

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 水庫洩洪排淤對下游河道環境影響之評估

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2625-Z-009-008-

執行期間：93年12月01日至94年11月30日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：葉克家

共同主持人：蔡長泰

計畫參與人員：廖仲達、翁俊鴻

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 2 月 27 日



## 摘要

七二水災及艾莉颱風期間由於連續豪雨沖蝕，集水區土石大量流入水庫，造成石門水庫大量淤積，且導致各原水取水口處含砂濃度過高而超過淨水廠處理能力，使得南桃園地區無法正常供應自來水長達三週之久，影響民生及工業生產甚鉅。

有鑒於泥砂濃度及水庫淤積問題日益嚴重，本研究將針對改善此問題加以評估，採用顯式有限解析法(explicit finite analytic method)動床數值模式，模擬高濃度含砂水流洩放後，探討各原水取水口處含砂濃度與時間之關係，以及整體大漢溪河道之沖淤變化情形，並對於水庫清淤後之泥砂堆置於河道進行其可行性之評估。

經由模式模擬後可發現，在高含砂濃度的排砂條件下，後池內之沖淤變化較劇烈，進入下游段後沖淤則逐漸減緩；各原水取水口處如後池堰、鳶山堰之細小粒徑 D1 及 D2 懸浮質濃度於模擬過程中各保持在 6,800ppm 上下，顯示排淤過程中水體之泥砂濃度是處於高濃度之狀態。從二維模式模擬結果來看，堆置之清淤泥砂在一場颱風事件的作用下未能全部被水流沖走，堆置區段底床高程僅 0.1~0.4m 之沖刷量，由於堆置泥砂具有凝聚性沉滓顆粒之特性，抵抗水流之啟動剪應力相較於一般砂質粒徑來大，因此推估需要時間較長且流量較大之洪水事件持續作用才有可能將原堆置泥砂完全沖走。

水庫高含砂濃度排砂雖對水庫容量之維持有益，但排砂過程中各取水口處之懸浮質濃度並未衰減，因此需尋求其他配套措施以確保在高濃度排砂過程中各淨水廠能正常取水。而清淤泥砂堆置河道之可行性仍需再加以評估，除了在不影響河防安全且適度調整水利、環保相關法規之前提下，目前未有針對水庫內凝聚性沉滓堆置河道之試驗，對於此經過人為擾動後之沉滓沖淤機制也尚待研究，此課題仍具有許多後續研究之價值。

**關鍵詞：**水庫洩洪、河道沖淤、EFA 模式

## Abstract

A great amount of sediment was eroded and flushed into the Shihmen Reservoir due to the intense rainfall occurred during July-2<sup>nd</sup> floods and Aere typhoon. The outlet flows of the reservoir were with such high sediment concentration, that the water treatment plants and water supply in the Southern Taoyuan area could not function properly for the following three weeks. As a result, social activities and industrial production were seriously affected.

In this study, a mobile-bed numerical model using the explicitly finite analytic model was adopted to simulate the sediment concentrations at the intakes. Simulations were also carried out for the deposition and scour situations of the downstream of Ta-han Creek due to the flushing of high-concentrated flow from Shihmen Reservoir. In addition, the feasibility evaluation on the deposition of the excavated from the reservoir in the downstream reach was also executed.

According to the simulated results, under high-concentrated sediment flushing condition, significant deposition and scour will occur in the back pond with small magnitude of bed change in the downstream reach. The sediment concentrations at the intakes, such as the Back Pond weir and Yin-San weir, have about 6800 ppm during the flood release period. This high-concentrated flow will force the treatment plant to shut down. The excavated material from the reservoir is assumed to be deposited in the downstream reach of Hou-Tsun weir. From the simulated results of 2DEFA, the deposition of the excavated material could not be flushed away completely through one single period of typhoon. The elevation of deposition zone has a small degradation of roughly 0.1 to 0.4 meters. Due to the cohesive property of the excavated material, a greater typhoon flood may be required for the deposition of the excavated material to be flushed away completely.

The storage capacity of the reservoir could be maintained through the flushing of high-concentrated sediment flow within it. However, there is still high sediment concentration at the intakes of the treatment plants during the flood-release period. Therefore, the treatment plants should find other plans to make sure water can be supplied normally. On the premise that the flood-prevention work would not be affected; it is suggested that water resources and environmental laws should be modified accordingly and the deposition of the excavated material from the reservoir in the downstream reach should be evaluated strictly. There is still room for further

study on the cohesive property and dynamic mechanism of the excavated material.

**Keywords :** reservoir release floodwater, channel aggradations and degradations, EFA model

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
一、前言.....	1
二、研究目的.....	3
三、模式概述與理論基礎.....	4
3.1 模式概述.....	4
3.2 理論基礎.....	4
3.2.1 非黏性沉澱輸砂輔助關係式.....	5
3.2.2 黏性沉澱輸砂輔助關係式.....	7
3.3 求解水理方程式之數值方法.....	8
3.4 求解輸砂方程式之數值方法.....	9
四、研究方法.....	10
4.1 水庫洩洪排淤對下游河道沖淤之影響評估.....	10
4.2 水庫清淤之泥砂堆置河道之可行性評估.....	10
五、模擬案例說明.....	12
5.1 高濃度排砂案例.....	12
5.2 清淤泥砂堆置河道案例.....	13
六、模擬結果分析.....	14
6.1 高濃度排砂案例.....	14
6.2 清淤泥砂堆置河道案例.....	15
6.2.1 一維模式模擬結果分析.....	15
6.2.2 二維模式模擬結果分析.....	16
七、結論與建議.....	17
7.1 結論.....	17
7.2 建議.....	17
八、參考文獻.....	19
九、附錄.....	21

## 表目錄

表 1 大漢溪床質粒徑分配(1/2).....	21
表 2 大漢溪床質粒徑分配(2/2).....	21
表 3 石門水庫庫內粒徑分析.....	22

## 圖目錄

圖 1 淡水河流域圖.....	23
圖 2 石門水庫原水取水口位置圖.....	23
圖 3 納莉颱風石門排洪流量歷線.....	24
圖 4 納莉颱風側入流三峽溪流量歷線.....	24
圖 5 濃度濁度對應圖 (子計畫四提供).....	25
圖 6 納莉颱風新海橋實測水位歷線.....	25
圖 7 一維斷面堆高示意圖.....	26
圖 8 一維泥砂堆置區段示意圖.....	26
圖 9 馬莎颱風石門排洪流量歷線.....	27
圖 10 馬莎颱風石門後池濃度歷線.....	27
圖 11 馬莎颱風新海橋實測水位歷線.....	28
圖 12 二維模式模擬範圍格網點圖.....	28
圖 13 堆置前底床高程 3D 圖.....	29
圖 14 堆置後底床高程 3D 圖.....	29
圖 15 二維泥砂堆置示意圖 (計算點 25).....	30
圖 16 二維泥砂堆置示意圖 (計算點 33).....	30
圖 17 二維泥砂堆置示意圖 (計算點 41).....	30
圖 18 高濃度排砂案例大漢溪底床高程沖淤變化.....	31
圖 19 高濃度排砂案例大漢溪底床高程差值變化.....	31
圖 20 後池堰 D1、D2 懸浮質濃度延時變化.....	32
圖 21 後池堰 D3~D6 懸浮質濃度延時變化.....	32
圖 22 鳶山堰 D1、D2 懸浮質濃度延時變化.....	33
圖 23 鳶山堰 D3~D6 懸浮質濃度延時變化.....	33
圖 24 大漢溪下游段 t=1hr 濃度沿程變化.....	34
圖 25 大漢溪下游段 t=2hr 濃度沿程變化.....	34



圖 26 大漢溪下游段 t=4hr 濃度沿程變化.....	35
圖 27 大漢溪下游段 t=24hr 濃度沿程變化.....	35
圖 28 大漢溪下游段 t=8hr 懸浮載源沿程變化.....	36
圖 29 大漢溪下游段 t=16hr 懸浮載源沿程變化.....	36
圖 30 大漢溪下游段 t=24hr 懸浮載源沿程變化.....	36
圖 31 大漢溪下游段河床質 D50 沿程變化.....	37
圖 32 一維模式清淤泥砂模擬馬莎颱風 66 小時後底床高程.....	37
圖 33 一維清淤泥砂堆置案例 1hr 懸移質濃度沿程變化.....	38
圖 34 一維清淤泥砂堆置案例 4hr 懸移質濃度沿程變化.....	38
圖 35 一維清淤泥砂堆置案例 8hr 懸移質濃度沿程變化.....	38
圖 36 一維清淤泥砂堆置案例 16hr 懸移質濃度沿程變化.....	39
圖 37 一維清淤泥砂堆置案例 33hr 懸移質濃度沿程變化.....	39
圖 38 一維清淤泥砂堆置案例 66hr 懸移質濃度沿程變化.....	39
圖 39 堆置區段模擬前底床高程立體圖.....	40
圖 40 堆置區段模擬 66 小時後底床高程立體圖.....	40
圖 41 清淤泥砂堆置案例模擬前 (1/6).....	41
圖 42 清淤泥砂堆置案例模擬後 (1/6).....	41
圖 43 清淤泥砂堆置案例模擬前 (2/6).....	42
圖 44 清淤泥砂堆置案例模擬後 (2/6).....	42
圖 45 清淤泥砂堆置案例模擬前 (3/6).....	43
圖 46 清淤泥砂堆置案例模擬後 (3/6).....	43
圖 47 清淤泥砂堆置案例模擬前 (4/6).....	44
圖 48 清淤泥砂堆置案例模擬後 (4/6).....	44
圖 49 清淤泥砂堆置案例模擬前 (5/6).....	45
圖 50 清淤泥砂堆置案例模擬後 (5/6).....	45
圖 51 清淤泥砂堆置案例模擬前 (6/6).....	46

圖 52 清淤泥砂堆置案例模擬後 (6/6).....	46
圖 53 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 25).....	47
圖 54 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 33).....	47
圖 55 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 41).....	48
圖 56 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 155).....	48
圖 57 二維泥砂堆置案例 t=1hr 懸浮質濃度沿程變化.....	49
圖 58 二維泥砂堆置案例 t=4hr 懸浮質濃度沿程變化.....	49
圖 59 二維泥砂堆置案例 t=8hr 懸浮質濃度沿程變化.....	49
圖 60 二維泥砂堆置案例 t=16hr 懸浮質濃度沿程變化.....	50
圖 61 二維泥砂堆置案例 t=33hr 懸浮質濃度沿程變化.....	50
圖 62 二維泥砂堆置案例 t=66hr 懸浮質濃度沿程變化.....	50

## 一、前言

石門水庫位於淡水河三大支流之一的大漢溪上，自民國 52 年 5 月開始蓄水，完工於民國 53 年 6 月。大漢溪全長 126 公里，流域面積 1,163 平方公里，石門壩址以上之溪長 87 公里，流域面積 763.4 平方公里，在主流上建有巴陵、義興及榮華三座大型防砂壩，流域示意圖如圖 1 所示。石門水庫滿水位標高為 245 公尺，呆水位標高為 195 公尺，水庫期初總容量為 3 億 912 萬立方公尺，有效容量為 2 億 5,188 萬立方公尺，呆容量為 5,724 萬立方公尺。民國 52 年 9 月葛樂禮颱風，帶來豪雨也為石門水庫集水區帶來嚴重沖刷，估計有 1,900 萬立方公尺的泥砂流入庫區。隨後經水庫管理局進行持續的集水區水土保持工程，建防砂壩，庫區浚淤等措施，並每年進行水庫淤積測量，至民國 93 年 3 月止，累積淤積量為 5,615 萬立方公尺，其中 4,202 萬立方公尺淤在呆水位以下。

石門水庫為一多目標水庫，原規劃以灌溉及防洪標的為主，公共給水僅每日 95,000 噸，由於工商業之發達，公共(含工業)給水供水之比重逐年增加，目前石門水庫每年供水量約 9 億噸，公共給水及灌溉用水約各佔一半。公共給水取水方式有在下游河道的鳶山堰攔引送板新水廠，支流三峽河設抽水站，於大壩上游取水經石門大圳送龍潭、平鎮、石門淨水場，於後池堰取水經桃園大圳送大湳淨水場，如圖 2 所示。後池堰的蓄水來自溢洪道、排洪隧道、發電放水口、永久河道放水口之放水。石門水庫完工 40 年來，隨著庫容因淤積減少外，公共給水需求也急遽成長，在水資源之調度上益見吃緊。

七二水災及艾莉颱風期間，連續長時間及高強度之降雨持續沖蝕石門水庫集水區，造成集水區多處大面積之崩塌及發生土石流，導致大量泥砂流入水庫，根據北區水資源局之測量，推估約有 2,000 萬立方公尺之淤積，其數量相近於葛樂禮颱風所帶來者。此一大量淤積除造成永久河道放水口、發電進水口幾乎淤塞外，由於含砂濃度太高，根據量測各淨水廠取水口處之濁度高達十幾萬 NTU，遠超出其沉澱池之處理能力(約在 3,000NTU)，亦因而被迫停止供水，使得南桃園地區無法供應自來水長達三週，影響民生及工業生產甚鉅。為使艾莉颱風後造成石門水庫大量淤積，以及供水困難之痛苦經驗不再發生，水利署積極研擬因應措施，包括以水庫表水(清水)與低標高濁水混和排放稀釋、以石門大圳退水路排放底層濁水及抽泥船全天運轉抽泥等短期措施，以及於水庫中游另設高層

取水口、建立異重流監測與預警系統、結合地方政府辦理水庫清淤作業、加強集水區治理保育及土地管理等中、長期措施。

未來全台多座水庫亦都面臨泥砂嚴重淤積問題，如何在旱季或雨季均能維持水庫供水機能，確保水庫水資源永續經營利用，將是亟待解決的課題。因此，本整合型計畫以石門水庫為示範研究區域，邀集國內學者專家進行研究並加以整合，針對水文不確定性、自來水供需風險及備載應變、水資源調度、颱風期間水庫操作及環境影響等領域進行切入，進行水庫供水機能檢討評估並提出改善對策，提供主管機關做為未來加強水資源運用或防災科技研究計畫核列之參考。

## 二、研究目的

本整合型計畫以石門水庫為示範研究區域，邀集國內學者專家進行研究並加以整合，針對水文不確定性、自來水供需風險及備載應變、水資源調度、颱風期間水庫操作及環境影響等領域進行切入，進行水庫供水機能檢討評估並提出改善對策，提供主管機關做為未來加強水資源運用或防災科技研究計畫核列之參考。

本子計畫主要之目的有二：水庫洩洪排淤對下游河道沖淤之影響評估，以及水庫清淤後之泥砂堆置於河道之可行性評估。由於石門水庫現況淤積嚴重，日後洩洪時將優先利用標高較低之出水口(如永久河道放水口、發電進水口、石門大圳進水口、排洪隧道等)進行蓄清排渾之操作，因此高濃度含砂水流洩放後，對後池及其下游河道沖淤之影響，以及沿程水體含砂濃度變化情形，必須加以評估。另外，石門水庫內淤積之大量泥砂處理不易，可思考的方式之一為將其暫堆置於水庫下游河道內較低窪地區，等待颱風期間水庫洩洪時，評估其可被沖走之情形，以及在不同堆置條件下，對河道其他地沖淤之情形，與對防洪安全之可能影響。

本子計畫直接相關者為子計畫四「颱風期間水庫蓄清排渾效應之評估」，由該子計畫評估建議之蓄清排渾操作，其排渾之含砂濃度特性可為本研究數模之上游邊界條件。另本研究模擬所得之後池堰及鳶山堰處之水體含砂濃度可供淨水廠是否能取水之依據，並作為其他子計畫在供水調度分析上之參考。

### 三、模式概述與理論基礎

#### 3.1 模式概述

本研究在水理計算方面採用顯式有限解析法 (explicit finite analytic method, EFA) 數值模式直接求解水流之連續方程式及動量方程式。EFA 法相較其他數值方法如有限體積法、有限元素法等有其推導容易及精度良好之優點，且此法在計算流體與水利計算領域之應用已證明相當不錯。

在沉滓運移計算方面，因天然河道之底床係由多種不同粒徑大小之沉滓所組成，且由於水庫迴水區甚長，能流至並淤在壩址前之沉滓一般均為細顆粒者，故經由水庫防淤策略操作所排放至下游河道的沉滓多屬於較細小之黏土或粉土，其特性明顯與河道中原有之沉滓不同，因此所採用之模式必須具有模擬非均勻黏性沉滓的特點，將水庫排淤部份以及河道原有沉滓部份之不同特性反應出來，如此才能正確的計算出水庫排砂對下游河道之影響。此外，考慮懸浮載與河床載具有不同的運移機制，故將兩者予以分開計算之，並考慮沉滓在渠道底床附近發生沉積與再懸浮的情形，因此模式必須引入懸浮載與河床載之間的交換機制，以正確求得水體中各懸浮沉滓之濃度變化情形，以及河床中各種粒徑之組成百分比。

本研究採行適用於雙曲線型方程式之特性法計算懸浮載質量守衡方程式，並與河床載質量守衡方程式及整體河床輸砂之質量守衡方程式進行結合演算，利用 Newton-Raphson 演算法疊代聯立求解，所得之結果即可用以分析河床之沖淤變化、懸浮載變化、床質粒徑變化等情形。

#### 3.2 理論基礎

求解之控制方程式可分為水理與輸砂兩部份，水理之控制方程式包含了連續與動量方程式；輸砂之控制方程式包含了某一粒徑之懸浮載、河床載質量守衡方程式，及整體河床輸砂之質量守衡方程式，茲列出如下：

水理方程式：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gAS_f - q_l u_l = 0 \quad (2)$$

上式中，A=通水斷面積；Q=流量；t=時間；x=水平座標；g=重力加速度；Z=水位； $\beta$ =動量校正係數； $q_l$ =單位寬度側入流量； $u_l$ =側入流流速； $S_f$ =摩擦坡降。

輸砂方程式：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = - \frac{1}{\rho_s A} \frac{\partial q_s}{\partial x} + \frac{S}{\rho_s A} \quad (3)$$

$$\rho_s (1-p) B_z \frac{\partial (\beta_E E_m)}{\partial t} + \frac{\partial q_b}{\partial x} + S - S_{ak} = 0 \quad (4)$$

$$\rho_s (1-p) B_z \frac{\partial (Z_b)}{\partial t} + \sum_{k=1}^n \left( \frac{\partial q_b}{\partial x} + S \right)_k = 0 \quad (5)$$

上式中， $C$ =某一代表粒徑懸浮質之濃度(質量比)； $u$ =水體流速； $q_s$ =懸浮質之擴散通量(flux)； $\rho_s$ =沉滓密度； $p$ =孔隙率； $B_z$ =底床位置之河寬； $\beta_E$ =作用層內某粒徑沉滓之百分比； $E_m$ =作用層厚度； $q_b$ =河床載通量； $S$ =懸浮載資源項； $S_{ak}$ =作用層底部資源項； $Z_b$ =底床高程； $n$ =非均勻沉滓之代表粒徑數。

為求解上述三式，尚需一些補助關係式，以決定 $q_b$ 、 $q_s$ 、 $E_m$ 、 $S$ 及 $S_{ak}$ 。當水庫排放具凝聚性或黏性之沉滓時，其運移行為不同於下游河道中原有之較大粒徑非黏性沉滓，因此模式兼具黏性沉滓與非黏性沉滓運移之機制，如此方能符合河道動床演算的需求。

### 3.2.1 非黏性沉滓輸砂補助關係式

#### 1. 河床載通量 (bed load flux, $q_b$ )

Van Rijn(1984a)係以泥砂之中值粒徑為代表粒徑來計算非均勻質砂之河床載體積通量。其後，Spasojevic(1990)針對每一粒徑( $D_k$ )，將 Van Rijn 之公式稍加修正之。假設河床載運移僅發生在作用層內，其內某粒徑之百分組成表示為 $\beta_E$ 。在一般非均勻之河床質中，較細顆粒可能被隱藏在較粗顆粒之間，而不易被水流帶動，故 Karim, Holly and Yang (1987)提出一個簡單之經驗因子，稱之為隱藏因子(hiding factor,  $\zeta$ )，對河床載通量予以修正。綜合上述之影響因子而得其河床載通量如下：

$$q_b = B_z \zeta_k \beta_E q_b^t(D)_k = B_z (1-\gamma) \zeta_k \beta_E 0.053 \rho_s \sqrt{(s-1)g} D_k D_k \frac{T_k^{2.1}}{D_{*k}^{0.3}} \quad (6)$$

上式中， $D_{*k} = D_k \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3}$  = 無因次顆粒粒徑； $T_k = \frac{u_*^2 - (u_{*c})_k^2}{(u_{*c})_k^2}$  = 輸送參數；

$u_* = \frac{u\sqrt{g}}{c}$  有效河床剪力速度； $c = 18 \cdot \log\left(\frac{12d}{3D_{90}}\right)$  = 顆粒蔡司係數； $s = \frac{\rho_s}{\rho}$  = 砂

比重； $\nu$  = 運動滯度； $u_{*c}$  = 臨界剪應力； $\zeta_k = \left(\frac{D_k}{D_{50}}\right)^{0.85}$ 。

## 2. 懸浮載通量 (suspended load flux, $q_s$ )

要計算懸浮載通量首先必須要知道懸浮濃度於通水斷面的分佈情形。一般皆在距離底床一參考高度的位置求一參考濃度  $C_a$ ，用以推求所須之濃度剖面，

$$C_{a_k} = 0.015 \frac{D_k T_k^{1.5}}{a D_{*k}^{0.3}} \quad (7)$$

其中， $a$  一般取砂丘高度之一半。引用 Van Rijn(1984b)之經驗式，推算懸浮載通量如下：

$$q_s = \frac{\left[\frac{a}{d}\right]^{Z'} - \left[\frac{a}{d}\right]^{1.2}}{\left[1 - \frac{a}{d}\right]^{Z'} [1.2 - Z']} u A C_{a_k} \quad (8)$$

其中， $Z' = \frac{w_k}{\beta \kappa u_*} + 2.5 \left[\frac{w_k}{u_*}\right]^{0.8} \left[\frac{C_{a_k}}{C_o}\right]^{0.4}$ ， $C_o = 0.65$  = 底床之最大體積濃度。

## 3. 懸浮載源 (S)

懸浮載源係懸浮質向下之通量與底床亂流剪力作用產生河床質向上之通量交互作用之結果。使懸浮質下移到河床表面，主要是受到重力的影響。懸浮質的沈降速度決定向下沈淤之通量，所以對某一粒徑  $k$  之懸浮質而言，其向下之通量可表為：

$$q_{d_k} = -\rho B_z w_k C_{d_k} \quad (9)$$

式中， $C_{d_k} = \left[3.25 + 0.55 \ln\left(\frac{w_k}{\kappa u_*}\right)\right] C_k$  (Lin, 1984)； $C_k$  = 顆粒  $k$  之平均濃度； $w_k$  = 粒徑  $k$  之沈降速度； $\kappa$  = von Karman 係數。

另一方面，床面沈滓成為懸浮質，主要受到底床之亂流作用所造成。Li (1986)，Bennett and Nordin(1977)認為對某一粒徑  $k$  而言，河床質向上之通量可表為：

$$q_{e_k} = \rho B_z w_{lk} C_{a_k} \quad (10)$$

式中， $w_{lk}$  = 顆粒向上躍起之速度。對某一粒徑  $k$  之懸浮載源可表為：

$$S_k = \rho B_z \cdot (w_{lk} C_{a_k} - w_k C_{d_k}) \quad (11)$$



#### 4.作用層厚度 ( $E_m$ )

沖刷現象發生時，根據 Bennet 與 Nordin(1977)之研究， $E_m$  以下式表示：

$$E_m = -L(z_b^{n+1} - z_b^n) \quad (12)$$

式中， $L$  為數值參數。當河床表面接近護甲條件時(armored condition)，作用層厚度接近零，在這種情況下，可用 Borah et al.(1982)所提出護甲層之厚度(armored-layer thickness)，予以修正：

$$E_m = -C(z_b^{n+1} - z_b^n) + \frac{1}{\sum_{k=m}^K \beta_{Ek}} \frac{D_m}{1-p} \quad (13)$$

式中， $D_m$  為不產生移動的最小顆粒粒徑。另外，作用層在淤積期間可定義為：

$$E_m^{n+1} = E_m^n + (z_n^{n+1} - z_b^n) \quad (14)$$

#### 5.作用層源 ( $S_f$ )

作用層源係由於母層(active stratum)頂面之升降而產生，當其下降時，

$$S_f = -\rho_s(1-p) \frac{\partial}{\partial t} [\beta_s(z_b - E_m)] \quad (15)$$

其中， $\beta_s$  為母層內某一粒徑之百分組成比例。如母層之厚度增加，即其頂面上升時，(15)式中之 $\beta_s$ 則改為 $\beta_E$ 。

### 3.2.2 黏性沉澱輸砂輔助關係式

#### 1.沉降速度

沉降速度( $W_s$ )影響其淤積速度以及懸浮載在垂直方向之濃度剖面。細小非黏性圓球體在靜止水體中之沉降遵循 Stokes law：

$$W_s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{gD^2}{18\nu} \quad (16)$$

上式中， $D$  = 沉澱直徑； $\nu$  = 運動滯度。對黏性沉澱而言，由於顆粒表面分子間之吸力，將凝聚成一團，加速沉降之速度，根據 Migniot(1989)之研究，可表為：

$$W_{s,agg} = F \times W_{s,part} \quad (17)$$

式中， $W_{s,agg}$ ， $W_{s,part}$  = 凝聚體與單其一顆粒之沉降速度； $F$  = 凝聚因子，與粒徑之關係為  $F = 250D^{-1.8}$ ，其中  $D$  的單位為微米。

## 2. 沉淤速率

根據 Krone(1962)之研究指出，單位面積及時間之沉淤量， $Q_d(kg/m^2/s)$ 可表為：

$$Q_d = \rho_s W_s P_d C_k \quad (18)$$

上式中， $C_k$  為粒徑  $k$  之濃度； $P_d$  為黏性沉滓黏附於床面之機率，可表為  $P_d = [1 - \tau/\tau_{*d}]$ ，當  $\tau$  大於  $\tau_{*d}$  時則  $P_d$  為零； $\tau$  為底床剪應力； $\tau_{*d}$  為發生沉淤之臨界剪應力，Shrestha 及 Orlob (1996)根據試驗資料率定  $\tau_{*d}$  為  $0.06Nm^{-2}$ 。

## 3. 沖刷速率

根據 Cormault(1971)之實驗資料，單位面積及時間之沖刷量為

$$Q_e = M \left[ \frac{\tau}{\tau_{*e}} - 1 \right] \quad (19)$$

上式中， $\tau_{*e}$  為發生沖刷之臨界剪應力，且當  $\tau$  小於  $\tau_{*e}$  時則沖刷量  $Q_e$  為零； $M$  為沖刷係數。根據 Shrestha 及 Orlob (1996)之文獻，對於剛落淤於底床上之砂層  $\tau_{*e}$  採  $0.06Nm^{-2}$ ，而對於較底部之砂層因有壓密因素，將使得其沖刷臨界剪應力變大，採  $0.082Nm^{-2}$ 。

### 3.3 求解水理方程式之數值方法

本研究採 EFA 法，連續方程式保存保守型方程式之特性，並以控制體積的觀念來差分之，動量方程式則因其具有雙曲線型方程式之特性，針對移流項之部份則採用顯式有限解析法予以處理，求解流量與通水斷面積。經離散後之控制方程式如下：

$$\frac{A_i^{n+1} - A_i^n}{\Delta t} + \left[ \Psi_c \left( \frac{Q_{i+1}^{n+1} - Q_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x} \right) + (1 - \Psi_c) \left( \frac{Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n}{2\Delta x} \right) \right] - q_{li}^n = 0 \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & \frac{Q_i^{n+1} - Q_\xi^n}{\Delta t} + \left[ \Psi_m Q_i^{n+1} \beta \left( \frac{v_r^{n+1} - v_l^{n+1}}{n_d \Delta x} \right) + (1 - \Psi_m) Q_\xi^n \beta \left( \frac{v_r^n - v_l^n}{n_d \Delta x} \right) \right] \\ & + \left[ \Psi_m g A_i^{n+1} \left( \frac{Z_r^{n+1} - Z_l^{n+1}}{n_d \Delta x} \right) + (1 - \Psi_m) g A_\xi^n \left( \frac{Z_r^n - Z_l^n}{n_d \Delta x} \right) \right] \\ & + g A_i^n S_{f_i}^n - q_{li}^n u_{li}^n = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

其中，上標為時間點，下標為空間位置， $\Delta t$  為時間間距， $\Delta x$  為二斷面之間距，

$\psi_c$  與  $\psi_m$  分別為連續方程式與動量方程式之時間加權因子，其範圍為  $[0,1]$  之間。結合特性線與有限解析法的觀念，依水流方向及流況採用不同的差分方式。當流況為亞臨界流時，則  $r=i+1$ ， $l=i-1$ ， $n_d=2$ ，代表中央差分；當流況為正（向下游）超臨界流，則  $r=i$ ， $l=i-1$ ， $n_d=1$ ，代表後向差分；當流況為負（往上游）超臨界流時， $r=i+1$ ， $l=i$ ， $n_d=1$ ，代表前向差分， $i$  為計算點位置。下標符號  $\xi$  者為  $n$  時段上之特性線位置，該特性線係由  $n+1$  時段上之計算點向後（backward）投射，此為顯式有限解析法求解特色之一。

### 3.4 求解輸砂方程式之數值方法

輸砂模式之控制方程式係採用結合演算法，將這三條方程式以半隱式法差分聯立求解。因為懸浮載之質量守恆方程式依物理特性可分割為移流及反應項 (advection-reaction term) 與擴散項 (diffusion term) 二部份，所以輸砂方程式之結合演算步驟，首先將懸浮載質量守恆之移流及反應項與作用層質量守恆方程式、整體河床輸砂質量守恆方程式，利用 Newton-Raphson 演算法疊代聯立求解；然後，所得各變數之結果再與懸浮載質量守恆方程式之擴散項反覆疊代至收斂為止，可求得底床高程、懸浮載濃度及床質粒徑等變量。

## 四、研究方法

本研究主要針對大漢溪進行動床之沖淤模擬，但大漢溪上游段坡陡流急，且超、亞臨界流混合之流況增加模擬困難度。本計畫研發之 EFA 模式於坡陡流急之應用未臻完善，因此採用分段模擬之方式，上游段採用美國墾務局所發展之 GSTARS 模式進行模擬，GSTARS 模式具有 quasi-steady 之特性，且經由國內外研究其應用有相當不錯之成果，將其模擬之結果續接本團隊之 EFA 模式進行下游段之模擬。本研究探討兩大主題之研究方法茲說明如下：

### 4.1 水庫洩洪排淤對下游河道沖淤之影響評估

石門水庫完工四十年來，造成其上游河床之淤積，以及下游河床之沖刷。如今因水庫淤積嚴重，日後遇有排洪之機會，自將以低標高之出水工為優先考慮，在此條件下，高濃度含砂水流是否能將泥砂全數排入淡水河主流，為所須探討者。此外，在後池堰內水體含砂濃度將對經桃園大圳之淨水廠能否取水直接有所影響，另於鳶山堰處板新淨水廠取水口亦然。因此，颱風期間水庫洩洪排砂之影響，除要探討其對下游河道原有平衡狀態之影響外，亦須檢討有關原水取水口處之含砂濃度。

為探討高含砂水流洩洪對下游河道之影響，將選取數場代表性之颱風案例進行實例模擬，模式將針對各原水取水口處如後池堰、鳶山堰分析其懸浮質濃度延時之變化，並同時對模擬前後其河道之高程變化做分析，以了解其整體河道之沖淤變化，評估高含砂水流洩洪排淤對下游河道之影響。

### 4.2 水庫清淤之泥砂堆置河道之可行性評估

水庫清淤是延長水庫壽命的方法之一，而淤泥回歸河道為處理水庫淤積物的方法之一。對於無經濟利用價值之水庫淤積物，在下游河道有充分的輸砂能力時，且不產生環境衝擊之情況下，淤泥回歸河道不失為一經濟的處理方式。淤泥回歸河道乃是將淤泥暫置於選定之河道內，亦即於枯水期間將泥砂暫時存放於下游河道深槽或洪水平原上，待豐水期時再由水庫之洩洪將淤泥運移至更下游河道或攜帶入海。淤泥回歸河道其立意在於將上游被水庫攔蓄之泥砂還給下游河道，對於河道平衡具有正面的意義，此外必須考量下游河道是否有能力將淤砂輸送至河口以補充河岸漂砂，或輸送至下游河道減緩因建水庫所導致之河道變遷與侵蝕，以達到河道輸砂平衡與減緩河岸的侵蝕。

清淤泥砂堆置河道可行性評估方面，由於後村堰上游段有多處地點為原水取水口處，考慮堆置泥砂可能影響到取水口懸浮質濃度，因此清淤泥砂堆置地點選擇為後村堰下游段，模擬在一場颱風案例，堆置之泥砂是否能被水流帶走，且不影響河道之防洪安全。

## 五、模擬案例說明

### 5.1 高濃度排砂案例

模擬範圍為從石門後池至下游新海橋之大漢溪河道，約 35,855m，如圖 1 所示，共計 95 個斷面，模式相關設定資料與參數如下：

#### 1.斷面資料與床質粒徑資料

斷面資料選用民國 92 年度第十河川局實測大斷面資料，床質粒徑資料上游段選用民國 75 年大漢溪治理規劃報告實測資料；下游段選用民國 90 年大漢溪河道疏濬工程通洪能力檢討報告實測資料，本模式具有模擬非均勻沉澱功能，且考慮黏性沉澱之交互作用，研採六組代表粒徑， $D1=0.001$ 、 $D2=0.03$ 、 $D3=0.75$ 、 $D4=3.0$ 、 $D5=11.93$ 、 $D6=84.55$  mm，其中  $D1$ 、 $D2$  為代表水庫庫內淤泥之粒徑，由水利屬北區水資源局取樣提供參考， $D3\sim D6$  為河床質粒徑，詳細資料及各斷面床質粒徑組成比例如表 1~3 所示。

#### 2.糙度係數

曼寧  $n$  值經由模式率定校正，上游段後池至後村堰採 0.032 為代表值；下游段後村堰至新海橋採 0.03 為代表值。

#### 3.上游邊界條件

選用 2001 年納莉颱風為案例，上游邊界為石門排洪流量洪峰段，共計 24 小時，流量歷線如圖 3，並考慮三峽溪之側入流量，流量歷線如圖 4。

#### 4.入砂條件

由於並無納莉颱風期間之實測排洪隧道泥砂濃度資料，因此模擬案例上游入砂資料採用艾莉颱風期間排洪隧道標高 220m 處之平均濁度 17,492NTU，經由子計畫四提供之經驗公式如圖 5，轉換約為 13,679ppm，其中  $D1$ 、 $D2$  粒徑比例各佔 49.5%， $D3$  粒徑佔 1%。

#### 5.下游邊界條件

下游邊界條件選用同時段對應之新海橋實測水位，共計 24 小時，水位歷線如圖 6。

#### 6.GSTARS 相關設定

GSTARS 部份採用最新之 3.0 版本，流管數設為 1，輸砂公式選用 Yang's 1996 modified method。

## 5.2 清淤泥砂堆置河道案例

由於後村堰上游段有多處地點為原水取水口處，考慮堆置泥砂可能影響到取水口懸浮質濃度，因此清淤泥砂堆置地點選擇為後村堰下游段，堆置區段之選擇原則為流速較大且斷面變化較不劇烈之區段，以確保淤泥能隨水流帶走且不至於影響防洪安全。而一維與二維模式因計算概念之不同，於堆置淤泥方式有不同之考量，一維模式方面，由於每個計算斷面僅面積之概念，因此將泥砂堆高整個斷面約 1m，如圖 7 所示，堆置範圍為編號第 53、52、51 三個斷面，如圖 8，一維模式相關設定資料與參數如下：

### 1. 上游邊界條件

選用 2005 年馬莎颱風為案例，上游邊界為石門排洪流量共計 66 小時，流量歷線如圖 9。

### 2. 入砂條件

上游入砂資料採用後池內實測濁度(NTU)逐時歷線資料，經轉換單位為 ppm 後如圖 10。

### 3. 下游邊界條件

下游邊界條件選用同時段對應之新海橋之實測水位，共計 66 小時，水位歷線如圖 11。

### 4. 糙度係數

堆置泥砂屬凝聚性細顆粒，堆置區段曼寧  $n$  值經率定評估後研採 0.022，其餘區段同前案例之設定。

### 5. 堆置泥砂條件

堆置泥砂 99% 為 D1、D2 粒徑，其中 D1、D2 比例各佔一半，其餘 1% 為 D3 粒徑，堆置體積約為 77 萬立方公尺。

利用水平二維模式模擬泥砂堆置河道方面，模擬範圍從編號第 55 斷面至新海橋，如圖 12，格點數為 185x13；泥砂堆置區段為計算斷面 I=21~45 區段，約為斷面編號第 53、52、51 位置，從圖 13、14 堆置前後底床高程 3D 圖來看，主要將將泥砂堆置在斷面深槽處，從斷面剖面圖觀察，可看出堆置之型態，如圖 15~17，其餘二維模式相關設定資料與參數同一維模式。

## 六、模擬結果分析

### 6.1 高濃度排砂案例

#### 1. 大漢溪底床沖淤變化

分析整體河床之沖淤變化，如圖 18，圖之右方代表上游後池，左方則代表下游新海橋，虛線部份為模擬 24 小時後之底床，實線部份為原始底床，可看出在後村堰之前底床坡度是相當地陡峭，且有一段約 20m 的落差銜接下游段，此段落差並未模擬，而是直接採用銜接的方式將上游段計算結果給定為下游段之上游邊界條件。

將模擬前後底床高程差值繪出，如圖 19 所示，可看出在上游後池部份整體沖淤變化較為劇烈，約在+0.5~-1.2m 之間，主要是由於入流量較大且後池內初始底床本身變化就較為劇烈所造成；經過後池堰後，沖淤變化約在+0.4~-0.4m 之間；在河心距 16,000m 處有一明顯之沖淤變化，此處前、後斷面其通水面積是一個由小變大再變小的過程，因此在此處有一明顯沖刷、淤積、沖刷狀態應屬合理；接著進入後村堰下游部份，河道沿程沖淤範圍皆保持在一很小之範圍內，逐漸趨於平衡。

#### 2. 懸浮質濃度變化

接著分析懸浮質濃度於各取水口處隨時間的變化，後池堰 D1、D2 粒徑懸浮質濃度延時變化如圖 20 所示，可發現從模擬開始到結束，其 D1、D2 粒徑之濃度皆保持在 6,800ppm 上下，顯示排淤過程中水體之泥砂濃度是處於高濃度之狀態。圖 21 為後池堰 D3~D6 粒徑懸浮質濃度延時變化，濃度皆在 500ppm 以下。鳶山堰 D1、D2 粒徑懸浮質濃度延時變化如圖 22 所示，濃度也都保持在 6,800ppm 上下，D3~D6 粒徑濃度則都在 500ppm 以下，如圖 23 所示。

後村堰下游段各時段濃度沿程變化如圖 24~27 所示，於 t=1hr 時其 D1、D2 粒徑之濃度沿程分佈從上游至下游呈現遞減趨勢，河心距 10,000m 處由於為三峽溪側入流處，因此懸浮質濃度明顯下降；D3~D6 粒徑中唯 D3 粒徑有較明顯之懸浮質濃度，但也在 500ppm 以下；t=2hr 時其 D1、D2 粒徑濃度分佈有向下游傳遞之趨勢，t=4hr 後其 D1、D2 粒徑之濃度開始趨於一平衡狀態，置下游約保持在 4,000ppm 上下，其餘粒徑之濃度沿程變化不大。

#### 3. 懸浮載源與 D50 粒徑分析



懸浮載源之物理意義為河床質中提供給水體成為懸浮質之來源，因此若懸浮載源為正時代表由床質提供給水體懸浮質，可視為沖刷，反觀懸浮載源為負時，則代表淤積。圖 28~30 為後村堰下游段各時段懸浮載源沿程變化，可看出只有 D3 粒徑變化較明顯，且量不大，故可推估其沖淤變化不大，經由比對圖 19 底床高程差值，亦可說明此現象。

圖 31 為後村堰下游段 D50 沿程變化，河心距 4,000m~12,000m 段之床質 D50 約為 40mm，但在 4,000m 之後其 D50 降為約 0.5mm，這種粒徑由粗突然轉細的現象在台灣很多河川都看的到，且多半為水庫下游之河道。而從 D50 的角度來看，可看出河道之前段及後段粒徑有粗化現象，而中段呈現細化現象，但變化量不大。

## 6.2 清淤泥砂堆置河道案例

### 6.2.1 一維模式模擬結果分析

#### 1. 底床沖淤變化

將清淤泥砂堆置在後村堰下游河道斷面 53、52、51 三個區段，以馬莎颱風為模擬水理條件，模擬 66 小時後底床高程如圖 32 所示，此底床高程沿程縱剖面圖乃擷取每個計算斷面最低點繪出，可發現堆置區段之底床有明顯沖刷的現象，模擬 66 小時後已刷到約堆置後之一半，由於堆置之清淤泥砂具有凝聚性沉澱顆粒之特性，一般來說凝聚性沉澱由於具有凝聚性及壓密之作用，抵抗水流之啟動剪應力較大，相較於砂質粒徑而言更難隨水流帶走，因此推估需要時間較長且流量較大之洪水事件持續作用才可能將堆置泥砂予以沖走。河心距 4,000m 以下之下游段因為床質粒徑轉為砂質河床，且持續受到洪水作用，因此局部斷面之底床有些許沖刷產生。

#### 2. 懸浮質濃度變化

模擬過程中不同時間的懸浮質濃度沿程變化如圖 33~38 所示，由於上游之入砂條件為後池內實測之濃度歷線，因此 D1、D2 粒徑之懸浮質濃度沿程變化在不同時間的表現會呈現一遞升又遞減之趨勢。分析濃度與沿程的關係，在模擬 t=1hr 時上游入砂濃度小於 1,000ppm，在堆置區段處可見 D1、D2 粒徑之濃度有些許變大，這是由於堆置區段之泥砂被從河床上帶起到水體之緣故，但接著河心距 10,000m 處由於受到側流三峽溪之流量影響，使得濃度又再下降。隨著時間的變化懸浮質濃度也隨著遞增，可發現到即使流量變大，但堆置區段之泥砂濃度僅有

少量增加，直到下游趨於平衡。

## 6.2.2 二維模式模擬結果分析

### 1. 底床沖淤變化

圖 39~52 為模擬前後底床高程立體圖，可見堆置區段 I=21~45 處其沖刷情形並不明顯，僅些許沖刷，將堆置區段計算斷面 I=25、33、41 處剖面圖繪出，如圖 53、54、55，可見堆置區段底床高程沖刷量約僅在 0.1~0.4m 間，距原始未堆置泥砂斷面仍有一段差距，顯示堆置泥砂在一場颱風事件後無法隨水流沖刷帶走。進入計算斷面 I=155 之下游段後，由於床質粒徑組成轉為砂質河床，在受到水流持續作用下，因此沖淤變化較為明顯，擷取計算斷面 155 剖面圖 56 可看出，沖刷深度可有 2.5m 之多。

分析一維模式與二維模式底床沖淤結果之差異性，由於計算概念與堆置方式之不同，一維模式每個計算斷面僅面積之概念，在斷面沖淤變化為同時上升或下降之展現，計算時無法像二維模式具有局部地區床質粒徑比例不同之考量，因此在堆置泥砂沖刷量有高估之情形；而水平二維模式是以計算點為概念，因此在模擬颱風案例時，能夠考量洪水上升下降之過程，每個計算點因此也能夠有不同之沖淤考量，相較一維模式而言更嚴謹且符合實際狀況。

### 2. 懸浮質濃度變化

圖 57~62 為二維之懸浮質濃度沿程變化圖，在此懸浮質濃度是採用斷面平均濃度作為代表，將每個計算斷面上之計算點濃度平均後沿程繪出，由於入砂濃度是一非穩態(unsteady)之歷線，因此可發現模擬過程中不同時刻之懸浮質濃度並不具有一規律性，但濃度變化以 D1、D2、D3 粒徑為主，河心距 9000~11000m 堆置區段處 D1、D2 粒徑之懸浮質濃度未有明顯增加，而河心距 4000m 後之下游段 D3 粒徑之懸浮質濃度在不同時刻皆比其他區段來的高，此為下游段床質粒徑屬砂質河床且沖刷較劇烈所造成。

## 七、結論與建議

### 7.1 結論

1. 在納莉颱風的水理條件下，若上游以 13,679ppm 的高含砂濃度排砂，後池內的沖淤約在+0.5~-1.2m 之間，後村堰前之上游段沖淤約在+0.4~-0.4m 之間，下游段的沖淤變化不大。
2. 在高濃度排砂案例中，模擬時間內後池堰與鳶山堰處 D1、D2 粒徑懸浮質濃度各保持在 6,800ppm 上下，顯示 D1、D2 粒徑濃度幾乎無沉降，皆保持為沖洗載(wash load)形式運移，D3~D6 粒徑濃度則都在 500ppm 以下。
3. 水庫排放之粒徑主要為 D1、D2，因此河道上 D1、D2 粒徑的懸浮載源幾乎為零，主要為 D3 粒徑，從 D50 的角度來看，可看出河道之前段及後段粒徑有粗化現象，而中段呈現細化現象。
4. 從一維模式分析，將清淤泥砂堆置在下游河道斷面 53、52、51 三個區段，斷面整體堆高約 1m，以馬莎颱風為模擬條件，模擬 66 小時後堆置區段底床已刷到約堆置後之一半，下游段由於床質較細且受到洪水持續作用，因而產生沖刷。
5. 堆置區段之懸浮質濃度受到底床沖刷有些許升高，但並不明顯，經三峽溪側流匯入後，濃度又再下降，下游段濃度趨於平衡。
6. 從二維模式分析，將清淤泥砂以填平深槽之方式堆置，模擬 66 小時後堆置區段底床高程沖刷量約只在 0.1~0.4m，與原未堆置斷面相比仍有相當大差距，計算斷面 I=155 後之下游段床質轉為砂質河床，沖淤較為劇烈。
7. 一維模式在計算概念上屬同升同降之面積概念，因此在沖刷量有高估之情形，二維模式相較一維模式考慮更為周詳與嚴謹，針對局部地區能有不同之特性分佈，模擬結果也較為合理。

### 7.2 建議

1. 經由模擬結果顯示，水庫高含砂濃度排砂雖對水庫容量之維持有益，但排砂過程中各取水口處之懸浮質濃度並未衰減，因此需尋求其他配套措施以確保在高濃度排砂過程中各淨水廠能正常取水。
2. 根據二維模式模擬結果顯示，清淤泥砂堆置河道之可行性仍需再加以評估，除了在不影響河防安全且適度調整水利、環保相關法規之前提下，目前未有

針對水庫內凝聚性沉滓堆置河道之試驗，對於此經過人為擾動後之沉滓沖淤機制也尚待研究，此課題仍具有許多後續研究之價值。

## 八、参考文献

1. Bennet, J.P. and Nordin, C.F. (1977), "Simulation of Sediment Transport and Armoring", Hydrological Sciences Bulletin, XXII, Vol. 4, No. 12, 555-569.
2. Borah, D.K., Alonso, C.V., and Prasad, S.H. (1982), "Routing Graded Sediments in Streams: Formulations." J. Hydr. Division, ASCE, Vol. 108, No. HY12, 1486-1505.
3. Chen, C.J., and Chen, H.C. (1984), "Finite Analytic Numerical Method for Unsteady 2-D Navier Stokes Equations." J. of Computational Physics, 53(2), 209-226.
4. Cormault, P. (1971), "Experimental Determination of the Solid Flow Rate of Erosion of Fine Cohesive Sediments." IAHR, 14th Congress, Paris.
5. Dai, W. (1994), "Numerical Solutions of Unsteady Navier-Stokes Equations Using Explicit Finite Analytic Scheme." Ph.D. Thesis, Univ. of Iowa, Iowa City, Iowa.
6. Karim, M.F., Holly, F.M. Jr., and Yang, J.C. (1987), "ALLUVIAL: Numerical Simulation of Mobil-Bed Rivers: Part I. Theoretical and Numerical Principles", Iowa Institute of Hydraulic Research Report No. 309, April 1987, University of Iowa, Iowa City, Iowa.
7. Krone, R.B. (1962), "Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarine Shoaling Processes." Tech. Report, Hydraulic Eng. Lab., Univ. of California, Berkeley.
8. Li, H.L. (1986), "Numerical Computation for Two-Dimensional Riverbed Deformation in Estuaries." Third International Symposium on River Sedimentation, The Univ. of Mississippi, 344-353.
9. Migniot, C. (1989), "Bedding-down and Rheology of Muds. Part I." La Houille Blanche, No.1, 11-29(in French).
10. Shrestha, P.L. and Orlob, G.T. (1996), "Multiphase Distribution of Cohesive Sediments and Heavy Metals in Estuarine Systems." J. Envir. Engrg., August, 730-740.
11. Spasojevic, M. and Holly, F.M. Jr. (1990), "2-D Bed Evolution in Natural

Watercourses – New Simulation Approach, “ J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg., ASCE, Vol. 116, No. 4, 425-433.

12. Van Rijn, L.C. (1984a), “Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport.” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 10, 1431-1456.
13. Van Rijn, L.C. (1984b), “Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport.” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 11, 1613-164.
14. 經濟部水利處南區水資源局(1999), 「阿公店水庫防淤對下游河道之影響研究」。
15. 葉克家、沈澄宇(2000), 「水庫排放凝聚性沈澱對下游河道之影響研究」, 國科會精簡報告。

## 九、附錄

粒徑(mm)	0.147	0.30	0.59	1.19	2.38	4.76	9.52	19.1	38.1	Dm
断面	~0.30	~0.59	~1.19	~2.38	~4.76	~9.52	~19.1	~38.1	~150	(mm)
24~31	0.095	0.704	0.957	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	1.000	1.67
32~37	0.511	0.876	0.903	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	1.00	6.95
38~41	0.433	0.685	0.714	0.714	0.799	0.799	0.799	0.799	1.00	15.70
42~45	0.038	0.045	0.048	0.052	0.054	0.057	0.058	0.059	1.00	71.23
46~55	0.070	0.072	0.072	0.079	0.086	0.088	0.092	0.139	1.00	66.48

表 1 大漢溪床質粒徑分配(1/2)

起迄断面	採樣断面	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>60</sub>	砂質含量(%)
51~58	54	0.387	12.470	62.430	45.500	21.25
59~67	63	11.140	68.870	115.850	140.340	9.67
68~76	71	0.454	7.140	34.150	54.220	32.69
77~85	81	0.775	28.600	70.340	90.780	20.34
86~91	90	12.470	16.550	121.680	152.000	8.43

表 2 大漢溪床質粒徑分配(2/2)

經濟部水利署北區水資源局  
粒徑級配分析試驗

工程名稱: \_\_\_\_\_ 試驗編號: S940117D-1  
 材料來源: 石門水庫沉積土(下游) 採樣日期: --  
 材料種類: 細粒料/沉泥 試驗日期: 2005/01/14  
 採樣者: 邱木泉 試驗者: 張武宏、王朝民

篩號	粒徑 mm	重 量		百 分 率 %			備註	
		停 留	累積停留	累積停留	累積通過	應具(累積)級配		
分 析	3/8"	9.53	0.00	0.00	100.00	100.0 ~ 0.0		
	#4	4.75	0.00	0.00	100.00	100.0 ~ 0.0		
	#8	2.36	0.00	0.00	100.00	100.0 ~ 0.0		
	#16	1.18	0.99	0.99	0.07	99.93	100.0 ~ 0.0	
	#30	0.600	1.76	2.75	0.20	99.80	100.0 ~ 0.0	
	#50	0.300	6.39	9.14	0.65	99.35	100.0 ~ 0.0	
	#100	0.150	26.15	35.29	2.53	97.47	100.0 ~ 0.0	
	#200	0.074	35.84	71.13	5.10	94.90	100.0 ~ 0.0	
	底盤		1324.83	1395.96	100.00	0.00		
總重		1395.96						

註：本級配分析係先執行CNS5264含泥量試驗後依CNS4486進行篩分析，但篩網使用美國標準篩尺

試驗次數	1	2	平均
(1)烘乾料重(g)	1,396.0		
(2)洗滌後烘乾料重(g)	74.4		
(3)通過#200乾料重(g)	1,321.6		
(4)通過#200篩含量(%)	94.7%		
通過No.200含量:	94.7%	%	

級配分佈曲線

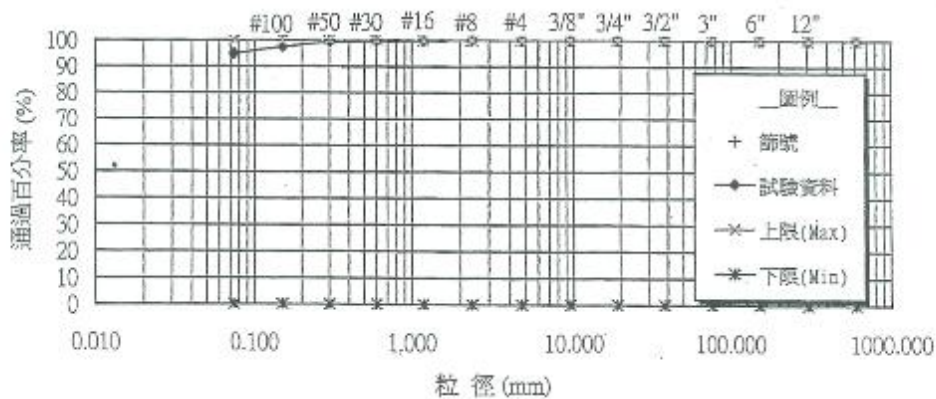


表 3 石門水庫庫內粒徑分析





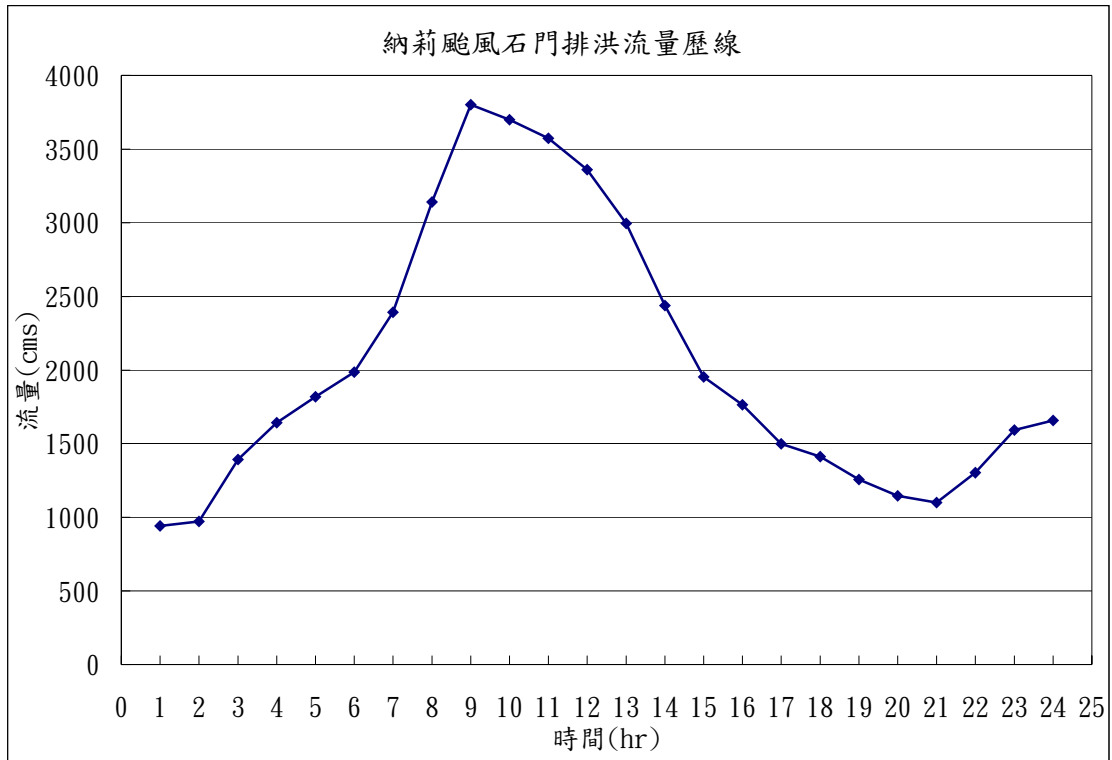


圖 3 納莉颱風石門排洪流量歷線

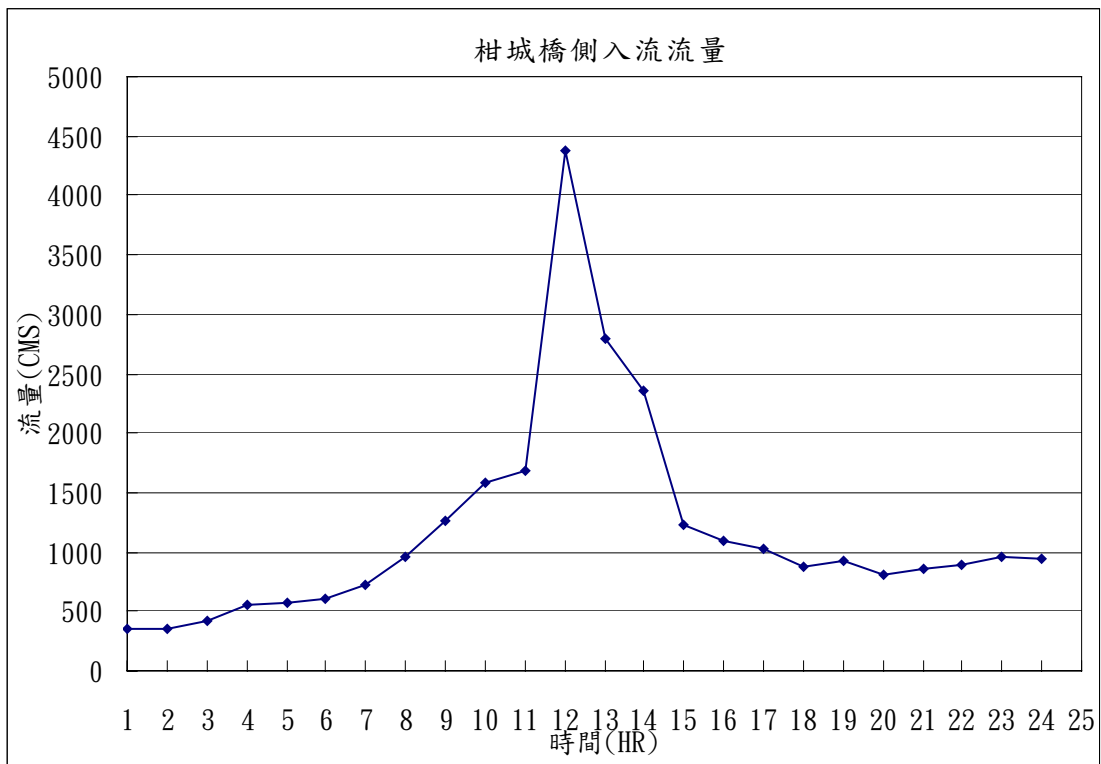


圖 4 納莉颱風側入流三峽溪流量歷線

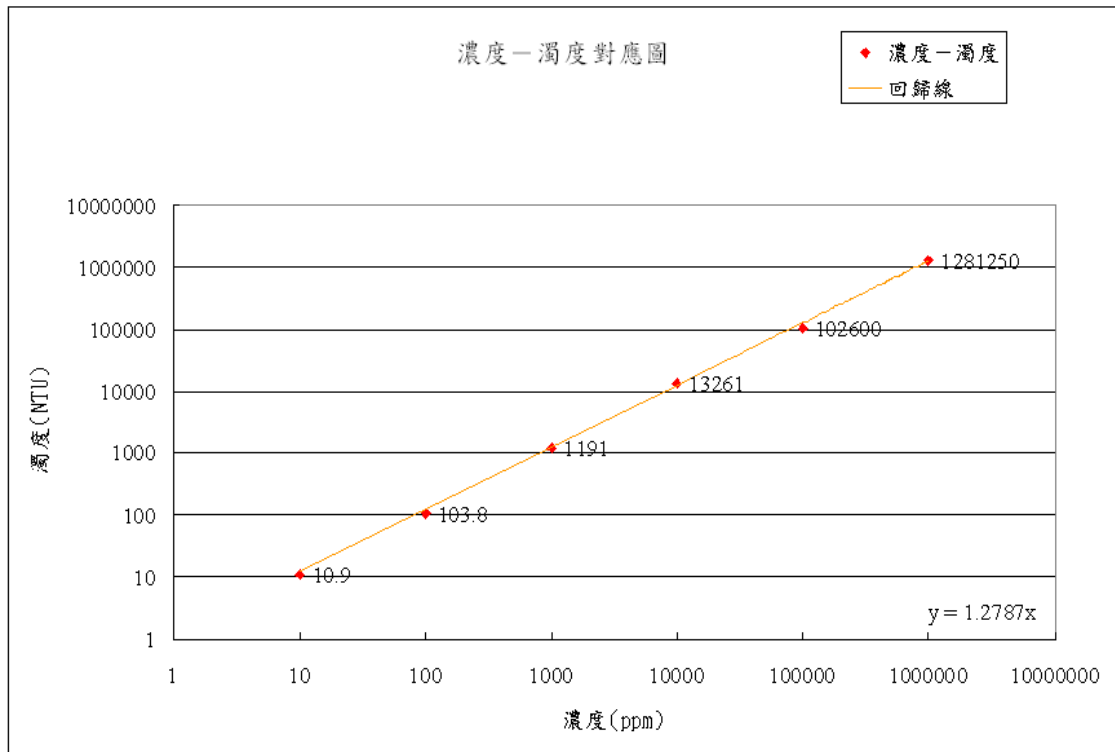


圖 5 濃度濁度對應圖 (子計畫四提供)

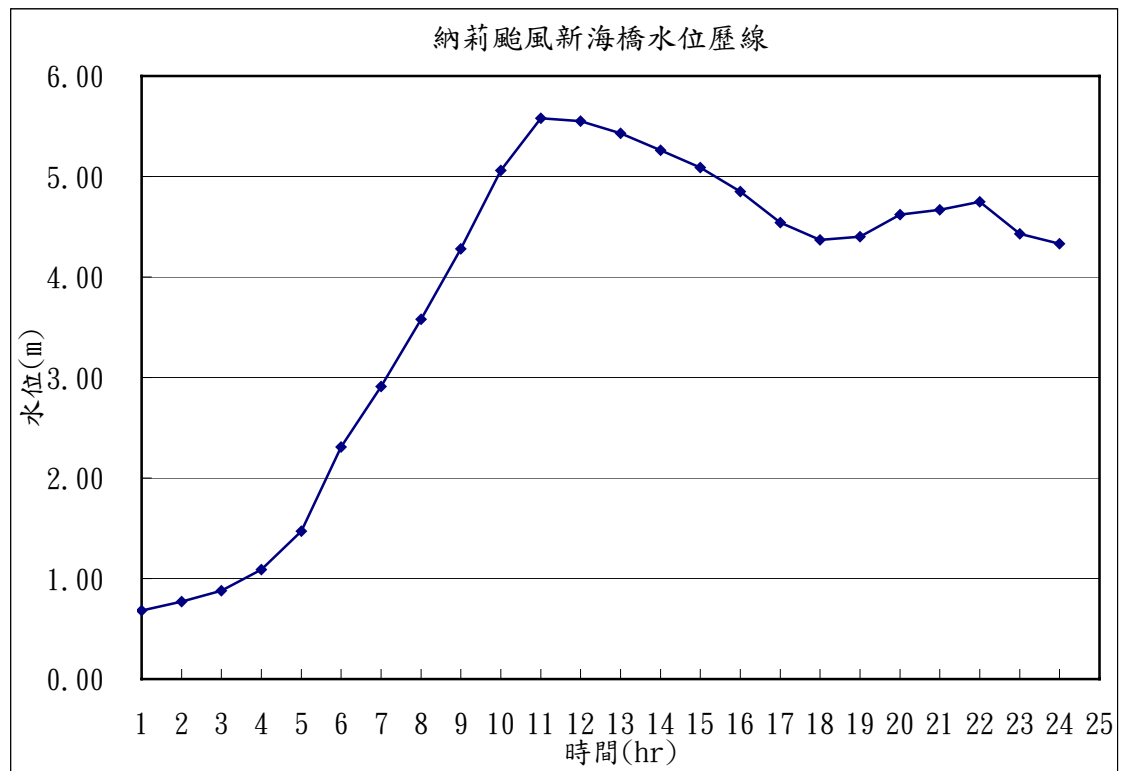


圖 6 納莉颱風新海橋實測水位歷線

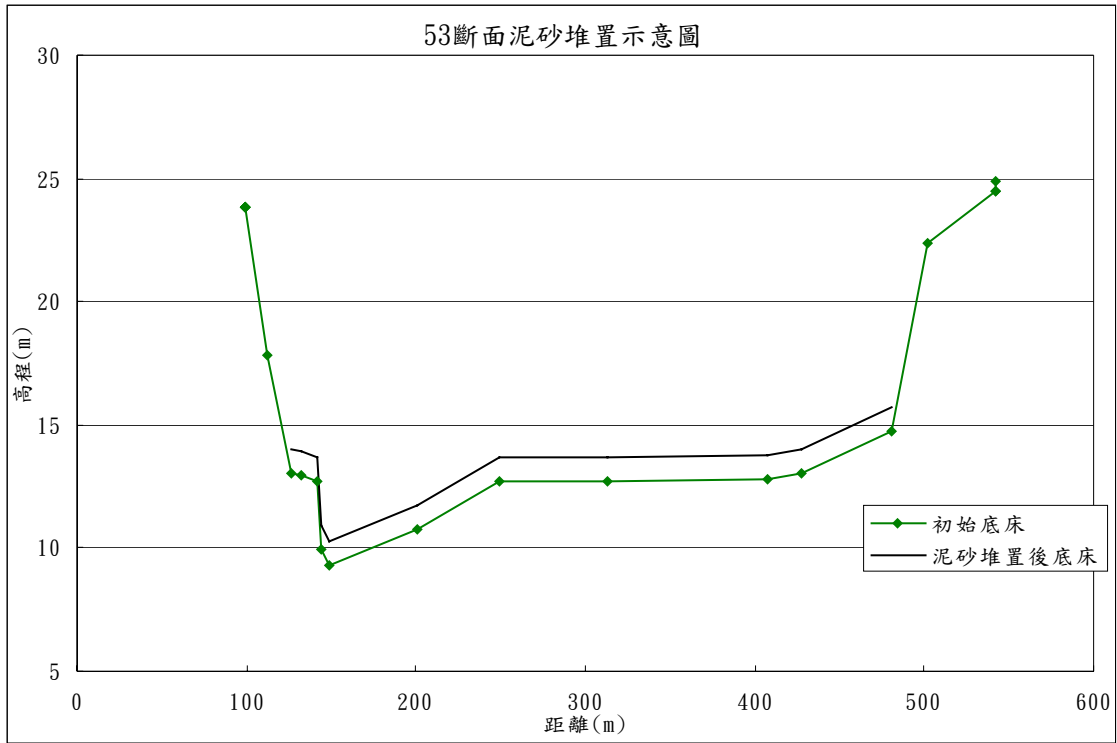


圖 7 一維斷面堆高示意圖

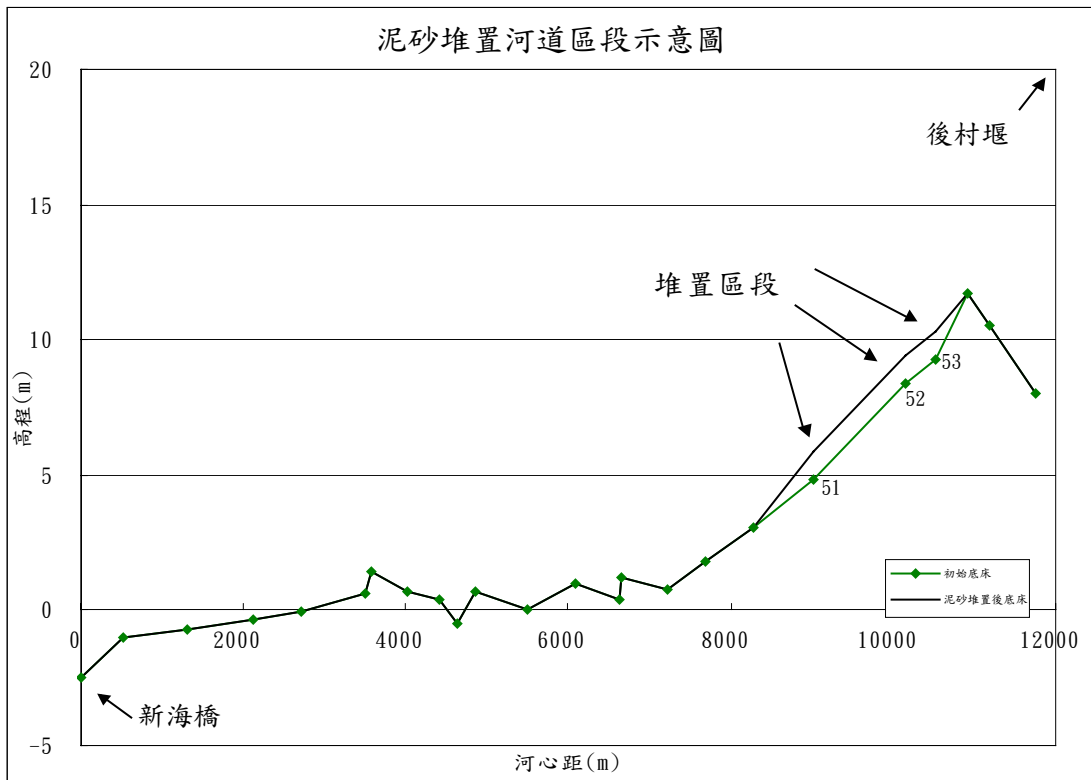


圖 8 一維泥砂堆置區段示意圖

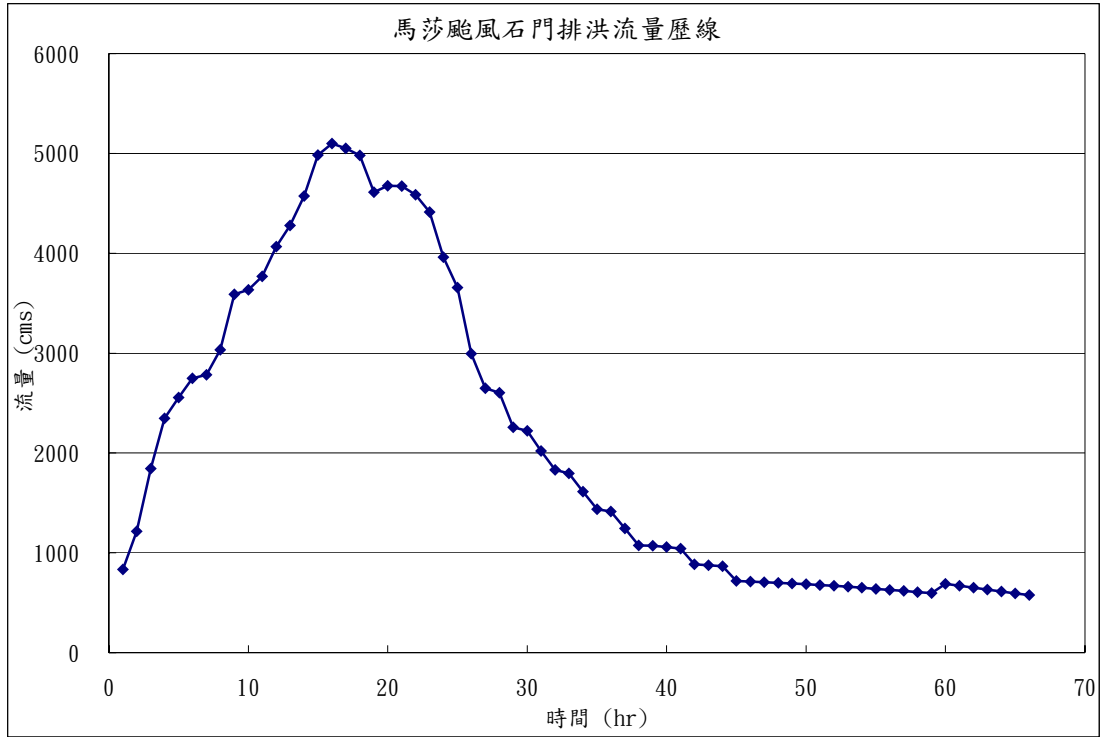


圖 9 馬莎颱風石門排洪流量歷線

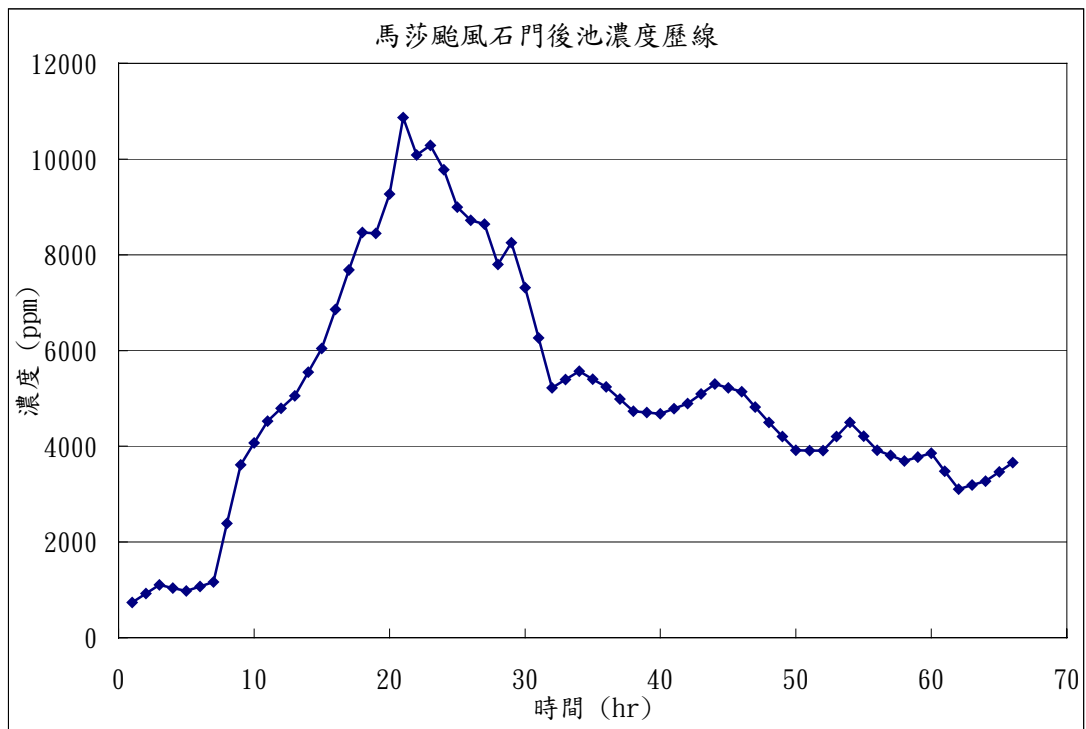


圖 10 馬莎颱風石門後池濃度歷線

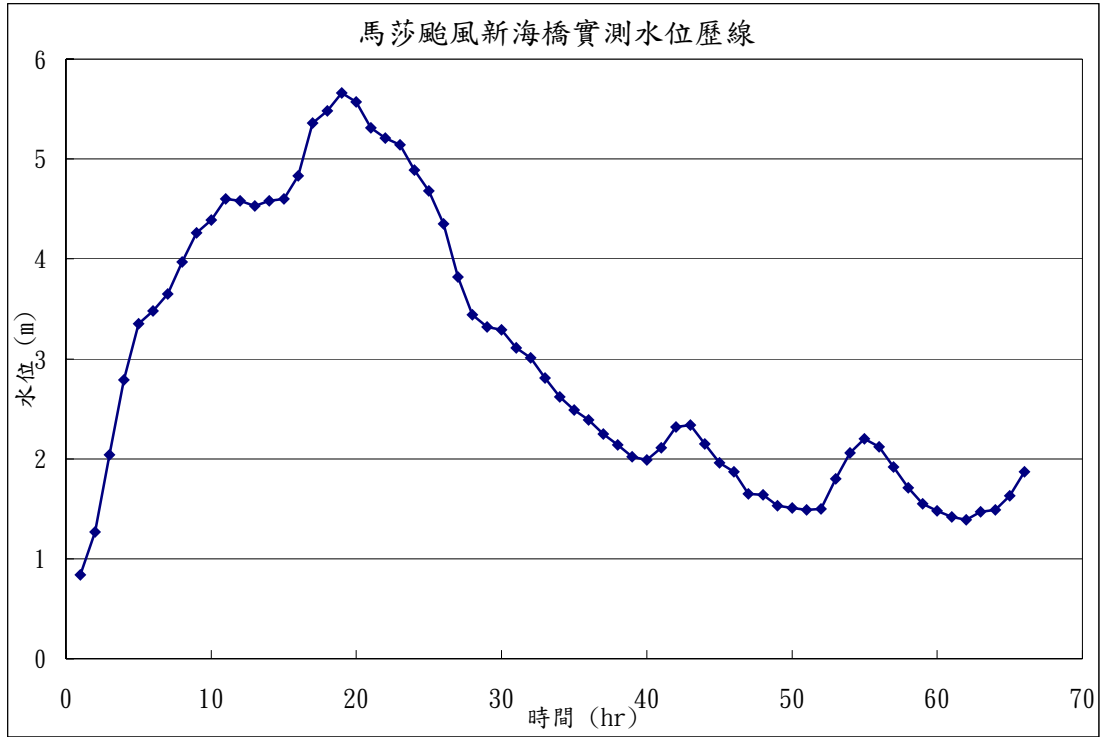


圖 11 馬莎颱風新海橋實測水位歷線

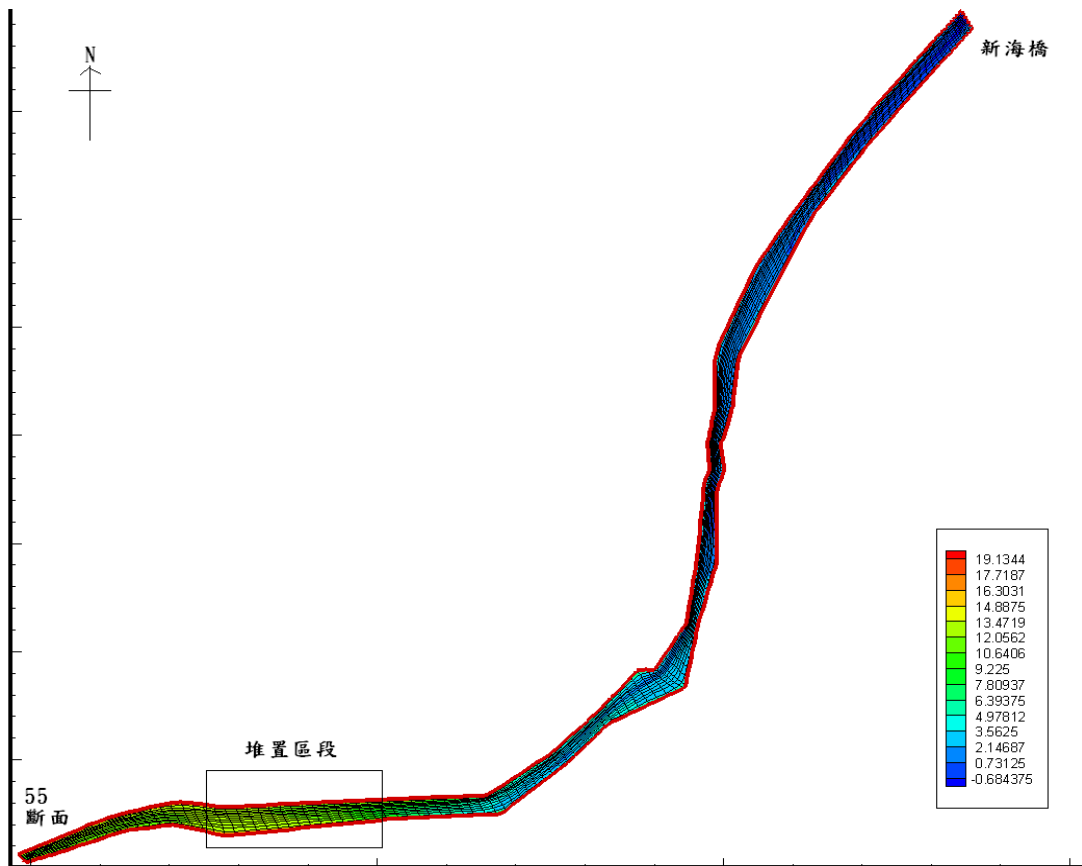


圖 12 二維模式模擬範圍格網點圖

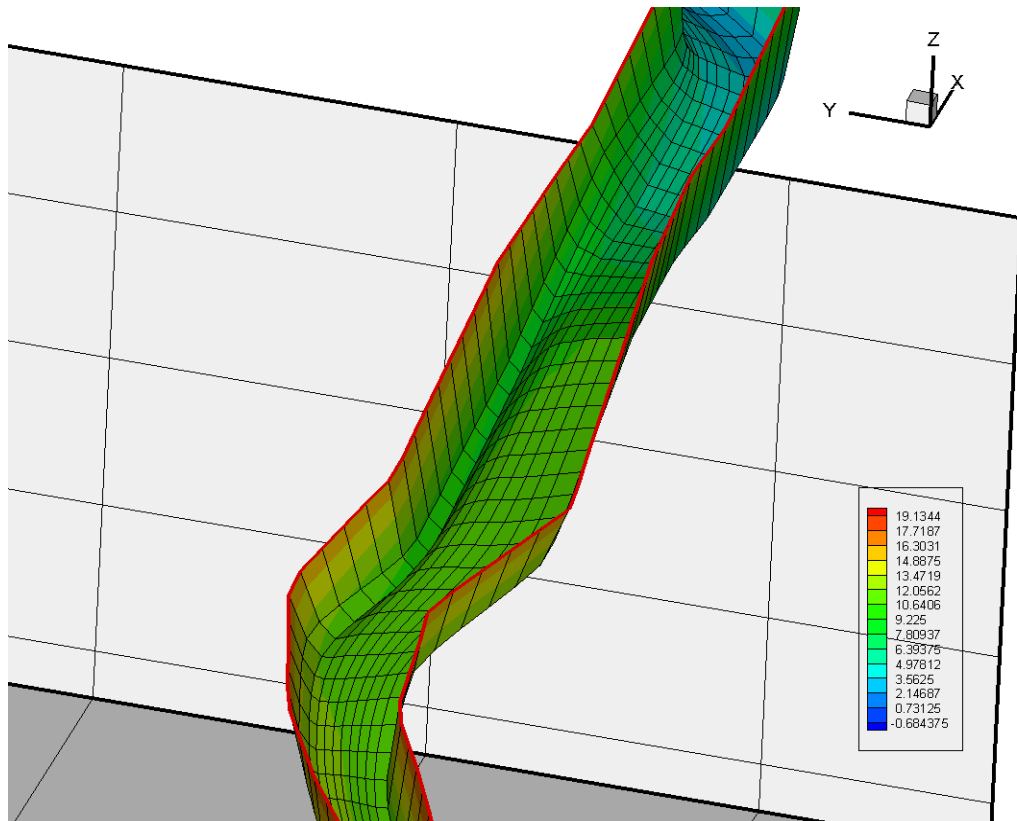


圖 13 堆置前底床高程 3D 圖

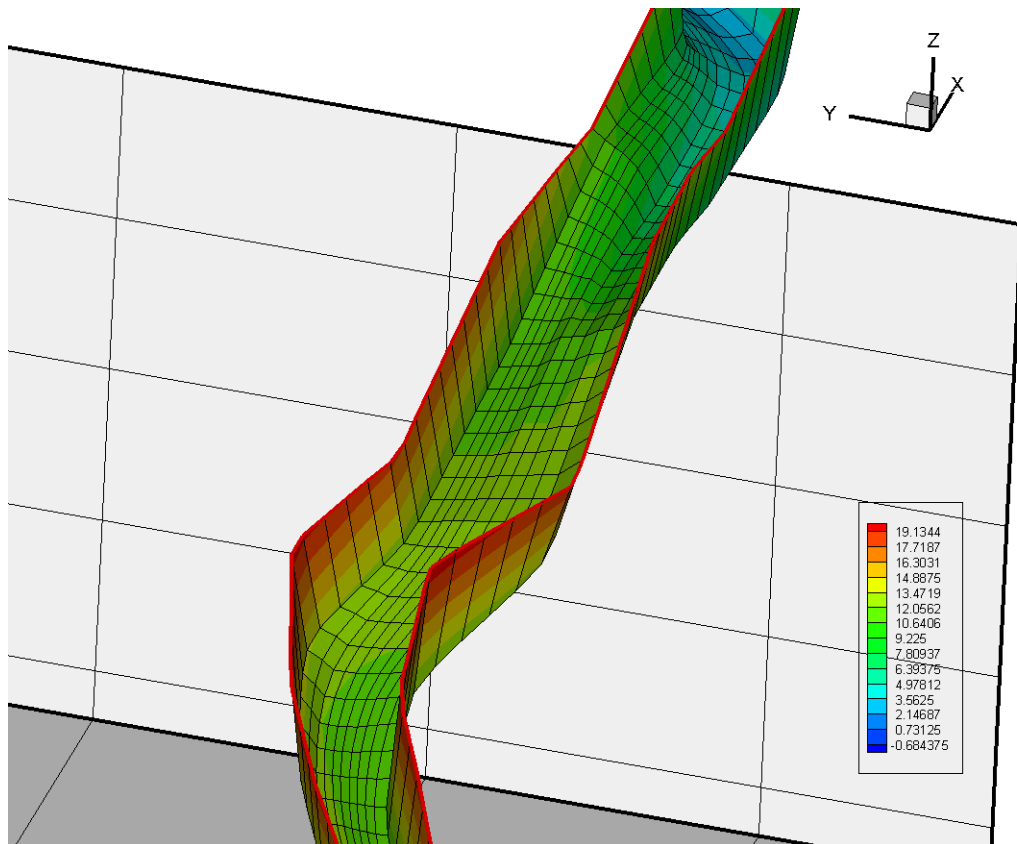


圖 14 堆置後底床高程 3D 圖

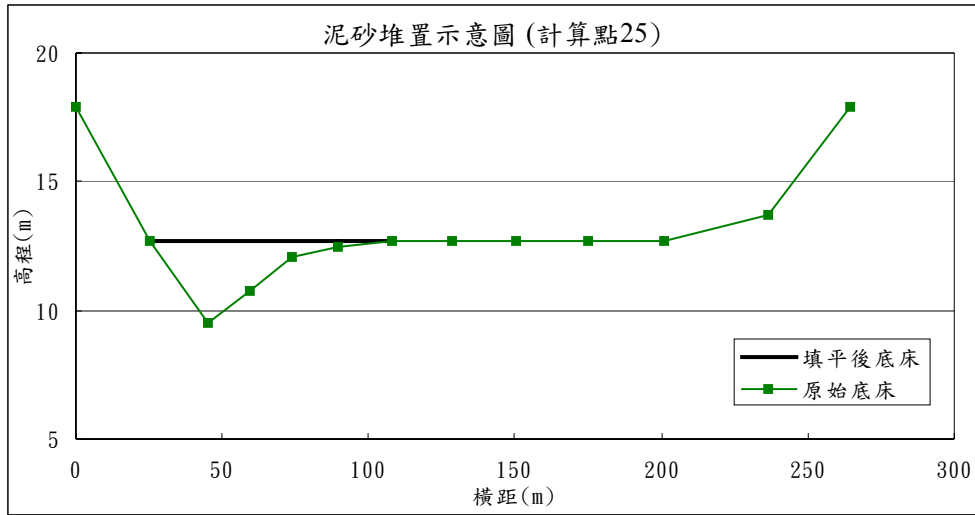


圖 15 二維泥砂堆置示意圖 (計算點 25)

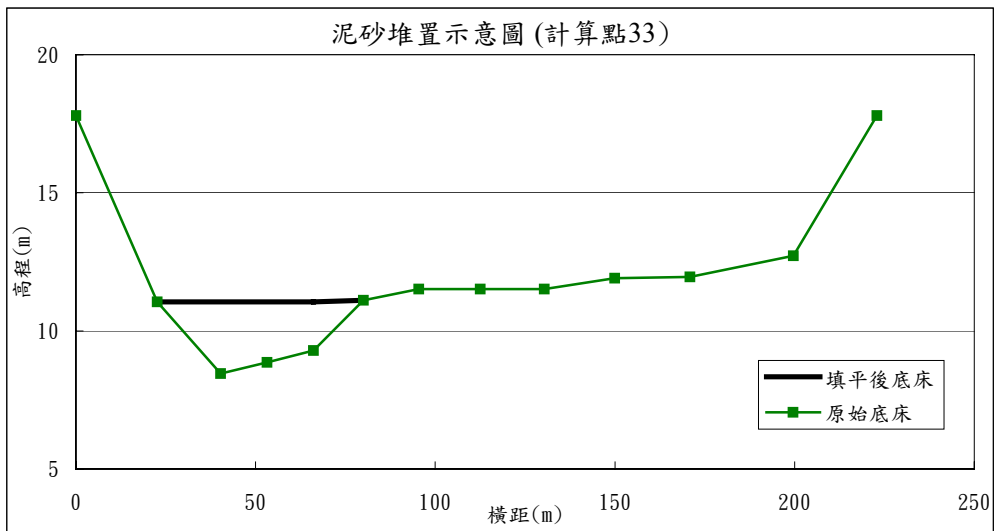


圖 16 二維泥砂堆置示意圖 (計算點 33)

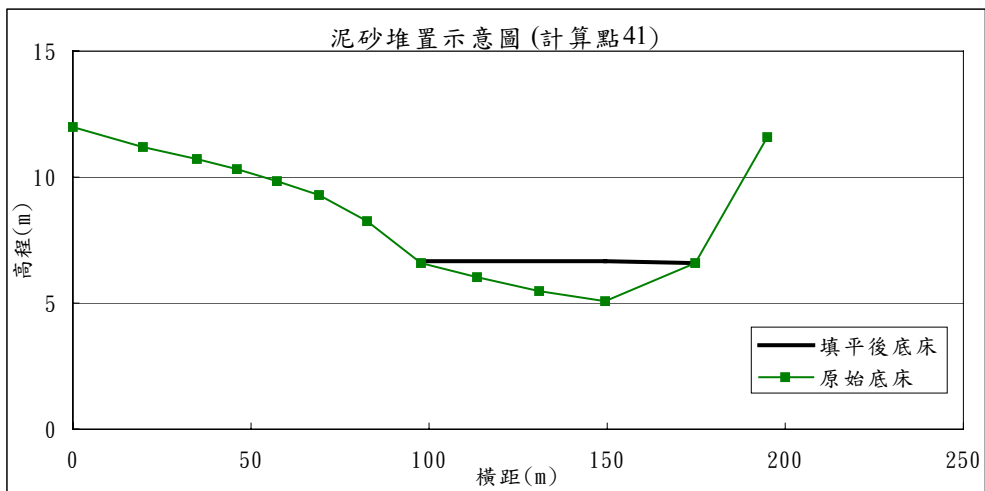


圖 17 二維泥砂堆置示意圖 (計算點 41)



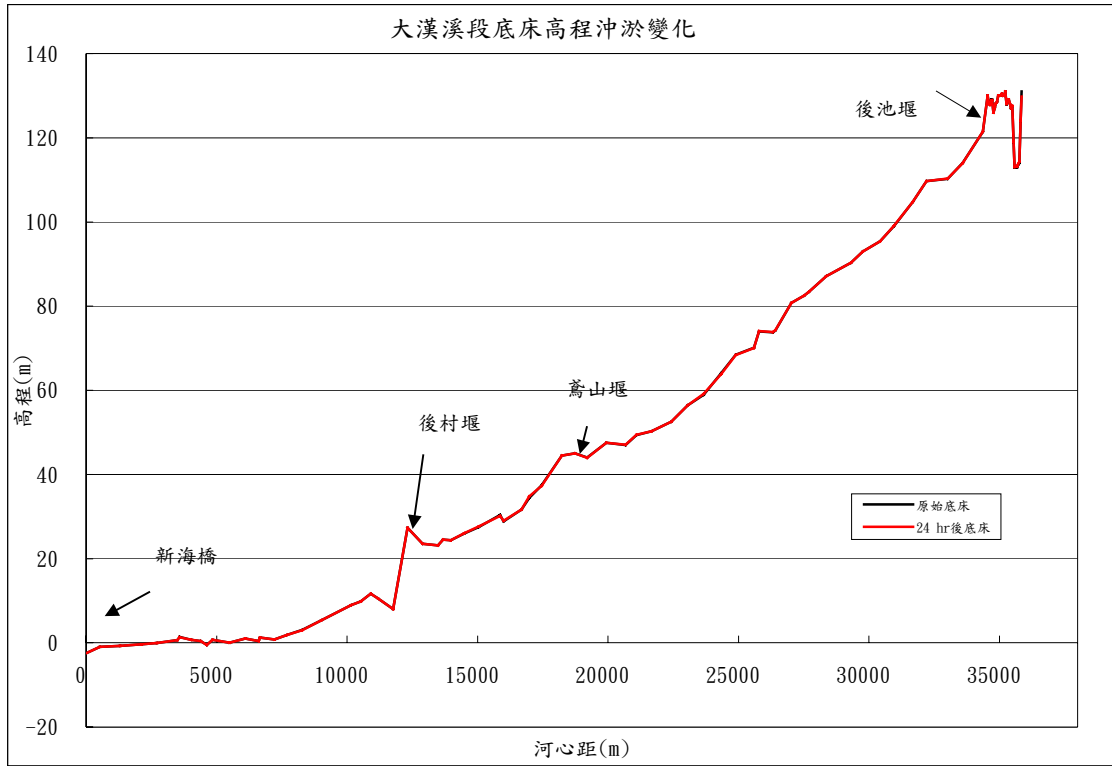


圖 18 高濃度排砂案例大漢溪底床高程沖淤變化

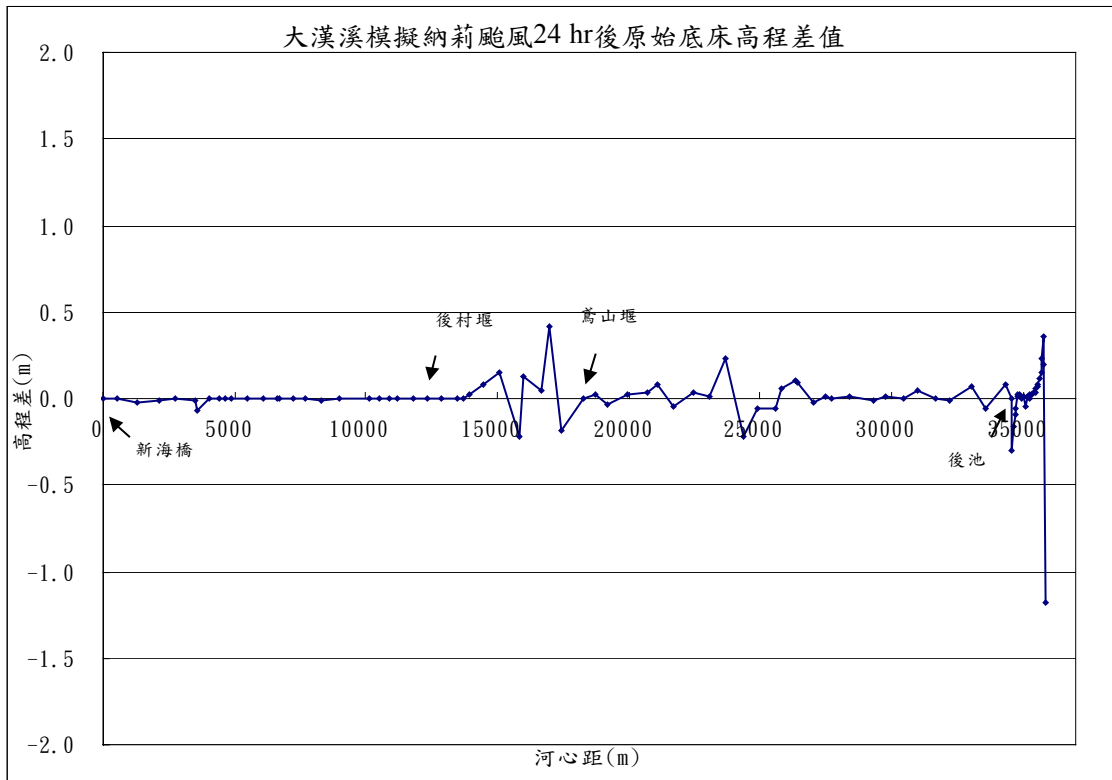


圖 19 高濃度排砂案例大漢溪底床高程差值變化

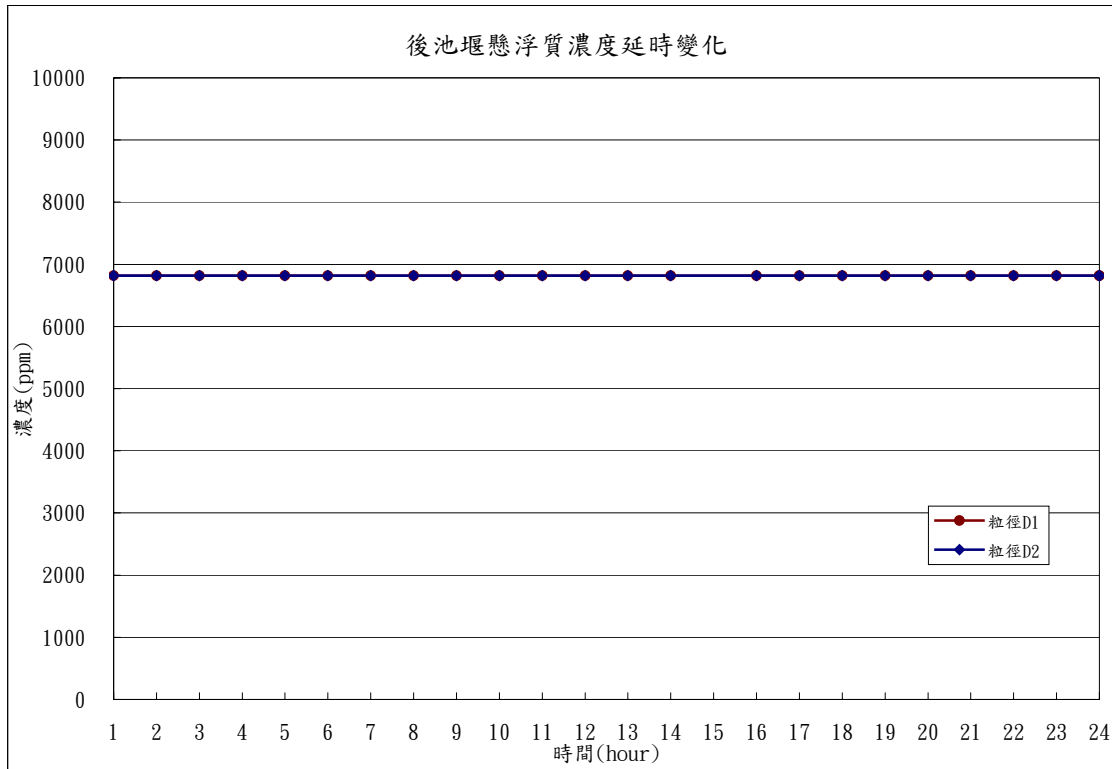


圖 20 後池堰 D1、D2 懸浮質濃度延時變化

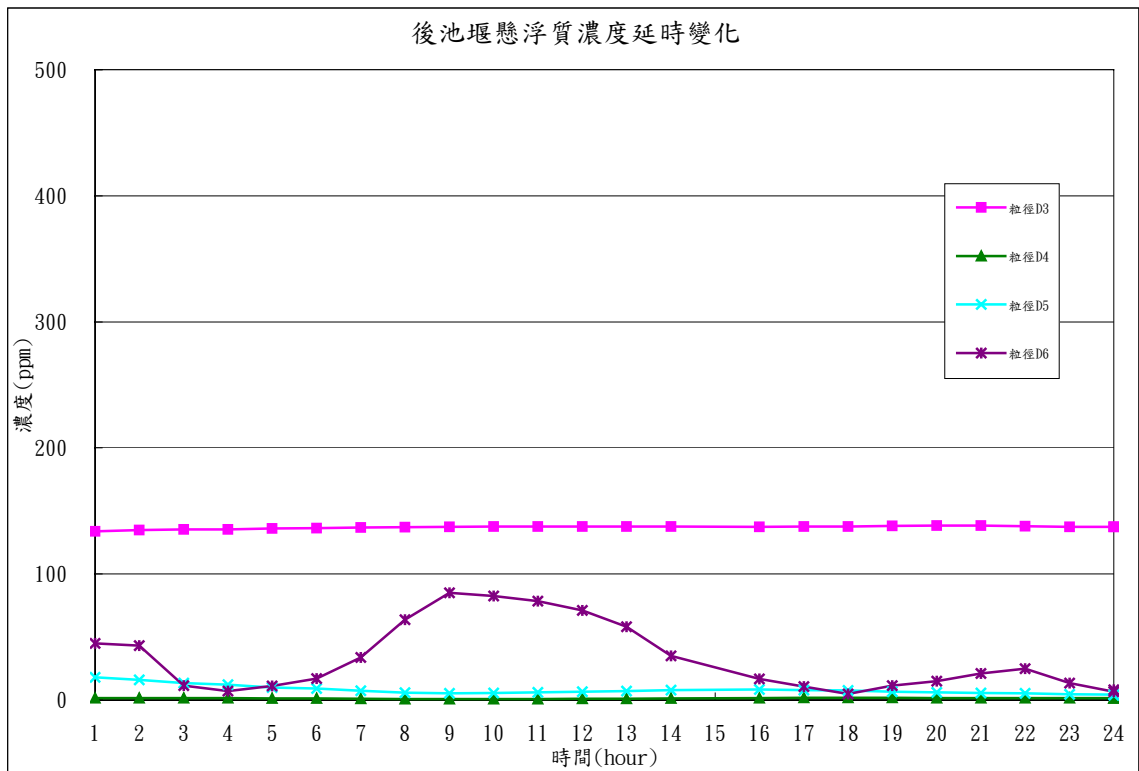


圖 21 後池堰 D3~D6 懸浮質濃度延時變化

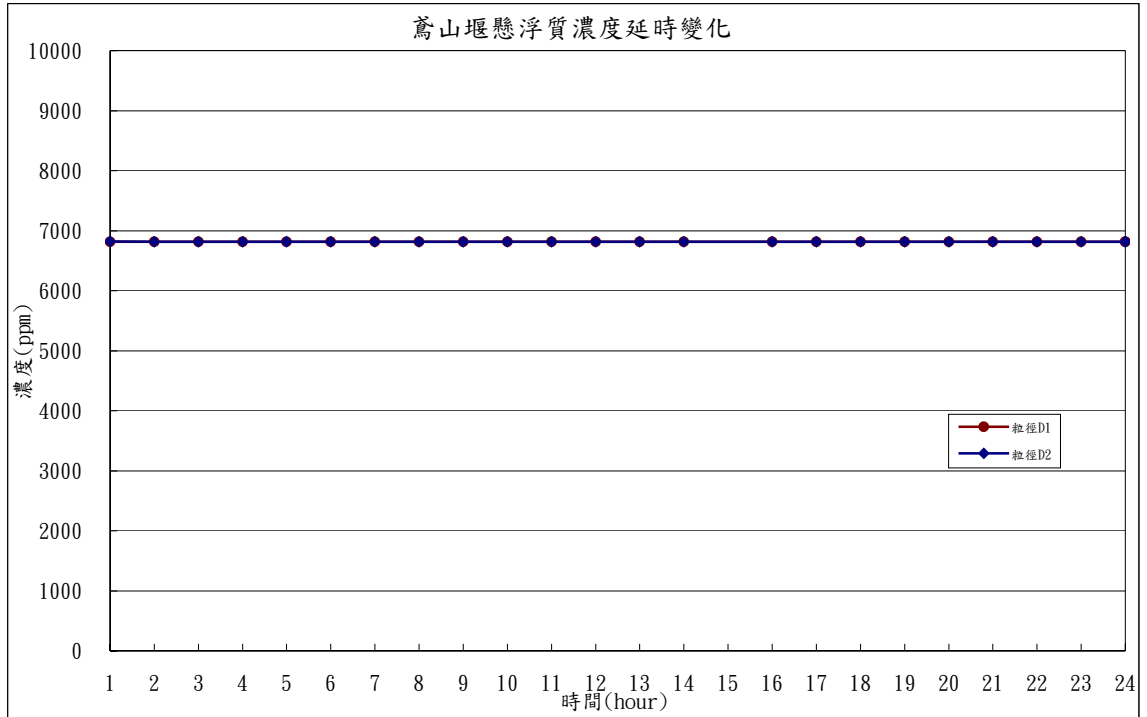


圖 22 鳶山堰 D1、D2 懸浮質濃度延時變化

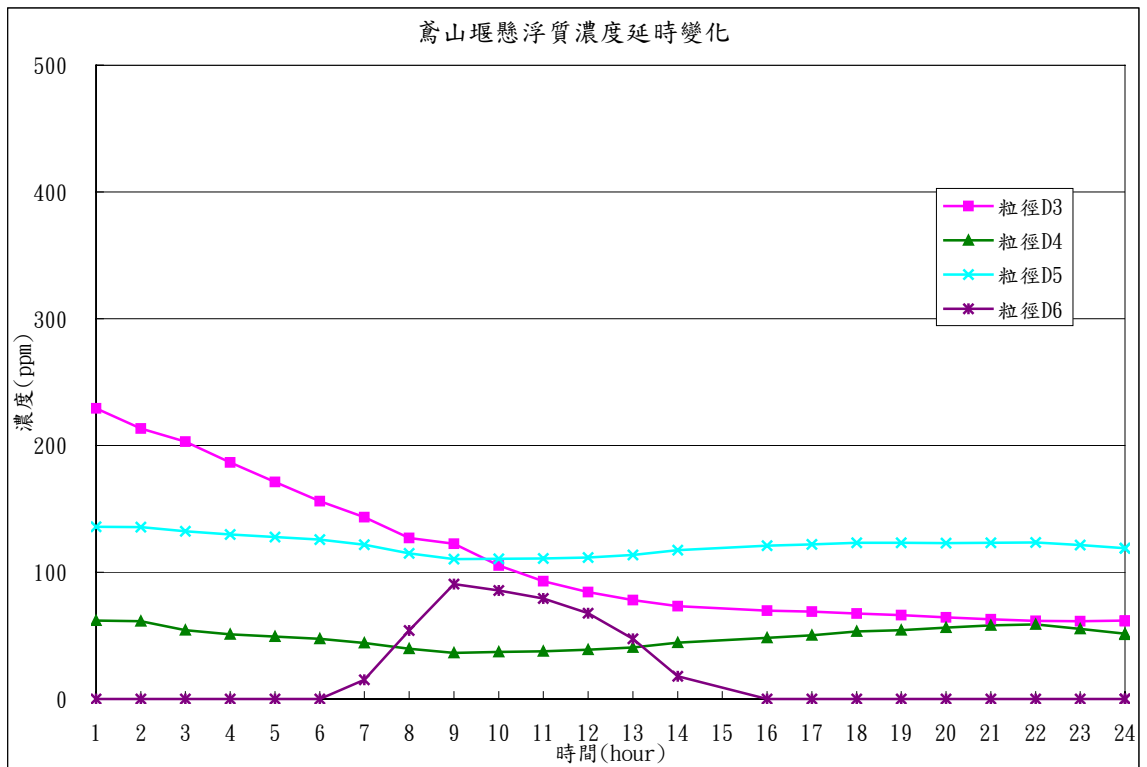


圖 23 鳶山堰 D3~D6 懸浮質濃度延時變化

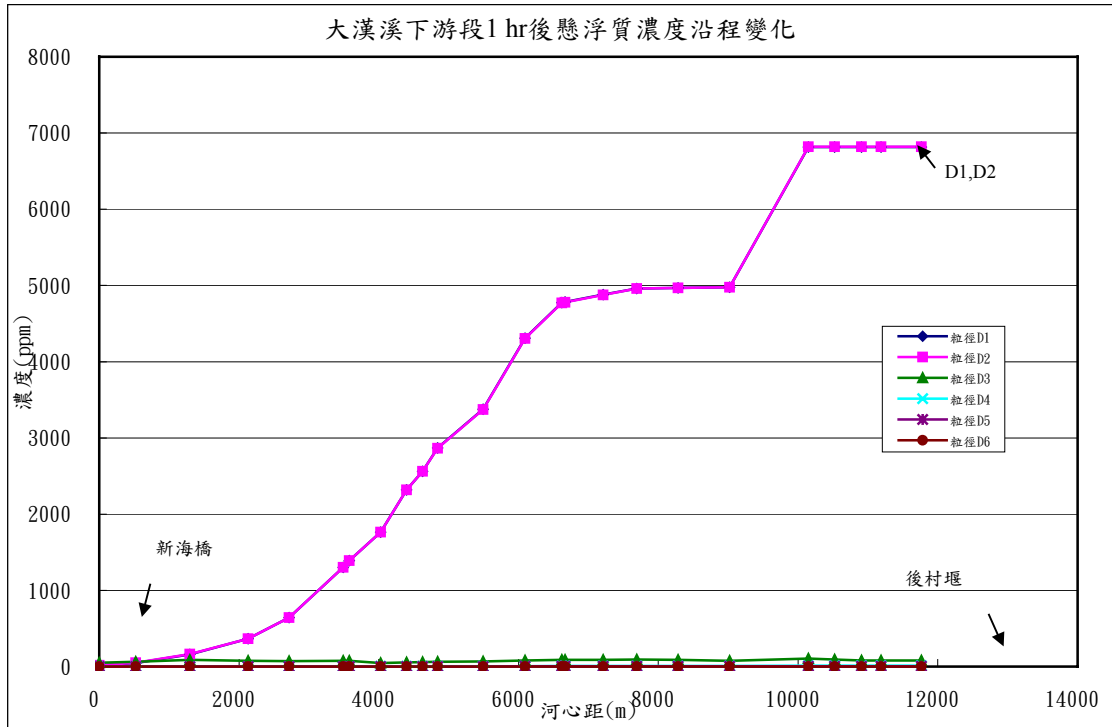


圖 24 大漢溪下游段 t=1hr 濃度沿程變化

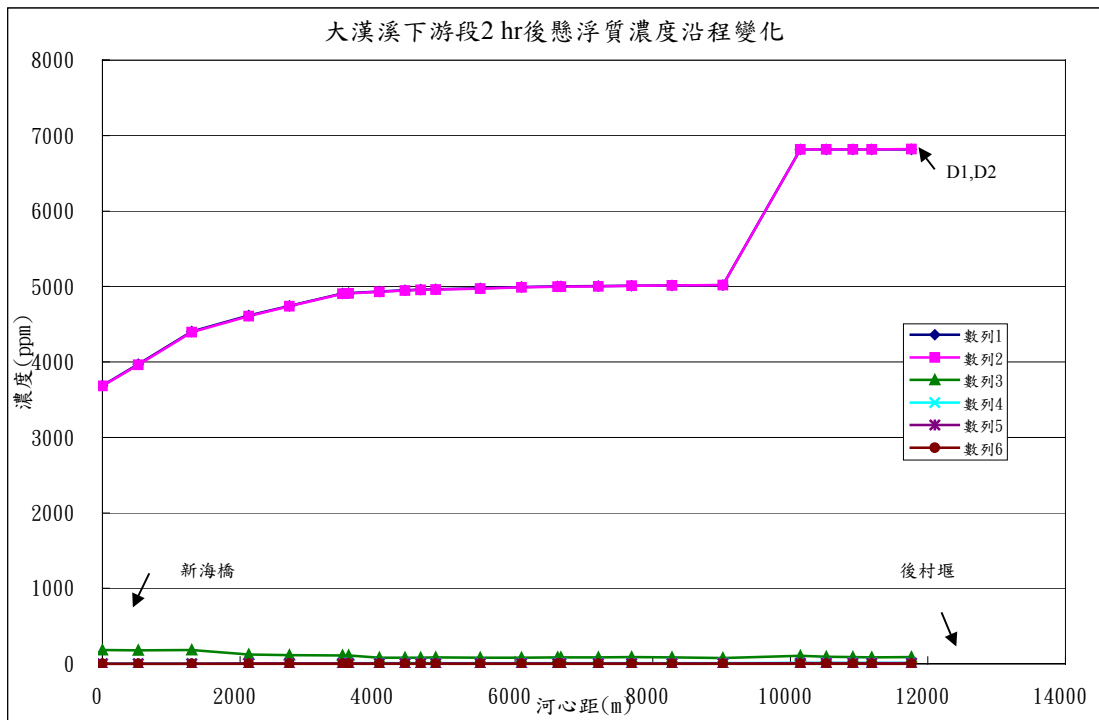


圖 25 大漢溪下游段 t=2hr 濃度沿程變化

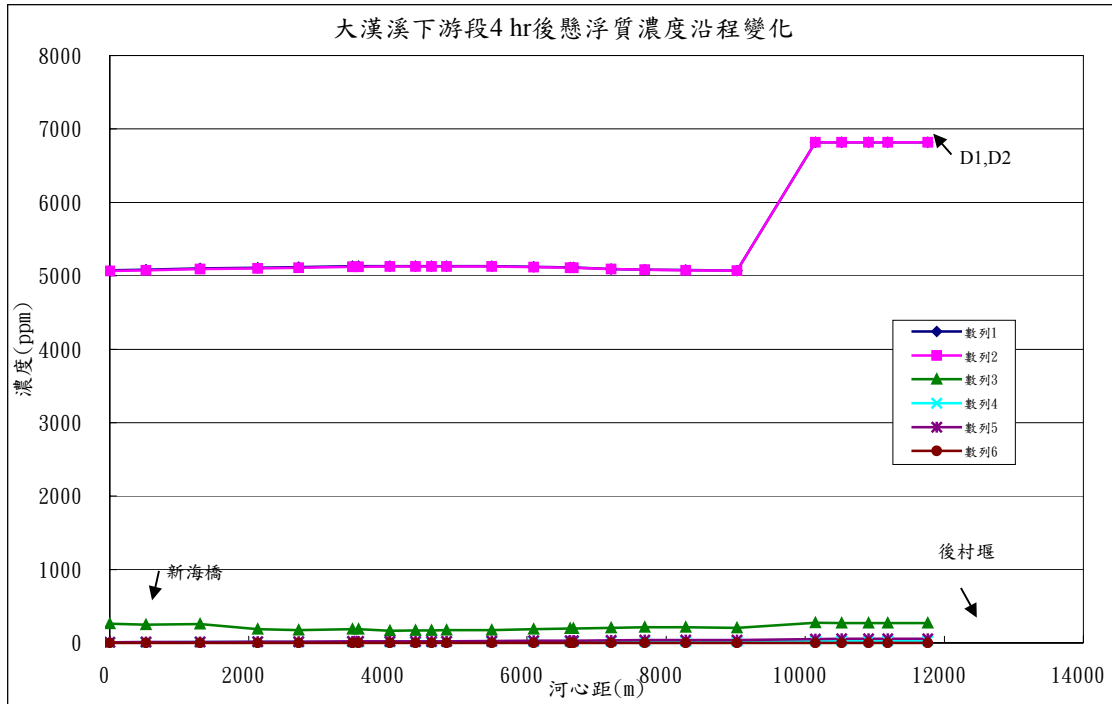


圖 26 大漢溪下游段 t=4hr 濃度沿程變化

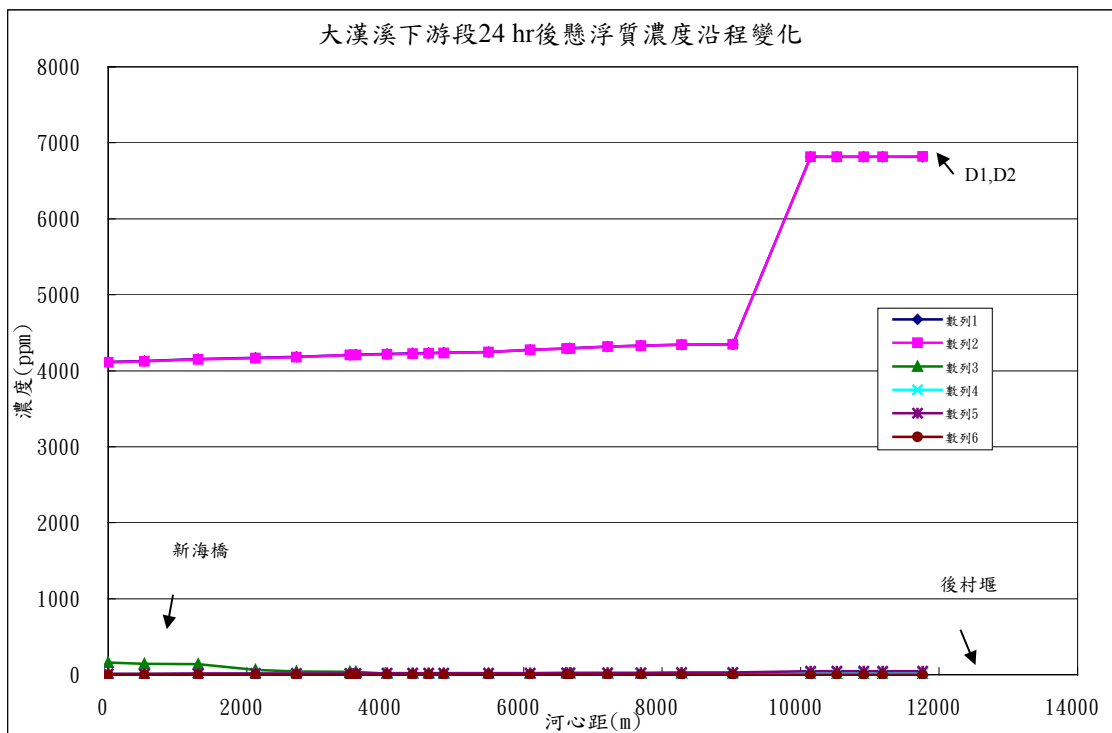


圖 27 大漢溪下游段 t=24hr 濃度沿程變化

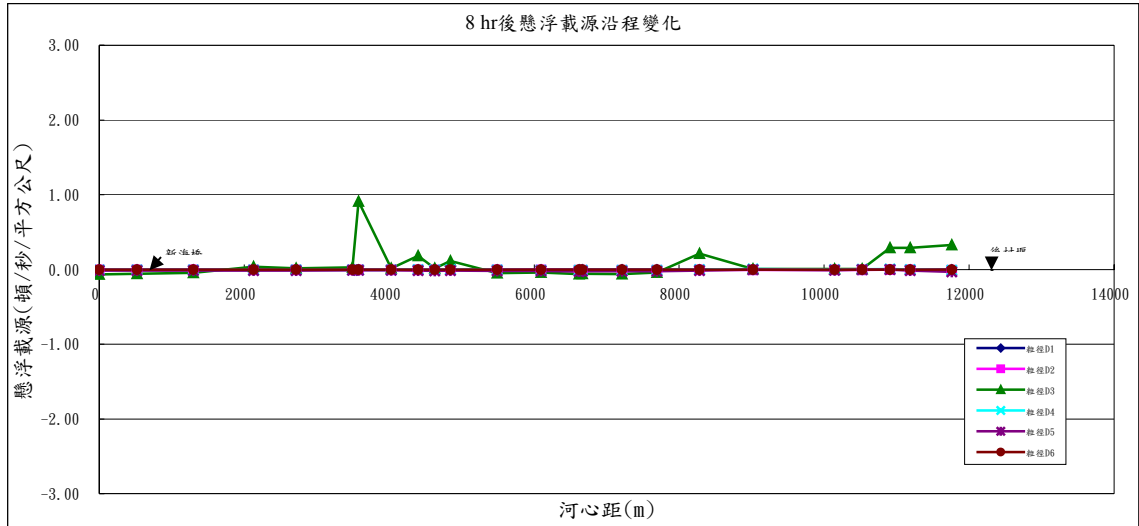


圖 28 大漢溪下游段 t=8hr 懸浮載源沿程變化

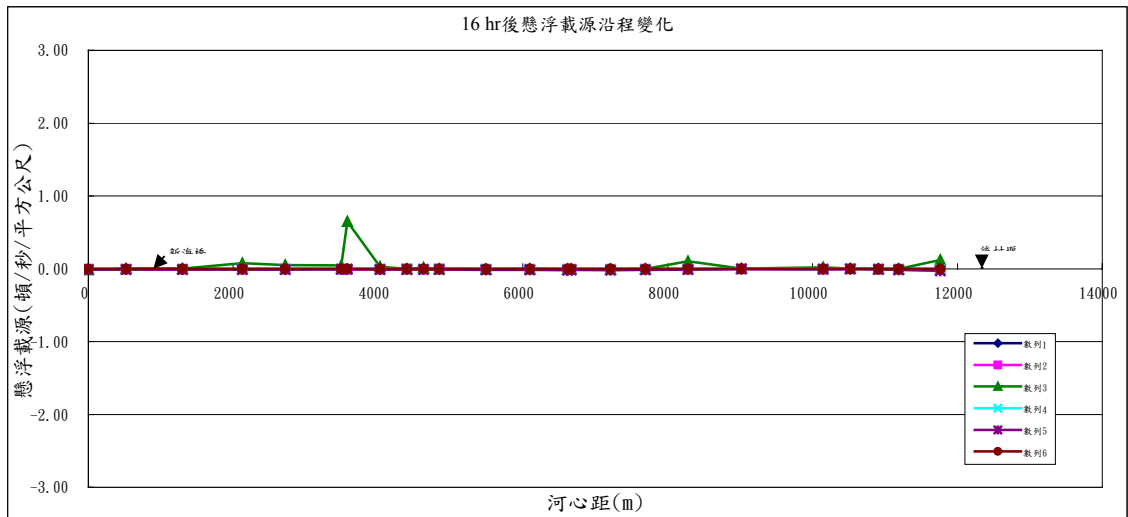


圖 29 大漢溪下游段 t=16hr 懸浮載源沿程變化

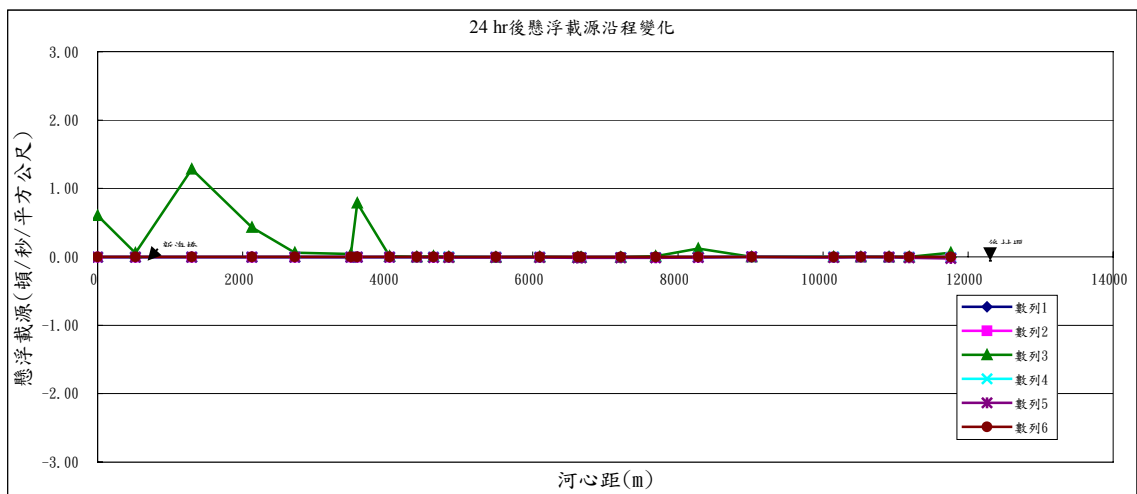


圖 30 大漢溪下游段 t=24hr 懸浮載源沿程變化

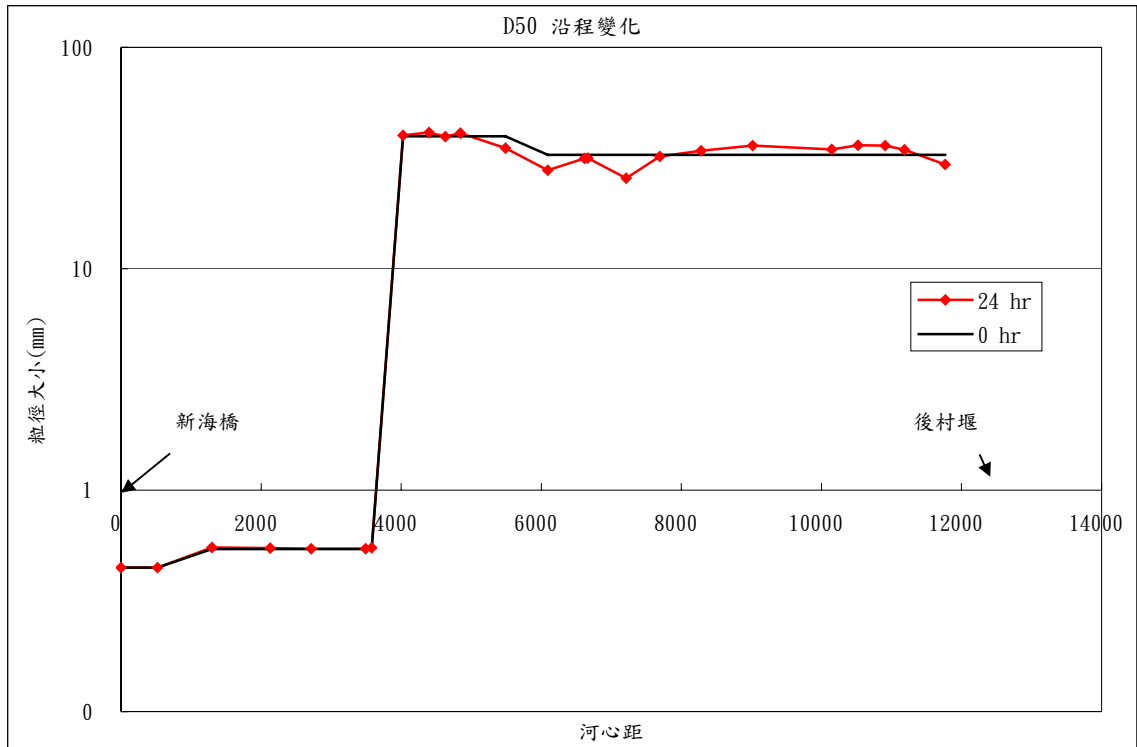


圖 31 大漢溪下游段河床質 D50 沿程變化

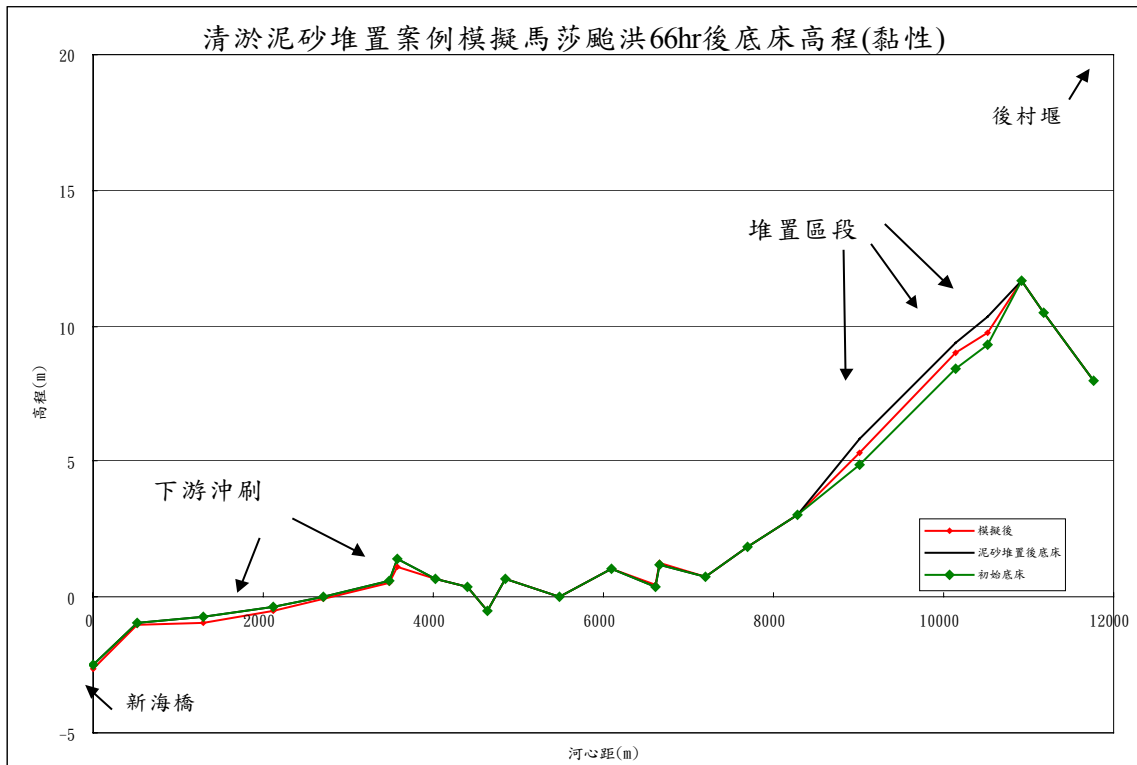


圖 32 一維模式清淤泥砂堆置案例模擬馬莎颱風 66 小時後底床高程

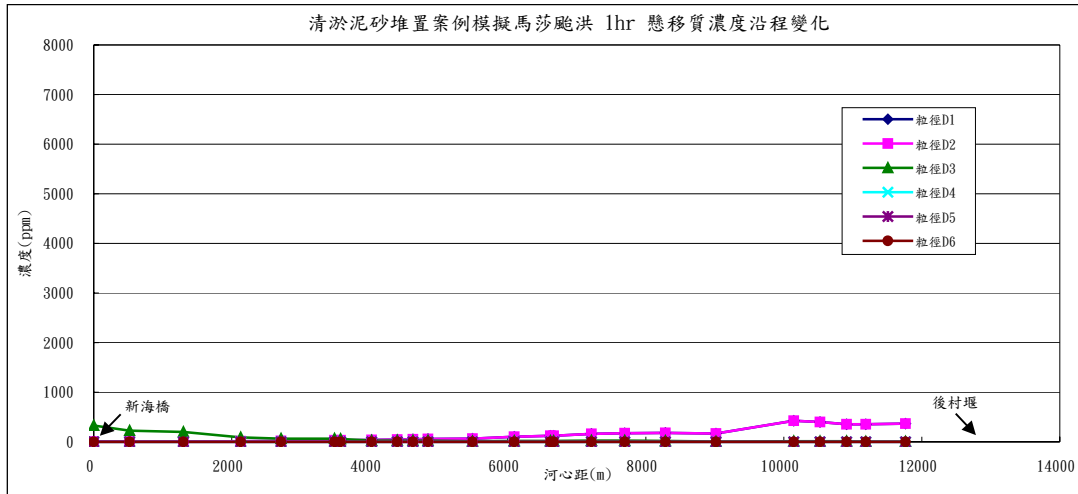


圖 33 一維清淤泥砂堆置案例 1hr 懸移質濃度沿程變化

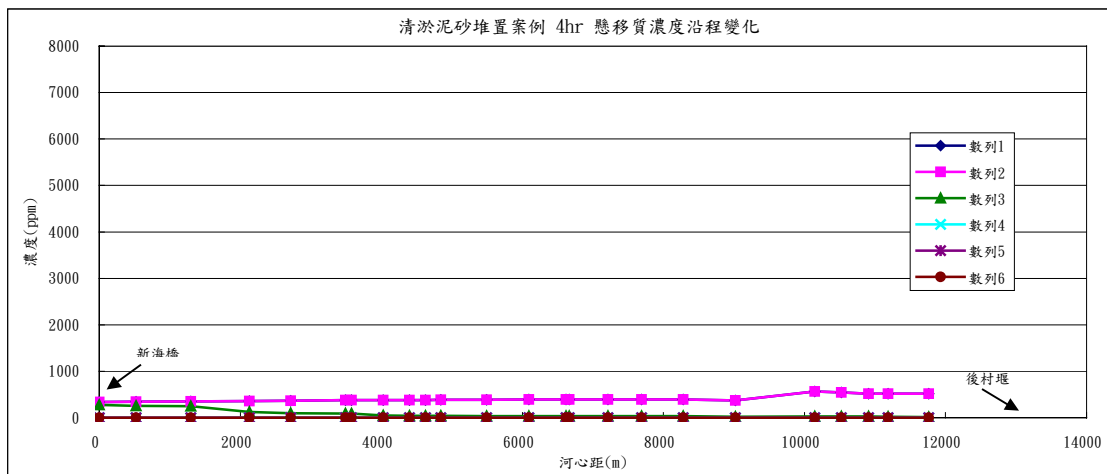


圖 34 一維清淤泥砂堆置案例 4hr 懸移質濃度沿程變化

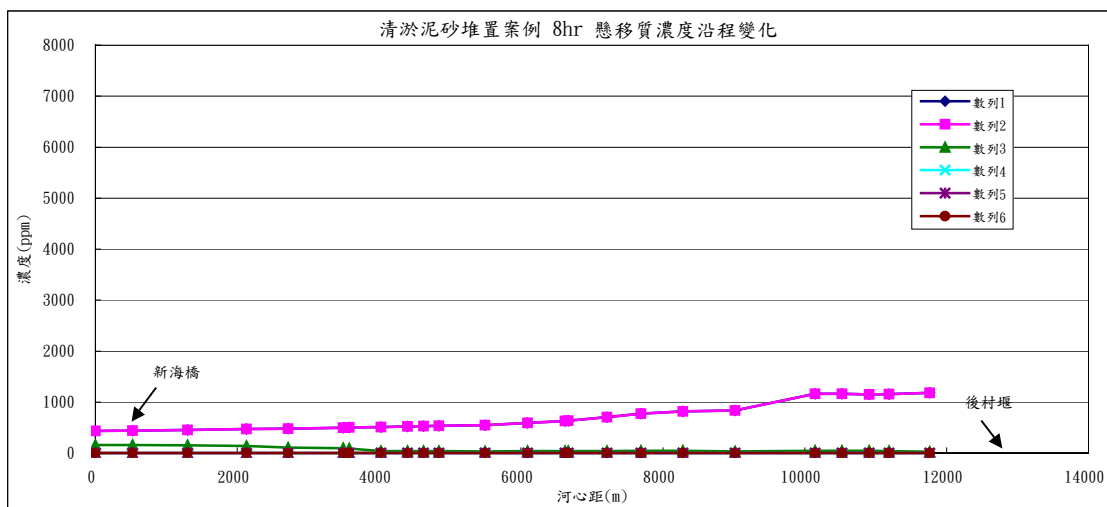


圖 35 一維清淤泥砂堆置案例 8hr 懸移質濃度沿程變化



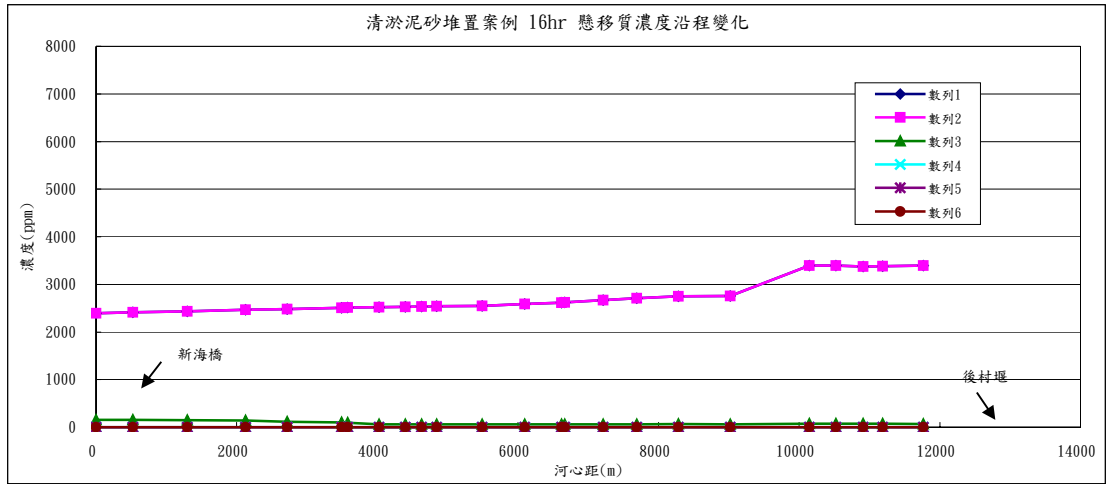


圖 36 一維清淤泥沙堆置案例 16hr 懸移質濃度沿程變化

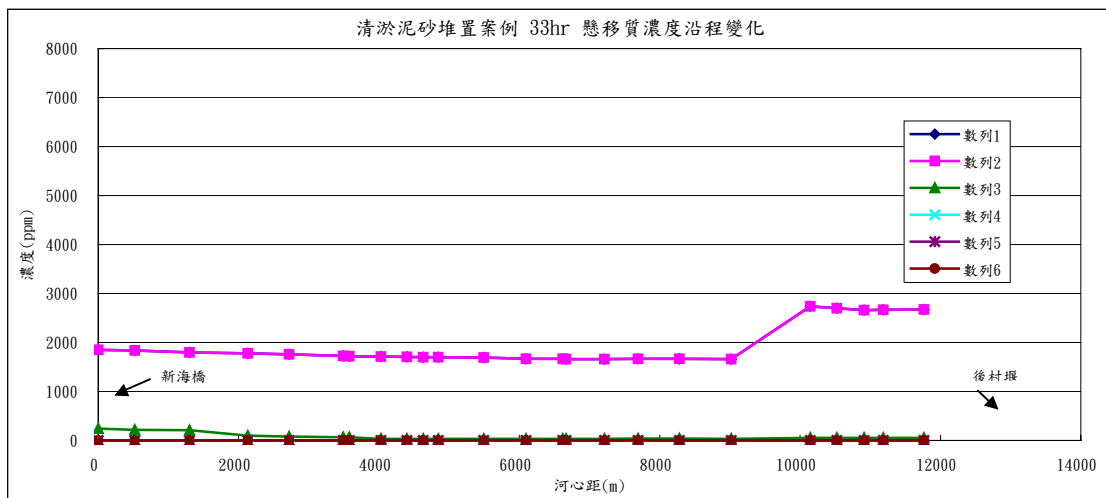


圖 37 一維清淤泥沙堆置案例 33hr 懸移質濃度沿程變化

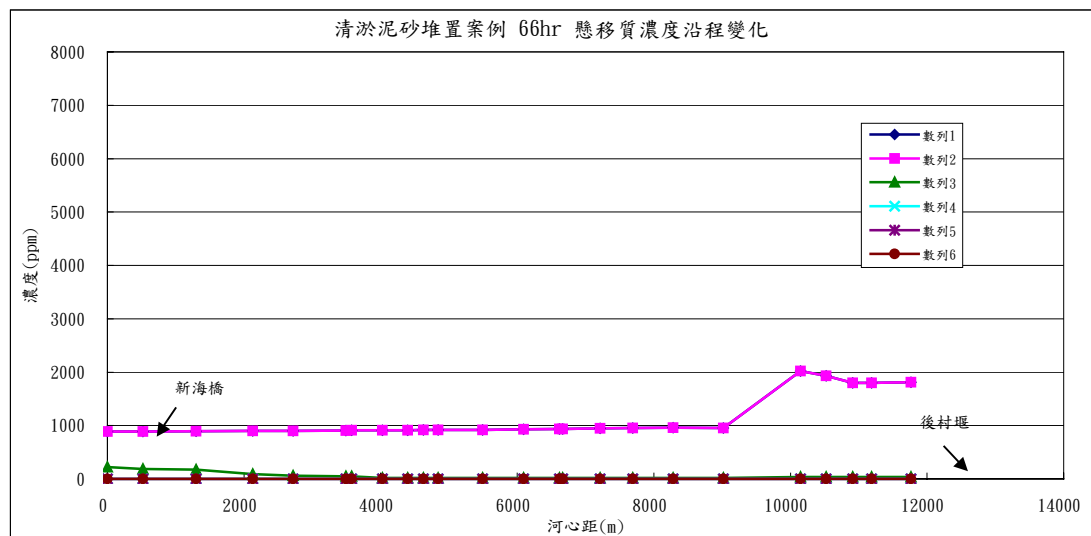


圖 38 一維清淤泥沙堆置案例 66hr 懸移質濃度沿程變化

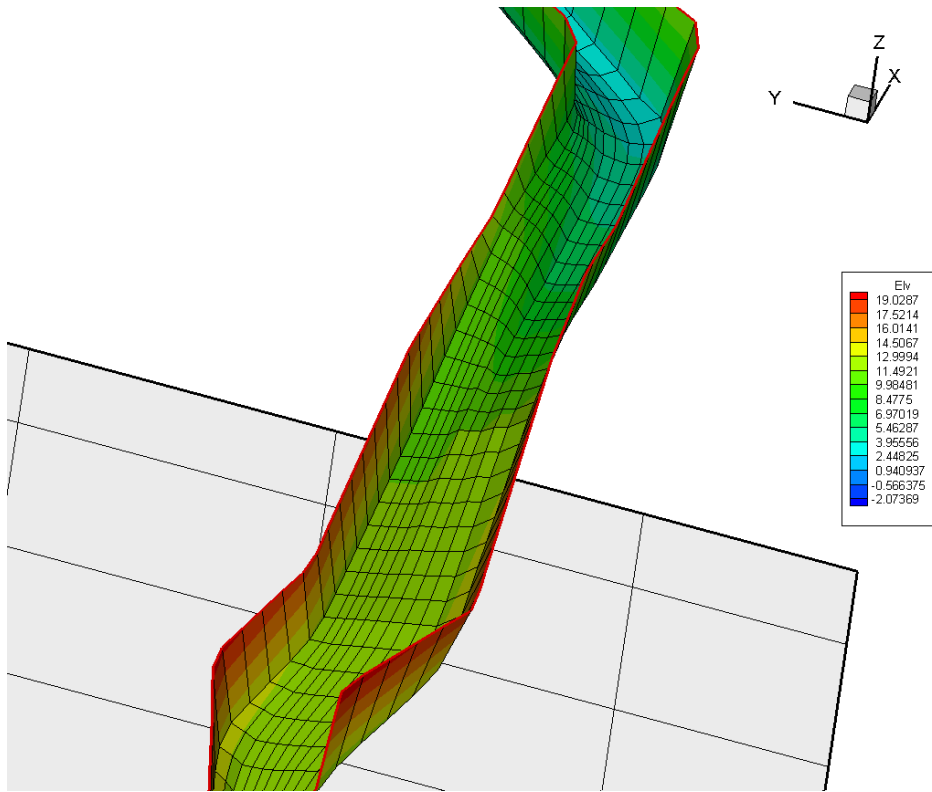


圖 39 堆置區段模擬前底床高程立體圖

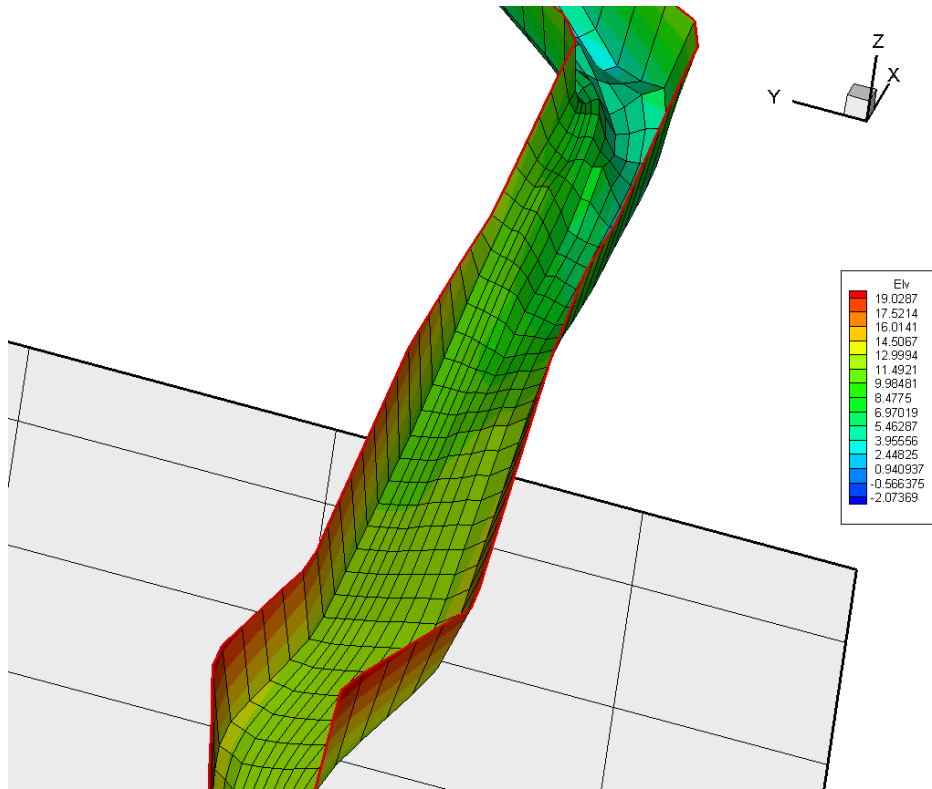


圖 40 堆置區段模擬 66 小時後底床高程立體圖

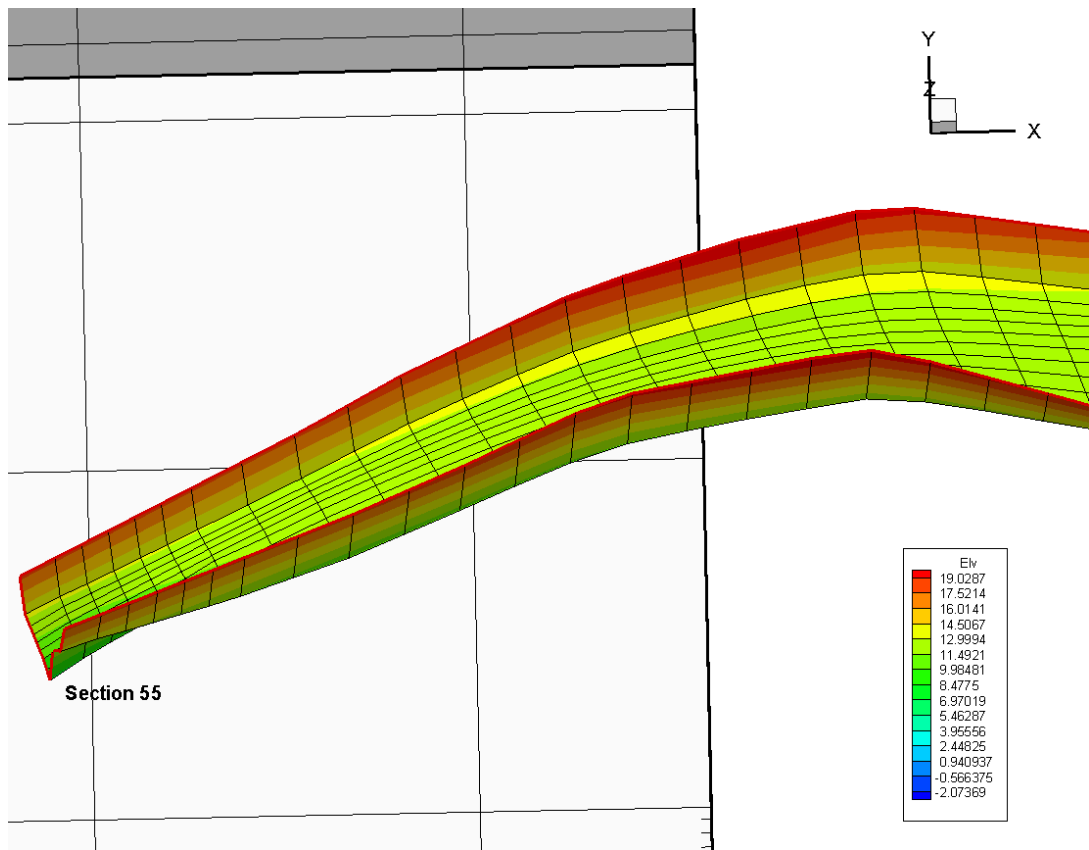


圖 41 清淤泥砂堆置案例模擬前 (1/6)

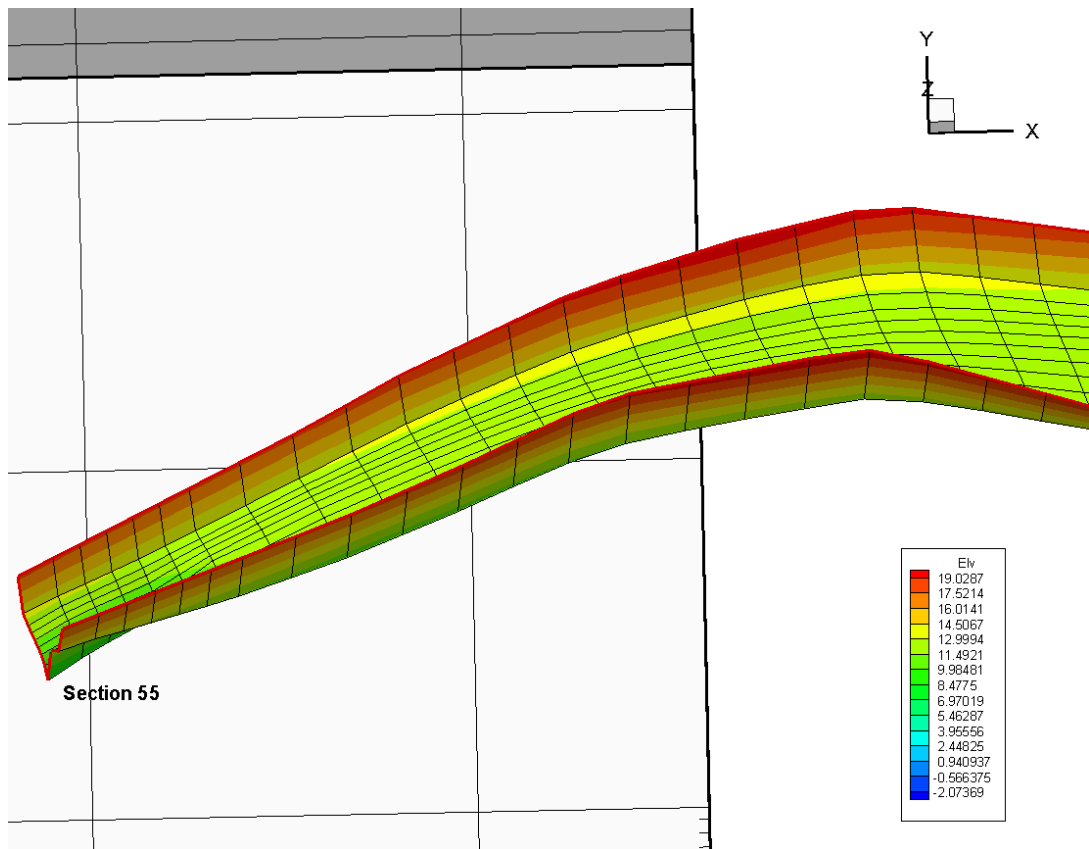


圖 42 清淤泥砂堆置案例模擬後 (1/6)

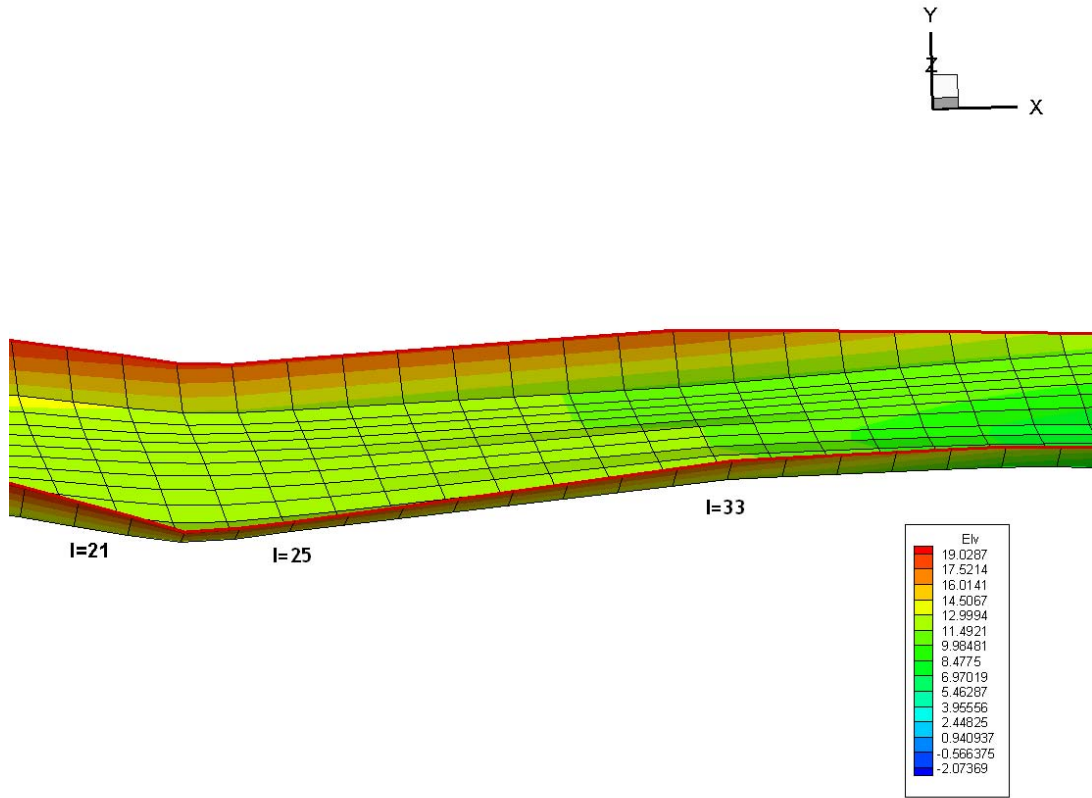


圖 43 清淤泥砂堆置案例模擬前 (2/6)

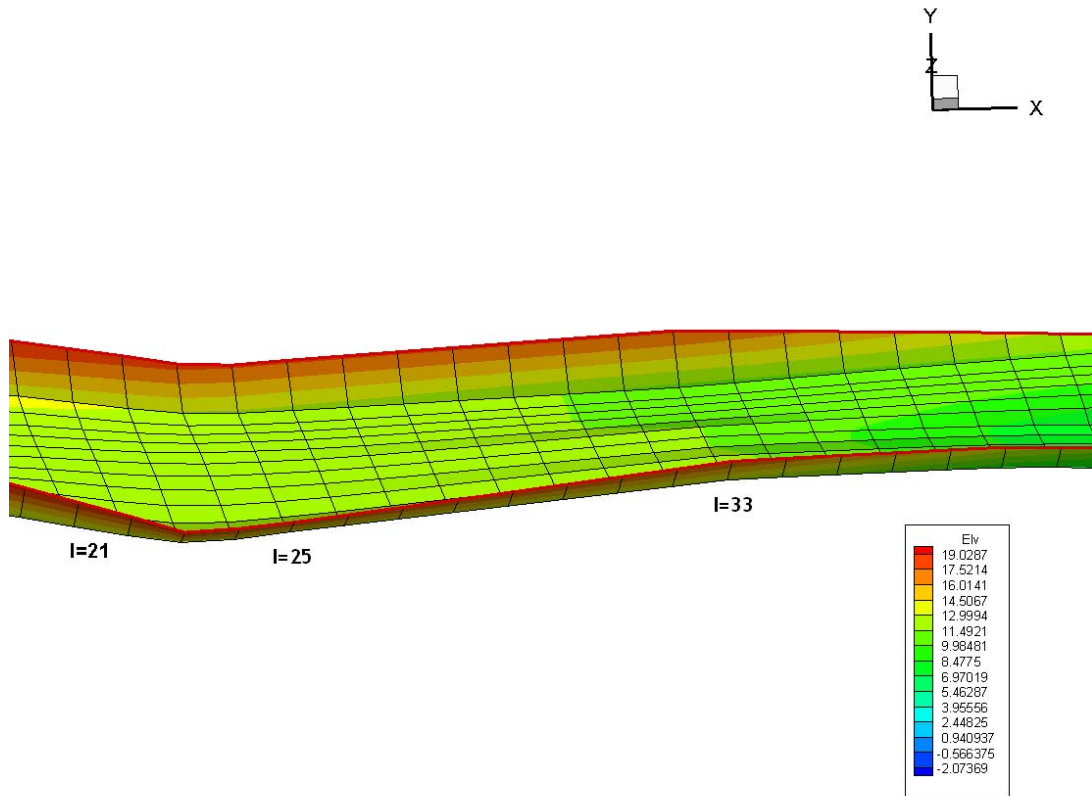


圖 44 清淤泥砂堆置案例模擬後 (2/6)

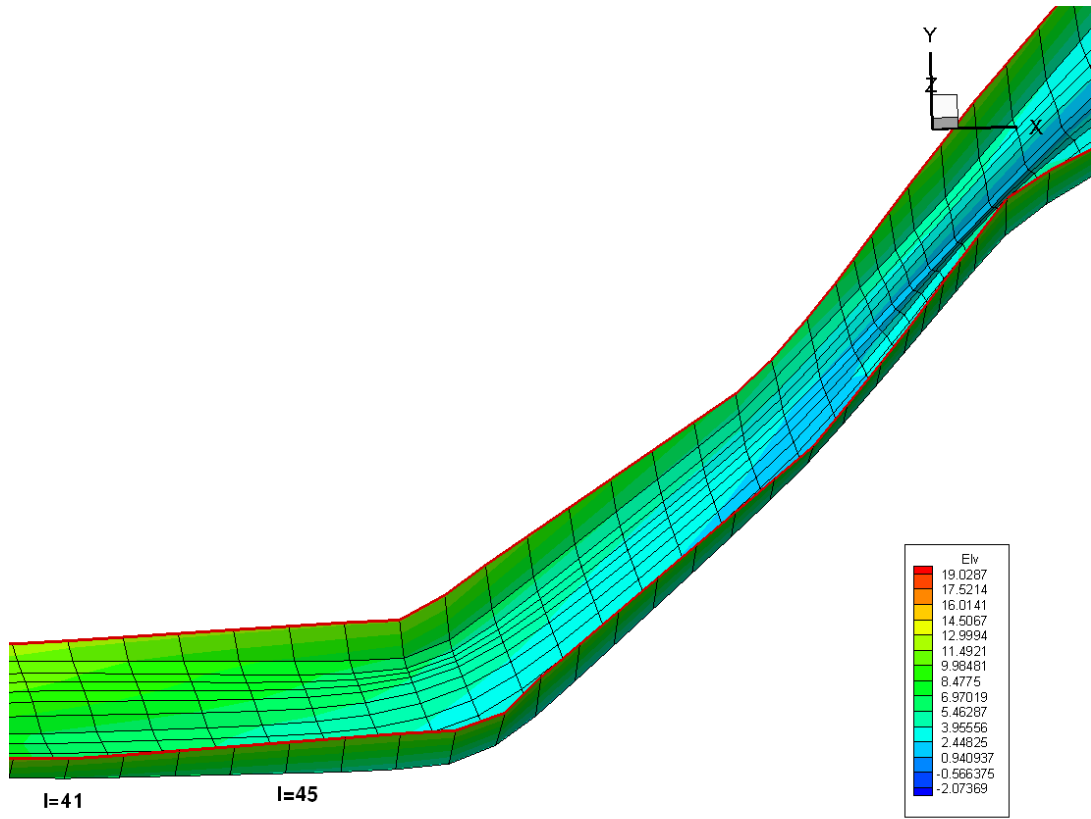


圖 45 清淤泥砂堆置案例模擬前 (3/6)

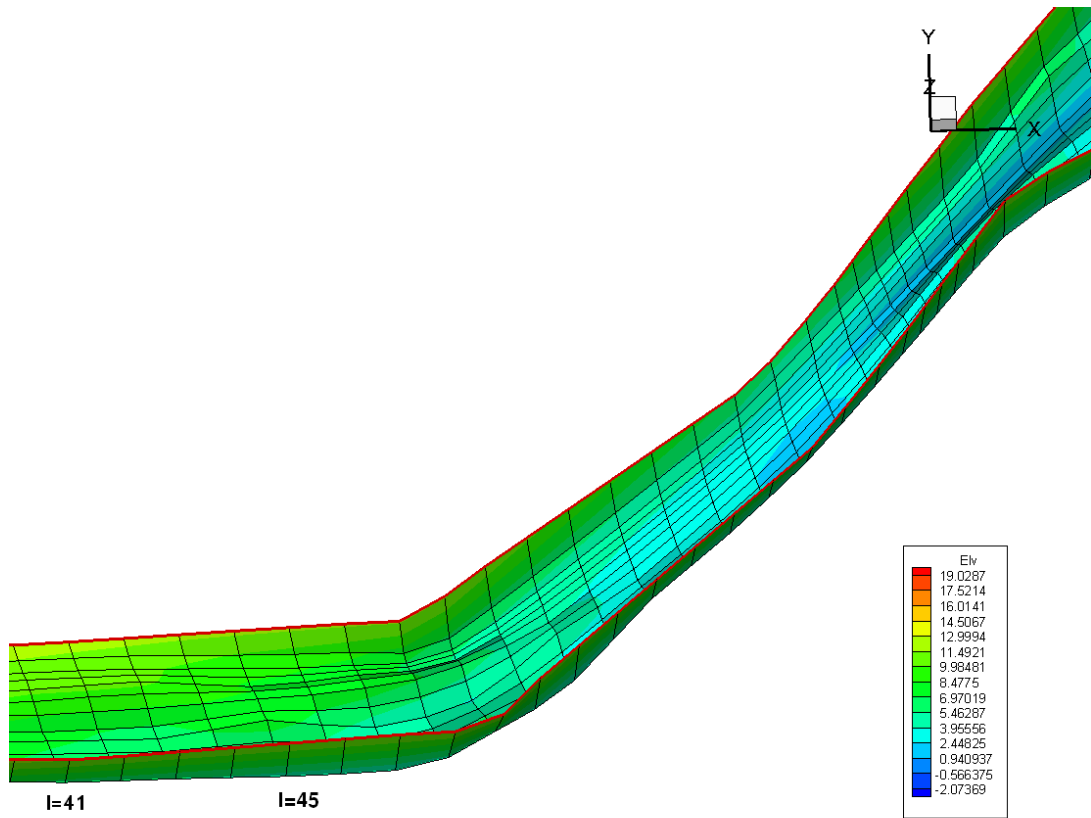


圖 46 清淤泥砂堆置案例模擬後 (3/6)

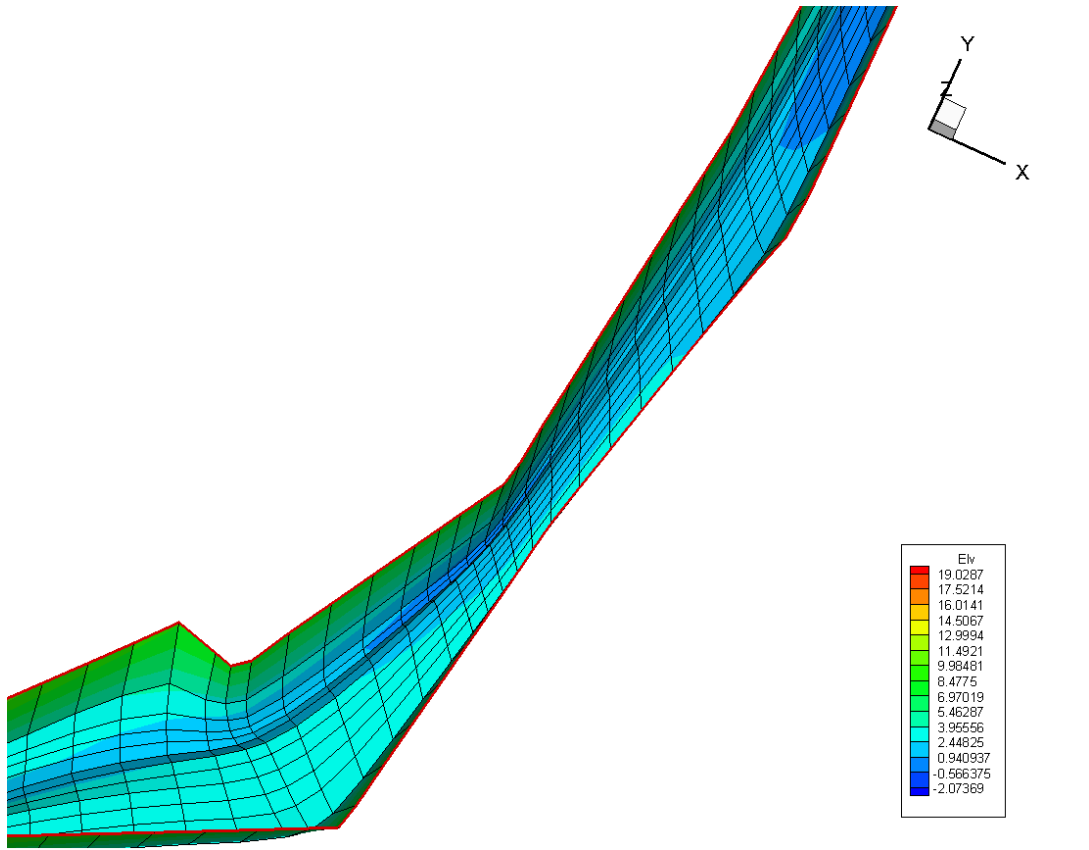


圖 47 清淤泥砂堆置案例模擬前 (4/6)

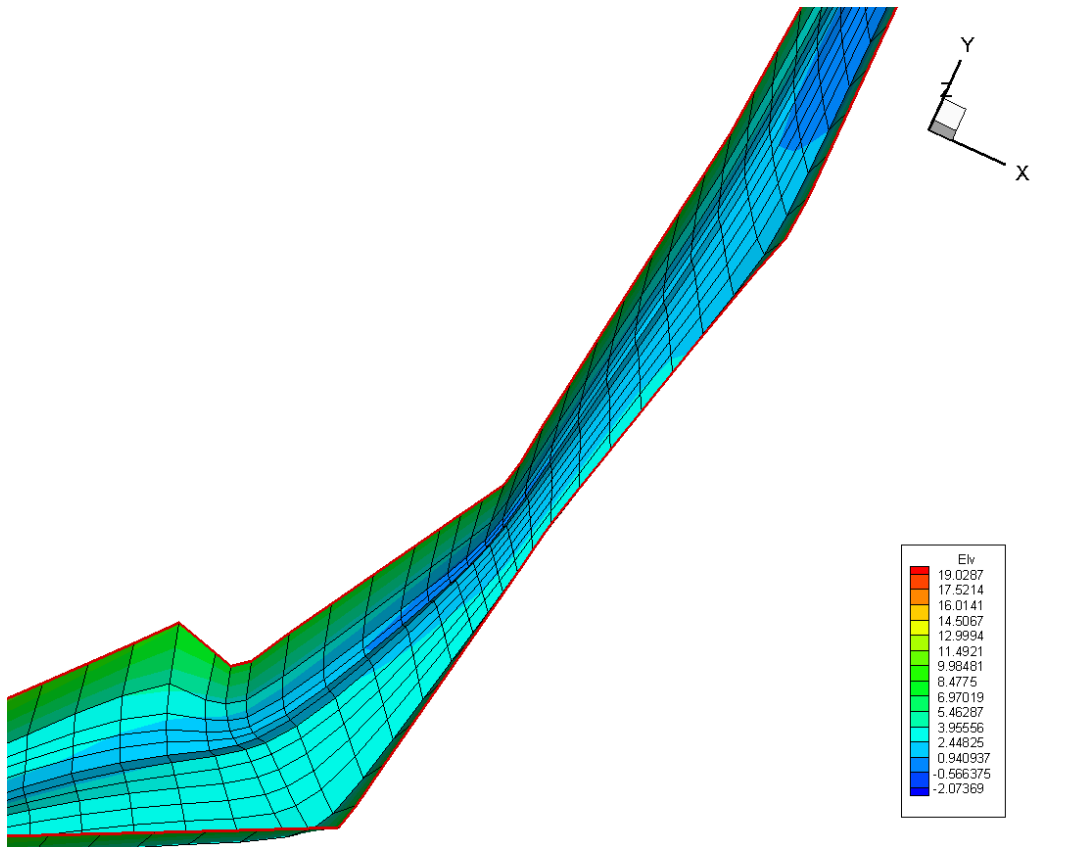


圖 48 清淤泥砂堆置案例模擬後 (4/6)

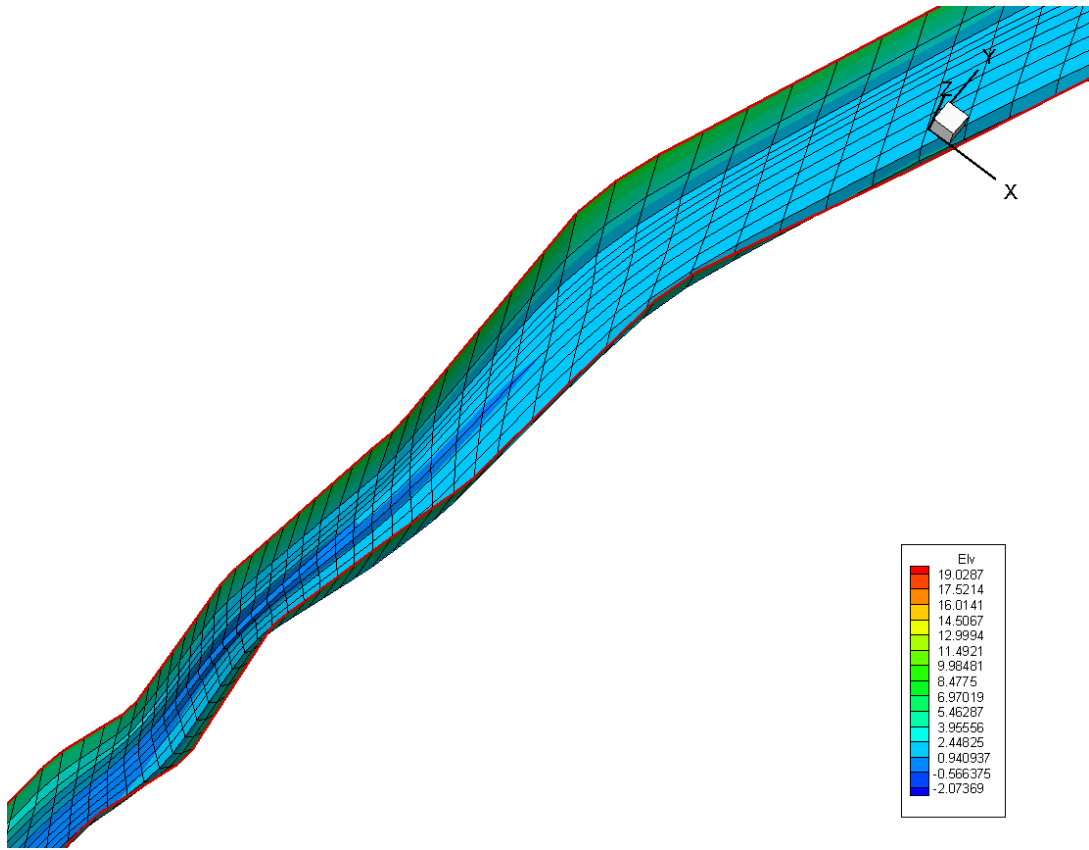


圖 49 清淤泥砂堆置案例模擬前 (5/6)

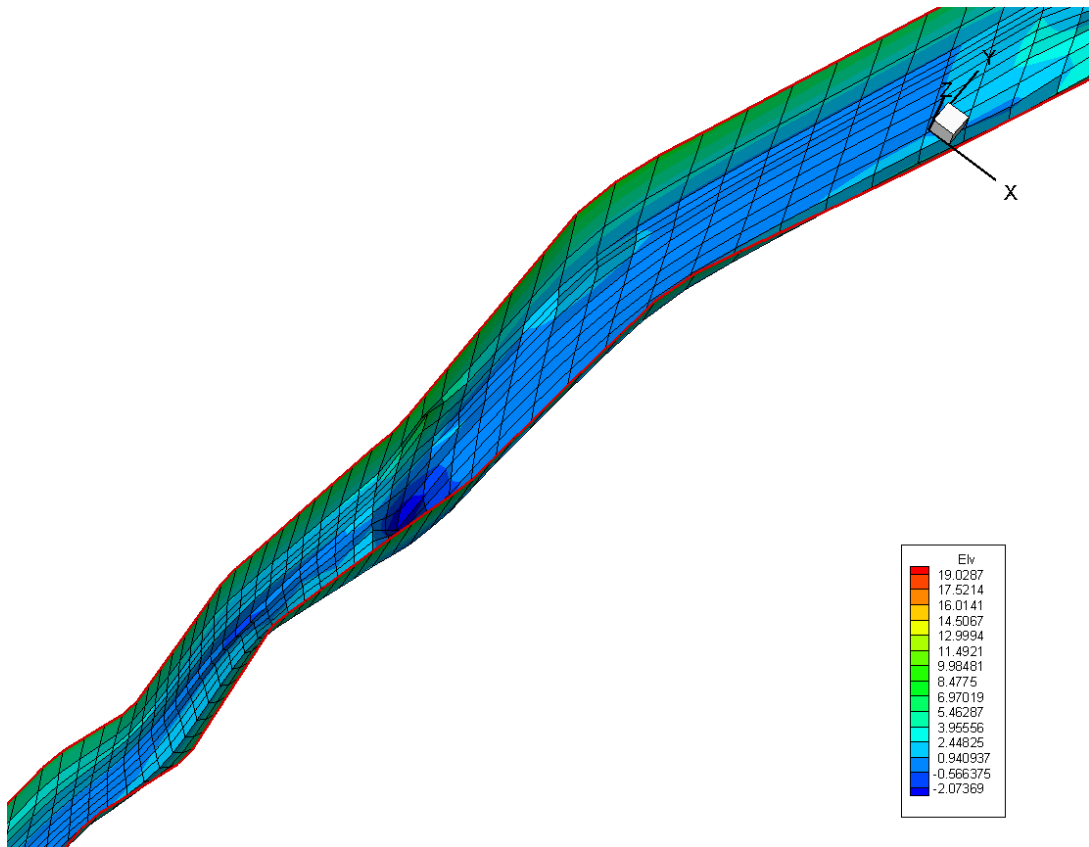


圖 50 清淤泥砂堆置案例模擬後 (5/6)

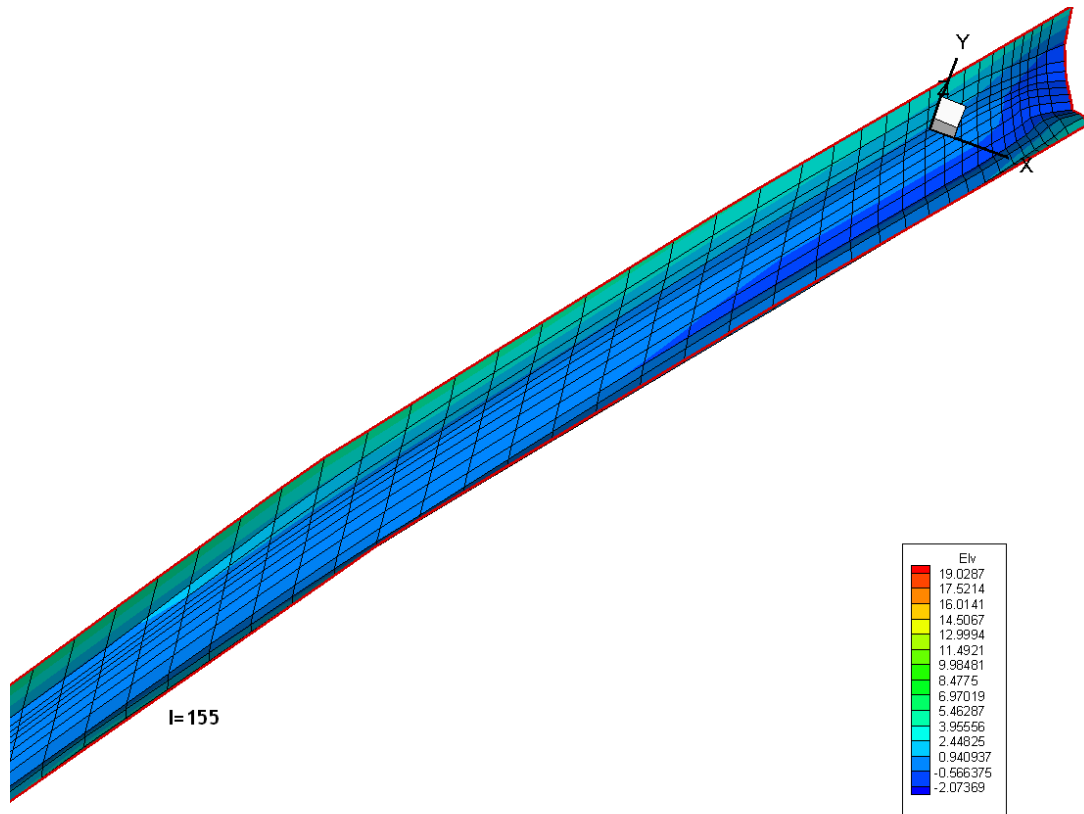


圖 51 清淤泥砂堆置案例模擬前 (6/6)

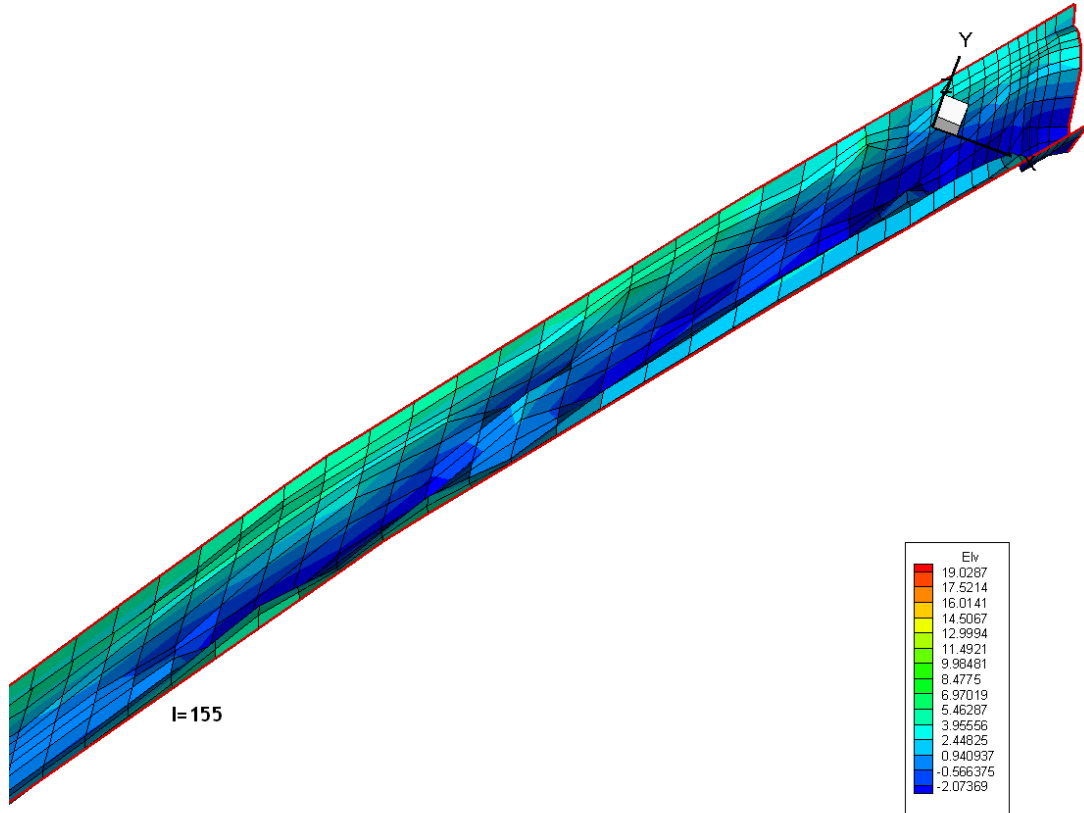


圖 52 清淤泥砂堆置案例模擬後 (6/6)



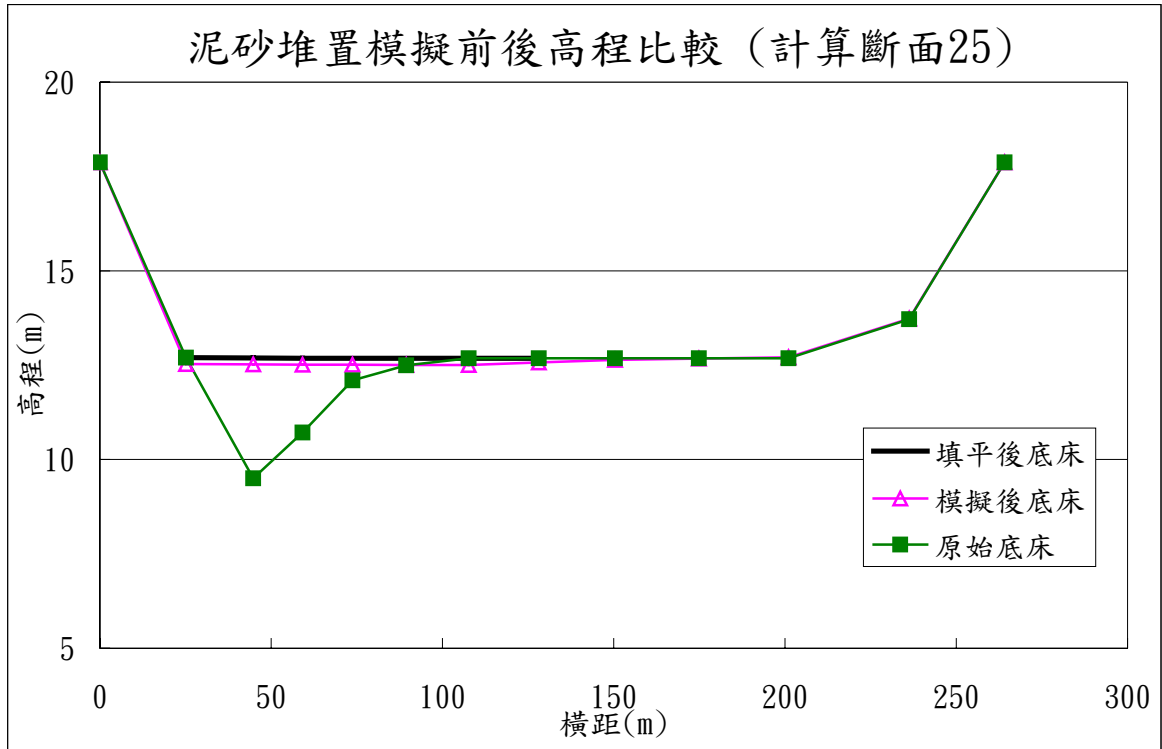


圖 53 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 25)

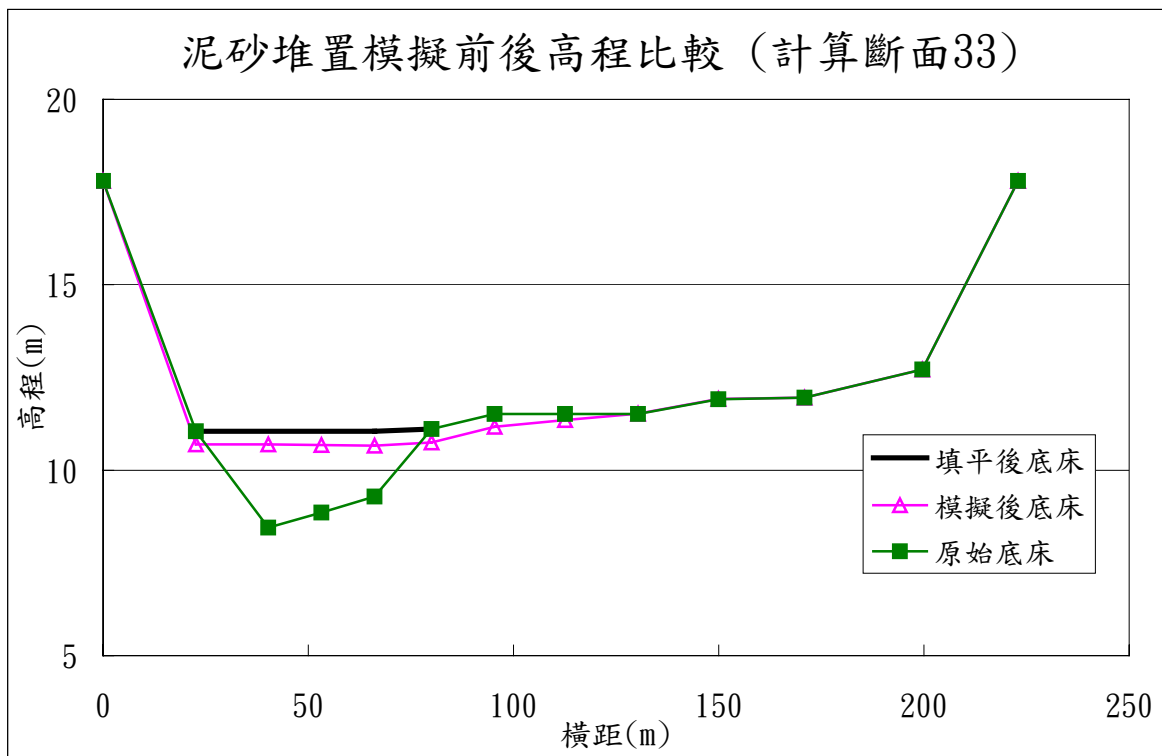


圖 54 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 33)

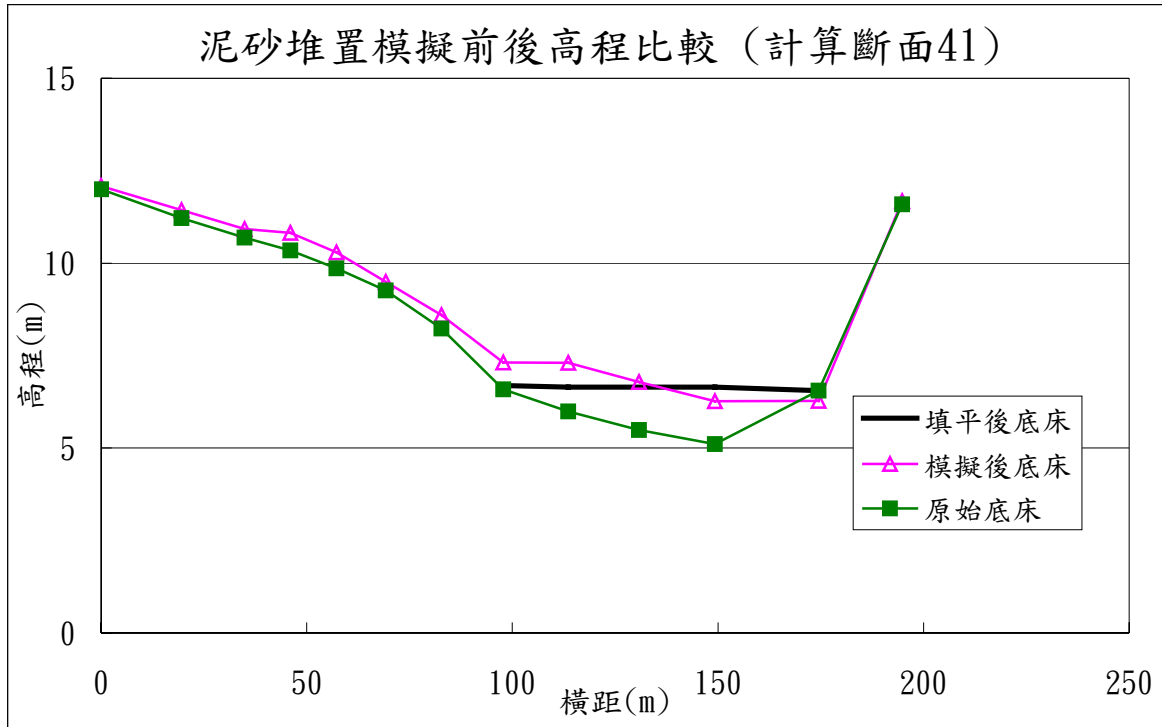


圖 55 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 41)

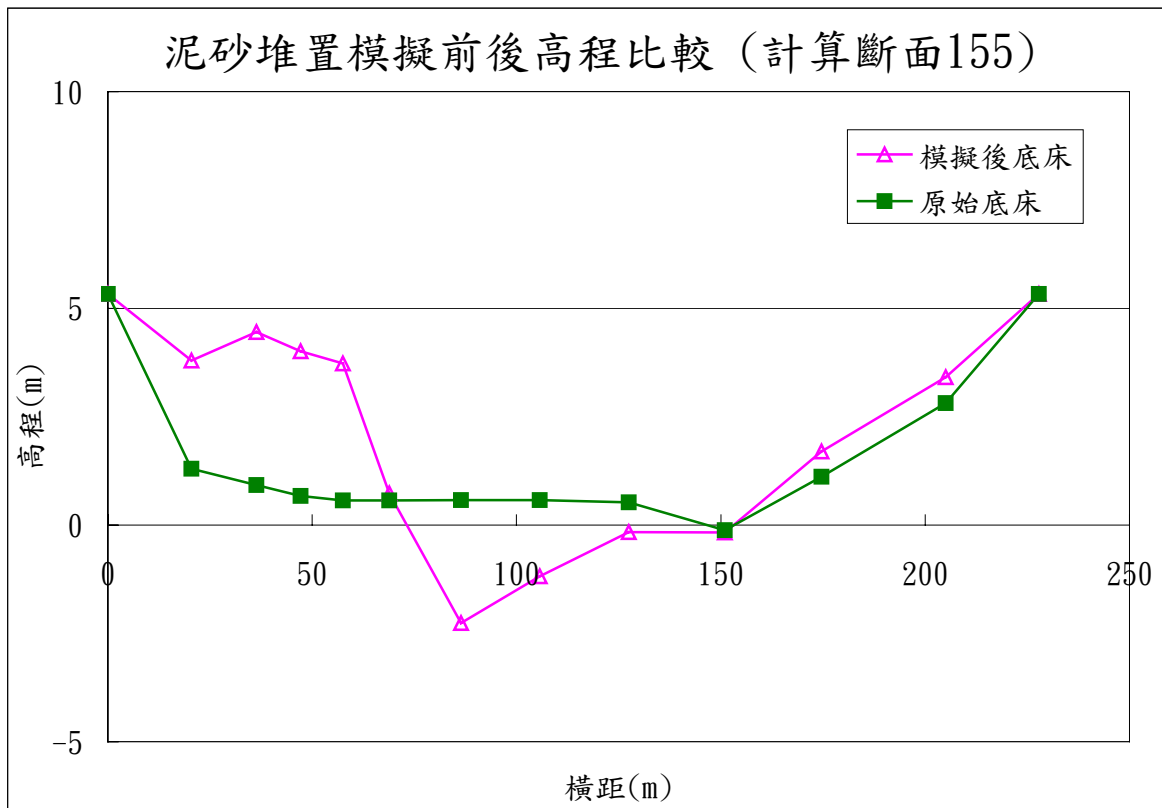


圖 56 二維泥砂堆置模擬前後高程比較 (計算點 155)

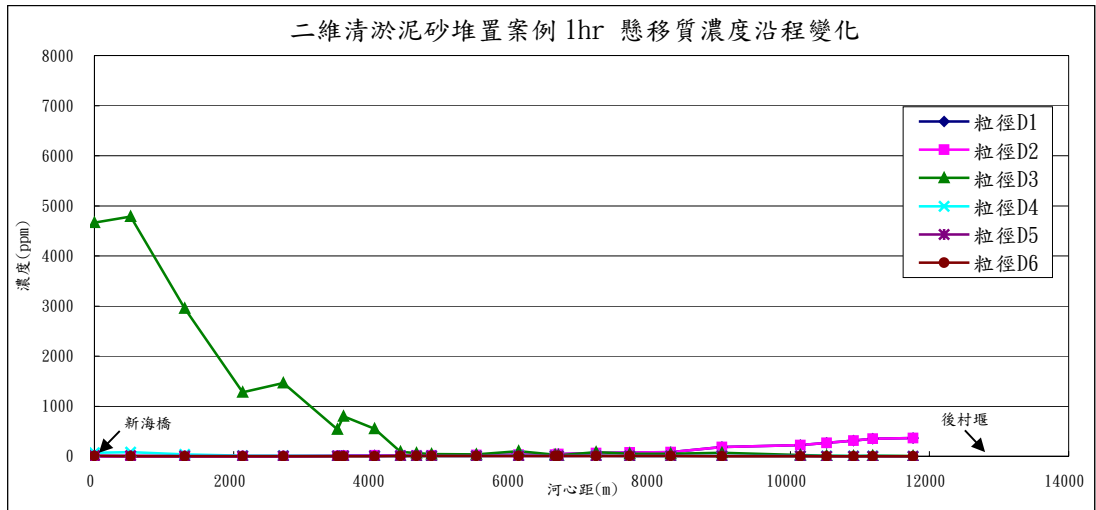


圖 57 二維泥砂堆置案例 t=1hr 懸浮質濃度沿程變化

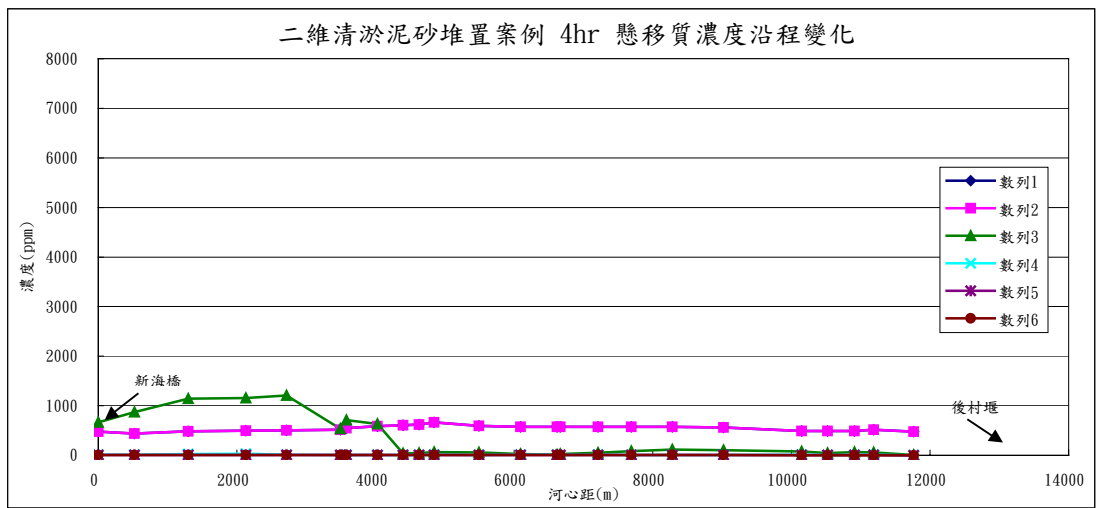


圖 58 二維泥砂堆置案例 t=4hr 懸浮質濃度沿程變化

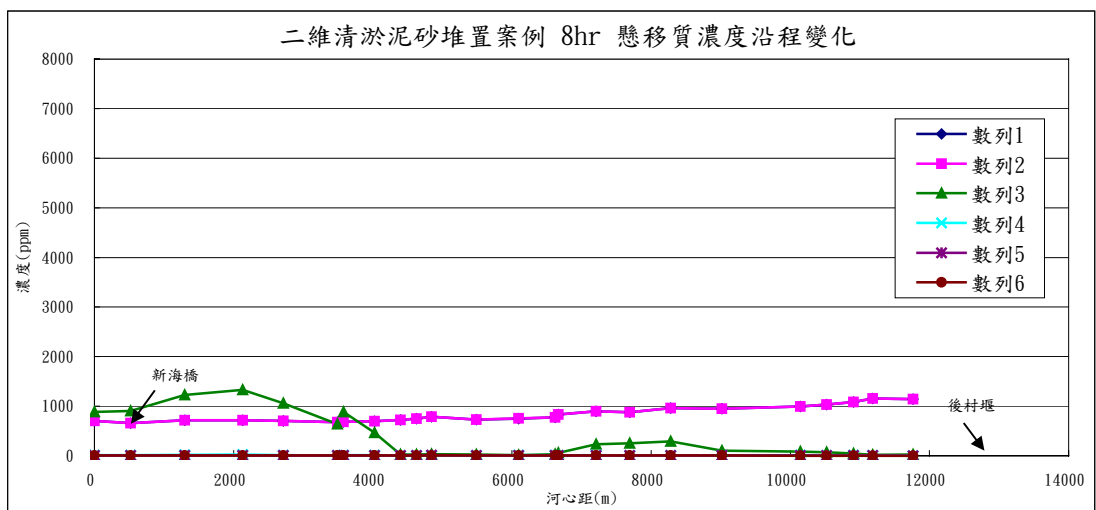


圖 59 二維泥砂堆置案例 t=8hr 懸浮質濃度沿程變化

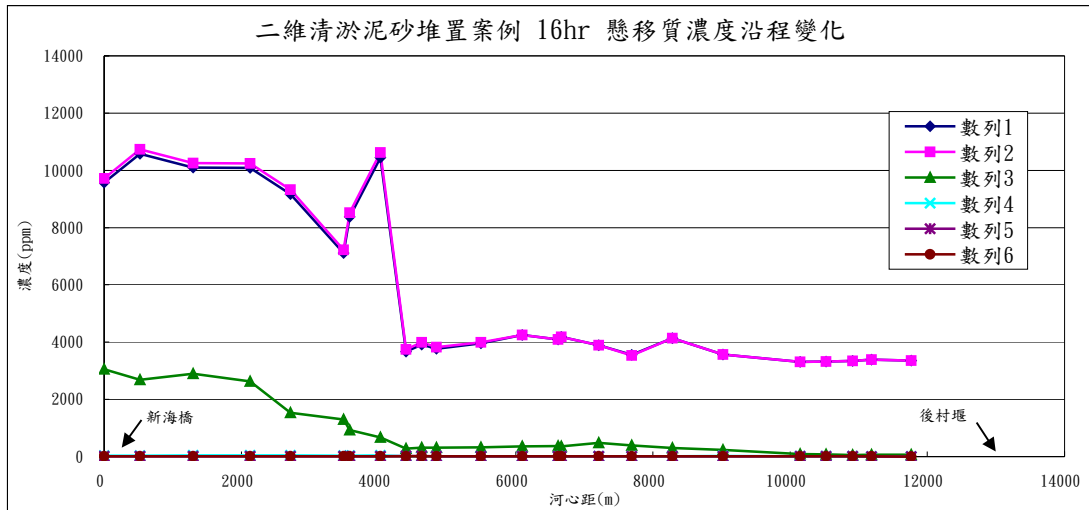


圖 60 二維泥砂堆置案例 t=16hr 懸浮質濃度沿程變化

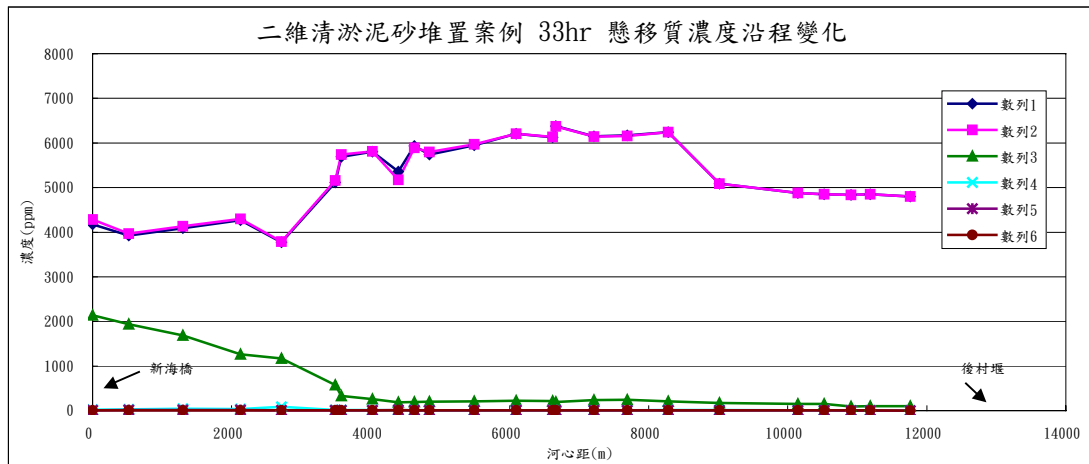


圖 61 二維泥砂堆置案例 t=33hr 懸浮質濃度沿程變化

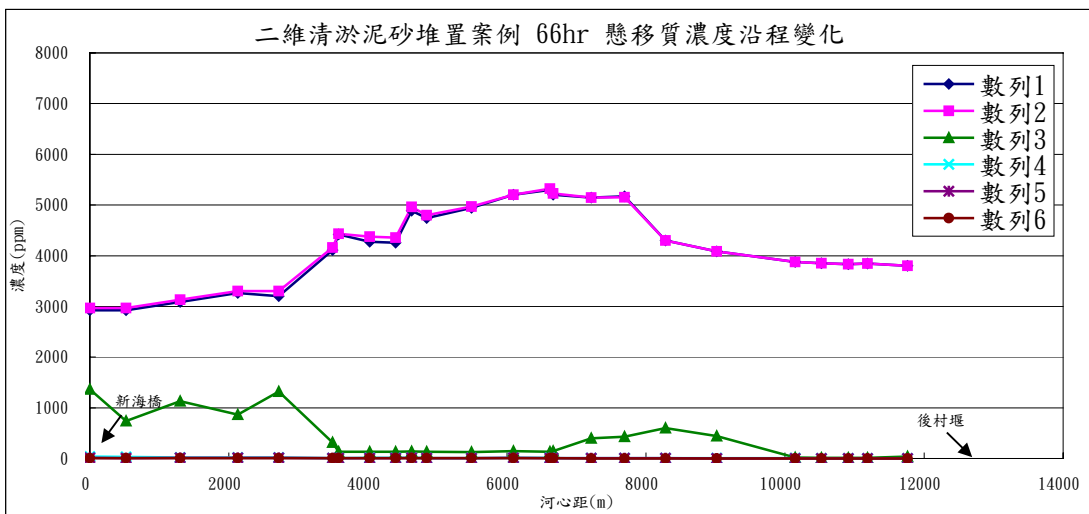


圖 62 二維泥砂堆置案例 t=66hr 懸浮質濃度沿程變化