

應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹

陳志明水利技師事務所負責人
台灣省水利技師公會常務監事

一、前言

滯洪池的主要功能係利用出流設施控制流出量，而將集水區內部份洪水量暫時蓄存於滯洪池蓄洪空間內，俟洪峰過後排水路有剩餘的排水容量時，再緩慢釋出，目的在於降低排水路洪峰流量及洪峰水位，並使集水區之洪水得以安全排出而不致造成災害。

不論在槽滯洪池或離槽滯洪池，一般滯洪池組成單元主要設施包括入流設施(inlet structure)、貯留蓄洪空間(storage basin)、出流設施(outlet structure)及沉砂前池(sedimentation forebay)等。因而在滯洪池設計上，有①流設施構造類別、尺寸、結構配置，②洪池貯留蓄洪空間尺寸大小、外型及高程之設計，③流設施構造類別、尺寸、結構配置等三主要項目必須決定，而通常就洪峰流量及滯洪效益妥為規劃各單元尺寸規模，並經水文水理演算決定之。

一般水文水理演算係以水文平衡方程式(大多使用水庫演算法)進行，因演算過程涉及各單元尺寸規模之決定及不同運轉情境之組合，目前雖有試算表程式使可資利用，惟其步驟仍甚為繁複。而市面上已有多個數值模式可供運用，在此以介紹個人應用HEC-RAS模式於前峰子滯洪池改善工作設計案例之水理演算供參考。

二、HEC-RAS 模式介紹

HEC-RAS 模式係美國陸軍工程師團水文工程中心為河川模擬分析而開發之電腦程式系統，為一整合型軟體系統，此系統包括圖形使用者介面，水理分析子程式(含定量流、變量流模組、...等)、數據儲存與管理、圖表製作與資料彙整等功能。HEC-RAS模式為一維水面線演算模式，可處理亞臨界流、超臨界流及混合流之水面剖線演算；亦具有模擬變量流的功能，可模擬整體明渠系統之一維變量流況，滯洪池滯洪能力演算即採其模擬變量流的功能。

HEC-RAS 變量流模式為 Dr. Robert Barkau 發展之UNET模式 (Unsteady NETwork model) 修改版。其水理係採用解變量流連續方程式及動量方程式進行分析，其中一維變量流連續方程式如下：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

一維變量流動量方程式如下：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

上二式中

X : 橫座標，以排水路出口為起點，向上游沿水路量測之距離。

z : 縱座標， t 時間時， X 斷面的水面標高。

t : 時間。

Q : t 時間時， X 斷面的流量。

V : t 時間時， X 斷面的平均流速。

S_f : t 時間時， X 斷面的能量線坡度。

A : t 時間時， X 斷面的通水面積。

S : t 時間時，河道(滯洪池)之蓄水量。

q_l : t 時間時， X 斷面流入排水路的側流量。

上兩式偏微分方程組，合併後改寫成有限差分式，HEC-RAS 模式再以四點隱性有限差分法(4-point implicit finite difference scheme)之試誤法求解。

HEC-RAS 模式變量流模組中亦包括定量流模組中河川斷面、橋樑、箱涵及其他水工設施之水理演算方式，可模擬橋樑、箱涵、涵管、堰、閘門、滯洪池、排洪道等水工結構物對水流及排水路之影響，同時可模擬滯洪池與河道或滯洪池間水工結構物之水理現象，其中有關堰之模擬包括在槽堰(Inline Weir)及側流堰(Lateral Weir)，而閘門則包括了懸吊式閘門(Flap Gate)。

三、 前峰子滯洪池改善工作

前峰子滯洪池位於高雄市岡山區田厝排水斷面樁里程1K+866~2K+508排水路之左側，位置見附圖一，係於民國102年5月興建完成。前峰子滯洪池係設置箱涵構造側流式入流工，於降雨事件發生期間將田厝排水排水路水量導入滯洪池，而滯洪池內蓄積之洪水，迨降雨事件結束後，利用孔口式流出工以重力方式再排入田厝排水排水路。惟於102年度颱風侵襲期間發生其滯洪效果無法有效發揮，經現場勘查及檢視『前峰子滯洪池竣工圖』，發現前峰子滯洪池入流工及流出工有：①.工之入流工有不利於引水入滯洪池現象，②.之流出工有排水較不順暢現象，此等現象均不利於滯洪池發揮滯洪功能。

有關入流工不利於引水入滯洪池之處其改善方向可朝於入流工下游處興築攔水堰提高排水路水位，並增建一入流工以輔助及加強既有入流工引水入滯洪池之功能；而有關流出工排水較不順暢，為因應近年來氣候變遷所造成的流量增加及洪峰到達時間提前情形，可增建一流出工適當降低滯洪池水位，增加滯洪池可滯洪量。

為確定上述改善方向之可行性，本案應用HEC-RAS 模式以變量流分析方式，將排水路、側流式入流工、流出工及滯洪池等構造物納入進行水理分析，除模擬滯洪池與排水路及滯洪池各水工構造物水理現象，並擇定適宜攔水堰高程及增建入流工、流出工構造型式及尺寸。

《經驗交流》

應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹



附圖一 前峰子滯洪池位置圖

四、 HEC-RAS模式輸入參數及資料

進行水理分析所模擬範圍為田厝排水斷面樁里程1K+412~2K+719區段及排水路左側之前鋒子滯洪池，分析時係將排水路、側流式入流工、流出工及滯洪池等構造物一併納入，HEC-RAS模式模擬排水路系統建置平面見附圖二。



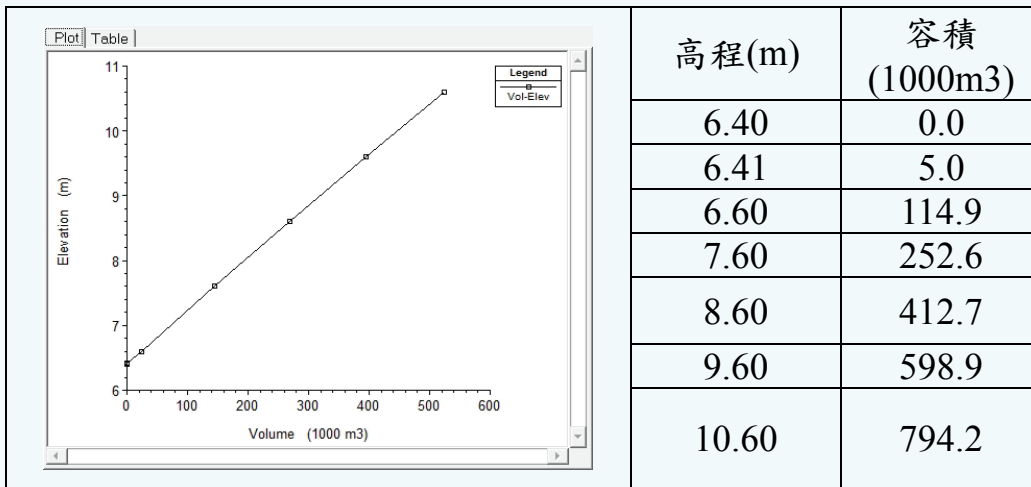
附圖二 HEC-RAS 模式模擬排水路系統建置平面圖

1. 排水路斷面資料

田厝排水斷面樁里程 1K+412~2K+719 渠段排水路各斷面樁斷面資料係取自經濟部水利署第六河川局『土庫排水系統整治及環境營造規劃報告(含治理計畫)』專案之測量資料，其中因斷面樁里程 1K+866~2K+508 渠段排水路配合前鋒子滯洪池之興建其底部高程及左岸護坡曾進行整治，此渠段斷面資料乃依據『前鋒子滯洪池竣工圖』。

2. 滯洪池容量

依據『前鋒子滯洪池竣工圖』前鋒子滯洪池其池頂面積為 13 公頃，池頂頂部高程為 El.10.60M，池底底部高程為 El.6.40M，而護坡坡度為 1V:3H，依此滯洪容積與高程之關係如附圖三所示。



附圖三 滯洪容積與高程關係圖

3. 曼寧粗糙係數 n 值

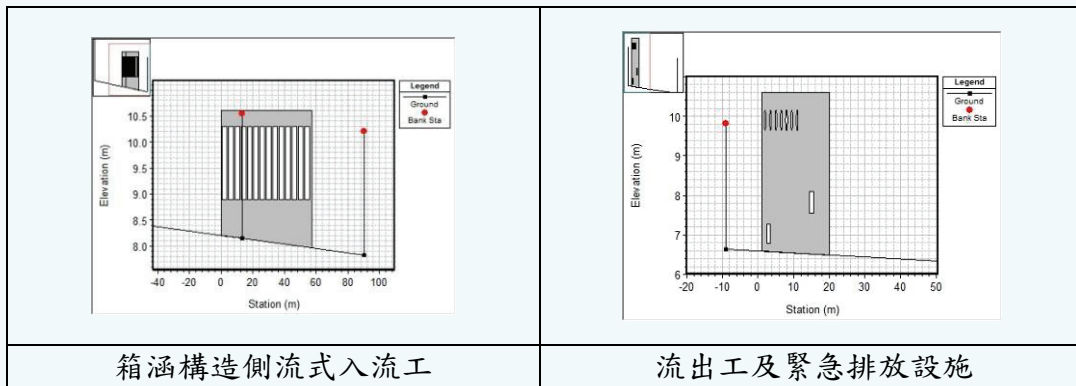
- 配合前鋒子滯洪池興建曾進行整治之渠段，即斷面樁里程 1K+866~2K+508 渠段，其 n 值採用 0.020。
- 排水路其餘渠段則 n 值採用 0.025。

4. 水工構造物

既有入流工、流出工及緊急排放設施等水工構造物係依實際構造尺寸建置於模式內，如附圖四所示，而有關增建攔水堰及入流工構造物則於分析過程中依模擬情境之尺寸建置。

《經驗交流》

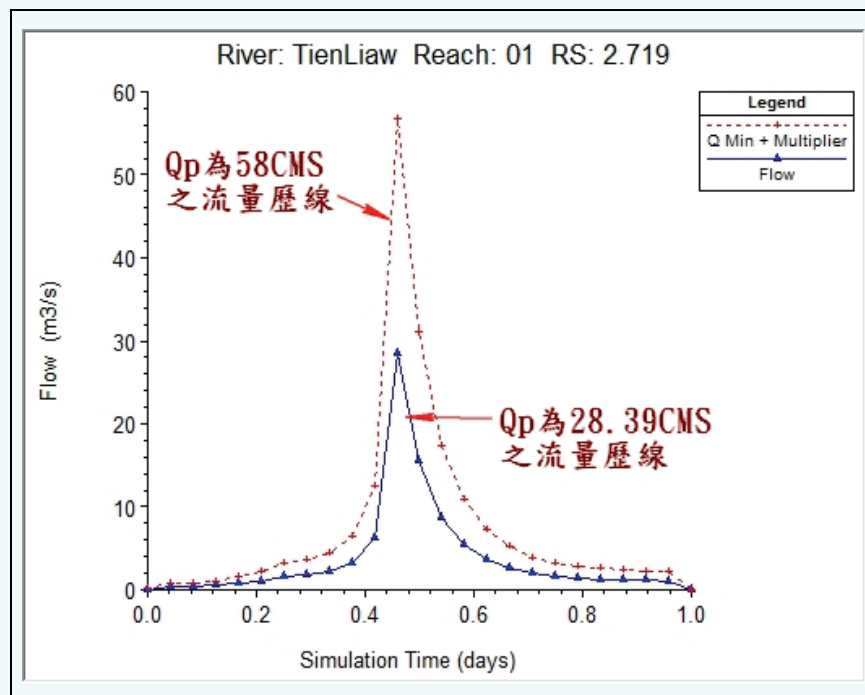
應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹



附圖四 水工構造物建置成果圖

5. 流量歷線

採用經濟部水利署『「易淹水地區水患治理計畫」高雄縣管區域排水—土庫排水系統規劃報告』圖 7.2.5-5 所示滯洪前排水路之流量歷線，其為 28.39CMS 洪峰流量(Qp)之 24 小時流量歷線。另依據『「易淹水地區水患治理計畫」高雄縣管區域排水—土庫排水系統規劃報告』第四章水文分析圖 4.5-1 所示，田厝排水 10 年重現期高地流量為 58 CMS；本案亦增加一洪峰流量(Qp)為 58CMS 之流量歷線，針對本案所建議方案-增建攔河堰及入流工構造物，檢視其對應之水理現象。附圖五為洪峰流量歷線圖。



附圖五 洪峰流量歷線圖

五、 各情境模擬成果

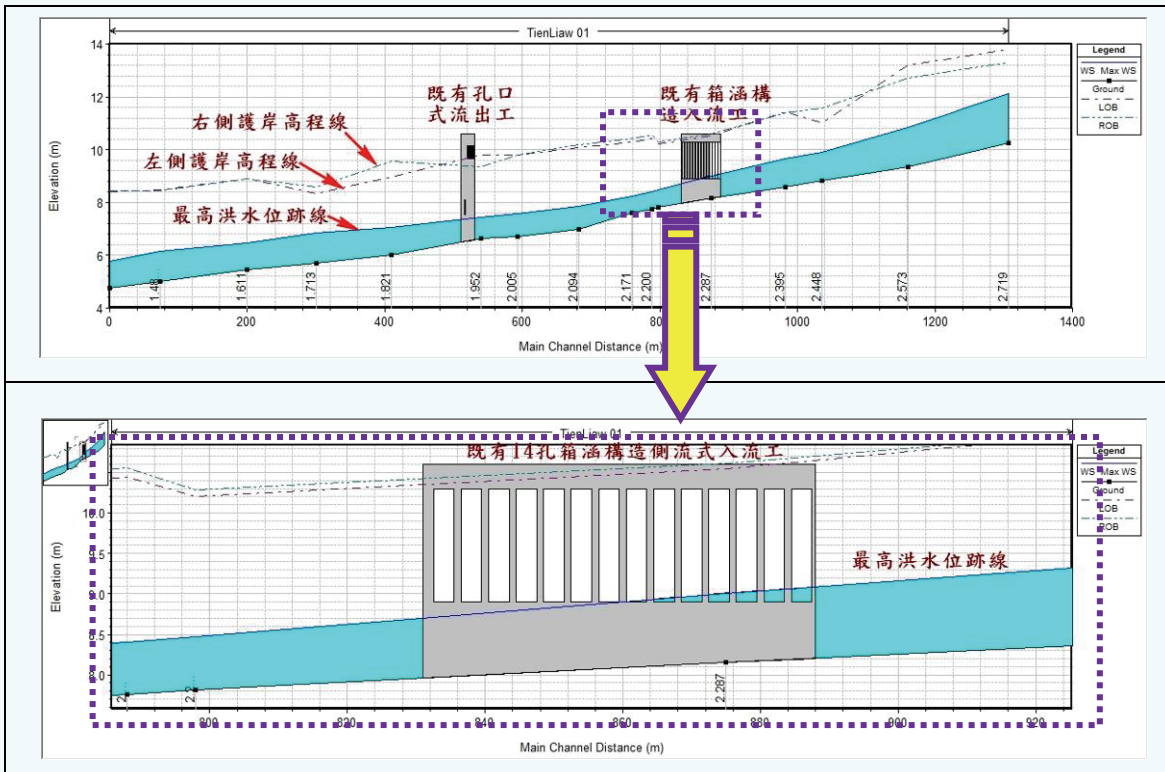
為擇定適宜之改善方案，本案曾分別進行下列情境之模擬探討，並分述成果如后：

1. 現有河道及滯洪池水理現象探討
2. 田寮排水增建攔河堰水理現象探討
3. 增建入流工水理現象探討
4. 增建流出工水理現象探討
5. 建議改善方案水理現象探討

1、 現有河道及滯洪池水理現象探討

此模擬情境係針對河道及滯洪池(含箱涵構造側流式入流工及孔口式流出工及緊急排放設施)之現有狀況進行水理分析，以了解及確認現有河道及滯洪池在豪雨時之運轉狀況。

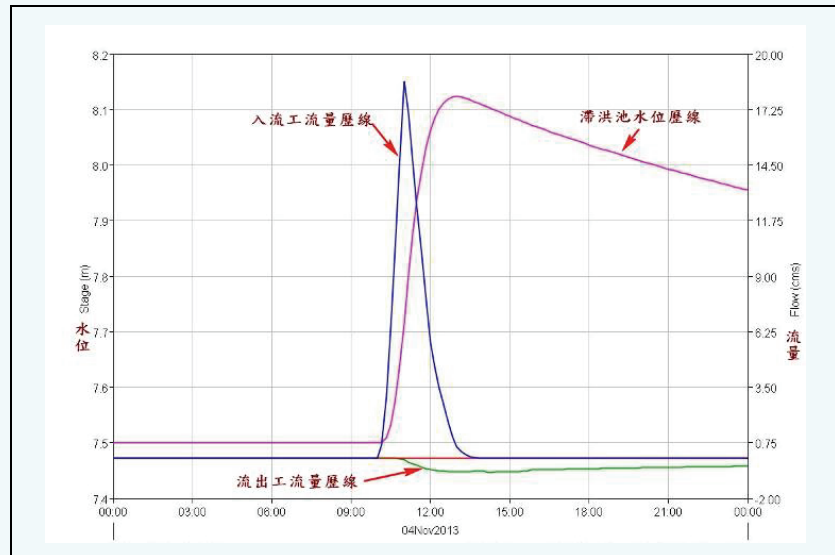
附圖六為田厝排水現況於洪峰流量(Qp)為 28.39CMS 時最高洪水水位跡線圖，由附圖六之放大圖面可發現側流式入流工處水位不高，即進入前鋒子滯洪池之流量有限。另由滯洪池之水位歷線與入流工、流出工之流量歷線關係圖來看，見附圖七，可發現滯洪池水位蓄洪水位增加有限(最高水位低於 EL.7.10M)，而流出工並無出流量發生。



附圖六 排水路現況於 Qp=28.39CMS 時最高洪水水位跡線圖

《經驗交流》

應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹



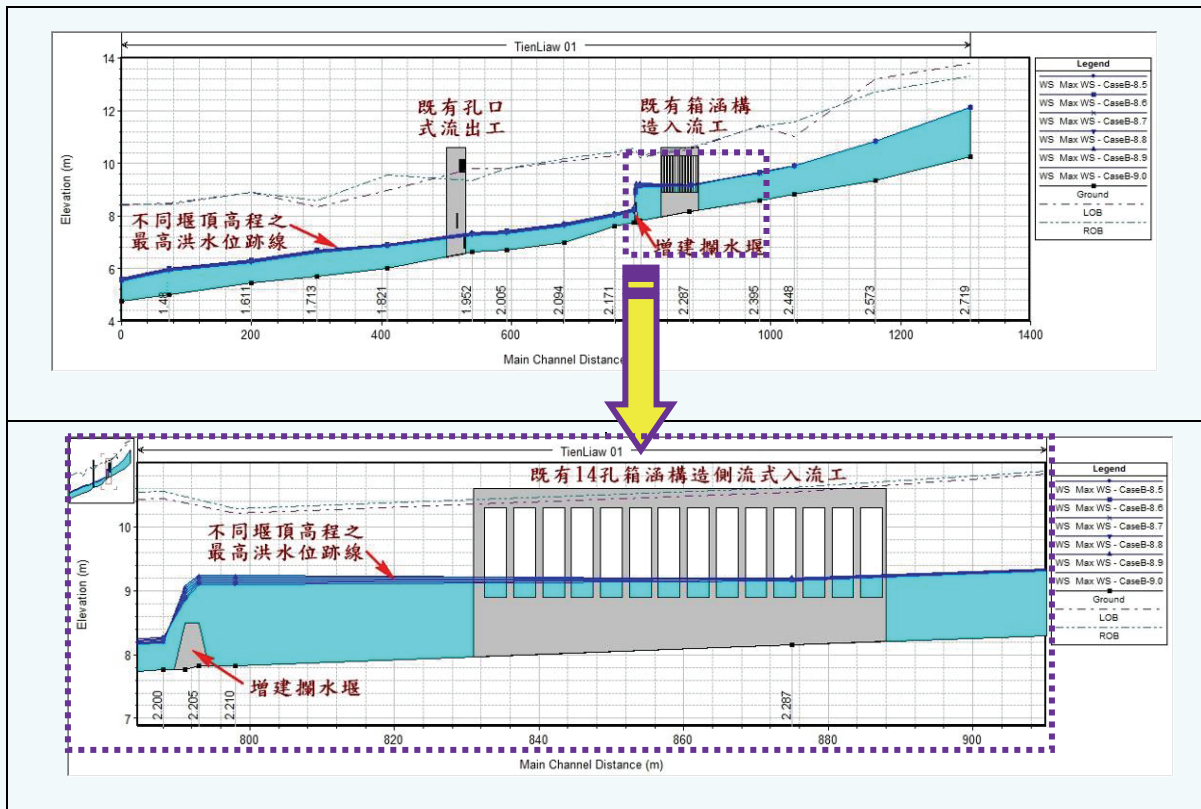
附圖七 滯洪池之水位歷線與入流工、流出工之流量歷線關係圖¹

2、田寮排水增建攔河堰水理現象探討

因既有箱涵構造側流式入流工處之排水路水位有不利於引水入滯洪池現象，改善方向經研討後於入流工下游田寮排水里程 2K+205 處興築一攔水堰構造物以提高水位。為擇定適宜之攔水堰堰頂高程，共進行堰頂高程分別為 EL8.50M、EL8.60M、EL8.70M、EL8.80M、EL8.90M 及 EL9.00M 等六個不同情境之水理分析。

附圖八為攔水堰不同堰頂高程最高洪水水位跡線圖，由附圖八之放大圖面可發現各不同堰頂高程於既有側流式入流工上游處之最高水位並無明顯之差異，而再由附表一不同堰頂高程最高洪水水位彙整表，可發現當攔水堰堰頂高程超過 EL8.80M 時，里程 2K+205 處上游與既有側流式入流工處之水位呈下降及停滯趨勢。依據此分析結果建議攔水堰堰頂高程設定於 EL8.90M，而此高程亦與既有側流式入流工箱涵開口底部高程相同為 EL.8.90M。

¹ 本圖經由美國陸軍工程師團 HEC-DSS 模式繪製



附圖八 攔水堰不同堰頂高程最高洪水水位跡線圖

附表一 攔水堰不同堰頂高程最高洪水水位彙整表

斷面樁 里程	最高洪水水位(m)					
	堰頂高程 EL8.50M	堰頂高程 EL8.60M	堰頂高程 EL8.70M	堰頂高程 EL8.80M	堰頂高程 EL8.90M	堰頂高程 EL9.00M
2.200	8.27	8.25	8.23	8.21	8.20	8.18
2.205	增建攔水堰					
2.210	9.09	9.12	9.16	9.18	9.21	9.24
2.287	9.16	9.16	9.18	9.18	9.19	9.18
2.300	既有側流堰入流工					
2.395	9.65	9.65	9.64	9.64	9.64	9.64

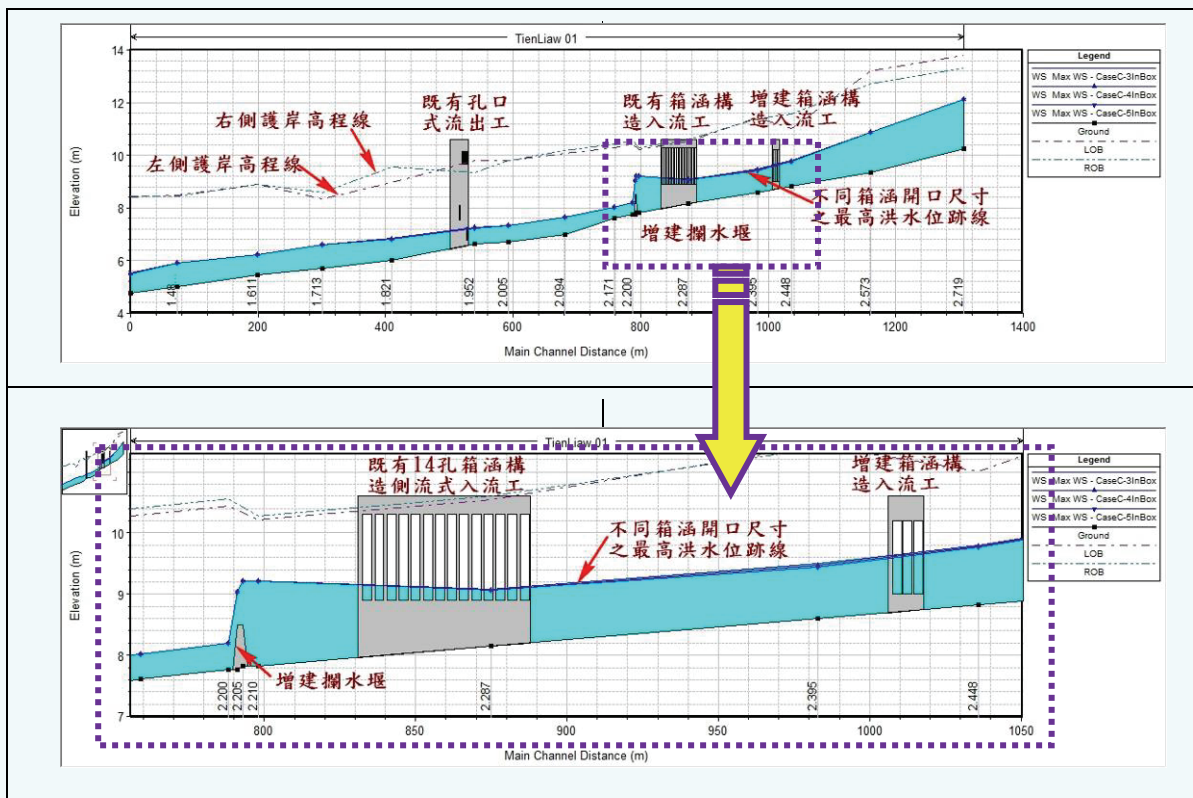
3、增建入流工水理現象探討

為輔助及加強既有入流工引水入滯洪池之功能，另一改善方向為於既有入流工上游里程 2K+430 處增建入流工，配合前鋒子滯洪池未來可於平時供民眾休閒使用計畫，滯洪池池頂道路不宜有中斷處，增建之入流工係採用箱涵構造或埋置混凝土涵管之方式。經比較採用不同箱涵構造或混凝土涵管之水理現象，發現採用箱涵構造較為適當；隨後再進行不同箱涵開口尺寸水理現象之比較。

《經驗交流》

應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹

不同箱涵開口尺寸情境水理分析之最高洪水水位跡線圖如附圖九所示，所分析比較之箱涵尺寸分別為 3 孔箱涵、4 孔箱涵及 5 孔箱涵。由放大圖面於既有箱涵構造側流式入流工處可發現各不同箱涵開口尺寸情境之水位係維持相同，而於增建箱涵構造入流工處則 3 孔箱涵情境之水位略高於 4 孔箱涵及 5 孔箱涵等兩個情境之水位；附表二係不同箱涵開口尺寸情境田厝排水最高洪水水位彙整表，前述水位差異現象亦可由附表二彙整資料發現；另由附表三不同箱涵開口尺寸於滯洪池最高洪水水位彙整表，可發現三個情境滯洪池最高洪水水位並無明顯差異。依據此分析結果，建議增建箱涵構造側流式入流工採用 3 孔箱涵構造，每孔箱涵淨尺寸 3.00M 寬 1.20M 高，箱涵開口底部高程為 EL.9.00M。



附圖九 不同箱涵開口尺寸情境最高洪水水位跡線圖

附表二 不同箱涵開口尺寸情境田厝排水最高洪水位彙整表

斷面樁 里程	最高洪水位(m)		
	增建箱涵尺寸 3孔-3.00M寬1.20M高	增建箱涵尺寸 4孔-3.00M寬1.20M高	增建箱涵尺寸 5孔-3.00M寬1.20M高
2.200	8.20	8.20	8.20
2.205	增建攔水堰		
2.210	9.21	9.21	9.21
2.287	9.08	9.07	9.07
2.300	既有箱涵構造入流工		
2.395	9.50	9.46	9.43
2.430	增建箱涵構造入流工		
2.448	9.80	9.78	9.76

附表三 不同箱涵開口尺寸於滯洪池最高洪水位彙整表

滯洪池最高水位(m)		
增建箱涵尺寸 3孔-3.00M寬1.20M高	增建箱涵尺寸 4孔-3.00M寬1.20M高	增建箱涵尺寸 5孔-3.00M寬1.20M高
8.43	8.44	8.45

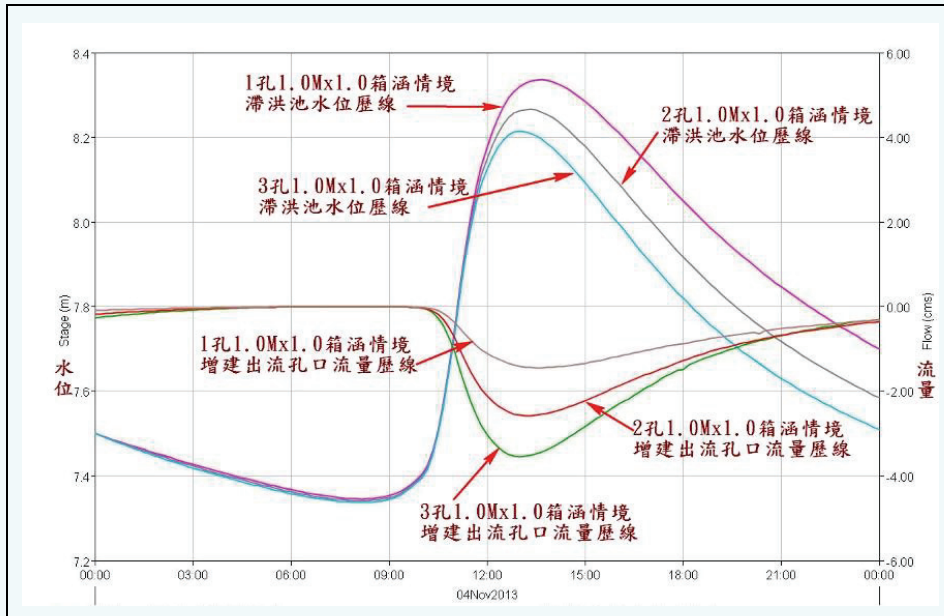
4、增建流出工水理現象探討

為改善既有流出工排水較不順暢現象，並因應近年來氣候變遷所造成的流量增加及洪峰到達時間提前情形，乃增建一出流孔口。此出流孔口應具有迅速將滯洪池蓄水排出，而適當降低滯洪池水位，增加滯洪池可滯洪量。考量維持既有孔口式流出工構造之整體性，增建出流孔口不宜在既有孔口式流出工構造處，其位置擇定於既有孔口式流出工構造之翼牆下游側混凝土坡面工處。

增建出流孔口採箱涵構造將滯洪池蓄水排出至田厝排水，為維持既有蓄洪出流孔之運作功能，增建出流孔口之口底高程應較既有蓄洪出流孔口底高程高，另為了不影響滯洪池滯洪功能且具有迅速降低滯洪池水位，增建出流孔口孔口底部高程亦應較既有滯洪出流孔口底高程低。因此增建出流孔口底部高程設定在 EL.7.35M，而於田厝排水出流孔口尾端孔口底部高程設定在 EL.7.25M；有關增建出流孔口開口尺寸，擇定為 1.0M 寬 x1.0M 高方形開口；經進行 1 孔、2 孔及 3 孔不同孔數箱涵水理現象之比較，擇定為 2 孔 1.0M 寬 x1.0M 高方形開口箱涵。不同箱涵孔數情境滯洪池水位歷線與增建出流孔口流量歷線關係圖如附圖十所示。

《經驗交流》

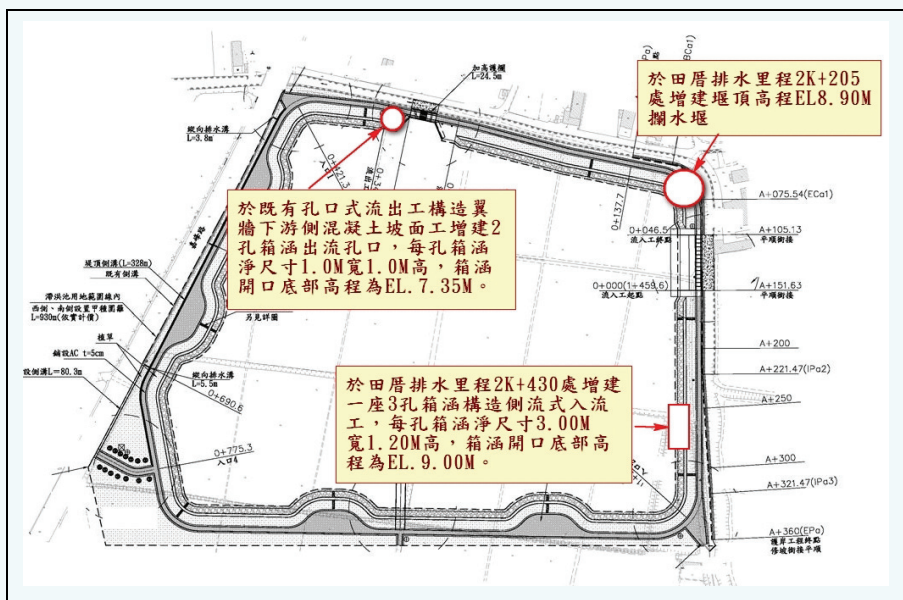
應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹



附圖十 滯洪池水位歷線與增建出流孔口不同孔數箱涵流量歷線關係圖¹

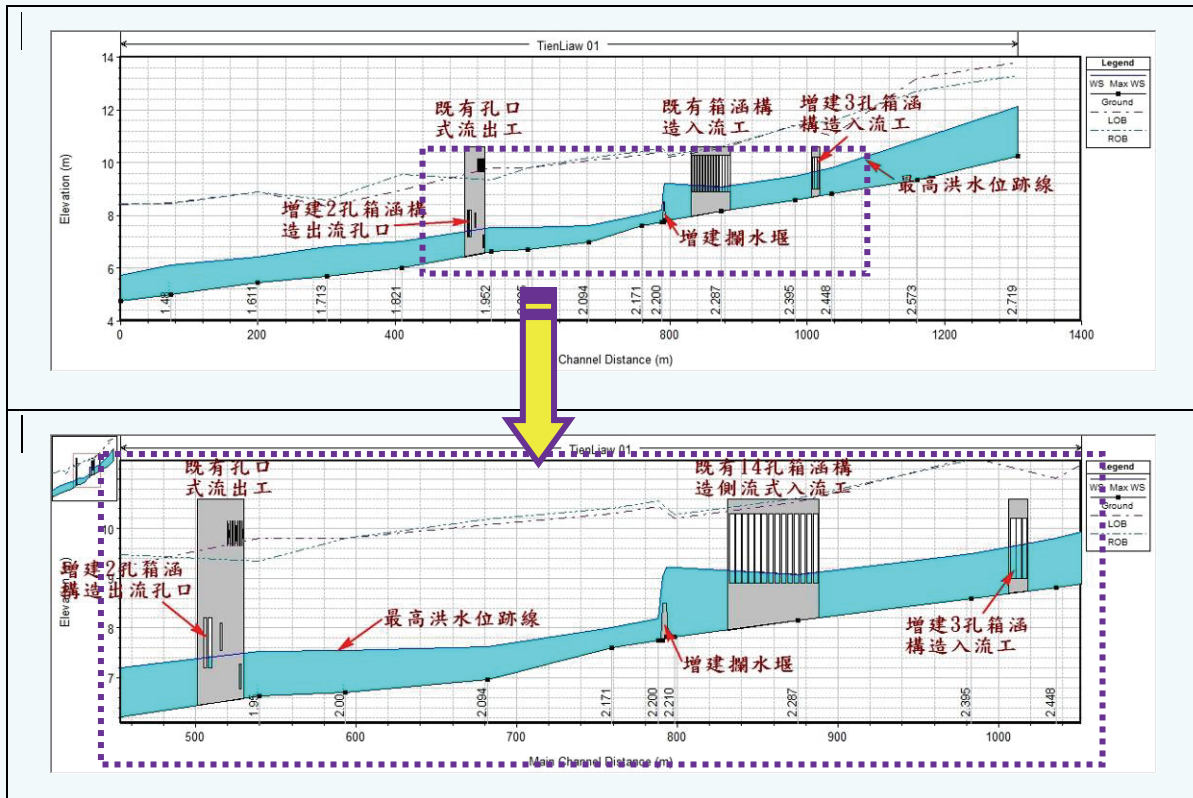
六、 建議改善方案水理現象探討

經由上述之分析成果，前峰子滯洪池工程後續改善工程建議方案為於里程 2K+205 處(位於既有入流工下游)增建一堰頂高程為 EL8.90M 之攔水堰，並於里程 2K+430 處(位於既有入流工上游)增建一 3 孔箱涵構造側流式入流工，每孔箱涵淨尺寸 3.00M 寬 1.20M 高，箱涵開口底部高程為 EL. 9.00M；同時於既有孔口式流出工構造之翼牆下游側混凝土坡面工處增建一 2 孔箱涵出流孔口，每孔箱涵淨尺寸 1.0M 寬 1.0M 高，箱涵開口底部高程為 EL. 7.35，建議改善方案配置見附圖十一，建議改善方案水理分析之最高洪水水位跡線圖如附圖十二所示。



附圖十一 建議改善方案配置圖

《經驗交流》
應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹

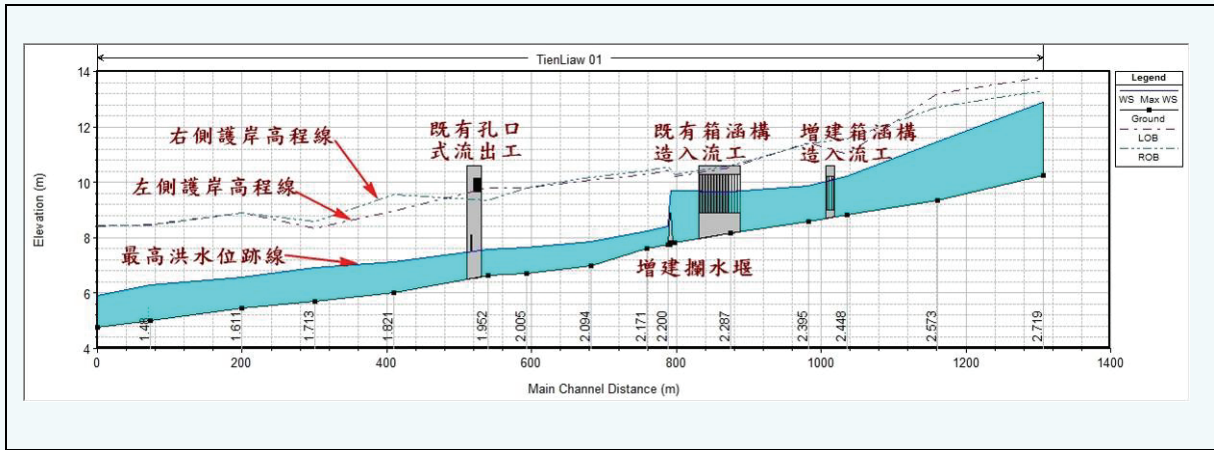


附圖十二 建議改善方案最高洪水水位跡線圖

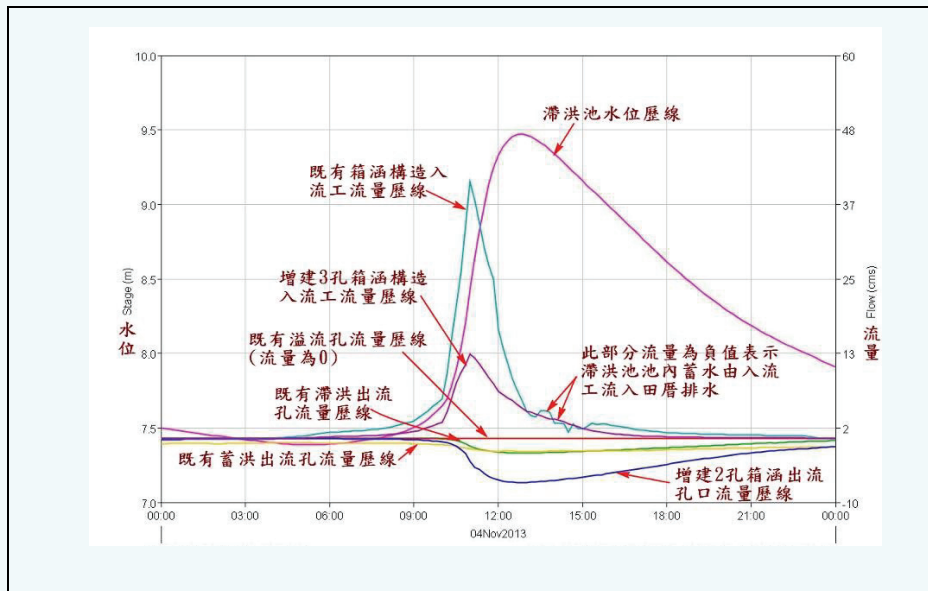
另為檢視建議改善方案於 10 年重現期洪峰流量 $Q_p=58\text{CMS}$ 時之水理現象，本案亦進行對應之模擬分析。附圖十三為建議改善方案於 $Q_p=58\text{CMS}$ 時田厝排水之最高洪水水位跡線圖，附圖十四為建議改善方案於 $Q_p=58\text{CMS}$ 時滯洪池之水位歷線與入流工、流出工之流量歷線關係圖；由附圖十三可發現建議改善方案於 10 年重現期洪峰流量 $Q_p=58\text{CMS}$ 時並無溢堤現象發生，而由附圖十四可發現滯洪池於 $Q_p=58\text{CMS}$ 時其最高水位仍低於滯洪池池頂高程 EL.10.60M，另由入流工、流出工之流量歷線可發現滯洪池最高水位時，滯洪池蓄水除由孔口式流出工流入田厝排水，因其排水能力有限，部分滯洪池蓄水係經藉由既有及增建之箱涵入流工流入田厝排水，而此現象並未造成田厝排水溢堤，另由增建 2 孔箱涵出流孔口之流量歷線可看到其有效地發揮降低滯洪池水位，增加滯洪池可滯洪量之功能。

《經驗交流》

應用 HEC-RAS 模式研討滯洪池滯洪能力案例介紹



附圖十三 建議改善方案於 $Q_p=58\text{CMS}$ 時最高洪水水位跡線圖



附圖十四 建議改善方案於 $Q_p=58\text{CMS}$ 時滯洪池之水位歷線與入流工、流出工之流量歷線關係圖¹

投稿 104.03.30
校稿 104.04.01
定稿 104.04.13