

水位變化對波浪所引起縱向淨輸沙量影響試驗研究

黃 清 和

輔助機構：行政院國家科學委員會
(計畫編號：NSC75-0410-E124-01)

省政府交通處港灣技術研究所

海岸工程組研究員
中華民國七十六年四月

水位變化對波浪所引起縱向淨輸沙量影響試驗研究

計畫主持人：	黃	清	和
助理研究員：	蘇	青	和
	簡	仲	璟
助	理：	陳	宗
		張	東
技	工：	蔡	吉
		陳	義

目 錄

符號說明

中文摘要

英文摘要

第一章 緒 論

第二章 往昔學者之研究

2 ~ 1 底質運動之形態

2 ~ 2 輸沙方向與海灘斷面之分類

2 ~ 3 向離岸之輸沙率

第三章 理論分析

3 ~ 1 輸沙連續性方程式

3 ~ 2 經驗特徵函數

第四章 模型試驗

4 ~ 1 試驗設備

4 ~ 2 模型鋪設

4 ~ 3 模型試驗底質及試驗水位

4 ~ 4 試驗步驟及試驗條件

4 ~ 5 輸沙率之計算

第五章 試驗結果與分析

5 ~ 1 試驗結果定性描述

5 ~ 2 標準化淨輸沙率無因次分析結果

5 ~ 3 經驗特徵函數分析結果

第六章 結論與建議

致 謝

參考資料

符 號 目 錄

- a_{ij} : 空間相關係數
 a_n^* : 正交因子 (normalized factor)
 A : 空間相關矩陣
 A' : 常數
 bn : 常數係數
 C : Horikawa (1974) 海灘分類之無因次參數
 C' : Hattori (1980) 海灘分類之無因次參數
 Cnt^* : 時間特徵函數
 C_{nt} : 單位時間特徵函數
 d : 水深
 d_o : 水粒子橢圓運動之橫軸長
 d_{50} : 底質之中質粒徑
 e_{nx} : 空間特徵函數
 f : 摩擦係數
 g : 重力加速度
 h_{xt} : 試驗斷面 高程
 h_{it} : 試驗斷面某一點高程
 H_o : 深海波高
 H_b : 碎波波高
 H_i : 入射波高
 I : 單位矩陣
 L_o : 深海波長
 N_t : 試驗斷面之觀測次數
 N_x : 試驗斷面之觀測點數

N_{sr} : Sawaragi (1980) 海灘分類之無因次參數
 P_n : 每個特徵值所佔之比例
 Q_m : 最大平均輸沙率
 S : 底質粒徑之比重
 T : 波浪週期
 t : 造波累積時間
 $\tan\beta$: 底床坡度
 U_{om} : 底床附近水粒子之最大流速
 W_o : 底質顆粒沉降速度
 X_o : 剖面變化之起點
 X_b : 碎波帶寬度
 X_m : 產生最大輸沙率之位置
 X_R : 溯上之距離
 ν : 動力黏滯係數
 ϕ : Shields Parameter
 Φ : 無因次輸沙量
 τ_{om} : 流體作用於底床之最大剪力
 ρ : 流體密度
 ϕ_{cr} : 臨界 Shields 參數
 MSV : 均方值 (mean square Value)
 S_{nm} : 克朗尼克 delta 函數 (Kronecker delta function)
 λ : 特徵質
 ν' : 泥沙之相對比重

摘 要

本文利用物理模型試驗，以規則波作用三種底床坡度與二種底質粒徑，探討波浪所引起向離岸淨輸沙率因水位變化所產生之影響，試驗採用每小時在定水位上下各漲落 5 公分循環二次之水位變化，每一 Run 次試驗累積造波時間達 30 小時，試驗結果經與純粹因波浪作用所引起海灘縱向輸沙率試驗研究比較，作者發現其波浪所引起向離岸淨輸沙量較多且波浪愈能溯上陸地，故前灘區較長，致前灘侵蝕或堆積量顯著增加；大致而言，近高水位線部份底床坡度較大，低水位線部份平坦且粒徑較細，加以水位高低導致波浪尖銳度改變，內灘有被侵蝕趨勢，底質分別堆積在外灘及灘線上，尤其是灘線附近，堆積明顯，平台發達且其灘頂較高，試驗結果同時顯示其海灘斷面較為平坦，甚致底床會有 2 ~ 3 道沙洲產生現象，且當侵蝕性波浪作用時常伴隨有沙丘存在，部份背後積水形成瀉湖現象；分析結果亦顯示無因次 Q / Q_m 與 X / X_m 曲線趨於穩定之時間亦顯著增長，最後試驗結果證明一維經驗特徵函數中第二個變化型態—沙洲平台函數用來描述波浪作用底床剖面變化特性採水位變化試驗時較為適切。

關鍵詞：1. 向離岸 2. 淨輸沙率 3. 上 4. 前灘區 5. 內灘 6. 外灘
7. 平台 8. 沙洲 9. 沙丘 10. 瀉湖 11. 經驗特徵函數

ABSTRACT

Temporal and spatial variations of the on-offshore sediment transport rate based on the experimental data due to waves under water level variations were investigated in this study. Experiments were carried out in IHMT'S 38m x 10m x 1m wave basin with two groups of three different beach slopes, $S = 1 / 10$, $1 / 20$, and $1 / 30$ respectively. A sand of $0.47 \text{ mm}\phi$ and $0.30 \text{ mm}\phi$ were then used as a bed materials. And the variations of water level were generated by two separated pumps beginning from the mean water depth $d = 55\text{cm}$ at $\pm 5\text{cm} / 15\text{min}$ rate. Beach profile changes were measured by a level for every two hours within the testing duration of 30 hrs totally. The net rate of on-offshore sediment is then evaluated from two-dimensional beach deformation data by virtue of the conservation of the bed material amounts. Then, the beach profile characteristics of changing and the temporal-spatial distributions of dimensionlessly normalized transport rate comparing with the ones generated by waves only were discussed. Besides, the profiles were used for an empirical eigenfunction analysis and their discrepancies were discussed also in this study.

key words : 1. on-offshore 2. net sediment transport rate
3. wave run-up 4. foreshore 5. inshore 6. off-shore
7. berm 8. bar 9. barrier 10. lagoon
11. empirical eigenfunction.

第一章 緒 論

海岸漂沙大致可分為平行海岸線以及垂直海岸線之沿岸 (along - shore) 和縱向即向離岸 (on-offshore) 漂沙兩大類；而沿岸漂沙因沿岸流 (longshore current) 流速較為穩定，故無明顯時間變化，然向離岸漂沙，若欲精確估算其淨輸送率 (net transport rate)，則時間變化乃係重要因素，蓋短期海岸底床地形變化與縱向輸沙現象關係異常密切。按斜坡底床縱向淨輸沙量之發生不外乎(1)因波浪作用產生底質往復淨輸送率之差異。(2)因波浪行徑斜坡底床其軌跡運動 (orbital motion) 之不對稱性。(3)因波浪所產生水體之淨質量輸送 (net mass transport) 以及(4)因潮汐 (即水位變化) 或風所衍生之流等諸因素所致。此外，其他如漂沙底質移動情況，海岸底床坡度、底質粒徑、比重以及孔隙等，往往亦為影響向離岸淨輸砂量之重要因素。惟往昔大部份學者或限於試驗設備及試驗費時之關係，均致力於第(1)(2)項因素之探討，而實際海面上，潮汐所引起之水位變化，對波浪、漂沙等特性，扮演著某種重要角色。同時根據郭金棟¹作者等 (NSC 74-0410-E006-02) 試驗結果及現場資料顯示，海灘縱向剖面之變化，通常以碎波線 (breaker line) 一帶最為激烈，而水位變化影響著碎波線發生之位置，故針對潮汐所衍生之流 (current) 對波浪所引起斜坡底床縱向淨輸沙量之影響，故本文嘗試以試驗方法，藉著水位之變化加以探討該項問題，分別就不同波浪特性，三種不同海灘底床坡度 ($1/10$ 、 $1/20$ 和 $1/30$ 等)，以及兩種不同底質粒徑 ($d_{50} = 0.47^{mm}$ ， 0.3^{mm}) 等以進行試驗。試驗中同時量測底床縱向剖面之變化，根據底質質量守衡

原理以計算在各種不同試驗條件下，當水位產生變化時，其斜坡底床向離岸之淨輸沙量 q 值並與平均水位即定水深時其縱向淨輸沙量 q 值作一比較；並利用統計方法以經驗特徵函數 (empirical eigenfunctions) 探討剖面在不同時段之變化數據，以解析淨輸沙量在時間上以及空間上變化之情形，然後藉其相對應之時間和空間函數之線性組合 (linear combination)，客觀地來描述海灘剖面之變化情形，最後其結果亦和純粹因浪所產生之縱向輸砂量作比較，俾提供一更 符合現場，完整定性數值預測模式依據，以供爾後海岸規劃及設計參考，並對海灘地區漂沙之淤積及沖刷作事先防範之保全措施以保障人民生命財產之安全。

第二章 往昔學者之研究

§ 2-1 底質運動之形態

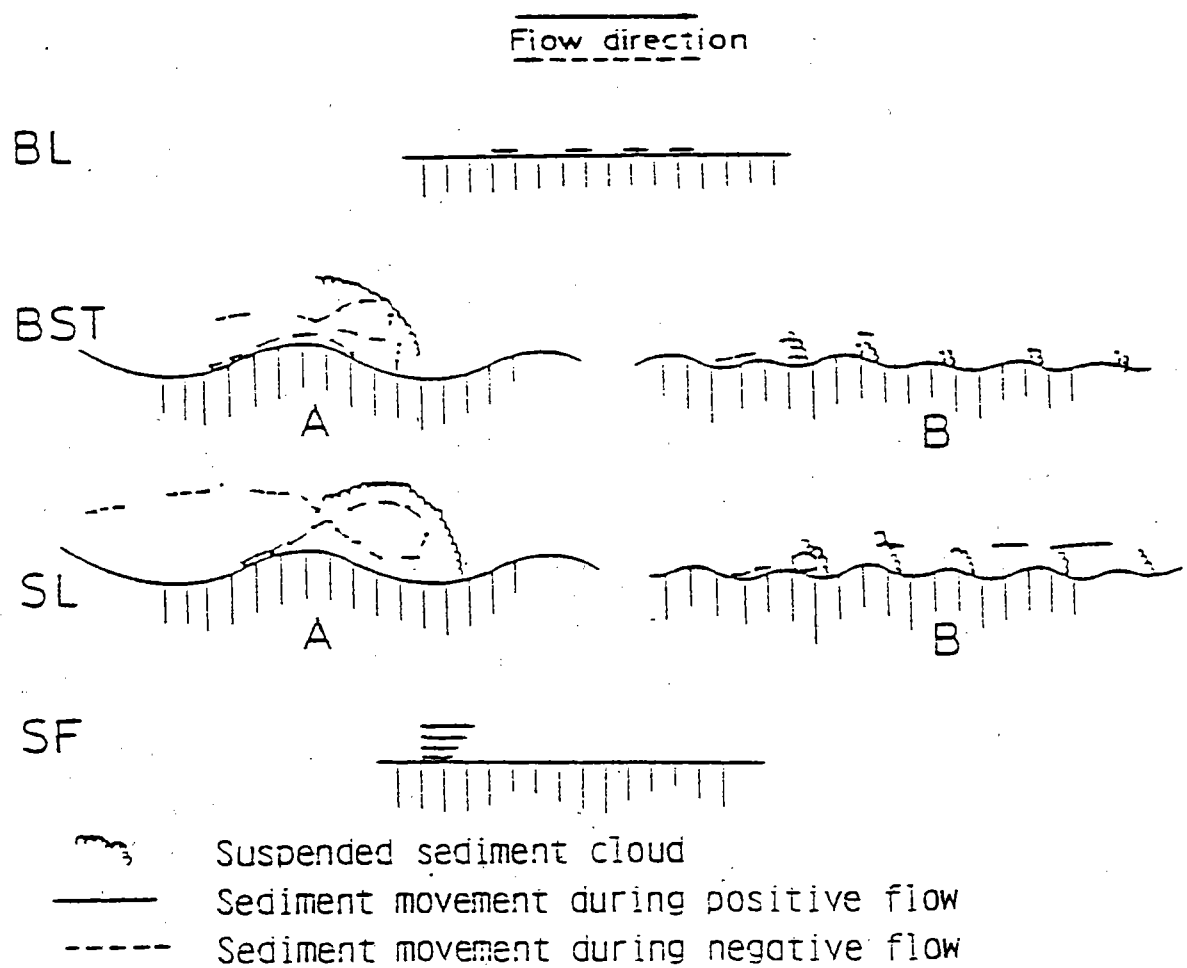
底質運動形態和漂沙輸送方向關係密切且決定海底地貌和海岸的侵蝕或堆積。一般而言，海灘底質之運動形態可區分為底床質 (bed load) 和懸浮質 (suspended load) 在相同之波浪條件下，顆粒愈細者愈容易形成懸浮質而向外海移動。

Shibayama & Horikawa (1982) 根據漂沙輸送形式及方向而將底質的移動區分為四大類，計有六種形態如圖 2-1：

1. 底床質 (Bed load)：底質全部沿著底床表面移動沒有懸浮質產生，其傳輸方向與水流方向相同，如圖 2-1 所示的 “BL”。
2. 底床質、懸浮質之混合型 (Bed-load Suspended-load transient)。
 - (A) 水粒子運動軌跡，直徑 d_c 與沙漣 (Sand ripple) 之波長幾乎相等，波浪在前半週期裏，水流在沙漣的反側形成渦流 (vortex) 底質顆粒被限制於渦流中呈浮游狀態，並於後半週期裏，往反方向傳播如圖 2-1 所示的 “BST(A)”。
 - (B) 沙漣的波長遠小於水粒子運動軌跡的直徑，懸浮狀的底質不受渦流的影響，並且往波浪進行的方向傳播，如圖 2-1 所示的 “BST(B)”。
3. 懸浮質 (Suspended load)：底質的輸送以懸浮質為主。
 - (A) 水粒子運動軌跡直徑幾乎與沙漣的波長相等底質過程與 BST (A) 相似，如圖 2-1 所示的 “SL(A)”。
 - (B) 沙漣的波長遠小於水粒子軌跡直徑，底質的運移過程類似於 BST

(B)，如圖 2—1 所示的 “SL(B)”。

4 薄層流 (Sheet Flow):底床的沙鏈消失，底質被限制在靠近底床的一個薄層裏，移動方向與水流方向相同，如圖 2—1 所示的 “SF”。



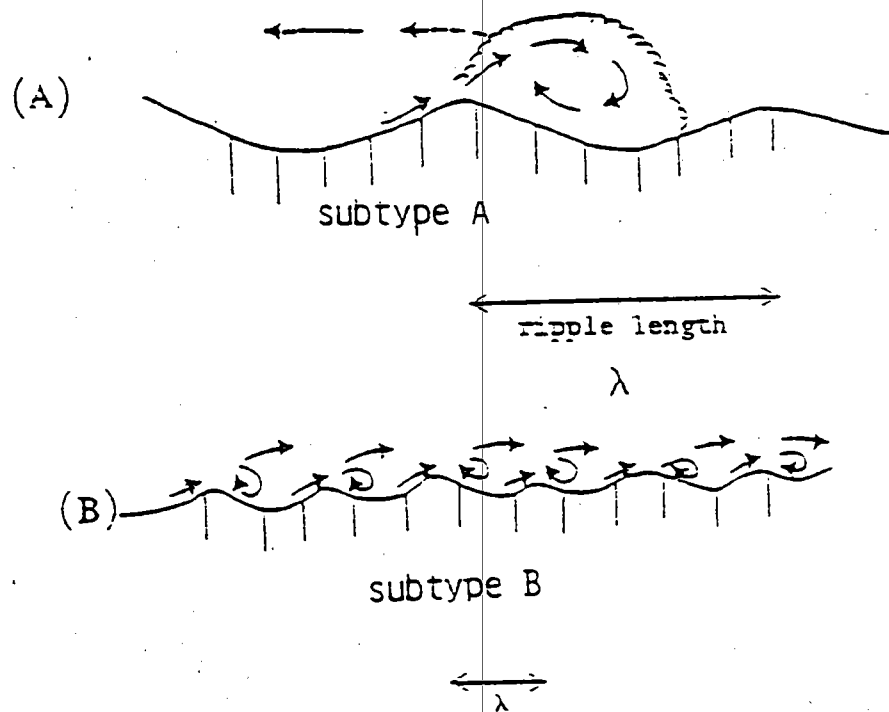


圖 2—1 底質運移形態的分類

Hattori (1982) 根據現場調查的結果認為在碎波帶 (Surf Zone) 外，底質的運動形態以底床質為主，在碎波帶內則以懸浮質為主。

至今，有關於懸浮質的定義仍不明確，而且由於量測困難量 (quality) 的問題亦未能合理的解決，限於試驗設備及時間，本文不擬詳細討論，僅就底床質加以探討。

§ 2—2 輸沙方向與海灘斷面之分類

早期學者對海灘之型式，大致區分為暴風型海灘與正常型海灘。所謂暴風型海灘亦稱為冬季海灘 (winter beach)，一般發生於波浪尖銳度較大之情況；此時海灘呈侵蝕狀，於碎波點附近常有沿岸沙洲 (longshore bar) 發生。所謂正常型海灘又稱為夏季海灘 (Summer beach)，一般發生於尖銳度較小之波浪條件下，此時海灘呈淤積狀，如圖 2—2：

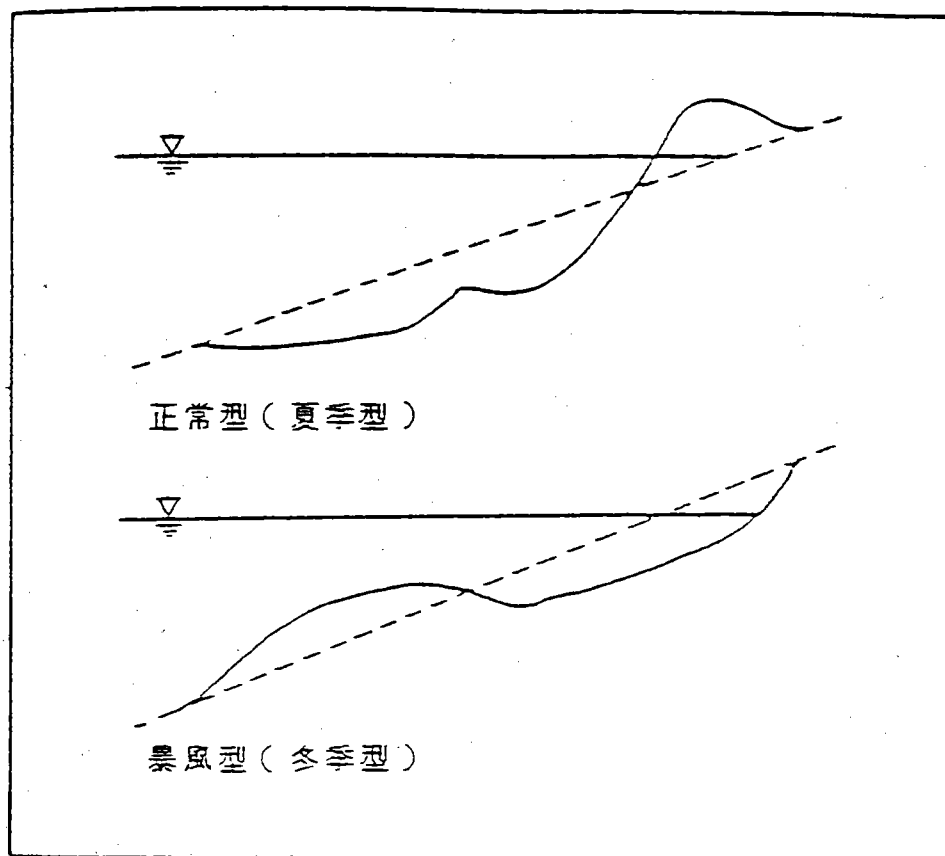


圖 2—2 海灘斷面之分類

Johnson (1949) 認為波浪尖銳度在 $0.025 \sim 0.03$ 時為上述二類海灘斷面之臨界值；大於臨界值，海灘為侵蝕狀態（暴風型），小於臨界值、海灘或淤積狀（正常型）。

然除了尖銳度外，Rector (1954) 利用數據分析後，認為海灘底質特性如粒徑、比重及海灘坡度亦為重要之影響因素，歸納其結果如圖 2—3，由該圖已知底質粒徑，則可求得各種尖銳度波浪作用下，海灘呈侵蝕或堆積。

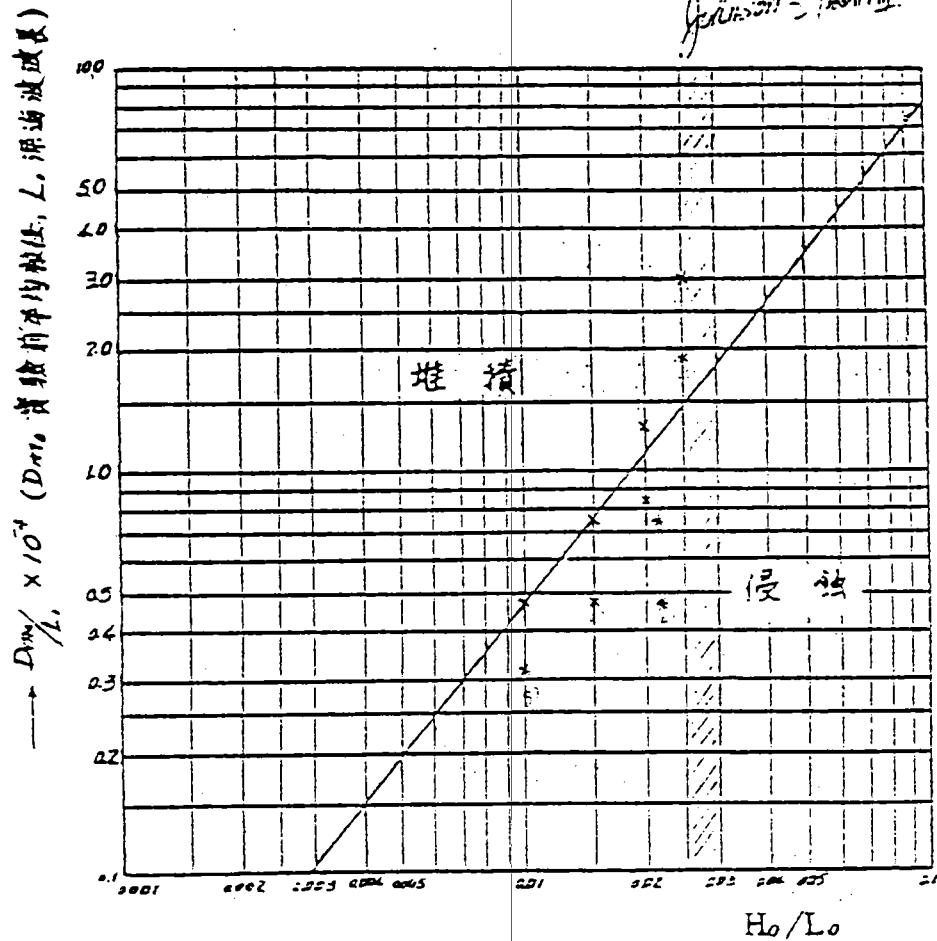


圖 2—3 海灘侵蝕與堆積之界限 (Rector , 1954)

Iwagaki, Noda (1962) 另引入中值粒徑 d_{50} 為參數，以 H_0/L_0 ， H_0/d_{50} 來決定沙形成之標準，他們認為 Johnson 之理論適用於 $H_0/d_{50} = 200 \sim 400$ 間，當 $H_0/d_{50} > 400$ 時，即使是小尖銳度下，沿岸沙洲亦可能發生而形成暴風型海灘。

Nayak (1970) 以不同比重之砂粒作試驗以 H_0/L_0 ， $H_0/\gamma'd_{50}$ 為新參數來決定海灘之斷面型式，式中 γ' 為泥沙之相對比重 $\gamma' =$

$$\frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \quad , \quad \gamma_f \text{ 為流體比重，} \gamma_s \text{ 為砂粒比重。}$$

Johnson , Iwagaki & Noda, Nayak 等人之研究成果。如圖 2

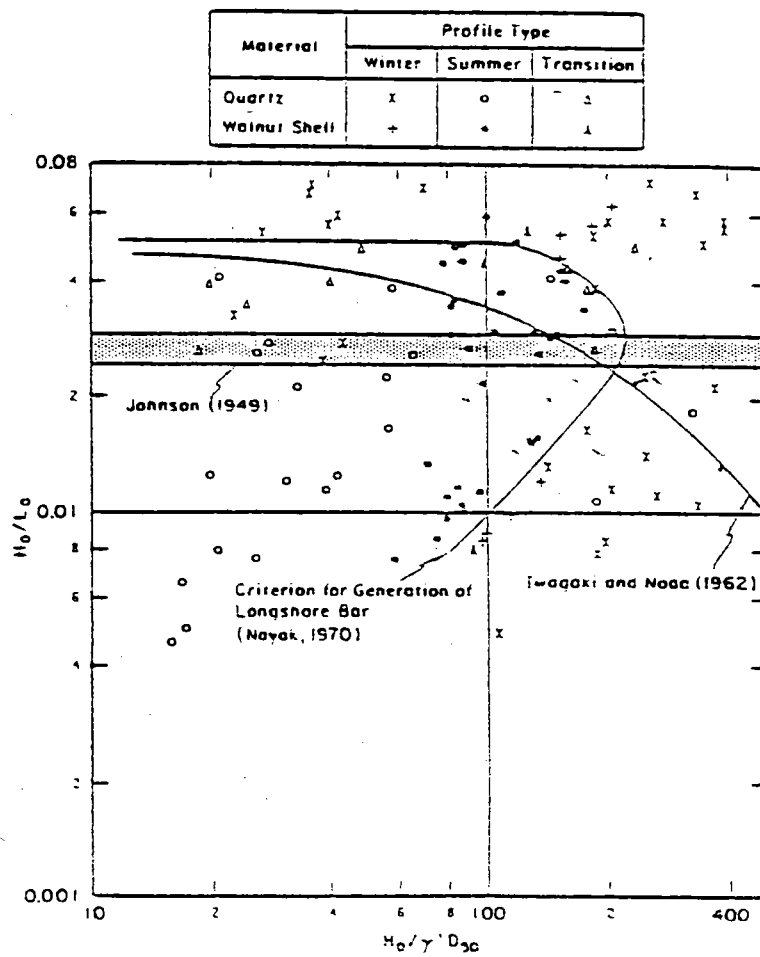


圖 2—4 沿岸沙洲生成之界限 (Nayak , 1970)

掘川清司、沙村繼夫、鬼實平山 (1973) 以底質粒徑及波浪條件重新定義三種海灘斷面形式，如圖 2—5 。

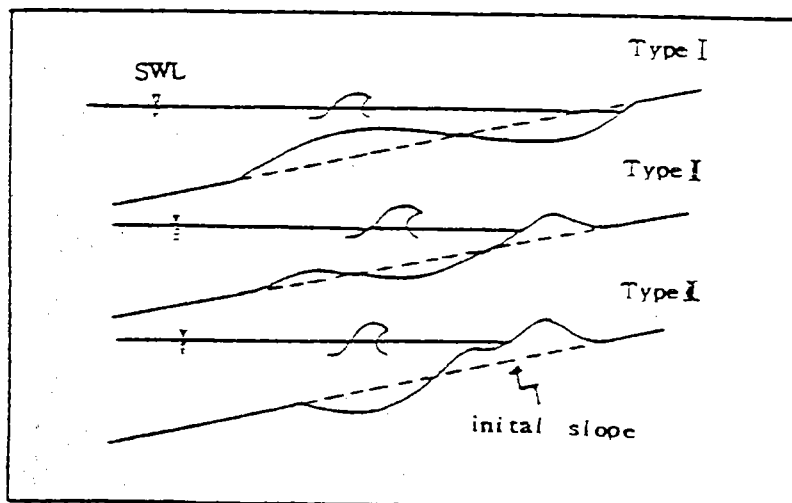


圖 2—5 海灘斷面型式定義圖

$$\text{Type I : } H_o/L_o \geq 17.2 (d_{50}/L_o)^{0.67}$$

$$\text{Type II : } 9.2 (d_{50}/L_o)^{0.67} < H_o/L_o < 17.2 (d_{50}/L_o)^{0.67}$$

..... (2 - 1)

$$\text{Type III : } H_o/L_o \leq 9.2 (d_{50}/L_o)^{0.67}$$

Type I 之特性：海岸線很退（呈侵蝕狀），沙粒堆積於遠灘。

Type II 之特性：海岸線前進（呈侵蝕狀），沙粒堆積於遠灘。

Type III 之特性：海岸線前進，無沙粒堆積在遠灘上。

以上學者等人之研究均未考慮海灘坡度對斷面型式之影響，然海灘坡度對海岸地形確實具有影響，故 Sunamura & Horikawa (1974) 等人，修正 1973 年之研究，以海灘坡度為新參數重新列出判別海灘斷面型式之標準。

$$\text{Type I : } H_o/L_o \geq 8 (\tan\beta)^{-0.27} (d_{50}/L_o)^{0.67}$$

$$\text{Type II : } 4 (\tan\beta)^{-0.27} (d_{50}/L_o)^{0.67} \leq H_o/L_o \leq$$

$$8 (\tan\beta)^{-0.27} (d_{50}/L_o)^{0.67} \text{ (2 - 2)}$$

$$\text{Type III : } H_o/L_o \leq 4 (\tan\beta)^{-0.27} (d_{50}/L_o)^{0.67}$$

其研究結果認為在相同波浪條件作用下，底質粒徑大者為 Type III 之斷面，海岸線前進；底質粒徑小者為 Type I 之斷面。若在相同粒徑及條件下，波高大者為 Type I 之斷面，波高小者為 Type III，其間之判

斷標準以 (2 - 2) 式為準則，如圖 2 - 6

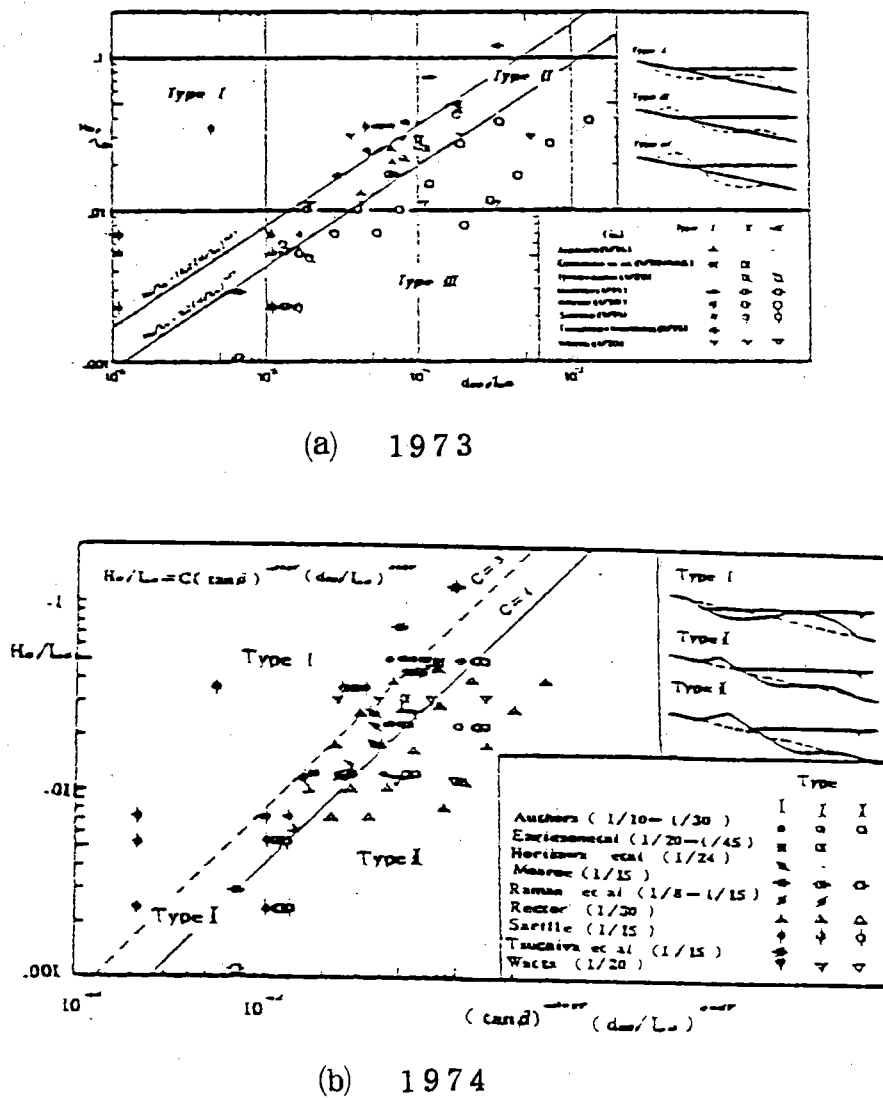


圖 2 - 6 海灘形式分類之標準 (Horikawa , 1973, 1974)

Horikawa 等人 (1974) 亦採用現場資料來推求 C 值結果發現當：

$$H_o/L_o \leq 9 (\tan \beta)^{-0.27} (d_{50}/L_o)^{0.67} \text{ 時，海岸線前進}$$

$$H_o/L_o \geq 8 (\tan \beta)^{-0.27} (d_{50}/L_o)^{0.67} \text{ 時海岸線後退} \quad (2-3)$$

式中 $\tan\beta$ 為現場海灘平均坡度，如圖 2—7 (a)~(c)

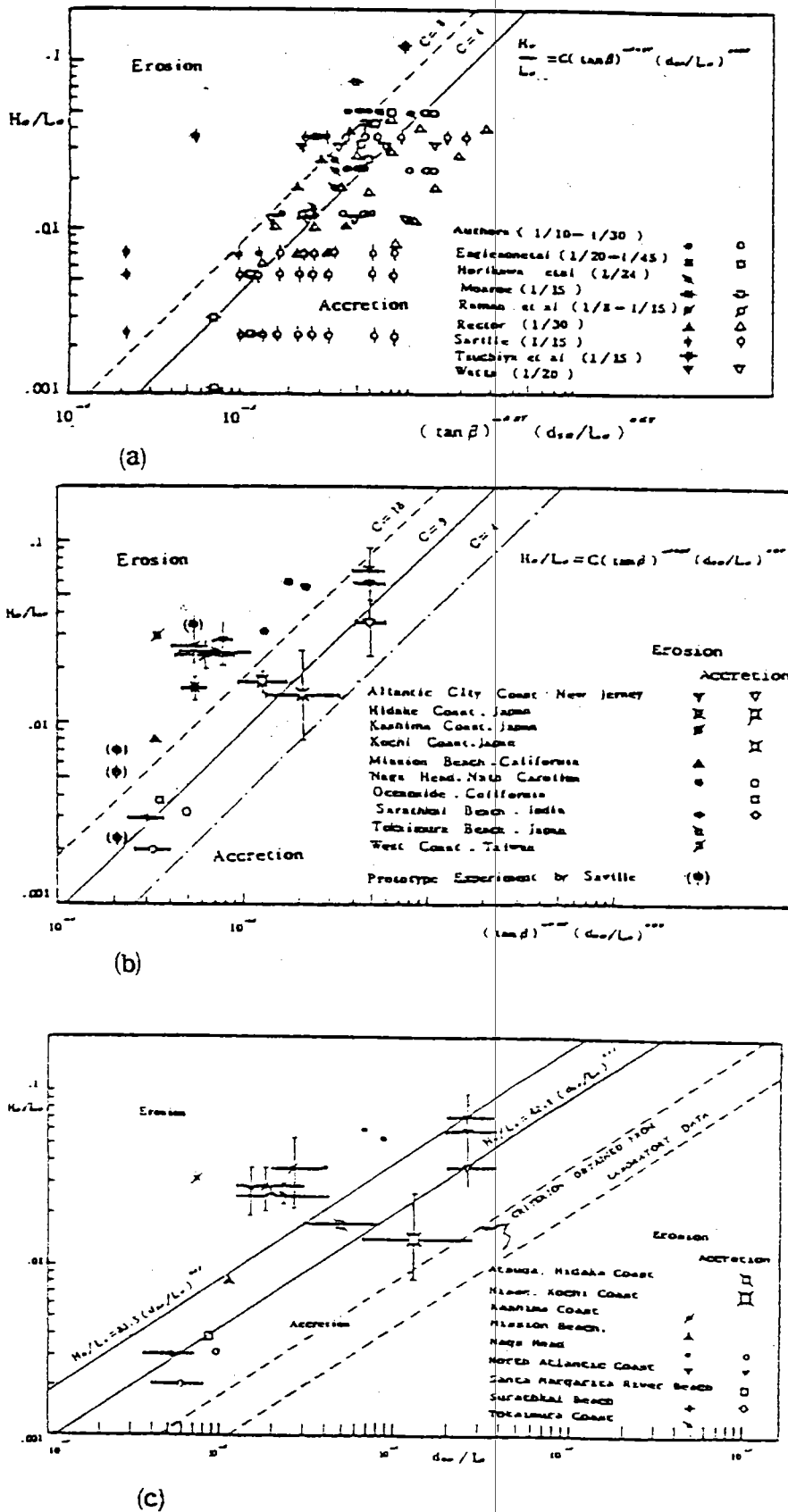


圖 2—7 (a)模型中海岸線之變化 (1974)

(b)現場海岸線之變化 (1974)

(c)現場海岸線之變化 (1973)

海岸線變化分類標準

Sawaragi (1980) 則定義一個無因次參數 N_{sr} 判別底質的移動方向，區分海灘是堆積或侵蝕：

$$N_{sr} = g T d_{50} / 2 \pi \nu \dots\dots\dots (2 - 4)$$

其中 g 為重力加速度， T 為波浪週期， ν 為動力黏滯係數

$$N_{sr} < 10^3 \text{ 離岸 (offshore) 為侵蝕性斷面} \dots\dots\dots (2 - 5)$$

$$N_{sr} > 10^3 \text{ 向岸 (onshore) 為堆積性斷面}$$

Hattori (1980) 亦根據平衡斷面的觀念，導出一判別底質為向岸或離岸的參數 C ，亦即當平衡斷面達成時，底質顆粒所受的重力與碎波所產生的上揚力將互相平衡，如圖 2 - 8 所示，故

$$C = \frac{\text{上揚力}}{\text{沉降力 (重力) }} = (H_o / L_o) \tan \beta / \frac{W_s}{g T} = 0.5 \text{ (平衡、斷面)}$$

$$< 0.5 \text{ (向岸、堆積)}$$

$$> 0.5 \text{ (離岸、侵蝕)}$$

$$\dots\dots\dots (2 - 6)$$

其中 $\tan \beta = h_b / x_b$ ， h_b 為碎波水深， x_b 為碎波寬帶， W_s 為底質粒子之沉降速度，各種座標符號，如圖 2 - 9 所示。

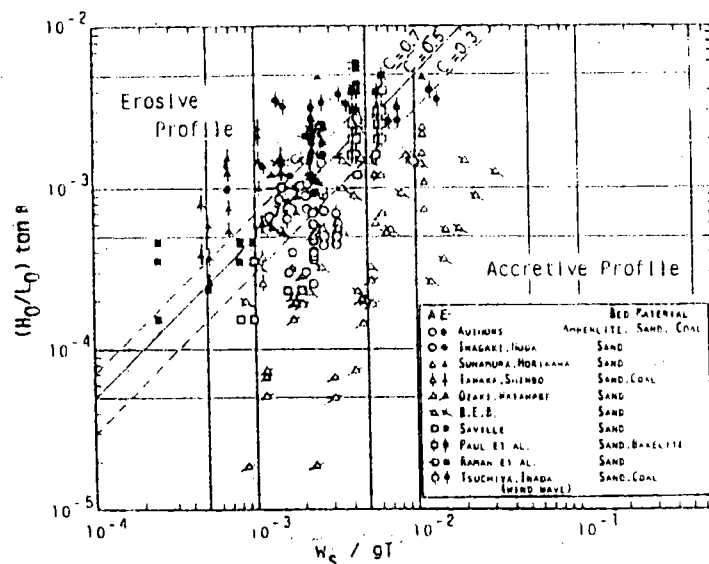


圖 2 - 8 海灘分類之標準 (Hattori, 1980)

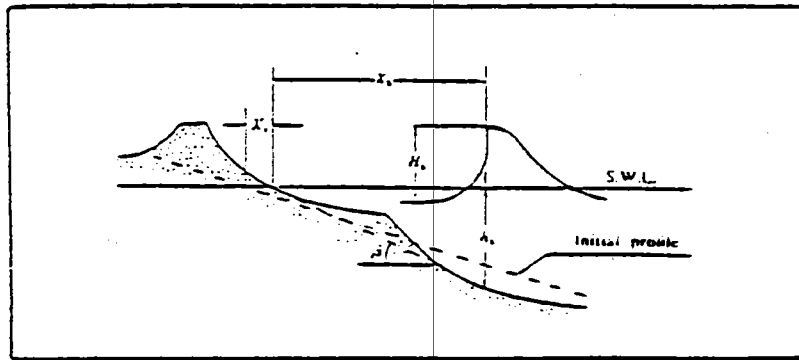


圖 2-9 座標符號示意圖 (Hattori, 1980)

由 (2-6) 式可知，沉降速度和碎波帶內底床的坡度是控制底質向岸或離岸移動的兩個重要參數。

Hattori 並且據此將海灘斷面分為三類如圖 2-10 所示。

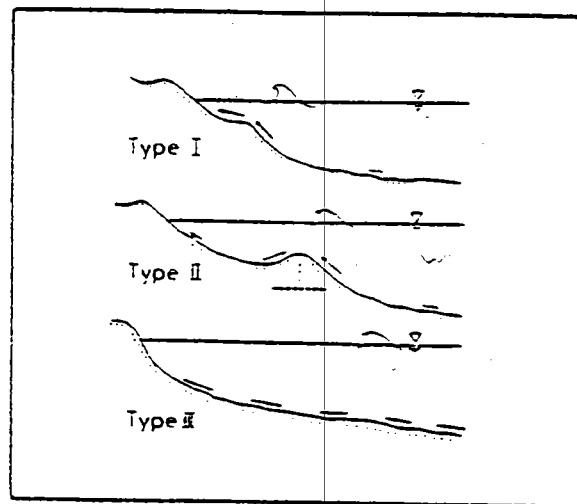


圖 2-10 海灘斷面之分類 (Hattori, 1980)

Type I：堆積海灘、碎波帶內的底質向岸移動，海岸線前進。

Type II：在碎波點附近產生沙洲 (Bar)，並且向岸或向海移動，逐漸發展為 Type I 或 Type III。

Type III：侵蝕性斷面，底質向海輸送。

Hattori (1982) 再根據現場調查的結果，認為最大的輸沙率發生於碎波點附近，而且輸沙方向取決於潮位的變化，漲潮時以離岸方向為主，退潮時則以向岸為主要。

2-3 向岸離岸之輸沙率

Shield (1936) 研究單向穩定流 (Steady unidirectional) 的流況下底質的移動狀況後，首先提出一個無因次的剪力參數 ϕ 作為底質臨界移動的準據，稱為 Shields Parameter 表示如下：

$$\phi = \frac{\text{流體作用於底床的剪力}}{\text{底質顆粒在流體中的重量}} = \frac{\tau_{om}}{\rho g (S-1) d} \dots\dots (2-7)$$

$$\text{其中 } \tau_{om} = \frac{1}{2} f \rho U_{om}^2 \dots\dots\dots (2-8)$$

U_{om} 為底床附近水粒子之最大流速， f 為摩擦係數， ρ 為流體密度， S 為底質顆粒的比重， d 為底質粒徑。

Brown (1950) 則找出在穩流 (Steady flow) 裏無因次平均輸沙率 Φ 與 ϕ 的關係為：

$$\Phi = 40 \phi^3 \dots\dots\dots (2-9)$$

其中 $\Phi = \bar{Q} / W_o d_{so}$ ， $\bar{Q}$ 為平均輸沙率， W_o 為底質沉降速度。

Vincent (1957)，Abou-Seida (1965) 及 Manorhar (1955) Kalkanis (1962)，亦曾分別就波浪水槽及振動水槽進行輸沙率的研究，而 Madsen-Grant (1976) 則假設振動水槽的流況為近似穩流 (quasi-Steady flow) 再根據 Brown (1950) 的 $\Phi - \phi$ 關係式 (2-9)，求出半週期裏的平均輸沙率 Φ' 與 ϕ_m 的關係為：

$$\Phi' = 12.5 \phi_m^3 \dots\dots\dots (2-10)$$

其中 ϕ_m 爲振動流況 (Oscillatory flow) 下的 Shields Parameter $\bar{\phi}'$ 爲振動流況下半週期的無因次平均輸沙率。

Shibayama, Horikawa (1982) 利用波浪水槽進行試驗，並利用 (2-9) 式導出半週期裏的平均輸沙率爲

$$\bar{\phi}' = 19 \phi_m^3 \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

以上各學者的實驗都是在起始爲等水深的條件下進行的，而且研究的都是平均輸沙率或半週期的平均輸沙率，Watanabe, Riho, Horikawa (1980) 則在波浪水槽裏就兩種粒徑 (分別爲 0.2mm 和 0.7 mm) 和兩種坡度 (分別爲 1 / 10 和 1 / 20) 對各種不同的波浪條件進行研究，造波時間各爲一小時，據此以計算淨輸沙率 (Net transport rate) 所得之結果爲：

$$\phi = A' (\phi - \phi_{cr}) \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

其中 $\phi = Q / W_o d_{50}$ 爲一無因次淨輸沙率，Q 爲淨輸沙率係向岸與離岸之差值， ϕ_{cr} 爲 Shield's parameter 之臨界值，A' 爲常數，d 值爲 0.7 mm 時 A' 值爲 1. d 值爲 0.2 mm 時，其值爲 3。

第三章 理論分析

§ 3-1 輸沙連續性方程式

(Sediment Mass Continuity equation)

往昔縱向輸沙量均以捕砂器 (Sand trap) 測定之，鑑於捕砂器常因攪亂其週遭水流流況，致影響其準確性，同時捕砂器因無法求得其淨輸送率 (net transport rate) 而僅能測得造波不久後之淨沙量，故為改進昔日學者使用捕砂器的該項缺點，本試驗研究採用直接測定其海灘底床剖面變化，然後藉由輸沙連續方程式，以推求漂沙輸送率 (Sediment transport rate)。

根據漂沙底質總量不變的事實，漂沙淨輸送率連續方程式可表示為：

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1 - \epsilon} \frac{\partial q}{\partial x} \dots\dots\dots (3 - 1)$$

其中 $h = h (x , t)$ 為計算點對某一基準底面的高程。

ϵ = 底質的孔隙率 (porosity)

q = 底質的有效體積 (亦即不含空隙的體積)

由上式可求得有效淨輸沙率的時間平均值 $Q (x)$ 為

$$Q (x) = \frac{\bar{q}}{1 - \epsilon} = \int_{x_0}^x \frac{\Delta h}{\Delta t} dx \dots\dots\dots (3 - 2)$$

其中 $\bar{q}$ = 底質有效體積之平均值。

x_0 = 底床剖面變化的起點。

故只要求得海灘底床剖面高程之變化，即可算出每一斷面位置之輸沙量 $Q(x)$ 。圖 3-1 (a)~(c)，各種海灘型態斷面輸沙量計算法。

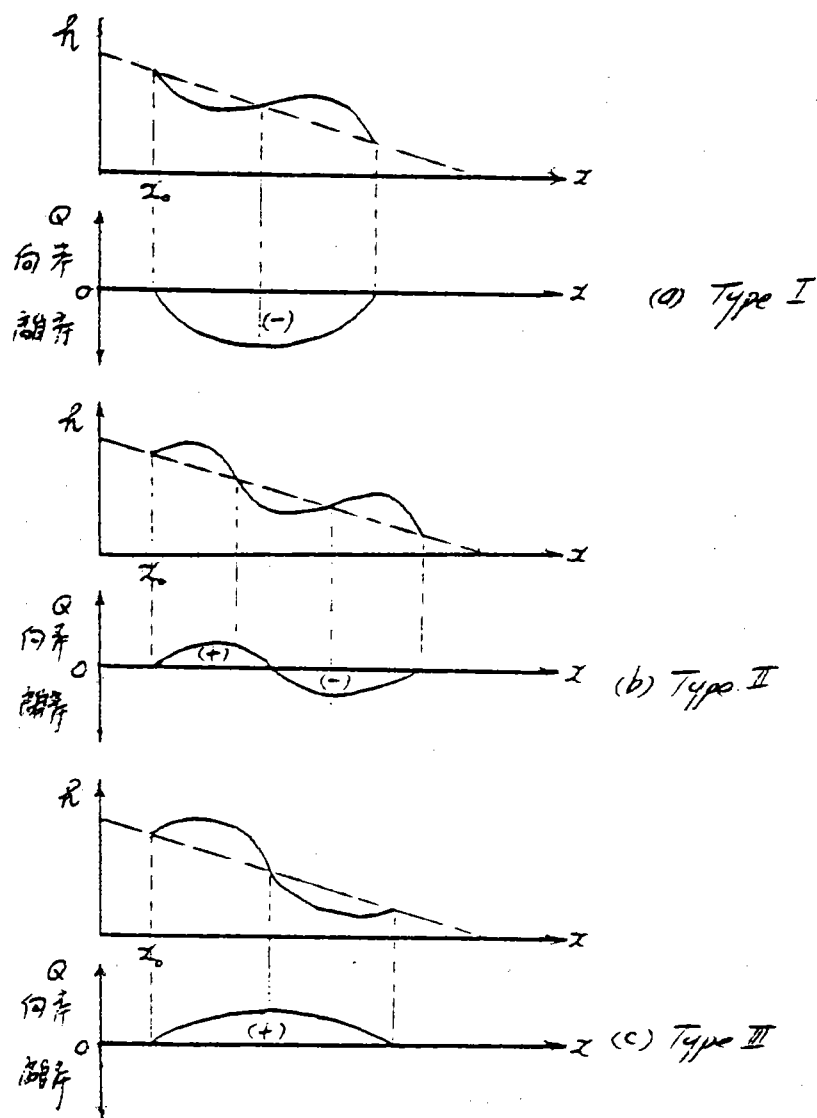


圖 3-1 各種海灘斷面輸沙率計算法

3-2 經驗特徵函數 (empirical eigenfunction)

本文同時利用統計方法，根據試驗斷面數據所衍生之一組經驗特徵

函數，解析實驗底床剖面之變化情形。

這種統計方法論最初係由一些氣象學家所使用，目前則已被廣泛地應用在各種不同科學領域，如Lorenz(1956)；Mc Cammon (1966)；Stidd (1967)；Resio and Hayden (1973)等等，而Winant, Inman & Nordstrom等(1975)，則係首先將此法應用在海灘地形變化之解析者。觀念上這種方法解析之目的係分離試驗數據在時間和空間之相依性，故可代表一組時間上和空間上相對應函數之線性組合，且這些函數可客觀的代表整個試驗波浪作用期間，底床剖面在時間和空間之變化情況。Winant等(1975)和Aubrey (1978)更說明當該法應用到海灘剖面數據時，特徵函數據有如圖3—2所示之物理類比，經解析前三個變化型態分別為(a)平均海灘函數(mean beach function)，類比於數據之算術平均值剖面；如果海灘係穩定者，該特徵函數將具有一定值之時間相依，(b)沙洲—平台函數(bar-berm function)表季節性函數以及，(c)台梯函數(terrace function)乃因在低潮台梯位置附近具有一寬濶之極大值有著一複雜之時間相依而稱之。

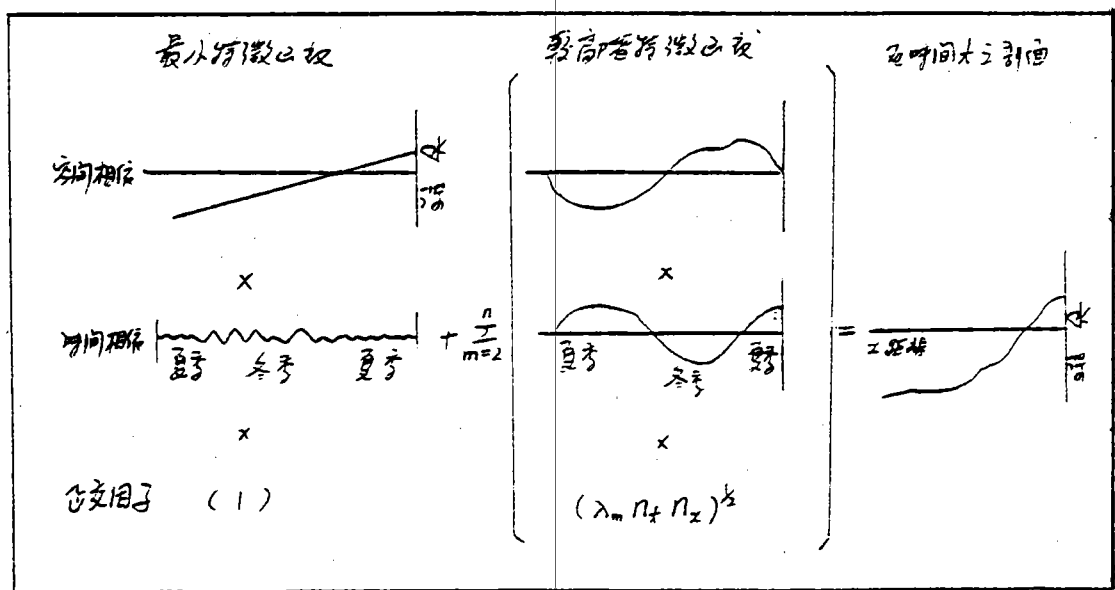


圖 3 — 2 海灘剖面數據經驗特徵函數分析示意圖

每一個變化型態代表各種空間變化成分在不同時間的變化性質，這些變化型態可由空間及時間的特徵函數之線性組合表示如下：

$$h_{xt} = \sum_n e_{nx} C_{nt}^* \dots\dots\dots (3-3)$$

式中 e_{nx} 表示空間特徵函數， C_{nt} 表時間特徵函數，附標 n 表示所取變化型態的個數。研究海灘斷面空間性變化，可由斷面上 i 與 j 兩觀測點空間變化的相關性加以考慮，而 i 點與 j 點的相關性則由歷次觀測的底床剖面變化資料經由統計方法求得：

$$a_{ij} = \frac{1}{N_x N_t} \sum_{t=1}^{N_t} h_{it} h_{jt} \dots\dots\dots (3-4)$$

式 (3-4) 表觀測點 i 與 j 底床高程變化的相關性對時間的平均值， a_{ij} 愈大，則觀測點 i 與 j 高程變化的關係愈為密切，反之則表示兩者關係愈小。

式中 a_{ij} = 空間相關係數

N_x = 試驗斷面觀測點數

N_t = 試驗斷面觀測次數

h_{it}, h_{jt} 示意圖如圖 3-3 所示。

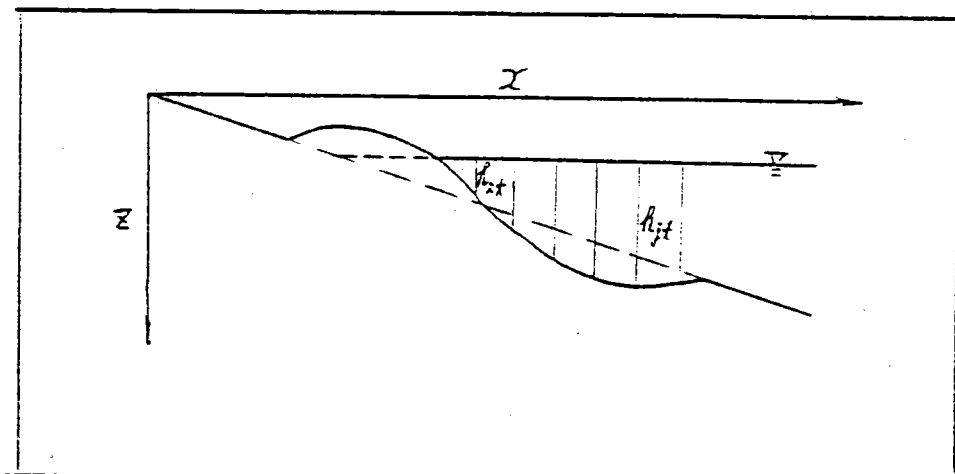


圖 3-3 座標示意圖

因同一斷面有 N_x 個觀測點，故由式 (3-4) 可得一 $N_x \times N_x$ 空間相關矩陣 (Spatial Correlation matrix) A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & a_{ij} & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} ; (n=N_x) \dots\dots\dots (3-5)$$

由於 A 矩陣元素 a_{ij} 係由斷面上各觀測點歷次之觀測高程所求得，故 A 矩陣代表海灘斷面空間之變化性質，而 A 矩陣經由矩陣方程式之轉換，可產生 n 個特徵值 (eigen value) λ 及其對應的空間特徵函數， e_{nx} :

$$A e_{nx} = \lambda_n e_{nx} \dots\dots\dots (3-6)$$

式 (3-6) 可改寫為：

$$(A - \lambda I) e_{nx} = 0 \dots\dots\dots (3-7)$$

式中 I 表示單位矩陣。式 (3-7) 具有非零解 (non-trivial solution) 之充要條件為：

$$|A - \lambda I| = 0 \dots\dots\dots (3-8)$$

將式 (3-8) 展開可得 λ 之多項式：

$$\phi(\lambda) = (-1)^n (\lambda^n + b \lambda^{n-1} + \dots + b_{n-1} \lambda + b_n) = 0 \dots\dots\dots (3-9)$$

式中 b_n 表示常數係數。由式 (3-9) 可求得 n 個特徵值，將其帶入式 (3-7) 則可求得 n 個空間特徵函數。

由式 (3-4)、(3-5) 知 A 矩陣爲赫米茲矩陣 (Hermitian matrix) 特例，故所得之空間特徵函數具有正交性即滿足克朗尼克函數 (Kronecker delta function)：

$$\sum_x e_{nx} \cdot e_{mx} = \delta_{nm} = \begin{cases} 1 ; n = m \\ 0 ; n \neq m \end{cases} \dots\dots\dots (3-10)$$

時間特徵函數可由式 (3-3) 及式 (3-10) 應用最小二乘法求得

$$C_{nt}^* = \sum_x h_{xt} e_{nx} \dots\dots\dots (3-11)$$

再由式 (3-3)、(3-4)、(3-10) 及 (3-11) 可求得：

$$\sum_t C_{nt}^* C_{mt} = \delta_{nm} \lambda_n N_x N_t \dots\dots\dots (3-12)$$

故定義：

$$C_{nt} = C_{nt}^* / (\lambda_n N_x N_t)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3-13)$$

使其成爲單位正交時間特徵函數即滿足 Kronecker delta 函數。

$$\sum_t C_{nt} C_{mt} = \delta_{nm} \dots\dots\dots (3-14)$$

將式 (3-13) 代入式 (3-3)，則海灘斷面可表示爲：

$$h_{xt} = \sum_n (\lambda_n N_x N_t)^{\frac{1}{2}} e_{nx} C_{nt} = \sum_n a_n^* e_{nx} C_{nt} \dots\dots\dots (3-15)$$

式中 a_n^* 爲正交因子。 e_{nx} 及 C_{nt} 均爲無因次之單位正交函數經正交因子轉換後得有因次之海灘斷面變化量：

若試驗斷面第 n 個變化型態之斷面高階份量以 $(h_{xt})_n$ 表示，則由式 (3-3) 式 (3-10) 及式 (3-14)，可得其特徵值 λ_n 即爲此變化份量之均方值 (mean square value)

$$\lambda_n = MSV = \frac{1}{N_x N_t} \sum_x \sum_t (h_{xt})_n^2 \dots\dots\dots (3-16)$$

在統計學上，一般均以方值表示變化成份之變動量，故由式（3-16）可知，每個特徵值即代表每一變化型態變動量的大小，並以 P_n 表示此變化型態變動量在整個試驗斷面變化所佔的比例：

$$P_n = \frac{\lambda_n}{\sum \lambda_n} \dots\dots\dots (3-17)$$

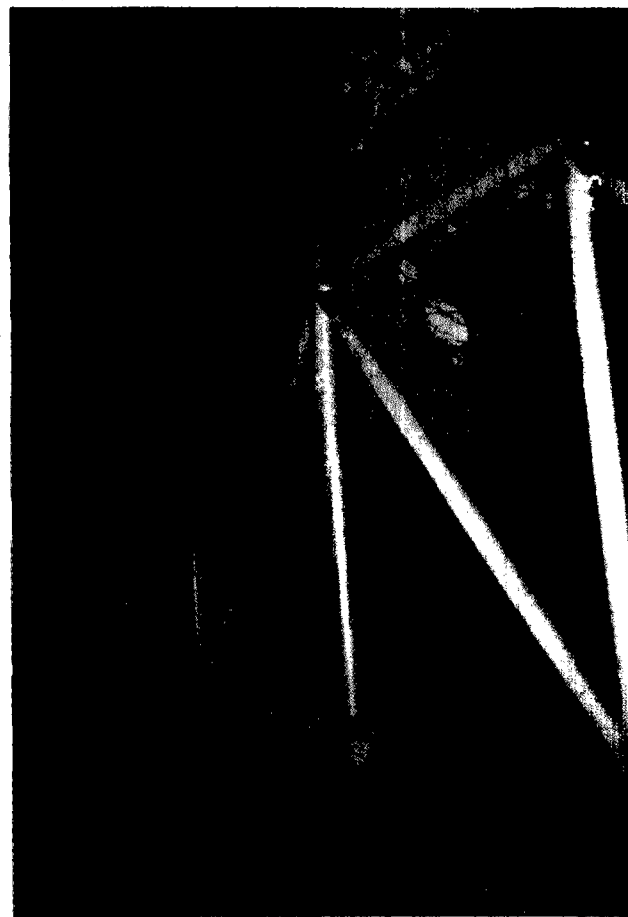
則由 P_n 的大小可得知每一變化型態在試驗斷面變化中之重要性。

第四章 模型試驗

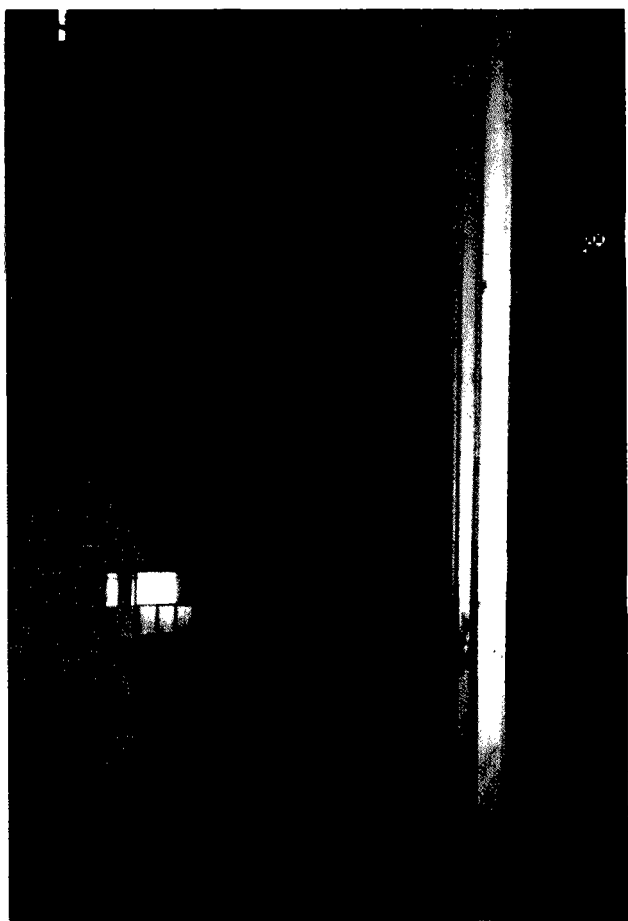
爲探討水位變化對波浪所引起縱向淨輸沙量之影響，本試驗研究在國科會補助計畫 NSC75-04-10-E124-01 下，於港灣技術研究所實驗室進行模型試驗工作，謹將整個試驗工作略述如下：

4-1 試驗設備

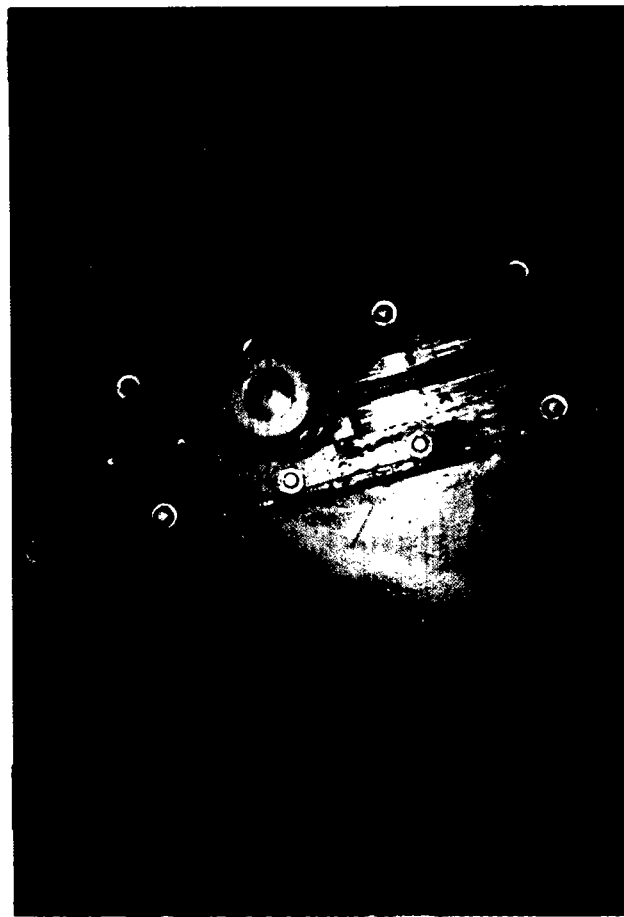
1. 試驗水池：長 37.5 公尺，寬 10 公尺，深 1 公尺，利用磚塊區分爲六個等寬斷面水槽，每個斷面寬約 1.5 公尺。
2. 翼板式造波機：長 9.82 公尺，裝平板式造波機，底部以鉸鏈固定於試驗水槽末端凹槽內，變速機以偏心輪裝設於該端地面上，使用三十匹馬力馬達帶動機輪使造波機前後擺動以模擬試驗入射波浪，造波板後面並裝置消波塊石設施。如照片 4-1~照片 4-4 所示。
3. 抽排水馬達：用以抽排試驗水池之水以模擬水位變化，裝置於水槽造波機附近岸壁，如照片 4-5 所示。
4. 測量儀器：水準儀一台，自製水準尺一支，以及照相機等，如照片 4-6 與照片 4-7 所示。
5. 容量型波高儀：包括感受器及增幅器，將試驗水池水面起伏變化，先經一對白金線感受器轉變爲電阻變化，藉惠氏登電橋改換成電流，復藉增幅器予以放大後由電腦分析或記錄儀記錄電流變化。如照片 4-8 與 4-9 所示。
6. 紙帶記錄儀：將波高儀感受器感受到之水位變化，經由此記錄儀率定試驗入射波高以及造波期間各點位置之位置，如照片 4-10 所示。



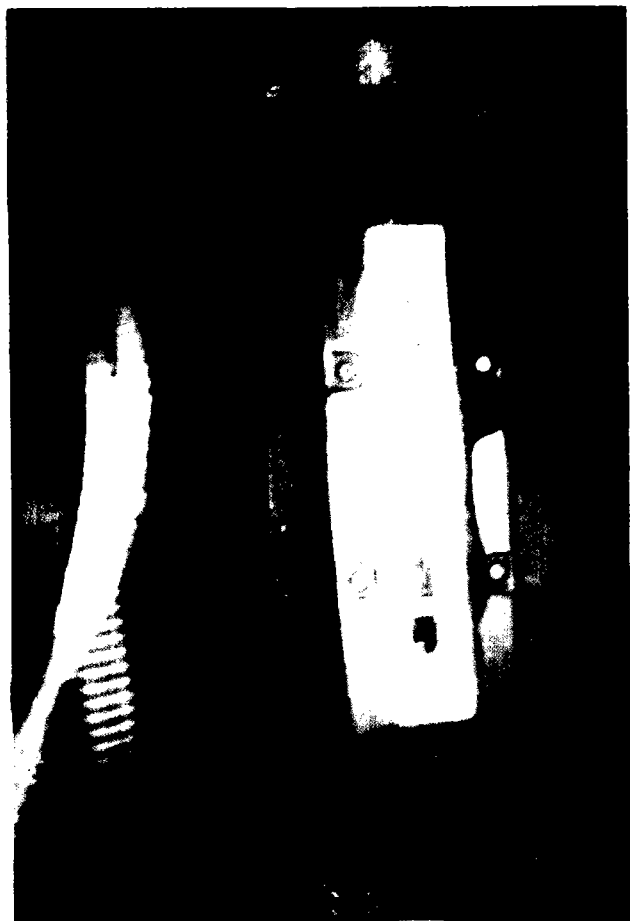
照片 4-2 造波板後消波設施



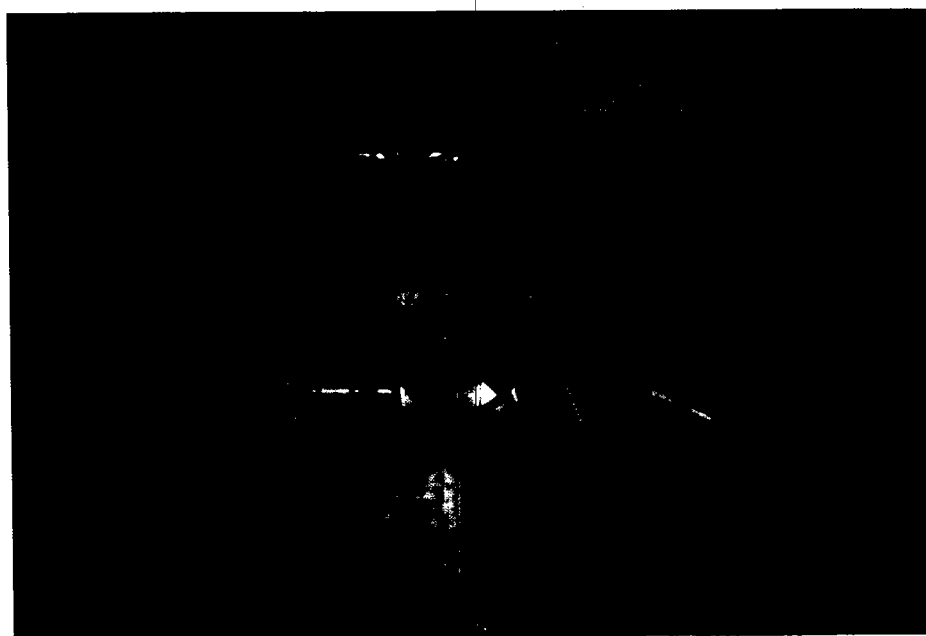
照片 4-1 試驗水槽造波機



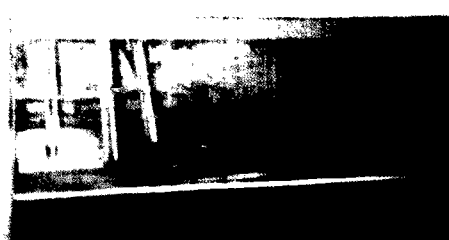
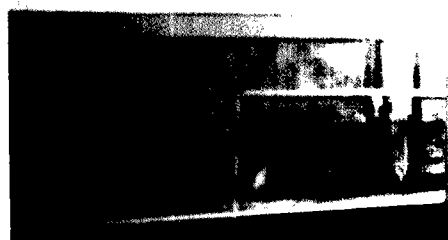
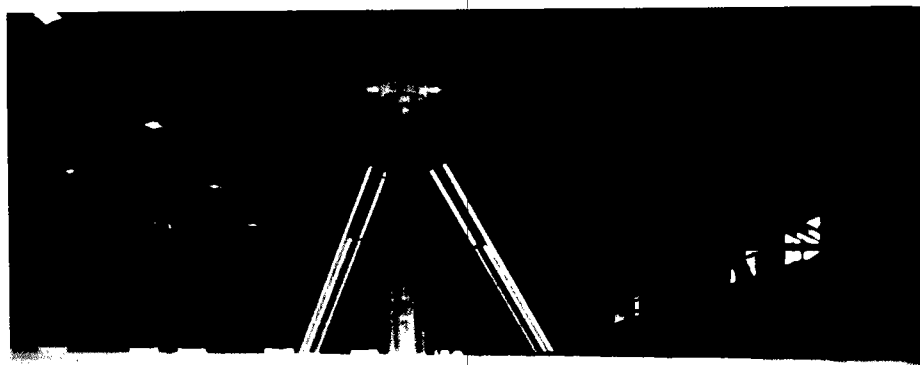
照片 4-4 造波板偏心距



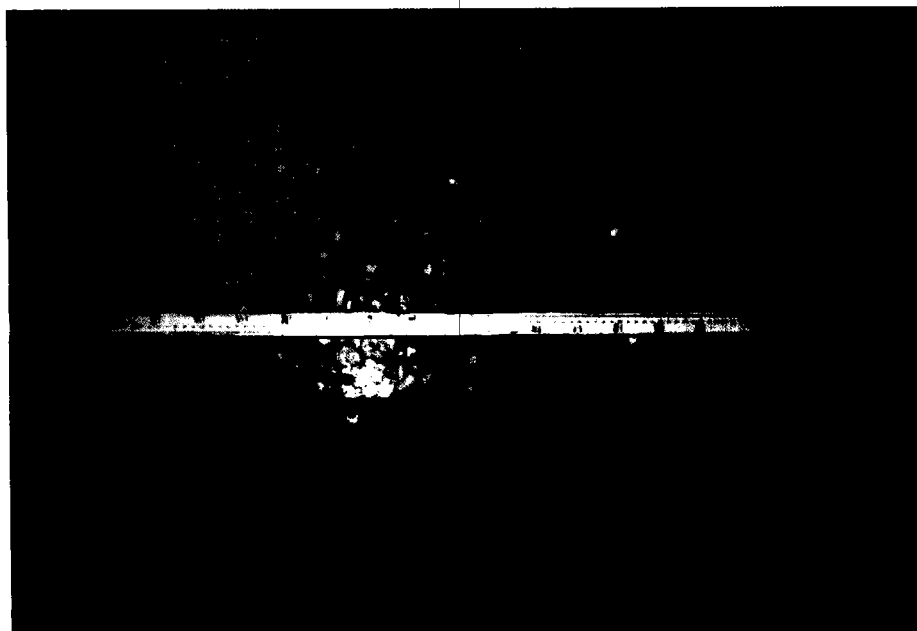
照片 4-3 造波變速機



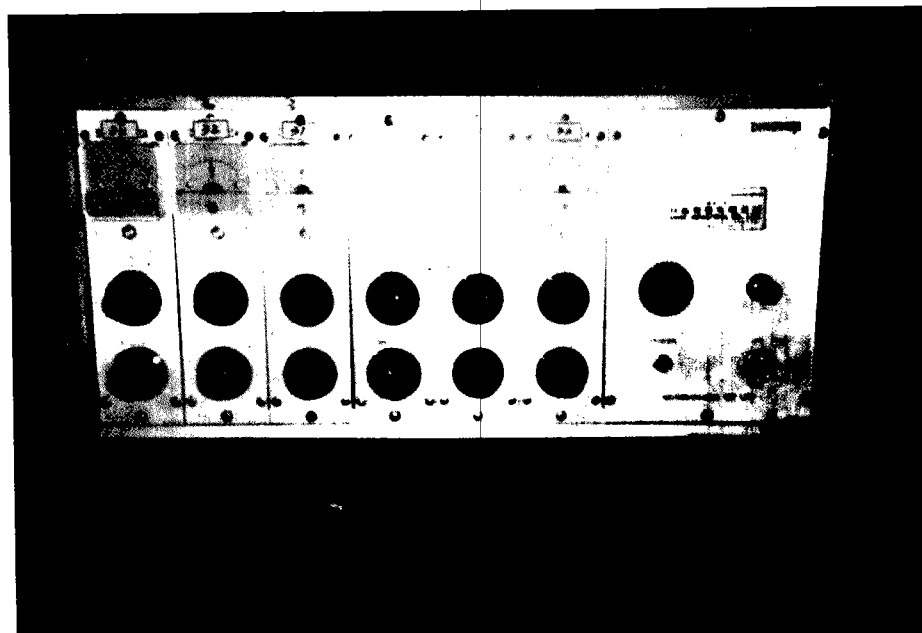
照片 4-5 模擬水位變化抽排水設備



照片 4-6 水準儀



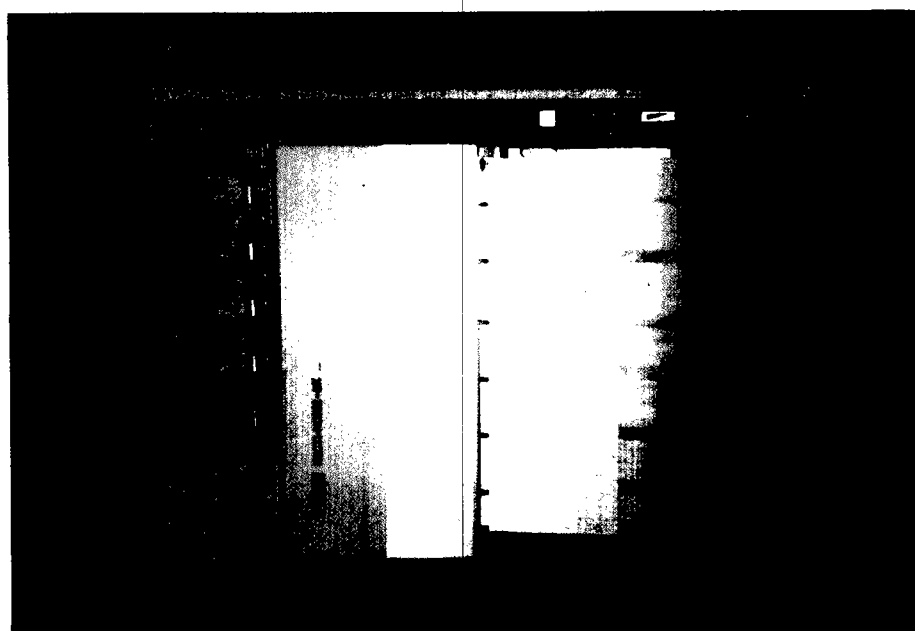
照片 4-7 自製直讀式標尺



照片 4-8 放大器



照片 4-9 放大器及容量型波高計



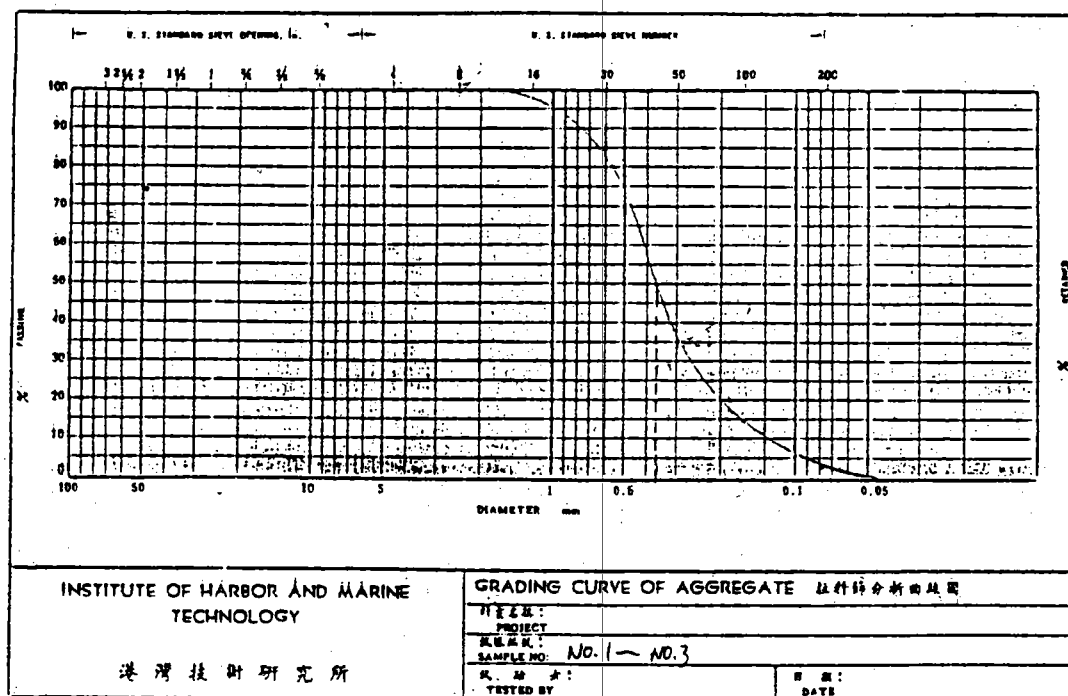
照片 4-10 波高記錄儀

§ 4-2 模型鋪設

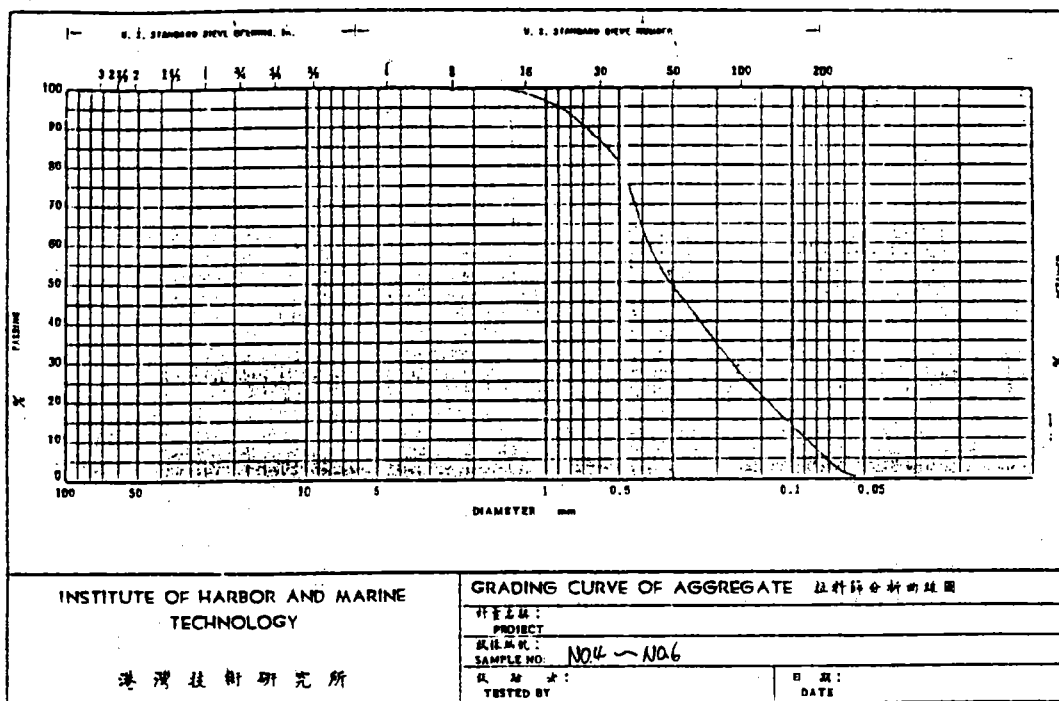
1. 在每一個斷面水槽中選取一適當位置，作為初始底床剖面與靜水面之交界點定義為座標原點，然後以紅漆自座標原點前後每隔 20 公分作一標誌，並在每一斷面水槽兩側分別劃好坡度為 $1/10$ ， $1/20$ 以及 $1/30$ 共二組之基準線，計分為六個試驗斷面，背對造波機，自左而右分別編號為 No. 1 ~ No. 6。
2. 沿著各種不同坡度基準線鋪設不定床模型，並選取一長約 1.5 公尺木條，沿著兩側基準線時時核正之，以維持坡度之均衡。
3. 模型鋪設完成後，則進水讓其飽和潤濕壓實，然後依下節之方法進行試驗。

§ 4-3 模型試驗底質及試驗水位

(一) 試驗底質



(a) No. 1 ~ No. 3



(b) No. 4 ~ No. 6

圖 4-1 粒徑分佈曲線圖

本試驗採用比重同為 2.63，中值粒徑 d_{50} 分別為 0.47^{mm} ϕ 與 0.30^{mm} ϕ 兩種，無凝聚性砂作為底質材料，其顆粒粒徑分佈曲線如圖 4-1 (a)(b) 中所示，No. 1 ~ No. 3 鋪設較粗粒徑底質，而 No. 4 ~ No. 6 鋪設較細底質。

(二) 試驗水位

本試驗平均水位採用 55 公分，所有波浪入射條件均以該平均水位高程率定之，水位變化以一個小時為一循環，即自平均水位→最高水位→平均水位→最低水位→平均水位，為 1 小時，水位差為 10 公分，其水位時間變化如圖 4-2 所示。

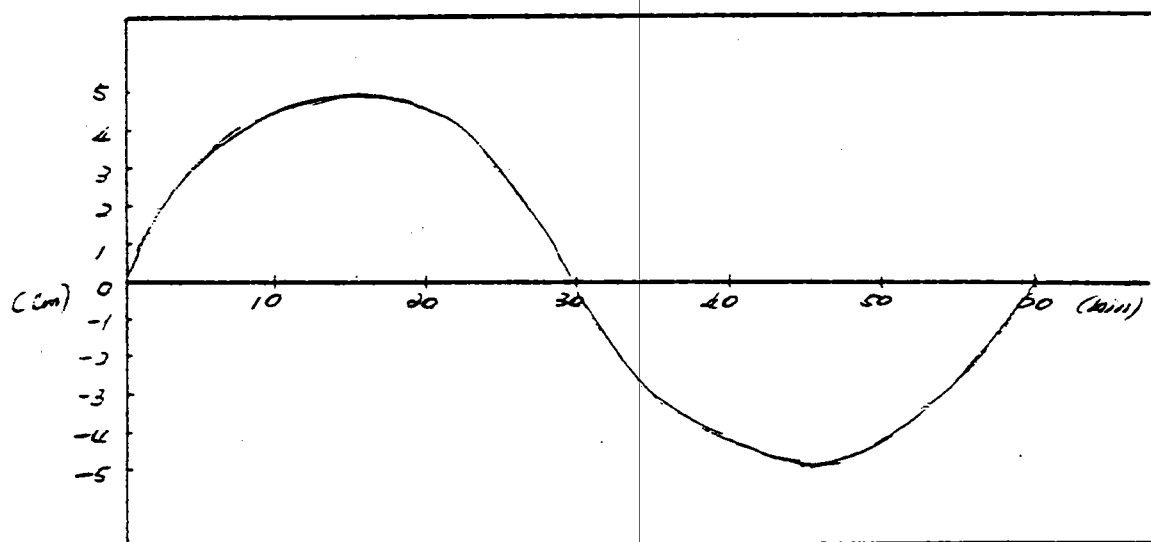


圖 4 - 2 試驗水位時間變化圖

§ 4 - 4 試驗步驟及試驗條件

(一) 試驗步驟

- (1) 率定試驗波浪入射條件即入射波高和週期。
- (2) 沿著六個斷面水槽不同坡度基準線鋪設底質，No.1 ~ No.3 底質粒徑為 $d_{50} = 0.47^{mm} \phi$ ；No.4 ~ No.6 底質粒徑為 $d_{50} = 0.30^{mm} \phi$ 。
- (3) 試驗時，自平均水位開始造波，並記錄平均水位時碎波發生位置，波浪沿著斜坡遡上 (run-up) 之最高極限位置，並利用容量型波高計記錄碎波波高。
- (4) 連續造波時間為 1 小時，然後關閉造波機，待水槽水面穩靜後，再打開造波機，重覆步驟 (1) ~ (4)。
- (5) 累計連續造波時間為二小時後，利用水準儀及自製標尺沿著試驗水槽，按照所標示每間隔 20 公分之點，量測底床剖面高程變化。

(6) 每一個 CASE 最終累積造波時間均為 30 個小時，然後放水描述各種不同坡度，底質粒徑在波浪作用後，底床剖面變化情況，並拍照記錄之。

(7) 恢復初期地形，變換入射波浪條件重複步驟(1)～步驟(6)過程。

(二) 試驗條件

為瞭解水位變化對波浪所引起縱向淨輸沙量影響，並探討不同底質粒徑、與海灘坡度對其所產生之變化，本計畫分別累積有下 30 個 CASE，如表 4-1

表 4-1 試驗條件

試驗編號	坡度	粒徑 (mm)	週期 (sec)	波長 (L_o)	d/L_o	d/L	H_i/H_o	H_i (cm)	H_o/L_o	備註
A-1	1/10	0.47	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	13.0	0.022	平均水位
A-2	1/20	0.47	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	13.0	0.022	"
A-3	1/30	0.47	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	13.0	0.022	"
A-4	1/10	0.30	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	13.0	0.022	"
A-5	1/20	0.30	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	13.0	0.022	"
A-6	1/30	0.30	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	13.0	0.022	"
B-1	1/10	0.47	2.5	975	0.056	0.100	1.004	9.80	0.010	水位變化
B-2	1/20	0.47	2.5	975	0.056	0.100	1.004	9.80	0.010	"
B-3	1/30	0.47	2.5	975	0.056	0.100	1.004	9.80	0.010	"
B-4	1/10	0.30	2.5	975	0.056	0.100	1.004	9.80	0.010	"
B-5	1/20	0.30	2.5	975	0.056	0.100	1.004	9.80	0.010	"

試驗編號	坡度	粒徑 (mm)	週期 (T)	波長 (L ₀)	d/L ₀	d/L	$\frac{H_i}{H_0}$	H _i (cm)	$\frac{H_0}{L_0}$	備註
B-6	1/30	0.30	2.5	975	0.056	0.100	1.004	9.80	0.010	水位變化
C-1	1/10	0.47	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	8.84	0.015	"
C-2	1/20	0.47	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	8.84	0.015	"
C-3	1/30	0.47	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	8.84	0.015	"
C-4	1/10	0.30	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	8.84	0.015	"
C-5	1/20	0.30	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	8.84	0.015	"
C-6	1/30	0.30	2.0	624	0.088	0.1304	0.9445	8.84	0.015	"
D-1	1/10	0.47	1.5	351	0.157	0.1891	0.9129	6.40	0.020	"
D-2	1/20	0.47	1.5	351	0.157	0.1891	0.9129	6.40	0.020	"
D-3	1/30	0.47	1.5	351	0.157	0.1891	0.9129	6.40	0.020	"
D-4	1/10	0.30	1.5	351	0.157	0.1891	0.9129	6.40	0.020	"
D-5	1/20	0.30	1.5	351	0.157	0.1891	0.9129	6.40	0.020	"
D-6	1/30	0.30	1.5	351	0.157	0.1891	0.9129	6.40	0.020	"
E-1	1/10	0.47	1.0	156	0.352	0.360	0.9646	3.76	0.025	"
E-2	1/20	0.47	1.0	156	0.352	0.360	0.9646	3.76	0.025	"
E-3	1/30	0.47	1.0	156	0.352	0.360	0.9646	3.76	0.025	"
E-4	1/10	0.30	1.0	156	0.352	0.360	0.9646	3.76	0.025	"
E-5	1/20	0.30	1.0	156	0.352	0.360	0.9646	3.76	0.025	"
E-6	1/30	0.30	1.0	156	0.352	0.360	0.9646	3.76	0.025	"

§ 4-5 輸沙率之計算

為瞭解水位變化對波浪所引起縱向淨輸沙量影響，圖 4-3 試驗分析變數示意圖中，所有變數均以平均水位時之條件為準，如波浪邇上位置極限 X_R ，座標原點，入射波高等等；然後將每一造波時段利用水準儀所量測之地形變化與原始剖面圖比較，根據輸沙連續方程式則可求得每個位置之平均輸沙率。

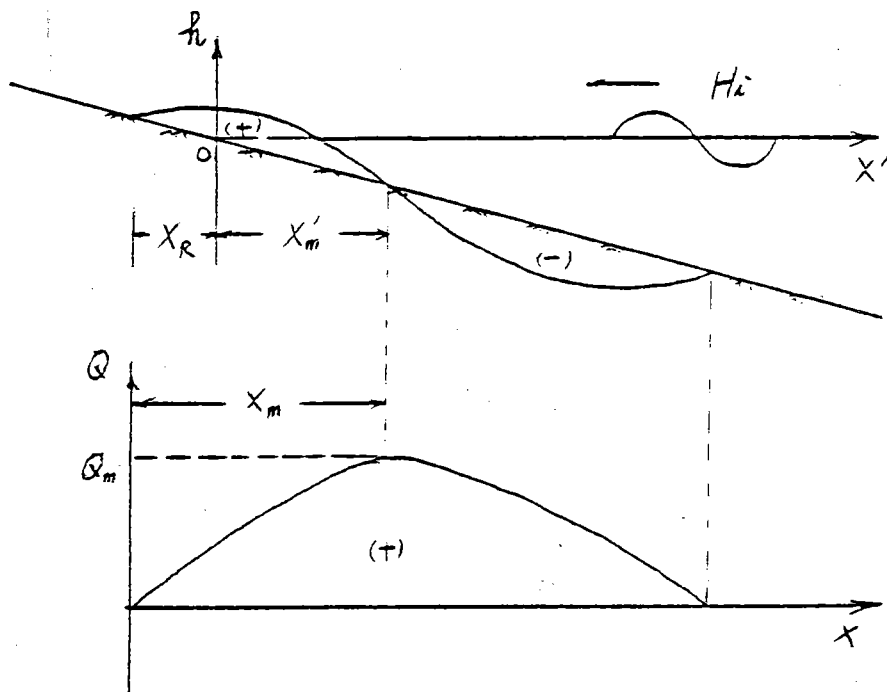


圖 4-3 試驗分析變數示意圖

第五章 試驗結果與分析

本研究計劃共計完成 30 個情況試驗，謹將其試驗結果詳述如下：

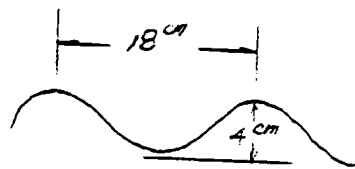
§ 5—1 試驗結果定性描述：

CASE A—1：平均水位，Slope = 1 / 10，中值粒徑 $d_{50} = 0.47^{\text{mm}}$

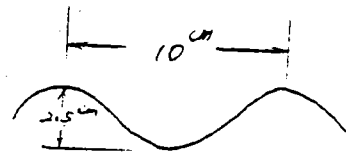
本情況試驗，造波初期地形即呈堆積狀，累積造波時間達 28 小時後，當波浪行進到斷面水槽座標位置 + 2^m 處，波浪頂部則起白泡即將碎波，而於 + 1.6^m 處，波浪則近似垂直面，整個波峰面拍擊於 + 1.2^m，換言之，+ 1.2^m 處為波峰整個落下之點，自 $x = + 1.2^{\text{m}} \sim + 0.8^{\text{m}}$ 處為波浪撞擊底床後水向岸機進之範圍，於 $x = + 0.4^{\text{m}}$ 處則為迴水最低水位，波浪溯上之極限位置發生在 $x = - 0.6^{\text{m}}$ 處，後面無淤水，碎波型態屬 plunging 碎波。而累積造波時間達 30 小時後，海灘斷面型態呈堆積狀，堆積上限到 $x = - 1^{\text{m}}$ 處；於 $x = - 0.2^{\text{m}}$ 處堆積最高，自 $x = - 0.1^{\text{m}} \sim 0.4^{\text{m}}$ 處則呈平滑斜面；從 $x = 0.4^{\text{m}} \sim 0.8^{\text{m}}$ 處，砂粒粒徑分佈較粗大並呈凹陷狀；而在 $x = 1^{\text{m}} \sim 1.3^{\text{m}}$ 處，則有一明顯深溝，寬度約為 30 cm，深度為 9 ~ 10 cm； $x = 1.3^{\text{m}} \sim 1.7^{\text{m}}$ 處則又呈另一沙丘，寬度約為 40 cm； $x = 1.7^{\text{m}} \sim 1.9^{\text{m}}$ 處又呈另一沙溝深度約 4 ~ 5 cm，爾後則呈一微凸狀一直到底，於 $x = 2^{\text{m}} \sim 2.4^{\text{m}}$ 處，沙粒粒徑分佈最細，整個底床剖面並無明顯 sand dune 之 ripple 產生，底床到 3.8^m 處後即無變化，該試驗情況，累積造波時間滿 18 小時後，其波浪碎波情況，以及累積造波時間滿 30 小時，放水前後海灘堆積與底床地形變化情況分別如照片 5—1 (a)~(c) 所示。

CASE A-2: 平均水位, Slope=1/20, 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^{\text{mm}}$

本情況試驗, 造波初期亦有堆積現象, 且有兩條碎波線分別發生在 $x = +7.6^{\text{m}}$ 處與 $x = 2.8^{\text{m}}$ 處, 近岸者碎波現象較為明顯; 在累積造波時間滿 18 小時, 水位溯下至 $x = +1.2^{\text{m}}$ 處並於 $x = +2.0^{\text{m}}$ 處再度碎波; 而累積造波時間達 28 小時, 當波浪進行到 $x = 9.2^{\text{m}}$ 處開始碎波, 波峰線落於 $x = +8.9^{\text{m}}$ 處, 碎波型態屬 spilling, 即於波峰前產生白色泡沫, 此白色泡沫延伸到 $+5.4^{\text{m}}$ 處消失, 然後在 $x = 2.4^{\text{m}}$ 處再度發生部份碎波現象, 於兩側先有白泡沫產生, 到 $x = 1.6 \sim 1.8^{\text{m}}$ 處再度碎波, 碎波之波峰線落於 $x = +1.2^{\text{m}}$ 處屬 plunging 破波型態, 迴水最低水位亦在 $x = 1.2^{\text{m}}$ 處, 溯上極限在 $x = \pm 0^{\text{m}}$ 處, 堆積最高點在 $x = \pm 0^{\text{m}}$ 處, 後面有積水, 而當波浪造波時間累積達 30 小時後, 整個海灘呈堆積型態, 堆積上限在 $x = -0.6^{\text{m}}$ 處; 於 $x = \pm 0^{\text{m}}$ 處堆積高程最大呈 cup 狀; 自 $x = \pm 0^{\text{m}} \sim 1.2^{\text{m}}$ 處呈平滑斜坡, 粒砂分佈均勻; 自 $x = 1.2^{\text{m}} \sim 1.6^{\text{m}}$ 處則呈一平台 (berm) 狀, 砂粒徑分佈較粗; 自 $x = 1.6^{\text{m}}$ 處後向海側, 則呈明顯 sand dune 之 ripple; 以 $x = 2^{\text{m}} \sim 3^{\text{m}}$ 處 sand dune 較為明顯, ripple 平均長度為 18 cm, 深度為 4 cm; $x = 6^{\text{m}}$ 處後 sand dune 規模較小, 平均長度為 10 cm, 深度為 2.5 cm; $x = 8.4^{\text{m}} \sim 10.0^{\text{m}}$ 處又呈堆積狀, x 自 10.6^{m} 以後則無明顯變化。波浪數次碎波現象以及累積造波時間達 30 小時後, 底床地形變化分別如照片 5-2 (a)~(d) 所示。



(a) $x = 2^m \sim 3^m$ 處



(b) $x = 6^m \sim 7^m$ 處

圖 5—1 CASE A—2 波浪累積造波時間達 30 小時後，其 ripple 規模

CASE A—3：平均水位，Slope = 1 / 30，中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本情況試驗造波初期地形即呈堆積狀，而累積造波時間達 28 小時，當波浪行徑 $x = + 9^m$ 處，水面突然上升呈即將碎波狀，波峰落於 $x = + 8.6^m$ 處，碎波型態屬 plunging 與 spilling 型態間延伸到 $x = + 8^m$ 處，波浪遡上水位極限在 $x = - 1^m$ 處，迴水最低水位在 $x = 0.8^m$ 處，堆積最高點位於 $x = - 0.2^m$ 處，後面有積水，而當波浪造波時間累積達 30 小時後，漂沙呈堆積性，堆積上限平均在 $x = - 0.6^m$ 處，最高點在 $x = - 0.2^m$ ，呈 cup 狀， $x = - 0.2^m \sim 0.8^m$ 間為一平滑斜坡，沙粒徑分佈均勻； $x = 0.8^m \sim 1.2^m$ 間則呈平台狀（berm），於 $x = 1.1^m$ 處砂粒徑較粗，然無明顯變化； $x = 1.4^m$ 處向海側則產生小 ripple 呈魚鱗狀，長度為 7 cm，深度為 1.5 cm；如圖 5—2 所示。尤其重要者，漂沙於 $x = 7.6^m \sim 8.9^m$ 處呈明顯堆積狀（按恰發生於碎波線後，碎波位置在 $x = 9^m$ 處），堆積高度約有 10 cm 且粒徑與岸邊砂粒相似。

累積造波時間 18 小時後，波浪碎波與岸邊呈堆積情況，以及累積

造波時間達 30 小時，放水前後底床變化情況分別如照片 5-3(a)~(d) 所示。

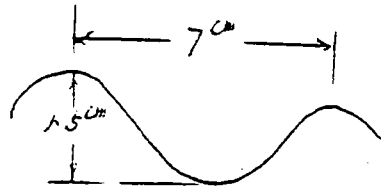


圖 5-2 CASE A-3 波浪累積造波時間 30 小時，
其 ripple 規模

CASE A-4 平均水位，Slope = 1 / 10 中值粒徑 $d_{50} = 0.30 \text{ mm}$

本試驗情況，造波初期即呈侵蝕狀態，而在波浪累積造波時間達 30 小時後，當波浪行徑到 $x = + 2.4 \text{ m}$ 處，水位抬高即將碎波，碎波波峰線落於 $x = + 2.0 \text{ m}$ 處，碎波型態屬 plunging 型，碎波後白色泡沫消先於 $x = - 0.4 \text{ m}$ ，該處亦為迴水最低水位線，迴上極限平均在 $x = - 1.3 \text{ m}$ 處，呈侵蝕狀，而當累積造波時間達 30 小時後，底床大部呈侵蝕性，上限發生在 $x = - 1.4 \text{ m}$ 處，在 $x = - 1.4 \text{ m} \sim - 0.4 \text{ m}$ 間沙粒徑分佈均勻呈平滑狀； $x = - 0.4 \text{ m} \sim - 1.4 \text{ m}$ 間呈平台狀 (berm)，沙粒徑較粗，於 $x = + 2 \text{ m}$ 處略呈堆積狀，寬度有 40 cm，高度約為 8 ~ 10 cm；自 $x = + 2.2 \text{ m}$ 後始有 sand dune 形狀產生，平均長度為 11 cm，深度為 2 cm，呈魚鱗狀。如圖 5-3 底床地形自 $x = 4 \text{ m}$ 後即無明顯變化。

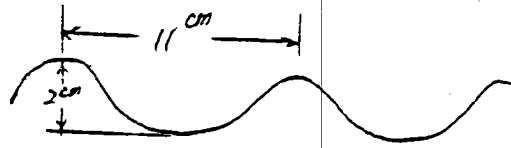


圖 5-3 CASE A-4 波浪累積造波時段達 30 小時後，
X 自 2.2^m 後呈魚鱗狀 ripple 規模

累積造波時間 18 小時後，波浪碎波與水面上堆積情況以及累積造波時間達 30 小時，放水前後底床變化情況分別如照片 5-4 (a)~(d)。

CASE A-5 平均水位，Slope = 1 / 20，中值粒徑 $d_{50} = 0.30\text{mm}$

本試驗情況底床剖面呈侵蝕狀態，且分別有二碎波線以近岸者較為明顯，第一次碎波發生在 $x = +9.8\text{m}$ 處，同於在 $x = 1\text{m} \sim 1.4\text{m}$ 間再度發生第二次碎波，而波浪累積造波時間達 28 小時後，當波浪行徑 $x = +9.7\text{m}$ 處，水位突然上升呈不安定狀，波峰線落於 $x = 9.3\text{m} \sim 8.8\text{m}$ 間，白色泡沫則消失於 $x = +5\text{m}$ 處，並於 $x = 1.4\text{m}$ 處再度碎波，碎波型態屬 Spilling 狀，最低迴水位在 $x = +0.8\text{m}$ 處，最大壅上極限在 $x = -0.4\text{m}$ 處，而當累積造波時間達 30 小時後，水面上略呈堆積狀，上限在 $x = -1\text{m}$ 處，最高點位置在 $x = -0.1\text{m}$ 處， x 自 $-0.1\text{m} \sim 0.8\text{m}$ 間，砂粒徑分佈均勻成平滑斜面，且在 $x = 0.8\text{m} \sim 1.5\text{m}$ 處則呈 Berm 平台狀， $x = 1.5\text{m}$ 後即有 ripple 形狀產生，以 $x = 1.5\text{m} \sim 2.4\text{m}$ 間規模較大，自 $x = 2.4\text{m}$ 以後規模較小如圖 5-4 所示，直到 $x = 5\text{m}$ 後，ripple 規模更小，並於 $x = 8.7\text{m} \sim 9.7\text{m}$ 處呈堆積狀，按碎波線發生於 $x = +9.7\text{m}$ 處，以後則無明顯變化。

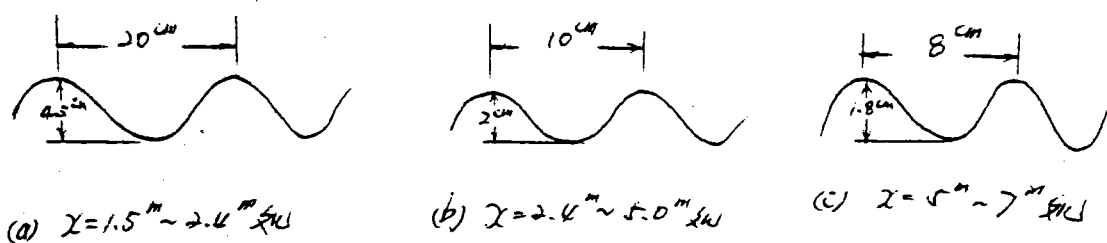


圖 5-4 CASE A-5 波浪累積造波時段達 30 小時後，底床不同位置處 ripple 規模大小

累積造波時間 18 小時後，波浪碎波與水面上堆積情況，以及累積造波時間達 30 小時，放水前後，底床變化情況分別如照片 5-5 (a)~(d)。

CASE A-6 平均水位，Slope = 1/30，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況，造波初期底床變化亦呈侵蝕狀態，直至累積造波時間達 20 小時後，逐漸有沙丘 (sand dune) 堆積於 $x = 0.6^m \sim 1.4^m$ 間，而當累積造波時間達 28 小時後，波浪行徑 $x = +9.3^m$ 處，水位突然上升呈碎波狀態，波峰線落於 $x = +9.0^m \sim 8.4^m$ 間，白色泡沫則消失於 $x = +2^m$ 處，該處亦為迴水最低水位處，而累積造波時間達 30 小時後，漂沙則明顯堆積於 $x = 0.6^m \sim 2^m$ 處，最高點位於 $x = 1.2^m$ 處一直到 $x = 1.8^m$ 處，呈平滑斜坡，於 $x = 2^m$ 處砂粒徑分佈較粗， $x = 2.6^m$ 處後則有 ripple 產生，其規模如圖 5-5，且砂復堆積於 $x = 8.6^m \sim 10^m$ 間，最高點在 $x = 9^m$ 處，按碎波點發生於 $x = 9.3^m$ 處。

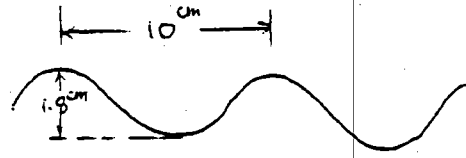


圖 5—5 CASE A—6 波浪累積造波時段達 30 小時後，在 $x = 2.6^m$ 處 ripple 之規模

累積造波時間 18 小時後，波浪碎波與水面上堆積情況以及累積造波時間達 30 小時後，放水前後底床變化情況分別如照片 5—6 (a)~(d)。而照片 5—7 (a)~(d) 則分別表示累積造波時間 18 小時後，各斷面水槽波浪碎波以及海岸線堆積情況，同時，在平均水位進行試驗時，其波峰與波谷在平均水位之振幅分別如圖 5—6 所示。

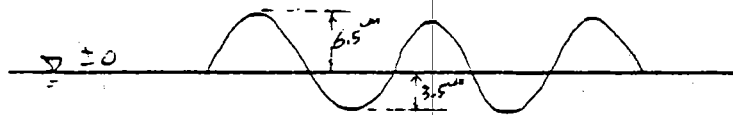


圖 5—6 CASE A 深海波浪行徑底床坡度 $1/30$ 到 $x = 9^m$ 處時波形變化

CASE B-1 水位變化， $Slope = 1 / 10$ ，中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本試驗情況，試驗水位改採週期性變化，試驗週期為一小時，水位差為 10 cm ，波浪累積造波時間 30 小時後，沙堆積上限達 $x = -1.8^m$ 處，在 $x = -1.4^m$ 處高程最大，該處呈圓弧狀凹向離岸（offshore）側如照片 5-8 (a) 所示。於 $x = -1^m \sim -1.4^m$ 間則約略呈平台狀（berm）；自 $x = -1.0^m \sim 0.1^m$ 間成一平滑斜坡如照片 5-8 (a)，在 $x = -0.1^m$ 處向岸側（on-shore）底床均呈堆積狀，向海側（off-shore）則均為侵蝕狀。 $x = 0.1^m \sim 0.4^m$ 間則為一明顯之平台，而自 $x = 0.4^m \sim 1.0^m$ 間則成另一顯著之陡平斜坡，所有污穢物則堆積於 $x = 1.0^m \sim 1.3^m$ 間且有自 $x = 1.3^m$ 後向海側則有 ripple 產生，如照片 5-8 (b)。自 $x = 1.3^m \sim 2.0^m$ 間，ripple 形狀規則，間距為 9 cm ，如照片 5-8 (c)。自 $x = 2.0^m \sim 2.8^m$ 間，ripple 呈魚鱗狀，高度略大於 x 在 $1.3^m \sim 2.0^m$ 間之高度，最大侵蝕深度發生在 $x = 1.4^m$ 處，最大刷深度為 11 cm ，如照片 5-8 (d)，地形剖面自 $x = 3^m$ 後，又呈另一形狀極為規則之 ripple，惟該處自 $x = 3^m$ 後其 ripple 之波各則為底床坡度之固定狀，延伸到 $x = 4.7^m$ 處，間隔為 10 cm ，深度為 2 cm ，如圖 5-7。

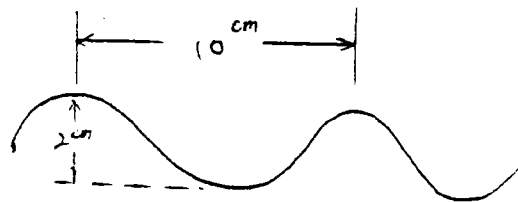


圖 5-7 CASE B-1 累積造波時間 30 小時後，在 $x = 4.7^m$ 處 ripple 之規模

CASE B-2 水位變化 $\text{Slope}=1/20$, 中值粒徑 $d_{50}=0.47^{\text{mm}}$

本試驗情況，累積造波時間 30 小時後，砂堆積上限平均在 $x = -1.6^{\text{m}}$ 處，呈不規則狀，凹向海側，如照片 5-9 (a)。沙沖積最遠處達 $x = -2.2^{\text{m}}$ 處，而在 $x = -0.8^{\text{m}}$ 處高程最大，爾後則為一平緩坡度延伸到 $x = 1.3^{\text{m}}$ 處。此斜坡在 $x = 0.6^{\text{m}}$ 為一分界線，自 $x = 0.6^{\text{m}}$ 向岸側屬堆積狀，向海側則為侵蝕性，如照片 5-9 (b)。而 x 自 1.3^{m} 到 1.7^{m} 間則為一明顯之平台 (berm)，砂粒徑分佈最為細小，自 $x = 1.7^{\text{m}}$ 後向海側，則有明顯之 ripple 產生，惟間距較小，僅為 4 cm ，深度為 0.5 cm ，其規範如圖 5-8， x 自 3^{m} 以後向海側，ripple 則呈魚鱗狀，如照片 5-9 (c)，該侵蝕區延伸到 $x = 5.8^{\text{m}}$ 處，自 $x = 8^{\text{m}}$ 後則已見固定床，最大刷深 9 cm 發生於 $x = 2.2^{\text{m}}$ 處如照片 5-9 (d)，紅色基線表底床原始剖面。

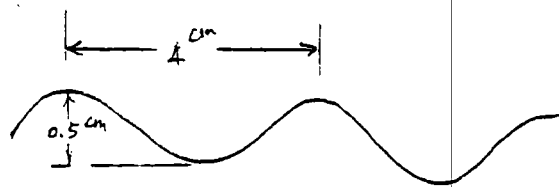


圖 5-8 CASE B-2 累積造波時間 30 小時後，在 $x = 1.7^{\text{m}}$ 處 ripple 之規模

CASE B-3 水位變化，Slope = 1 / 30，中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本試驗情況，累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積上限平均在 $x = -1.8^m$ 處，呈凹形狀，凹向海側，砂最遠距離達 $x = 2.4^m$ 處，如照片 5-10 (a)，在 $x = -0.8^m$ 處為最高，向岸側為緩坡，並向海側傾斜，同時在 $x = 0.5^m$ 處，地形陡降 3 cm，自 $x = -0.5^m$ 延伸到 $x = 0.6^m$ 處為一平滑斜坡，自 $x = 0.6^m \sim 1.0^m$ 處則為一明顯平台 (berm)，整個底床剖面自 $x = 0.6^m$ 以下向海側均屬侵蝕性遠達 $x = 7^m$ 海側部份，以上向岸側則屬堆積性。 $x = 1.0^m$ 後呈一急陡坡，向海側部份則有 ripple 產生，惟呈不規則狀，如照片 5-10 (b)(c)。其大小如圖 5-9 所示。最大侵蝕深度為 13.5 cm 發生在 $x = 2.0^m$ 處，如照片 5-10 (d)。該底床剖面沖刷情形為同種粒徑，相同波浪條件下，三種坡度中最為劇烈者。

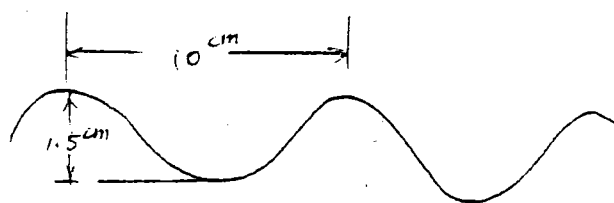


圖 5-9 CASE B-3 累積造波時間 30 小時後，其 ripple 之規模

CASE B-4 水位變化，Slope = 1 / 10，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況，累積造波時間 30 小時後，砂堆積上限平均在 $x = -2^m$ 處，最遠達 $x = -2.4^m$ 處，因受水位變化影響，水面上砂粒徑分佈不很均勻且表面呈不規則狀，如照片 5-11 (a)。底床坡面在 $x = -1.2^m$ 處地形陡變，降低 4.5 cm，而自 $x = -0.9^m \sim -1.2^m$ 間則為一平台(berm) 自 $x = -0.9^m$ 延伸到 $x = 0.1^m$ 間則為一平滑之斜坡，如照片 5-11 (b)。底床剖面自 $x = \pm 0^m$ 處向岸側 (on-shore) 則屬堆積性，向海側 (offshore) 則屬侵蝕性，而 x 自 $0.1^m \sim 0.4^m$ 間為另一平台，而 x 自 0.4 到 1^m 間則為另一斜坡， x 自 1^m 以後底床剖面則產生不規則之 ripple，如照片 5-11 (c)，而最大侵蝕深度為 15.5 cm 發生在 $x = 1^m$ 處，如照片 5-11 (d)，底床不規則狀係因放水時，漂沙流失所致。

CASE B-5 水位變化, Slope = 1 / 20, 中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況, 波浪造波時間累積 30 小時後, 水面上砂堆積平均上限在 $x = -1.6^m$ 處, 最遠達 $x = -1.9^m$ 處, 而在 $x = -1.1^m$ 處, 為最高延伸到 $x = 0.3^m$ 間為一平滑斜坡如照片 5-12 (a), x 自 $0.3^m \sim 0.6^m$ 間為一平台, 但不明顯, 同時 x 自 $0.6^m \sim 1.6^m$ 間則為另一平台 (或稱後坡), 然在 $x = 1.6^m$ 到 $x = 1.8^m$ 間則有一深溝, 深度為 5.5 cm , 寬度為 20 cm , 分別如照片 5-12 (b) 和照片 5-12 (c)。底床剖面自 $x = 2.0^m$ 以下向海側則有小 ripple 產生, 其大小如圖 5-10 所示。整個底床剖面在 $x = \pm 0^m$ 以上向岸側為堆積, 以下向海側則屬侵蝕區, 平均侵蝕深度為 4 cm , 如照片 5-12 (d)。

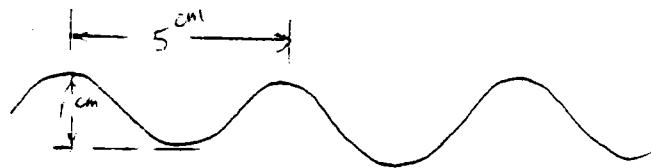


圖 5-10 CASE B-5 累積造波時間 30 小時後, 其 ripple 之規模

CASE B-6 水位變化， $\text{Slope}=1/30$ ，中值粒徑 $d_{50}=0.30\text{mm}$

本試驗情況，波浪造波累積 30 小時後，水面上砂堆積平均上限在 $x = -2\text{m}$ 處，呈凹狀，凹向海側，最遠達 $x = -2.5\text{m}$ ，此乃因水位變化所致，在 $x = -0.7\text{m}$ 處為最高，而後延伸到 $x = 0.4\text{m}$ 間則為一平滑斜坡，如照片 5-13 (a)。整個底床剖面自 $x = 0.4\text{m}$ 以上向岸側為堆積性，以下向海側則為侵蝕區。在 $x = 0.4\text{m} \sim 0.8\text{m}$ 間為一平台，且在 $x = 0.8\text{m} \sim 1.0\text{m}$ 間為一陡降坡度，底床剖面自 $x = 1\text{m} \sim 2.5\text{m}$ 間其 ripple 形狀規則，規模較小呈魚鱗狀如照片 5-13 (b)。自 $x = 3\text{m}$ 以後向海側，ripple 規模較大，該種 ripple 以在 $x = 4\text{m} \sim 7\text{m}$ 間較為明顯，如照片 5-13 (c)，惟在 $x = 4\text{m}$ 後向海側已略見固定床，不同位置其 ripple 規模大小如圖 5-11 所示。整個底床剖面自 $x = 1\text{m}$ 以後向海側則為明顯沖刷區最大刷深度為 15cm 發生在 $x = 1.2\text{m}$ 處如照片 5-13 (d)。

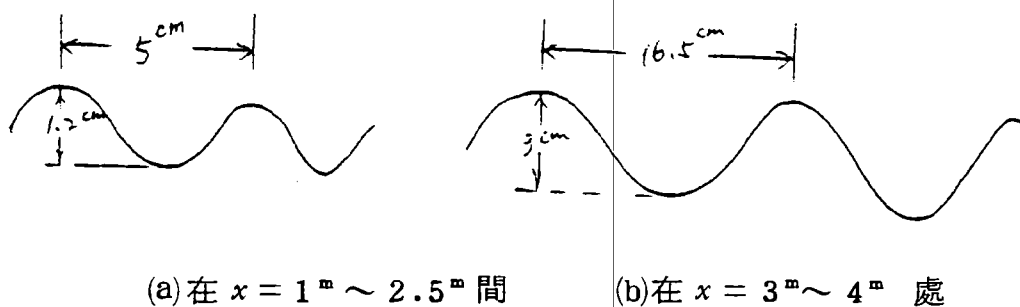


圖 5-11 CASE B-6 累積造波時間 30 小時後，底床剖面不同位置其 ripple 之大小

CASE C-1 水位變化， $\text{Slope} = 1/10$ ，中值粒徑 $d_{50} = 0.47^{\text{mm}}$

本試驗情況，當造波累積時間 16 小時後，其波浪之碎波現象，以及水面上砂堆積情況，如照片 5-14(a)，而當波浪造波時間累積達 30 小時後，砂堆積到 $x = -1.4^{\text{m}}$ 處，呈不規則狀，如照片 5-14(b)，此乃受水位變化影響所致。 $x = -0.6^{\text{m}} \sim -1.0^{\text{m}}$ 間為一明顯地形； $x = -0.3^{\text{m}} \sim -0.6^{\text{m}}$ 間則為另一明顯地形呈一 berm 狀，自 $x = -0.3^{\text{m}}$ 以下到 $x = 0.4^{\text{m}}$ 間為一平滑斜坡，在 $x = 0.4^{\text{m}}$ 處沙粒徑較為粗大，而 $x = 0.4^{\text{m}} \sim 1.0^{\text{m}}$ 間則為另一明顯地形變化，該區呈內凹狀，如照片 5-14(c)(d)；自 $x = 1^{\text{m}}$ 以上向岸側均呈堆積狀； $x = 1^{\text{m}} \sim 1.4^{\text{m}}$ 則有明顯 ripple 產生呈規則狀，寬度為 7 cm ，深度為 2 cm ，如圖 5-12，自 $x = 1.4^{\text{m}}$ 以後向海側 ripple 則呈魚鱗狀，試驗結果顯示在 x 很遠處約有 ripple 產生；一般而言，自 $x = 1^{\text{m}}$ 以後均呈侵蝕狀，最大侵蝕深度達 7 cm ，發生在 $x = 1.4^{\text{m}}$ 處。



圖 5-12 CASE C-1 累積造波時間 30 小時後，在 $x = 1^{\text{m}} - 4^{\text{m}}$ 間其 ripple 之大小

CASE C-2 水位變化, Slope = 1 / 20 , 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本試驗情況，當造波累積時間 16 小時後，其波浪碎波現象以及水面上砂堆積呈不規則狀情況，如照片 5-15 (a) 所示，試驗結果顯示該水面上砂粒徑分佈極不均勻，顆粒較大，在累積造波時間達 30 小時後，沙堆積上限達 $x = -1.6^m$ 處，最高位置發生在 $x = -0.8^m$ 處，呈不規則狀，如照片 5-15 (b)。 $x = -1.6^m \sim -0.8^m$ 處則呈一平滑之平面，如照片 5-15 (c)。 x 自 $-0.8^m \sim -0.4^m$ 間為另一明顯地形變化向岸側凹下；自 $x = -0.4^m \sim 0.5^m$ 處呈另一平滑斜坡；在 $x = 0.5^m \sim 0.7^m$ 間砂粒徑分佈較粗，一直延伸到 $x = 1^m$ 處，在 $x = 1^m$ 以後則有明顯 ripple 產生，呈魚鱗狀如照片 5-15 (d)，其 ripple 規模大體而言，愈往海側，寬度愈小如圖 5-13 所示。底床剖面在 $+0.5^m$ 以上向岸側屬堆積狀， 0.5^m 以下往海側均呈侵蝕狀，最大侵蝕深度達 9 cm 發生在 $x = 2^m \sim 2.6^m$ 間。

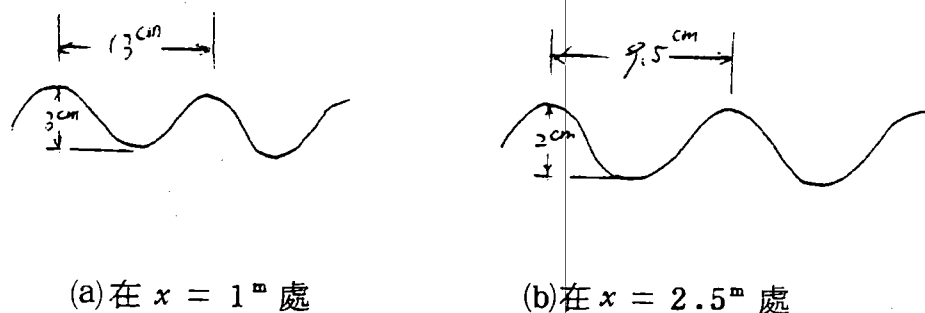
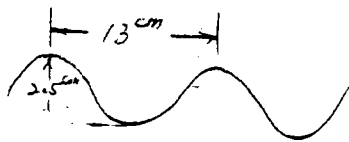


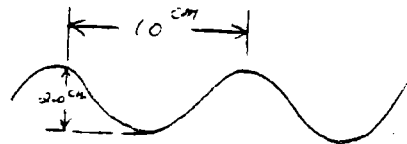
圖 5-13 CASE C-2 累積造波時間 30 小時後，在底床不同位置 ripple 之規模

CASE C-3 水位變化, Slope = 1 / 30, 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本試驗情況, 當造波時間累積 16 小時後, 其波浪碎波以及水面上沙堆積呈不規則情況如照片 5-16 (a), 波浪累積造波時間達 30 小時後, 砂堆積上限平均在 $x = -1.5^m$ 處, 呈不規則狀, 如照片 5-16 (b)。最遠距離在 $x = -1.8^m$, 而於 $x = -0.6^m$ 處堆積高程最大呈向海側凹入, 該形狀延伸到 $x = -0.2^m$ 處, 自 $x = -0.2^m \sim 0.2^m$ 間地形呈另一形態變化, 中間稍高兩邊呈斜面狀, 自 $x = 0.2^m$ 處到 $x = 0.9^m$ 則為一平滑斜坡, 如照片 5-16 (c)。 x 自 $0.9^m \sim 1.1^m$ 處則砂粒徑分佈較粗, x 在 1.1^m 以上向岸側 (on-shore) 均為堆積狀。而自 $x = 1.1^m$ 向海側 (offshore) 則呈明顯侵蝕且 ripple 地形顯著惟呈不規則狀, 類似魚鱗狀, 如照片 5-16 (d) 其寬度平均為 13 cm, 深度為 2.5 cm, 如圖 5-14 愈往海側 ripple 寬度愈窄平均為 10 cm, 深度為 2 cm。大致而言, x 自 $1.1^m \sim 5.6^m$ 間均呈侵蝕狀, 侵蝕最大深度為 10 cm, 發生在 $x = 2^m$ 處。惟 x 自 5.6^m 以後則呈淤積狀, 最大淤積高度為 3.5 cm 發生位置在 $x = 7.5^m$ 處。



(a) 在 $x = 1.5^m$ 處



(b) 在 $x = 4^m$ 處

圖 5-14 CASE C-3 累積造波時間 30 小時後, 在底床不同位置 ripple 之規模

CASE C-4 水位變化, Slope = 1 / 10, 中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況, 累積造波時間 16 小時後, 其波浪碎波以及水面上砂堆積情況, 如照片 5-17 (a), 當波浪累積造波時間 30 小時後, 砂堆積極限則在 $x = -1.4^m$ 處, 最高點位置發生在 $x = -1.1^m$ 處。在 $x = -1.1^m \sim 0.9^m$ 處為一地形顯著變化區, 如照片 5-17 (b), 呈波紋狀, 乃因水位變化之故, 砂粒徑分佈不均勻, 該形狀延伸到 $x = -0.7^m$ 。而 $x = -0.7^m \sim -0.5^m$ 為另一地形突出部份, x 自 -0.5^m 以下到 $x = 0.3^m$ 間則為一平滑斜坡, 如照片 5-17 (c)。 x 自 0.3^m 到 0.5^m 間為另一顯著地形變化, 該區砂粒徑分佈較為粗大, 底床自 $0.5^m \sim 0.6^m$ 後地形突然下陷呈一陡坡, x 自 0.7^m 後則有明顯 ripple 產生, 如照片 5-17 (d), 照片中間部份, 係放水時底床被水流所流失情況; 一般而言, 底床剖面自 $x = 0.7^m$ 以上向岸區, 地形均呈堆積狀, 而 x 自 0.7^m 以下離岸區到 $x = 3.5^m$ 間均呈侵蝕狀, 最大刷深位置發生在 $x = 1.0^m \sim 1.2^m$ 間, 最大刷深為 $9\text{ cm} \sim 9.5\text{ cm}$, 圖 5-15 則為累積造波時間 30 小時後, 底床 ripple 之規模。

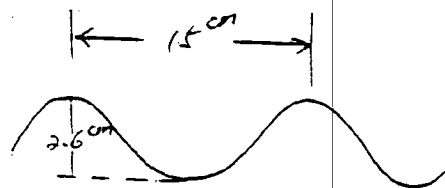


圖 5-15 CASE C-4 累積造波時間 30 小時後, 底床 ripple 之大小

CASE C-5 水位變化, Slope = 1 / 20 , 中值粒徑 $d_{50} = 0.30^{\text{mm}}$

本試驗情況，造波累積時間 16 小時後，其波浪碎波以及水面上砂堆積情況，因受水位變化影響，致呈不規則狀，如照片 5-18 (a)，而當波浪累積造波時間 30 小時後，水面上沙最遠堆積到 $x = -1.6^{\text{m}}$ 處，呈不規則狀，如照片 5-18 (b)，最高點位置發生在 $x = -1.6^{\text{m}} \sim -1.1^{\text{m}}$ 處，係一平台。 x 自 $-1.1^{\text{m}} \sim -0.7^{\text{m}}$ 間為一地形變化顯著區，係受到水位變化影響所致， x 自 $-0.7^{\text{m}} \sim \pm 0^{\text{m}}$ 間為一平滑斜坡，如照片 5-18 (c)，在 $x = 0.2^{\text{m}} \sim 0.4^{\text{m}}$ 間，則砂粒徑分佈較粗大，而自 $x = 0.2^{\text{m}}$ 到 $x = 1.2^{\text{m}}$ 間地形成一平台狀 (berm)， x 自 1.2^{m} 以後，底床地形則有 ripple 形狀產生，呈魚鱗狀，如照片 5-18 (d)。一般而言。底床地形自 $x = 0.2^{\text{m}}$ 以後向海側則屬侵蝕狀，最大刷深度為 7.5 cm ，發生在 $x = 1.5^{\text{m}}$ 處，其 ripple 大小如圖 5-16 所示，愈往後（離岸方向），ripple 寬度愈小，且形狀較規則。

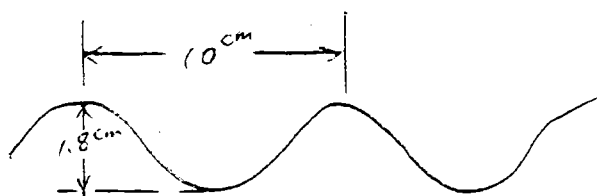


圖 5-16 CASE C-5 累積造波時間 30 小時後，底床 ripple 之大小

CASE C-6 水位變化, Slope = 1 / 30 , 中值粒徑 $d_{50} = 0.30\text{mm}$

本試驗情況，造波累積時間達 16 小時後，其波浪碎波以及水面上砂堆積情況如照片 5-19 (a) 所示，砂堆背部有積水現象而當累積造波時間達 30 小時後，水面上砂堆積平均在 $x = -1.4\text{m}$ 處，惟呈不規則形狀，最遠達 $x = -1.8\text{m}$ 處，向海側凹入如照片 5-19 (b) 所示，最高點位置發生在 $x = -0.4\text{m}$ 處， x 自 $-0.4\text{m} \sim 0.6\text{m}$ 間為一較平滑之斜坡，然不對稱，如照片 5-19 (c)。 x 自 0.6m 到 1.0m 間砂粒徑分佈較為粗大，在 $x = 0.9\text{m}$ 處呈一急劇陡坡， x 自 1.2m 以後，底床則有 ripple 產生，呈魚鱗狀，最大 ripple 平均長度為 15 公分，深度為 2.5 公分，底床自 $x = 0.8\text{m}$ 以上向岸區呈堆積狀， x 自 $1.2\text{m} \sim 4.4\text{m}$ 處則為侵蝕區，最大侵蝕深度為 12 公分，發生在 $x = 1.6\text{m}$ 處，整個底床並分別於 $x = 3.4\text{m}$, 4.7m , 6m , 7.4m 處呈另一大型之 sand dune 產生，間距平均為 1.3m ，而每一單位 sand dune 之寬度為 40 公分，如圖 5-17 所示，以及照片 5-19 (d)。

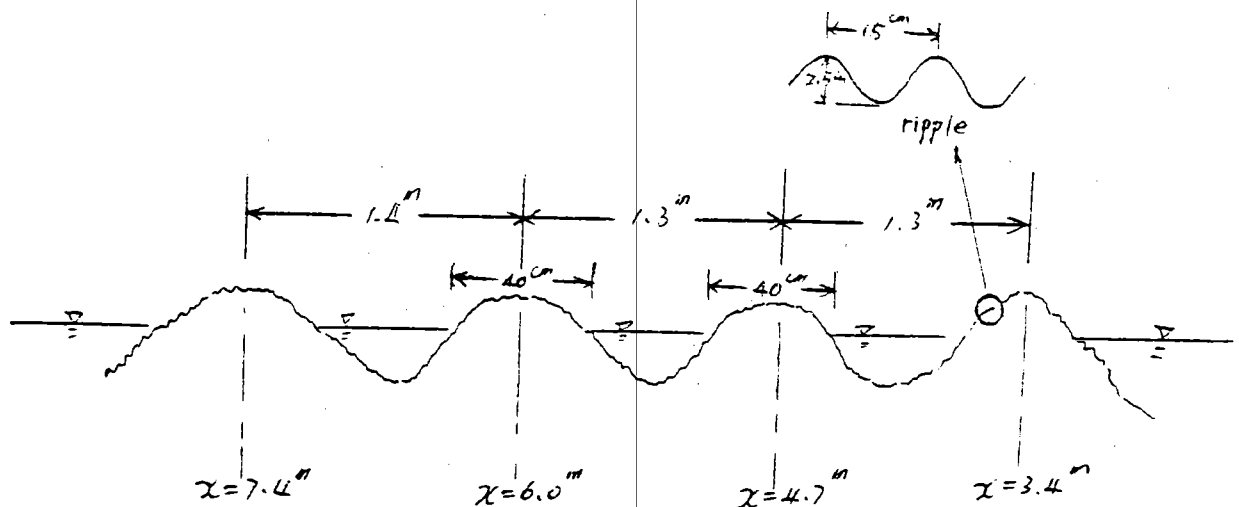


圖 5-17 CASE C-6 累積造波時間 30 小時後，底床 sand dune 相對位置 (Unscale)

CASE D-1 水位變化，Slope = 1 / 10，中值粒徑 $D_{50} = 0.47^m$

本試驗情況，波浪造波累積時間 30 小時後，水面上砂堆積溯上限位置在 $x = -0.9^m$ 處， x 自 -0.9^m 到 -0.5^m 處成一平台，而在 $x = -0.5^m \sim \pm 0^m$ 間則形成另一平台，（與上一平台成一明顯階梯狀）如照片 5-20 (a)(b)。 x 自 $\pm 0^m$ 到 $+0.3^m$ 間則形成一平滑斜坡，如照片 5-20 (c)。 x 於 $+0.3^m \sim 0.4^m$ 間沙顆粒粒徑較為粗大，而 x 自 0.4^m 到 0.9^m 間則形成一平台（berm），惟底床剖面在 $x = 0.9^m \sim 1.0^m$ 間則形成一陡坡，而 x 自 1^m 以後往海側方向（offshore）則開始有 ripple 產生如照片 5-20 (d)，其 ripple 規模則如圖 5-18 所示。 x 自 1.6^m 到 1.8^m 間 ripple 寬度變小，惟自 $x = 1.8^m \sim 2.2^m$ 間始又恢復原大小，然自 $x = 2.2^m$ 以後往深海處，ripple 又變小，直到 $x = 3.6^m$ 後 ripple 消失，一般而言，底床剖面 x 自 -0.9^m 到 0.2^m 間均呈堆積狀，而 $x = 0.2^m \sim 0.5^m$ 間則屬侵蝕狀，最大深度為 3^m ，而底床剖面自 $x = 0.5^m \sim 0.7^m$ 間高程不變，自 0.7^m 以後均呈侵蝕狀。

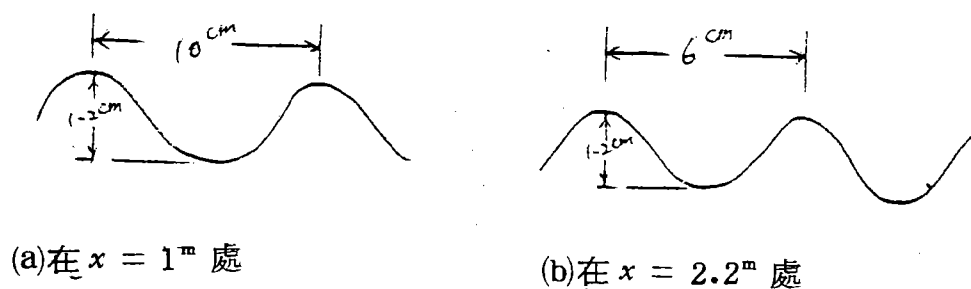
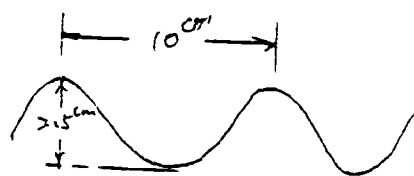


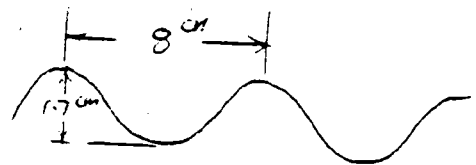
圖 5-18 CASE D-1 累積造波時間 30 小時後，底床剖面不同位置 ripple 之大小

CASE D-2 水位變化 Slope = 1 / 20 , 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^{\text{mm}}$

本試驗情況，累積波浪造波時間 30 小時後，水面上砂堆積邇上限到 $x = -1.3^{\text{m}}$ 處，以 $x = -0.7^{\text{m}}$ 處為最高成一平滑斜面分別如照片 5-21 (a)(b) 所示， $x = -0.7^{\text{m}} \sim -0.4^{\text{m}}$ 間則為一平台， x 自 0.4^{m} 到 $\pm 0^{\text{m}}$ 間則為另一平台，中間有一明顯之階梯。 $x = \pm 0^{\text{m}} \sim 0.3^{\text{m}}$ 間為一平滑斜坡；在 $x = 0.3^{\text{m}} \sim 0.4^{\text{m}}$ 間砂粒粒徑分佈較為粗大，而底床自 $x = 0.4^{\text{m}}$ 到 0.9^{m} 間則為另一平台，砂粒粒徑分佈最細， x 自 0.9^{m} 以後則有 ripple 形成，在 $x = 0.9^{\text{m}} \sim 1.5^{\text{m}}$ 間其規模較大，以後規模較小，分別如照片 5-21 (c) 以及圖 5-19 所示。整個底床剖面， x 自 -1.3^{m} 到 0.2^{m} 間均呈堆積狀，以後往深海均呈侵蝕狀，尤以 $x = 0.9^{\text{m}}$ 後到 $x = 3^{\text{m}}$ 間侵蝕最烈，最大侵蝕水深發生在 $x = 1.4^{\text{m}}$ 附近深度為 9 公分。



(a) 在 $x = 0.9^{\text{m}} \sim 1.5^{\text{m}}$ 間



(b) 在 $x = 2^{\text{m}}$ 附近

圖 5-19 CASE D-2 累積造波時間 30 小時後，底床剖面不同位置 ripple 之大小

CASE D-3 水位變化, Slope = 1 / 30 , 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本試驗情況，在累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積壟上限在 $x = -0.8^m$ 處，以 $x = 0.1^m$ 處為其頂點，其間形成一平滑斜坡，如照片 5-22 (a)。 x 自 0.1^m 到 0.5^m 間為另一斜坡，如照片 5-22 (b) 所示，底床剖面在 $x = 0.5^m \sim 0.8^m$ 間為一平台，且 $x = 0.8^m \sim 1.0^m$ 間為平滑斜坡，該區沙粒徑分佈細且均勻，而 x 自 $1^m \sim 1.1^m$ 間為砂粒徑分佈最大處， x 自 1.1^m 到 1.7^m 間為另一平台，如照片 5-22 (c)。底床剖面 x 自 1.7^m 成陡坡後即有 ripple 產生， x 自 1.7^m 到 2.1^m 間 ripple 成魚鱗狀。尤其甚者，該試驗情況，底床剖面自 $x = 2.9^m$ 以後另成一明顯大規模 sand dune 如照片 5-22 (d) 以及圖 5-20 所示。大體而言，底床剖面在 $x = -0.8^m \sim 1.1^m$ 間均呈堆積狀，在 $x = 1.1^m \sim 1.7^m$ 間則呈侵蝕狀，侵蝕深度平均為 2.5 公分，自 $x = 1.7^m$ 後向深海處侵蝕較烈，直到 $x = 6.3^m \sim 6.7^m$ 間方呈堆積，最大侵蝕水深平均為 9 公分。

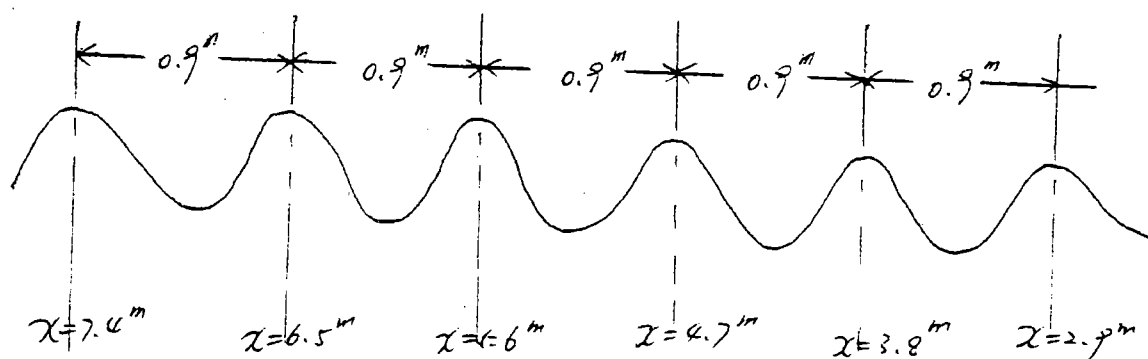
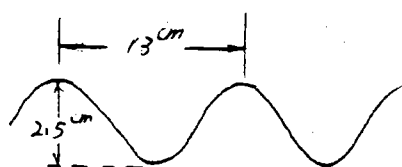


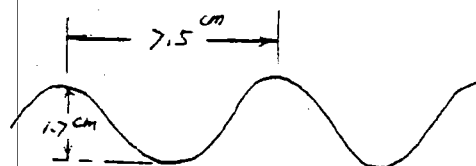
圖 5-20 CASE D-3 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 sand dune 形成位置

CASE D-4 水位變化，Slope = 1 / 10，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況，波浪累積造波時間 30 小時後，水面上砂沖積邇上線發生在 $x = -1.2^m$ 處，惟 x 自 -1.2^m 到 -0.4^m 間底床剖面變化並不明顯且 x 自 -0.4^m 到 0.1^m 間形成一斜坡呈侵蝕狀如照片 5-23 (a)，砂粒徑以在 $x = 0.1^m$ 處分佈較為粗大，而 x 自 0.1^m 到 0.4^m 間則沙粒徑分佈較細形成一平台 (berm) 如照片 5-23 (b)。底床剖面自 $x = 0.4^m$ 以後向海側即有 ripple 現象產生， $x = 0.4^m \sim 1.2^m$ 間其 ripple 呈魚鱗狀，如照片 5-23 (c) 所示，照片中左側部份係因放水時漂沙流失所致，其規模較大如圖 5-21， x 自 1.2^m 以後 ripple 規模較小。大體而言，整個底床剖面在 $x = -0.4^m \sim 2^m$ 間呈侵蝕性，以後向海側則無明顯變化，最大侵蝕深度為 6.5 公分，約發生在 $x = 1^m$ 處。



(a) 在 $x = 0.4^m \sim 1.2^m$ 間



(b) 在 $x = 1.5^m$ 附近

圖 5-21 CASE D-4 累積造波時間 30 小時後，底床剖面不同位置其 ripple 之大小

CASE D-5 水位變化，Slope = 1 / 20，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況，當造波時間累積 30 小時後，其水面上砂堆積上限到 $x = -1.1^m$ 處，以在 $x = -0.6^m$ 處為最高成一平滑斜坡，如照片 5-24 (a)，砂粒徑分佈較為粗大。底床剖面自 $x = -0.6^m \sim -0.2^m$ 間為另一斜坡，但因受水位變化影響，較為不規則，如照片 5-24 (b) 所示。在 $x = -0.2^m \sim \pm 0^m$ 間則為一平台 (berm)，而 x 自 $\pm 0^m$ 到 0.3^m 間成一平滑斜坡且在 $x = 0.3^m \sim 0.4^m$ 間形成一陡坡，該處粒徑分佈較大，如照片 5-24 (c)，而在 $x = 0.4^m \sim 0.8^m$ 間則為另一平台，粒徑分佈較細且均勻，且在 $x = 0.8^m \sim 0.9^m$ 間為另一陡坡，底床剖面自 $x = 0.9^m$ 以後則有 ripple 產生，尤其甚者，該試驗情況亦有規模大之 sand dune 產生，如圖 5-22 及照片 5-24 (d) 所示。大致而言，底床剖面在 $x = 0.1^m \sim 3.6^m$ 間均呈侵蝕狀，最大侵蝕水深為 9 公分。

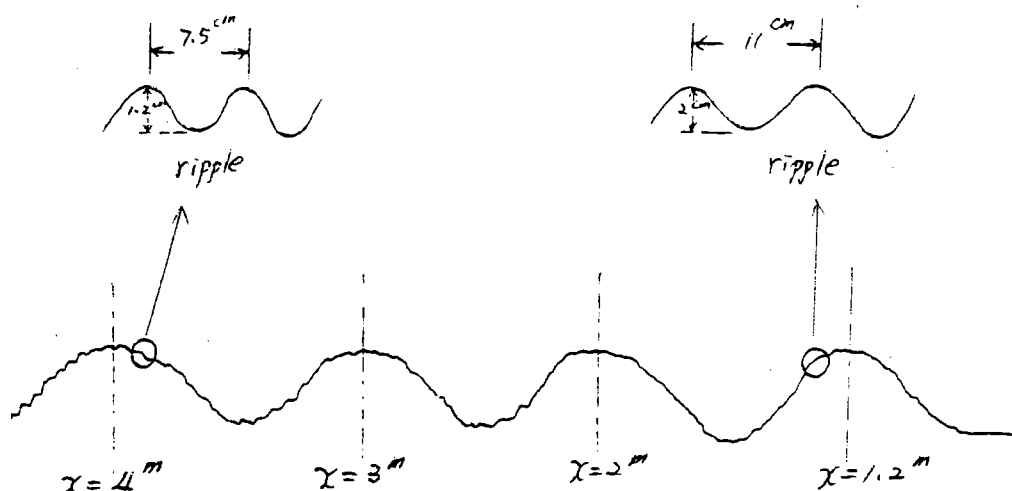


圖 5-22 CASE D-5 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 sand dune 形成位置

CASE D-6 水位變化， $\text{slope} = 1 / 30$ ，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^{\text{mm}}$

本試驗情況，當波浪造波累積時間達 30 小時後，底床剖面水面上砂堆積邇上極限在 $x = -1.1^{\text{m}}$ 處，以 $x = -0.4^{\text{m}}$ 為最高點呈一緩平滑斜坡，而在 $x = -0.4^{\text{m}} \sim 0.4^{\text{m}}$ 區為另一平滑斜坡，如照片 5-25 (b)，以上均呈堆積狀，如照片 5-25 (a)。在 $x = 0.5^{\text{m}}$ 處附近，砂粒徑分佈較為粗大。同時在 $x = 0.7^{\text{m}} \sim 1.0^{\text{m}}$ 間形成一平台 (berm)，該區砂粒徑分佈均勻細小，呈侵蝕狀，如照片 5-25 (c)，平均侵蝕水深為 5 公分，底床剖面自 $x = 1^{\text{m}}$ 以後向海側則有 ripple 形成，到 $x = 1.6^{\text{m}}$ 處 ripple 規模較大，呈魚鱗狀，如照片 5-25 (d)，而底床剖面自 $x = 1.6^{\text{m}}$ 以後 ripple 規模變小，該試驗情況，亦如同 CASE D-5 一樣有大規模 sand dune 形成，如圖 5-23 所示，一般而言，底床剖面自 $x = 1.0^{\text{m}} \sim 5.6^{\text{m}}$ 間均呈侵蝕，最大侵蝕水深為 9 公分。

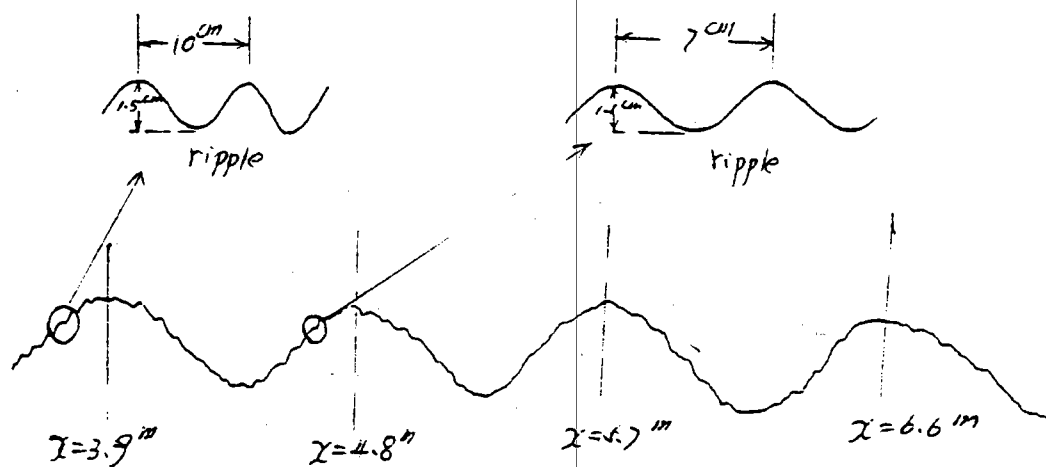


圖 5-23 CASE D-6 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 sand dune 形成位置

CASE E-1 水位變化，Slope = 1 / 10 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^m$

本試驗情況，入射波浪波高，週期均較小，惟波浪尖銳度較大，當波浪造波累積時間達 30 小時後，水面上砂堆積遡上極限位置在 $x = -0.7^m$ 處，然底床剖面變化不甚明顯如照片 5-26 (a)，在 $x = -0.2^m$ 處，底床剖面呈侵蝕且在 $x = 0.3^m$ 以後有 ripple 形成。 x 在 0.3^m 到 1.4^m 間為侵蝕，於 $x = 0.6^m$ 處侵蝕最烈，最大侵蝕水深為 4 公分，如照片 5-26 (b)，其底床剖面形成規則之 ripple，如照片 5-26 (c) 以及圖 5-24 所示，惟 x 在 2.2^m 以後 ripple 消失，大部份為淤泥。

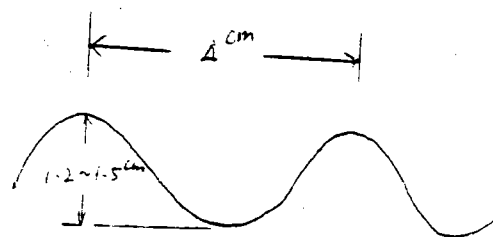


圖 5-24 CASE E-1 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小

CASE E-2 水位變化，Slope = 1 / 20，中值粒徑 $d_{50} = 0.47^{\text{mm}}$

本試驗情況，波浪造波累積時間 30 小時後，水面上砂堆積邇上極限到 $x = -1.0^{\text{m}}$ 處，堆積最高處在 $x = -0.4^{\text{m}}$ ，屬堆積性如照片 5-27 (a)，然底床剖面在 $x = 0.3^{\text{m}}$ 處有一深溝，深度為 3.5 公分，如照片 5-27 (b)，底床剖面自 $x = 0.8^{\text{m}}$ 以後，則屬侵蝕且有 ripple 形成，相片中紅色基線部份為底床原始剖面位置，該侵蝕區一直延伸到 $x = 3.8^{\text{m}}$ 處，在 $x = 1^{\text{m}} \sim 2^{\text{m}}$ 間侵蝕最為激烈，最大侵蝕水深為 5 公分，其 ripple 之規模 (dimension) 則如照片 5-27 (c) 以及圖 5-25 所示。

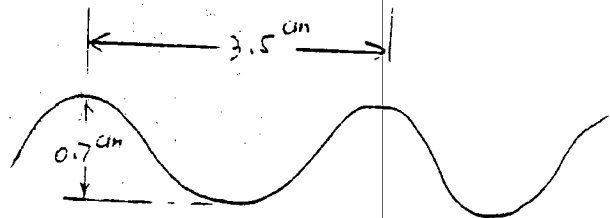


圖 5-25 CASE E-2 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小

CASE E-3 水位變化，Slope = 1 / 30 中值粒徑 $d_{50} = 0.47^{\text{mm}}$

本試驗情況，波浪造波時間累積 30 小時後，其水面上砂堆積邇上限到 $x = -0.8^{\text{m}}$ 處，堆積最高點在 $x = -0.6^{\text{m}}$ 處，堆積厚度估計有 4 公分厚，如照片 5-28 (a)，該區底床剖面屬堆積性，同時於 $x = 0.2^{\text{m}}$ 處亦如同 CASE E-2 有一深溝形成且 x 自 0.6^{m} 以後則有 ripple 形成一直延伸到 $x = 4^{\text{m}}$ ，底床剖面自 $x = 0.6^{\text{m}}$ 以後向海側均為侵蝕性，如照片 5-28 (b)，其中紅色基線表底床原始剖面，該區最大侵蝕深度為 4 公分，其 ripple 規模大小，如照片 5-28 (c)，以及圖形 5-26 所示。

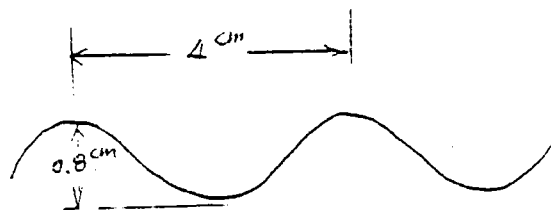


圖 5-26 CASE E-3 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小

CASE E-4 水位變化，Slope = 1/10，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^m$

本試驗情況，造波時間累積 30 小時後，其水面上砂堆積邇上限到 $x = -0.7$ 處，以 $x = -0.6^m$ 處高程最大，且在 $x = \pm 0^m$ 處亦有一深溝形成，深度為 3.7 公分，如照片 5-29 (a)。底床剖面在 $x = -0.7^m \sim 0.2^m$ 間為堆積段且自 $x = 0.2^m$ 以後則有 ripple 現象產生，一直延伸到 $x = 2^m$ 處，底床剖面在 $x = 0.2^m \sim 1.4^m$ 間為侵蝕段最大侵蝕水深為 1.6 公分，如照片 5-29 (b)。而其 ripple 規模則如照片 5-29 (c) 以及圖 5-27 所示。

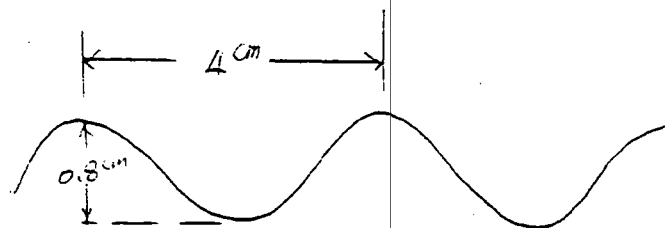


圖 5-27 CASE E-3 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小

CASE E-5 水位變化, Slope = 1 / 20 中值粒徑 $d_{50} = 0.30\text{mm}$

本試驗情況，當波浪造波時間累積達 30 小時後，水面上砂堆積遞上極限到 $x = -1\text{m}$ 處，最高點在 $x = -0.8\text{m}$ 處，其堆積情況如照片 5-30 (a)，而水面上自 $x = -0.8\text{m} \sim -0.1\text{m}$ 間則為一平滑斜坡，如照片 5-30 (b)，且在 $x = -0.1\text{m} \sim 0.1\text{m}$ 間產生一平台 (berm)，底床剖面在該區均屬堆積性。而 x 自 0.1m 以後向海側底床剖面則有 ripple 形成一直延伸到 $x = 3.5\text{m}$ 處為止。底床剖面在 $x = 0.1\text{m} \sim 1.6\text{m}$ 間為侵蝕段，最大侵蝕水深為 4.8 公分，其 ripple 之規模大小如照片 5-30 (c) 以及圖 5-28 所示。

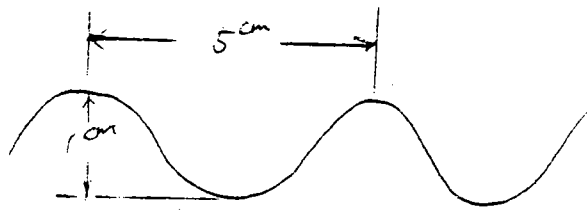


圖 5-28 CASE E-4 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小

CASE E-6 水位變化， $\text{Slope} = 1/30$ ，中值粒徑 $d_{50} = 0.30^{\text{mm}}$

本試驗情況，波浪累積造波時間達 30 小時後，其水面上砂堆積邇上極限在 $x = -0.4^{\text{m}}$ 處，最高處在 $x = \pm 0^{\text{m}}$ 處，厚度估計為 8 公分，其砂堆積情形如照片 5-31 所示，底床剖面在 $x = \pm 0^{\text{m}} \sim 0.5^{\text{m}}$ 間為一平滑斜坡，且在 $x = 0.5^{\text{m}} \sim 0.8^{\text{m}}$ 間為一平台，底床剖面在 $x = -0.4^{\text{m}} \sim 0.8^{\text{m}}$ 間均為堆積性，如照片 5-31 (b) 所示。而自 $x = 0.8^{\text{m}}$ 以後底床剖面則有 ripple 現象形成一直延伸到 $x = 6.8^{\text{m}}$ 處，其規模如照片 5-31 (c) 以及圖 5-29 所示。整個底床剖面在 $x = 0.8^{\text{m}} \sim 5.0^{\text{m}}$ 間均屬侵蝕性，最大侵蝕深度為 5.6 公分，發生在 $x = 2^{\text{m}}$ 處。

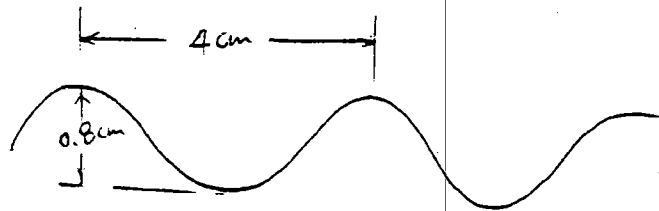


圖 5-29 CASE E-6 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小

故綜合本次試驗結果之定性描述，吾人可摘錄如表 5 — 1 ～ 表 5 — 5 分別說明各種試驗情況其各累積造波時段於平均水位時，波浪邇上位置極限 X_R ，碎波位置 X_B ，碎波波高 H_B ，以及各種不同底床剖面最大平均輸沙量值 Q_{max} 與其發生位置 x_m 等。表 5 — 6 則說明造波終了時每一個試驗情況其海灘斷面型態，ripple 規模 (dimension) 之尖銳度以及台梯 (terrace) 與平台 (berm) 間海灘坡度 $\tan \theta$ 等特性，圖 5 — 30 ～ 圖 5 — 59 則分別說明各試驗情況，其每累積造波時段底床剖面之變化情況。

對於坡度 $1 / 10$ 之底床剖面，在水位固定為平均水位時，試驗結果顯示有沿岸沙洲 (longshore bar) 產生，而在有水位變化試驗情況時，則明顯無此現象，同時波浪尖銳度愈大，其底床剖面達到穩定平衡之時間愈緩，且在水面下之底床剖面有平台產生現象，波浪尖銳度愈大愈趨明顯，如圖 5 — 36 等。倒是顆粒粒徑變化對坡度為 $1 / 10$ 之試驗情況，並無顯著之差異。

對於坡度 $1 / 20$ 之底床剖面，在固定水位之試驗情況其結果顯示，其堆積頂點恰好發生在原底床剖面與水面交接處，然於水位變化情況之試驗結果顯示，其堆積頂點則明顯向岸推進且顆粒粒徑較細者愈向岸向堆積，此乃因水位變化導致波浪尖銳度改變，內灘有被侵蝕趨勢底質分別堆積在外灘及灘線上，尤其是灘線附近堆積明顯，平台發達且灘頂較高。

對坡度 $1 / 30$ 之底床剖面者，變化水位試驗情況結果顯示，在離岸處有明顯沿岸沙洲產生且顆粒粒徑較大者，現象愈明顯，如圖 5 — 32，5 — 35 所示；而採水位固定情況試驗者，該現象並不十分明顯。

大體而言，試驗結果顯示，坡度愈平緩，底床剖面達到平衡之歷時愈長，堆積現象愈顯著，且其頂點愈向海側推移，此乃因水位變化，使得波浪能迎上能力增強，致前灘區較長，堆積並顯著增加之故。同時試驗結果亦顯示近高水位線部份底床剖面較大，而低水位線部份，底床坡度有趨於較平坦且粒徑分佈較細之跡象。

表 5 ~ 1 CASE : A

累積造波時間 (hr)		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	備考
(X _R)	遡上位置極限	粗砂	1/10	-0.8 -0.8	-0.9 -1.0	-0.6 -1.0	-0.6 -0.6	-0.6 -0.5	-0.6 -0.8	-0.9 -0.8	-0.9 -0.8	-0.8 -0.8	-0.6 -0.8	-0.6 -0.6	-0.6 -0.6	-0.6 -0.4	
			1/20	-0.5 -0.5	-0.8 -0.6	-0.7 -0.7	-0.3 -0.4	-0.2 -0.1	-0.6 -0.2	± 0 +0.1	± 0 +0.1	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0 +0.1	± 0 ± 0	+0.2 +0.1
			1/30	-0.4 -0.7	-1.0 -1.0	-0.9 -1.0	± 0 ± 0	+0.1 ± 0	± 0 -0.2	-0.1 -0.1	-0.2 50.2	-0.2 ± 0	± 0 ± 0	-0.1 ± 0	± 0 ± 0	-0.1 ± 0	± 0 -0.1
		細砂	1/10	-0.8 -1.0	-1.1 -1.2	-1.0 -1.0	-0.2 -1.1	-1.2 -1.1	-1.4 -1.2	-1.4 -1.4	-1.4 -1.4	-1.4 -1.3	-1.2 -1.3	-1.4 -1.4	-1.4 -1.4	-1.4 -1.2	-1.3 -1.3
			1/20	-0.6 -0.8	-1.2 -1.2	-0.8 -0.9	-0.7 -0.8	-0.8 -0.8	-1.0 -1.0	-0.9 -0.6	-0.8 -0.4	-0.4 -0.3	-0.3 -0.4	-0.2 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.1
			1/30	-0.6 -0.6	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.4 -0.2	-0.5 -0.3	-0.8 -0.8	-0.7 -0.6	-0.6 -0.7	-0.6 -0.6	-0.6 -0.6	-0.8 +0.8	+1.1 +1.1	+1.2 +1.0	+1.0 +1.1
(X _B)	碎波位置	粗砂	1/10	1.6 1.8	2.1 1.8	1.6 2.0	1.95 2.30	2.2 2.1	1.9 2.1	2.03 2.3	2 2	2.1 2.0	2.0 2.0	2.0 2.0	2.0 2.0	2.0 1.9	
			1/20	5.2 5.2	4.1 4.0	3.6 3.6	7.5 7.5	7.5 7.7	7.6 7.9	7.9 8.0	8.2 8.2	7.7 8.8	9.0 9.2	8.8 9.2	9.2 9.2	9.2 9.3	9.2 9.2
			1/30	9 9	9.4 9.0	8.7 8.9	9.0 9.0	9.1 9.0	8.7 8.8	8.8 9.0	9.0 8.7	9.0 9.0	8.7 9.0	9.0 9.0	9.0 9.0	9.0 9.0	9.0 9.0
		細砂	1/10	2.2 2.4	2.2 2.8	2.4 2.4	2.9 3.0	2.6 2.8	2.4 2.7	2.6 2.7	2.4 2.6	2.6 2.6	2.4 2.6	2.7 2.7	2.4 2.4	2.3 2.4	2.4 2.6
			1/20	5.0 5.4	5.8 5.2	4.9 7.2	8.75 9.2	9.2 9.2	9.5 9.8	10.0 10.0	9.5 9.7	9.7 9.8	10 10	9.8 9.8	9.8 9.8	9.8 9.7	9.7 9.8
			1/30	8.8 9.2	8.8 8.9	9.2 9.0	9.2 9.1	9.1 9.3	9.4 9.3	9.2 9.3	9 9.2	9.1 9.3	9.3 9.3	9.4 9.4	9.3 9.3	9.4 9.3	9.3 9.5
(H _B)	碎波位置	粗砂	1/10	20.5	24	19	22	19	18	24	23	25	24	21.6	24.5	25.5	— 23.5
			1/20	18.5	19.6	19	20	21	19	19	18	17	20.2	18	19.5	21	— 18
			1/30	19.5	22	20	20	20	20	20	19	19	18	18	18.5	18	— 18
	細砂	粗砂	1/10	20	19	19	21	20	20	20	20	19	20	20	20	—	20
			1/20	21	20	19.6	22	21.6	20.6	22	21	21	21	21.6	21	21	— 22
			1/30	20	20.8	22	21	21	21.6	20.5	21	20.5	20.8	20	20	20	— 21
X _m	粗砂	粗砂	1/10	0.2 184	0.2 216	1.8 271	2.0 352	2.2 303	2.2 253	2.6 231	2.0 255	2.2 224	2.2 255	2.0 228	1.8 272	1.8 282	0.4 266 340
			1/20	3.0 -150	4.0 205	2.8 416	2.8 373	1.8 450	2.2 661	1.2 719	1.0 910	1.0 1001	1.0 1011	1.0 1016	1.0 905	1.0 976	1.2 1113 1157
			1/30	7.8 -530	7.8 -634	7.8 -634	7.6 -618	7.8 -643	7.8 -606	7.8 -560	7.8 -632	7.6 -676	7.4 -707	7.6 -601	7.8 -633	7.6 -687	7.4 -640 -705
	細砂	粗砂	1/10	1.4 -418	0.8 -516	1.0 -452	1.0 -506	1.0 -470	1.6 -468	0.8 -411	0.8 -455	0.8 -438	0.8 -447	0.8 -424	0.8 -454	0.8 -442	0.8 -378 -426
			1/20	3.4 -262	7.6 -360	7.2 -359	7.8 -344	8.2 -342	2.4 430	1.8 438	2.0 506	1.8 580	1.6 657	1.6 685	1.6 690	1.6 699	1.0 694 682
			1/30	7.6 -235	7.2 -205	7.2 -183	7.4 -256	7.4 -221	7.8 -276	7.8 239	7.8 -262	3.8 286	3.4 422	3.2 472	2.8 507	2.8 540	2.4 582 647

表 5~2 CASE : B

累積造波時間 (hr)			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	備考
遡上位置極限 (X_R)	粗砂	$\frac{1}{10}$	-1.4 -1.2	-1.1 -1.0	-1.0 -1.0	-1.0 -1.0	-1.0 -0.9	-1.1 -0.9	-1.0 -0.9	-1.0 -0.9	-1.2 -1.0	-1.0 -0.9	-0.9 -0.9	-0.7 -0.8	-1.1 -1.1	-0.8 -0.9	-1.1 -0.9	
		$\frac{1}{20}$	-1.0 -0.8	-1.0 -0.8	-1.0 -1.0	-1.0 -0.6	-0.6 -0.6	-0.6 -0.5	-0.4 -0.4	-0.4 -0.3	-0.4 -0.5	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.2 -0.2	-0.5 -0.3	-0.3 -0.2	-0.4 -0.4	
		$\frac{1}{30}$	-1.2 -1.0	-1.2 -1.1	-1.2 -1.0	-1.1 -1.0	-0.4 -0.4	-0.3 -0.2	0.0 0.0	± 0 -0.2	-0.2 -0.4	-0.4 -0.4	-0.3 -0.3	-0.2 -0.2	-0.6 -0.6	-0.5 -0.5	-0.5 -0.5	
	細砂	$\frac{1}{10}$	-1.4 -1.0	-1.0 -1.0	-0.9 -1.0	-0.9 -0.8	-1.0 -1.0	-1.0 -1.0	-1.0 -1.0	-1.0 -1.0	-1.0 -1.2	-1.1 -1.2	-1.2 -1.2	-0.8 -0.9	-1.0 -1.0	-1.0 -1.0	-1.3 -1.2	
		$\frac{1}{20}$	-1.2 -0.8	-0.9 -0.9	-0.9 -1.0	-1.0 -0.6	-0.4 -0.4	-0.6 -0.4	-0.6 -0.6	-0.5 -0.4	-0.6 -0.4	-0.6 -0.6	-0.6 -0.6	-0.5 -0.5	-0.5 -0.4	-0.6 -0.7	-0.8 -0.8	
		$\frac{1}{30}$	-1.2 -0.8	-1.0 -1.0	-1.0 -1.2	-1.1 -0.9	-1.0 -0.6	-1.2 -1.0	-0.2 -0.2	-0.3 -0.2	0.4 ± 0	-0.4 -0.4	-0.3 -0.4	-0.4 -0.2	-0.6 -0.3	-0.4 -0.2	-0.5 -0.5	
碎波位置 (X_B)	粗砂	$\frac{1}{10}$	0.9 0.9	0.8 0.8	0.6 0.5	0.5 0.6	0.6 0.6	0.6 0.8	0.6 0.8	0.8 0.8	0.6 0.6	0.6 0.6	0.8 0.8	0.8 0.8	0.4 0.5	0.8 0.8	0.6 0.6	
		$\frac{1}{20}$	3.0 3.1	2.8 2.7	2.8 2.8	2.8 2.7	2.4 2.7	2.6 2.6	2.4 2.4	2.4 2.6	2.5 2.5	2.4 2.4	2.5 2.5	2.5 2.5	2.4 2.5	2.4 2.7	2.3 2.3	
		$\frac{1}{30}$	3.2 3.9	3.9 3.8	3.8 3.8	3.8 3.2	3.0 3.2	3.2 3.2	3.2 3.2	3.0 3.0	2.4 2.4	2.4 2.4	2.4 2.4	2.6 2.6	1.5 1.7	1.6 1.6	1.3 1.2	
	細砂	$\frac{1}{10}$	1.2 1.1	1.3 0.7	0.7 1.0	0.9 0.8	0.4 0.8	0.8 0.8	1.0 1.1	1.2 0.8	0.8 0.8	0.8 1.0	1.0 1.1	1.1 1.1	0.5 0.6	0.8 0.8	0.5 0.5	
		$\frac{1}{20}$	2.7 2.7	3.0 2.2	2.2 2.1	2.1 2.5	2.0 2.5	2.4 2.4	2.6 2.6	2.6 2.4	2.4 2.3	2.4 2.4	2.4 2.5	2.6 2.6	2.4 2.3	2.6 2.6	2.4 2.4	
		$\frac{1}{30}$	4.3 4.2	4.5 3.6	4.0 3.7	3.8 3.5	3.0 3.3	3.2 3.1	3.0 3.0	3.0 2.6	2.6 2.4	2.3 2.3	2.2 2.0	2.0 2.0	1.4 1.3	1.6 1.3	0.9 0.9	
碎波位置 (H_B)	粗砂	$\frac{1}{10}$	17	17	14	13	12	10	12	9	11	11	13	11	11	14	13	
		$\frac{1}{20}$	16	16	17	16	18	18	16	16	16	16	16	15.6	16	18	17	
		$\frac{1}{30}$	13	16	16	14	15	17	13	15	13	13	11	12	14	14	14	
	細砂	$\frac{1}{10}$	25	23	20	22	20	19	17	14	20	20.5	19	16	15	16	17	
		$\frac{1}{20}$	9	13	16	19	15	14	13	13	17	17	17	16	15	17.5	17	
		$\frac{1}{30}$	15	15	16	18	17	17	14	14	13	14	17	13	14	17	15.6	
X_m Q_m	粗砂	$\frac{1}{10}$	-0.2 310	-0.2 517	-0.2 568	0.0 643	0.2 664	0.2 657	0.4 679	0.2 641	0.0 698	0.0 768	0.0 815	0.0 831	0.2 664	0.0 769	0.2 828	
		$\frac{1}{20}$	3.2 174	2.6 292	2.6 315	1.6 431	2.2 506	1.0 619	1.0 754	1.0 888	0.6 796	0.8 912	0.8 1003	1.0 1092	1.0 1067	1.0 1029	1.0 1062	
		$\frac{1}{30}$	4.2 188	3.4 300	3.4 415	3.0 468	2.2 522	1.0 752	0.8 865	0.8 954	0.6 1010	0.6 1096	0.6 1227	0.6 1313	0.6 1476	0.4 1540	0.6 1659	
	細砂	$\frac{1}{10}$	0.0 286	-0.4 399	-0.2 494	0.0 631	-0.2 567	0.0 682	0.2 744	0.0 732	0.0 697	0.0 707	0.0 715	0.2 878	0.0 763	0.0 826	0.2 869	
		$\frac{1}{20}$	3.0 193	3.2 288	2.6 254	1.8 384	1.8 428	0.4 565	0.4 602	0.6 597	0.2 633	0.4 611	0.2 588	0.4 631	0.4 591	0.2 565	2.0 559	
		$\frac{1}{30}$	7.6 -158	7.6 -221	7.0 -222	2.6 317	1.6 461	0.8 605	1.2 737	1.2 960	0.6 1105	0.8 1327	0.6 1473	0.6 1838	0.6 1914	0.6 1834	0.6 2034	

表5~3 CASE : C

累積造波時間 (hr)			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	備考
週上位置極限 (X_R)	粗砂	$\frac{1}{10}$	-1.0 -0.9	-0.8 -0.6	-0.7 -0.4	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.7 -0.8	-0.9 -0.8	-0.7 -0.7	-0.7 -1.0	-0.7 -0.7	-0.7 -0.6	-0.6 -0.7	-0.7 -0.7	-0.6 -0.6	-0.6 -0.6	
		$\frac{1}{20}$	-1.9 -1.3	-1.4 -1.2	-1.2 -0.5	-1.4 -0.8	-0.9 -0.8	-0.6 -0.7	-0.7 -0.6	-0.7 -0.6	-0.5 -0.8	-0.7 -0.6	-0.5 -0.6	-0.6 -0.6	-0.6 -0.5	-0.5 -0.5	-0.5 -0.5	
		$\frac{1}{30}$	-2.4 -1.2	-1.5 -1.4	-1.4 -0.4	-2.2 +0.1	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0 ± 0	-0.1 -0.1	-0.2 -0.2	-0.2 -0.2	-0.2 -0.2	-0.3 -0.2	-0.2 -0.3	-0.2 -0.2	
	細砂	$\frac{1}{10}$	-1.3 -0.8	-0.8 -0.6	-0.7 -0.4	-0.7 -0.6	-0.6 -0.6	-0.7 -0.6	-0.7 -0.7	-0.7 -0.7	-0.7 -0.8	-0.6 -0.6	-0.6 -0.6	-0.6 -0.7	-0.7 -0.7	-0.7 -0.7	-0.7 -0.7	
		$\frac{1}{20}$	-1.7 -0.8	-0.9 -0.8	-0.5 -0.3	-0.8 -0.4	-0.8 -0.8	-0.7 -0.7	-0.9 -0.8	-0.6 -0.6	-0.6 -0.8	-0.5 -0.6	-0.6 -0.6	-0.6 -0.7	-0.8 -0.7	-0.5 -0.6	-0.6 -0.7	
		$\frac{1}{30}$	-2.1 -1.0	-1.2 -0.9	-0.9 -0.2	-1.3 -1.0	-1.4 -0.2	± 0 ± 0	± 0 ± 0	-0.1 -0.1	-0.2 -0.4	-0.2 -0.3	-0.4 -0.2	-0.2 -0.4	-0.5 -0.5	-0.3 -0.3	-0.3 -0.4	
	粗砂	$\frac{1}{10}$	0.7 0.8	1.0 1.0	1.0 1.3	1.1 1.0	1.0 1.1	1.0 1.0	0.9 1.0	0.8 1.0	0.9 0.9	0.9 0.9	0.2 0.9	0.9 0.5	0.6 0.6	0.9 0.9	0.9 0.9	
		$\frac{1}{20}$	2.1 2.2	2.3 2.2	2.2 2.3	1.6 2.0	1.8 2.0	1.8 1.8	1.1 1.2	1.3 1.6	1.8 1.7	1.8 1.7	1.3 1.8	1.8 1.8	1.6 1.4	1.5 1.5	1.5 1.3	
		$\frac{1}{30}$	3.4 3.4	3.1 3.1	3.2 3.3	2.8 2.8	2.1 2.6	2.4 2.5	2.5 2.6	2.6 2.6	2.3 2.1	2.2 2.2	1.3 1.7	1.7 1.6	1.0 1.3	1.4 1.5	1.5 1.5	
碎波位置 (X_B)	細砂	$\frac{1}{10}$	1.2 0.8	1.0 0.5	0.8 1.3	0.4 0.6	0.7 1.0	0.6 0.7	0.5 0.5	0.7 0.7	0.6 0.7	0.8 0.8	0.5 0.7	0.7 0.7	0.6 0.5	0.7 0.7	0.7 0.7	
		$\frac{1}{20}$	2.1 2.6	2.6 2.6	2.8 2.8	2.2 2.2	2.3 2.6	2.6 2.6	2.4 2.0	2.0 2.2	2.5 2.4	2.2 2.2	2.2 2.5	2.5 2.7	1.0 1.8	2.1 2.1	2.1 2.1	
		$\frac{1}{30}$	3.8 3.8	3.6 3.6	3.6 3.7	3.0 2.6	2.6 2.7	2.6 2.6	2.3 2.7	2.2 2.1	2.1 2.0	2.2 2.2	1.2 1.4	1.4 1.3	0.7 1.1	1.2 1.2	1.1 1.1	
	粗砂	$\frac{1}{10}$	9.0 -	15.5 13.5	15 21	16	17 17.5	17.5 16.5	17 16	15.5	14	18.5	17.5	16.5	15.5	16	13.5	
		$\frac{1}{20}$	7.5 11.5	13.5 13.0	11 12	12.5	9 11	13 14	12 13	14	11	14	13	12	13	12.5	15	
		$\frac{1}{30}$	10.5 12.0	11.0 13.5	10 12	13.5	12.5 13.5	12.5 14	14.5 15	13	12.5	12.5	13.5	14	13	15	12	
碎波位置 (H_B)	細砂	$\frac{1}{10}$	9.4 11.0	8.0 12.5	14.5 14	14	11 10.5	10.5 10	10 9.5	10	9.5	10.5	9	11	10.5	11.5	10.5	
		$\frac{1}{20}$	8.5 12.5	12.5 13.0	12 11	13	14 14	13 12.5	11.5 12.5	13	12.5	13	12.5	9.5	10.5	10	9	
		$\frac{1}{30}$	8.5 13.5	12.0 14.0	9.5 10	13	16 14.5	13.5 15.0	14.5 13.5	13.5	12.5	14	16	16	13	12	13	
X_m	粗砂	$\frac{1}{10}$	0.4 448	0.2 443	0.2 513	0.4 649	0.2 600	0.4 600	0.4 616	0.4 724	0.4 751	0.4 730	0.2 802	0.2 809	0.4 832	0.2 805	0.4 786	
		$\frac{1}{20}$	2.6 109	1.4 171	1.4 221	1.0 314	0.0 368	0.2 541	0.2 552	0.2 655	0.4 668	0.4 758	0.4 803	0.2 872	0.4 984	0.4 999	0.4 1143	
		$\frac{1}{30}$	1.8 -76	2.8 246	1.4 324	1.0 449	1.0 512	1.0 840	0.8 830	0.6 960	0.6 1023	0.6 1102	0.4 1214	0.6 1207	0.6 1191	0.6 1274	0.6 1275	
	細砂	$\frac{1}{10}$	0.0 280.4	0.0 392	0.0 420	0.0 472	0.2 474	0.0 549	0.0 578	0.0 586	0.0 607	0.0 580	0.0 614	-0.2 630	0.0 654	-0.4 568	0.0 619	
		$\frac{1}{20}$	2.8 85	2.6 111	2.8 108	2.4 102	5.8 -129	0.4 170	0.0 186	0.2 201	0.0 276	0.0 327	0.2 384	0.2 414	0.2 534	0.2 543	0.2 521	
		$\frac{1}{30}$	6.6 -65	6.8 -199	2.8 211	2.4 275	0.8 402	0.8 554	1.0 578	0.6 711	0.6 686	0.4 814	0.4 940	0.4 959	6.8 -961	6.8 -1060	7.0 -11057	

表 5 ~ 4 CASE : D

累積造波時間 (hr)			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	備考
週上位置極限 (X _R)	粗砂	1/10	-0.4 -0.4	-0.5 -0.3	-0.4 -0.4	-0.3 -0.3	-0.4 -0.4	-0.3 -0.3	-0.4 -0.3	-0.3 -0.2	-0.4 -0.3	-0.4 -0.3	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.3	-0.3 -0.2	-0.3 -0.4	
		1/20	-0.6 -0.6	-0.7 -0.4	-0.6 -0.7	-0.5 -0.6	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.3 -0.4	-0.3 -0.3	-0.4 -0.4	-0.3 -0.3	-0.4 -0.4	-0.3 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	
		1/30	-0.8 -0.5	-0.5 -0.6	-0.6 -0.7	0.1 ± 0	± 0 0.1	0.1 0.2	0.3 0.3	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	
	細砂	1/10	-0.6 -0.6	-0.7 -0.7	-0.7 -0.7	-0.7 -0.8	-0.8 -0.7	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.8 -0.7	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	-0.8 -0.8	
		1/20	-0.8 -0.6	-0.6 -0.5	-0.6 -0.6	-0.6 -0.5	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.1 -0.2	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	
		1/30	-1.0 -0.7	-0.6 -0.9	-0.6 -0.7	-0.2 -0.2	-0.2 -0.2	-0.2 -0.2	-0.2 -0.2	± 0 -0.1	± 0 -0.1	± 0 ± 0	± 0 ± 0	-0.1 -0.1	± 0 -0.1	± 0 ± 0	-0.2 -0.2	
	粗砂	1/10	0.8 1.1	1.2 1.0	1.0 1.0	0.7 0.6	0.6 0.6	0.7 0.6	0.4 0.6	0.5 0.7	0.7 0.7	0.7 0.7	0.7 0.8	0.7 0.6	0.6 0.6	0.5 0.5	0.4 0.4	
		1/20	1.4 1.6	1.8 1.6	1.5 1.5	1.1 1.2	1.2 1.1	1.0 1.0	0.5 0.5	0.9 0.8	0.9 1.0	0.8 0.8	0.8 0.9	0.8 0.8	0.6 0.6	0.4 0.6	0.4 0.4	
		1/30	2.2 2.2	2.4 2.4	2.1 2.1	2.1 1.8	1.9 1.9	2.0 1.6	1.4 1.4	1.5 1.6	1.5 1.6	1.4 1.4	1.4 1.5	1.4 1.4	1.4 1.4	1.2 1.2	1.2 1.3	
碎波位置 (X _B)	細砂	1/10	0.5 0.8	0.9 0.5	0.6 0.6	0.5 0.5	0.7 0.9	0.9 0.6	0.2 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	0.6 0.6	0.5 0.6	0.5 0.6	0.4 0.5	± 0 ± 0	± 0 0.1	
		1/20	1.6 2.0	2.0 1.6	1.7 1.6	1.3 1.0	1.4 1.4	1.3 1.4	0.6 0.6	0.9 0.9	0.7 0.7	0.7 0.7	0.7 0.9	0.7 0.8	0.8 0.7	0.5 0.6	0.4 0.5	
		1/30	2.2 2.2	2.4 1.7	2.1 2.0	1.4 1.4	1.6 1.8	1.6 1.6	0.8 1.0	1.1 1.1	1.1 1.0	1.0 1.0	1.1 1.1	1.0 1.0	0.8 0.8	0.8 1.0	0.6 0.8	
	粗砂	1/10	12.5	10.5	8.9 11.3 11.5	11	11	11	13	13.5	14.5	13.5	11	10.5 9.5	6.0	6.0	5.6	
		1/20	10.5	10.3	7.8 8.3	9.5	11	8.5	10	11	12	12	10	9 16.5	9.5	9.0	8.5	
		1/30	9.5	8.5	8.5 10 10	10	11	9.5	9.5	11.5	10.5	11.5	12.5	10.5 14.5	7.0	7.3	8.0	
	細砂	1/10	12.5	10.3	11 10.5 9.5	11	11.5	10	11	10	9	12	12.5	9.8 9.5	9.5	8.5	8.5	
		1/20	10.5	8.5	8.5 9.5 10	11	11.3	10	10.5	13.5	10.5	12	13.5 10	7 9	9.5	9.0	10.0	
		1/30	9	8.5	7.8 8	7.0	8	7.5	7.5	9	10	8.5	10.5 8	7.9 8.0	12 9.5	10	11.0	
X _m Q _m	粗砂	1/10	0.6 -56.8	0.6 -89	0.8 71	0.0 60	-0.2 73	2.4 -68	0.0 101	0.8 129	0.6 121	0.8 111	0.2 107	0.8 161	0.8 125	0.8 144	0.8 173	
		1/20	1.6 65	1.6 92	0.4 201	0.2 243	0.0 284	0.2 350	0.2 417	0.2 428	0.2 436	0.4 531	0.4 543	0.4 539	0.4 585	0.4 620	0.2 581	
		1/30	2.4 88	2.4 111	2.0 262	2.2 326	1.6 382	1.0 508	1.0 574	1.0 629	1.2 707	1.0 726	1.0 745	1.2 780	1.4 799	1.0 735	1.4 751	
	細砂	1/10	1.2 -69	1.2 -174	0.4 -83	1.2 -173	1.2 -196	1.2 -198	1.6 -220	1.2 -224	1.6 -258	1.8 -299	1.6 -283	1.6 -399	1.8 -317	1.8 -301	1.8 -301	
		1/20	3.4 -32	1.0 97	0.4 149	0.2 186	0.2 271	0.2 321	0.4 377	0.2 367	0.2 332	0.2 373	0.2 366	3.4 -378	3.4 -451	3.4 -401	3.4 -458	
		1/30	3.8 -173	4.8 -198	4.8 -276	5.0 291	4.8 -433	4.8 -374	4.8 -439	0.6 466	0.6 482	0.6 498	0.6 521	5.4 -527	0.6 595	0.6 574	5.4 -606	

表 5 ~ 5 C A S E : E

累積造波時間 (hr)			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	備考
遡上位置極限 (X _R)	粗砂	1/10	-0.4 -0.2	-0.4 -0.4	-0.4 -0.3	-0.4 -0.4	-0.3 -0.3	-0.3 -0.2	-0.3 -0.3		-0.4 -0.4	-0.4 -0.5	-0.3 -0.4	-0.4 -0.3	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	
		1/20	-0.4 -0.2	-0.3 -0.4	-0.4 -0.3	-0.4 -0.4	-0.2 -0.1	± 0 0.1	± 0 ± 0		± 0 ± 0	± 0 -0.2	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0 ± 0	± 0.1 -0	
		1/30	-0.4 -0.2	-0.5 -0.6	-0.5 -0.4	-0.6 +0.1	± 0 ± 0	0.1 0.1	± 0 0.1		± 0 ± 0	± 0 -0.2	± 0 -0.1	-0.2 -0.2	-0.1 ± 0	-0.1 -0.1	-0.1 ± 0	
	細砂	1/10	-0.2 -0.2	-0.3 -0.3	-0.3 -0.2	-0.3 -0.3	-0.3 -0.3	-0.2 -0.2	-0.3 -0.3		-0.3 -0.3	-0.3 -0.3	-0.3 -0.3	-0.3 -0.3	-0.3 -0.3	-0.3 -0.3	-0.2 -0.3	
		1/20	-0.4 -0.4	-0.4 -0.5	-0.4 -0.4	-0.5 -0.4	-0.4 -0.5	-0.6 -0.2	-0.3 -0.3		-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.2 -0.3	-0.4 -0.3	-0.4 -0.4	-0.4 -0.4	-0.3 -0.4	
		1/30	-0.3 -0.3	-0.2 -0.4	-0.4 -0.2	-0.6 ± 0	-0.4 -0.4	-0.3 ± 0	± 0 ± 0		± 0 0.2	0.2 0.2	0.3 0.3	0.2 0.2	0.3 0.3	0.3 0.3	-0.3 -0.2	
	(X _B)	1/10	0.5 0.5	0.4 0.3	0.4 0.4	0.1 0.3	0.4 0.4	0.2 0.3	0.1 0.2		0.1 0.2	0.2 0.1	0.2 0.1	0.2 0.1	0.3 0.3	0.3 0.3	0.3 0.3	
		1/20	1.2 1.2	1.1 1.0	1.1 1.1	1.0 1.1	1.0 1.0	0.8 0.8	0.5 0.6		0.6 0.6	0.6 0.5	0.7 0.7	0.6 0.6	0.7 0.6	0.7 0.6	0.8 0.9	
		1/30	1.4 1.8	1.8 1.2	1.8 1.8	1.5 1.8	1.8 1.8	1.9 1.9	1.8 1.8		1.2 1.3	1.6 1.8	1.7 1.6	1.4 1.2	1.2 1.1	1.2 1.2	1.2 1.1	
碎波位置 (X _B)	粗砂	1/10	0.4 0.4	0.5 0.4	0.5 0.5	0.2 0.4	0.4 0.4	0.2 0.2	0.2 0.2		0.2 0.2	0.2 0.2	0.3 0.3	0.2 0.2	0.3 0.2	0.3 0.3	0.3 0.3	
		1/20	0.7 1.0	1.2 1.0	1.2 1.2	1.0 1.2	1.1 1.1	0.9 0.9	0.5 0.5		0.4 0.5	0.5 0.6	0.7 0.5	0.2 0.2	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	
		1/30	1.6 1.8	1.9 1.7	1.9 1.9	1.6 1.8	1.7 1.7	1.4 1.4	1.2 1.2		1.2 1.1	1.1 1.1	1.0 1.0	0.9 0.7	0.9 0.8	0.9 0.9	0.8 0.9	
	細砂	1/10	0.4 0.4	0.5 0.4	0.5 0.5	0.2 0.4	0.4 0.4	0.2 0.2	0.2 0.2		0.2 0.2	0.2 0.2	0.3 0.3	0.2 0.2	0.3 0.2	0.3 0.3	0.3 0.3	
		1/20	0.7 1.0	1.2 1.0	1.2 1.2	1.0 1.2	1.1 1.1	0.9 0.9	0.5 0.5		0.4 0.5	0.5 0.6	0.7 0.5	0.2 0.2	0.4 0.4	0.4 0.4	0.4 0.4	
		1/30	1.6 1.8	1.9 1.7	1.9 1.9	1.6 1.8	1.7 1.7	1.4 1.4	1.2 1.2		1.2 1.1	1.1 1.1	1.0 1.0	0.9 0.7	0.9 0.8	0.9 0.9	0.8 0.9	
	(H _B)	1/10	5.5	5.5	5.5	4.2	4.6	5.5	5.5		5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	6	6	
		1/20	5.5	6.0	5.0	6.0	6.5	3.5	4.5		5.0	6.0	6.0	6.0	5.0	5.5	4.6	
		1/30	5.8	5.5	6.0	5.0	5.0	5.0	5.5		5.6	5.6	5.6	4.9	6.0	6.0	5.0	
X _m Q _m	粗砂	1/10	0.0 80	-0.4 66	-0.4 72.5	-0.2 66	-0.2 91	-0.2 101	-0.2 67	-0.2 98	-0.2 84	0.2 51	1.2 -77	-0.2 107	-0.2 97	-0.2 108	1.2 -66	
		1/20	1.4 37	1.4 21	1.4 53	-1.0 -51	1.0 75	1.0 120	0.2 166	0.4 181	0.4 186	0.6 212	0.6 176	0.4 214	0.4 226	0.2 173	0.6 189	
		1/30	1.2 -50	3.0 45	2.2 -30	6.4 -60	5.0 -97	0.6 89	0.4 107	0.4 139	0.2 138	0.2 178	0.2 169	0.2 205	0.2 221	0.2 157	0.4 146	
	細砂	1/10	0.0 52	-0.2 31	-0.2 64	-0.2 38	-0.2 33	1.2 -64	1.2 -67	-0.2 39	-0.2 52	-0.8 -40	1.4 -87	-0.2 46	-0.2 57	-0.8 -61	0.0 35	
		1/20	-0.6 -30	-0.2 -44	2.0 -52	14 -57	1.6 -78	2.0 -70	2.0 -60	1.8 -58	2.4 -92	1.6 -74	1.8 -120	-0.4 96	2.0 -115	1.8 -166	-0.2 122	
		1/30	2.6 -41	1.8 -52	2.8 -73	2.8 -88	3.0 -106	2.8 -92	0.8 121	1.0 91	0.6 176	0.8 208	0.8 218	0.6 257	0.6 264	0.4 251	0.6 227	

§ 5-2 標準化淨輸沙率無因次分析結果

根據郭金棟、黃清和在不規則波作用下，底床縱向淨輸沙率之研究其試驗結果顯示（NSC 74-0410 -E006-02）無論是規則波或不規則波，粗顆粒底床質或細顆粒底床質以及各種不同之底床坡度試驗，其平均淨輸沙率 Q 值均隨著時間和空間位置而變動，圖 5-60 ~ 圖 5-89 爲本次試驗結果，經過標準無因次化後各種不同波浪條件，底質中值粒徑，底床剖面在考慮水位變化情況試驗下，各個累積造波時段裏，無因次平均淨輸沙率 Q/Q_m 與 X/X_m 之關係曲線，其中 Q 爲在 X 點之平均淨輸沙率， Q_m 爲每個累積造波時間裏依據式（3-2）計算所得之最大平均輸沙率， X_m 爲產生 Q_m 之相對位置，其水平座標以在平均水位時迎上（run-up）之極限爲起點。試驗結果顯示在各種波浪條件並考慮水位變化情況下， Q_m 及 X_m 值均隨著時間而變動，而且各點之輸沙率 Q 亦隨著時間變化，輸沙率 Q 以發生最大平均輸沙率之位置 X_m 爲中心向兩端遞減。同時計算結果顯示，因水位變化，造成碎波點位置移動，致使波浪所引起之向離岸淨輸沙量遠較純因波浪作用所引起者其量爲多，此爲本試驗之另一特性。

在定水位試驗情況，底床剖面坡度爲 $1/10$ ，波浪尖銳度 $H_o/L_o = 0.022$ 之試驗結果顯示，顆粒粒徑較粗大者，呈堆積性海灘，碎波點兩側其平均淨輸沙率變化趨勢約略相同，輸沙方向均屬向岸（onshore），底床顆粒粒徑較細者，則屬第（I）種侵蝕性海灘斷面，即在碎波點附近有沿岸沙洲（longshore bar）產生，其輸沙方向分別向岸及向海側移動；若考慮增加水位變化時，試驗結果顯示，對底床顆粒粒徑較粗

者，其底床剖面型態，則由第（Ⅲ）種堆積性海灘隨著波浪尖銳度之減小而逐漸演變成第（Ⅱ）種漸變型海灘，試驗結果同時顯示，波浪尖銳度愈小，底床剖面達到穩定之時間愈長，而顆粒較細小者，則其底床剖面型態則由第（Ⅱ）種漸變型，隨著波浪尖銳度之減小而逐漸演變成第（Ⅰ）種侵蝕性海灘斷面；同樣地，對波浪入射週期較小者，其底床剖面達到穩定之時間則愈長。

對相同入射波浪條件，底床顆粒粒徑較粗之固定水位試驗，其試驗結果圖形顯示，隨著底床剖面之趨緩，海灘斷面則由第（Ⅲ）種堆積性海灘逐漸演變成第（Ⅱ）種漸變型海灘，意即輸沙方向由原先均屬向岸方向者，隨著底床坡度之趨緩，產生沿岸沙洲而有向岸側及離岸側方向之輸沙現象如圖 5—60～圖 5—62 所示；而細顆粒情況試驗則底床斷面由原先屬第（Ⅰ）型之侵蝕海灘，隨著底床剖面之趨緩而逐漸演變成第（Ⅱ）種漸變型海灘，分別如圖 5—63～圖 5—65 所示。當入射波浪同時考慮有水位變化時，對相同底床顆粒粒徑，在相同波浪條件作用下，底床剖面因其坡度之趨緩，則其剖面達成平衡斷面之時間將相對延長，尤其是碎波帶外，其平均淨輸沙率之分佈將因作用波浪尖銳度之減小，隨著坡度之減緩而變得紊亂，其淨輸沙率無因次分析結果分別如圖 5—66～圖 5—89 所示。

§ 5-3 經驗特徵函數分析結果

由試驗斷面資料，以平均靜水面與底床起始剖面之交點作為原點， x 為底床剖面之縱向座標，面向造波機方向為正， z 代表與試驗斷面高程一致之垂直座標，為處理方便，取向下為正，如圖 3-3 所示。 h_{it} 與 h_{jt} 分別表在累積造波時段 t 時，在觀測點 i, j 於平均零水位下之高程，本文考慮本所 Vax-780 計算機之容量以及兼顧試驗海灘地形特性，觀測點取至水深變化較小之處，每個斷面各取 12 點作為底床剖面解析及預測用。根據輸入之斷面高程，經由統計方法產生各特徵函數，由此構成各種試驗情況底床縱向剖面之各種變化型態，而以變化型態來描述試驗底床剖面變化之特性。

底床剖面變化各特徵函數演算及預測模式流程圖，如圖 5-90 中所示，經由該流程圖演算，有關水位變化對縱向淨輸沙量影響之試驗研究對不同波浪條件作用於各種底床剖面及粒徑之時間、空間特徵函數以及線性組合模式之比較分別如圖 5-91 ~ 圖 5-116 所示。上圖表前面三個分量之時間特徵函數，中間圖表前面三個份量之空間特徵函數，黑色實線為第一組特徵量，紅色點線為第二組特徵量，綠色虛線為第三組特徵量，下圖黑色實線表每一試驗情況其累積造波時段 $t = 30$ 小時之最終實測地形變化，綠色虛線表起始底床剖面，而紅色點線為根據假設海灘剖面變化為時間特徵函數，以及空間特徵函數之線性組合所求得之數值解。圖形顯示，在各種波浪條件作用下，其時間特徵函數，第一個特徵份量幾乎為定值，此意謂著空間變化型態第一特徵份量幾乎不隨時間變化。在一維模式中 Winant et al 稱之為平均斷面函數 (Mean beach

function)。圖形同時顯示，其時間特徵函數中第二個，第三個特徵份量約略相等，當入射波浪尖銳度愈小，即波高週期較小時，此現象愈趨明顯，而對同一入射波浪條件，相同底床粒徑者，兩者之差異則隨著底床坡度之趨緩而增加，試驗結果由前二章節顯示，對粗顆粒底質海灘剖面大部份由第(Ⅲ)型之堆積海灘隨著波浪尖銳度之減小或底床坡度之趨緩，逐漸演變成第(Ⅱ)型之漸變海灘，而細顆粒底質，其海灘剖面則大部由第(Ⅰ)型之侵蝕海灘隨著波浪尖銳度之減小或底床坡度之趨緩，逐漸演變成第(Ⅱ)型漸變型海灘(Type Ⅱ, Horikawa, 1974)，此意謂著海岸線前進且有顆粒堆積於遠灘，而特徵函數解析法顯示，該種海灘其第二特徵份量空間變化型態，其極大值大部對應於沙丘之頂處，而其極小值則大部對應於底床侵蝕最深之處。換言之，其空間第二特徵份量之最大值與最小值之相對應點，大致與發生平台(berm)及沙洲(bar)之位置一致，此特性無論是在固定水位之試驗情況抑或考慮水位變化時之試驗情況，均有此現象，唯考慮水位變化試驗情況，此特徵較為顯著。故 Winant 用來描述實際海灘之第二特徵函數，又稱為平台—沙洲函數(bar-berm function)，證明亦可用來描述模型試驗底床剖面變化之物理特性，尤其是考慮水位變化之試驗結果。

理論上第三種變化型態係由空間特徵函數第三份量與時間特徵函數第三分量所組成，Winant 等稱之為台梯函數(terrace function)因其與低潮位之台梯有密切的關係。此特性在採固定水位試驗時並不明顯，但對本次考慮水位變化之試驗情況言，空間特徵函數，其第三份量之最大值發生位置，試驗結果顯示大部份和每一試驗情況累積造波 30

小時終了，其底床剖面與最低水位線交界點位置相符合，故證明 Win-
ant 等所提出之第三種變化型態—台梯函數，亦可用來描述有潮汐變化
之模型試驗，其底床剖面台梯發生位置之特性。

而由圖 5—91～圖 5—116 中下圖顯示，一維經驗特徵函數分析
法亦可用來描述底床剖面變化之趨勢，美中不足之處乃因限於本所 Vax
780 之容量設備僅能分析 12 點位置之資料，致所預測之底床剖面無論是
堆積最高點或侵蝕最深處均較實測值來得偏小。

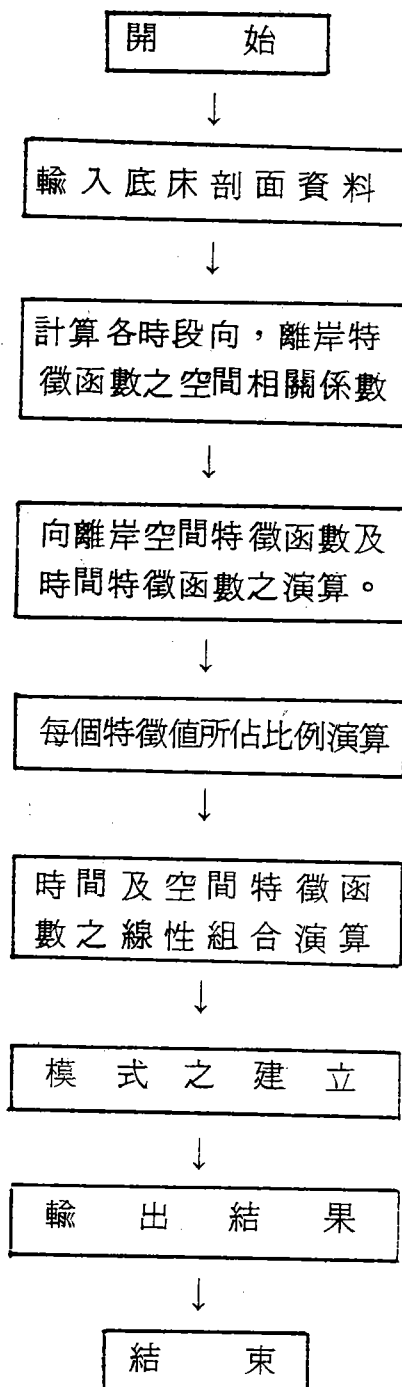


圖 5—90 經驗特徵函數演算及預測模式流程圖

第六章 結論與建議

(一) 結論

綜合本次試驗結果，經與純粹因波浪作用所引起向離岸淨輸沙率試驗研究比較，本文可歸納獲致如下數點結論。

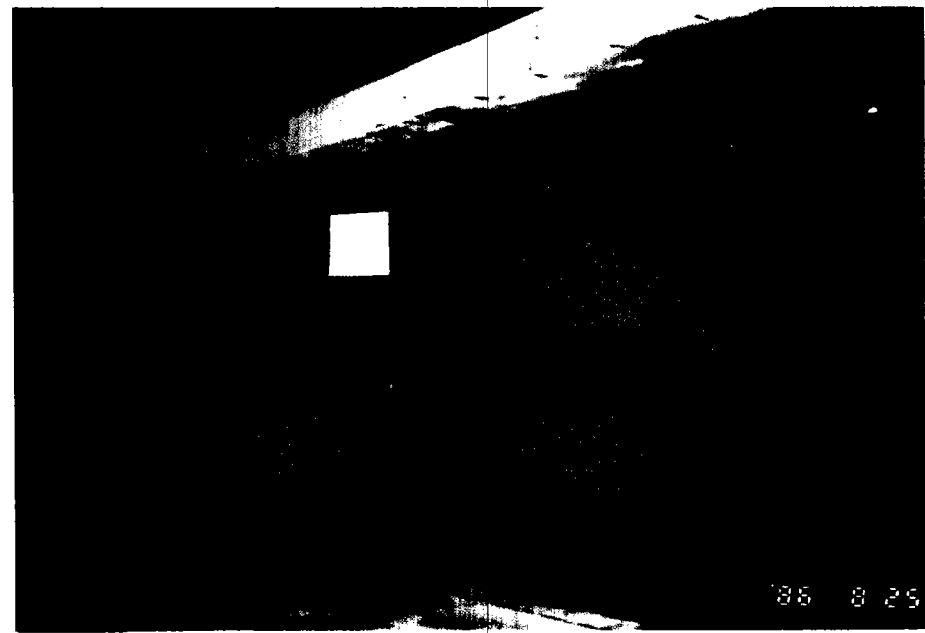
- (1) 在同樣範圍尖銳度條件作用下，若有水位變化存在時，會導致底床斷面型態之改變。
- (2) 試驗時因水位變化，造成碎波點位置移動，致使波浪所引起之向離岸淨輸沙率量遠較純因波浪作用所引起者其量為多。
- (3) 由於水位變化，使得波能愈能遡上 (wave run-up) 陸地，致前灘區較長，故前灘侵蝕或堆積量顯為增加。
- (4) 大致而言，近高水位線部份底床坡度較大，低水位線部份較平坦且粒徑分佈較細。
- (5) 因水位變化導致波浪尖銳度改變，內灘有被侵蝕趨勢，底質分別堆積在外灘及灘線上，尤其是灘線附近，堆積明顯，平台發達且灘頂較高。
- (6) 試驗結果顯示，整個底床斷面因水位之變化而變得較為平坦，導致底床有數道沙洲產生現象，且當侵蝕性波浪作用時常伴隨有沙丘存在，部份背後積水，形成瀉湖現象。
- (7) 試驗結果分析顯示，無因次 Q/Q_m 與 X/X_m 曲線趨於穩定之時間，遠較純因波浪作用所引起者顯為增長。
- (8) 一維經驗特徵函數中第二個變化型態即沙洲—平台函數，證明用來描述採水位變化其波浪作用底床剖面變化特性，遠較純粹因波浪作用之試驗結果來得適切。

(二) 建議事項

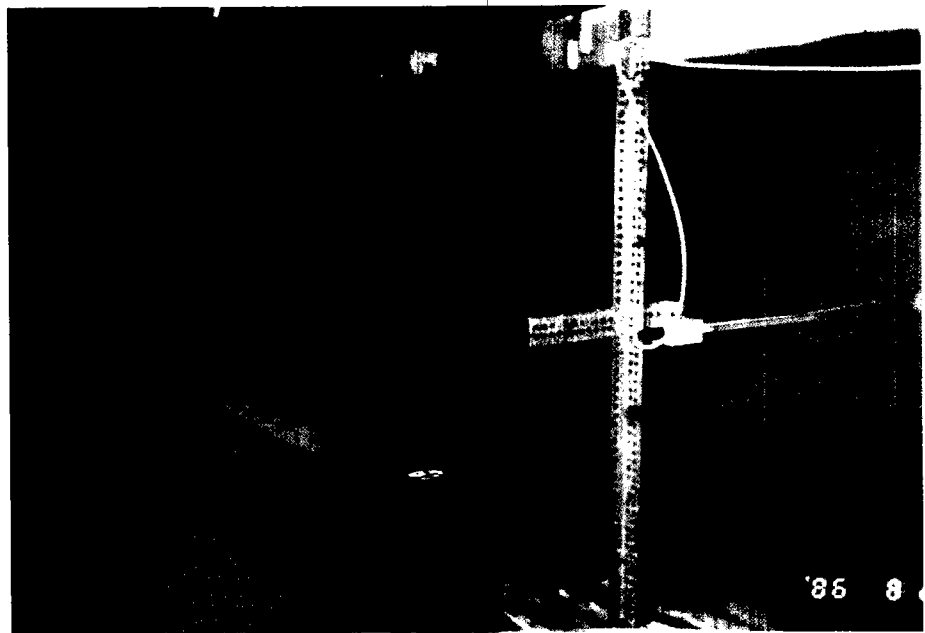
本文試驗水位值僅進行每15分鐘各漲落10公分水位變化一種，應進一步探討不同水位變化值差及其循環週期對波浪所引起向離岸淨輸沙率之研究。

致 謝

本文之研究，啓蒙於成功大學郭金棟教授，對於先生有關這方面知識之傳授與釋疑，在此謹誌由衷之感謝。同時承蒙海工組組長歐陽餘慶博士之概允人力、物力支援與國科會之經費補助（NSC 75-0410-E124-01）以及參與同仁之熱心協助得以完成，在此一併致謝。



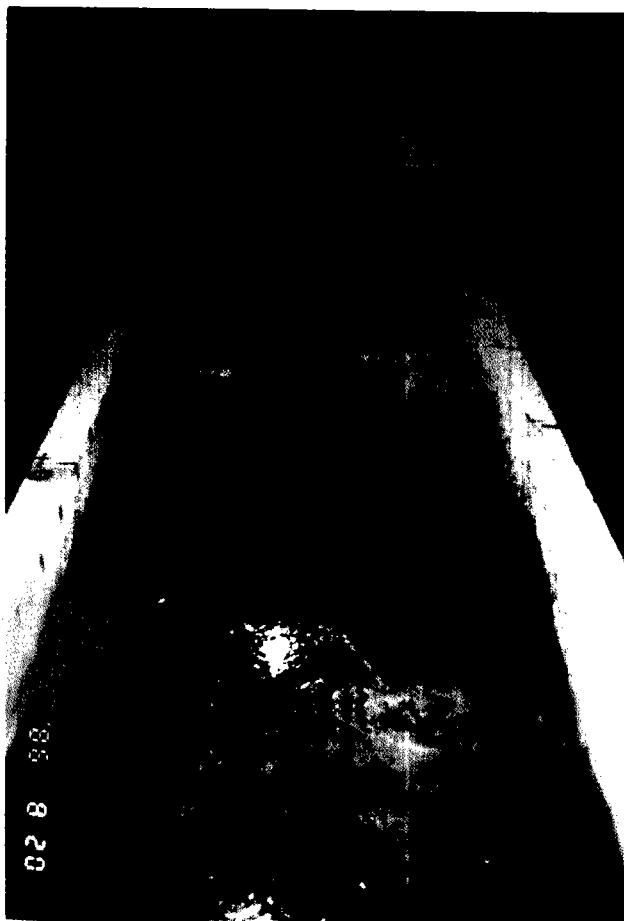
照片 5.1 (c) 累積造波時間滿 30 小時後，放水後底床
地形變化情況



照片 5.1 (b) 累積造波時間滿 30 小時後，未放水前，
漂沙向岸堆積情形



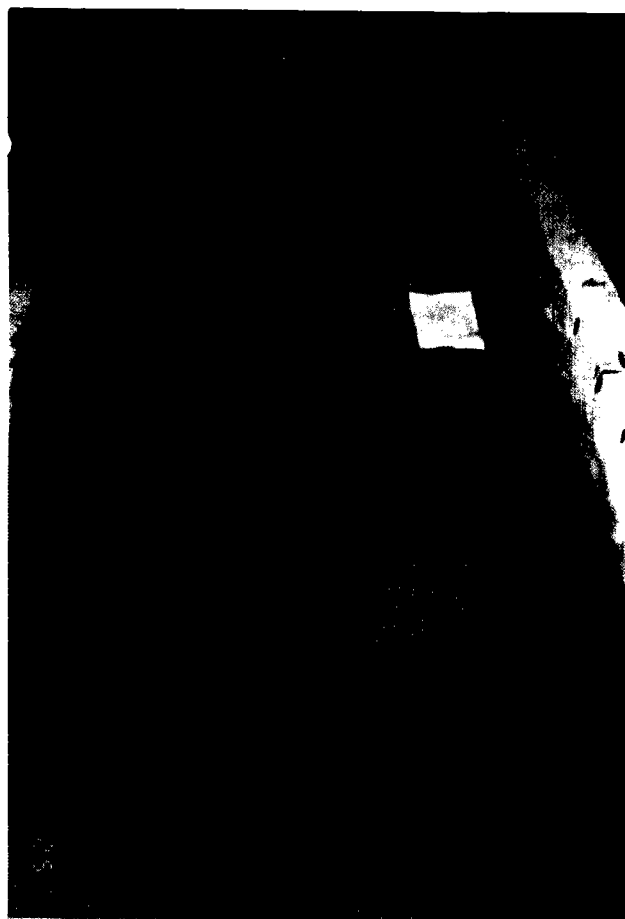
照片 5.1 (a) 累積造波時間滿 18 小時後，波浪碎波情況
(CASE A-1)



照片 5.2 ② 累積造波時間 18 小時後，波浪碎波以及漂沙堆積情況



照片 5.2 ① 累積造波時間達 30 小時後，靜水面上漂沙堆積與後面積水情況



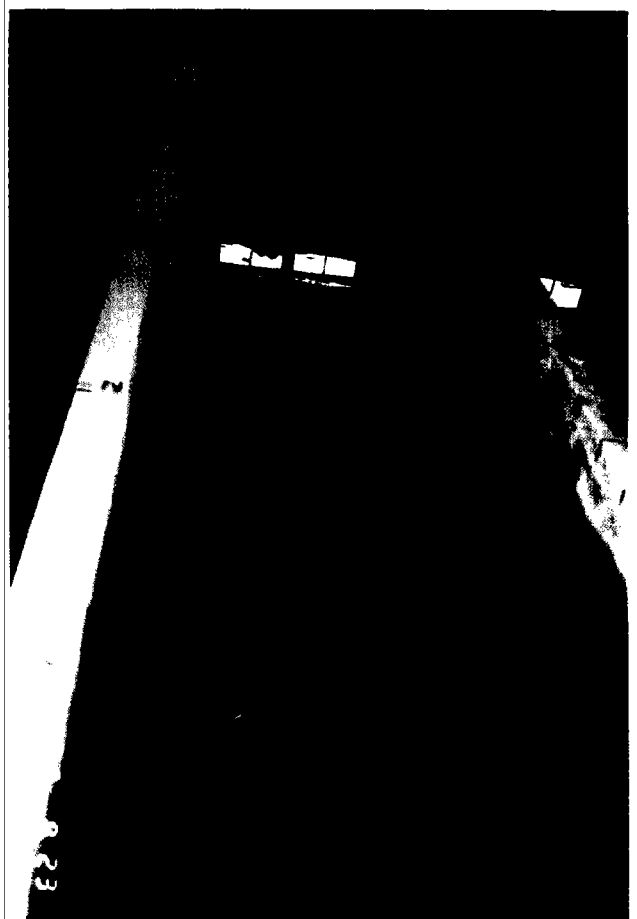
照片 5.2 ③ 累積造波時間達 30 小時，放水後底床地形變化情況



照片 5.2 ④ 累積造波時間達 30 小時，放水後底床三個明顯堆積現象



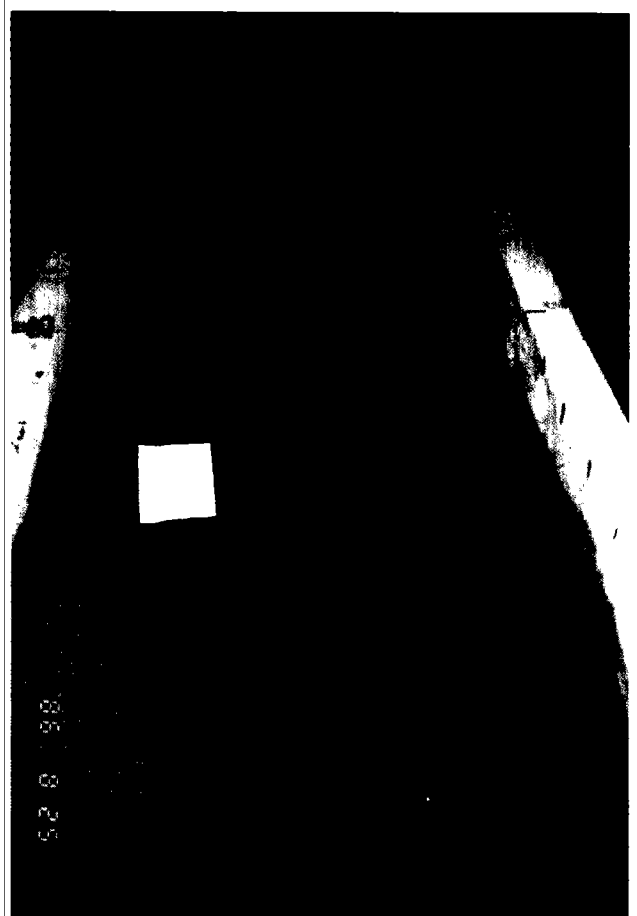
照片 5.3 ② 累積造波時間達 18 小時後，波浪碎波以及岸邊呈堆積情況 (CASE A-3)



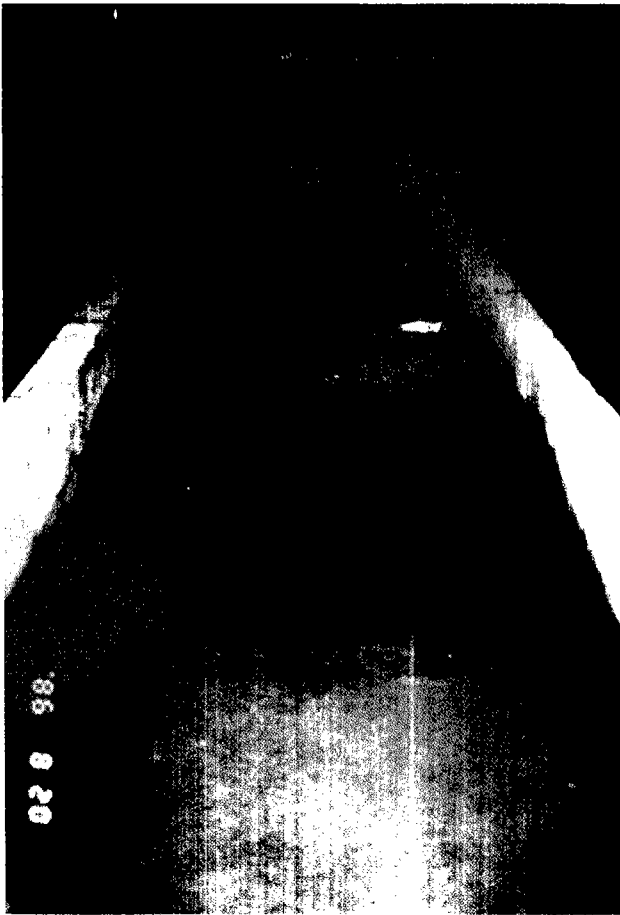
照片 5.3 ③ 累積造波時間達 30 小時，放水前水面上堆積情況，後側有積水



照片 5.3 ④ 累積造波時間 30 小時後，海側底床 ripple 變化情況



照片 5.3 ⑤ 累積造波時間 30 小時後，向岸側底床變化情況，ripple 呈魚鱗狀



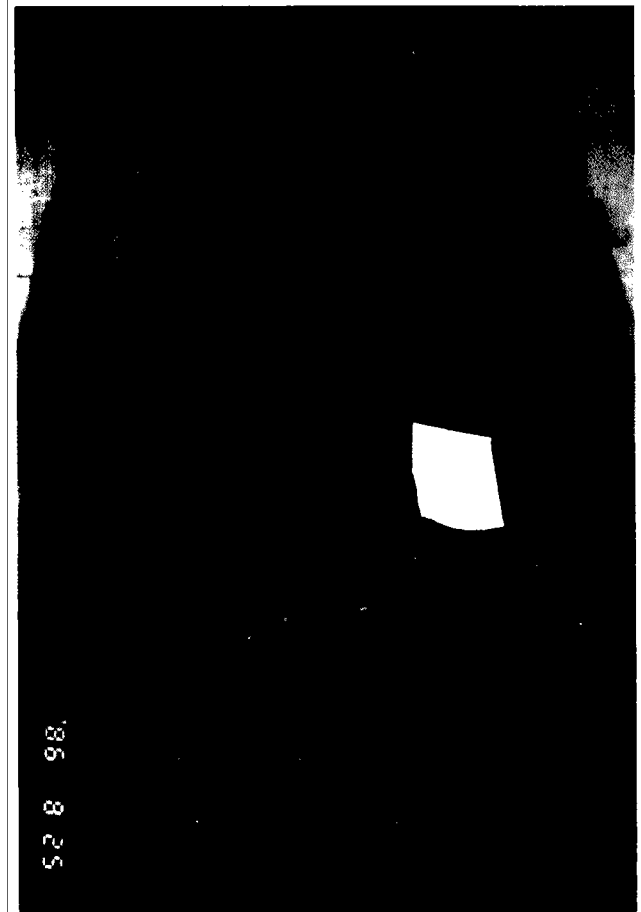
照片 5.4 ② 累積造波時間 18 小時後，波浪碎波及岸邊呈堆積情況 (CASE A-4)



照片 5.4 ③ 累積造波時間 30 小時後，岸側底床變化情況



照片 5.4 ④ 累積造波時間 30 小時，放水前，水面上堆積情況，後側有積水



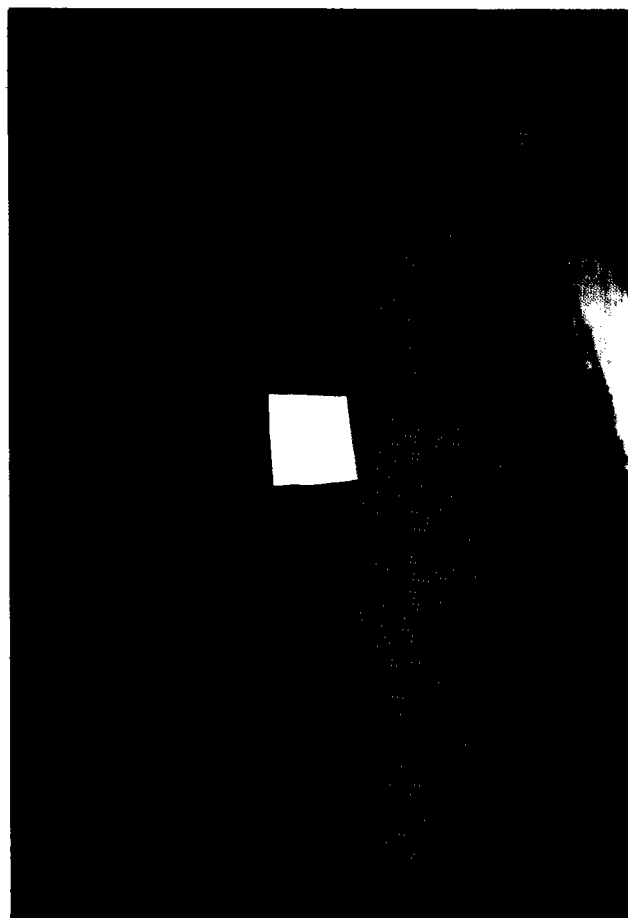
照片 5.4 ⑤ 累積造波時間 30 小時後，向海側底床變化情況，ripple 呈魚



照片 5.5 ⑤ 累積造波時間達 18 小時後，波浪碎波以及岸邊堆積呈 CUSP 情況 (CASE A-5)



照片 5.5 ⑥ 累積造波時間達 30 小時，放水前水面上堆積情況



照片 5.5 ⑦ 累積造波時間 30 小時後，近岸處底床 ripple 變化情況



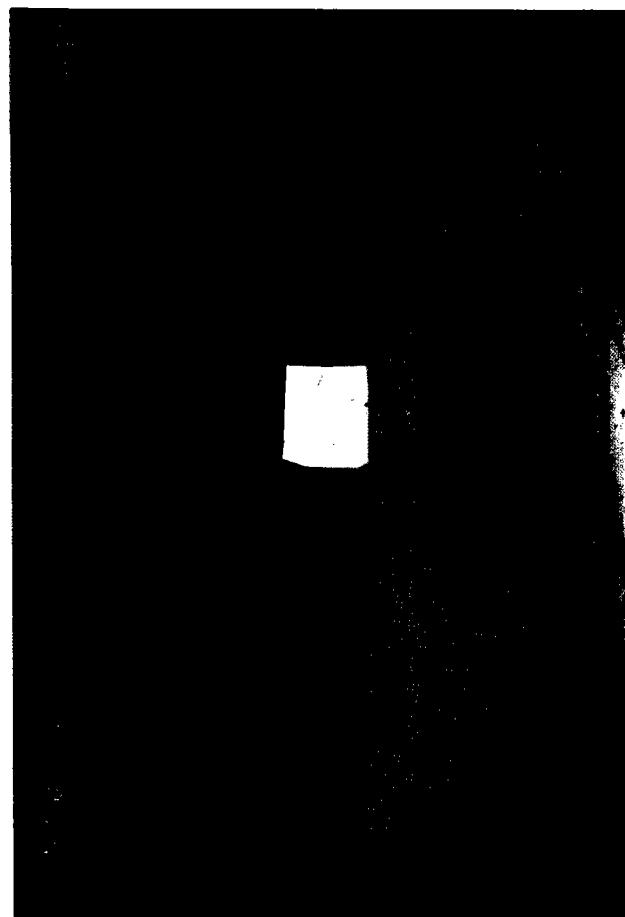
照片 5.5 ⑧ 累積造波時間 30 小時後，向海側底床 ripple 變化情況



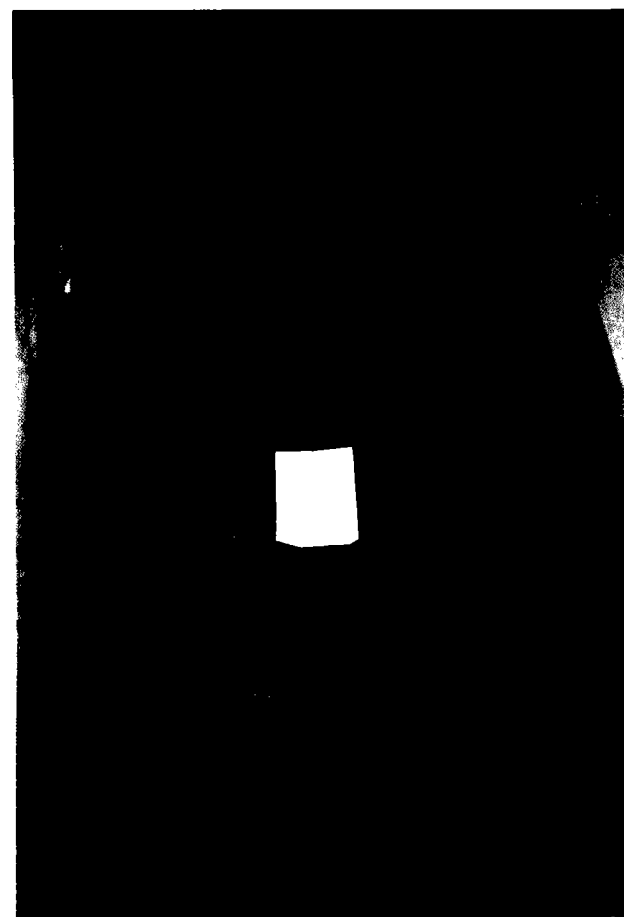
照片 5.6 ㉔累積造波時間 18 小時後，波浪碎波以及
海岸線消長情況 (CASE A-6)



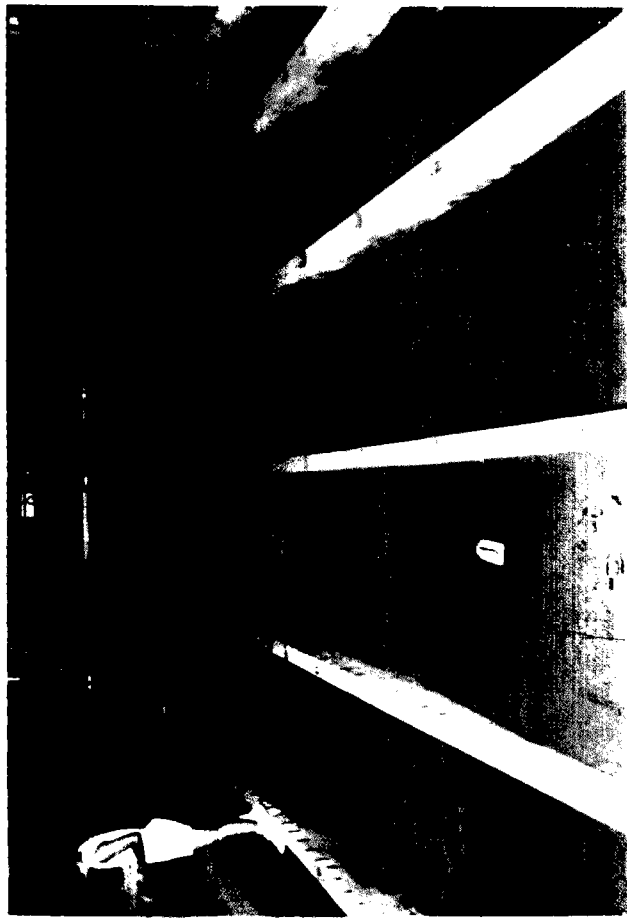
照片 5.6 ㉕累積造波時間 30 小時，放水前水面上堆
積情況，後側有積水



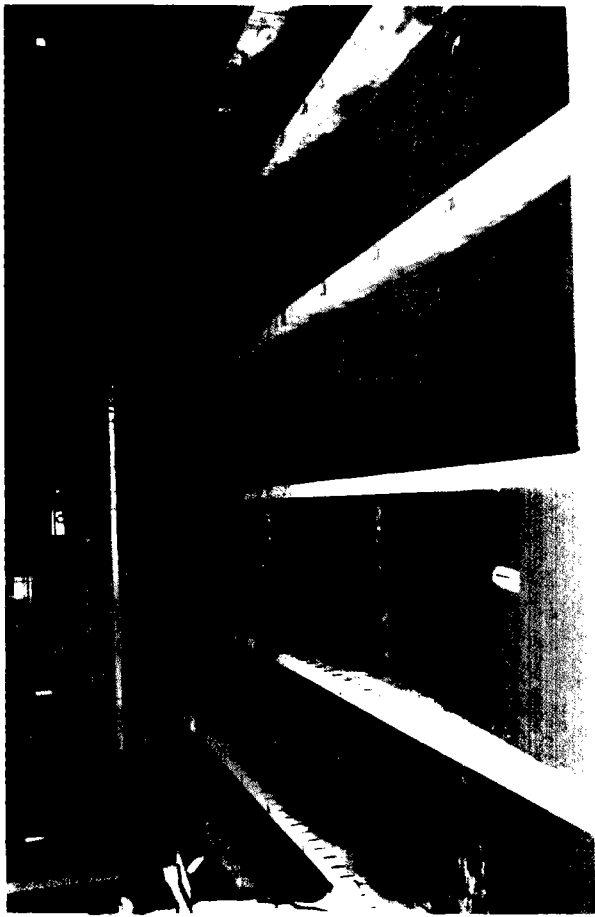
照片 5.6 ㉖累積造波時間 30 小時近岸處底床
ripple 變化情況



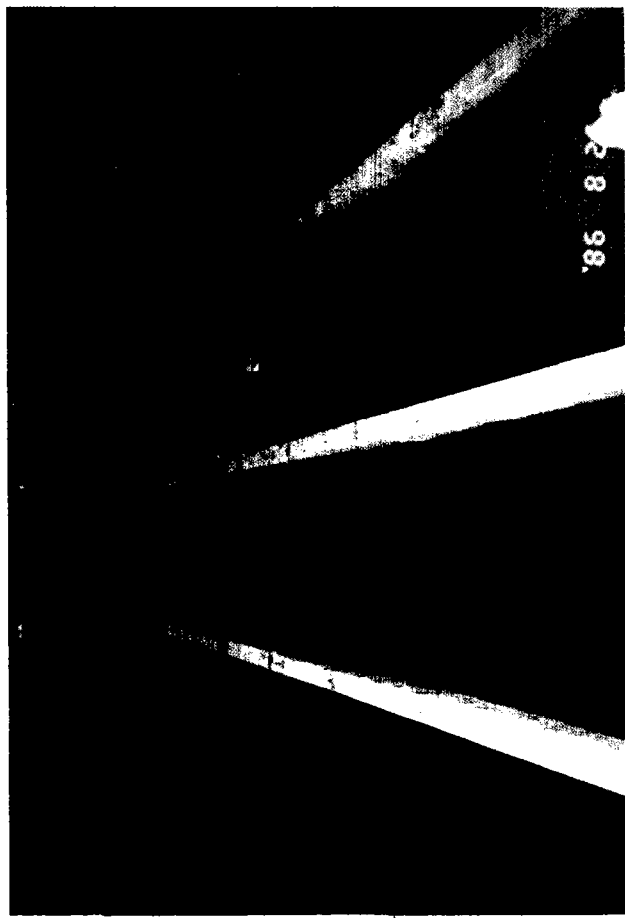
照片 5.6 ㉗累積造波時間 30 小時，向海側底床
ripple 變化情況



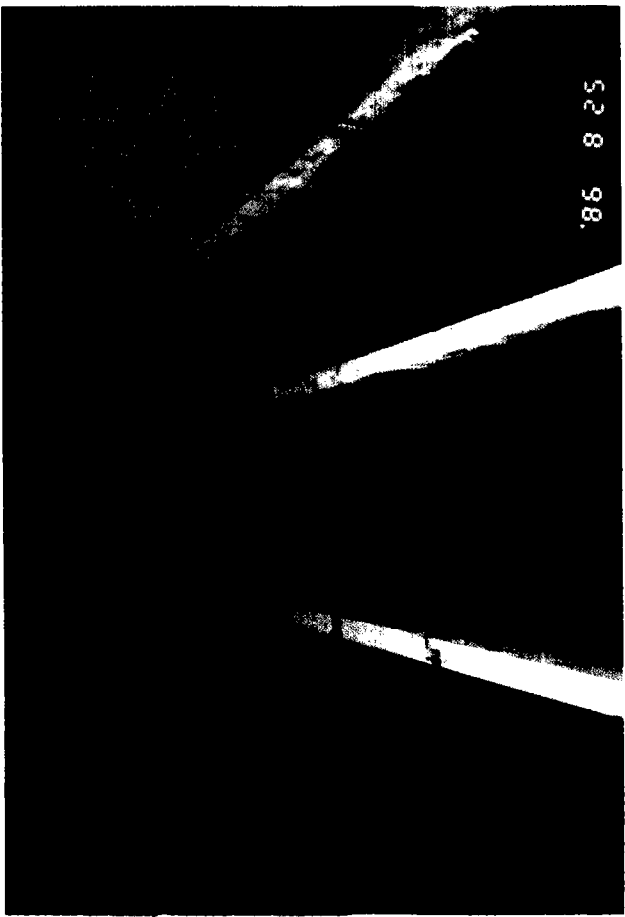
照片 5.7 ⑥ 累積造波時間 18 小時，波浪碎波情況，自右到左分別為
CASE A-1 ~ CASE A-6



照片 5.7 ⑦ ① 累積造波時間 18 小時，波浪碎波情況，自右到左分別為
CASE A-1 ~ CASE A-6



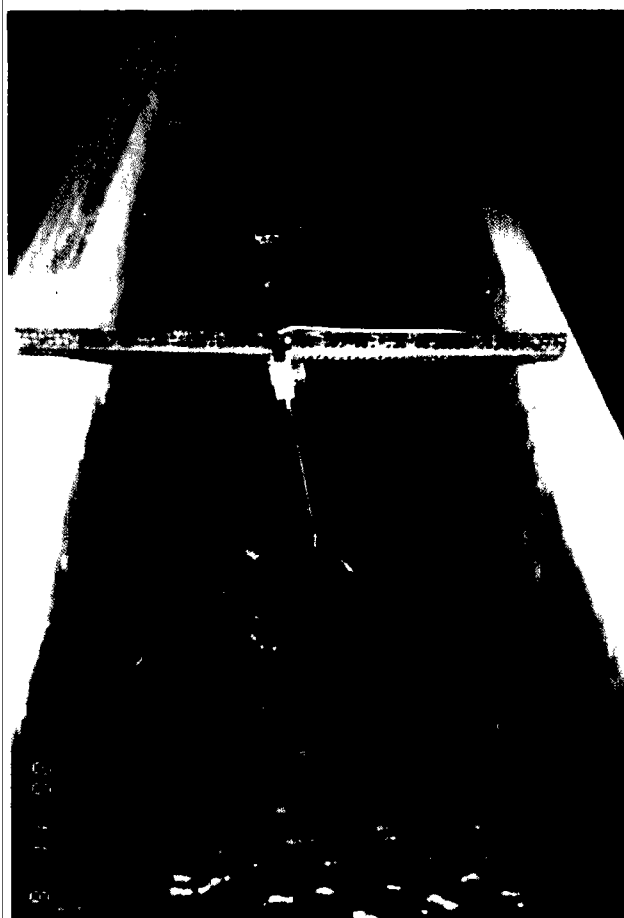
照片 5.7 ④ 累積造波時間 30 小時，海岸線堆積情況，自左到右分別為
CASE A-6 ~ CASE A-4



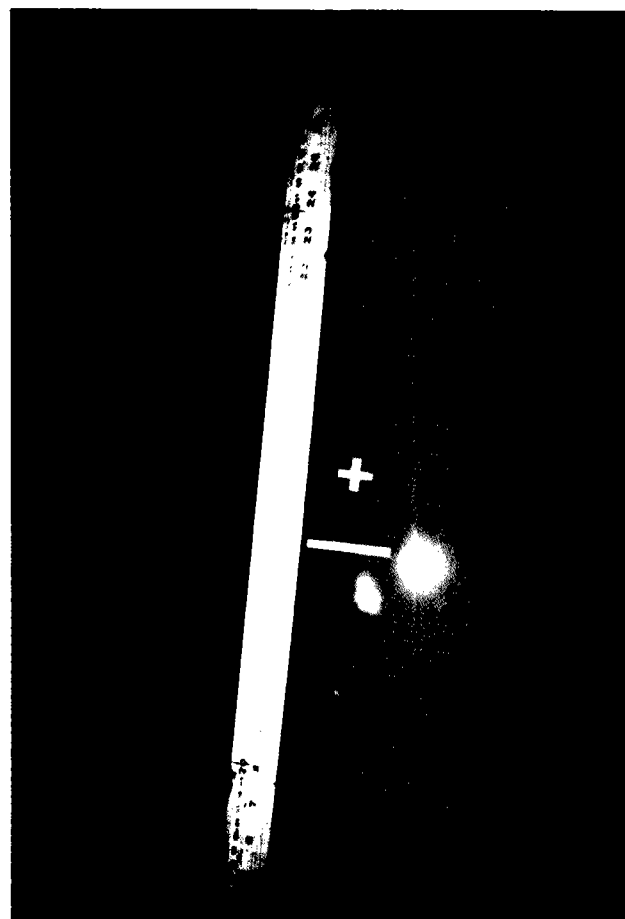
照片 5.7 ③ 累積造波時間 30 小時，海岸線堆積情況，自右到左分別為
CASE A-1 ~ CASE A-3



照片 5.8 ② 累積造波 30 小時，岸上沙堆積以及產生平滑斜坡情況 (CASE B-1)



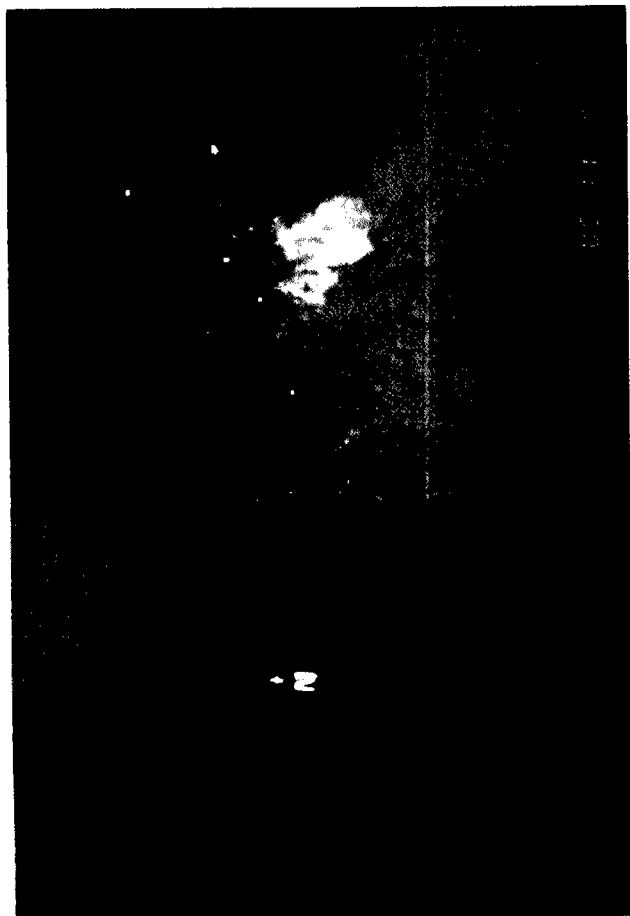
照片 5.8 ③ 累積造波 30 小時，碎波點處呈凹狀地形變化情況



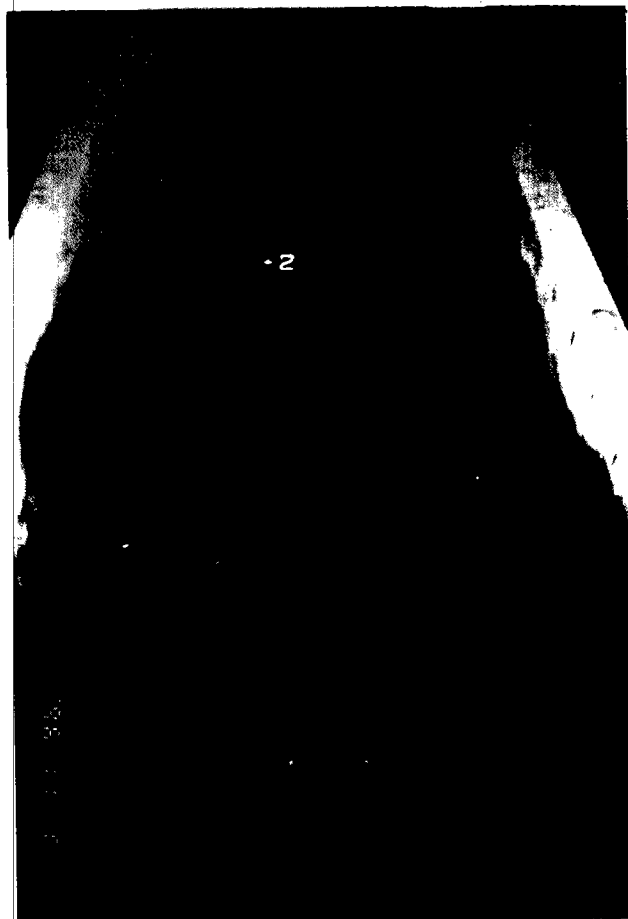
照片 5.8 ④ 累積造波 30 小時，底床地形產生 ripple 情況



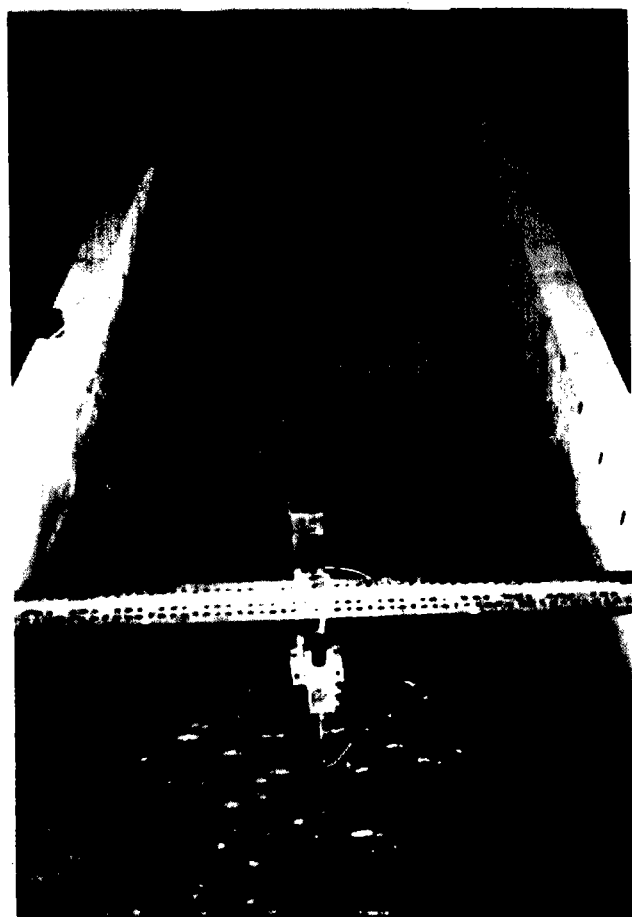
照片 5.8 ⑤ 累積造波 30 小時，底床最大侵蝕處地形



照片 5.9 ⑧累積造波 30 小時後，岸上沙堆積呈不規則情況 (CASE B-2)



照片 5.9 ⑨累積造波 30 小時後，海灘坡面成平滑狀



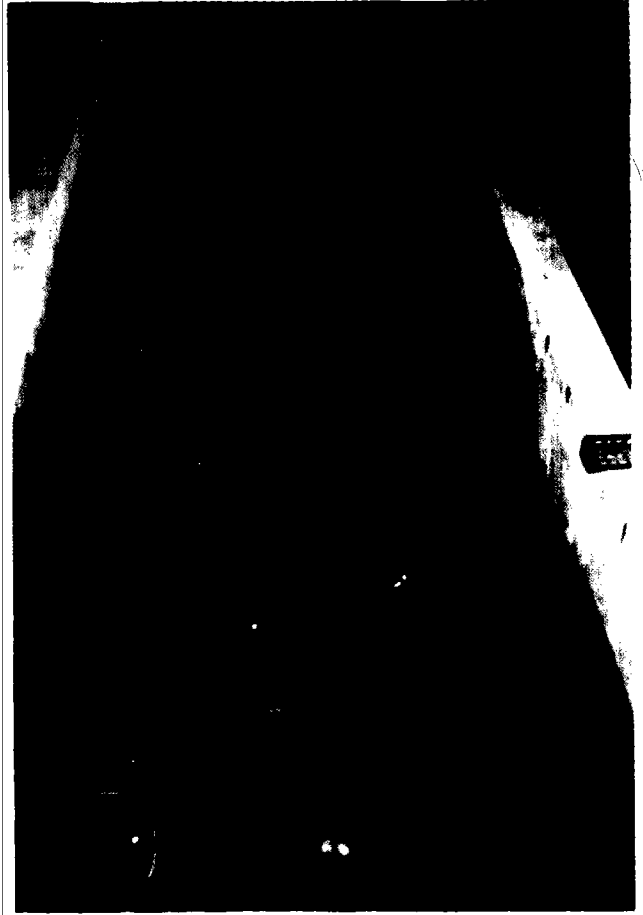
照片 5.9 ⑩累積造波 30 小時後，底床產生 ripple 呈魚鱗狀



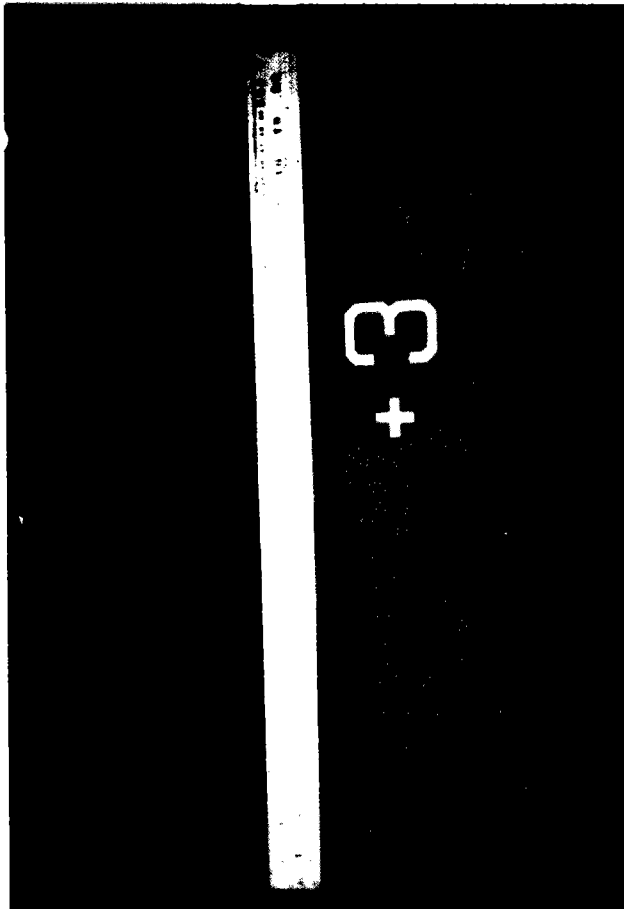
照片 5.9 ⑪累積造波 30 小時後，底床最大侵蝕處地形



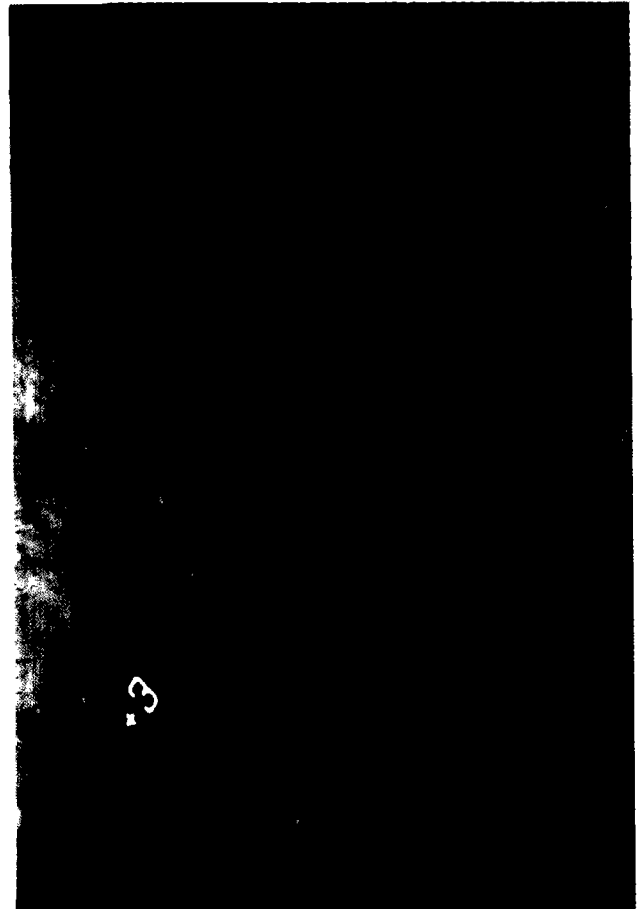
照片 5.10 (a) 累積造波時間 30 小時後，水面上沙呈不規則堆積狀 (CASE B-3)



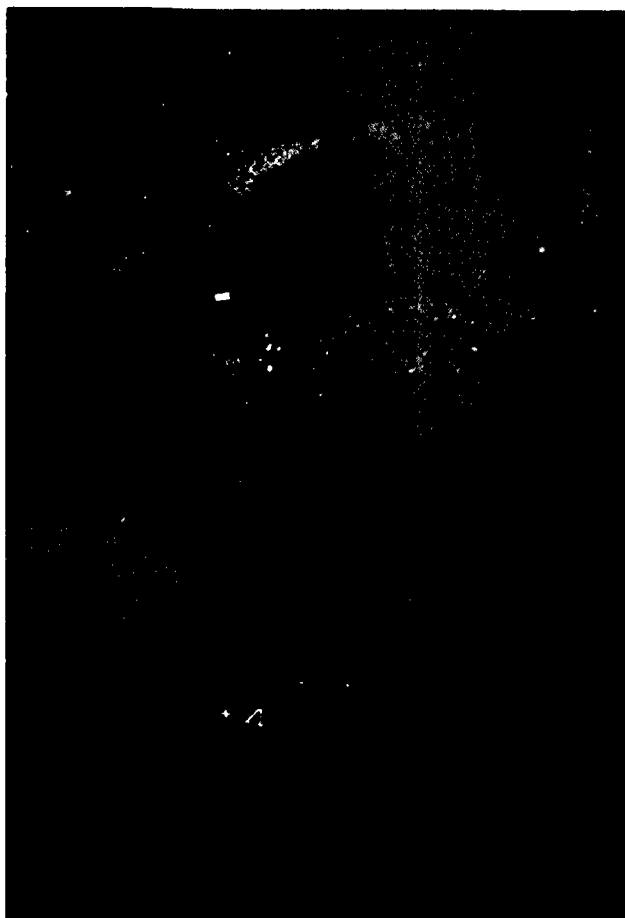
照片 5.10 (b) 累積造波時間 30 小時後，底床 ripple 呈魚鱗狀



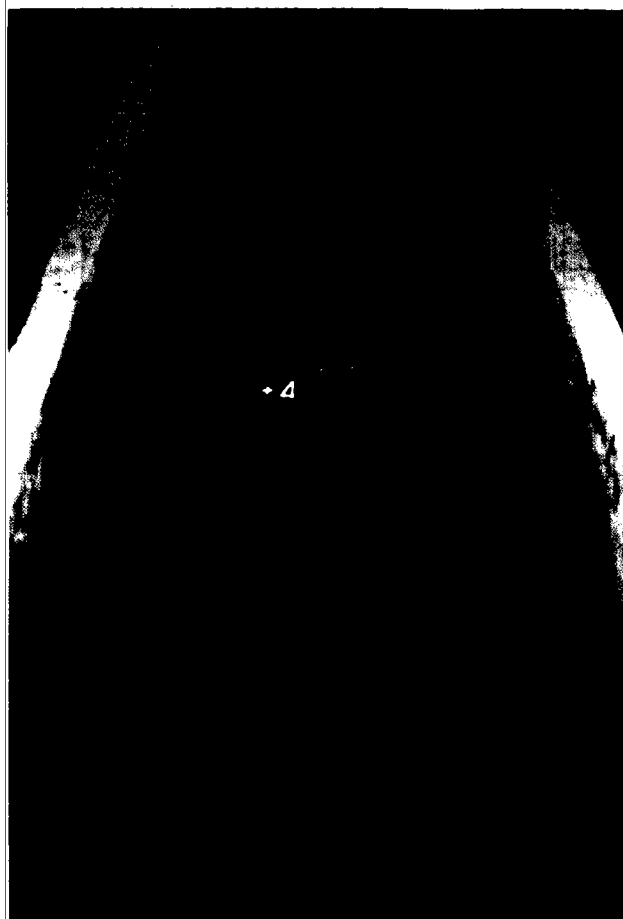
照片 5.10 (c) 累積造波時間 30 小時後，底床 ripple 規模大小 (長度 13 公分)



照片 5.10 (d) 累積造波時間 30 小時後，最大侵蝕深度情形



照片 5-11 ④累積造波時間 30 小時後，水面上沙堆積呈不規則情況 (CASE B-4)



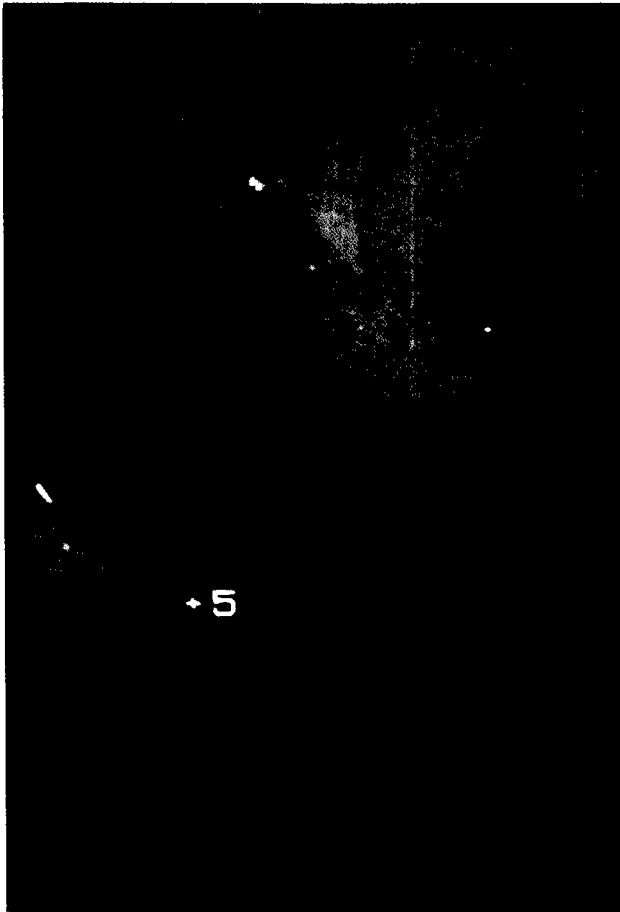
照片 5-11 ⑤累積造波時間 30 小時後，底床所產生平滑斜坡情況



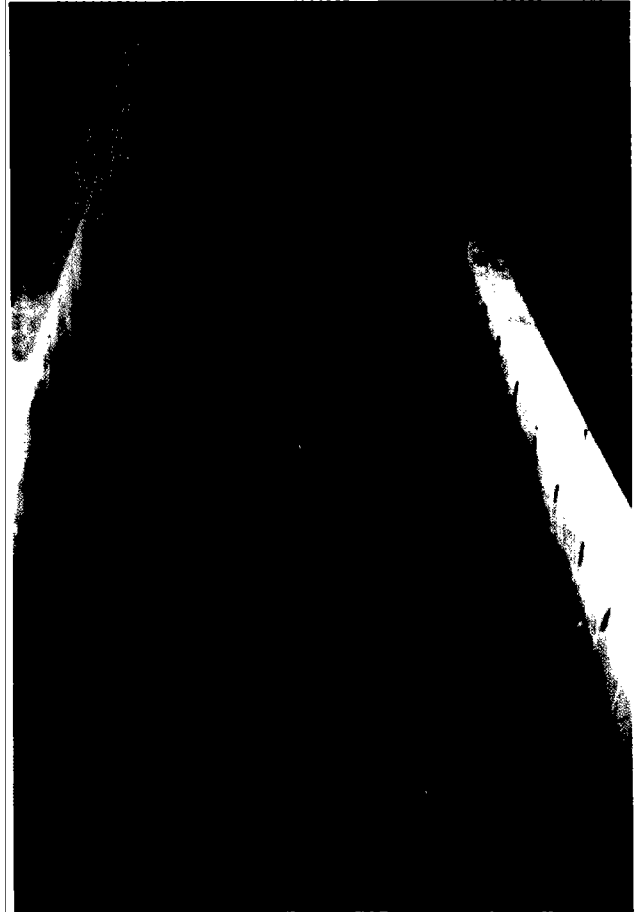
照片 5-11 ③累積造波時間 30 小時後，底床產生 ripple 情況



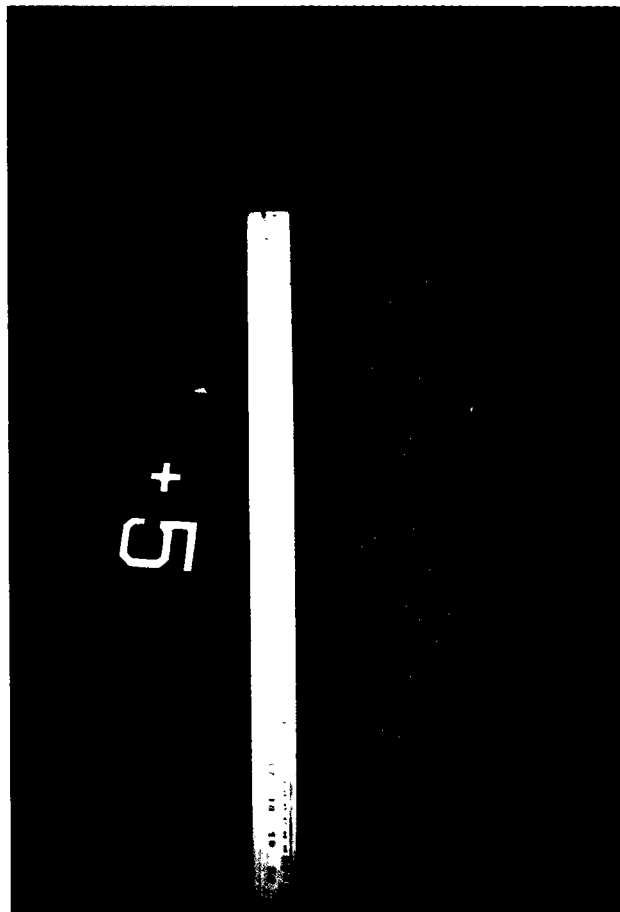
照片 5-11 ⑥累積造波時間 30 小時後，底床發生最大侵蝕區地形



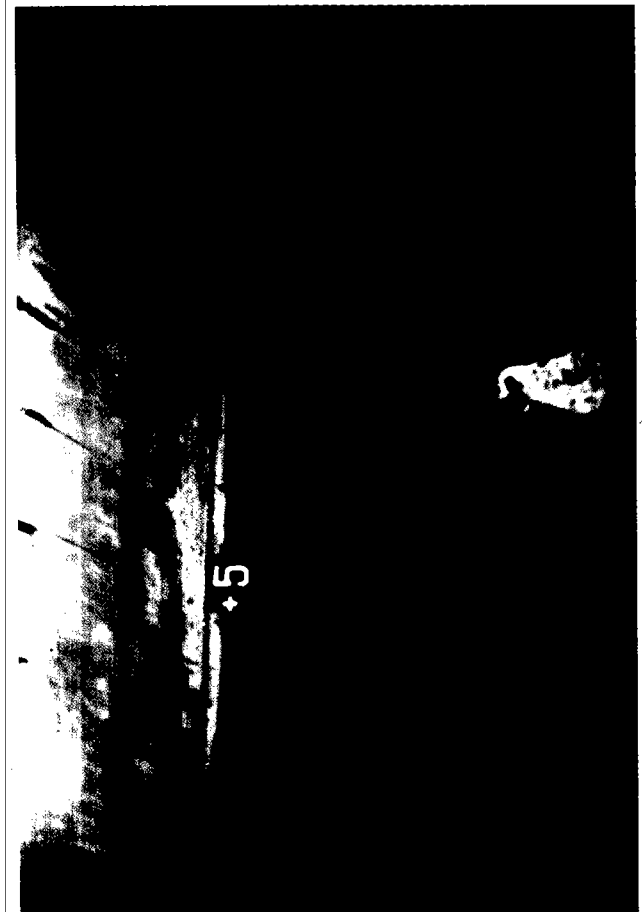
照片 5.12 ① 累積造波時間 30 小時，水面上沙堆積呈不規則分佈情形 (CASE B-5)



照片 5.12 ② 累積造波時間 30 小時後，離岸方向底床 ripple 及碎波點位置深溝情況



照片 5.12 ③ 累積造波時間 30 小時，碎波點處底床深溝之寬度



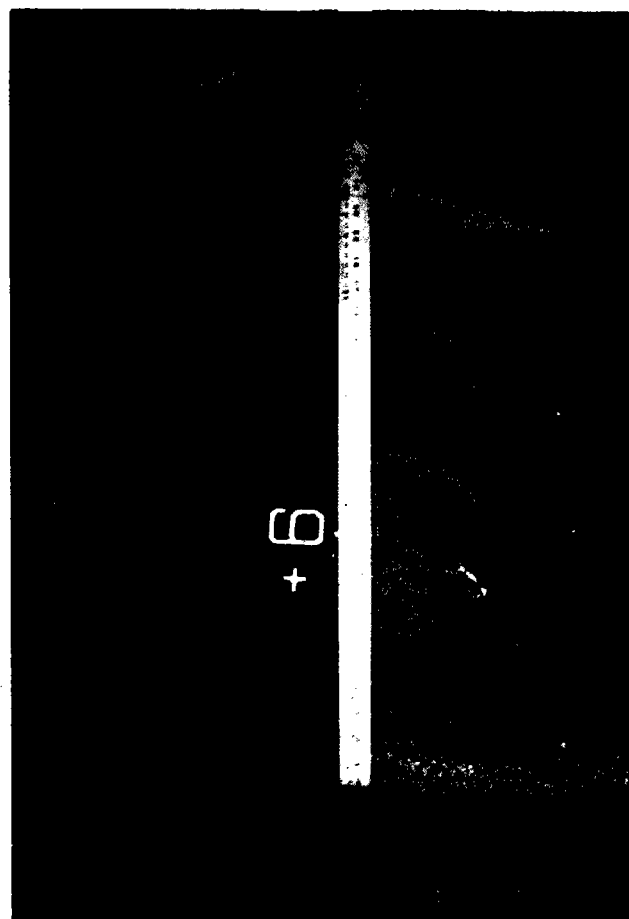
照片 5.12 ④ 累積造波時間 30 小時，深溝最大侵蝕深度處底床地形



照片 5.13 ③累積造波時間 30 小時，水面上沙堆積呈不規則分佈情形 (CASE B-6)



照片 5.13 ④累積造波時間 30 小時後，底床 ripple 及碎波點發生位置情況



照片 5.13 ⑤累積造波時間 30 小時，底床 ripple 之規模



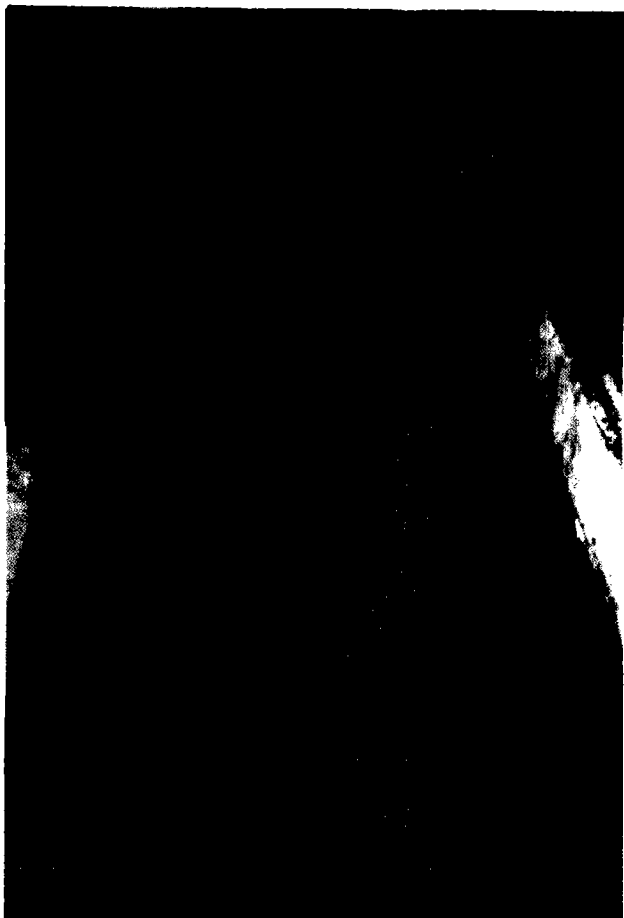
照片 5.13 ⑥累積造波時間 30 小時，最大侵蝕位置地形變化情況



照片 5.14 ① 累積造波時間 16 小時後，波浪碎波現象
以及水面上砂堆積情況 (CASE C-1)



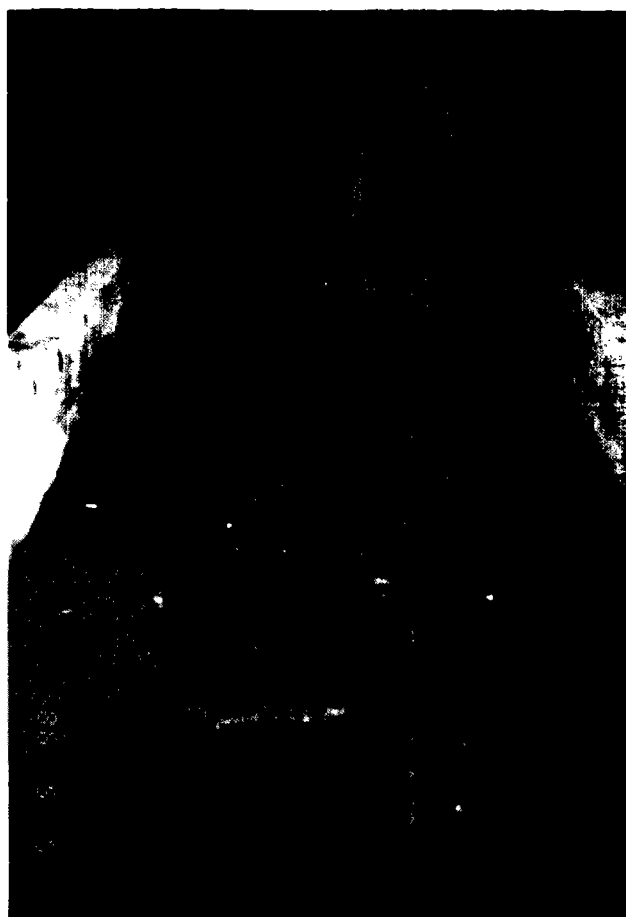
照片 5.14 ② 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆
積呈不規則狀



照片 5.14 ③ 累積造波時間 30 小時後，底床產生平
滑斜坡情況



照片 5.14 ④ 累積造波時間 30 小時後，平台附近呈
凹狀情況



照片 5.15 ② 累積造波時間 16 小時後，波浪碎波以及水面上沙堆積情況 (CASE C-2)



照片 5.15 ③ 累積造波時間 30 小時後，水面上沙堆積不規則情況



照片 5.15 ④ 累積造波時間 30 小時，底床平滑斜坡情況



照片 5.15 ⑤ 累積造波時間 30 小時，底床剖面產生 ripple 情況



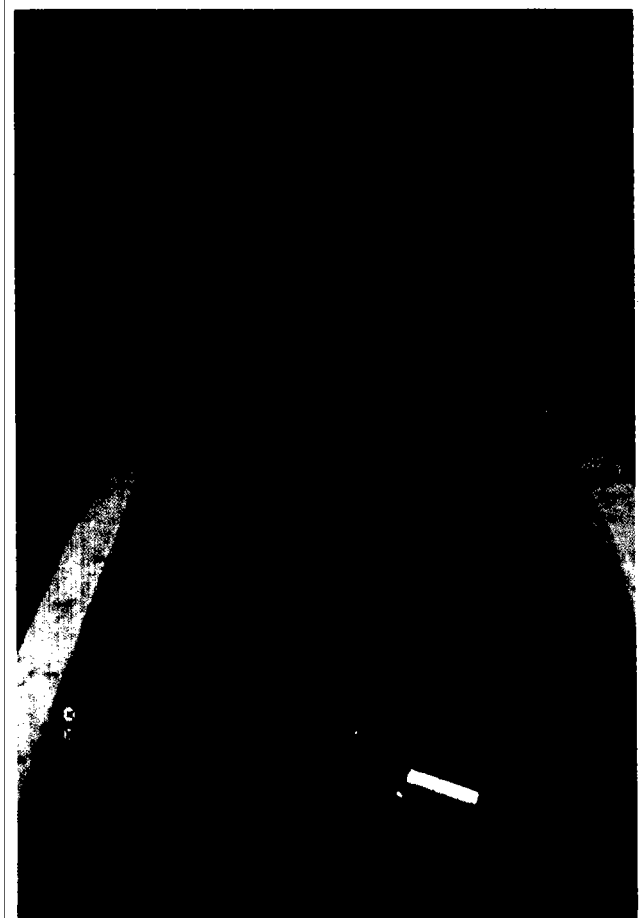
照片 5.16 ③累積造波時間 16 小時後，波浪碎波以及水面上砂堆積情況 (CASE C-3)



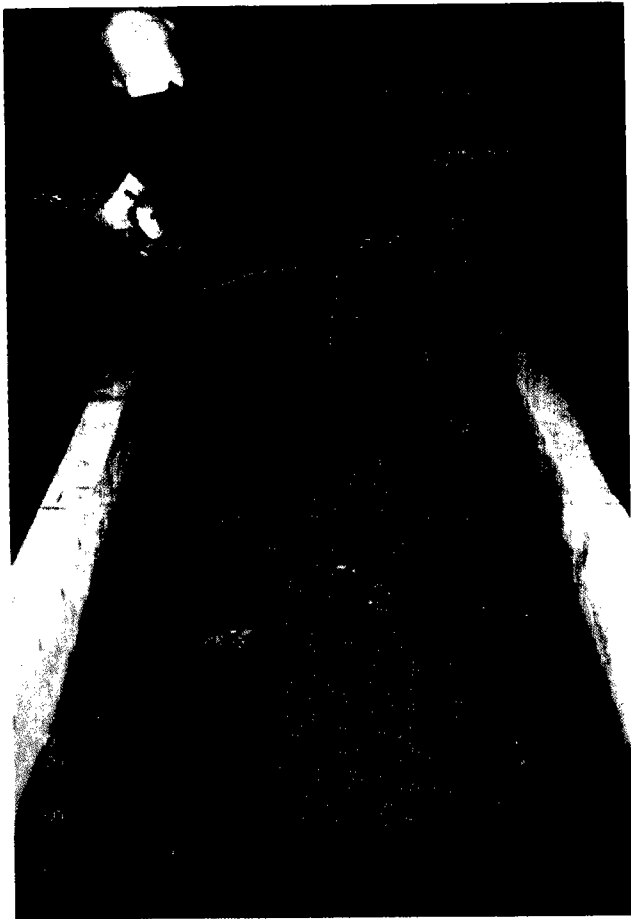
照片 5.16 ④累積造波 30 小時後，水面上砂堆積呈不規則情況



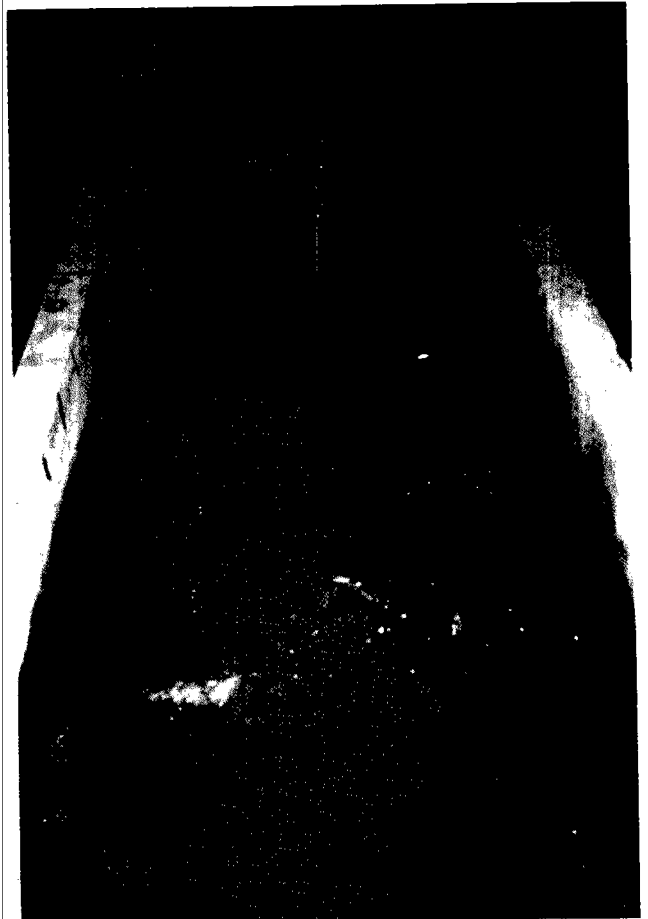
照片 5.16 ⑤累積造波 30 小時，底床剖面成一平滑斜坡情況



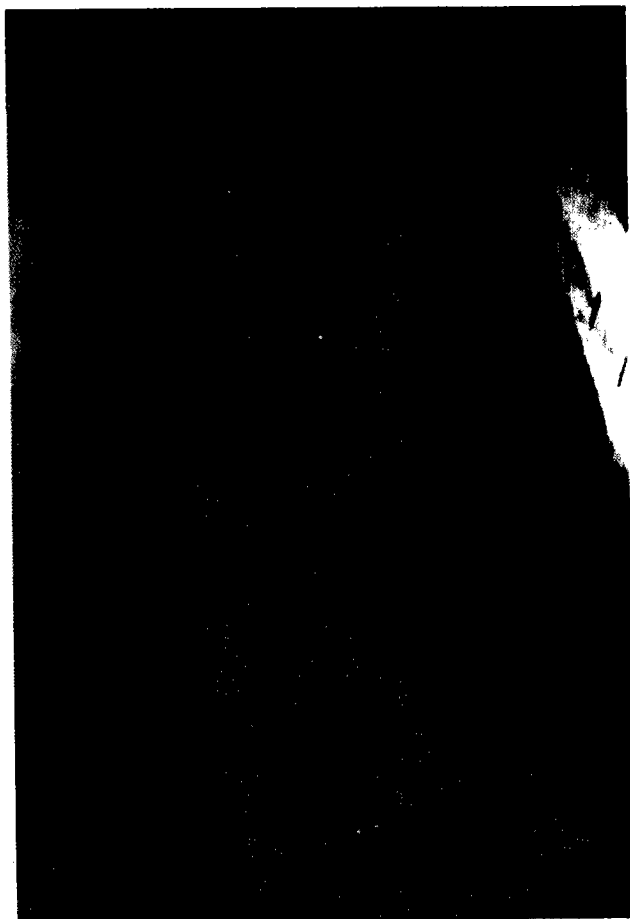
照片 5.16 ⑥累積造波時間 30 小時，底床成 ripple 分佈情況



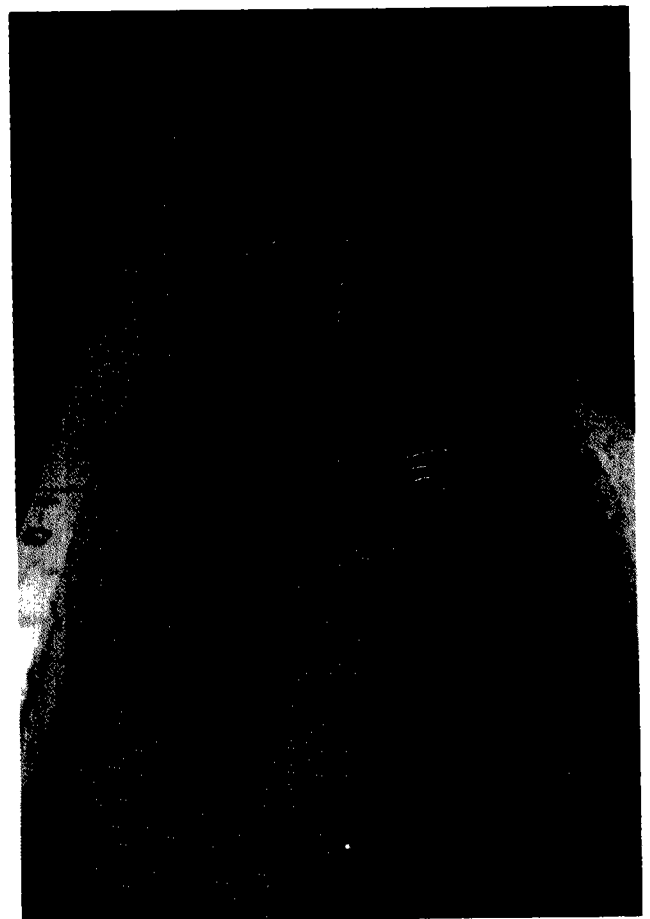
照片 5.17 ③ 累積造波時間 16 小時，波浪碎波以及水面上堆積情況 (CASE C-4)



照片 5.17 ④ 累積造波時間 30 小時，水面上砂堆積情況



照片 5.17 ⑤ 累積造波時間 30 小時後，底床剖面形成一平滑斜坡情況



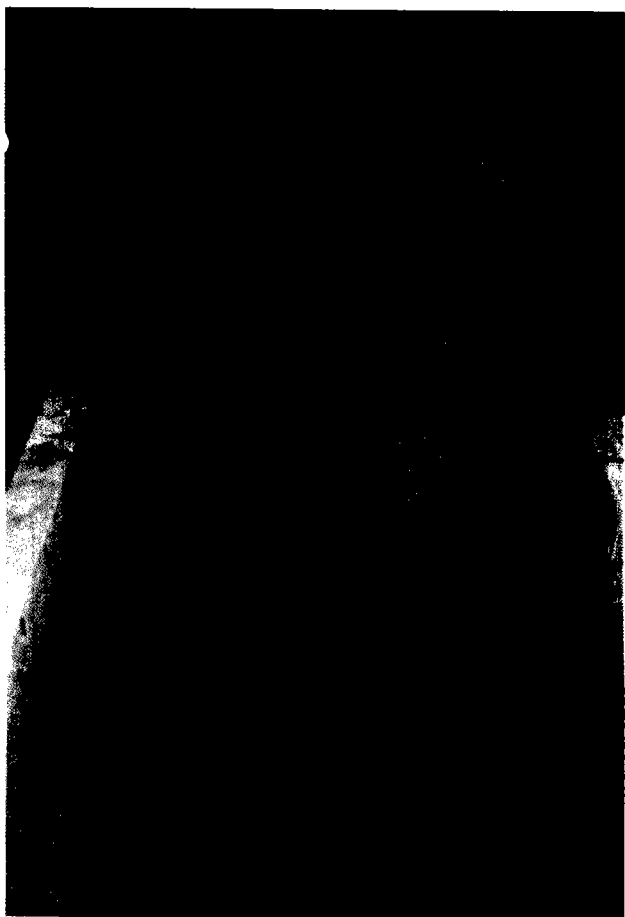
照片 5.17 ⑥ 累積造波時間 30 小時後，底床產生 ripple 情況



照片 5.18 ① 累積造波時間 16 小時後，波浪碎波以及水面上砂堆積情況 (CASE C-5)



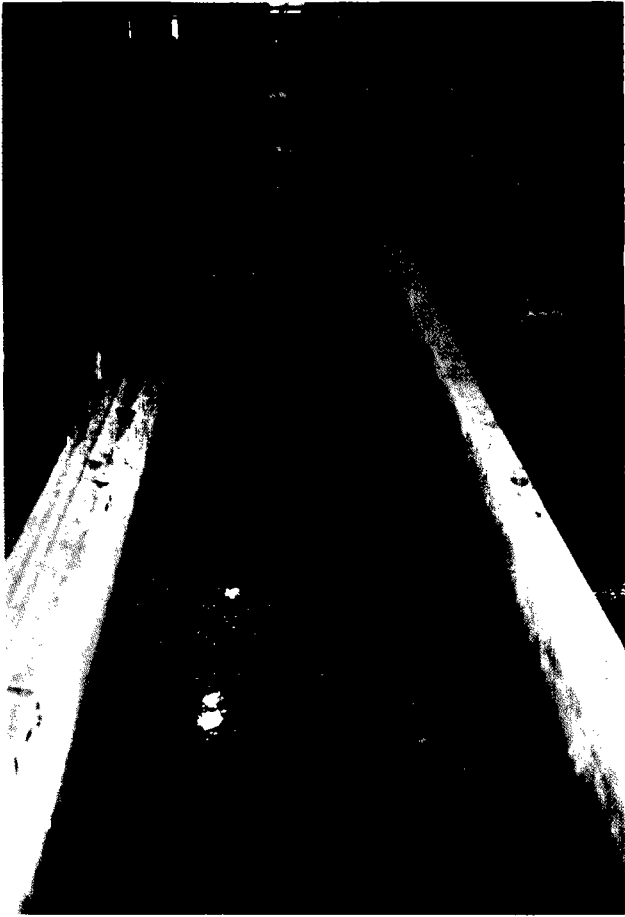
照片 5.18 ② 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況



照片 5.18 ③ 累積造波時間 30 小時，底床剖面形成平滑斜坡情況



照片 5.18 ④ 累積造波時間 30 小時後，底床坡面產生 ripple 情況



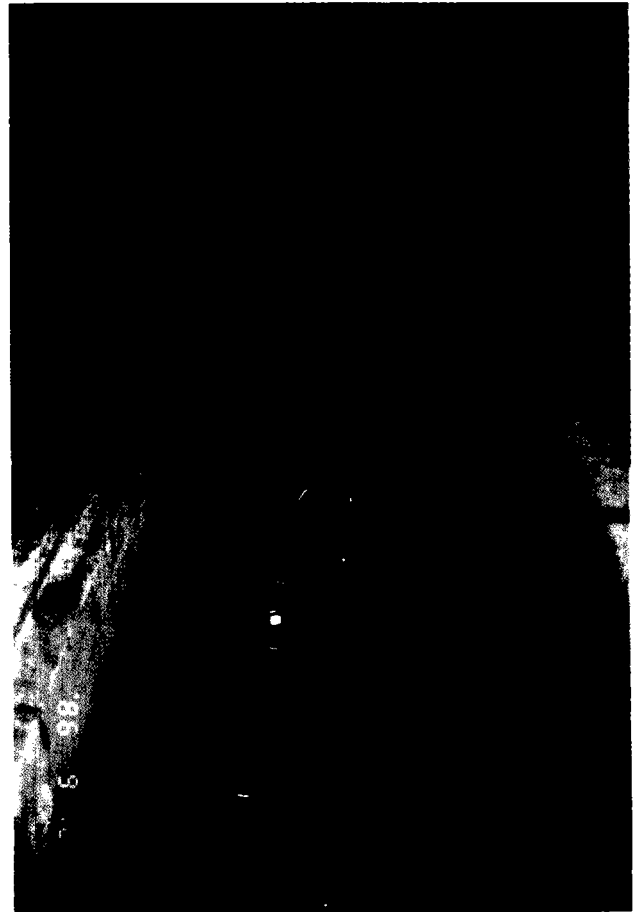
照片 5.19 a 累積造波時間 16 小時後，波浪碎波以及水面上砂堆積情況 (CASE C-6)



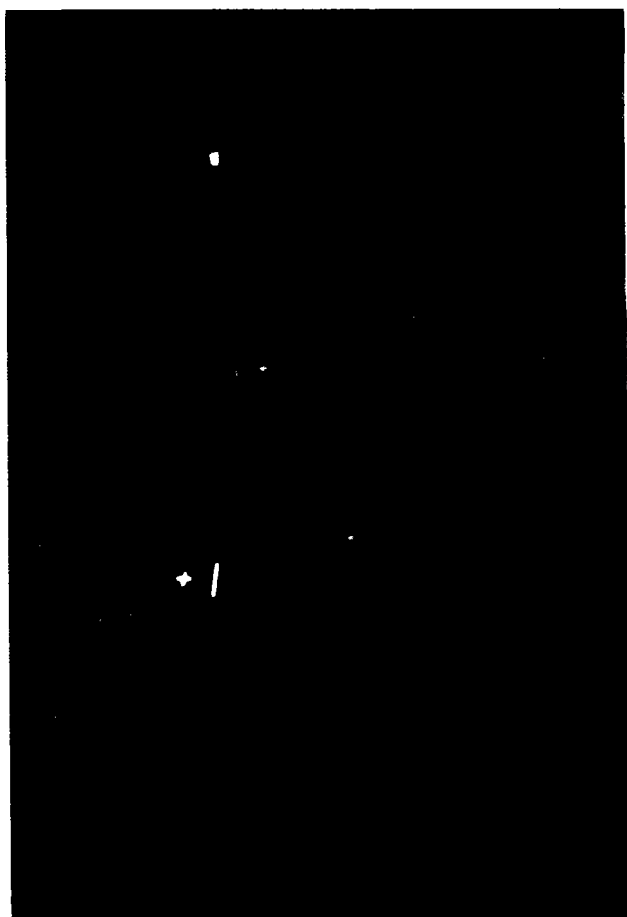
照片 5.19 b 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況



照片 5.19 c 累積造波時間 30 小時後，底床剖面形成一平滑斜坡然不對稱情況



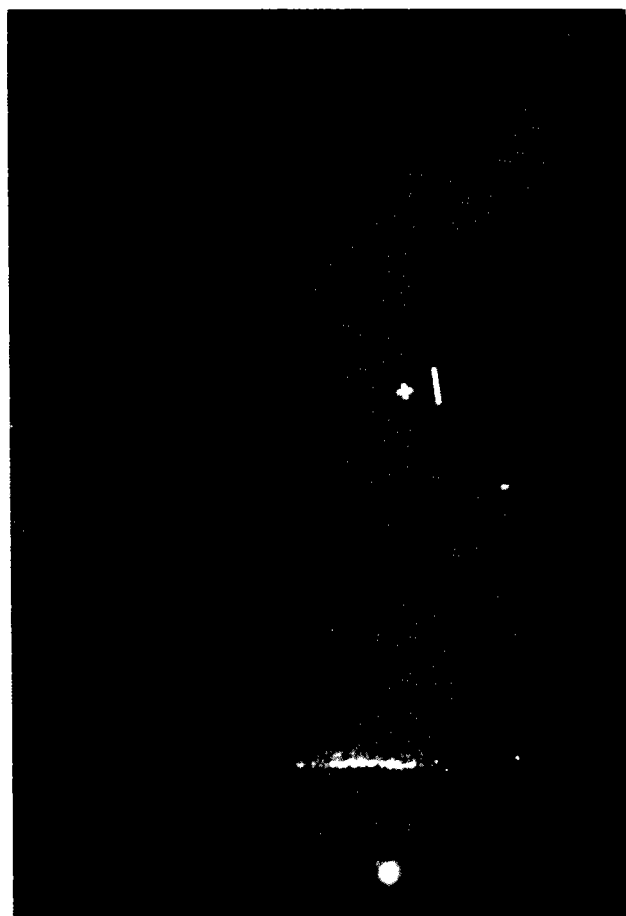
照片 5.19 d 累積造波時間 30 小時，底床剖面產生數個 Sand dune 情況



照片 5.20 (a) 累積造波時間 30 小時，水面上砂堆積情況 (CASE D-1)



照片 5.20 (b) 累積造波時間 30 小時，水面上砂堆積情況



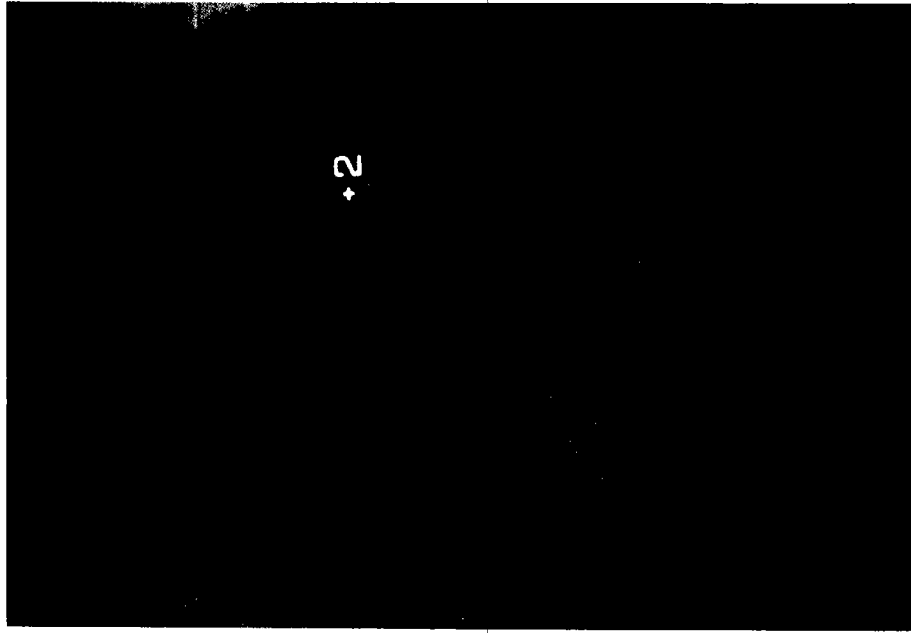
照片 5.20 (c) 累積造波時間 30 小時，水面上底床形成一平滑斜坡情況



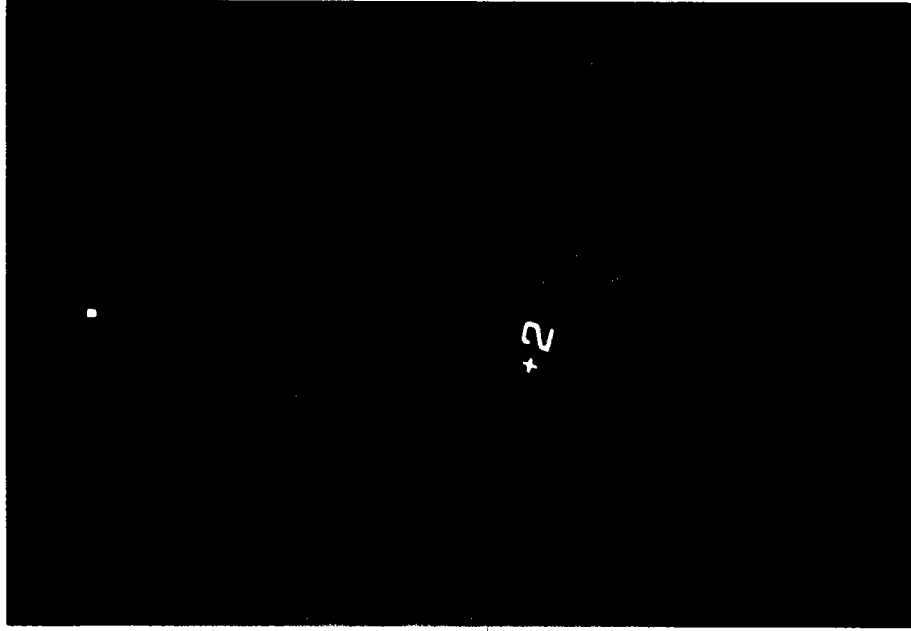
照片 5.20 (d) 累積造波時間 30 小時，底床剖面 ripple 形成情況



照片 5.21 (c) 累積造波時間 30 小時後，底床剖面
ripple 產生情形



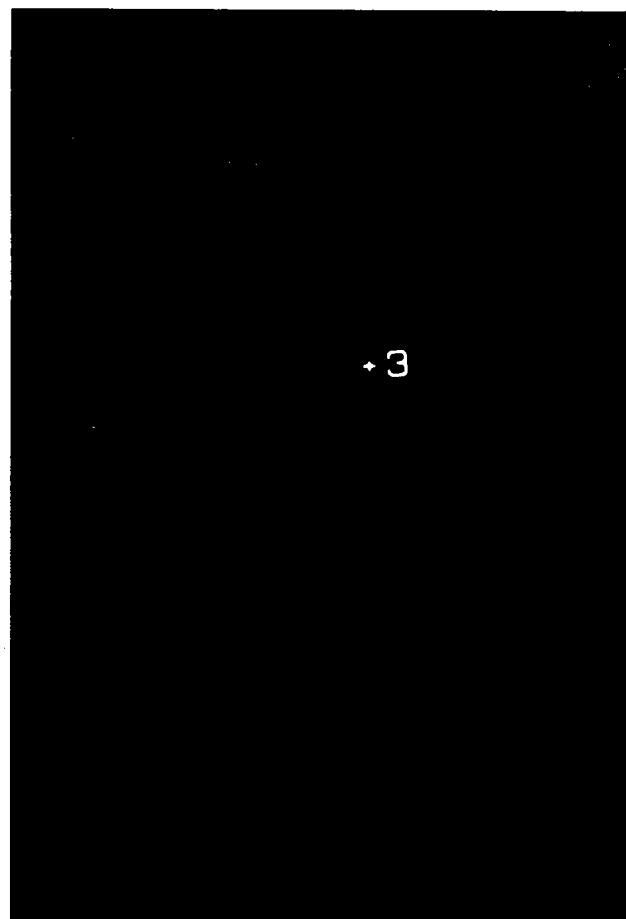
照片 5.21 (b) 累積造波時間 30 小時後，水面上底床形成一平滑斜坡



照片 5.21 (a) 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況 (CASE D-2)



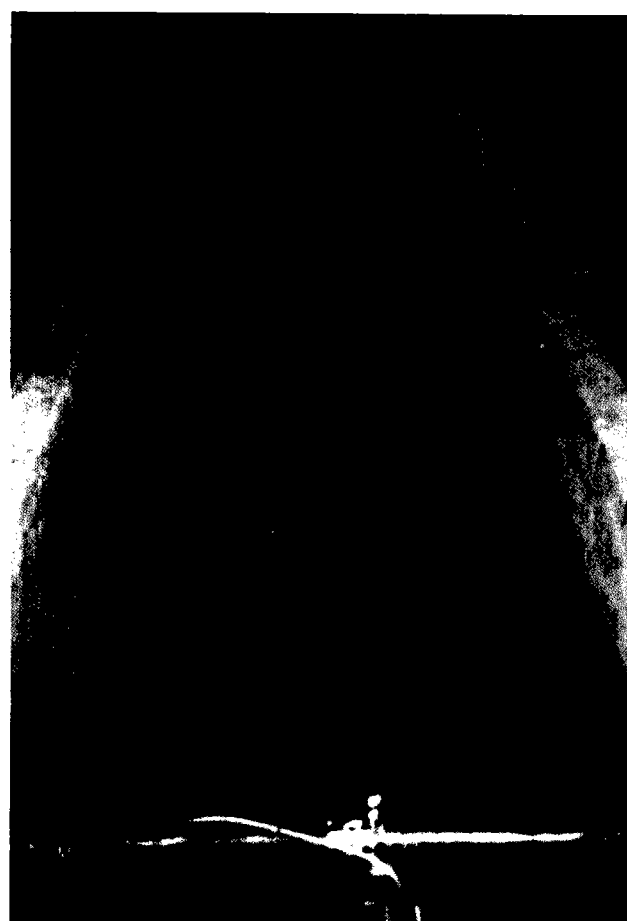
照片 5.22 ㉔ 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積以及形成平滑斜坡情況 (CASE D-3)



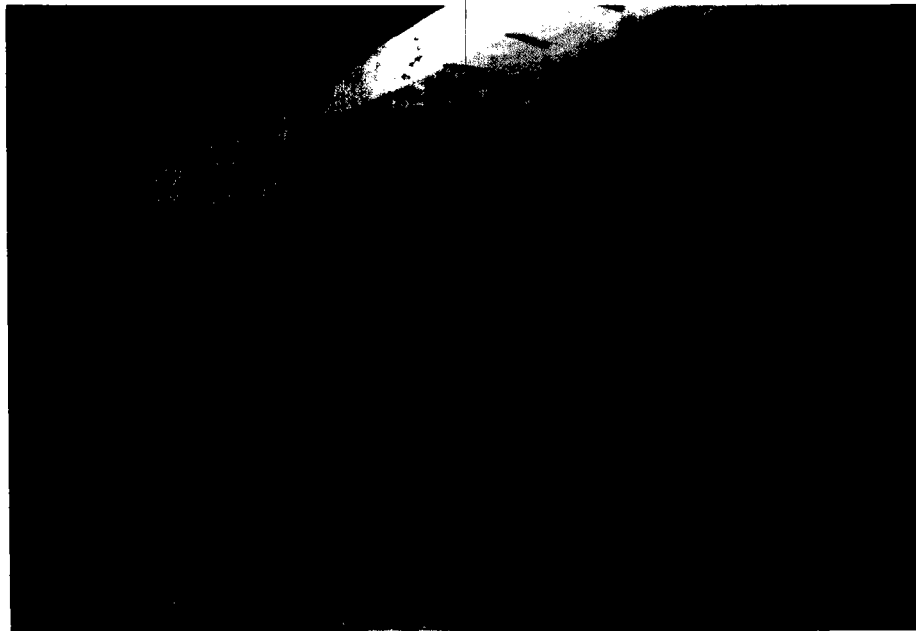
照片 5.22 ㉕ 累積造波時間 30 小時後，水面上形成平滑斜坡情況



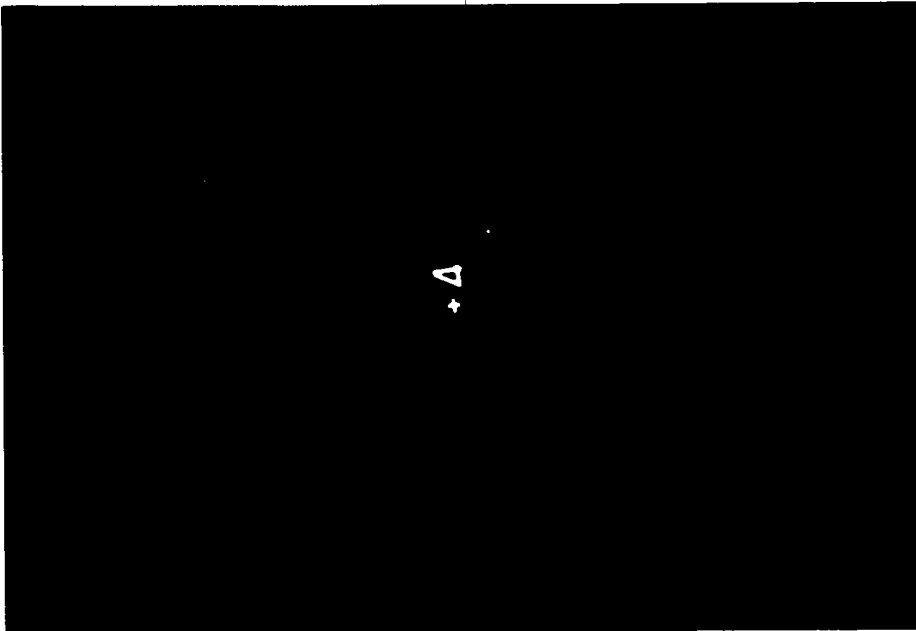
照片 5.22 ㉖ 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 berm 形成狀況



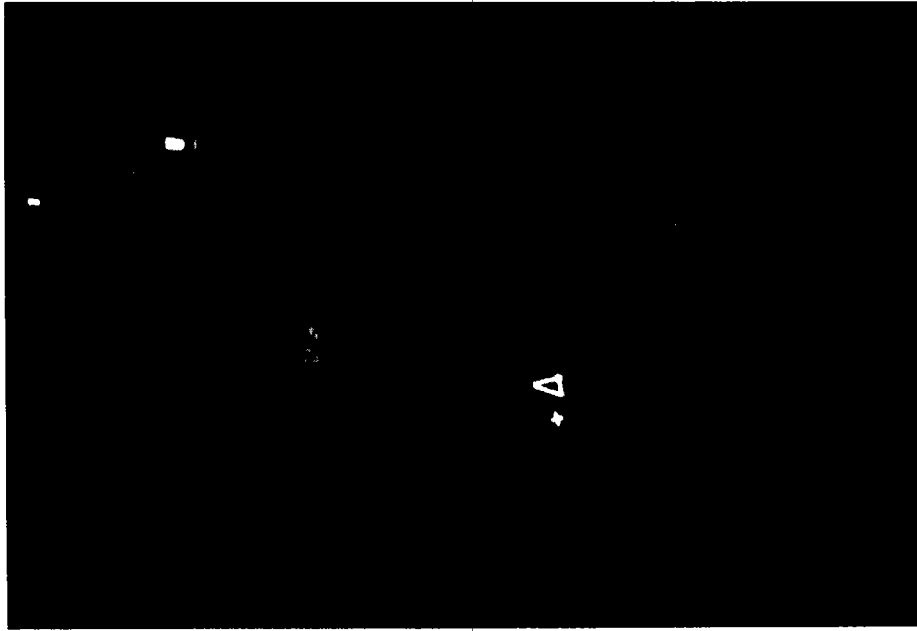
照片 5.22 ㉗ 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 形成情況



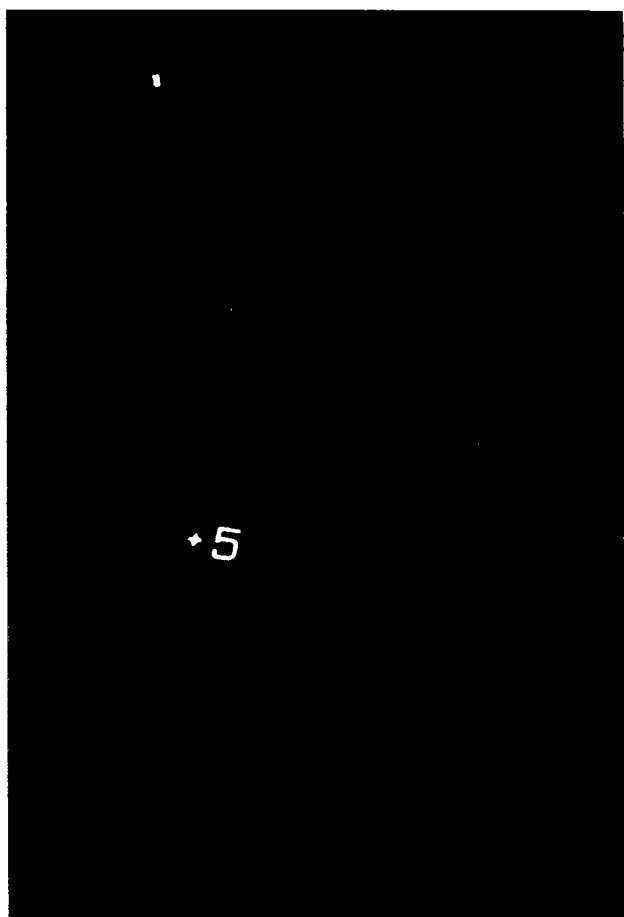
照片 5.23 (c) 累積造波時間 30 小時後，底床剖面
ripple 形成情況



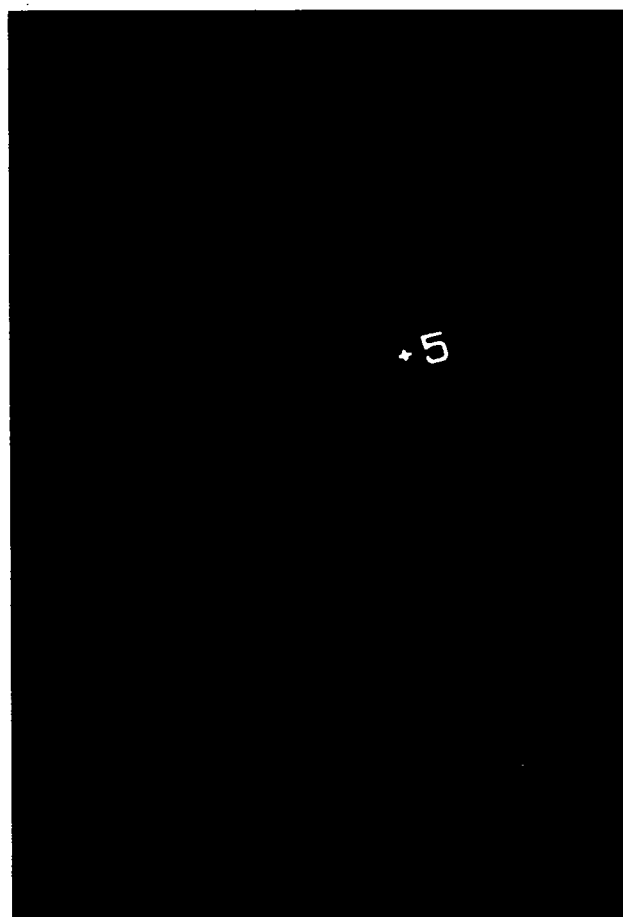
照片 5.23 (b) 累積造波時間 30 小時，水面上床底剖面
形成 berm 情況



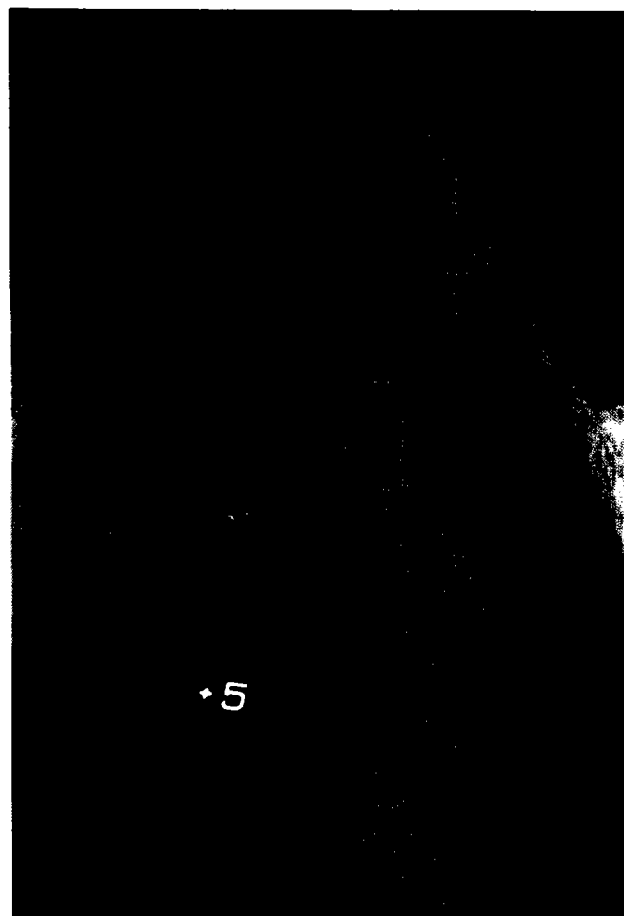
照片 5.23 (a) 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積
情況 (CASE D-4)



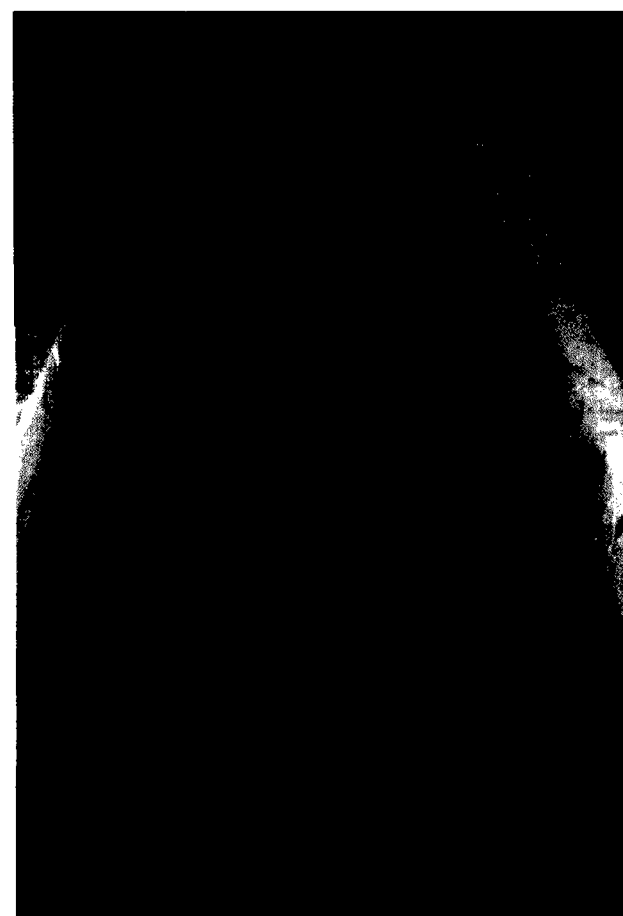
照片 5.24 (a) 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況 (CASE D-5)



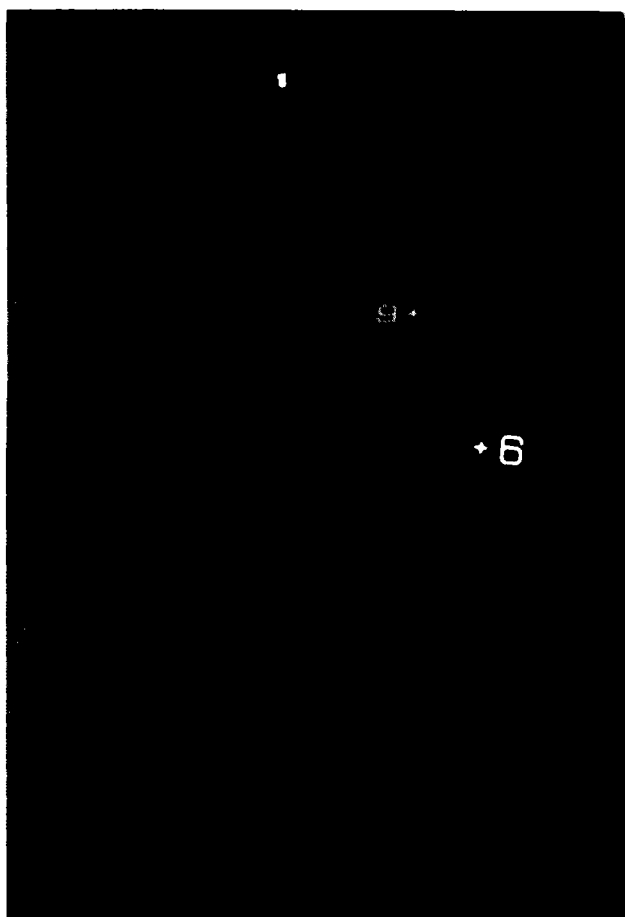
照片 5.24 (b) 累積造波時間 30 小時後，水面上水位變化處砂堆積呈不規則狀



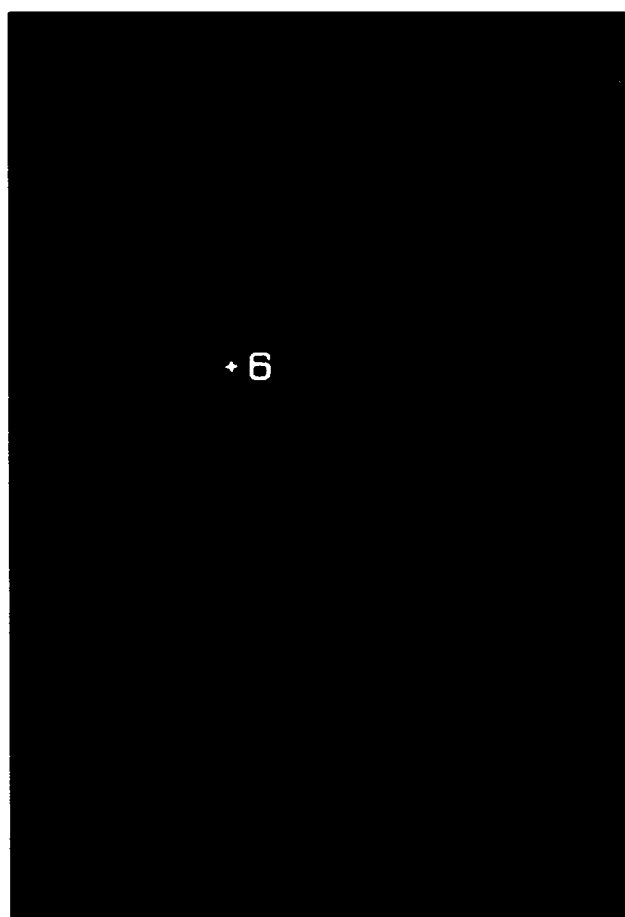
照片 5.24 (c) 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 berm 形成情況



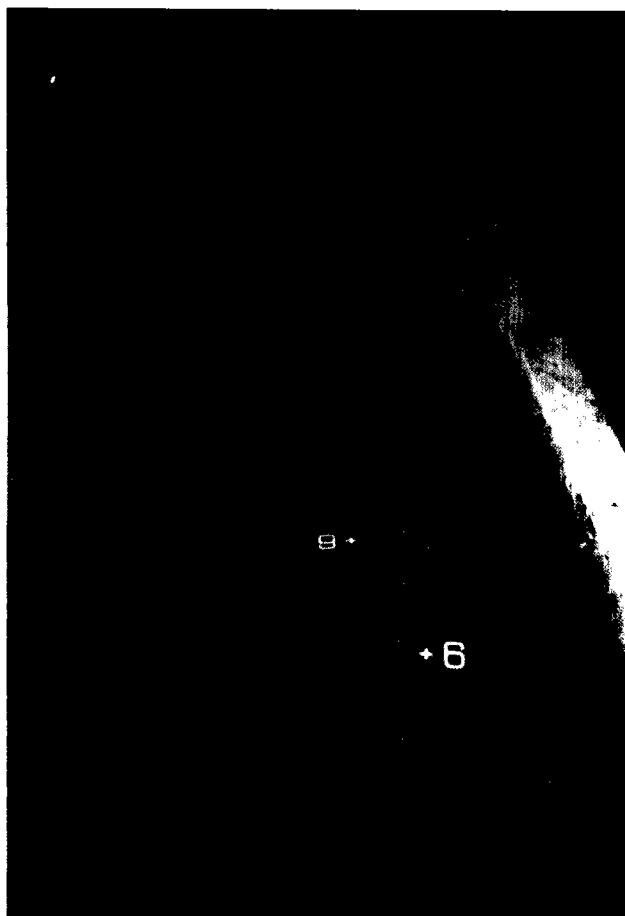
照片 5.24 (d) 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 Sand dune 形成情況



照片 5.25 ① 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況 (CASE D-6)



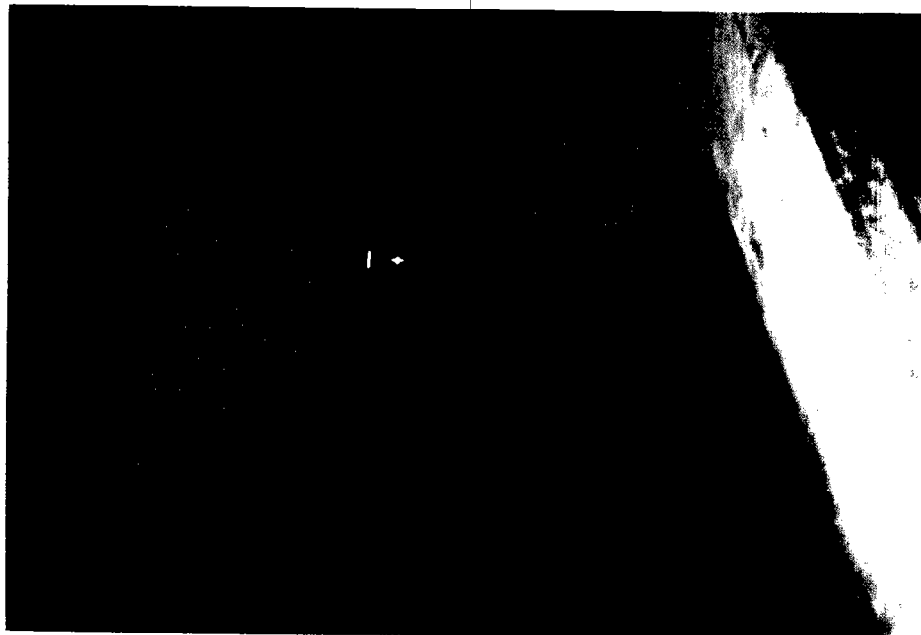
照片 5.25 ② 累積造波時間 30 小時後，水面上底床剖面形成一平滑斜坡情況



照片 5.25 ③ 累積造波 30 小時後，底床剖面平台形成情況



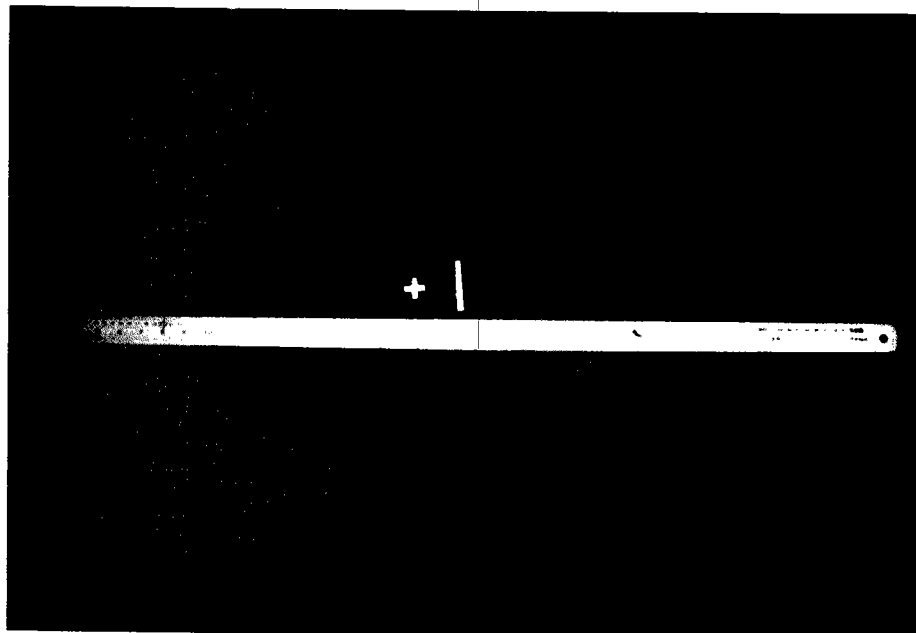
照片 5.25 ④ 累積造波時間 30 小時後，底床剖面形成魚鱗狀 ripple 情況



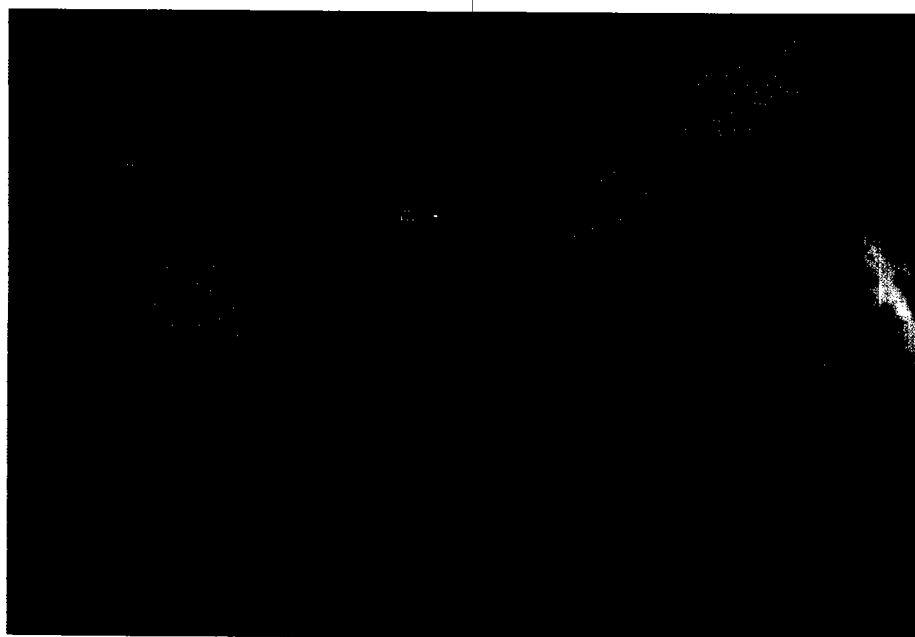
照片 5.26 (a) 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況 (CASE E-1)



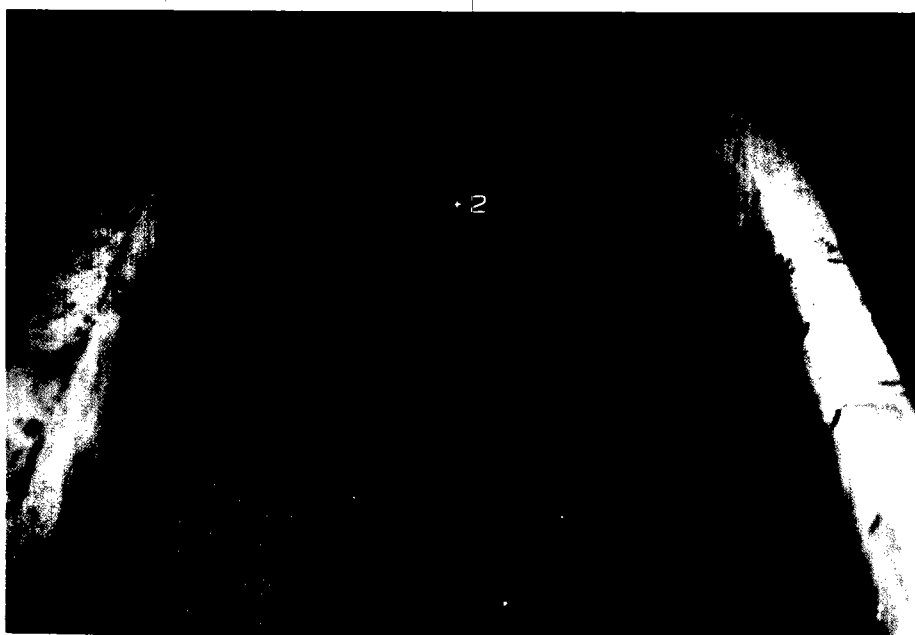
照片 5.26 (b) 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 形成情況



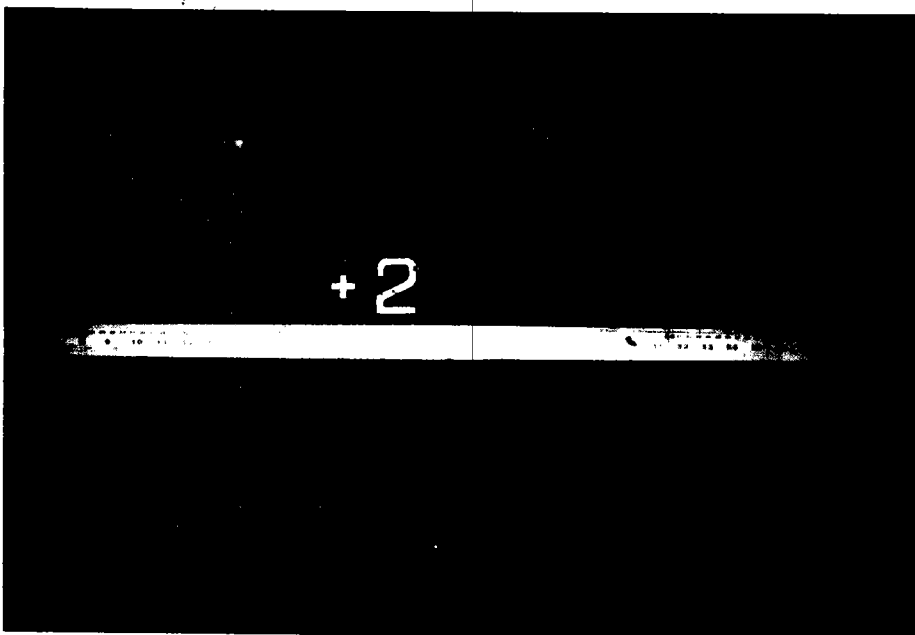
照片 5.26 (c) 累積造波時間 30 小時後底床剖面 ripple 之規模



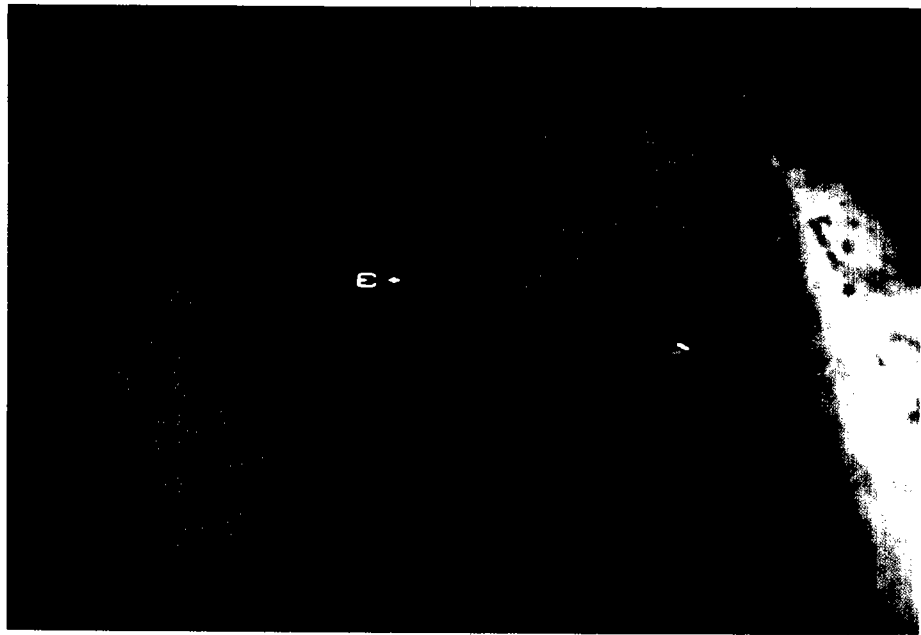
照片 5.27 a 累積造波時間 30 小時後，水面上沙堆積情況 (CASE E-2)



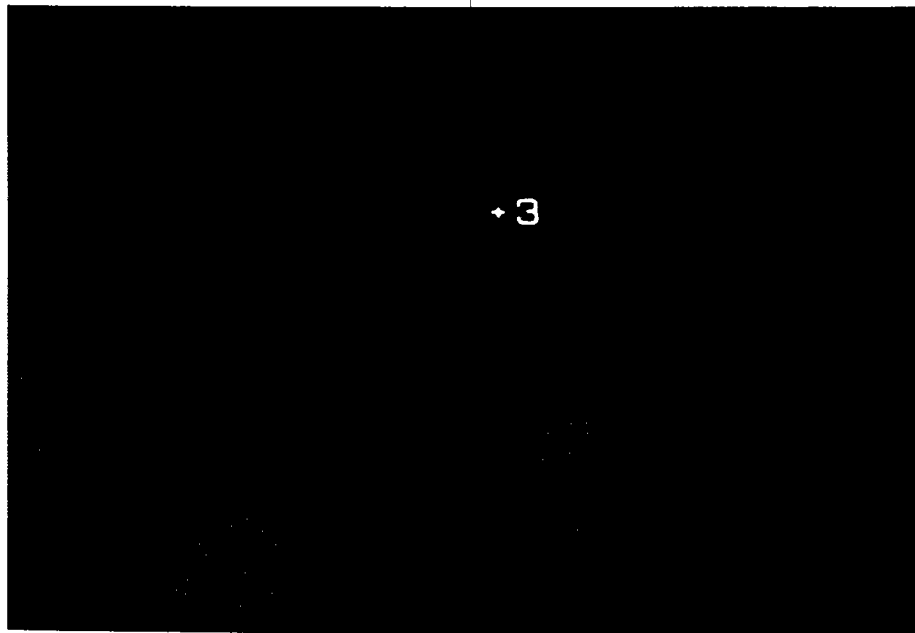
照片 5.27 b 累積造波時間 30 小時後，底床剖面形成深溝情況



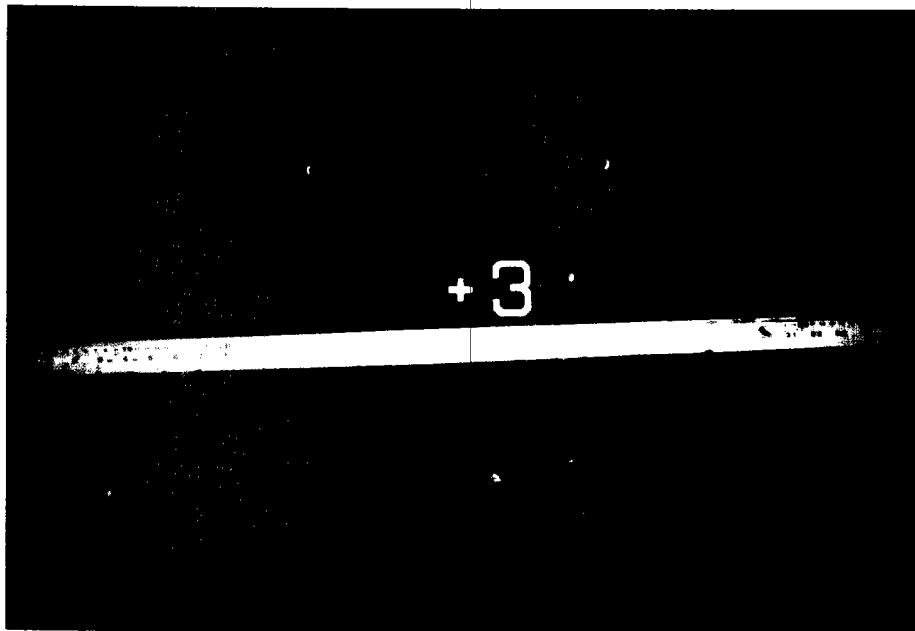
照片 5.27 c 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之規模



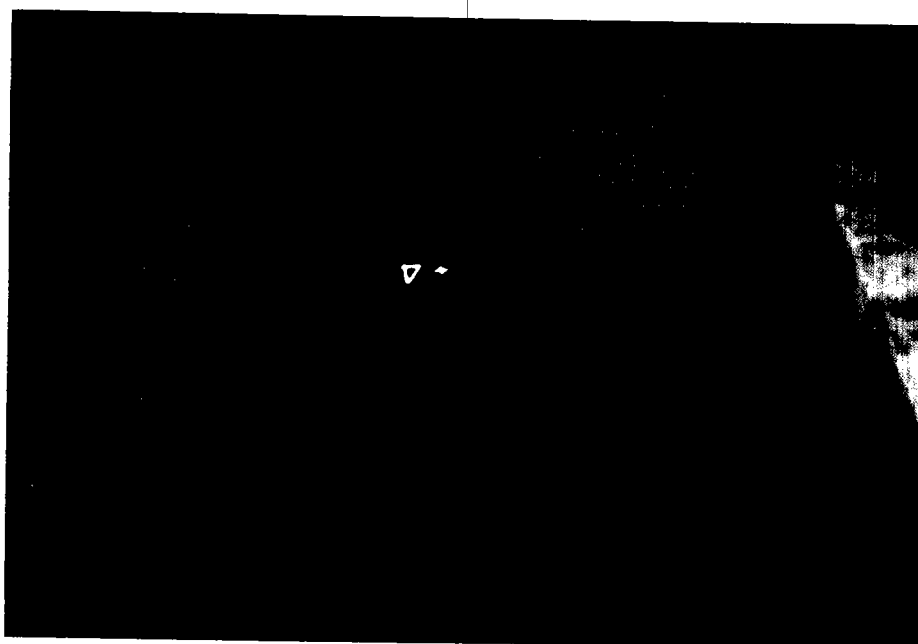
照片 5.28 ③累積造波 30 小時後，床面上砂堆積情況 (CASE E-3)



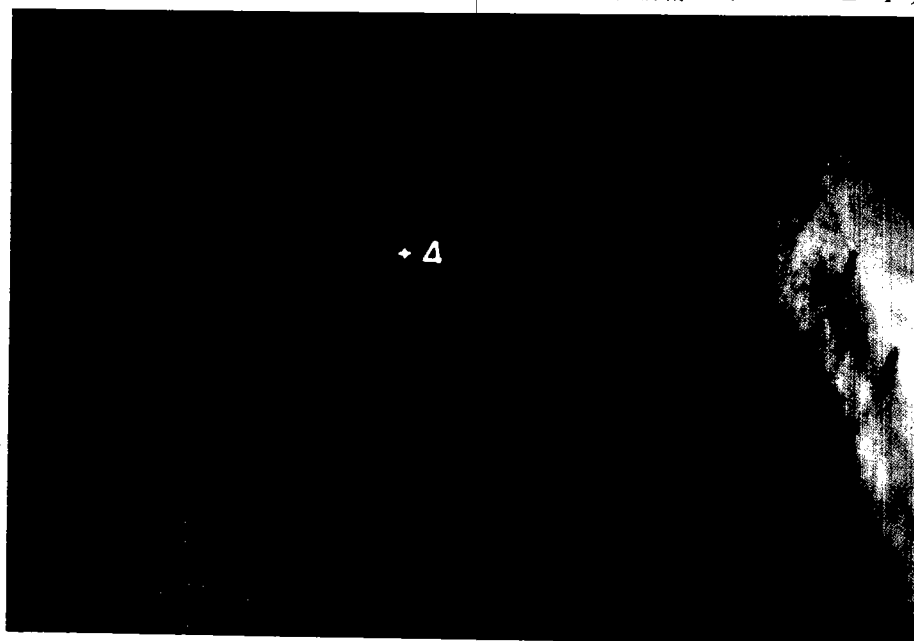
照片 5.28 ④累積造波時間 30 小時後，底床剖面侵蝕情況



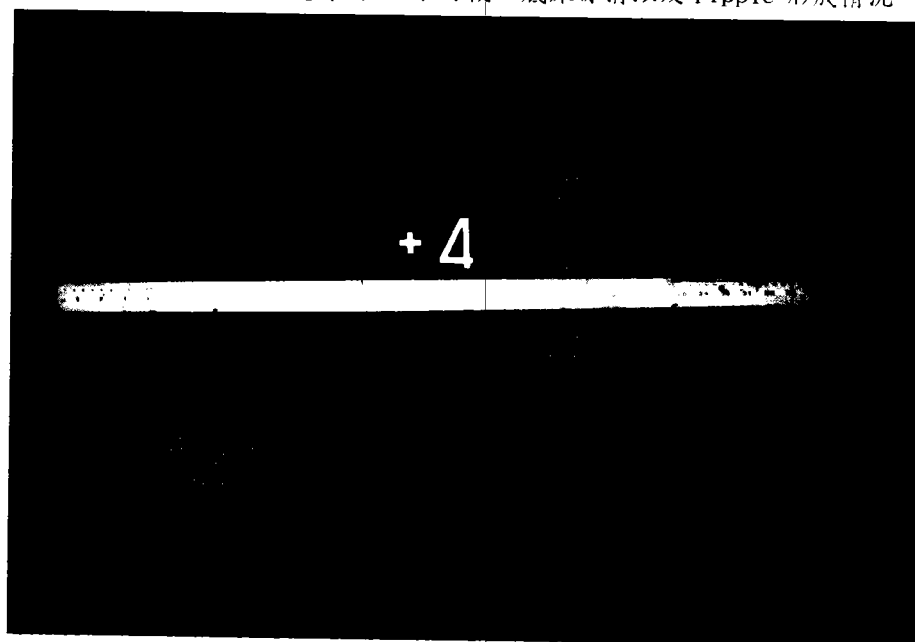
照片 5.28 ⑤累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小



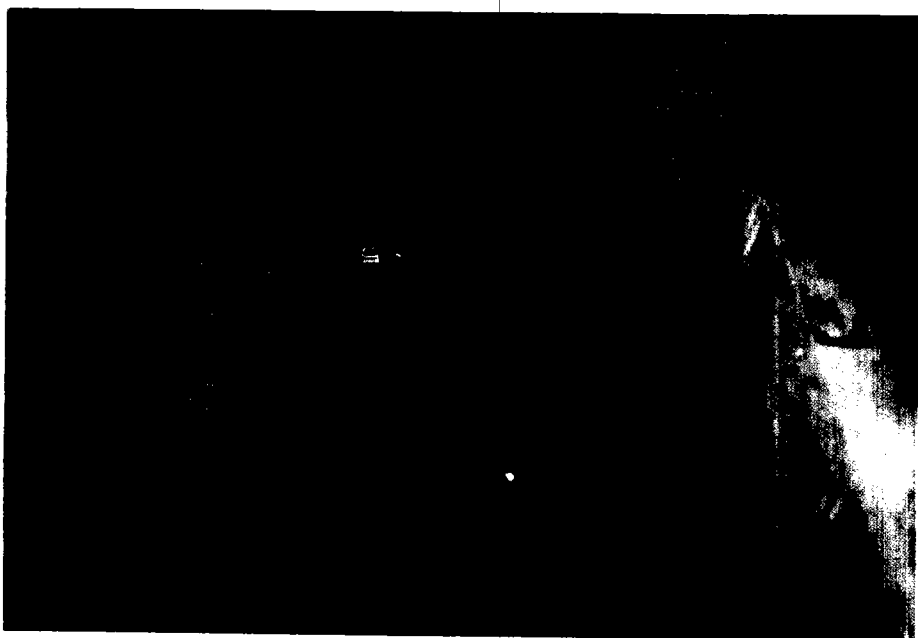
照片 5.29 (a) 累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況 (CASE E-4)



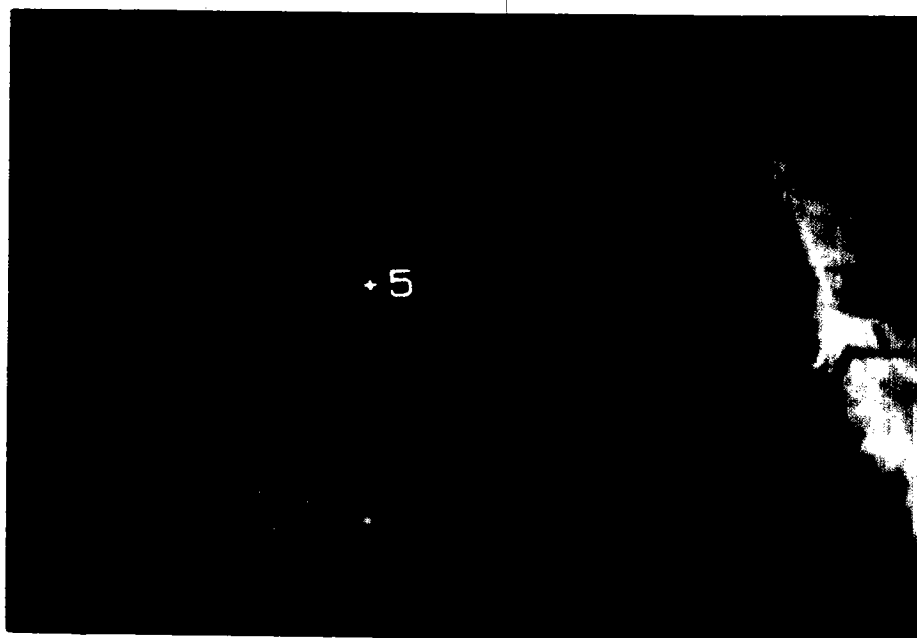
照片 5.29 (b) 累積造波時間 30 小時後，底床深溝以及 ripple 形成情況



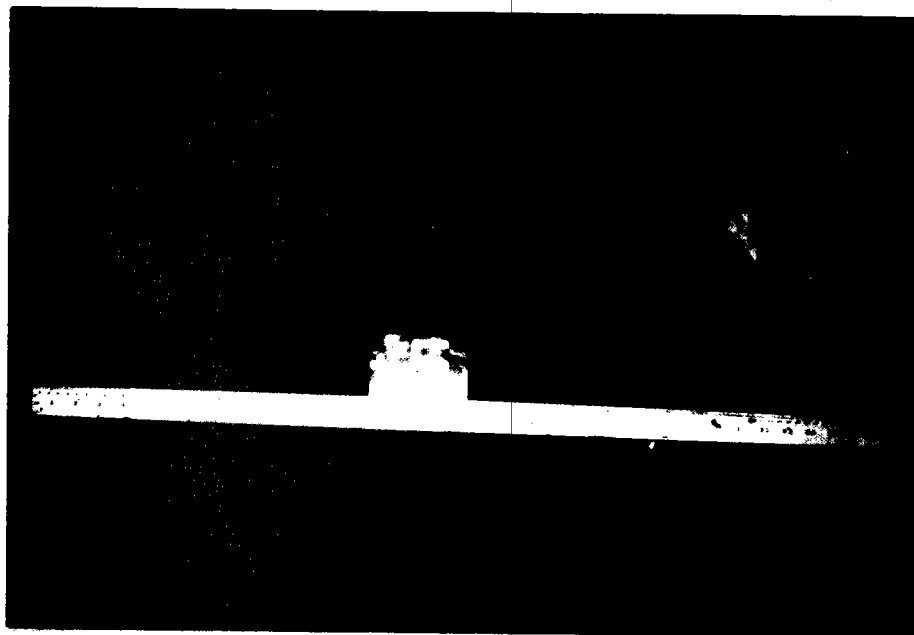
照片 5.29 (c) 累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 之大小



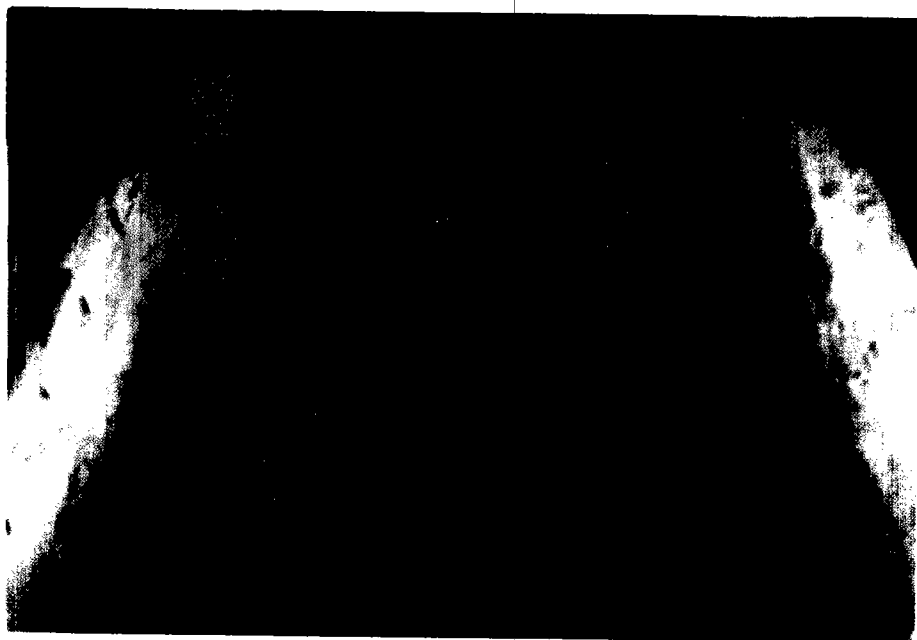
照片 5.30 ⑧ 累積造波時間 30 小時後，水面上沙堆積情況 (CASE E-5)



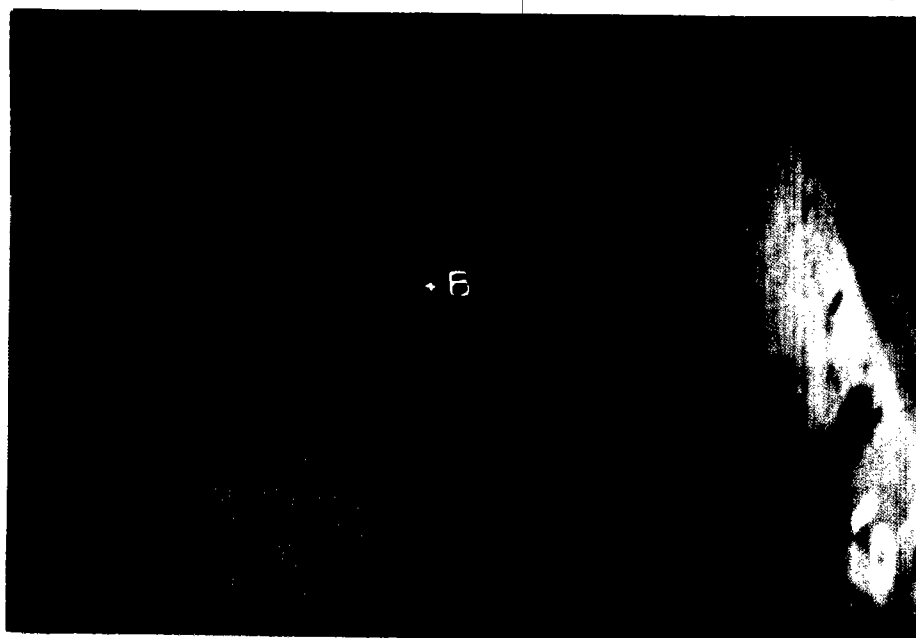
照片 5.30 ⑨ 累積造波時間 30 小時後，底床剖面形成一平滑斜波之情況



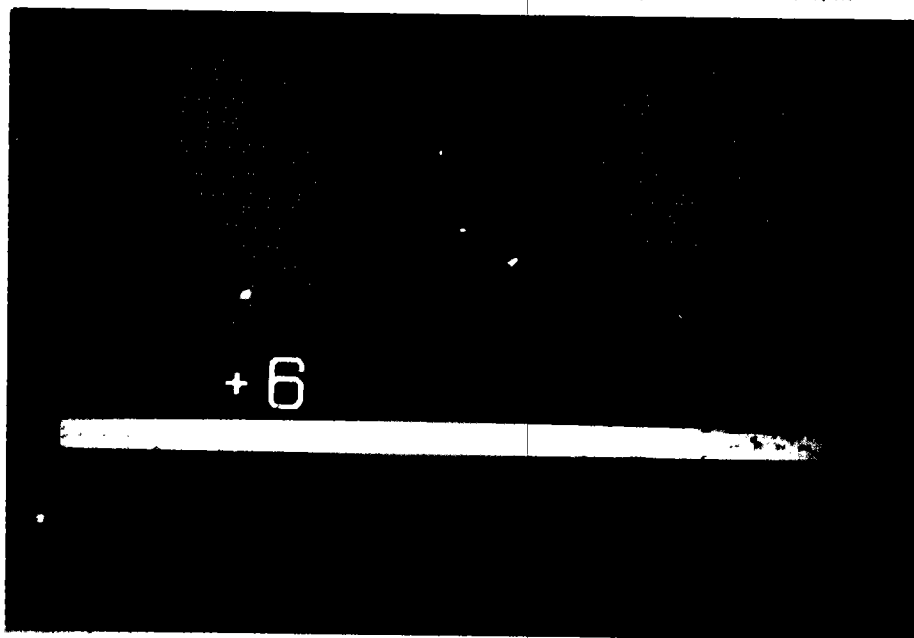
照片 5.30 ⑩ 累積造波時間 30 小時後，底床剖面其 ripple 之大小



照片 5.31 ⑧累積造波時間 30 小時後，水面上砂堆積情況 (CASE E-6)



照片 5.31 ⑨累積造波時間 30 小時後，底床剖面形成平滑斜坡以及深溝情況



照片 5.31 ⑩累積造波時間 30 小時後，底床剖面 ripple 規模

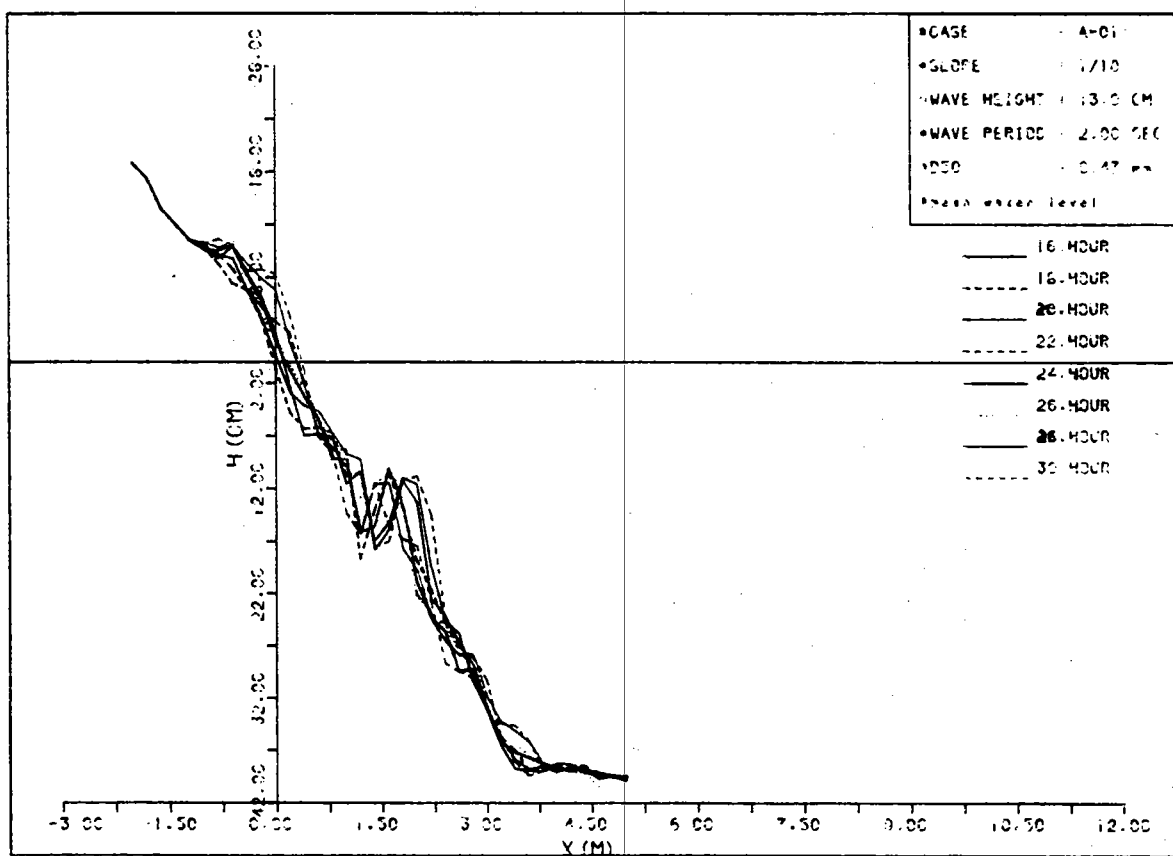
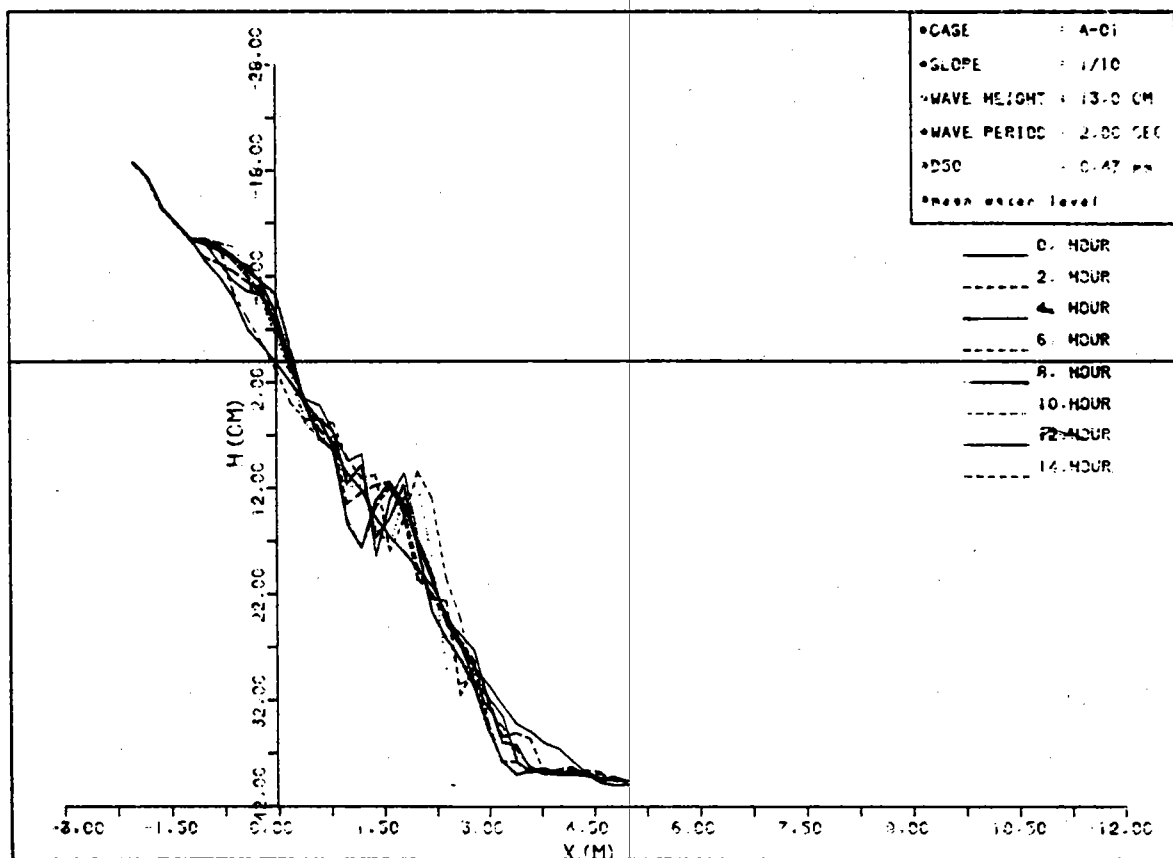


圖 5.30 CASE A 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.47\text{mm}$)

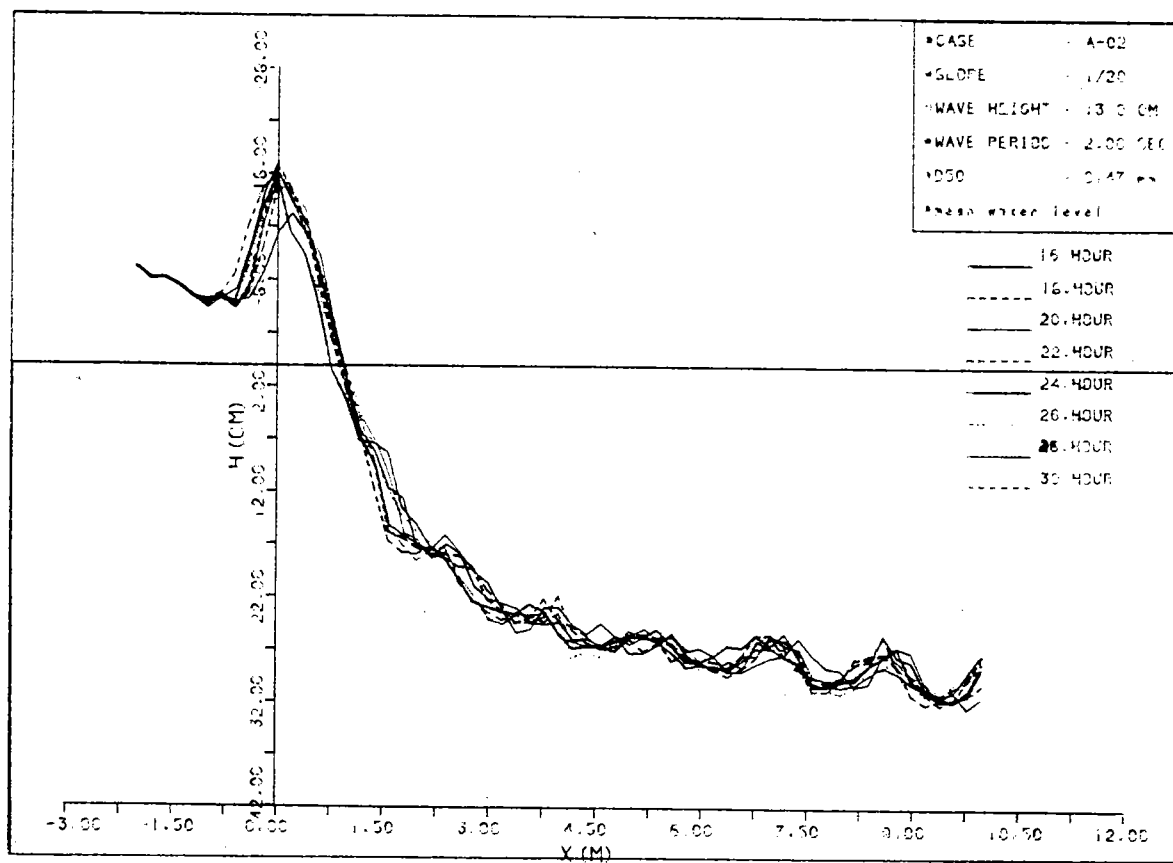
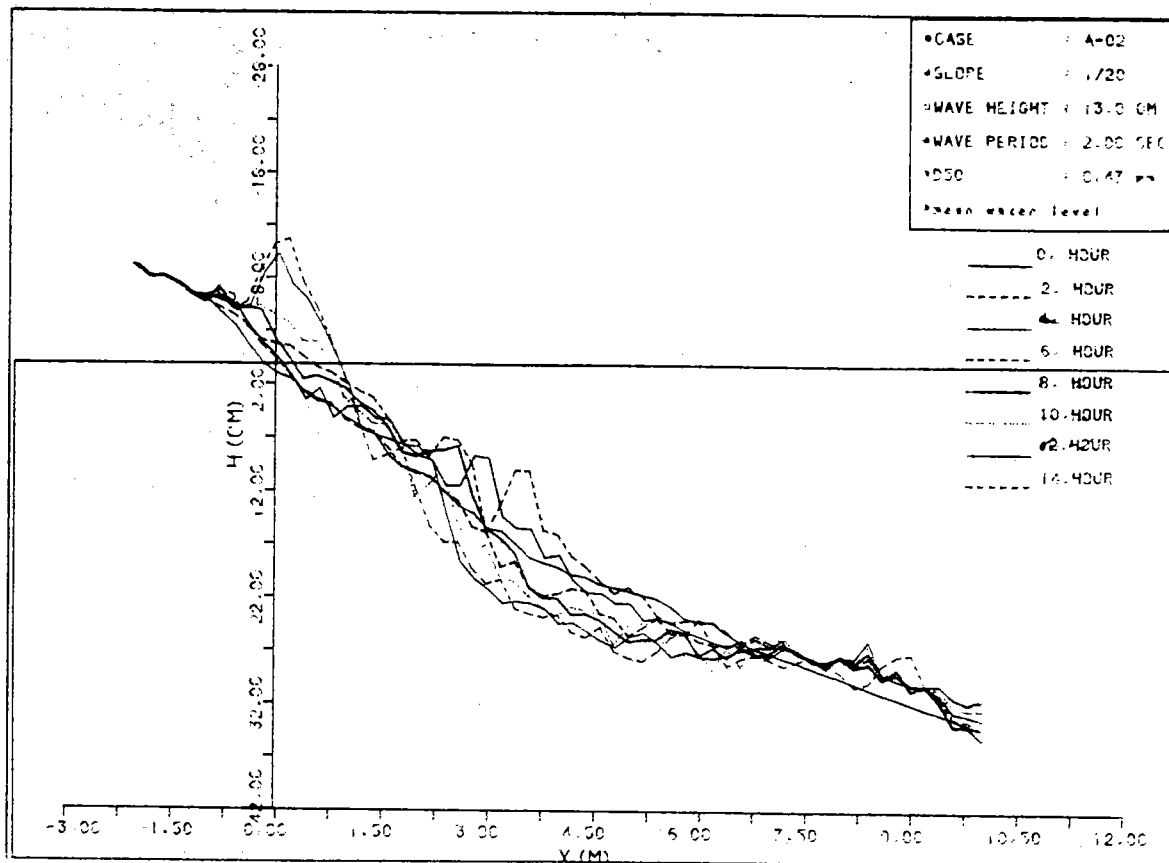


圖 5.31 CASE A 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.47\text{mm}$)

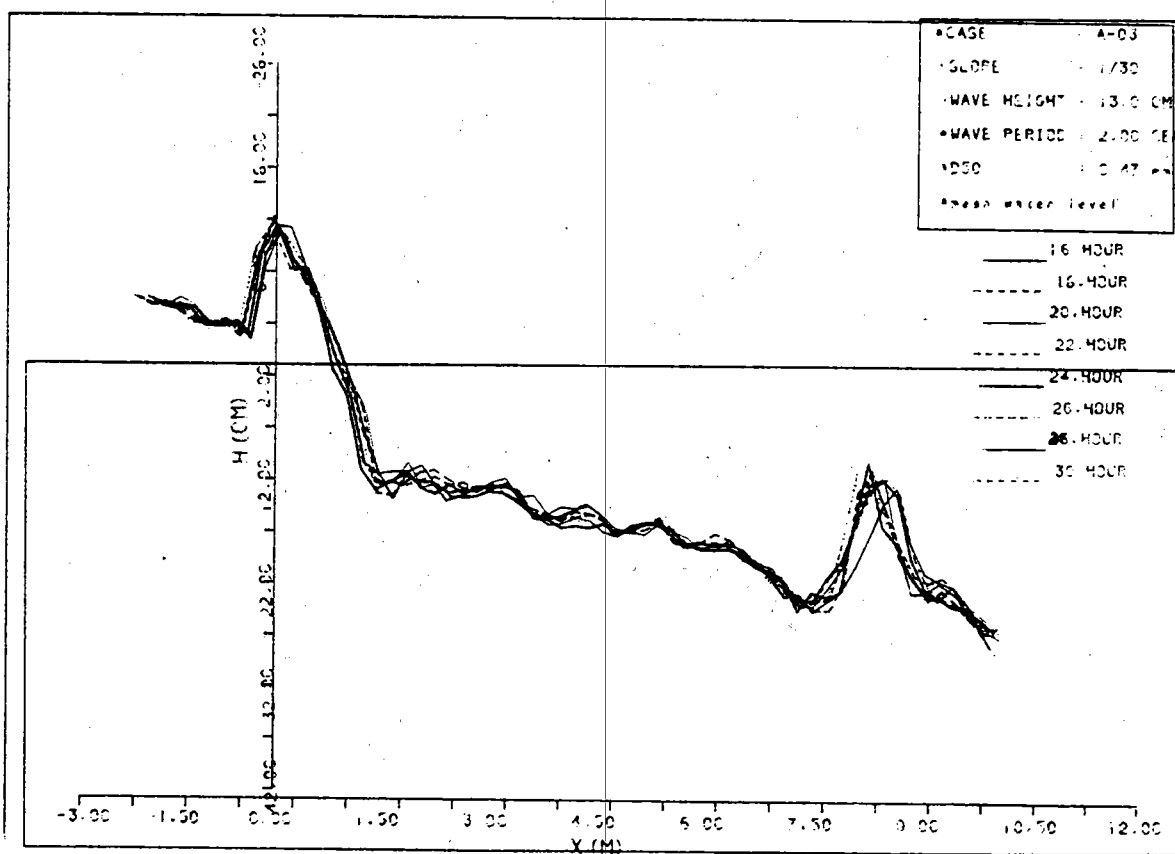
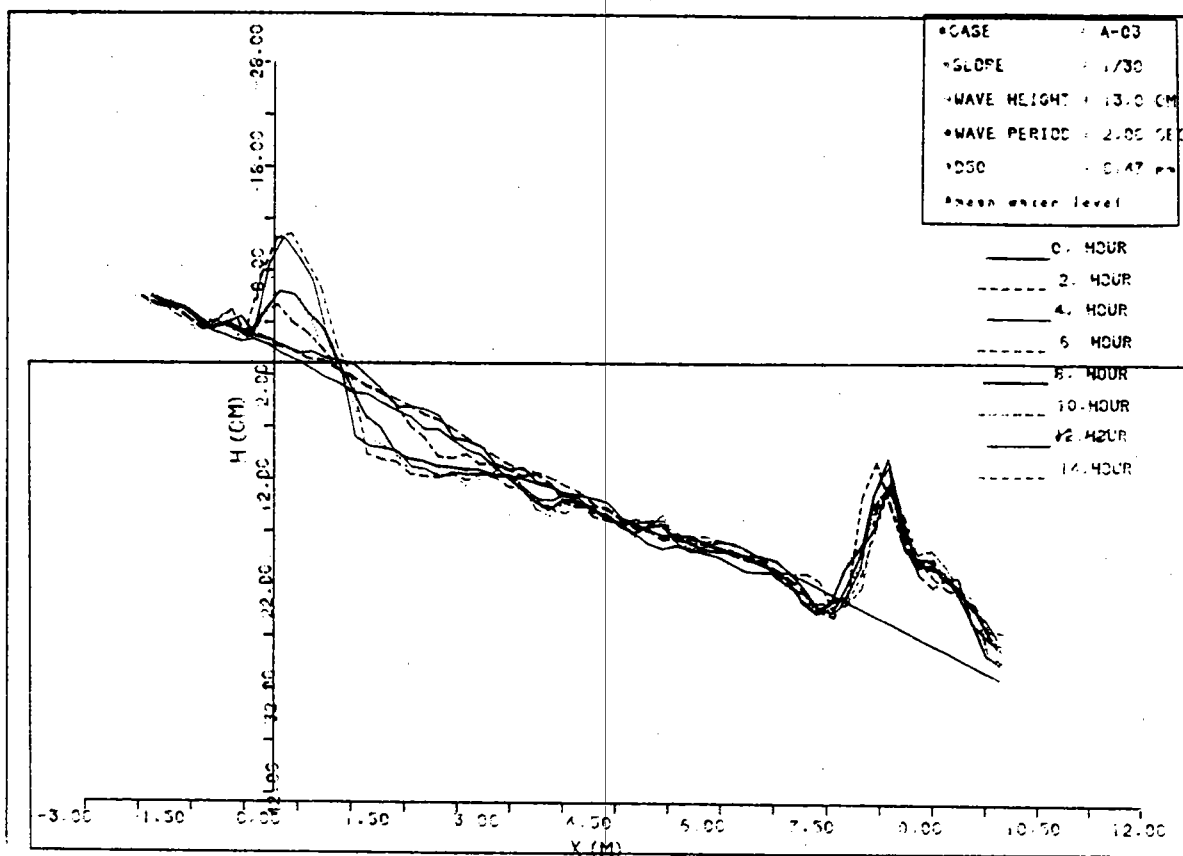


圖 5.32 CASE A 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.47\text{mm}$)

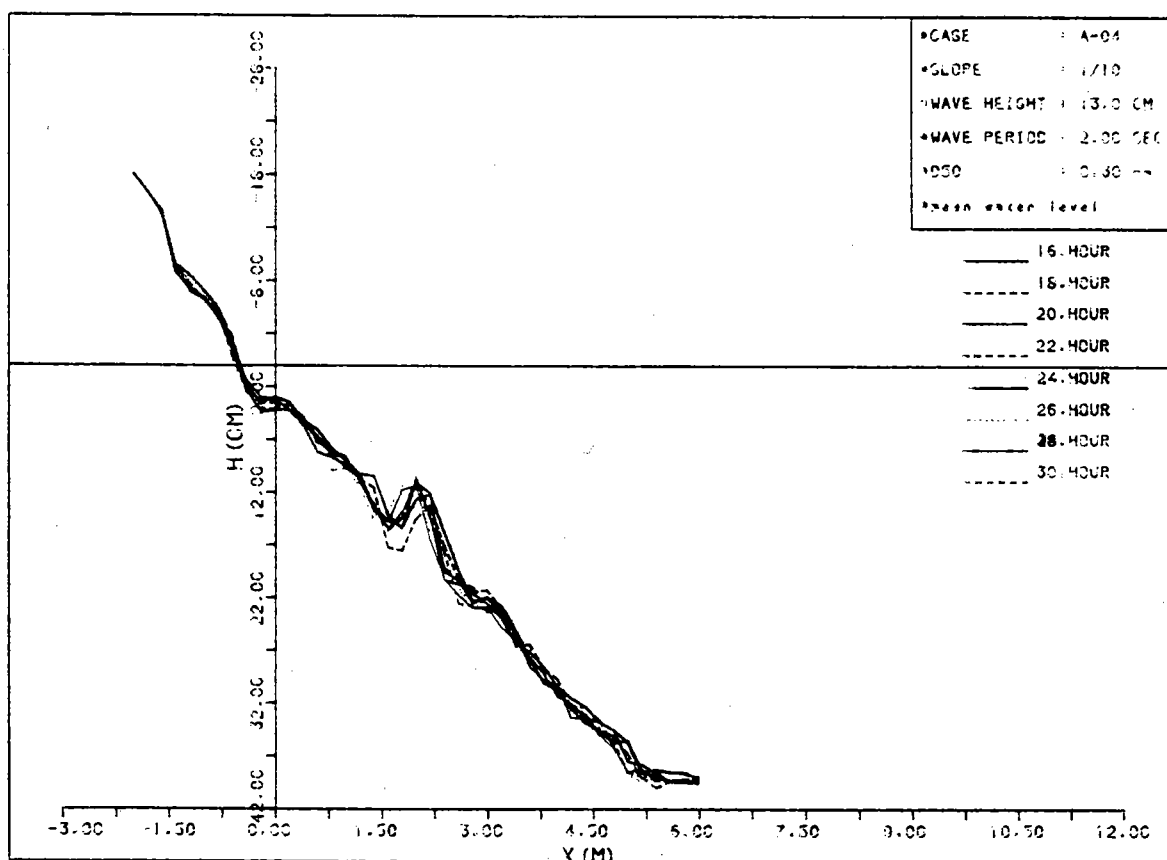
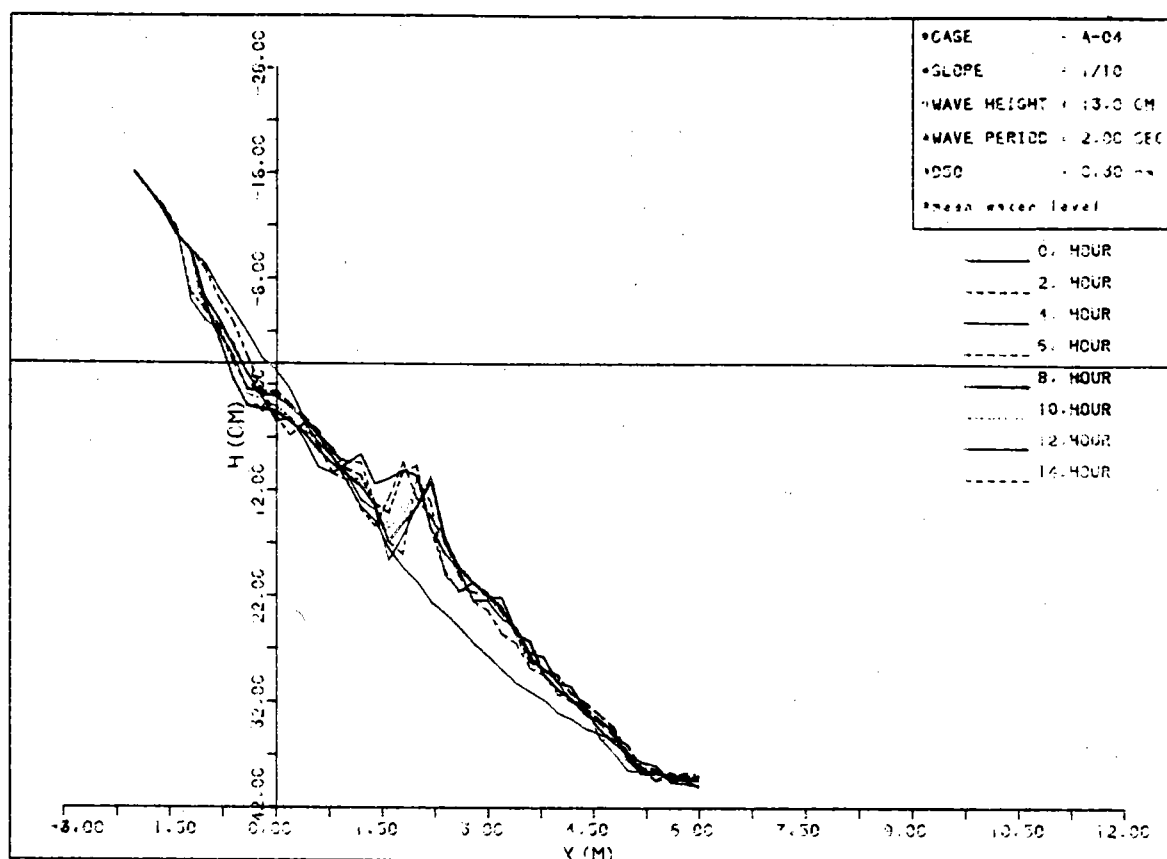


圖 5.33 CASE A 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

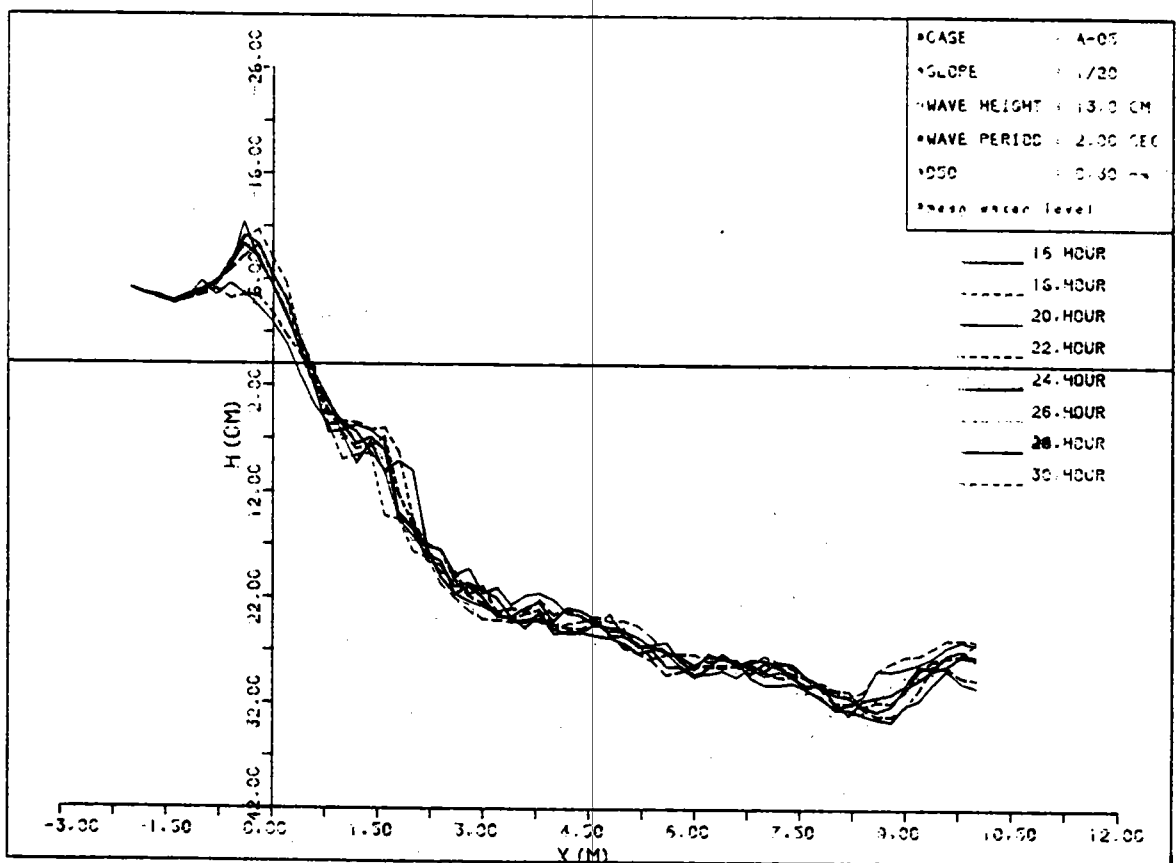
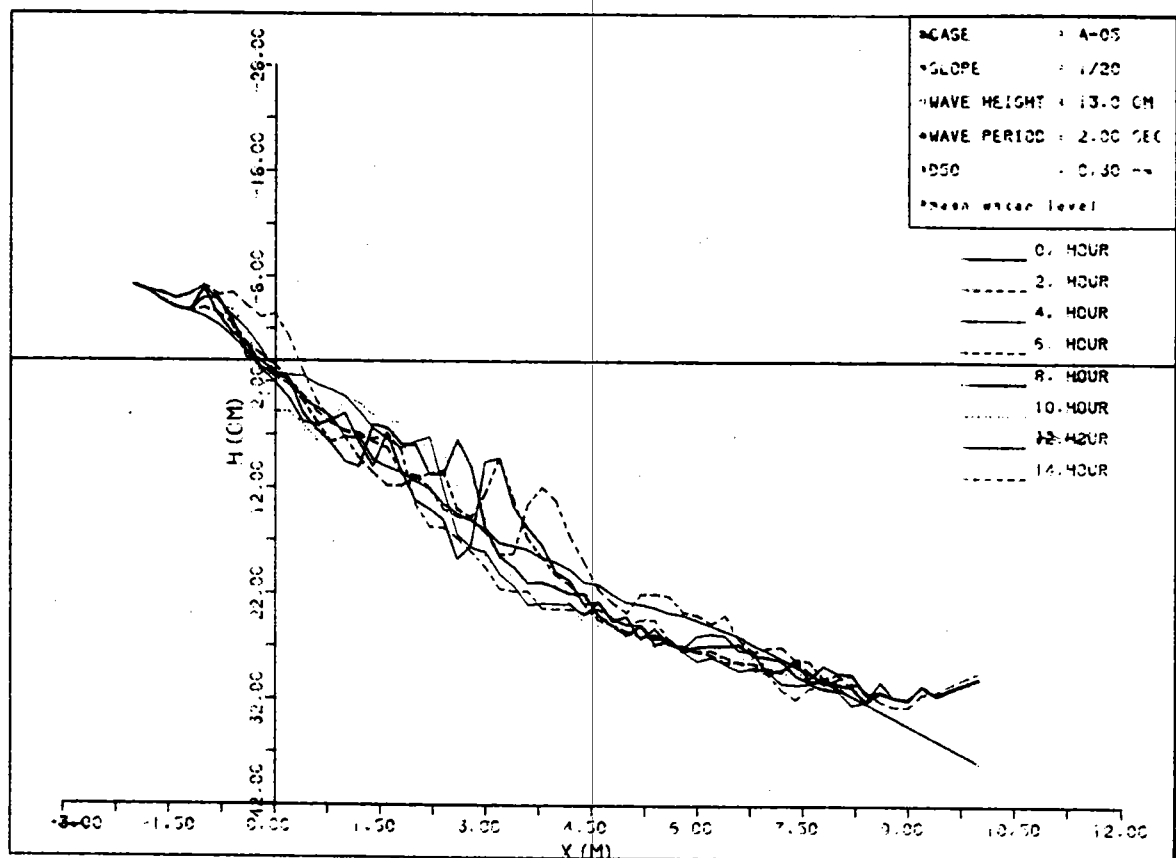


圖 5.34 CASE A 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.30$ mm)

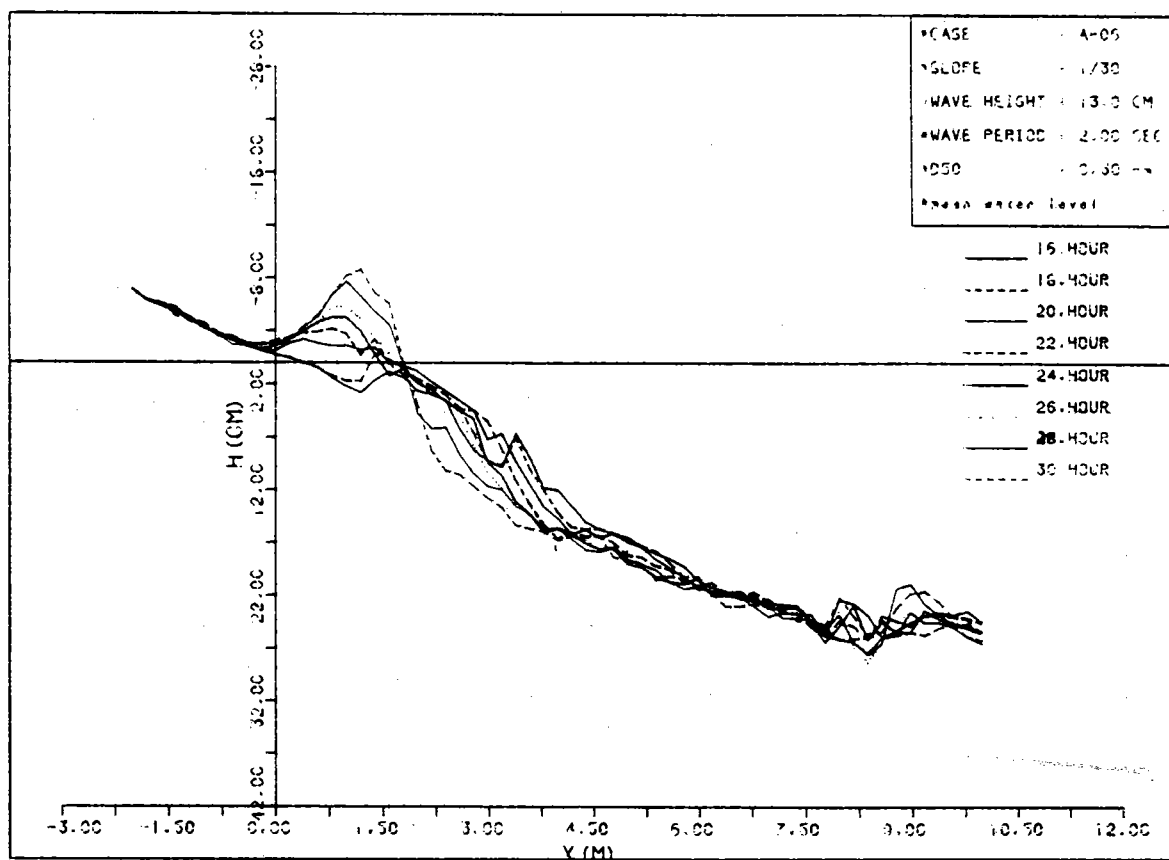
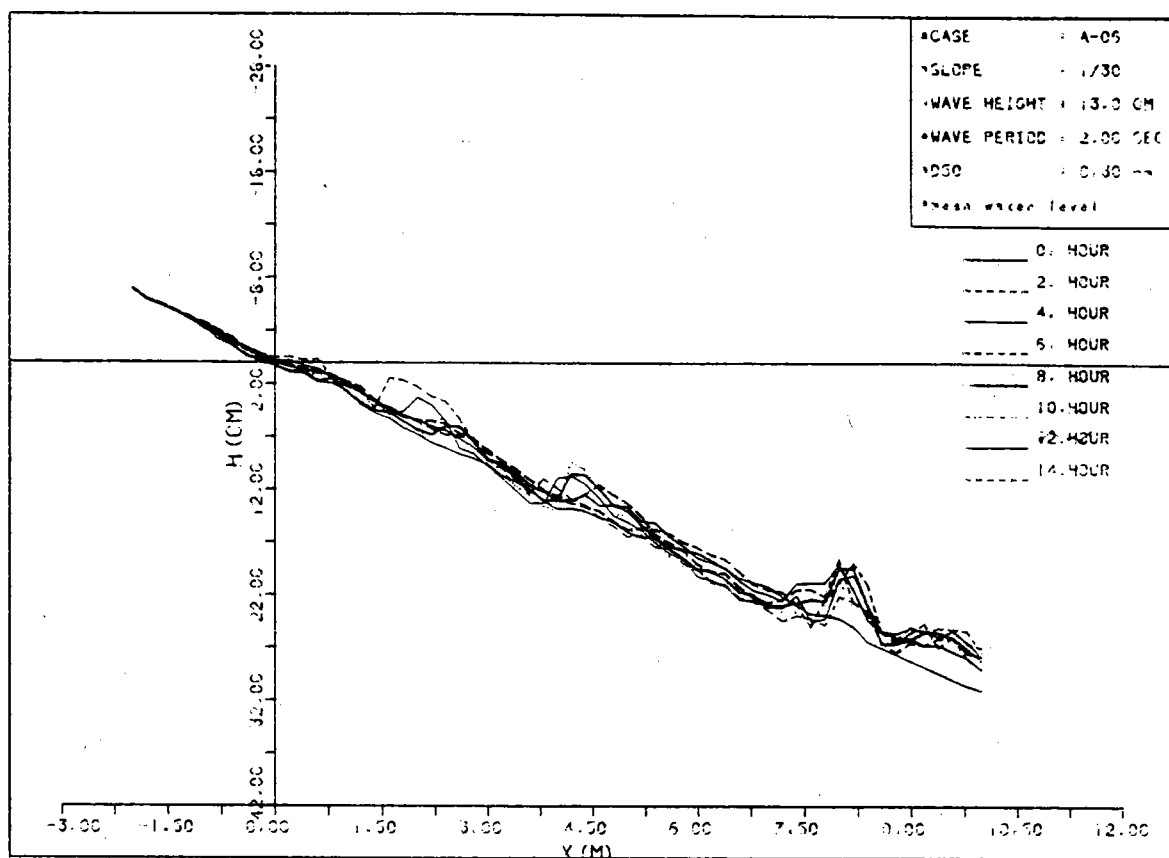


圖 5.35 CASE A 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.30\text{mm}$)

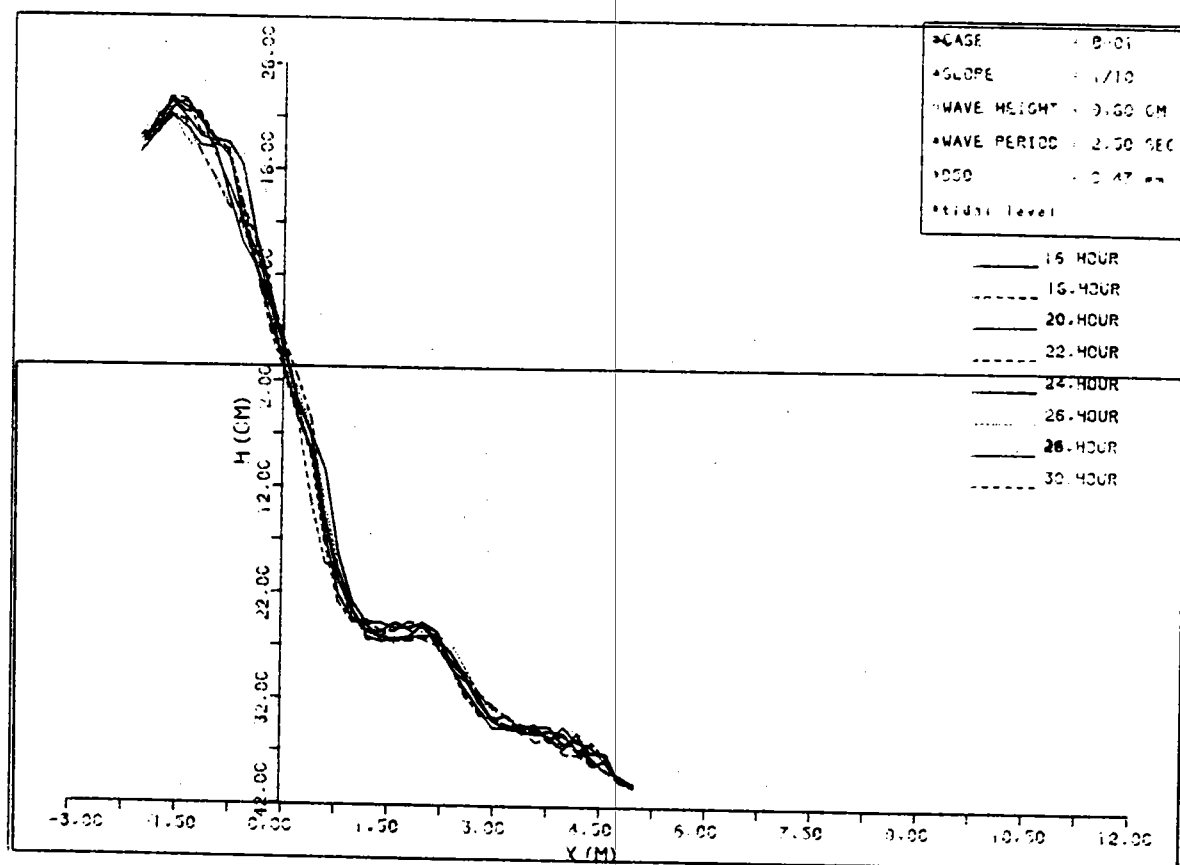
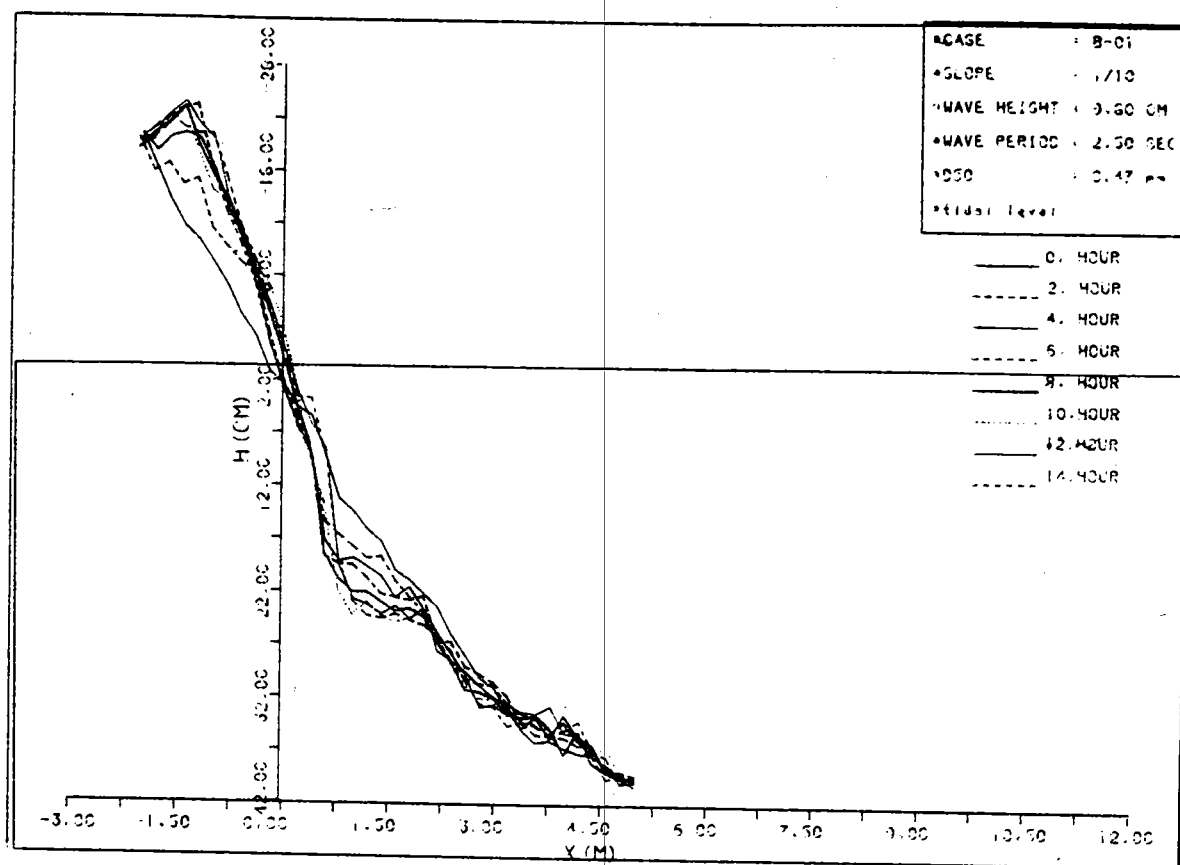


圖 5.36 CASE B 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.47\text{mm}$)

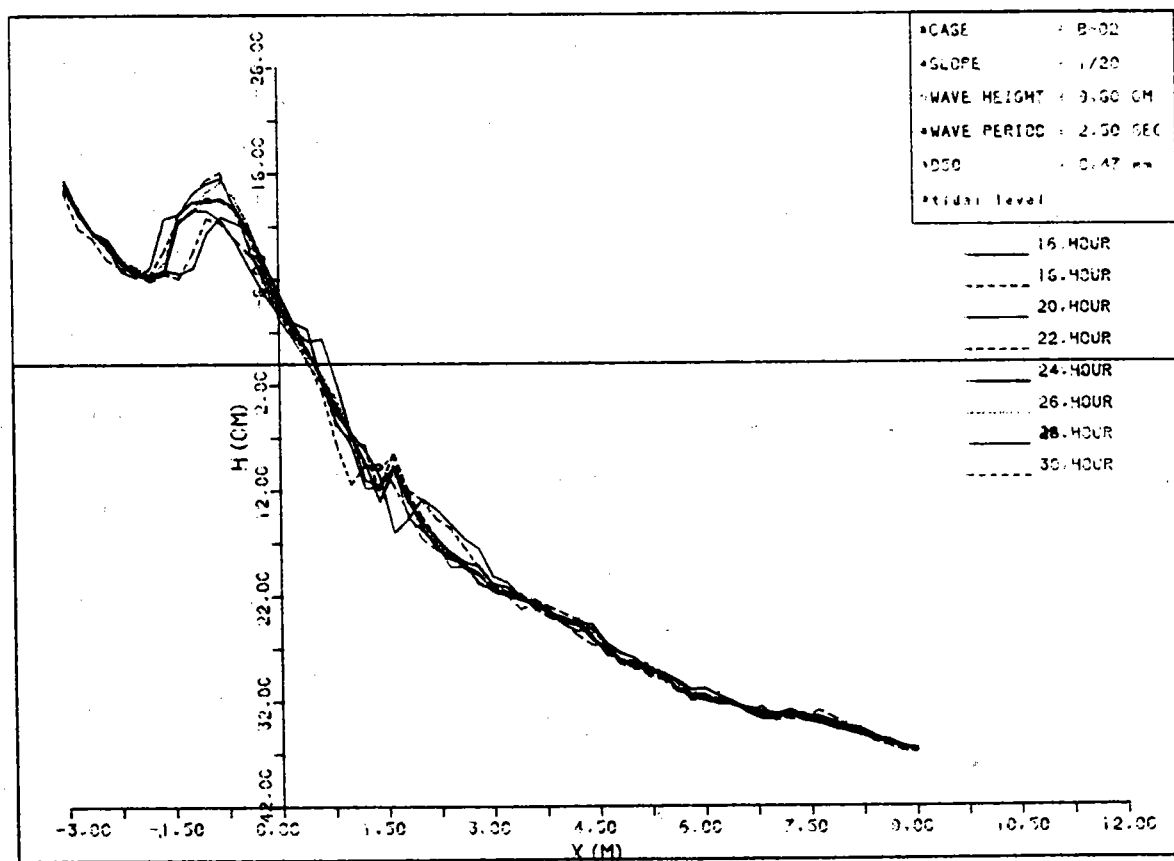
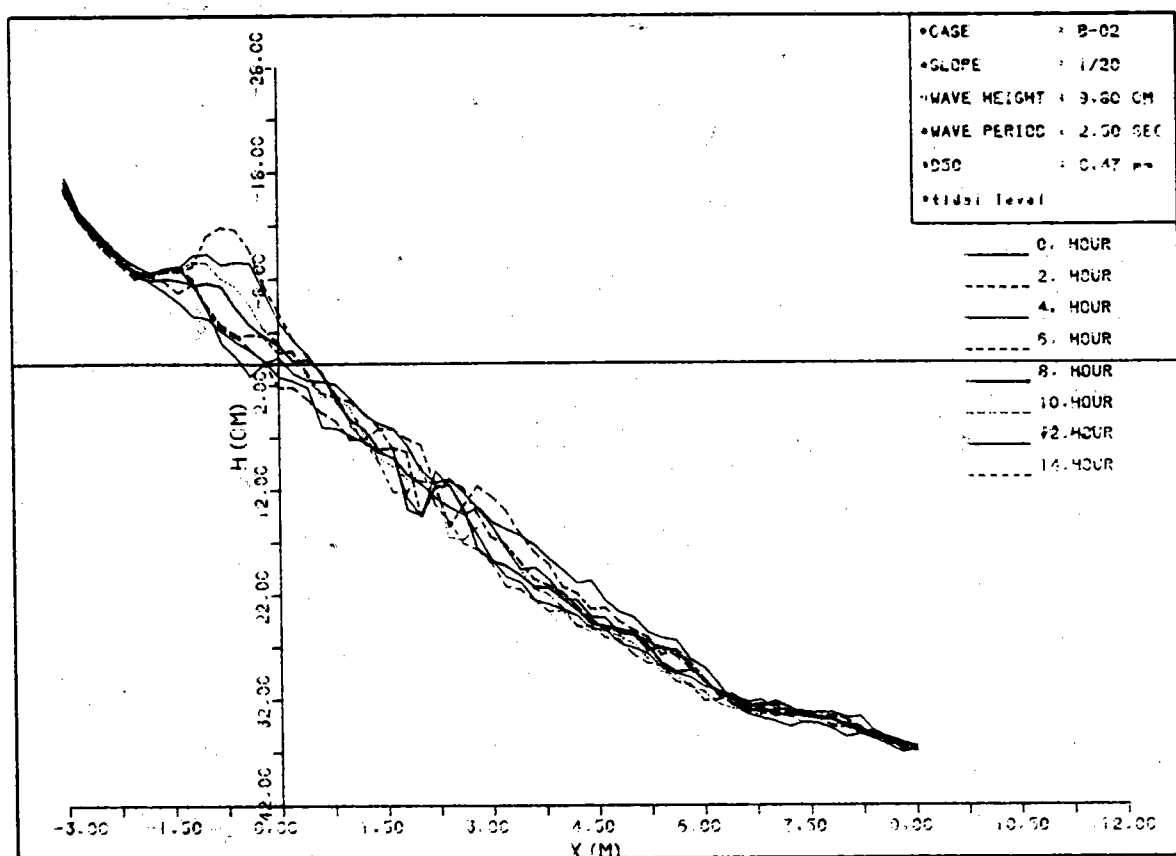


圖 5.37 CASE B 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.47\text{mm}$)

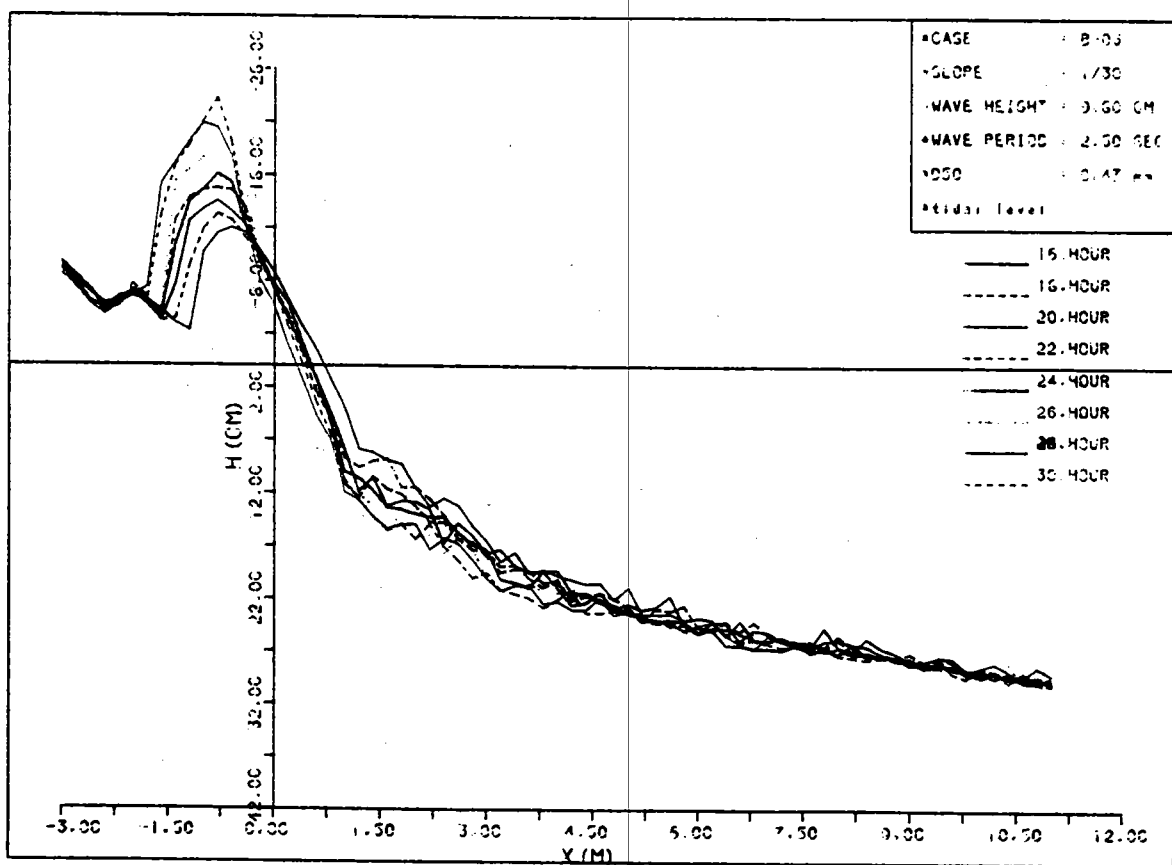
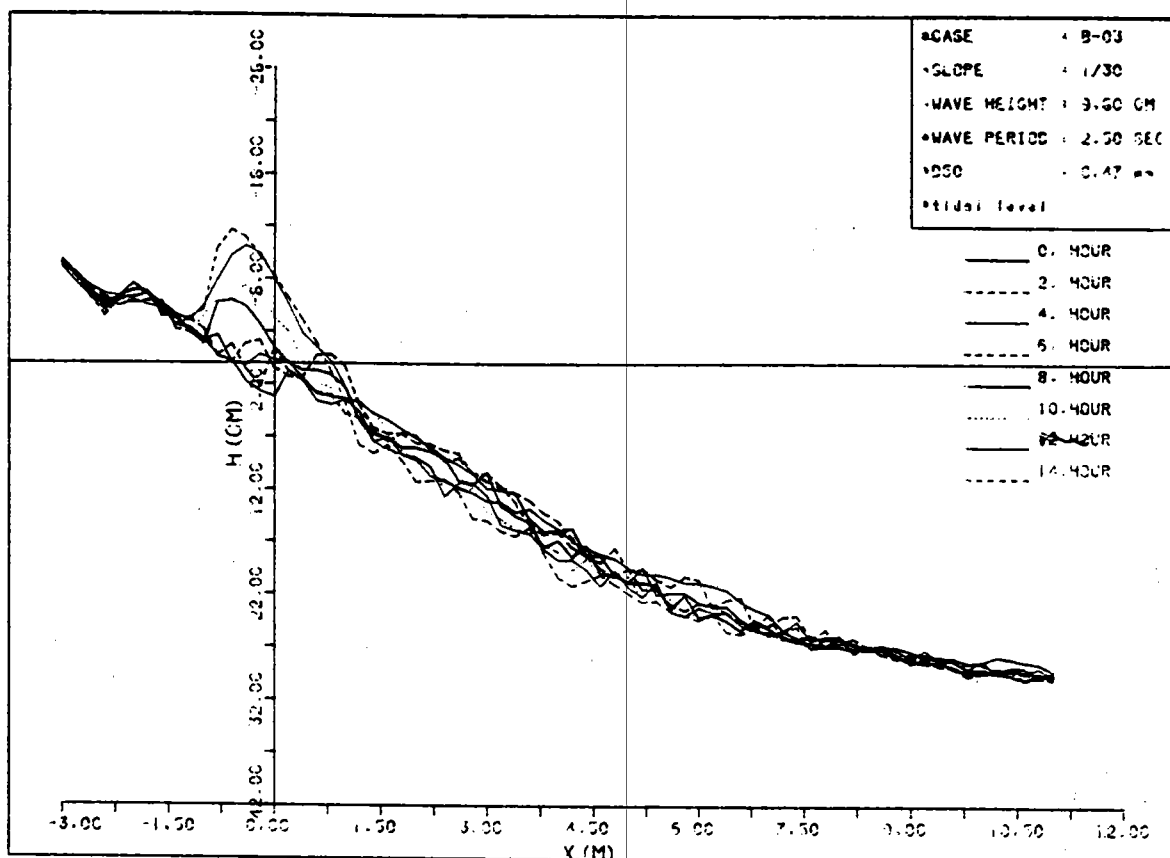


圖 5.38 CASE B 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.47\text{mm}$)

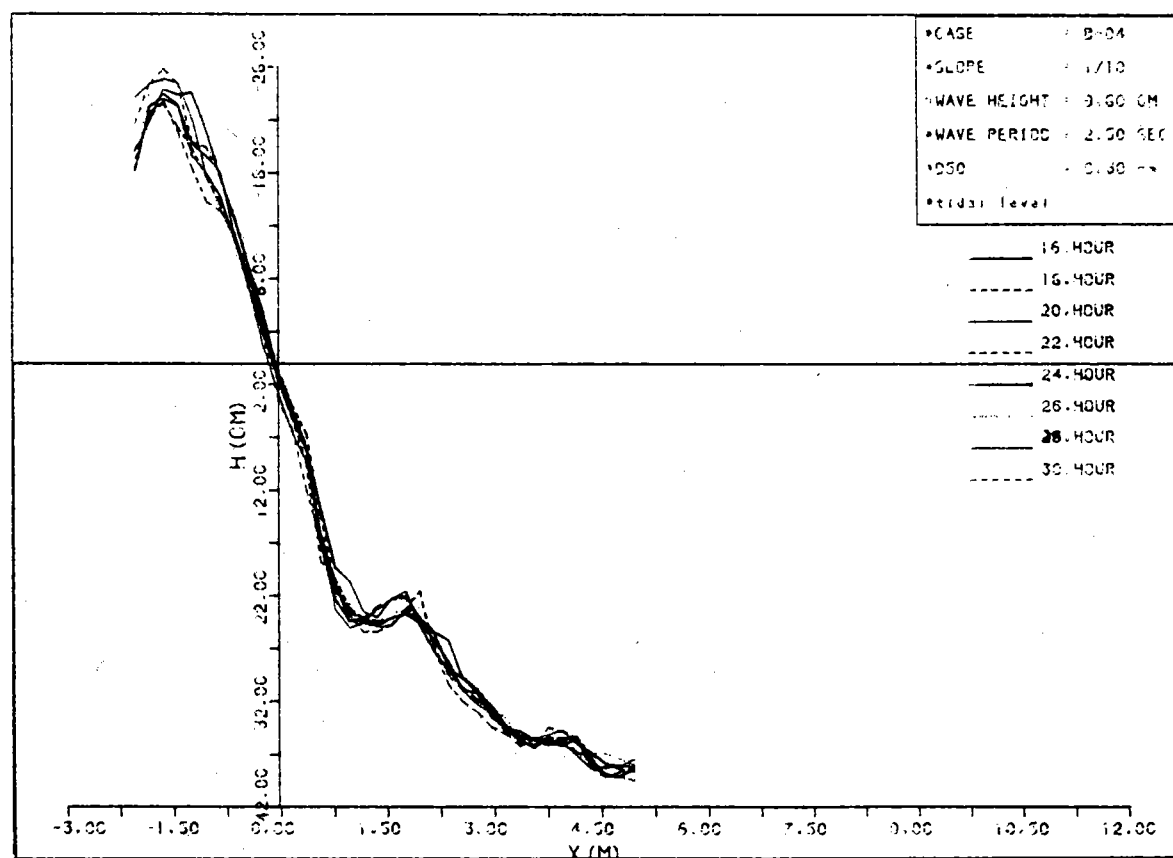
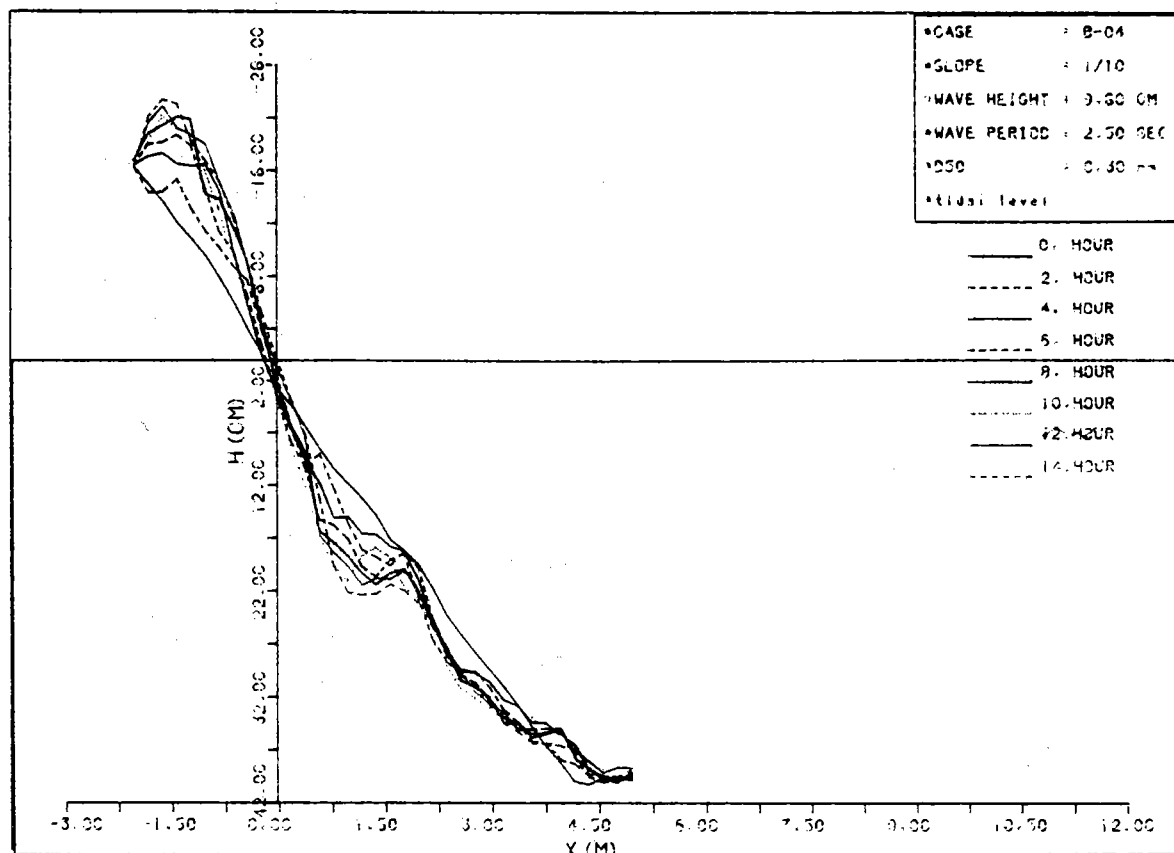


圖 5.39 CASE B 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

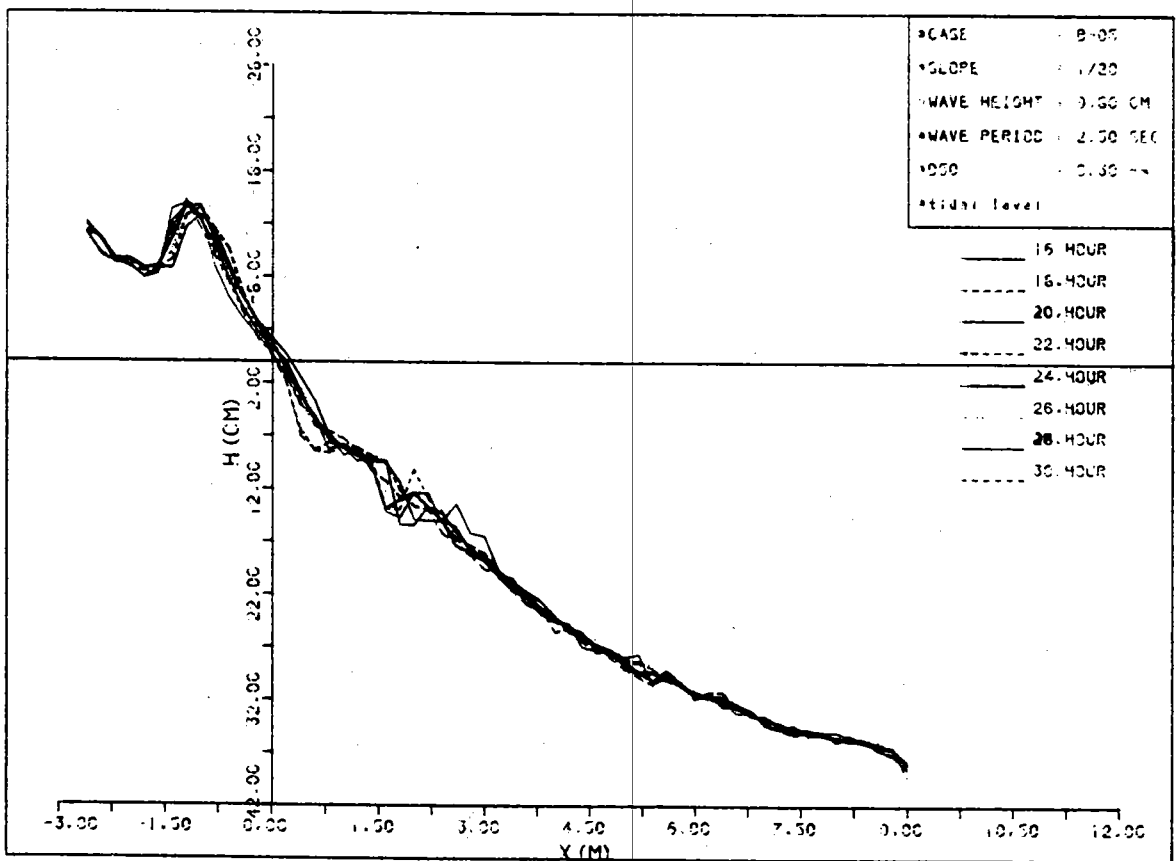
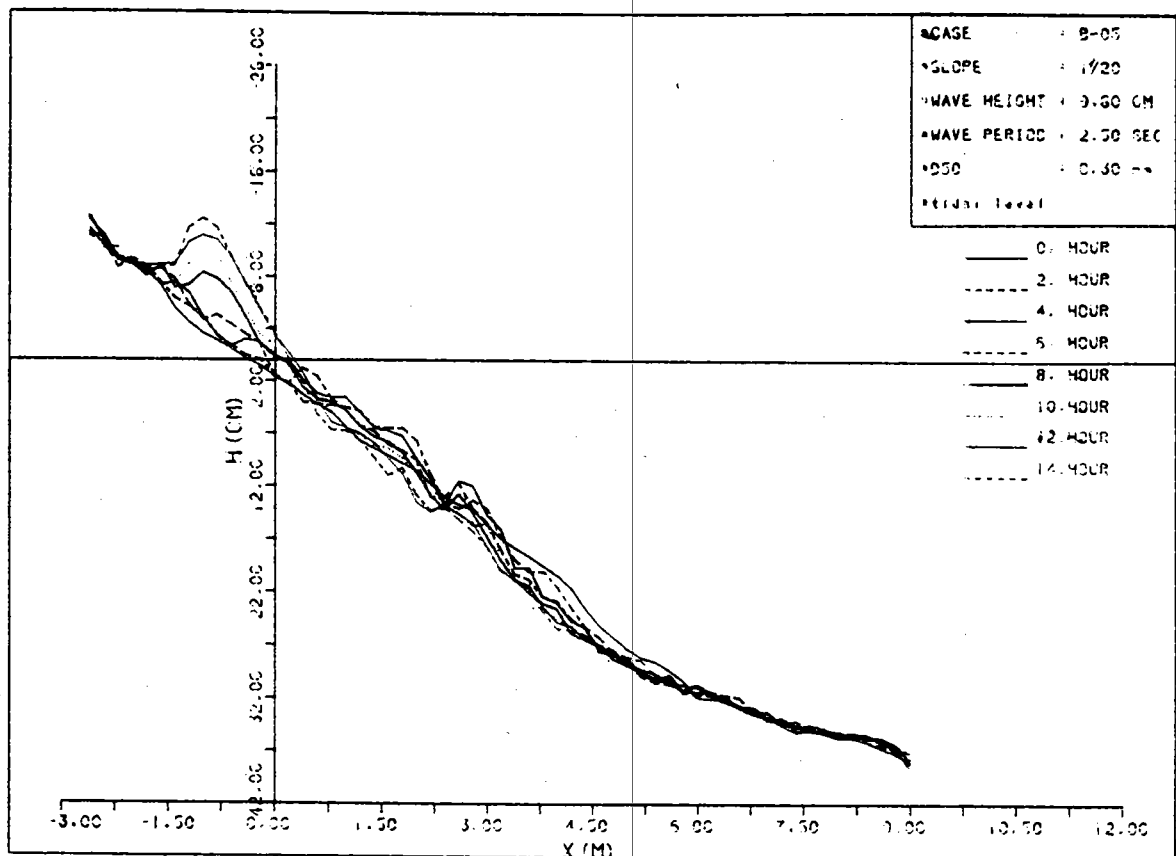


圖 5.40 CASE B 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

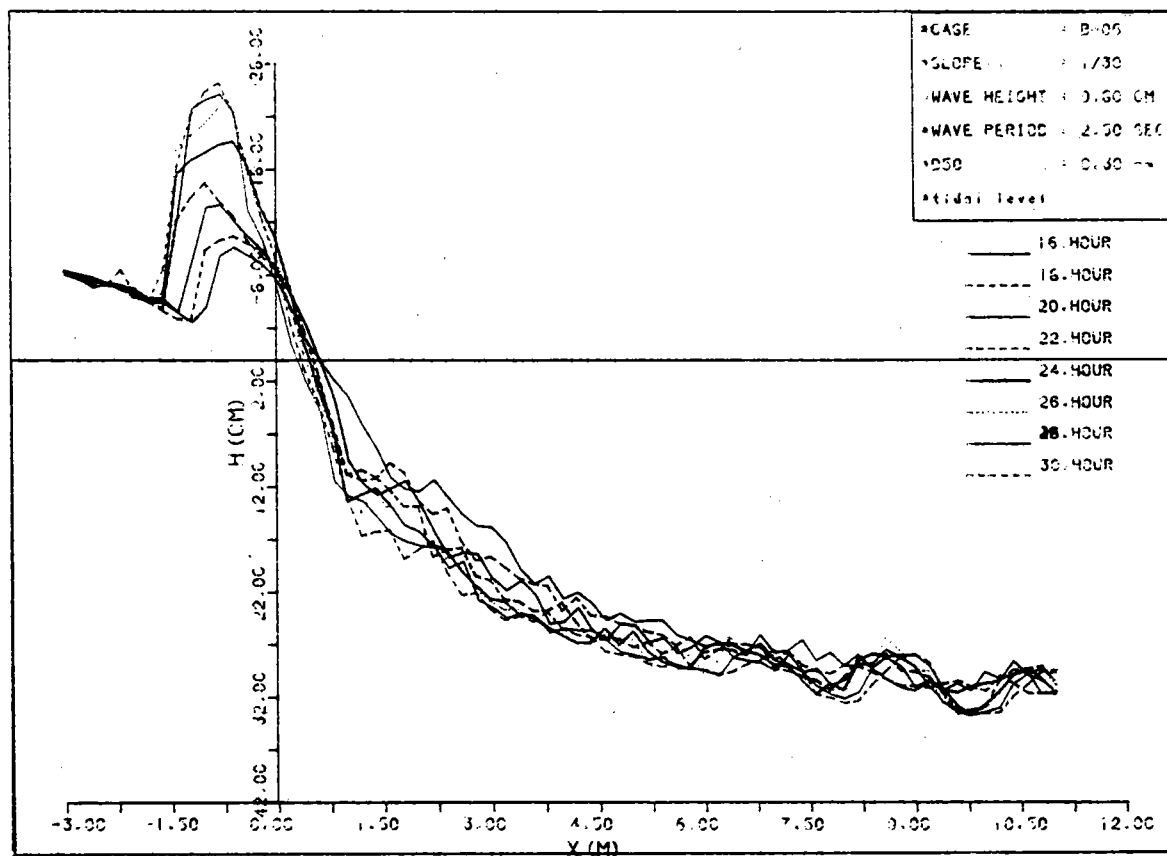
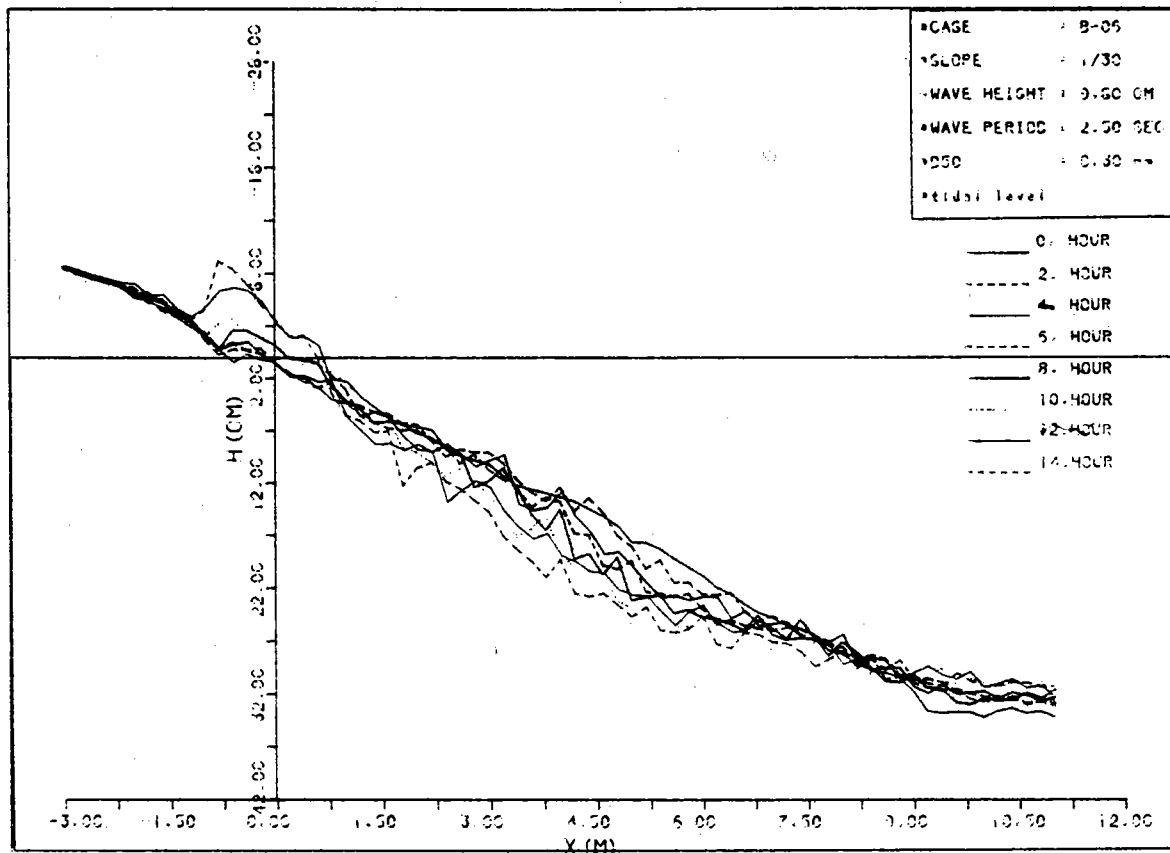


圖 5.41 CASE B 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.30\text{mm}$)

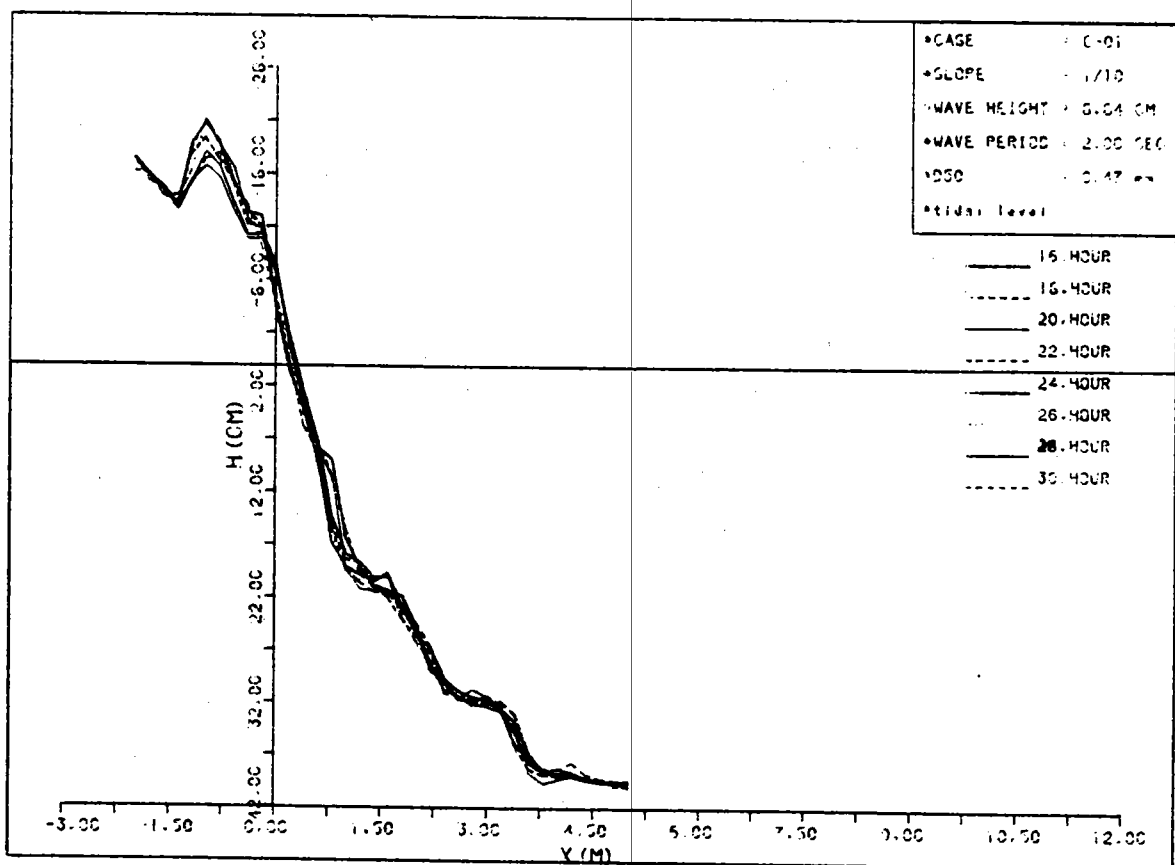
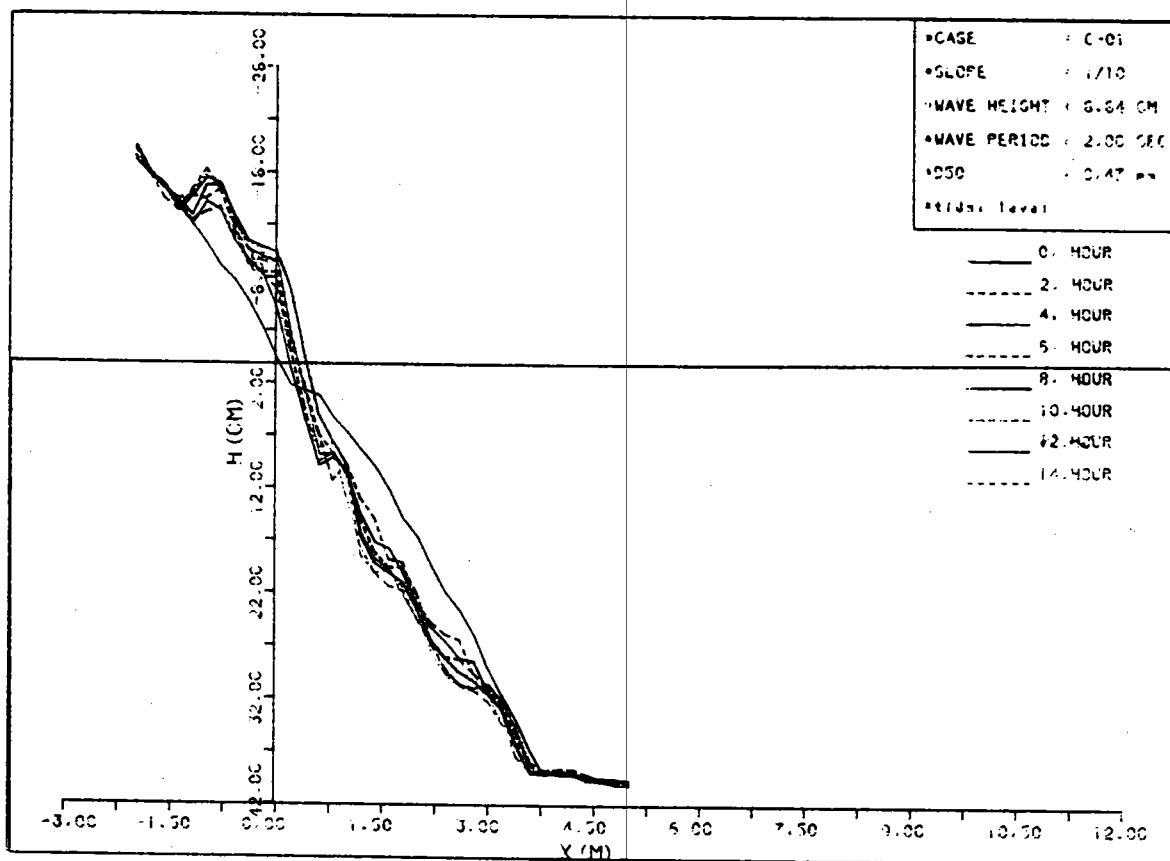


圖 5.42 CASE C 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.47\text{mm}$)

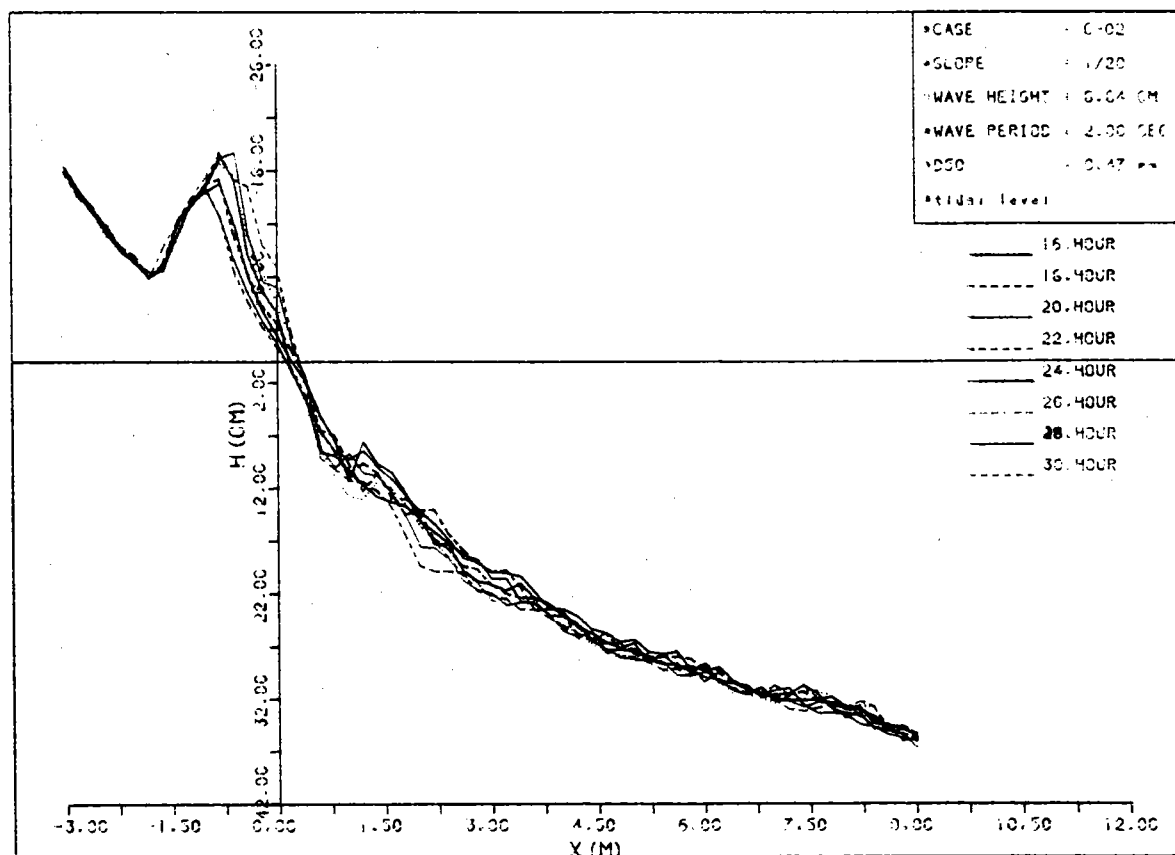
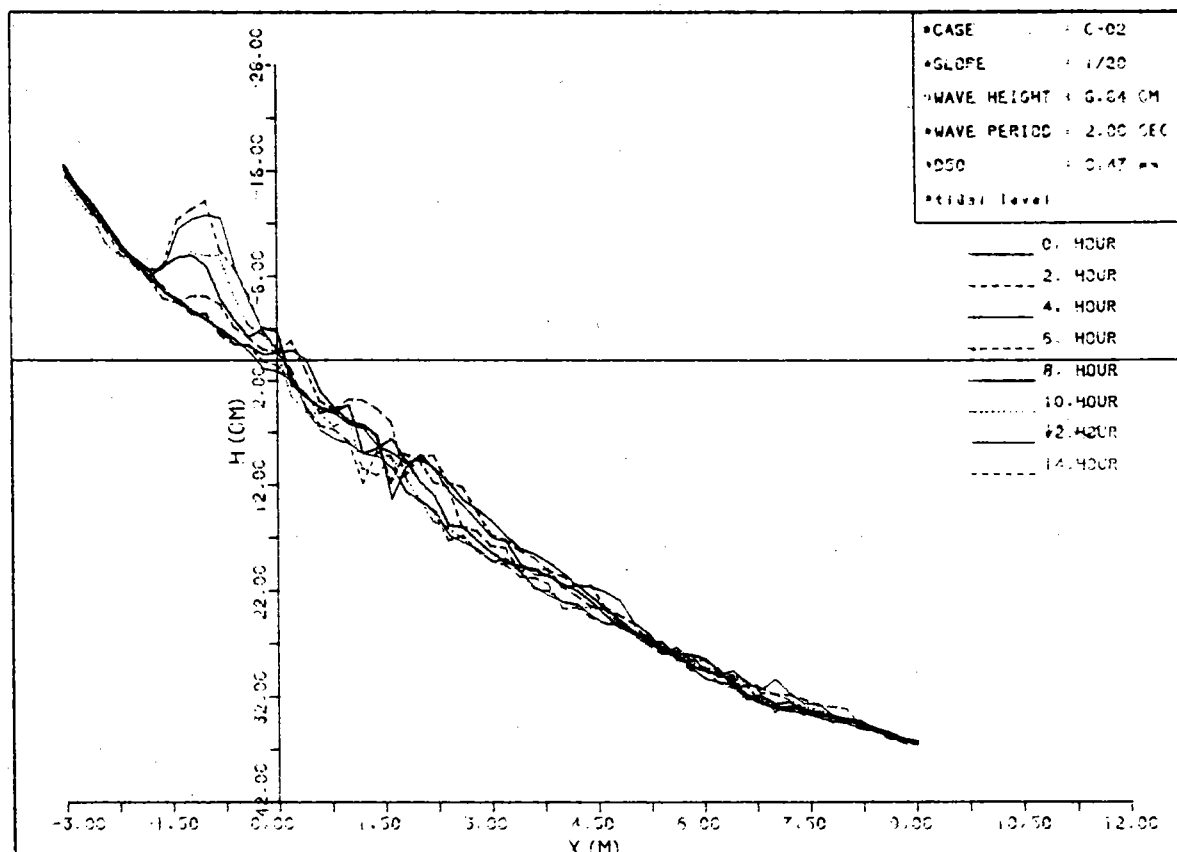


圖 5.43 CASE C 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.47\text{mm}$)

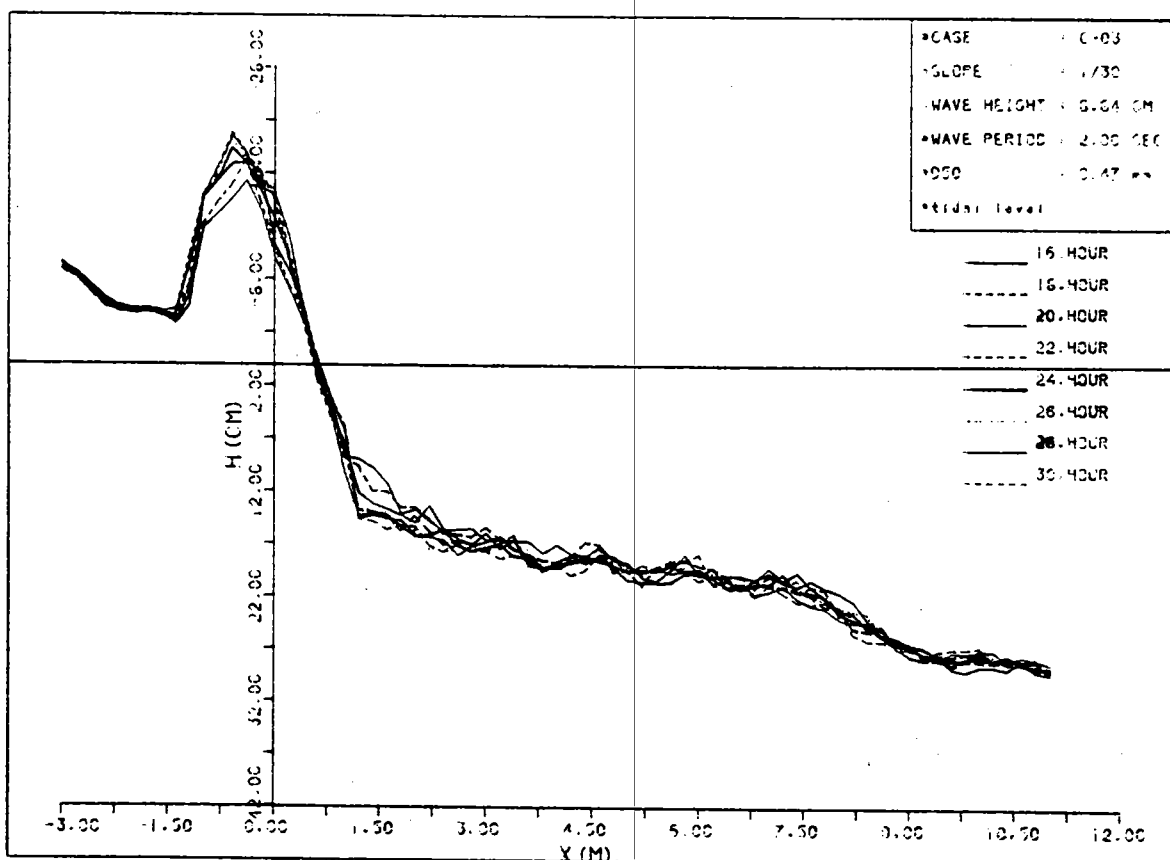
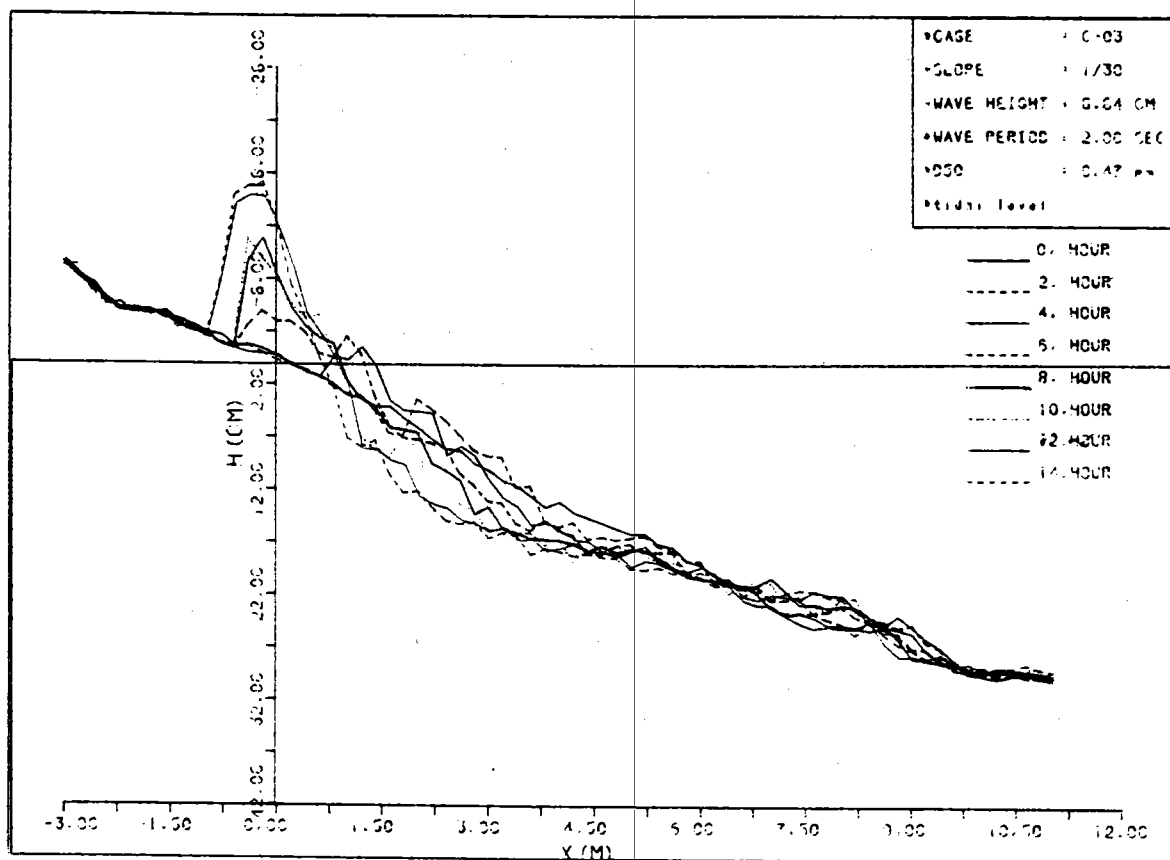


圖 5.44 CASE C 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.47\text{mm}$)

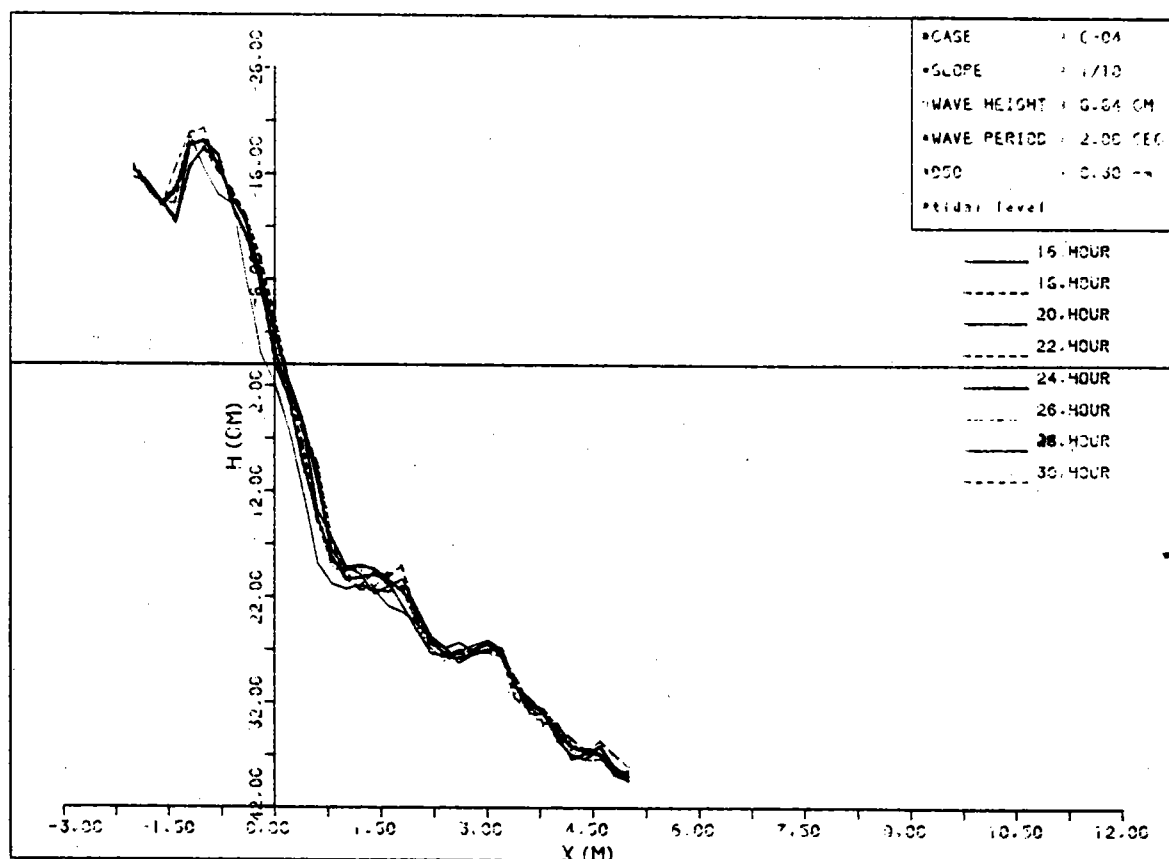
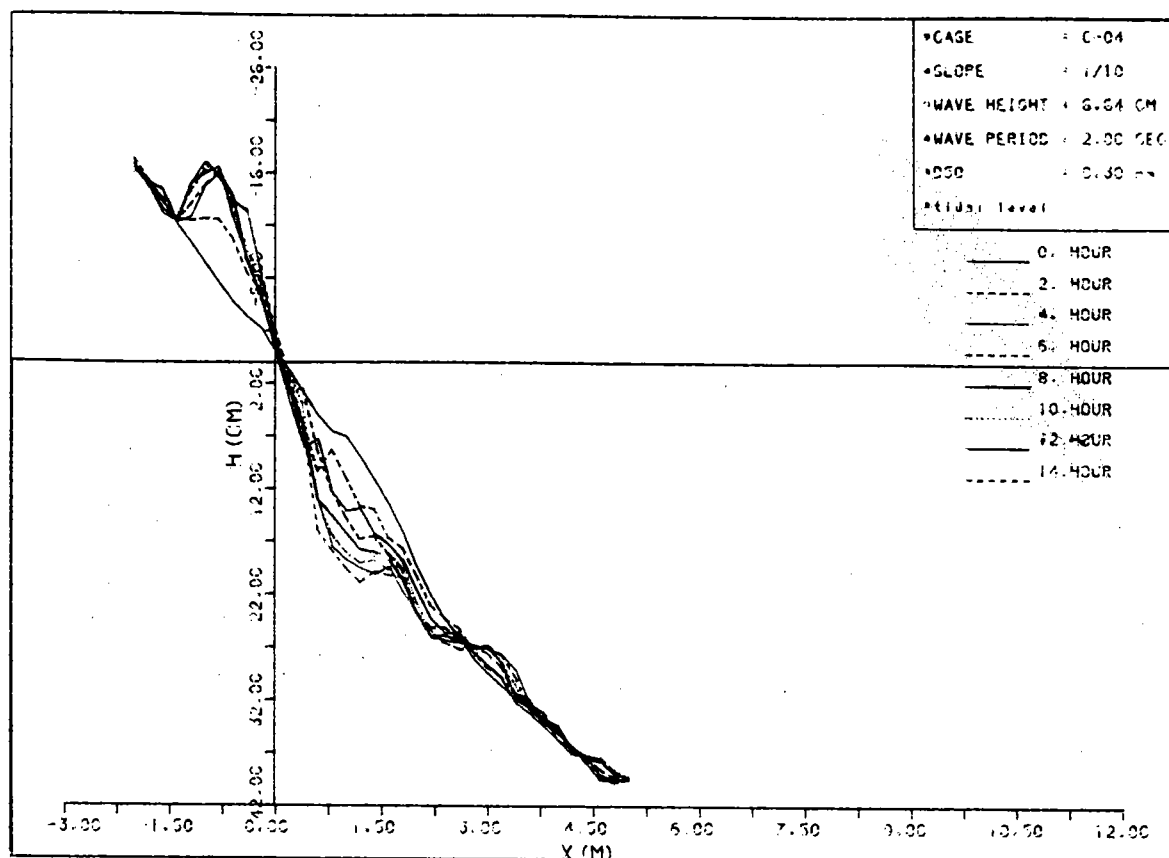


圖 5.45 CASE C 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

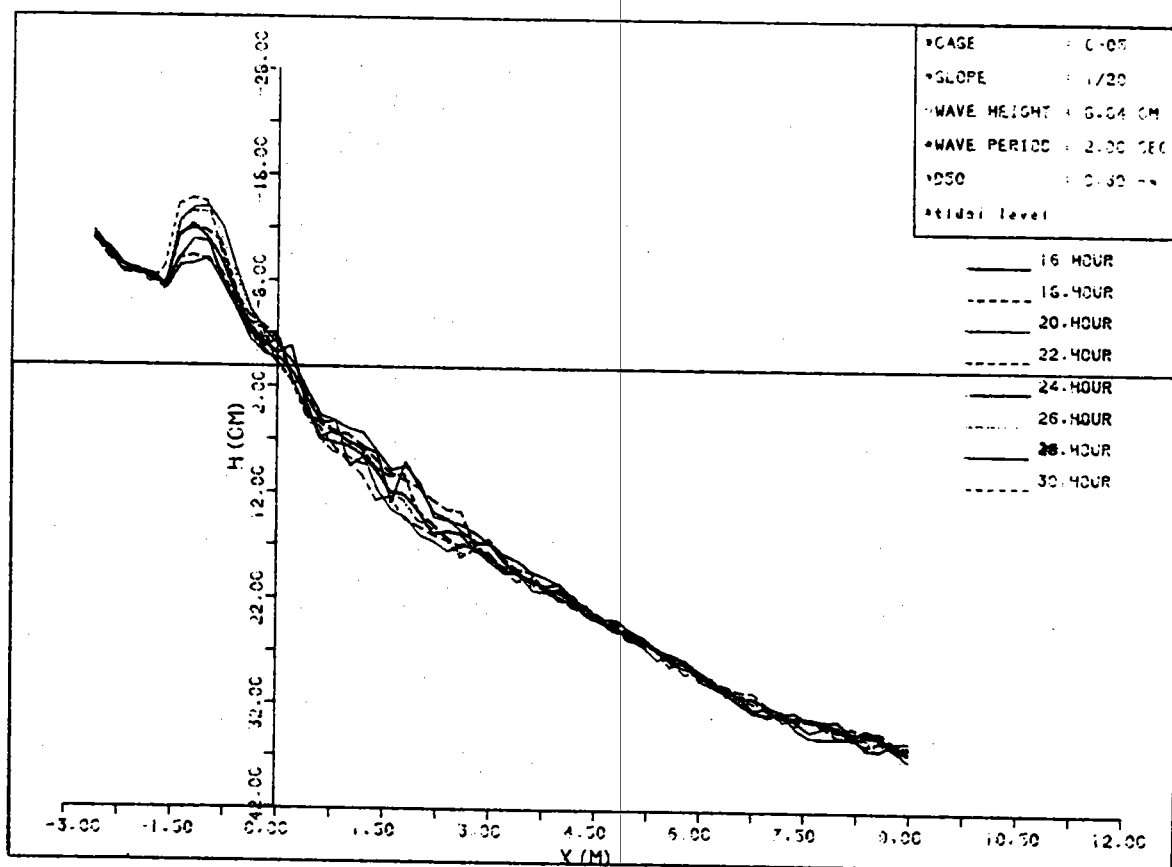
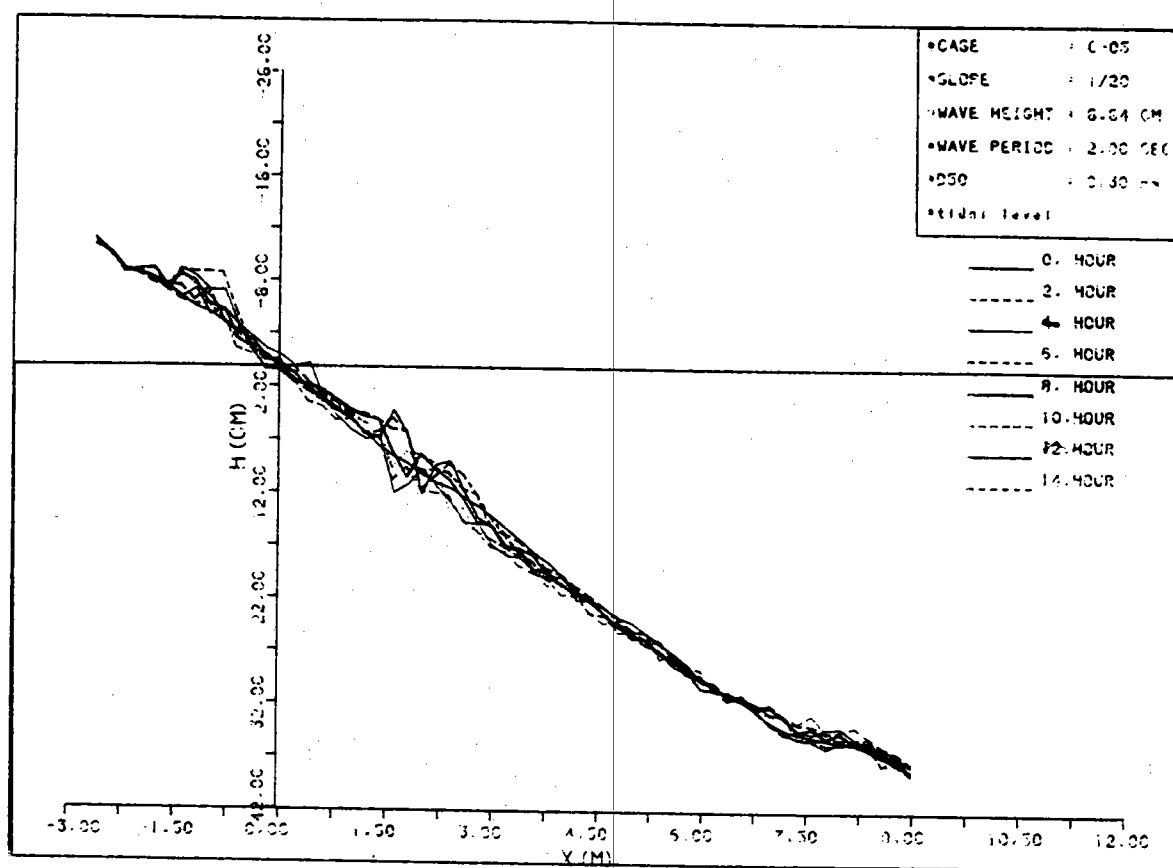


圖 5.46 CASE C 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

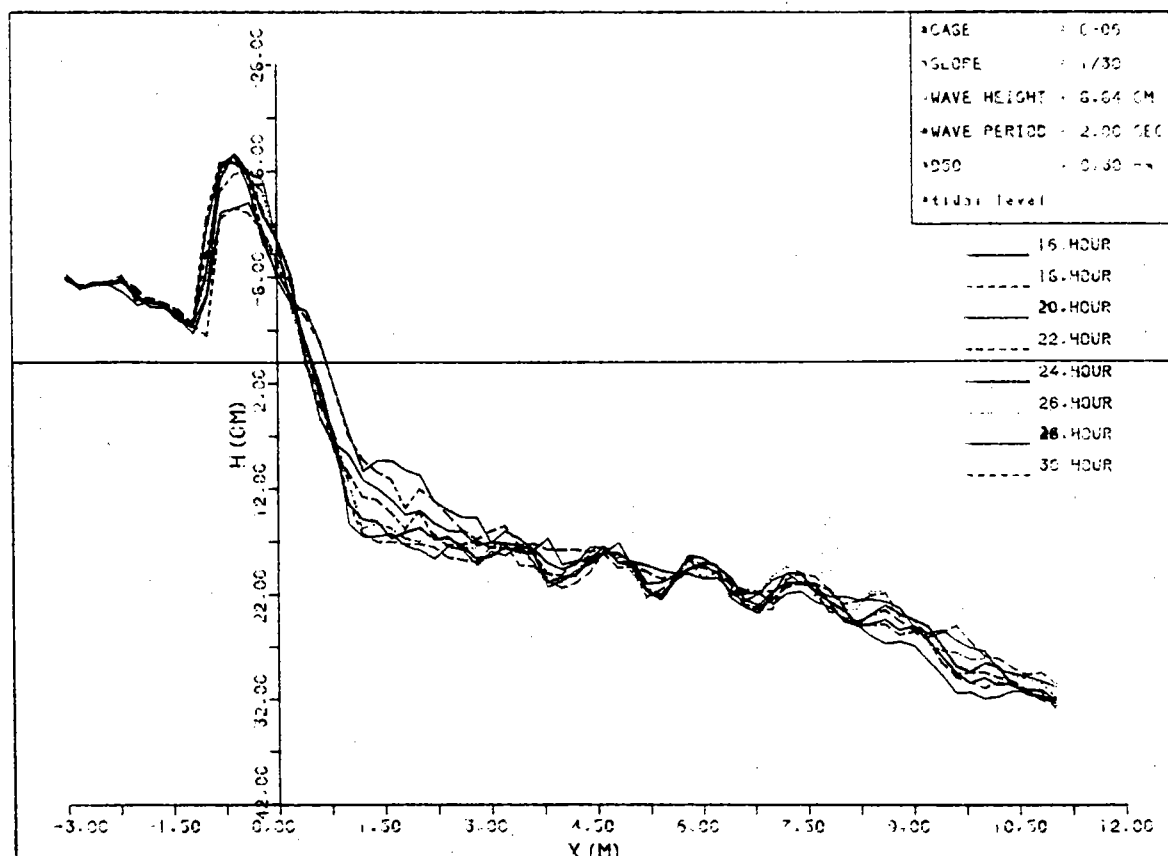
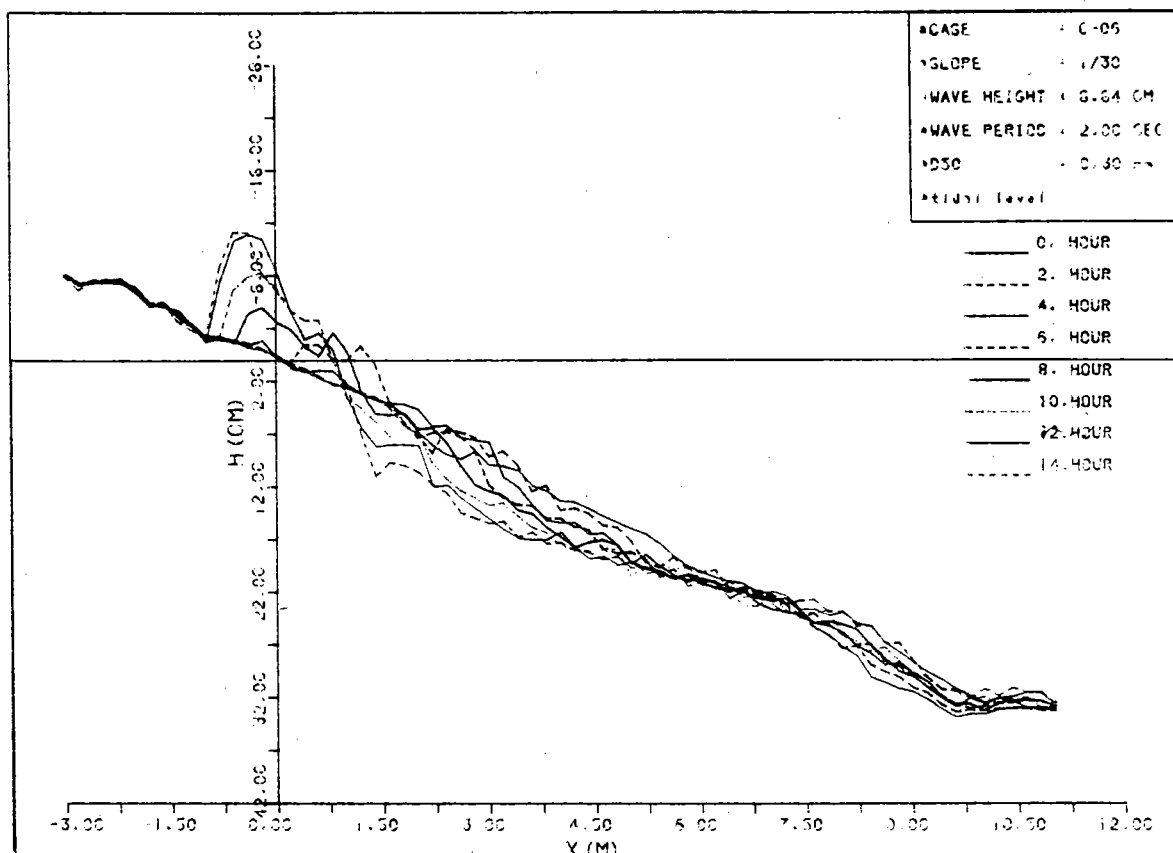


圖 5.47 CASE C 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.30\text{mm}$)

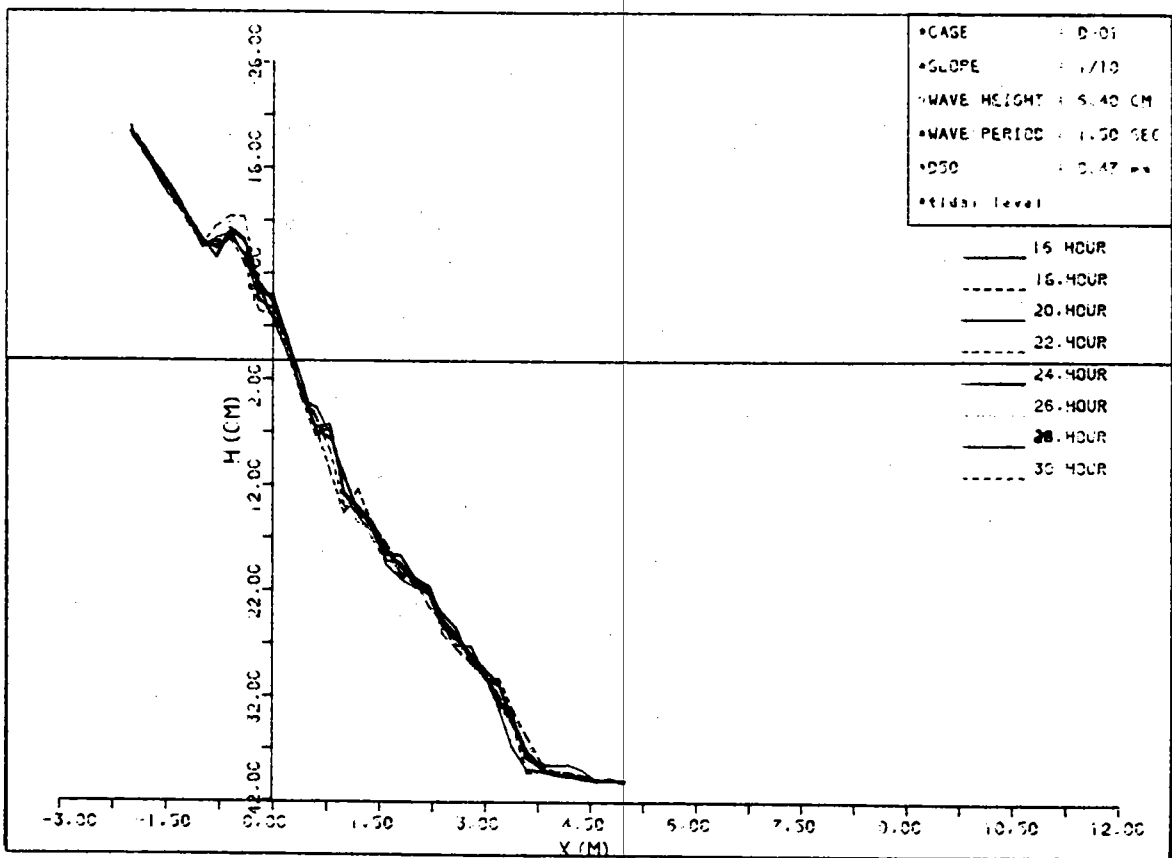
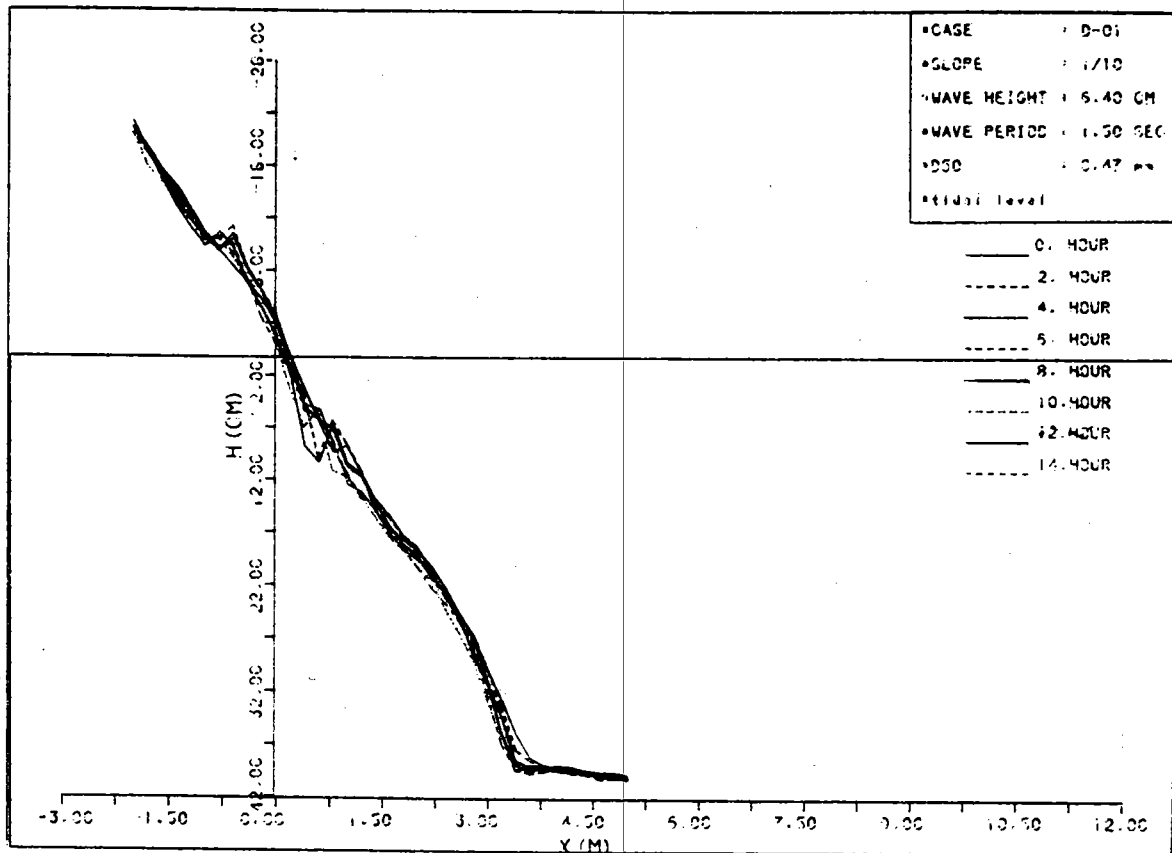


圖 5.48 CASE D 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.47\text{mm}$)

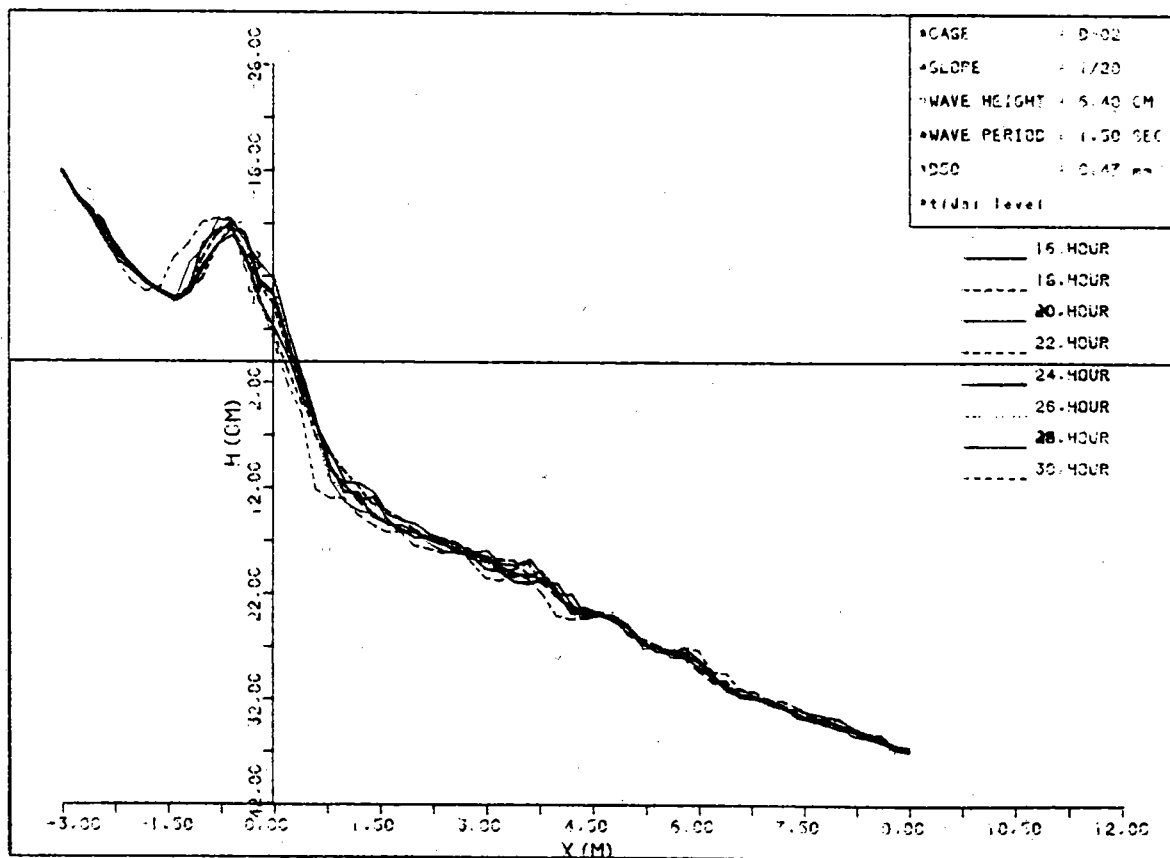
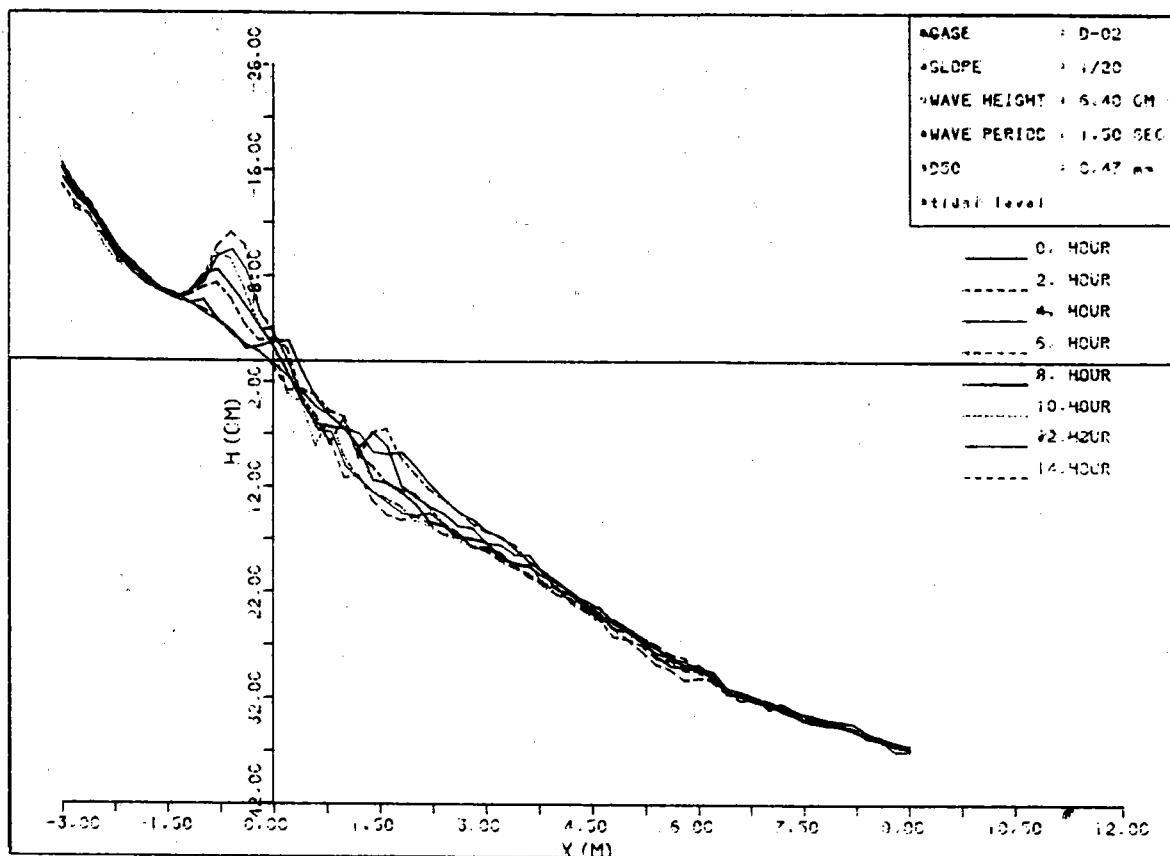


圖 5.49 CASE D 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.47\text{mm}$)

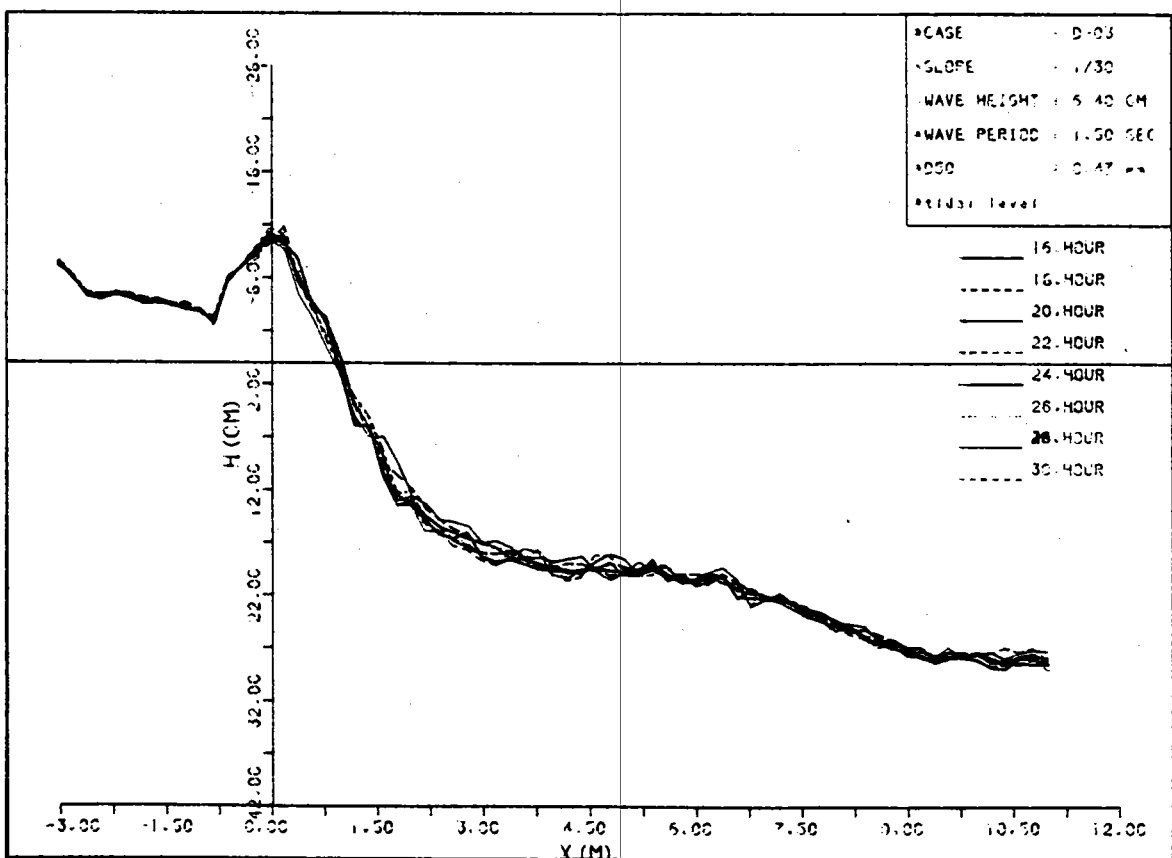
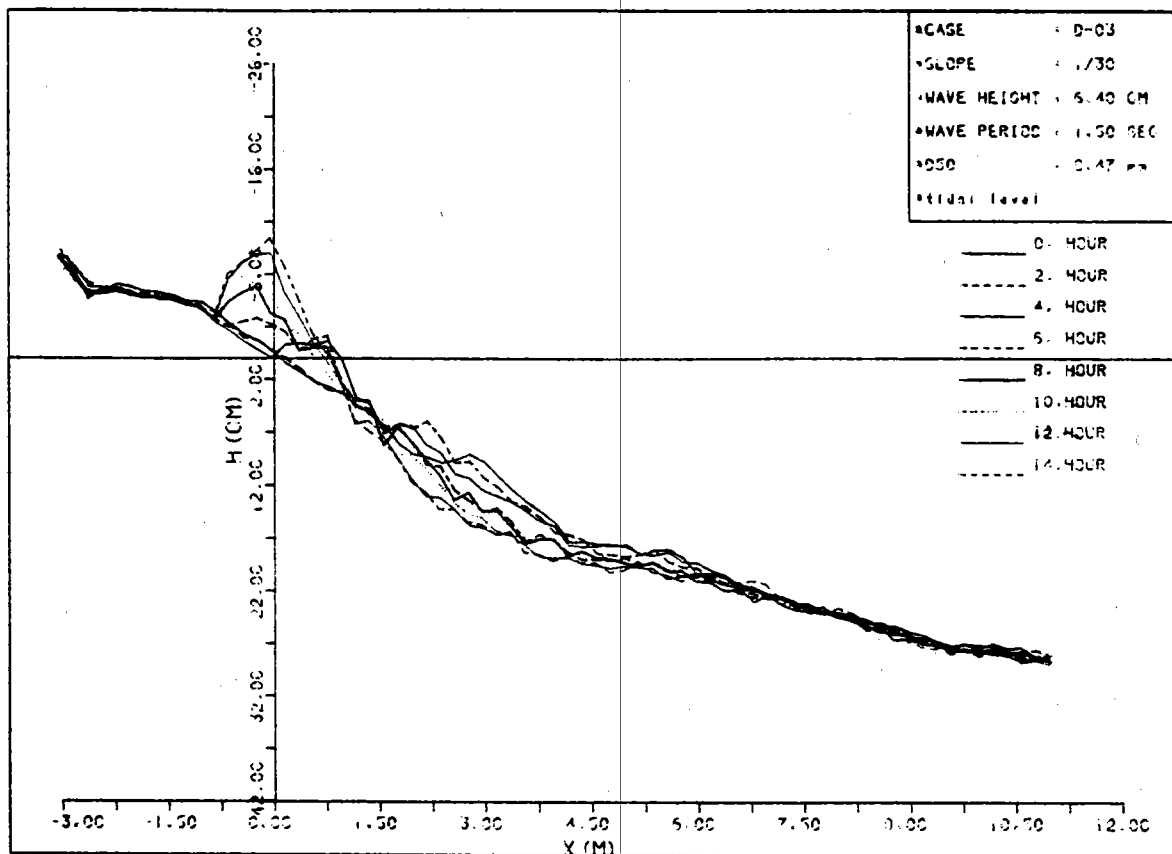


圖 5.50 CASE D 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.47\text{mm}$)

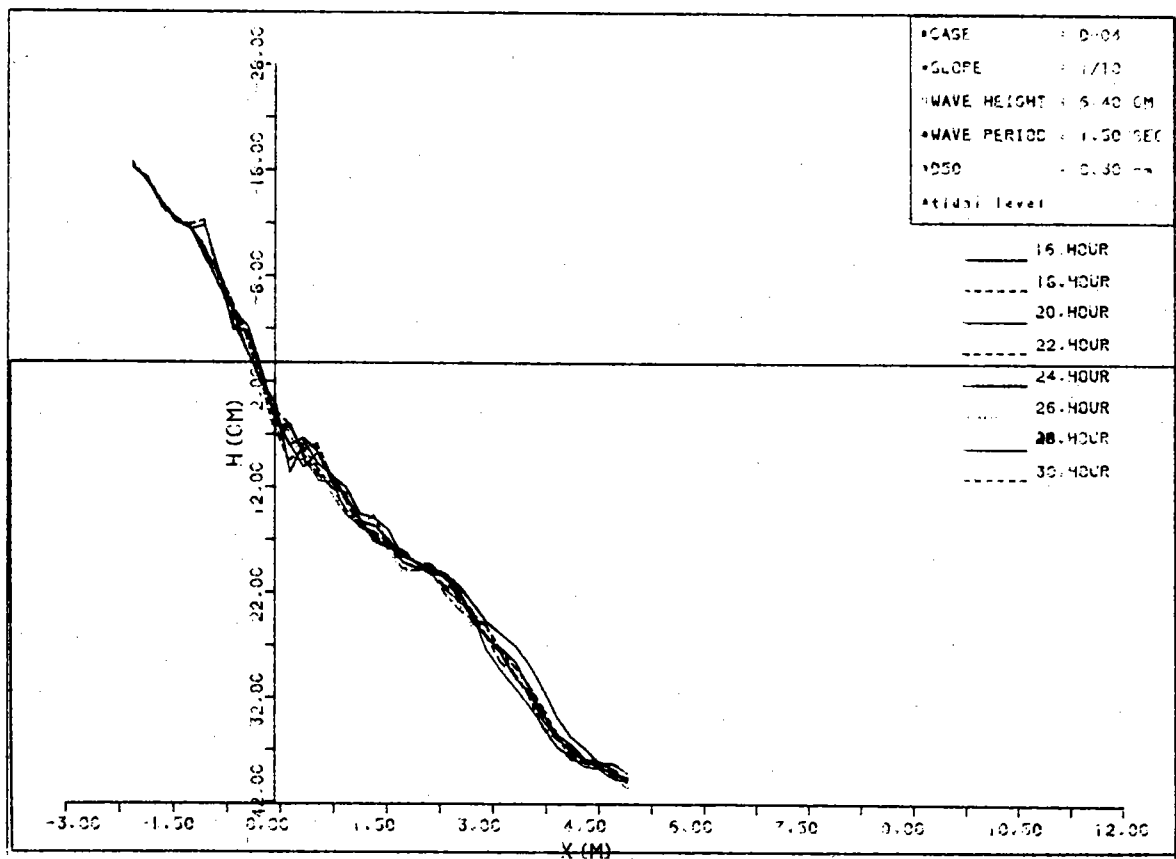
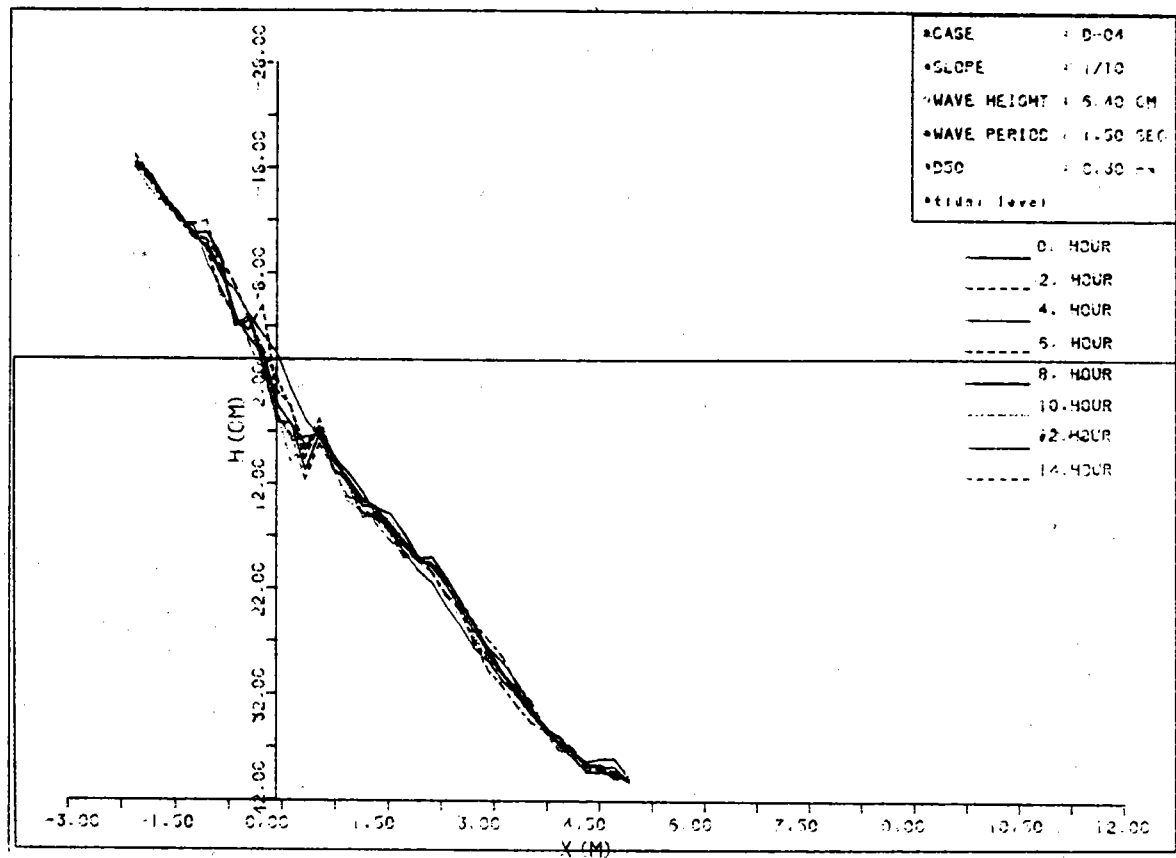


圖 5.51 CASE D 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

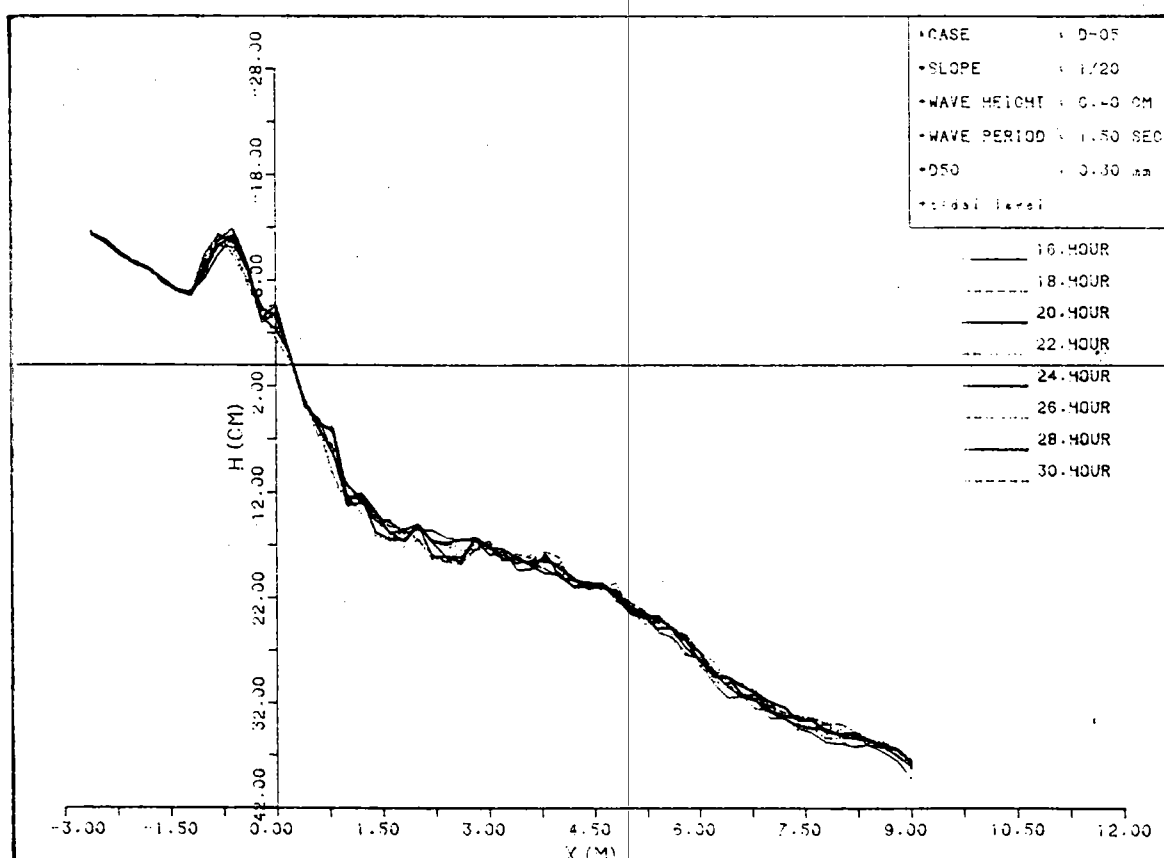
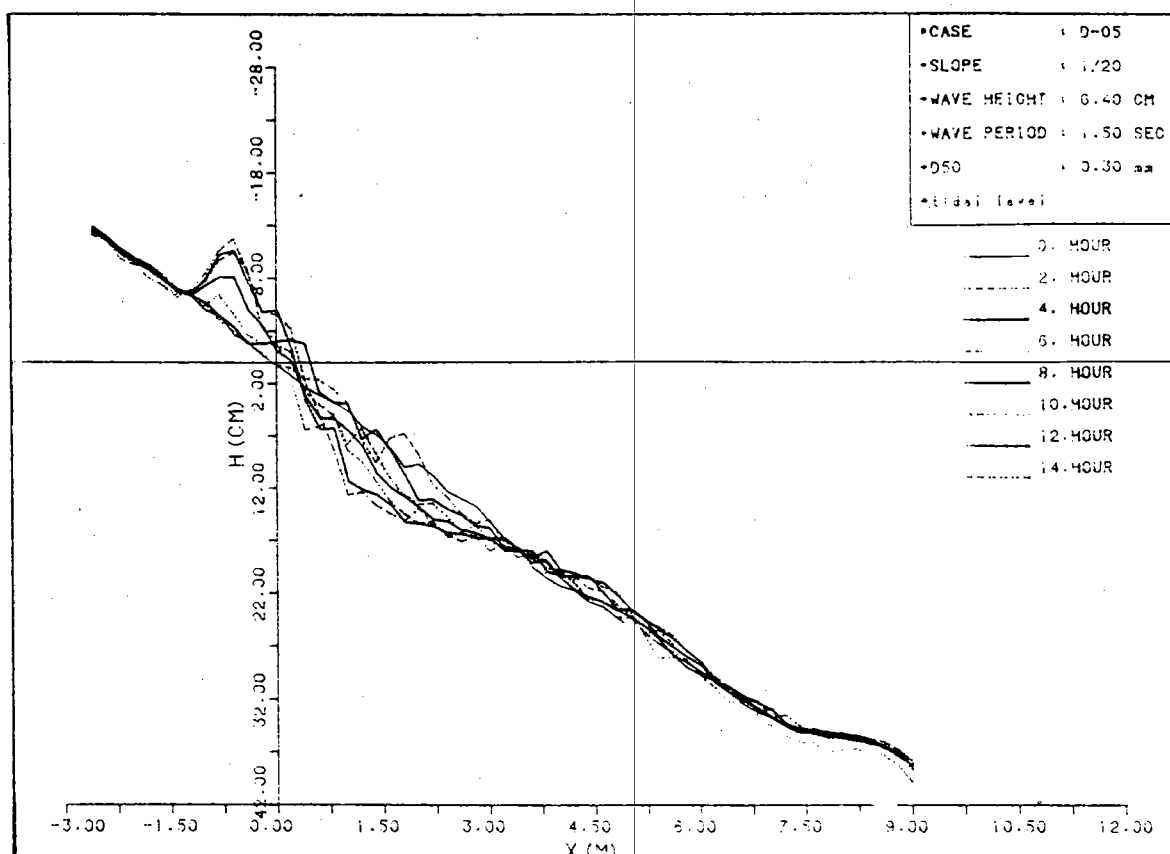


圖 5.52 CASE D 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

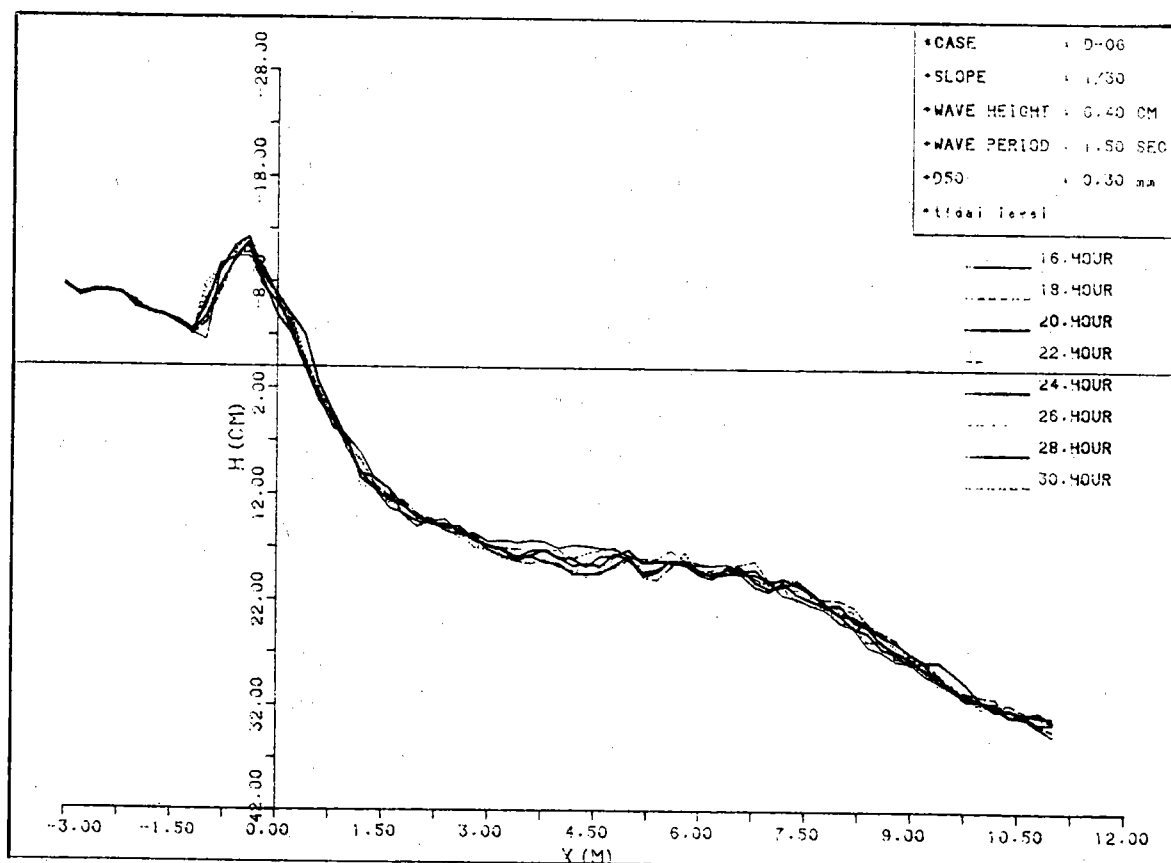
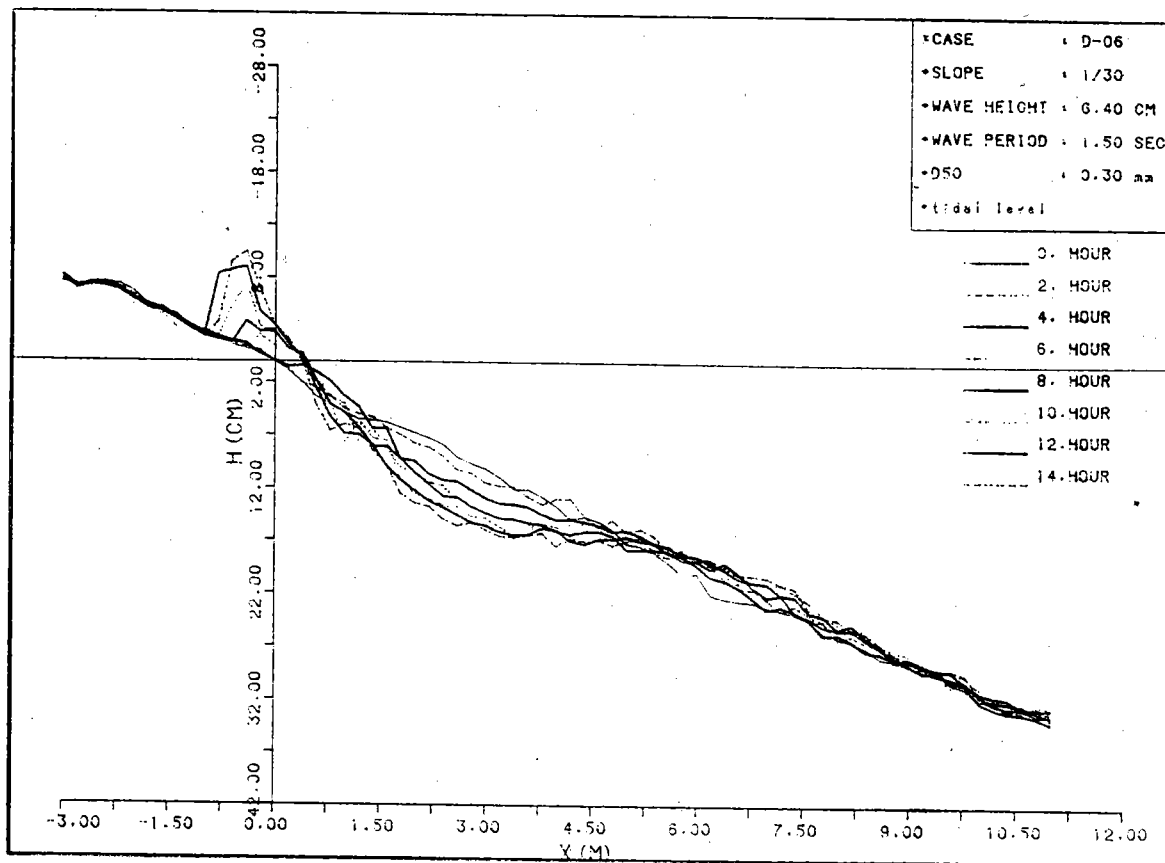


圖 5.53 CASE D 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.30\text{mm}$)

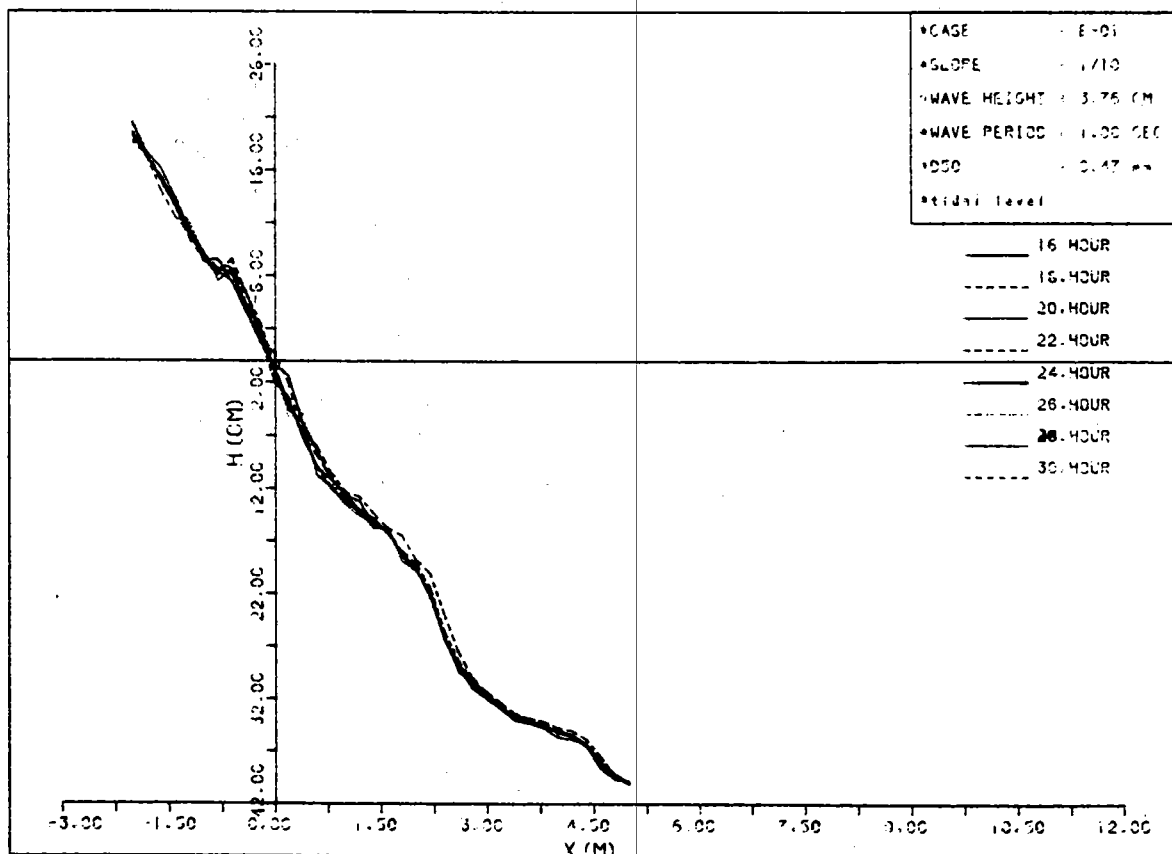
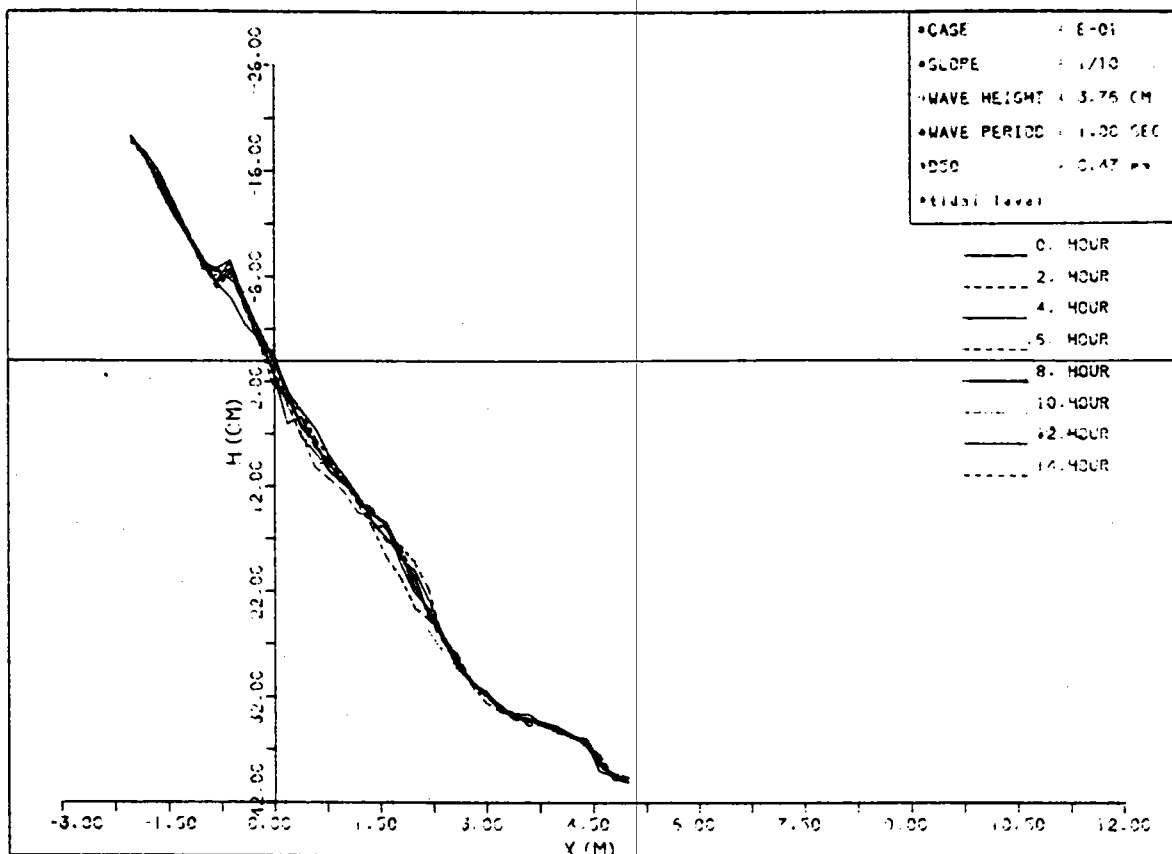


圖 5.54 CASE E 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.47\text{mm}$)

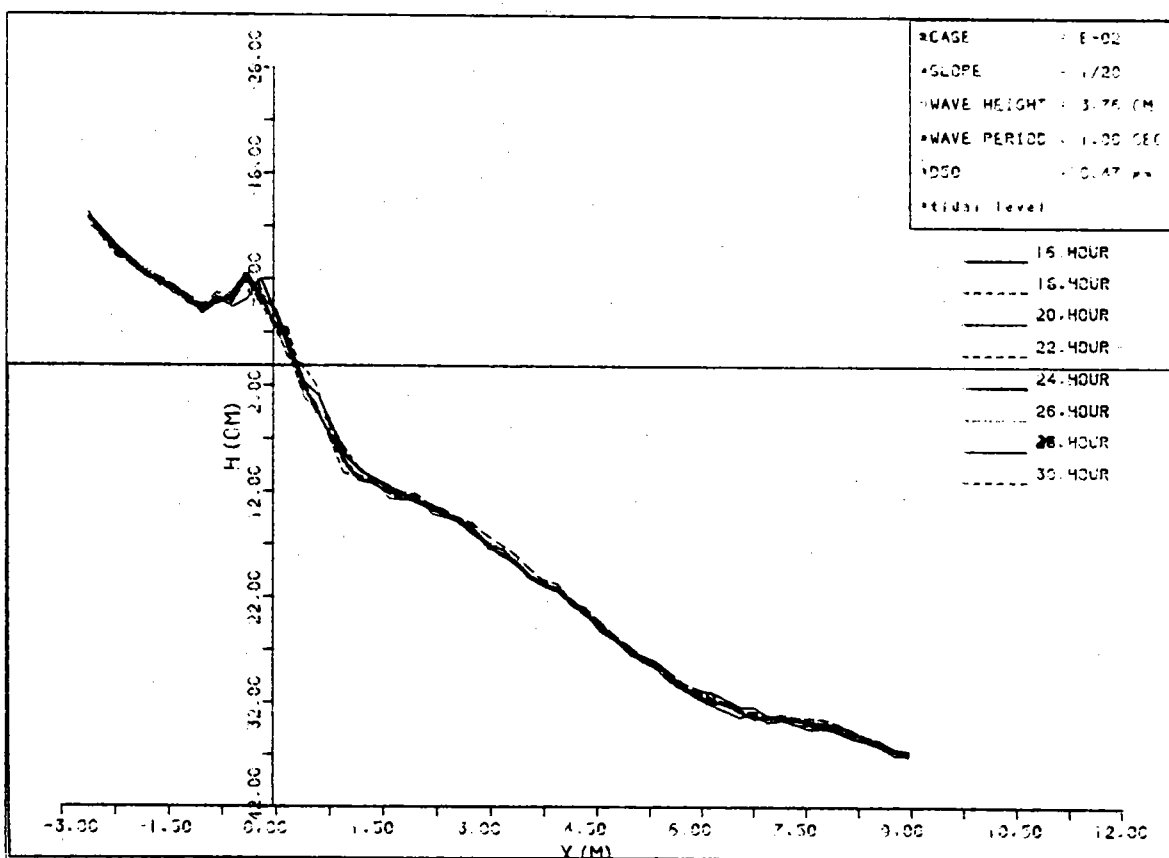
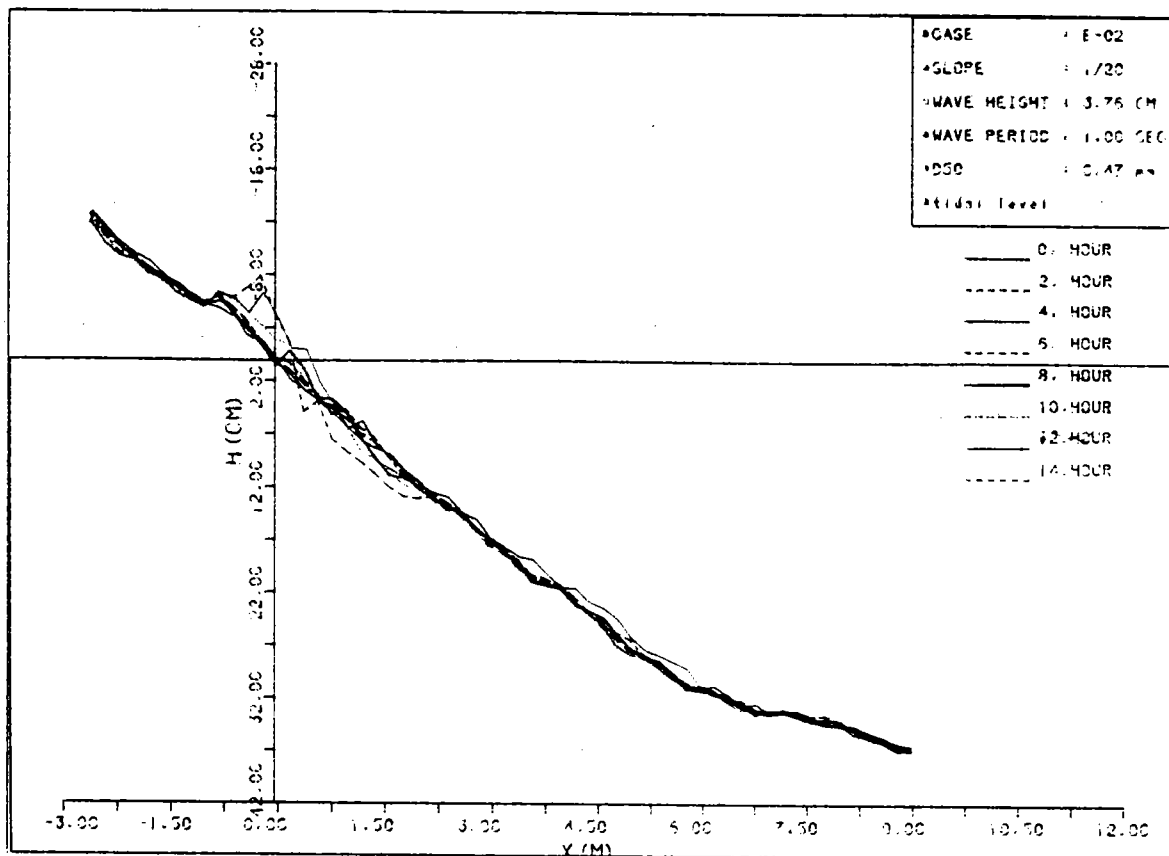


圖 5.55 CASE E 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.47\text{mm}$)

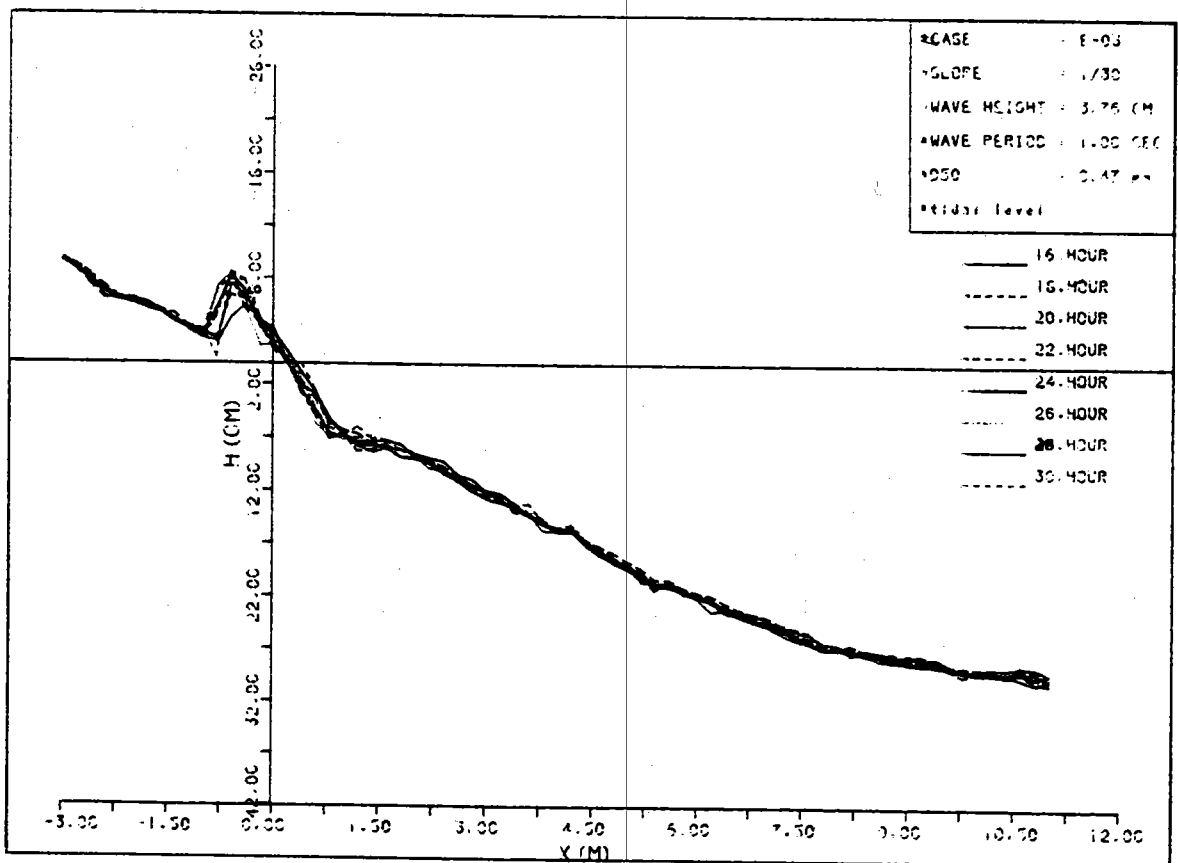
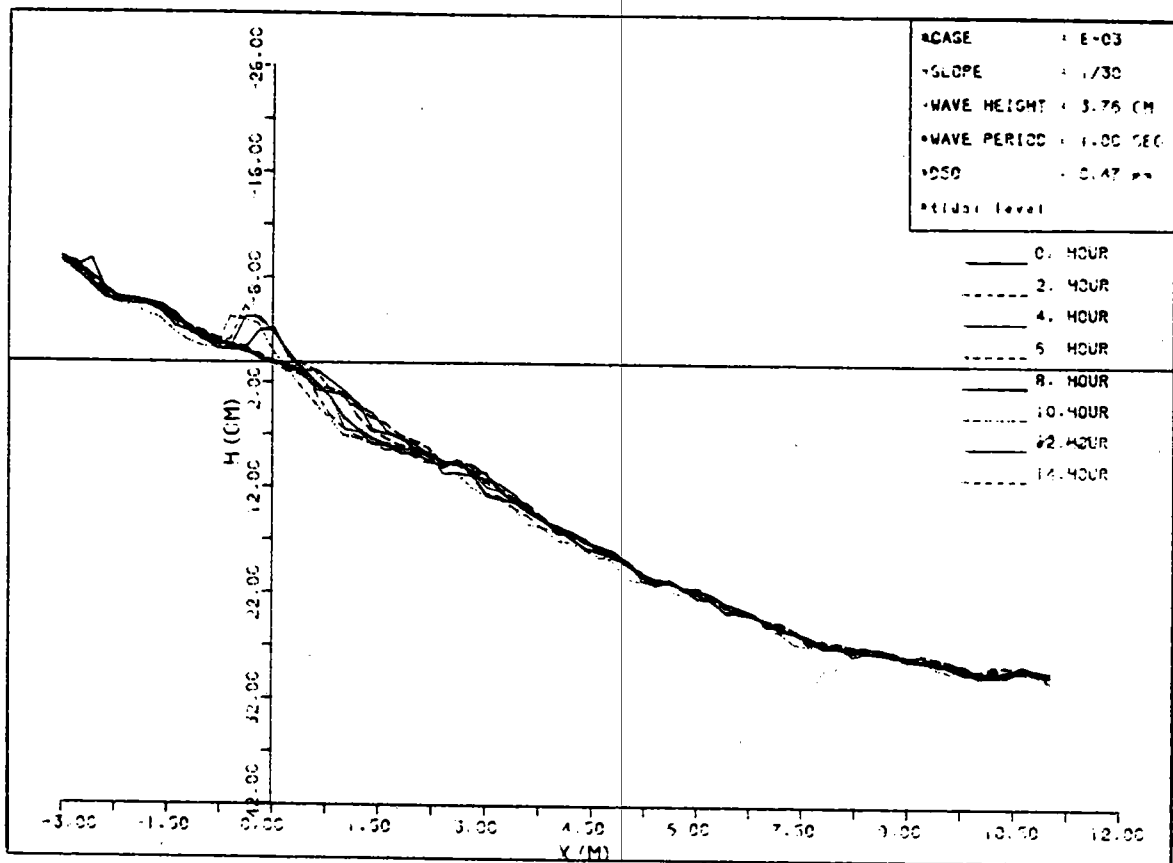


圖 5.56 CASE E 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.47\text{mm}$)

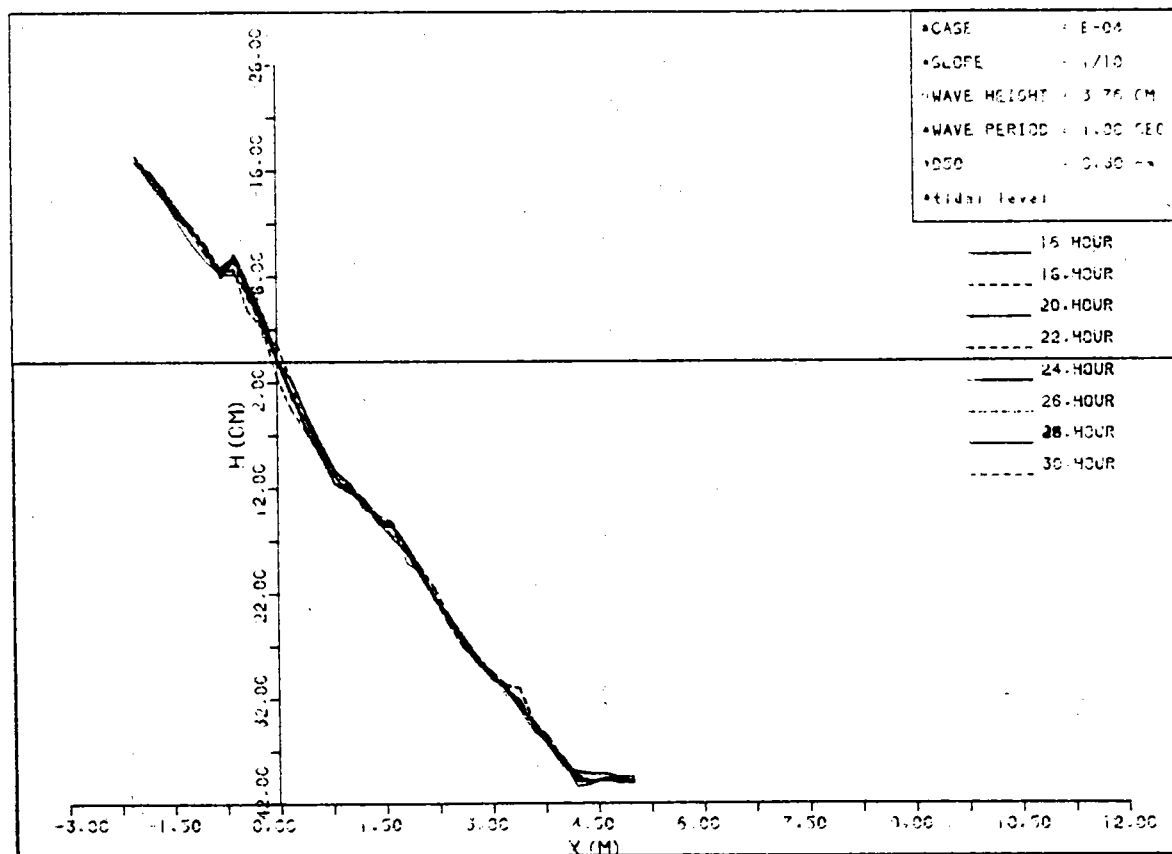
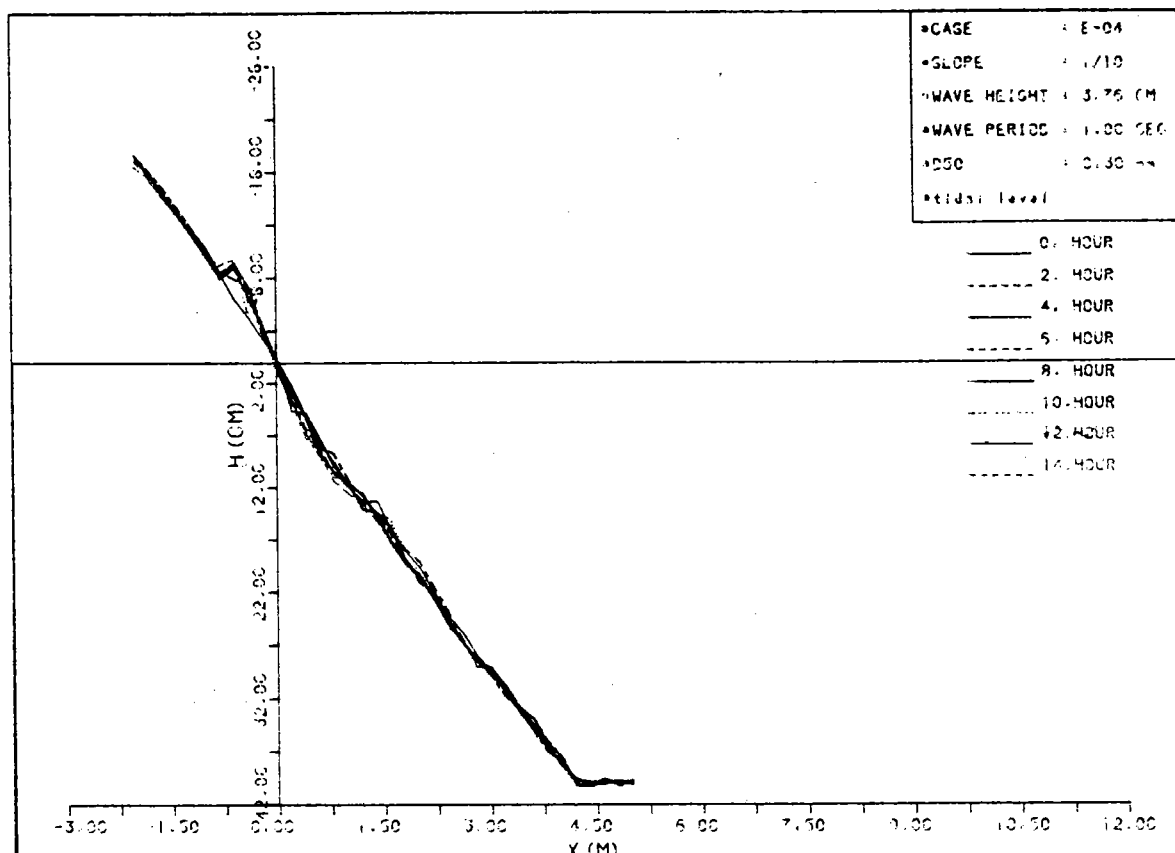


圖 5.57 CASE E 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

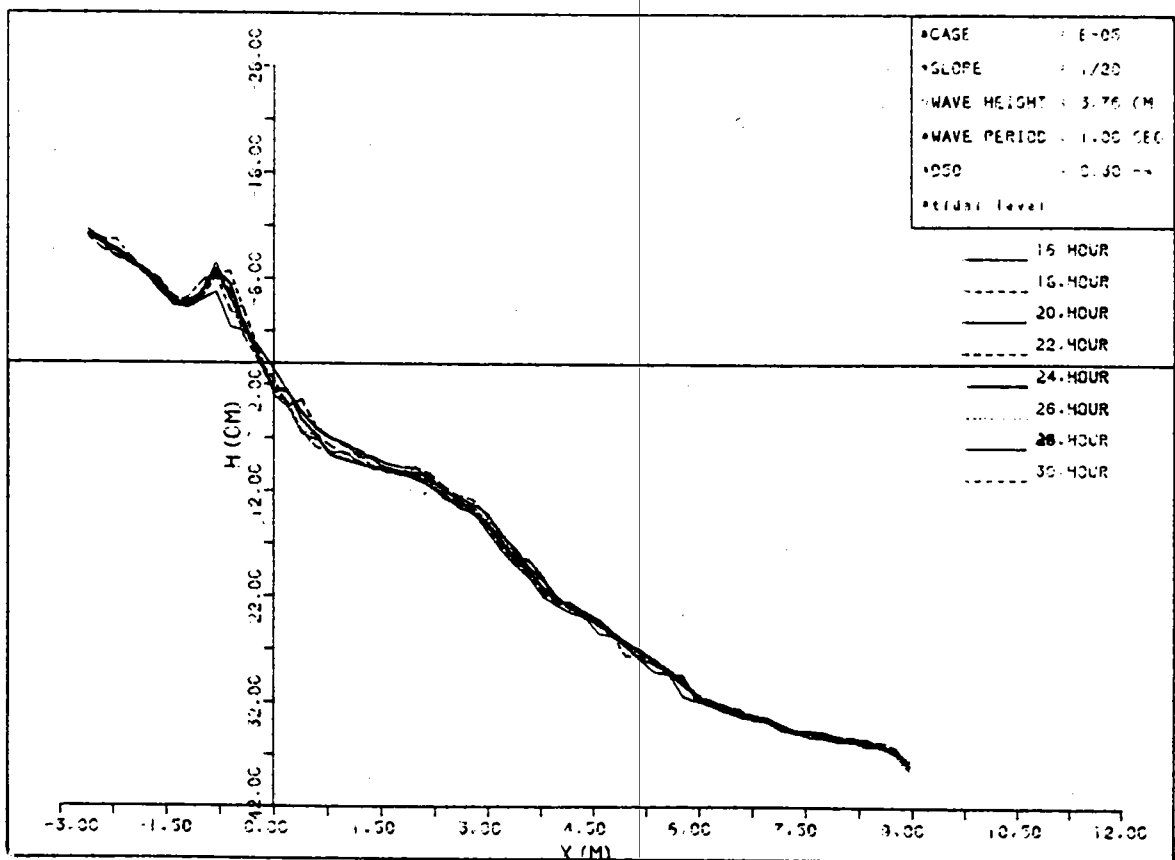
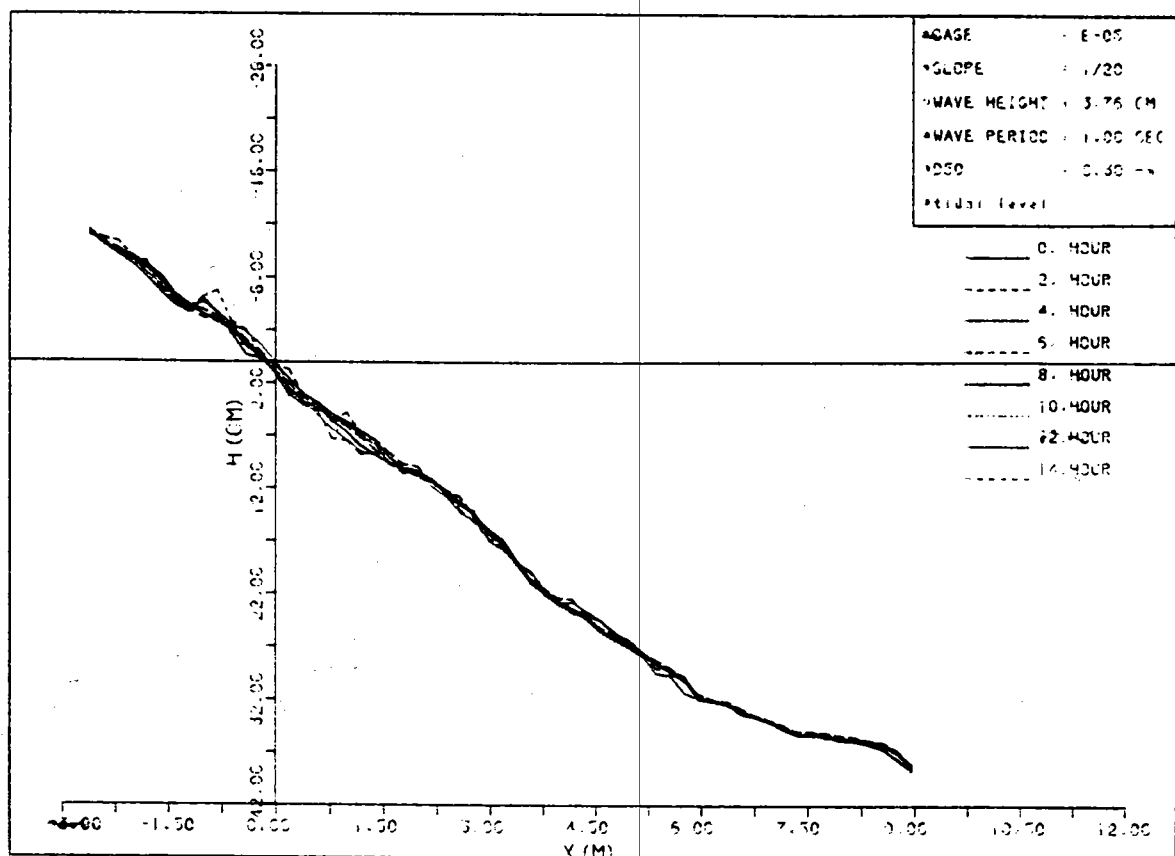


圖 5.58 CASE E 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

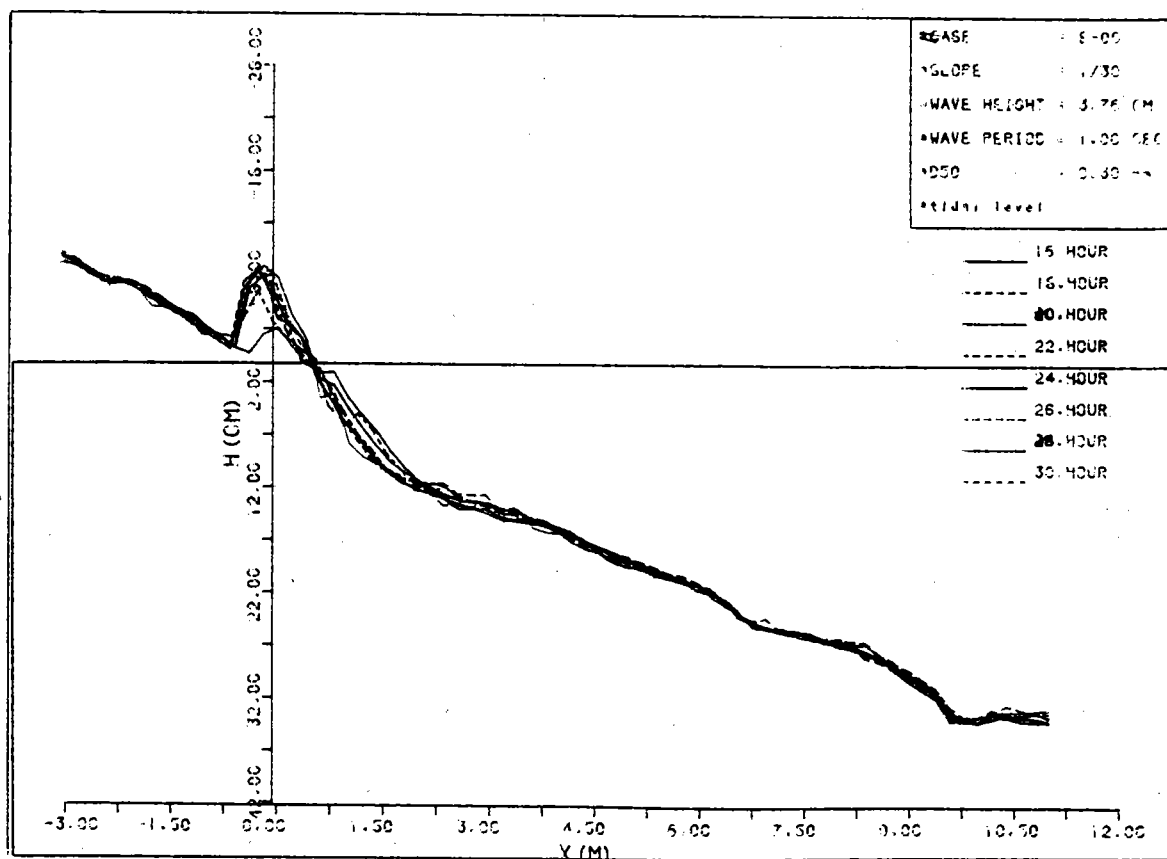
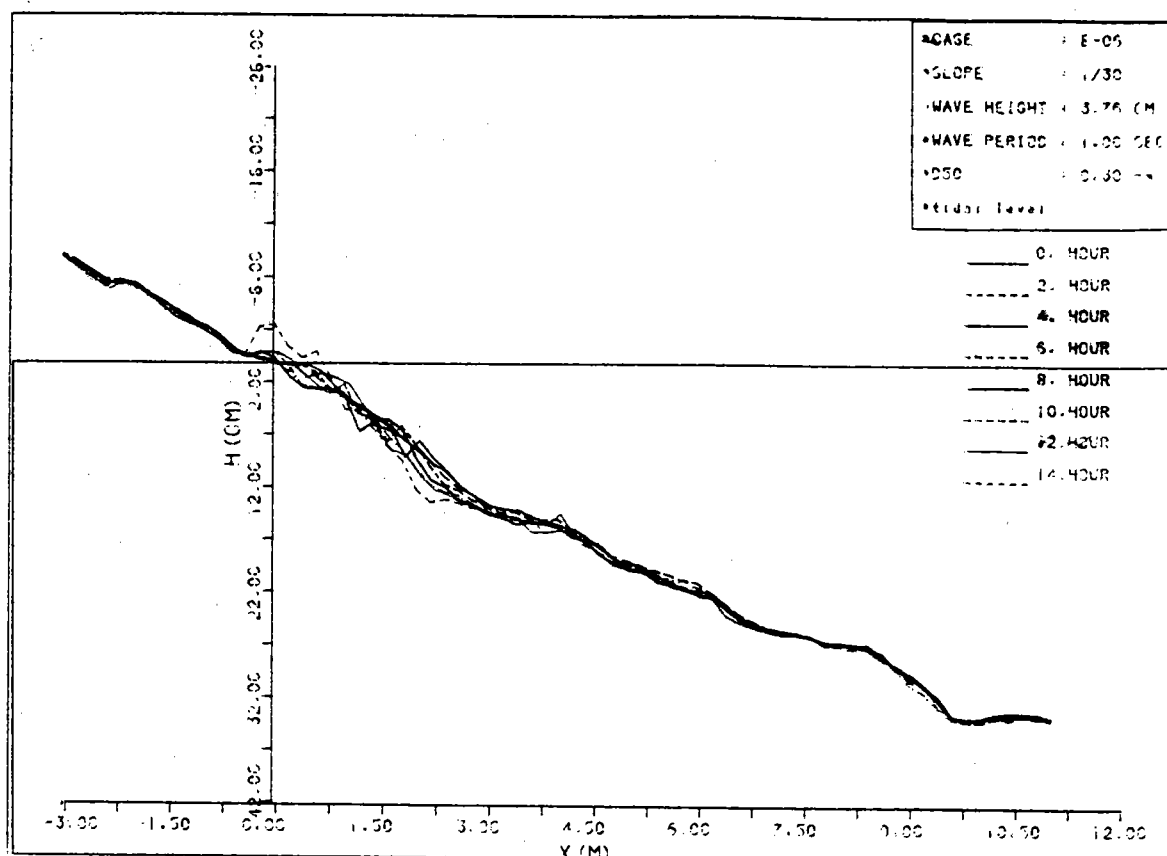


圖 5.59 CASE E 各累積造波時段底床剖面變化圖 ($S=1/30$, $D50=0.30\text{mm}$)

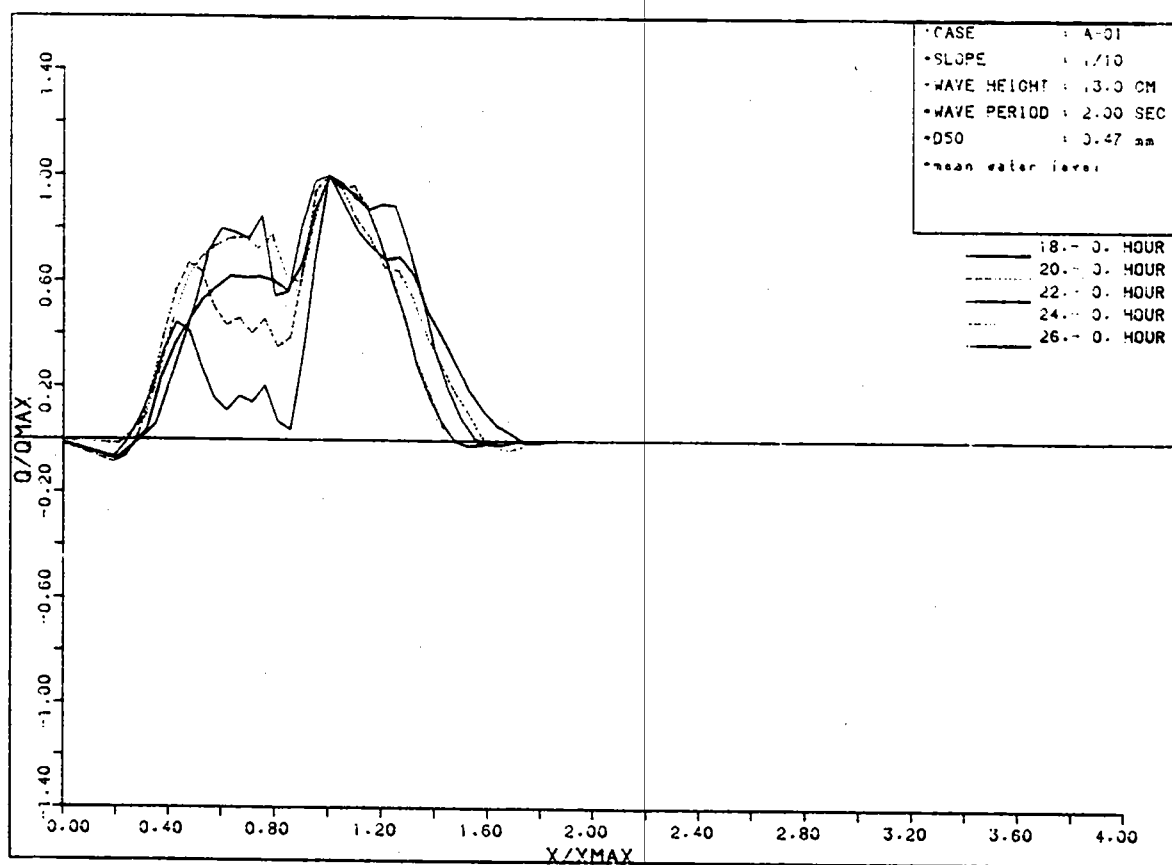
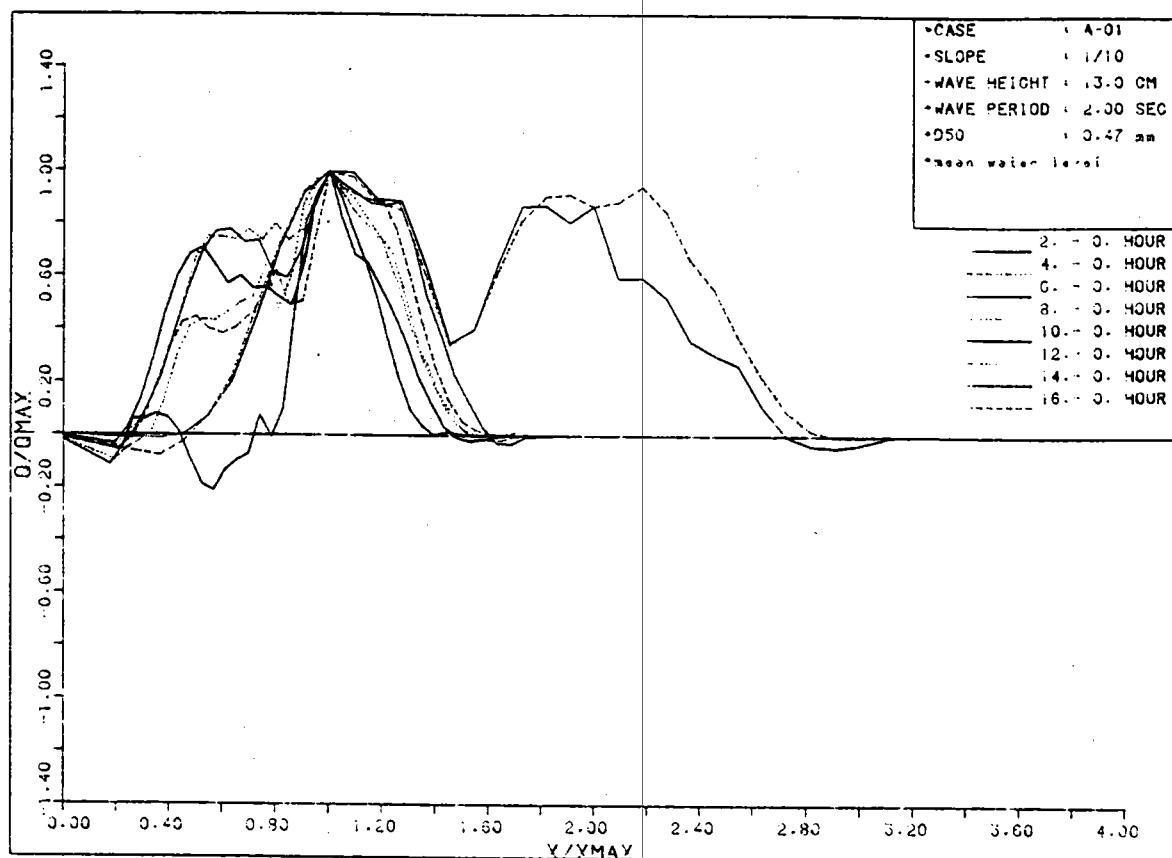


圖 5.60 CASE A 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

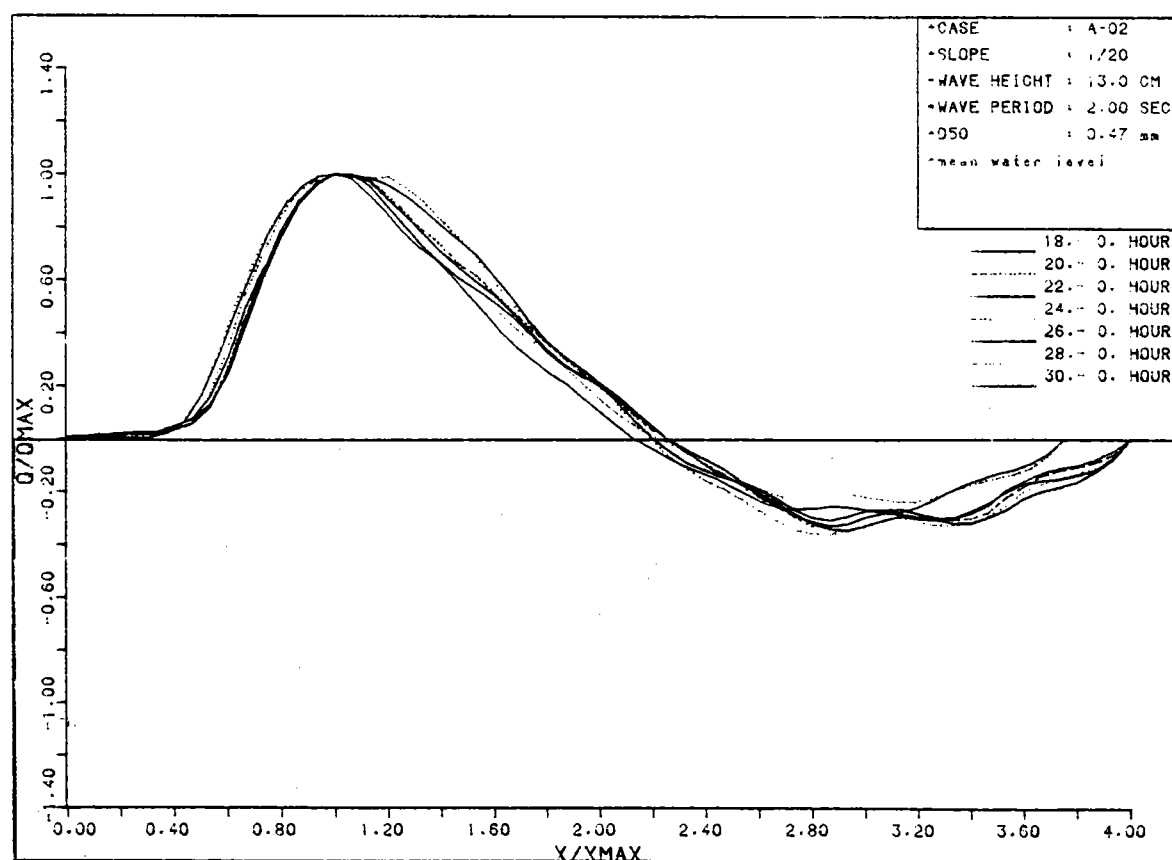
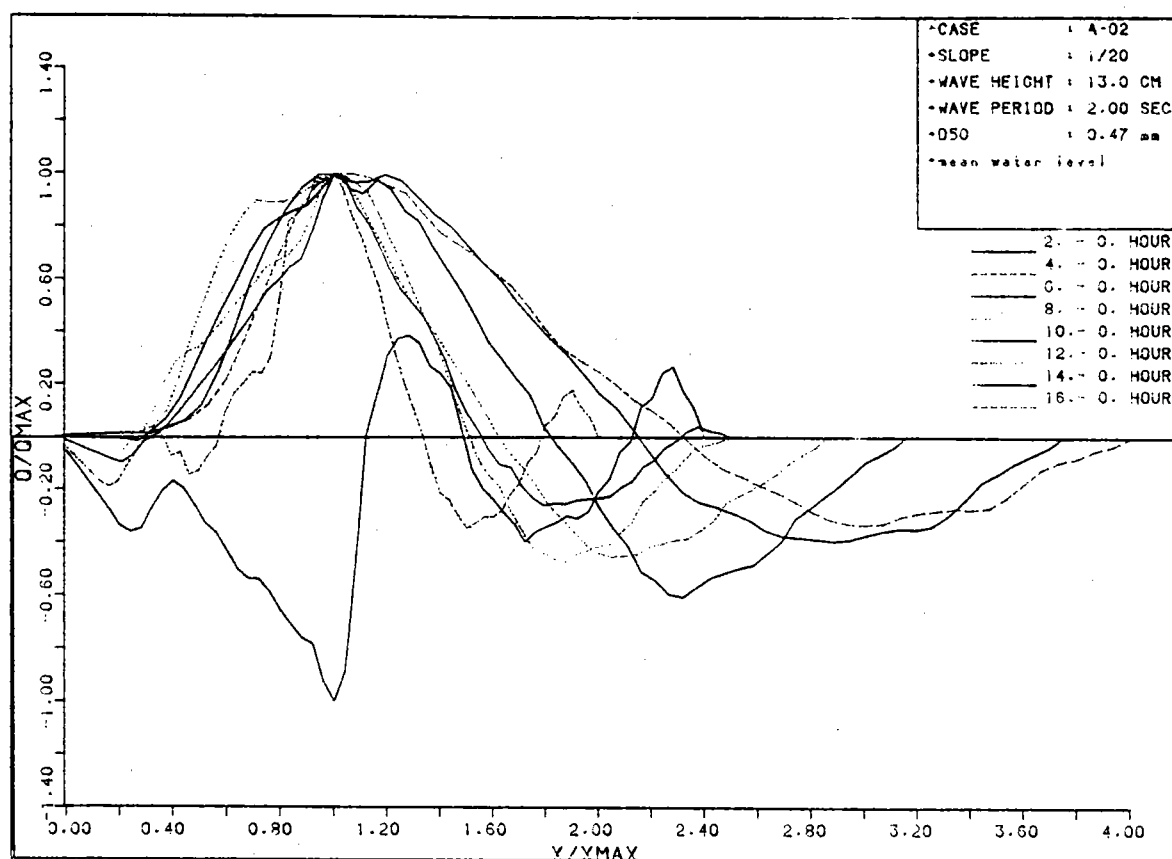


圖 5.61 CASE A 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

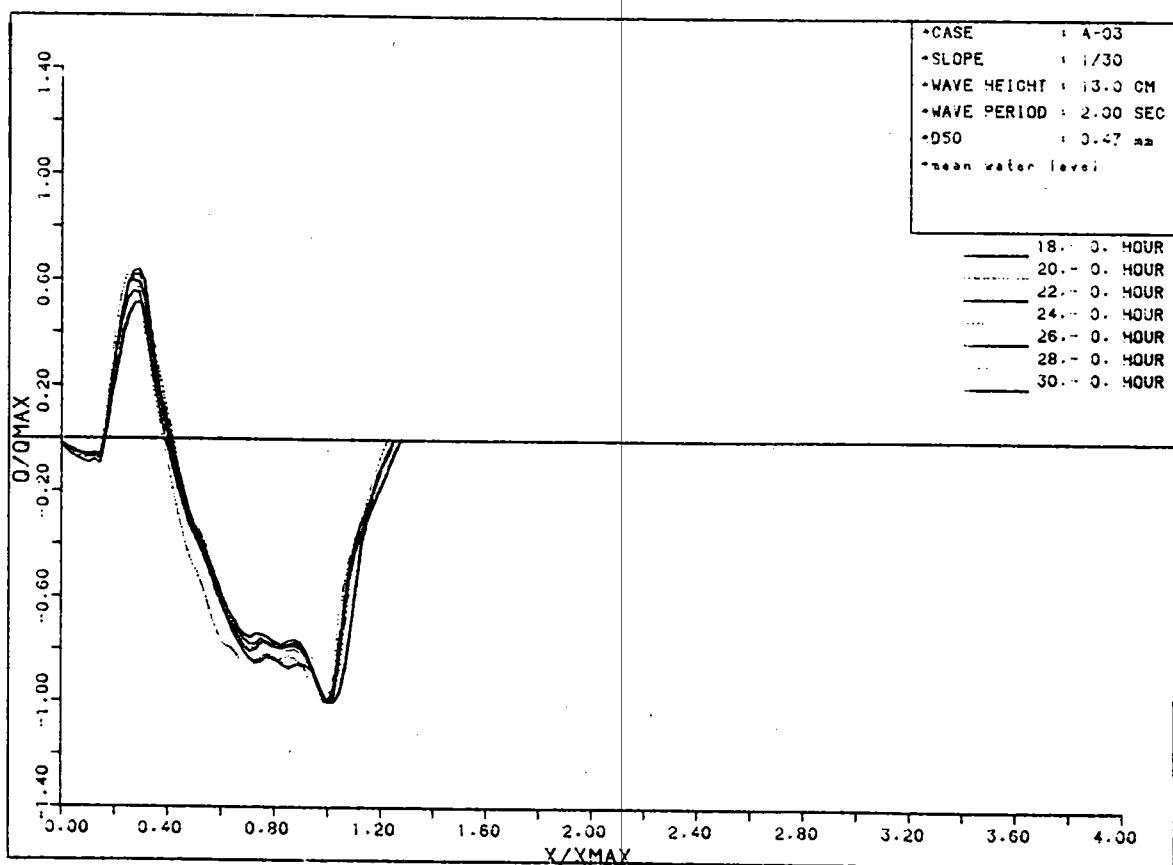
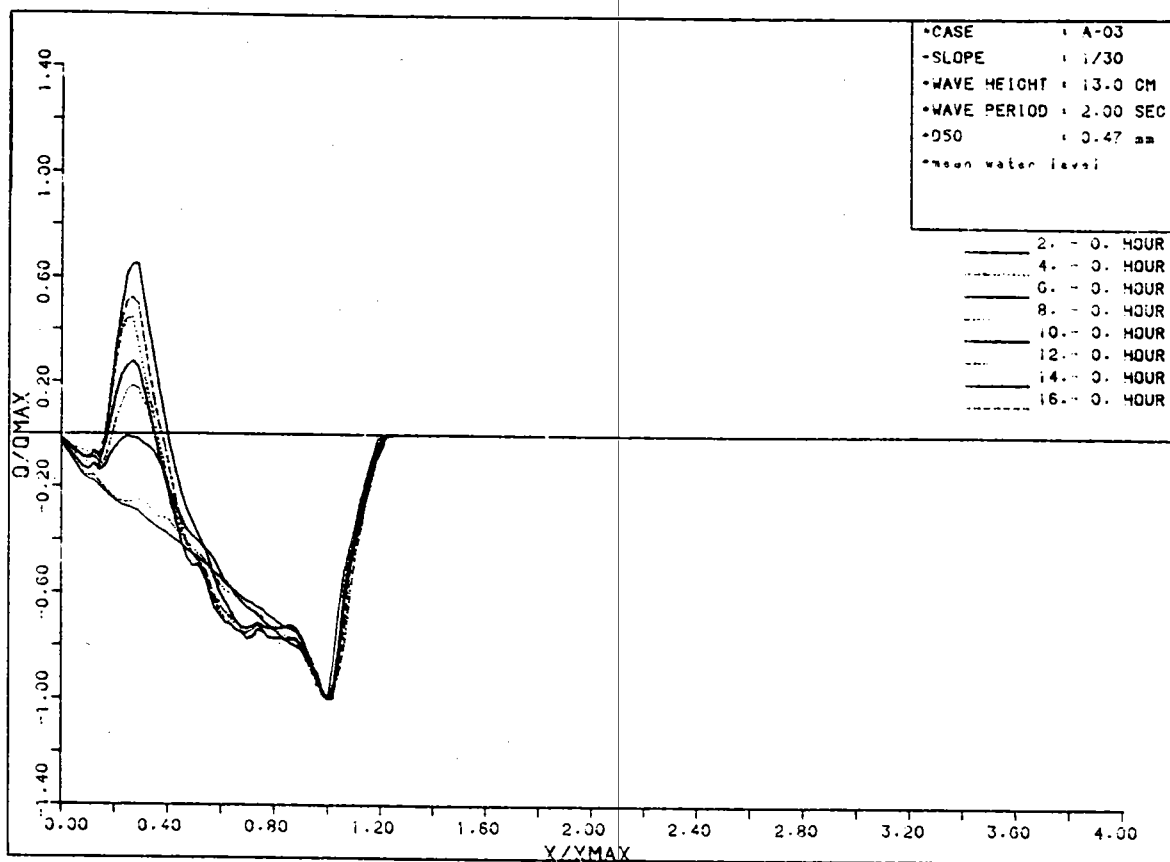


圖 5.62 CASE A 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.47\text{mm}$)

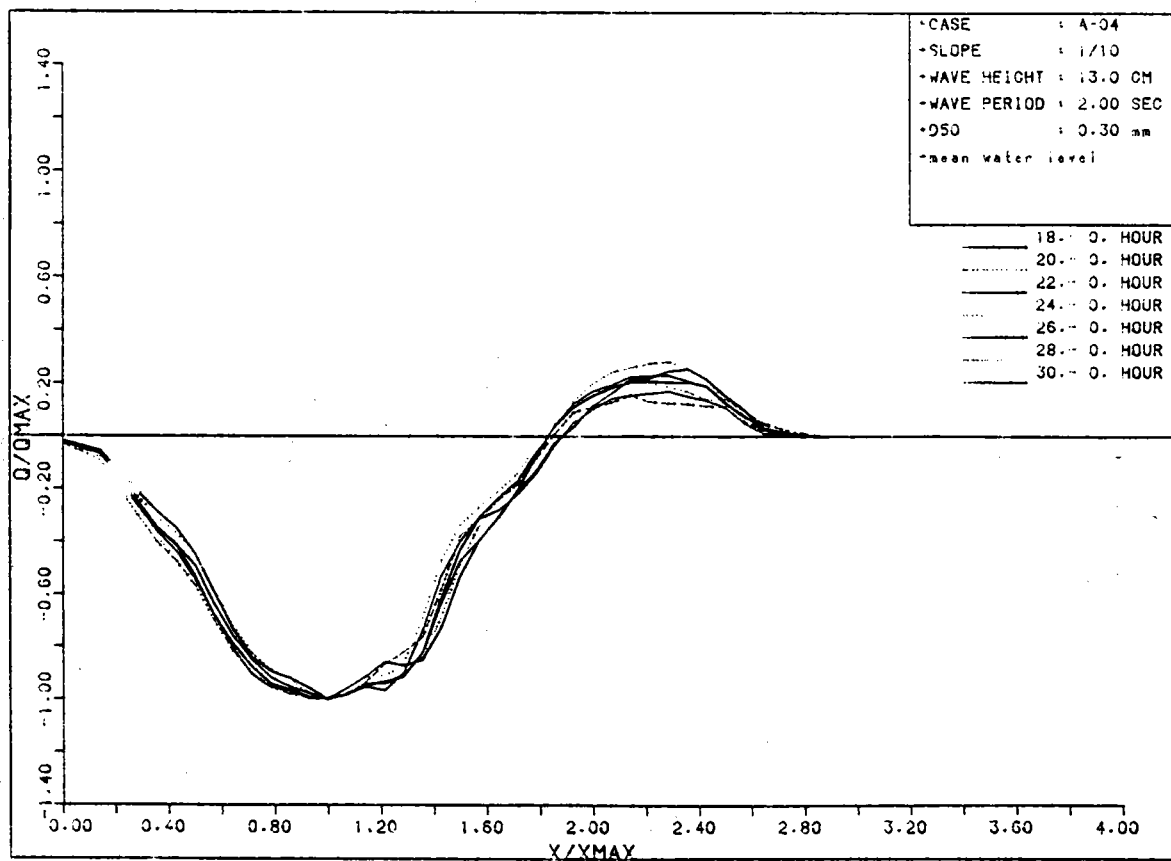
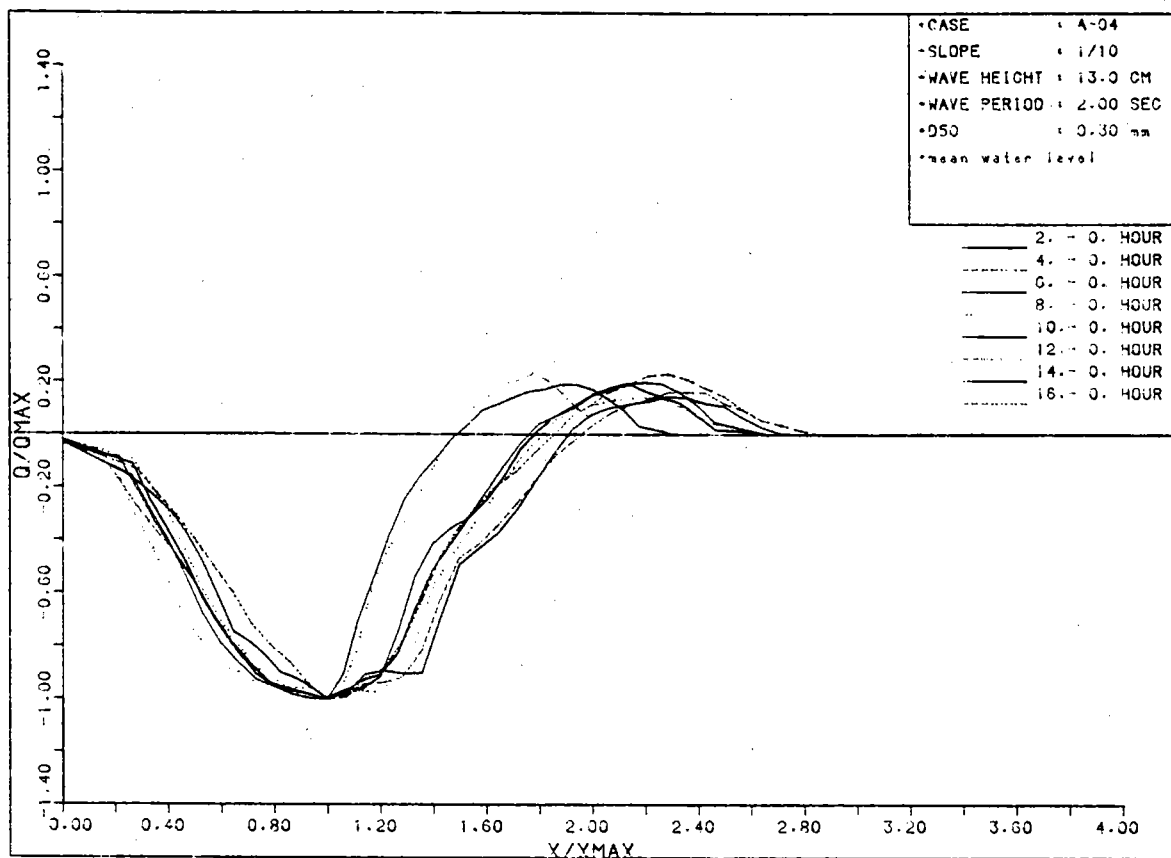


圖 5.63 CASE A 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

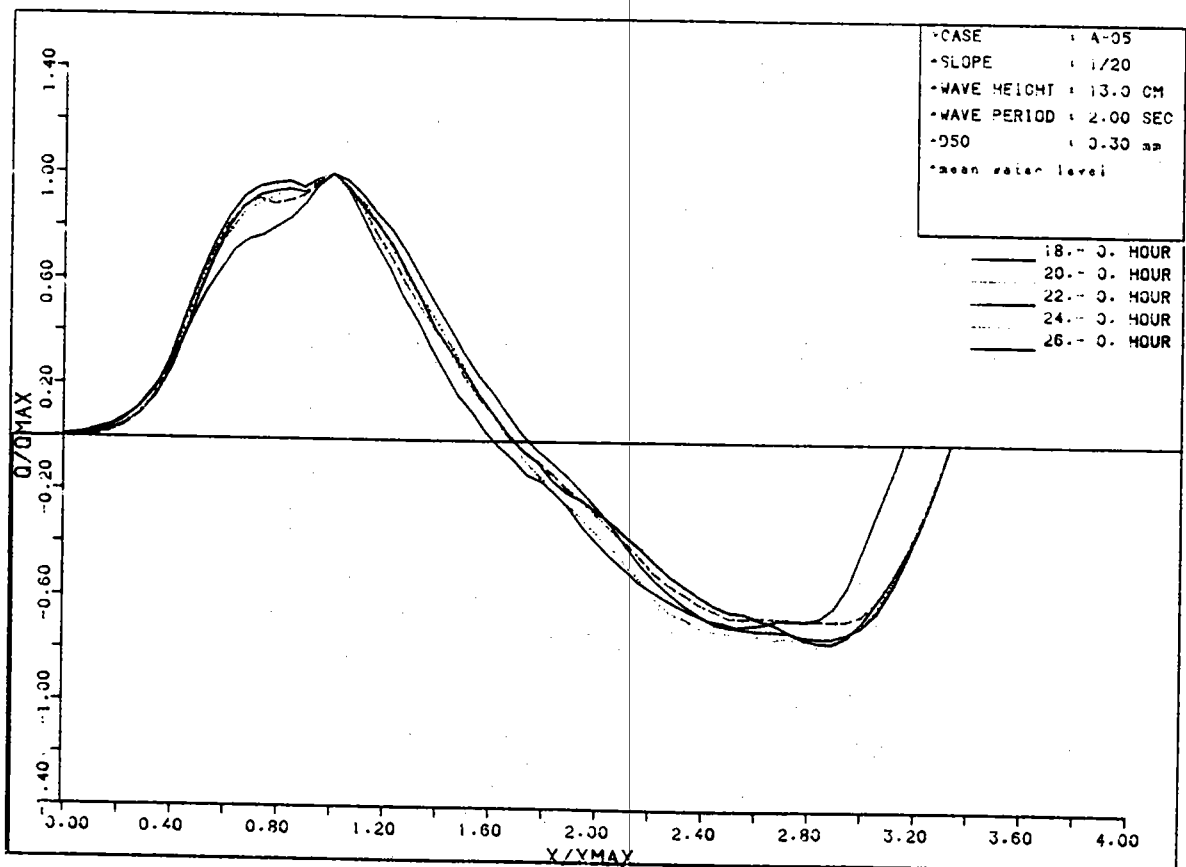
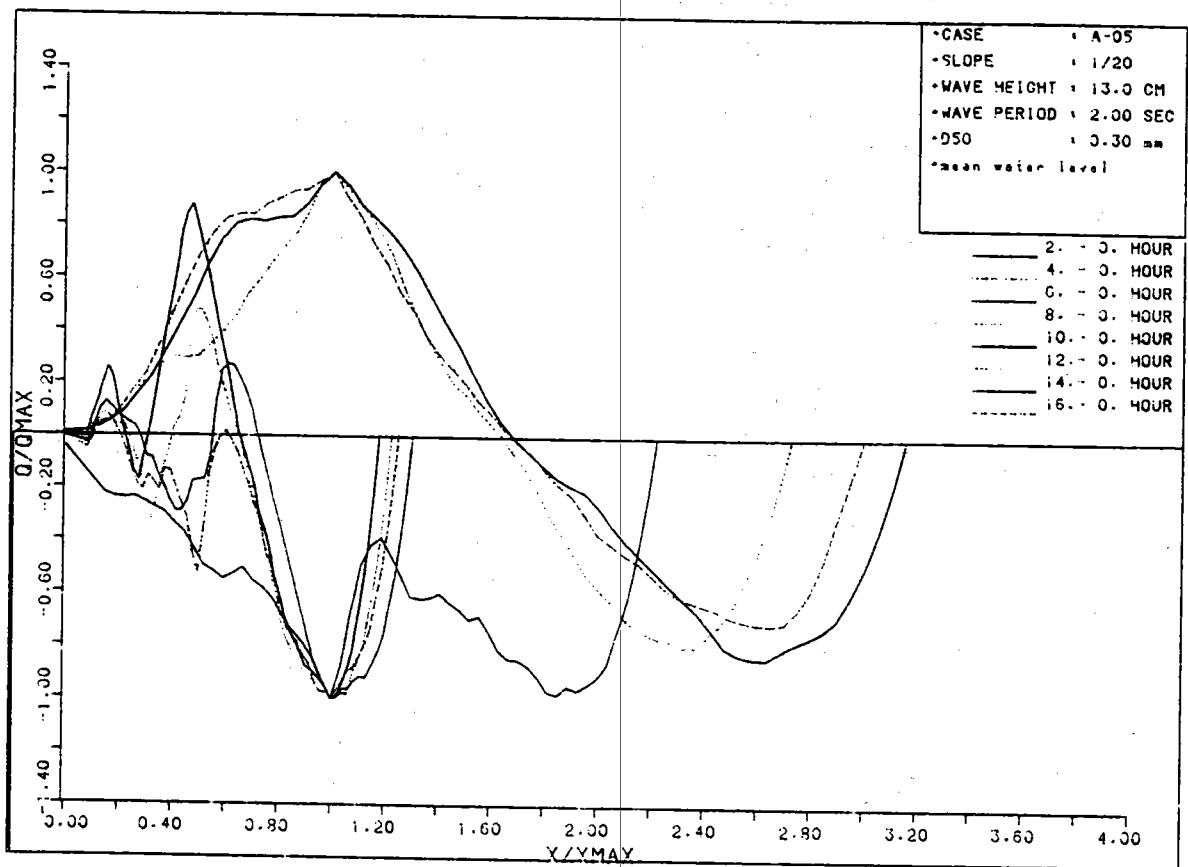


圖 5.64 CASE A 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($\bar{S}=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

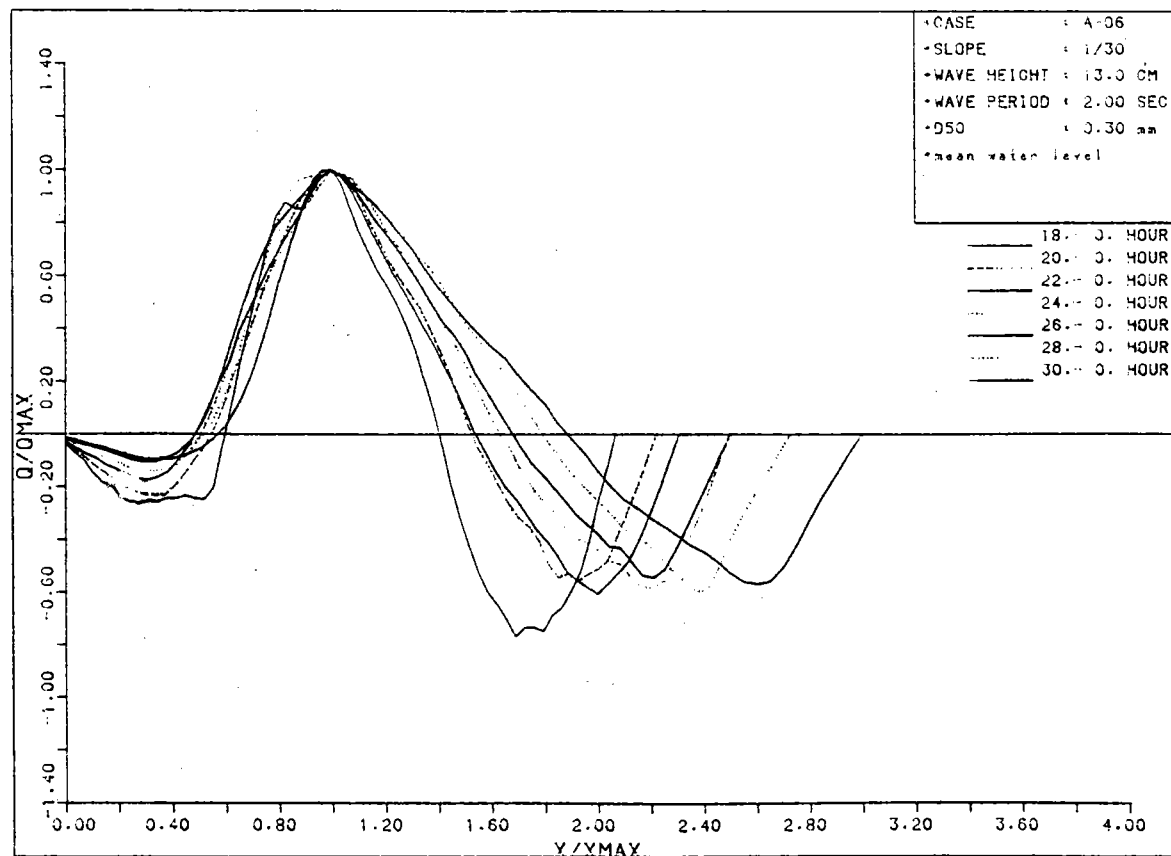
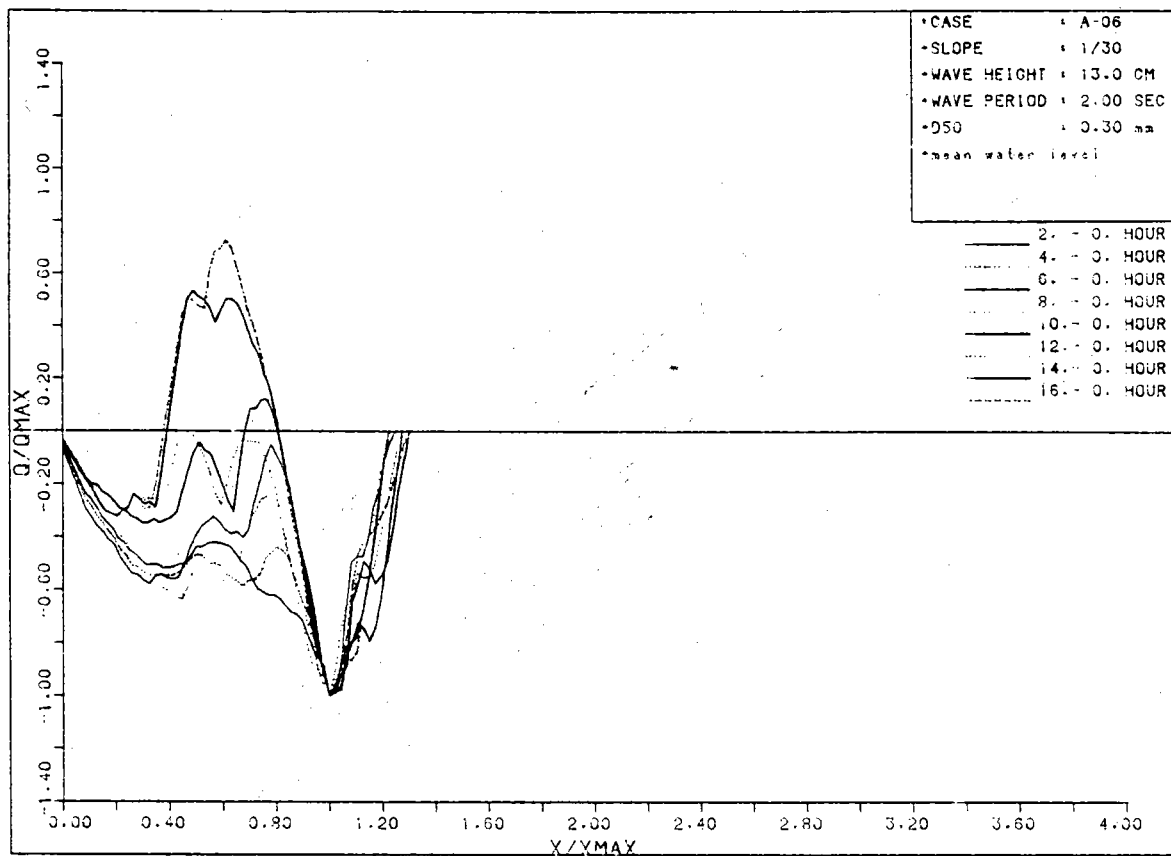


圖 5.65 CASE A 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

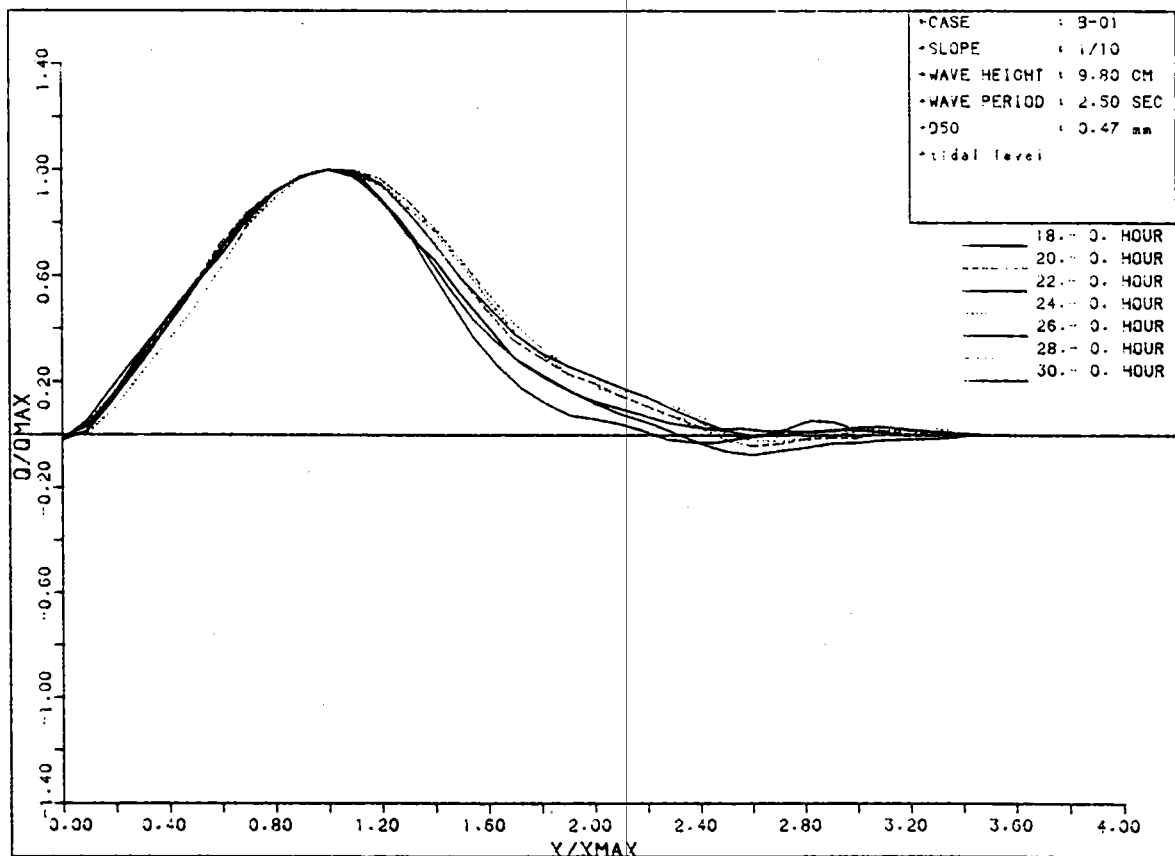
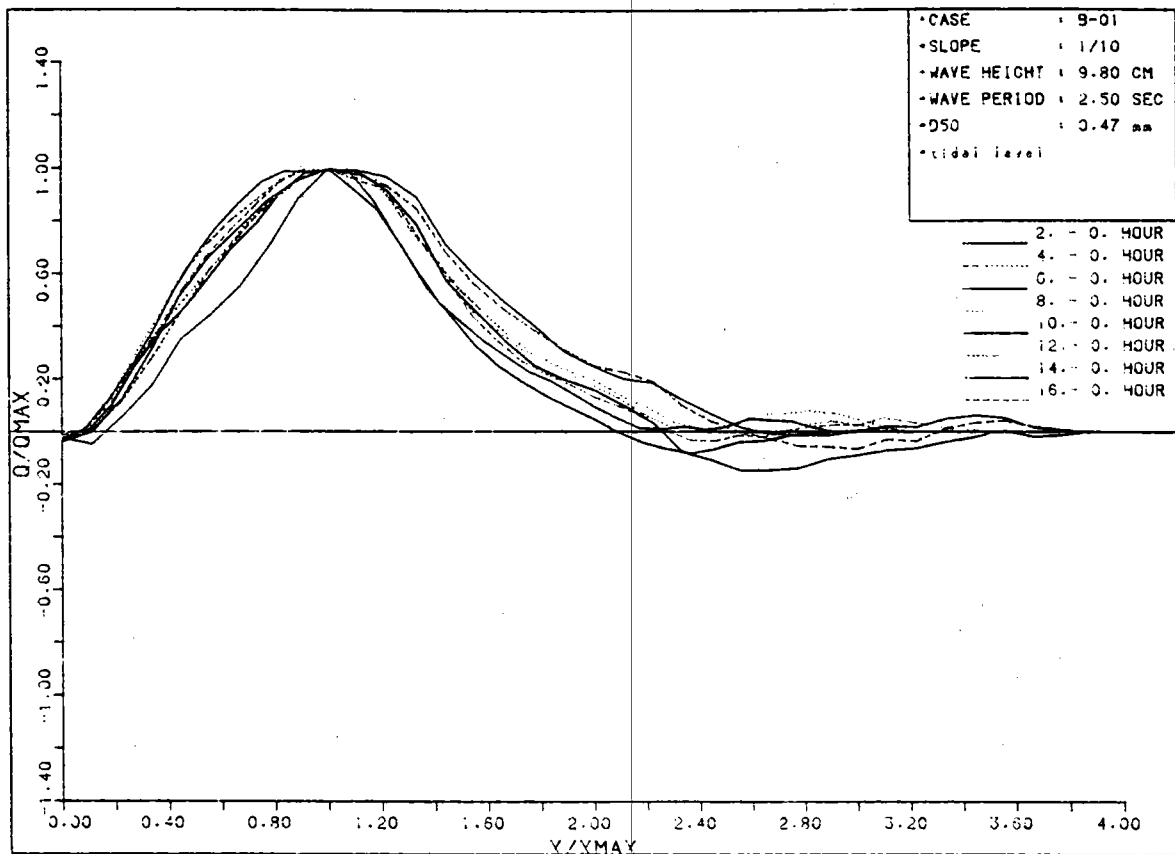


圖 5.66 CASE B 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

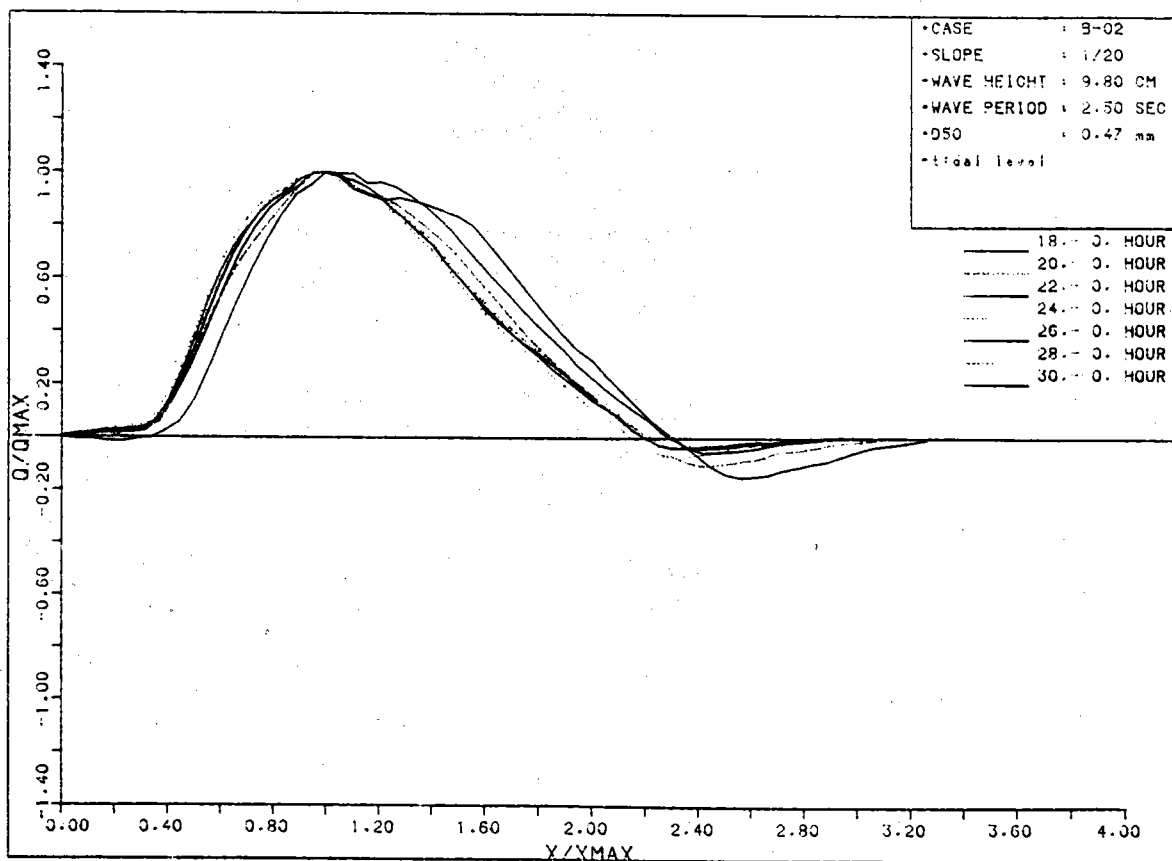
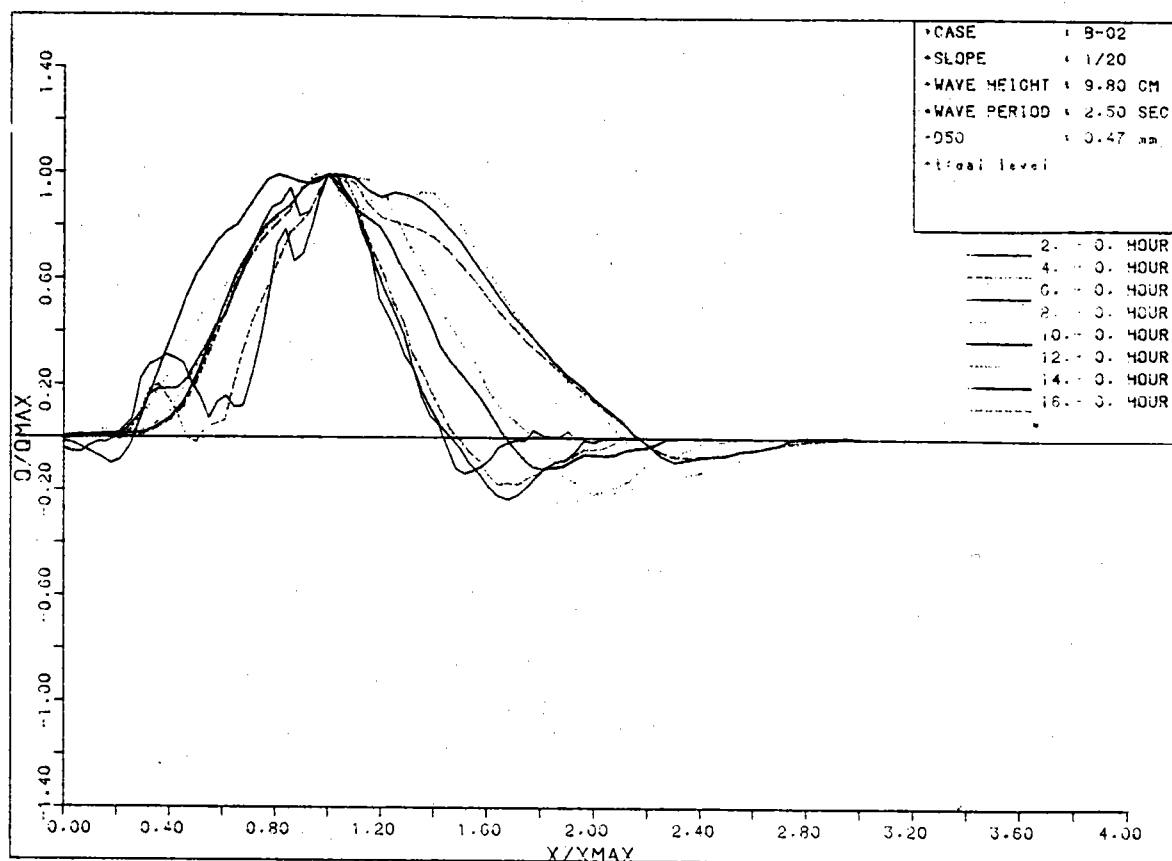


圖 5.67 CASE B 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

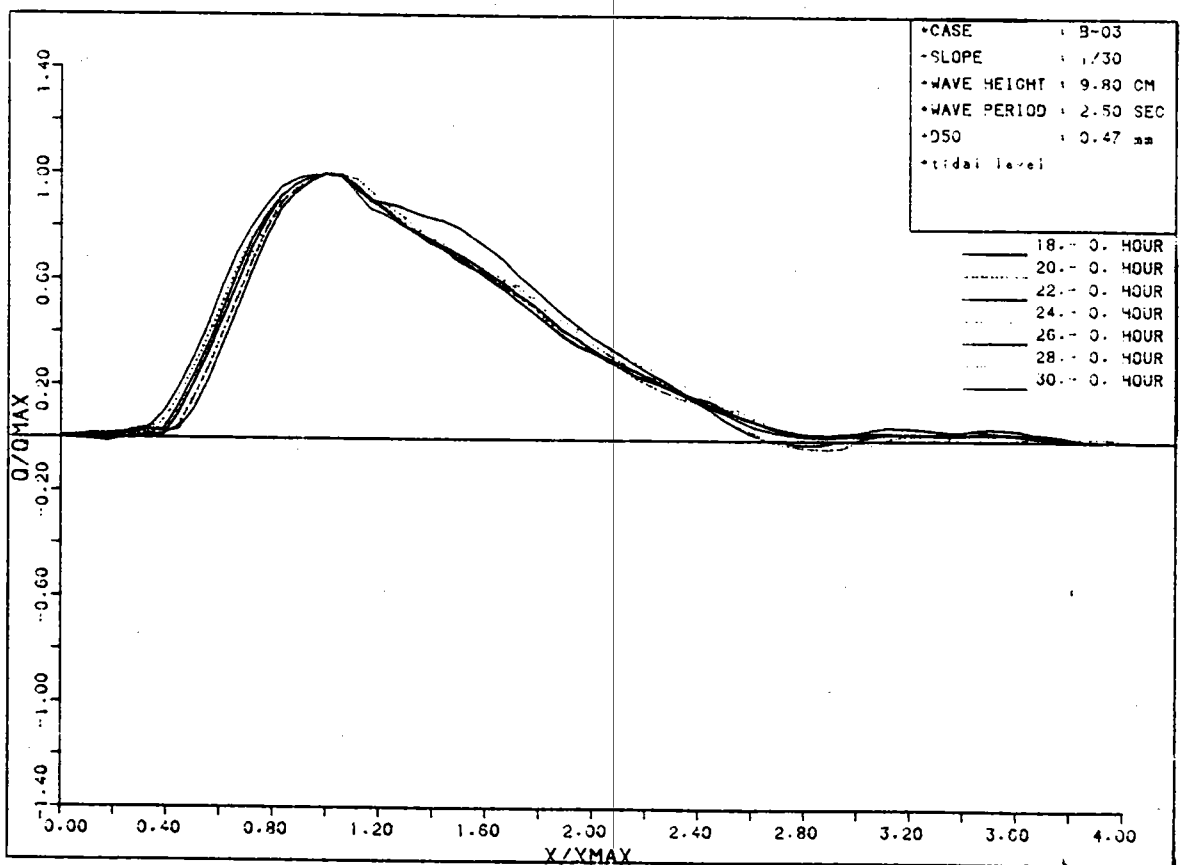
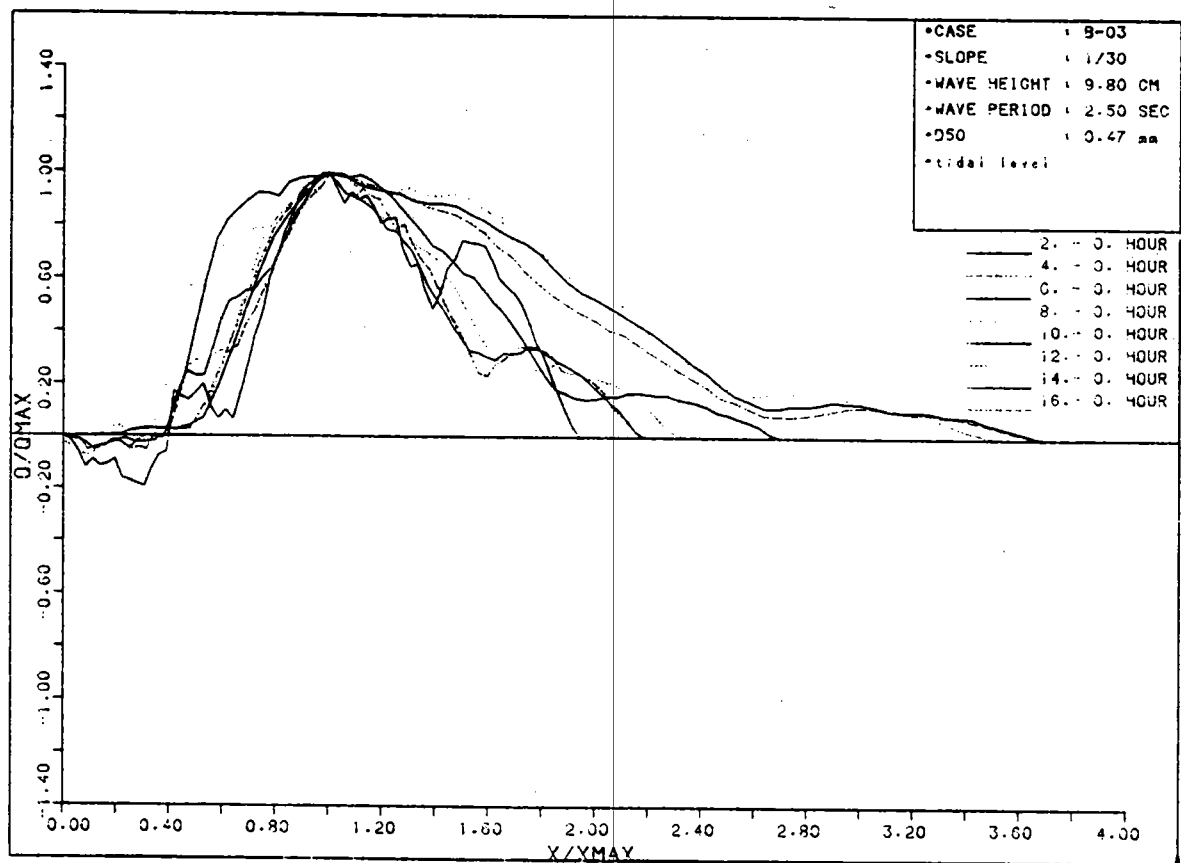


圖 5.68 CASE B 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D_{50}=0.47\text{mm}$)

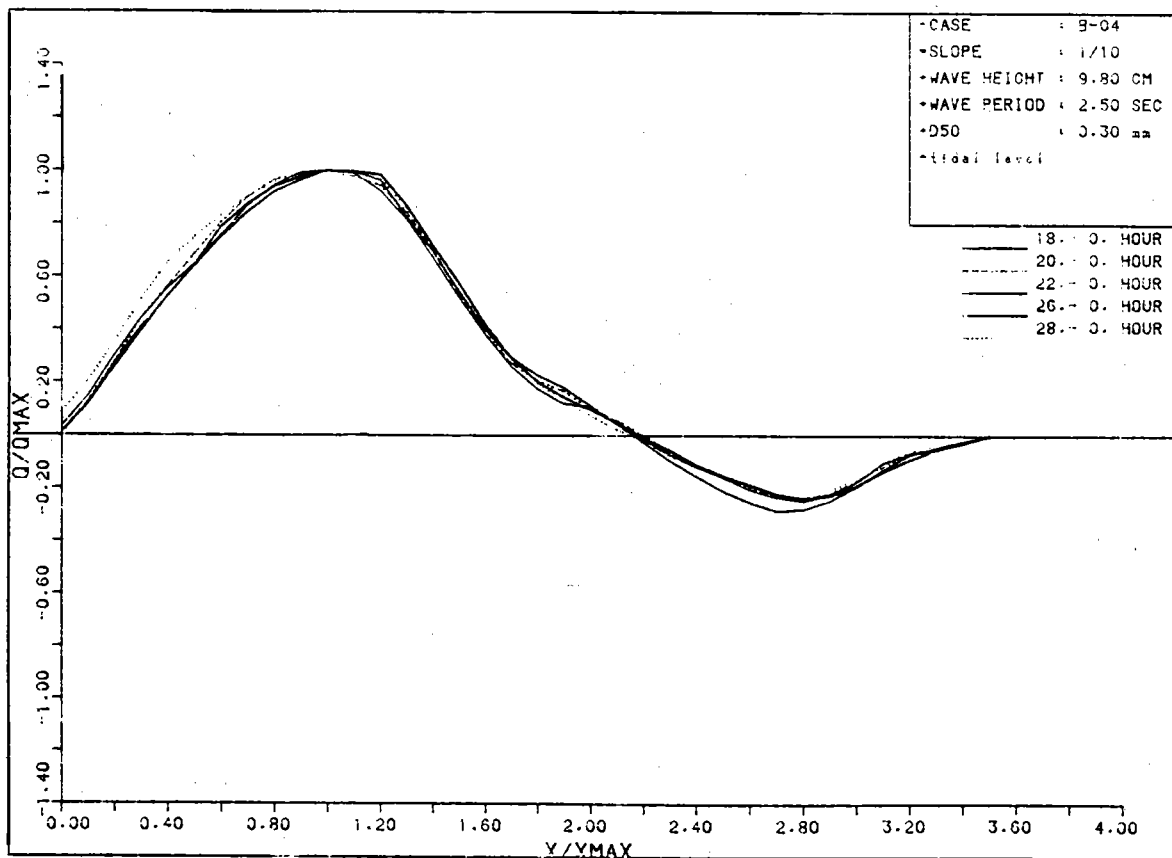
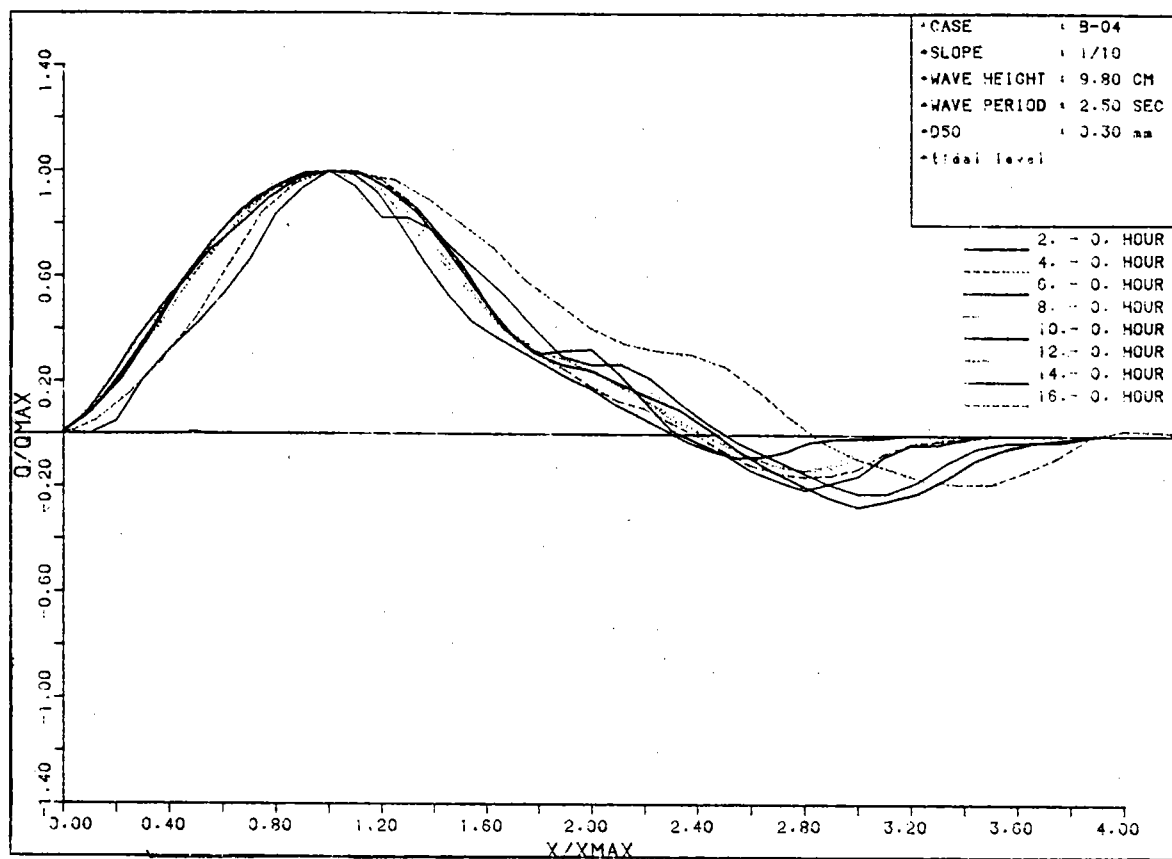


圖 5.69 CASE B 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

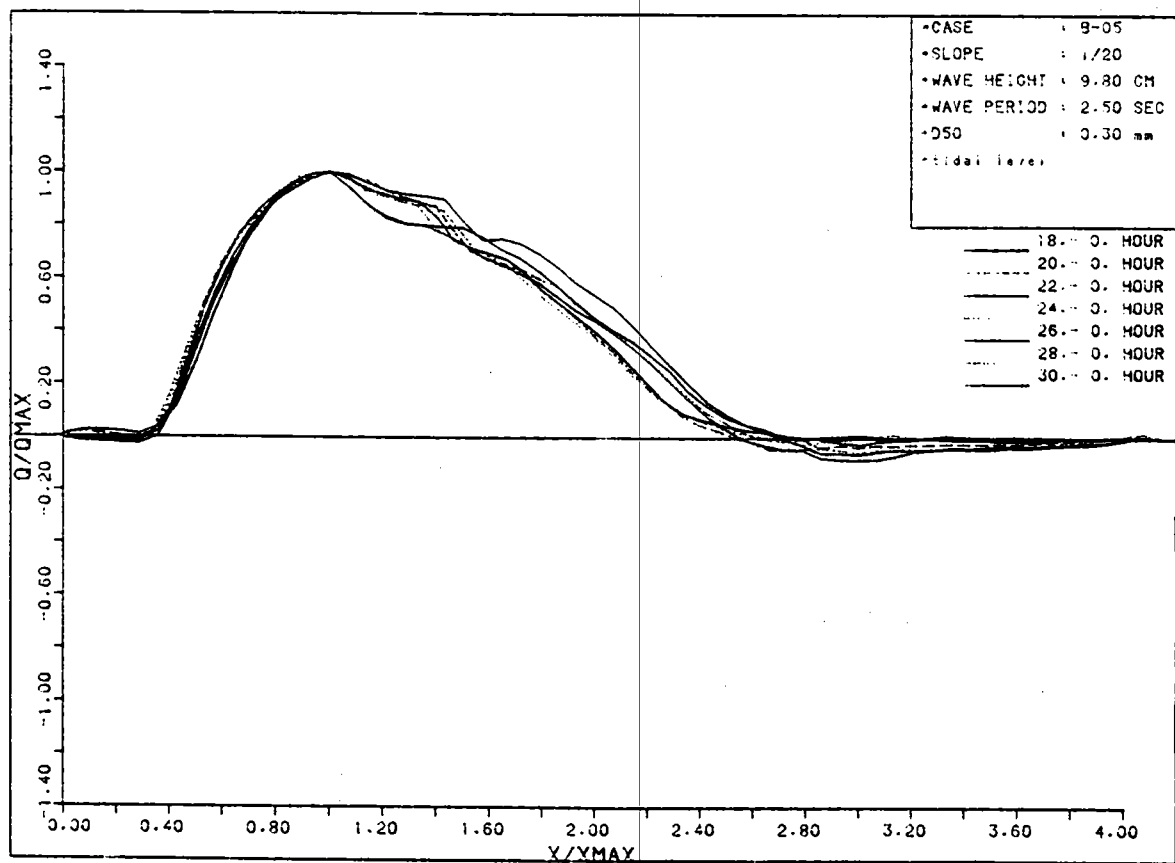
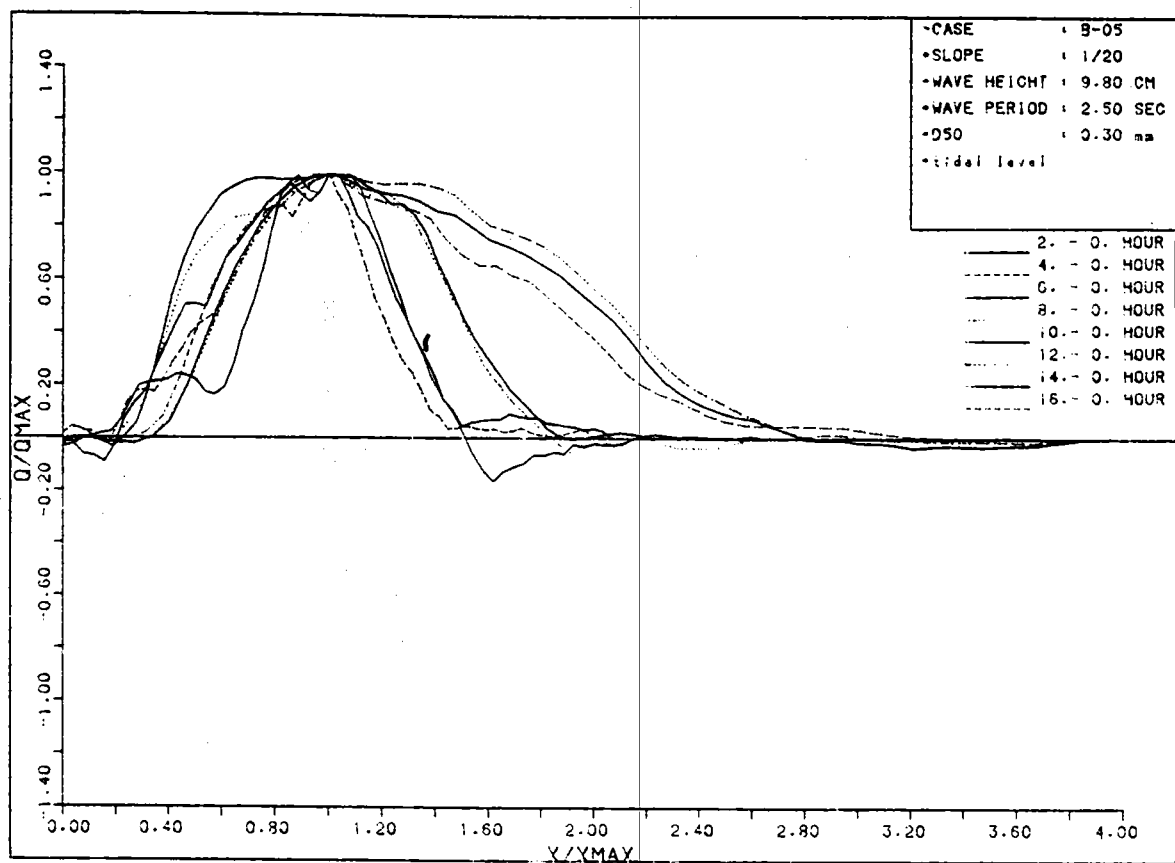


圖 5.70 CASE B 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

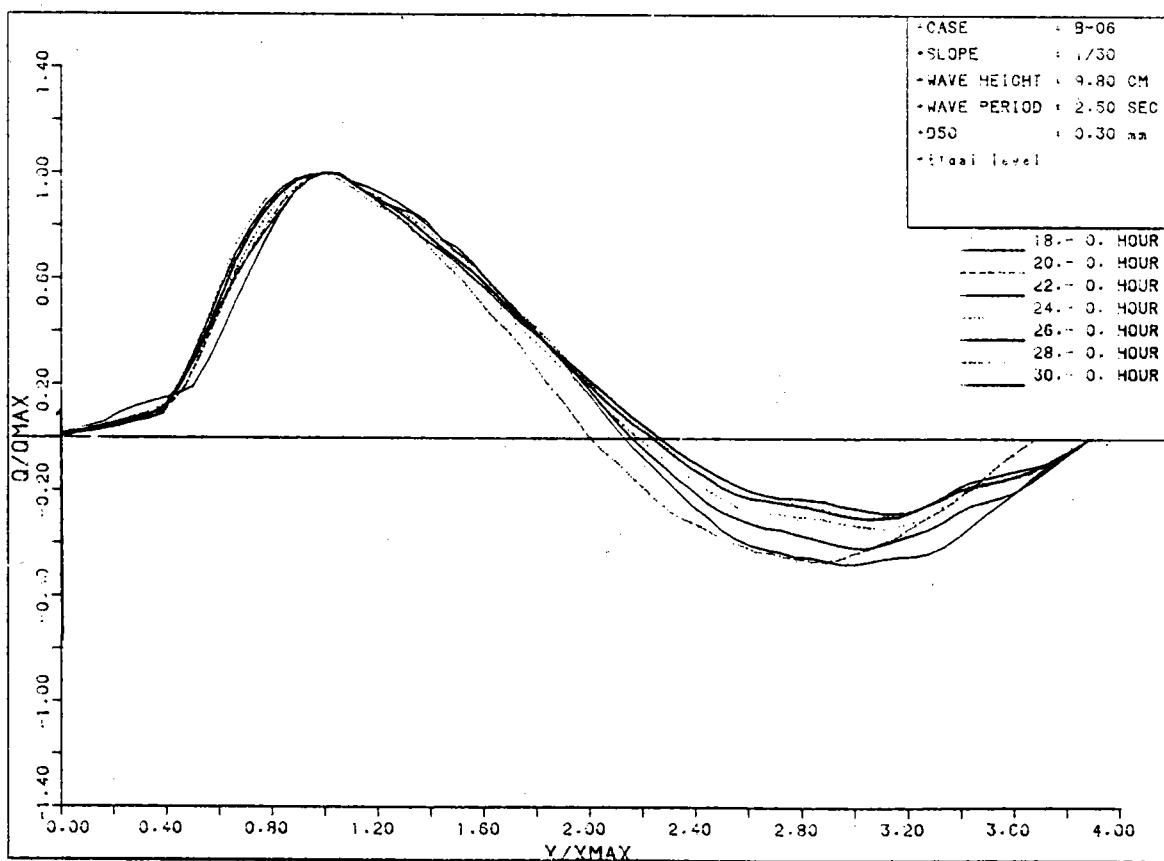
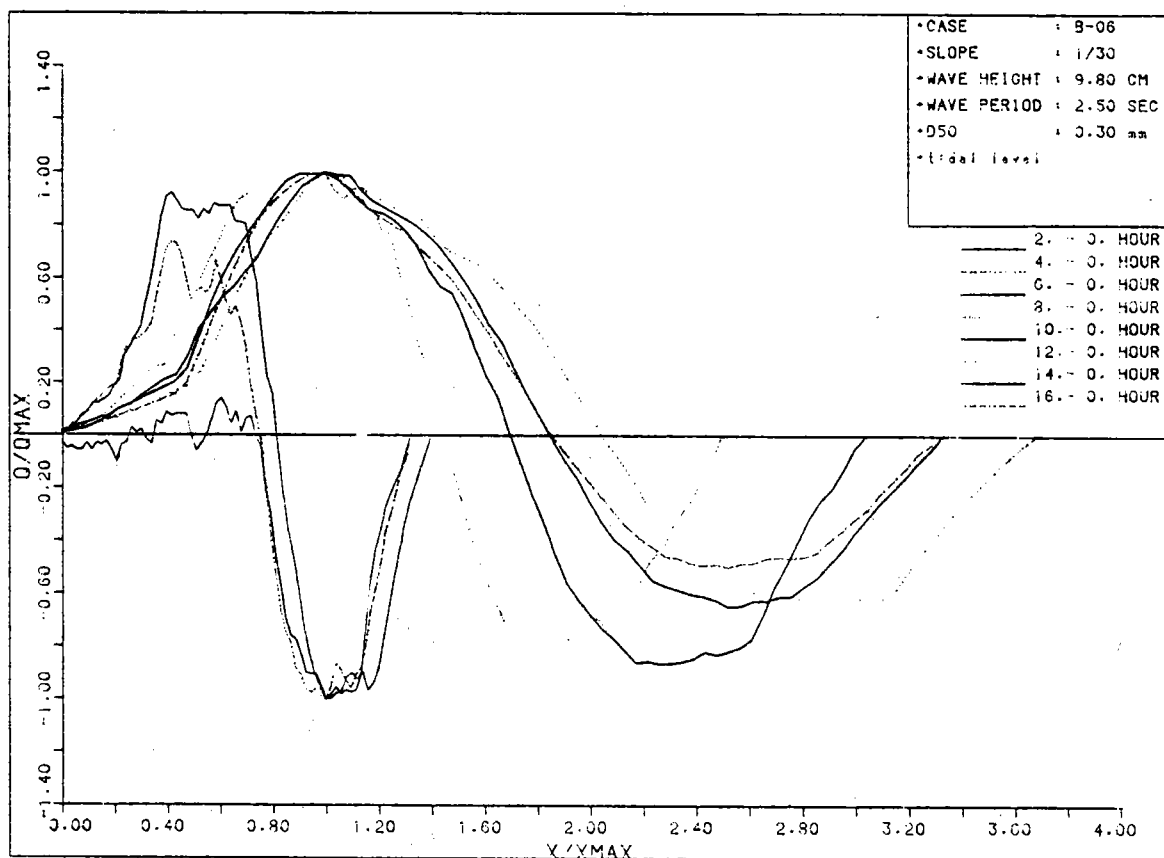


圖 5.71 CASE B 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

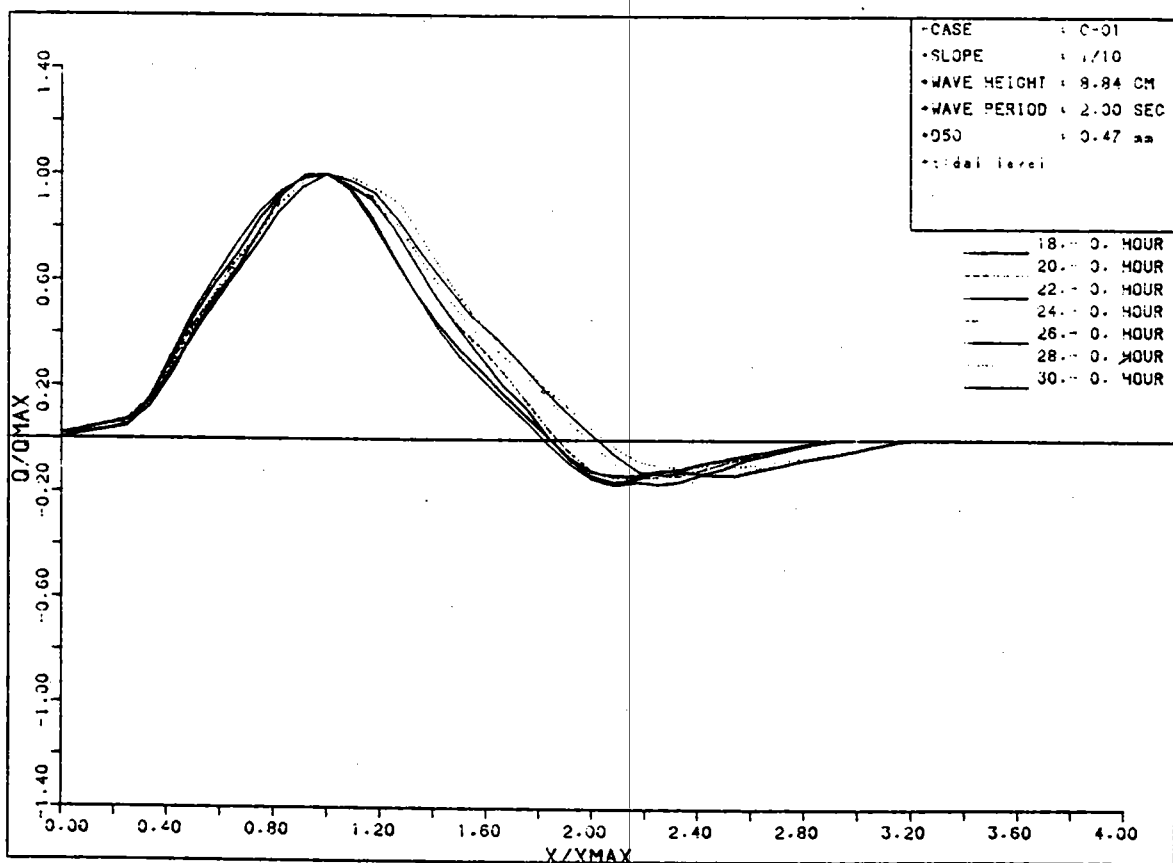
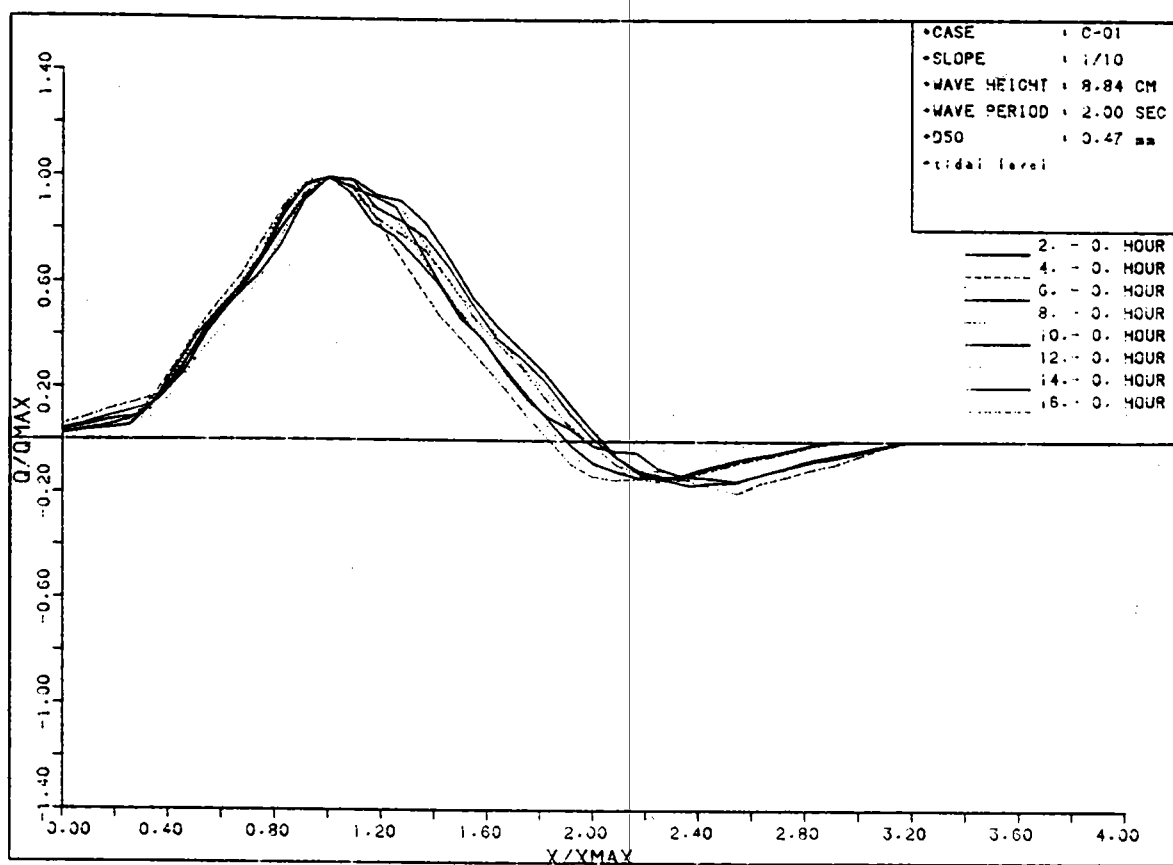


圖 5.72 CASE C 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.47$ mm)

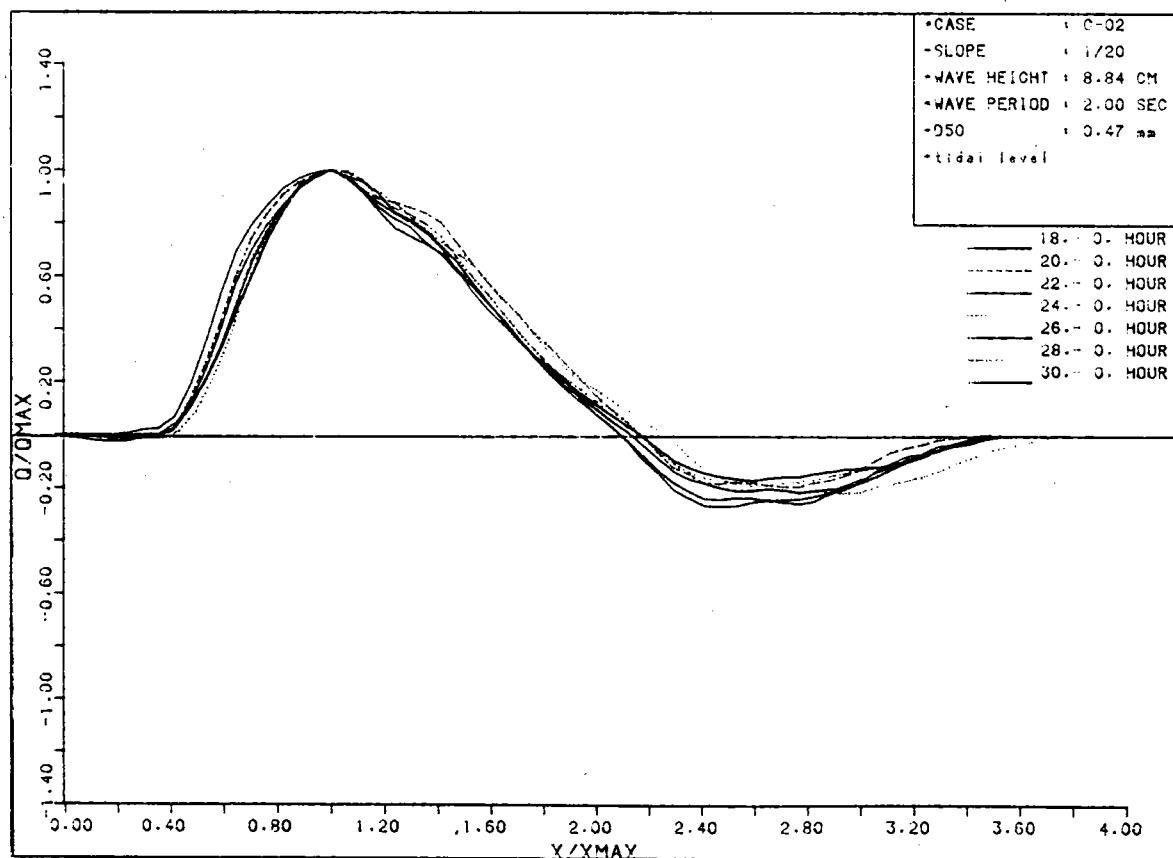
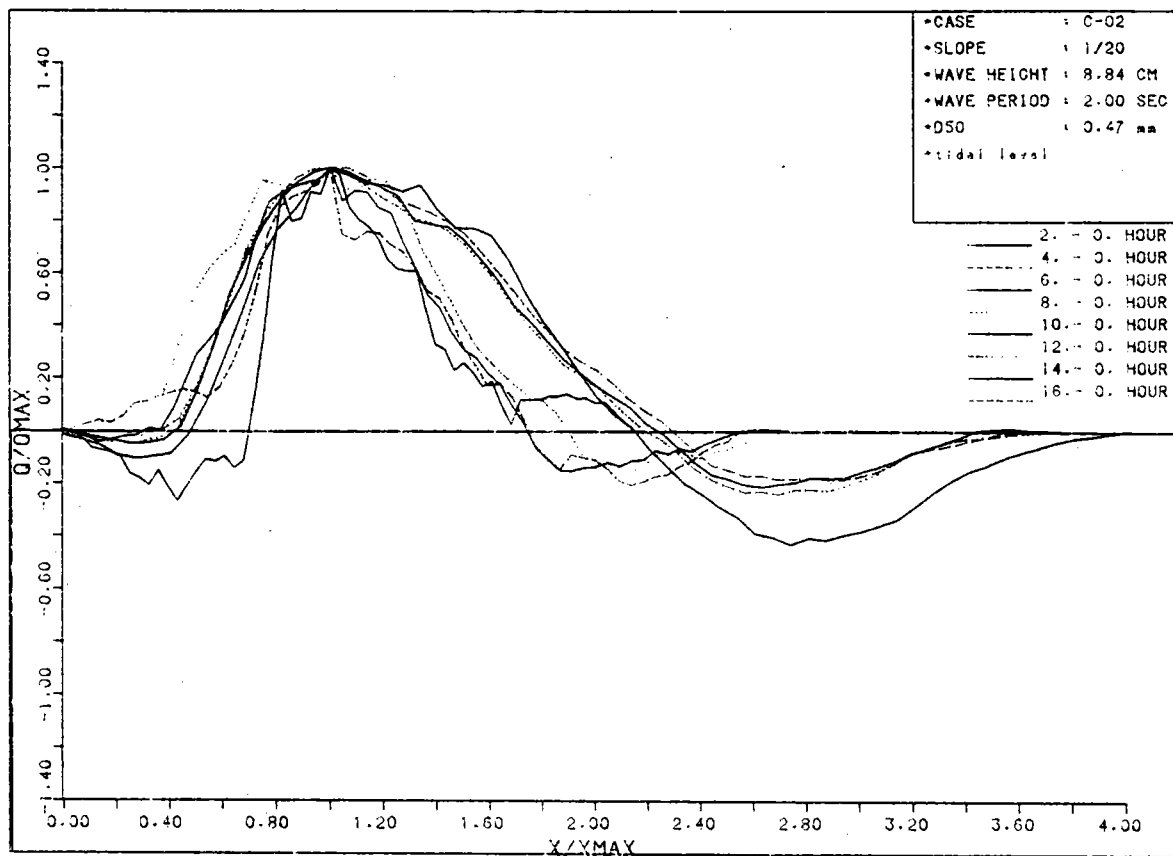


圖 5.73 CASE C 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

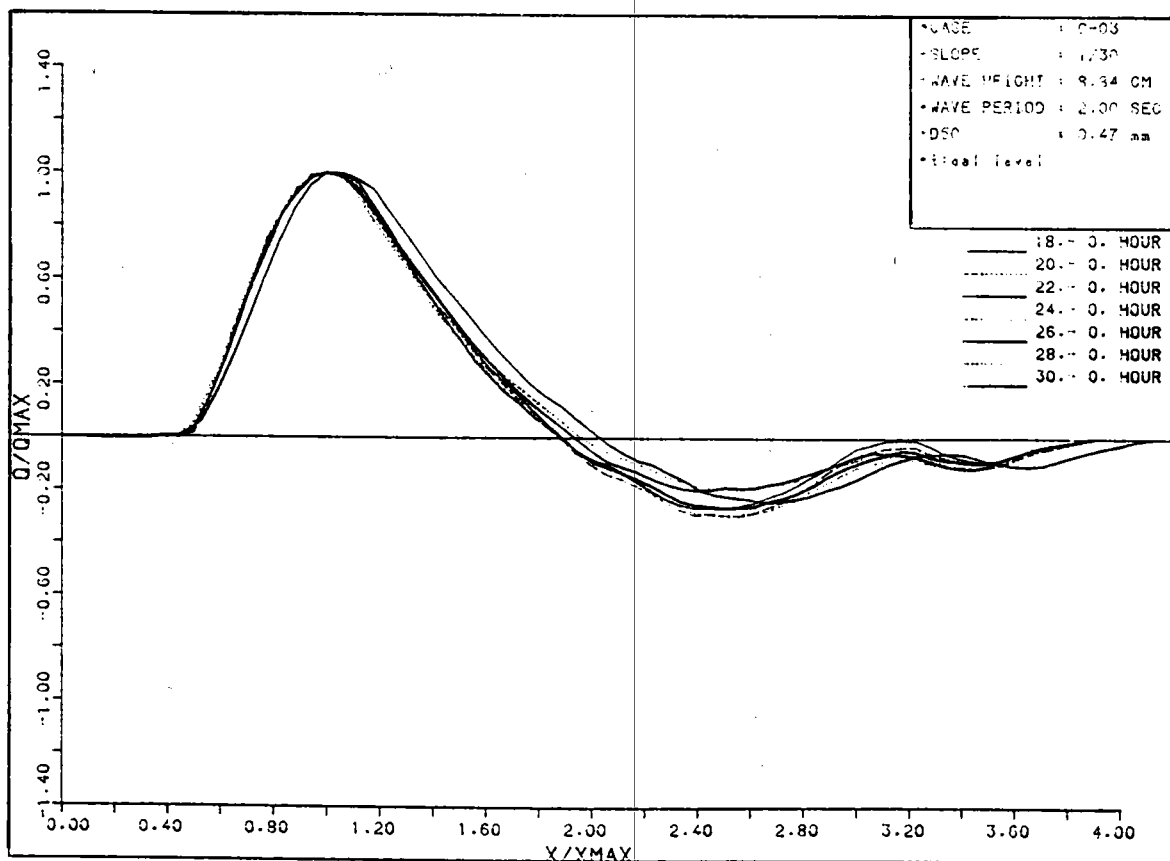
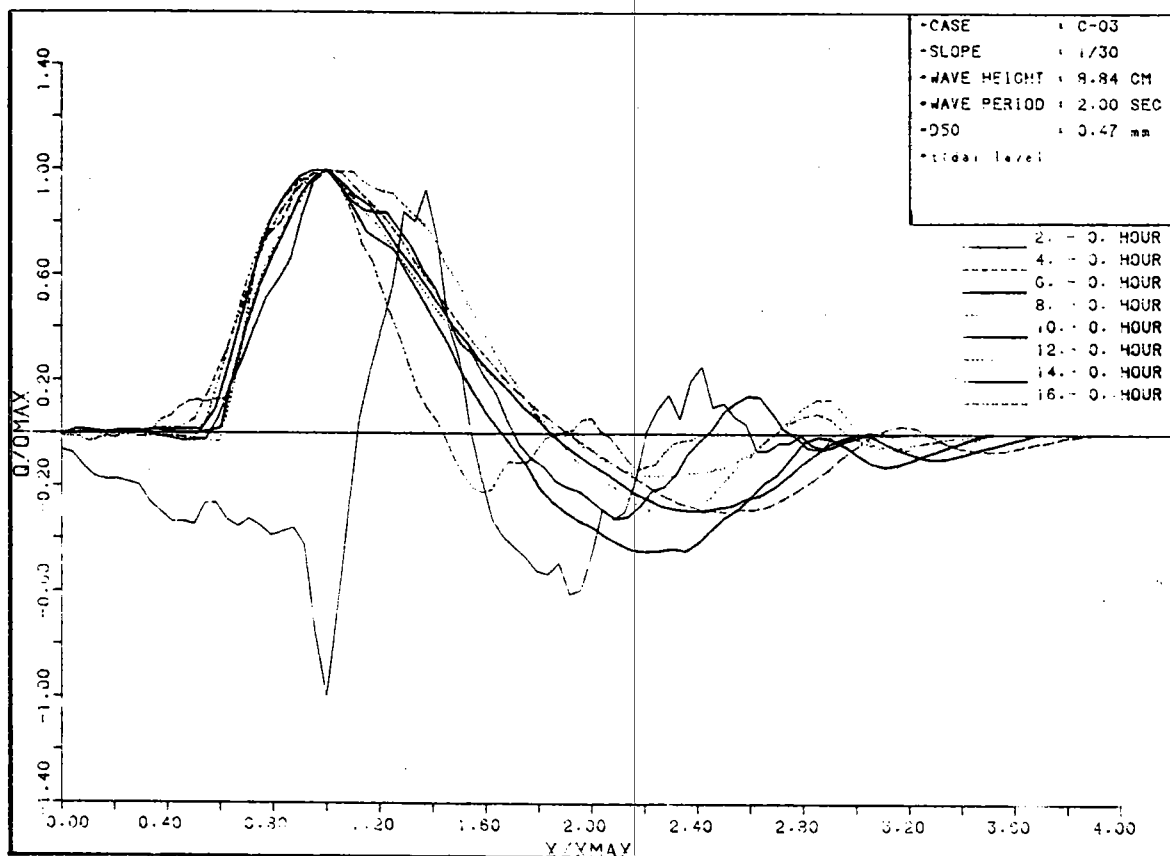


圖 5.74 CASE C 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.47\text{mm}$)

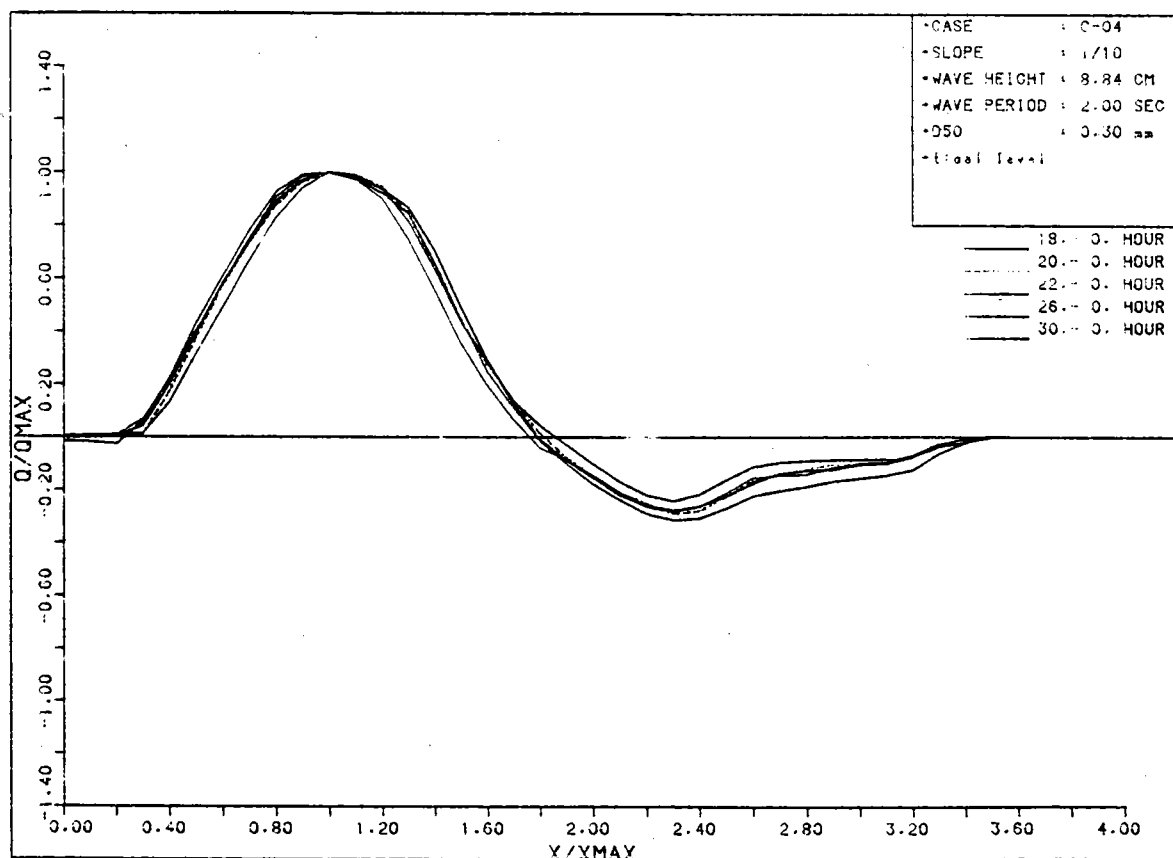
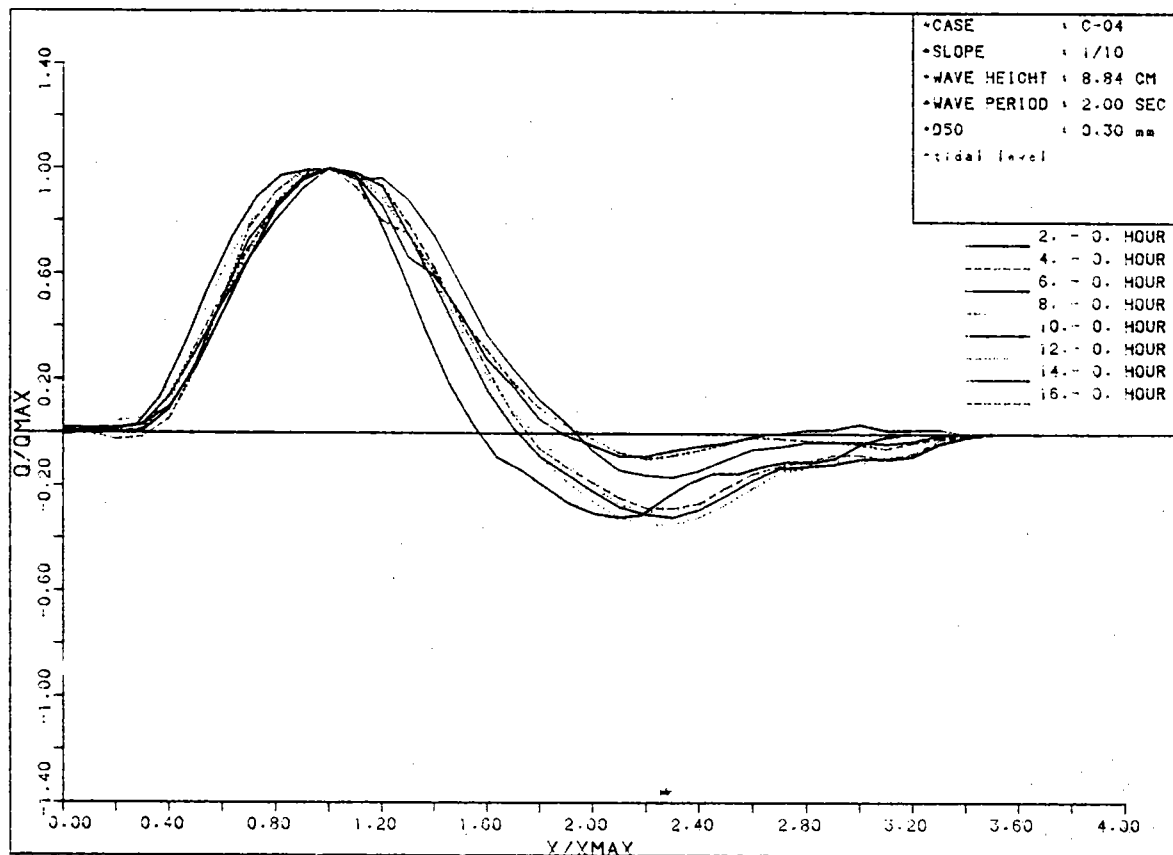


圖 5.75 CASE C 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

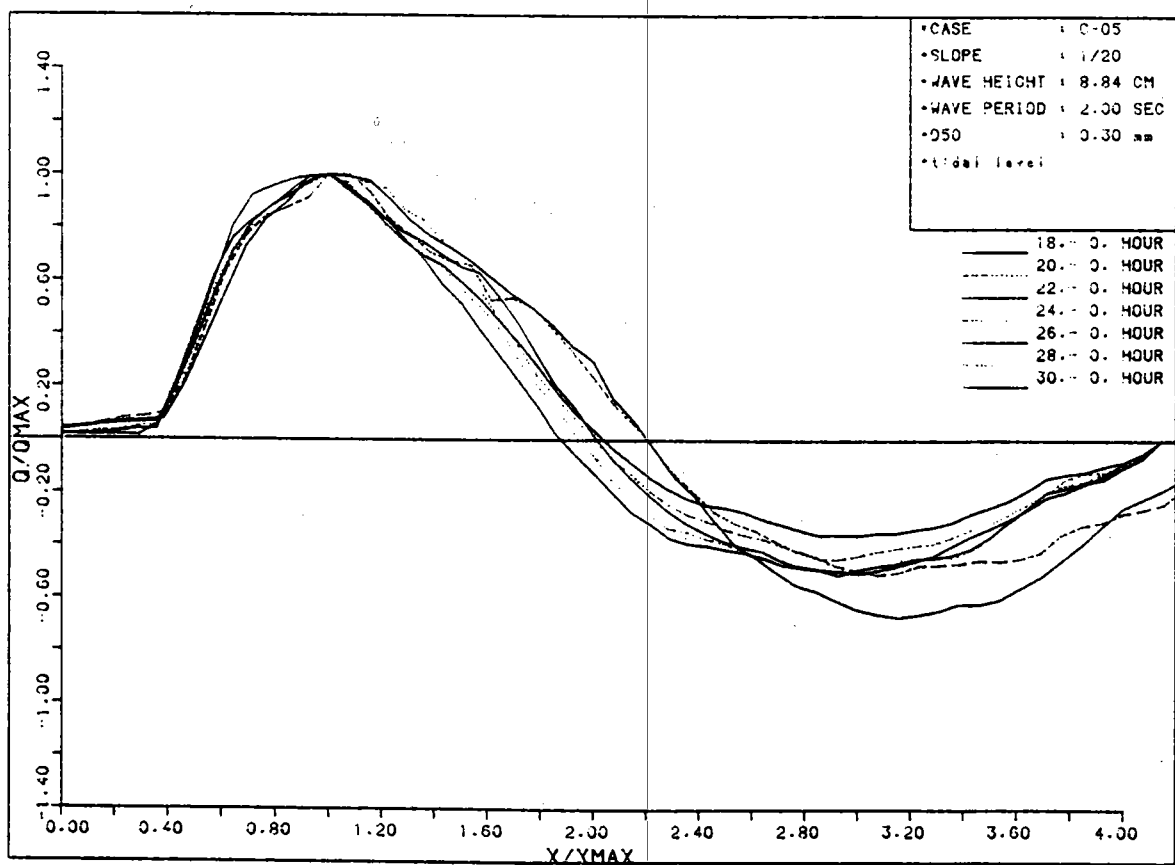
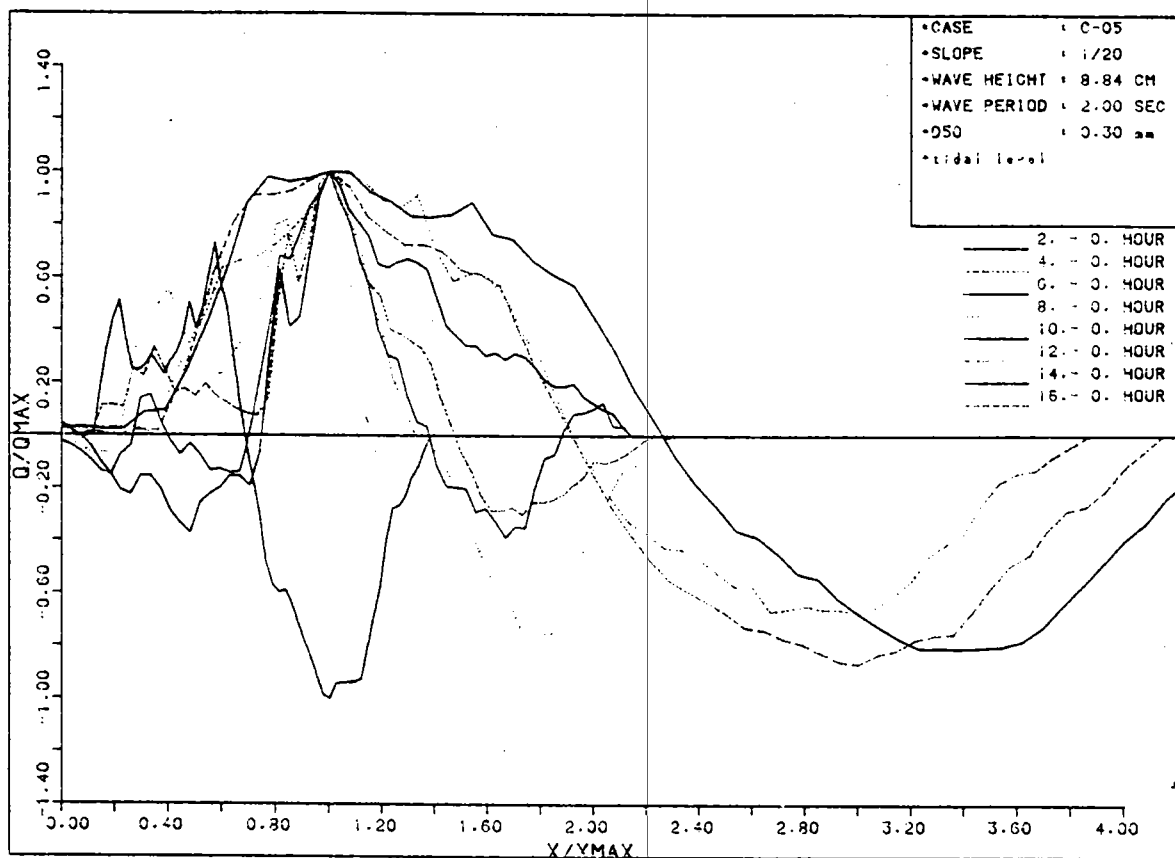


圖 5.76 CASE C 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

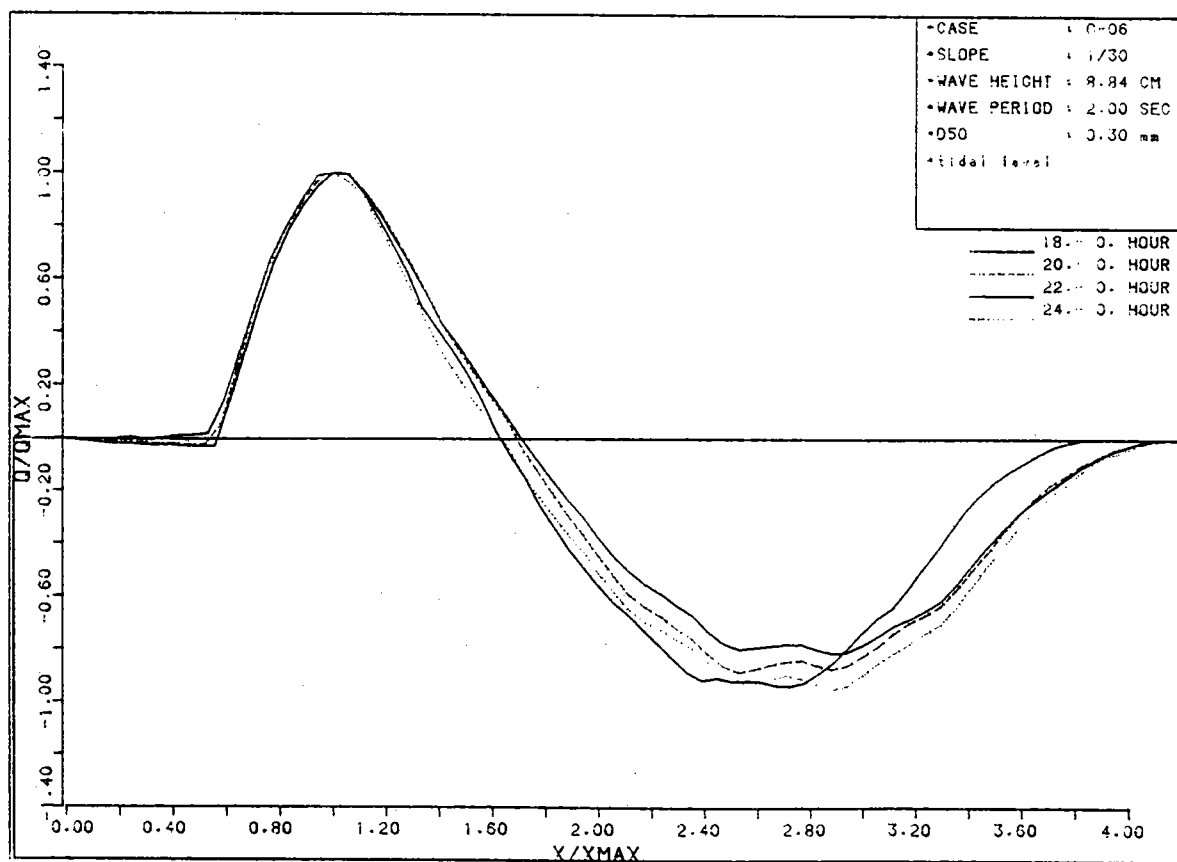
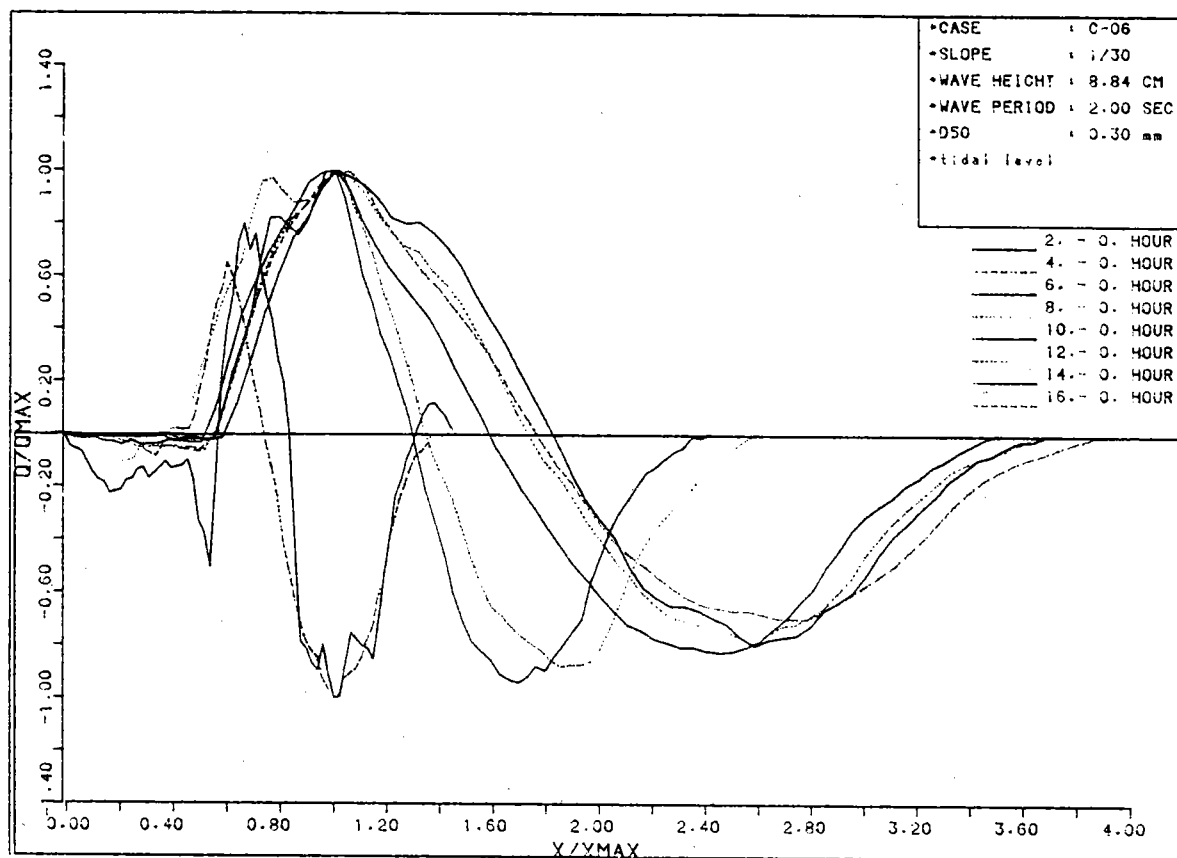


圖 5.77 CASE C 各累積造波時段 $Q/Q_m = x/x_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

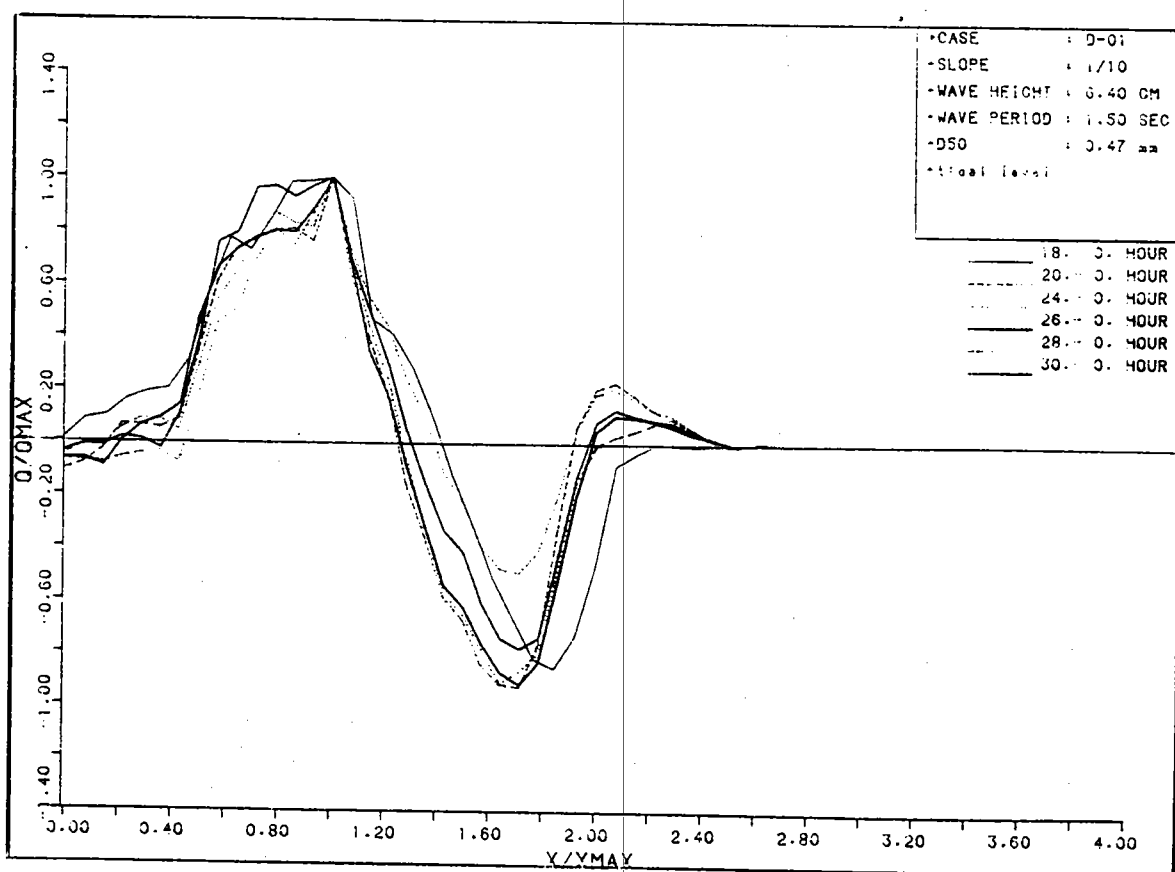
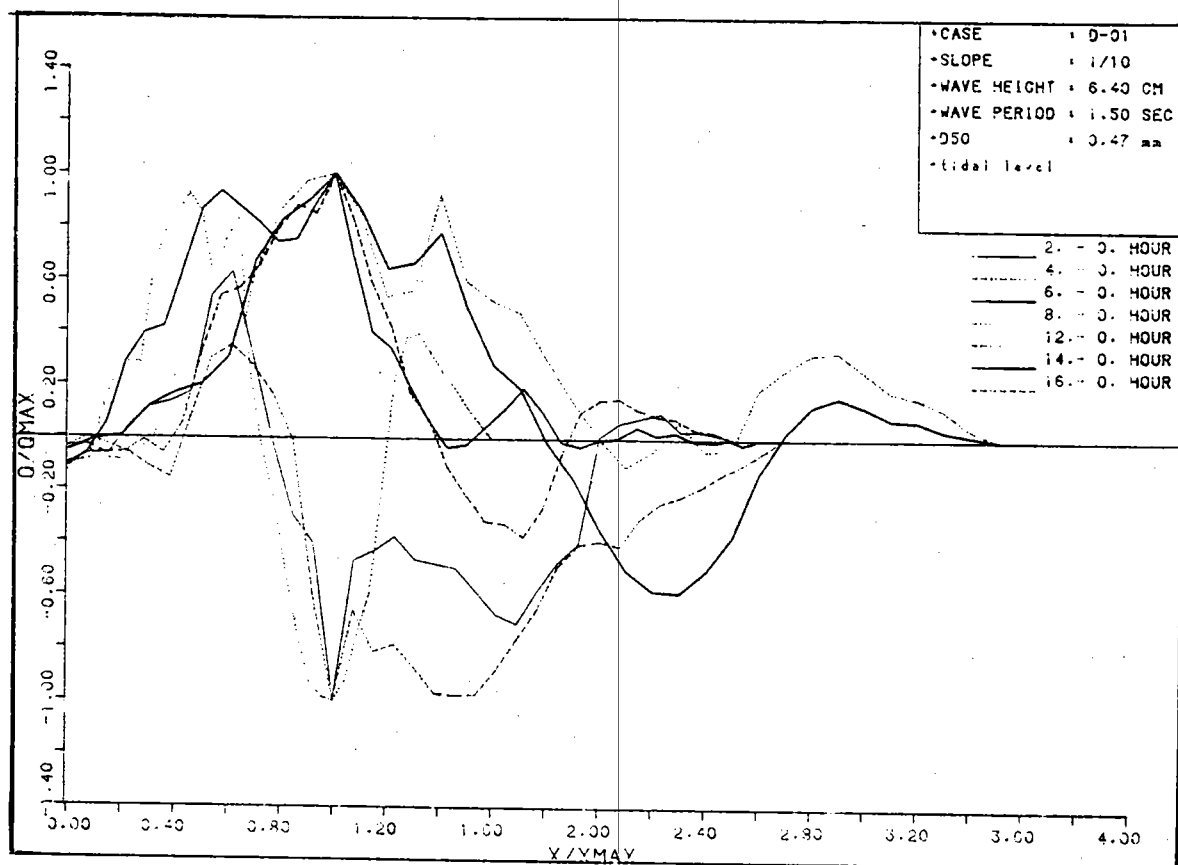


圖 5.78 CASE D 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

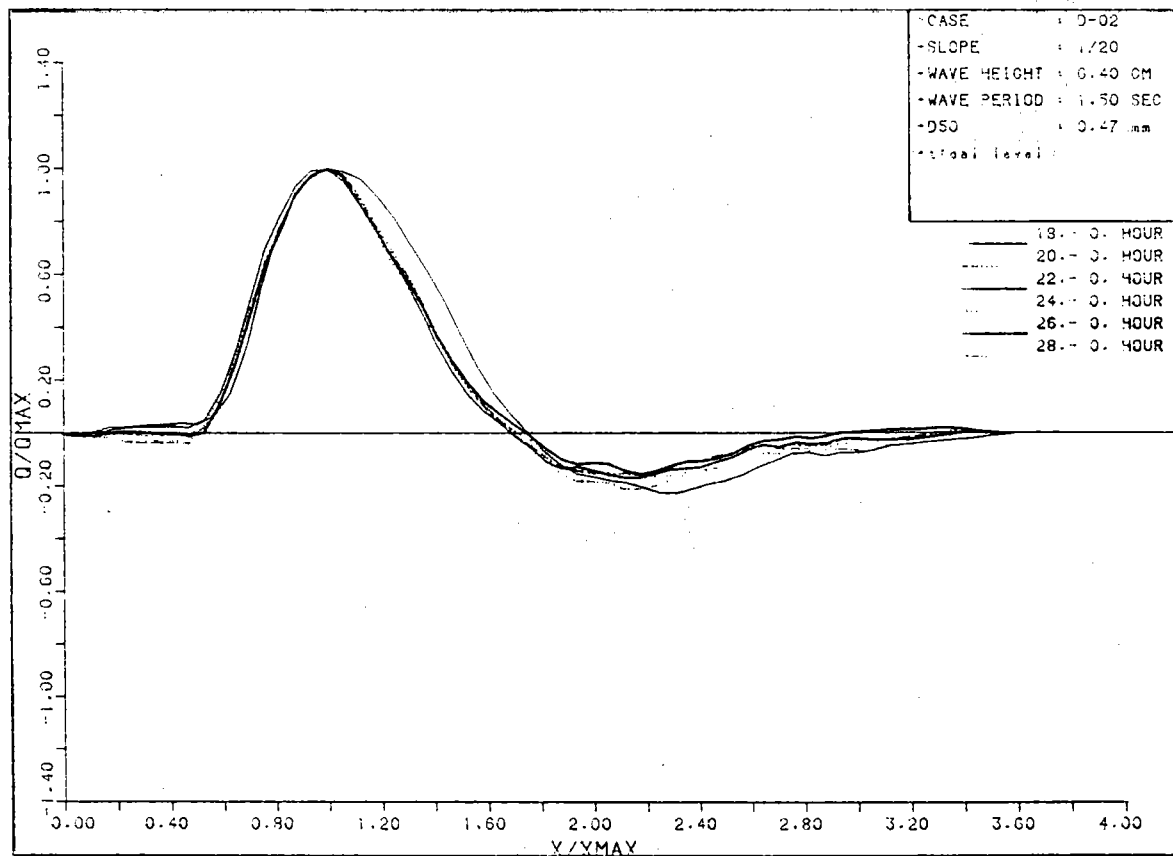
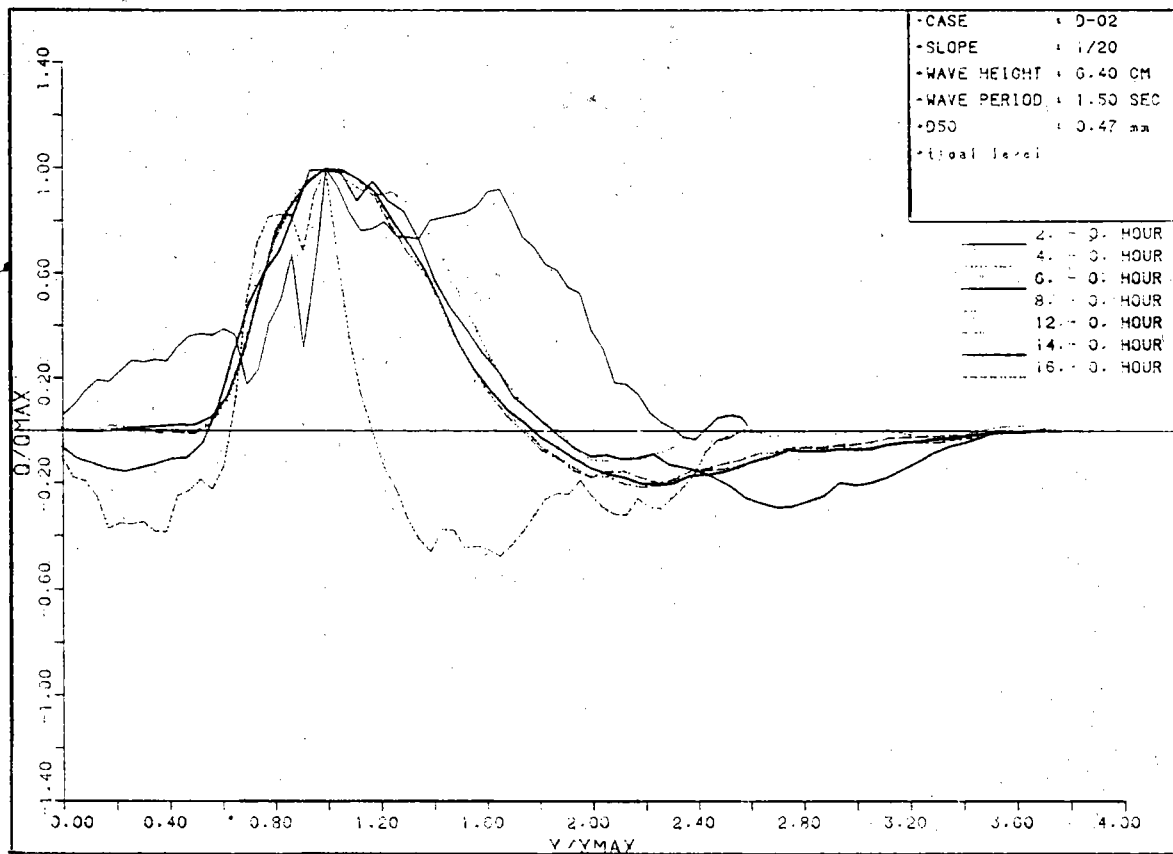


圖 5.79 CASE D 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

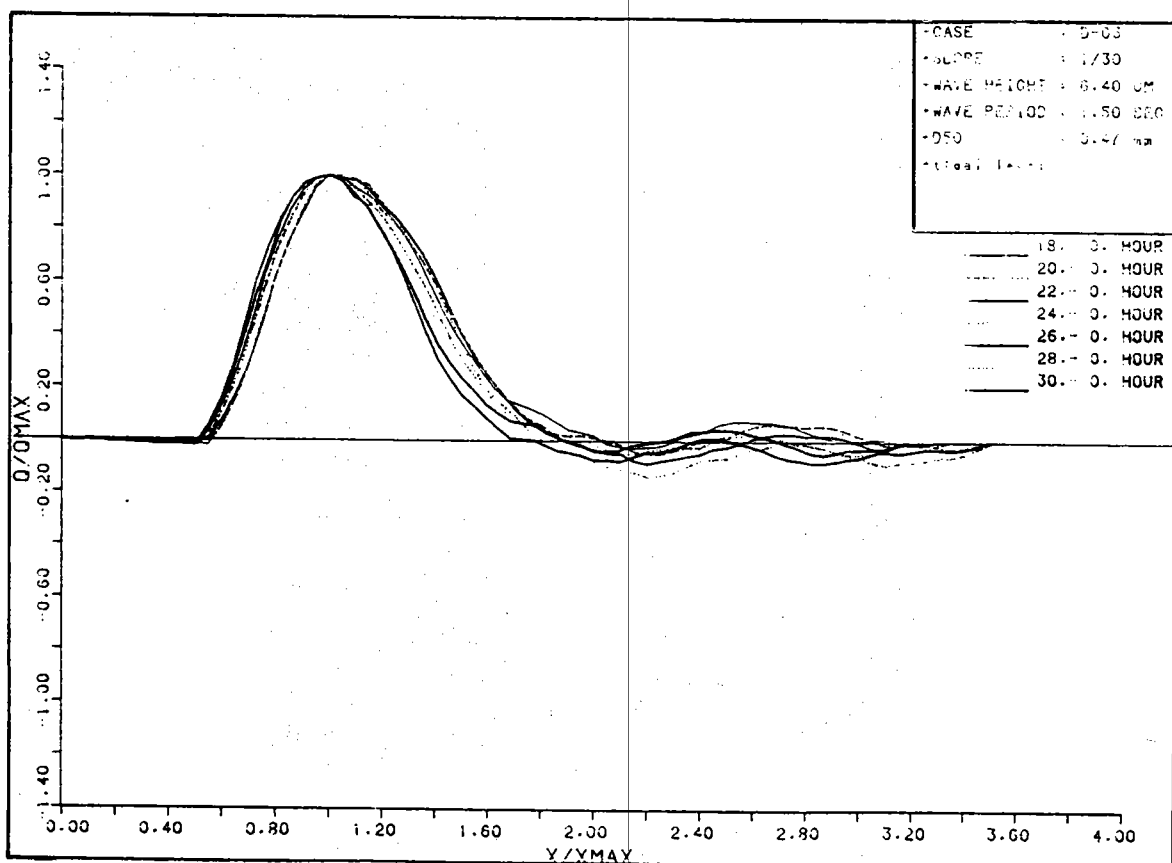
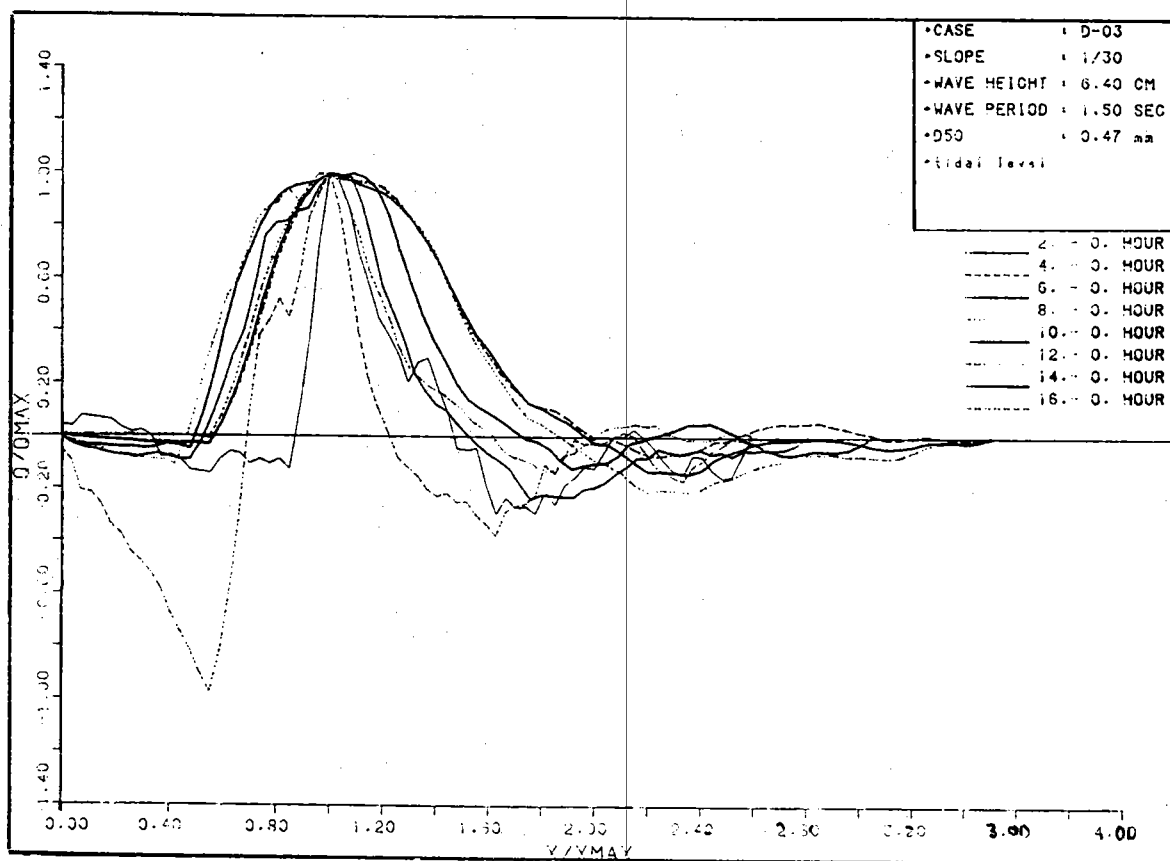


圖 5.80 CASE D 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.47\text{mm}$)

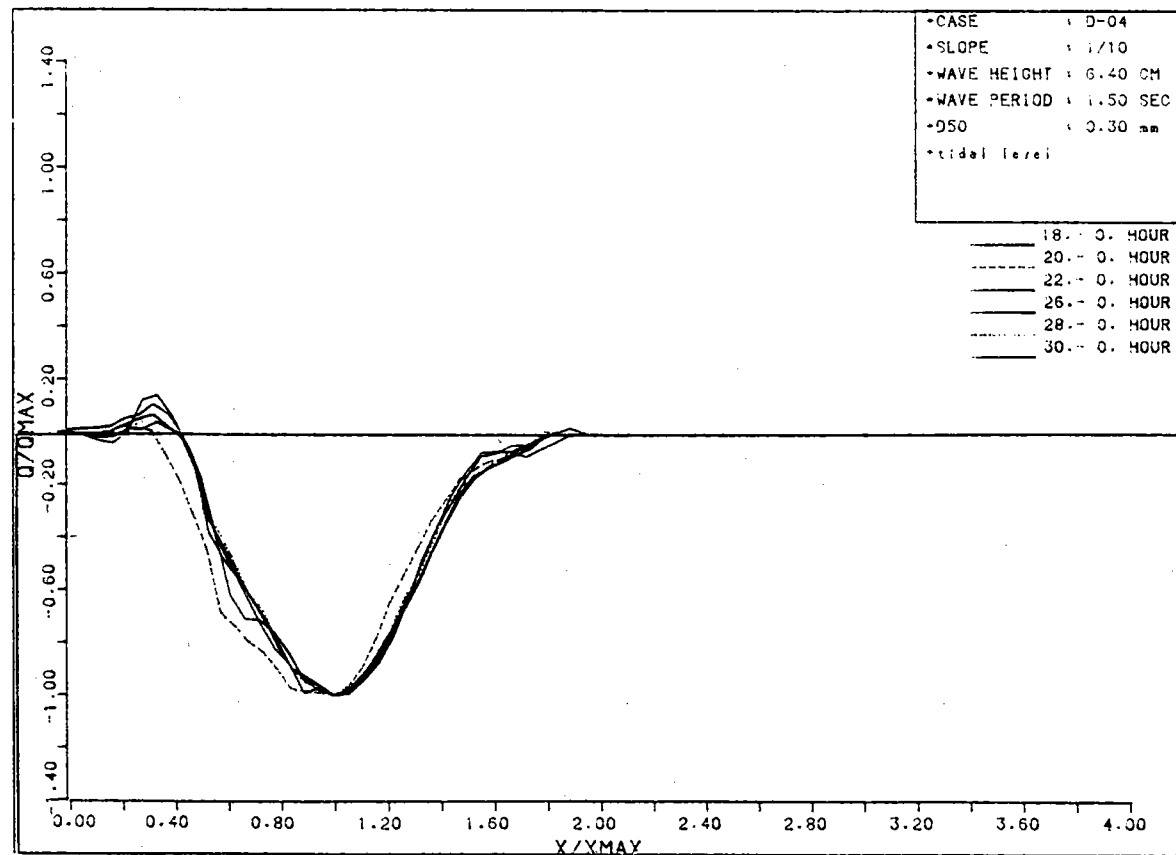
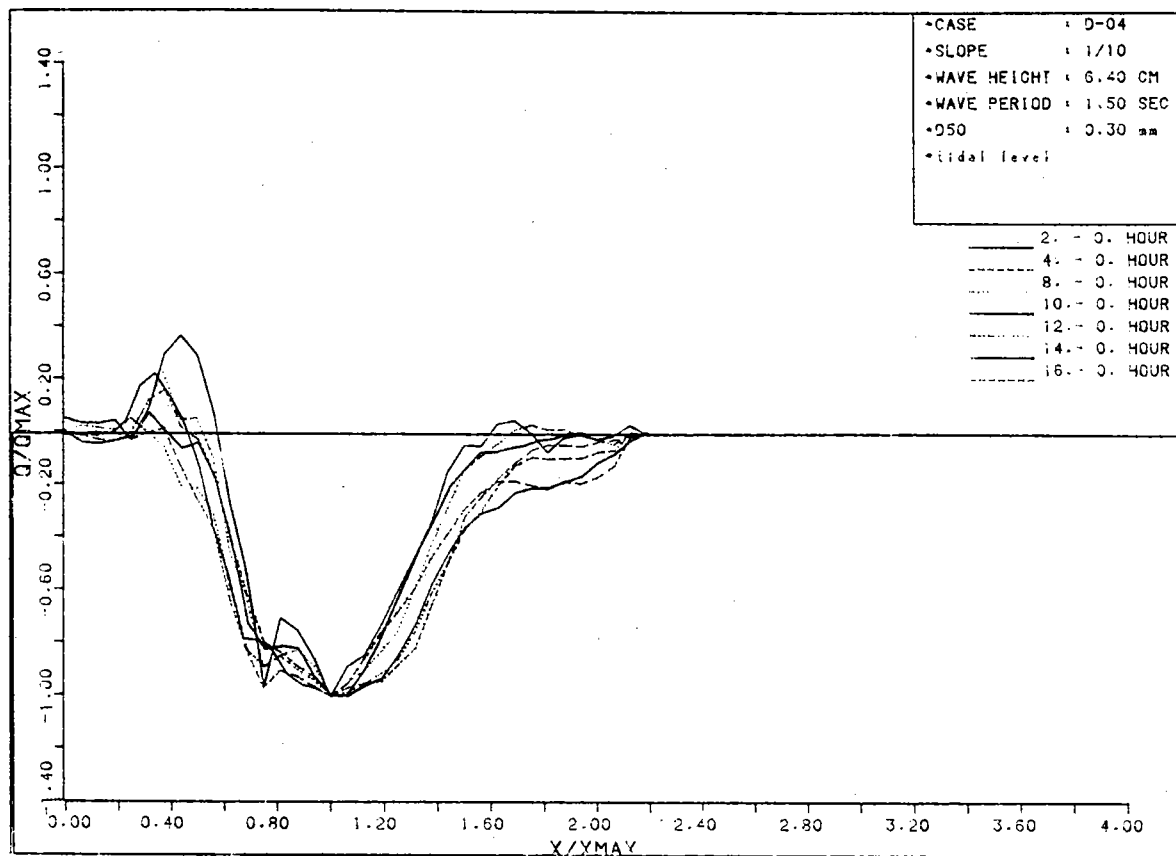


圖 5.81 CASE D 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D_{50}=0.30\text{mm}$)

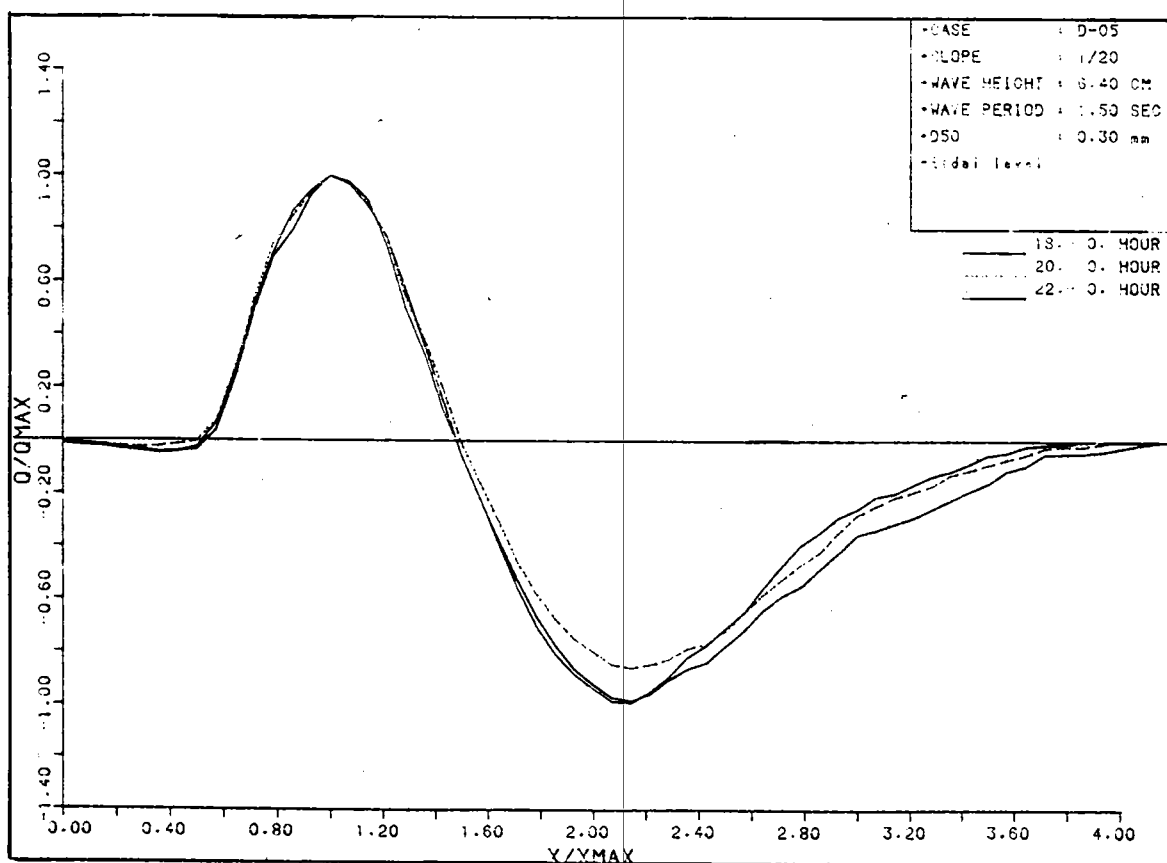
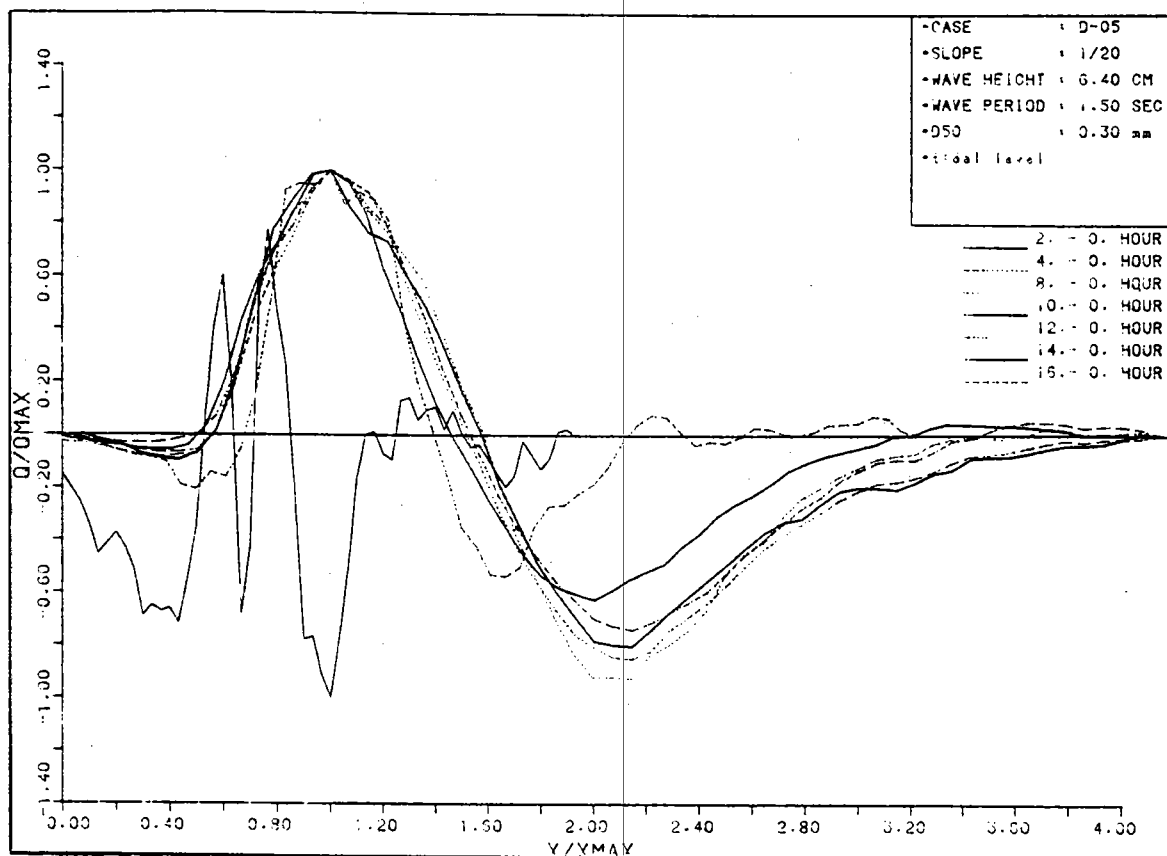


圖 5.82 CASE D 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

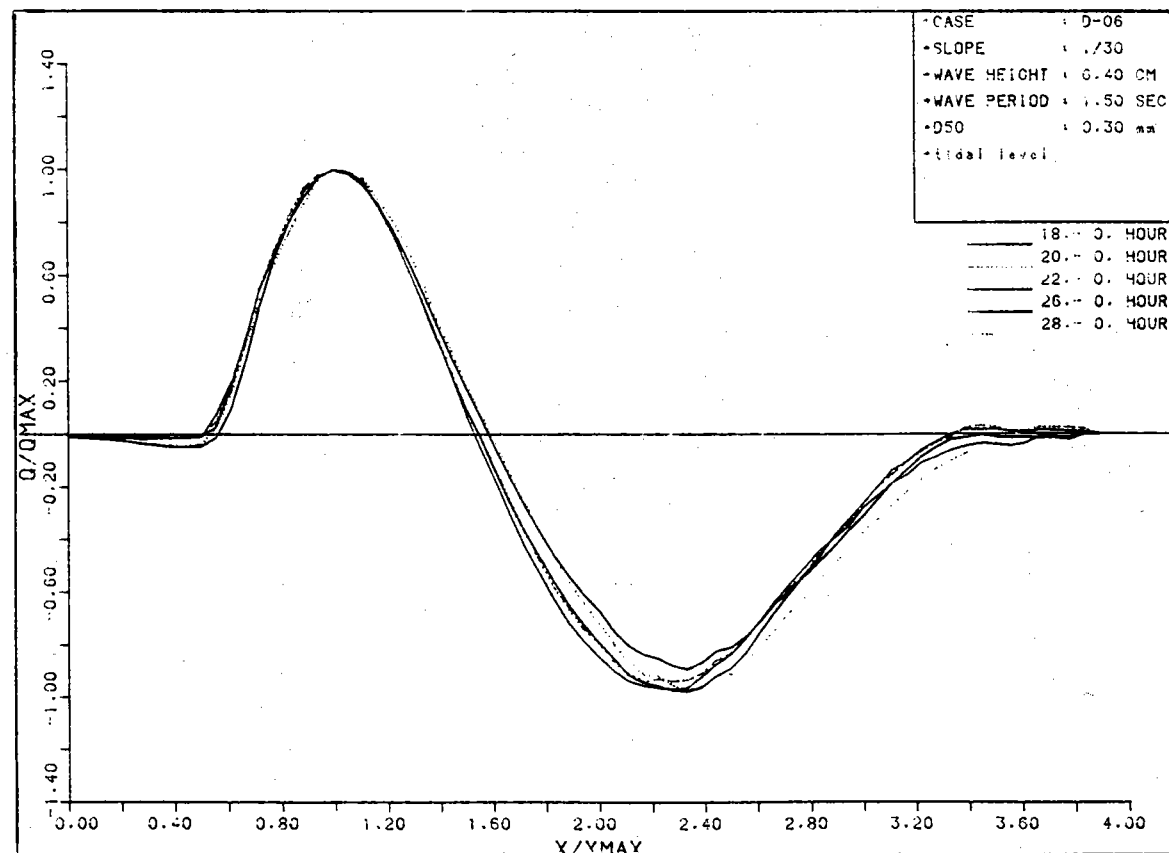
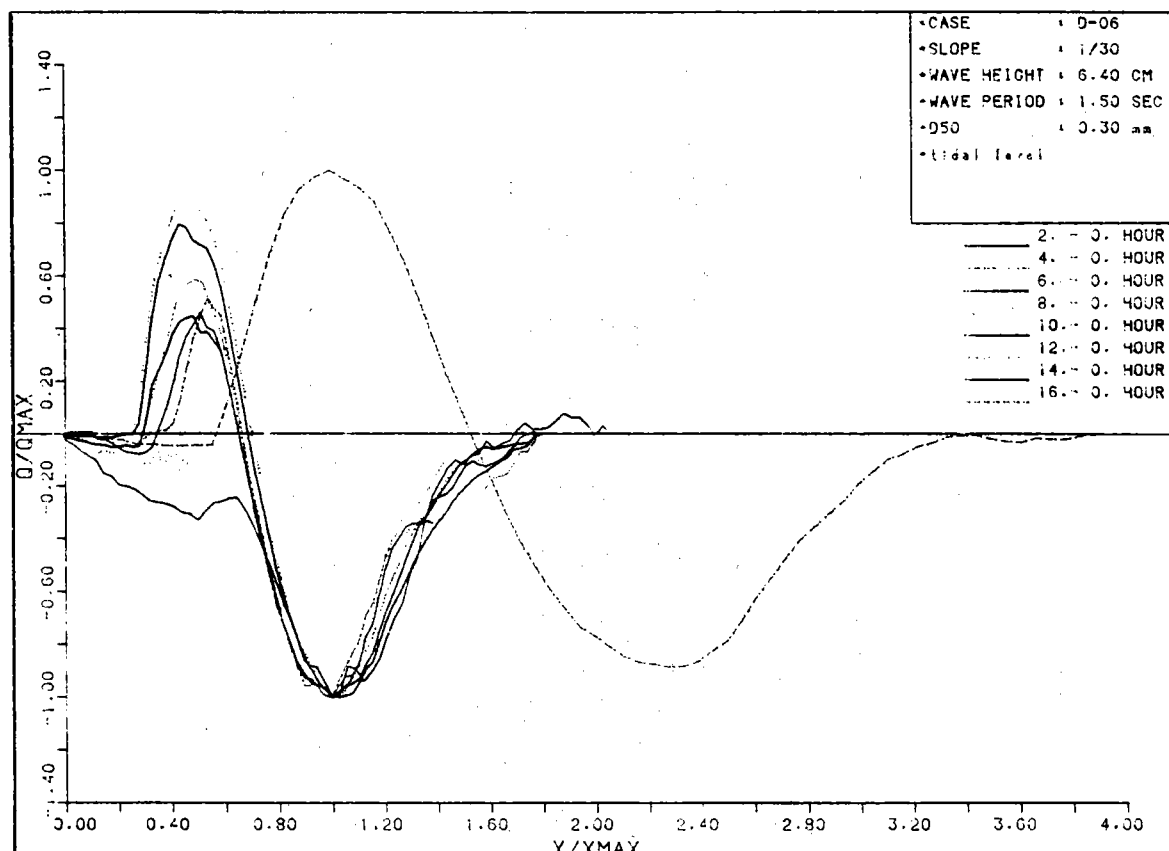


圖 5.83 CASE D 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

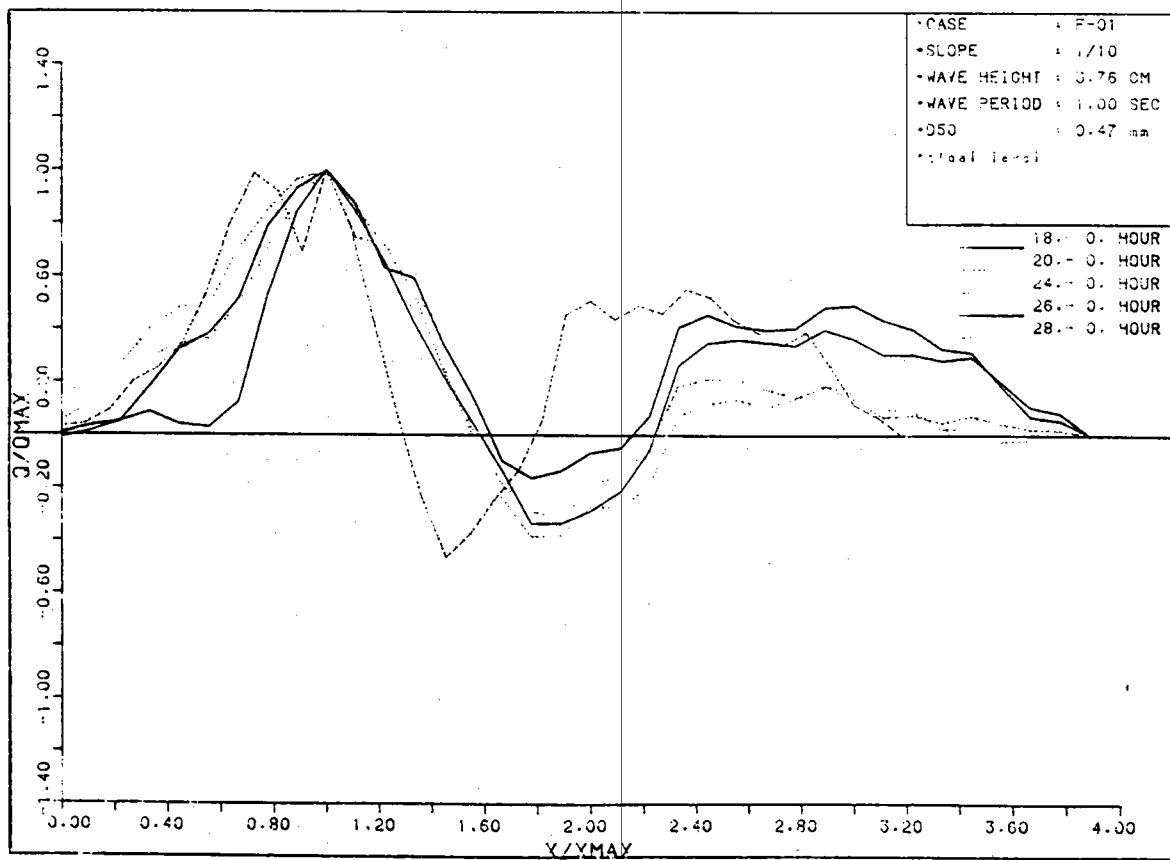
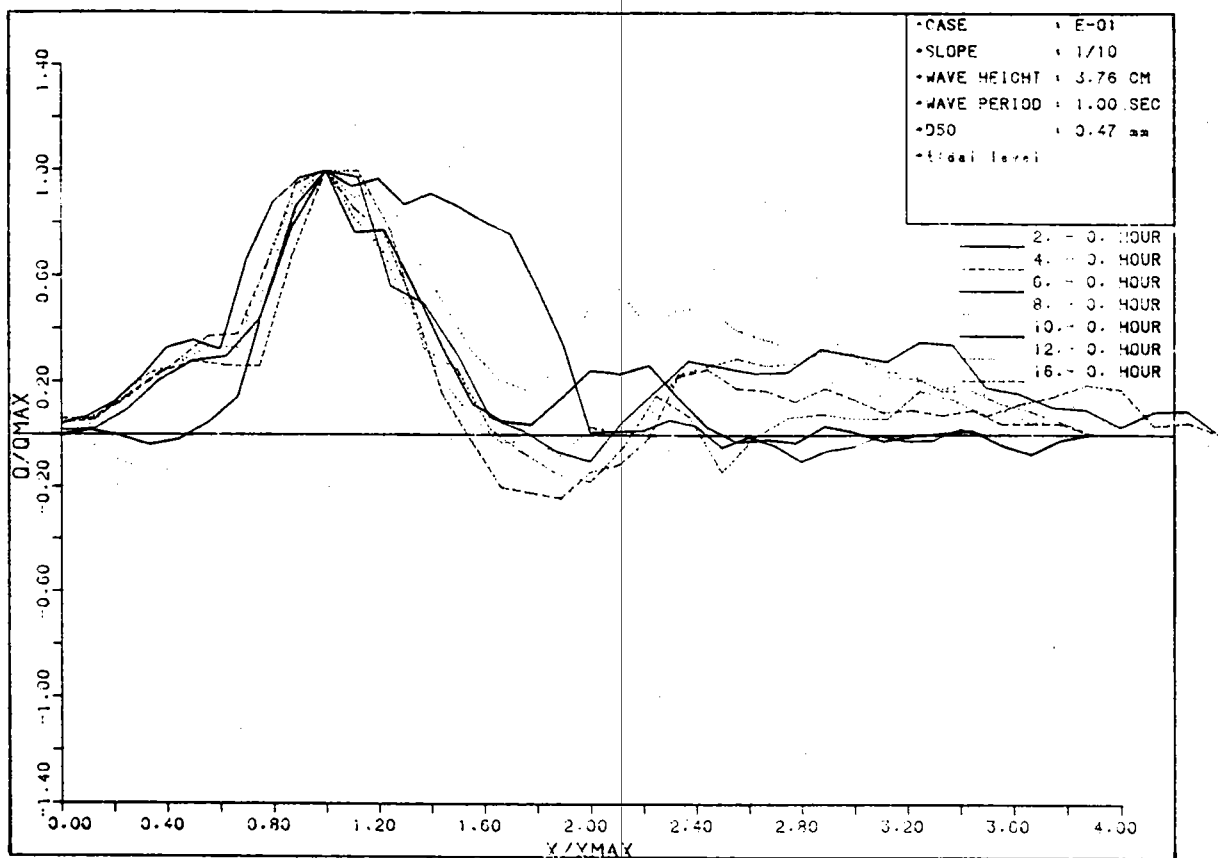


圖 5.84 CASE E 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

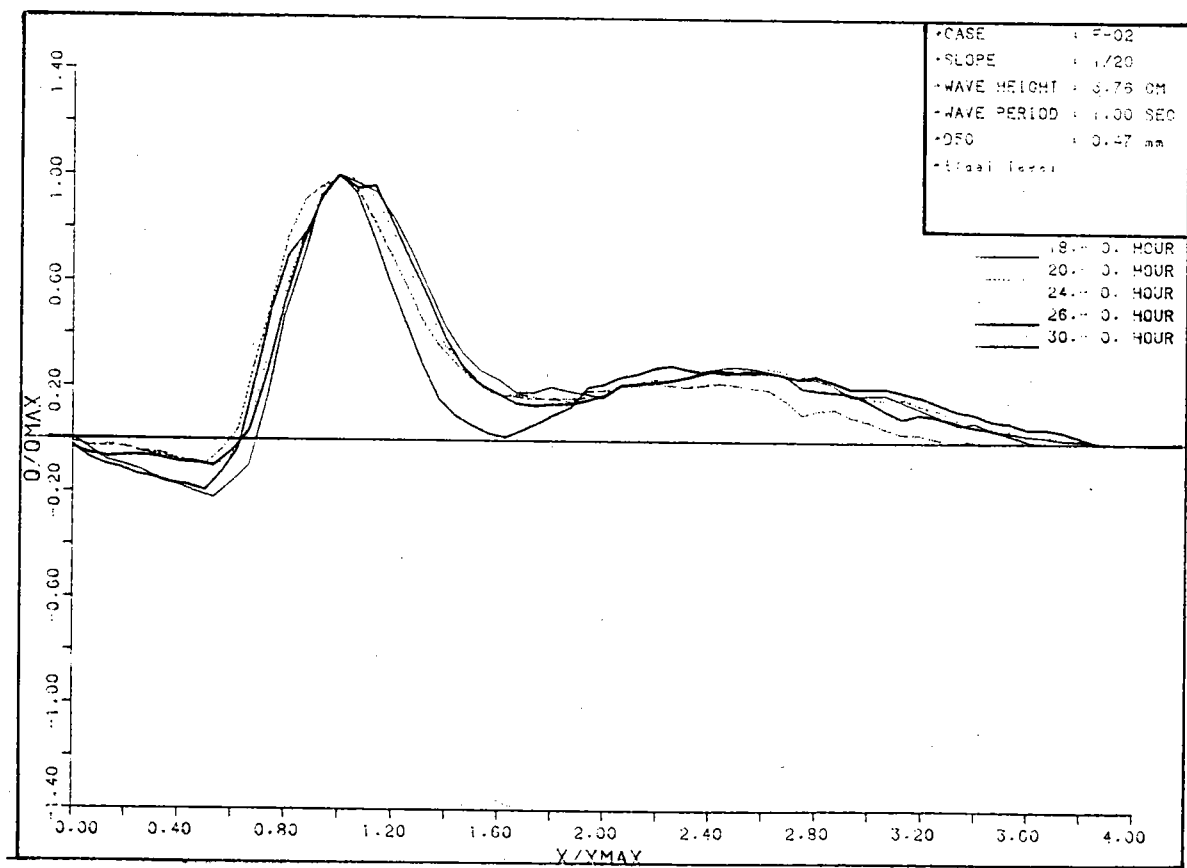
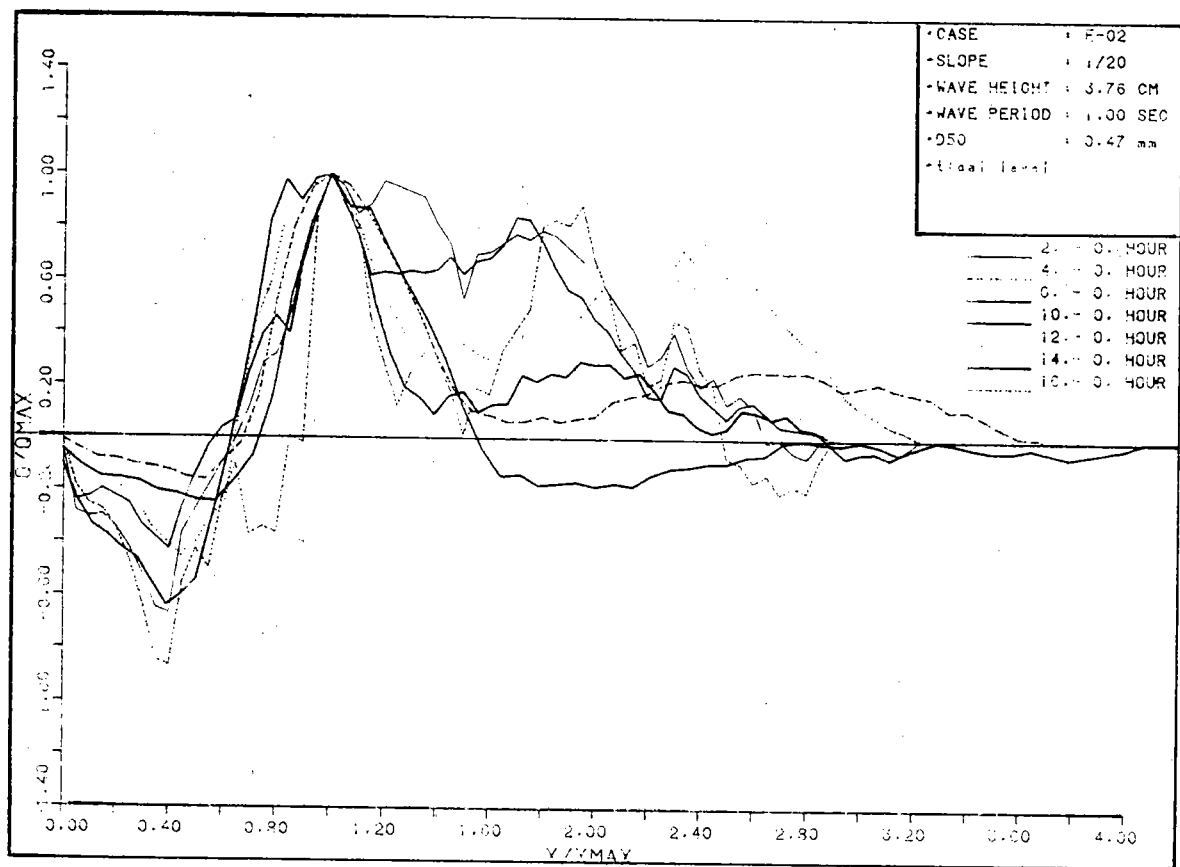


圖 5.85 CASE E 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D_{50}=0.47\text{mm}$)

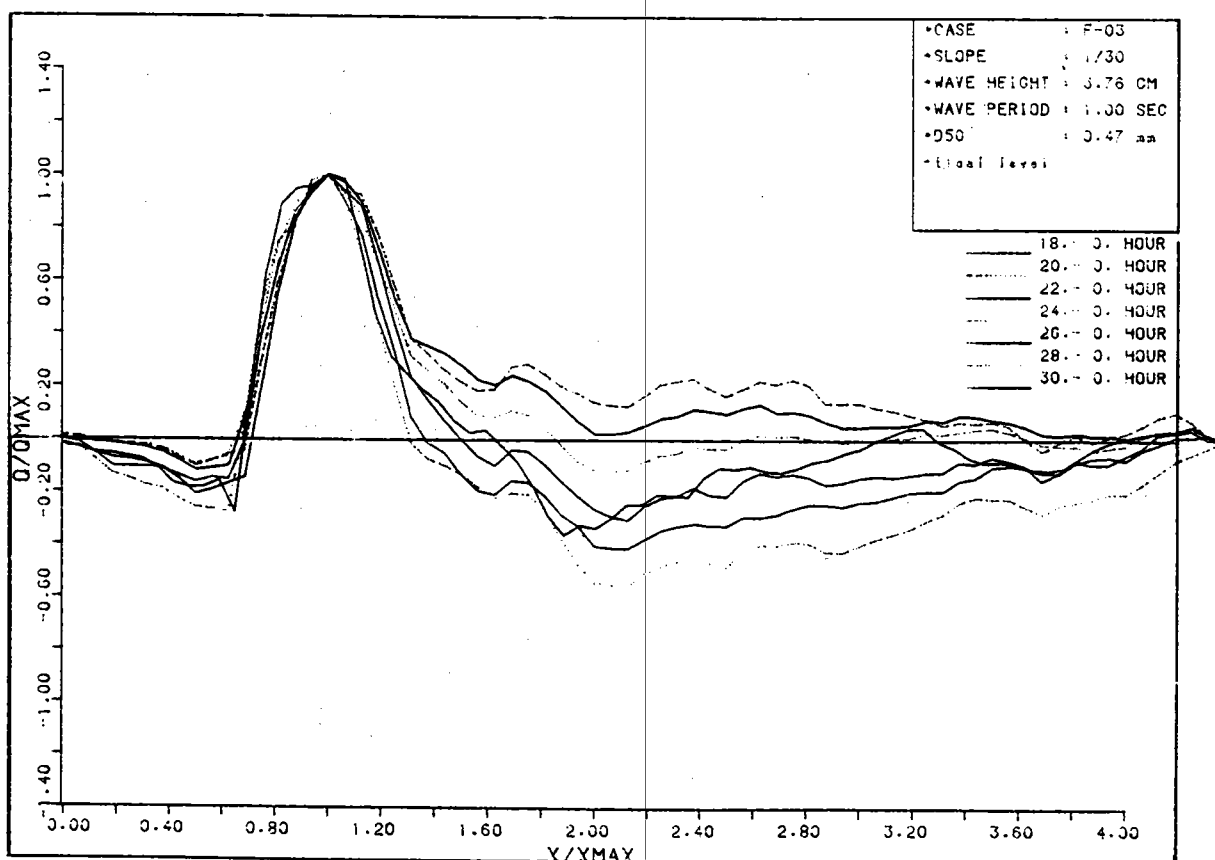
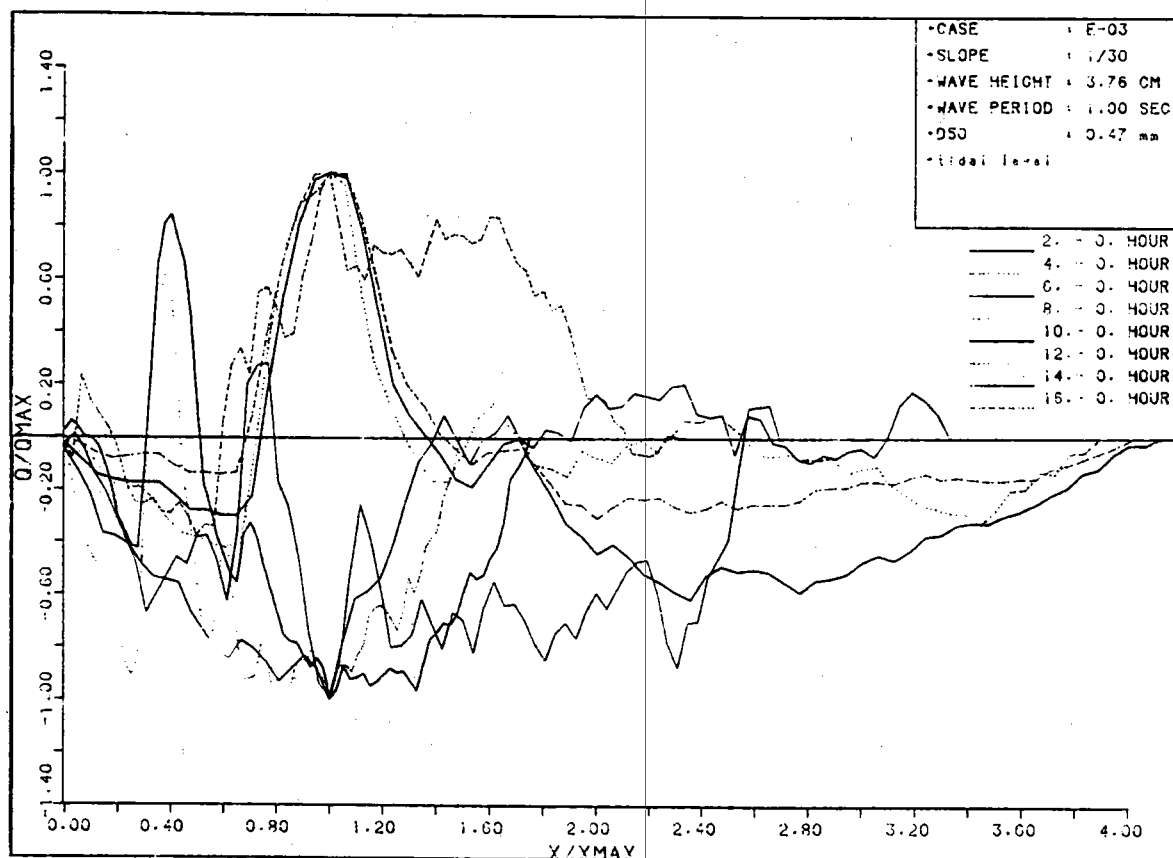


圖 5.86 CASE E 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.47\text{mm}$)

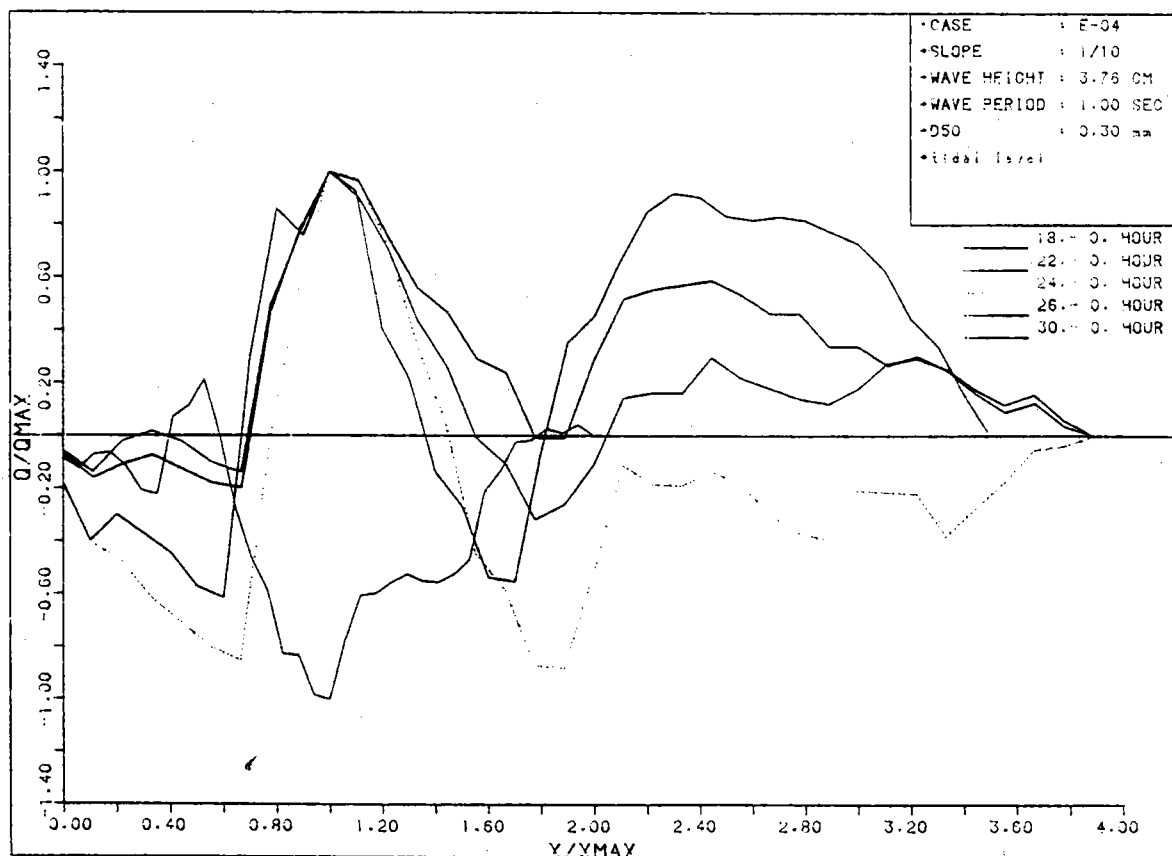
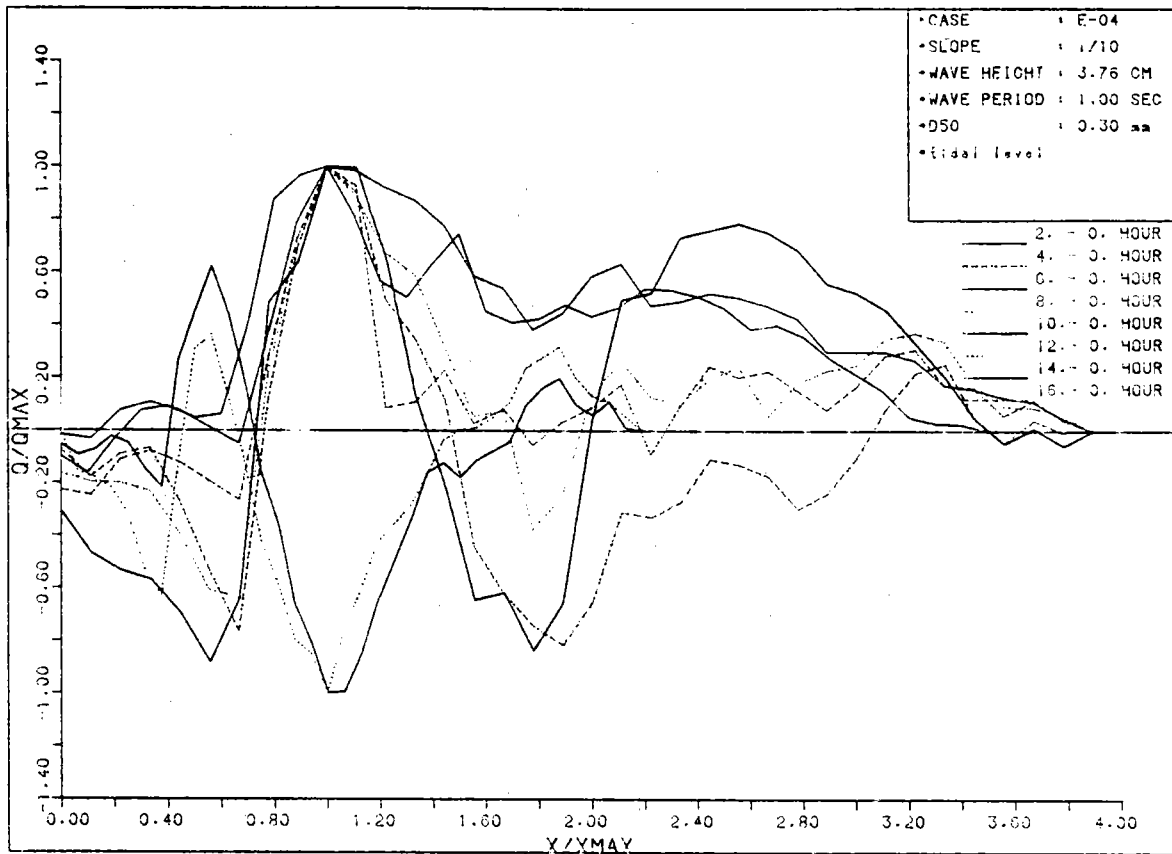


圖 5.87 CASE E 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

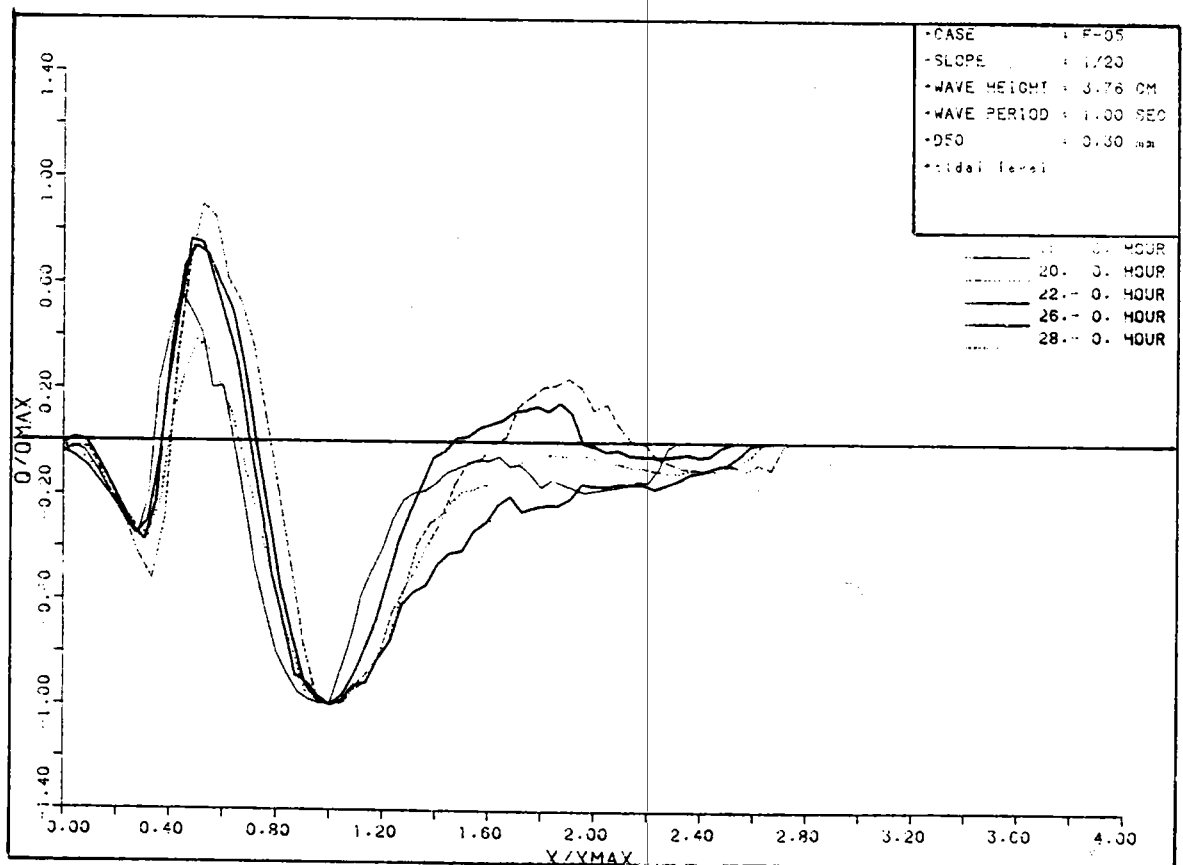
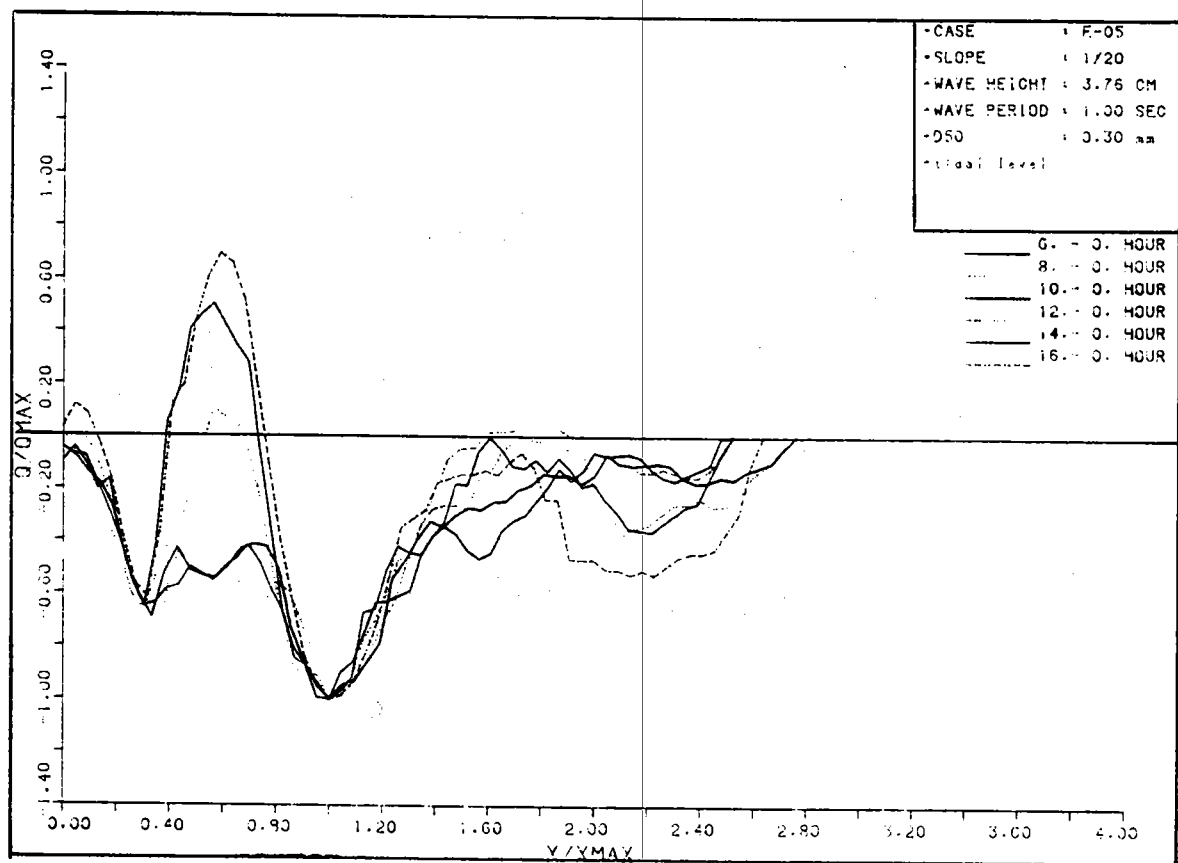


圖 5.88 CASE E 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

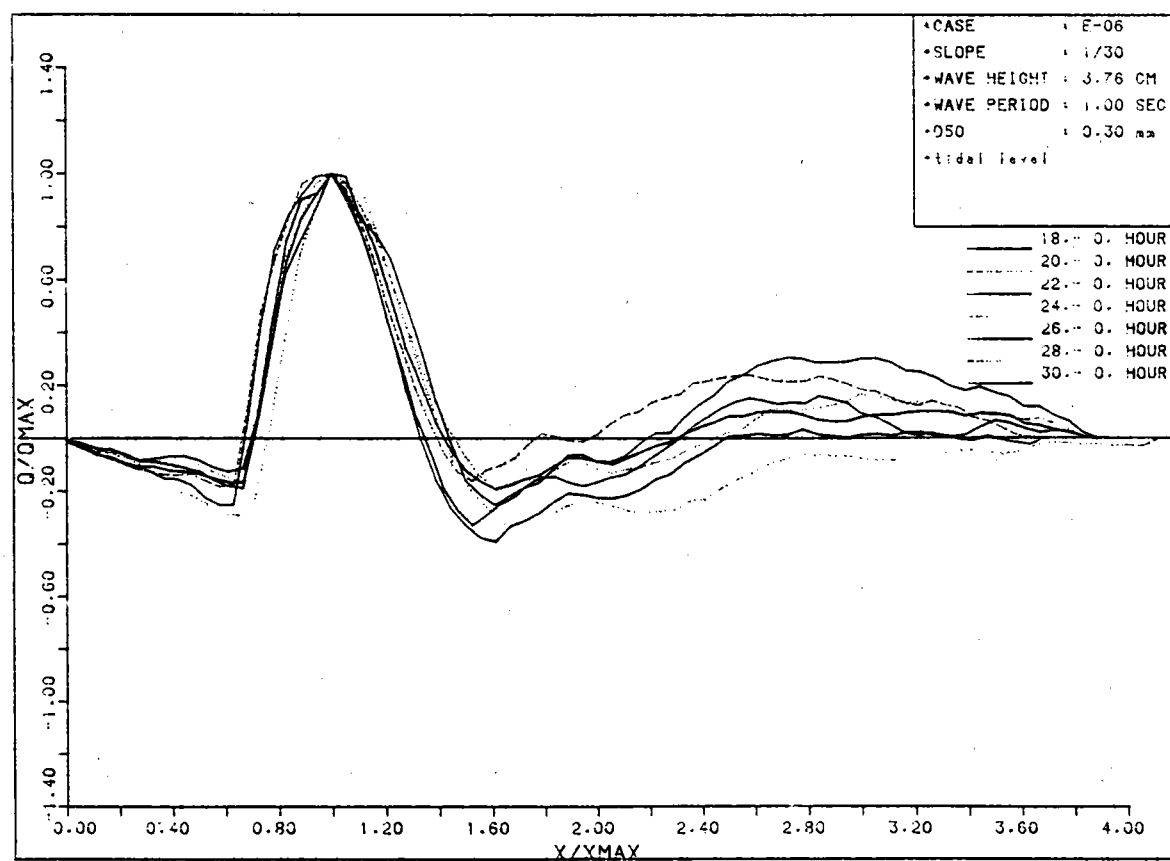
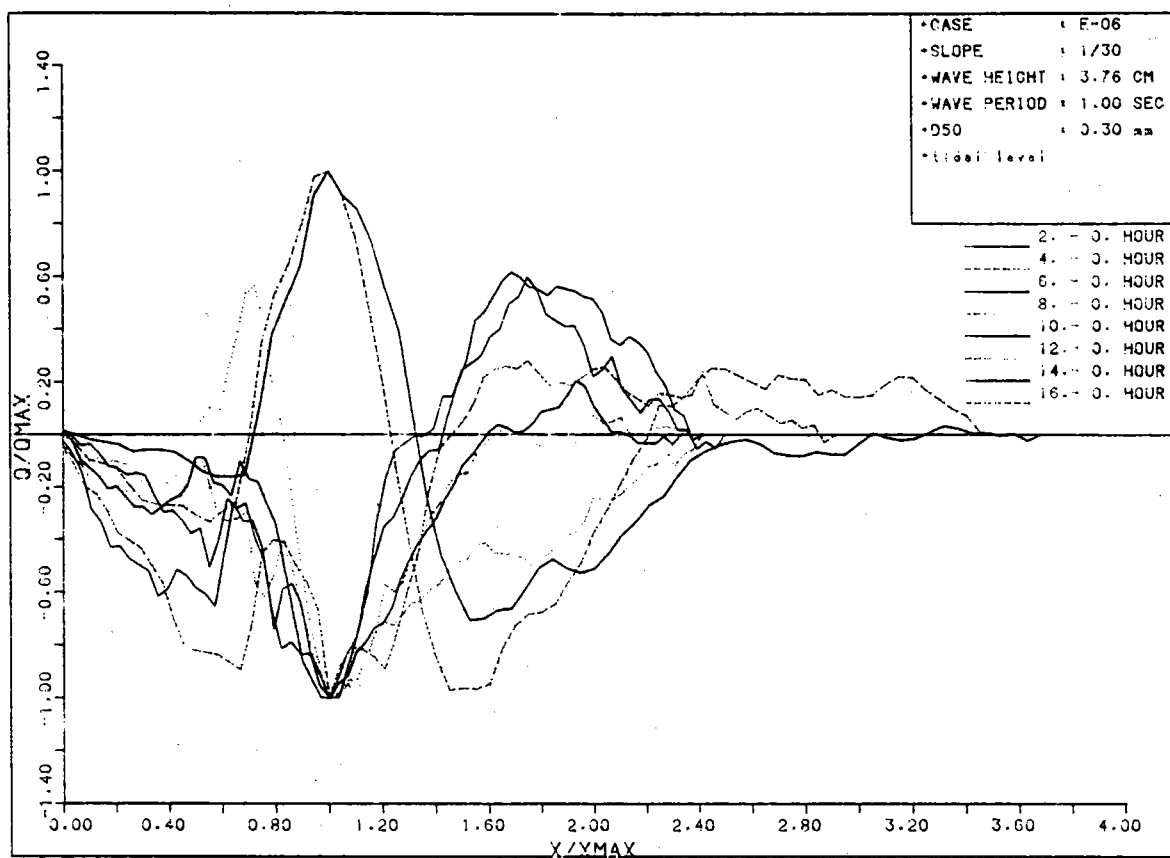


圖 5.89 CASE E 各累積造波時段 $Q/Q_m = X/X_m$ 關係圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

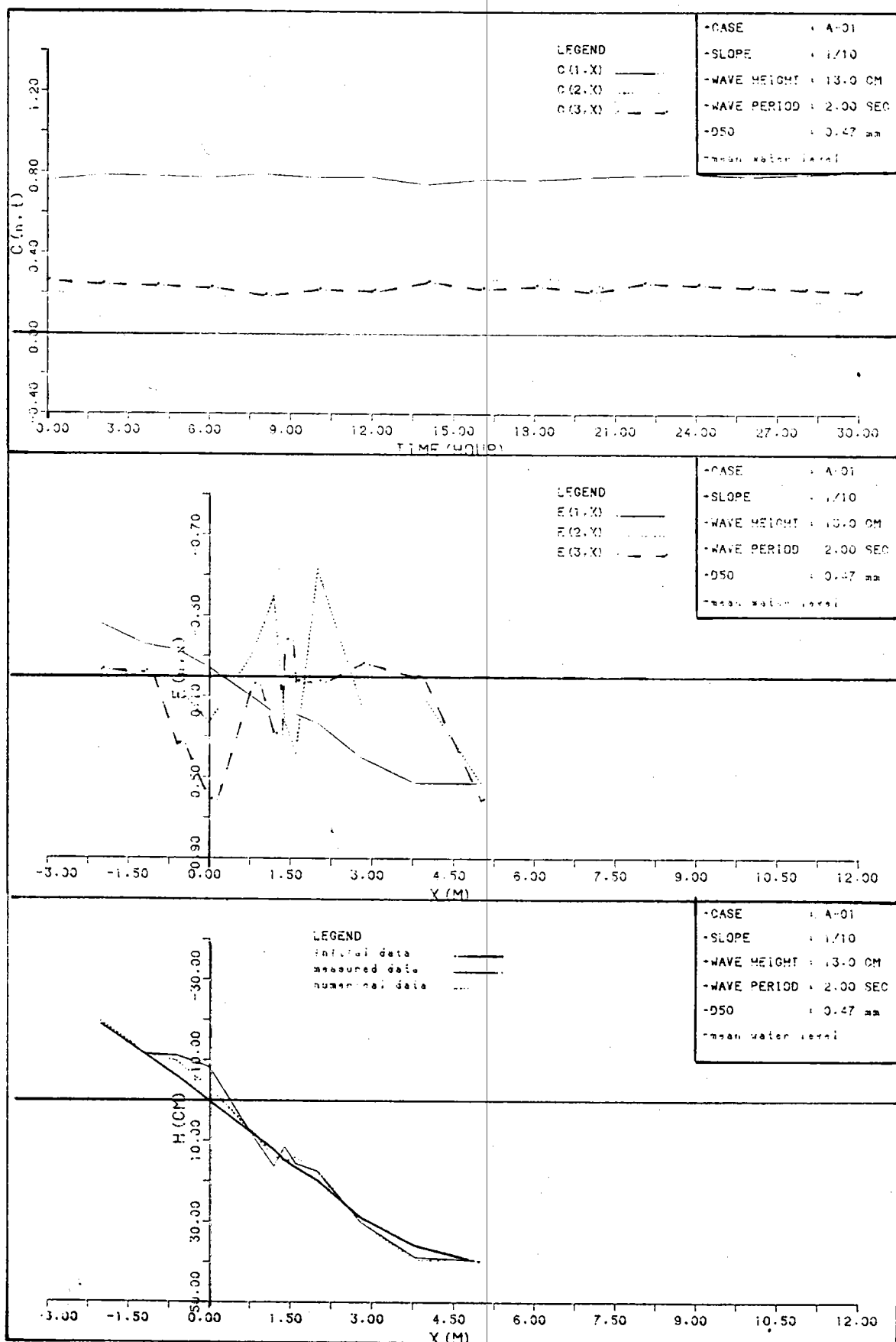


圖 5.91 CASE A 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

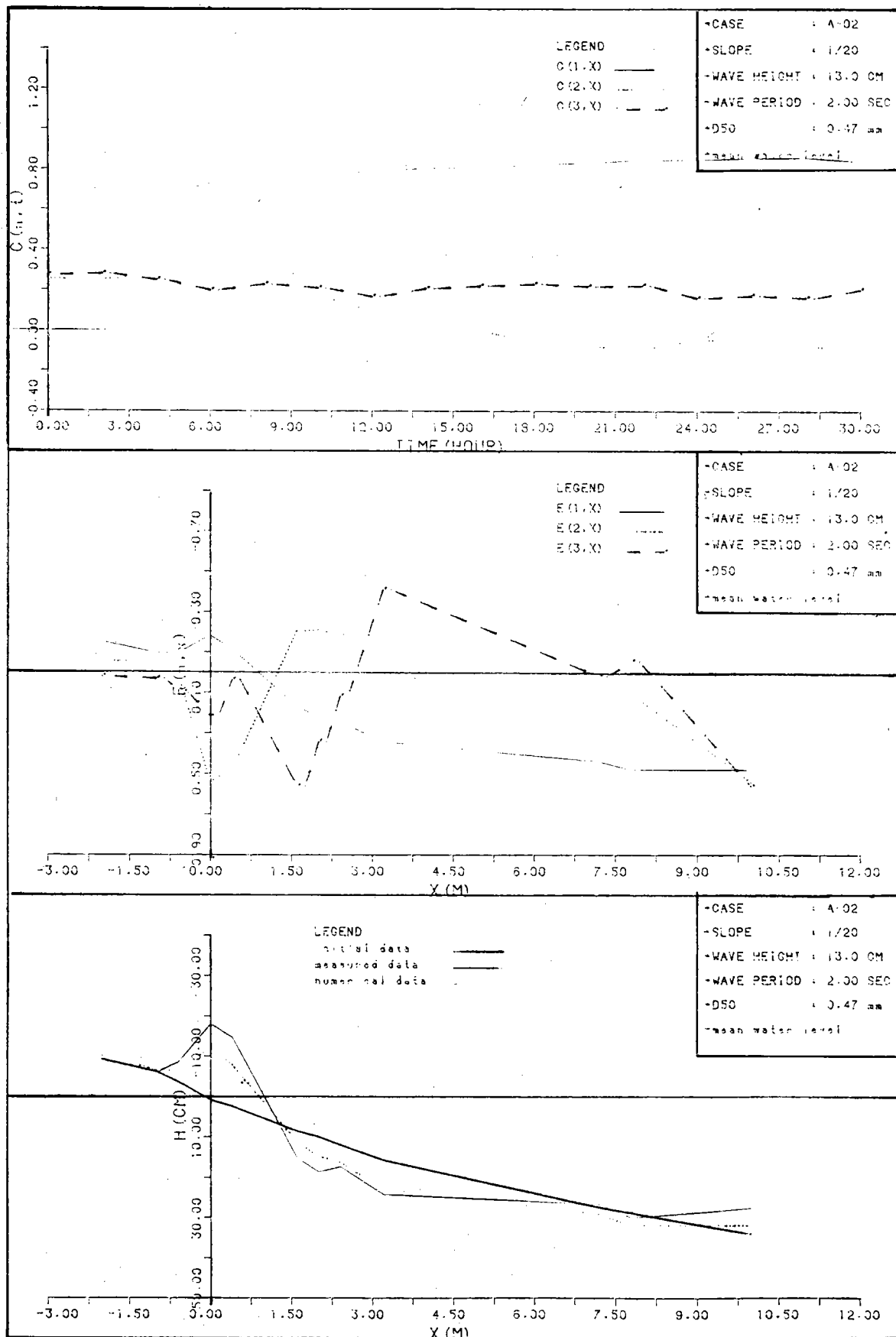


圖 5.92 CASE A 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

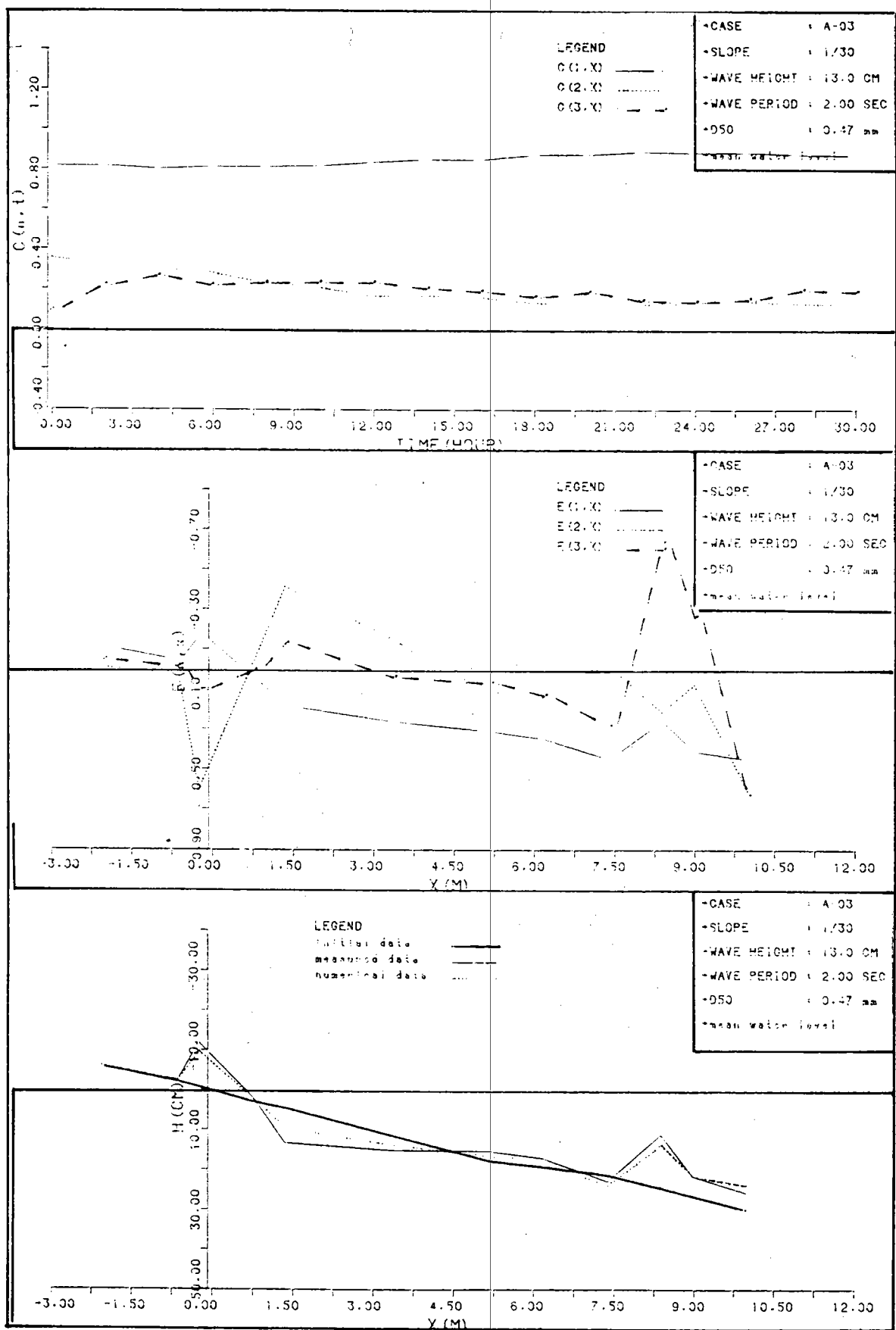


圖 5.93 CASE A 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0/47$ mm)

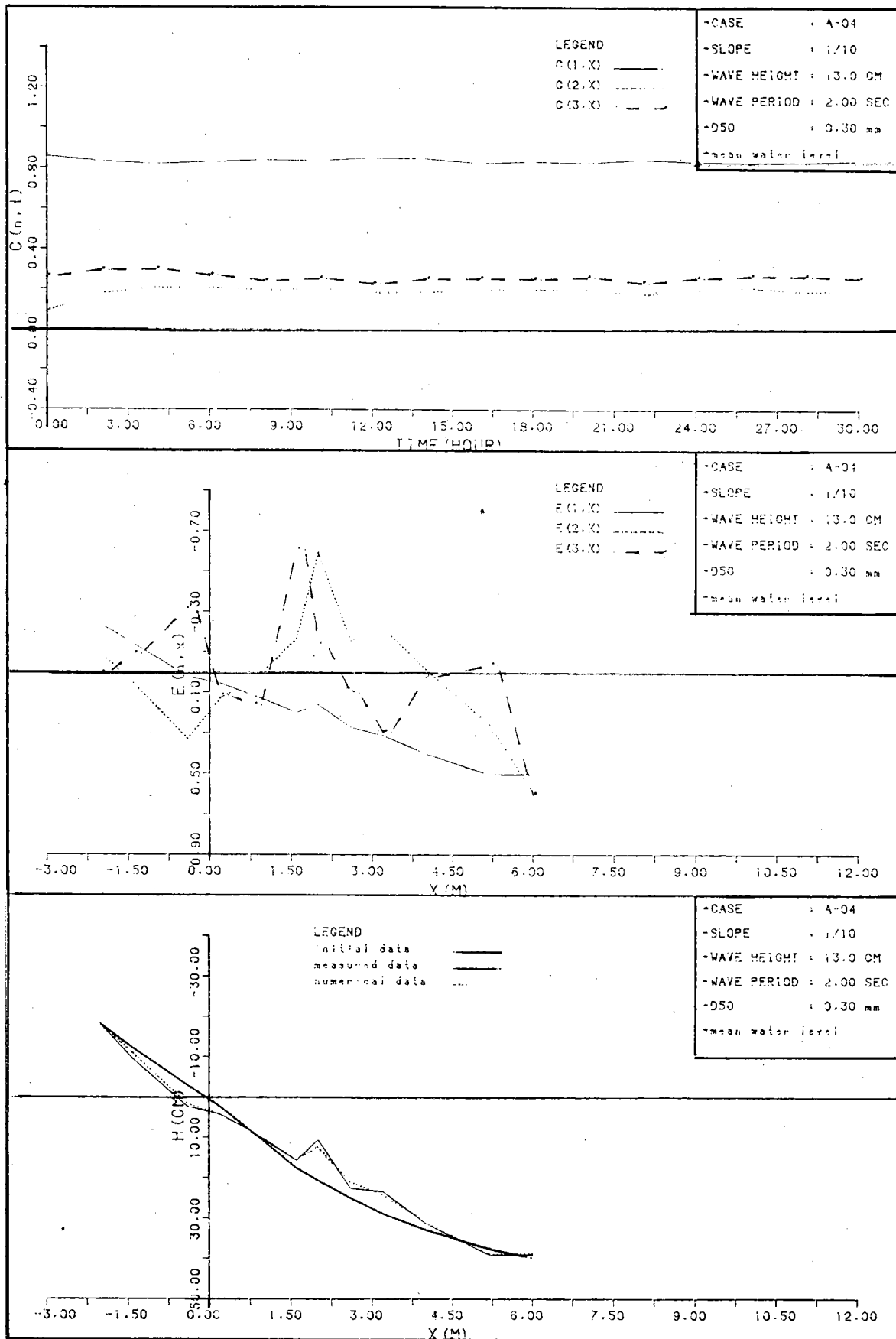


圖 5.94 CASE A 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

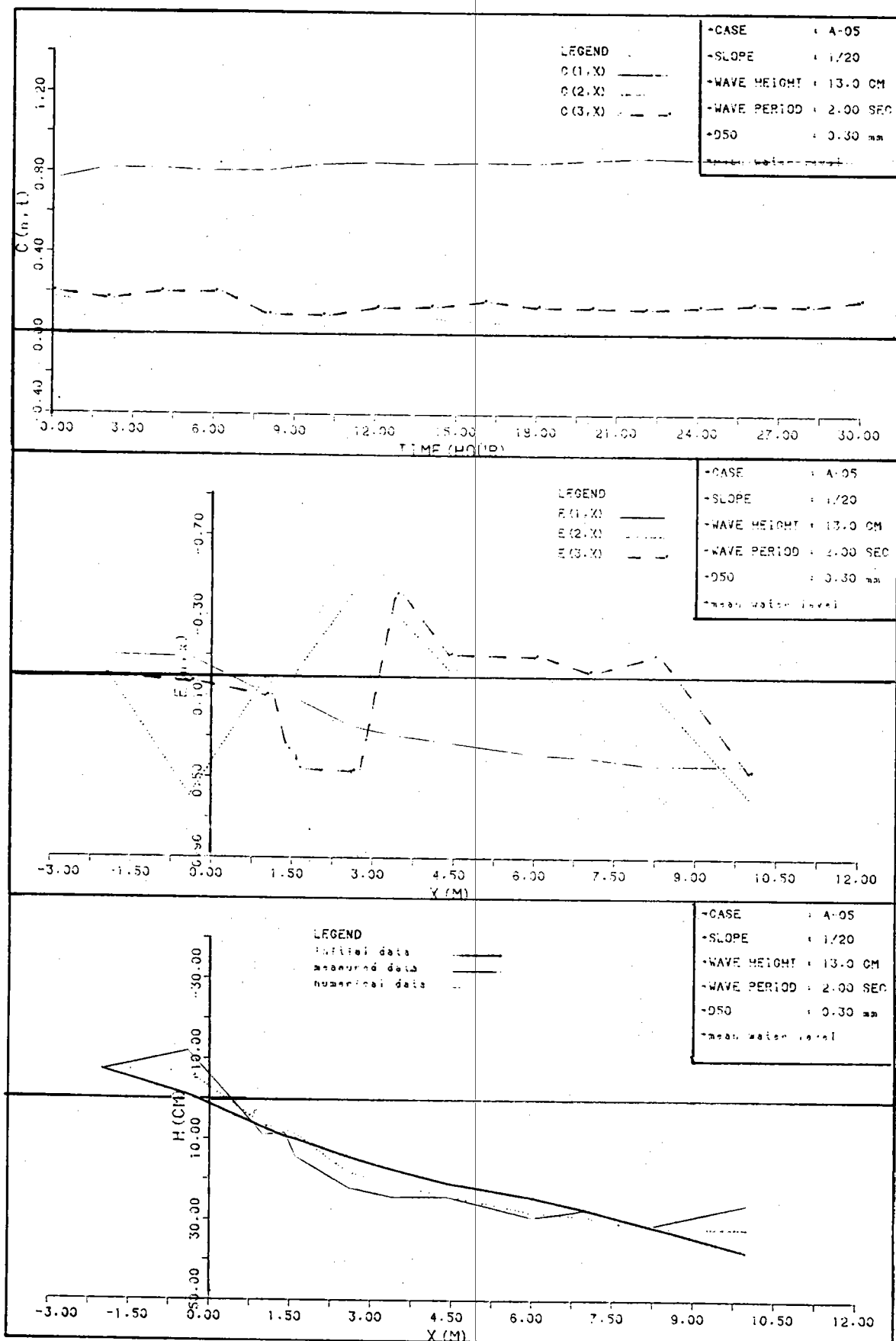


圖 5.95 CASE A 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

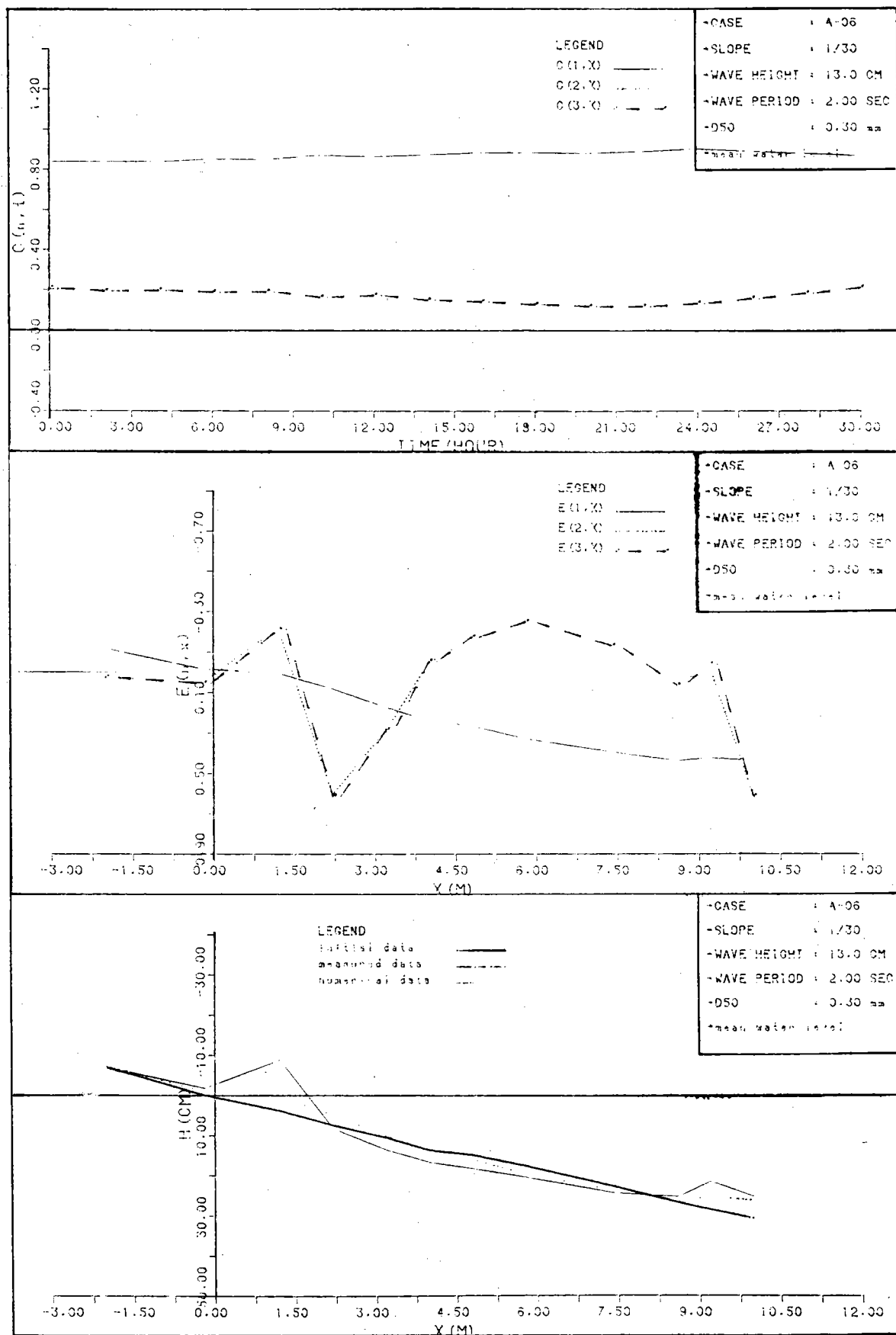


圖 5.96 CASE A 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

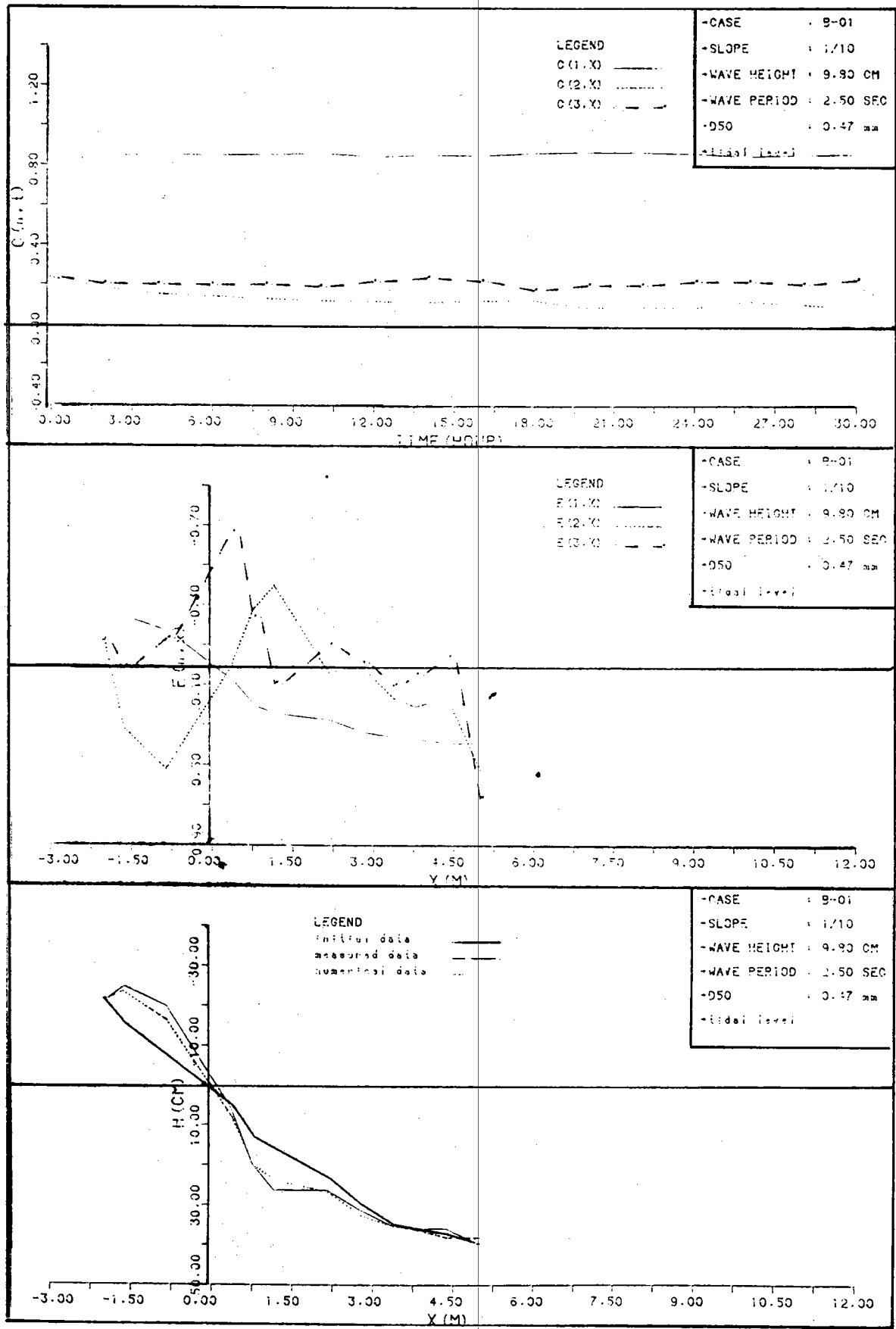


圖 5.97 CASE B 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

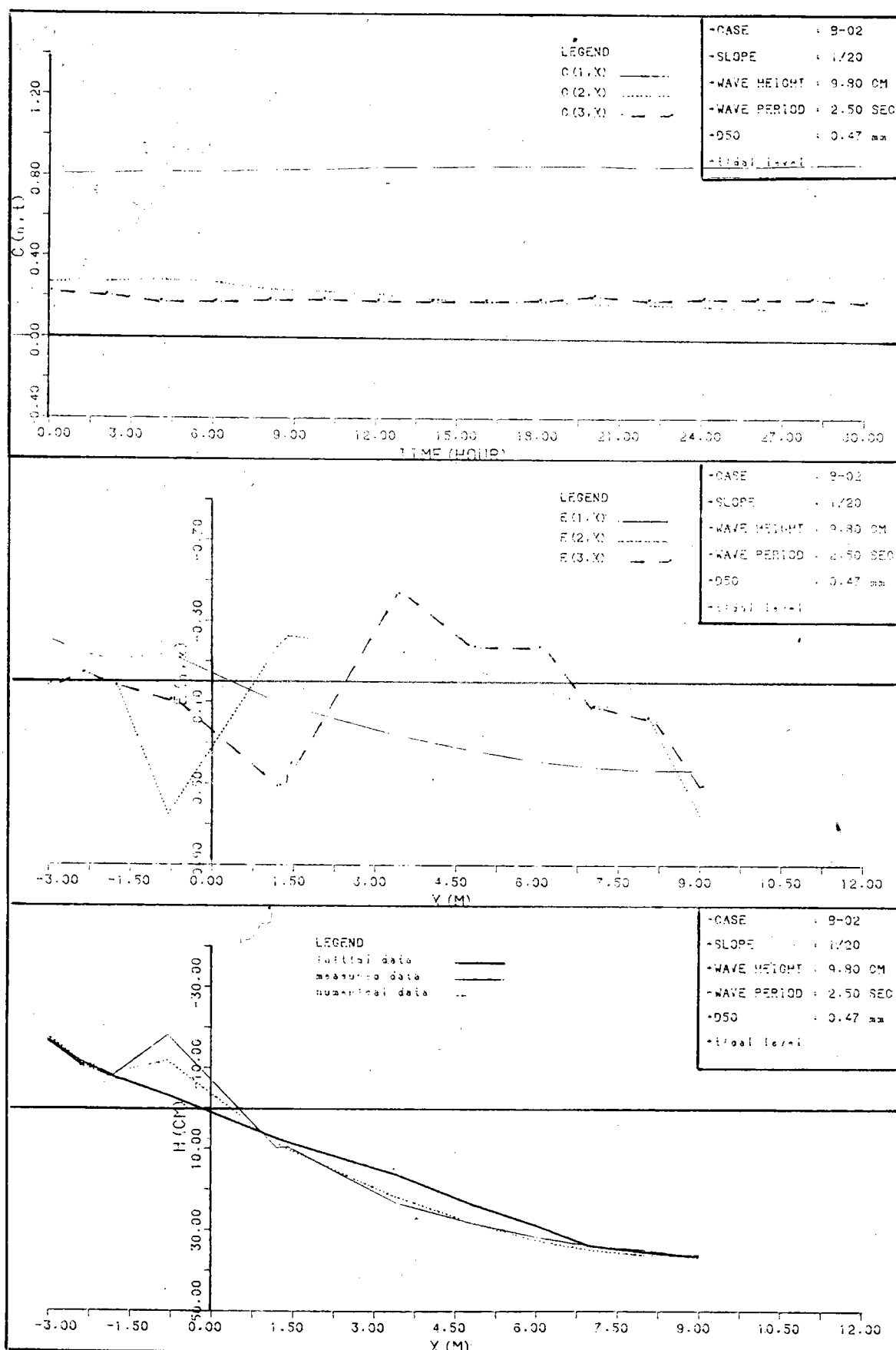


圖 5.98 CASE B 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

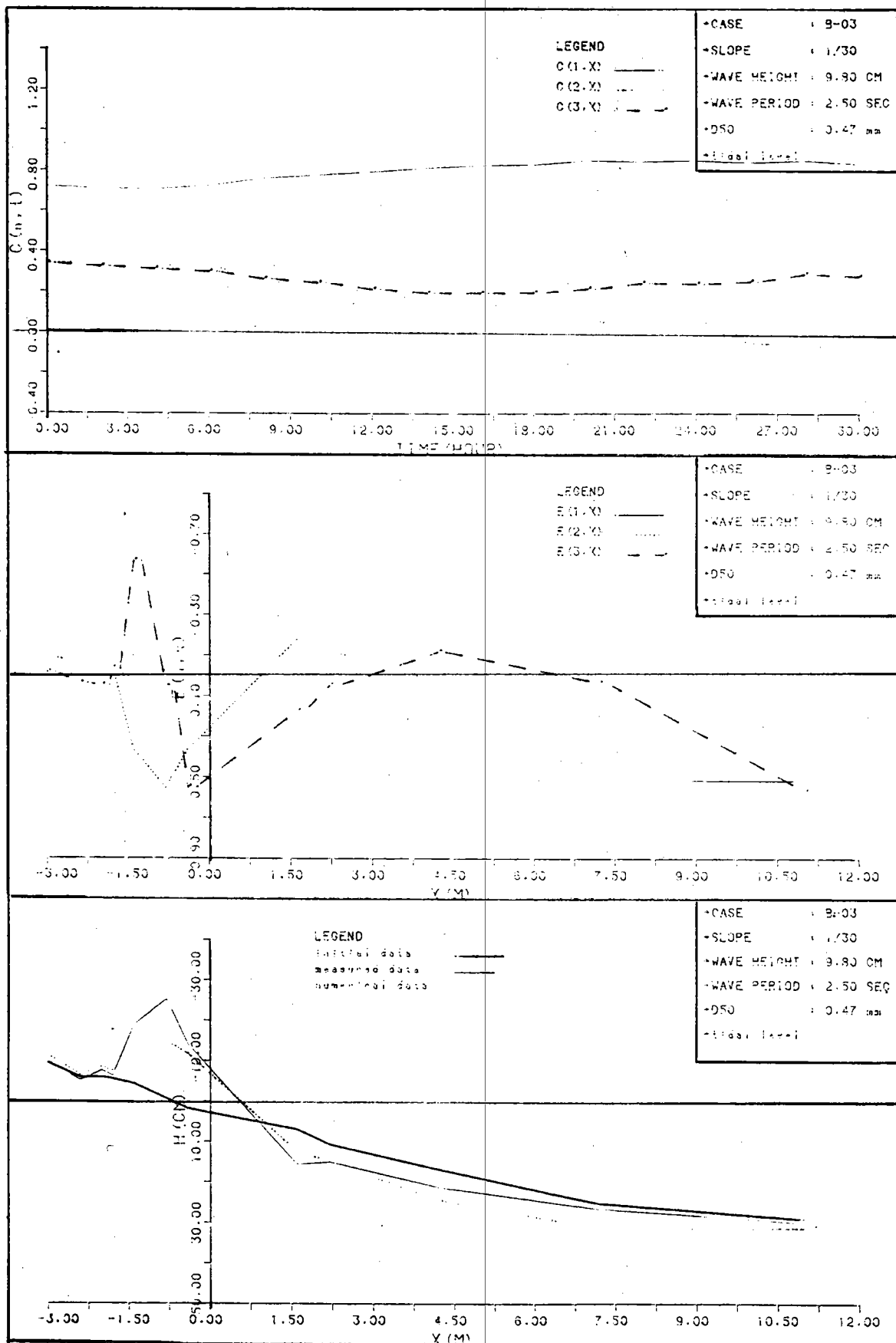


圖 5.99 CASE B 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0/47\text{mm}$)

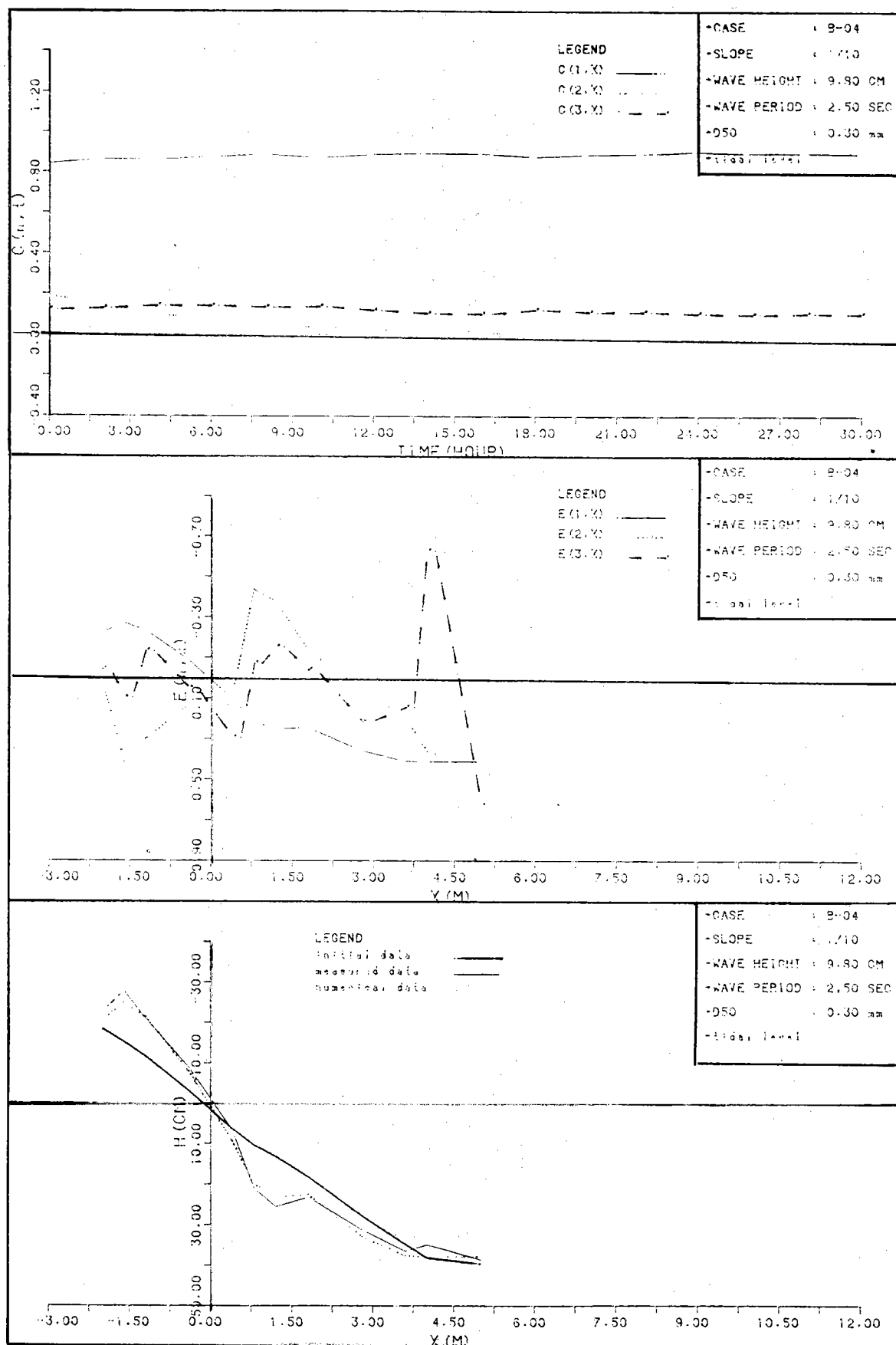


圖 5.100 CASE B 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

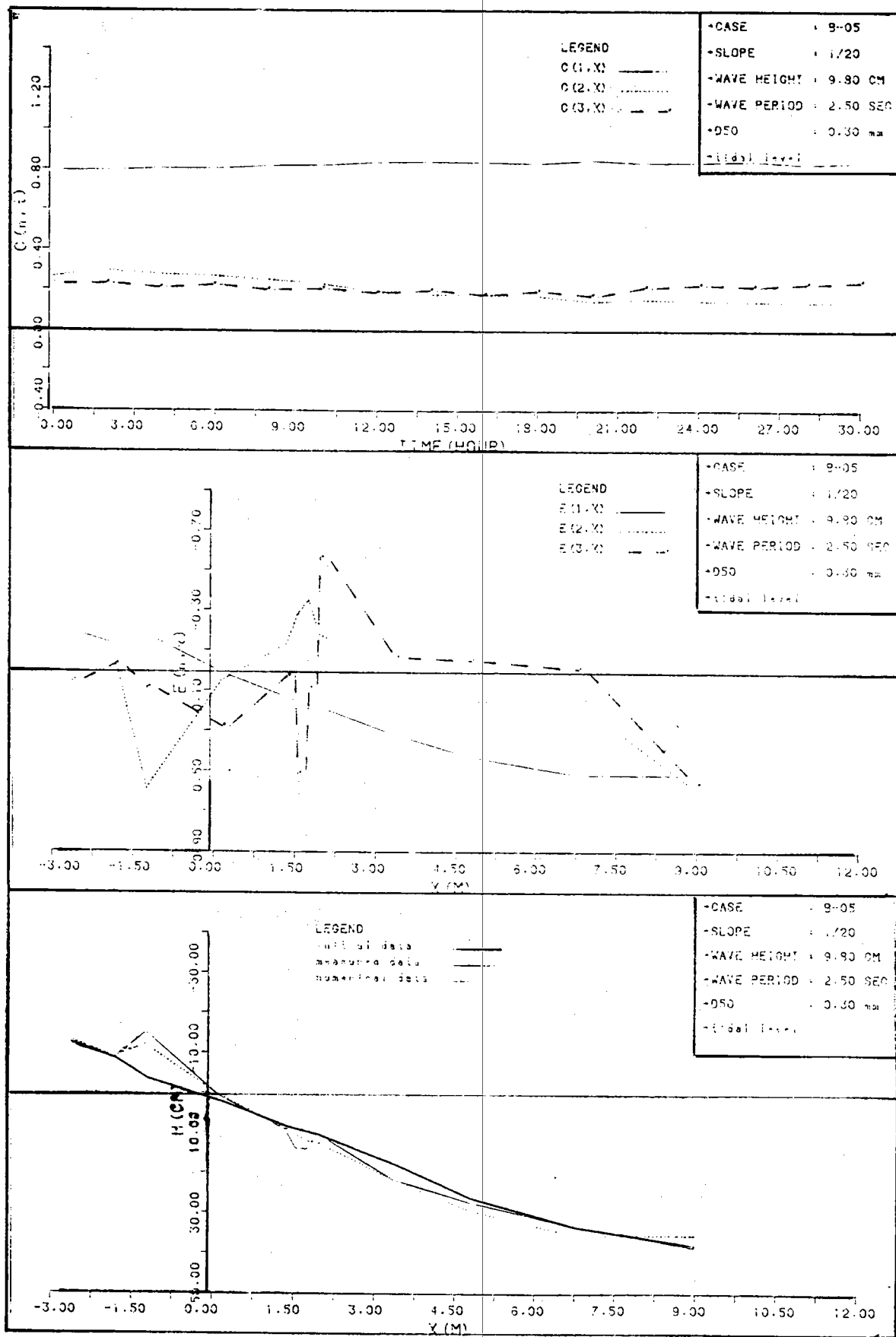


圖 5.101 CASE B 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

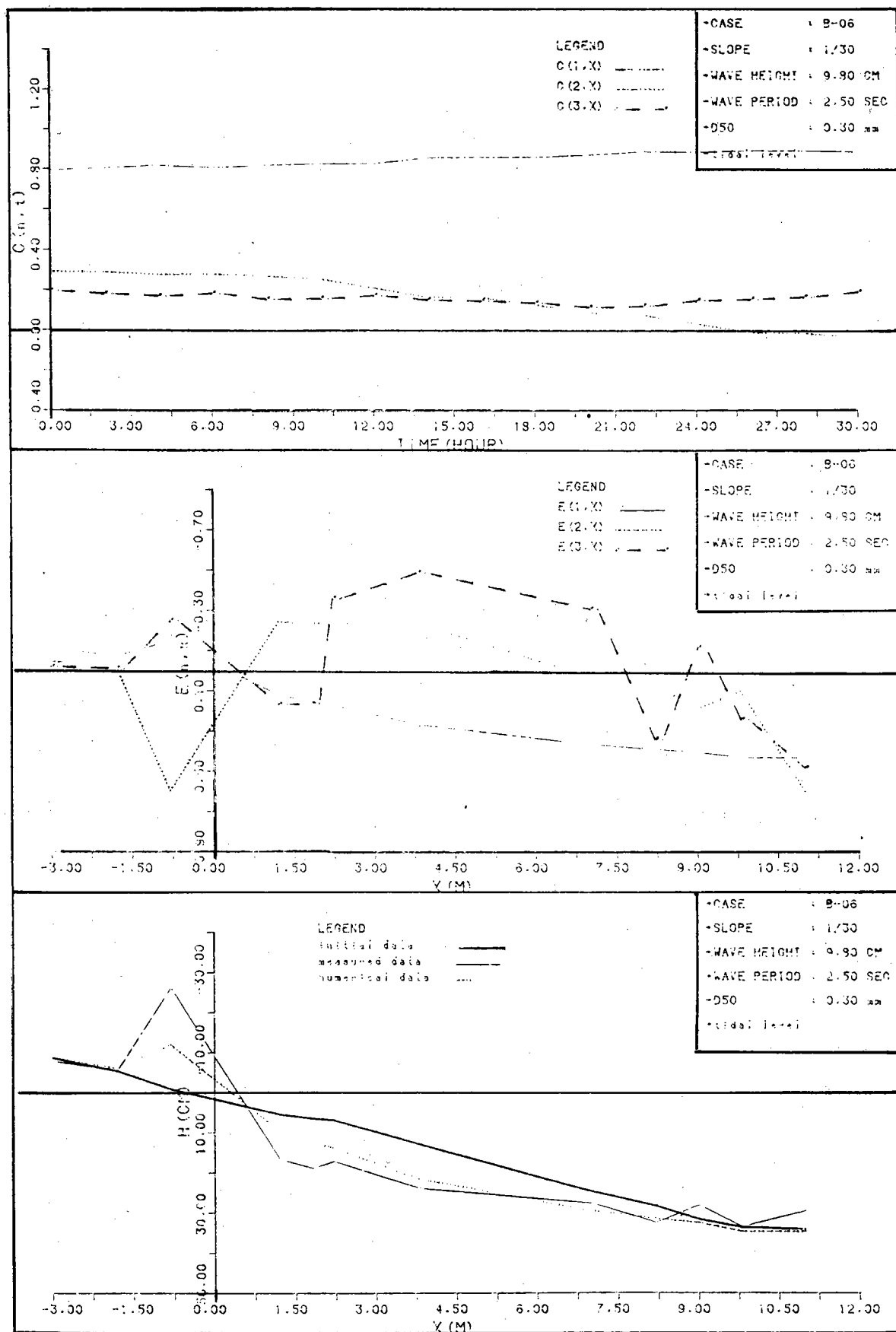


圖 5.102 CASE B 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

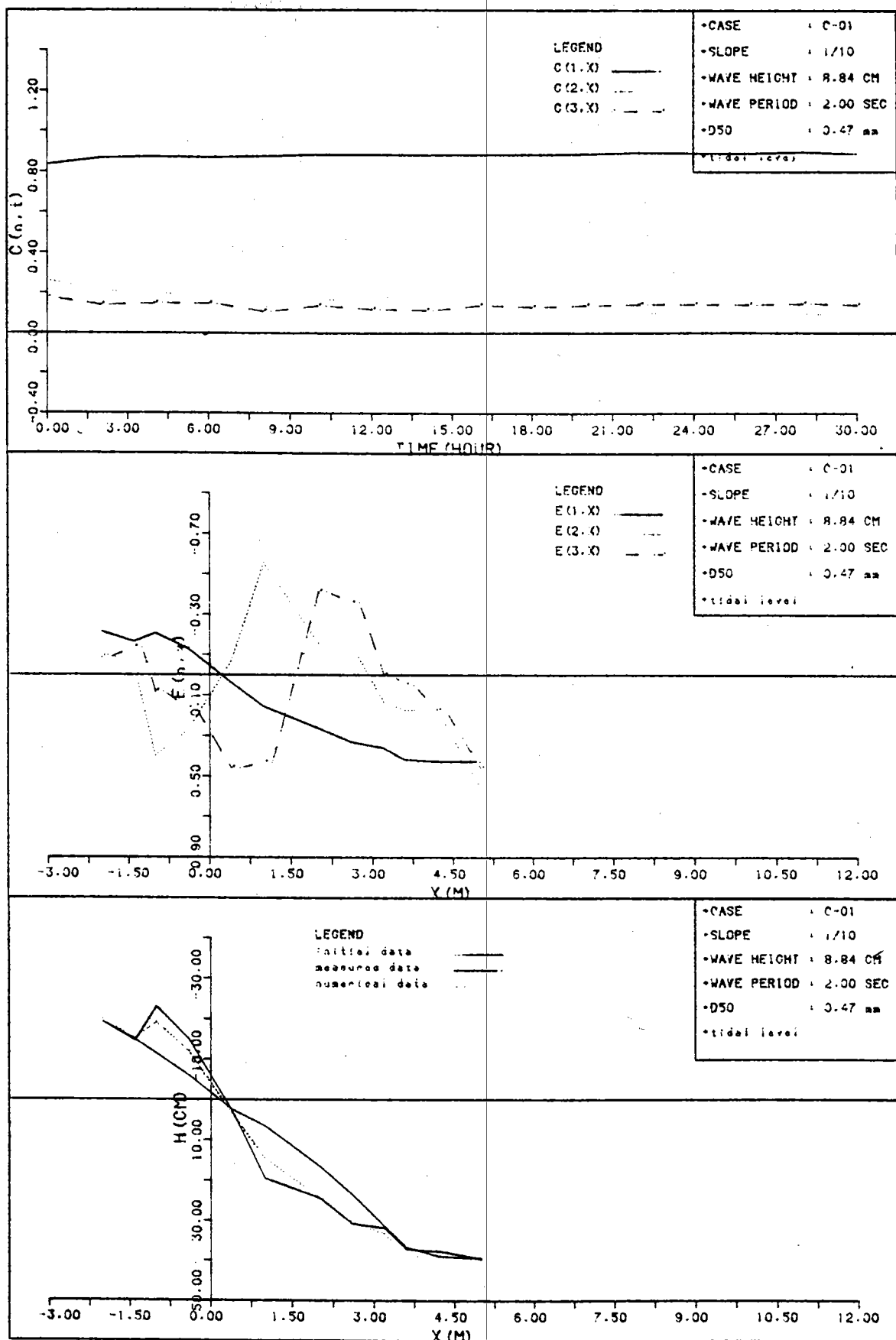


圖 5.103 CASE C 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10$, $D50=0.47\text{ mm}$)

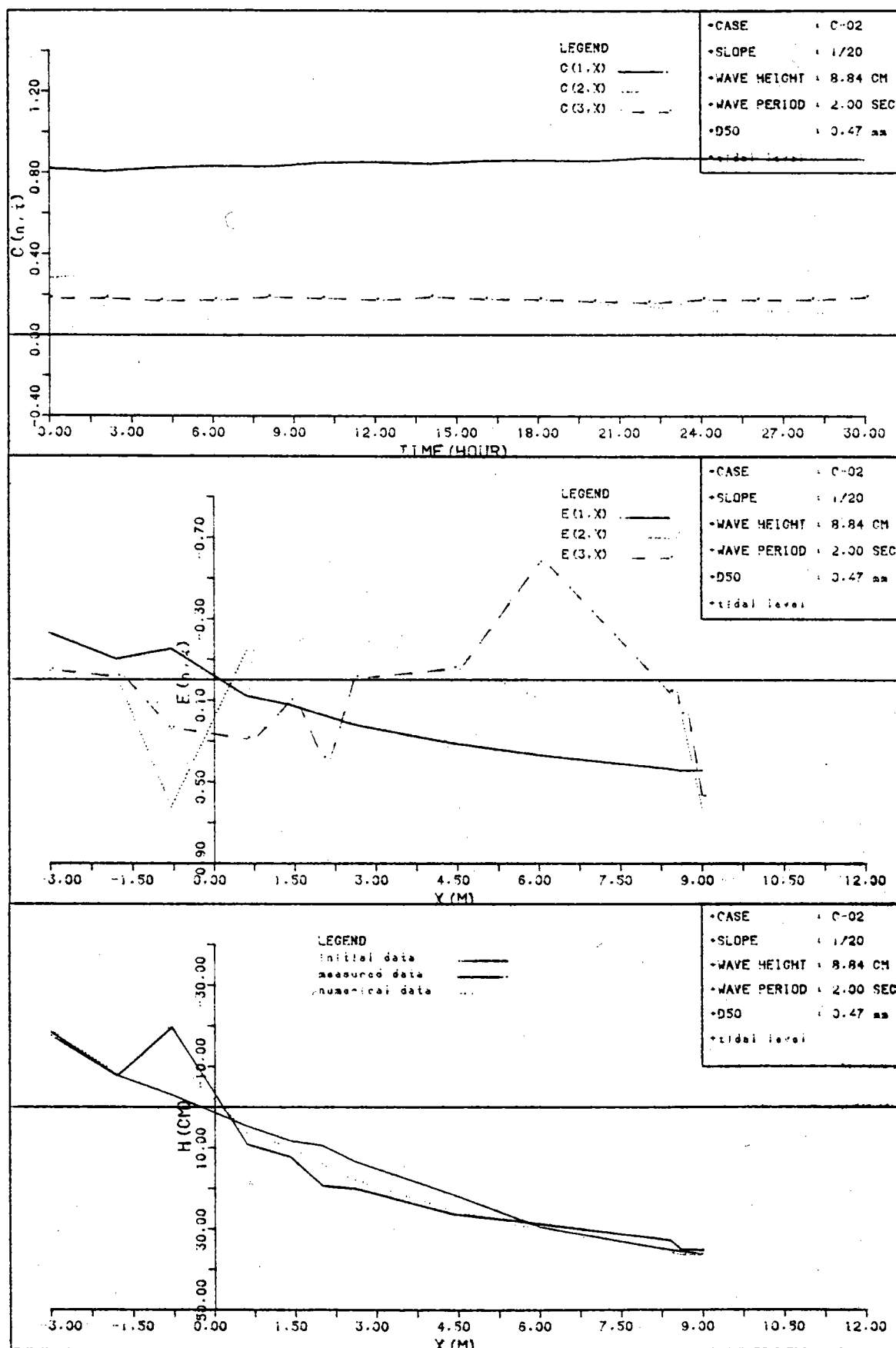


圖 5.104 CASE C 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20, D50=0.47\text{mm}$)

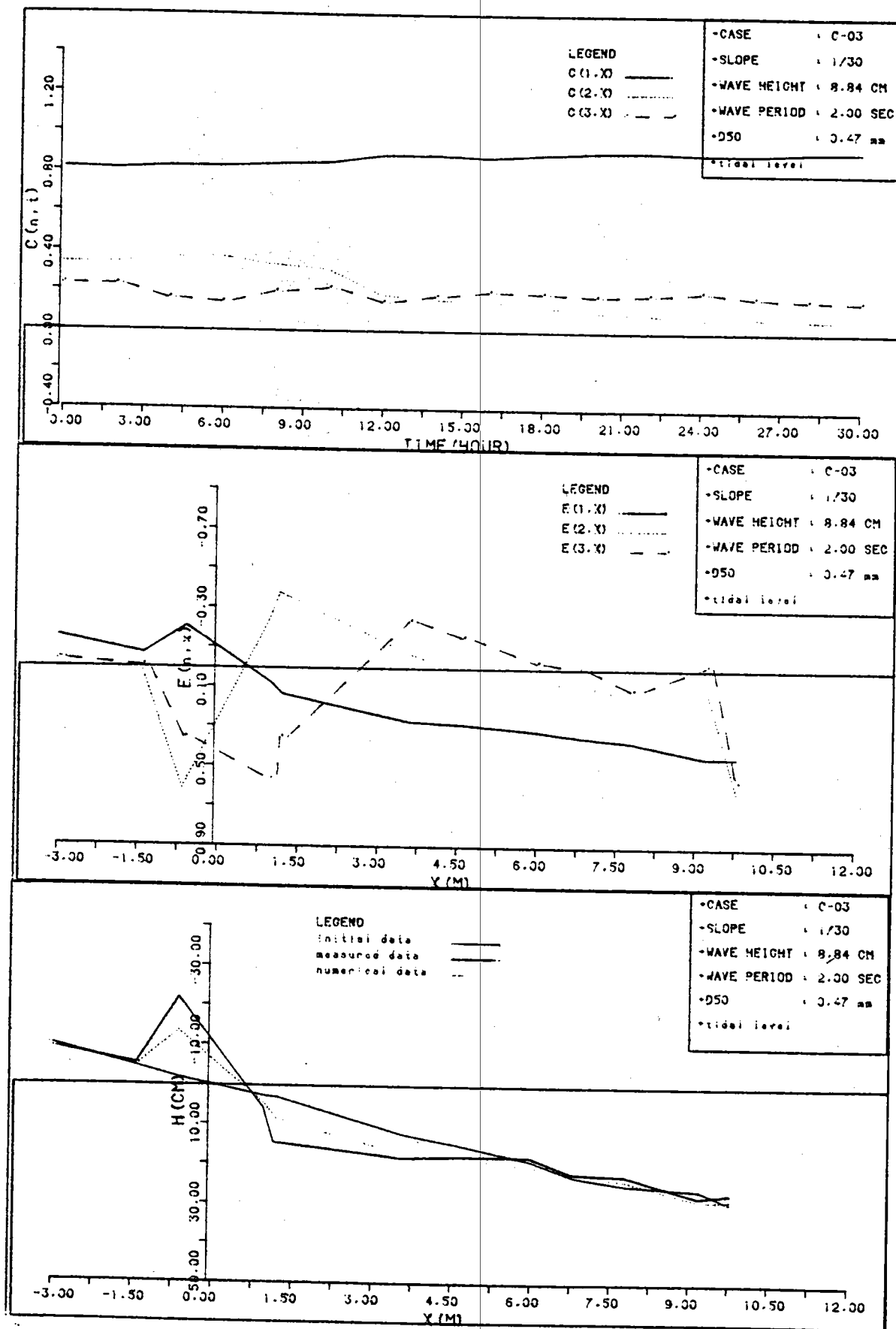


圖 5.105 CASE C 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0.47\text{mm}$)

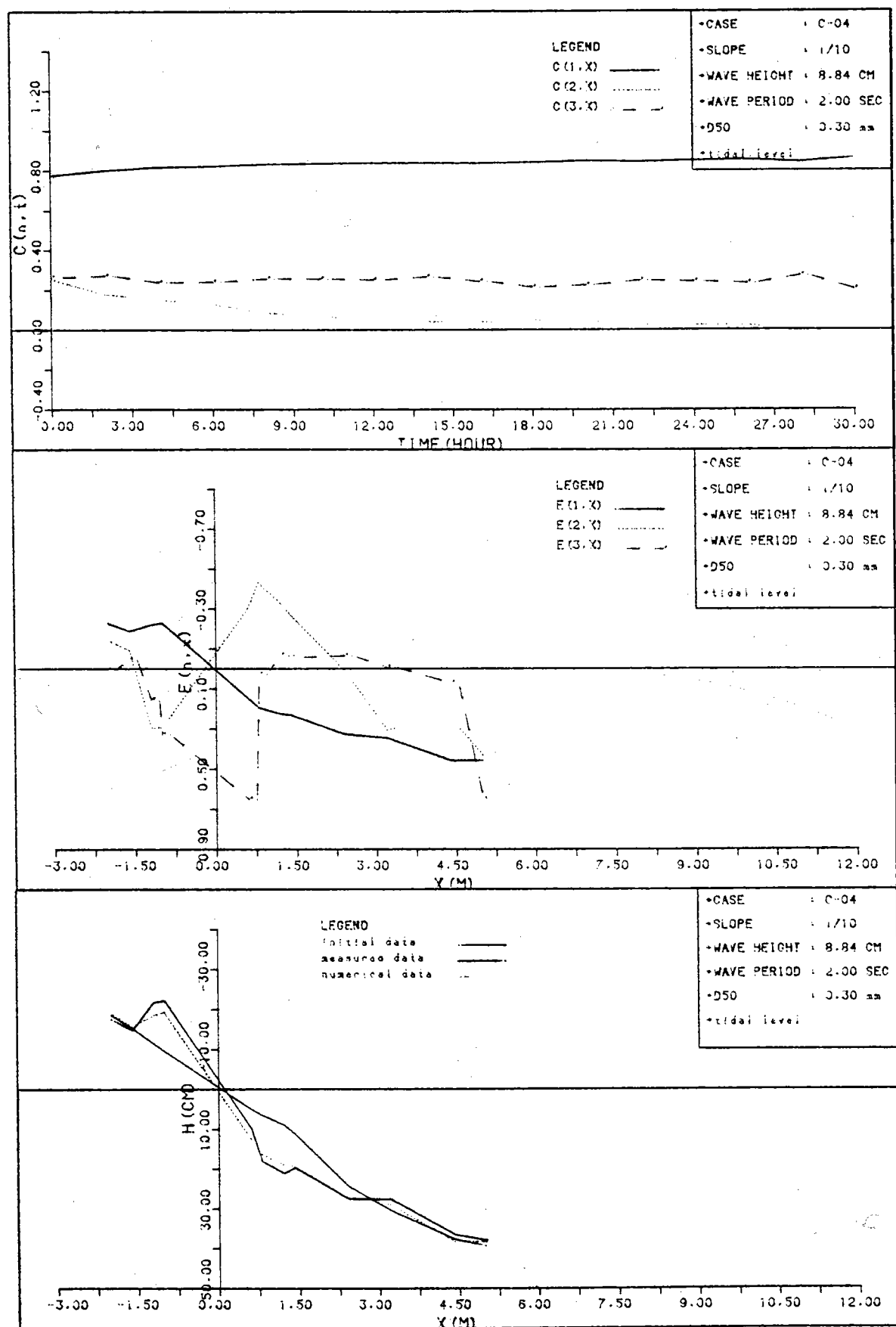


圖 5.106 CASE C 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

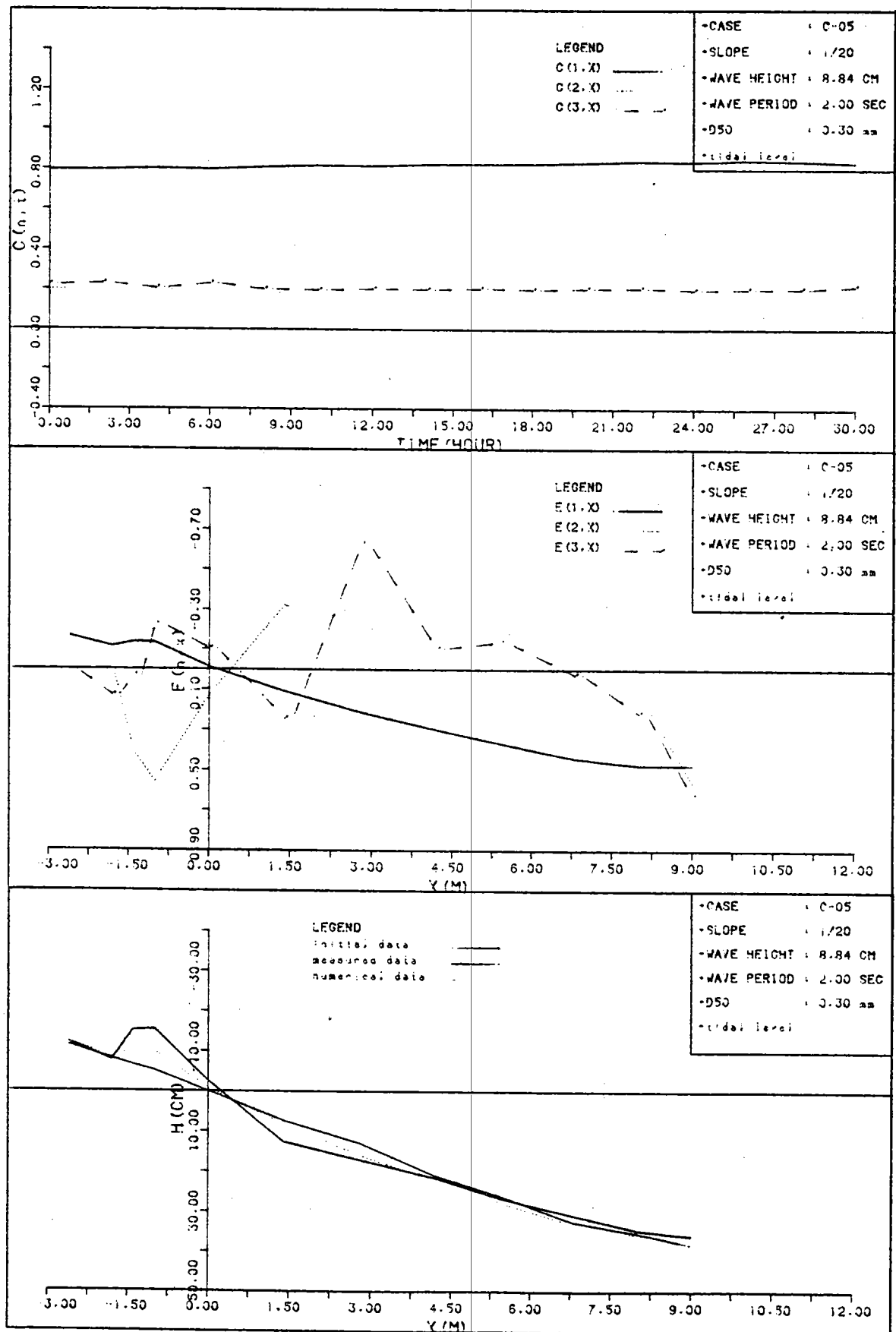


圖 5.107 CASE C 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

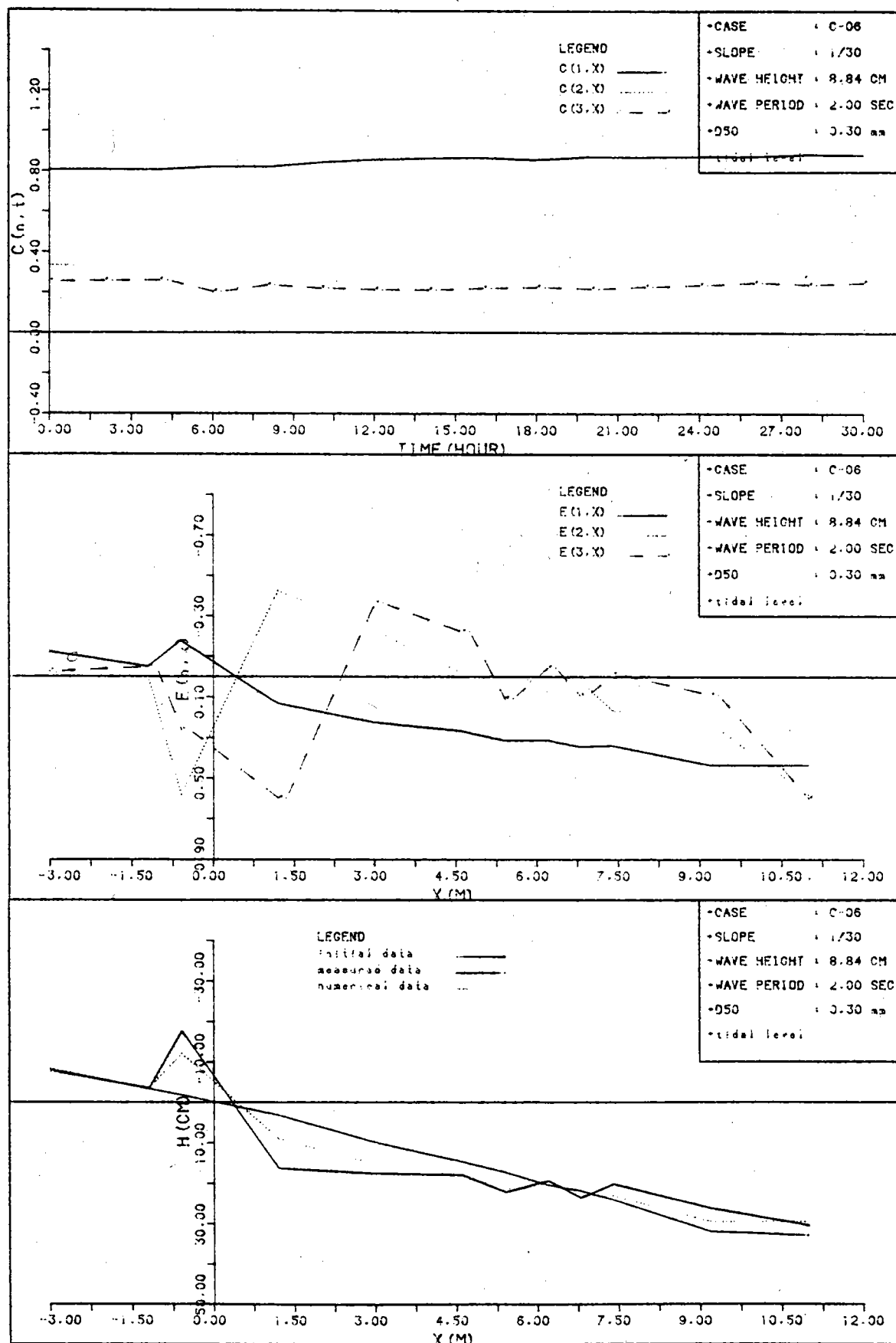


圖 5.108 CASE C 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

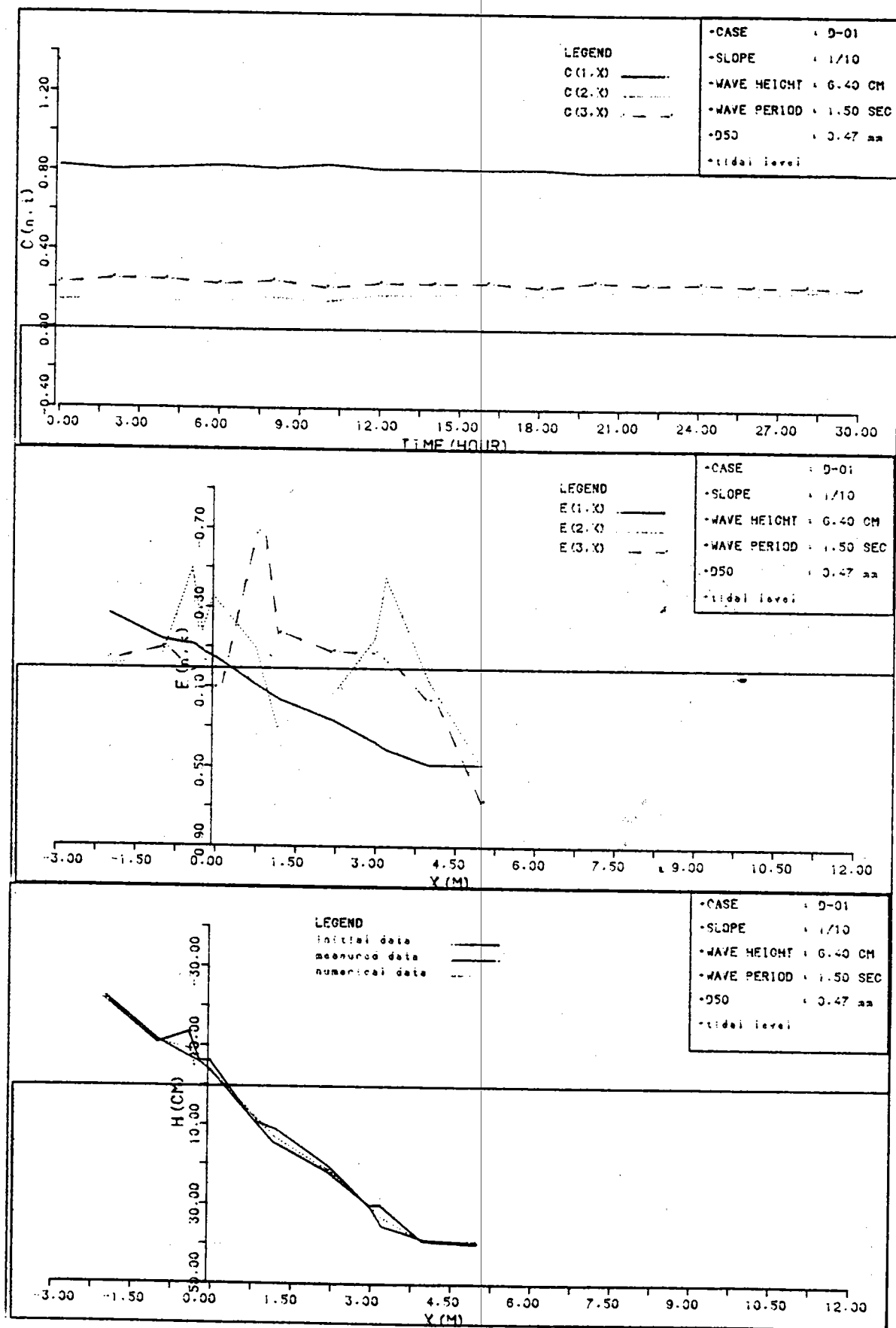


圖 5.109 CASE D 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

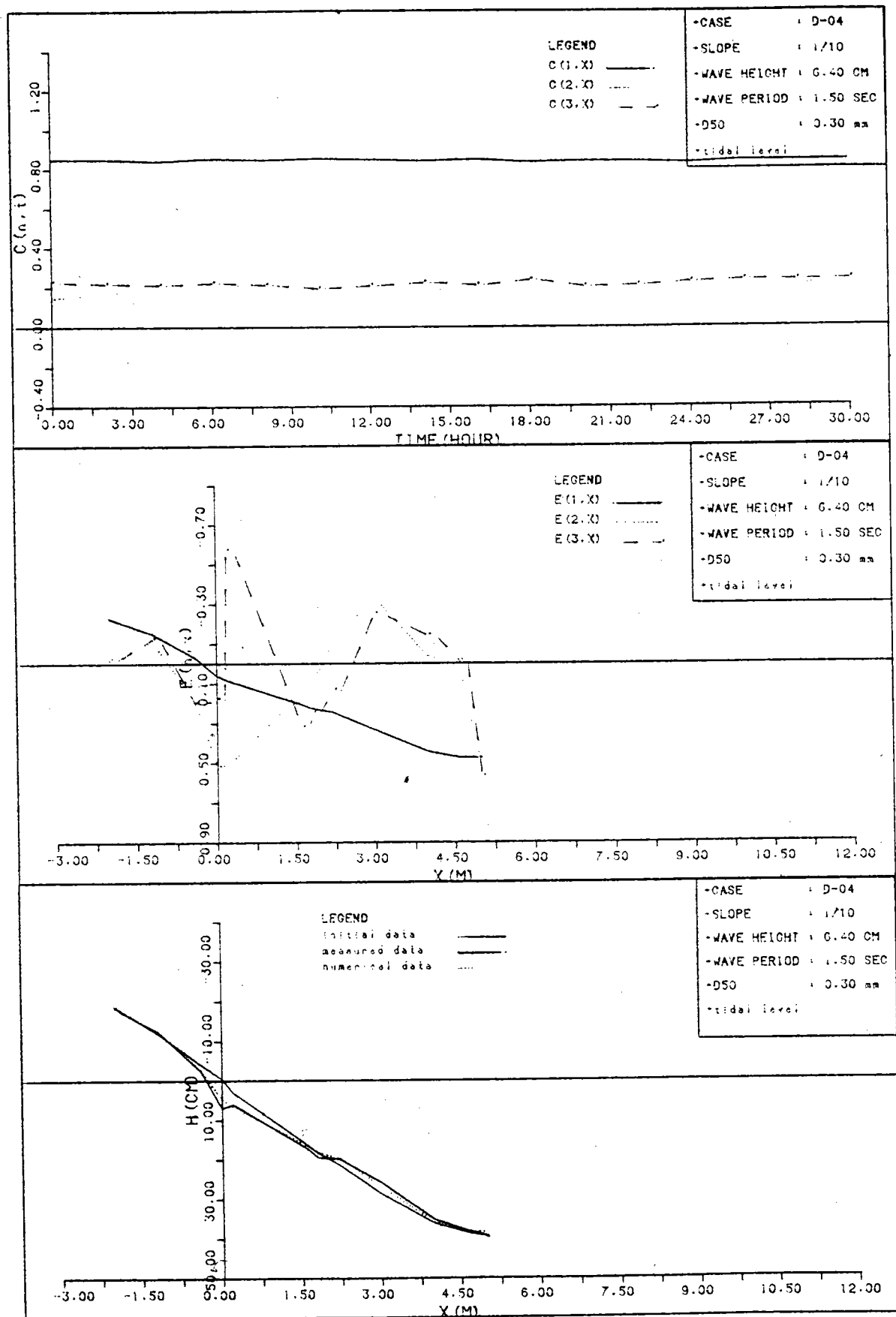


圖 5.110 CASE D 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.30\text{mm}$)

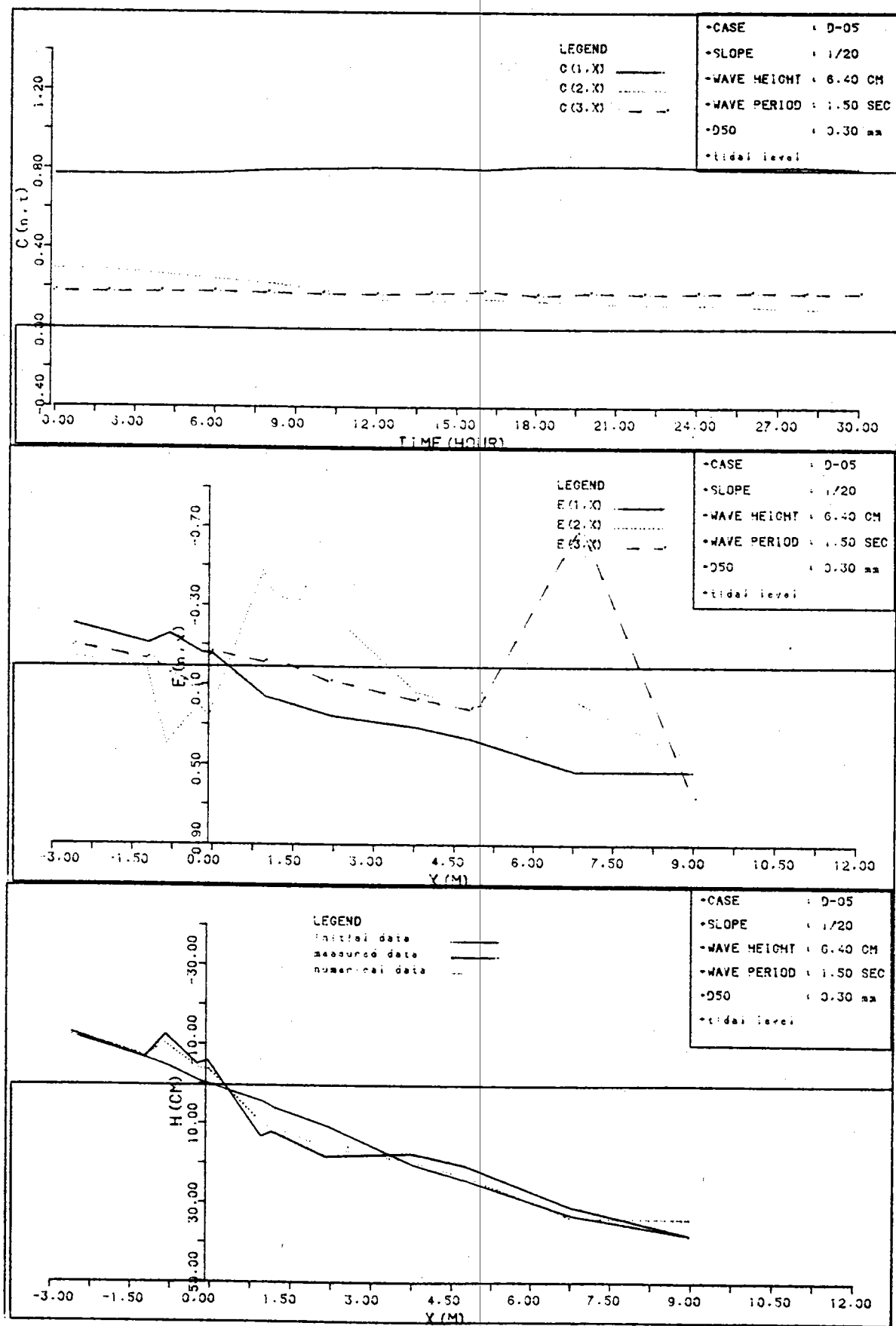


圖 5.111 CASE D 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20, D50=0.30\text{mm}$)

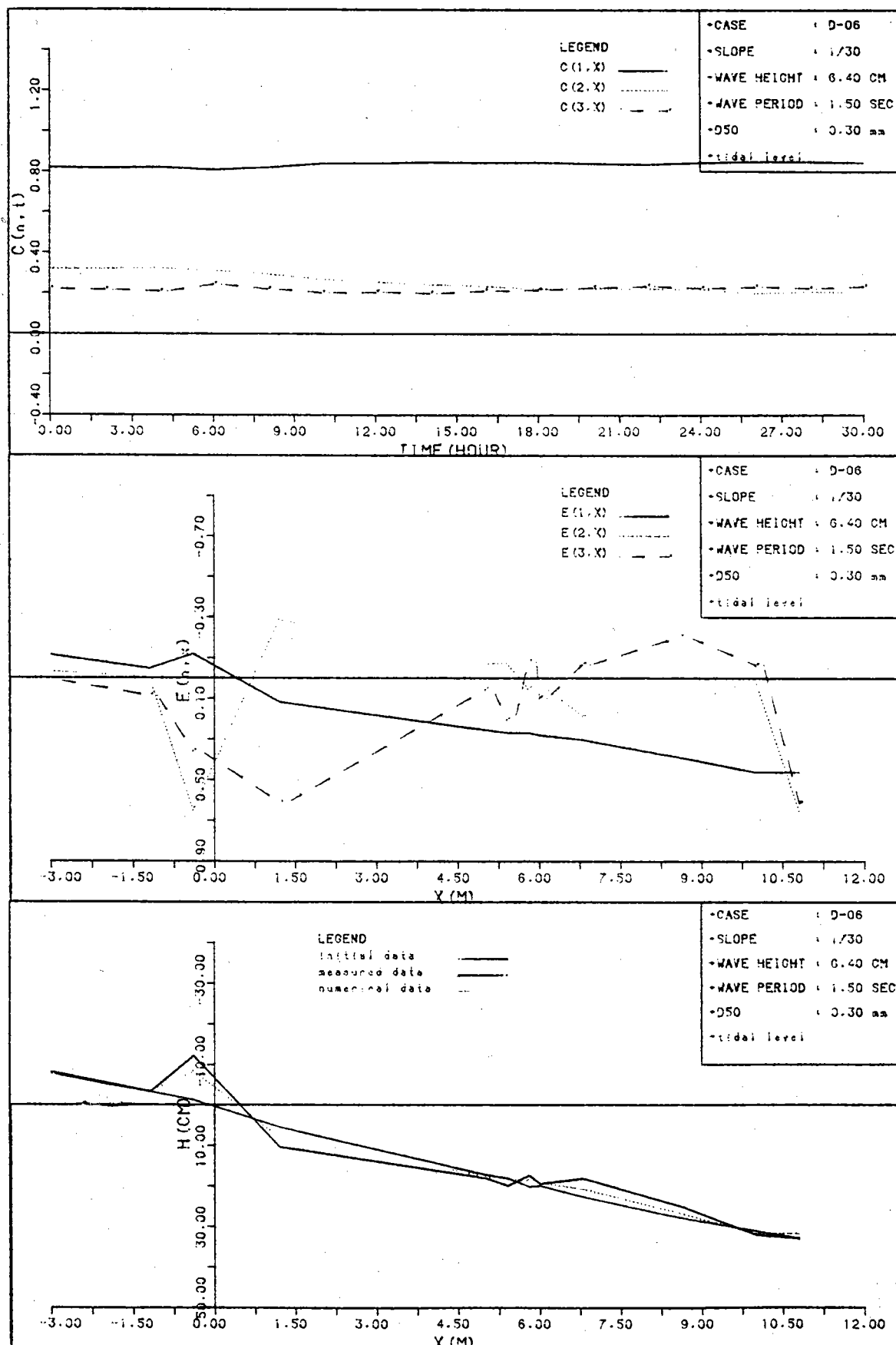


圖 5.112 CASE D 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/30, D50=0.30\text{mm}$)

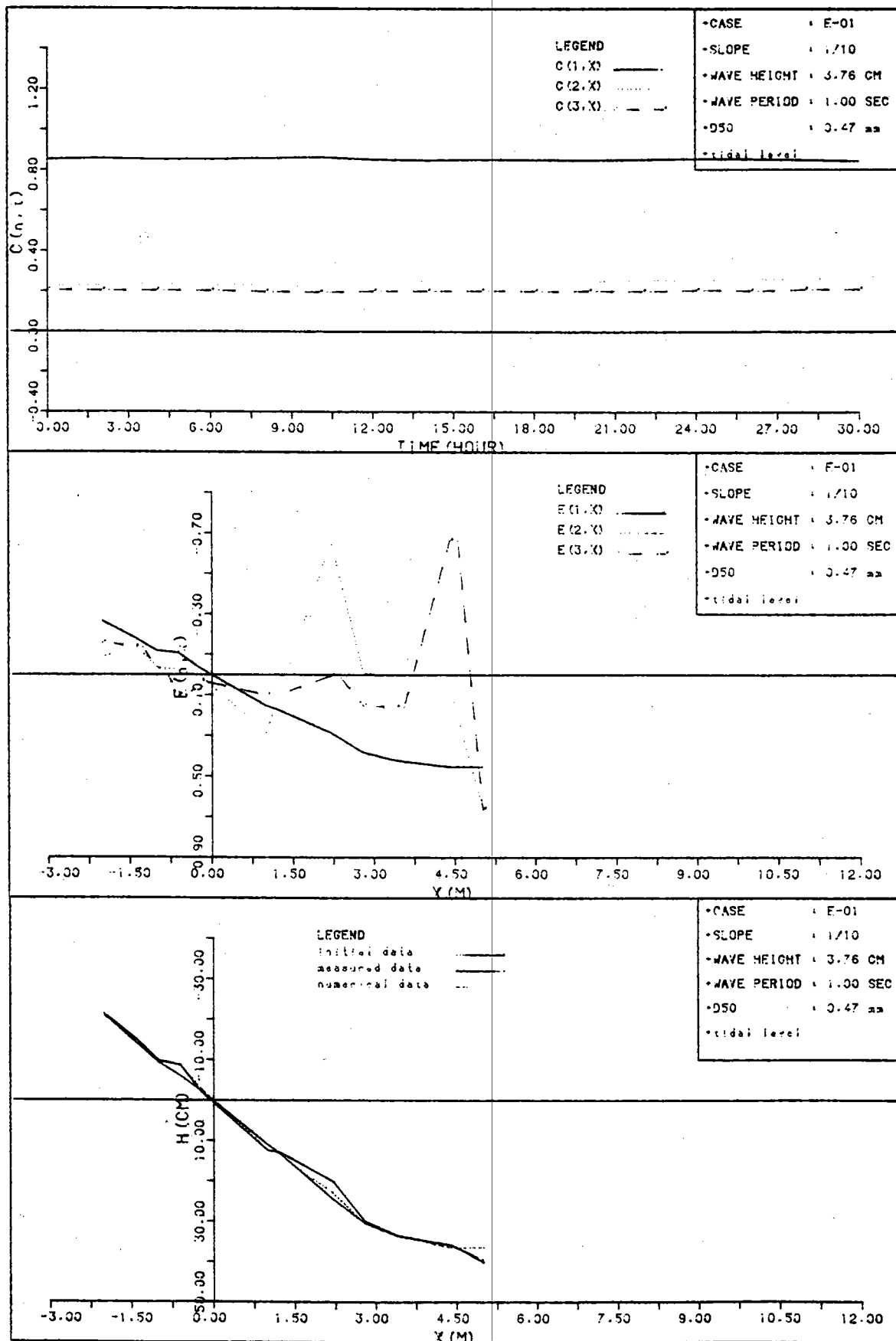


圖 5.113 CASE E 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10, D50=0.47\text{mm}$)

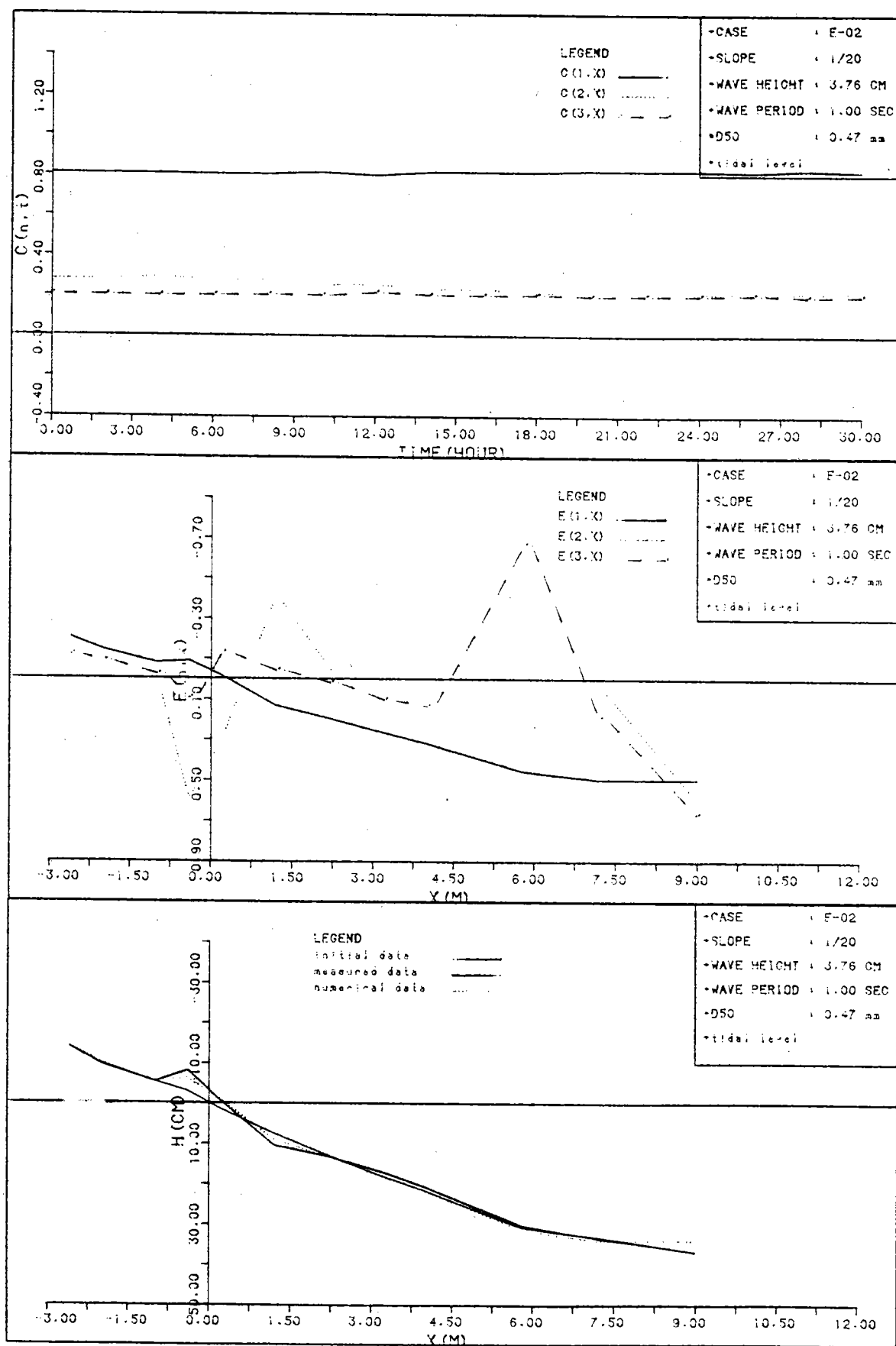


圖 5.114 CASE E 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20$, $D50=0.47\text{mm}$)

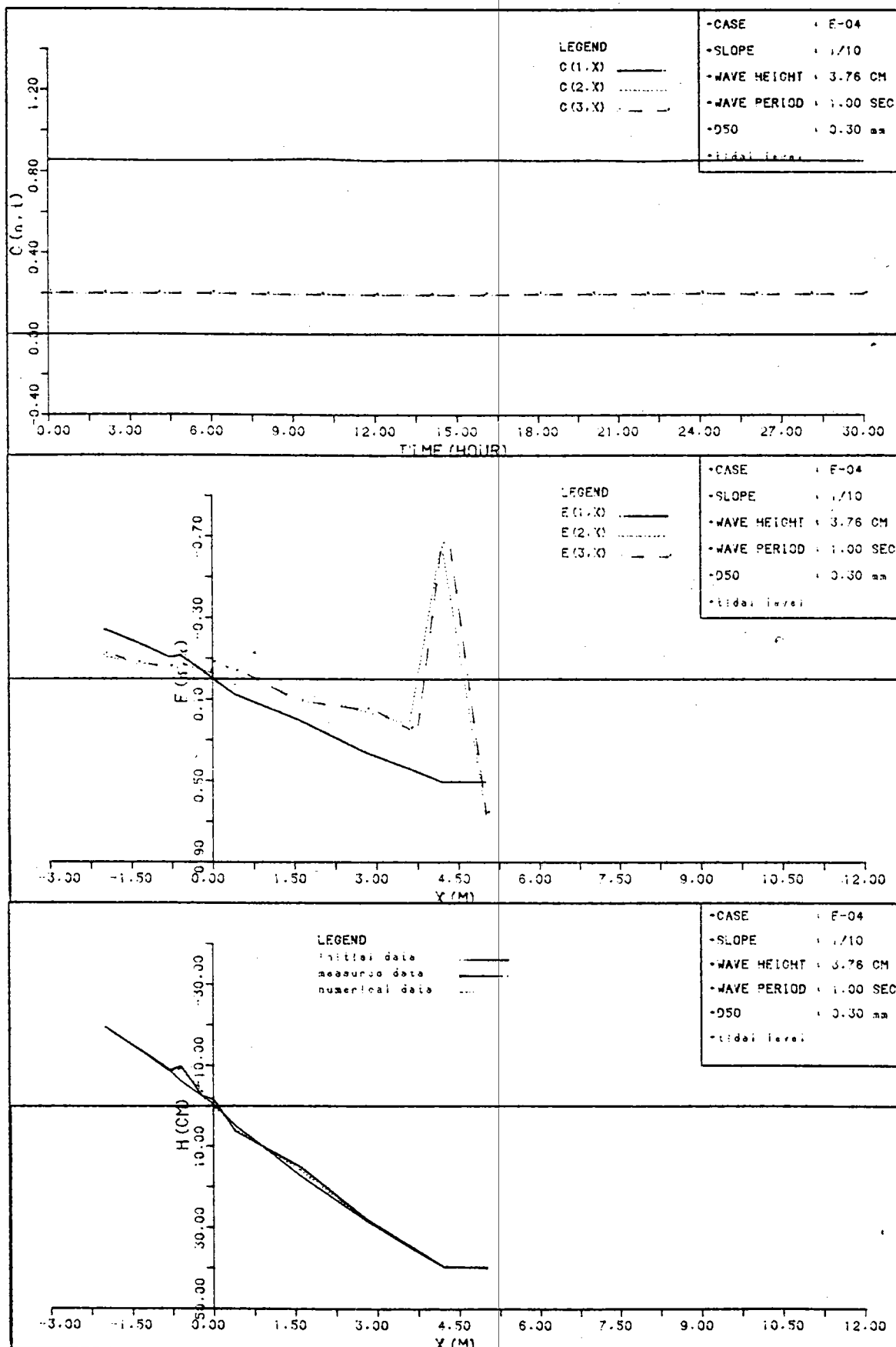


圖 5.115 CASE E 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/10$, $D50=0.30\text{mm}$)

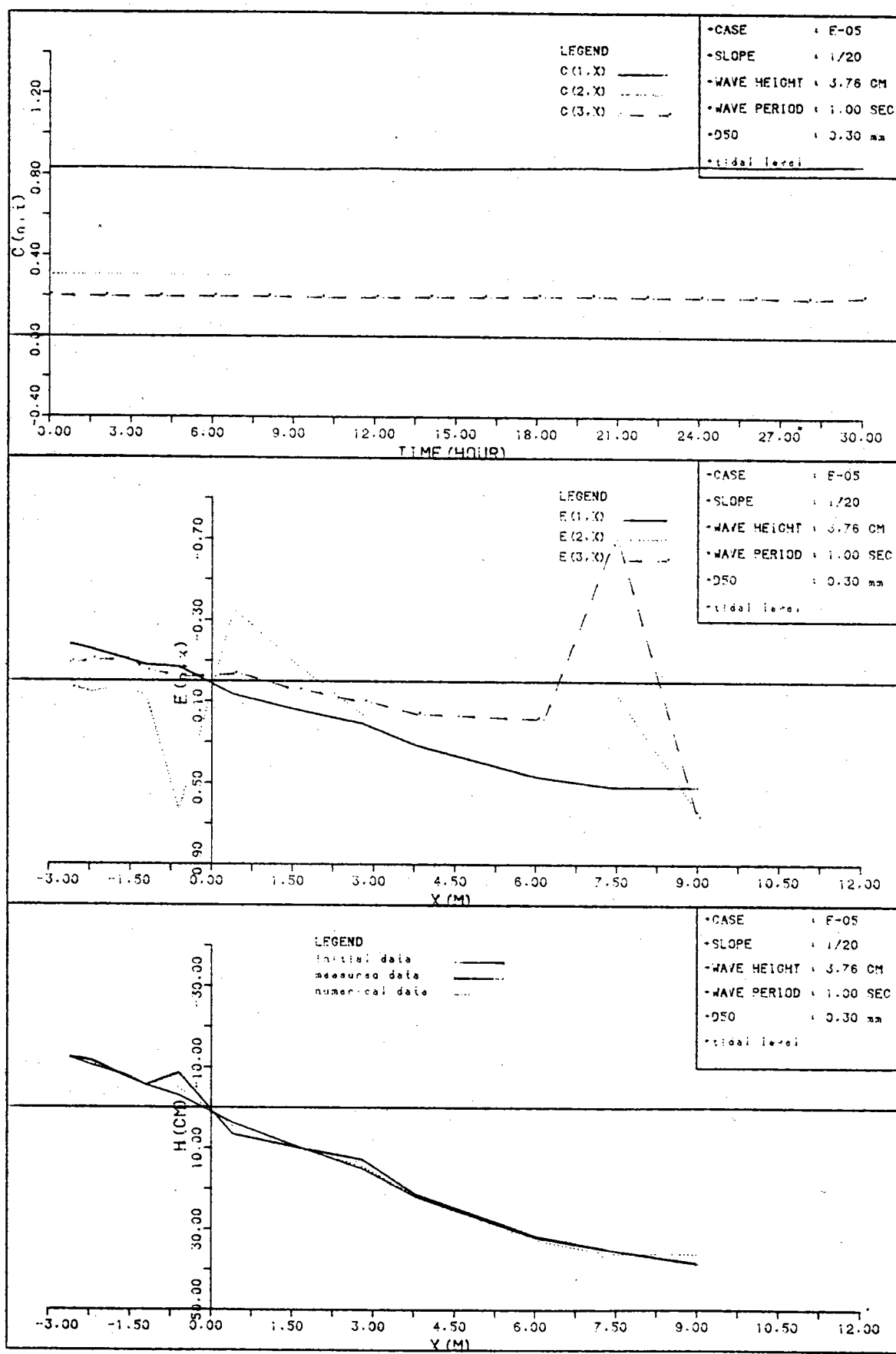


圖 5.116 CASE E 前三個分量特徵函數及預測結果比較圖 ($S=1/20$, $D50=0.30\text{mm}$)

参考文献

1. Johnson, J.W. (1949), "Scale Effects in Hydraulic Models Involving Wave Motion", Transaction of the A.G.U. Vol.30, pp.517-525.
2. Rector, R.L. (1954), "Laboratory Study of Equilibrium Profiles of Beach", TM41, U.S. Army, Corps. of Engineers, B.E.B. Washington, D.C.
3. Iwagaki, J.W. and Noda, H.(1962), "Laboratory Study of Scale Effects in two-dimensional Beach Process", Proc. 8th Conf. on Coastal Eng. pp.194-210.
4. K. Horikawa and A. Watanabe (1963), "A Study on Sand Movement due to Wave Action", Coastal Eng. in Japap, Vol. 10, pp.39-57.
5. I.V. Nayak (1970), "Equilibrium Profiles of Model Beaches", ASCE, Coastal Engineering, pp.1321-1340.
6. M.J. Paul, J.W. Kamphuis, and A. Brebner (1972), "Similarity of Equilibrium Beach Profiles", ASCE, Coastal Engineering, pp.1217-1236.
7. C.E. CHTHAM, (1972), "Movable-bed Model Studies of Perched Beach Concept ASCE, Coastal Engineering, pp.1197-1216.
8. J.W. Kamphuis (1972), "Scale Selection for Mobile Bed Wave Model", ASCE Coastal Engineering, pp.1173-1195.
9. H.A. Einstein (1972), "Sediment Transport by Wave Action", ASCE, Coastal Engineering, pp.933-952.
10. D.H. Swart (1974), "A Schematization of Onshore-offshore Transport", ASCE Coastal Engineering, pp.884-900.
11. Sunamura and Horikawa (1974), "Two-dimensional Beach Transformation due to Waves", ASCE, Coastal Engineering, pp.920-938.

12. J.A. Battjes (1974), "Surf Similarity", ASCE, Coastal Engineering, pp.466-480.
13. Bijker, Hijum and Vellinga (1976), "Sand Transport by Waves", ASCE, Coastal Engineering, pp.1149-1167.
14. Madsen, Grant (1976), "Quantitative Description of Sediment Transport by Waves", ASCE, Coastal Engineering, pp.1093-1112.
15. Hideaki Noda (1978), "Scale Relations for Equilibrium Beach Profiles", ASCE, Coastal Engineering, pp.1531-1541.
16. Nielsen, Srenksen and Staub (1978), "Onshore-offshore Sediment Movement on a Beach", ASCE, Coastal Engineering, pp.1475-1492.
17. Hattori and Kawamata (1980), "Onshore-offshore transport and Beach Profile Change", ASCE, Coastal Engineering, pp.1175-1193.
18. Shibayama & Horikawa (1980), "Bed-Load Measurement and Prediction of two-dimensional Beach Transformation due to Waves", Coastal Engineering in Japan, Vol.23, 1980, pp.179-190.
19. Hashimoto and Uda (1980), "An Application of an Empirical Prediction Model of Beach Profile Change to the OGAWARA Coast", Coastal Eng. in Japan, Vol.23, pp.191-204.
20. Sawaragi & Deguchi (1980), "On-offshore Sediment Transport rate in the Surf Zone", ASCE, Coastal Engineering, pp.1194-1214.
21. Watanabe & Riho, Horikawa (1980), "Beach profiles and on-offshore Sediment Transport", ASCE, Coastal Engineering, pp.1106-1120.
22. Shibayama & Horikawa (1982), "Sediment Transport and Beach Transformation ASCE, Coastal Engineering, pp.1439-1458.
23. J.A. Bailord (1982), "Modeling On-offshore Sediment Transport in the Surfzone", ASCE, Coastal Engineering, pp.1419-1438.

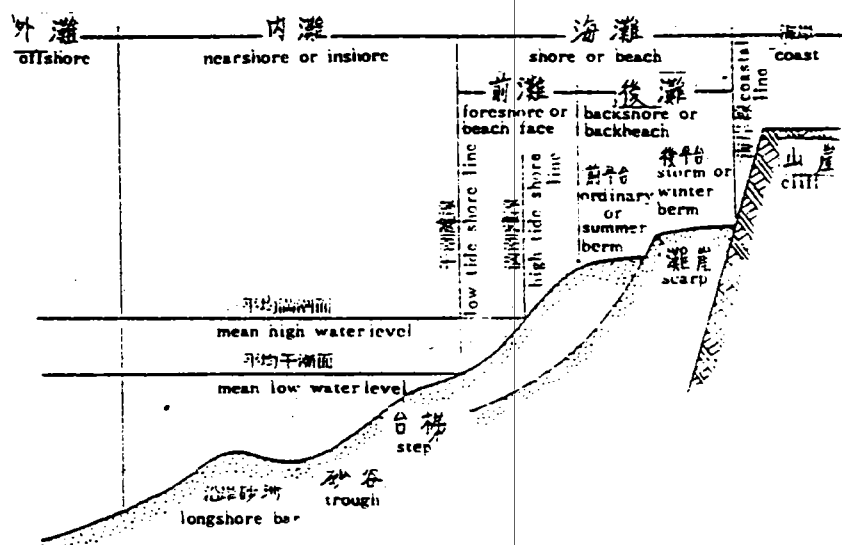
24. M. Hattori (1982), "Field Study on Onshore-Offshore Sediment Transport", ASCE, Coastal Engineering pp.923-939.
25. Ito & Tsuchiya (1984), "Scale-Model Relationship of Beach Profile", ASCE, Coastal Engineering pp.1386-1402.
26. Sayao & Guimaraes (1984), "Experimental Verification of Similarity Criteria for Equilibrium Beach Profiles", ASCE, Coastal Engineering, pp.1342-1359.
27. Swain & J.R. Houston (1984), "Onshore-offshore Sediment Transport Numerical Model", ASCE, Coastal engineering, pp.1244-1251.
28. Jaffe, Sternberg and Sullenger (1984), "The role of Suspended Sediment in Shore-Normal Beach Profile Changes", ASCE, Coastal Engineering, pp.1983-1996.
29. Wi-Gwang Poe & Y. Iwagaki (1984), "Mechanism of Beach Profile Deformation due to On-offshore Sand Drift", ASCE, Coastal Engineering, pp.2124-2139.
30. Stive and J.A. Battjes (1984), "A Model for Offshore Sediment Transport" ASCE, Coastal Engineering, pp.1420-1436.
31. I. Deguchi & T. Sawaragi (1984), "Calculation of the Rate of Net On-offshore Sediment Transport on the Basis of Flux concept", ASCE, Coastal Engineering, pp.1325-1341.
32. Winant, Inman & Nordstrom (1975), "Description of Seasonal Beach Changes using Empirical Eigenfunctions", J. Geophys. Res., Vol.80, No.15, pp.1979-1986.
33. Aubrey, D.G. (1978), "Statistical and Dynamical Prediction of Change in Natural Sea Beaches", Dissertation, University of California.
34. Hashimoto, H. & T. Uda (1979), "Analysis of Beach Profile Changes at Ajigaura by Empirical Eigenfunctions", Coastal Engineering in Japan, Vol.22, pp.47-57.

35. Hashimoto, H. & T. Uda (1980), "An Application of an Empirical Prediction Model of Beach Profile Change to the Ogawara Coast", Coastal Engineering in Japan, Vol.23.
36. 郭金棟： "海岸工程"，中國土木水利工程學會。
37. 湯麟武： "海岸工程規劃設計"，農復會特刊新二號。
38. 徐世達： "Weibull 分佈函數在波浪統計上之應用"，第一次海洋工程研討會論文專集。
39. 陳文俊： "波浪作用下侵蝕性海灘斷面變化之研究"，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，1982。
40. 許泰文： "濁水溪下游河槽斷面變化分析與預測之初步研究"，國立成功大學水利系及海洋工程研究碩士論文，1984。
41. 王順寬： "二維海灘地形變化分析與預測"，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，1985。
42. 郭金棟、黃清和： "不規則波作用下其底床縱向淨輸沙率試驗研究" 國科會專題研究 (NSC 74-0410-E006-02)
43. Kuo C.T.、Hwang C.H. & Tseng I.C.： "Experimental study on on-offshore Sediment Transport of Accretive Beach"，Proceeding of 20th ICCE, ASCE, 1986.

附錄：海灘術語

海灘名詞之稱呼，雖因人而異，但大致相同，茲將本文及一些常用之各種專有名詞之定義解釋如下：

海灘（beach, shore）：自平均低潮線向陸地延伸到海水於暴風時所能到達之極限，（長植物之限）或底質或自然地理形狀明顯變化之處，包括前灘及後灘。（參照附圖）



海灘斷面形狀

外灘（off-shore）：波浪未碎波處向側延伸到大陸棚（continental shelf）邊緣底質移動極微之處。及自低潮時碎波線向海方向之區域。

內灘（inshore）：由正常低潮線向海側延伸至破波稍外之區域（最外面之沙洲）。

前灘（foreshore）：低潮線起延伸到高潮時遡升達到之處，即平台頂至低潮線間傾斜之海灘。

後灘 (backshore) : 介於前灘與海岸線間之區域，僅於暴風時波浪始能作用到此。

灘線 (shore line) : 海水與陸地相交之界線。

海岸線 (coastal line) : 形成海岸與海灘邊界之線。

海岸 (coast) : 灘線起向內陸延伸至地勢開始明顯變化之地帶，包括海崖、高台等。

平台 (beach berm) : 形成於後灘內之較水平部份，由波浪作用堆積而成之沙灘，有些海灘無平台或數個平台。

平台頂 (berm crest) : 平台向海側之邊緣。

灘脊 (ridge) : 前灘內低潮時露出水面上之高地。

灘谷 (runnel) : 前灘內凸凹低部，為潮差海灘排洩潮水之溝谷。

沙洲 (bar) : 在低潮時亦潛沒於海水中，由砂、卵石或其他非固結質堆積於海水中之隆起部。

沙谷 (trough) : 經常潛沒於海水中之卵砂等非固結質堆積物之凹部。

沙丘 (barrier) : 約與海岸平行之海灘，高峰於高潮時仍然露出水面且與大陸獨立而狹長之沙灘或島，由波浪形成者稱為浪積沙丘。

灣口沙洲 (baymouth bar) : 部份或全部伸出灣口之沙洲。

尖嘴沙洲 (Cuspate bar) : 成半月形末端與海灘連成之沙洲。

沙嘴 (spit) : 沙丘之一端與陸地相連，與海岸間由瀉湖隔離者。

繫岸沙丘 (tombolo) : 連接大陸島嶼或島嶼與島嶼間之沙丘。

瀉湖 (lagoon) : 橫隔大陸與沙丘間細長之線水域，出水口受限制形同湖泊者。

港 灣 技 術 專 刊

發 行 者：梁 乃 匡 所長

作 者：黃 清 和

出版機關：台 灣 省 政 府 交 通 處
港 灣 技 術 研 究 所

地址：台中縣梧棲鎮臨海路83號

電話：(046) 5 6 4 2 1 6

印 刷 者：天穗企業股份有限公司

地址：台中市五權路280號

電話：(04) 2 2 3 2 4 2 2

中華民國七十六年四月卅日出版