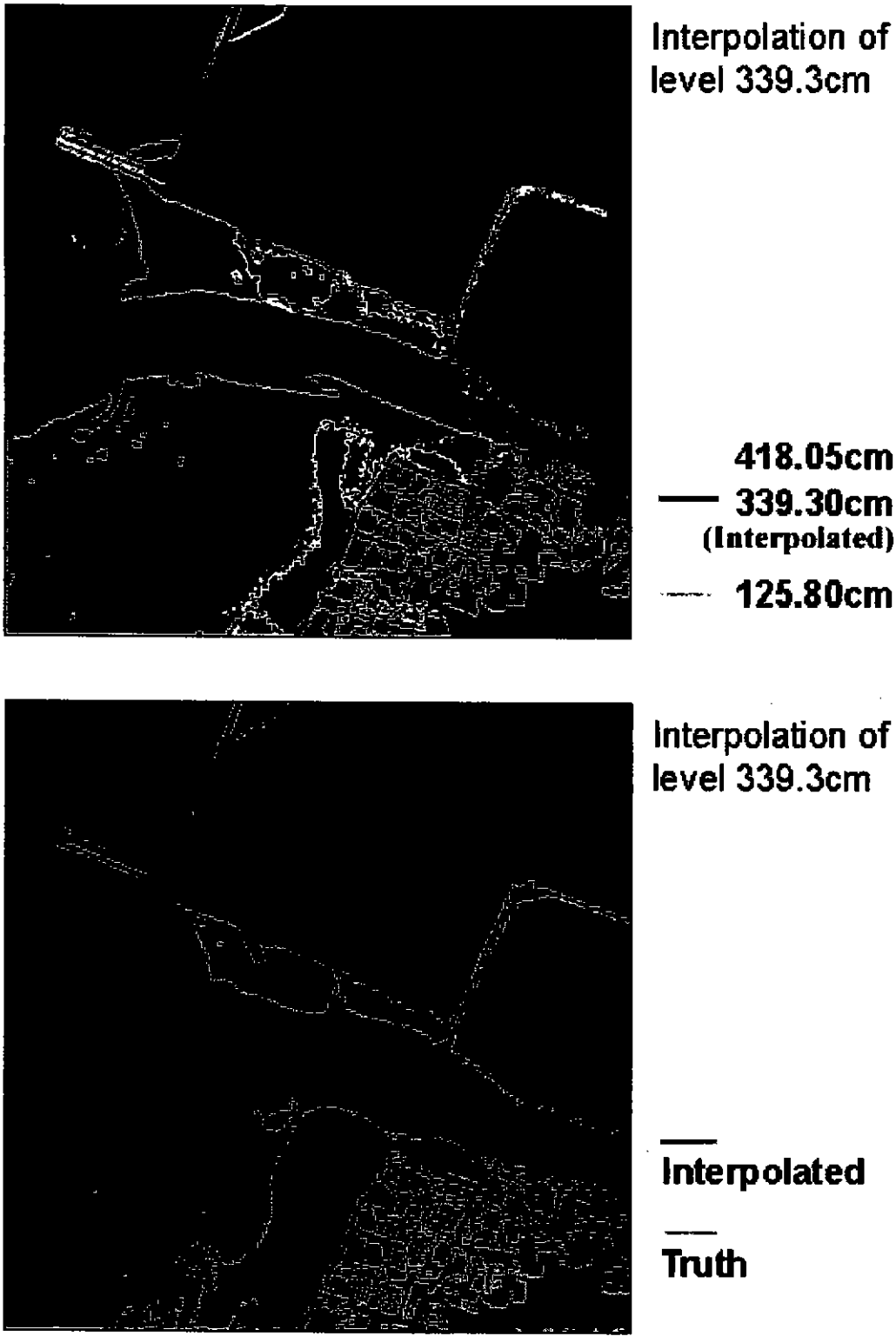



圖 67. 1998/11/02(潮位 451.3 公分)，1998/11/12(潮位 125.8 公分)1998/11/01 (潮位 339.3 公分)大肚溪口影像水線分佈情形(分別以黃、淺藍及綠色)代表，內插(潮位 339.3 公分)影像則以紅色線條表示

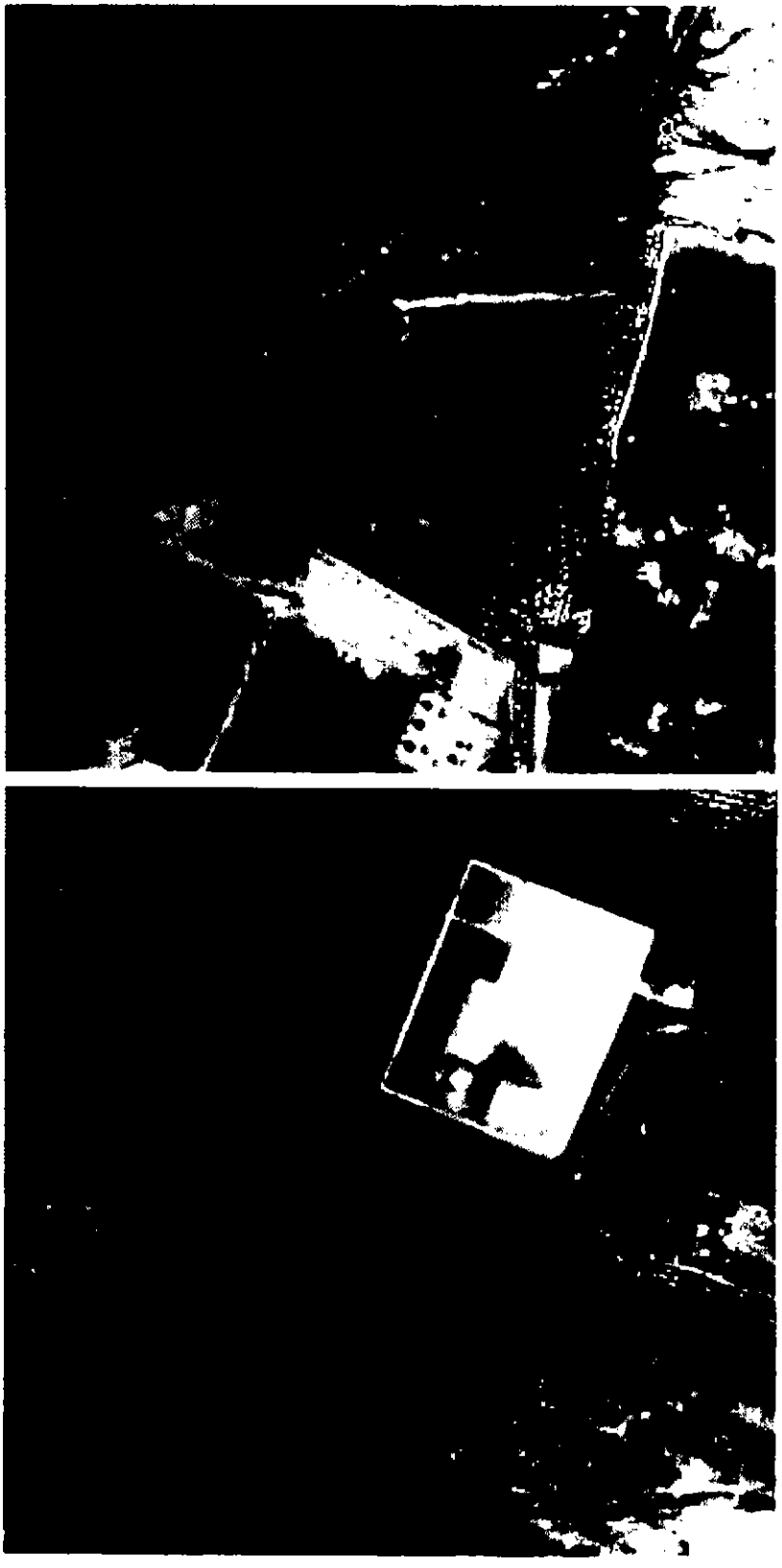


圖 68. 同圖 60，唯日期(潮位)為 1986/10/03(潮位 505 公分)影像水線(黃色)分佈

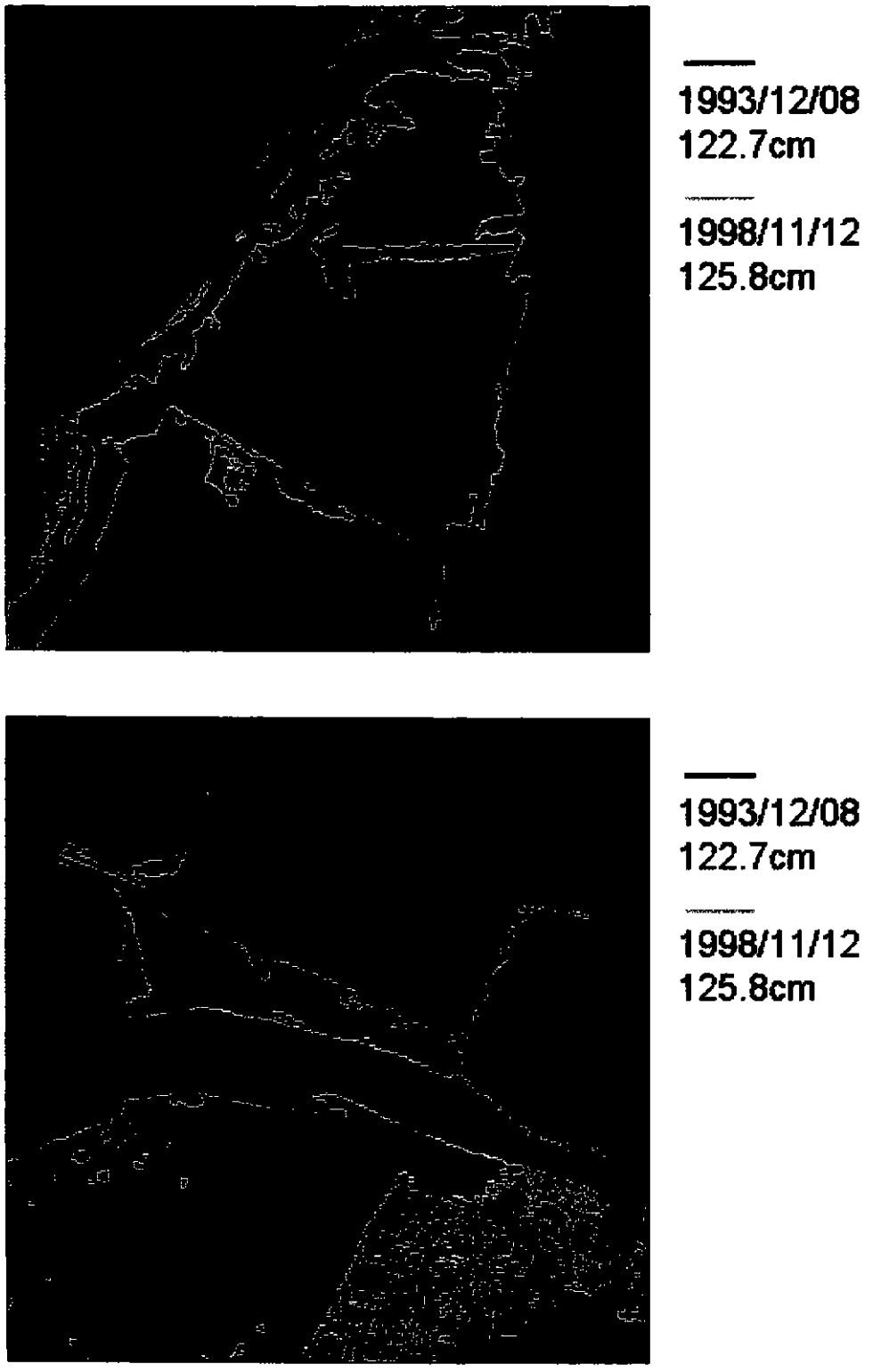



圖 69. 1993/12/08(潮位 122.7 公分)及 1998/11/12(潮位 125.8 公分)影像水線(前者為深藍色，後者為淺藍色)分佈情形(上圖為北防波堤地區，下圖為大肚溪河口地區)

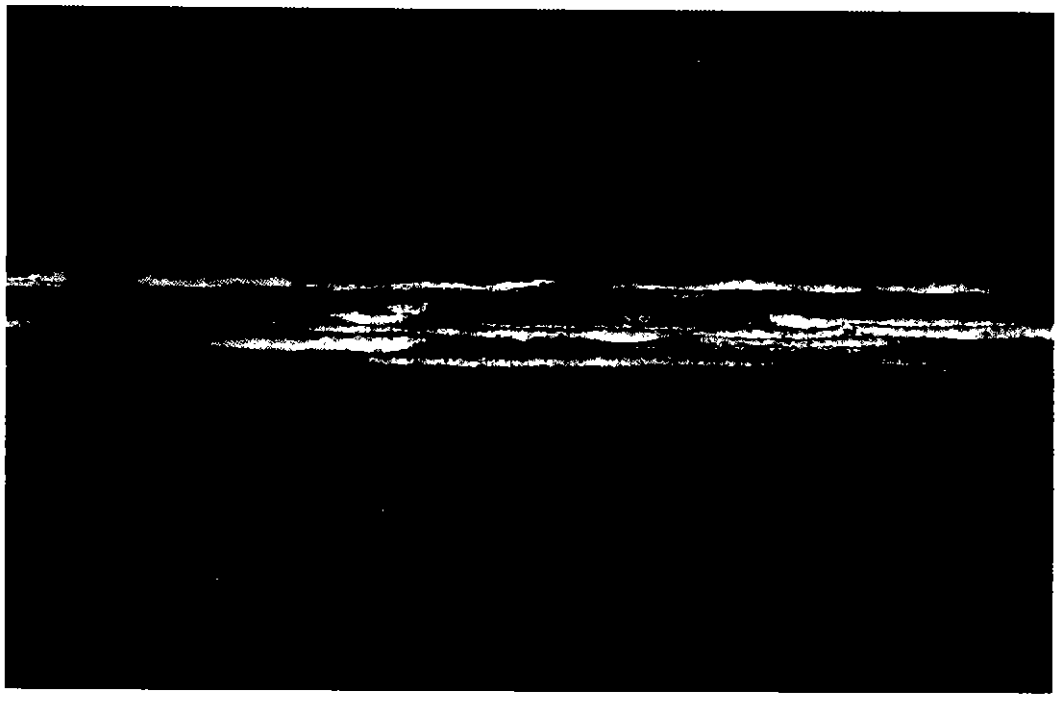
表 1　本計畫所使用之 SPOT 衛星影像(台中港地區)

台中港地區(XS)

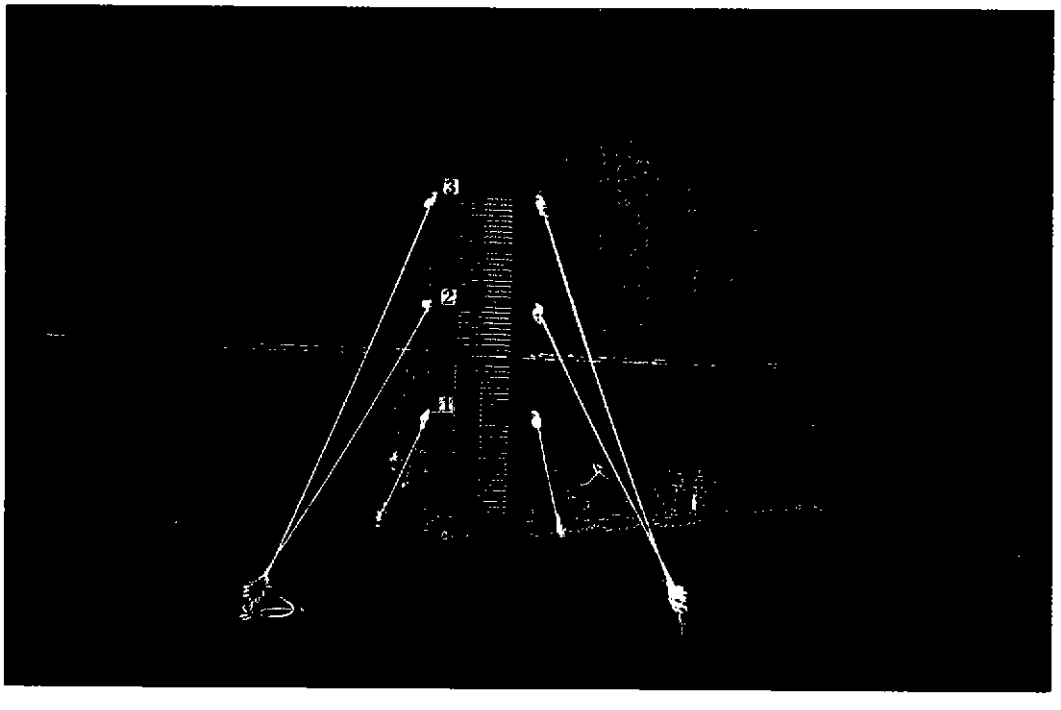
| 日　期 | 潮位(公分) | 漲/退潮 |
|---|---|---|
| 1986.10.03 | 505 | – |
| 1993.12.08 | 122.7 | 退 |
| 1998.10.08 | 418.05 | 漲 |
| 1998.11.01 | 339.3 | 退 |
| 1998.11.02 | 451.3 | 退 |
| 1998.11.03 | 515.6 | 退 |
| 1998.11.11 | 85.8 | 漲 |
| 1998.11.12 | 125.8 | 退 |
| 1999.04.24 | 220.5 | 退 |

表 2　影像水線及實測水線比較表

| Point Number | Length(m) | ABS(m) |
|---|---|---|
| 1 | -20.00 | 20.00 |
| 2 | -22.00 | 22.00 |
| 3 | -19.00 | 19.00 |
| 4 | -14.00 | 14.00 |
| 5 | 32.00 | 32.00 |
| 6 | -15.00 | 15.00 |
| 7 | -13.00 | 13.00 |
| 8 | -16.00 | 16.00 |
| 9 | -19.00 | 19.00 |
| 10 | -26.00 | 26.00 |
| 11 | 13.00 | 13.00 |
| 12 | 16.00 | 16.00 |
| 13 | 14.00 | 14.00 |
| 14 | 15.00 | 15.00 |
| 15 | 18.00 | 18.00 |
| **Average** | **-3.73** | **18.13** |



照片 1. 台中港北防砂堤北側測站 A(觀測樁)




照片 2. 台中港北防砂堤北側測站 C 之儀器配置情形