

平緩沙灘碎波帶內波浪、流況 及漂沙特性研究

計畫主持人：所長 張金機

參與研究人員：研究員 黃清和

兼組長

研究員 何良勝

副研究員 曾相茂

邱永芳

陳明宗

助理研究員 林柏青

蔡立宏

張富東

技工 楊怡芸

何炳紹

蔡瑞成

陳進冰

李江澤

報告編寫：張金機 黃清和

協助打字：楊怡芸 錢爾潔 簡鈺芬

平緩沙灘碎波帶內波浪、流況及漂沙特性研究

目 錄

中文摘要	I
英文摘要(Abstract)	II
圖名	IV
第一章 前言	1
第二章 碎波帶附近流速調查分析	2
第三章 碎波帶內波高及懸浮質濃 度調查分析	12
第四章 結論	31
第五章 參考文獻	33

平緩沙灘碎波帶內波浪、流況及漂沙特性研究

摘 要

近岸水域海洋環境變化最劇烈；碎波帶附近海岸水力現象最複雜也最難了解。本研究計畫為了解碎波帶附近水流與漂沙特性，在國科會「海岸空間利用」整合計畫支助下，於平緩沙灘海岸設立三根觀測樁。本計畫在觀測樁及其附近同步量測風速、波浪、流速及漂沙資料；辦理相關特性分析研究。

經由窄頻帶通處理求得波浪所造成水粒子速度。在水深較淺時計算與量測所得獨立個別波最大水粒子速度比值分佈散亂；而隨水深增大有集中一致之趨勢。實測水粒子運動基本特性可由簡單波浪理論獲得合理解釋。水粒子速度函數($U/H\omega$)與無因次參數($\omega^2 Z^2/gD$)之相關性與邱及郭(1933)試驗結果有一致之趨勢。

根據現場調查資料探討平緩沙灘碎波帶內波高、波能及其懸浮質濃度分佈。結果顯示，波浪碎波後其波能約損失58%，此點與通常假設碎波能量約減少60%值頗為接近；當波浪行進至碎波帶中點時，則其波能僅剩7%左右。懸浮質資料分析結果顯示，定水深時碎波帶內入射波浪波高值愈大，其所引起底部懸浮質濃度值愈大。相同波浪條件作用時，退潮時段所引起垂直平均懸浮質濃度值均較漲潮時段觀測值為大。漲退潮時懸浮質濃度最大值均發生在距底床0.2倍水深處。在定性上碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈，最大值發生在0.3~0.7倍(X/X_b)相對位置處。

Studies on Wave, Current and Sediment Characteristics at the Surf Zone of Mild Slope Beach

ABSTRACT

In the near shore zone coastal environment changes rapidly and at the vicinity of surf zone coastal hydraulic phenomena is the most complicate, also the most difficult to understand. In order to obtain better understanding of current and littoral drift characteristics near the surf zone, under the sponsor of the National Science Council for the integrated research program "Coastal Space Utilities". Three observation piles were installed at the coast of the mild slope sand beach. In this research program wind velocities, waves, currents and sand drift are measured at the observation piles and its neighbourhood synchronously and the cross relationships are analyzed further.

Wave induced water particle velocities are filtered by narrow band width. The ratios between calculated and measured maximum water particle velocities of independent wave components have large range of scattering in shallower water depth and have a tendency to converge into a narrow range in deeper water depth. Some basic behaviors of water particle motion obtained in the field can be explained reasonably by simple wave theory. It is found that the relationships between velocity transfer function ($U/H\omega$) and dimensionless parameter ($\omega^2 Z^2/gD$) have quite consistent tendency in comparing with Chiu and Kou(1993) experimental results.

According to the site investigation data, wave height, wave energy and the distribution of the suspended concentration at the surf zone of the mild slope beach are analyzed and discussed. The results show that wave loss about 58% of its energy at breaking; it is reasonable in comparison with the general assumption that wave energy reduce 60% at breaking. When wave proceed to the middle of the surf zone, the remains wave energy is about 7% only. Analysis of suspension load indicates that for the constant water depth the incident wave induced suspended concentration above the sea bottom increases with increasing of wave height at the surf zone. Under the action of the same wave conditions, the average values of vertical suspended concentration during ebb tide is greater than those values obtained during flood tide. The maximum values of suspended concentration occurs at $1/5$ of water depth above sea bottom for both flood and ebb tides. In qualitative point of view, the maximum value of the average suspended concentration on sea bed locates at 0.3 to 0.7 relative position (X/X_b) for different water depth.



名

- 圖 2-1 觀測樁及儀器佈置圖
- 圖 2-2 第三根觀測樁詳圖
- 圖 2-3 資料蒐集系統圖
- 圖 2-4(a) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-4(b) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-4(c) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-4(d) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-4(e) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-4(f) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-4(g) 測點No. 1波浪及水流向量速度延時變化(No. 1測樁)
- 圖 2-5(a) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-5(b) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-5(c) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-5(d) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-5(e) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-5(f) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-5(g) 測點No. 2波浪及水流向量速度延時變化(No. 2測樁)
- 圖 2-6(a) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)
- 圖 2-6(b) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)

- 圖 2-6(c) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)
- 圖 2-6(d) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)
- 圖 2-6(e) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)
- 圖 2-6(f) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)
- 圖 2-6(g) 測點No. 3波浪及水流向量速度延時變化(No. 3測樁)
- 圖 2-7 No. 2測樁上、下層測點水粒子速度比值與 D/L , H/L 及 D/H 之關係
- 圖 2-8(a) No. 2測樁上、下層測點平均水粒子速度純量比值與 D/H 之關係
- 圖 2-8(b) No. 2測樁上、下層測點平均水粒子速度純量比值與 D/H 之關係
- 圖 2-9 水粒子速度線性計算值與實測值之比 U_1/U_f 與 D/L 之關係
- 圖 2-10 水粒子速度二階非線性計算值與實測值之比 U_2/U_f 與 D/L 之關係
- 圖 2-11 示性波水粒子速度線性計算值與實測值之比 U_s/U_{fs} 與 D/L 之關係
- 圖 2-12(a) 測點No. 2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-12(b) 測點No. 2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-12(c) 測點No. 2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-12(d) 測點No. 2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-12(e) 測點No. 2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-12(f) 測點No. 2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-13(a) 測點No. 3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-13(b) 測點No. 3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-13(c) 測點No. 3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-13(d) 測點No. 3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-13(e) 測點No. 3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

- 圖 2-13(f) 測點No. 3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡
- 圖 2-14 實測水粒子速度與相對應水深參數D/H之關係
- 圖 2-15 實測水粒子速度與相對應水深參數Z/H之關係
- 圖 2-16 個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與相對應測站水深D/H之關係
- 圖 2-17 個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與相對應測點水深Z/H之關係
- 圖 2-18 個別測點個波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與無因次參數 $\omega^2 Z^2/gD$ 之關係
- 圖 2-19 三測點個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與無因次參數 $\omega^2 Z^2/gD$ 之關係
- 圖 2-20 三測點示性波水粒子速度轉換函數 $U_s/H_s\omega_s$ 與無因次參數 $\omega_s^2 Z^2/gD$ 之關係
- 圖 3-1 觀測點設置位置示意圖
- 圖 3-2 濁度計、流速計、壓力式波高儀相對位置示意圖
- 圖 3-3 濁度計、流速計、壓力式波高儀相對位置照片圖
- 圖 3-4(a) 部份實測懸浮質及水位變化時間序列圖
- 圖 3-4(b) 部份實測懸浮質及水位變化時間序列圖
- 圖 3-4(c) 部份實測懸浮質及水位變化時間序列圖
- 圖 3-5 觀測點平均水深變化時間序列圖
- 圖 3-6 觀測點平均示性波高時間序列圖
- 圖 3-7 觀測點平均示性週期時間序列圖
- 圖 3-8 觀測點波浪尖銳度時間序列圖
- 圖 3-9 3#觀測樁外海入射波浪波高、週期時間序列圖(高家俊, 1993)
- 圖 3-10 3#觀測樁外海風速、風向時間序列圖(曾若玄, 1993)

- 圖 3-11(a) 碎波波高指數與 H_o/T^2 關係圖(Iverson, 1952)
- 圖 3-11(b) d/H 與 H_o/T^2 關係圖(Iverson, 1952)
- 圖 3-12(a) 碎波波高指數與 H_o/L_o 及 S 關係圖(湯麟武、高駿, 1964)
- 圖 3-12(b) 碎波水深指數與 H_o/L_o 及 S 關係圖(湯麟武、高駿, 1964)
- 圖 3-13 碎波帶內波浪碎波後波高分佈圖
- 圖 3-14 碎波帶內波浪碎波後相對波能分佈圖
- 圖 3-15(a) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號A組觀測資料)
- 圖 3-15(b) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號B組觀測資料)
- 圖 3-15(c) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號C組觀測資料)
- 圖 3-15(d) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號D組觀測資料)
- 圖 3-15(e) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號E組觀測資料)
- 圖 3-15(f) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號F組觀測資料)
- 圖 3-15(g) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號G組觀測資料)
- 圖 3-15(h) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號H組觀測資料)
- 圖 3-16(a) 碎波帶內無因次相對水深懸浮質平均濃度垂直分佈
(漲潮時段)
- 圖 3-16(b) 碎波帶內無因次相對水深懸浮質平均濃度垂直分佈
(退潮時段)
- 圖 3-17(a) 不分漲退潮時段, 定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號A組觀測資料)

- 圖 3-17(b) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號B組觀測資料)
- 圖 3-17(c) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號C組觀測資料)
- 圖 3-17(d) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號D組觀測資料)
- 圖 3-17(e) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號E組觀測資料)
- 圖 3-17(f) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號F組觀測資料)
- 圖 3-17(g) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號G組觀測資料)
- 圖 3-17(h) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號H組觀測資料)
- 圖 3-18 相對懸浮質平均濃度與相對水深無因次化關係圖
- 圖 3-18(續) 相對懸浮質平均濃度與相對水深無因次化關係圖
- 圖 3-19(a) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號A組資料)
- 圖 3-19(b) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號B組資料)
- 圖 3-19(c) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號C組資料)
- 圖 3-19(d) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號D組資料)
- 圖 3-19(e) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號E組資料)
- 圖 3-19(f) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號F組資料)

- 圖 3-19(g) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號G組資料)
- 圖 3-19(h) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號H組資料)
- 圖 3-20(a) 碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
(漲潮時段)
- 圖 3-20(b) 碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
(退潮時段)
- 圖 3-21(a) 不同時段碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
(漲潮時段)
- 圖 3-21(b) 不同時段碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
(退潮時段)

平緩沙灘碎波帶內波浪、流況及漂沙特性研究

第一章 前言

台灣四周環海，西部海岸多屬平緩沙灘，淺水區為海上經濟活動最頻繁水域；沿海養殖、港埠建設、新生地開發、污水排放、資源探勘等經濟活動均日以繼夜在進行。近年來由於河川上游集水區整治發揮功能，河床沙石過度開採，河川排沙量遽減，海岸呈現侵蝕狀態，嚴重威脅海堤安全。

近岸淺水區域是海岸環境變化最劇烈，水理現象最複雜的水域；例如碎波帶附近漂沙傳輸行為、流況分佈、波浪特性等波浪力學機制在諸多海岸現象扮演極重要角色，但卻最不了解，也最難了解。

以往在碎波帶附近所測取之波浪、流速及漂沙等資料極為有限，即使有些零星計畫，也只是單打獨鬥，利用有限經費與人力測取片段、零散之波浪、流速或漂沙資料，無法辦理相關性分析研究。本計畫配合國科會補助「海岸空間利用」重點研究計畫，結合國內從事海象、氣象調查研究專家、學者共同參與近岸風、波、流及其交互作用研究。在平緩沙灘海岸設立觀測站，同步測取碎波帶附近風速、波浪、流速及漂沙資料，分析研究其相關特性，期能認識近岸淺水區碎波帶附近波浪力學機制，提供作為未來辦理水工模型試驗，數值解析及規劃設計之依據。

本項研究分為兩部份，其一為量測碎波帶附近波浪與流速，分析波浪所造成水粒子速度及其特性；其二為量測碎波帶內波高及附近懸浮質濃度，分析碎波前後懸浮質濃度分佈及其特性。茲分別於第二及第三章中敘述。

第二章 碎波帶附近流速調查分析

一、概述

碎波帶附近設立觀測樁辦理海岸水力觀測，是一項既耗費金錢又需投入龐大人力的工作。本研究計畫配合國科會重點研究「海岸空間利用」，在台中港北防沙堤堤頭北側設立觀測樁，並於樁頂設置觀測平台，結合國內海象調查研究人員共同參與現場風、波、流及其交互用研究，茲分別就往昔研究，波浪流速現場觀測、資料分析及速度轉換函數分節敘述如后。

二、往昔研究

現場流速觀測在電磁式流速計及資料蒐集處理系統未研發成功前是一項極艱巨且很難獲得準確資料的工作。Thornton及Krapohl(1974)利用電磁式流速計，取樣頻率為0.5Hz，在平均水深19^m處研究量測波浪所造成水粒子運動速度。研究結果顯示在能量密度顯著範圍，波浪與水粒子速度相關性極高；但在高頻與低頻處，則發生較大偏差。Cavaleri(1978)在16^m水深量測波壓及三維水粒子速度，分析結果顯示實測速度較線性波理論計算值約小10%，而觀測值與計算值間之差異並非有限振幅所引起，而是由水表面附近紊流變動所造成。Isobe及Horikawa(1982)辦理試驗及兩次現場調查，量測所得水粒子速度與能通量方法所求得結果比較。在碎波帶現場觀測結果顯示平緩底床坡度相當速度振幅趨近於常數。過去十年中，規則波與不規則波所引致之水粒子速度曾經有許多作者在試驗室辦理研究。Vis(1980)在試驗室利用雷射都卜勒流速儀替代傳統式螺旋槳式流速計，量測波浪所造成底床附近水粒子軌跡速度，分別以頻率域及時間域比較量測值與計算值。Anastsiou(1982)裝設二波道雷射都卜勒流速儀，研究平均水位附近及水位上之水粒子動力，結果顯示試驗值與理論方法計算值相當一致。Daemuich等(1982)根據線性波浪理論發展模擬方法，計算波群中個別波浪最大正及負水粒軌跡速度。除在自由水面附近發生超過或不足趨

勢外，計算值與試驗資料有極佳之相關性。Koyama及Iwata(1985)建議採用修正轉換函數法(Modified Transfer Function Method, MTFM)試驗資料驗證採用修正轉換函數法計算波浪水粒子速度是一種簡單且具有高度可靠之近似方法。

邱及郭(1993)量測前進波水粒子速度；比較量測結果與線性及有限波浪理論計算值，發現二者間存在有某些程度偏差，提出一種由波高(H)，水粒子速度(U)及波浪角頻率(ω)組成之無因次流速轉換函數(Velocity Transfer Function, $U/H\omega$)。由試驗資料發現，規則波及不規則波示性波浪流速轉換函數與波浪無因次參數($\omega^2 Z^2/gD$)有良好之關係，Z為儀器水深；不規則波之個別波流速轉換函數與無因次參數有一致之勢，但資料點分佈較散亂。

世界最大海岸觀測設施應屬日本港灣技術研究所1986年在鹿島港鹿島海灘建立波崎海洋研究設施(Hazaki Oceanographical Research Facility, HOLF)。波崎海洋研究設施主要是由間距15^m，直徑0.8^m填充混凝土鋼樁作為支撐，在沙灘上架設長427^m棧橋。距低水位7^m處設置寬2.5^m觀測甲板；觀測車在暴風波浪侵襲時可在甲板上從事各種觀測。甲板上調查觀測項目包括懸浮質量測、水位抬升、海床變化、波浪變形、流速量測及鋼樁腐蝕調查、防蝕測試等。近年來利用此一觀測設施蒐集資料研究成果，尤其是漂沙與海床地形變化研究，已陸續在各種刊物發表。

三、現場觀測

(一)設立觀測樁

本子計畫為配合碎波帶附近波浪、流速、波壓等海岸水力現象觀測，在台中港北防沙堤北側打設五根觀測樁，並於其頂部設置觀測平台。觀測樁直徑66^{cm}，長24^m，其中兩根為單樁，頂部為圓形觀測平台分別設在低潮位下水深1^m及3^m；其餘三根組成邊長5^m等腰三角形簇樁，設置於水深6^m處，頂部為邊長7^m等腰三角形觀測平台。佈置圖如

圖 2-1。觀測樁完成後立即進行器安裝準備及資料傳輸系統測試，但在80年10月26日受露絲颱風外圍環流及強烈東北季風雙重影響，台中港平均風速達27m/s，研究人員在11月5日證實三樁平台傾倒，平台及固定架均已解體。由於主要觀測設施已損毀，本研究進度大受影響；除積極設法籌款再打設觀測樁外，並利用剩餘二根測樁辦理波浪、流況及波壓量測。第三根樁於81年5月重新設計，設計圖如圖 2-2，在8月完工打樁工程。

(二)儀器安裝

觀測平台資料原計畫係利用無線電傳輸系統，但因短時間內龐大資料量，傳輸系統有些瓶頸尚待克服。為供給現場資料蒐集系統所需電源，本所利用外海超音波式電纜搭接支線到樁頂觀測平台。儀器設備規範及安裝情形概述如下。

1. 電磁式流速儀：採用日本ALEC公司出品 X-Y雙向連續式流速儀，量測最大流速為250cm/sec，誤差在±1cm/sec；量測方向360°，誤差±2°。
2. 波壓計：採用 KYOWA 10 Kgf/cm² 壓力感應器，非線性度為 0.25% F. S.。
3. 個人電腦：採用 IBM公司 PC-386 級相容性電腦主機，內含 100 M byte 抽取式硬碟。
4. 類比 / 數據轉換器：採用 FLYTECH公司 AD-DA14轉換卡。輸入電壓範圍為±8v，數位解析度14位元，轉換速度 42 μsec 以內，轉換誤差±1位元以內。
5. 可程式計時器：採用第三波公司產製之 PC MUTI-FUNCTION EXPERIMENT卡，以內建之8253計時IC中三組獨立計時器作為串聯除頻，可經軟體程式設定任意之取樣頻率。
6. 資料擷取控制程式：採用本所自行研發之自動擷取量測系統，以組合語言(Assembly Language)為硬體控制語言，而另以C 語言為使用者介面架構。

為量測研究波浪變形，由成大高家俊教授在NO.1及NO.2測樁頂觀測台裝設超音波式波高計，波浪即時訊號利用電訊傳輸系統送到陸上接收站。NO.1測樁在低潮位下水深0.5^m及NO.2測樁低潮位下水深0.5^m及1.5^m分別安裝波壓感應器一個，電磁式流速計一台。儀器佈置如圖2-1。測點編號分別為NO.1，NO.2及NO.3；上述三測點流速儀紀錄頻道編號分別為Ch.1，Ch.2及Ch.3。波壓計紀錄頻道編號依序為Ch.4，Ch.5及Ch.6。

資料處理系統由IBM PC-386可容性個人電腦，100 M byte記憶容量硬碟，類比/數據轉換器及可程式計時器所組成，整體架構如圖2-3。流速與波壓量測取樣頻率均為5Hz，每小時紀錄40分鐘，其餘20分鐘系統關機冷卻，以避免儀器長期使用產生過熱損毀或訊號漂移現象。系統擷取大量資料則利用100 M byte硬碟備份儲存。採用抽取式硬碟方便更換資料容量，且可免除離線作業時資料轉換之困擾。

四、資料分析

現場流速與波壓量測期間，第二測樁無線電傳輸系統故障，未能取得波浪資料；第一樁每隔四小時紀錄一筆波浪資料，但紀錄起始時間與流速資料稍有差異。為取得波浪與流速同步紀錄資料，以辦理波浪與流速相關性分析，本研究所採用波浪資料係利用流速觀測時在相同之水深同步測取之波壓原始資料轉換求得。

流速與波壓觀測自81年7月開始紀錄，但因七月份台中港附近海面極為平靜，測得微小波壓與流速資料定量分析相當困難。7月23日受峰面影響，海面風浪增大，本研究計畫連續測得7月23日至7月27日間三個測點波壓與流速資料。茲就流速特性敘述如后：

(一)延時變化

測樁NO.1波壓計與流速計安裝於低潮位下水深0.5^m處，測點No.1自7/23/00(月/日/時)至7/23/12，一個半日潮期間每隔二小時波浪與水流量速度延時變化繪如圖2-4。測樁NO.2低潮位下水深0.5^m及

1.5^m測點No. 2及No. 3, 7/23/00至7/23/12, 一個潮汐漲落期間每隔兩小時波浪與水流向量速度延時變化分別繪如圖2-5及2-6。

淺水測樁測點No. 1水面狀況相當紊亂, 大部份均為短週期波浪, 波高小於40^{cm}。水流速度隨退潮測站水深減小而增大, 尤其在 7/23/10, 測站水深2.08^m, 測點水深1.58^m接近最低潮位時, 發生最大流速達2.02m/sec; 漲潮時水深增加, 水流速度逐漸減小。

測樁No. 2上、下兩測點No. 2及No. 3, 水流向量速度顯示, 水流速度隨水深減少而增大。7/23/04高潮測站水深7.29^m, 示性波高0.49^m; 7/23/10, 低潮位站水深4.08^m, 示性波高0.46^m; 兩時段波高條件相近似, 水深由7.29^m減為4.08^m, 測點No. 2水粒子運動速度純量平均值由9.52cm/sec 增為20.17cm/sec, 顯示水粒子運動速度直接受水深影響程度。

(二) 頻寬帶通過濾分析

現場測取之波壓資料轉換為水面波浪, 與相對應時間實測水流向量速度延時變化繪如圖2-4至圖2-6; 其中圖(A)為波壓資料轉換所得波浪變化, 圖(B)為原始水流向量速度變化。原始水流向量並未隨波浪起伏呈週期性往復運動, 顯示原始流速除波浪所造成水粒子速度外, 還隱含一股長週期水位變化所產生之水流速度。為分離風浪所造成水粒子速度, 利用頻寬帶通過濾(Band Width Filter)分析求得0.5Hz至0.05Hz間波浪運動水粒子向量速度延時變化繪如圖(C), 帶寬處理後水粒子向量速度隨波浪起伏而改變。低頻帶寬0.05Hz至0.005Hz間水流向量速度如圖(D)。圖2-4至圖2-6中之圖(C)顯示頻寬帶通處理後所得短週期風浪所造成水粒子速度與流向均隨水面波浪起伏而改變。測站No. 2上下不同水深No. 2及No. 3兩測點波列中較獨立之單一波浪, Ch. 2及Ch. 3兩頻道流速延時變化顯示, 出現最大水粒子時間差大都在0.2秒以內。選擇較獨立之單一波浪, 分析上層Ch. 2實測水粒子速度 U_2 與下層Ch. 3實測水粒子速度 U_3 之比值 U_2/U_3 與相對水深 D/L , 波浪

尖銳度(H/L), 及水深波高比值(D/H)關係繪如圖2-7。水粒子速度定義為波峰最大正速度與波谷最大負速度絕對值之平均值, 即為水粒子之速度振幅。圖2-7顯示水粒子速度比值 U_2/U_3 大都超過1.0, 受不規則波交互作用影響分佈相當散亂, 且隨相對水深D/L減小, 上層測點接近水面, 水粒子速度受水面亂流擾動影響, 比值分佈更為散亂。上、下層測點水粒子速度比值 U_2/U_3 受波浪尖銳度H/L及水深波高比值D/H影響並不顯著。

測站No. 2兩不同水深測點自7/23/00至7/24/24每段觀測期間流速純量平均值分別為 $|\bar{U}|_{ch. 2}$ 及 $|\bar{U}|_{ch. 3}$, 其比值 $|\bar{U}|_{ch. 2}/|\bar{U}|_{ch. 3}$ 與水深波高比值D/H關係繪如圖2-8。原始資料測點No. 2與測點No. 3流速純量平均值分佈較為散亂如圖2-8(a); 頻寬帶通處理後比值趨於一致約為1.17, 隨相對水深增加而減小如圖2-8(b)。此項統計結果與線性理論所求得上、下層不等水深水粒子速度比值相當一致。

(三)計算與實測水粒子速度

波浪延時紀錄中篩選較獨立之個別波, 求其波高與週期, 利用線性與二階非線性波浪理論, 計算水粒子最大速度分別為 U_1 與 U_2 。實測流速資料經過頻寬帶通處理, 取得頻率0.5Hz至0.05Hz間風浪所造成水粒子速度變化, 擷取個別波相對應時間之實測水粒子速度 U_f 。圖2-9為二測樁 No. 1, No. 2及No. 3三測點水粒子速度線性計算值與實測值之比 U_1/U_f , 與相對水深D/L之關係。

測點No. 1及No. 2分別安裝在測樁 No. 1及 No. 2低潮位下水深0.5^m處, 實測流速除受相鄰不規則波交互作用影響外; 在低潮時測點接近水面, 觀測流速又受波浪與吹風所造成亂流干擾, 計算與實測水粒子速度比值分佈極為散亂。測點No. 3安裝在No. 2測樁, 低潮位下水深2^m, 因受水面擾動影響程度減低, 計算與實測水粒子速度比值分佈較集中, 介於0.5與1.5之間; 隨相對水深增加實測值有接近計算值之趨勢。

三測點二階非線性水粒子速度計算值與實測值之比 U_2/U_f 與相對水深 D/L 關係繪如圖2-10。比較圖2-9及圖2-10，計算與實測水粒子速度比值分佈顯示，採用二階非線性理論與線性理論計算結果差異極為有限。

個別波所造成水粒子速度因受鄰近波浪影響，造成計算值與實測值差異。為了解波浪與水粒子速度統計特性，利用統計分析所求得示性波高與週期計算不規則波群中示性波所造成水粒子速度理論值；實測示性波水粒子速度採用示性週期相同求法係將組合為示性波之個別波相對應之水粒子速度求其平均值。圖2-11為計算與實測示性波水粒子速度比值與相對水深之關係。測點 No. 1及 No. 2計算與實測比值分佈較個別波集中，比值介於0.5與1.5之間。測點No. 3安裝於較大水深，資料顯示計算與實測比值趨於一致，分佈在0.75與1.25之間；相對水深較小時，計算與實測比值小於1，隨相對水深增加，計算值逐漸大於實測值。

(四)水粒子運動軌跡

選擇測樁NO. 2上、下不同水深兩測點(NO. 2及No. 3)較獨立之個別波浪分析一個波浪週期水粒子向量速度與運動軌跡(向量前進圖P. V. D.)。圖2-12及2-13分別為測點No. 2及No. 3自7/23/00至7/23/10每隔兩小時，在一個潮汐週期間波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡圖。圖中(a)(b)分別為原始資料及頻寬帶通處理後水粒子向量速度及運動軌跡。未經頻寬帶通處理前原始水粒子隨波浪起伏先向東或東南東向前進，波谷時再折反，一個波浪週期水粒子運動軌跡呈不閉合現象。頻寬帶通處理後，單一波浪水粒子運動軌跡成近似閉合橢圓形。

潮汐漲落，測站水深由7/23/00的5.23^m，漲至7/23/04最高7.29^m再退至7/23/10最低4.08^m。比較同一測點，(測點No. 2)可以發現水粒子運動軌跡橢圓長軸隨水深增加而減短。7/23/10水深最淺時水粒子運動軌跡呈近似線型往復運動。比較圖2-12及圖2-13相同時間上、下

兩測點水粒子運動軌跡顯示，當水深較大時，7/23/02, 7/23/04及7/23/06, 圖2-12上層測點(No. 2)運動軌跡幅度較圖2-13下層測點(No. 3)為大；但當7/23/10水深減至4.08m最小時，上、下兩測點水粒子運動軌跡均呈近似線型，且幅度大致相同。上述實測資料分析結果甚能符合水粒子運動軌跡理論值。

五、速度轉換函數

波浪所引起水粒子速度(U)為波高(H)，波浪角頻(ω)，測站水深(D)，水粒子測點深度(Z)，水密度(ρ)及重力加速度(g)等之函數，其函數可以寫為

$$F(U, H, \omega, D, Z, \rho, g) = 0 \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

利用 Buckingham π 理論因次分析，求得 4 組無因次參數分別為

$$\pi_1 = \frac{U}{H\omega}, \quad \pi_2 = \frac{D}{H}, \quad \pi_3 = \frac{Z}{H}, \quad \pi_4 = \frac{\omega H}{g} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

邱及郭(1993)重組合 π_2 , π_3 及 π_4 獲得下列新參數

$$\pi_5 = \frac{\omega^2 Z^2}{gD} \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

因此，將速度轉換函數(Velocity Transfer Function, VTF)寫為

$$VTF = \frac{U}{H\omega} = F' \left(\frac{D}{H}, \frac{Z}{H}, \frac{\omega^2 Z^2}{gD} \right) \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

邱及郭(1993) 辦理一系列模型試驗，並證實速度轉換函數(VTF)，與 D/H 及 Z/H 並無良好關係，而卻與 $\omega^2 Z^2/gD$ 有極佳之相關性。

波浪延時資料中篩選較獨立之個別波，分析其波高與週期；流速資料經頻寬帶通處理後取得個別波相對應水粒子速度。為了解波浪所造成水粒子速度受測站水深 D 與測點水深 Z 影響，將實測水粒子速度隨相對水深參數 D/H 及 Z/H 變化情形繪如圖2-14 及圖2-15。圖中顯示，水粒子速度隨相對測站水深 D/H 與相對測點水深 Z/H 減小而急劇增大，受 D/H 及 Z/H 兩種參數影響有相似之趨勢。根據上述因次分析結果，考慮波浪角頻對水粒子運動影響，分析個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與相對水深 D/H 及 Z/H 關係繪如圖2-16 及圖2-17。水粒子速度轉換函數受相對水深 D/H 及 Z/H 兩種參數影響有相似之趨勢；函數值介於0.2 與 0.75 間，分佈極為散亂。

篩選測點No. 1, No. 2 及No. 3 較獨立之個別波分析水粒子速度轉換函數($U/H\omega$) 與無因次參數($\omega^2 Z^2/gD$) 關係繪如圖2-18。圖2-18(a)為淺水測樁NO. 1, Ch. 1水粒子速度轉換函數與無因次參數變化關係。資料點分佈在試驗迴歸線兩側帶寬較大，但其趨勢與試驗結果一致；當 $\omega^2 Z^2/gD$ 較小時，現場資料較試驗迴歸值偏高甚多。圖2-18(b)及(c)分別為No. 2測樁上、下兩測點(Ch. 2及Ch. 3)水粒子速度轉換函數與無因次參數關係。除少數資料點散亂外，大部集中於較小帶寬內，尤其儀器水深較大之No. 3測點。水粒子速度轉換函數值較試驗所得結果偏低。三個測點水粒子速度轉換函數與無因次參數之關係繪如圖2-19，資料分佈顯示現場水粒子速度轉換函數較試驗結果略低，但變化趨勢仍極為一致。迴歸曲線方程式為

$$VTF = \frac{U}{H\omega} = \text{Exp}\left[0.402\left(\frac{\omega^2 Z^2}{gD}\right)^2 - 2.135\left(\frac{\omega^2 Z^2}{gD}\right) + 0.37\right] \cdots \cdots (2-5)$$

海面波浪為多方向且極不規則，單一波浪相對應水粒子速度因受相鄰波浪干擾，造成資料點分佈散亂或偏低現象。為了解水粒子速度統計特性，利用波浪統計方法求取示性波浪相對應水粒子速度平均值定義為水粒子示性速度 U_s 。圖2-20為三測點示性速度轉換函數($U_s/H_s \omega_s$)與無因次參數($\omega_s^2 Z^2/gD$)之關係。雖現場實測速度轉換函數分佈仍有些散亂，但趨勢與試驗迴歸曲線相當一致。

$$VTF = \frac{U_s}{H_s \omega_s} = \text{Exp}\left[0.423\left(\frac{\omega_s^2 Z^2}{gD}\right)^2 - 2.184\left(\frac{\omega_s^2 Z^2}{gD}\right) + 0.446\right] \quad (2-6)$$

第三章 碎波帶內波高及懸浮質濃度場分佈現場觀測

一、概述

本研究係配合國科會「海岸空間利用工程問題之研究」重點計畫所擬定碎波帶內波浪及漂沙懸浮質濃度場現場調查工作。計畫為期三年，本報告為第三年期末研究報告。研究計畫著重懸浮質、濃度剖面分佈以及碎波帶內波高分佈現場調查工作。採用二部記憶型MTB16K濁度計，分別置於潮間帶靠近零水位線處，離底床面7公分以及18公分不同水深處，配合台中港附近海域約4.6公尺之高潮位差特性，探討碎波帶中下列兩種特性：

- (1)定水深懸浮質濃度場垂直分佈。
- (2)不同水深，近底床處懸浮質濃度之縱向分佈。

現場調查中同時利用一部DNW-5M波高儀，觀測碎波帶內波浪碎波後波高分佈，配合海岸空間利用研究子題計劃—成大高家俊教授在觀測樁上記錄所得之入射波浪條件，探討彼此參數間之相關性。

海岸漂沙量(sediment transport)數值計算，通常包括底床質量(bed-load)以及懸浮質量(suspended-load)兩部分[10]、[11]，往昔學者研究，大多著重於前者，有關後者之研究，因受限於懸浮質定義不清楚[12]、[13]、儀器設備、現場觀測費用昂貴以及天候影響，故研究成果極少，通常均假設懸浮質量佔總漂沙量之15%~20%計算[14]。惟根據現場觀測結果顯示，其所佔之百分比，甚至有小到7%[15]以及大到100%者[16]、[17]，本研究計劃有鑑於此，主要目的則在探討懸浮質量與波浪、海流間之機制問題，俾進一步瞭解碎波帶懸浮質在時間(temporal)以及在空間(spatial)之分佈，以提供數值計算參考依據。同時數值計算中，通常假設波浪碎波後之波高與水深(靜水深與水位偏差的和 $d+h$)成正比，即 $H=r_*(d+h)$ ，其中 r_* 為小於1的常數，缺乏實測波浪資料加以佐證。故本研究並進一步分析波浪碎波(breaking)後，其碎波帶內之波高分佈。

二、研究方法

本研究利用二組MTB-16K型濁度計，分別安裝在距底床面7公分處，配合一部UCM-40流速儀以及一部DNW-5M壓力式波高儀，在靠近台中港北防沙堤北側，潮間帶近零水位線處，進行現場調查研究。圖3-1、圖3-2以及圖3-3分別為觀測點設置位置示意圖，濁度計、流速計、波高儀相對位置示意圖以及濁度計、流速計、波高儀相對位置照片圖。配合海岸空間利用其他相關子題所提供當時現場風速、波浪入射條件以及台中港附近海域平均潮差高達4.6公尺之特性(以同一觀測點在時間上測得之物理量取代空間上不同觀測點物理量之分佈)，加以分析碎波帶內，整個懸浮質濃度場分佈與碎波後波高分佈。現場觀測資料擷取方式，DNW-5M壓力式波高儀係每隔15分鐘記錄一次，每次記錄時間長達5分鐘，每0.5秒取一數據；MTB-16K型濁度計為配合水位、波高記錄，亦同樣每隔15分鐘一次，記錄時間則為30秒鐘，每秒取一數據。圖3-4(a)~(c)為部份實測數據，上圖為水位變化取其平均值作為該時段之水深，並據以計算當時之波高；下圖為懸浮質實測數據，取其平均值作為該時段之濁度。本研究為配合國科會海岸空間利用其他相關子題現場觀測，選擇在東北季風鋒面來臨前，先行將所有儀器裝妥於潮間帶，共取得自民國82年12月20日12時15分起到12月24日11時15分止連續四天共八組漲退潮完整資料。

三、現場觀測值資料分析及討論

(一)碎波帶內波高分佈

圖3-5、圖3-6、圖3-7以及圖3-8分別係根據DNW-5M壓力式波高儀現場觀測記錄所得八組(編號為A~H)漲退潮不同時段之水深及當時相對應之示性波高 $H_{1/3}$ 、示性週期 $T_{1/3}$ 與波浪尖銳度 H/L 原始資料歷時

圖。實測記錄圖形顯示，水深d值分佈介於20~230公分，相對應之示性波高 $H_{1/3}$ 值則介於20~120公分間，示性週期 $T_{1/3}$ 值則介於6~8秒間。

圖3-9則為成大高家俊教授所提供取自位於北防沙堤以北之第3號觀測樁，實測波浪資料可作為深海波入射波浪條件，圖中"□"號表入射波浪波高，波高值介於1^m~3^m；"x"號表入射波浪週期，其值介於5.5~7.5秒間，惟美中不足者因儀器故障，自12月21日5時以後到12月23日中午12時這段期間，波浪資料從缺。為補遺該段期間之入射波浪條件，故另外取自國科會「海岸空間利用」另一研究子題，主持人曾若玄教授在同一觀測樁記錄所得該時段之風速、風向資料，如圖3-10所示。圖3-10資料顯示，波浪條件欠缺這段期間，台中港區風速高達每秒13公尺~18公尺，當時風向為東北(NE)方向，故根據當時風與波浪間相關性，利用風速資料推算波高，再根據波高值推算週期，有關風與波浪間之推算模式係採用下列關係式

$$\left. \begin{aligned} H &= 0.0162 + 0.2316U - 0.0057U^2 \\ T &= 3.044 + 2.19195H - 0.235643H^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

式中 H 為波高，T 為週期，U 為風速

根據圖3-10資料顯示自12月23日中午以後，風向由恒風NE向轉為ENE~NNE較不穩定，故爾後資料分析僅採用編號A~E組資料加以比較分析，此乃因該些組資料較具有相同之海氣象條件。

碎波現象對於港灣及海岸工程而言，極為重要；蓋碎波前、碎波中、以及碎波後的波壓力均不相同，而此處碎波帶(surf zone)即碎波線開始至海岸線間的地帶為漂沙(littoral drift)活動最劇烈的處所。惟本研究因限於儀器設備之限制與考慮欲實測碎波時之碎波波高H、碎波水深d以及碎波點的位置X，即碎波帶寬度之困難性，故該

三者物理量值則根據理論值推算。

當波浪在將碎未碎時的高度，稱為極限波高，根據Munk在1894年用孤立波理論所求出之極限波高水深比 β_* 為

$$\beta_* = H / d = 0.78 \dots\dots\dots (3-2)$$

中山大學陳陽益教授在1985年求出者為

$$\beta_* = H / d = 0.854654 \dots\dots\dots (3-3)$$

其他理論尚多，其 β_* 的值大約在0.72~1.03之間，惟一般中外書籍，均以0.78為計算依據。

其次波浪前進時，若不考慮有水流及各種能量損失，則能量通率無變化，即

$$\frac{\partial(EG)}{\partial X} = 0 \quad ; \quad EG = \text{const} \dots\dots\dots (3-4)$$

式中 E , G 以微小振幅波理論公式

$$E = \frac{1}{2} \rho g H^2 \dots\dots\dots (3-5)$$

$$\left. \begin{aligned} G &= nC \\ n &= \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-6)$$

代入上式計算，即可算出兩點間之能量變化。

若觸底前的波高為 H_0 ，波速、群速度各為 C_0 、 $G_0=C_0/2$ ，水深 d 處之波高為 H ，波速、群速度各為 C 、 $G=nC$ ，則可得

$$H = \sqrt{\frac{C_0}{2nC}} H_0 \dots\dots\dots (3-7)$$

故根據式(3-6)、(3-7)可計算得碎波波高與入射波未觸底時之波高比，稱為碎波波高指數

$$\frac{H_b}{H_0} = \sqrt{\frac{G_0}{G_b}} = \left(\frac{C_0}{2\sqrt{gd_b}} \right)^{1/2} = \frac{\beta_*}{H_0} d_b \dots\dots\dots (3-8)$$

解上式得

$$d_b = \frac{1}{g^{1/5} \cdot \beta_*^{4/5}} \left(\frac{H_0^2 C_0}{2} \right)^{2/5} = \frac{g^{5/1}}{\beta_*^{4/5}} \left(\frac{H_0^2 T}{4\pi} \right)^{2/5} \dots\dots\dots (3-9)$$

若海底比降 S 為常數時， $S = |\tan \alpha|$ ， α 為海底與水平線間之角， X 軸的原點為水平線與海岸線相交之處，則碎波點的位置 X_b ，即碎波帶的寬度為

$$X_b = \frac{d_b}{S} \dots\dots\dots (3-10)$$

碎波的波高為

$$H_b = \beta_* d_b = (\beta_* g)^{1/5} \cdot \left(\frac{H_0^2 T}{4\pi} \right)^{2/5} \dots\dots\dots (3-11)$$

Dalrymple 以 $\beta_x=0.8$ 代入計算，較實驗值小12%，惟 H_b 應與 $(H_o^2 T)^{2/5}$ 成正比，故可用下列形式的公式

$$H_b = K(g)^{1/5} (H_o^2 T)^{2/5} \dots\dots\dots (3-12)$$

K 為無尺度常數，按 Weishar 的實地測定結果， $K=0.39$ 時，頗適合於海底比降 S 在 $1/20 \sim 1/60$ 之範圍。

因此，若已知入射波高 H_o ，週期 T ， $L_o = gT^2/2\pi$ ，則

$$E_o G_o = E_b G_b \dots\dots\dots (3-13)$$

$$E_o = \frac{1}{8} \rho g H_o^2, G_o = \frac{C_o}{2} = \frac{L_o}{2T} \dots\dots\dots (3-14)$$

$$E_b = \frac{8}{3 L_b} \rho g d_b^2 H_b \sqrt{\frac{H_b}{3d_b}}$$

碎波前後水深甚淺，可視為長波，則

$$G_b = C_b = \frac{L_b}{T} \dots\dots\dots (3-15)$$

以式(3-14)、式(3-15)代入式(3-13)

$$\frac{1}{16} \rho g \frac{L_o}{T} H_o^2 = \frac{1}{T} \left(\frac{8}{3} \rho g d_b^2 H_b \sqrt{\frac{H_b}{3d_b}} \right)$$

$H_b/d_b = \beta_*$, 故此式為

$$\frac{1}{16} L_o H_o^2 = \frac{8}{3 \sqrt{3}} d_b^3 \beta_*^{1.5}$$

$\beta_* = 0.78$ 時

$$\frac{d_b}{H_o} = \frac{1.28}{3.3(H_o/L_o)^{1/3}}, \quad \frac{H_b}{H_o} = \frac{1}{3.3(H_o/L_o)^{1/3}} \dots\dots (3-16)$$

此為Munk公式, 如 β_* 改為0.854654時

$$\frac{d_b}{H_o} = \frac{1.17}{3.147(H_o/L_o)^{1/3}}, \quad \frac{H_b}{H_o} = \frac{1}{3.147(H_o/L_o)^{1/3}} \dots\dots (3-17)$$

即可算出碎波水深指數 d_b/H_o 及碎波波高指數 H_b/H_o 。

以上雖為理論解, 然極為粗略, 碎波現象非常複雜, 可能無法求出正確的理論, 故大都用實驗研究, Iverson 1952年的實驗結果如圖3-11(a)、(b)。湯麟武教授為補充海底比降較緩之處的資料, 曾與高駿從事實驗, 其結果如圖3-12(a)、(b), 並將其結果歸納為下列公式。

$$\left. \begin{aligned} \frac{H_b}{H_o} &= [0.53 + 0.03681 \ln(S)] \ln \left(\frac{0.04}{H_o/L_o} \right) + 1.07 \\ &\quad (H_o / L_o < 0.04) \\ \frac{H_b}{H_o} &= 0.21614 \left(0.142 - \frac{H_o}{L_o} \right)^{0.496} + 1 \\ &\quad (H_o / L_o \geq 0.04) \end{aligned} \right\} \dots\dots (3-18)$$

$$\frac{d_b}{H_o} = (0.255 - 5.3 S) \left[\ln\left(\frac{H_o/L_o}{0.04}\right) \right]^2 + (1.39S^2 - 1.0423 S) \left[\ln\left(\frac{H_o/L_o}{0.04}\right) \right] + (1.516 - 5.3 S) \dots\dots\dots (3-19)$$

以上二式，應用於海底比降 $S \leq 1/50$ 之處，式中 \ln 為自然對數， H_o/L_o 可稱為初期銳度 (initial steepness)，此等實驗公式曾用理論證明其趨勢，故可普遍應用。

合田良實綜合十餘年來的實驗觀測結果，發表經驗公式如下：

$$\frac{H_b}{L_o} = C_b \left\{ 1 - \exp \left[-1.5 \pi \frac{d_b}{L_o} (1 + 15S^{4/3}) \right] \right\} \dots\dots (3-20)$$

$C_b = 0.12 \sim 0.18$ ，規則波用 0.17。

此公式，用於已知結構物設計地點的水深，以之為 d_b ，計算各種週期的投射波，在該處發生的碎波波高之用。

本研究考慮觀測點位置底床坡度為 $1/80$ ，故用式(3-18)、式(3-19)以及式(3-10)。根據實測以及推算之入射波浪條件分別計算現場觀測八組漲退潮不同時段之碎波波高 H_b 、碎波水深 d_b 、以及碎波帶寬度 X_b ，分別如表3-1(a)、(b)~表3-8(a)、(b)中第三行、第六行數值，第七行、第八行中C30與C49數值分別為 MTB-16K型濁度計置於距底床面18公分以及7公分所記錄當時段之濁度單位為 mg/l ，其中3-1(a)~(3-8)(a)表為漲潮時段值，3-1(b)~3-8(b)表為退潮時段值。

綜合以上理論計算值以及實測值，吾人可將計算結果，碎波帶內波浪碎波後波高以及相對波能分佈點繪如圖3-13與圖3-14，並可將其無因次化關係寫成

表3-1(a) 編號A組資料漲潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1220 12:15 - 15:45 FLOOD TIDE -- A									
H0	D	DE	D/DB	H	HB	C30	C40	H/HB	
1.997	.250	2.429	.103	.200	1.894	659.27	731.07	.10557	
1.996	.431	2.427	.178	.235	1.893	1072.73	1326.90	.15057	
2.005	.631	2.436	.259	.358	1.900	877.37	954.23	.18846	
2.019	.828	2.452	.338	.445	1.912	1741.13	1625.67	.23300	
2.040	1.042	2.475	.421	.551	1.930	1073.00	1110.13	.28524	
2.067	1.252	2.504	.500	.627	1.953	797.07	743.03	.32121	
2.096	1.439	2.537	.567	.733	1.979	942.17	795.47	.37053	
2.123	1.626	2.567	.634	.831	2.002	2498.97	2623.67	.41524	
2.148	1.785	2.594	.688	.843	2.023	1161.97	1172.67	.41670	
2.170	1.920	2.619	.733	.951	2.043	817.43	886.97	.46541	
2.189	2.044	2.639	.775	1.048	2.058	709.63	712.53	.50916	
2.204	2.155	2.656	.811	.978	2.072	656.50	667.10	.47201	
2.218	2.222	2.671	.832	1.051	2.084	700.27	678.93	.50427	
2.229	2.261	2.684	.842	1.092	2.093	617.30	590.77	.52171	
2.237	2.285	2.692	.849	1.072	2.100	685.33	664.77	.51050	
Hoavg = 2.1159m		Toavg = 6.4076sec							

表3-1(b) 編號A組資料退潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1220 15:45 - 19:30 EBB TIDE -- A									
H0	D	DE	D/DB	H	HB	C30	C40	H/HB	
2.237	2.285	2.692	.849	1.072	2.100	685.33	664.77	.51050	
2.243	2.167	2.693	.840	1.166	2.105	704.63	723.97	.55367	
2.248	2.253	2.705	.833	1.106	2.110	724.23	720.50	.52447	
2.251	2.207	2.708	.815	1.081	2.112	1268.53	1245.03	.51183	
2.249	2.128	2.706	.786	.967	2.111	786.27	803.53	.45806	
2.243	2.031	2.700	.752	1.012	2.106	1119.33	1142.67	.48040	
2.234	1.933	2.690	.719	.907	2.098	751.93	700.23	.43221	
2.221	1.792	2.676	.670	.899	2.087	798.53	780.17	.43092	
2.196	1.641	2.648	.620	.780	2.066	745.43	703.90	.37763	
2.163	1.502	2.611	.575	.744	2.037	1600.23	1606.77	.36530	
2.119	1.324	2.563	.516	.661	1.999	1098.60	1076.57	.32048	
2.066	1.154	2.503	.461	.611	1.952	2597.33	2508.50	.31276	
2.002	.966	2.432	.397	.450	1.897	753.67	713.90	.23749	
1.939	.782	2.360	.331	.424	1.841	993.50	943.07	.23032	
1.875	.591	2.288	.258	.346	1.785	1263.93	1202.13	.19400	
1.811	.388	2.216	.175	.275	1.728	1004.23	973.57	.15912	
Hoavg = 2.1310m		Toavg = 6.4214sec							

表3-2(a) 編號B組資料漲潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1221 1: 0 - 4: 0 FLOOD TIDE -- B									
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
2.204	.393	2.664	.148	.280	2.078	1104.43	1008.20	.13477	
2.223	.568	2.683	.212	.359	2.093	1772.93	1193.27	.17166	
2.241	.745	2.703	.275	.369	2.108	1213.23	1445.37	.17494	
2.260	.928	2.723	.341	.511	2.124	1103.67	1098.10	.24041	
2.280	1.078	2.745	.393	.570	2.141	1056.47	997.63	.26624	
2.301	1.259	2.768	.455	.719	2.159	1267.77	1200.47	.33321	
2.322	1.417	2.791	.508	.708	2.177	1466.47	1414.00	.32534	
2.347	1.529	2.818	.543	.757	2.198	1246.57	1207.63	.34452	
2.374	1.670	2.848	.586	.793	2.221	1730.83	1513.67	.35713	
2.403	1.780	2.879	.618	1.000	2.245	1326.23	1287.10	.44537	
2.431	1.861	2.910	.640	.956	2.269	1216.83	1196.63	.42111	
2.450	1.909	2.930	.652	.912	2.286	1228.43	1170.80	.39900	
2.459	1.948	2.940	.662	1.067	2.293	1283.27	1294.47	.46520	
Hoavg = 2.3303m		Toavg = 6.6609sec							

表3-2(b) 編號B組資料退潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1221 4: 0 - 7:30 EBB TIDE -- B									
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
2.459	1.948	2.940	.662	1.067	2.293	1283.27	1294.47	.46520	
2.459	1.943	2.940	.661	.820	2.293	1307.60	1277.73	.38371	
2.450	1.921	2.931	.655	1.088	2.286	1252.10	1199.97	.47594	
2.435	1.887	2.914	.647	.983	2.273	1301.07	1279.47	.43238	
2.424	1.850	2.902	.638	1.008	2.263	1400.90	1290.83	.44534	
2.416	1.771	2.893	.612	.956	2.257	1377.77	1303.57	.42350	
2.411	1.683	2.889	.582	.806	2.253	1222.30	1156.43	.35770	
2.413	1.566	2.892	.542	.778	2.255	1269.67	1186.10	.34495	
2.417	1.457	2.897	.503	.727	2.259	1189.37	1113.97	.32190	
2.422	1.287	2.903	.443	.738	2.264	1203.13	1140.20	.32570	
2.429	1.160	2.912	.399	.634	2.271	1380.20	1296.13	.27932	
2.435	.993	2.919	.340	.538	2.277	1387.80	1288.30	.23625	
2.438	.844	2.924	.289	.502	2.280	1468.10	1412.30	.22036	
2.437	.652	2.924	.223	.447	2.281	2678.23	2495.60	.19596	
2.435	.498	2.924	.171	.516	2.280	1346.37	1211.70	.22628	
Hoavg = 2.4321m		Toavg = 6.7743sec							

表3-3(a) 編號C組資料漲潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1221 13: 0 - 16:45 FLOOD TIDE -- C									
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
2.474	.247	2.969	.083	.177	2.316	2449.70	3475.77	.07631	
2.476	.396	2.970	.133	.323	2.316	4773.80	3331.30	.13940	
2.476	.562	2.968	.189	.413	2.315	2854.63	2895.57	.17850	
2.474	.723	2.965	.244	.453	2.312	5591.13	2381.77	.19576	
2.472	.908	2.961	.306	.532	2.310	7302.90	1272.63	.23018	
2.470	1.086	2.958	.367	.650	2.307	4963.10	1337.83	.28173	
2.468	1.224	2.954	.414	.652	2.304	4110.03	1203.57	.28298	
2.466	1.388	2.951	.470	.702	2.302	1500.30	1334.50	.30501	
2.464	1.525	2.948	.517	.774	2.299	6387.67	1343.53	.33643	
2.462	1.669	2.945	.567	.852	2.297	1422.37	1249.70	.37088	
2.459	1.759	2.942	.598	.975	2.295	1413.37	1331.67	.42507	
2.456	1.873	2.938	.638	.947	2.291	2727.37	2792.77	.41317	
2.450	1.925	2.930	.657	1.061	2.286	2576.00	1300.27	.46408	
2.441	1.967	2.921	.673	1.011	2.278	1555.60	2174.57	.44368	
2.430	2.006	2.908	.690	.996	2.268	2655.37	1515.07	.43896	
2.416	2.009	2.893	.694	.927	2.257	2610.87	1351.83	.41066	
Hoavg = 2.4596m			Toavg = 6.8073sec						

表3-3(b) 編號C組資料退潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1221 16:45 - 20:45 EBB TIDE -- C									
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
2.416	2.009	2.893	.694	.927	2.257	2610.87	1351.83	.41066	
2.402	1.984	2.878	.689	1.004	2.245	1470.60	1415.93	.44712	
2.388	1.972	2.862	.689	1.025	2.232	1498.33	1562.77	.45914	
2.374	1.930	2.847	.678	.951	2.220	1501.50	1339.83	.42218	
2.365	1.860	2.836	.656	.992	2.212	1390.43	1285.80	.44846	
2.359	1.774	2.830	.627	.833	2.207	1364.40	1275.77	.37741	
2.357	1.672	2.829	.591	.881	2.206	1434.60	1328.47	.39918	
2.360	1.569	2.832	.554	.867	2.209	1638.50	1453.27	.39264	
2.367	1.409	2.841	.496	.777	2.216	2727.40	2550.37	.35069	
2.376	1.274	2.852	.447	.662	2.224	2436.03	2518.67	.29767	
2.386	1.131	2.863	.395	.651	2.233	5874.27	1620.27	.29171	
2.396	.963	2.875	.335	.566	2.243	2833.97	1620.23	.25254	
2.403	.808	2.885	.280	.506	2.250	5797.23	1668.50	.22502	
2.408	.662	2.891	.229	.385	2.255	4120.93	1960.63	.17071	
2.409	.487	2.894	.168	.411	2.257	3295.20	1781.67	.18222	
2.407	.334	2.893	.116	.282	2.257	4375.50	2024.67	.12518	
2.403	.242	2.889	.084	.195	2.254	5292.97	2844.60	.08653	
Hoavg = 2.3869m			Toavg = 6.7277sec						

表3-4(a) 編號D組資料漲潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1222		2:15 - 5:15		FLOOD TIDE -- D				
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB
2.322	.408	2.797	.146	.376	2.181	3559.67	3089.17	.17250
2.330	.548	2.805	.195	.394	2.188	3784.83	4145.57	.18007
2.339	.667	2.814	.237	.444	2.195	1840.50	1900.50	.20237
2.348	.817	2.823	.289	.413	2.202	2203.57	1494.20	.19008
2.355	.938	2.830	.332	.540	2.207	1694.30	1401.30	.24465
2.361	1.052	2.836	.371	.539	2.212	1902.03	1398.83	.24380
2.364	1.168	2.839	.411	.603	2.214	2062.50	1771.13	.27247
2.364	1.255	2.839	.442	.614	2.214	1607.83	1504.57	.27732
2.362	1.350	2.836	.476	.719	2.212	2103.87	1997.30	.32519
2.357	1.416	2.830	.500	.737	2.207	1578.10	1501.43	.33402
2.350	1.467	2.822	.520	.696	2.201	1724.47	1607.33	.31607
2.342	1.482	2.813	.527	.776	2.194	2045.47	1895.87	.35370
2.335	1.515	2.805	.540	.775	2.188	1696.47	1580.23	.35427
Hoavg =	2.3485m			Toavg =	6.6876sec			

表3-4(b) 編號C組資料退潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1222		5:15 - 8:45		EBB TIDE -- D				
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB
2.335	1.515	2.805	.540	.775	2.188	1696.47	1580.23	.35427
2.327	1.484	2.796	.531	.668	2.181	1994.80	1437.43	.30628
2.322	1.458	2.790	.523	.673	2.176	1797.07	1620.33	.30937
2.319	1.403	2.787	.503	.712	2.174	1786.80	1646.20	.32758
2.319	1.368	2.787	.491	.612	2.174	1778.83	1604.50	.28149
2.320	1.263	2.789	.453	.618	2.175	1973.07	1338.67	.28386
2.325	1.201	2.795	.430	.589	2.180	3155.50	1763.90	.27004
2.331	1.099	2.802	.392	.615	2.186	4223.07	1620.33	.28123
2.338	.998	2.810	.355	.535	2.192	2104.80	1937.50	.24403
2.345	.890	2.819	.316	.533	2.199	2940.17	1938.27	.24220
2.347	.756	2.822	.268	.444	2.201	2829.07	1958.73	.20162
2.344	.628	2.820	.223	.368	2.199	4335.67	2038.67	.16709
2.336	.511	2.812	.182	.317	2.193	2429.20	2236.37	.14439
2.323	.380	2.798	.136	.296	2.183	3995.13	2398.67	.13576
2.306	.277	2.780	.100	.248	2.168	4875.07	2200.63	.11438
Hoavg =	2.3291m			Toavg =	6.6672sec			

表3-5(a) 編號E組資料漲潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1222 14:30 - 17:45 FLOOD TIDE -- E

H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB
2.381	.440	2.862	.154	.321	2.233	2281.57	1707.13	.14373
2.384	.570	2.855	.199	.358	2.235	2133.93	1548.83	.16033
2.383	.716	2.863	.250	.458	2.233	2248.17	2036.83	.20518
2.377	.858	2.856	.301	.523	2.227	1817.23	1631.37	.23486
2.366	.986	2.842	.347	.546	2.217	1894.43	1710.10	.24643
2.348	1.109	2.821	.393	.491	2.201	2858.57	3779.93	.22294
2.328	1.234	2.798	.441	.630	2.183	1886.67	1717.37	.28865
2.306	1.347	2.772	.486	.670	2.163	2057.73	1974.60	.30982
2.281	1.430	2.744	.521	.650	2.140	1930.67	1813.03	.30371
2.251	1.504	2.711	.555	.772	2.114	2952.37	2070.97	.36509
2.219	1.570	2.674	.587	.799	2.086	2392.23	1987.10	.33326
2.183	1.605	2.634	.609	.802	2.054	1847.67	1754.40	.39042
2.143	1.631	2.589	.630	.805	2.019	1653.60	1513.37	.39850
2.106	1.640	2.547	.644	.844	1.987	1739.93	1668.97	.42496

Hoavg = 2.2896m Toavg = 6.6177sec

表3-5(b) 編號C組資料退潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1222 17:45 - 21:00 EBB TIDE -- E

H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB
2.106	1.640	2.547	.644	.844	1.987	1739.93	1668.97	.42496
2.075	1.612	2.512	.642	.821	1.959	2016.70	1868.00	.41919
2.049	1.580	2.483	.636	.755	1.937	1830.87	1720.40	.38996
2.030	1.539	2.462	.625	.762	1.920	1903.83	1780.33	.39675
2.017	1.478	2.447	.604	.755	1.909	1931.63	1910.30	.39566
2.003	1.402	2.431	.577	.688	1.896	3164.67	2344.23	.36279
1.987	1.314	2.414	.545	.660	1.883	1962.63	1806.17	.35059
1.970	1.198	2.394	.500	.659	1.867	2038.13	2092.57	.35313
1.946	1.087	2.367	.459	.521	1.847	1975.33	1853.87	.28232
1.916	.951	2.334	.407	.537	1.821	2153.00	1904.73	.29510
1.881	.809	2.295	.353	.479	1.790	2231.73	1980.97	.26773
1.840	.670	2.248	.298	.366	1.753	2383.83	2071.77	.20855
1.785	.517	2.186	.237	.336	1.705	2374.00	2251.00	.19694
1.721	.374	2.114	.177	.266	1.643	2113.63	2004.80	.16134

Hoavg = 1.9520m Toavg = 6.2065sec

表3-6(a) 編號F組資料漲潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1223		3:15 - 6:30		FLOOD TIDE -- F					
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
1.171	.314	1.485	.212	.260	1.158	1690.57	2230.97	.22451	
1.174	.475	1.488	.319	.299	1.161	2013.80	2049.80	.25727	
1.173	.601	1.488	.404	.334	1.161	1936.70	1954.50	.28803	
1.168	.748	1.482	.505	.409	1.156	1758.20	1542.23	.35419	
1.157	.876	1.470	.596	.472	1.147	1852.50	1760.77	.41140	
1.142	.992	1.453	.683	.483	1.133	1747.20	1579.33	.42626	
1.126	1.105	1.436	.770	.553	1.120	3748.53	3468.50	.49408	
1.116	1.214	1.424	.852	.605	1.111	2424.60	1936.07	.54473	
1.110	1.300	1.418	.917	.604	1.106	2633.43	2241.70	.54628	
1.109	1.383	1.417	.976	.634	1.105	1780.00	1665.57	.57363	
1.110	1.446	1.418	1.020	.695	1.106	1642.10	1542.57	.62841	
1.107	1.469	1.414	1.039	.737	1.103	1692.70	1558.80	.66796	
1.100	1.495	1.406	1.063	.772	1.097	1642.83	1549.80	.70387	
1.089	1.518	1.394	1.089	.666	1.087	2012.73	1832.50	.61252	
Hoavg =	1.1322m			Toavg =	5.0689sec				

表3-6(b) 編號C組資料退潮時段，碎波波高 H_b ，碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1223		6:30 - 9:45		EBB TIDE -- F					
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
1.089	1.518	1.394	1.089	.666	1.087	2012.73	1832.50	.61252	
1.074	1.501	1.377	1.090	.677	1.074	1597.67	1504.77	.63027	
1.059	1.466	1.360	1.078	.649	1.061	3401.43	3975.03	.61215	
1.044	1.413	1.343	1.052	.666	1.048	1673.50	1564.23	.63565	
1.030	1.340	1.327	1.010	.671	1.035	1692.70	1571.67	.64811	
1.023	1.267	1.319	.961	.650	1.029	1704.03	1587.97	.63180	
1.025	1.173	1.321	.888	.625	1.030	1805.00	1771.83	.60667	
1.035	1.080	1.332	.811	.547	1.039	1977.97	1805.67	.52628	
1.053	.965	1.352	.714	.484	1.055	1737.47	1601.33	.45933	
1.080	.853	1.382	.617	.455	1.078	1735.57	1613.37	.42201	
1.107	.730	1.413	.517	.368	1.102	1809.40	1586.47	.33391	
1.135	.615	1.445	.426	.326	1.127	2057.33	1818.43	.28921	
1.164	.478	1.478	.324	.301	1.153	1875.17	1702.50	.26099	
1.194	.342	1.512	.226	.215	1.179	2558.27	2817.90	.18268	
Hoavg =	1.0794m			Toavg =	4.9883sec				

表3-7(a) 編號G組資料漲潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1223 15: 0 - 18:45 FLOOD TIDE -- G

HO	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB
1.881	.295	2.297	.128	.226	1.791	806.17	1131.70	.12594
1.893	.431	2.309	.187	.299	1.801	1101.70	1144.83	.16610
1.903	.575	2.320	.248	.361	1.810	1049.83	1044.83	.19933
1.912	.723	2.330	.310	.402	1.817	948.10	983.70	.22122
1.922	.867	2.341	.370	.471	1.826	985.30	845.60	.25776
1.933	1.003	2.353	.426	.489	1.835	739.07	664.10	.26634
1.945	1.160	2.366	.490	.558	1.848	905.70	890.37	.30241
1.954	1.287	2.376	.542	.604	1.853	913.30	851.27	.32562
1.958	1.405	2.381	.590	.623	1.857	791.47	788.90	.33519
1.959	1.518	2.381	.638	.721	1.857	849.57	850.83	.39841
1.954	1.620	2.376	.682	.774	1.853	1358.53	1438.23	.41790
1.934	1.692	2.353	.719	.786	1.835	723.40	683.00	.42821
1.902	1.744	2.317	.753	.820	1.807	780.60	796.70	.45373
1.857	1.796	2.266	.793	.761	1.767	830.40	776.73	.43039
1.798	1.824	2.199	.830	.865	1.715	907.50	853.70	.50457
1.729	1.828	2.121	.862	.865	1.654	952.17	904.20	.52284

Hoavg = 1.9021m Toavg = 6.1453sec

表3-7(b) 編號C組資料退潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1223 18:45 - 22:15 EBB TIDE -- G

HO	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB
1.729	1.828	2.121	.862	.865	1.654	952.17	904.20	.52284
1.664	1.813	2.048	.885	.899	1.597	1201.10	1254.87	.56316
1.604	1.780	1.979	.900	.734	1.544	911.57	838.83	.47543
1.549	1.726	1.916	.901	.835	1.495	724.33	724.97	.55838
1.499	1.655	1.860	.896	.785	1.451	849.47	827.07	.54139
1.447	1.565	1.801	.869	.791	1.404	1184.83	1184.27	.56294
1.393	1.484	1.739	.853	.715	1.356	980.87	889.60	.52696
1.336	1.363	1.675	.814	.657	1.306	941.57	914.50	.50303
1.273	1.223	1.603	.763	.594	1.250	1064.43	1191.37	.47520
1.204	1.091	1.524	.716	.509	1.188	1280.60	1303.27	.42864
1.127	.938	1.437	.653	.470	1.121	1065.50	1038.57	.41941
1.044	.787	1.342	.586	.413	1.047	987.20	955.50	.39435
.967	.627	1.253	.500	.331	.978	1171.57	1367.07	.33887
.901	.469	1.178	.398	.292	.919	1116.83	997.63	.31766
.848	.302	1.118	.270	.200	.872	1225.10	1524.00	.22937

Hoavg = 1.3058m Toavg = 5.3141sec

表3-8(a) 編號H組資料漲潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1224 4:30 - 7:45 FLOOD TIDE -- H									
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
1.047	.401	1.344	.299	.238	1.048	626.57	908.30	.22733	
1.072	.570	1.373	.415	.317	1.071	585.17	727.60	.29657	
1.083	.709	1.385	.512	.369	1.081	636.10	593.43	.34121	
1.080	.878	1.382	.636	.431	1.078	786.23	919.53	.39989	
1.062	1.029	1.363	.755	.502	1.063	595.63	586.07	.47237	
1.038	1.153	1.336	.863	.558	1.042	729.23	707.80	.53503	
1.021	1.273	1.317	.971	.609	1.027	734.50	698.73	.59332	
1.011	1.377	1.305	1.055	.570	1.018	862.97	873.00	.55978	
1.008	1.468	1.302	1.127	.668	1.016	1468.87	1235.97	.65783	
1.021	1.547	1.317	1.175	.753	1.027	670.53	670.67	.73276	
1.042	1.606	1.341	1.198	.771	1.046	585.00	618.03	.73688	
1.071	1.640	1.374	1.194	.765	1.071	814.07	830.20	.71428	
1.107	1.665	1.415	1.176	.751	1.104	499.07	500.50	.67995	
1.169	1.670	1.485	1.124	.799	1.158	612.80	601.33	.68998	
Hoavg = 1.0593m				Toavg = 4.9594sec					

表3-8(b) 編號C組資料退潮時段, 碎波波高 H_b , 碎波水深 d_b 以及碎波帶寬 X_b 計算表

1993/1224 7:45 - 11:15 EBB TIDE -- H									
H0	D	DB	D/DB	H	HB	C30	C49	H/HB	
1.169	1.670	1.485	1.124	.799	1.158	612.80	601.33	.68998	
1.246	1.658	1.573	1.054	.678	1.227	538.07	539.27	.55282	
1.338	1.626	1.677	.970	.738	1.308	597.03	581.97	.56443	
1.441	1.568	1.794	.874	.707	1.399	557.70	519.13	.50569	
1.546	1.514	1.913	.792	.659	1.492	1415.17	1349.50	.44144	
1.639	1.431	2.018	.709	.645	1.574	1376.73	1623.30	.40951	
1.720	1.334	2.110	.632	.627	1.646	931.23	1119.63	.38126	
1.790	1.231	2.190	.562	.606	1.708	817.70	799.97	.35458	
1.841	1.115	2.248	.496	.488	1.754	749.43	729.50	.27836	
1.882	.994	2.295	.433	.459	1.790	1038.00	1048.03	.25661	
1.913	.859	2.331	.369	.413	1.813	932.77	331.20	.22744	
1.935	.727	2.356	.309	.306	1.838	596.03	601.33	.16655	
1.947	.583	2.370	.246	.313	1.849	958.03	1051.33	.16938	
1.956	.449	2.382	.189	.249	1.858	632.27	566.33	.13415	
1.964	.311	2.391	.130	.207	1.865	972.13	839.17	.11117	
Hoavg = 1.6884m				Toavg = 5.2570sec					

$$\frac{H}{H_b} = 0.56 (X/X_b)^{0.74} = 0.56 (d/d_b)^{0.74} \dots\dots (3-21)$$

$$\frac{E}{E_b} = 0.424 (X/X_b)^{2.62} = 0.424 (d/d_b)^{2.62} \dots\dots (3-22)$$

根據式(3-21)，若假設極限波高水深比 β_x 為0.78，則吾人可進一步導出碎波帶內波浪碎波後之波高經驗式為

$$H = 0.466 H_b^{0.26} \cdot d^{0.74} \dots\dots\dots (3-23)$$

再者由式(3-22)，吾人可知在台中港北防沙堤以北平緩沙灘，根據現場觀測資料顯示，當波浪碎波時，即當 X/X_b 值為1時，其波能 $E = 0.424E_b$ ，意謂其能量約減少58%，此點與通常假設碎波後能量約減少60%值頗為接近；而當波浪行經碎波帶中點時，即 $X/X_b=1/2$ ，其波能 $E=0.069E_b$ ，意謂其波能已消失殆盡，僅剩7%。

(二)碎波帶內懸浮質濃度場分佈

1. 定水深懸浮質濃度場垂直分佈

圖3-15(a)~(h)係利用台中港潮差特性，以同一觀測點，在時間上測得之物理量，取代空間上不同觀測點物理量觀念，分割每一水深時，其相對應懸浮質平均濃度值資料，分析所得八組不同漲退潮時段，在定水深下垂直濃度觀測值分佈；縱座標採無因次化相對水深 Y/D 值，橫座標為不同相對水深時平均濃度值，單位為每公升毫克(mg/l)；上圖為漲潮時段，下圖為退潮時段觀測值；圖中符號"□"者，表取自離底床18cm處濁度計資料，符號"×"者表取自離底床 7cm處濁度計資料；由於八組資料，每一時段其波浪入射條件

均不相同，故圖形顯示其垂直懸浮質濃度值分佈情況亦有所差異，分析結果顯示以12月21日13:00時到20:45時以及12月22日02:15時到08:45時兩段期間所觀測到之懸浮質濃度值為最大如圖3-15(c)、(d)所示，而根據圖3-10資料顯示，這段期間台中港區風速最大，約達每秒14~18公尺。風速，即七級風，故意謂在定水深條件下，波浪波高值愈大，其所引起底部懸浮質濃度值愈大，尤有甚者，當相同風浪條件作用時，退潮段所引起垂直平均懸浮質濃度值均較漲潮時段觀測值為大，且無論漲、退潮均以底部觀測值較大。圖3-16 B組資料為一典型。實線部份為其懸浮質濃度垂直分佈最大包絡線。

圖3-17(a)~(h)則為相同分析資料，惟不分漲退潮時段所得懸浮質濃度垂直分佈情形，顯然兩者間仍存在不同差異分佈特性。

圖3-18則為本次現場觀測八組不同漲退潮時段，在定水深下觀測所得懸浮質濃度無因次化垂直分佈。圖中實線部份為垂直斷面最大值包絡曲線(envelope)，故資料分析結果顯示，有關懸浮質平均濃度垂直分佈，其型態常因入射波浪條件有所不同，惟其最大值通常發生在無因次相對水深(Y/D)值為0.2處；大致而言，同一波浪入射條件，退潮段時之最大值，亦均較漲潮時為大。

2. 不同水深，近底床處懸浮質濃度之縱向分佈

為瞭解碎波帶內不同水深，近底床處其懸浮質濃度之縱向分佈，故將前面章節八組不同漲退潮時段資料分析所得數據，點繪如圖3-19(a)~(h)中所示，上圖為漲潮段時，下圖為退潮段時，分別在距底床18cm以及7cm處觀測所得懸浮質濃度值在碎波帶內不同水深底床處分佈，由於不同漲退潮時段其入射波浪條件不同，無法比較，故按照不同入射波浪條件以及前面章節資料分析所述，先行求得其碎波水深 d_b 以及碎波帶寬度 X_b 將其相對位置無因次化，得一碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈，如圖3-20所示，此為編

號 A 組資料分別在漲潮時段，退潮時段期間，外海入射波浪波高約為 2m 時之不同水深縱向分佈；圖 3-21(a)~(h) 則分別為八組不同時段，在碎波帶內無因次相對位置，懸浮質平均濃度底床縱向分佈；分析結果顯示，在碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈與個別入射波浪條件以及漲退潮時段有關，定性上而言，最大值發生在 $0.3\sim 0.7(X/X_b)$ 相對位置處；同一入射波浪條件，漲潮段時，最大值發生在碎波帶中間處靠離岸側即 $0.6\sim 0.7(X/X_b)$ 處；退潮段時，則發生在碎波帶中間處靠向岸側即 $0.3\sim 0.4(X/X_b)$ 處，惟現象並非很明確。

第四章 結 論

本研究計畫獲得下列結論

- 一、現場實測水流向量速度延時變化，水粒子速度並未隨水面波浪起伏作週期性運動。頻寬帶通處理取得 0.5Hz 至 0.05Hz 間水流向量速度則隨波浪起伏作週期性變化，顯示實測流速原始資料除短週期波浪所造成外，尚隱含群波所成形水流。頻寬 0.05Hz 至 0.005Hz 間低頻率流速與群波關係有待進一步研究。
- 二、波列中較獨立之個別波浪水粒子運動軌跡未經頻寬帶通處理前呈現不閉合現象；帶通處理後個別波浪一個週期水粒子運動軌跡成近似閉合橢圓形。
- 三、淺水時水粒子速度實測與計算比值分佈相當散亂；二階非線性波浪理論計算值與線性波浪理論計算值比較並無明顯差異。採用統計方法求得實測水粒子示性速度與示性波浪計算所得水粒子速度比值分佈較一致，且隨水深增加比值分佈帶寬有減小之趨勢。
- 四、獨立個別波浪與其相對應水粒子速度轉換函數 $(U/H\omega)$ 與相對水深參數 D/H 及 Z/H 相關性不高，函數值分佈散亂。但與無因次參數 $(\omega^2 Z^2/gD)$ 有良好之相關性。其迴歸曲線方程式為

$$\text{VTF} = \frac{U}{H\omega} = \text{Exp}\left[0.402\left(\frac{\omega^2 Z^2}{gD}\right)^2 - 2.135\left(\frac{\omega^2 Z^2}{gD}\right) + 0.37\right] \cdots (4-1)$$

統計之示性波浪與其相對應示性波水粒子轉換函數 $(U_s/H_s \omega_s)$ 與無因次參數 $(\omega_s^2 Z^2/gD)$ 間之迴歸曲線方程式為

$$\text{VTF} = \frac{U_s}{H_s \omega_s} = \text{Exp}\left[0.423\left(\frac{\omega_s^2 Z^2}{gD}\right)^2 - 2.184\left(\frac{\omega_s^2 Z^2}{gD}\right) + 0.446\right] \cdots (4-2)$$

五、根據本次研究成果顯示，台中港北防砂堤以北之平緩沙灘（底床坡度 $S=1/80$ ）海域，其入射波浪碎波後在碎波帶內之波高分佈與相對波能分佈可用下列式子表之，即

$$H/H_b = 0.560(X/X_b)^{0.74} = 0.560(d/d_b)^{0.74} \dots\dots\dots(4-3)$$

或 $H = 0.466H_b^{0.26} \cdot d^{0.74}$ (假設 $\beta^*=H_b/d_b=0.78$)

$$E/E_b = 0.424(X/X_b)^{2.62} = 0.424(d/d_b)^{2.62} \dots\dots\dots(4-4)$$

其中碎波波高 H_b 與碎波水深 d_b 值可引用湯教授等之經驗公式計算求得。

六、碎波帶內，懸浮質平均濃度分佈與個別入射波條件以及漲退潮時段有關，定性上而言，最大值發生在 $0.3 \sim 0.7(X/X_b)$ 相對位置處；同一入射波浪條件，漲潮段時，最大值發生在碎波帶中間處靠離岸側即 $0.6 \sim 0.7(X/X_b)$ 處，退潮段時，則發生在碎波帶中間處靠向岸側，即 $0.3 \sim 0.4(X/X_b)$ 處，惟現象並非很明確。

七、懸浮質平均濃度垂直分佈，研究成果顯示，其型態常因入射波浪條件有所不同，惟其最大值通常發生在無因次相對水深 (Y/D) 值為 0.2 處；大致而言，同一波浪入射條件，退潮段時之最大值，亦均較漲潮段時為大。

第五章 參考文獻

1. Anastasiou, K. et al(1982) : Measurements of Particle Velocity in Laboratory Scale Random Waves, Coastal Engineering, 6(1982), PP. 233-254.
2. Cavaleri, F. et al (1978) : Measurement of the Pressure and Velocity Field Below Surface Waves, Turbulent Fluxes Through the Sea Surface, Wave Dynamics and Prediction, Plenum Press, New York, PP.257-272.
3. Daemrich, K.F. et al(1982):Investigation on Orbital Velocities and Pressures in Irregular Waves, Coastal Engineering 1982, PP. 297-312.
4. Isobe, M. and Horikawa, K. (1982) : Study on Water Particle Velocities of Shoaling and Breaking Waves, Coastal Engineering in Japan, Vol.25, 1982, PP.109-123.
5. Koyama, H. and Iwata, K.(1985) : Estimation of Water Particle Velocities by a Modified Transfer Function Method, Coastal Engineering in Japan, Vol.28, 1985, PP.1-13.
6. Thornton, Edward B. and Krapohl Richard F.(1974) : Water Particle Velocities Measured Under Ocean Waves, Journal of Geophysical Research, Vol.79, No.6, PP.847-852.
7. Vis, F. C.(1980): Orbital Velocity in Irregular Waves, Coastal Engineering (1980), PP.173-186.
8. 邱永芳、郭一羽、尤誌鴻 (1993) : 波浪水粒子速度特性之研究, 第十五屆海洋工程研討會論文集, PP. 29-42。

9. 邱永芳 (1994) : 波壓及水粒子速度與波高間轉換函數之研究, 交通大學土木研究所博士論文, PP.1-158。
10. Komar, P.D. (1983) : Nearshore Currents and Sand Transport on Beaches, In Johns, B. (ed.), Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas, PP.67-109, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Netherlands.
11. Komar, P.D. and D.L. Inman (1970) : Longshore Sand Transport on Beaches, J. Geophys. Res. 75 : PP.5914-5927.
12. Francis, J.R.D. (1973) : Experiments on the motion of solitary Grains Along the Bed of a Water-Stream, Proc.R.Soc. London. A. 332, PP.443-471.
13. Smith, J.D. and T.S. Hopkins (1972): Sediment Transport on the Continental Shelf off of Washington and Oregon in Light of Recent Current Measurements, In Swift, D.J.P.etc. (eds), Shelf Sediment Transport : Process and Patterns, PP.143-180, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.
14. Inman, D.L., J.A. Zampol, T.E. White, D.M. Hanes, B.W. Waldorf, and K.A. Kastans (1981) : Field Measurements of Sand Motion in the Surf Zone, Proc. 17th Coastal Engineering Conference, PP. 1215-1234.
15. Komar, P.D. (1978): Relative Quantities of Suspension Versus Bed-Load Transport on Beaches, J. Sediment, Petrology 48, PP.921-932.
16. Kana, T.W. and L. G. Ward (1981): Nearshore Suspend Sediment Load During Storm and Post-storm Condition, Proc. 17th Coastal En-

gineering Conference 2, PP.1158-1174.

17. R. W. Sternberg, N. C. Shi, and John P. Downing (1984) : Field Investigations of Suspend Sediment Transport in the Nearshore Zone, Chapter 120, PP.1782-1798, Coastal Engineering Conference.

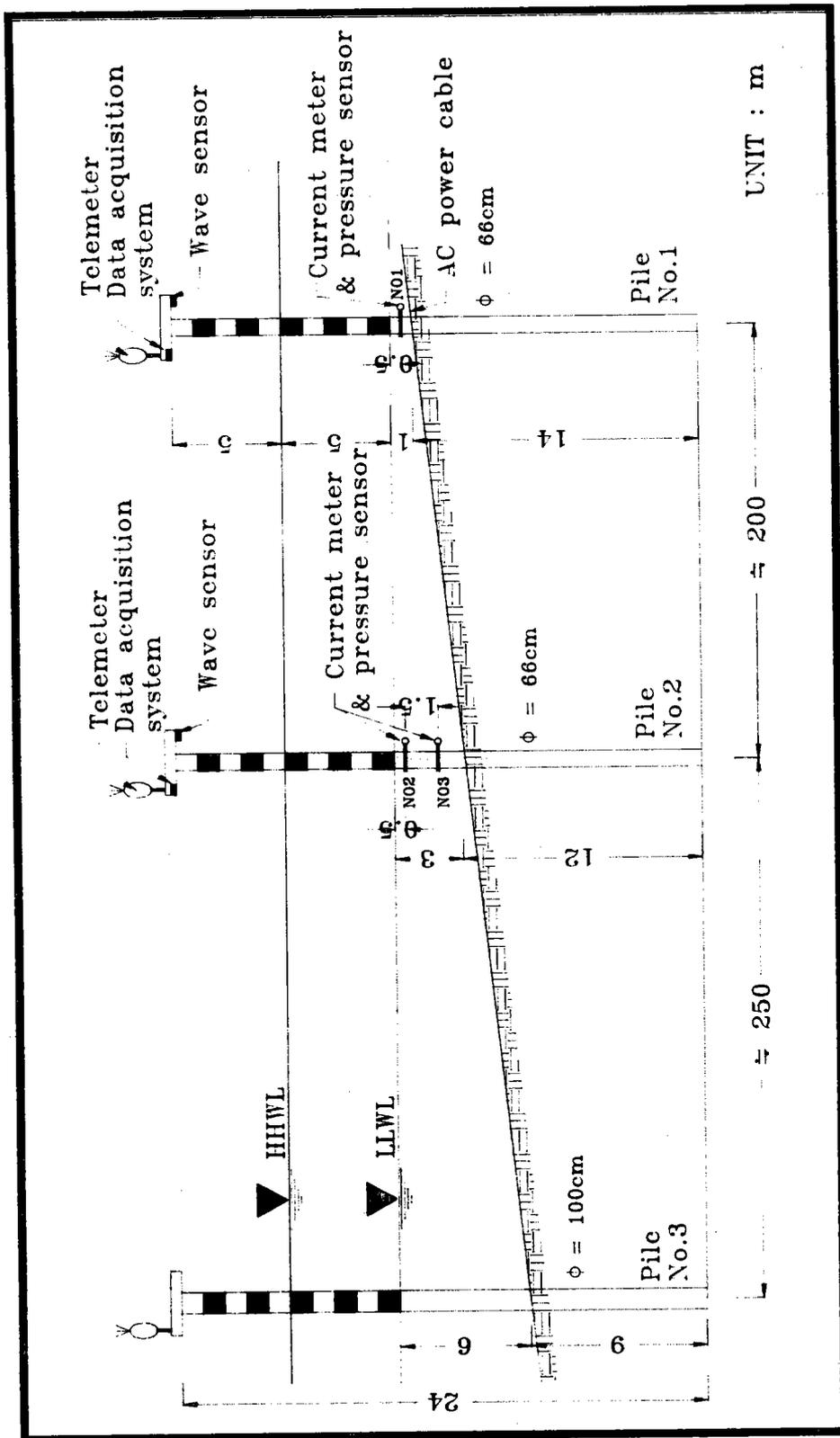


圖 2-1 觀測樁及儀器佈置圖

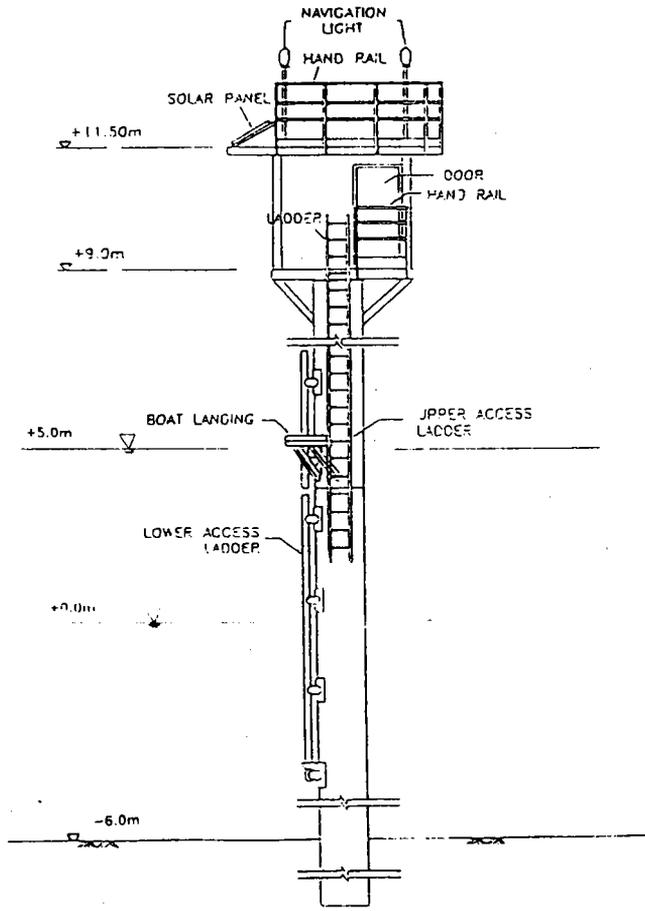


圖 2-2 第三根觀測樁詳圖

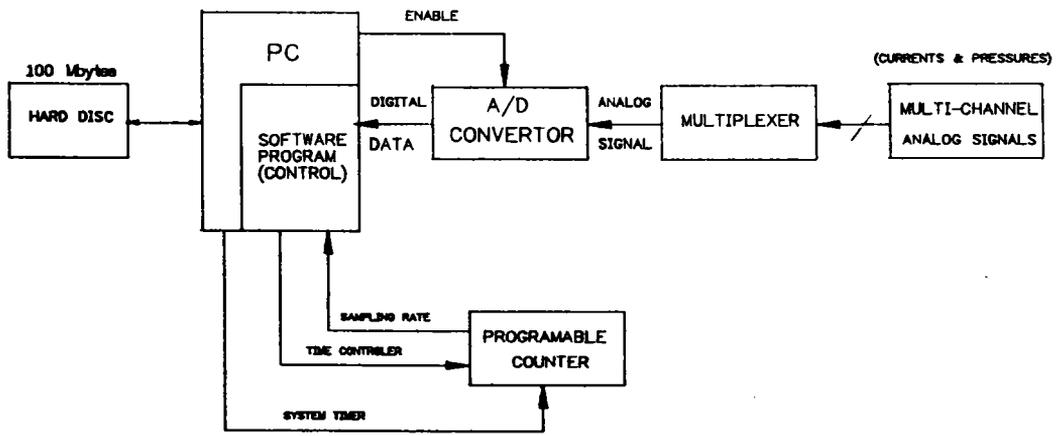


Fig 2 BLOCK DIAGRAM OF DATA ACQUISITION SYSTEM

圖 2-3 資料蒐集系統圖

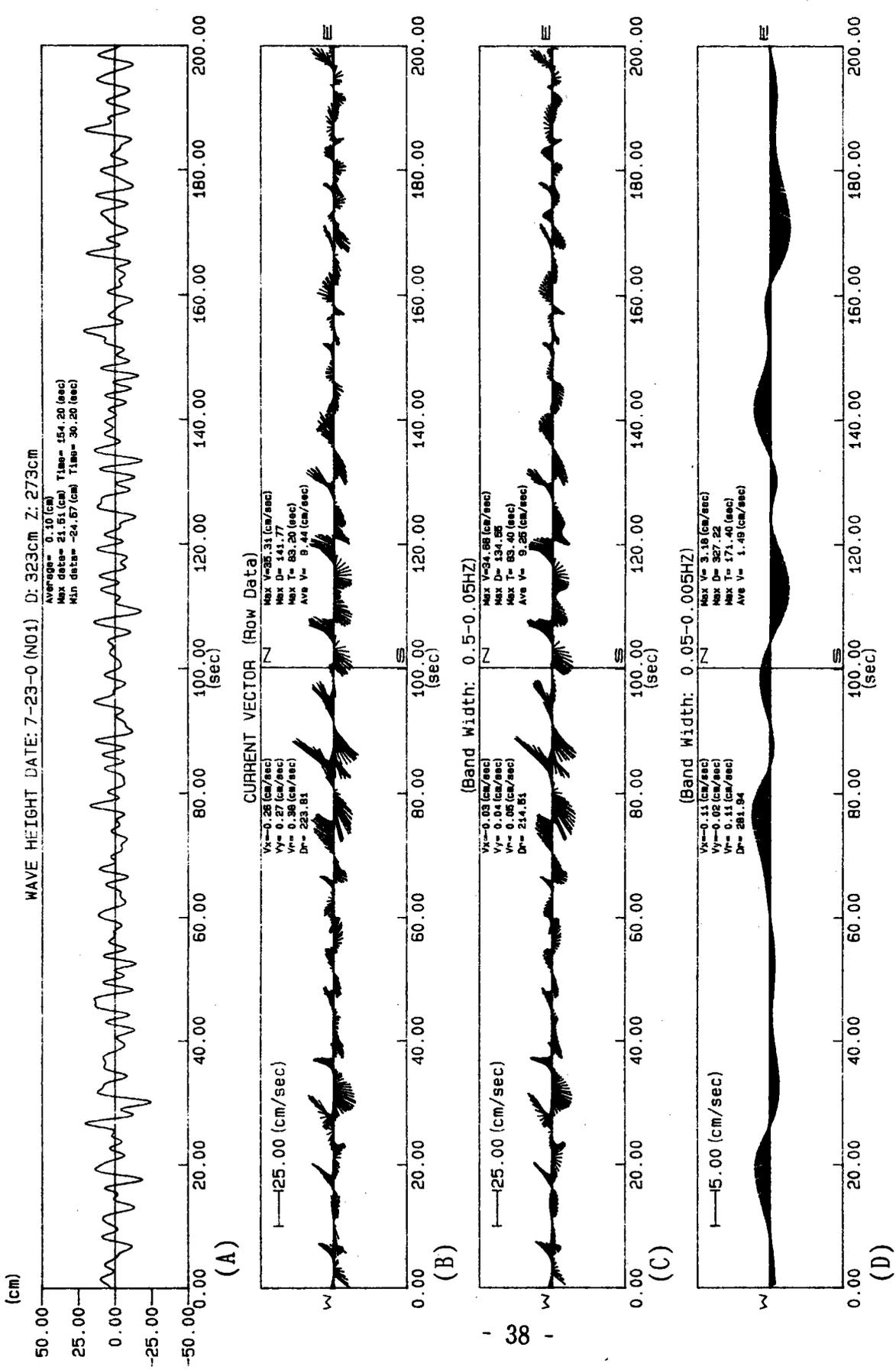


圖 2-4(a) 測點No.1波浪及水流向量速度延時變化(No.1測椿)

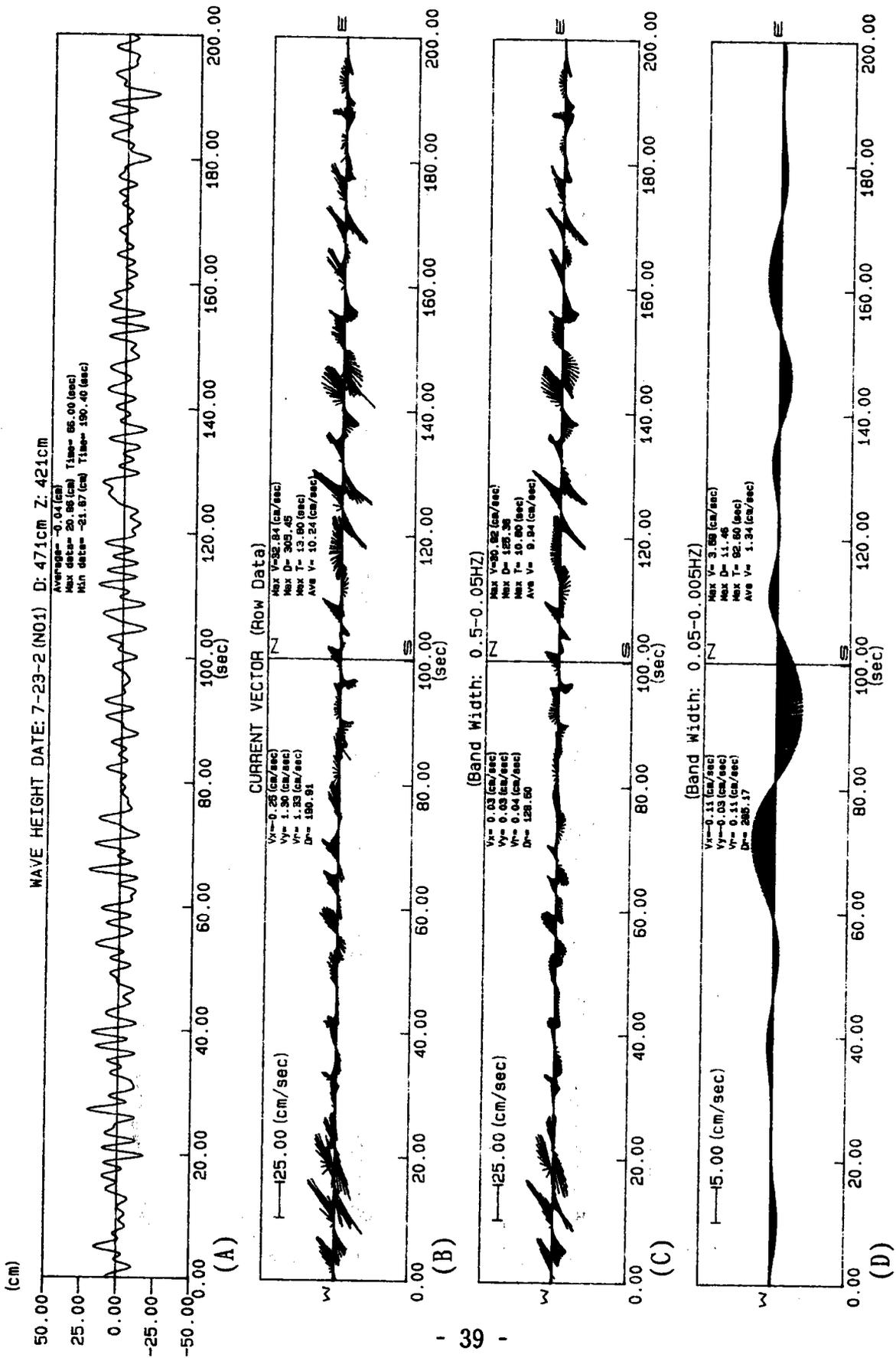


圖 2-4(b) 測點 No. 1 波浪及水流向量速度延時變化 (No. 1 測格)

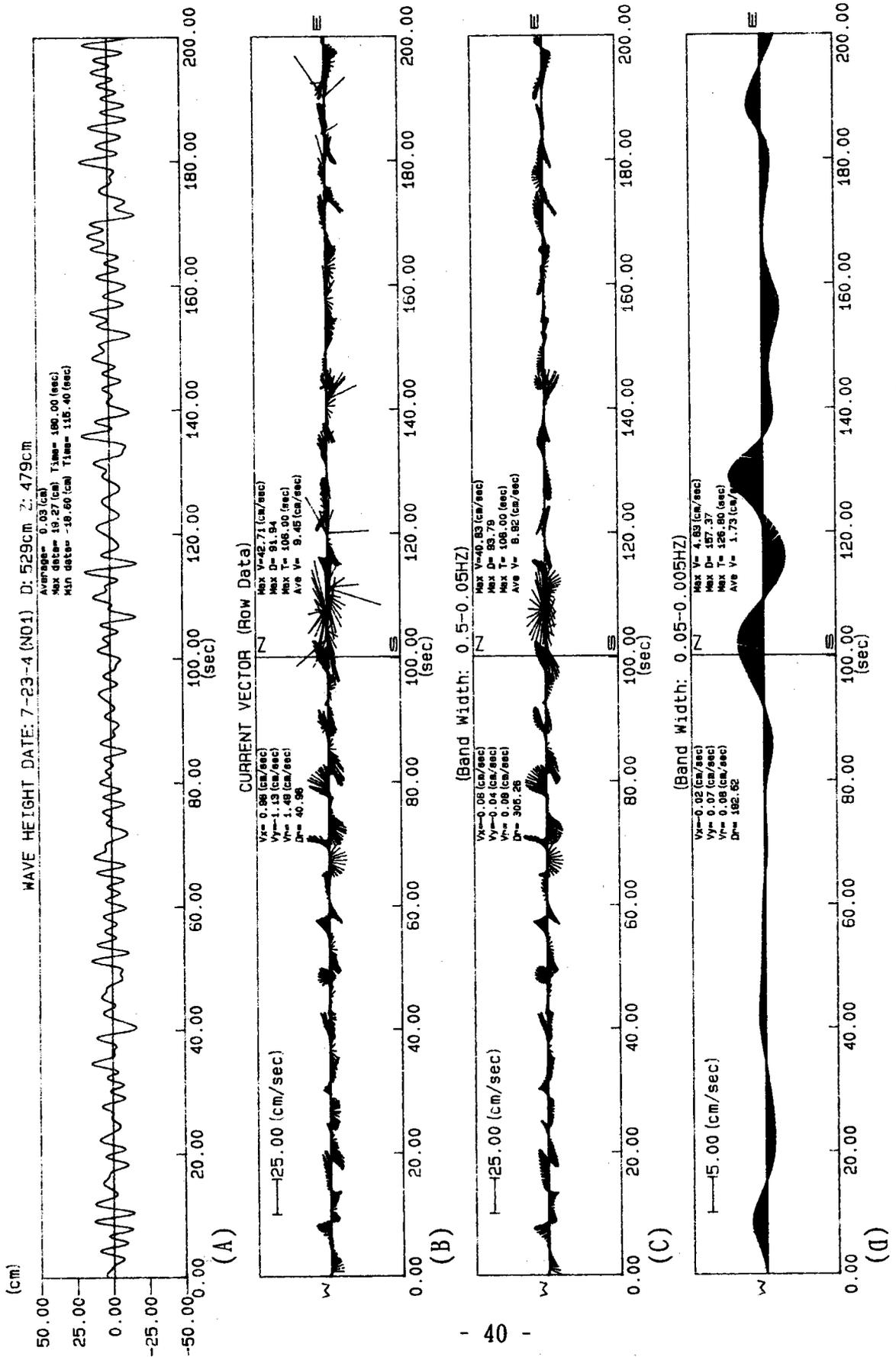


圖 2-4(c) 測點No.1波浪及水流向量速度延時變化(No.1測格)

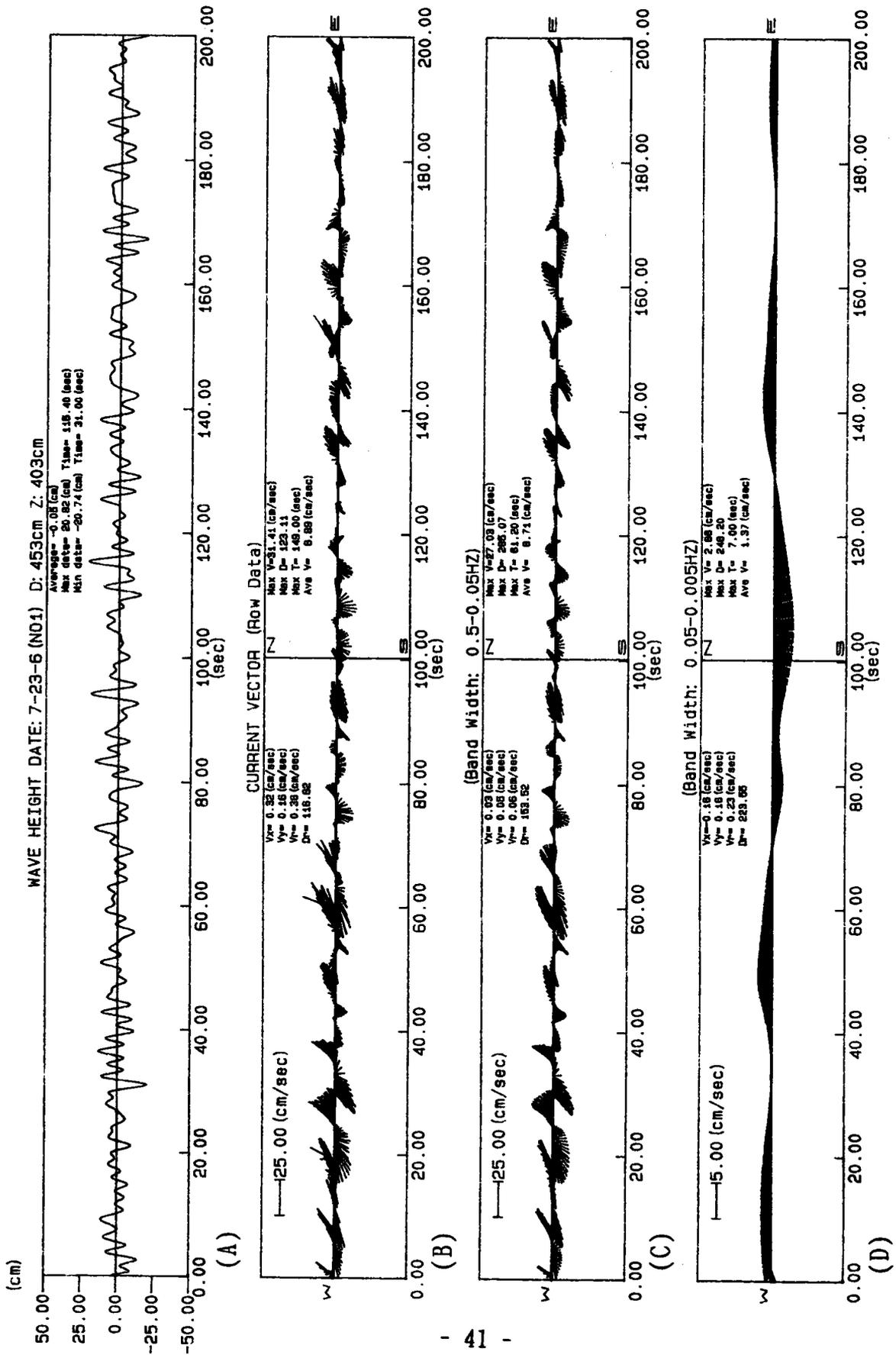
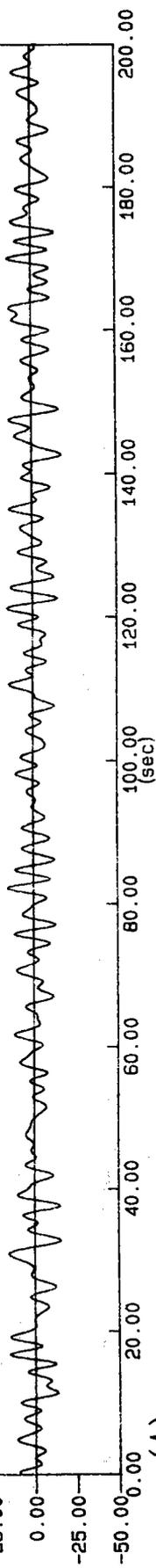


圖 2-4(d) 測點No.1波浪及水流向量速度延時變化(No.1測椿)

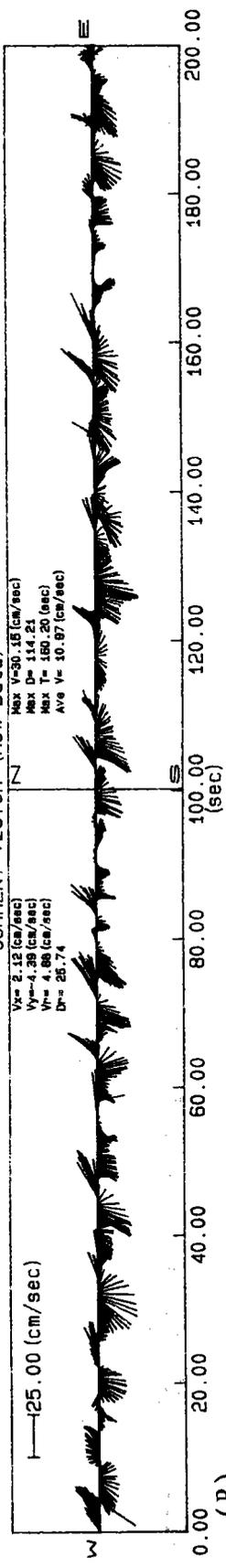
WAVE HEIGHT DATE: 7-23-8 (NO.1) D: 296cm Z: 246cm

Average= 0.08 (cm)
 Max date= 15.99 (cm) Time= 82.20 (sec)
 Min date= -17.51 (cm) Time= 142.60 (sec)



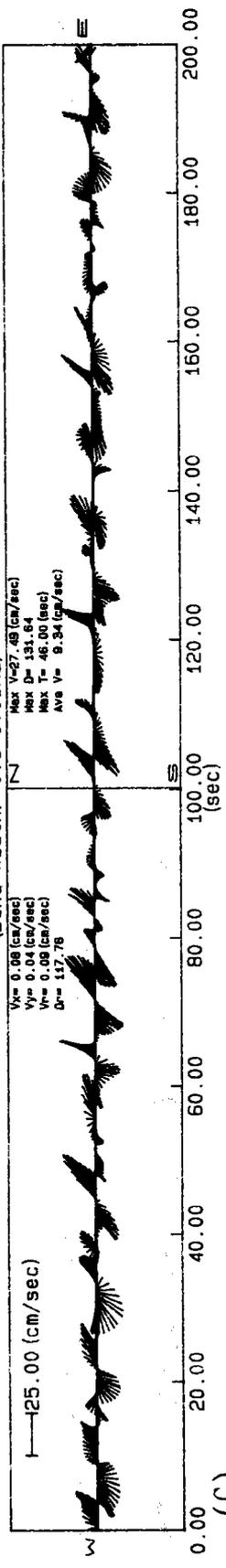
(A)

CURRENT VECTOR (Row Data)



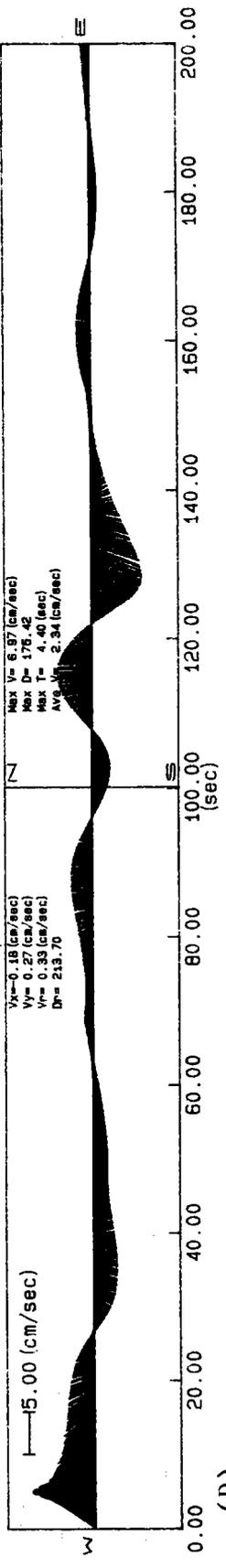
(B)

(Band Width: 0.5-0.05HZ)



(C)

(Band Width: 0.05-0.005HZ)



(D)

圖 2-4(e) 測點No.1波浪及水流向量速度延時變化(No.1測椿)

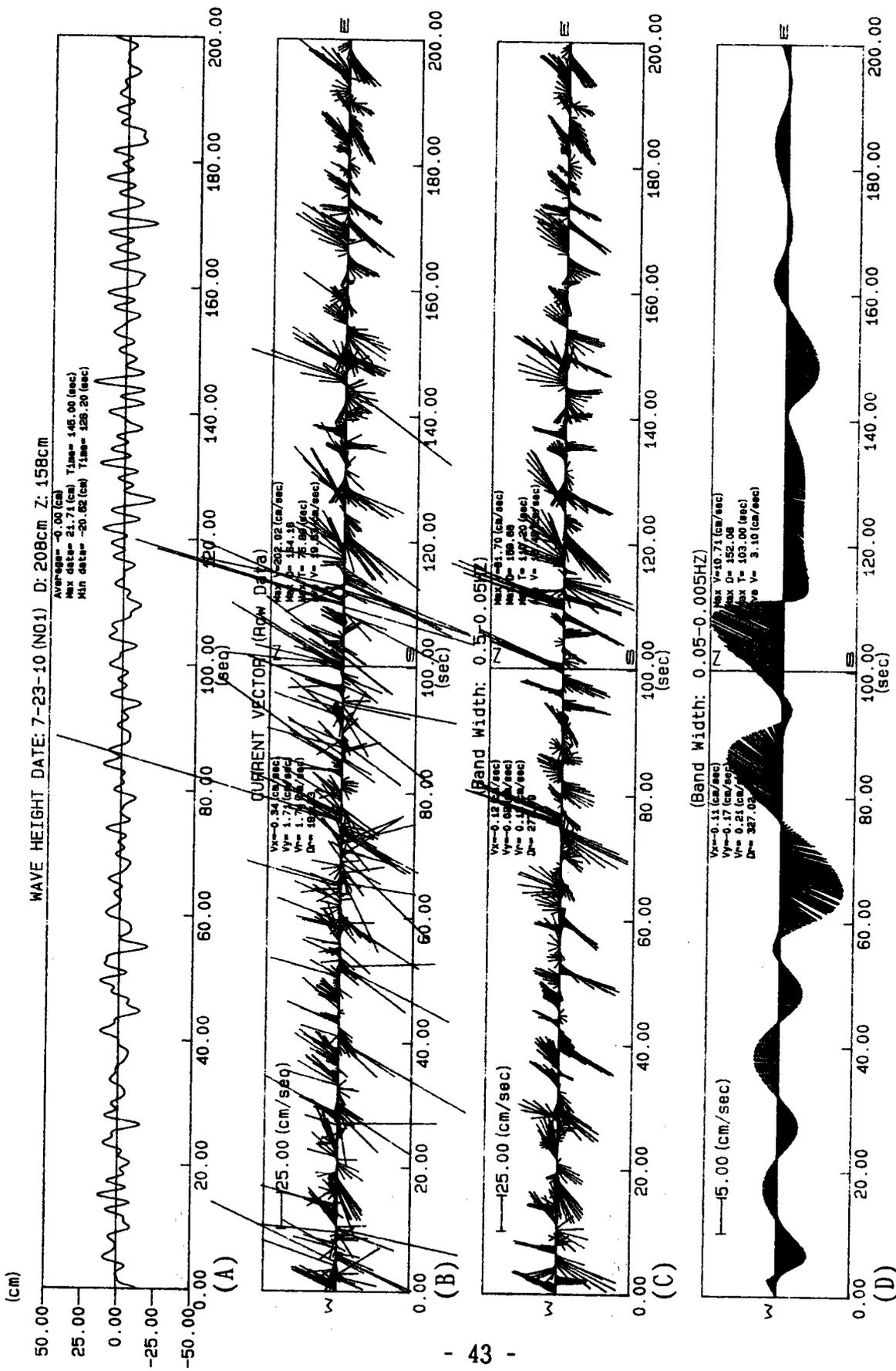


圖 2-4(f) 測點No.1波浪及水流向量速度延時變化(No.1測格)

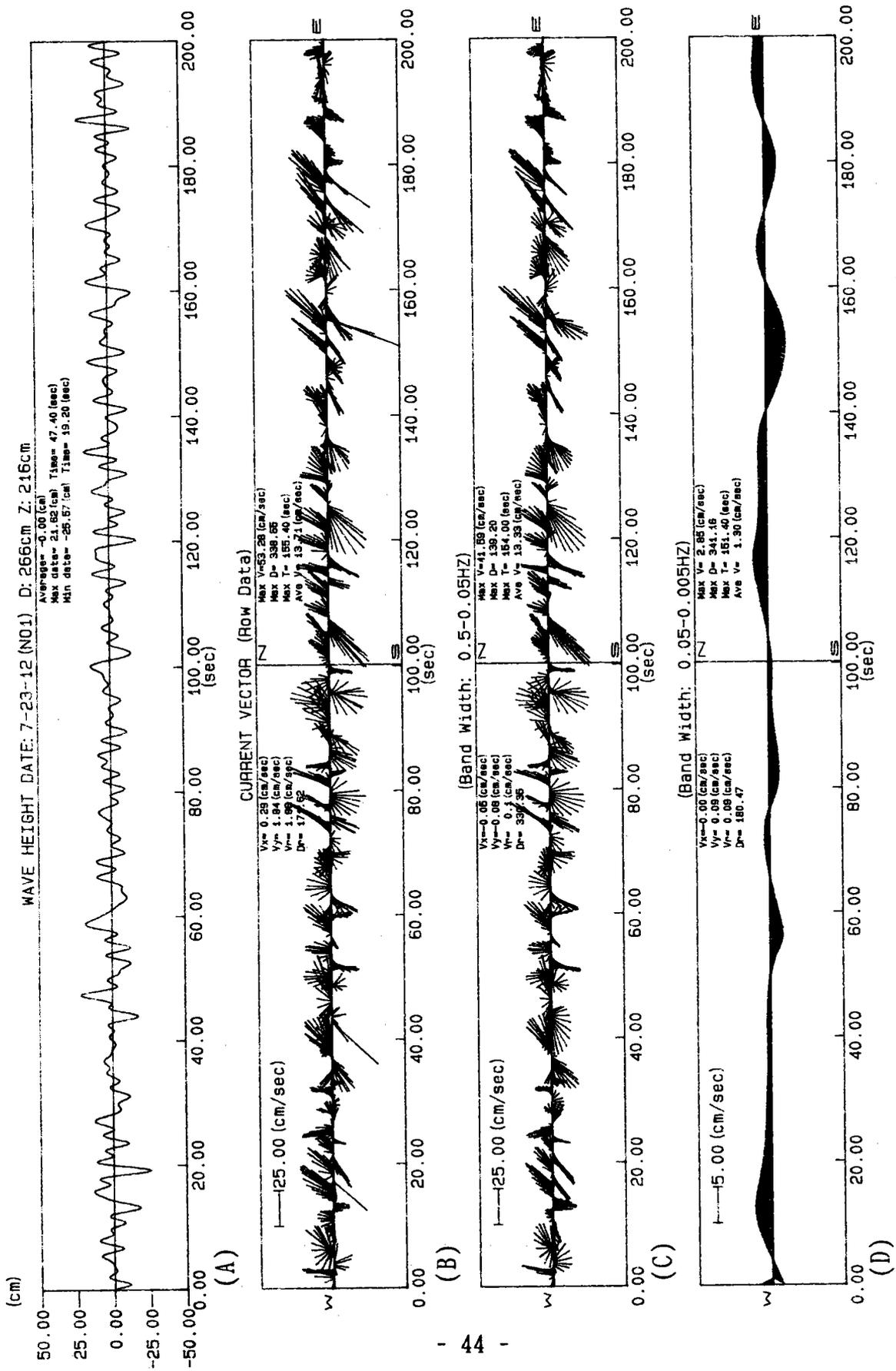


圖 2-4(g) 測點No.1波浪及水流向量速度延時變化(No.1測椿)

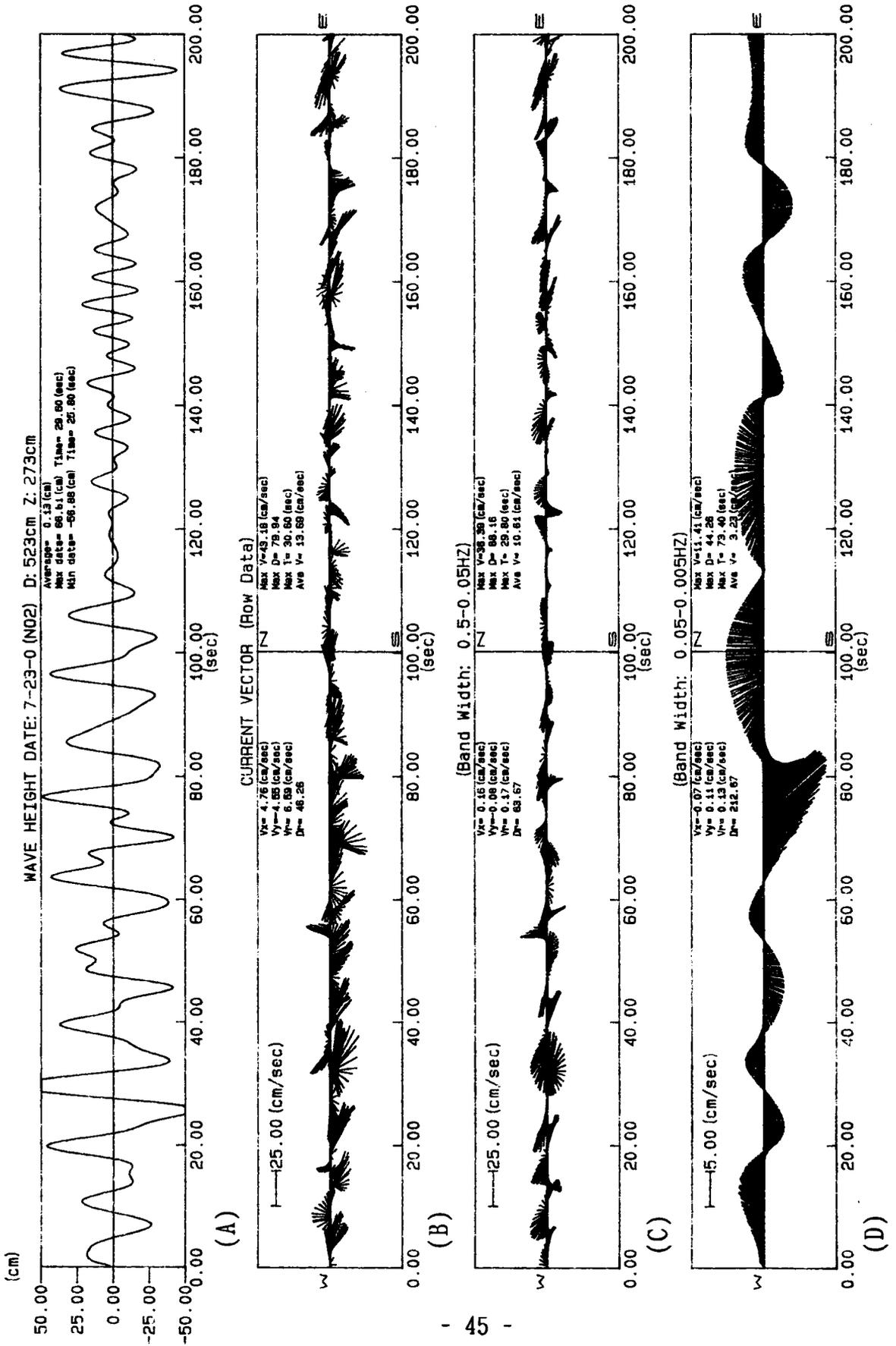


圖 2-5(a) 測點 No. 2 波浪及水流向量速度延時變化 (No. 2 測塔)

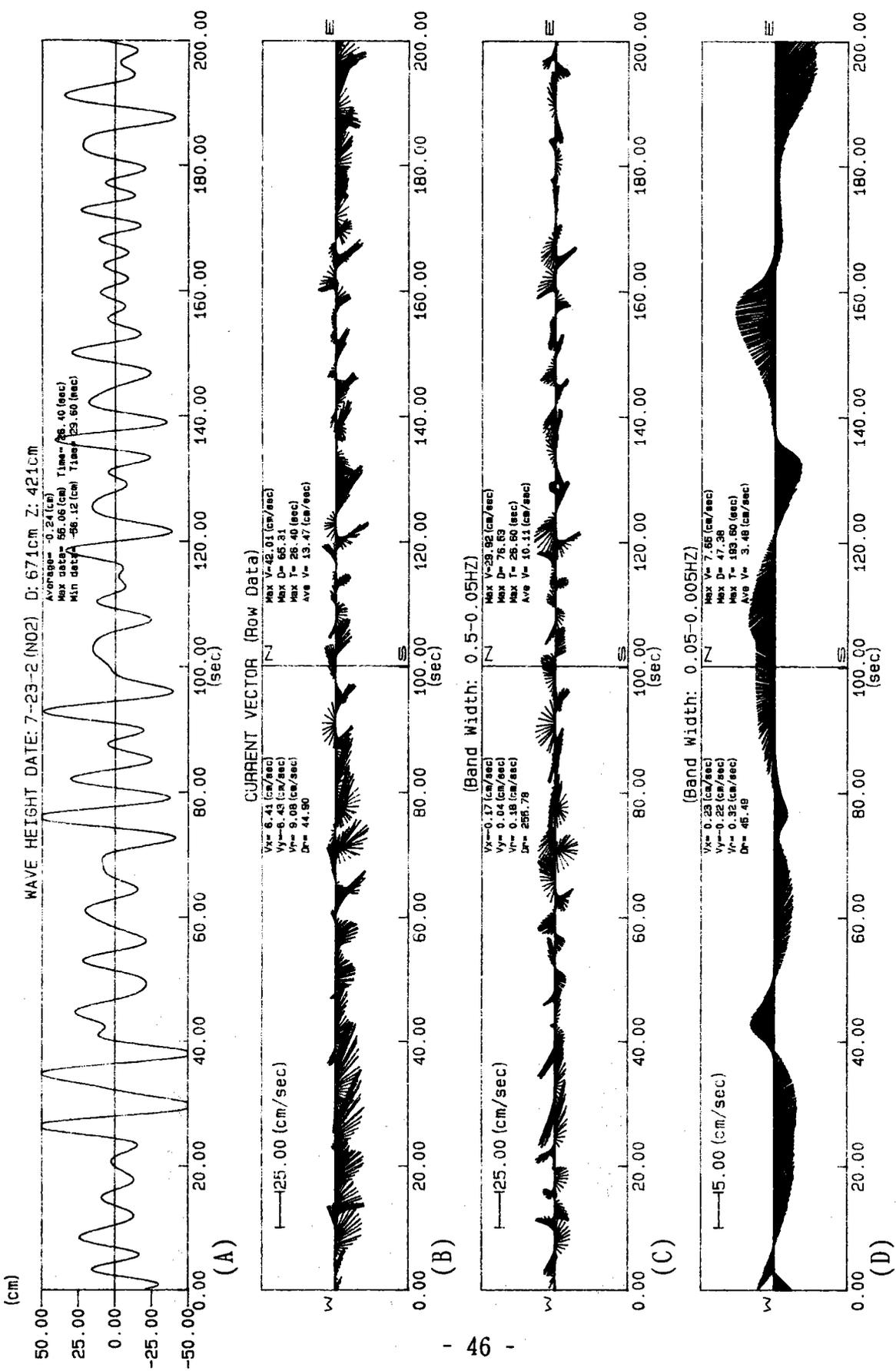


圖 2-5(b) 測點 No.2 波浪及水流向量速度延時變化 (No.2 測格)

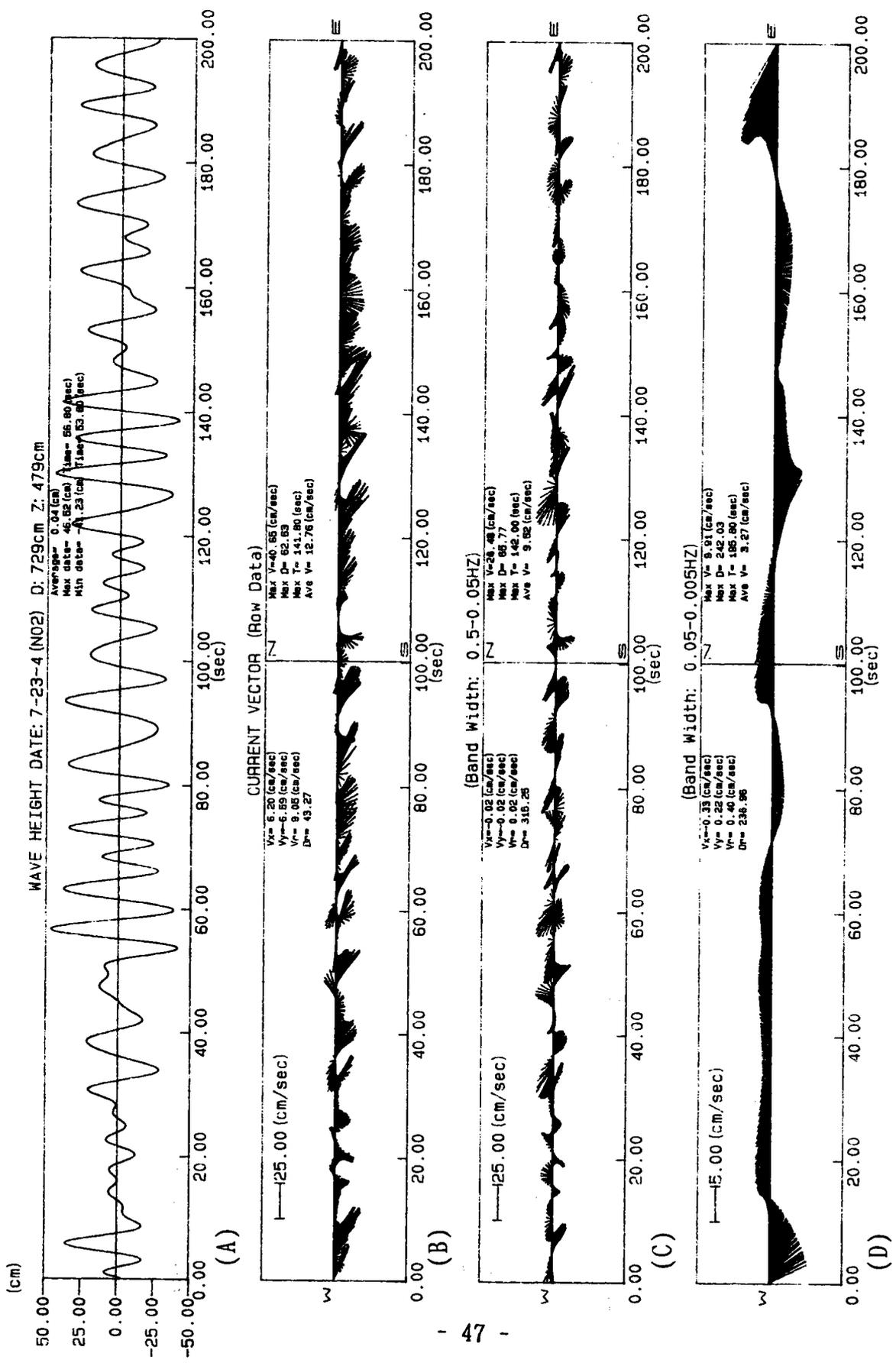


圖 2-5(c) 測點No.2波浪及水流向量速度延時變化(No.2測格)

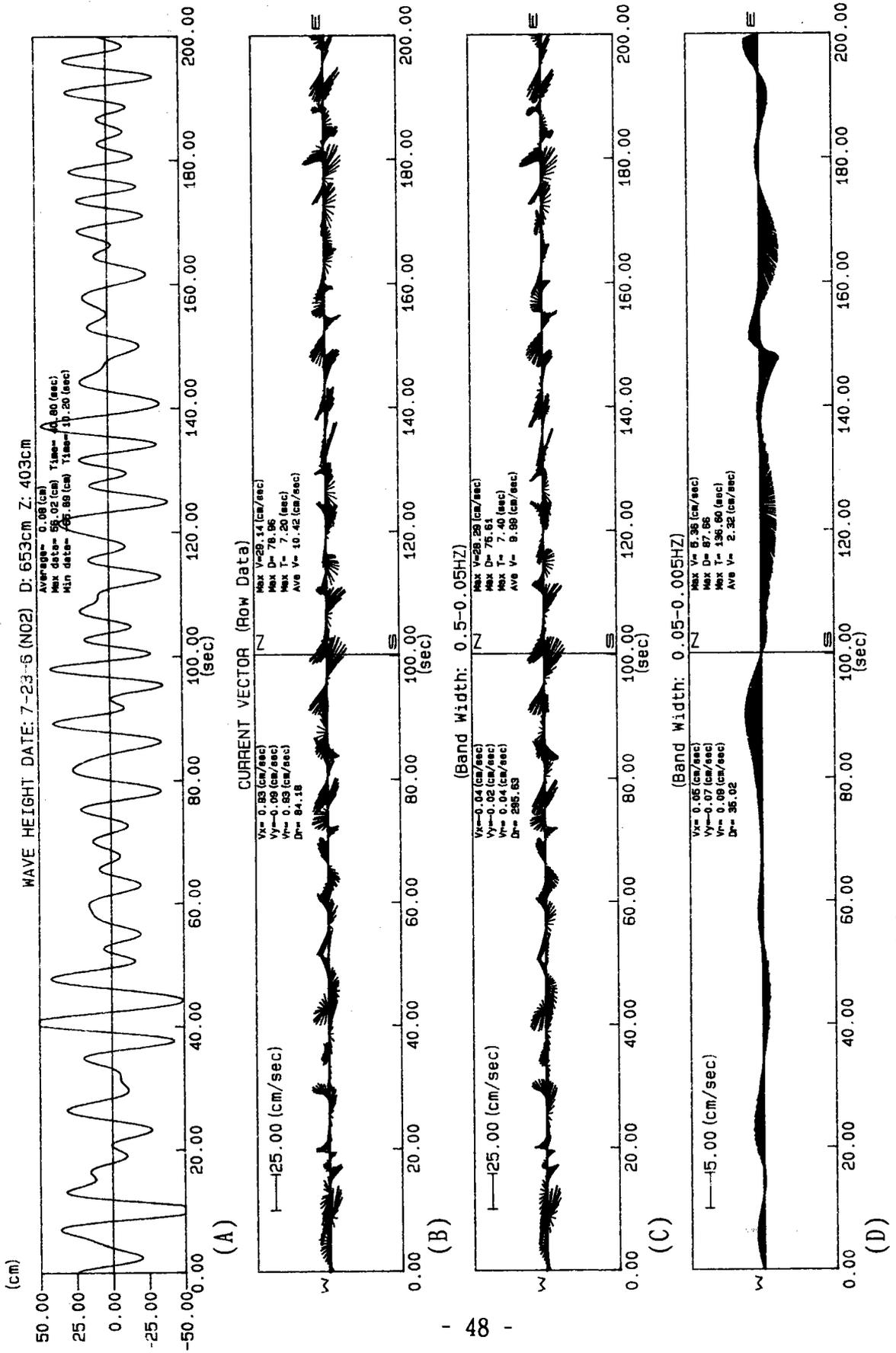


圖 2-5(d) 測點No.2波浪及水流向量速度延時變化 (No.2測槽)

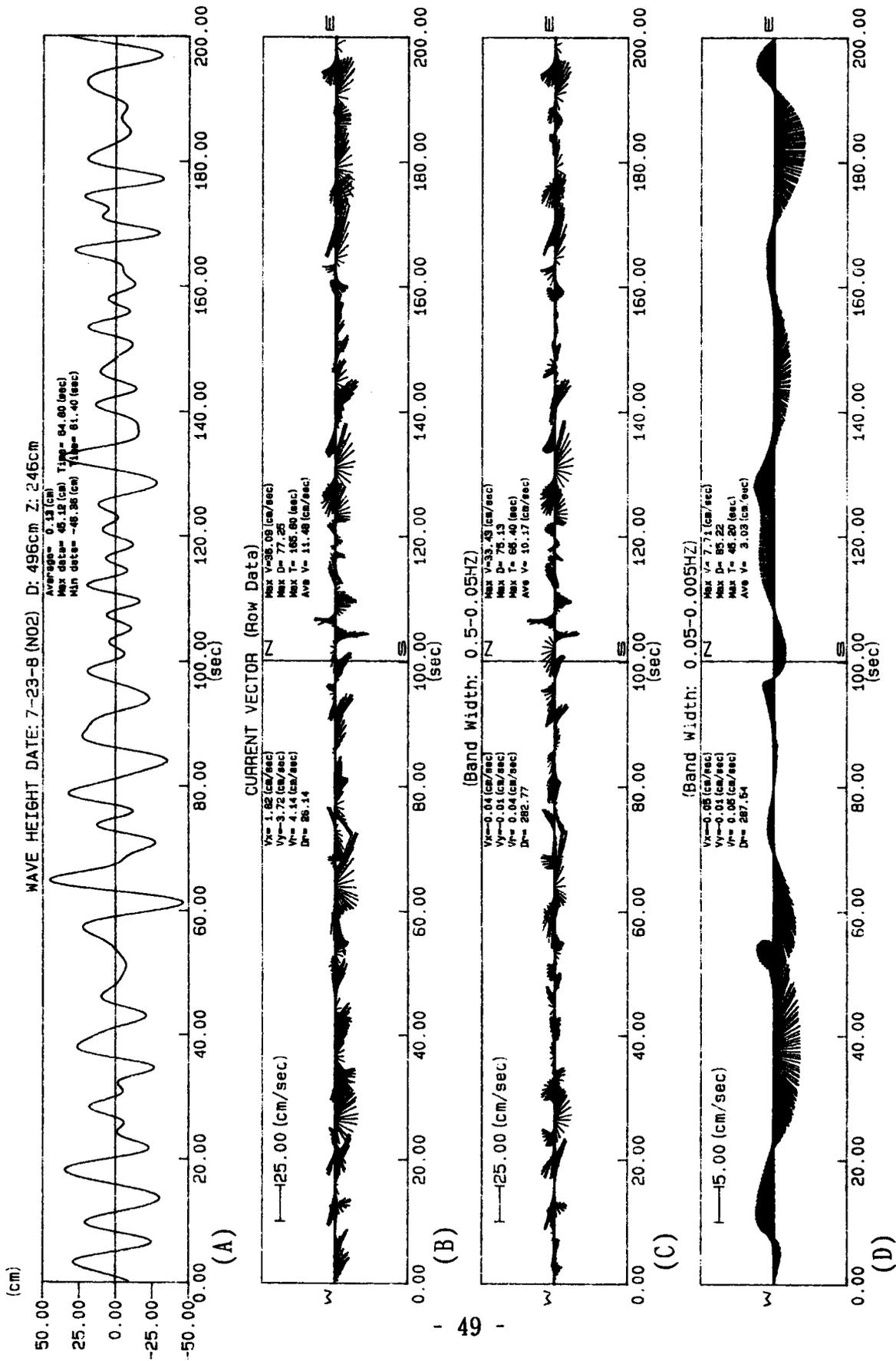


圖 2-5(e) 測點No.2波浪及水流量速度延時變化(N0.2測格)

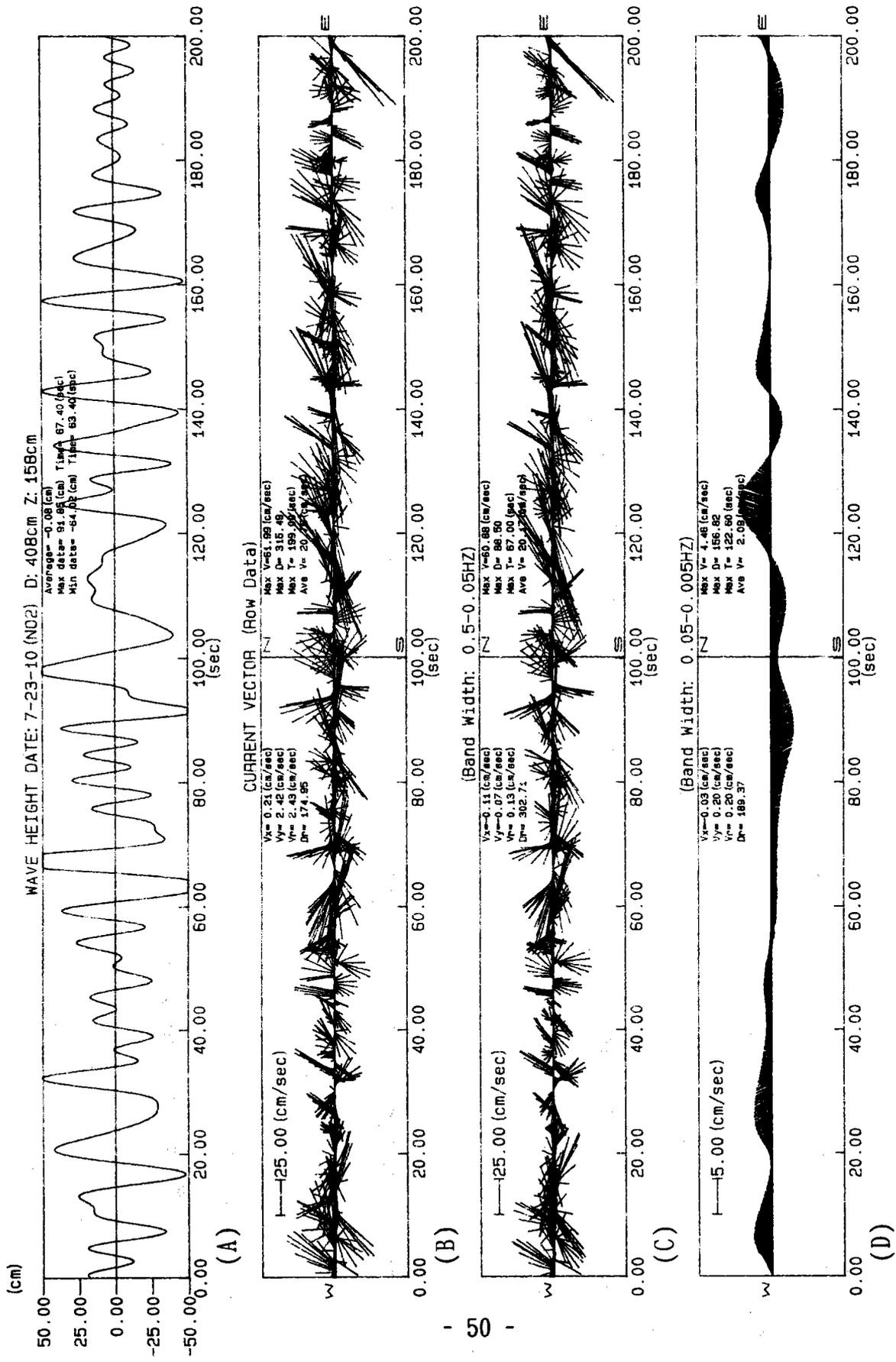


圖 2-5(f) 測點No.2波浪及水流向量速度延時變化(No.2測椿)

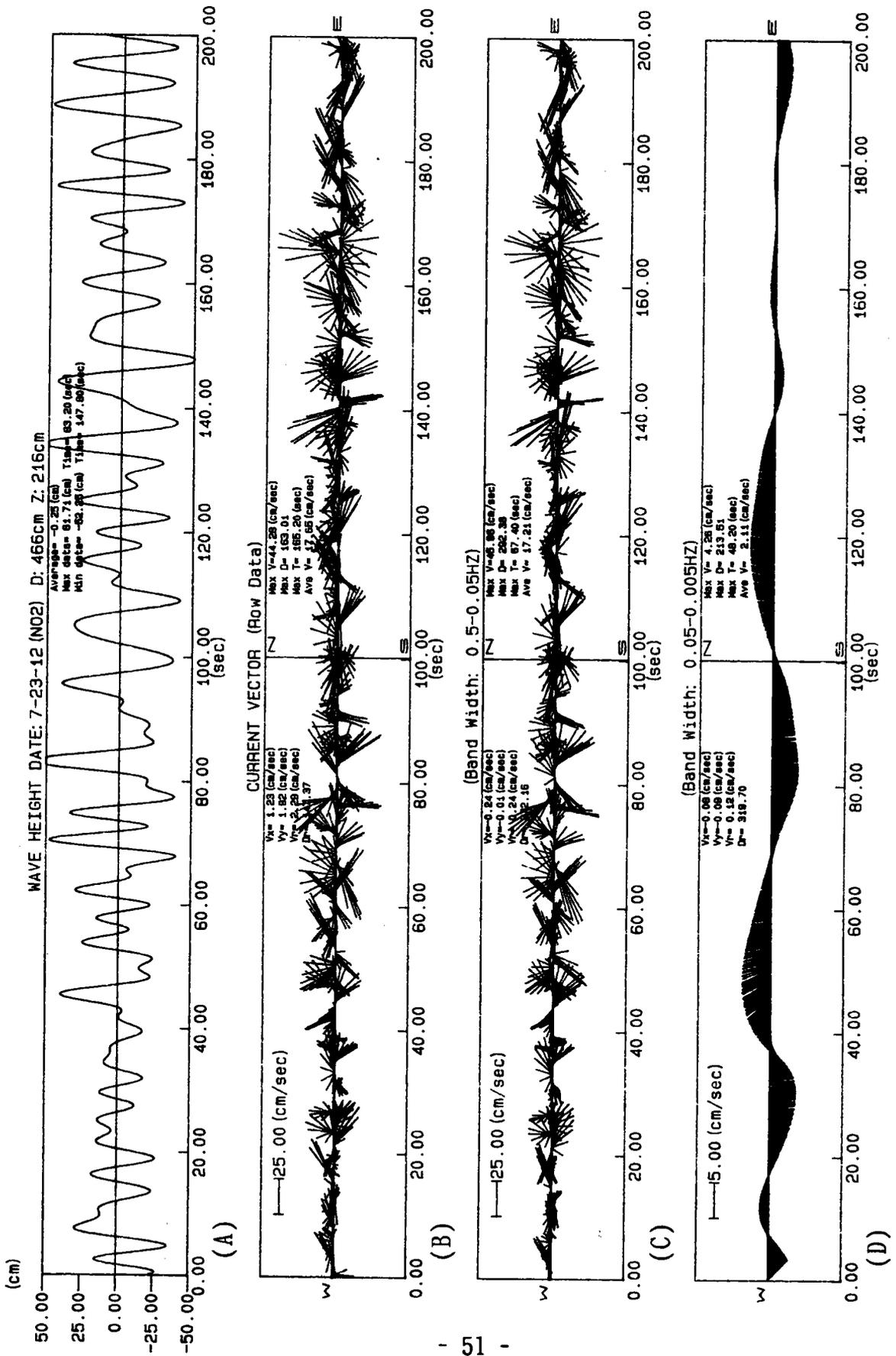


圖 2-5(g) 測點No.2波浪及水流向量速度延時變化(No.2測格)

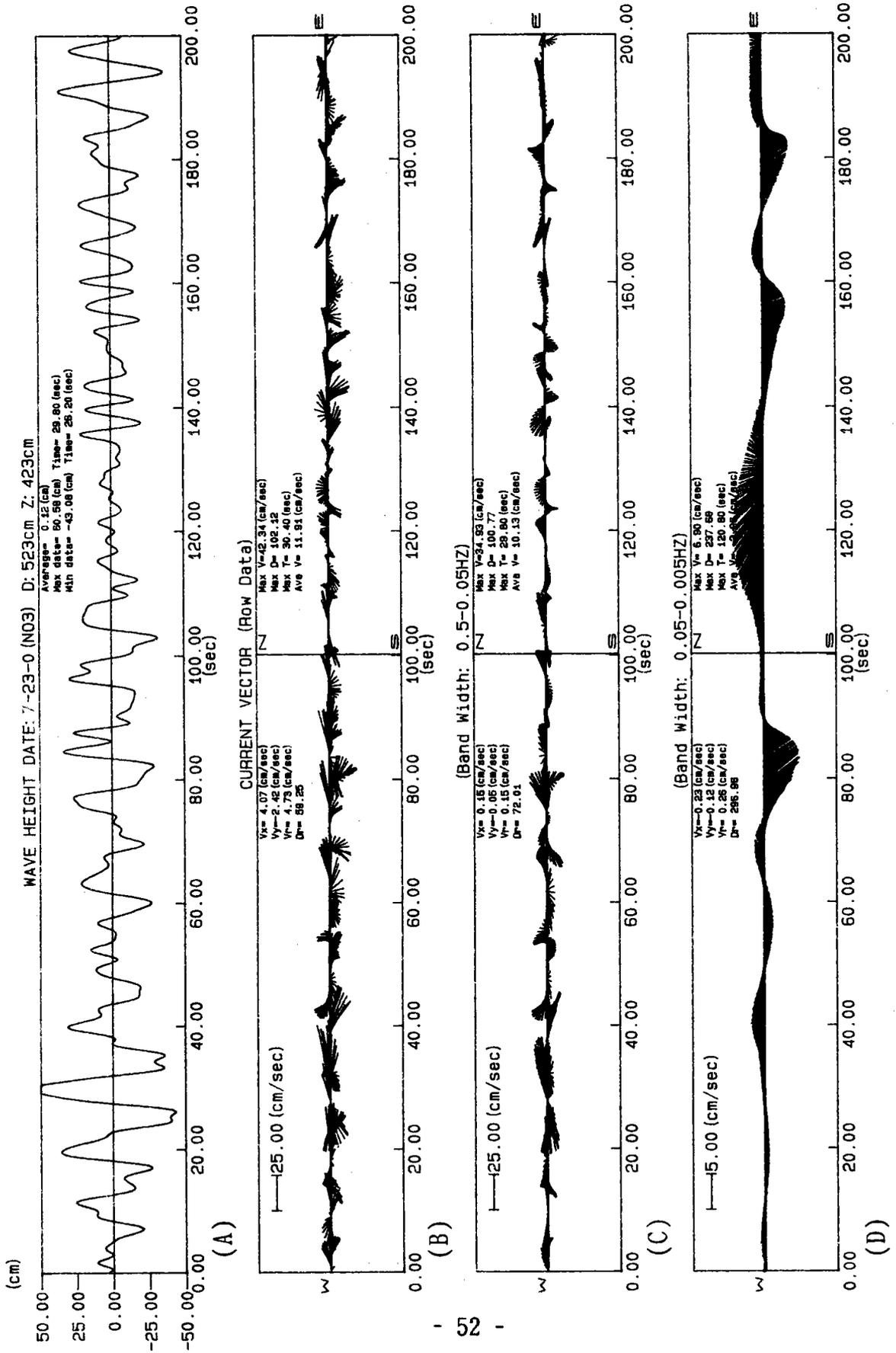


圖 2-6(a) 測點No.3波浪及水流向量速度延時變化(No.3測格)

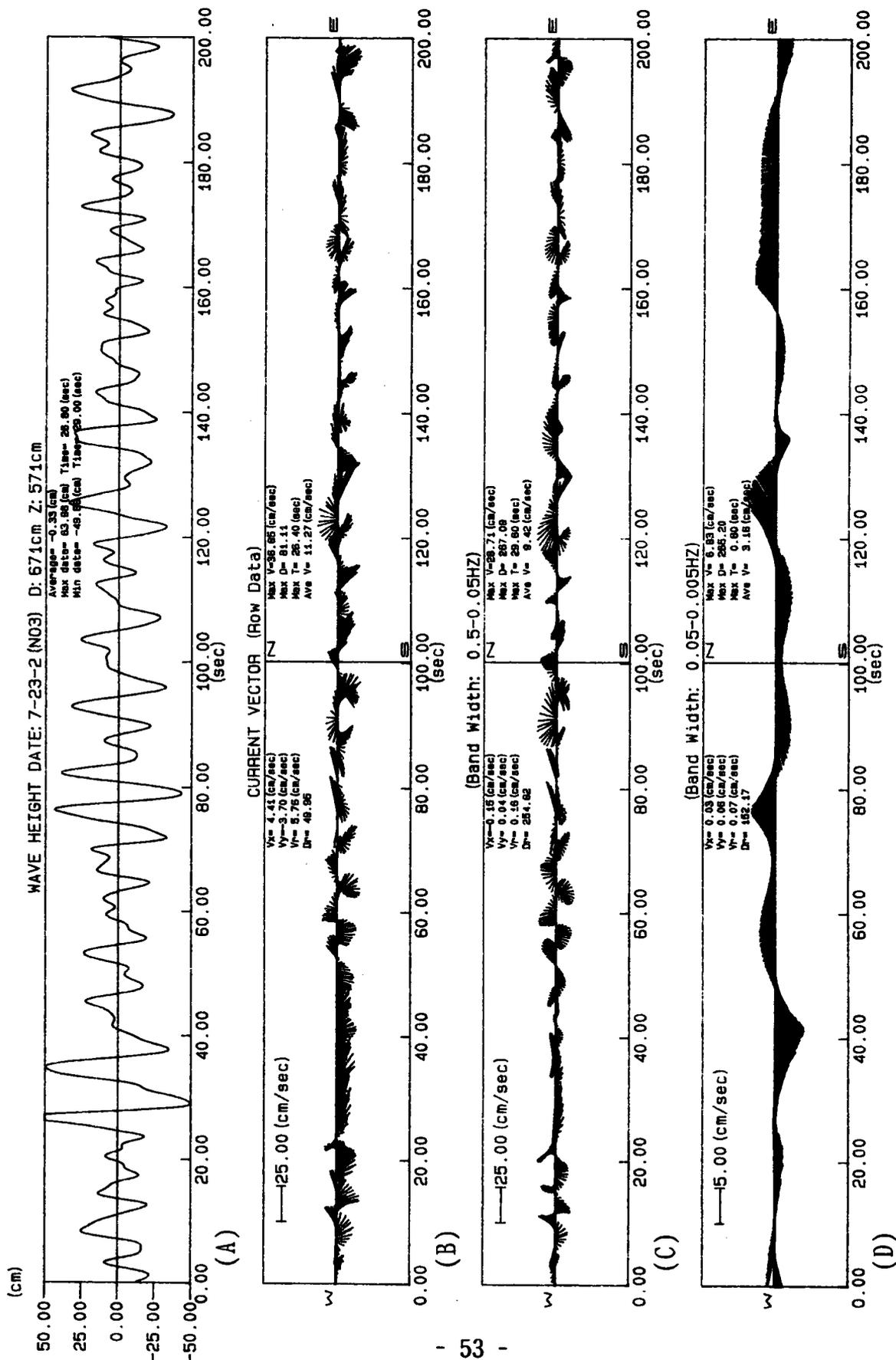


圖 2-6(b) 測點No.3波浪及水流向量速度延時變化(No.3測椿)

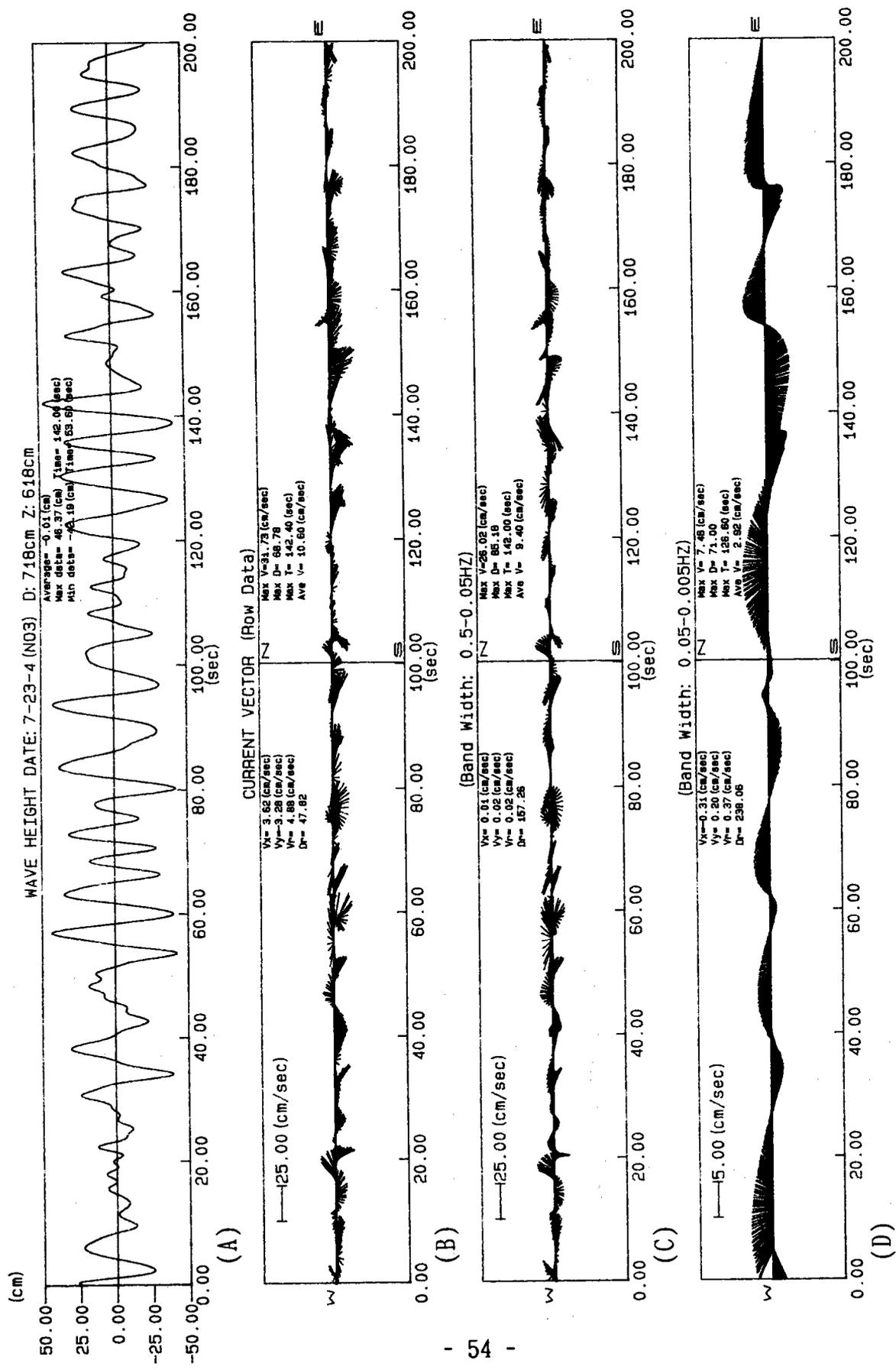


圖 2-6(c) 測點No.3波浪及水流向量速度延時變化(N0.3測椿)

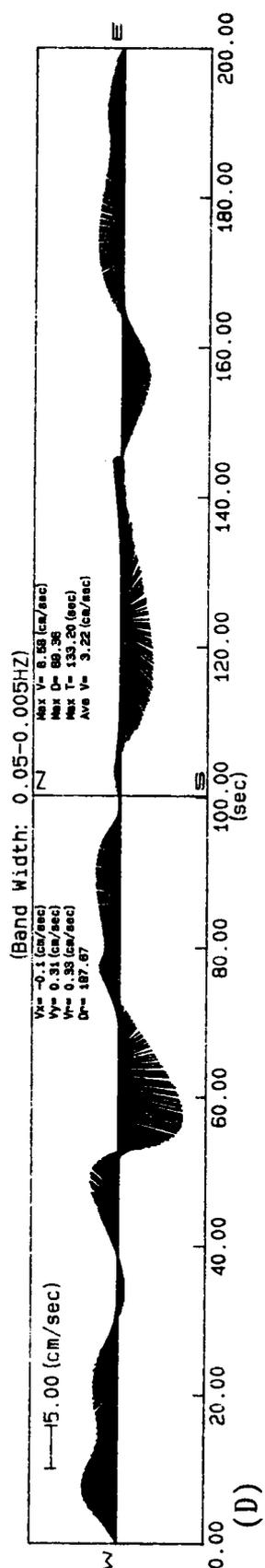
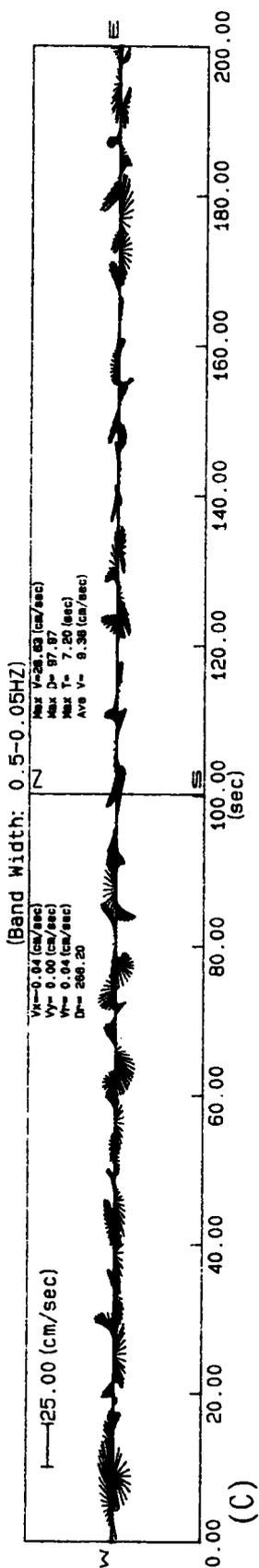
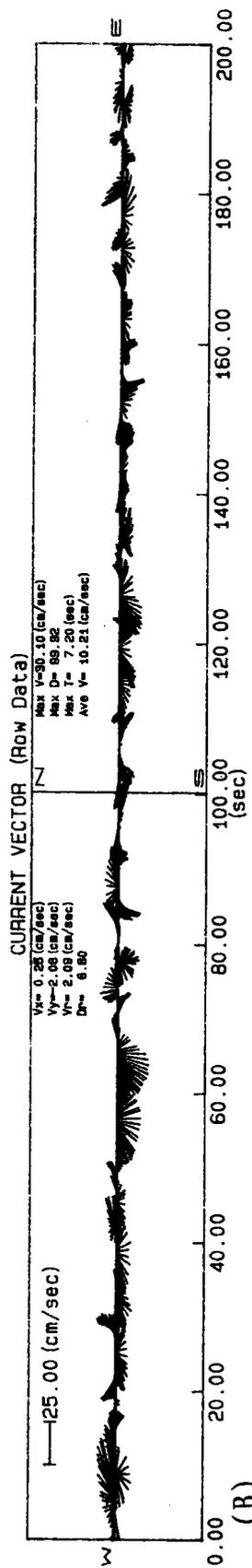
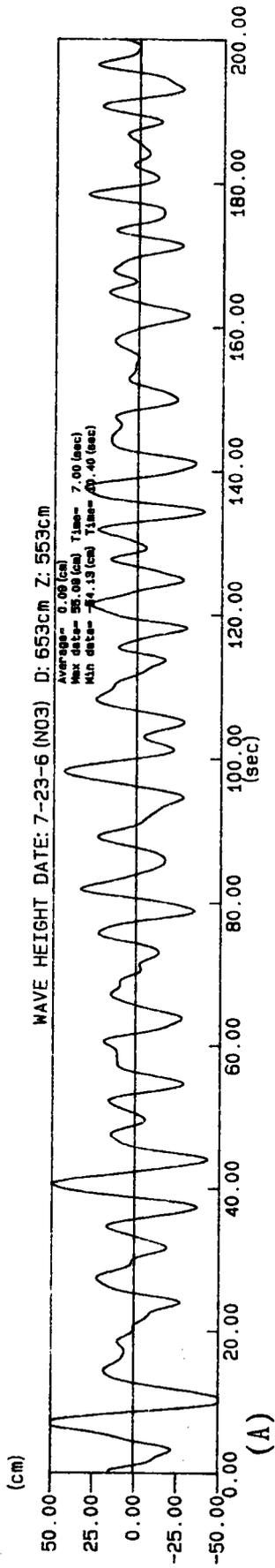


圖 2-6(d) 測點 No. 3 波浪及水流向量速度延時變化 (No. 3 測槽)

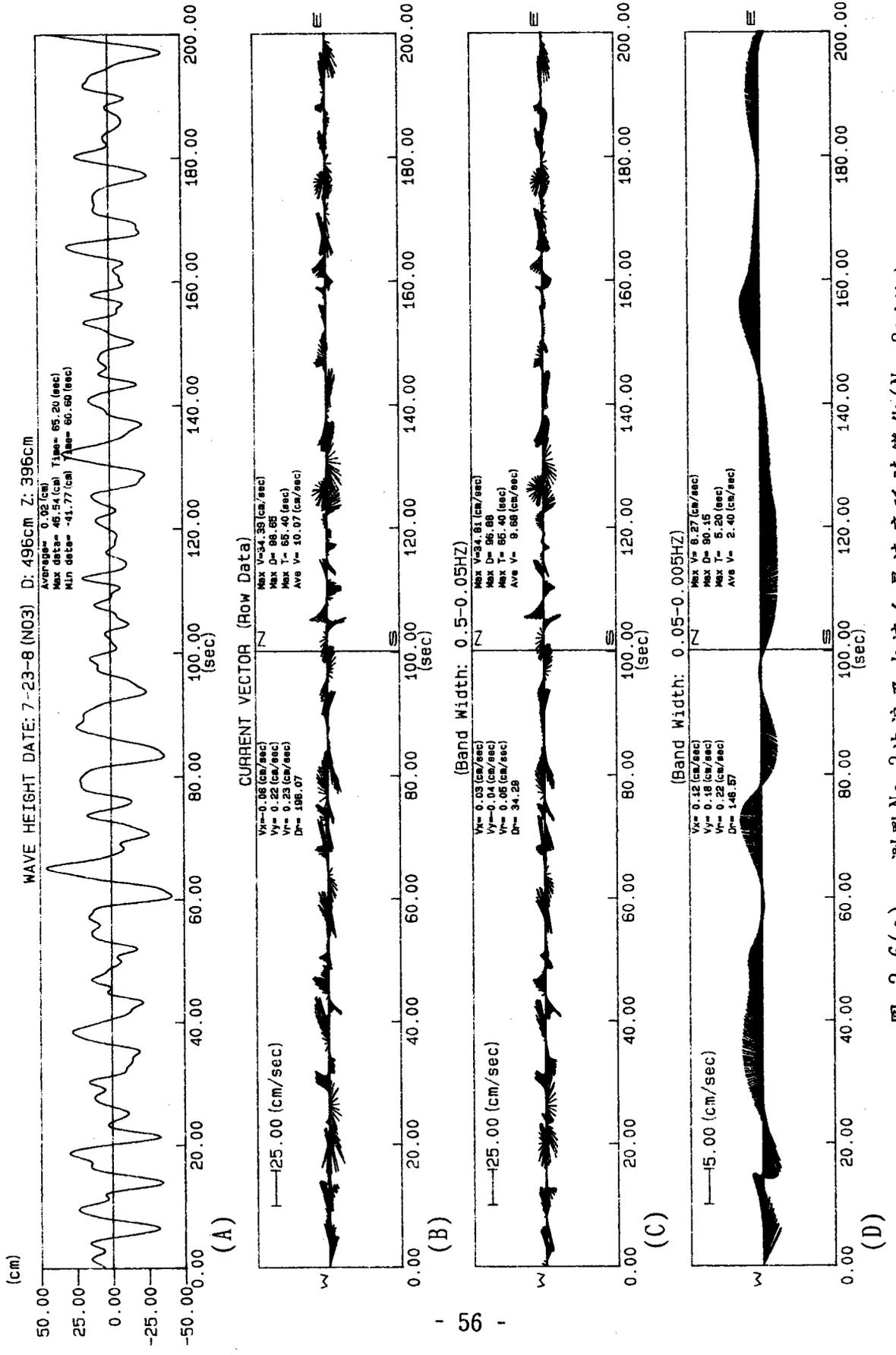


圖 2-6(e) 測點No.3波浪及水流向量速度延時變化(N0.3測格)

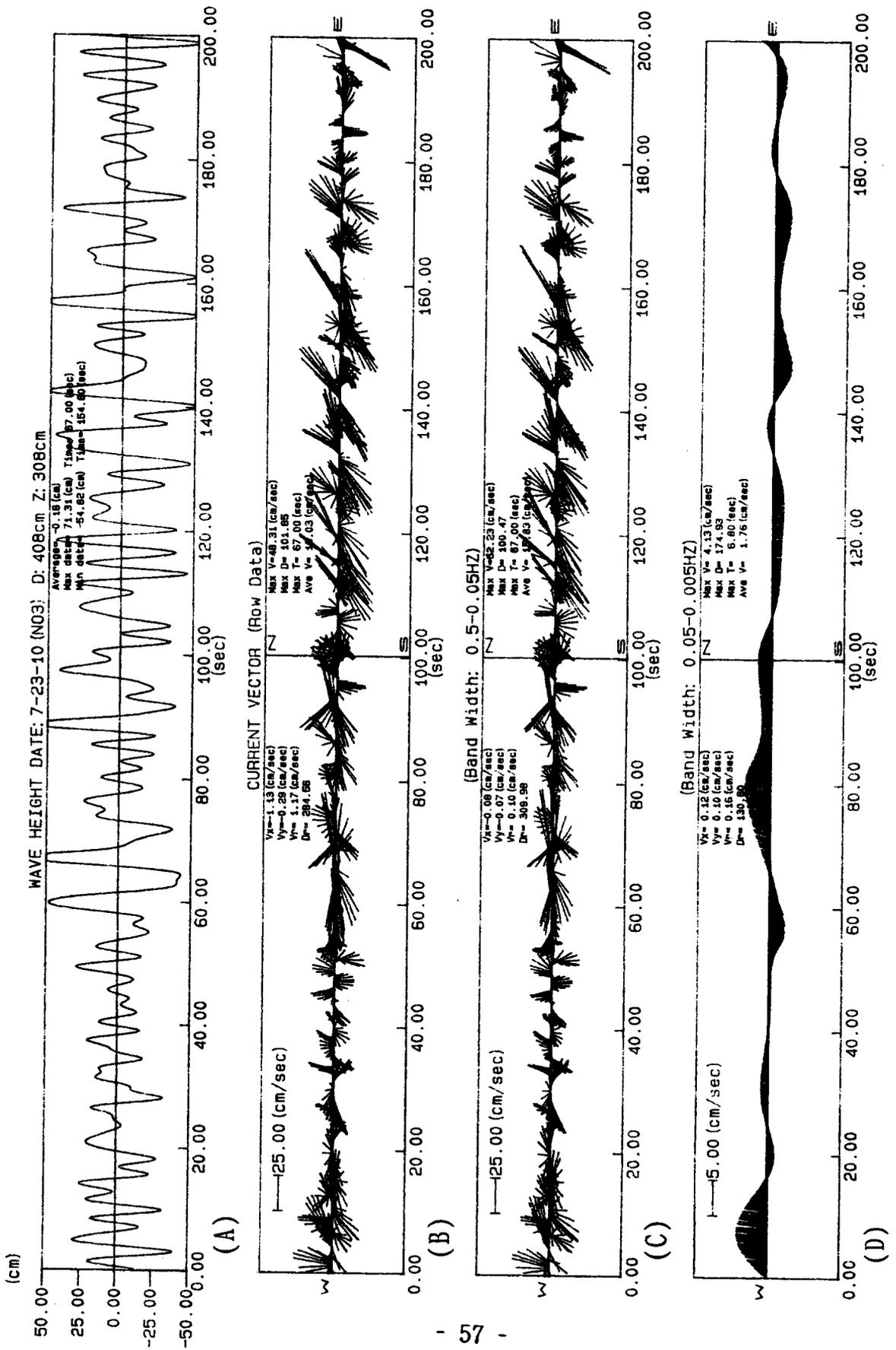


圖 2-6(f) 測點No.3波浪及水流量速度延時變化(No.3測椿)

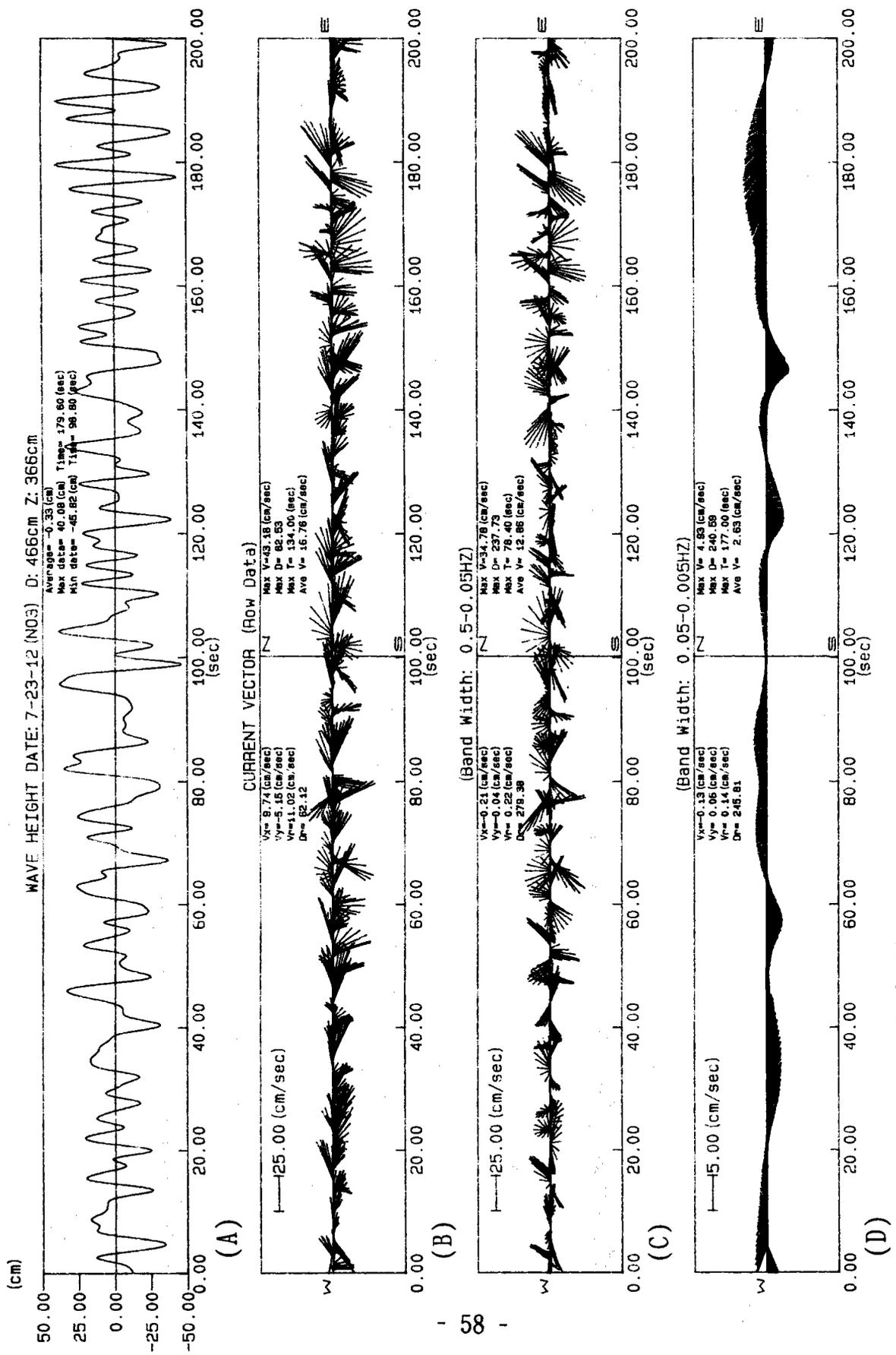


圖 2-6(g) 測點No.3波浪及水流向量速度延時變化(No.3測格)

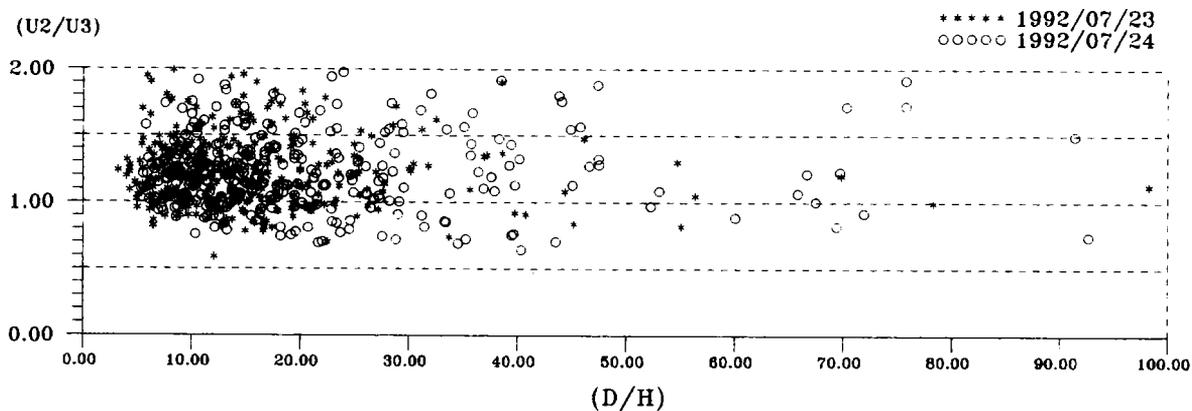
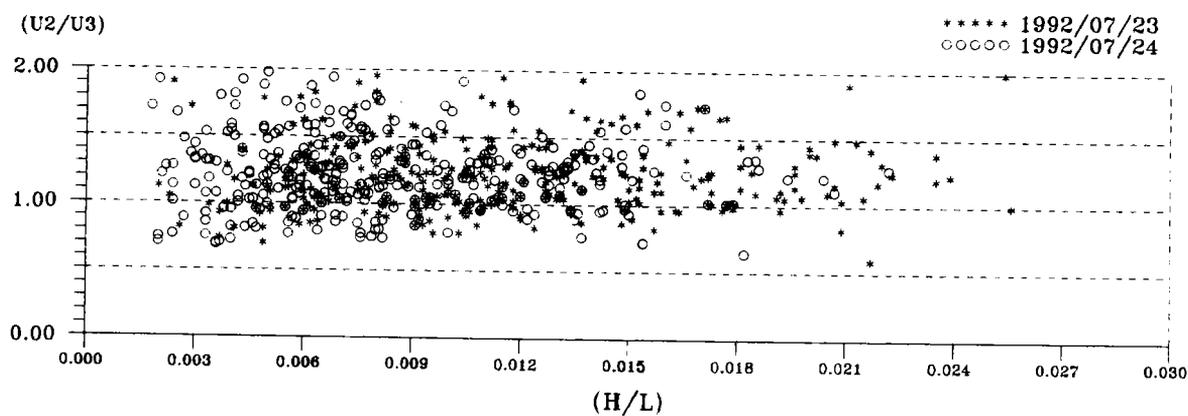
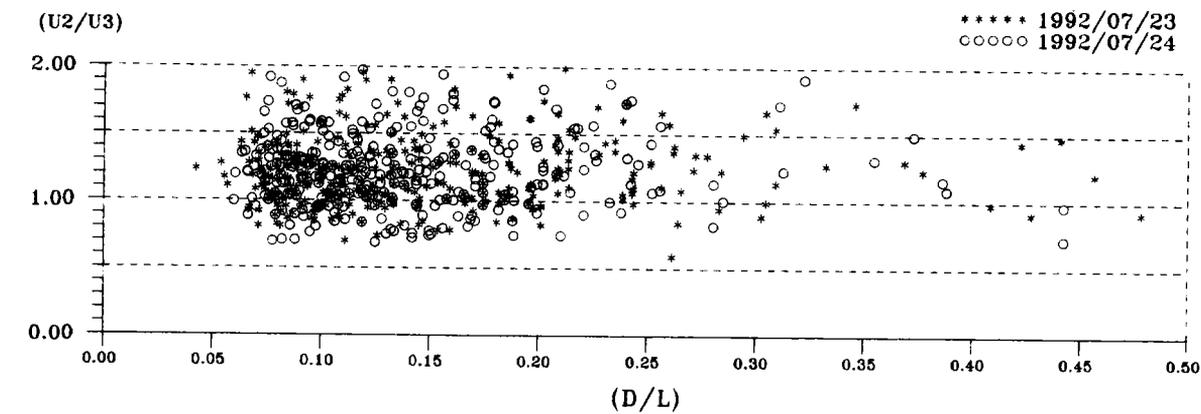


圖 2-7 No.2測格上、下層測點水粒子速度比值與D/L, H/L及D/H之關係

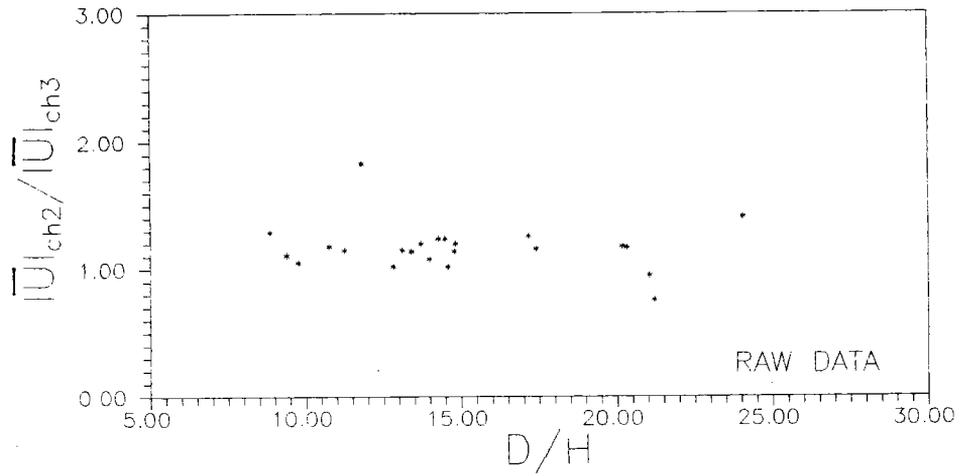


圖 2-8(a) No.2測樁上、下層測點平均水粒子速度純量比值與D/H之關係

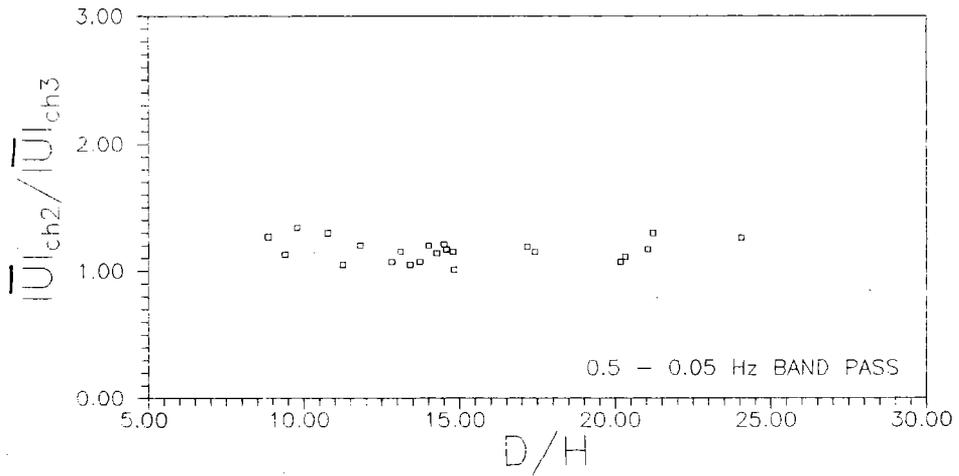


圖 2-8(b) No.2測樁上、下層測點平均水粒子速度純量比值與D/H之關係

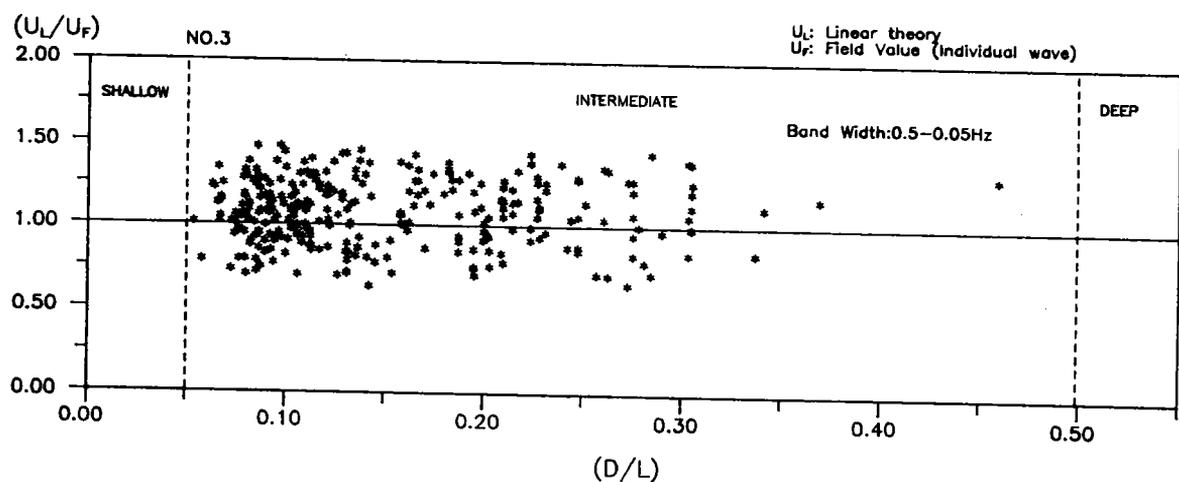
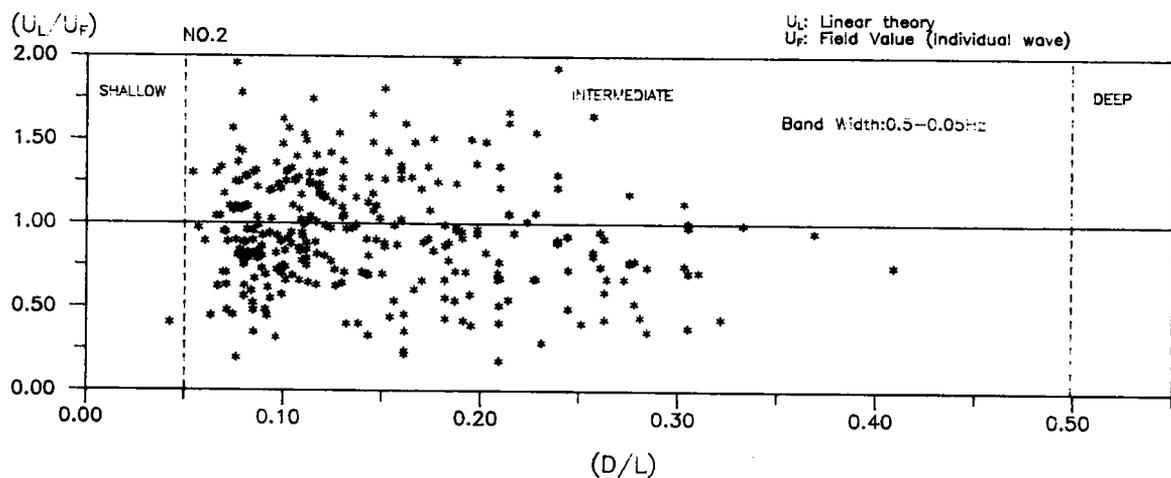
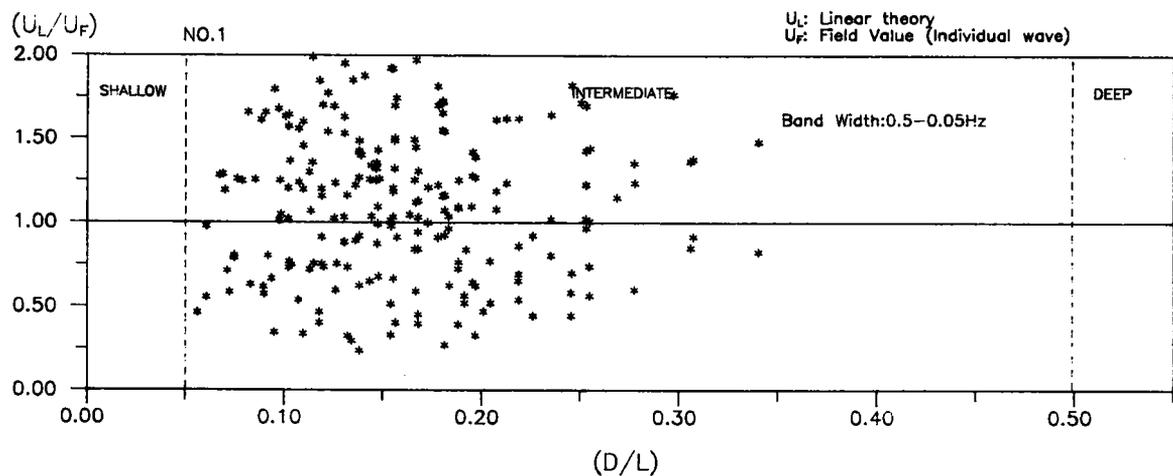


圖 2-9 水粒子速度線性計算值與實測值之比 U_L/U_F 與 D/L 之關係

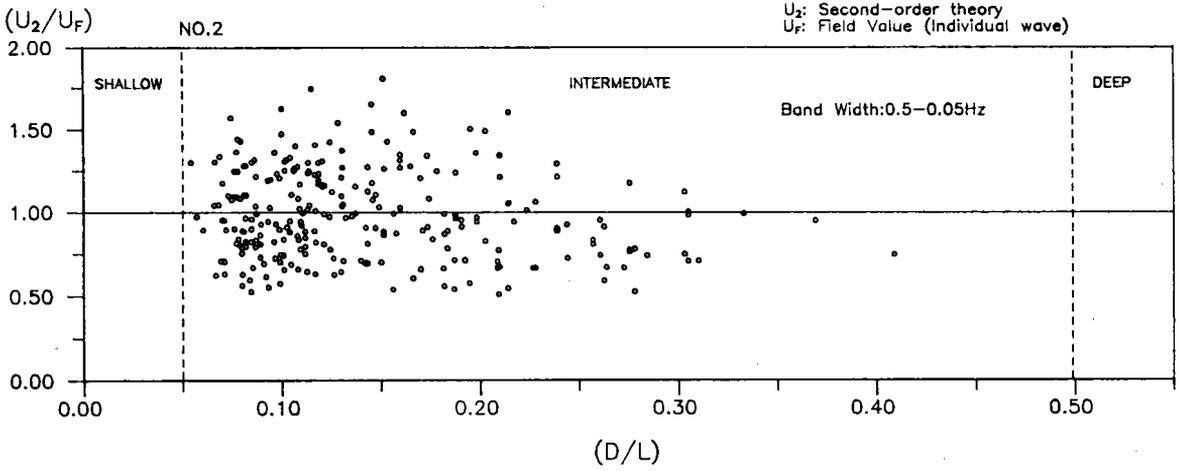
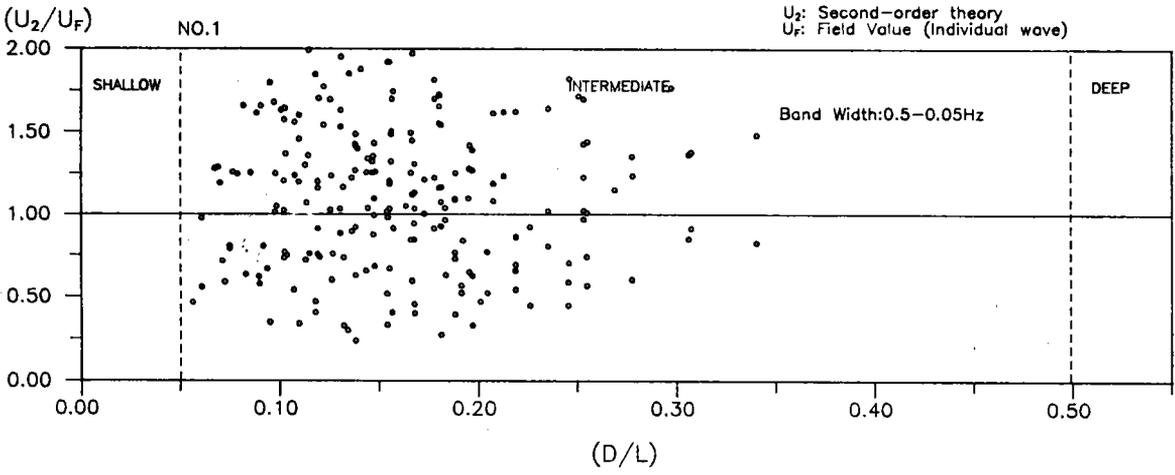


圖 2-10 水粒子速度二階非線性計算值與實測值之比 U_2/U_f 與 D/L 之關係

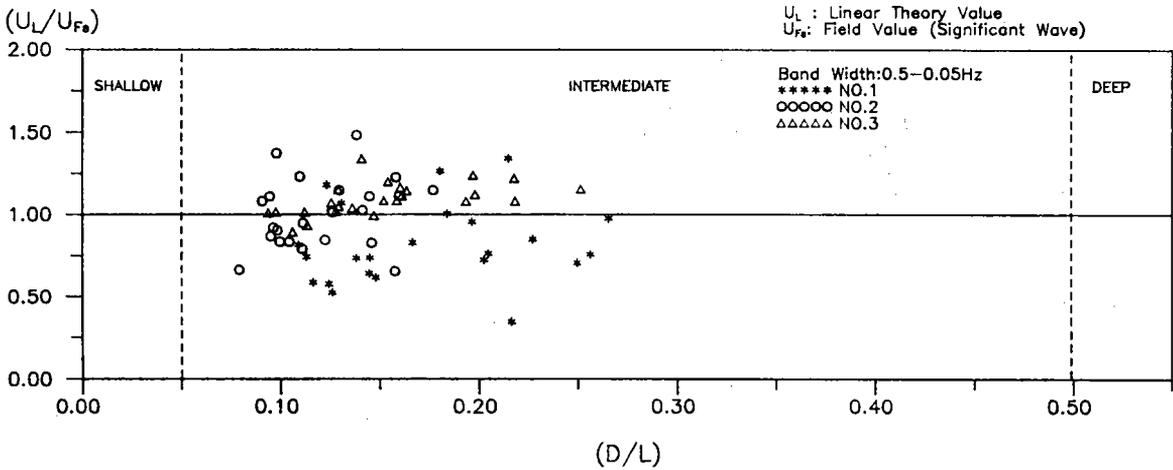


圖 2-11 示性波水粒子速度線性計算值與實測值之比 U_s/U_{fs} 與 D/L 之關係

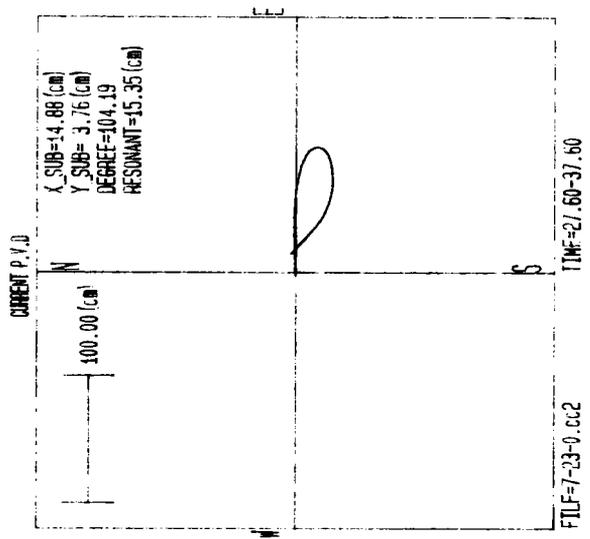
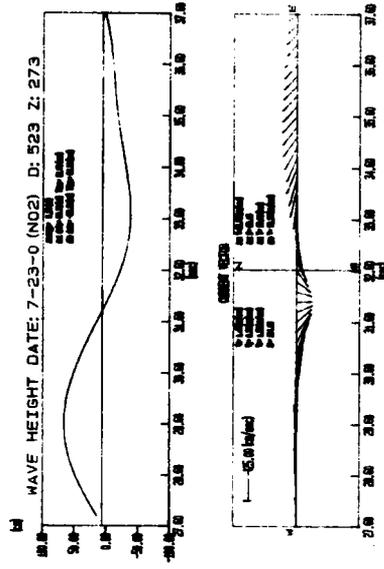
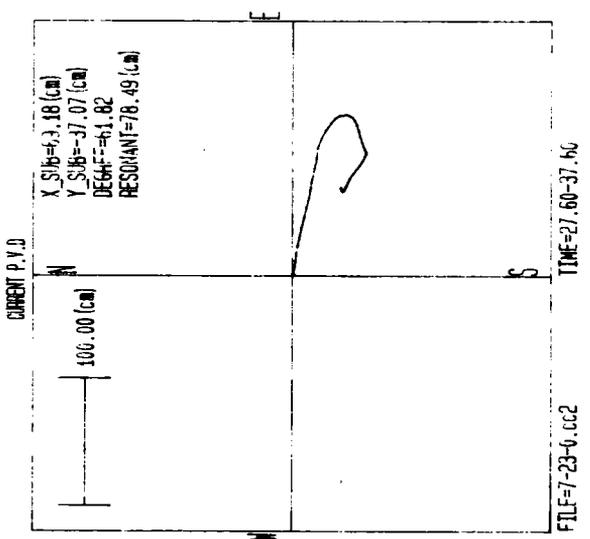
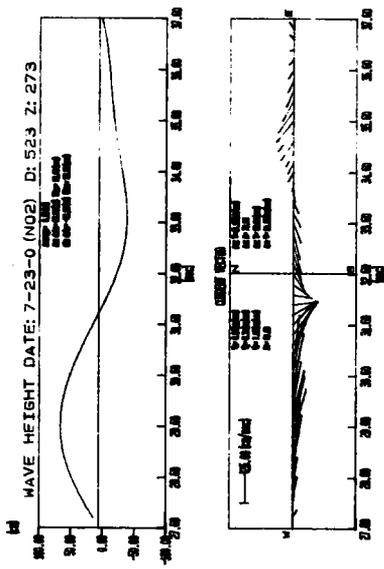


圖 2-12(a) 測點No.2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

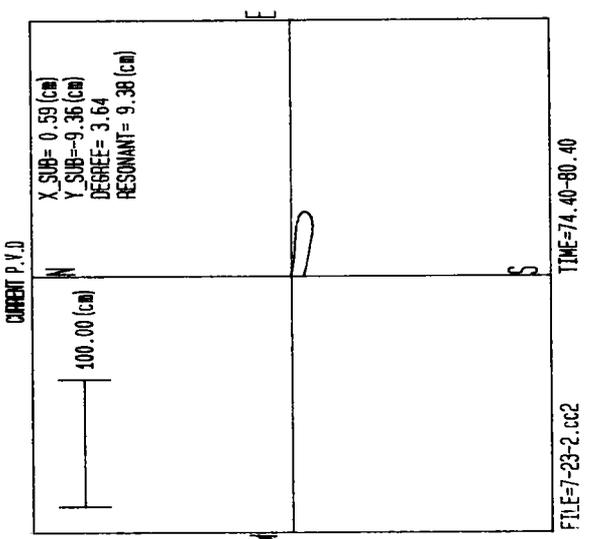
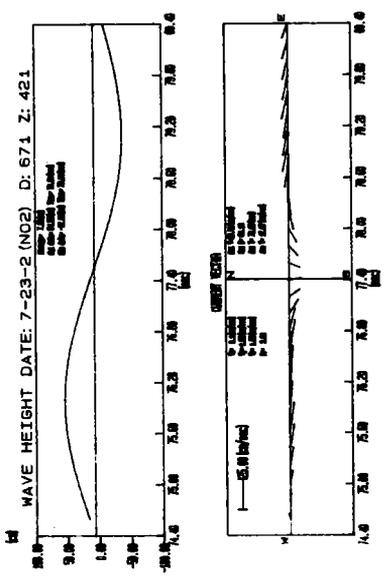
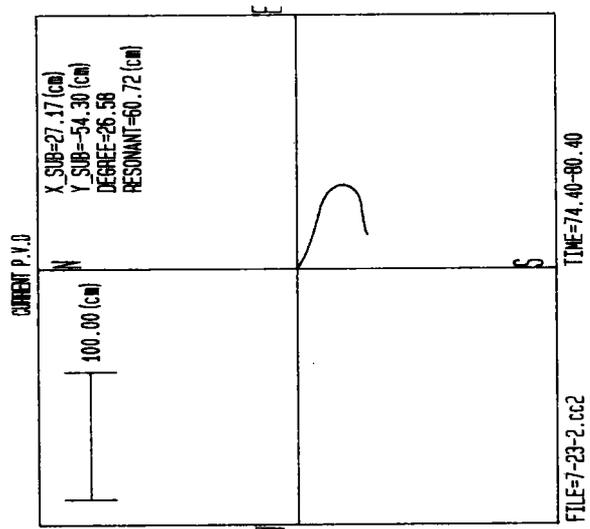
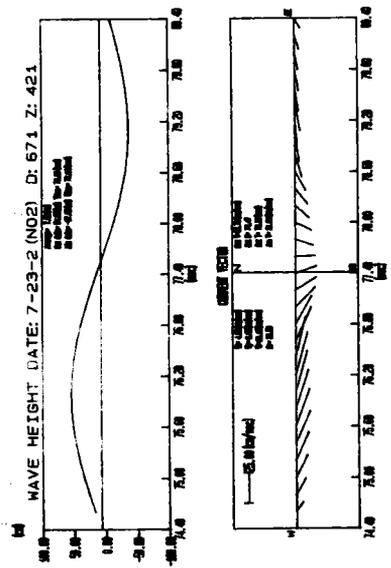


圖 2-12(b) 測點No.2 波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

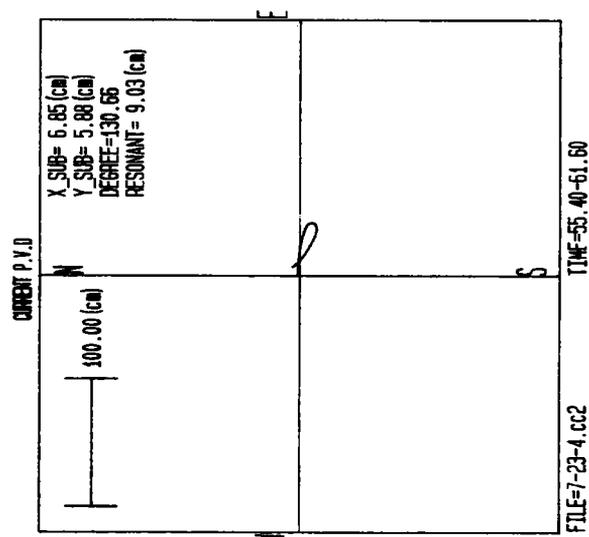
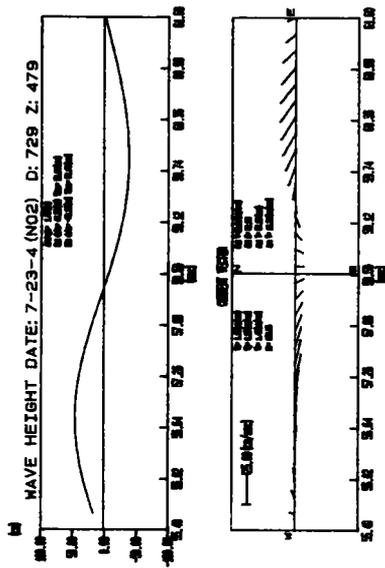
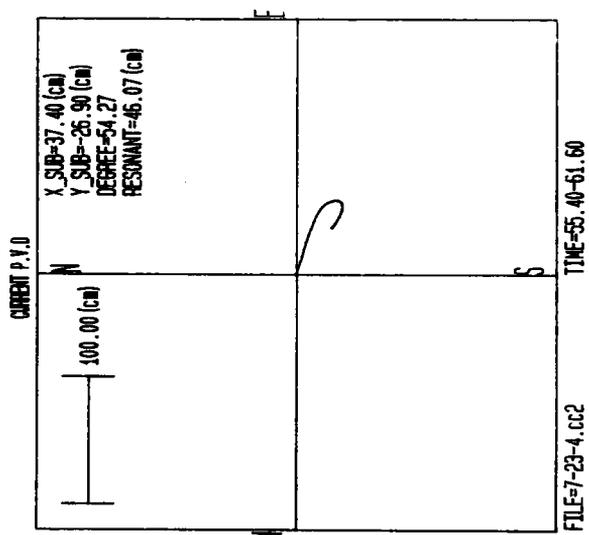
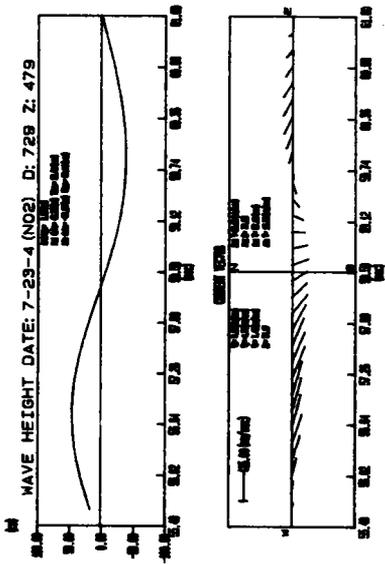


圖 2-12(c) 測點No.2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

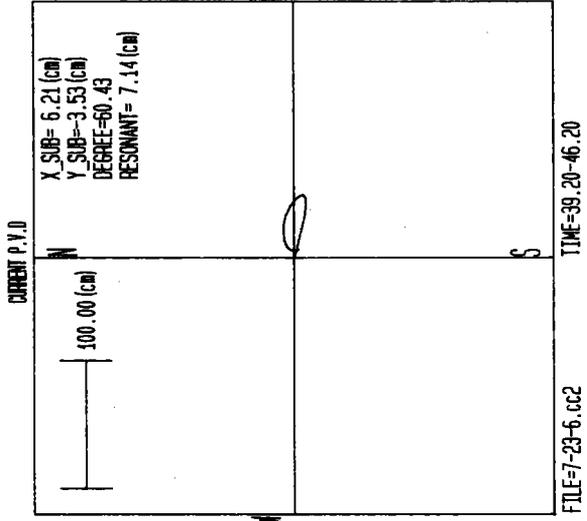
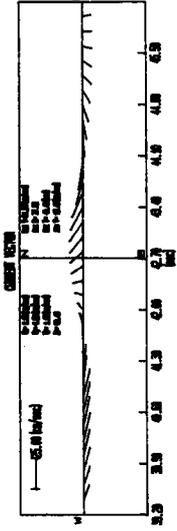
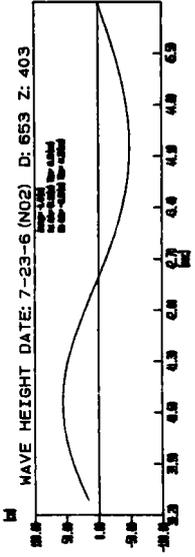
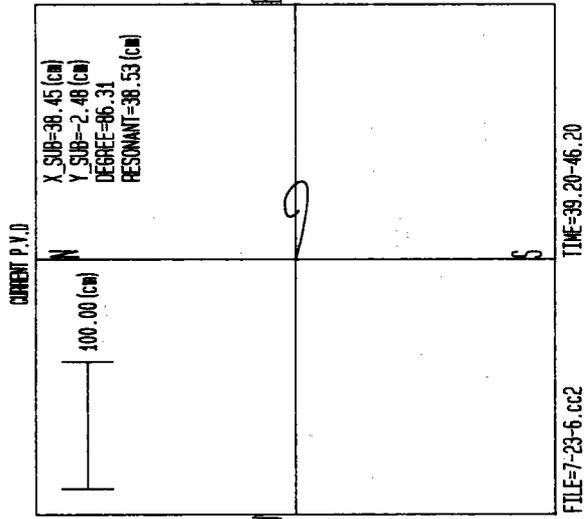
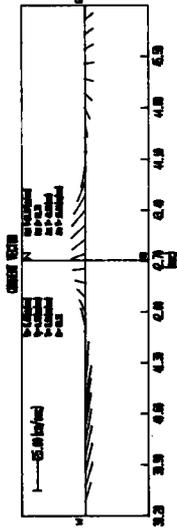
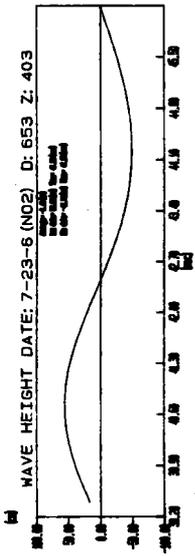


圖 2-12(d) 測點No.2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

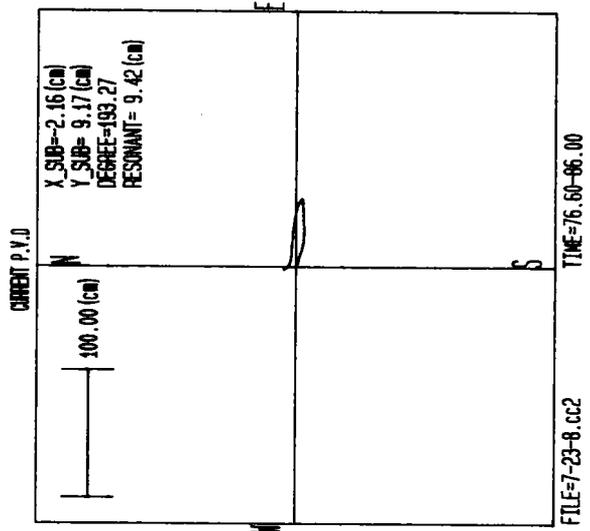
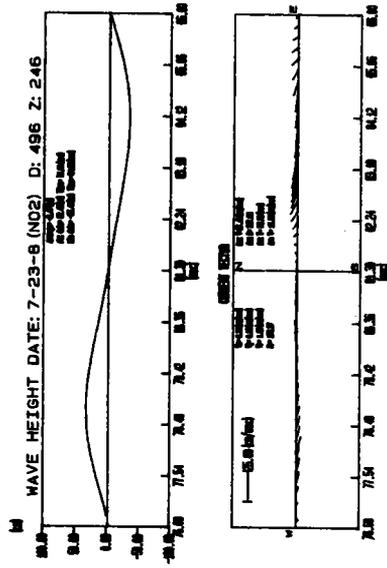
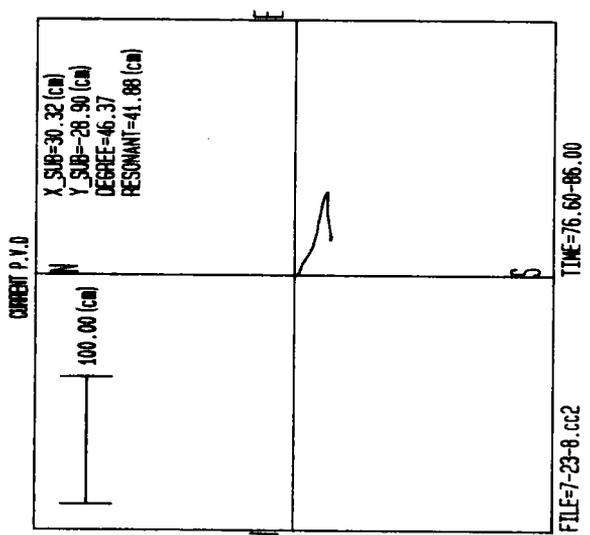
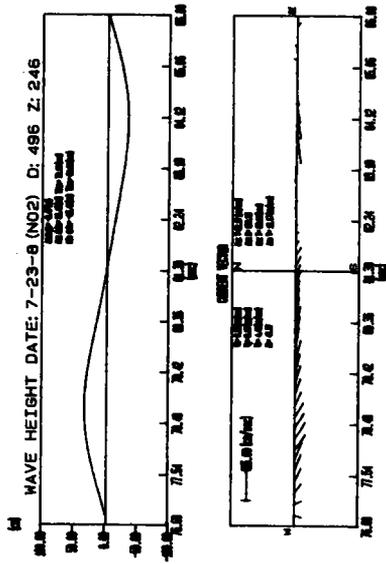


圖 2-12(e) 測點No.2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

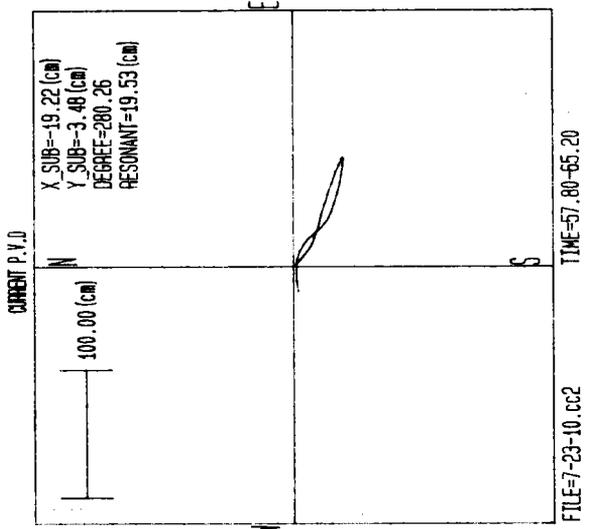
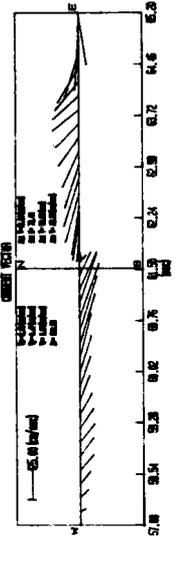
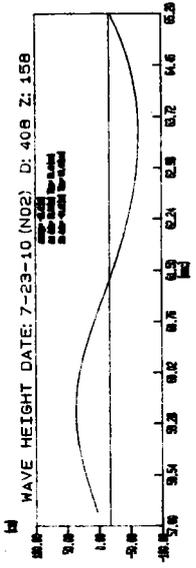
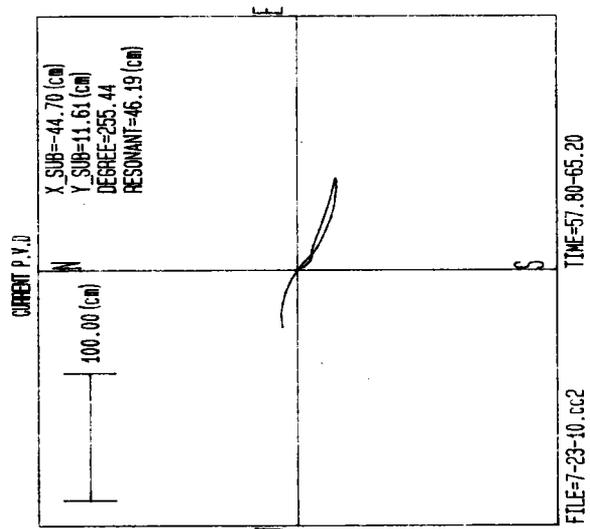
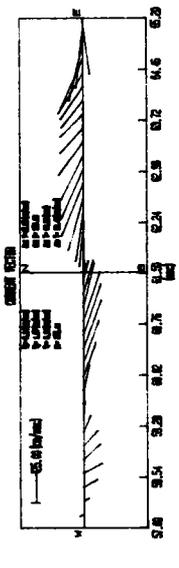
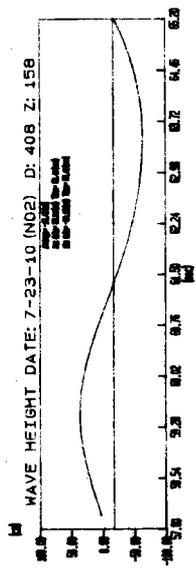


圖 2-12(f) 測點No.2波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

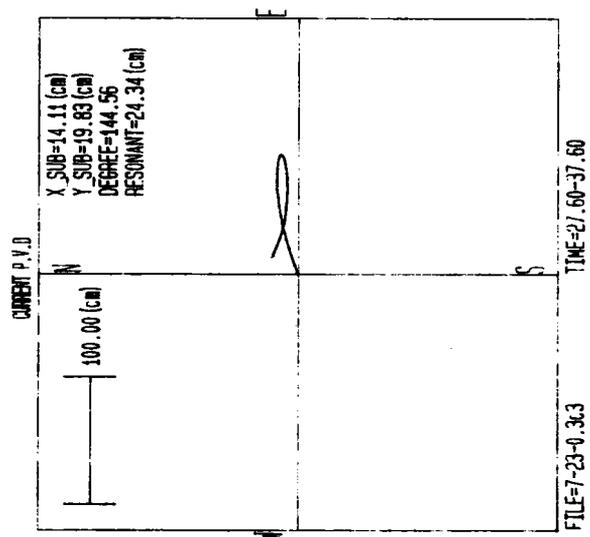
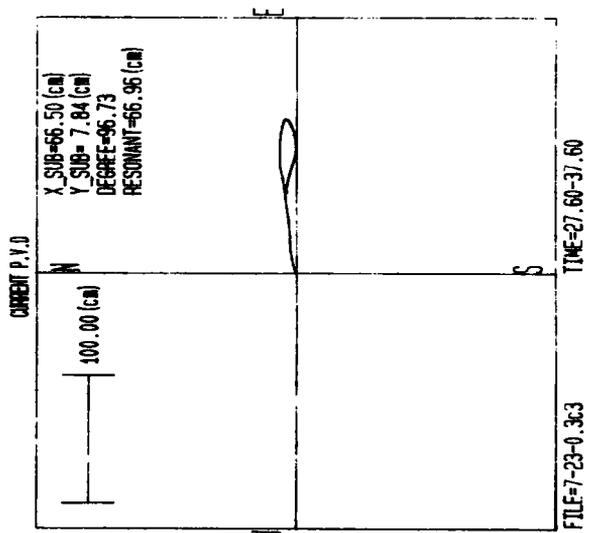
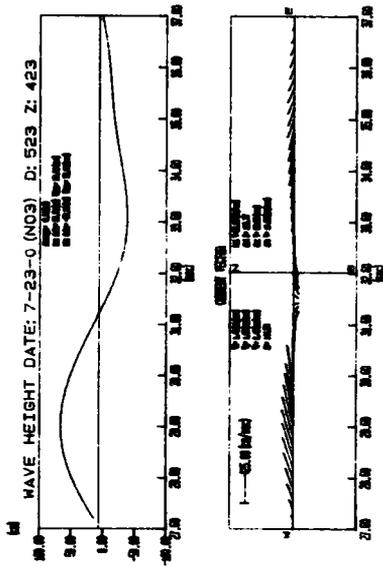
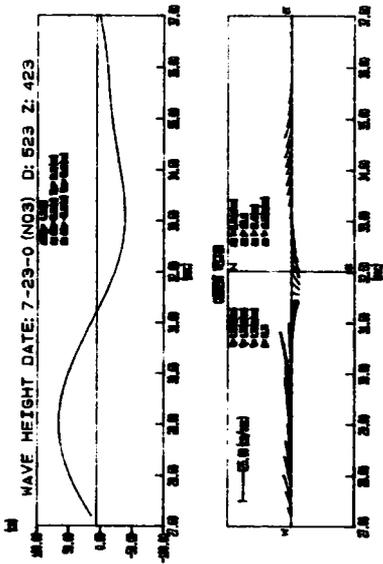


圖 2-13(a) 測點No.3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

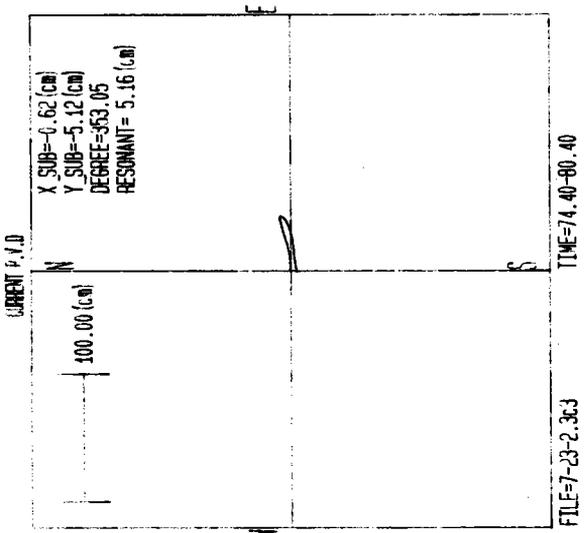
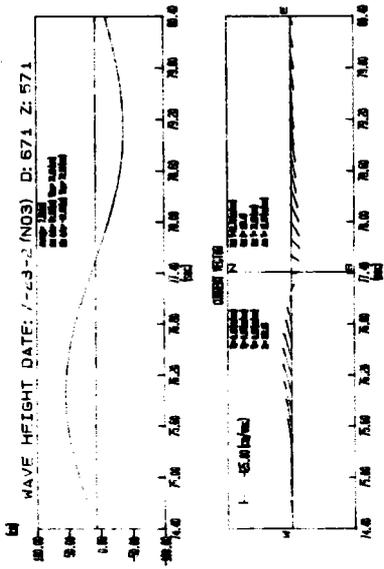
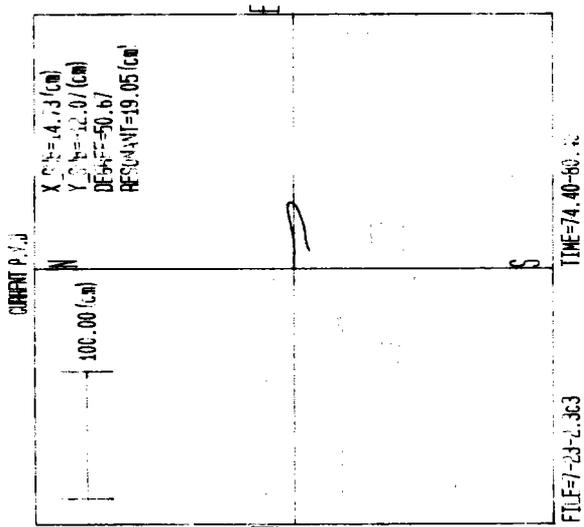
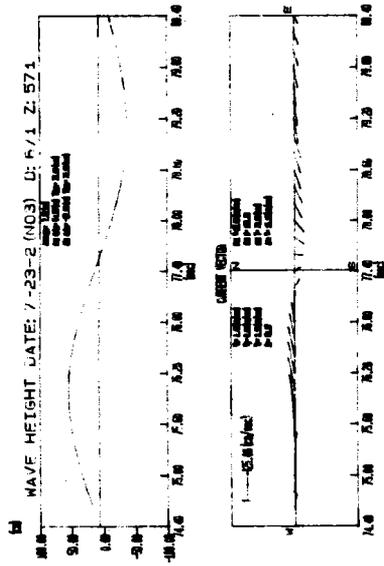


圖 2-13(b) 測點No.3 波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

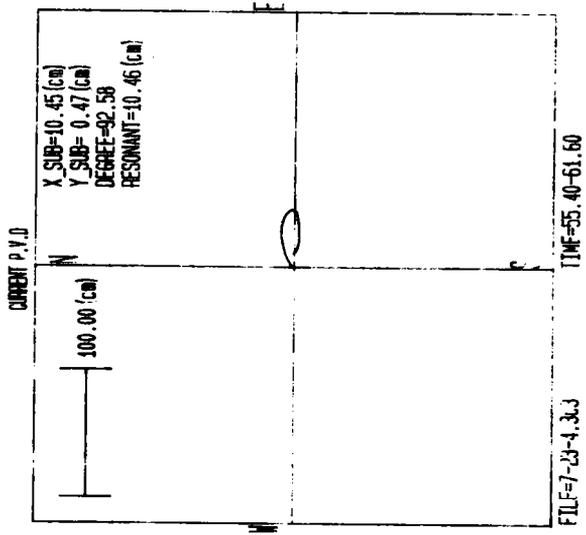
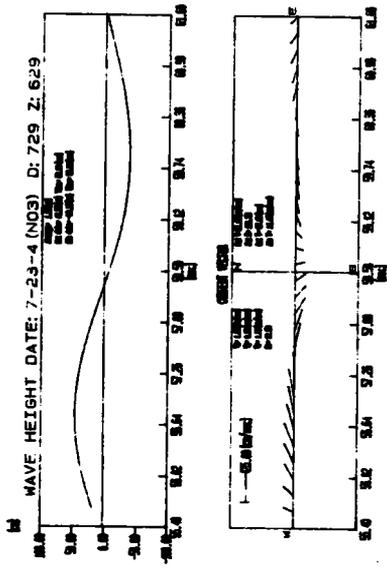
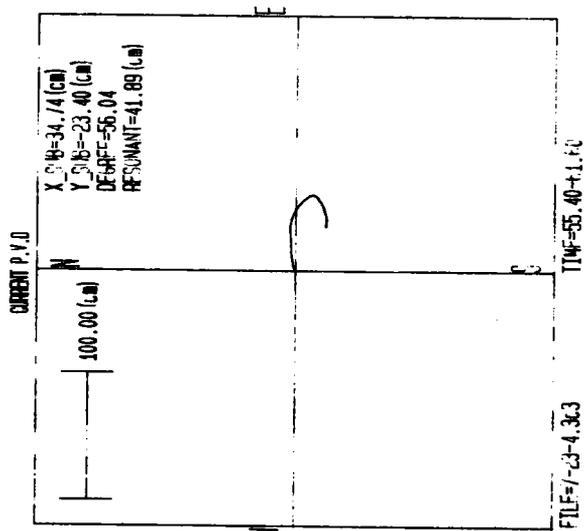
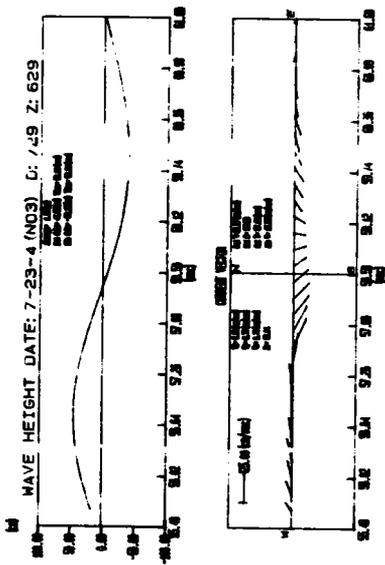


圖 2-13(c) 測點 No. 3 波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

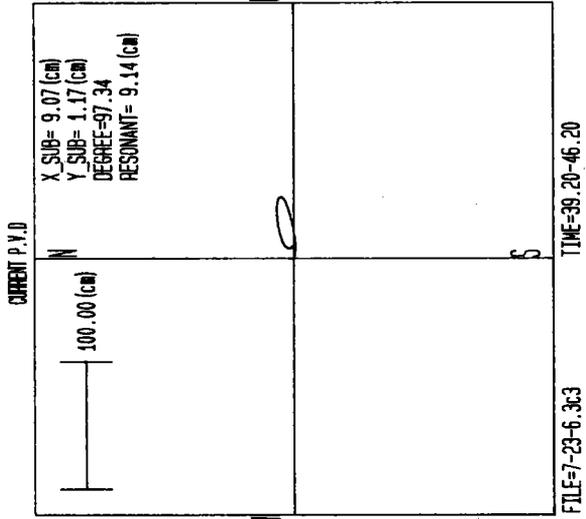
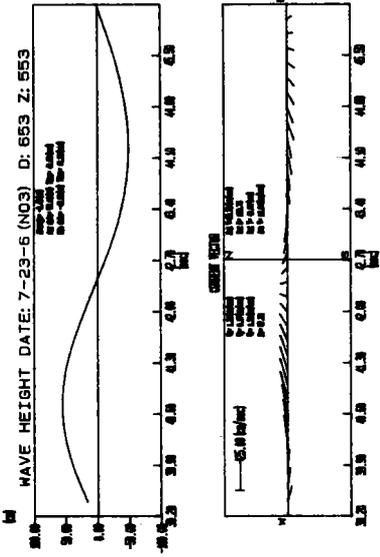
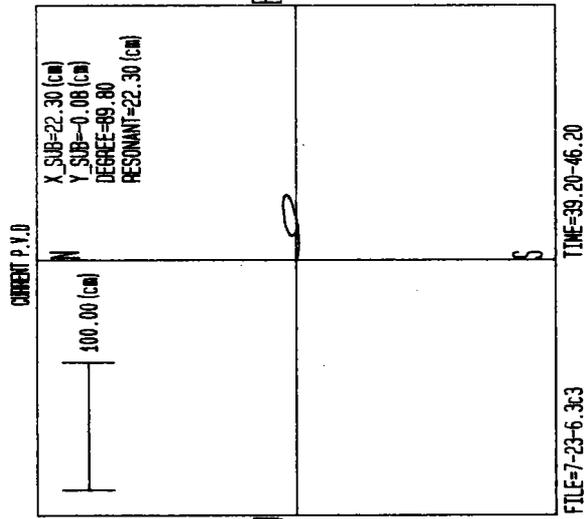
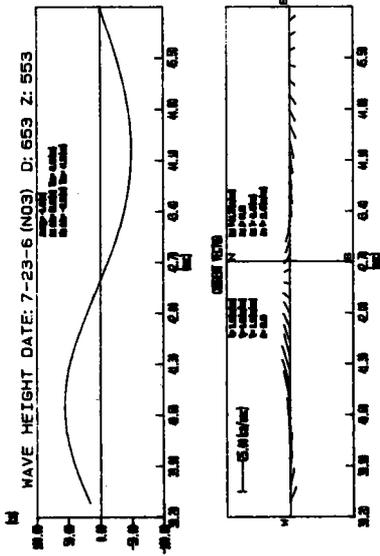


圖 2-13(d) 測點No.3波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

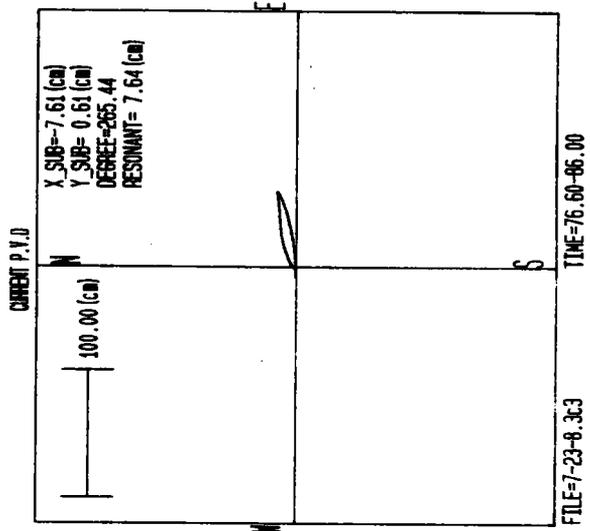
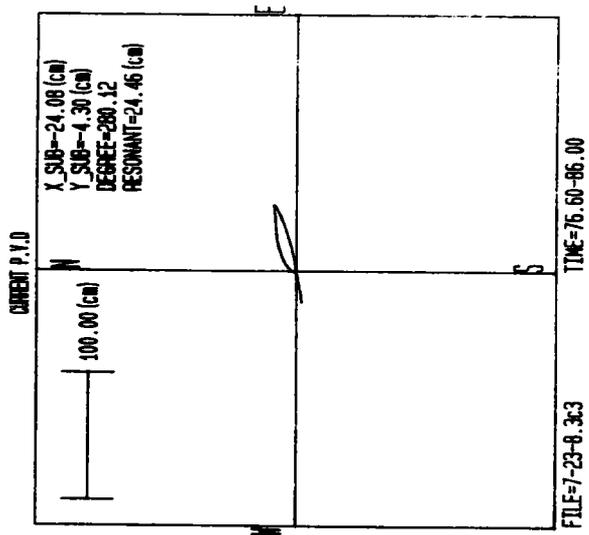
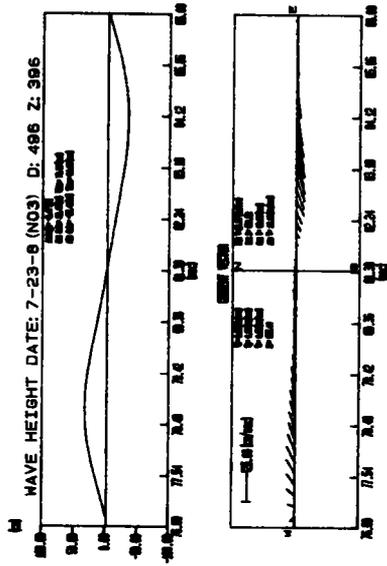
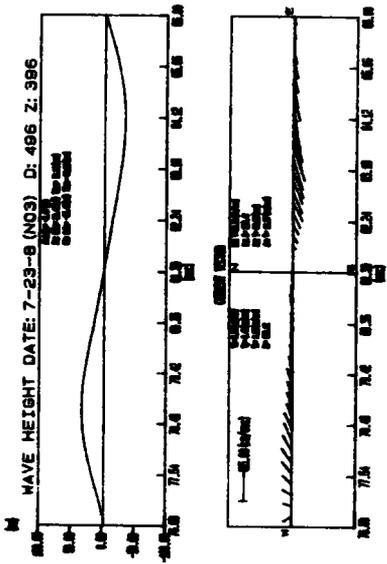


圖 2-13(e) 測點No.3 波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

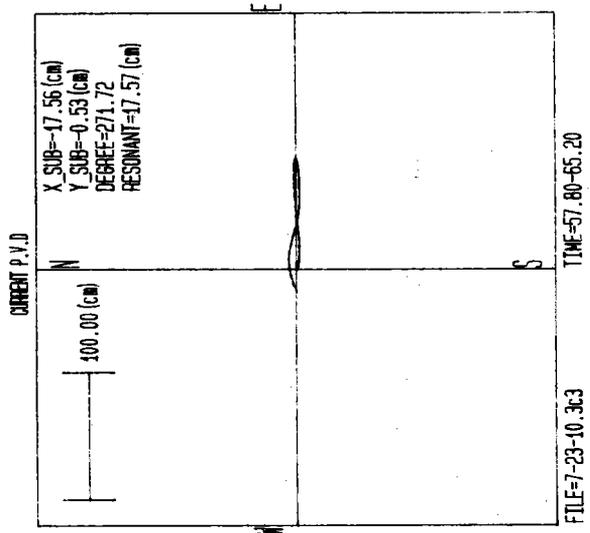
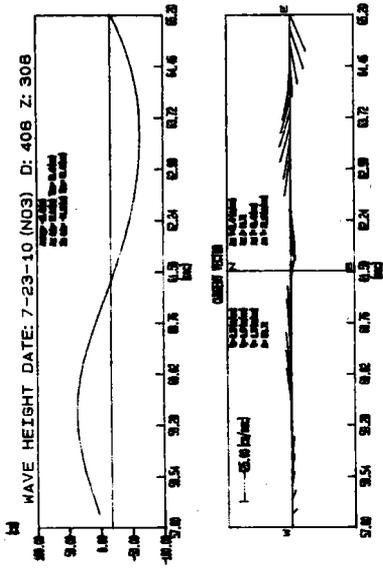
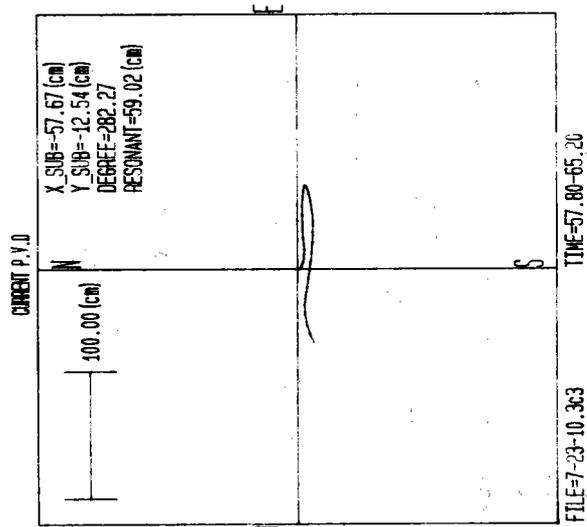
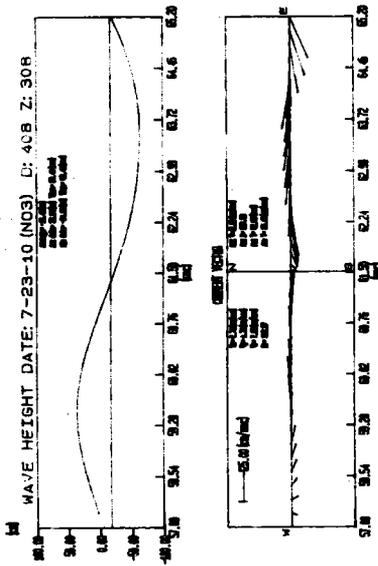


圖 2-13(f) 測點 No. 3 波形與相對應水粒子向量速度及運動軌跡

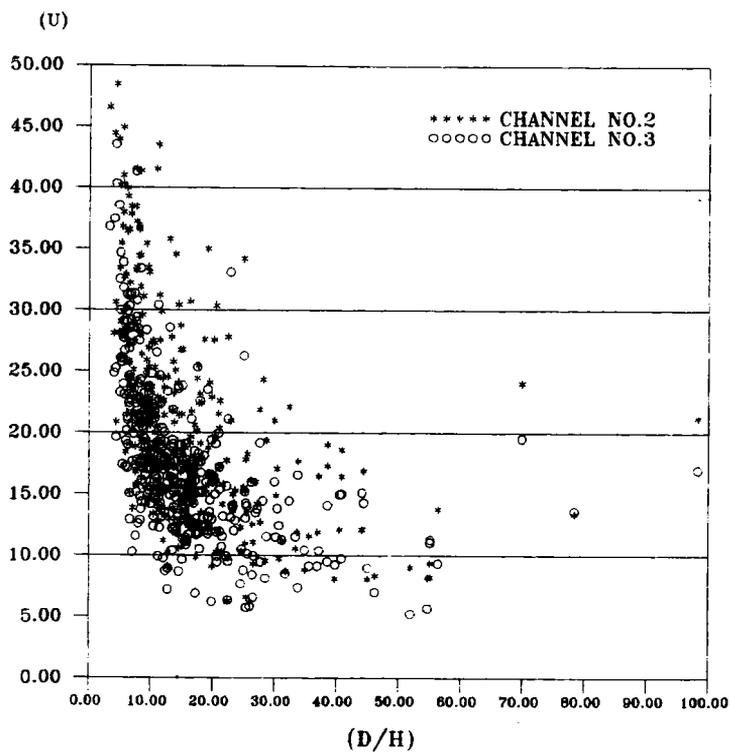


圖 2-14 實測水粒子速度與相對應水深參數 D/H 之關係

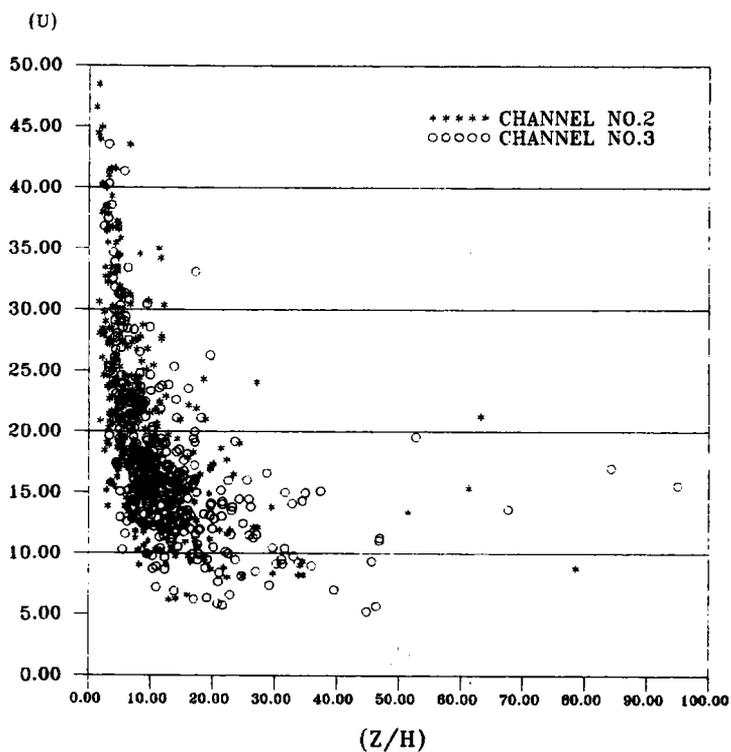


圖 2-15 實測水粒子速度與相對應水深參數 Z/H 之關係

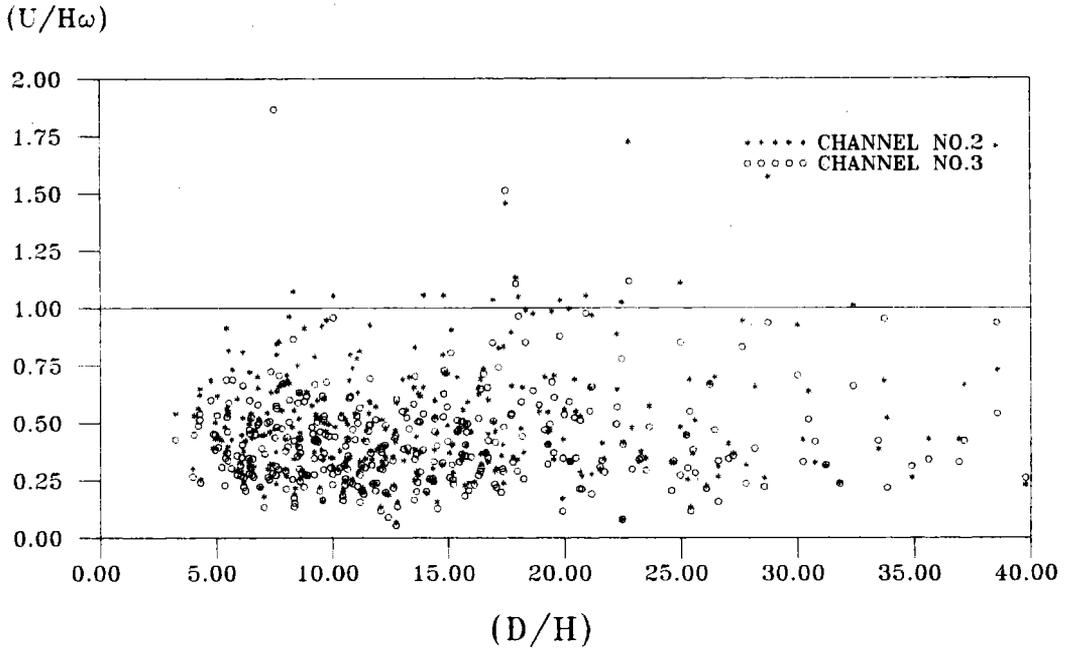


圖 2-16 個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與相對應測站水深 D/H 之關係

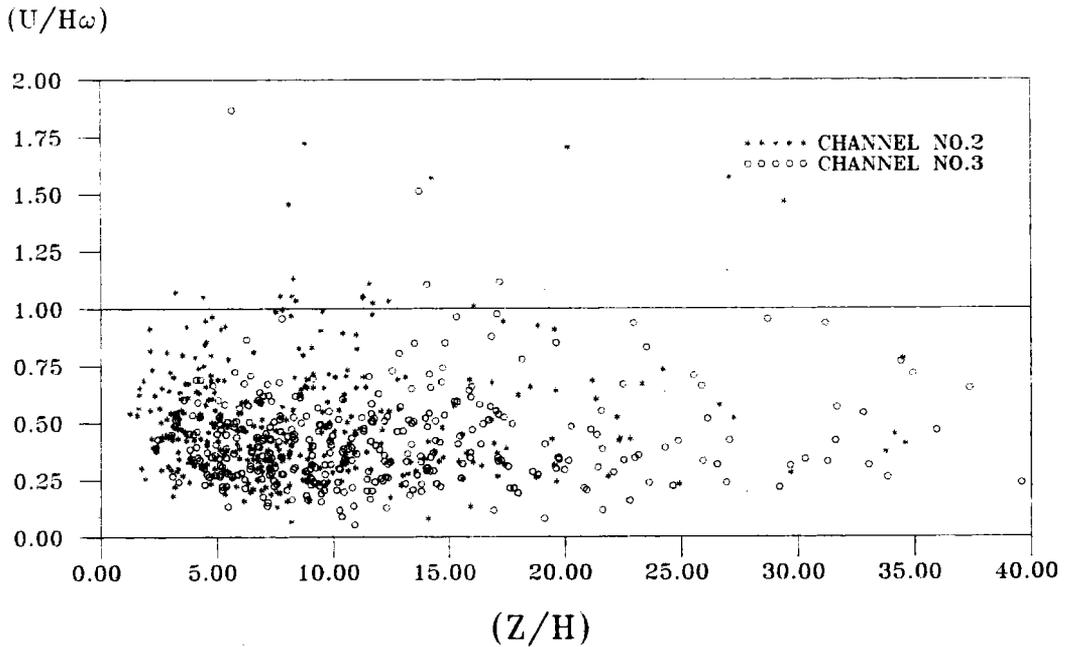


圖 2-17 個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與相對應測點水深 Z/H 之關係

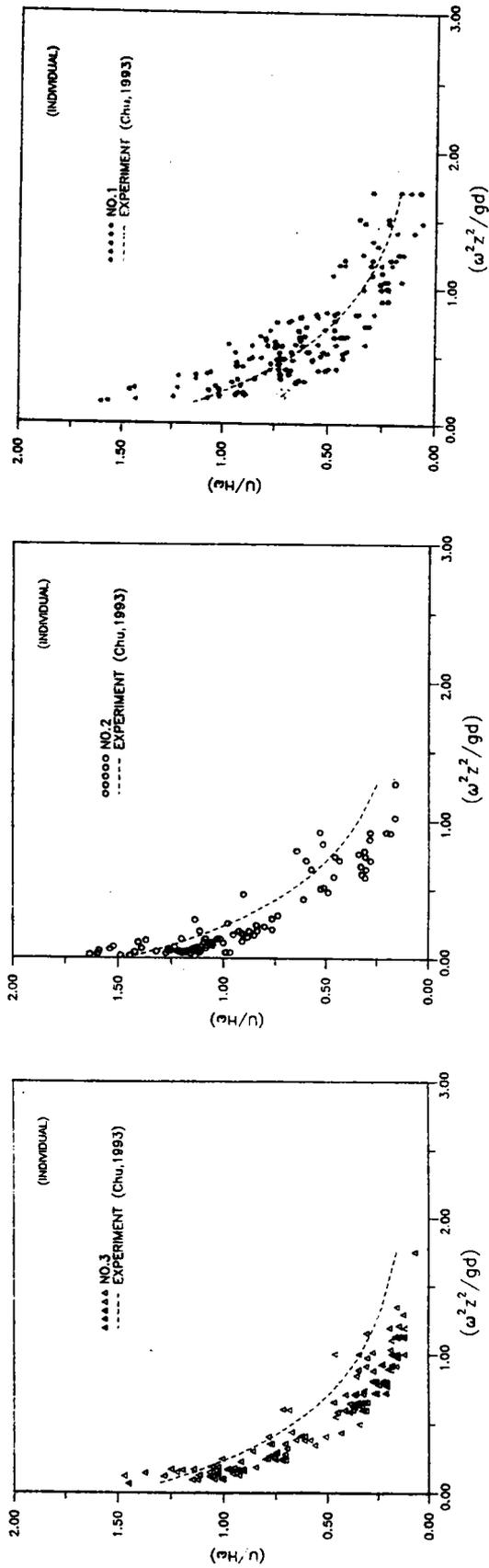


圖 2-18 個別測點個波水粒子速度轉換函數 U/H 與無因次參數 $\omega^2 z^2 / gd$ 之關係

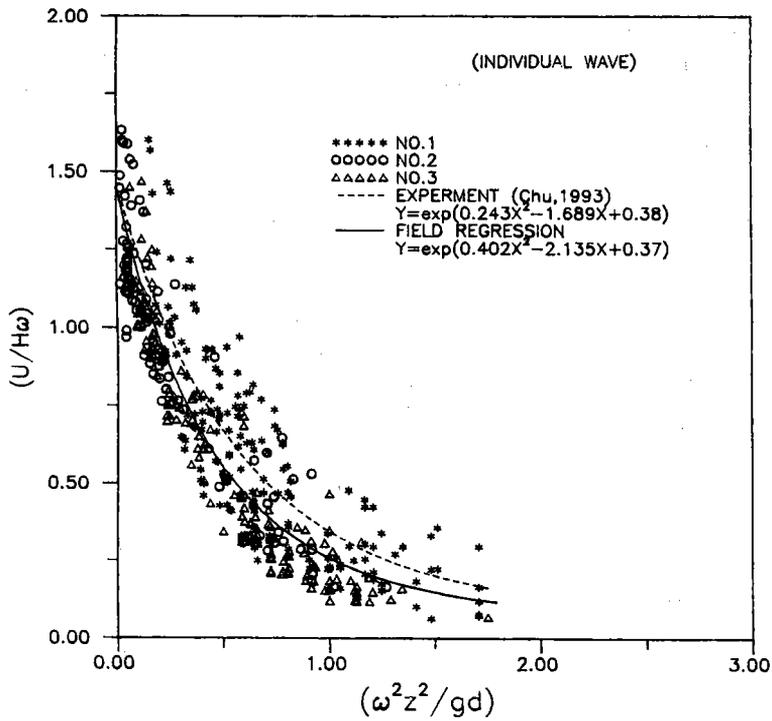


圖 2-19 三測點個別波水粒子速度轉換函數 $U/H\omega$ 與無因次參數 $\omega^2 z^2/gD$ 之關係

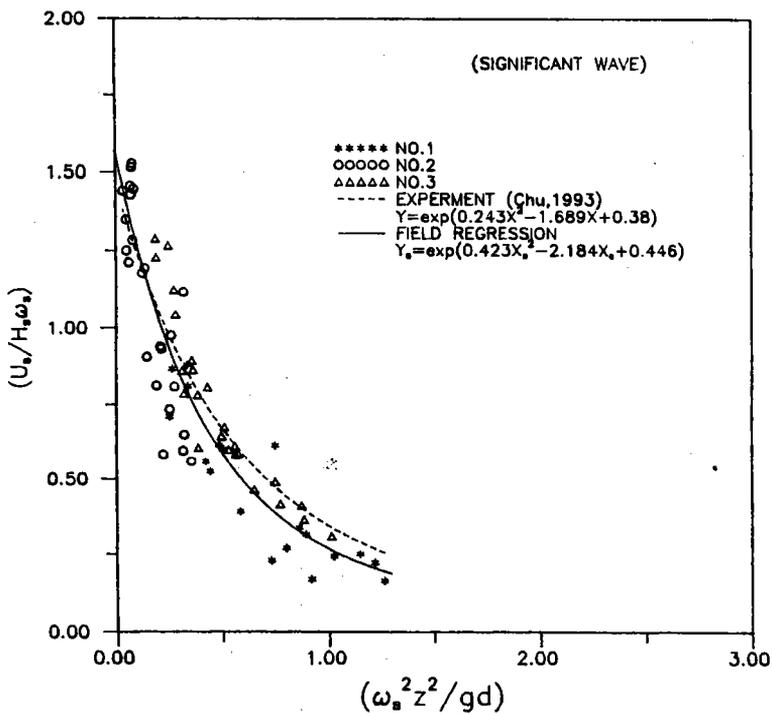


圖 2-20 三測點示性波水粒子速度轉換函數 $U_s/H_s\omega_s$ 與無因次參數 $\omega_s^2 z^2/gD$ 之關係

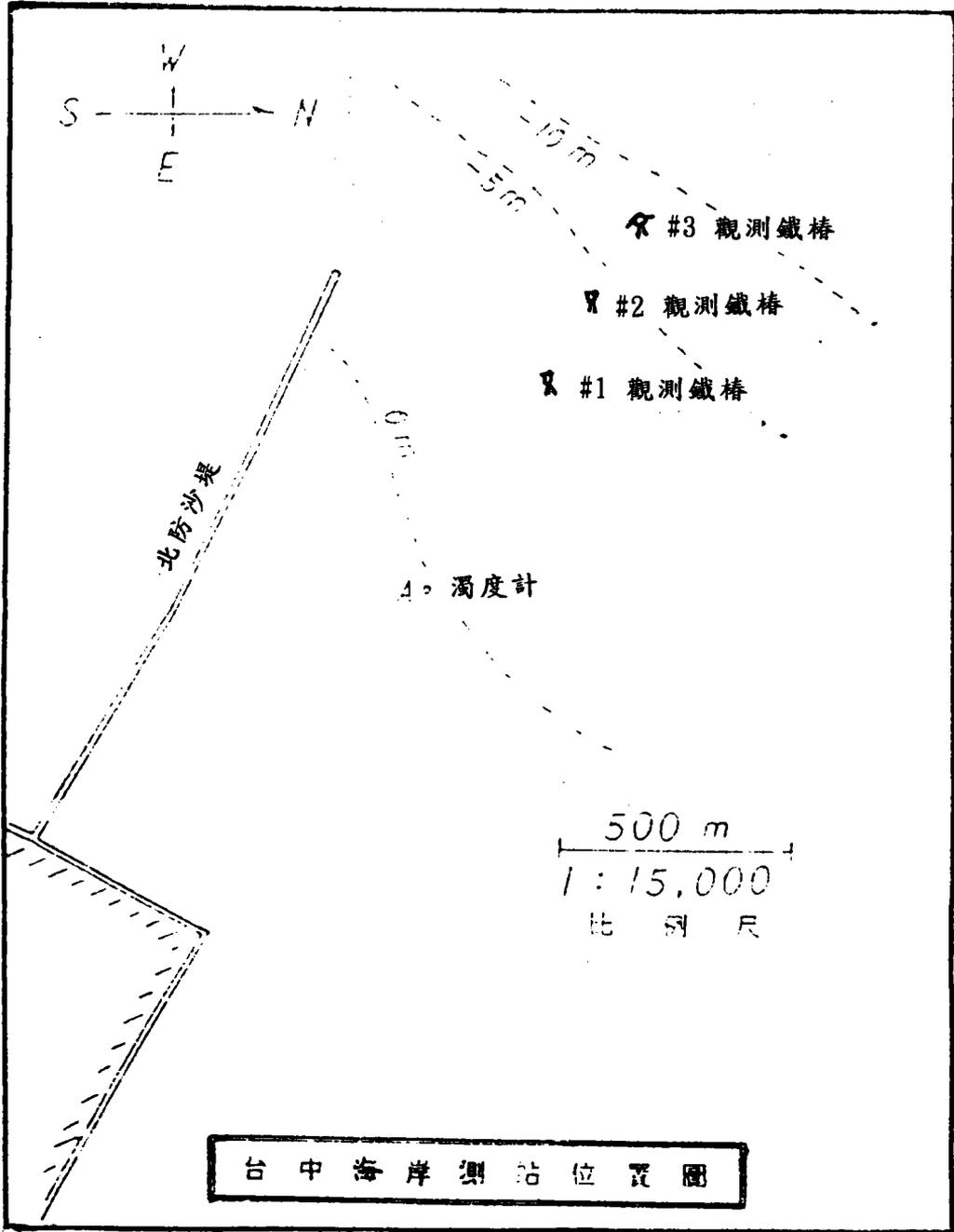


圖 3-1 觀測點設置位置示意圖

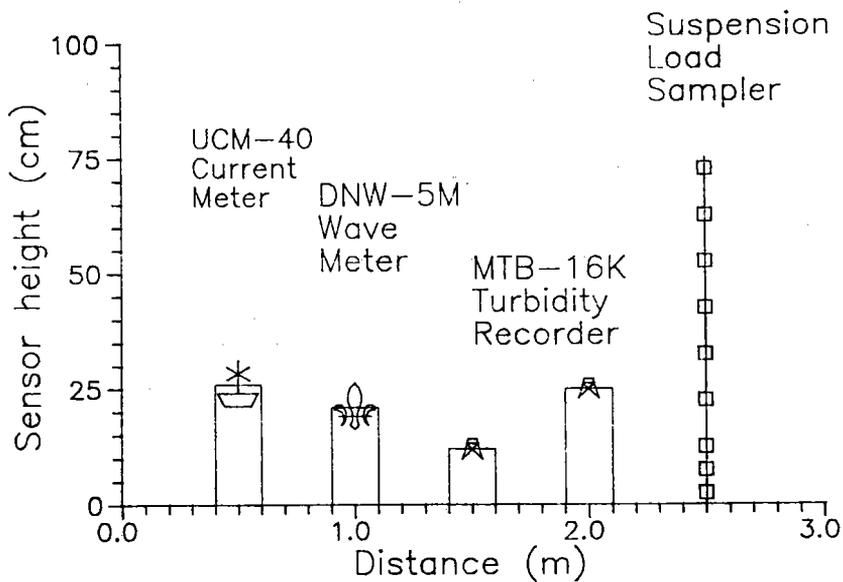


圖 3-2 濁度計、流速計、壓力式波高儀相對位置示意圖



圖 3-3 濁度計、流速計、壓力式波高儀相對位置照片圖

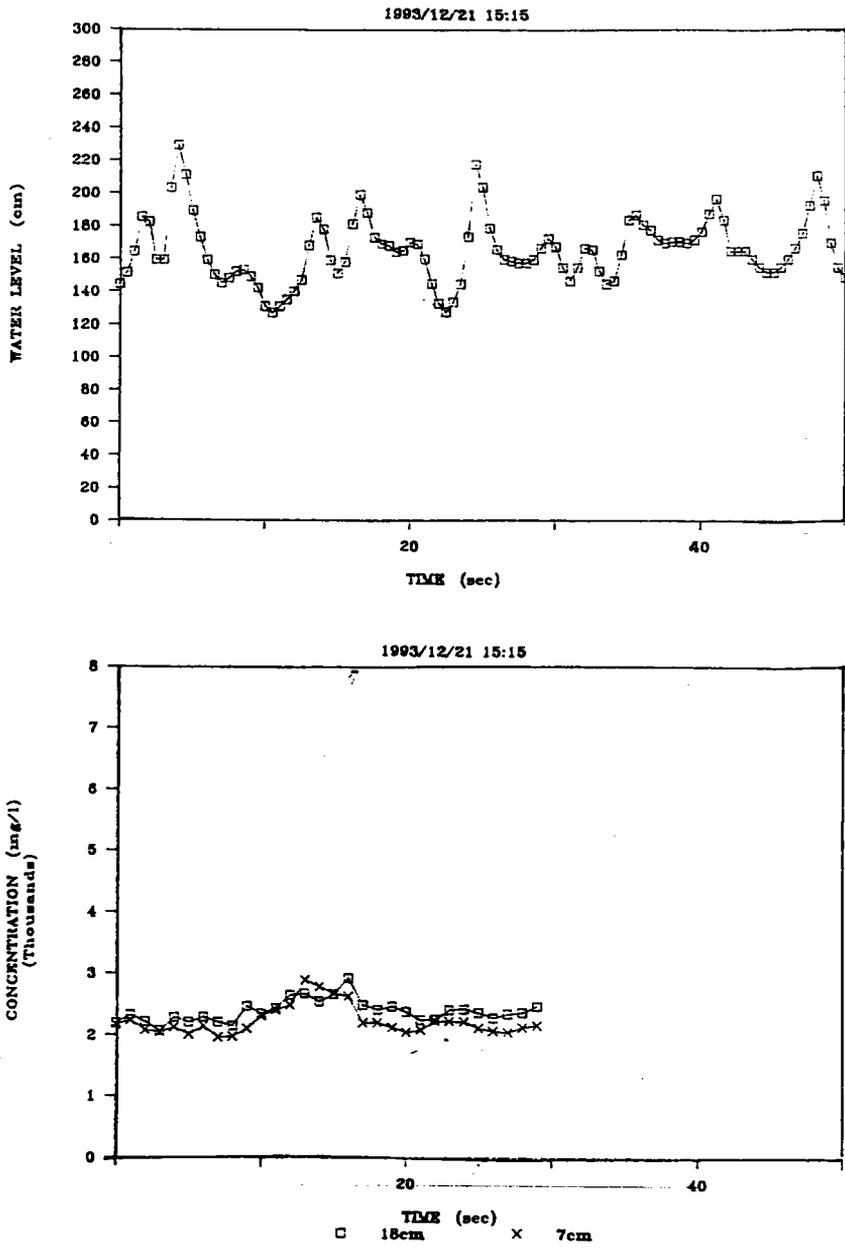


圖 3-4(a) 部份實測懸浮質及水位變化時間序列圖

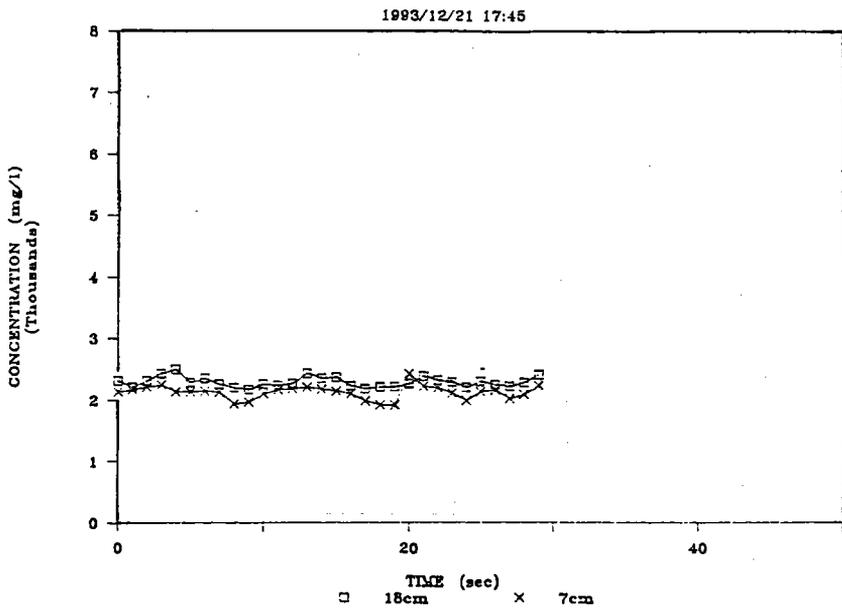
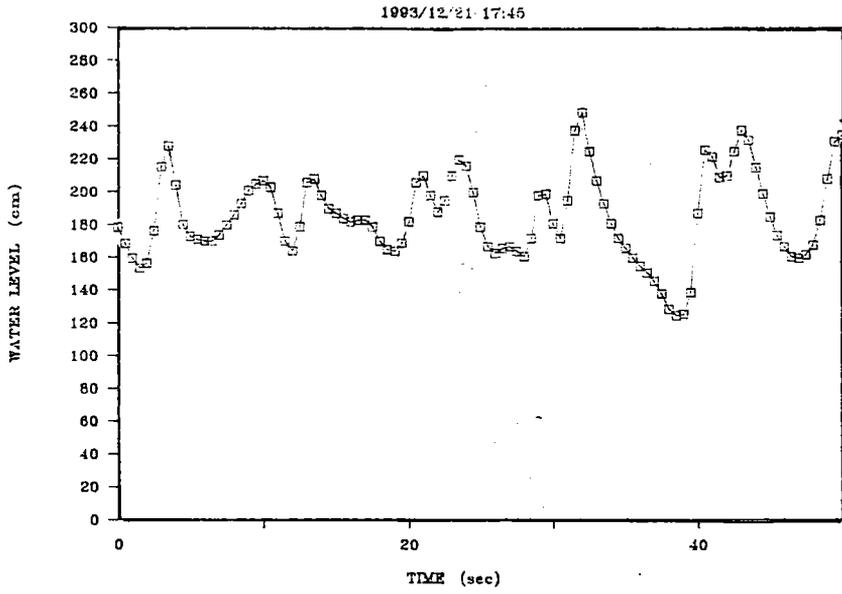


圖 3-4(b) 部份實測懸浮質及水位變化時間序列圖

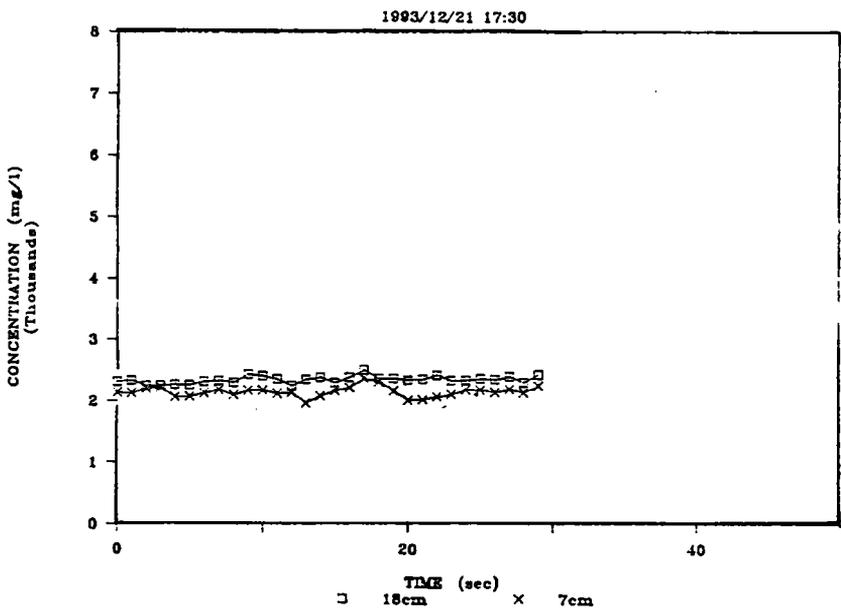
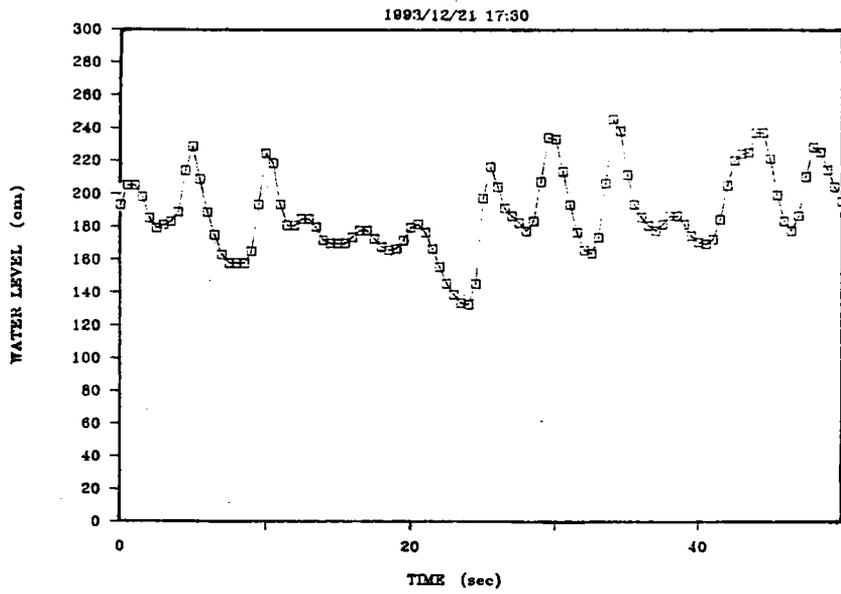


圖 3-4(c) 部份實測懸浮質及水位變化時間序列圖

1993/12/20 12:15 - 12/24 11:15

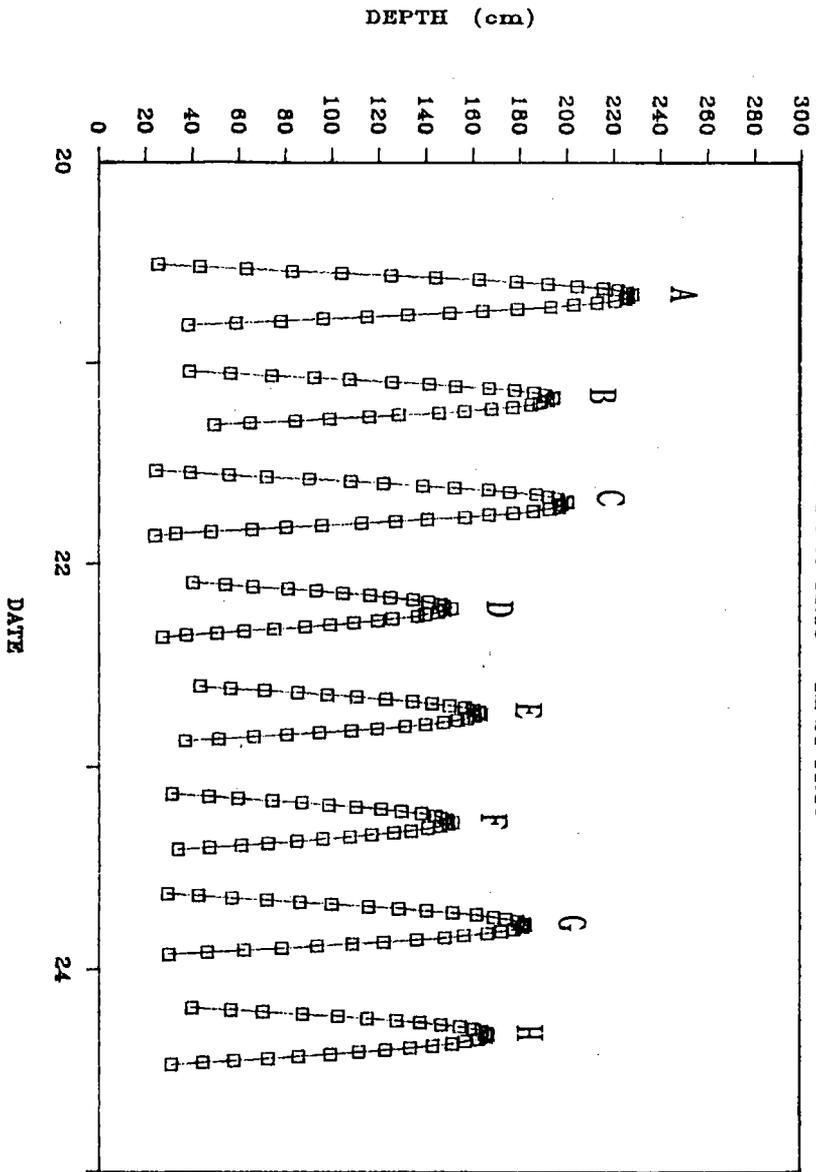


圖 3-5 觀測點平均水深變化時間序列圖

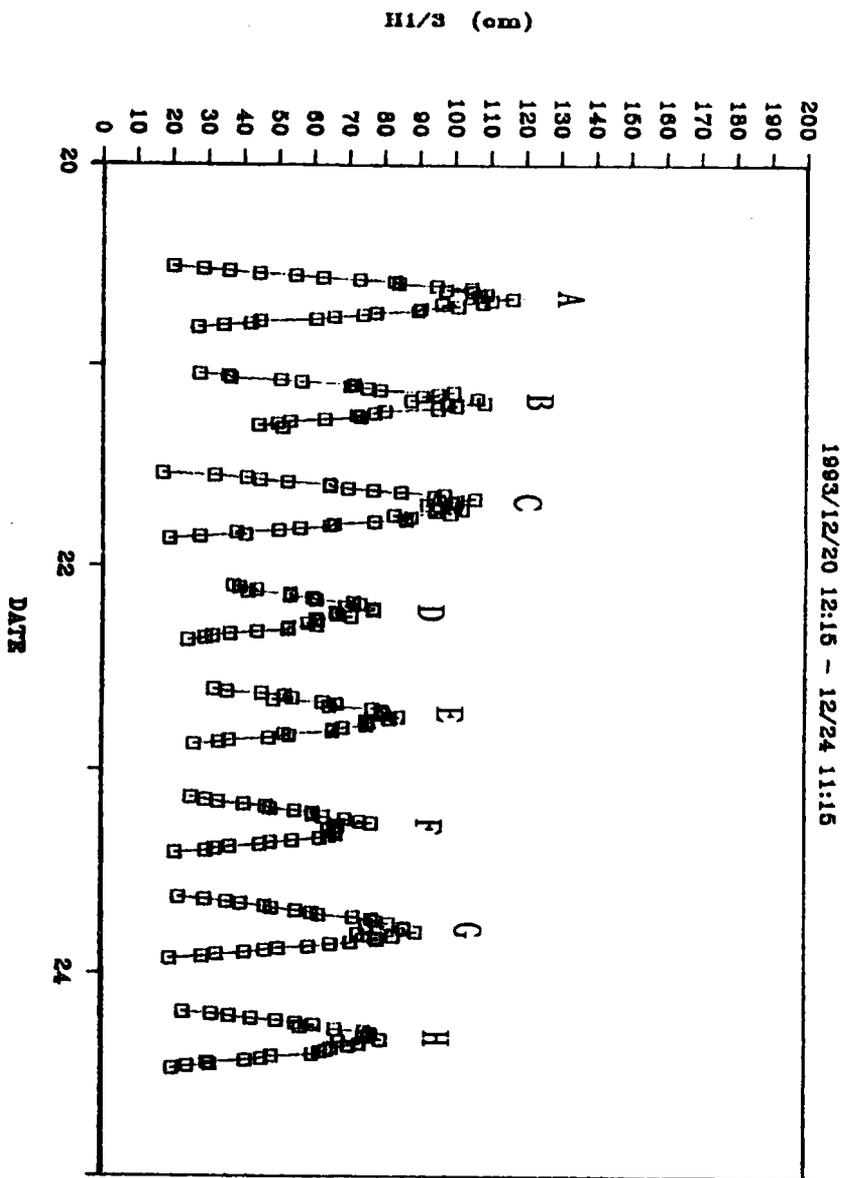


圖 3-6 觀測點平均示性波高時間序列圖

1993/12/20 12:15 - 12/24 11:15

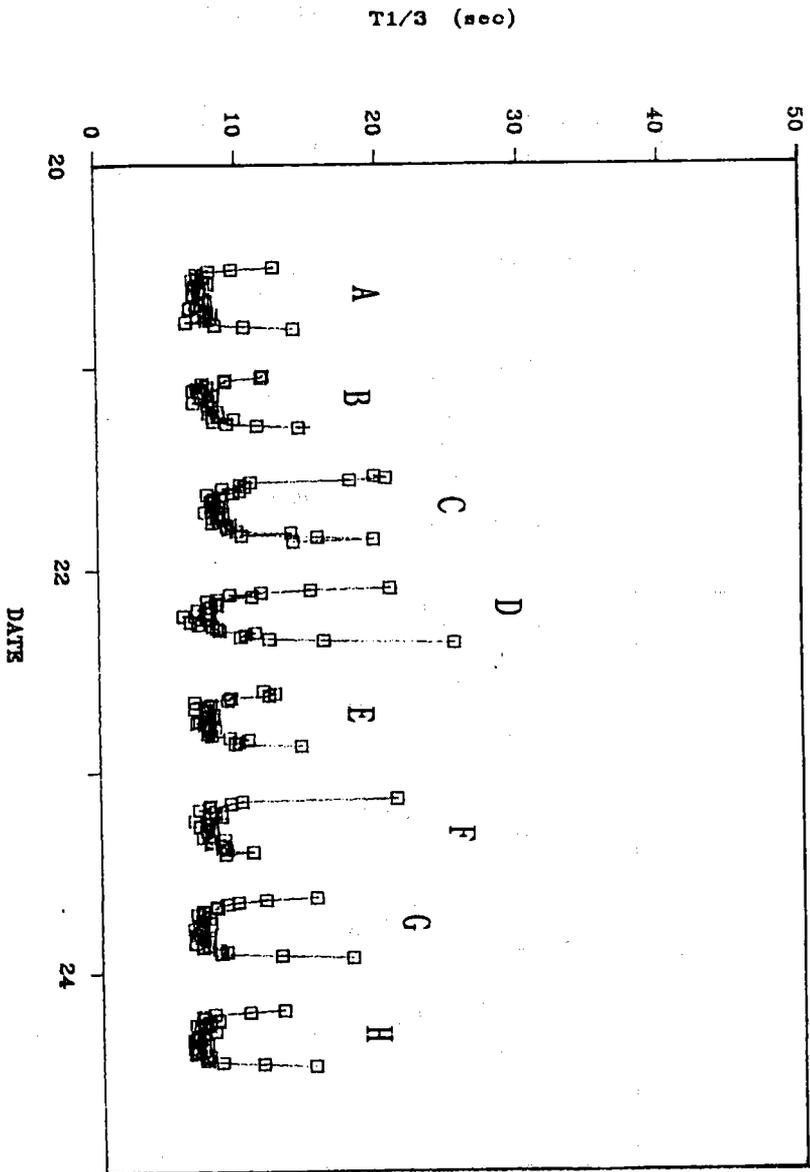


圖 3-7 觀測點平均示性週期時間序列圖

1983/12/20 12:15 - 12/24 11:15

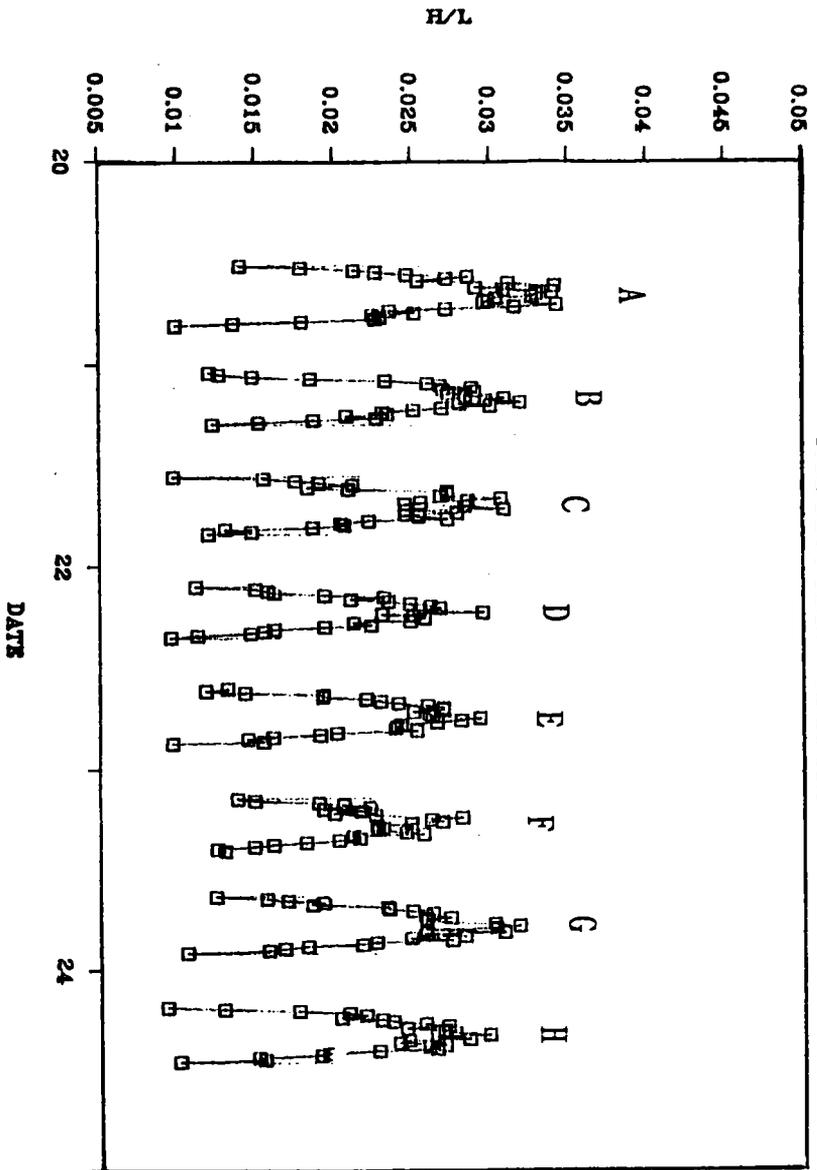


圖 3-8 觀測點波浪尖銳度時間序列圖

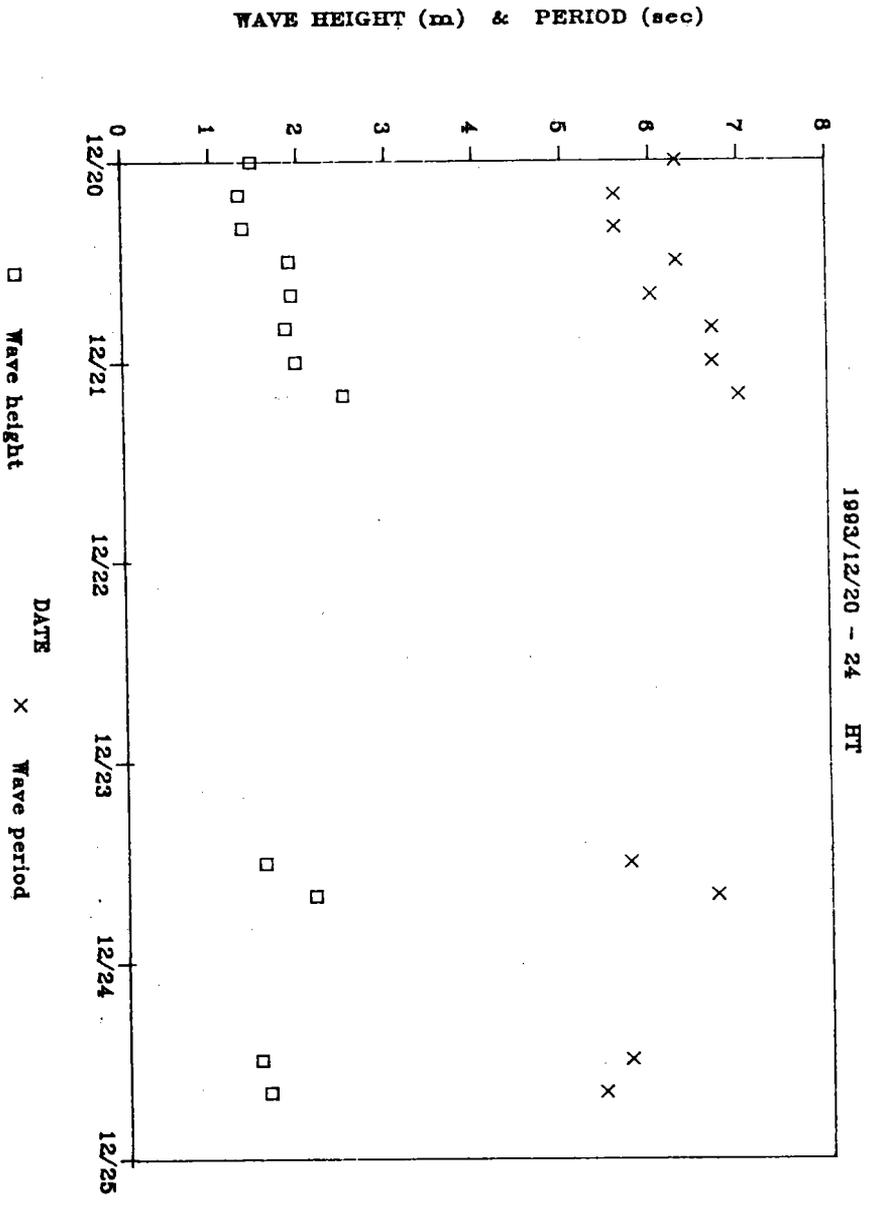


圖 3-9 3#觀測樁外海入射波浪波高、週期時間序列圖(高家俊, 1993)

1993/12/20 -24 WIND SPEED & DIR.

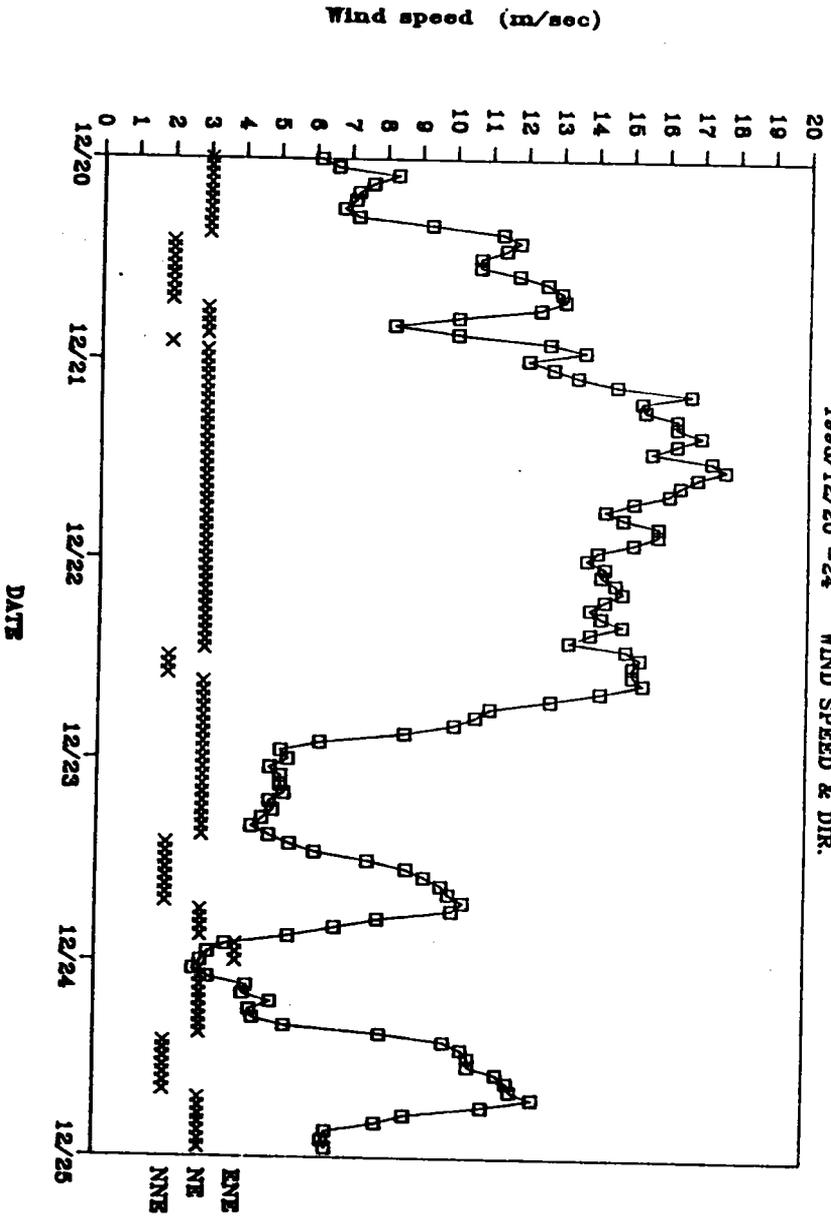


圖 3-10 3#觀測樁外海風速、風向時間序列圖(曾若玄, 1993)

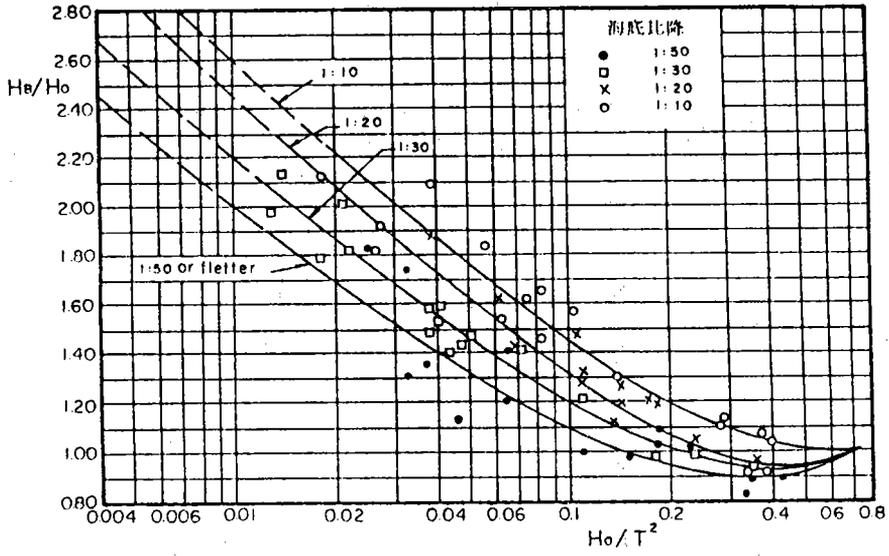


圖 3-11(a) 碎波波高指數與 H_o/T^2 關係圖(Iverson, 1952)

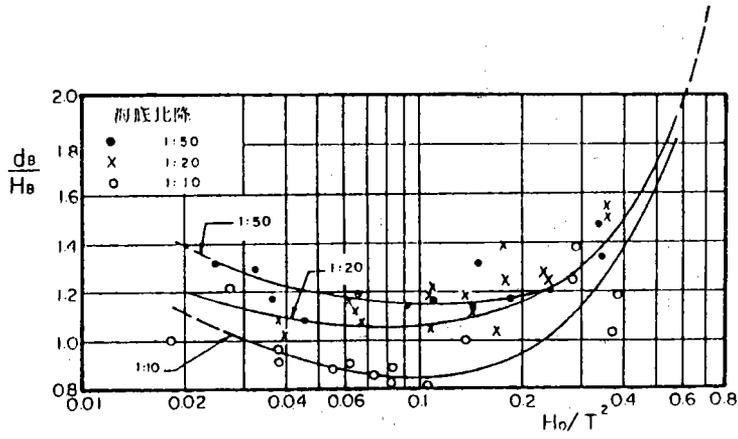


圖 3-11(b) d_B/H_B 與 H_o/T^2 關係圖(Iverson, 1952)

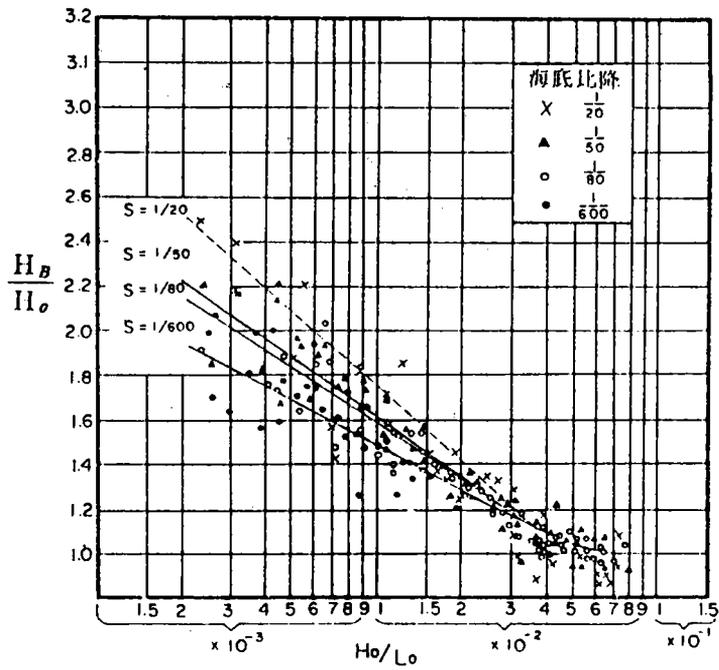


圖 3-12(a) 碎波波高指數與 H_0/L_0 及 S 關係圖(湯麟武、高駿, 1964)

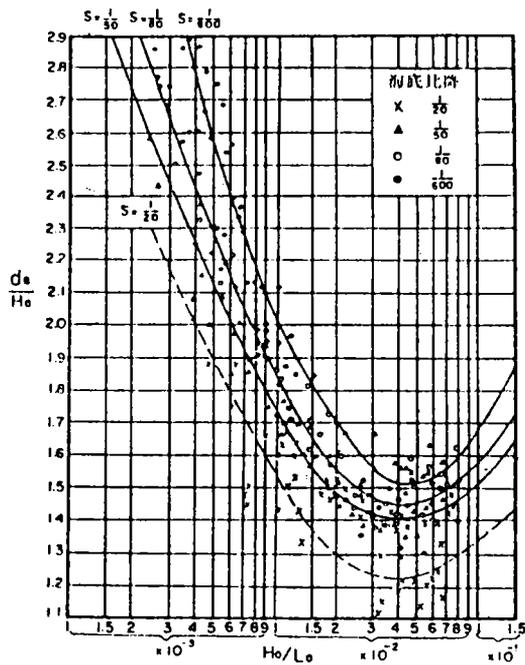


圖 3-12(b) 碎波水深指數與 H_0/L_0 及 S 關係圖(湯麟武、高駿, 1964)

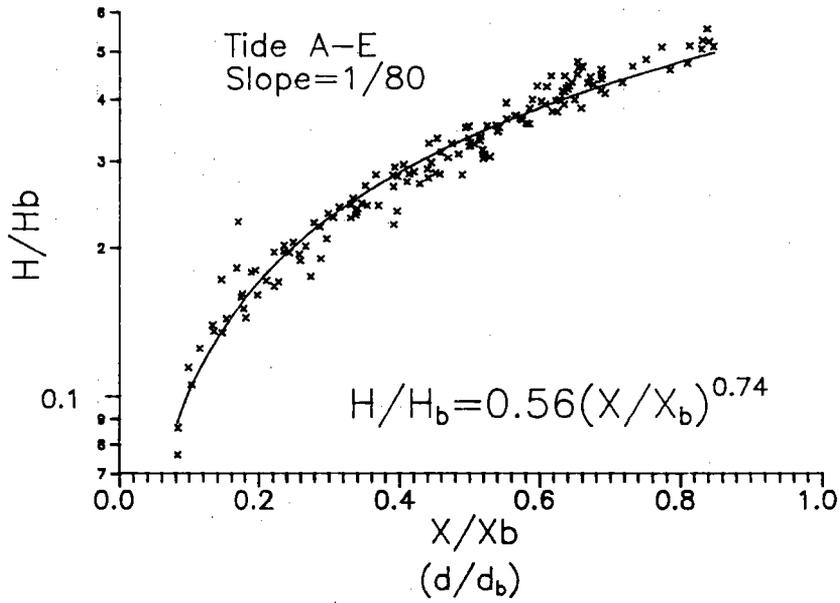


圖 3-13 碎波帶內波浪碎波後波高分佈圖

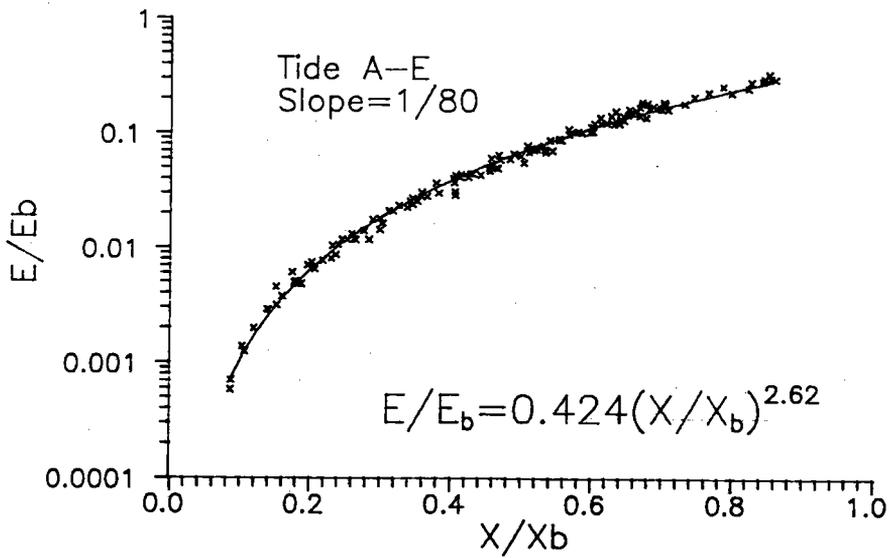


圖 3-14 碎波帶內波浪碎波後相對波能分佈圖

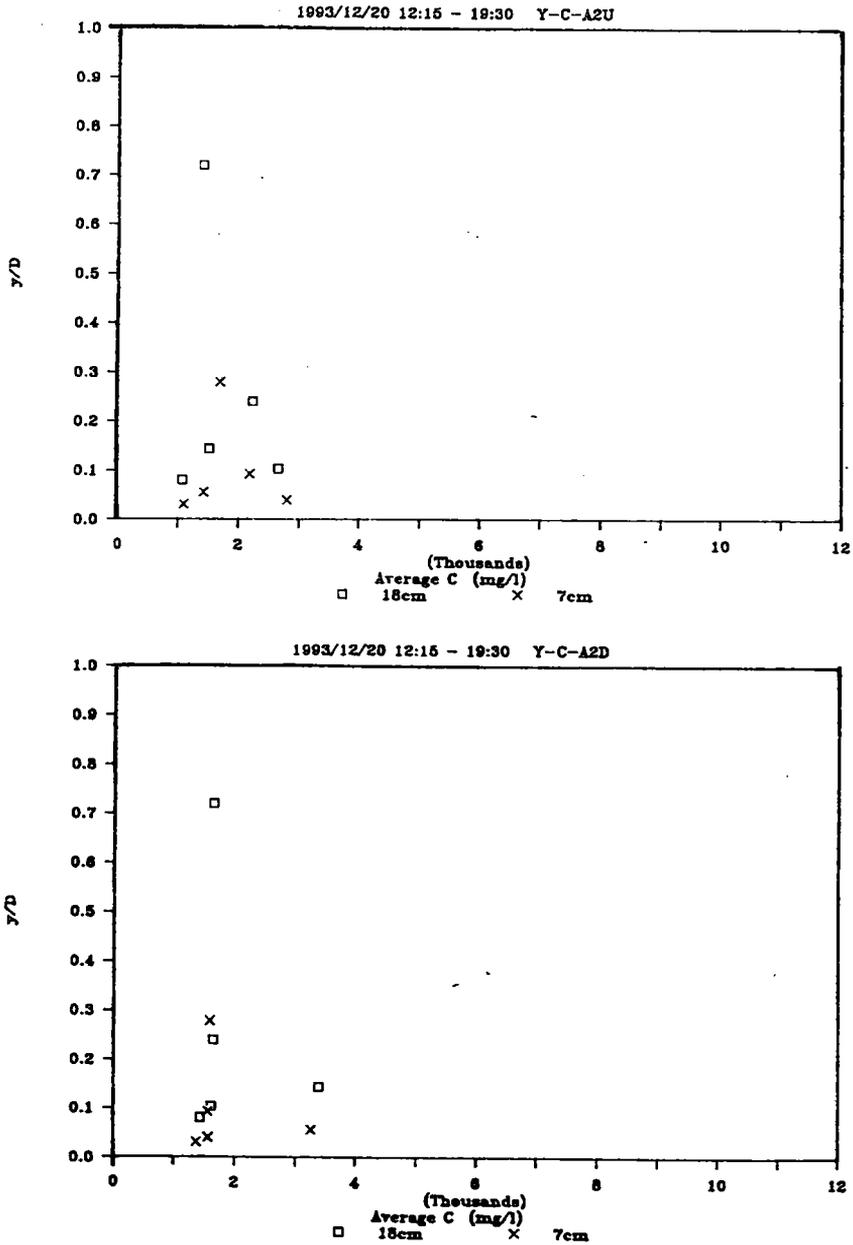


圖 3-15(a) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號A組觀測資料)

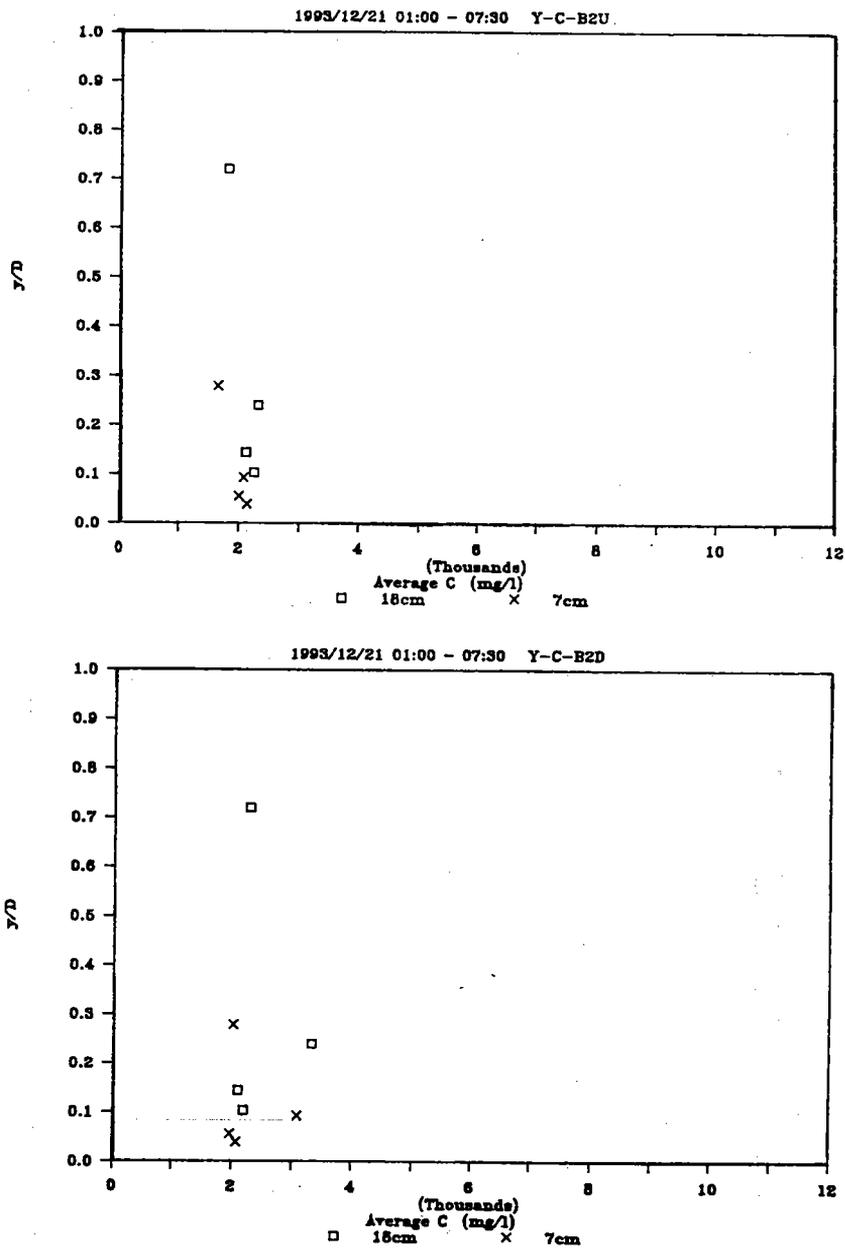


圖 3-15(b) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號B組觀測資料)

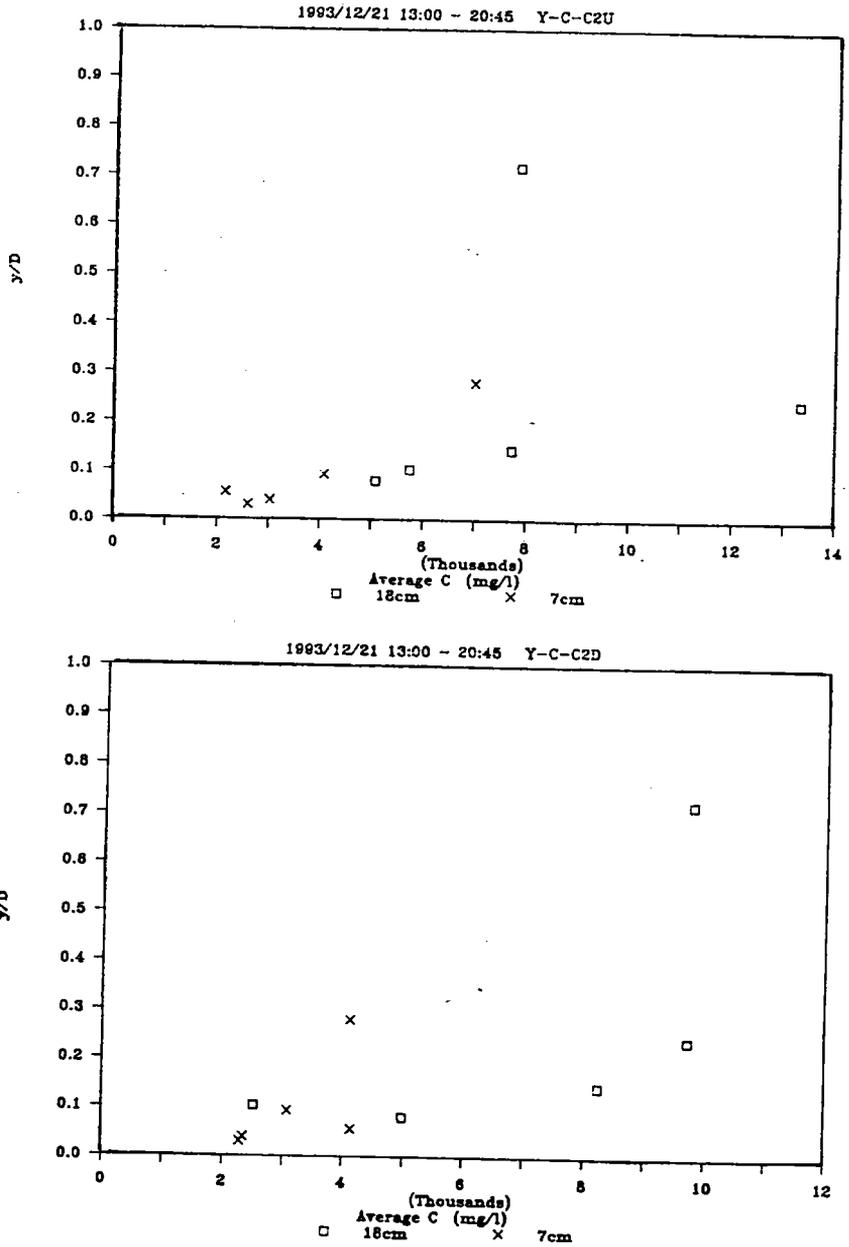


圖 3-15(c) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號C組觀測資料)

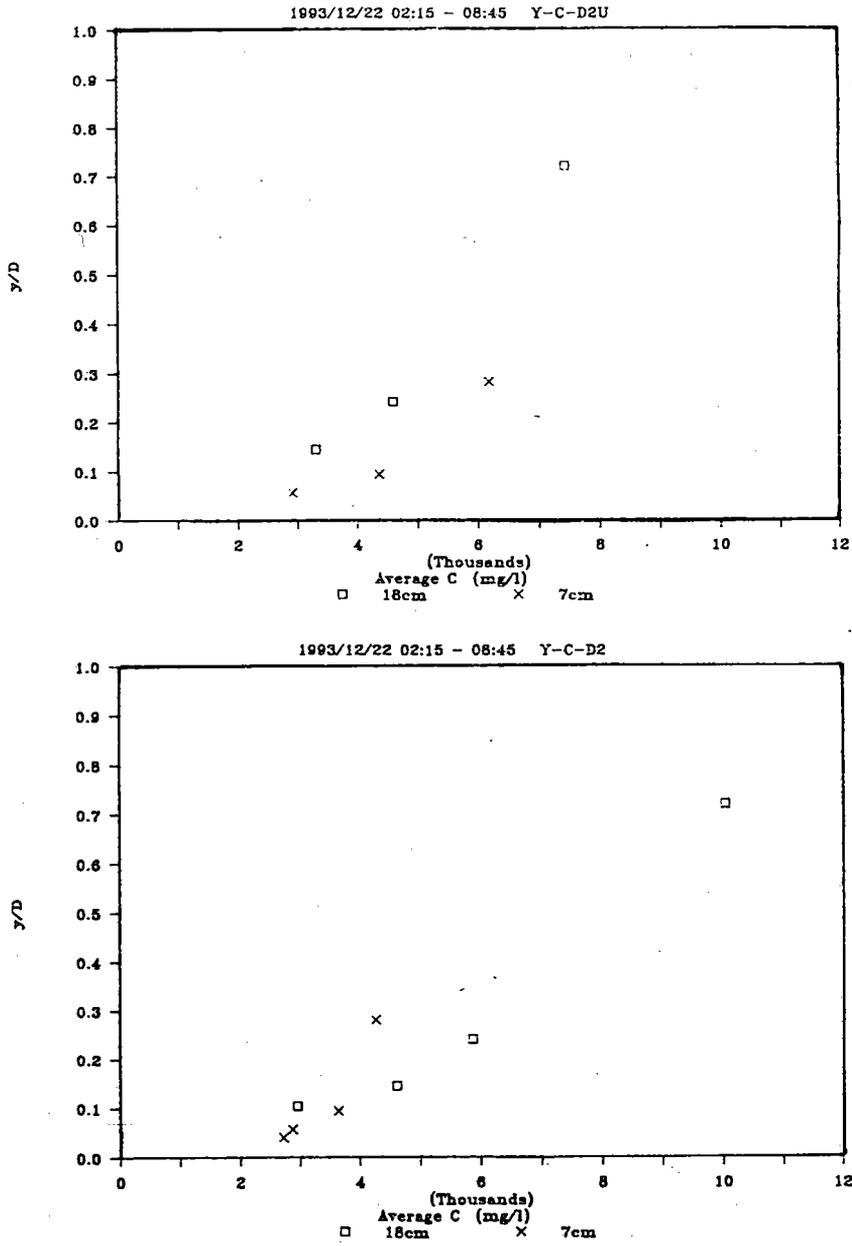


圖 3-15(d) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號D組觀測資料)

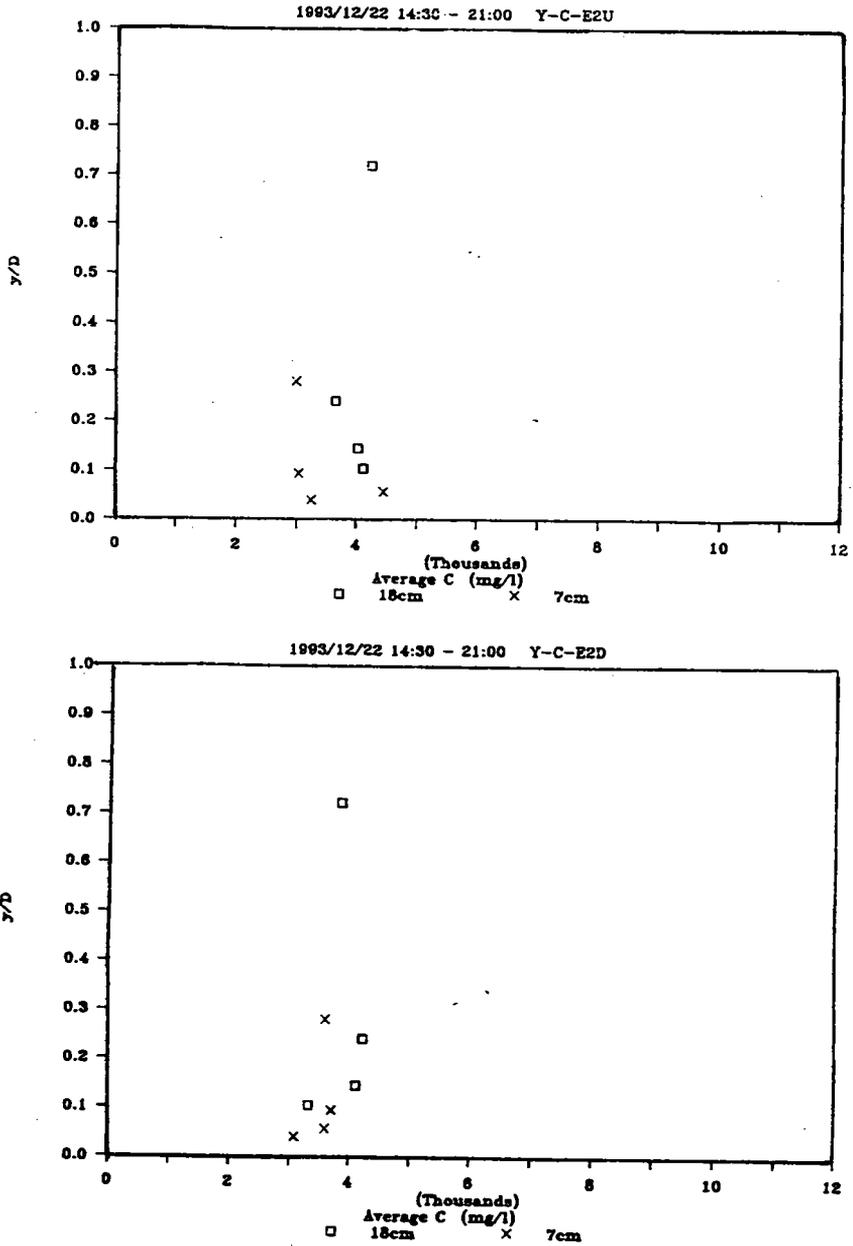


圖 3-15(e) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號E組觀測資料)

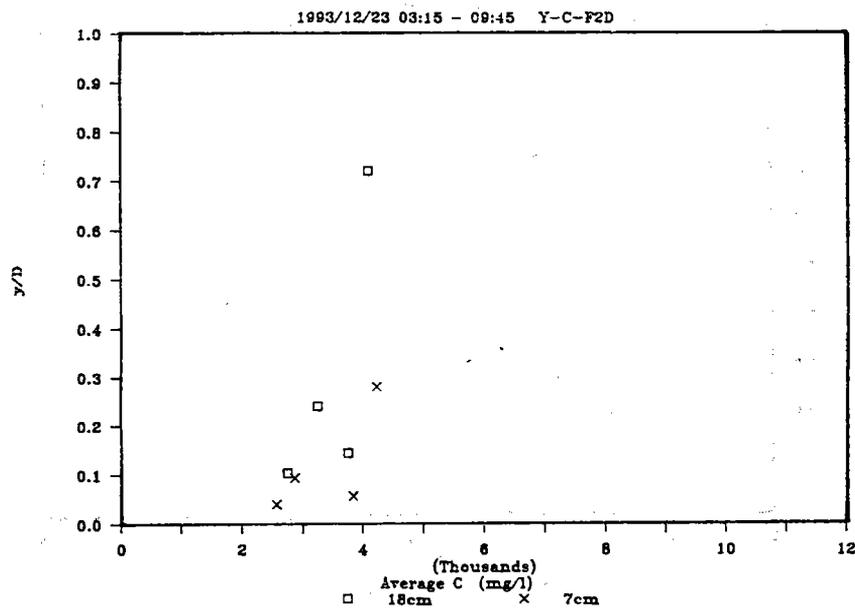
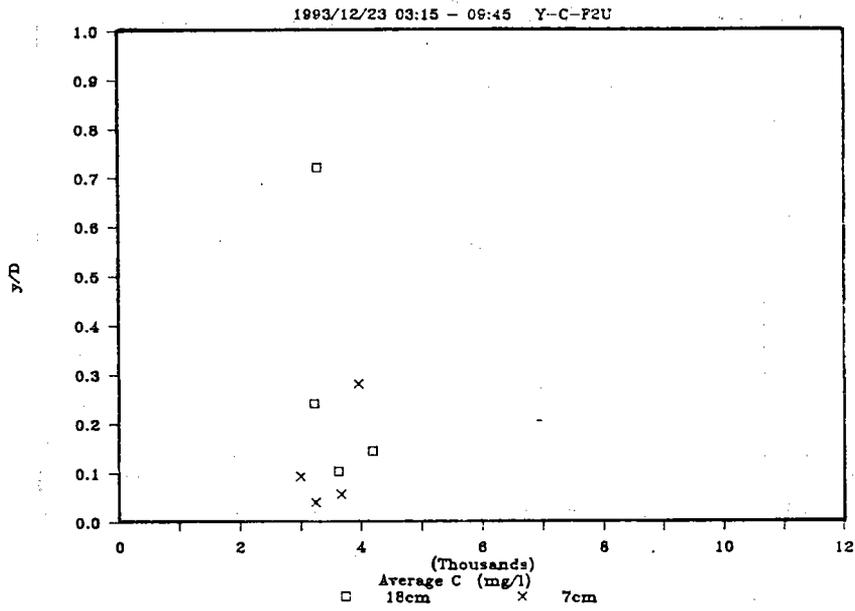


圖 3-15(f) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號F組觀測資料)

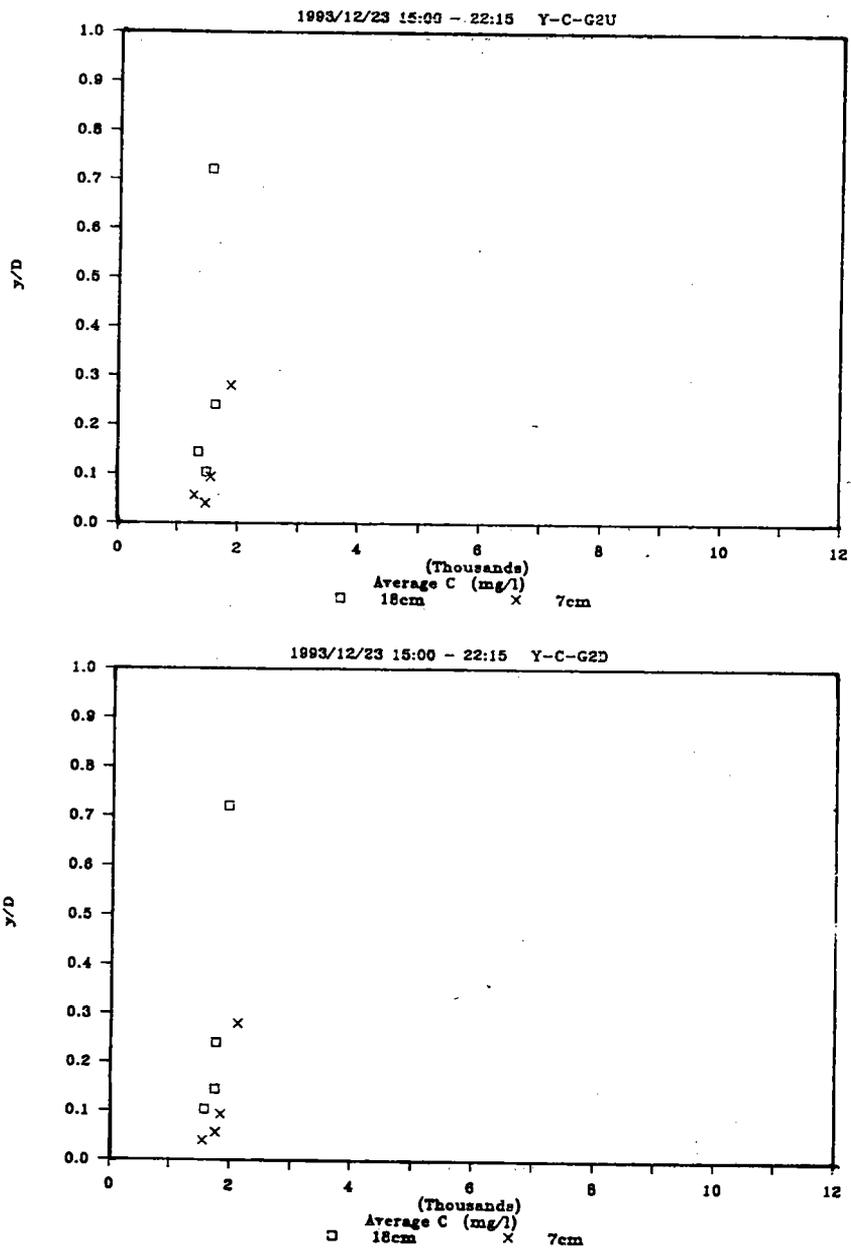


圖 3-15(g) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號G組觀測資料)

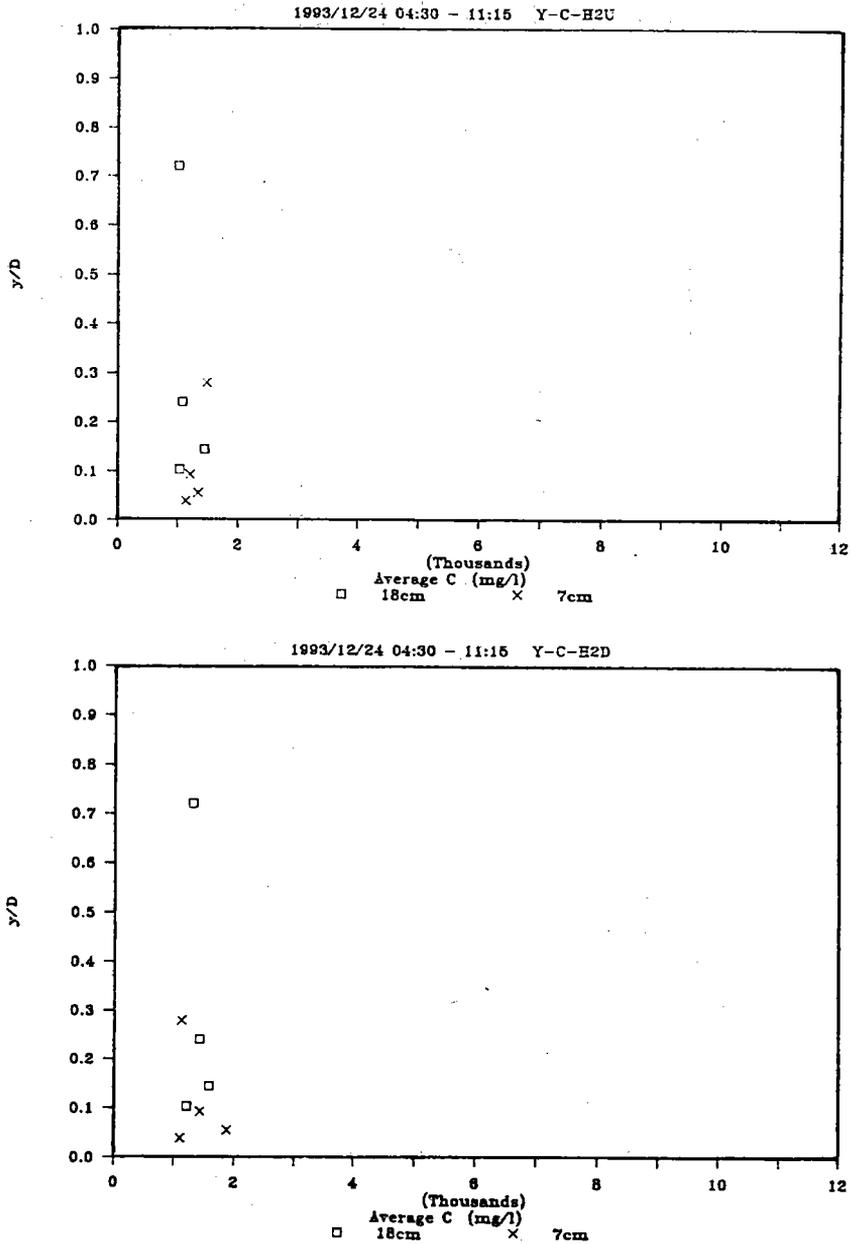


圖 3-15(h) 漲退潮時段定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號H組觀測資料)

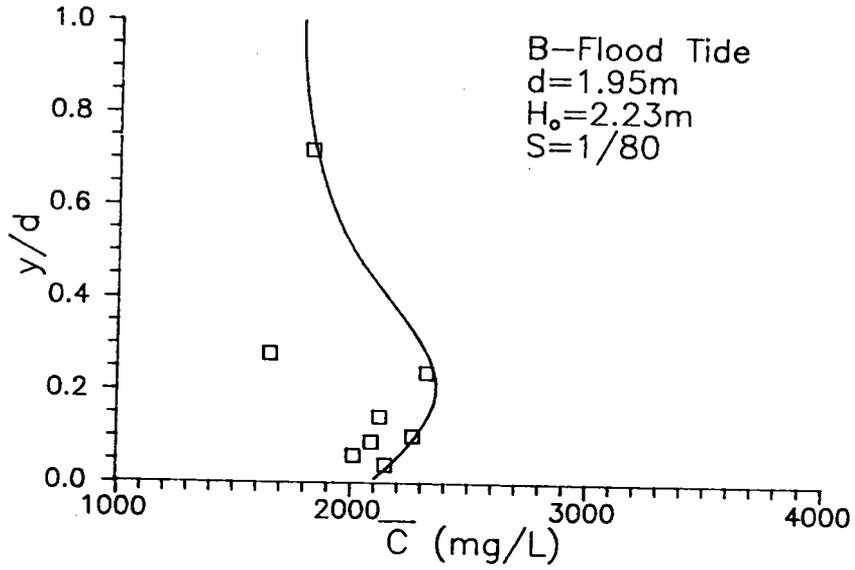


圖 3-16(a) 碎波帶內無因次相對水深懸浮質平均濃度垂直分佈
(漲潮時段)

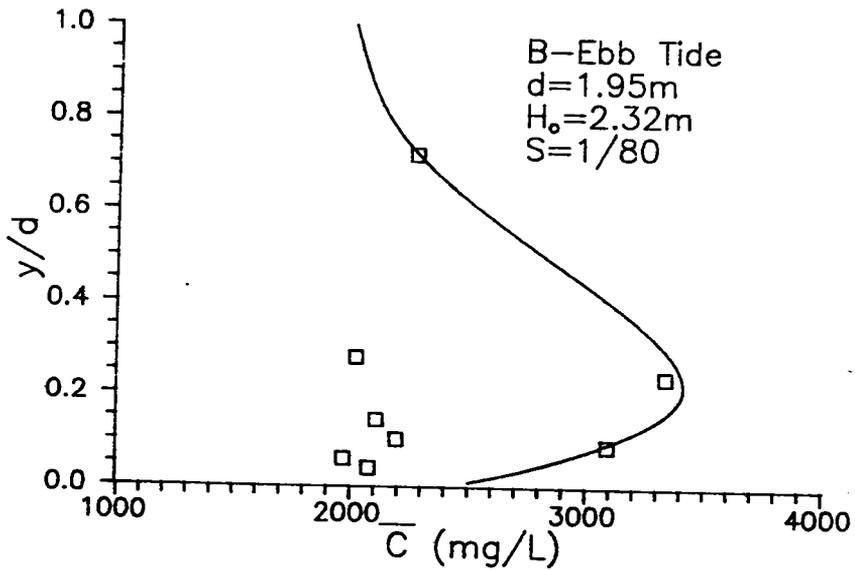


圖 3-16(b) 碎波帶內無因次相對水深懸浮質平均濃度垂直分佈
(退潮時段)

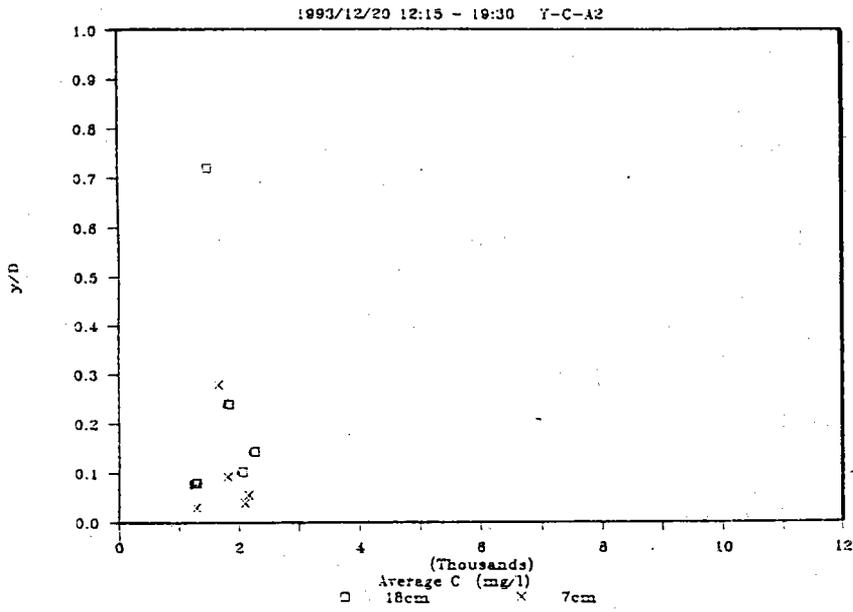


圖 3-17(a) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號A組觀測資料)

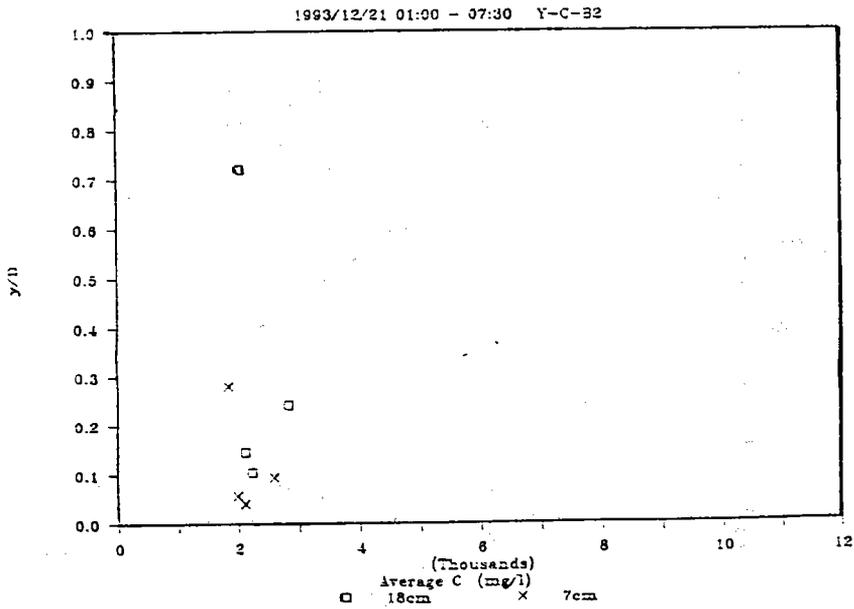


圖 3-17(b) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號B組觀測資料)

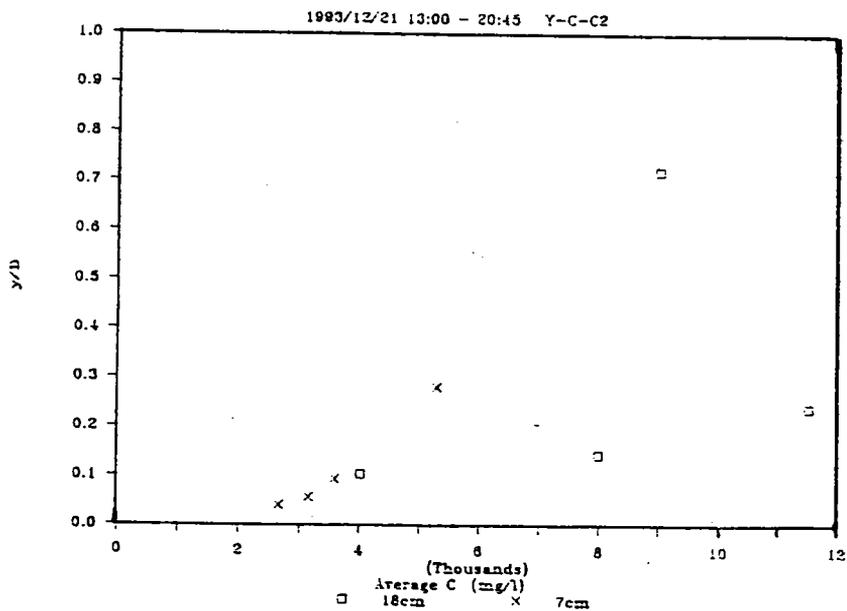


圖 3-17(c) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號C組觀測資料)

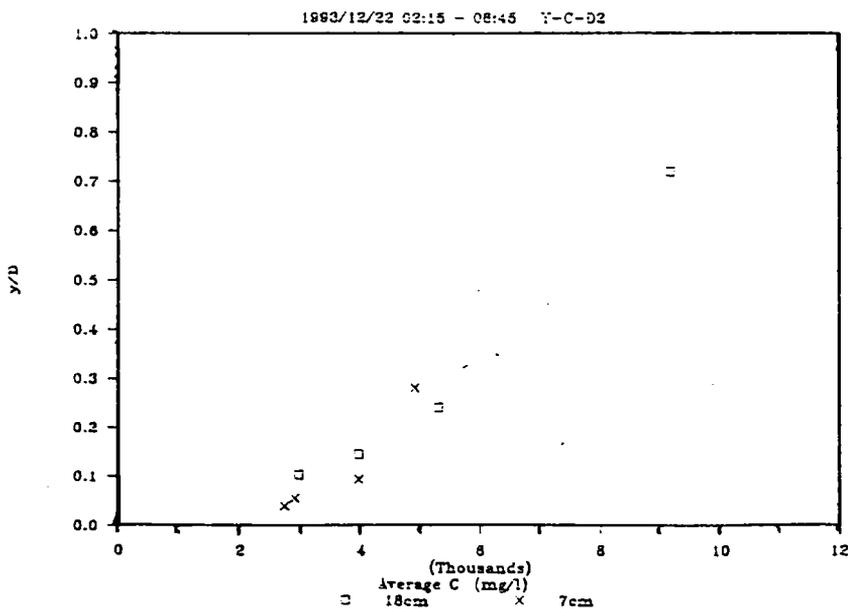


圖 3-17(d) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號D組觀測資料)

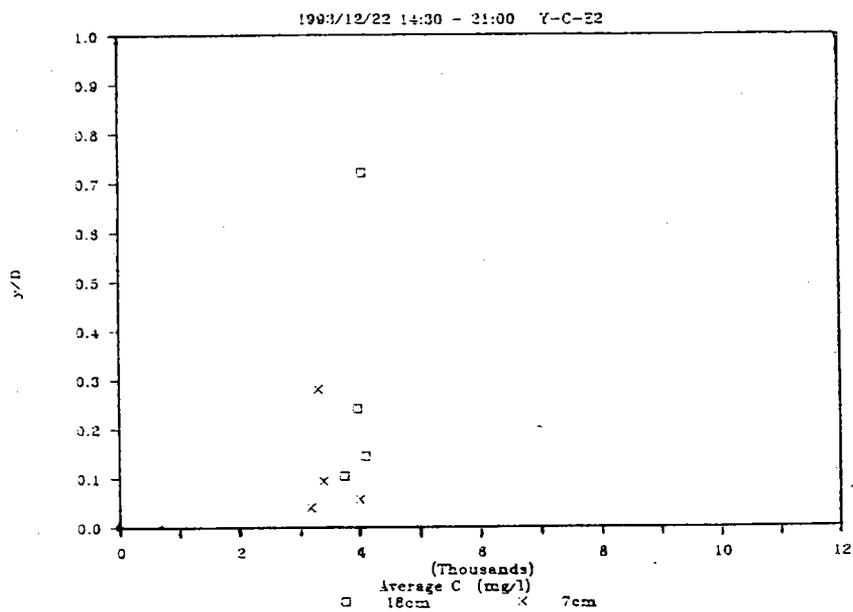


圖 3-17(e) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號E組觀測資料)

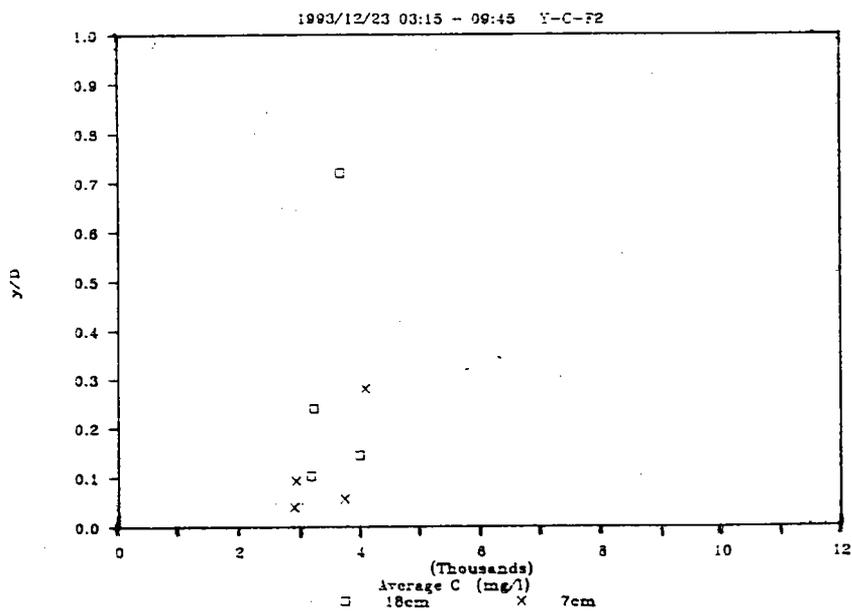


圖 3-17(f) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號F組觀測資料)

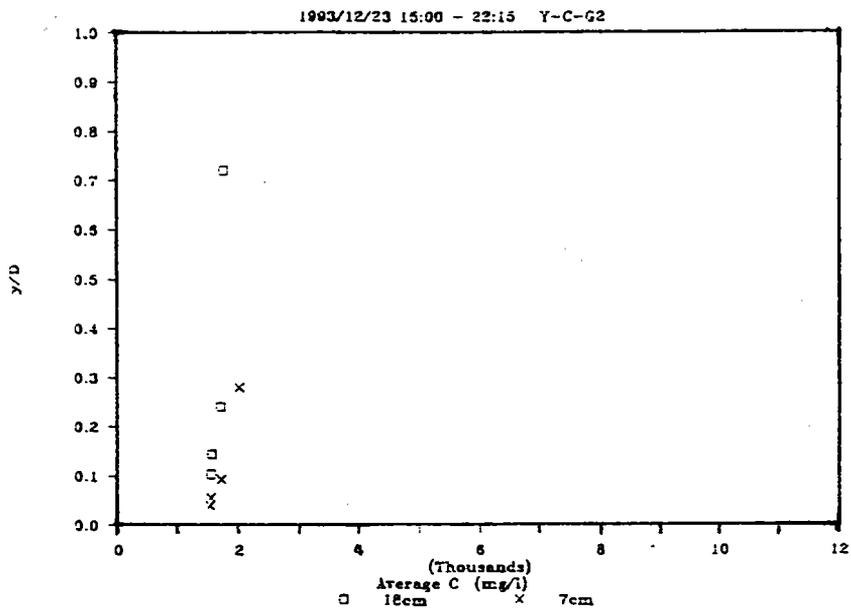


圖 3-17(g) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號G組觀測資料)

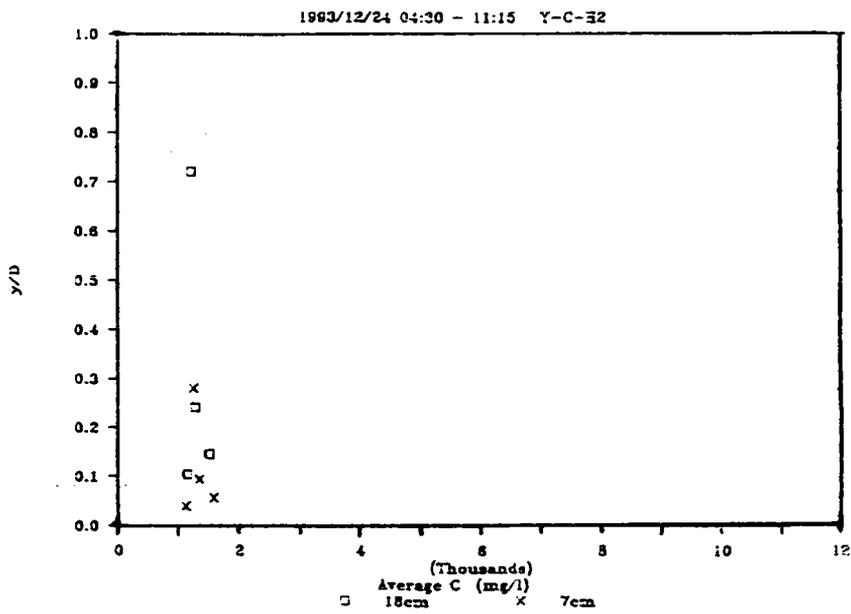


圖 3-17(h) 不分漲退潮時段，定水深懸浮質平均濃度垂直分佈圖
(編號H組觀測資料)

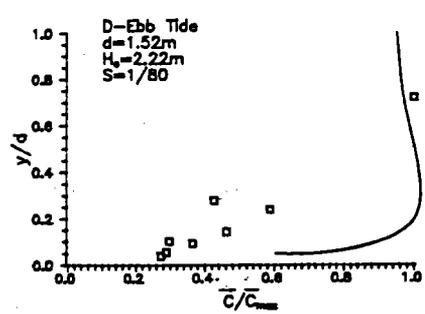
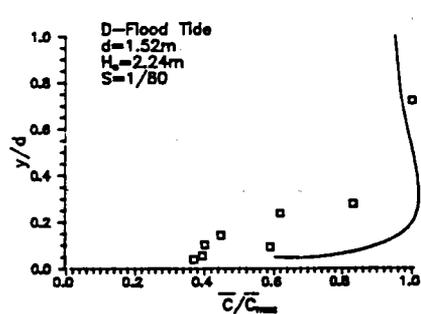
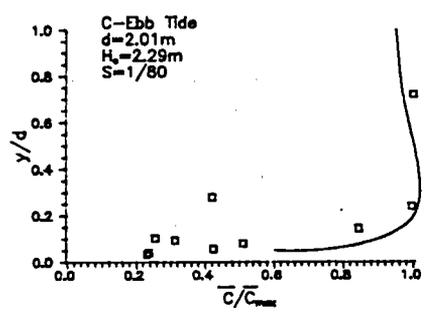
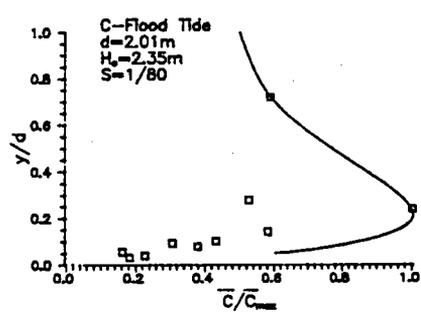
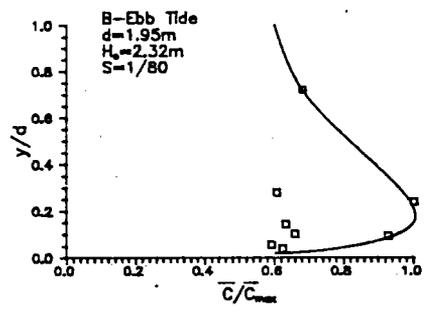
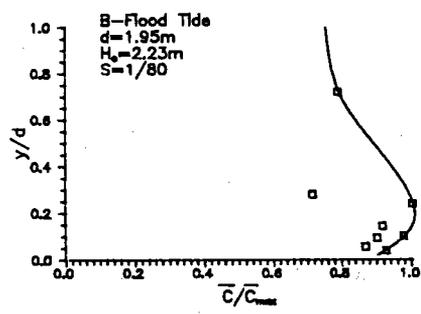
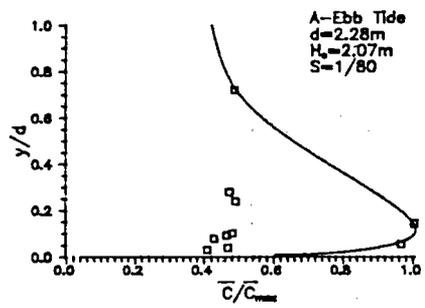
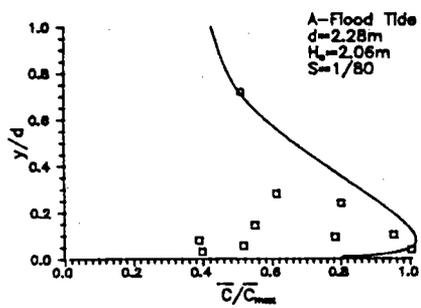


圖 3-18 相對懸浮質平均濃度與相對水深無因次化關係圖

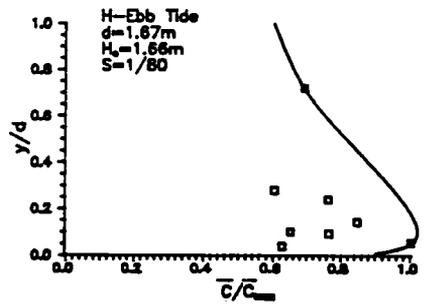
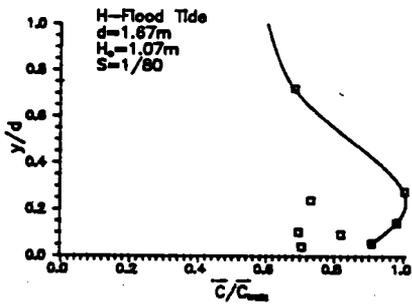
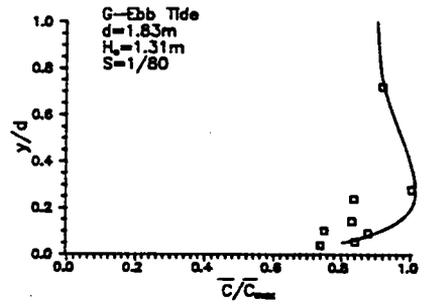
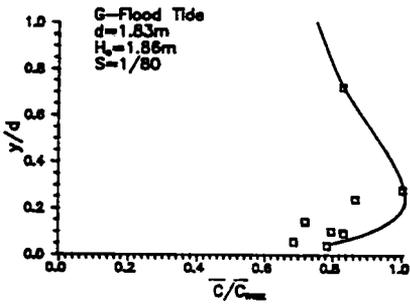
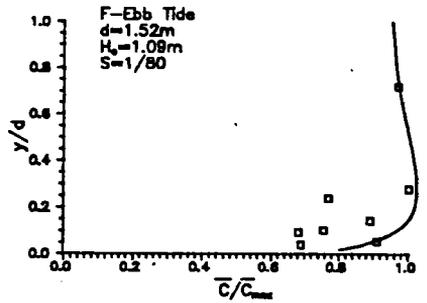
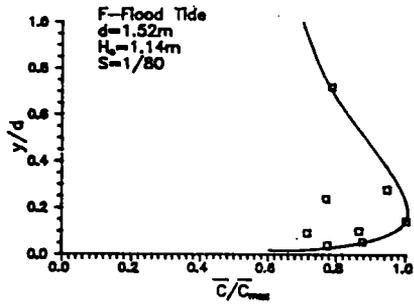
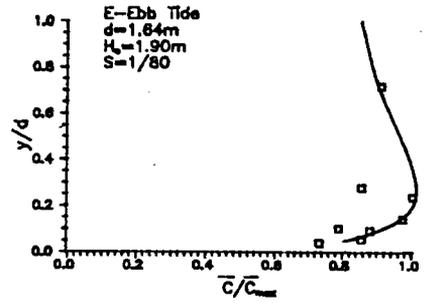
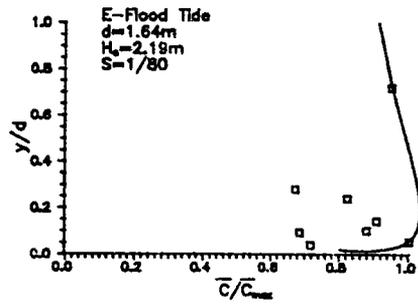


圖 3-18(續) 相對懸浮質平均濃度與相對水深無因次化關係圖

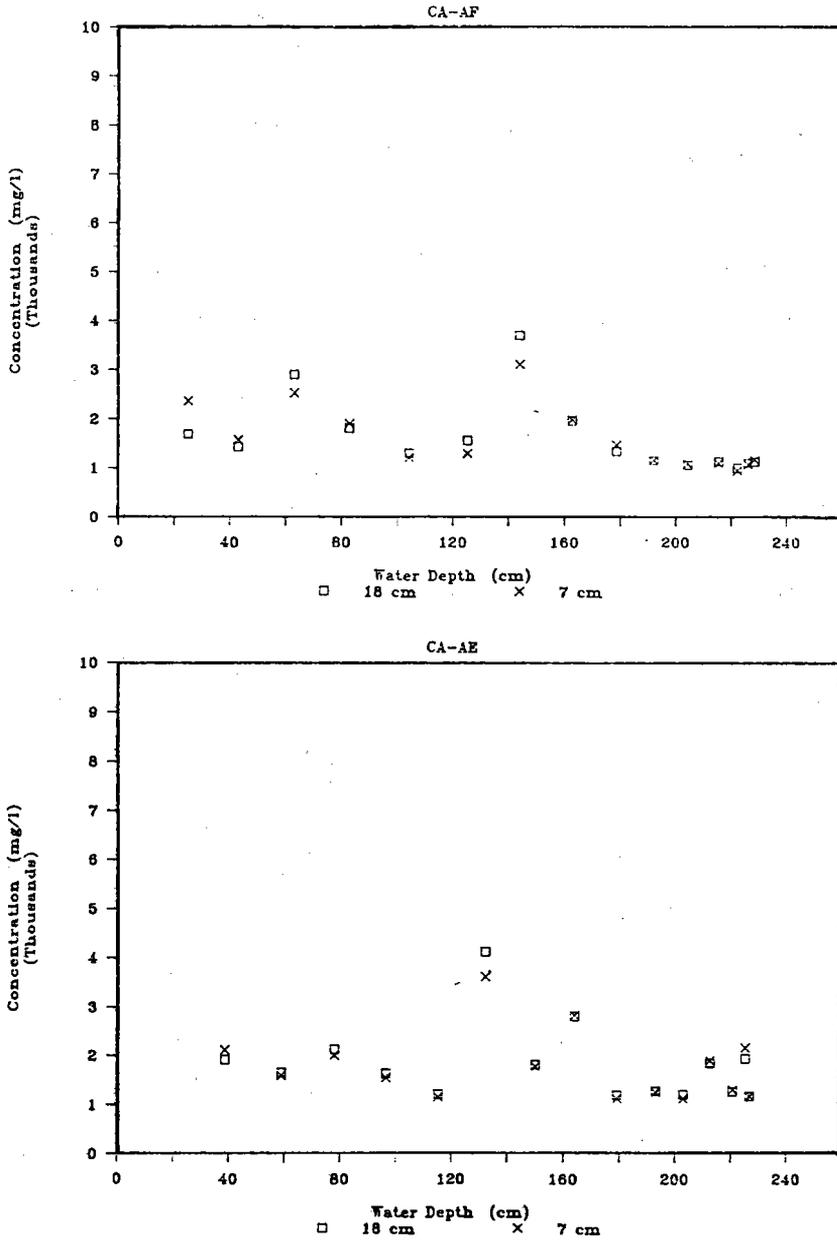


圖 3-19(a) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號A組資料)

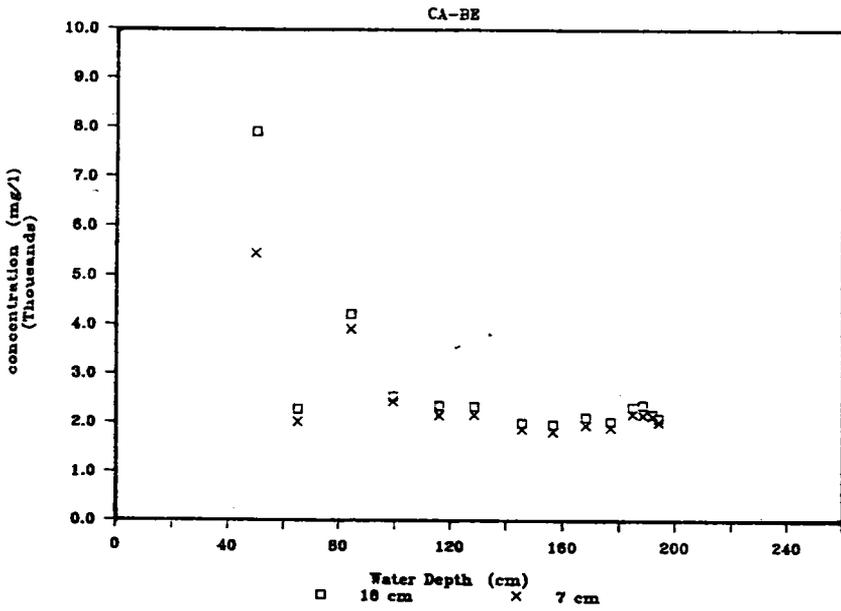
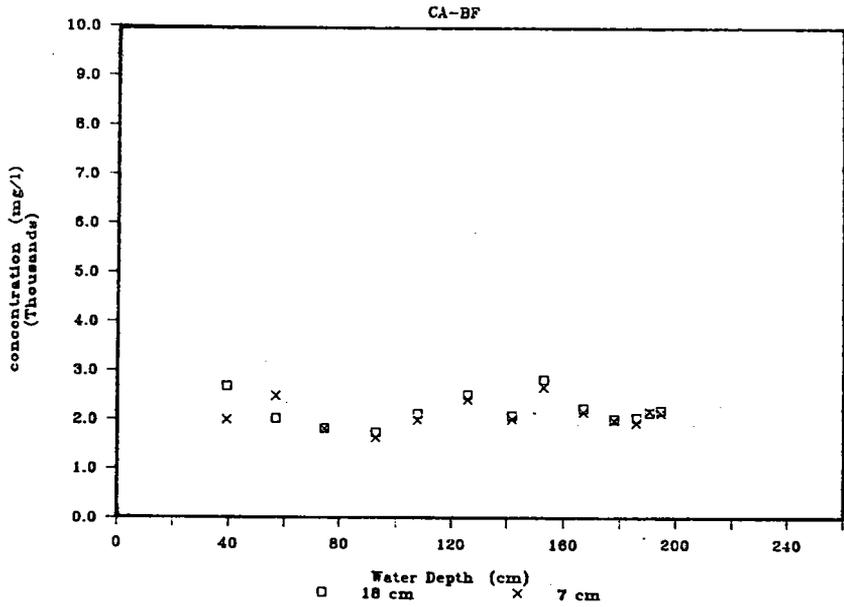


圖 3-19(b) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號B組資料)

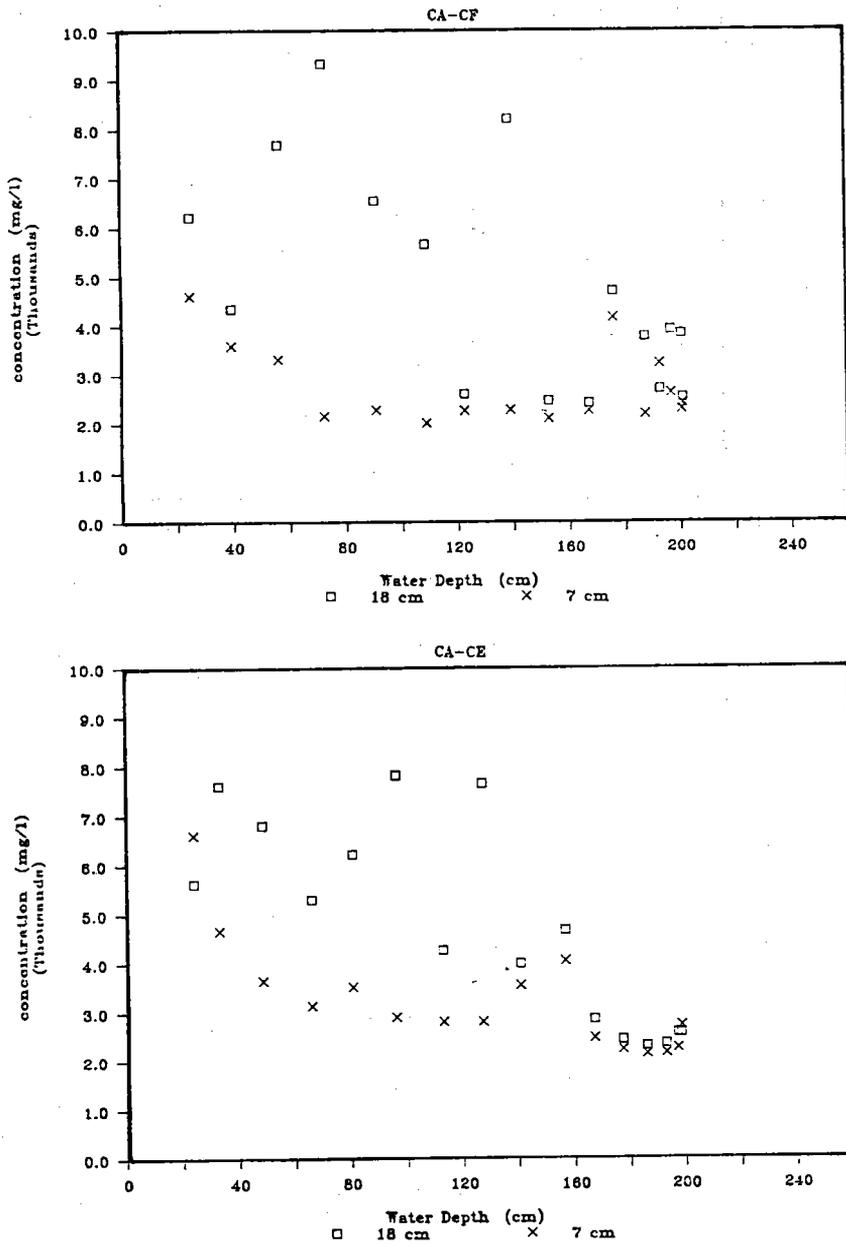


圖 3-19(c) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號C組資料)

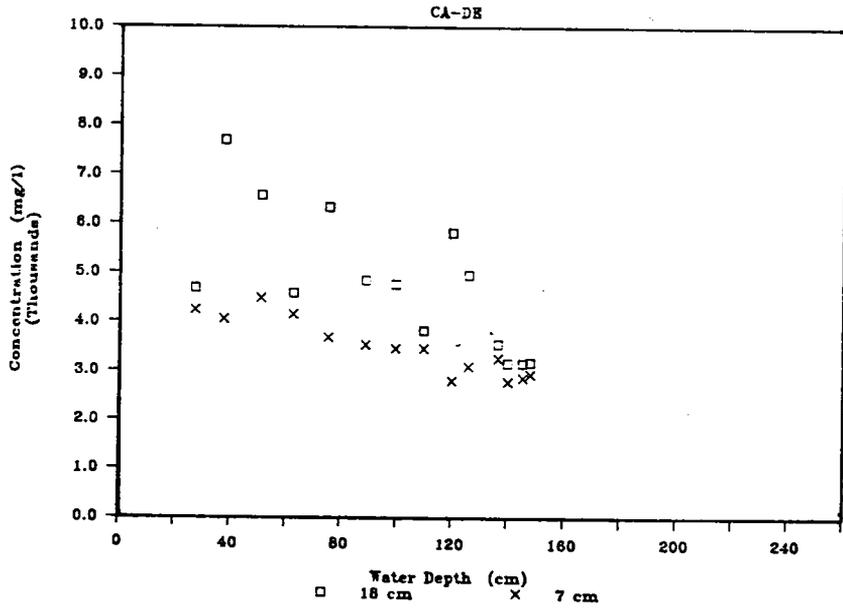
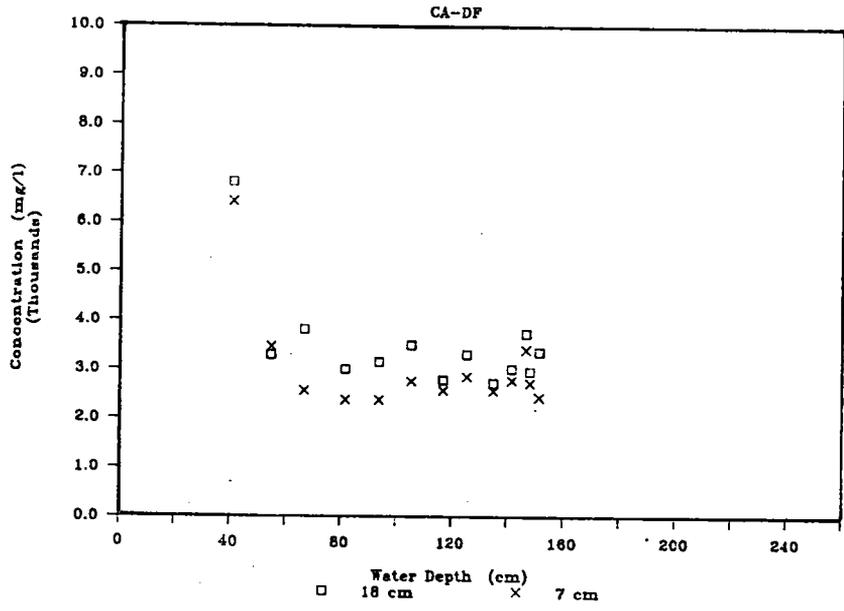


圖 3-19(d) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號D組資料)

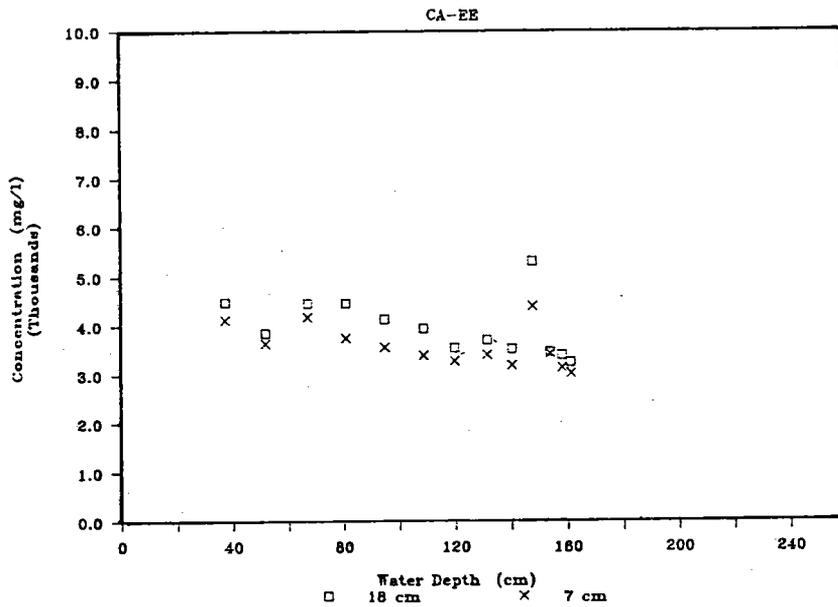
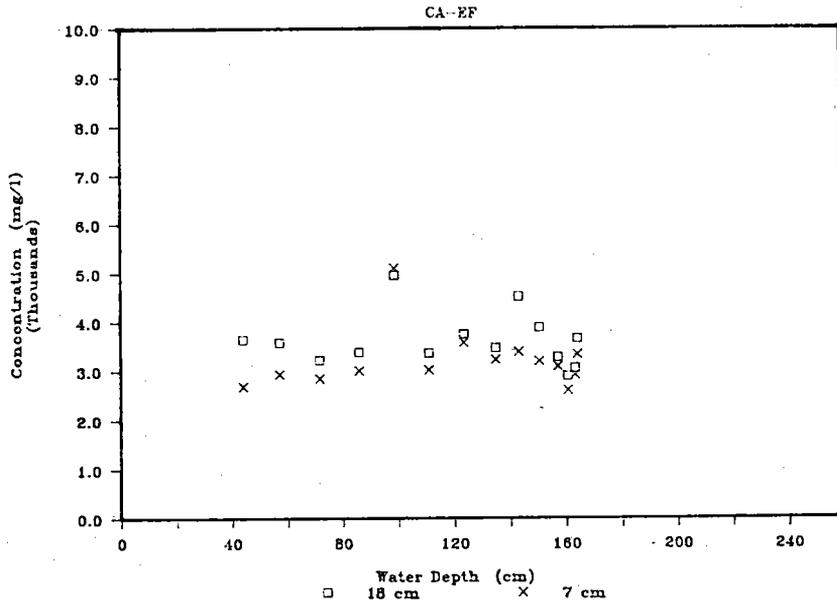


圖 3-19(e) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號E組資料)

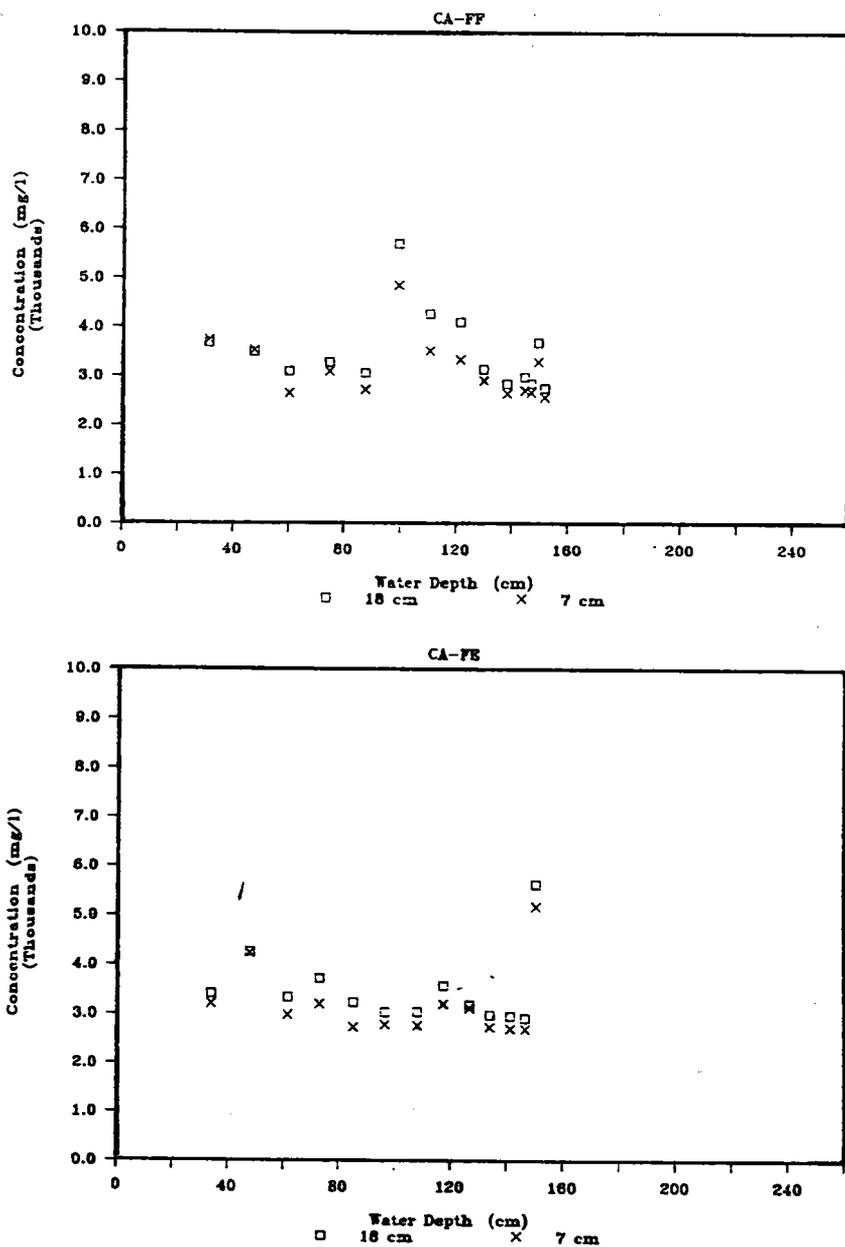


圖 3-19(f) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號F組資料)

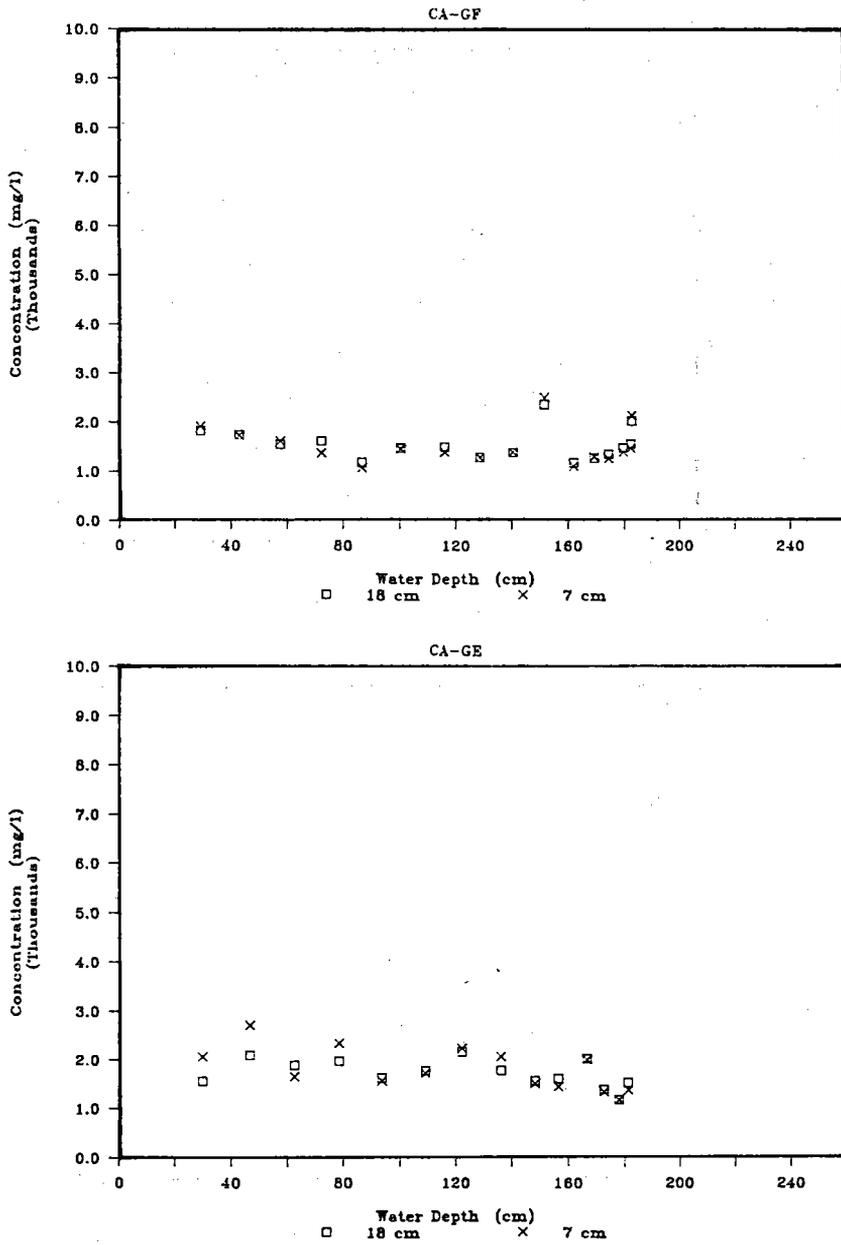


圖 3-19(g) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號G組資料)

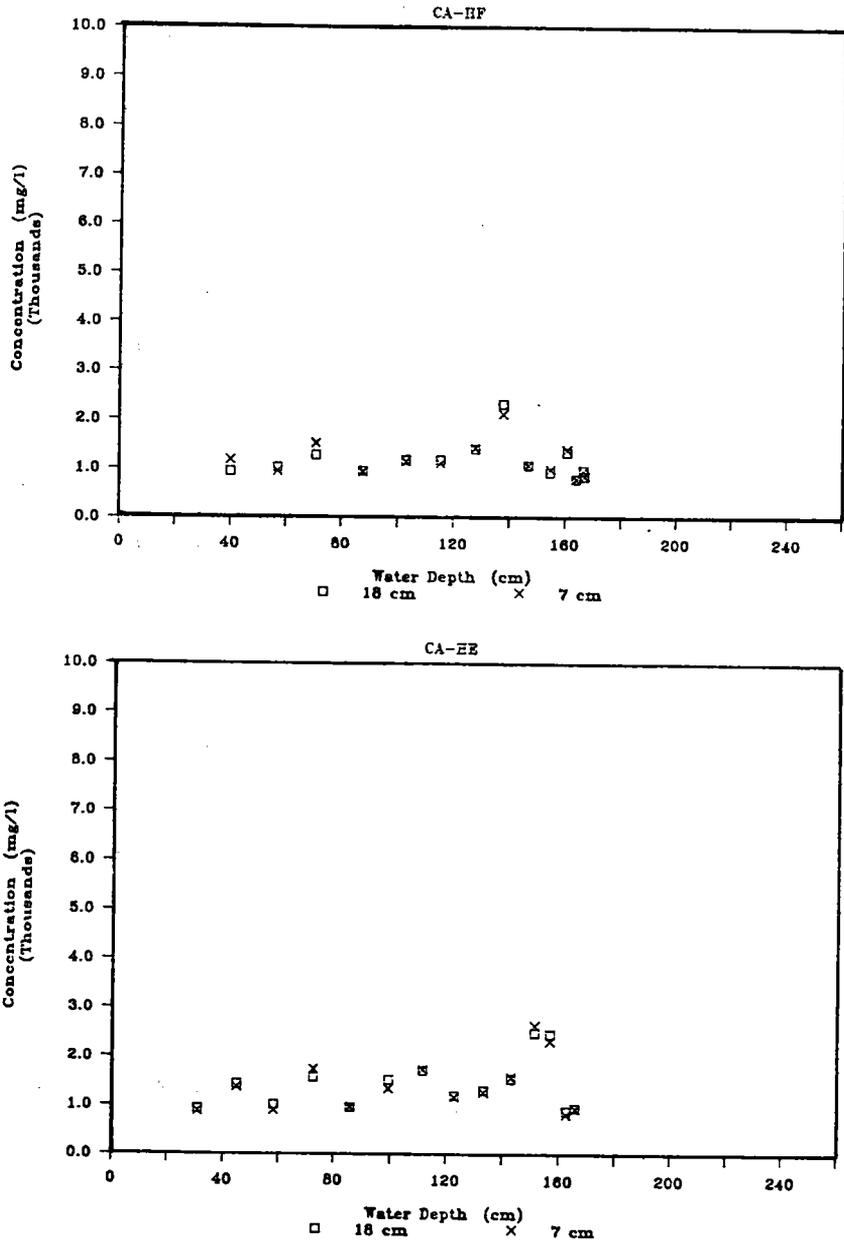


圖 3-19(h) 碎波帶內不同水深底床處懸浮質平均濃度分佈
(編號H組資料)

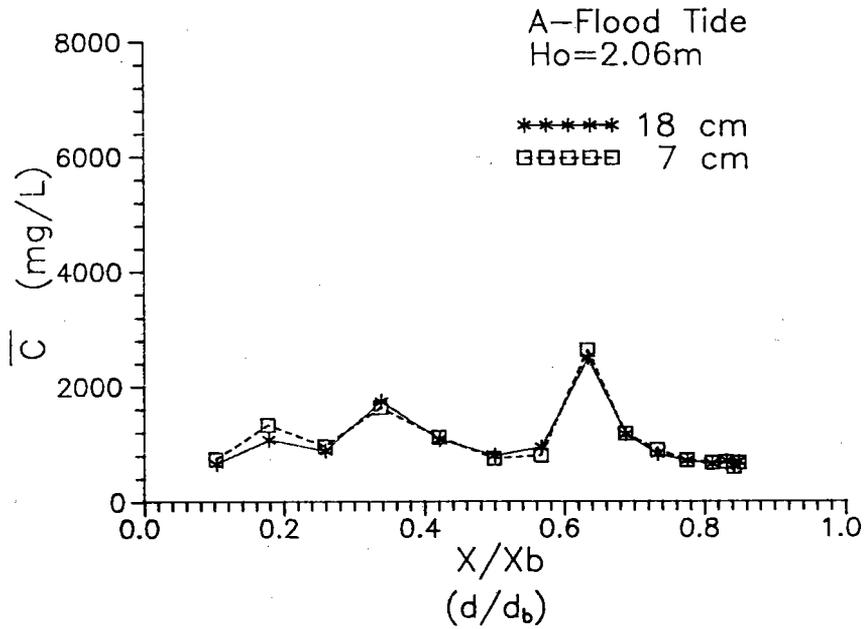


圖 3-20(a) 碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
 (漲潮時段)

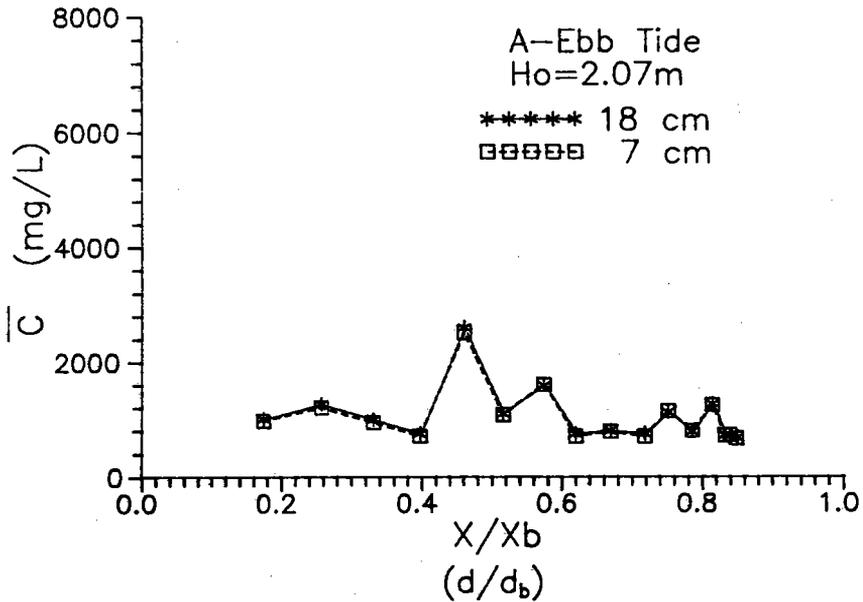


圖 3-20(b) 碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
 (退潮時段)

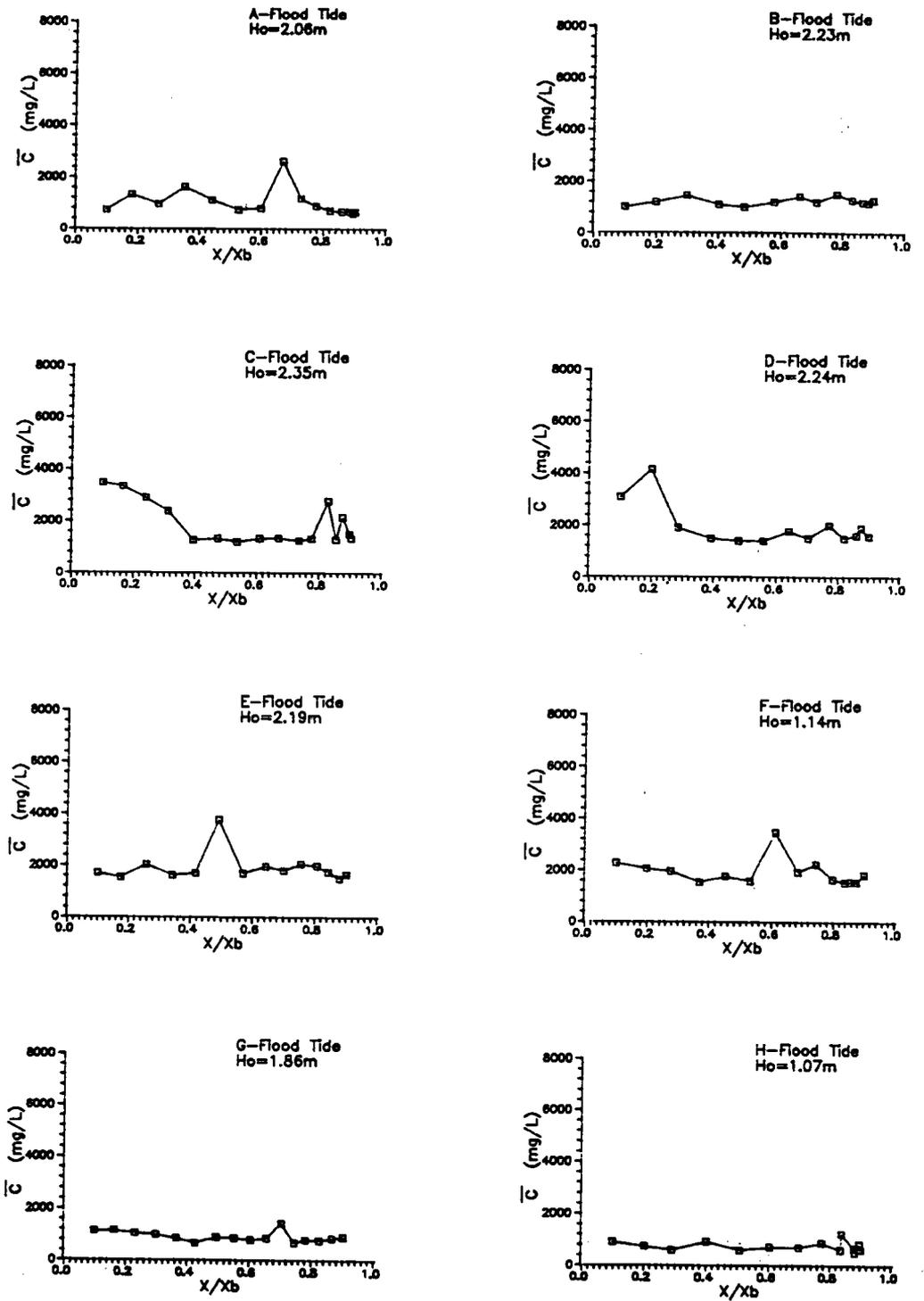


圖 3-21(a) 不同時段碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖 (漲潮時段)

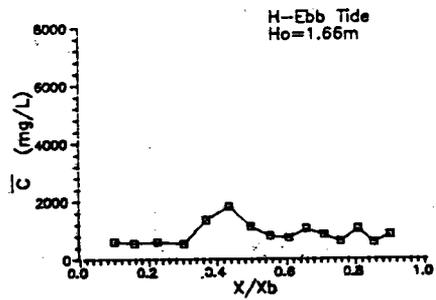
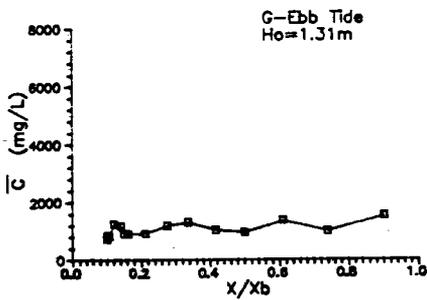
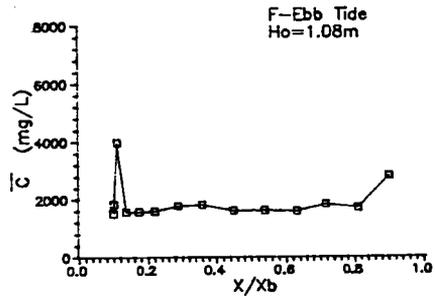
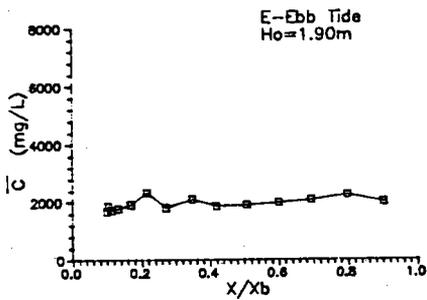
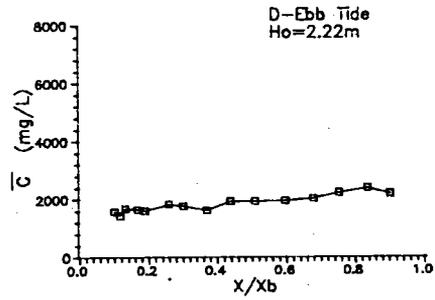
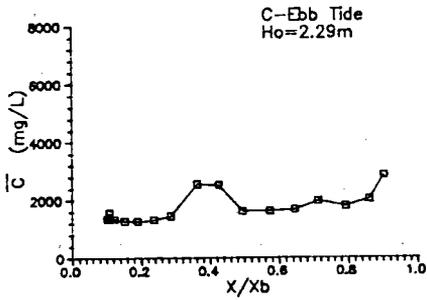
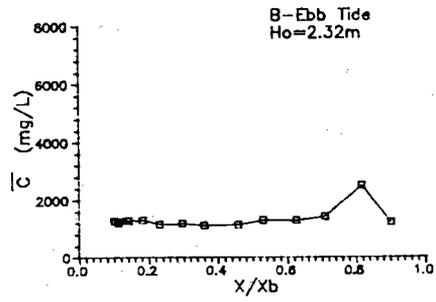
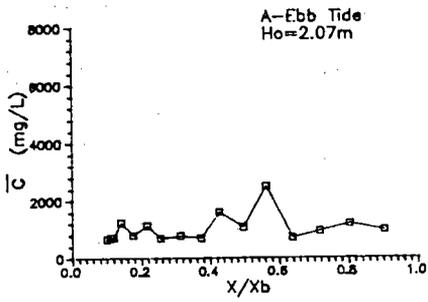


圖 3-21(b) 不同時段碎波帶內無因次相對位置懸浮質平均濃度分佈圖
(退潮時段)

平緩沙灘碎波帶內波浪、流況及漂沙特性研究

作者：張金機、黃清和

發行者：張金機

發行所：台灣省政府交通處港灣技術研究所
台中縣梧棲鎮臨海路83號
電話：(04)6564216

承印者：建州企業有限公司
電話：(04)6270966

本書印製 190 本，非賣品