



曾文南化聯通管工程設計及施工諮詢

曾文水庫永久河道放水道 操作風速改善策略報告

(定稿本)



委託機關：經濟部水利署南區水資源局

執行機關：巨廷工程顧問股份有限公司

中華民國108年10月

曾文南化聯通管工程設計及施工諮詢 曾文水庫永久河道放水道操作風速改善策略報告(定稿本) 巨廷工程顧問股份有限公司

目 錄

目 錄.....	I
表 目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
第一章 前言.....	1 - 1
1.1 計畫緣起及目的.....	1 - 1
1.2 工作項目及內容.....	1 - 2
第二章 基本資料蒐集與分析.....	2 - 1
2.1 曾文水庫 PRO 相關構造物.....	2 - 1
2.2 曾文水庫防洪及排砂操作機制.....	2-12
2.3 曾文水庫 PRO 運轉時風速資料分析.....	2-16
2.4 通氣隧道風速現況模擬分析.....	2-21
第三章 PRO 防淤運轉降低隧道風速之策略.....	3 - 1
3.1 PRO 防淤運轉所需通氣斷面積評估.....	3 - 1
3.2 改善方案研擬.....	3 - 4
3.3 工程費估算.....	3-14
3.4 方案評估與初步建議.....	3-19
第四章 結論與建議.....	4 - 1
參考文獻.....	參-1
附錄一 ANSYS CFX 理論與應用.....	附1-1
附錄二 歷次審查意見及辦理情形.....	附2-1
附錄三 曾文水庫運用要點.....	附3-1
附錄四 曾文水庫水門操作規定.....	附4-1
附錄五 PRO 之流量率定曲線.....	附5-1

表目錄

表2.3-1	Beaufort 風級分類	2-17
表3.3-1	方案一豎井工程經費估算表(1/2).....	3-14
表3.3-1	方案一豎井工程經費估算表(2/2).....	3-15
表3.3-2	方案二豎井-隧道-豎井複合式工程經費估算表(1/2).....	3-16
表3.3-2	方案二豎井-隧道-豎井複合式工程經費估算表(2/2).....	3-17
表3.3-3	方案三通氣隧道擴挖工程經費估算表	3-18
表3.4-1	PRO 通氣各改善方案綜合評估	3-21

圖目錄

圖2.1-1	曾文水庫 PRO 整體平面布置圖	2 - 4
圖2.1-2	PRO 維護隧道及通氣隧道現況照片	2 - 5
圖2.1-3	永久河道放水道(PRO)消能工加強工程範圍圖	2 - 5
圖2.1-4	永久河道放水道(PRO)消能工加強工程平縱斷面圖	2 - 6
圖2.1-5	PRO 通氣隧道平縱斷面圖	2 - 7
圖2.1-6	PRO 通氣隧道標準斷面圖(一)	2 - 8
圖2.1-7	PRO 通氣隧道標準斷面圖(二)	2 - 9
圖2.1-8	電廠水路佈置圖	2-10
圖2.1-9	曾文防淤隧道工程布置圖	2-11
圖2.3-1	PRO 進出通道及通氣隧道平面圖	2-18
圖2.3-2	補氣量風速記錄表	2-19
圖2.3-3	PRO 放流量與施工維護道路補氣量關係圖	2-20
圖2.4-1	三維數值模擬模型及邊界條件示意圖	2-22
圖2.4-2	三維數值模擬網格圖	2-22
圖2.4-3	#1導水隧道水面速度分布圖	2-23
圖2.4-4	#1導水隧道水流速度剖面分布圖	2-24
圖2.4-5	Case1模擬範圍空氣剖面分布圖	2-24
圖2.4-6	Case2模擬範圍空氣剖面分布圖	2-25
圖2.4-7	#2導水隧道進入通氣隧道空氣剖面速度分布圖	2-26
圖2.4-8	施工維護隧道進入#2導水隧道空氣剖面速度分布圖	2-26
圖3.1-1	PRO 補氣路徑示意圖	3 - 1
圖3.1-2	A1標#2導水隧道出口佈置圖	3 - 2
圖3.1-3	A1標#2導水隧道出口防洪牆加高詳圖	3 - 3
圖3.2-1	PRO 改善通氣方案平剖面圖	3 - 6
圖3.2-2	PRO 通氣改善方案縱斷面圖	3 - 7
圖3.2-3	豎井斷面標準圖	3 - 7
圖3.2-4	豎井方案施工道路平面圖	3 - 8

圖3.2-5	豎井方案施工道路縱斷面圖	3 - 9
圖3.2-6	水平隧道斷面圖	3-10
圖3.2-7	既有施工通氣隧道與鄰近隧道透視圖	3-11
圖3.2-8	PRO 通氣隧道擴挖方案布置圖	3-12
圖3.2-9	電廠水道斷面圖	3-13
圖3.2-10	方案三：PRO 通氣斷面標準圖	3-13

第一章 前言

1.1 計畫緣起及目的

台灣南部區域降雨豐枯達9：1，枯水季長(10月至隔年5月)，近年極端氣候旱澇兩極及用水成長等情境下，既有供水設施及調度系統已無法滿足跨區調度支援需求，相較台灣其他區域，南部區域整體缺水風險較高，而完備彈性的水源調度與管理機制，為降低缺水風險必要方法之一。

台南及高雄供水系統係屬整體聯合調度區，其中曾文水庫與南化水庫肩負此調度區供水穩定之關鍵重責；為盡早積極進行水資源風險管理，行政院於107年6月11日院臺經字第1070020685號函核定「曾文南化聯通管工程計畫」(以下簡稱本計畫)，使曾文水庫、南化水庫及高屏攔河堰之水源能串連，健全南部地區供水備援系統，並作為曾文水庫水源的另一緊急供水通道；本計畫完成後除可因應氣候變遷所帶來穩定供水挑戰，另盡早健全此區域整體供水調度備援彈性，以提升調適缺水風險的能力，減輕因枯旱或緊急事件導致缺水所帶來之民生經濟巨大損失。

「曾文南化聯通管工程計畫」期程自108年起至113年止，總經費以120億元為上限，主管段及平壓管段(南化高屏聯通管約於台三線里程382.2K至鏡面水庫之管段)由經濟部水利署南區水資源局(以下簡稱南水局)主辦，而本聯通管南化區四埔(約於台3線里程378.7K處)銜接至南化淨水場之分管段設計及施工，則由台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)南區工程處主辦。南水局主辦部分共分為A1、A2及A3等3標統包方式辦理採購，為使統包工程能如期順利推動，爰提出「曾文南化聯通管工程設計及施工諮詢」(以下簡稱本案)，其中A1標範圍另包括曾文水庫永久河道放水道操作風速過高之改善工程。

為利於A1標項下曾文水庫永久河道放水道操作風速過高改善工程能符合計畫需求，爰依契約規定提出「曾文水庫永久河道放水道操作風速改善策略報告」。

1.2 工作項目及內容

曾文水庫永久河道放水道操作時有風速過高情形，依本案契約規定需於議價完成日後60日內，提出曾文水庫永久河道放水道操作風速過高改善策略，經南水局同意後列入 A1標機關需求書，為 A1標統包工程之工作項目。

第二章 基本資料蒐集與分析

2.1 曾文水庫 PRO 相關構造物

曾文水庫為增進防淤功能，決定將原有二座 PRO(永久河道放水道)之何本閘改為全水流斷面的射流閘門，連帶的也配合新設閘門更改下游消能工。該工程為施工需求興建有#1施工維護隧道(施工維護隧道)及#2施工維護隧道(PRO 操作維護隧道)，分別為大壩下方廠區與#2導水隧道及 PRO 操作維護隧道與改建閘室的聯絡通道；此外，於 PRO 操作維護隧道的下游側亦興建通氣隧道，三條隧道皆為5m(W)×5m(H)的門型隧道，斷面積22.3m²。曾文水庫 PRO 消能工相關構造物包括 PRO 消能工、電廠及防淤隧道，其整體平面佈置如圖2.1-1，PRO 維護隧道及通氣隧道之現況照片整理如圖2.1-2所示，茲分別說明如下。

一、導水隧道

曾文水庫於施工期間設置兩座導水隧道，分別為#1及#2導水隧道。#1導水隧道直徑12m，設計流量2,230cms，進口仰拱高程 EL.110.60m，出口仰拱高程 EL.99.00m，總長度為1,250.57m，自封堵段下游端(仰拱高程 EL.110.34m)至出口的長度為987.70m；#2導水隧道直徑12m，設計流量2,200cms，進口仰拱高程 EL.111.60m，出口仰拱高程 EL.109.50m，總長度為1,083.48m，自封堵段下游端(仰拱高程 EL.111.02m)至出口的長度為766.16m，另#2導水隧道出口設有消能設施。

二、PRO 消能工

曾文 PRO 消能工於民國104年3月改建完成，其佈置如圖2.1-3及圖2.1-4所示，水流由圖2.1-4左側輸水管經閘門控制射入消能室，消能後流入#1導水隧道下游段入曾文溪，射流閘門中心線高程為 EL.115.763m，由圖2.1-4之縱斷面可見消能室全長52.55m(7.22+3.45+41.88)，其底板上設有二道尾檻，第一道尾檻位於閘門出口下游31.32m(7.22+3.45+20.65)處，該尾檻頂部高程 EL.115.83m(高度5m)，第二道檻則位於第一道檻下游11.48m(高度

3.0m)，消能室頂部高程由上游端 EL.136.71m，長20.0m，經斜20.26m坡段降至 EL.127.32m 下游銜接於原#1導水隧道之頂部高程為 EL.121.18m。圖2.1-4亦可見與閘室相連的通氣隧道出口，其底部高程為 EL.128.0m。PRO 防淤運轉主要通風路徑係由施工維護隧道至#2導水隧道，再分由通氣隧道(大部分)與 PRO 操作隧道(小部分)進行補氣，通氣隧道之平縱斷面圖及標準斷面圖詳圖2.1-5~2.1-7。

三、電廠

曾文水庫之發電廠為地下式，發電設備、導水隧道及進水道工程都建於左岸山腹中，輸電設施設在大壩下游面之下，有通達隧道可進出電廠。電廠水輪機為豎軸法蘭西式，設計水頭101m，額定流量56cms，額定出力為70,000馬力。

如圖2.1-8，電廠進水道全長289m，其中6m 為喇叭型入口，283m 為內徑3.8m 之壓力鋼管。進水道之進水口中心標高為165m。電廠尾水道之前142m 段為寬6m、高4.5m 之修正馬蹄型隧道，後段則利用一號導水隧道之下游段，長約730m，尾水道與一號導水隧道銜接。

四、防淤隧道

防淤隧道工程進水口位於大壩左壩座，於曾文溪#1導水隧道下游出水，全長1,237.69m，工程佈置如圖2.1-9所示。主要工程內容包括如下：

(一)象鼻引水鋼管段

本結構由管中心高程 EL.195.00m 往下延邊坡鋪設鋼管，至進水口管中心高程 EL.175.00m。

本段自 Sta.0k-146.37~Sta.0k-089.35，鋼管內徑10.00m，含前端之抗渦出挑鋼罩5.0m 長，則水平投影長約57m，水路長約60m。

(二)進水口隧道段

本段銜接象鼻引水鋼管及擋水豎井，全長58.2m。

1.Sta.0k-089.35~Sta.0k-045.69：排砂道 ϕ 10.00m，漸變為10.00m(W)×10.00m(H)矩型隧道，仰拱高程 EL.190.00m。

2.Sta.0k-045.69~Sta.0k-031.15：10.00m(W)×10.00m(H)矩形隧道，
漸變為6.80m(W)×8.22m(H)矩形隧道，仰拱高程 EL.190.00m。

(三) 閘門豎井段

本段設置緊急/維護閘門及操作閘門，全長31.15m。

Sta.0k-031.15~Sta.0k-000.00：6.80m(W)×8.22m(H)矩形隧道
漸變為6.80m(W) ×6.80m(H)矩形隧道，上半部為內徑10.0m 擋水
豎井，排砂道仰拱高程 EL.190.00m。

(四) 隧道段

本段全長862.82m，各里程如下：

- 1.Sta.0k+000~Sta.0k+020.00：8.00m(W)×10.00m(H)矩形隧道，
漸變為下半部6.00m 高，上半部 R=4.00m 之門型隧道，坡度
10.00%。
- 2.Sta.0k+020.00~0k+100.00：下半部 6.00m 高，上半部
R=4.00m 之門型隧道，坡度10.00%。
- 3.Sta.0k+100.00~0k+120.00：由門型隧道漸變為外三心圓隧道
φ9.00m，坡度10.00%。
- 4.Sta.0k+120.00~0k+220.00：外三心圓隧道 φ=9.00m，坡度
8.00%。
- 5.Sta.0k+220.00~0k+832.82：外三心圓隧道 φ=9.00m，坡度
5.317%。
- 6.Sta.0k+832.82~0k+860.82：外三心圓隧道 φ=9.00m 漸變為
12.00m(W)×9.24m(H)門型隧道，再漸變為15.00m(W)×9.91m(H)
門型隧道，坡度5.317%，隧道仰拱高程 EL.133.41m。

(五) 消能池及出水口段

- 1.Sta.0k+860.82~Sta.1k+091.32：為有效消能，自隧道末端設置
投潭消能池，長147.31m，淨寬18.0m，池底高程 EL.94m，堰
頂高程 EL.110m；為與曾文溪銜接，布置兩階跌水工，第一階
跌水工池底高程 EL.102m，堰頂高程 EL.108m，第二階跌水工
池底高程 EL.98m，堰頂高程 EL.103.5m。

2. 考量隧道結構安全，原淨寬18m 之隧道於第一座溢流堰後分為2孔寬10m 之隧道出洞。
3. 出水口段末端(Sta.1k+067.18)寬度往下游漸擴至為38.96 m，降低單寬流量，出口溢流堰底並設置 $\phi=1.5$ m，L=10 m 之排樁，溢流堰下游20m 範圍內拋放混凝土塊及塊石作為河床及基腳保護工。

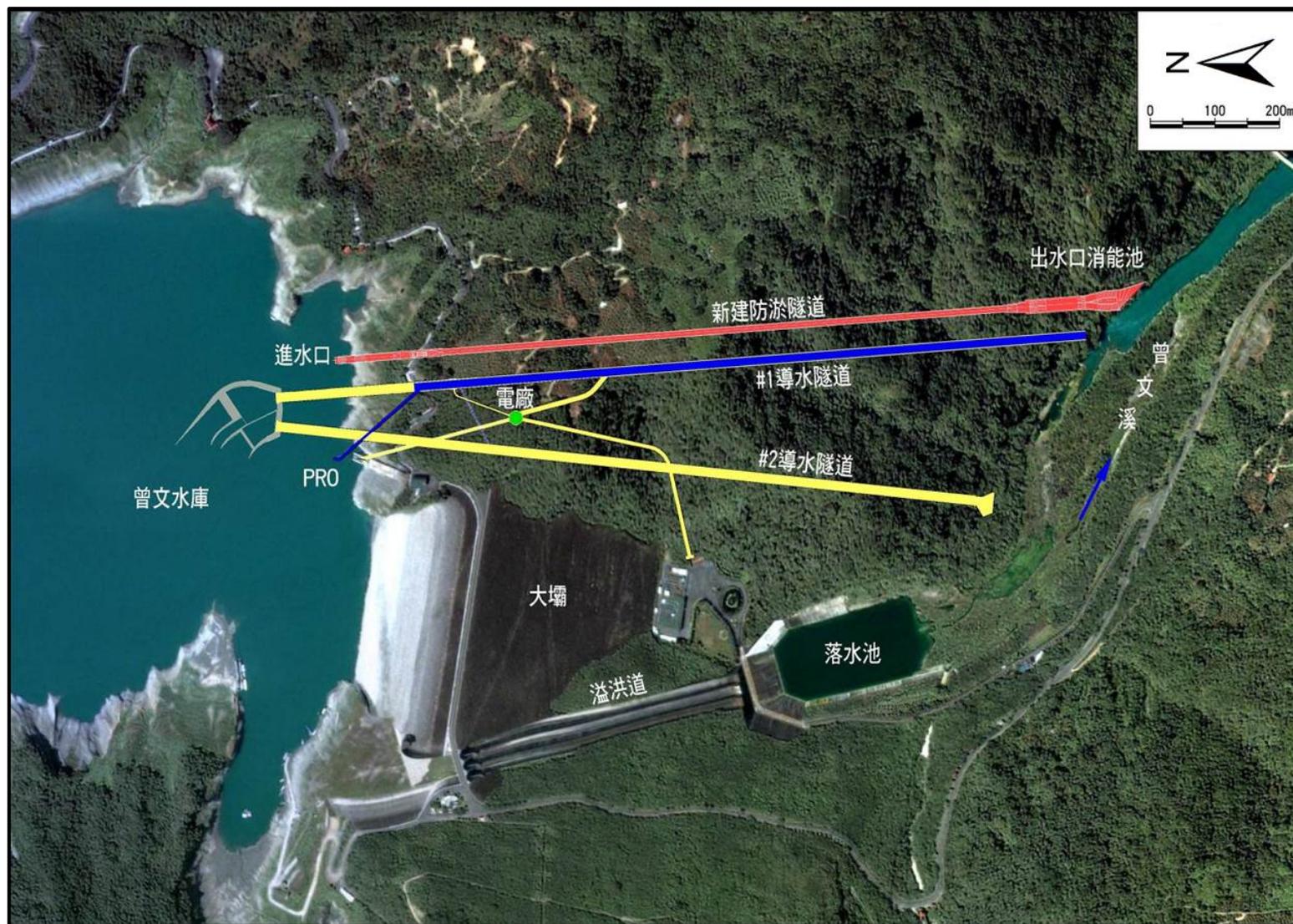


圖2.1-1 曾文水庫 PRO 整體平面布置圖

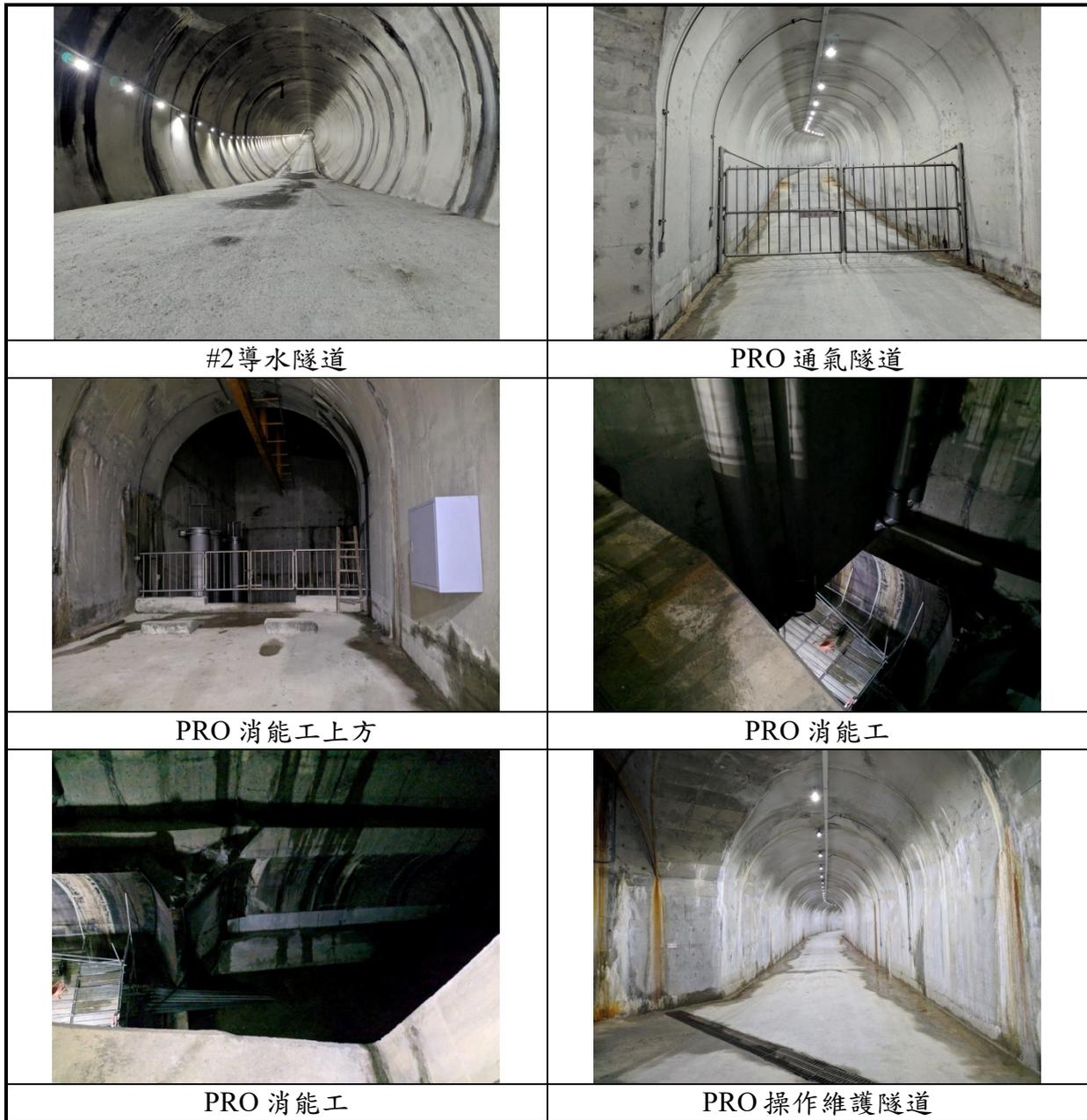


圖2.1-2 PRO維護隧道及通氣隧道現況照片

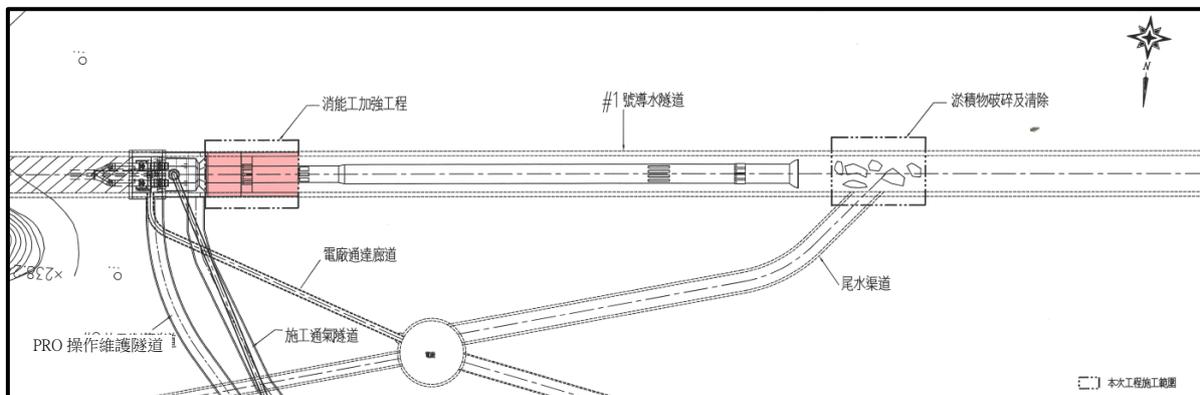


圖2.1-3 永久河道放水道(PRO)消能工加強工程範圍圖

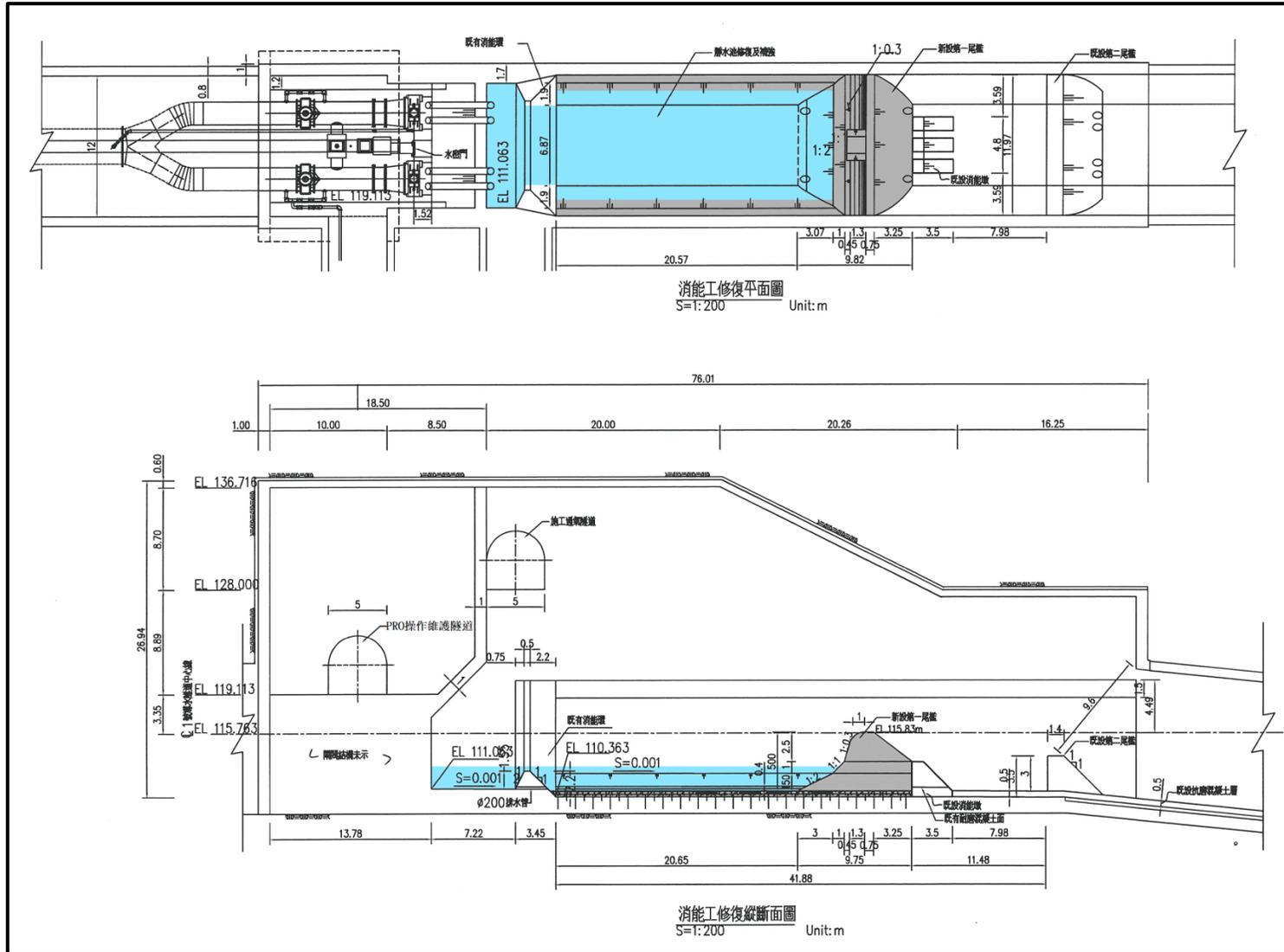


圖2.1-4 永久河道放水道(PRO)消能工加強工程平縱斷面圖

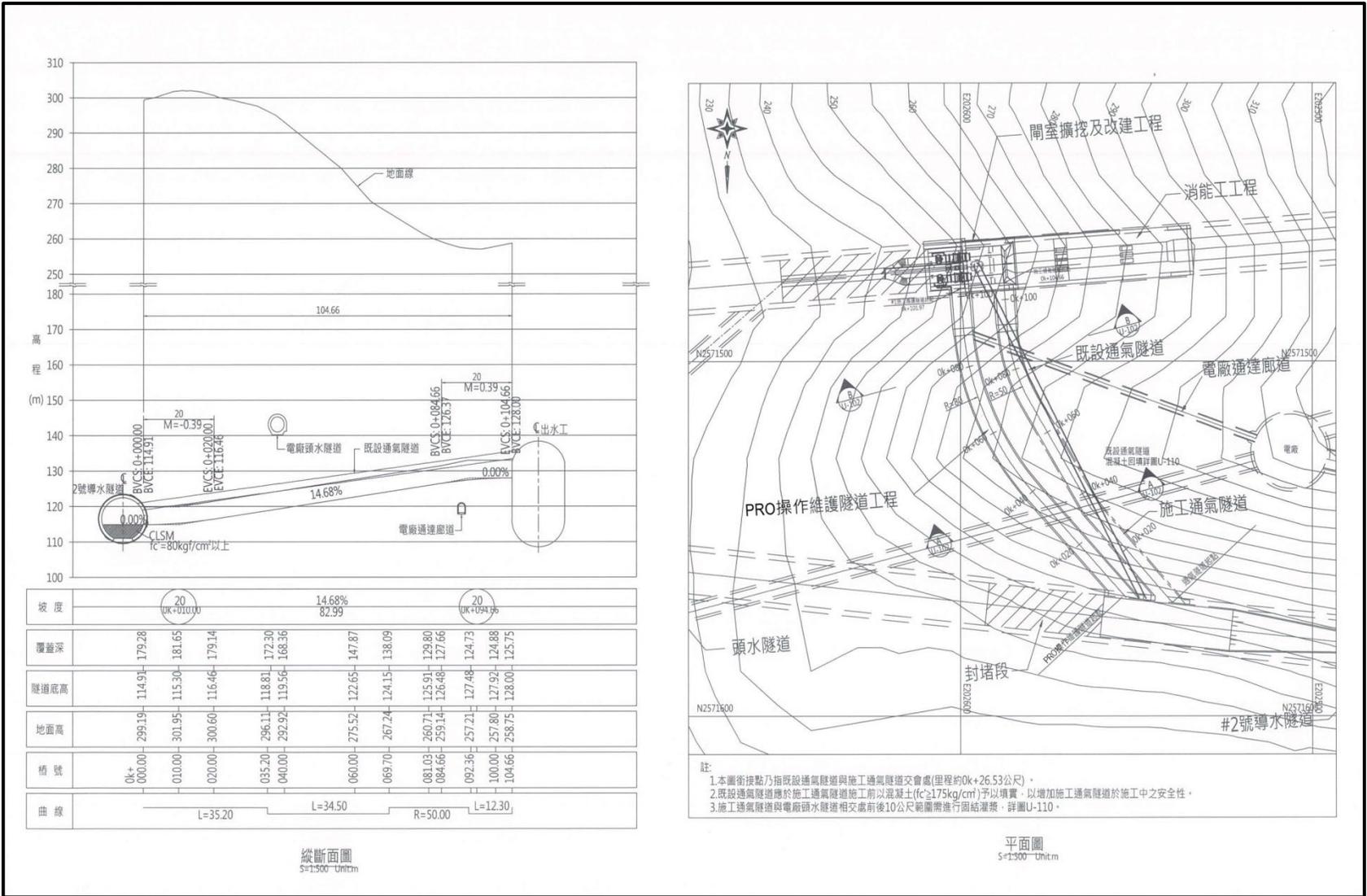


圖2.1-5 PRO 通氣隧道平縱斷面圖

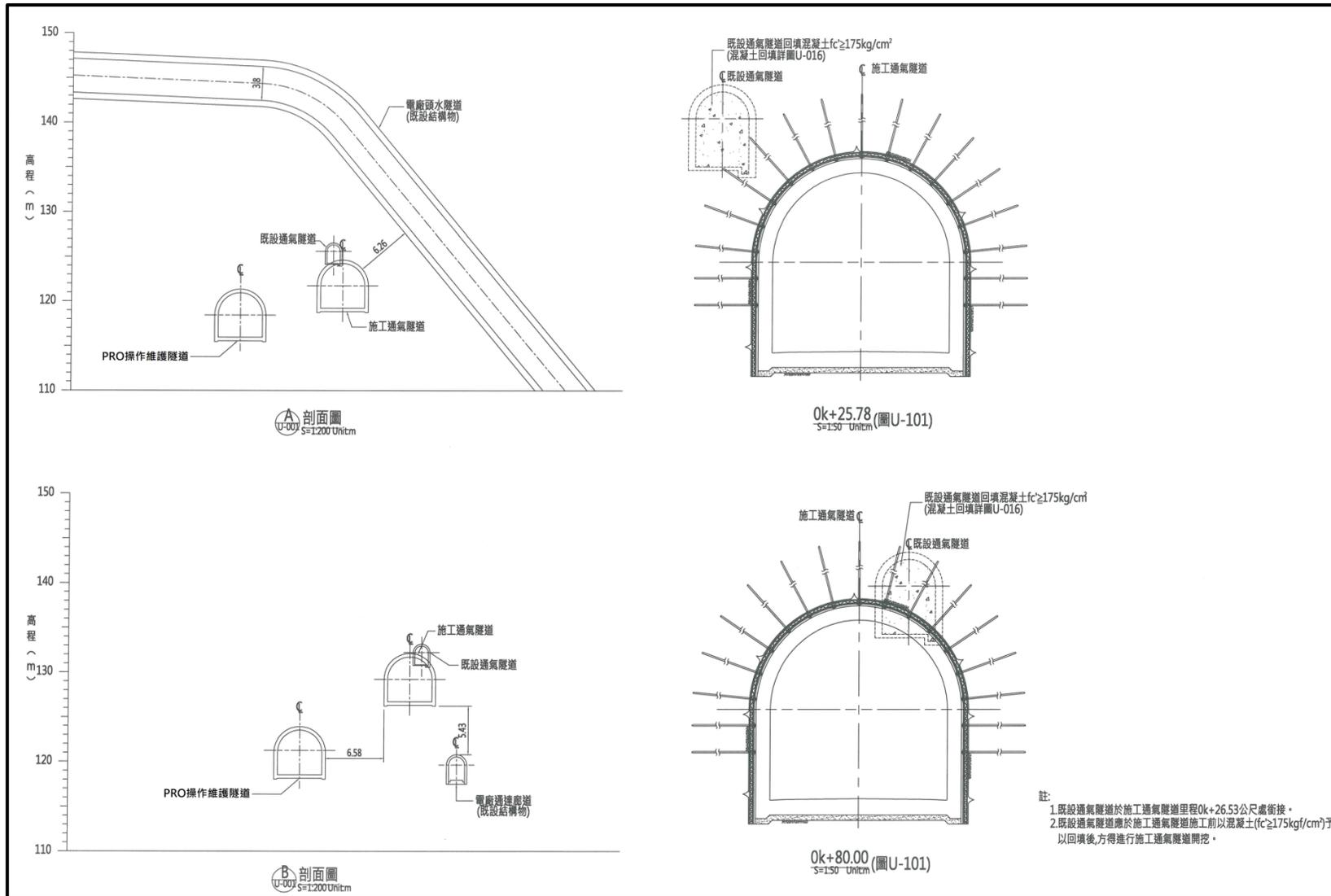


圖2.1-6 PRO通氣隧道標準斷面圖(一)

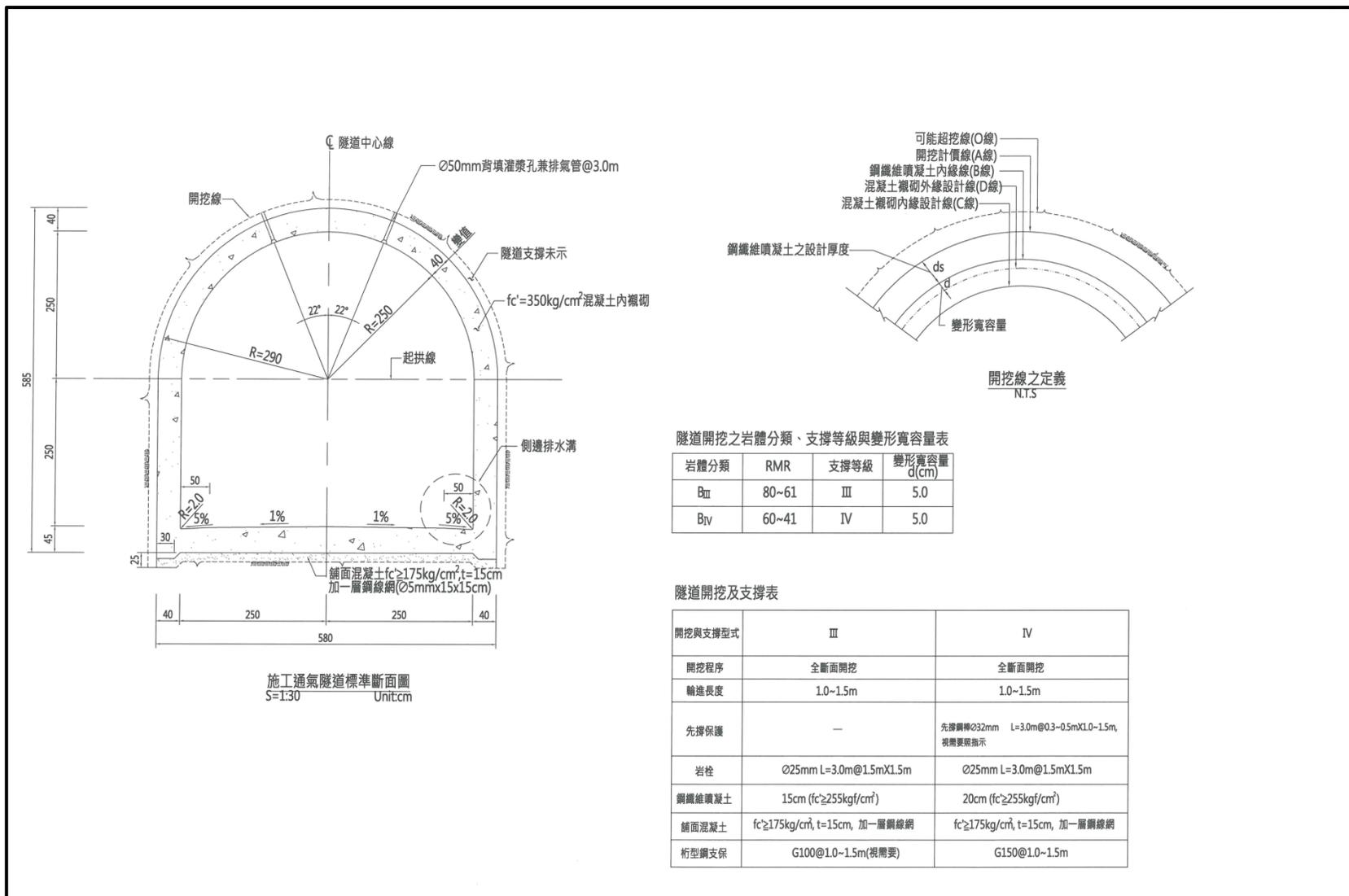
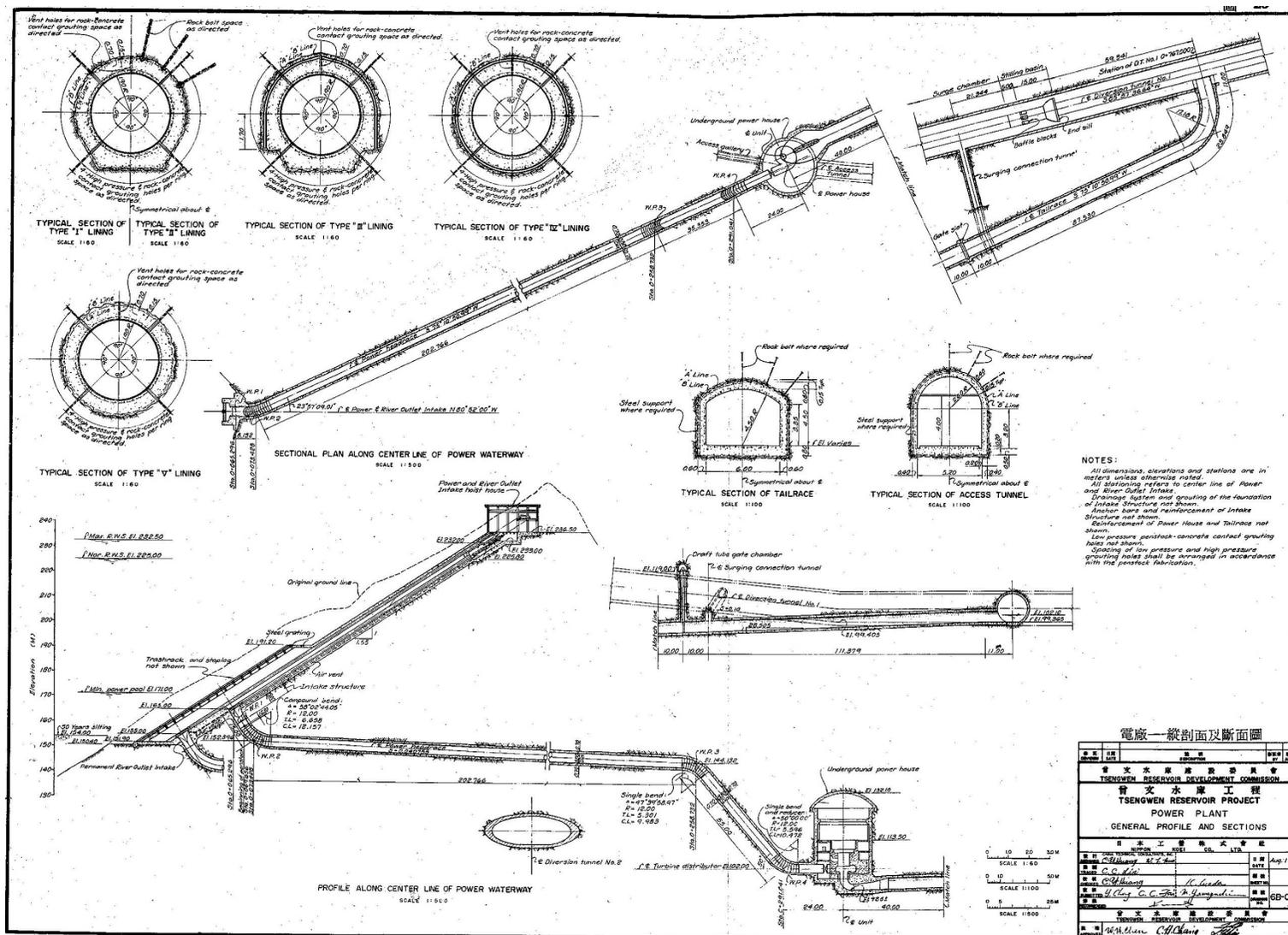


圖2.1-7 PRO 通氣隧道標準斷面圖(二)



電廠一般剖面及斷面圖

圖名	圖號	比例
電廠一般剖面及斷面圖	BB-C-1	1:500
曾文水庫開發委員會 TSENGWEN RESERVOIR DEVELOPMENT COMMISSION		
曾文水庫工程 TSENGWEN RESERVOIR PROJECT		
POWER PLANT		
GENERAL PROFILE AND SECTIONS		
設計	校核	繪圖
陳文雄	林文雄	林文雄
日期	日期	日期
82.7.27	82.7.27	82.7.27
監工	監工	監工
陳文雄	陳文雄	陳文雄
日期	日期	日期
82.7.27	82.7.27	82.7.27
監工	監工	監工
陳文雄	陳文雄	陳文雄
日期	日期	日期
82.7.27	82.7.27	82.7.27

圖2.1-8 電廠水路佈置圖

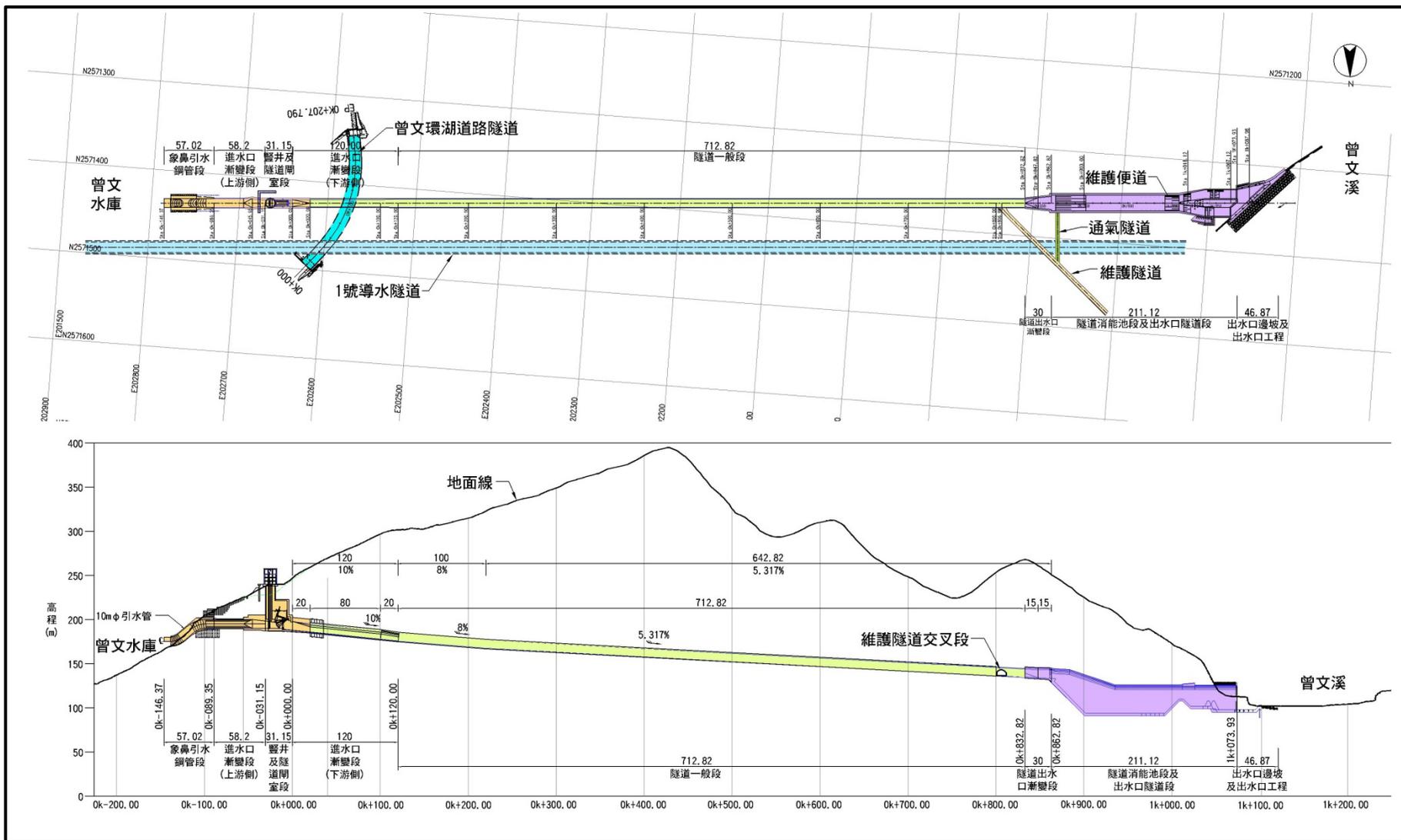


圖2.1-9 曾文防淤隧道工程布置圖

2.2 曾文水庫防洪及排砂操作機制

為有效達成曾文水庫防洪運轉及緊急運轉之目標，經濟部特訂定「曾文水庫運用要點」及「曾文水庫水門操作規定」，茲分別針對防洪與緊急運轉之規定說明如下：

一、曾文水庫運用要點

(一) 防洪運轉

1. 本水庫防洪運轉依下列規定執行：
 - (1) 當本水庫於颱風、豪雨、超大豪雨情況或蓄水量超過運用規線上限時，為增加本水庫滯洪容積，得執行調節性放水，唯其放水流量小於二千二百五十秒立方公尺。
 - (2) 超大豪雨情況時，水庫水位超過標高二百二十三公尺，或水庫水位及進水流量達到附表二(詳附錄三)之條件，得開始防洪運轉。
 - (3) 未達超大豪雨情況時，水庫水位超過標高二百二十六公尺，或水庫水位及進水流量達到附表三(詳附錄三)之條件，得開始防洪運轉。
2. 防洪運轉在洪峰通過前，放水流量超過二千二百五十秒立方公尺時，放水流量之增加率應小於水庫進水流量之最高增加率，放水流量應小於最大進水流量。水庫水位及進水流量達到附表四(詳附錄三)之設計洪水情況時，得依本要點及水門操作規定允許之最大流量放水。
3. 防洪運轉在洪峰通過後，當水庫進水流量小於已發生洪峰流量之八成流量，放水流量不得大於進水流量之洪峰流量。
4. 本水庫有下列情事之一時，得停止防洪運轉：
 - (1) 依第十六點第二款規定開始之運轉，水庫水位未超過標高二百二十三公尺，且水庫水位及進水流量低於附表二(詳附錄三)之條件。

(2)依第十六點第三款規定開始之運轉，水庫水位未超過標高二百二十六公尺，且水庫水位及進水流量低於附表三(詳附錄三)之條件。

洪峰通過後，得適時調整水庫放水量以增加攔蓄水庫進水流量，以利後續蓄水利用與防淤操作。

5.南水局執行調節性放水或防洪運轉時，應於放水開始二小時前，廣播放水警報，並以電話及傳真通報本部水利署、本部水利署第六河川局、臺南市政府、臺南市政府消防局、臺南市政府警察局及水利會，迅速轉知下游居民遠離河川區域，以策安全。

6.執行調節性放水或防洪運轉之第一小時放水流量以小於一百五十秒立方公尺為原則，以示警告。

若玉井中正橋水位高於該橋在集水區降雨發生前之水位三·五公尺，或走馬瀨橋水位高於該橋在集水區降雨發生前之水位三·五公尺，得免除執行警告性放水。

7.防洪運轉時，放水流量達五千五百秒立方公尺時，曾文發電廠應停止發電。

8.為排除進水口附近淤砂或增加排除洪水來砂，得使用永久河道放水道、防淤隧道放水。

(二)緊急運轉

1.本水庫發生可能危及壩體安全之緊急情況，應實施緊急運轉。

2.緊急運轉時，放水量視緊急情況而定，在不危及壩體安全範圍內，得實施調節性放水，有潰壩之虞者，放水流量得超過二千二百五十秒立方公尺。

3.本水庫有潰壩之虞時，應立即發布警報與洩洪。

4.本水庫於實施緊急運轉後，應將緊急應變處理經過，陳報本部水利署轉本部備查

二、曾文水庫水門操作規定

(一)本水庫位於嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游，由本部水利署南區水資

源局負責操作維護管理。

(二)本水庫主要設施及相關水門如下：

1.防淤隧道：閘門控制式，進口中心標高一百七十五公尺，設控制閘門及維修閘門各一座。控制閘門為弧形閘門，寬六·八公尺、高六·八公尺；維修閘門為直立式閘門，寬六·八公尺、高七·七公尺。最低運轉水位為標高二百零二·五公尺。最大放水流量為一千零七十秒立方公尺。

2.取出水工：

(1)取水塔：斜依式取水塔，位於大壩左岸，後接發電放水路及永久河道放水道。

A.發電放水路取水閘門：寬三·二公尺、高五·〇公尺固定輪閘門一座，進口中心標高一百六十五公尺。

B.永久河道放水道取水閘門：寬三·二公尺、高六·二公尺固定輪閘門一座，進口中心標高一百五十五公尺。

(2)發電放水路：出口設垂直滑動閘門一座，寬六·〇公尺、高四·五公尺，進口中心標高一百六十五公尺，設計流量五十六秒立方公尺。

(3)永久河道放水道：出口設射流閘門及環滑閘門各二組，閘門直徑一·九五公尺，進口中心標高一百五十五公尺。最大放水流量為一百八十秒立方公尺。

3.發電廠：裝機容量五萬瓩，經由發電放水路供水發電，最低發電水位標高一百七十一公尺。

(三)防淤隧道閘門操作規定如下：

1.控制閘門：平時全閉，配合水庫防洪運轉、調節性放水或排除泥砂時開啟。

2.維修閘門：平時全開，於控制閘門需要檢修維護時關閉之。

3.控制閘門開度與流量關係曲線如附圖二。

4.閘門開度每小時得調整一次，緊急運轉時不受此限。

(四)取出水工閘門操作規定：

1.取水塔閘門：

(1)發電放水路取水閘門：平時開啟，於壓力鋼管、水輪機受損或壓力鋼管及發電機組檢修維護時全閉。

(2)永久河道放水道取水閘門：平時開啟，於永久河道放水道或出口射流閘門及環滑閘門檢修維護時全閉。

2.發電放水路尾水閘門：平時開啟，於發電機組檢修維護時全閉。

3.永久河道放水道放水閘門：

(1)射流閘門：為控制閘門，平時全閉，於發電機組檢修維護、水庫水位低於標高一百七十一公尺無法發電放水、配合水庫防洪運轉、調節性放水或排除泥砂時開啟。開啟時可單閘操作或雙閘同步操作。射流閘門開度與流量關係曲線如附圖三及附圖四。

(2)環滑閘門：為維修閘門，平時全開，於射流閘門需要檢修維護時關閉之。

(五)各水門操作方式如下：

1.溢洪道閘門：以現場電動操作為原則，並得以大壩閘控室遙控電動操作。

2.防淤隧道閘門：以現場電動操作為主，以遙控電動操作為輔。

3.取出水工閘門。

(1)發電進水口閘門：平時以遙控電動操作，檢修設備或測試時改為現場電動操作。

(2)永久河道放水道進水口閘門：現場電動操作。

(3)發電尾水閘門：現場電動操作。

(4)永久河道放水道出口射流閘門及環滑閘門：現場電動操作。

(六)放水警報之配合操作規定如下：

1.執行調節性放水或防洪運轉，經溢洪道、防淤隧道或取出水工放水至下游時，於預定放水前二小時，應對下游發布放水警報至開始放水後三十分鐘止，並依本水庫運用要點規定通知或通報相關單位。

2.曾文發電廠開始取水發電或開啟防淤隧道閘門、永久河道放水

道射流閘門前一小時，由曾文發電廠實施放水廣播。

3. 開啟溢洪道閘門、防淤隧道閘門、永久河道放水道射流閘門及曾文發電廠實施發電放水後，閘門開度之調整或增減放流量時，不再發布警報、廣播、通知或通報。

- (七)本水庫各水門操作情形應確實記錄。
- (八)本水庫各水門檢查及維護，應確實依照規定辦理。
- (九)本水庫運轉操作中，如遇緊急事故或異常狀況時，應採取必要之應變措施，事後應陳報本部水利署備查。

2.3 曾文水庫 PRO 運轉時風速資料分析

為了解 PRO 運轉時通氣隧道與施工維護隧道補氣流速，於通氣隧道及施工維護隧道各設置一處觀測點，監測位置如圖2.3-1，另補氣風速資料則如圖2.3-2所示，當二座射流閘門開度同為32%(流量共50cms)時，施工維護隧道入口與通氣隧道入口最高補氣風速分別為29.2及26km/hr，當 PRO 流量達100cms 時，則風速分別為82.2及72km/hr，當閘門全開，PRO 流量達167cms 時最高補氣風速分別達118.7及78km/hr，各組風速資料都顯示施工維護隧道之補氣量較通氣隧道高，且在閘門全開情況前者最大風速約為後者的1.5倍，故判斷此差異可能源自於 PRO 操作維護隧道提供部份通氣量，通氣速度約40km/hr(118.7-78)是在可接受範圍。另 PRO 操作時亦有注意到#2導水隧道風速，惟因該隧道斷面積大，風速有限，沒列入記錄。

施工維護隧道及通氣隧道斷面積同為 22.3m^2 ，若以風速118.7km/hr 為平均風速，則可得空氣流量 $Q_a=(118.7/3.6)\times 22.3=735.3\text{m}^3/\text{s}$ 與 PRO 放水量 $Q_w167\text{m}^3/\text{s}$ 相較， $Q_a/Q_w=4.4$ ，換言之，每立方公尺的射流約挾帶4.4 m^3 的空氣。

由測試流量與補氣量繪製其相關性，如圖2.3-3所示，通氣隧道補氣量與 PRO 放流量之間的相關性則無明顯趨勢，但施工維護隧道之 Q_a 與 PRO Q_w 則有 $Q_a=7.23Q_w^{0.8855}$ 之關係，其相關係數為 $R^2=0.8854$ 。

表2.3-1為國際採用的英國 Beaufort 將軍於1805年制定之風級分類，可見 $118.7\text{km/hr}=32.97\text{m/s}$ 相當於12級風，屬颶風等級(依中央氣象局颱風強度劃分標準已達到中度颱風等級)，而 $78\text{km/hr}=21.67\text{m/s}$ 屬9級風(依中央氣象局颱風強度劃分標準為輕度颱風等級)，兩者對行人安全都有威脅性，考量操作維護人員檢視及本工程施工通行，風速過高問題應予改善以策安全。

表2.3-1 Beaufort 風級分類

級數	風的名稱	風的說明	風速m/s	km/hr
0	無風	毫無風的感覺，炊煙筆直向上。	0~0.2	<1
1	軟風	炊煙斜升，可看出風向。	0.3~1.5	1~5
2	輕風	有風吹在臉上的感覺，樹葉搖動。	1.6~3.3	6~11
3	微風	樹葉與小樹枝被吹動。	3.4~5.4	12~19
4	和風	旗幟飄動不止，紙張飛揚，且有風沙。	5.5~7.9	20~28
5	清風	池塘的水面波浪起伏。	8.0~10.7	29~38
6	強風	張傘困難，大樹枝搖動，電線被吹的呼呼作響。	10.8~13.8	39~49
7	疾風	樹全身搖動，逆風行走困難。	13.9~17.1	50~61
8	大風	寸步難行，樹枝被拆斷。	17.2~20.7	62~74
9	烈風	煙囪被吹倒，屋頂瓦片被吹翻。	20.8~24.4	75~88
10	狂風	樹木被連根拔起，房屋會遭受嚴重災害。	24.5~28.4	89~102
11	暴風	風力更強，許多建築物被吹壞。	28.5~32.6	103~117
12	颶風	災害更大	32.7~36.9	118~133
13	颶風		37.0~41.4	134~149
14	颶風		41.5~46.1	150~166
15	颶風		46.2~50.9	167~183
16	颶風		51.0~56.0	184~202
17	颶風		56.1~61.2	203~220

註：依據中央氣象局對颱風強度之劃分，

輕度颱風中心附近最大風速17.2~32.6m/s，相當於8級至11級風。

中度颱風中心附近最大風速32.7~50.9m/s，相當於12級至15級風。

強烈颱風中心附近最大風速51m/s以上，相當於16級風以上。

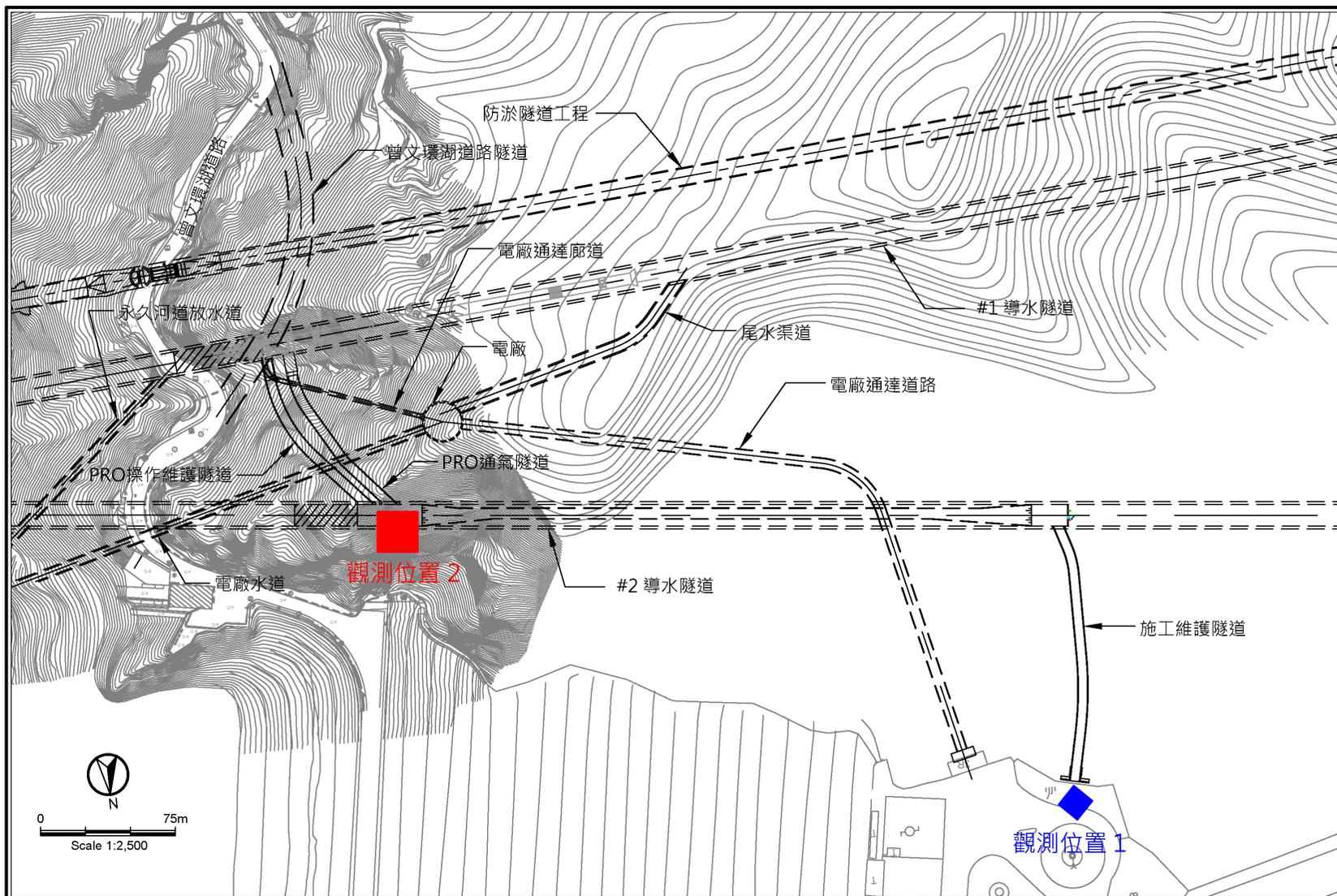


圖2.3-1 PRO 進出通道及通氣隧道平面圖

工程名稱		曾文水庫永久河道放水道改建房淤設施工程 (出水工保固修復改正工作)	
主辦機關		經濟部水利署南區水資源局	
監造單位		經濟部水利署南區水資源局 曾文工務所	
承攬廠商		三源興股份有限公司	
施測日期		105年 二月 23日	
水庫水位		>17.85M	
預計放水量		50 cms	
開門開度設定		1號開門	2號開門
		開度 ≥2 %	開度 ≥2 %
風速 時	位 置	#1施工維護隧道入口	
		通氣隧道入口	
10點 10分		3.3 km/hr 吹出	6.3 km/hr
10點 20分		2.7 km/hr 吹出	3.9 km/hr
10點 30分		0 km/hr	0 km/hr
10點 40分		18.3 km/hr 吸入	0 km/hr
10點 50分		29.0 km/hr	18 km/hr
11點 00分		29.2 km/hr	>6 km/hr
11點 10分			0 km/hr
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
記錄人員：		鄭瑞堂	陳筆基
開門開度32%			

工程名稱		曾文水庫永久河道放水道改建房淤設施工程 (出水工保固修復改正工作)	
主辦機關		經濟部水利署南區水資源局	
監造單位		經濟部水利署南區水資源局 曾文工務所	
承攬廠商		三源興股份有限公司	
施測日期		105年 二月 23日	
水庫水位		>17.85M	
預計放水量		100 cms	
開門開度設定		1號開門	2號開門
		開度 54.6 %	開度 54.5 %
風速 時	位 置	#1施工維護隧道入口	
		通氣隧道入口	
13點 40分		33.1	>5 km/hr
13點 50分		68.6	49 km/hr
14點 00分		71.5	72 km/hr
14點 10分		74.5	71 km/hr
14點 20分		82.2	72 km/hr
14點 30分		50.8	
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
點 分			
記錄人員：		鄭瑞堂	陳筆基
開門開度54.5%			

出水工運轉測試 - 補氣量風速記錄表			
工程名稱		曾文水庫永久河道放水道改建房淤設施工程 (出水工保固修復改正工作)	
主辦機關		經濟部水利署南區水資源局	
監造單位		經濟部水利署南區水資源局 曾文工務所	
承攬廠商		三源興股份有限公司	
施測日期		105年 二月 24日	
水庫水位		>17.67M	
預計放水量		167 cms	
開門開度設定		1號開門	2號開門
		開度 100 %	開度 100 %
風速 時間	位 置	#1施工維護隧道入口	
		通氣隧道入口	
10點 45分		13.3 km/hr	12 km/hr
10點 55分		56.2 km/hr	31 km/hr
11點 05分		72.9 km/hr	74 km/hr 99
11點 15分		72.9 km/hr	74 km/hr 118
11點 25分		90.2 km/hr	72 km/hr 108
11點 35分		105.8 km/hr	67 km/hr 107
11點 45分		102.5 km/hr	77 km/hr 116
11點 55分		90.5 km/hr	74 km/hr 113
12點 05分		93.4 km/hr	73 km/hr 112
12點 15分		118.7 km/hr	72 km/hr 106
12點 25分		92.8 km/hr	78 km/hr 111
12點 35分		87.6 km/hr	62 km/hr 93
12點 45分		100.2 km/hr	68 km/hr 106
點 分			
點 分			
記錄人員：		鄭瑞堂	陳筆基
開門開度100%			

資料來源：曾文水庫永久河道放水道改建防淤設施工程-出水工保固修復改正工作出水工測試作業第二天(2/24)測試情形報告，經濟部水利署南區水資源局，民國105年

圖2.3-2 補氣量風速記錄表

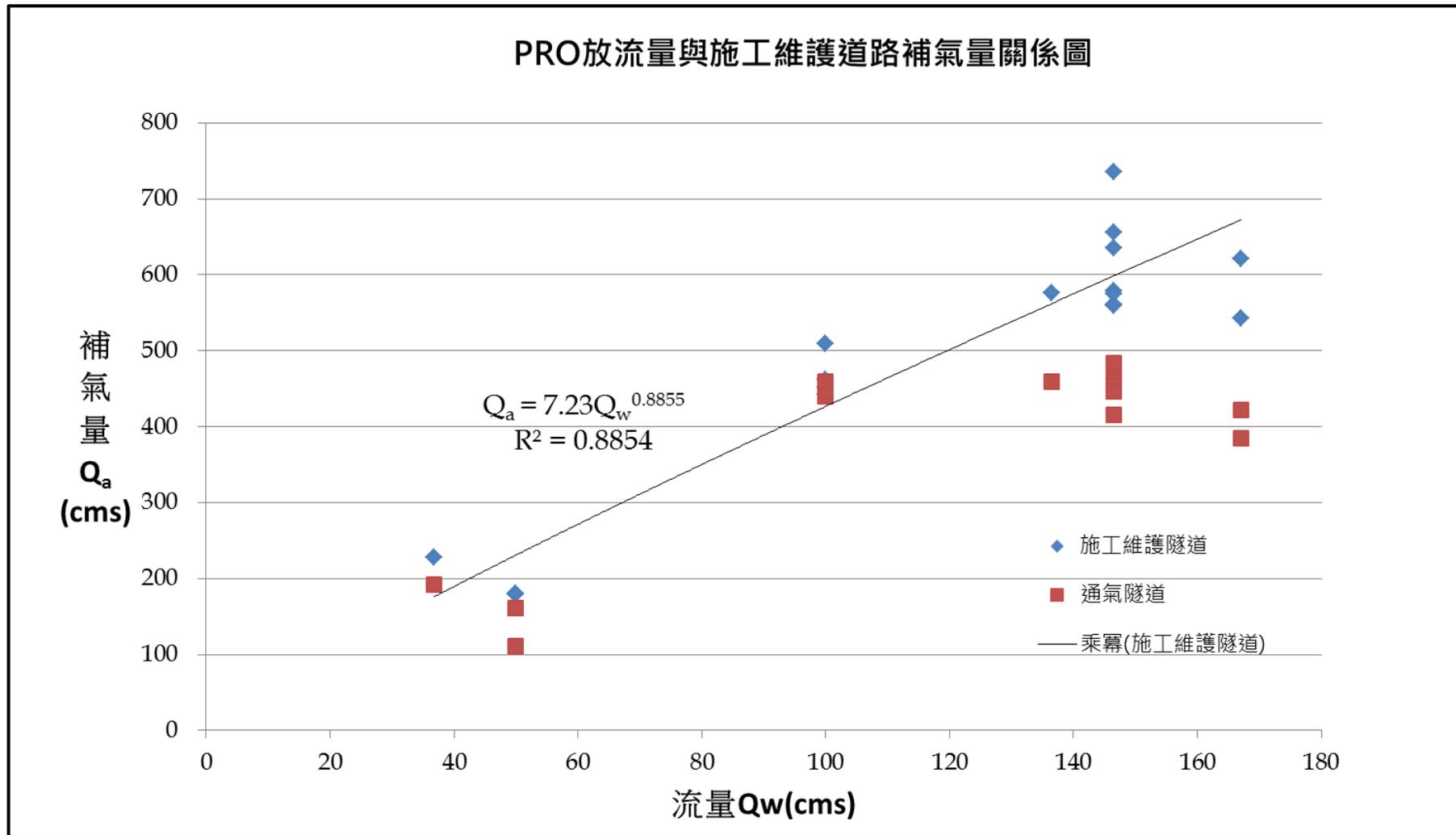


圖2.3-3 PRO放流量與施工維護道路補氣量關係圖

2.4 通氣隧道風速現況模擬分析

曾文水庫 PRO 內的流場三維數值分析為多相流的範疇，參與計算的流體有水和空氣二相。本案採用 CFX 軟體，其具有完整、可靠且穩定的多相流模型系統，可以模擬離散相與連續相間相互作用的質量、動量與能量的傳遞問題，例如在不同介質流體的接觸面上可以處理多相流體的容積分率，因此相當適合用在多相流體水理分析中有自由液面（氣液兩相）及其它水理相關議題的數值模擬。CFX 也應用於國內的水庫模擬領域，如德基水庫淤積模擬、翡翠水庫泥沙運移特性解析、曾文水庫集水區漂流木潛勢分析、石門水庫的各項水工設施及後池的流場分析等。CFX 理論、模式選用標準與其應用範圍詳見附錄一所述。

本案使用三維數值模式模擬分析曾文水庫 PRO 防淤改善工程，做為設計參考。分別執行兩種施工維護隧道出口條件案例，以下分述三維模式模擬之物理、數值、邊界條件的設定與假設及初步的模擬分析結果討論。

一、物理、數值及邊界條件分析

在本案中，水庫自由液面屬於水與空氣之二相流體，此外，其流體差異主要在密度與黏滯性不同，但其流體運動特性相同，因此可以採用相同的紊流模式。三維數值模擬分析的物理數值條件如下：(可參考圖2.4-1)

- (一) 假設流體為雙相流，所求解空氣（密度為 1.273 kg/m^3 ）和水（密度為 997 kg/m^3 ）的交界面即河道自由液面的位置。
- (二) 假設流體為不可壓縮流，且為牛頓流體。
- (三) 考慮重力場及紊流場（k-epsilon model）。
- (四) #1 導水隧道下游邊界條件設為 opening， $P=1$ 大氣壓。
- (五) 施工維護隧道邊界條件為二，Case1 設定為 $P=1$ 大氣壓。Case2 設定為量測風速 87.6 Km/hr 。
- (六) 探討 PRO 放流水理特性，計畫採用穩態模擬。
- (七) PRO 總放流量 167 cms
- (八) 假設邊界條件延長 100 公尺，使其流場發展為完全擴展層流。

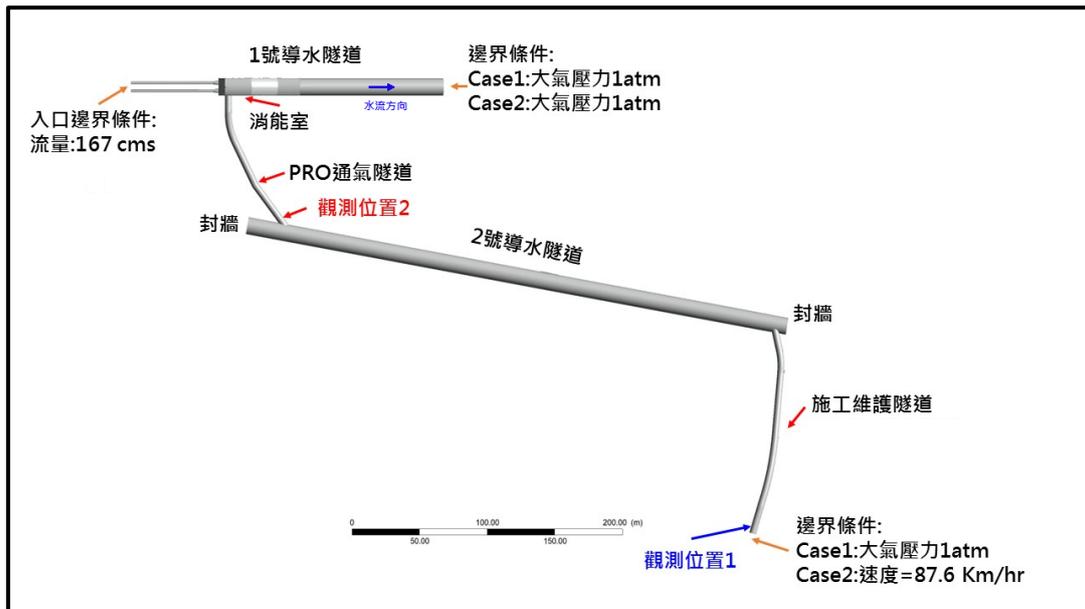


圖2.4-1 三維數值模擬模型及邊界條件示意圖

二、幾何模型及網格建置

根據103年曾文水庫 PRO 防淤改善工程水工模型試驗成果報告中的2nd 修改方案二的案例模型，並參考各設施設計圖，利用 ICEMCFD 軟體進行建置模擬區域。因為計算範圍較大，所以計算網格採用混合式網格建置，包含六面體、五面體及四面體非結構網格，以節省時間計算時間，網格總數為156萬計算網格，模型及網格請參考圖2.4-2所示。

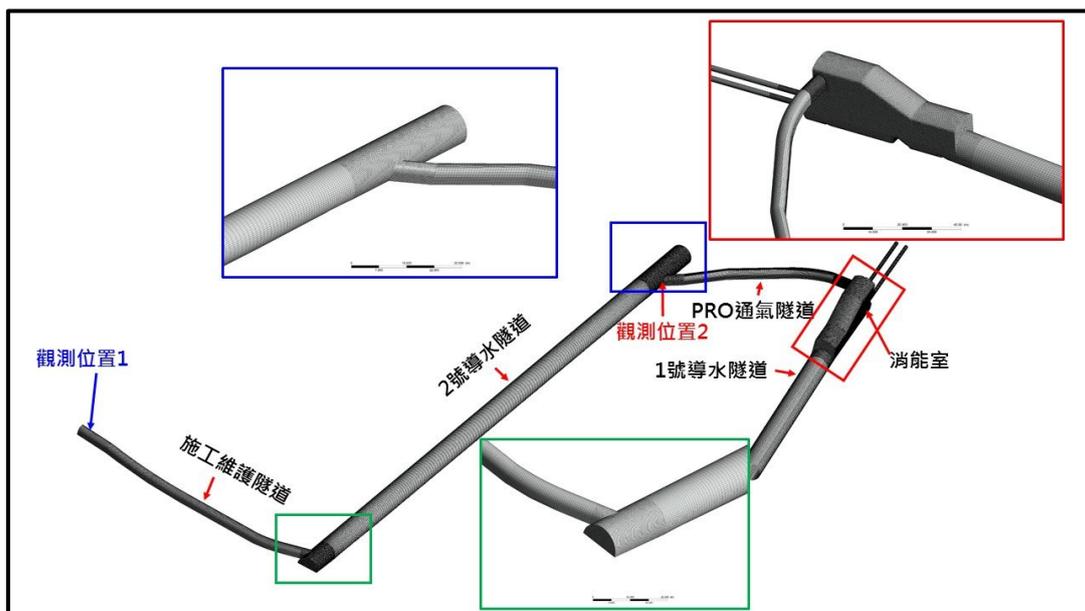


圖2.4-2 三維數值模擬網格圖

三、模擬結果分析

本案共執行兩個現況模擬，Case1為施工維護隧道出口邊界條件為1大氣壓力，Case2為施工維護隧道出口邊界條件為量測風速87.6 Km/hr。計算結果顯示 PRO 總放流量167cms，進入消能室後，水柱的速度最高10 m/s 左右，如圖2.4-3所示。兩個方案在水流現象並無太大的不同，水流直接衝擊第一座尾檻，越過第一座尾檻後，在第二座尾檻形成一個水躍。圖2.4-4為#1導水隧道水流速度剖面分布圖。

由於模擬範圍距離非常長，並且有隧道有曲率，無法單一切剖面進行討論，所以將每條隧道切成數塊剖面進行現象討論，圖2.4-5及2.4-6為 Case1及 Case2兩個案例的整體範圍模擬結果空氣剖面速度分布圖，由分析成果圖顯示，PRO 放流時水流自#1導水隧道流入，因此從通氣隧道補氣進入#1導水隧道，當空氣自#2導水隧道進入通氣隧道時，因斷面積束縮，壓力變小，風速變快，最高風速位置出現在#2導水隧道與通氣隧道交匯處。本案利用與實測補氣量風速做比對驗證，以驗證三維數值模擬分析結果之準確度。

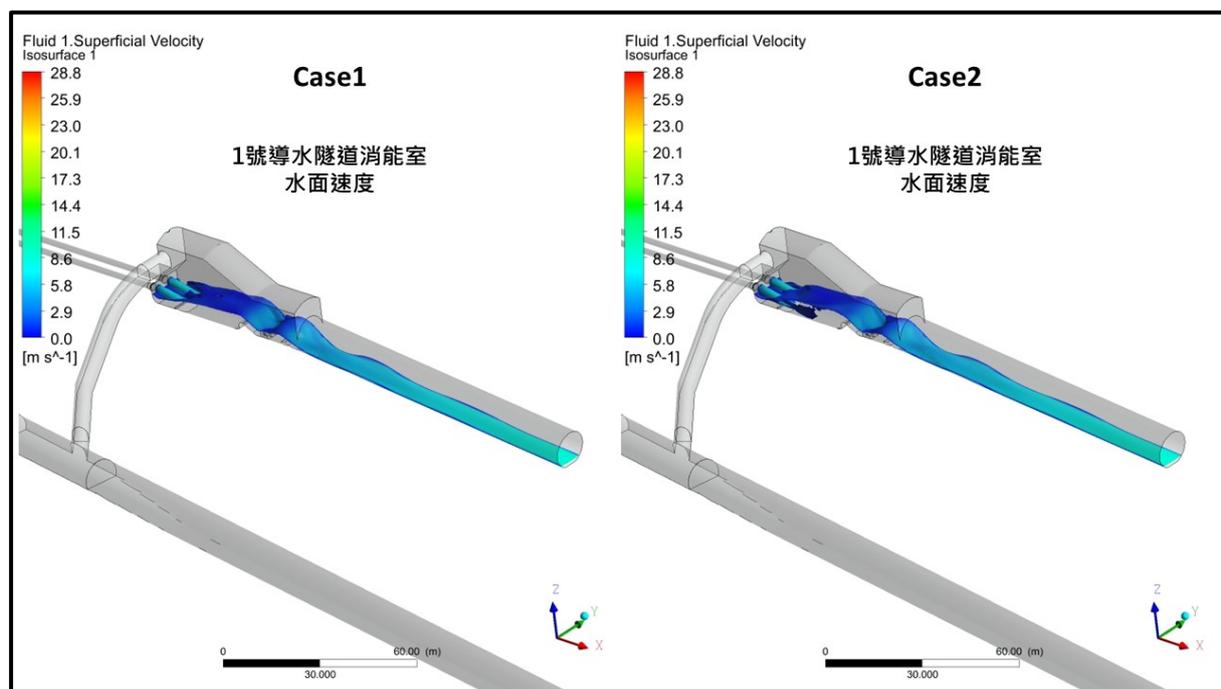


圖2.4-3 #1導水隧道水面速度分布圖

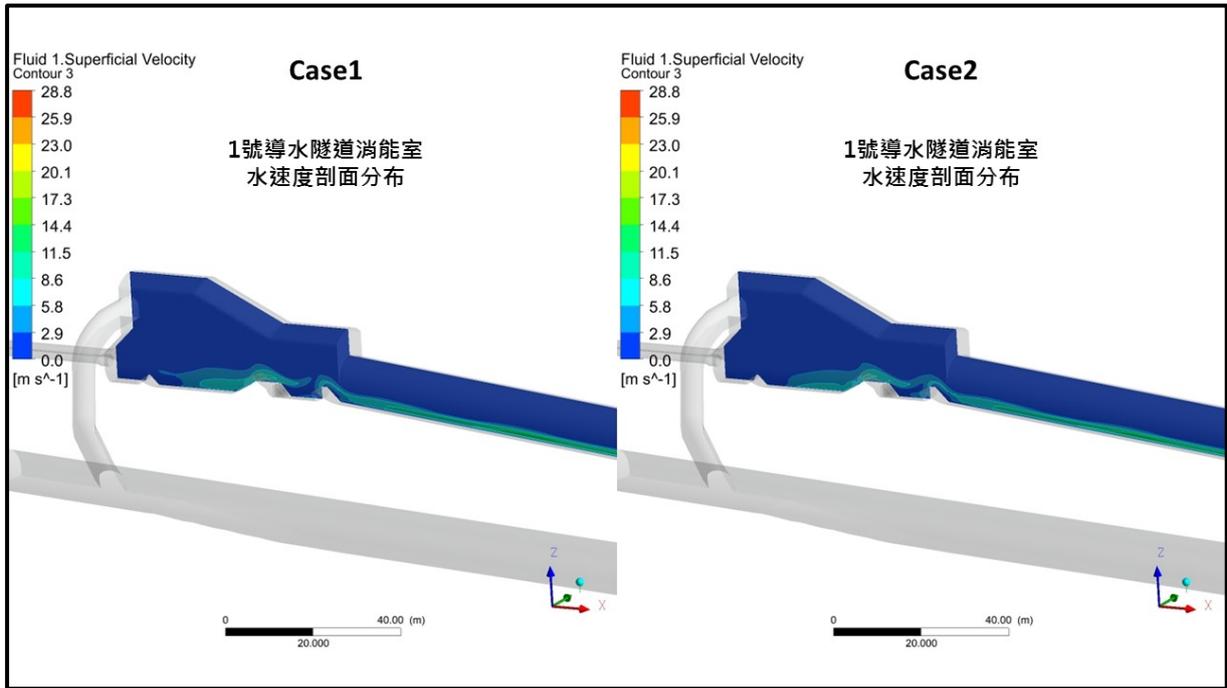


圖2.4-4 #1導水隧道水流速度剖面分布圖

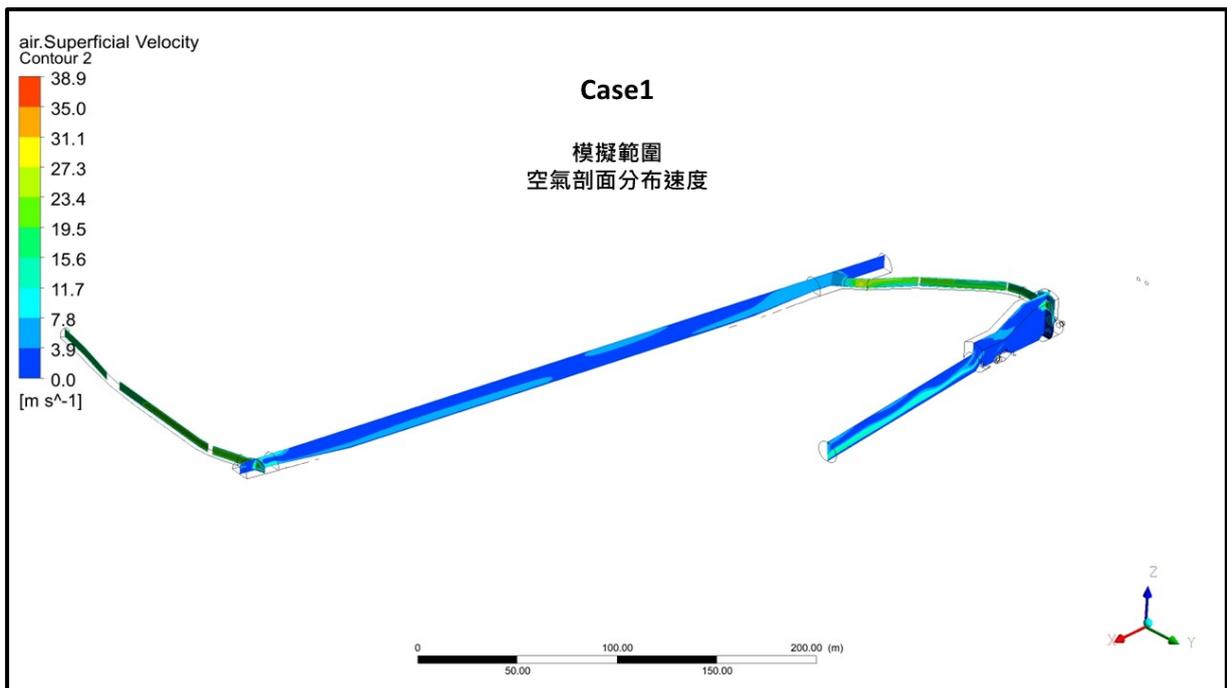


圖2.4-5 Case1模擬範圍空氣剖面分布圖

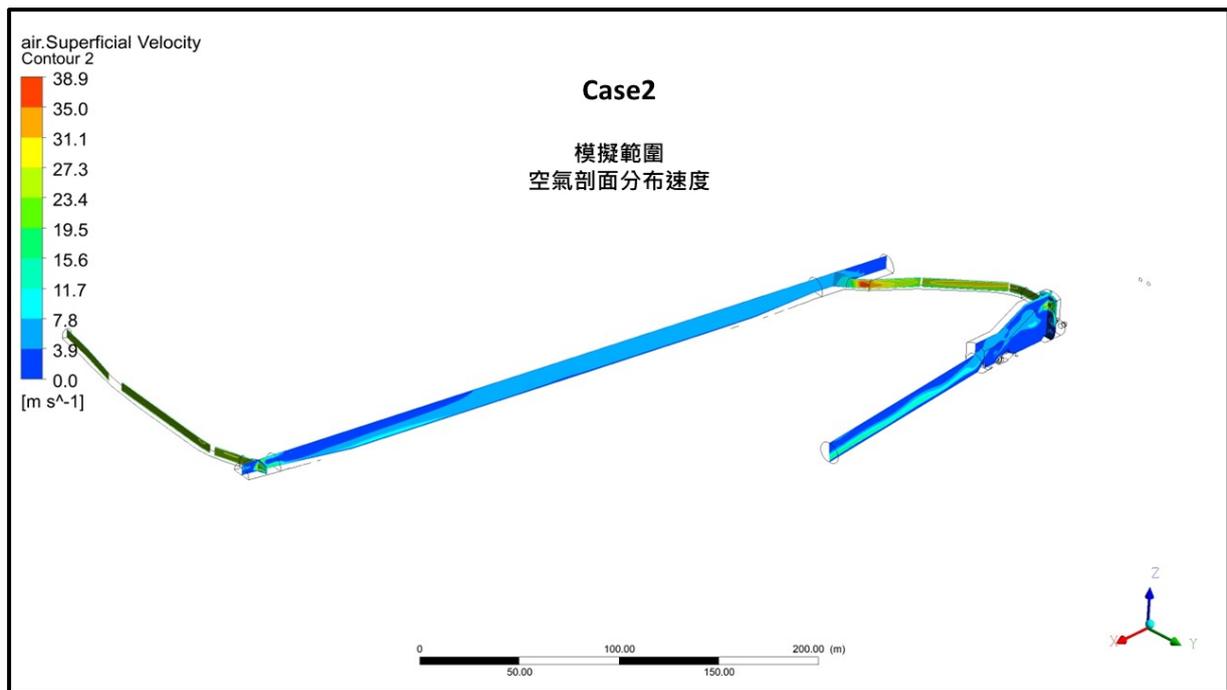


圖2.4-6 Case2模擬範圍空氣剖面分布圖

本案利用「曾文水庫永久河道放水道改建防淤設施工程-出水工保固修復改正工作」出水工測試作業(105年2月23~24日)測試時 PRO 兩道閘門完全開啟下之實際補氣紀錄為比對標準。依據測試報告#2導水隧道進入通氣隧道的量測點實測風速為62 Km/hr。模擬結果在 Case1 案例中空氣速度為45.97 Km/hr，因為此案例在施工維護隧道出口並沒有給定背壓，當作出口就是大氣壓力，所以空氣速度偏低。Case2 案例中空氣速度為61.37 Km/hr，與實測風速相近。PRO 啟閉操作模擬成果說明如下：

- (一) 於#2導水隧道進入通氣隧道觀測點，在此位置由#2導水隧道進入通氣隧道時斷面積速縮，壓力變小，風速變快。PRO 啟閉操作過程中 Case1 案例的最高風速為100.51 Km/hr，而 Case2 案例的最高風速來到140.08 Km/hr，如圖2.4-7所示。
- (二) 施工維護隧道進入#2導水隧道，斷面積突擴，造成空氣速度進入#2導水隧道削減，在施工維護隧道口模擬結果， Case1 案例速度為65.2 Km/hr，而 Case2 案例為87.62 Km/hr，Case2 案例較接近實測值的87.6 Km/hr，如圖2.4-8所示。

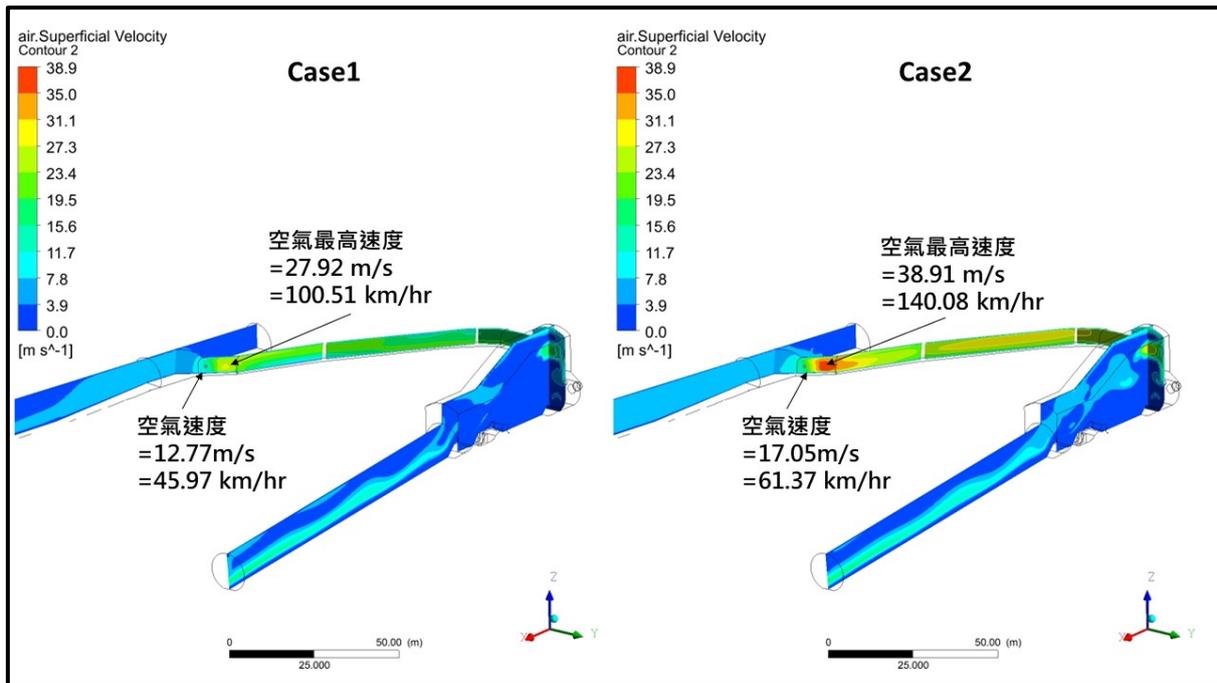


圖2.4-7 #2導水隧道進入通氣隧道空氣剖面速度分布圖

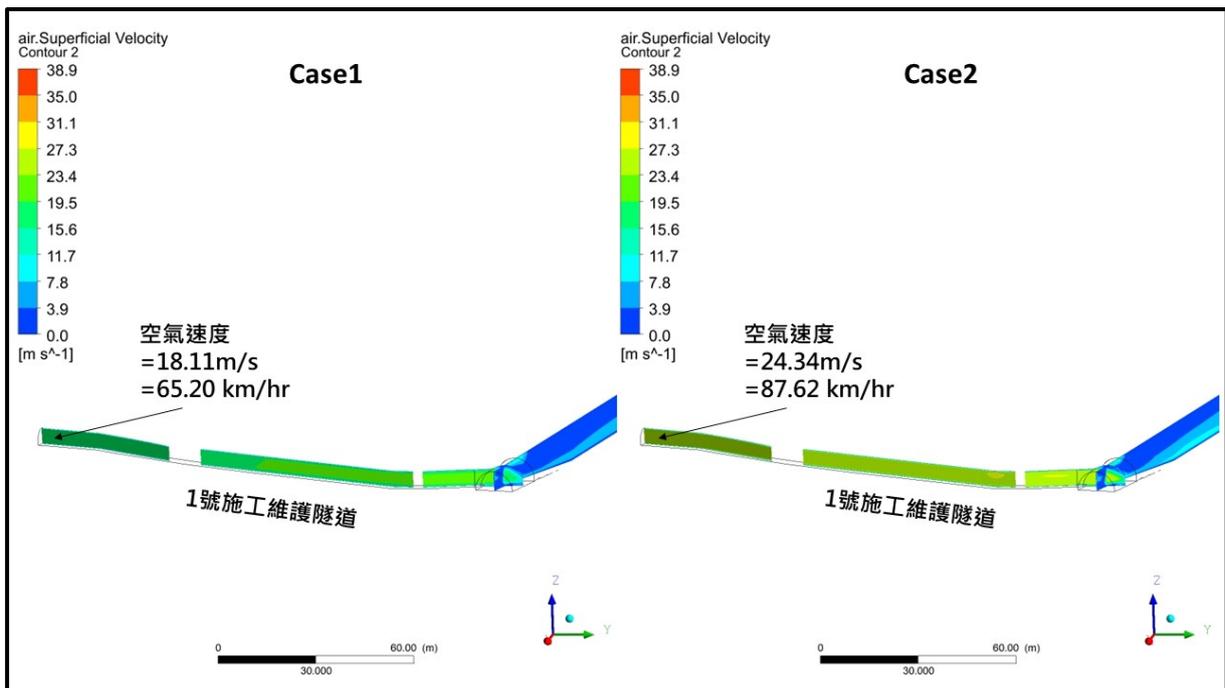


圖2.4-8 施工維護隧道進入#2導水隧道空氣剖面速度分布圖

第三章 PRO 防淤運轉降低隧道風速之策略

3.1 PRO 防淤運轉所需通氣斷面積評估

曾文水庫為增進防淤功能，已將原有二座 PRO(永久河道放水道)之何本閘改為全水流斷面的射流閘門，連帶的也配合新設閘門更改下游消能工。為施工需求該工程興建有施工維護隧道及 PRO 操作維護隧道平面，如圖 2.3-1 所示。此外，於 PRO 操作維護隧道的下游側亦興建通氣隧道，三條隧道皆為 5m(W)×5m(H) 的門型隧道，斷面積 22.3m²。於民國 105 年 2 月 24 日運轉測試時，發現 PRO 防淤運轉主要通風路徑係由施工維護隧道至 #2 導水隧道，再分由通氣隧道(大部分)與 PRO 操作維護隧道(小部分)進行補氣，示意如圖 3.1-1。測試作業顯示施工維護隧道風速最高達 118.7km/hr(12 級颶風)，而通氣隧道最大風速達 78km/hr(9 級烈風)。施工維護隧道及通氣隧道之風速過高，運轉時若有人員於該等隧道內進出有安全之虞，因此需予以改善並將改善工程列入本聯通管計畫之 A1 標。各隧道設施通氣風速所需斷面積評估如后。

一、降低施工維護隧道風速之方案：曾文南化聯通管在 #2 導水隧道興建時必須將該隧道內既有封牆拆除，並於 #2 導水隧道出口設置防洪牆如圖 3.1-2 及 3.1-3 所示，此時 #2 導水隧道即與外部聯通，可解決施工維護隧道及通氣隧道等高風速的問題。

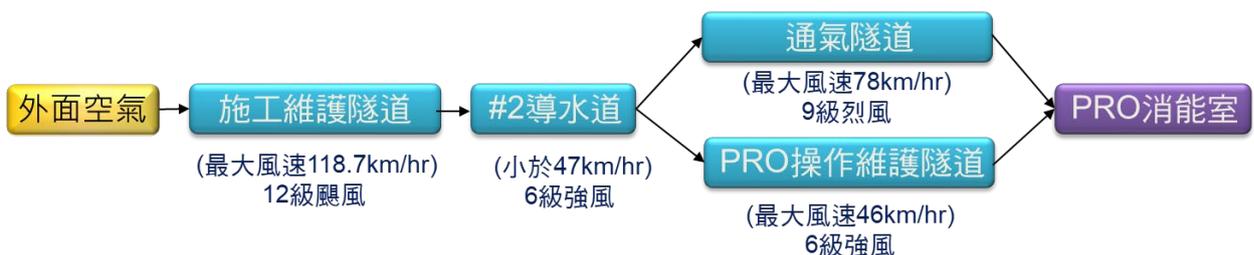


圖3.1-1 PRO 補氣路徑示意圖

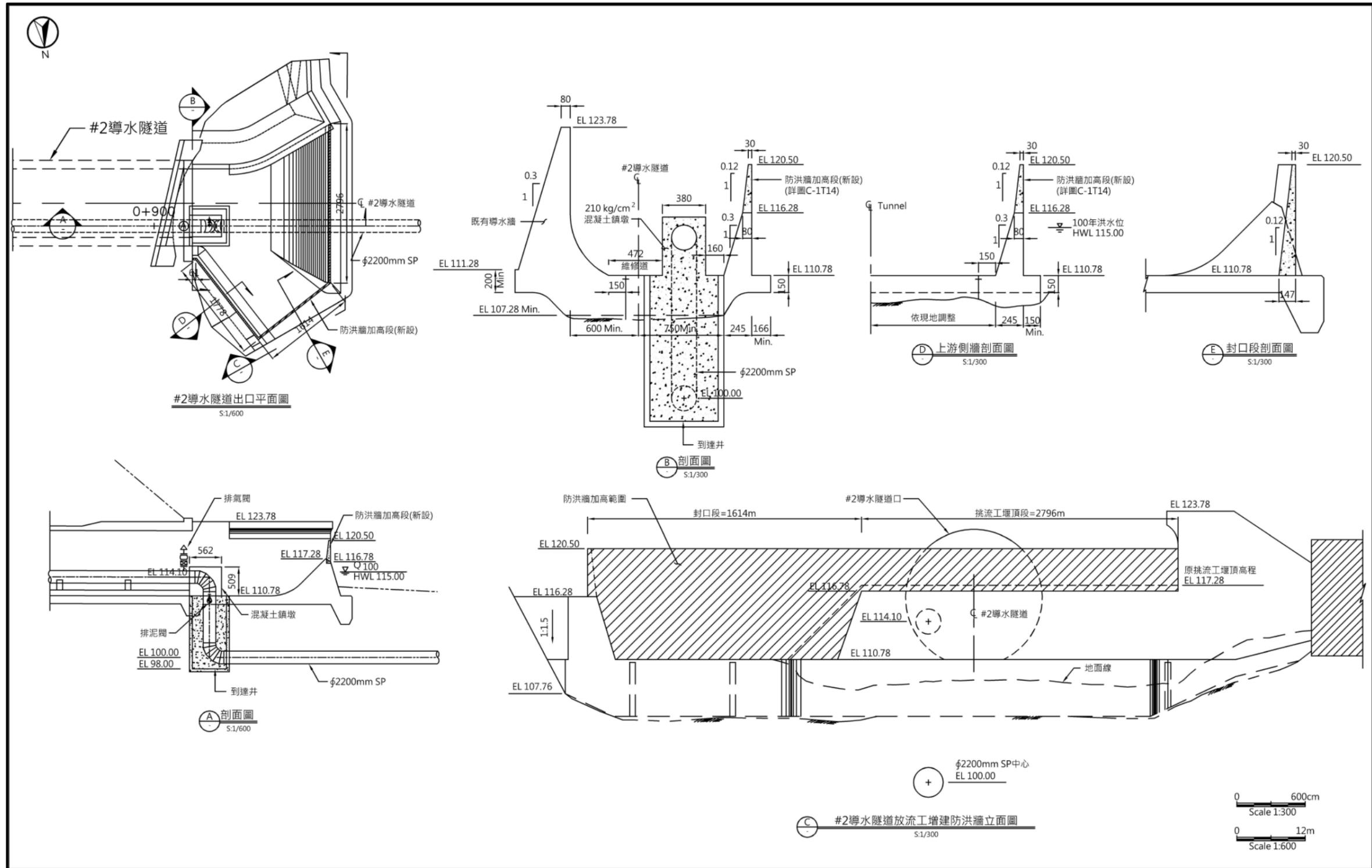


圖3.1-2 A1標#2導水隧道出口佈置圖

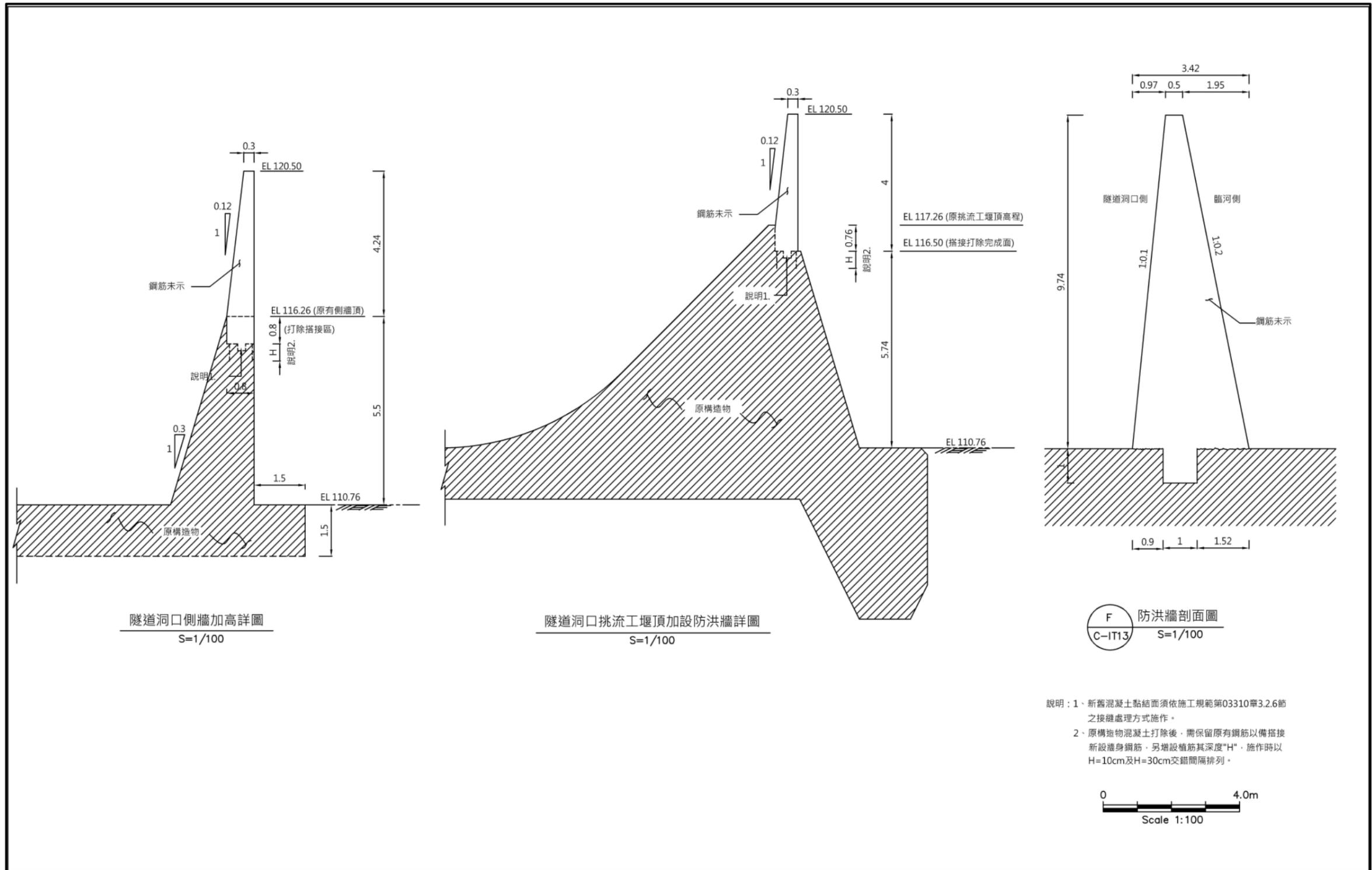


圖3.1-3 A1標#2導水隧道出口防洪牆加高詳圖

二、降低通氣隧道風速之方案：建議直接由消能室增設與外部聯結之通氣設施，或擴大既有通氣隧道斷面。初步改善所需通氣斷面積如下：

(一)採用6級風為設計目標，並以風速 $50\text{km/hr}=13.8\text{m/s}$ 為設計標準。

(二)測試時量得之最大風速為 78km/hr ，但估算風量時採通氣隧道平均風速 80km/hr ，故可得風量 $Q_a=(80/3.6)*22.3=496\text{m}^3/\text{s}$ 。增加通風斷面時必須在 50km/hr 時達到此風量。

(三)所需斷面積為 $A_a=496/13.8=35.94\text{m}^2$ ，採 36.0m^2 。

(四)所需新增通氣斷面積 $A_a=36-22.3=13.7\text{m}^2$ ，相當於約 4.2m 的圓形斷面通氣管。

三、PRO 操作維護隧道風速約 46km/hr 屬6級強風故尚符合設計目標，毋需改善。

3.2 改善方案研擬

3.1節所提出 PRO 運轉時降低施工維護隧道風速的策略是配合聯通管的興建打開#2導水隧道的封牆，大幅增加該處整體出入隧道的斷面積，至於降低通氣隧道風速的方案則採新增通氣隧道或擴挖既有通氣隧道的斷面，使該通氣斷面至少達 36m^2 ，改善方案研擬三個構想如后。

一、方案一：新建通氣豎井

本方案為於消能室上方打鑿一豎井，依現有地形圖估算此豎井高度約 150m ，基於施工需求初步採用內徑 $D=5.5\text{m}$ ，本豎井與各設施及 PRO 消能室的相關位置如圖3.2-1及圖3.2-2，豎井斷面請參見如圖3.2-3。

圖3.2-4為依 $1/5,000$ 航照圖繪製之#2導水隧道上方地形圖，可見欲達豎井頂部位置有一條與環湖道路相接的山路，圖3.2-5為此一山路的縱剖面圖，此山路的上游段相當陡峭，車輛行駛、機具搬運、物料運送或棄渣的搬運等都較為不易，部份路段亦需改善以利施工。

二、方案二：新建通氣豎井-隧道-豎井複合式方案

本方案於曾文#1導水隧道上方打鑿一高度35m、內徑 $D=5.5\text{m}$ 豎井，銜接水平隧道長約67.31m、5.5 m 寬之門型隧道施作，隧道末端擴挖 $10\text{m}\times 10\text{m}$ 及高度5m 之空間作為往下打鑿一豎井高度74.28m，直徑5.5m 之複合式方案。本方案與各設施及 PRO 消能室的相關位置如圖3.2-1、圖3.2-2及豎井斷面如圖3.2-3，隧道斷面請參見圖3.2-1。由於豎井佔用部份道路空間，因此將在道路下邊坡適當距離施作擋土排樁以恢復既有道路路寬。

三、方案三：擴大既有通氣隧道

圖3.2-7顯示#1導水隧道、#2導水隧道、通氣隧道、PRO 操作維護隧道、電廠水道及電廠通達廊道透視圖(曾文水庫興建時 PRO 消能室開鑿有 $1.5\text{m}(W)\times 2.0\text{m}(H)$ 的門型通氣隧道，但在 PRO 改建時，此隧道已與新建通氣隧道合併，故不列入)。圖3.2-8則顯示通氣隧道擴挖與既有結構的相關性，在斷面圖可見新建的通氣隧道與電廠水道相當靠近，兩者淨間距6.26m，圖3.2-9顯示電廠水道斷面圖。該水道內徑3.8m，外加鋼襯及0.7m 的混凝土襯砌。

依3.1節所做的分析，通氣隧道需增加的斷面積 13.7m^2 ，為達此標的，初步建議將新建通氣隧道降挖1.0m，並由半徑2.50m 擴挖為半徑3.20m 之門型隧道，如圖3.2-10所示，所得之斷面積為 36.5m^2 ，略大於 36.0m^2 的需求值。此布置將改建的通氣隧道與電廠水道淨間距由6.26m 縮 至 5.05m 。

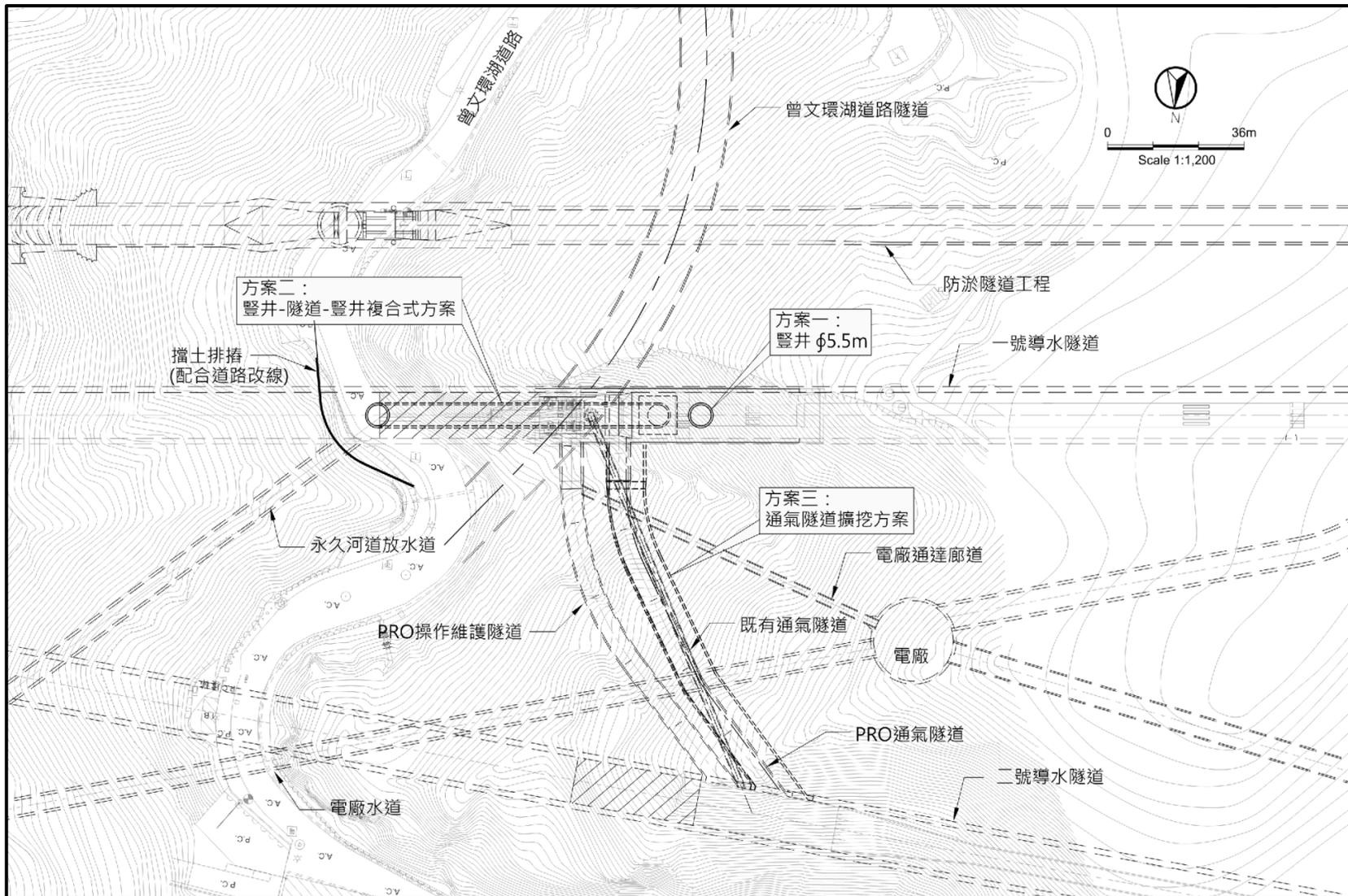


圖3.2-1 PRO 改善通氣方案平剖面圖

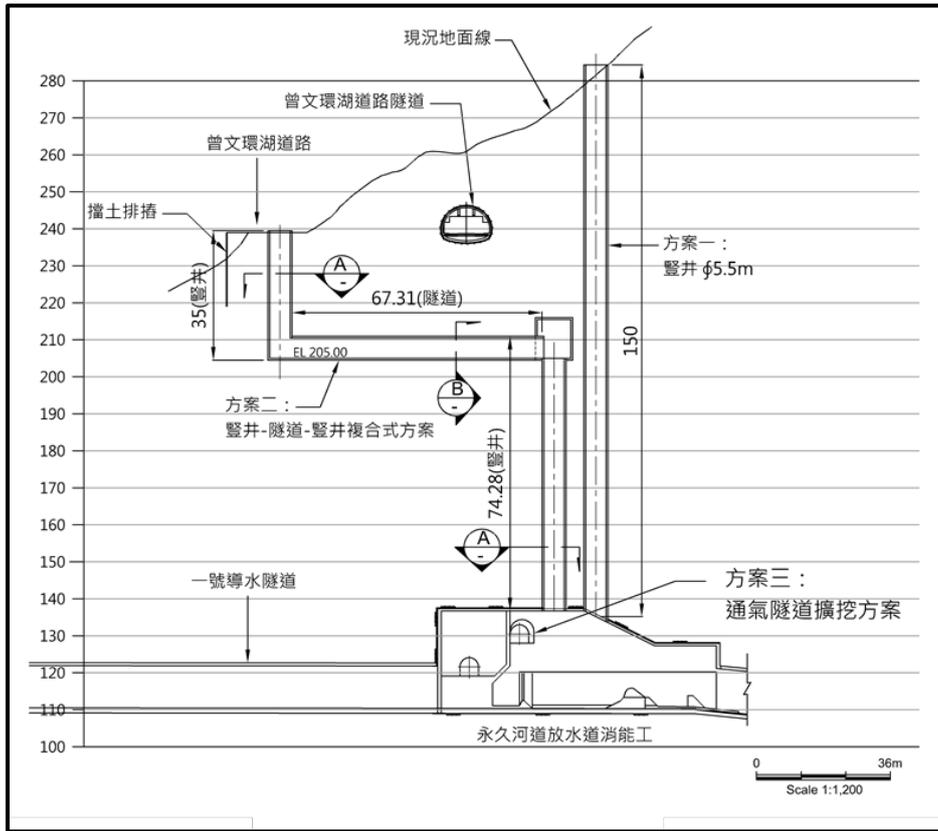


圖3.2-2 PRO 通氣改善方案縱斷面圖

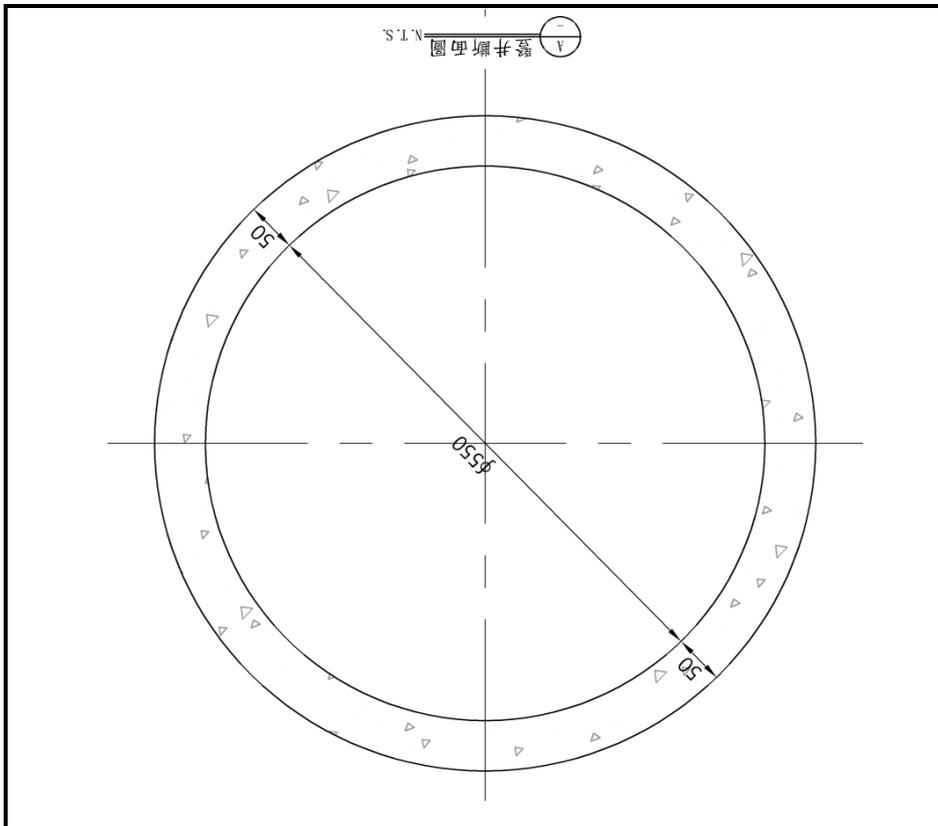


圖3.2-3 豎井斷面標準圖

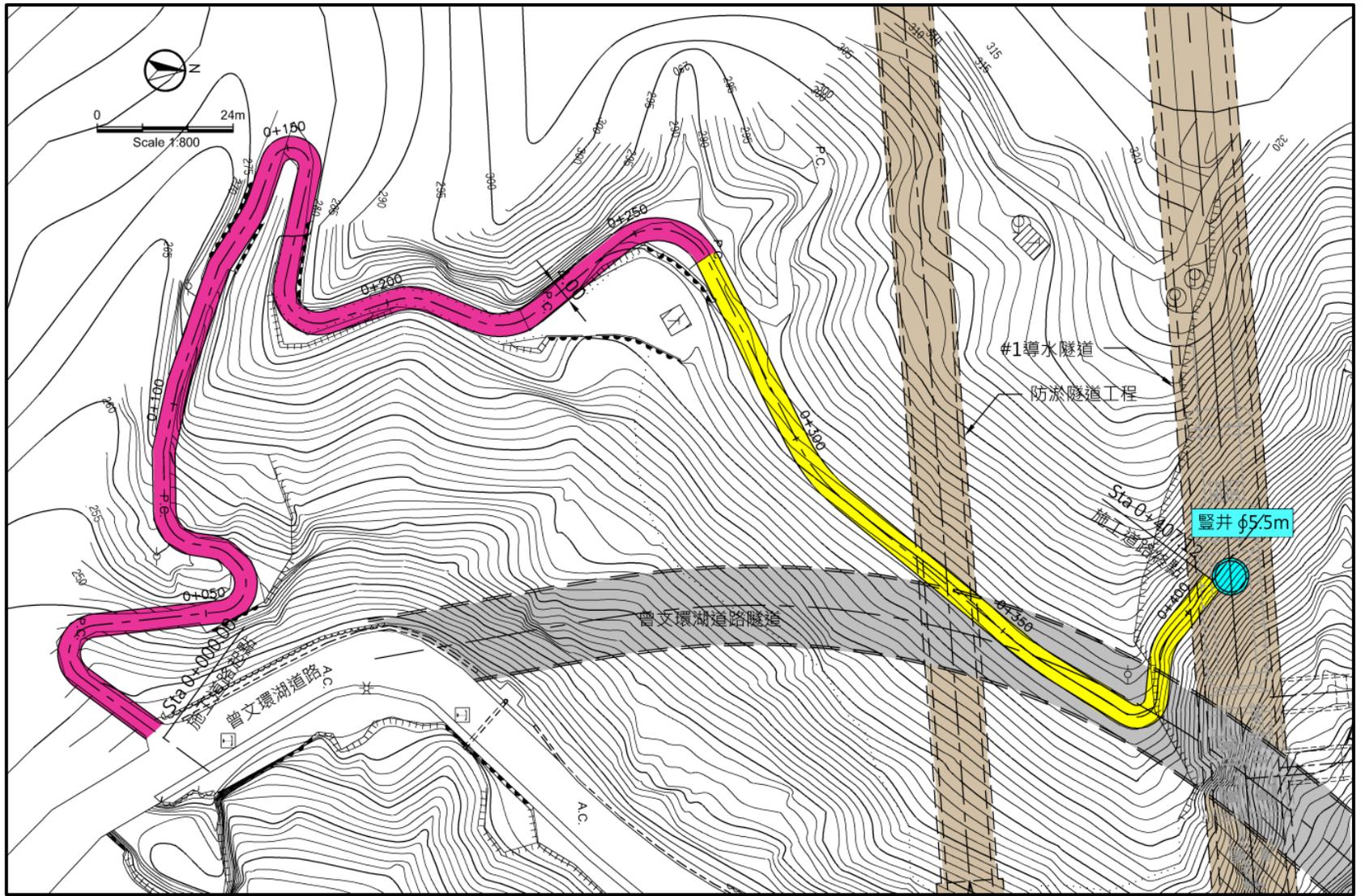


圖3.2-4 豎井方案施工道路平面圖

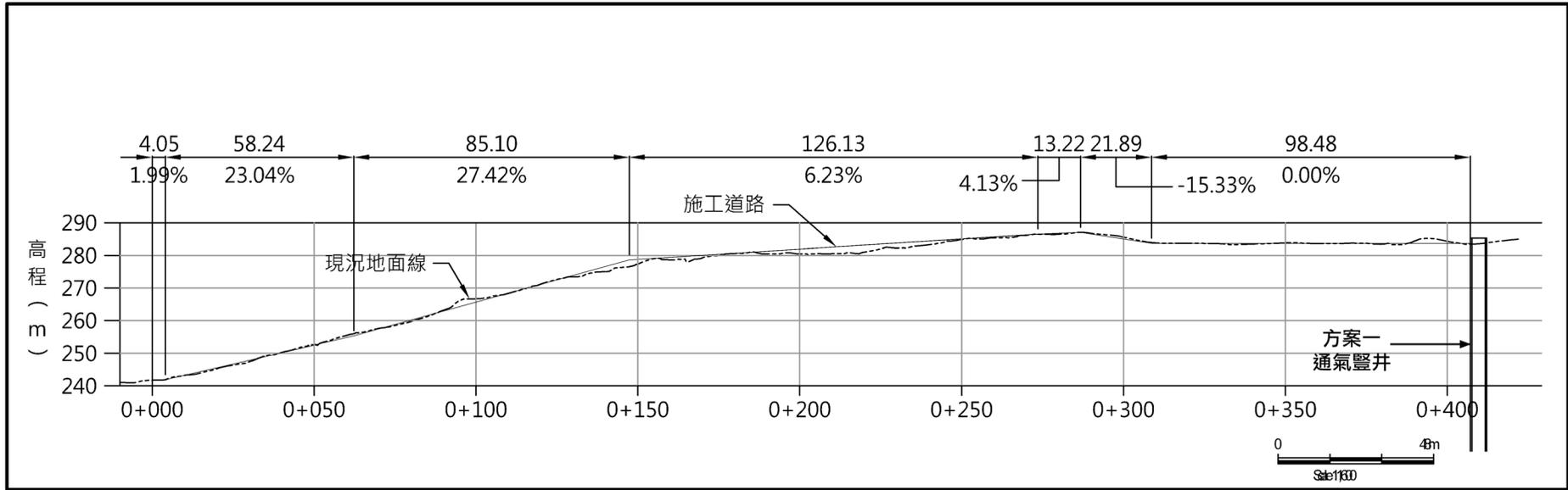


圖3.2-5 豎井方案施工道路縱斷面圖

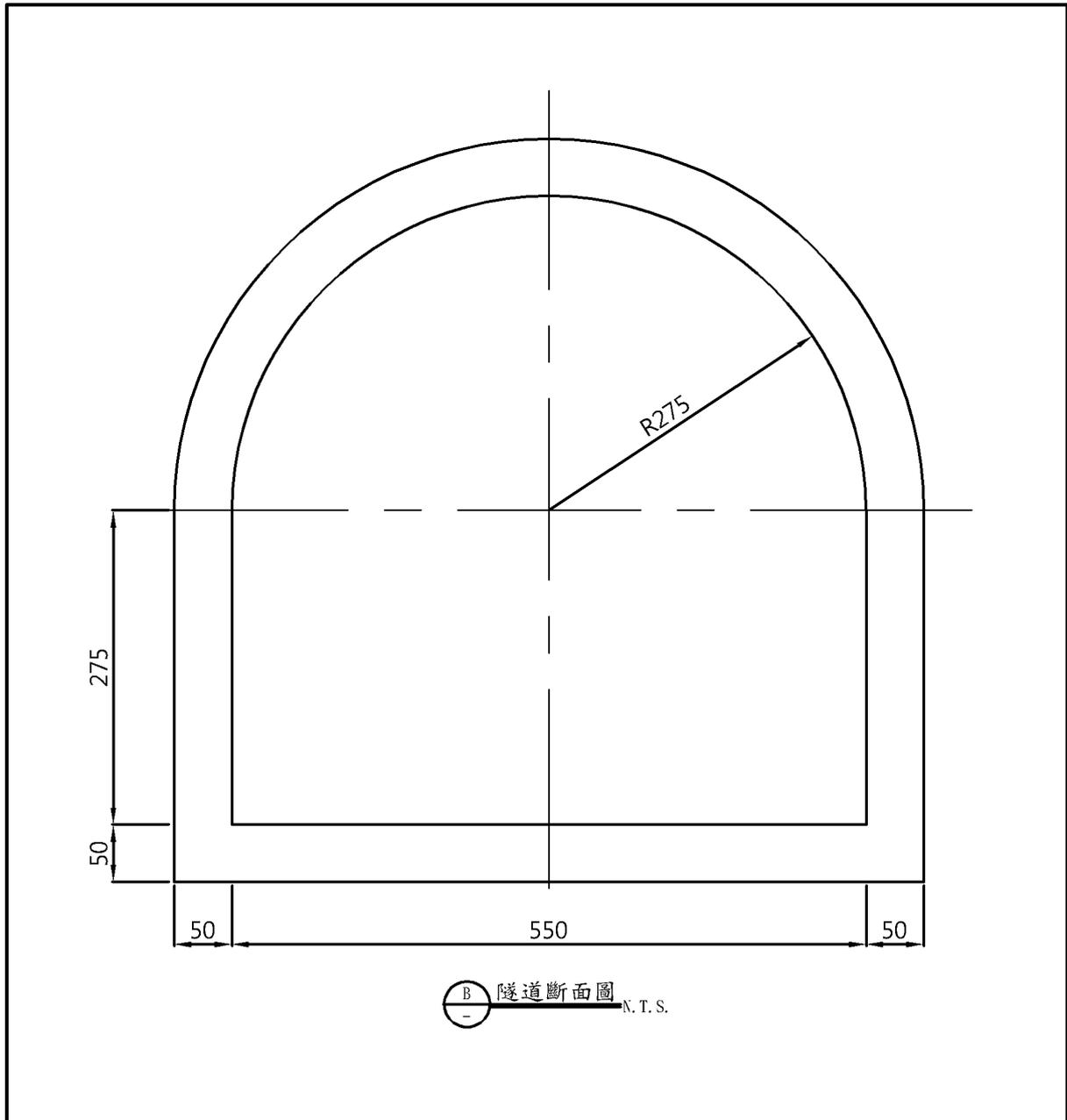
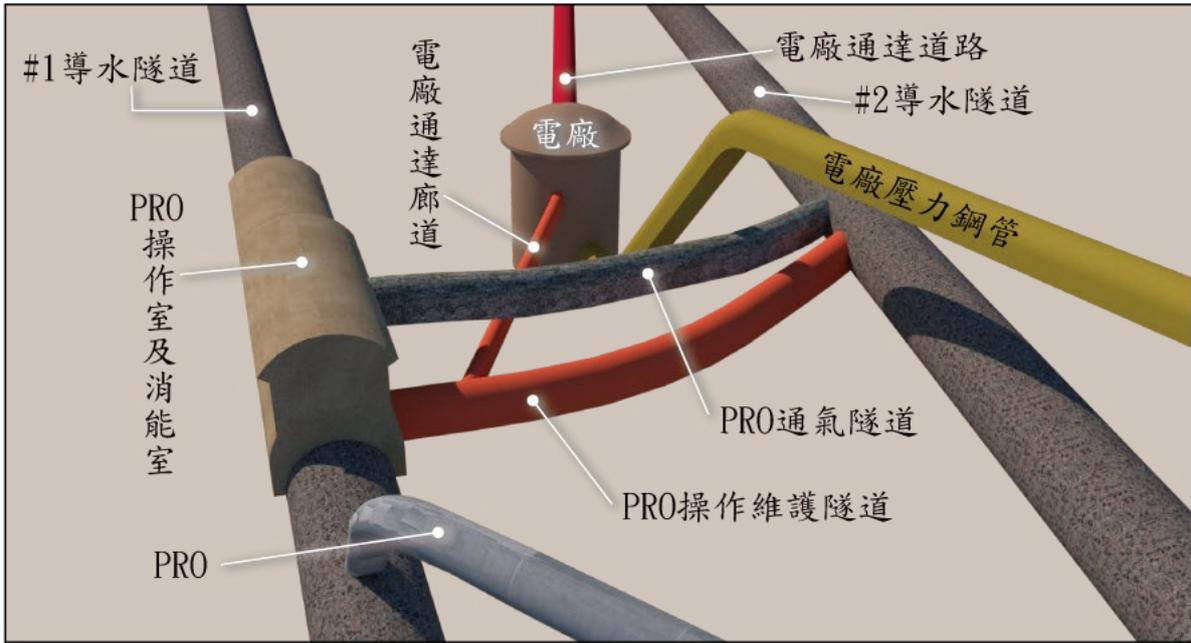
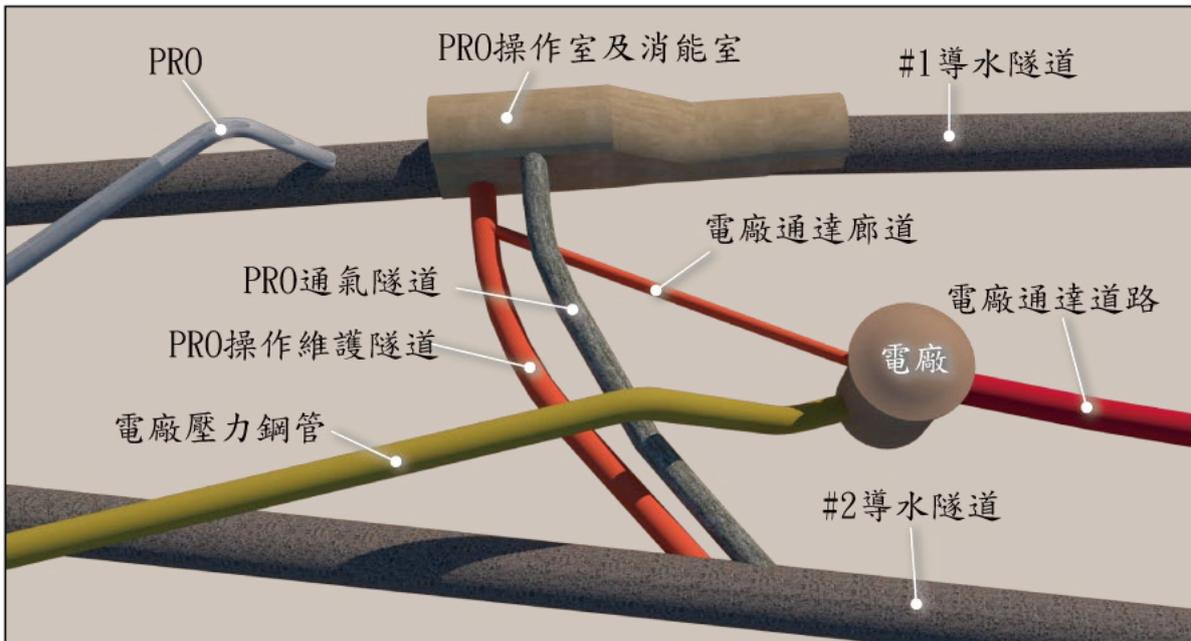


圖3.2-6 水平隧道斷面圖



a. 東西向



b. 南北向

圖3.2-7 既有施工通氣隧道與鄰近隧道透視圖

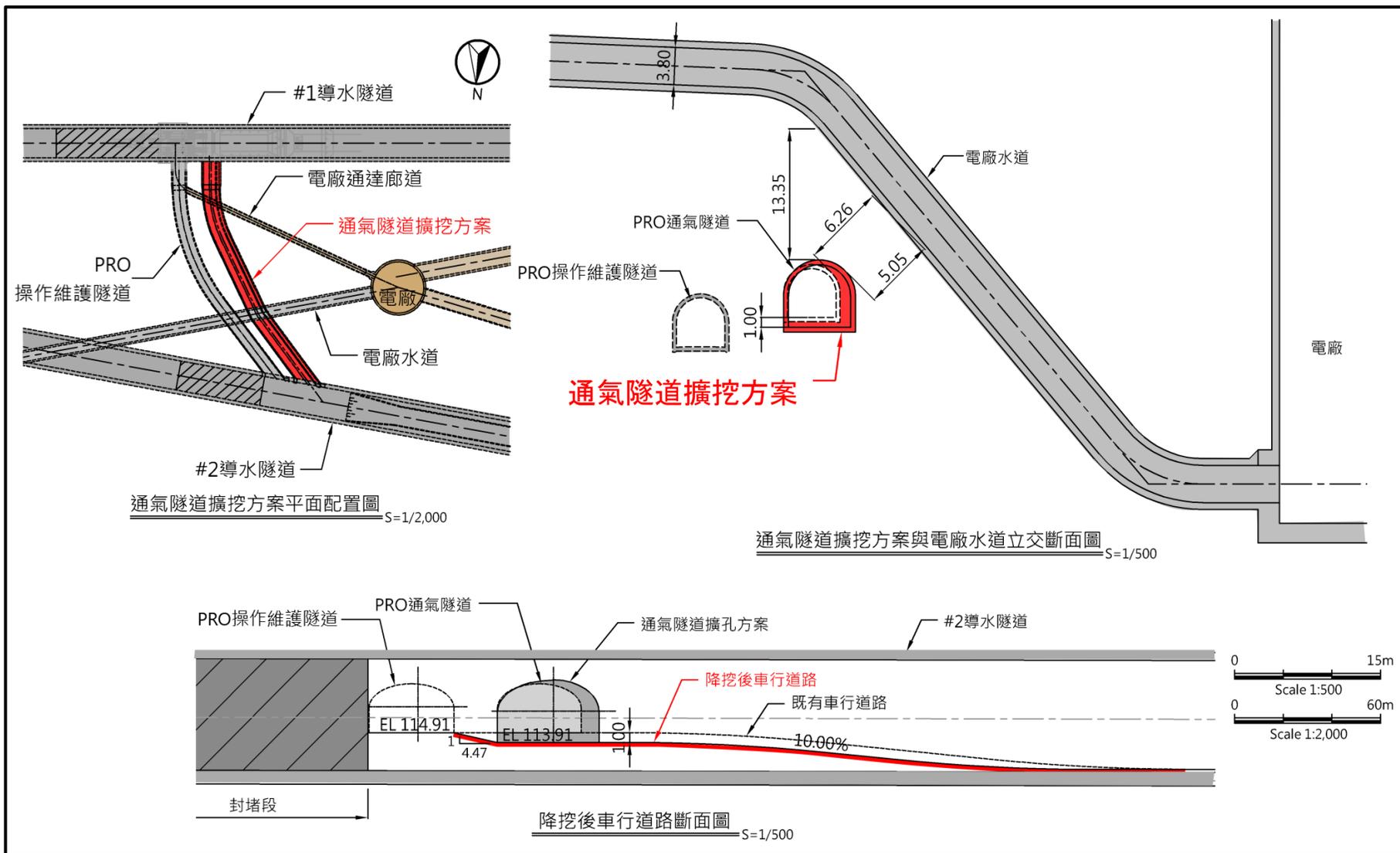


圖3.2-8 PRO 通氣隧道擴挖方案布置圖

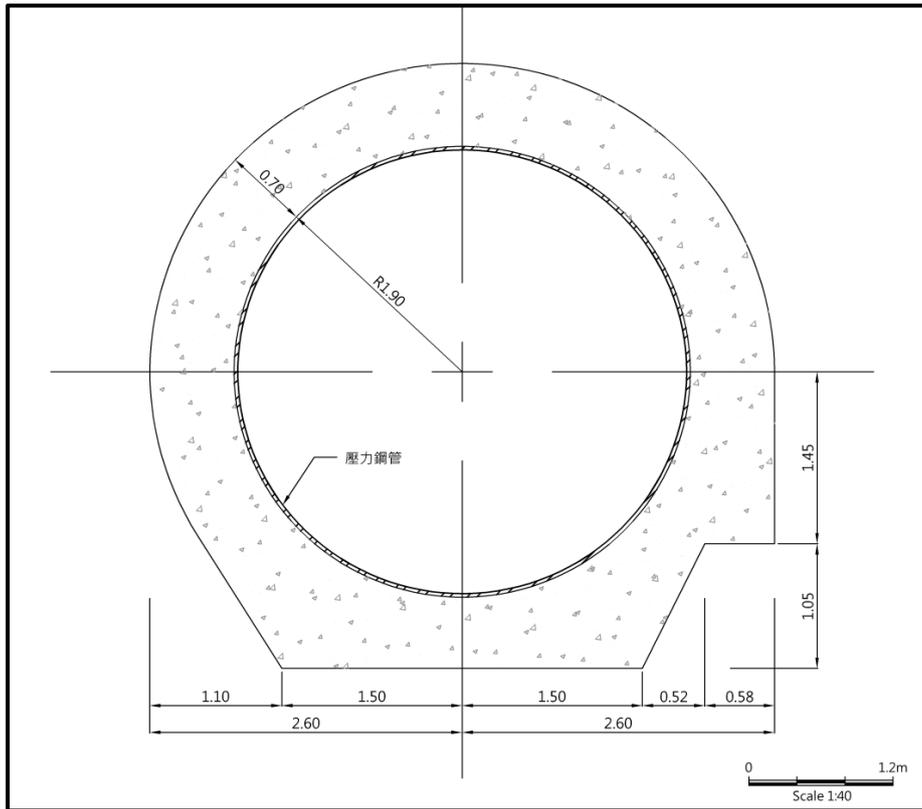


圖3.2-9 電廠水道斷面圖

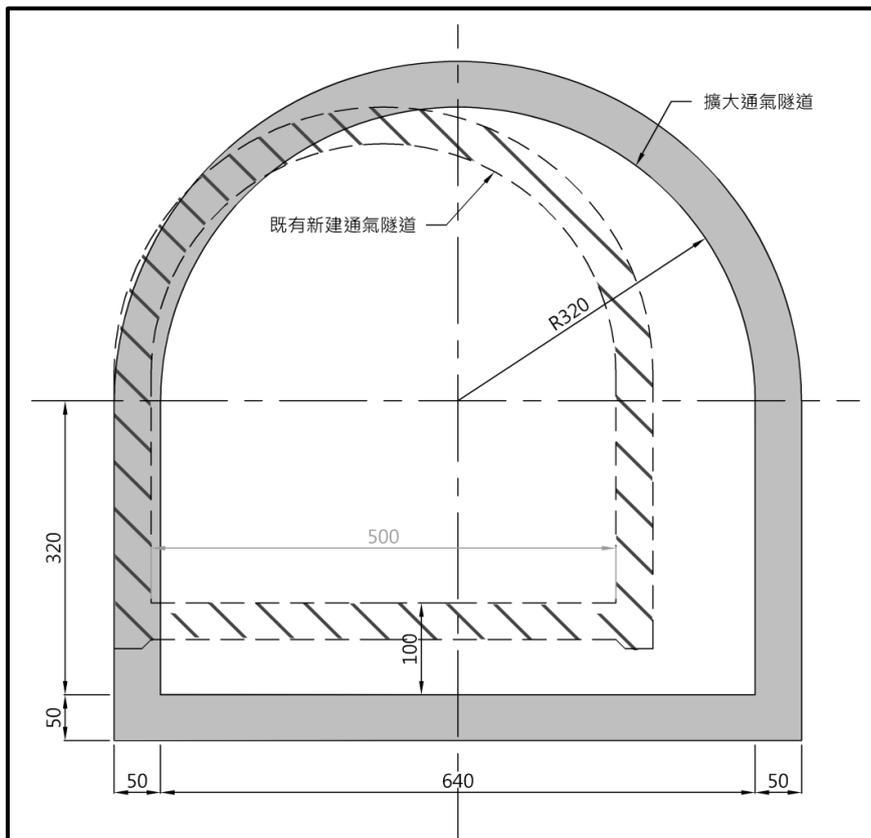


圖3.2-10 方案三：PRO 通氣斷面標準圖

3.3 工程費估算

PRO 通氣隧道改善研擬三個方案，方案一為豎井工程，豎井高度約150m，直徑5.5m，方案二為豎井-隧道-豎井複合式工程，兩座豎井高度分別為35m 及74.28m，直徑皆為5.5m，而水平隧道長67.31m 之5.5m 寬門型隧道，而方案三為既有通氣隧道5.0m 寬門型隧道擴挖為6.4m 寬門型隧道，各方案工程費估算如表3.3-1~表3.3-3所示。

表3.3-1 方案一豎井工程經費估算表(1/2)

項目	說明	單位	數量	單價	複價	附註
一、豎井工程(方案一)						
(一)豎井工程		(以第III岩體，內徑 D=	5.50	m，井深度 L=	150.00	m 估算)
1.岩石開挖(洞內機械開挖)		M ³	5,451.00	3,710.00	20,223,210	
2.豎井出土費		M ³	5,451.00	1,224.00	6,672,024	
3.運棄方(100M ³) [運距15Km 以上]		M ³	5,451.00	610.00	3,325,110	
4.140kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	10.00	2,827.94	28,279	
5.210kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	1,413.00	2,814.51	3,976,903	
6.鋼模(一般)		M ²	10,628.00	822.12	8,737,491	
7.洞內鋼筋加工及組立		Ton	166.00	35,093.51	5,825,523	
8.固結灌漿		包	85.00	594.95	50,571	
9.拱頂回填灌漿		M ³	71.00	5,644.00	400,724	
10.壓力灌漿		M ³	57.00	10,500.00	598,500	
11.樹脂岩栓(φ25mm L=2~4m)		M	2,362.00	860.00	2,031,320	
12.自鑽式岩栓		M	1,575.00	580.00	913,500	
13.桁型鋼支保		M	39.00	52,340.95	2,041,297	
14.鋼支保(H-125*125)		組/M	1,929.00	1,399.00	2,698,671	
15.衝擊式鑽孔 φ=37mm		M	2,362.00	240.00	566,880	
16.隔幕灌漿		M	14,698.00	1,620.00	23,810,760	
17.隧道洞內噴凝土(厚度 t=15cm)		M ²	2,460.00	2,718.07	6,686,452	
小計					88,587,215	
每公尺造價		M	內襯及開墩	123,787.97	590,581	
			開挖支撐	466,793.03		
(二)工區連外道路整地土建		(以平均路寬 W=	3.50	m，整闢長度 L=	400.00	m 估算)
1.清除與掘除，t=30cm		M ²	420.00	100.00	42,000	
2.岩石開挖(露天機械)		M ³	315.00	345.00	108,675	
3.挖方(機械)		M ³	1,020.00	54.00	55,080	
4.近運利用回填方 [運距100m]		M ³	401.00	77.00	30,877	
5.構造物回填夯實		M ³	200.00	170.00	34,000	

表3.3-1 方案一豎井工程經費估算表(2/2)

項目	說明	單位	數量	單價	複價	附註
6.餘方遠運處理(指定地點)[運距2Km]		M ³	1,193.00	150.00	178,950	
7.210kg/cm ² 預拌混凝土及澆注		M ³	350.00	2,814.51	985,079	
8.140kg/cm ² 預拌混凝土及澆注		M ³	140.00	2,582.94	361,612	
9.乙種清水模型(使用6次)		m ²	560.00	610	341,527	
10.丙種模型(使用8次)		M ²	140.00	496.22	69,471	
11.鋼筋加工及組立		Ton	42.00	34,353.51	1,442,847	
12.綠化植生		m ²	2,100.00	380.00	798,000	
小計					4,448,118	m 估算)
豎井工程(方案一)小計					93,035,333	
雜項工程費	(施工費項)×10%	式	1	9,303,533	9,303,533	
勞工安全衛生費	(施工費項)×1%	式	1	930,353	930,353	
環境保護措施費	(施工費項)×1%	式	1	930,353	930,353	
廠商品質管制作業費	(施工費項)×0.8%	式	1	744,283	744,283	
小計					11,908,522	
承包商管理費	費率6.5%計	式	1	10,202,297	10,202,297	
工程保險費	按年費率0.8%計	式	1	833,509	833,509	
營業稅	按5%計	式	1	5,757,308	5,757,308	
發包工程費					121,736,969	
工程管理費		式	1	3,843,191	3,843,191	
營建工程空氣污染防治費		式	1	340,864	340,864	
其他費用及規費		式	1	277,200	277,200	
總工程費					126,198,224	

表3.3-2 方案二豎井-隧道-豎井複合式工程經費估算表(1/2)

項目	說明	單位	數量	單價	複價	附註
上下層豎井及橫坑工程(方案二)						
(一)上層豎井工程		(以第III岩體，內徑 D=	5.50	m，井深度 L=	35.00	m 估算)
1.岩石開挖(洞內機械開挖)		M ³	1,272.00	3,710.00	4,719,120	
2.豎井出土費		M ³	1,272.00	1,224.00	1,556,928	
3.運棄方(100M ³) [運距15Km 以上]		M ³	1,272.00	610.00	775,920	
4.140kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	3.00	2,827.94	8,484	
5.210kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	330.00	2,814.51	928,788	
6.鋼模(一般)		M ²	725.00	822.12	596,037	
7.洞內鋼筋加工及組立		Ton	39.00	35,093.51	1,368,647	
8.固結灌漿		包	21.00	594.95	12,494	
9.拱頂回填灌漿		M ³	17.00	5,644.00	95,948	
10.壓力灌漿		M ³	13.00	10,500.00	136,500	
11.樹脂岩栓(φ25mm L=2~4m)		M	551.00	860.00	473,860	
12.自鑽式岩栓		M	367.00	580.00	212,860	
13.桁型鋼支保		M	9.00	52,340.95	471,069	
14.鋼支保(H-125*125)		組/M	450.00	1,399.00	629,550	
15.衝擊式鑽孔φ=37mm		M	551.00	240.00	132,240	
16.隔幕灌漿		M	1,886.00	1,620.00	3,055,320	
17.隧道洞內噴凝土(厚度 t=15cm)		M ²	574.00	2,718.07	1,560,172	
小計					16,733,937	
每公尺造價		M	內襯及開墩	82,913.03	478,112	
			開挖支撐	395,198.97		
(二)橫坑工程		(以第III岩體，內徑 D=	5.50	m，隧道長度 L=	67.31	m 估算)
1.岩石開挖(洞內機械開挖)		M ³	2,280.00	3,710.00	8,458,800	
2.隧道洞內土石搬運		M ³	2,280.00	610.00	1,390,800	
3.運棄方(100M ³) [運距5Km 以上]		M ³	2,280.00	550.00	1,254,000	
4.140kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	64.00	2,827.94	180,988	
5.280kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	613.00	3,301.08	2,023,562	
6.鋼模(一般)		M ²	1,303.00	822.12	1,071,222	
7.洞內鋼筋加工及組立		Ton	72.00	35,093.51	2,526,733	
8.固結灌漿		包	37.00	594.95	22,013	
9.拱頂回填灌漿		M ³	31.00	5,644.00	174,964	
10.壓力灌漿		M ³	25.00	10,500.00	262,500	
11.樹脂岩栓(φ25mm L=2~4m)		M	1,060.00	860.00	911,600	
12.自鑽式岩栓		M	707.00	580.00	410,060	
13.桁型鋼支保		M	18.00	52,340.95	942,137	
14.鋼支保(H-125*125)		組/M	866.00	1,399.00	1,211,534	
15.衝擊式鑽孔φ=37mm		M	1,060.00	240.00	254,400	
16.隧道洞內噴凝土(厚度 t=15cm)		M ²	1,104.00	2,718.07	3,000,749	
小計					24,096,062	
每公尺造價		M	內襯	86,205.69	357,986	
			開挖支撐	271,780.31		

表3.3-2 方案二豎井-隧道-豎井複合式工程經費估算表(2/2)

項目	說明	單位	數量	單價	複價	附註
(三)下層豎井工程		(以第III岩體，內徑 D=	5.50	m，井深度 L=	74.28	m 估算)
1.岩石開挖(洞內機械開挖)		M ³	2,516.00	3,710.00	9,334,360	
2.豎井出土費		M ³	2,516.00	1,224.00	3,079,584	
3.運棄方(100M ³) [運距15Km 以上]		M ³	2,516.00	610.00	1,534,760	
4.140kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	14.00	2,827.94	39,591	
5.210kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	700.00	2,814.51	1,970,157	
6.鋼模(一般)		M ²	5,183.00	822.12	4,261,048	
7.洞內鋼筋加工及組立		Ton	82.00	35,093.51	2,877,668	
8.固結灌漿		包	42.00	594.95	24,988	
9.拱頂回填灌漿		M ³	35.00	5,644.00	197,540	
10.壓力灌漿		M ³	28.00	10,500.00	294,000	
11.樹脂岩栓(φ25mm L=2~4m)		M	1,170.00	860.00	1,006,200	
12.自鑽式岩栓		M	780.00	580.00	452,400	
13.桁型鋼支保		M	19.00	52,340.95	994,478	
14.鋼支保(H-125*125)		組/M	955.00	1,399.00	1,336,045	
15.衝擊式鑽孔φ=37mm		M	1,170.00	240.00	280,800	
16.隔幕灌漿		M	4,063.00	1,620.00	6,582,060	
17.隧道洞內噴凝土(厚度 t=15cm)		M ²	1,218.00	2,718.07	3,310,609	
小計					37,576,288	
每公尺造價		M	內襯及開墩	123,161.87	505,874	
			開挖支撐	382,712.13		
上下層豎井及橫坑工程(方案二)小計					78,406,287	
雜項工程費	(施工費項)×10%	式	1	7,840,629	7,840,629	
勞工安全衛生費	(施工費項)×1%	式	1	784,063	784,063	
環境保護措施費	(施工費項)×1%	式	1	784,063	784,063	
廠商品質管制作業費	(施工費項)×0.8%	式	1	627,250	627,250	
小計					10,036,005	
承包商管理費	費率6.5%計	式	1	9,251,409	9,251,409	
工程保險費	按年費率0.8%計	式	1	705,400	705,400	
營業稅	按5%計	式	1	4,884,685	4,884,685	
發包工程費					103,283,786	
工程管理費		式	1	3,618,062	3,618,062	
營建工程空氣污染防治費		式	1	289,195	289,195	
其他費用及規費		式	1	273,950	273,950	
總工程費					107,464,993	

表3.3-3 方案三通氣隧道擴挖工程經費估算表

項目	說明	單位	數量	單價	複價	附註
			5.00			
通氣隧道擴挖工程(方案三)		(以第III岩體，內徑 D=	6.40	m，隧道長度 L=	104.00	m 估算)
1.岩石開挖(洞內機械開挖)		M ³	2,796.00	7,235.00	20,229,060	
2.有筋混凝土鑿除(以機械)		M ³	999.00	6,800.00	6,793,200	
3.隧道洞內土石搬運		M ³	3,795.00	610.00	2,314,950	
4.運棄方(100M ³) [運距5Km 以上]		M ³	3,795.00	550.00	2,087,250	
5.140kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	116.00	2,827.94	328,041	
6.350kg/cm ² 預拌混凝土及洞內澆注		M ³	1,594.00	3,282.65	5,232,544	
7.固結灌漿		包	7.00	594.95	4,165	
8.拱頂回填灌漿		M ³	6.00	5,644.00	33,864	
9.壓力灌漿		M ³	5.00	10,500.00	52,500	
10.樹脂岩栓 (φ25mm L=2~4m)		M	1,906.00	860.00	1,639,160	
11.自鑽式岩栓		M	1,270.00	580.00	736,600	
12.桁型鋼支保		M	32.00	52,340.95	1,674,910	
13.鋼支保 (H-125*125)		組/M	1,556.00	1,399.00	2,176,844	
14.衝擊式鑽孔 φ=37mm		M	1,906.00	240.00	457,440	
15.隧道洞內噴凝土(厚度 t=15cm)		M ²	1,985.00	2,718.07	5,395,369	
小計					49,155,897	
每公尺造價		M	內襯	3,154.24	472,653	
			開挖支撐	469,498.76		
雜項工程費	(施工費項)×10%	式	1	4,915,590	4,915,590	
勞工安全衛生費	(施工費項)×1%	式	1	491,559	491,559	
環境保護措施費	(施工費項)×1%	式	1	491,559	491,559	
廠商品質管制作業費	(施工費項)×0.8%	式	1	393,247	393,247	
小計					6,291,955	
承包商管理費	費率6.5%計	式	1	7,350,133	7,350,133	
工程保險費	按年費率0.8%計	式	1	445,503	445,503	
營業稅	按5%計	式	1	3,162,174	3,162,174	
發包工程費					66,405,662	
工程管理費		式	1	3,168,149	3,168,149	
營建工程空氣污染防治費		式	1	185,936	185,936	
其他費用及規費		式	1	275,400	275,400	
總工程費					70,035,147	

3.4 方案評估與初步建議

以下依補氣量、對既有結構安全性、工程費、施工性及法規面等五個因子，評估降低通氣隧道風速之三個方案綜合比較如表3.4-1所示。

一、補氣量

方案一豎井及方案二豎井-隧道-豎井複合式之通氣斷面積為 $\frac{1}{4}\pi D^2=23.7\text{m}^2$ ，方案三通氣隧道擴挖新增通氣斷面積為 $=36.5-22.3=14.2\text{m}^2$ ，故方案一及方案二可補氣量較方案三為大。

二、對既有結構物之安全性

方案一對曾文環湖道路隧道為平行淨間距 24.9m，依 Underground Excavations-書作 Hoek & Brown 所提之岩力理論，在水平向兩側隧道中心點之安全距離為 $D=2.5(a_1+a_2)\times F_s$ ， a_1 及 a_2 為兩隧道之半徑 F_s 為安全係數。環湖道路隧道半徑 7.25m，豎井開挖半徑 3.25m，所需最小安全距離為 $D_{\min}=2.5\times(7.25+3.25)\times 1=26.25\text{m}$ ，則淨間距 $=26.25-7.25-3.25=15.75\text{m}$ ，故方案一對曾文環湖道路隧道應無影響。方案二對曾文環湖道路隧道為水平淨間距 25.2m，在垂直向上下之兩隧道中心點之安全距離為 $D=1.87(a_1+a_2)\times F_s$ ，所需最小安全距離為 $D_{\min}=1.87\times(7.25+3.25)\times 1=19.64$ ，則淨間距 $=19.64-7.25-3.25=9.14\text{m}$ ，故方案二對曾文環湖道路隧道應無影響。方案三對電廠壓力鋼管淨平行距離 5.05m，在水平向所需最小安全距離 $D_{\min}=2.5\times(a_1+a_2)\times F_s=2.5\times(3.8/2+3.7)\times 1=14\text{m}$ ，則淨間距為 $14-\frac{3.8}{2}-3.7=8.4\text{m}$ ，故方案三對電廠壓力鋼管影響較大。

三、工程費

(一) 方案一：總工程費約 1.26 億元。

(二) 方案二：總工程費約 1.07 億元。

(三) 方案三：總工程費約 0.70 億元。

以上比較顯示方案三通氣隧道擴挖方案工程費較低。

四、施工性

- (一)方案一，因既有便道坡度陡及新設施工便道位於順向坡施設困難，且豎井深達150m，施工困難度較高。
- (二)方案二，因施工便利性可利用曾文環湖道路做為豎井入口，而施作時亦不影響曾文環湖道路之通行，而水平隧道與豎井交接處擴挖處理後打鑿豎井深度僅約74.28m，故施工困難度較方案一低。
- (三)方案三因施工便利性，但機械擴挖因通氣隧道有筋襯砌混凝土強度 350kgf/cm^2 敲鑿困難高及產生震動可能影響電廠設施。

五、法規面

- (一)方案一因涉及施工道路開闢及既有道路改善，依水土保持法第12條三項修建鐵路、公路、其他道路或溝渠等及水土保持計畫審核監督辦法第3條第三項修建鐵路、公路、農路以外之其他道路：路基寬度未滿4公尺，且長度未滿500公尺者需提簡易水土保持申報書審查，依方案一施工便道長約407m 及施工便道路寬採4m，則方案一須提簡易水土保持申報書審查。
- (二)方案二及方案三則與外界無關，對環境沒有影響，故無簡易水土保持申報書提送問題。

依據以上評估，以補氣量大，對既有結構物安全應無影響、施工性及法規面佳初步建議採用方案二，予以豎井-隧道-豎井複合式方式取得必要的通氣斷面。

表3.4-1 PRO 通氣各改善方案綜合評估

項目	方案一：豎井	方案二：豎井-隧道-豎井複合式	方案三：通氣隧道擴挖
補氣量	新增通氣面積23.7m ² 相較可補氣量大	新增通氣面積23.7m ² 相較可補氣量大	新增通氣面積14.2m ² 相較可補氣量小
對既有結構物安全性	對曾文環湖道路隧道應無影響	對曾文環湖道路隧道應無影響	對電廠壓力鋼管安全影響較大
總工程費	1.26億元	1.07億元	0.70億元
施工性	1.施工便道坡度陡及深井開挖施工性較差	2.施工便利性佳，施工困難度較方案一低	3.施工便利性佳及機械擴挖可施工性差
法規面	提出簡易水土保持申請書	無簡易水土保持問題	無簡易水土保持問題
建議		V	

第四章 結論與建議

- 一、曾文水庫底孔洩水排砂主要有 PRO 及新建防淤隧道等結構物設施，為維持曾文水庫有效庫容目標，水力排砂及浚漂清淤為其主要手段，因此 PRO 為排除水口附近淤砂使水庫能順利供水運轉，故 PRO 在汛洪期經常性運轉實屬有必要性。
- 二、PRO 已由荷本閘改為全斷面通水之射流閘門，但因補氣風速過高影響人員進出安全，而本聯通管工程在運轉維護期間人員進出亦將受其影響，故本工程 A1 標建議納入 PRO 通氣改善工程有其需要性。
- 三、PRO 通氣主要途徑為由施工維護隧道至#2 導水隧道，再大部分由通氣隧道及小部分 PRO 操作維護隧進行補氣。而施工維護隧道通斷面積不足可由打開#2 導水隧道封牆解決，PRO 操作維護隧道及#2 導水隧道之風速屬 6 級風毋需改善，通氣隧道風速改善方案建議直接由消能室增設與外部聯結之通氣設施，或擴大既有通氣隧道斷面等方案評估。
- 四、通氣設施建議採 6 級風為設計目標，研擬通氣隧道風速改善方案，方案一為豎井工程直徑 5.5m，方案二為豎井/隧道/豎井複合式工程直徑 5.5m，方案三為通氣隧道擴挖至 6.4m 寬門型隧道，三個方案皆可有效降低通氣隧道風速在 6 級風範圍內。
- 五、本案以補氣量、對既有結構物安全、工程費、施工性及法規面等五個因子評估，建議採用補氣量大，對既有結構物無影響、施工性及法規面佳之方案二，豎井 - 隧道 - 豎井複合式方案。

參考文獻

1. 「曾文及南化水庫聯合運用可行性規劃」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國91年。
2. 「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國102年。
3. 「曾文水庫永久河道放水道改建防淤設施工程」竣工圖，民國104年。
4. 「曾文南化聯通管工程計畫-基本設計報告」，經濟部水利署南區水資源局，民國107年。
5. 「曾文南化聯通管工程」基本設計圖，民國107年。
6. 「曾文南化聯通管工程設計及環境影響檢討-成果報告」，經濟部水利署南區水資源局，民國108年。
7. "Baffle-Drop Structure Design Relationship" (Journal of Hydraulic Engineering, September ,2013 , Prof. A. Jacob Odgaard

附錄一 ANSYS CFX 理論與應用

附錄一 ANSYS CFX 理論與應用

一、三維數值模式之發展與應用

目前商業版泛用型三維計算流體力學軟體已被廣泛地應用到工業界處理複雜的三維流場問題，其中包括壓縮及不可壓縮流場、層流與紊流、暫態與穩態流場、化學變化、多相流、濃度計算、燃燒熱傳、輻射...等功能。而且針對軟體功能的延展性，一般泛用型商業版軟體也提供了相當多且具彈性的使用者副程式 (Users Subroutines)，可供使用者動態改變所需的物理參數與邊界條件設定，以符合實際的物理問題。因此，本模式曾採用商業版泛用型三維計算流體力學軟體來模擬石岡壩水理之三維流場與壓力場。

目前國內常用之商業版泛用型三維計算流體力學軟體大致可分為 ANSYS CFX、ANSYS Fluent、CFD-ACE+以及 Flow3D 等，其簡介如表4-1所示。基本上，各家軟體可適用的範圍都相當廣泛，因此軟體的選擇將取決於建模的難易度以及使用者的熟悉程度，在水利計算中常用的軟體為 ANSYS CFX、ANSYS Fluent 和 Flow3D。ANSYS CFX 進行流場之分析，其數值方法是採用有限體積法及 Van Doormaal 所提出的二階線性斜上游差分法及物理移位校正法，該方法為 Raithby 的斜上游差分法的改進，採用此方法的好處是有明確的物理意義，積分點的近似值沿著流線方向所求出，因此可減低因流線與差分方向相異而產生的誤差，如此不僅可增快收斂速度，準確度也可提高。ANSYS Fluent 是美國 Fluent 公司所發展的三維計算流體力學軟體，此軟體已廣泛地被用在空氣動力學(如飛機流場、汽車流場...)、工業工程及建築通風設計、多相流場等。使用 finite volume、pressure based 三維計算流體力學軟體。此外，在壓力項求解方面，則可採用 SIMPLE、SIMPLEC 或 PISO 等數值方法，而紊流模式則可採用 $k-\varepsilon$ 或 $k-\omega$ 紊流模式，但使用者操作門檻較高。FLOW3D 軟體專長在模擬具

有自由液面流場模擬分析(以 VOF 法模擬分析)，以卡氏座標網格模擬計算簡化使用者花費過多時間在分析前處理網格製作。FLOW3D 在操作設定上非常簡便，網格製作使用卡氏座標網格。但是，卡氏座標網格在流場變化不大區域依然細化網格，造成計算量龐大導致分析時間過長。三套軟體的優缺點比較表如表4-2所示。

表4-1 商業版泛用型三維計算流體力學軟體簡介

軟體	簡介
ANSYS CFX	CFX 是由英國 AEA 公司所開發的計算流體力學軟體，其強大的圖形界面功能可節省傳統 CFD 計算條件設定的時間，搭配新的外型與網格建立模組 ICEM CFD，可快速建立複雜的幾何外型並產生計算網格，具不相稱網格交界面處理能力，可計算具有 multiple frame of reference、紊流、燃燒與輻射、兩相流、自由液面等特徵的流場。
ANSYS Fluent	FLUENT 是美國 Fluent 公司所發展的三維計算流體力學軟體，此軟體已廣泛地被用在空氣動力學(如飛機流場、汽車流場...)、工業工程及建築通風設計、多相流場等，而目前最新的版本(Fluent 6.2)則含有電漿流場與噪音計算等功能。FLUENT 是一泛用型 finite volume、pressure based 三維計算流體力學軟體，網格可為結構性與非結構性網格。
CFD-ACE+	CFD-ACE+ 是美國 CFDRC (CFD Research Corporation)公司所發展的三維計算流體力學軟體，此軟體已廣泛地被用在空氣動力學(如飛機流場、汽車流場...)、工業工程及建築通風設計、半導體設計、流場結構耦合計算、電漿流場、流場結構電場耦合計算等等。CFD-ACE 是一泛用型 finite volume、pressure based 三維計算流體力學軟體，網格可為結構性與非結構性網格。
Flow3D	FLOW3D 其 CFD 之解算技術 True V.O.F.在實務問題的擬真與計算結果有極高的準確度。其特別的 FAVOR 技巧更是針對自由液面 (Free surface) 如常見的金屬壓鑄(Metal Casting)與大地水利學等複雜問題提供了高精度、高效率的解答。

表4-2 商業版泛用型三維計算流體力學軟體簡介(1/2)

軟體	CFX	Flow3D	Fluent
軟體介紹	CFX 是由英國 AEA 公司所開發的計算流體力學軟體，其強大的圖形界面功能可節省傳統 CFD 計算條件設定的時間，搭配新的外型與網格建立模組 ICEM CFD4. CFX，可快速建立複雜的幾何外型並產生計算網格，具不相稱網格交界面處理能力，可計算具有 multiple frame of reference、紊流、燃燒與輻射、兩相流、自由液面等特徵的流場。	FLOW3D 軟體專長在模擬具有自由液面流場模擬分析(以 VOF 法模擬分析)，以卡氏座標網格模擬計算簡化使用者花費過多時間在分析前處理網格製作。FLOW3D 在操作設定上非常簡便，網格製作使用卡氏座標網格。	FLUENT 是美國 Fluent 公司所發展的三維計算流體力學軟體，此軟體已廣泛地被用在空氣動力學(如飛機流場、汽車流場...)、工業工程及建築通風設計、多相流場等，而目前最新的版本(Fluent 14)則含有電漿流場與噪音計算等功能。FLUENT 是一泛用型 finite volume、pressure based 三維計算流體力學軟體，網格可為結構性與非結構性網格。
雙相流處理	Eulerian-Eulerian	VOF 法	VOF、Mixture、Eulerian 與 Level-Set
操作便利性	簡單	簡單	稍難
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. ANSYS CFX 的計算核心是耦合代數多格點求解器，它提供了求解穩定且收斂快速的優點。 2. CFX 提供了交換資料的介面功能，可處理介面兩邊網格不連續的問題，可快速處理水庫內複雜結構的網格製作。 3. 可與 ANSYS 結構模組耦合完成流固耦合分析。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FLOW3D 在操作設定上非常簡便，網格製作使用卡氏座標網格，製作網格皆為自動處理。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ANSYS FLUENT 提供多種網格輸入格式。 2. ANSYS FLUENT 提供了不同網格相交時，交換資料的介面功能，可處理介面兩邊網格不連續的問題，快速處理水庫內複雜結構的網格製作。 3. 可與 ANSYS 結構模組耦合完成流固耦合分析。

表4-2 商業版泛用型三維計算流體力學軟體簡介(2/2)

軟體	CFX	Flow3D	Fluent
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 邊界的網格需要品質較好的網格。 2. 模型與網格建置較花時間 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 雖在結構複雜處可新增一結構區塊細化網格，但容易造成網格數過大、且在流場變化不大區域依然細化網格，造成計算量龐大導致分析時間過長。 2. 雖在新版新增結構分析模組，但在目前該模組僅能對結構進行靜分析。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 邊界的網格需要品質較好的網格。 2. 模型與網格建置較花時間。 3. ANSYS FLUENT 的後處理介面不易操作且顯示較差。

二、流力三維數值模式

本案採用計算流體軟體 ANSYS CFX，該模式具有模擬多相流體之功能，主要係經由求解多相流體容積分率(Volume of Fraction, VOF)的方式來同時計算空氣與水之流場，本方法實際應用上可分為兩類。第一類是多相流體具有清楚的交界面，屬於連體對連體狀態(Continue-Continue Phase)，適用於處理具自由液面的問題；另一類則是多相流體不具有清楚的交界面，屬於載體對被載體狀態之連續延散相體(Continue-Disperse Phase)的處理方式，每一相均有各自的連續方程式及動量方程式，然後考慮各相之間的質量交換、動量交換與能量交換。本案中有關自由液面之處理應隸屬於連體對連體狀態之處理方式。

(一)控制方程式

多相流之主要控制方程式如下表示：

連續方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma_{\alpha}\rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (\gamma_{\alpha}\rho_{\alpha}u_{\alpha}) = \sum_{\beta=1}^{N_p} (m_{\alpha\beta} - m_{\beta\alpha}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

動量方程式：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\gamma_{\alpha}\rho_{\alpha}u_{\alpha}) + \nabla \cdot (\gamma_{\alpha}(\rho_{\alpha}u_{\alpha} \otimes u_{\alpha} - \mu_{\alpha}(\nabla u_{\alpha} + (\nabla u_{\alpha})^T))) \\ & = \gamma_{\alpha}(B - \nabla p_{\alpha}) + \sum_{\beta=1}^{N_p} c_{\alpha\beta}^{(d)}(u_{\beta} - u_{\alpha}) + F_{\alpha} + \sum_{\beta=1}^{N_p} (m_{\alpha\beta}u_{\beta} - m_{\beta\alpha}u_{\alpha}), \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中， γ_{α} 為第 α 相的體積分率， ρ_{α} 為第 α 相之密度， u_{α} 為第 α 相之速度， μ_{α} 為第 α 相之黏滯係數， N_p 為總相數， $c_{\alpha\beta}^{(d)}$ 為兩相之間的阻力交換係數， $m_{\alpha\beta}$ 為兩相之間的質量交換率， p_{α} 為第 α 相之壓力。而體積分率需滿足下列條件：

$$\sum_{\alpha=1}^{N_p} \gamma_{\alpha} = 1. \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中，壓力則假設每一個相均是同一壓力，即：

$$p_{\alpha} = p_1 = p \quad 2 \leq \alpha \leq N_p \quad \dots\dots\dots(4)$$

當多相流體為均質(Homogeneous)時，其每相的速度相同

$$U_\alpha = U \quad 1 \leq \alpha \leq N_p \quad \dots\dots\dots(5)$$

其動量方程式可改寫成

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U) + \nabla \cdot (\rho U \otimes U - \mu(\nabla U + (\nabla U)^T)) = (B - \nabla p) + S \quad \dots\dots\dots(6)$$

其中密度與粘滯係數如下式所示

$$\rho = \sum_{\alpha=1}^{N_p} \rho_\alpha \gamma_\alpha \quad \mu = \sum_{\alpha=1}^{N_p} \mu_\alpha \gamma_\alpha \quad \dots\dots\dots(7)$$

CFX 模式對於自由液面之處理方式，利用體積分率權重法而各相的動量方程式均共享同一組方程式，因此可針對水庫不同水位高程以及排洪隧道閘門不同開度下之三維自由液面流場進行模擬分析時可大量減少其計算量。

使用雷諾平均(Reynolds Average)來處理上述之物理量，則可將瞬時的物理量分為長時間平均的物理量與瞬時紊動的物理量之和，如(3)、(4)式所示。

$$u_i = U_i + u_i' \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$p = P + p' \quad \dots\dots\dots(9)$$

其中 U_i 為 i 方向之長時間平均的速度， P 為長時間平均的壓力， u_i' 為 i 方向之瞬時紊動的速度， p' 為瞬時紊動的壓力。

將(8)(9)式代回(1)和(6)式，即可得到不可壓縮流體之雷諾平均連續方程式及動量方程式，如(10)(11)式所示。

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\rho \left[\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right] = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i' u_j'} \right] \quad \dots\dots\dots(11)$$

其中 $\overline{\rho u_i' u_j'}$ 為雷諾應力(Reynolds Stresses)。

本研究為探討三維的紊流場，故將有四個方程式(一個連續方程式、三個動量方程式)，但是卻有十三個未知數(U、V、W、P、 $\overline{u_i' u_j'}$)，

所以無法解得此紊流場的流場型態。為了解得此紊流場的流場型態，必須要再額外搭配紊流模式(Turbulence Model)，才使得此紊流場成為一個封閉問題(Closure Problem)。

為了解得紊流場的流場型態，使得紊流場成為一個封閉問題，

$$k - \varepsilon$$

本研究使用了 B.E. Launder et al. (1974)所提出的紊流模式。

紊流模式中，使用 Boussinesq 假說(Boussinesq Hypothesis)，則 $\overline{u_i' u_j'}$

可表示如下：

$$\overline{u_i' u_j'} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad \dots \dots \dots (12)$$

其中 ν_t 為紊流黏滯係數(Turbulent Viscosity)， δ_{ij} 為 Kronecker delta，k 為紊流動能(Turbulence Kinetic Energy)，其定義如下：

$$k = \frac{1}{2} \left[\overline{(u')^2} + \overline{(v')^2} + \overline{(w')^2} \right] \quad \dots \dots \dots (13)$$

$k - \varepsilon$ 紊流模式中， ν_t 表示如下：

$$\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad \dots \dots \dots (14)$$

其中 C_μ 為常數， ε 代表紊流動能的消耗率(Dissipation Rate)。

k 的傳輸方程式(Transport Equation)如下式。

$$\frac{\partial}{\partial t} (k) + U_j \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j k) = P - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad \dots \dots \dots (15a)$$

其中 σ_k 為常數。

ε

的傳輸方程式如下式。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon) + U_j \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j \varepsilon) = C_{\varepsilon_1} \frac{P\varepsilon}{k} - C_{\varepsilon_2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (15b)$$

C_{ε_1} C_{ε_2} σ_ε

其中 C_{ε_1} 、 C_{ε_2} 和 σ_ε 為常數。

ε

k 和 傳輸方程式中的 P 表示如下:

$$P = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial U_m}{\partial x_m} \delta_{ij} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} k \frac{\partial U_m}{\partial x_m} \quad \dots\dots\dots(16)$$

$k - \varepsilon$

紊流模式中使用到的常數如后。

$$C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon_1} = 1.44, C_{\varepsilon_2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3 \quad \dots\dots\dots(17)$$

ε

透過連續方程式、三個動量方程式、 k 和 傳輸方程式以及(14)式共七個方程式，可以解出七個未知數(U 、 V 、 W 、 P 、 ν_t 、 k 、 ε)。因為搭配了 $k-\varepsilon$ 紊流模式，可使得紊流場變成為一個封閉問題，且可解得此流場的流場型態。

$k-\varepsilon$ 紊流模式適用於紊動較大的流場，但是在靠近通道的邊牆處，因為有無滑移現象，所以會有一層受黏滯力影響較大的流場區域，稱為黏滯次層(Viscous Sublayer)，此流場區域內並不適用於 $k-\varepsilon$ 紊流模式，因此需要使用其他方式來處理此區域內的流場。

本計算模擬在靠近通道的邊牆處使用 Ciofalo et al. (1989)所提出的近牆函數(Wall Function)來處理近邊牆處的流場。其原理為讓計算模擬中離壁面的第一層網格之離壁距離大於黏滯次層的高度，並在此層網格內使用近牆函數來處理此區域內的流場，而其他區域

$k - \varepsilon$

則還是使用 $k - \varepsilon$ 紊流模式來計算其流場型態。近邊牆處的流場可描述如下:

$$u^+ = y^+ \quad y^+ \leq y_v^+ \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) \quad y^+ \leq y_v^+ \dots\dots\dots(19)$$

其中

$$y^+ = y \frac{u_\tau}{\nu}, u^+ = \frac{u}{u_\tau}, u_\tau = C_\mu^{1/4} k^{1/2}, \kappa = 0.4, E = 9.0 \dots\dots\dots(20)$$

$$y^+ \leq y_v^+ \quad y_v^+ \approx 11.5$$

當離壁距離 ()，此區域為流場受黏滯力影響較大的區域，即為黏滯次層，所以必須要讓離壁面第一層網格的離壁距離大於 y_v^+ ，並且讓此層網格代入近牆函數，以解決紊流模式不適用於此區域的問題。

近牆函數如(4-21)、(4-22)式。

$$P = \frac{\tau_w}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} = u_\tau^2 \frac{\partial u}{\partial y} = u_\tau \frac{u}{u^+} \frac{u}{y} \dots\dots\dots(21)$$

$$\varepsilon = \frac{u_\tau^3 u^+}{y} = \frac{u_\tau u + C_\mu^{1/2} k}{y} \dots\dots\dots(22)$$

代入傳輸方程式中即可計算出近壁面處的流場型態。

(二) 流場之計算流程

三維流場數值模式的模擬分析可分為三個部分，分別為前處理、求解器與後處理。ANSYS CFX 為例，前處理部份目前係採用 ICEM CFD 軟體（使用介面如圖1所示）作為建立幾何、區塊、格網與邊界條件面之工具。建立幾何可利用座標方式、向量方式以及點、線、面及體的方式來建立模擬所需的幾何模型，建構順序為建構點、由點建構成曲線、由曲線(邊)建構成面以及由面自動長成體，接下來再利用 Block 及 O-Grid 的方式，依照不同區域格網的疏密進行切割與建立，其具有建立不均勻網格的功能，可依據幾何形狀及流場的複雜度，在需要探討模擬的區域中建立較密的網格。建立邊界條件面的部分，則可設定各個面的屬性，包括出、入流的面、壓力面以及牆面等部分，作為邊界條件或是控制面的設定區域。當完成幾何模型與格網後，需輸出適當的檔案格式以供 ANSYS CFX 進

行模擬時使用。

ANSYS CFX 參數與模式設定部份（其介面如圖2所示），包含邊界條件的給定(譬如上、下游邊界條件的給定)、物理參數的給定(譬如假設空氣為1大氣壓)、計算模式與算則的選定(譬如使用紊流模式或高解析數值算則)以及模擬結束的收斂條件(譬如假設收斂數值為0.0001或是疊代次數50000次)等等。此外，在模式計算過程中，ANSYS CFX 可以即時輸出整個計算過程的殘值收斂情況（如圖3所示），使用者若發現其殘值收斂情況不佳時，可立即停止計算以選擇更適當的數值算則或參數條件，並配合 hot start 的演算功能，讓使用者不需要等待長久的時間或是模擬演算整個結束以後才知道模擬的結果，因此可有效節省整個案例模擬過程的時間。

ANSYS CFD Post 後處理部份則提供多種流場可視化分析（包括向量圖、等值圖、流線圖等等），可依據使用者的需要，製作流場、流速或是其他可視化資料的圖片檔或是影片檔。而且透過箭頭或顏色色階以及影片方式的呈現，讓使用者對於模擬結果不管是點的資料呈現，或是線及面的資料呈現，均能淺顯易懂的進行分析研判。ANSYS CFD Post 後處理的使用介面如圖4所示。

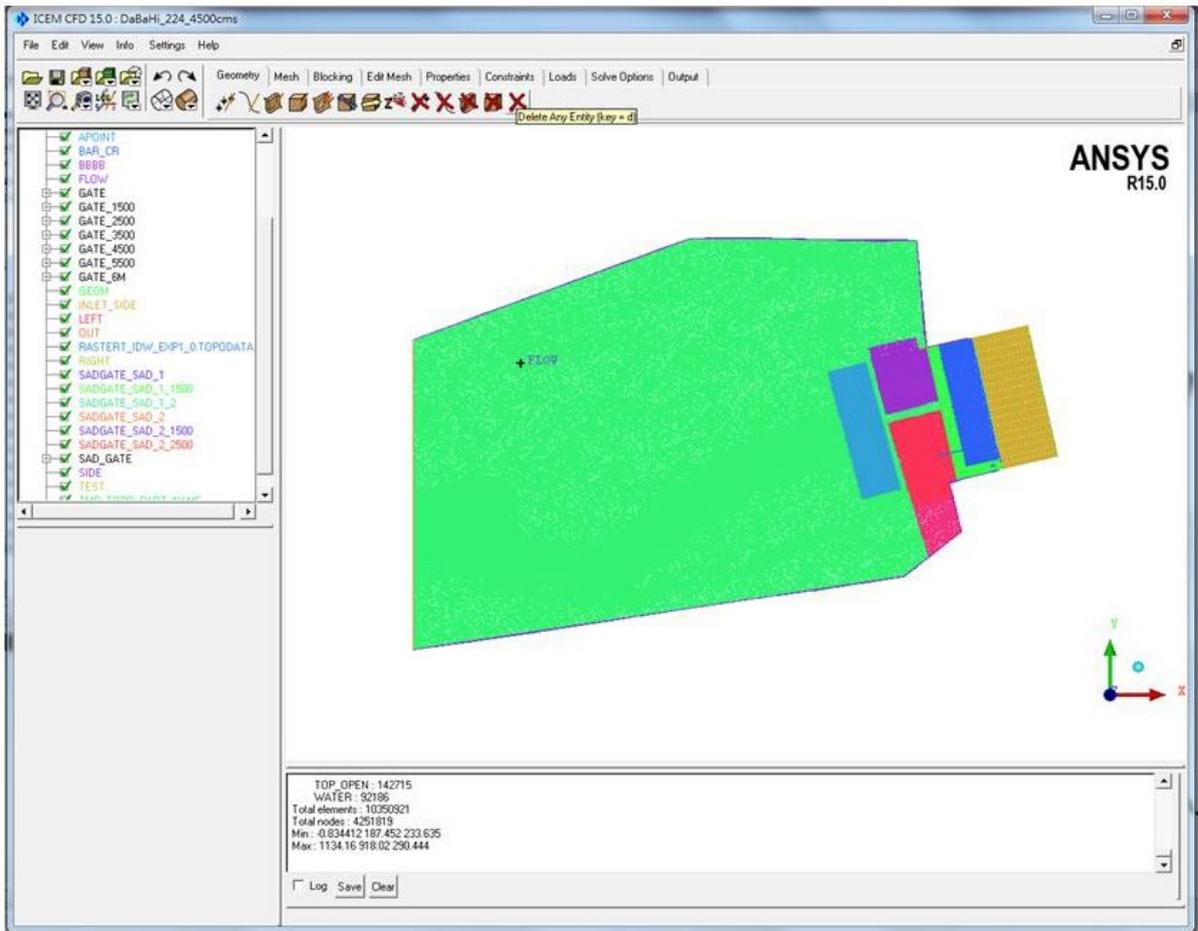


圖1 ICEM CFD 數值模式前處理介面

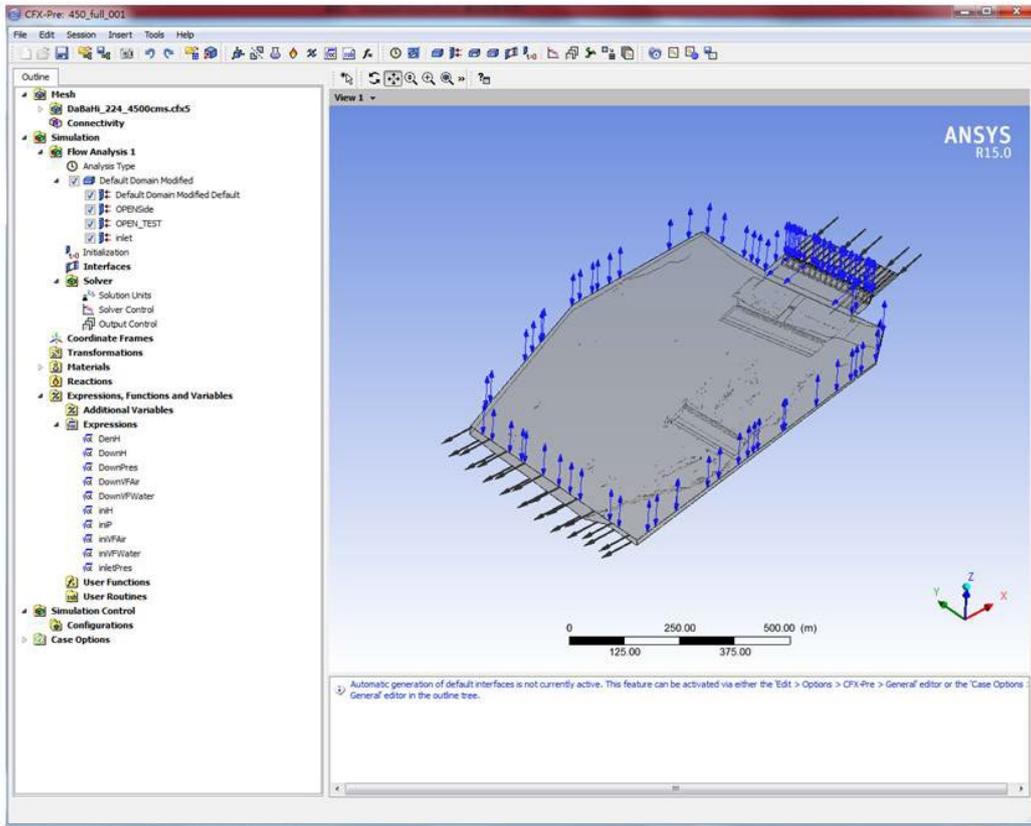


圖2 ANSYS CFX 前處理參數與模式設定的介面

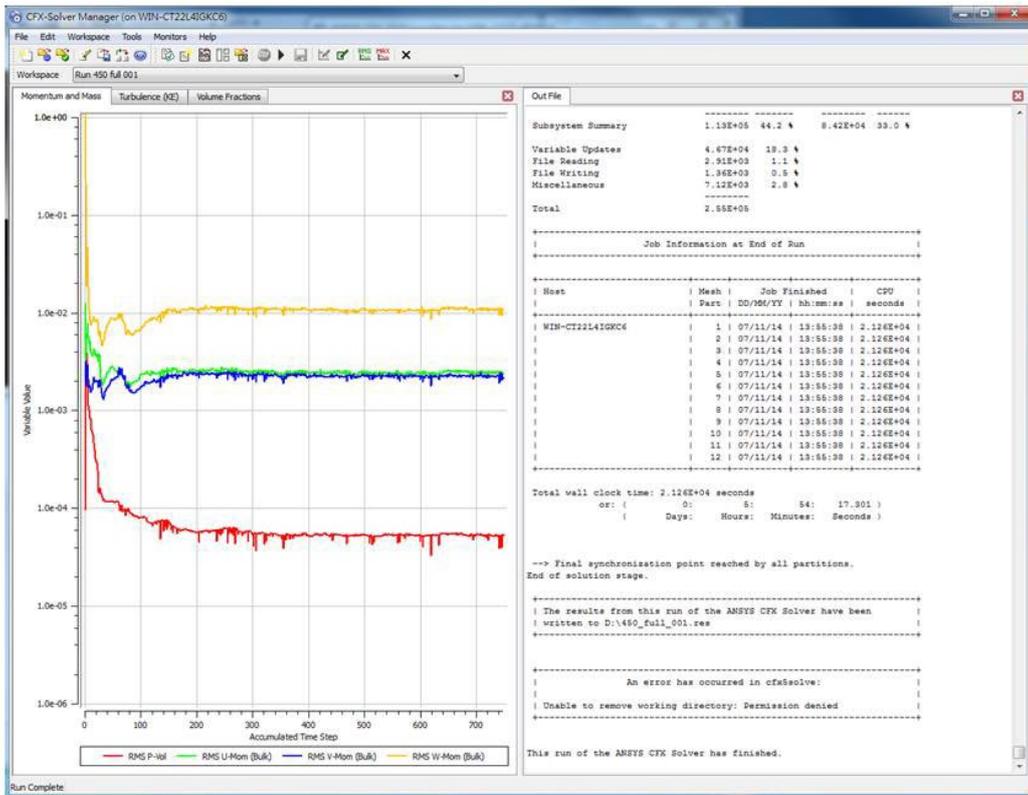


圖3 ANSYS CFX 即時輸出殘值收斂情況的畫面

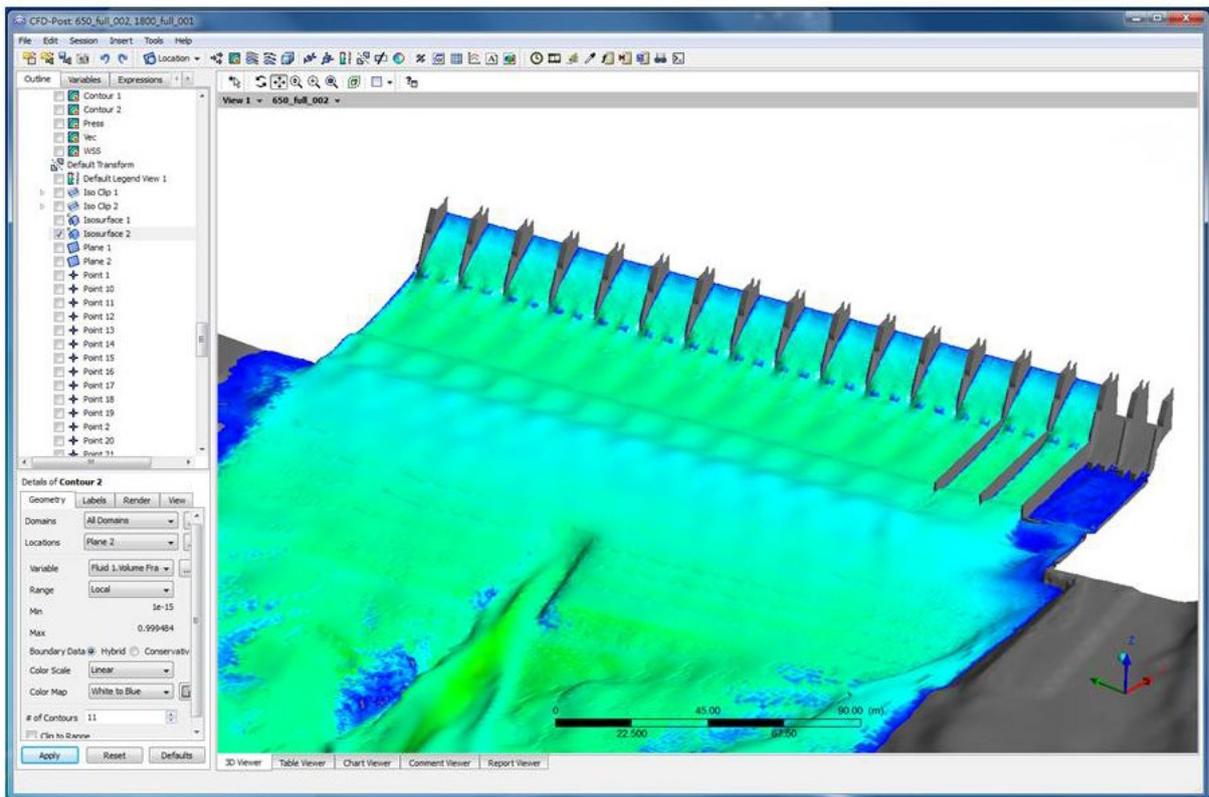


圖4 ANSYS CFD Post 後處理的使用介面

附錄二 歷次審查意見及辦理情形

『曾文南化聯通管工程設計及施工諮詢』PRO 風速改善策略報告

會議審查意見及辦理情形

壹、日期：108年6月10日下午2時

貳、地點：南區水資源局燕巢辦公區(阿管)第二會議室

參、主持人：連局長上堯

肆、記錄人：許秀真

伍、會議紀錄

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
一、黃委員燦輝			
1. 承辦單位已依基本資料蒐集與分析、PRO 防淤運轉降低隧道風速之策略，提出三個改善方案，可做後續計畫執行之參考與依據。	1. 謝謝委員。	—	—
2. 方案一「新建通氣豎井」之施工，是否考慮採用類似「升井工法」之方式，大部分開挖與出土可在#1導水隧道內進行，大量減少聯外道路之使用與擴建，以及對地面與附近環境之衝擊。	2. 謝謝委員建議，豎井施工工法將由統包商提出，惟施工方法須盡可能降低對 PRO 操作之影響時間。	—	—
3. 對所建議的三個改善方案之施工性與風險，宜再進一步詳細評估。	3. 本報告所提方案僅作為改善策略參考。A1標(含曾文 PRO 操作時風速改善工程)統需書將提出增加通氣改善之斷面積及參考方案示意圖，作為統包商投標估價參據，而擇定方案之施工性與風險應由統包商詳加評估，巨廷公司進行實質審查後，經南水局核定後據以施工。	—	—
二、謝委員勝彥(書面意見)			

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
1. 造成高風速之原因並未加以說明，尤以不同部位可能來自不同原因，P2-16以流量對風速之關係之說法不易理解，風速能量如來自於空氣及水面摩擦而來，建議不同流量下宜有對應之水流流速表示(如無表面流速，至少宜有平均流速)，圖2.3.3併請考量是否可採相同表示方式。	1. 曾文水庫 PRO 改為防淤設施於基本設計階段採用多孔式消能能工，而細部設計階段改為新設消能墩方案，因高速水流消能造成補氣量不足之情形。由於高速水流之夾氣現象與補氣需求無法以經驗公式或數值模擬完全掌握，本案以105年2月23、24日 PRO 運轉測試時之放水量及實測風速，繪製關係圖期望尋求放水量與通氣需求之關聯性。	—	—
2. 圖2.4-1請表示水流方向，入口邊界條件176cms 為模式需求之輸入條件？或與流速無關？建議加以說明，另出口之邊界條件為1大氣壓或87.6km/hr 能否以 Total head 或 Energy 之觀點加以說明，尤以此處之 Case 1 及 Case 2似為相同操作模式，出口為何需做不同之設定。	2. 圖2.4-1遵照補充水流方向。本案現況風速模擬分為 Case 1及 Case 2兩種情境，兩種情境之入口邊界條件均為 PRO 放水量167cms (176cms 為誤植)，Case 1情境之出口邊界條件假設為1大氣壓，Case 2情境之出口邊界條件採最大放水量時之實測風速87.6 km/hr，並對兩種情境作比較分析。	2.4節	P2-22
3. P2-16提及”除非在 PRO 可禁止人員進出該隧道...”到底 PRO 運轉時是否人員進出有其必要性，建議加以說明，因 PRO 之操作僅限於某些特定之需要，每次估計會有多少時間？	3. 平時 PRO 操作時通氣隧道無人員進出必要，而施工維護隧道則有人員進出可能，另本工程施工時施工維護隧道為重要通行道路，因此建議予以改善。已修正相關文敘。	2.3節	P2-16
4. 本報告僅對現狀作模擬，建議宜對改善方案應加以模擬，以驗證改善方案之確保。	4. 由於高速水流之夾氣現象與補氣需求無法以經驗公式或數值模擬完全掌握，本報告嘗試以數值模擬瞭解現況操作流場變化作為改善策略參考。 A1標(含曾文 PRO 操作時風速改善工程)統需書將提出增加通氣改善之斷面積及參考方案示意圖，作為統包商投標估價參據。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
5. 對通氣設施採表2.3.1之六級風為設計對象是否太過保守請再考量，因通氣設施如無人員進出，而其結構體為混凝土結構，不知可提高風速之要求否，請考量。	5. 考量目前僅有105年2月23、24日 PRO 運轉測試時之實測資料，且 PRO 現況消能設施與105年有所差異，後續將依108年6月10日會議結論由南水局再辦理更完整風速量測工作，作為 A1標統包商辦理細部設計依據。	—	—
三、賴委員柏勳(書面意見)			
1. 原設計 PRO 補氣路徑自#1施工維護隧道、#2導水隧道分別供應至 PRO 通氣隧道與 PRO 操作維護隧道，最後進入 PRO 之消能室，經實測風速達46km/hr 以上，對操作維護人員而言確有安全虞慮。因此 PRO 通氣管線佈置有必要檢討與修正。	1. 敬悉。	—	—
2. 圖2.4-1三維數值模擬模型及邊界條件示意圖：入口邊界條件流量為176cms 與 P2-21 PRO 總放流量167cms 不一致請確認。另 P2-21採用 CFX 軟體，物理數值及邊界條件：於 Case 2設定風速87.6km/hr 之根據，請補充說明。	2. 本案現況風速模擬分為 Case 1及 Case 2兩種情境，兩種情境之入口邊界條件均為 PRO 放水量167cms (176cms 為誤植)，Case 1情境之出口邊界條件假設為1大氣壓，Case 2情境之出口邊界條件採最大放水量時之實測風速87.6 km/hr，並對兩種情境作比較分析。	2.4節	P2-22
3. 請補充 PRO 之流量率定曲線資料。另 P2-14 PRO 最大放流量為180cms，建議三維模擬時，再補充設計流量 Q=180cms 時之分析成果資料，以為輸氣設施與管線設計之依據。	3. 遵照補充 PRO 流量率定曲線。因無設計流量180cms 之實測風速資料作為邊界條件，且現階段模擬僅作為現況流場瞭解參考，爰未辦理最大放水量情境通氣模擬。	附錄五	附圖5-1
4. 研提三個方案中，方案三雖然經費較低，擴增通氣斷面，亦降低了風速，惟是否可保障人員的安全，似仍有檢討空間。因此建議通氣設施輸氣路徑，仍以獨立系統為宜，亦即通氣路徑與操作維修人員路徑必須分離，以策安全。	4. 敬悉。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
5. 方案一及方案二均為較適合之方案，唯方案一豎井深度達150m，方案二雖分二層豎井(74.28+35=109.28m)，以施工面而言，應是方案二較佳，再加上工程費及水土保持計畫尚亦較占優勢，因此同意建議之方案二。	5. 感謝委員指導。A1標(含曾文PRO操作時風速改善工程)統需書將提出增加通氣改善之斷面積及參考方案示意圖，作為統包商投標估價參據。	—	—
6. PRO將來操作系全開全閉或亦可部分開啟，請補充說明。另操作維護手冊時，請補充操作維護檢查之路線圖。	6. 已補充曾文水庫運用要點及曾文水庫水門操作規定如附件(附錄三&附錄四)，相關維護檢查之路線圖將於工程完工後由統包商配合操作維護手冊修正時提出。	—	—
7. 為利施工之安全性，建議作必要之地質調查或鑽探。	7. 謝謝委員建議，將於統需書中提出施工補充地質調查要求。	—	—
四、陳委員在中			
1. 對PRO運轉時量測風速資料在低開度(流量)時補氣風速(觀測點1、2)差異不大，但高流量時施工維護隧道比通氣隧道大1.5倍，此物理現象有待釋疑？另風速量測方法、位置、及消能室內部流場及水理未明？能否補充加強。	1. 考量目前僅有105年2月23、24日PRO運轉測試時之實測資料，且PRO現況消能設施與105年有所差異，後續將由南水局再辦理更完整風速量測工作，作為A1標統包商辦理細部設計依據。	—	—
2. 對水利設施補氣目的在消能或避免負壓危害，而補氣位置和補氣量如未能明瞭流場熱點與氣壓分佈，採用工程擴孔補氣恐無法符合預期理想。	2. 感謝委員指導。A1標(含曾文PRO操作時風速改善工程)統需書將提出增加通氣改善之斷面積及參考方案示意圖，作為統包商投標估價及得標後細部設計參據。	—	—
3. 報告建議採方案2，此除了需注意1、2點外，尚須補述2方面，(1)水庫安全(該區先後施工過多水利設施)，在施工、設計均要審慎避免危害既有安全含防滲措施，(2)地質須加以評析(在曾文防淤隧道施工時曾有邊坡鋼管樁滑移事件)。	3. 有關施工期間對水庫安全、補充地質調查等諸項，將於A1標(含曾文PRO操作時風速改善工程)統需書內提出要求，並請統包商辦理必要之評析。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
4. 對於#2導水隧道拆除封牆，若基於環境需要，如降低噪音、風速有利於聯管施工(如做好相關抽水措施)，原則認同。	4. 敬悉。	—	—
五、盧委員炳堃			
1. 依105年2月23、24日 PRO 運轉測試結果作為設計依據，當時水庫水位為217.85、217.67m，最大放水量僅167cms，與設計水位有所差異，且僅三組數據迴歸成一線，恐與實際設計需氣量有所差異。	1. 依結論三辦理，後續將由南水局再辦理更完整風速量測工作，作為 A1標統包商辦理細部設計依據。	—	—
2. 2.4節通氣隧道風速模擬分析不符合數值模式檢定、驗證，且目前僅有三種不同開度風速量測數值，宜再收集更多量測數據，先檢定模式各項係數，再依設計條件進行模擬，結果方能提供設計參考，依目前2.4節結果僅檢定做一半，尚未完整建立模式。	2. 感謝委員指導。由於高速水流之夾氣現象與補氣需求無法以經驗公式或數值模擬完全掌握，本報告嘗試以數值模擬瞭解現況操作流場變化作為改善策略參考。 另依結論三辦理，後續將由南水局再辦理更完整風速量測工作，作為 A1標統包商辦理細部設計依據。	—	—
3. 射流閘門潛沒射流與空中射流所需通氣量不同，目前 PRO 射流閘門介於兩者之間，當開度大於50%時為部分潛沒射流與部分空中射流，建議檢討如修改消能工加高第一道尾檻高度，再與目前所提方案比較。	3. 本報告僅辦理 PRO 風速改善策略，PRO 消能工修改方案不在計畫範圍。	—	—
4. 通氣需求一般緊鄰閘門補氣設置效果較佳，如採用第一案建議盡量往射流閘門移。	4. 感謝委員指導。	—	—
5. 105年2月23、24日 PRO 運轉測試時，第一道尾檻尚未加高時量測，建議再進行數次量測。	5. 後續將依108年6月10日會議結論三由南水局再辦理 PRO 現況風速量測，再納入本案 A1標招標文件。	—	—
六、曾文電廠 蔡經理章桂			
1. 於導水隧道設置之球型閘，當球型閘操作時易受水庫原水夾帶枝枯枝、沉積物卡住致受損，球型閘維護難度高；請評估改設為複葉閘之可行性。	1. 球型閘為全斷面通水，平時為全開，故雜物卡住機率低，且球型閘要維護時，前端設有一座蝶閘作為隔離上游水道之用。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
2. 目前規劃於導水隧道設置之蝶閥及球型閥作為隔離及控制用，其閥設置位置建請規劃設立各閥體維修時之吊掛裝置，以利後續維護。	2. 蝶閥及球型閥皆為隔離閥，其使用頻率低，閥體維修次數不多，故由移運式吊掛之設備較為經濟。	—	—
3. 報告第3-1頁一、降低施工維護隧道風速之方案：曾文南化聯通管在#2導水隧道興建時必須將該隧道內既有封牆拆除，並於#2導水隧道出口設置防洪牆如圖...建議事項說明： (1)於#2導水隧道出口設置防洪牆，其設計高度須能防止溢洪道最大排洪量11,345cms 以上流量，避免排洪水量溢流過設置之防洪牆，造成#2導水隧道段積水。 (2)因防洪牆設置，故#2導水隧道段積水(隧道內滲漏水及部分#1號施工隧道口流入之雨水)無法自然排出隧道，須規劃設置動力自動排水系統，以防止隧道積水阻礙維護需求時人車進出。 (3)目前#2導水隧道既有封牆外側(臨曾文溪側)左右兩側隧道仰拱處各設置一只手動操作排水閥，因操作位置設置不佳，造成操作人員危害風險極高，建請將本手動操作排水閥改善設置於封牆內側人車進出平台高處，以利操作維護。(因封牆僅能拆除至人車進出平台高處)	3. (1) 依「曾文水庫防淤隧道工程計畫-出水口調整評估報告」曾文溪一維水理分析在10,000 cms 時，斷面177及178之洪水位分別為EL.116.92m 及 EL.117.16m，而本工程防洪牆頂部 EL.120.5m(詳3.1節圖3.1-2)，應屬安全。 (2)有關#2導水隧道內排水系統，將納入統需書機關需求，於本工程進行改善。 (3)有關#2導水隧道內排水系統，將納入統需書機關需求，於本工程進行改善。	— — —	— — —
4. 本案定案後之各新建隧道段、通風豎井、通風隧道擴建規劃，請規劃具阻水功能隧道、通風豎井、通風隧道，以維護聯通管段設施乾燥、PRO 消能功區域滲流水長期滲流之困擾。	4. 本工程新設隧道段為新設鋼管後回填混凝土，故不設置防水；而 PRO 風速改善方案則由統包商評估後提出，是否需考量阻水功能將於細部設計時納入審查。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
<p>5. 本聯通管案於#2號導水隧道貫穿既有水輪發電機組之壓力鋼管段銜接時，建議事項說明：</p> <p>(1)請評估，當貫穿至既有水輪發電機組之壓力鋼管段之某適當距離時(是多少距離?)，水輪發電機組是否需停機，以利施工及確保機組運轉安全。</p> <p>(2)當聯通管將貫穿至既有水輪發電機組之壓力鋼管銜接之工程期間，施工期間請評估是否規畫於枯水期期間及水庫低水位期間施作。</p> <p>(3)於#2號導水隧道施工期間，請妥為規劃汛期期間逢 PRO 調節性放水時，施工機具、管材之固定妥適，及人員安全之維護。</p>	<p>5.</p> <p>(1)發電壓力鋼管為內徑3.8m，考量開挖影響範圍建議於2.5倍直徑範圍(約10m)內停止水輪發電機組。另於細部設計時要求統包商提出計算書。</p> <p>(2)將於統需書中要求壓力鋼管銜接須包含電廠定期檢修時間(每年12月1日至1月15日)。</p> <p>(3)敬悉。</p>	—	—
<p>6. 2號導水隧道目前為補氣通道兼維護重機械車輛進出通道，曾文南化聯通管工程規劃設計於2號導水隧道鋪設管路，建請預留重機械車輛可進出寬度，以利維護環滑閘門、射流閘門機械重件運輸，及 PRO 室25噸固定式起重機及通氣隧道5噸固定式起重機，使用執照到期換照荷重測試時，荷重塊重件可運輸至現場。</p>	<p>6. 敬悉。相關需求於基本設計已考量，並於細部設計時納入審查重點。</p>	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
<p>7. 報告第3-21頁表3.4-1 PRO 通氣改善方案綜合評估，對於已表述之各方案優劣點補充意見說明：</p> <p>(1) 方案一：豎井 優點：開鑿位置於消能功區域，單一直立豎井、且離左壩座山體較遠，對壩體具有較高安定性與穩定性。</p> <p>(2) 方案二：豎井-隧道-豎井 缺點：開鑿位置與本聯通管案於#2號導水隧道貫穿既有水輪發電機組之壓力鋼管段銜接段同向之平行段，致左壩座山體增加很多隧道孔洞，對山體、壩體之穩定性是否有影響，是否需詳細評估。</p>	<p>7. 本報告所提方案僅作為改善策略參考。A1標(含曾文PRO操作時風速改善工程)統需書將提出增加通氣改善之斷面積及參考方案示意圖，作為統包商投標估價參據，而擇定方案之施工性與風險應由統包商詳加評估，巨廷公司進行實質審查後，經南水局核定後據以施工。</p>	—	—
<p>8. 本聯通管案於#2號導水隧道貫穿既有水輪發電機組之壓力鋼管段銜接，銜接後若僅有部分隧道灌漿回填，其餘隧道若維持人員可通達巡視、維護保養時，此段隧道建請規劃設置通風、照明及排水管路。</p>	<p>8. 新建隧道段於鋼管銜接後將全部回填混凝土，故無需設置通風、照明及排水管路。</p>	—	—
<p>9. 曾文水庫及烏山頭水庫串聯應用，依供水需求，需維持水輪發電機組可運轉供水或由 PRO 開啟經消能工排放水(兩者擇一)，方可滿足供水需求；故曾文水庫河道放水道風速改善案及聯通管案於#2號導水隧道貫穿既有水輪發電機組之壓力鋼管段銜接工程施工程序，須考量可滿足供水需求。</p>	<p>9. 將於統需書機關需求中納入要求，避免產生兩設施同時無法放水之情形。</p>	—	—
<p>10. 曾文水庫河道放水道風速改善案及聯通管案計畫竣工完成後，若有影響既有設施功能或強度時，建請承商需改善修復、補強復原，恢復原有設施之功能及安全。</p>	<p>10. 敬悉。</p>	—	—
<p>七、養護課 陳課長柏宗</p>			

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
1. 施工維護隧道之補氣量除由 PRO 操作維護隧道(電廠廊道)提供部份通氣量，亦可能由#2 導水隧道既有封牆所設水閘門提供補氣量。	1. 敬悉。	—	—
2. 報告2-23：「消能墩」，請修正為「尾檻」。	2. 遵照辦理，已將「消能墩」修正為「尾檻」。	2.4節	P2-23
3. 報告2-23：Case 2邊界條件於#1 施工維護隧道入口為風速 87.6km/hr，與實際測得最大值 118.7km/hr 有所落差，請補充說明差異何在。	3. 由測試報告 PRO#1及#2射流閘門皆為100%開度之測試風速為87.6 km/hr，而實際測得最大118.7 km/hr，#1及#2射流閘門開度分別為67.9%及100%。而模式係模擬兩閘門皆為100%開度之情境，故採入口為風速87.6km/hr	—	—
4. 通氣隧道及#1施工維護隧道實測點均位於隧道入口外側(並非於隧道內)，且實測時係以每10分鐘測量1次(非連續性監測)，建議於分析風量時，實測風速加成一定比例，以符實際。	4. 依會議結論三，將辦理 PRO 現況風速量測，再納入本案 A1標招標文件。	—	—
5. 報告2-25通氣隧道實測風速 62km/hr，Case 2 #1施工維護隧道口實測值87.6km/hr，報告3-4 二.(二)實測最大風速78km/hr，三、操作維護隧道風速約 46km/hr 等風速數據請再確認。	5. 經重新檢視，在 PRO 兩道閘門完全開啟之情況下，通氣隧道實測風速為62 km/hr，施工維護隧道實測風速為87.6 km/hr；在 PRO 兩道閘門開啟之過程中，通氣隧道實測最大風速為78 km/hr，PRO 操作維護隧道實測風速約46 km/hr。	—	—
6. PRO 消能室施工機具及車輛不易到達，如採用方案一、二需考量隧道內施工可行性。	6. 將於招標文件中提出 PRO 風速改善所需增加之通氣斷面積，而施工方案及工法則由統包商提出。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
7. 建議方案一、二、三納入模式分析評估，以利研判風速變化情形。	7. 本報告所提方案僅作為改善策略參考。A1標(含曾文PRO操作時風速改善工程)統需書將提出增加通氣改善之斷面積及參考方案示意圖，作為統包商投標估價參據，而擇定方案之施工性與風險應由統包商詳加評估，巨廷公司進行實質審查後，經南水局核定後據以施工。	—	—
8. 實測風速係第一尾檻未施作之情形，現上述尾檻已施作，PRO射流閘門水夾氣所需通風量恐需進一步評估。	8. 依會議結論三，將辦理PRO現況風速量測，再納入本案A1標招標文件。	—	—
八、設計課 劉副工程司建宏			
1. p.2-12未列出防洪運轉規定所提附表二、三。	1. 遵照辦理，已補充防洪運轉規定所提附表。	附錄三	
2. p.2-14~15未列出規定中所提附圖二、三、四。	2. 遵照辦理，已補充規定所提附圖。	附錄四	
3. p.2-16風速資料分析乙節，「補氣量達大於任何文獻上的報導」之說法，已於工作執行計畫書審查時，要求修改或提出相關文獻說明。	3. 遵照辦理，已修正相關文獻說明。	2.3節	P2-16
4. 圖2.3-3「#1施工維護隧道」應改為施工維護隧道，本報告中仍多處未修改(p.2-21、23、圖2.4-1、2...等)，請再確實校稿。	4. 遵照辦理，已重新檢視並修正。	—	—
5. p.2-21物理、數值及邊界條件分析中，施工維護隧道邊界條件Case2設定為87.6km/hr之原因為何？(為何不設定實際量測最大值118.7km/hr?)	5. 由測試報告PRO#1及#2射流閘門皆為100%開度之測試風速為87.6 km/hr，而實際測得最大118.7 km/hr，#1及#2射流閘門開度分別為67.9%及100%。	—	—
6. p.2-21第一段曾文水庫集區漂流木...略以，漏「水」字請修正。	6. 遵照辦理，已修正相關文字。	2.4節	P2-21
7. 圖2.4-1入口邊界條件流量為167cms非176cms。	7. 遵照辦理，已修正相關文字。	2.4節	P2-22

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
8. p.2-23第一段最後#1導水隧道水速度剖面分布圖，漏「流」字請修正。	8. 遵照辦理，已修正相關文字。	2.4節	P2-23
9. p.3-2~3附圖請改為 A3以利閱讀。	9. 遵照辦理，已將附圖改以 A3版面表示。	3.1節	P3-2~3
10. #2導水隧道出口防洪牆加高係考量何重現期之洪水位？是否可檢討改以活動式閘門設計於超大洪水發生時，仍可緊急關閉以維聯管取水段及 PRO 操作閘室之安全？	10. 依「曾文水庫防淤隧道工程計畫-出水口調整評估報告」曾文溪一維水理分析在 10,000 cms 時，斷面 177 及 178 之洪水位分別為 EL.116.92m 及 EL.117.16m，而本工程防洪牆頂部 EL.120.5m，應屬安全，而考量維護操作問題建議維持防洪牆設計。	—	—
11. p.3-5 方案二之豎井高度應為 74.28m 非 70m。	11. 遵照辦理，已修正相關文字。	3.2節	P3-5
12. p.3-5 第二段#2施工維護隧道應改為 PRO 操作維護隧道，並請確實校稿本文及圖中未修正處（如圖 3.2-1...等）。	12. 遵照辦理，已重新檢視並修正。	3.2節	P3-5
13. p.3-14 文中漏標單位處請補正。	13. 遵照辦理，已重新檢視並修正。	3.3節	P3-14
14. p.3-19 二、對既有結構物之安全性乙節，若依目前所提之岩力理論，通氣隧道現況與電廠壓力鋼管之淨間距是否已不足？即使不選擇方案三，是否亦應設法改善？	14. 報告內所提之岩石力學理論係為經驗公式，PRO 改善工程時通氣隧道設計已有提出詳細之設計計算，於分析安全無虞下進行施工。	—	—
15. p.3-19 二、對既有結構物之安全性乙節，最後一列標點符號×應改為逗號。	15. 遵照辦理，已修正相關文字。	3.4節	P3-19
16. p.4-1 第一條：...略以，「排砂」進水口附近淤砂使水庫能順利供水運轉，...略以，語句不通順，請改為「排除」。	16. 遵照辦理，已修正相關文字。	第四章	P4-1
九、設計課 許正工程司秀真			

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
1. 本課前於曾文南化聯通管工程設計及施工諮詢委託技術服務案工作執行計畫書初審意見，因 PRO 改建早已完成，為免審閱者混淆，請統一將”pro 改建#2施工維護隧道”改稱”PRO 操作維護隧道”、”PRO #1施工維護隧道”改稱”施工維護隧道”。	1. 遵照辦理，已重新檢視並修正。	—	—
2. 第2.1節、二，請補敘 PRO 係於何時改建完成。	2. 遵照辦理，已補充相關資訊。	2.1節	P2-1
3. 圖2.1-3、2.1-4，圖標題請加”永久河道放水道(pro)”消能工....。	3. 遵照辦理，已補充相關文字。	2.1節	P2-5~6
4. 圖2.1-4~圖2.1-7，請依第1點意見修改，或是以備註說明此圖係改建(何時)之圖說，並針對圖內名詞分別重新定義為 PRO 操作維護隧道、施工維護隧道。	4. 遵照辦理，已補充相關文字。	2.1節	P2-6~9
5. 第2.1節，請將曾文水庫運用要點所提及附表二、三列入本報告書。	5. 遵照辦理，已補充附表二、三。	附錄三	
6. 第2.3節，提及 PRO 放流量與通氣隧道補氣量之相關性無明顯趨勢，但施工維護隧道則與 PRO 放流量之相關係數為 $R^2=0.8854$ 。然該兩隧道同位於目前 PRO 補氣唯一路徑，卻呈現如此現象，請補充分析說明其原因。	6. 施工維護隧道為補氣唯一路徑，而通氣隧道非唯一路徑，其可由操作維護隧道經 PRO 操作室之人孔進行補氣。	—	—
7. 請補充敘明第2.4節進行流場3維模擬分析之目的，及未來本工程計畫項下係由 A1標統包工程廠商進行 PRO 消能工之計算流體力學模式模擬，本委託技術服務則針對該模擬結果進行審查。	7. 巨廷公司將對統包商所提模擬資料進行審查。	—	—

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
8. 第2.4節，請說明 Case2為何採用風速87.6km/hr 為邊界條件。	8. 由測試報告 PRO#1及#2射流閘門皆為100%開度之測試風速為87.6 km/hr，而實際測得最大118.7 km/hr，#1及#2射流閘門開度分別為67.9%及100%。	—	—
9. 第3.4節、二，第三、四行，”...半徑 Fs 為全係數，。”標點符號有誤。	9. 遵照辦理，已重新檢視並修正標點符號。	3.4節	P3-19
10. 請補充說明本風速改善難以定暈之原因。	10. 因補氣暈遠大於放暈量，故難以學理上計算求得，僅能以現場測試為之。	—	—
十、結論			
1. 履約情形：查巨廷工程顧問股份有限公司業依本案契約規定及本局108年5月8日水南設字第10815014250號函要求提前於108年5月20日送達永久河道放水道風速改善策略報告乙式30份到局，期程符合規定。	1. 敬悉。	—	—
2. 審查(驗收)結果：本風速改善策略報告未涉及契約第五條撥款原則，故無審查認可與否之議。	2. 敬悉。	—	—
3. 考量本報告書中所取得之風速量測資料係於105年2月23、24日 PRO 運轉測試時，第一道尾檻尚未加高時所量測，且自此迄今期間均未有風速量測資料，為審慎據以提出風速改善策略方案，請設計課洽曾文電廠及養護課討論規劃 PRO 運轉時風速量測方案，俟取得最新風速量測資料後再提供予巨廷公司據以檢討及修正相關改善方案。	3. 遵照辦理，將規範統包商依據最新風速量測資料辦理改善工程細部設計。	—	—

附錄三 曾文水庫運用要點

曾文水庫運用要點

1. 中華民國91年10月1日經濟部水利署經授水字第 09120213570 號 令訂定發布全文 27 點
2. 中華民國98年7月6日經濟部經授水字第 09820207080 號令修正 發布第 5、8、9、15、17、22、27 點及第 8、15、17 點之 附件一、附件二、附件三、附件六；並自即日生效
3. 中華民國99年9月3日經濟部經授水字第 09920209830 號令修正 發布全文 26 點；並自即日生效
4. 中華民國100年5月11日經濟部經授水字第 10020203880 號令修正 發布第 14、18 點；並自即日生效
5. 中華民國102年3月19日經濟部經授水字第 10220202660 號令 修正發布第 11、22~25 點；並自即日生效
6. 中華民國103年12月12日經濟部經授水字第 10320213350 號 令修正發布全文 26 點；並自即日生效
7. 中華民國106年8月11日經濟部經授水字第 10620209320 號令 修正發布全文 27 點；並自即日生效

第一章 總則

- 一、經濟部（以下簡稱本部）為調蓄及有效運用曾文水庫（以下簡稱本水庫）所攔蓄曾文溪水源，以達成供應家用及公共給水、農業用水、水力用水、工業用水與防洪等多目標功能及確保水庫安全，特訂定本要點。
- 二、本水庫以本部水利署南區水資源局（以下簡稱南水局）為管理機關，負責管理運用。
- 三、本水庫位於嘉義縣曾文溪主流柳藤潭上游，其運轉主要設施如下：
 - (一)大壩。
 - (二)溢洪道。
 - (三)防淤隧道。
 - (四)取出水工：
 - 1、取水塔。
 - 2、發電放水路。
 - 3、永久河道放水道。
 - (五)發電廠。
 - (六)東口導水堰。
- 四、本水庫之運用係以年用法為基準，自每年六月一日起至次年五月底止為蓄水運用週期。
- 五、本要點用詞，定義如下：
 - (一)蓄水利用運轉：以水庫蓄水調節供應家用及公共給水、農業用水、水力用水與工業用水標的之需要。
 - (二)防洪運轉：因應颱風或豪雨，經由溢洪道、防淤隧道或取出水工放水之運轉。
 - (三)緊急運轉：在緊急情況，危及水庫安全，情況危殆，嚴重威脅公眾生命及財產之安全時，所採取之因應運轉。
 - (四)基準供水量：依本水庫與烏山頭水庫串聯運用所擬定一年中各用水標的各旬計畫基準分配供水量。
 - (五)水庫運用規線：為執行蓄水利用運轉，依水庫水位或蓄水量劃定界線，以表示水庫存蓄水量之豐枯情形。
 - (六)上限：一年中本水庫有效蓄水量處於豐盈狀態之最低水量。
 - (七)下限：一年中本水庫與烏山頭水庫有效蓄水量之和處於可依基準供水量分配之最低蓄水量。

- (八)嚴重下限：一年中本水庫與烏山頭水庫有效蓄水量之和處於嚴重缺水狀態之水量。
- (九)颱風情況：中央氣象局發布海上陸上颱風警報，且本水庫集水區列入警戒區域時。
- (十)豪雨情況：中央氣象局發布豪雨特報，且本水庫集水區列入警戒區域時。
- (十一)超大豪雨情況：中央氣象局對嘉義地區發布豪雨特報，且可能發生超大豪雨，或颱洪事件預測之本水庫集水區總降雨量達六百公釐。
- (十二)洪峰流量：當次洪水過程中，至調整防洪運轉放水流量時已發生之最大瞬時流量。
- (十三)放水流量：經由溢洪道、防淤隧道及取出水工放水之總放水流量。
- (十四)調節性放水：防洪運轉、緊急運轉或排砂、水質異常、維修需要時，經由溢洪道、防淤隧道或取出水工排放水量，以調節水庫水位之放水。
- (十五)自由溢流：溢洪道閘門開啟至未接觸水面之流況。

第二章 蓄水利用運轉

- 六、本水庫正常滿水位值自五月上旬至八月下旬為標高二百二十八公尺，九月上旬至九月下旬為標高二百二十九公尺，十月上旬至次年四月下旬為標高二百三十公尺。
- 七、本水庫蓄水利用運轉應與臺灣嘉南農田水利會（以下簡稱水利會）之烏山頭水庫串聯運用。
- 八、本水庫洩放之水，除供楠西、玉井地區家用及公共給水及下游水權人使用外，均由東口導水堰攔截，經東口進水口導至烏山頭水庫調節後，由水利會按家用及公共給水、農業用水與工業用水標的之計畫需要放供。
- 九、本水庫蓄水利用運轉應依據水庫運用規線執行，其運用規線在各旬初之水量規定如附表一，規線示如附圖一。
- 十、本水庫蓄水利用依下列規定辦理：
 - (一)蓄水量超過上限時，得視各標的需要，超量供應。
 - (二)蓄水量在上限與下限之間時應按各標的基準供水量供應。
 - (三)蓄水量在下限與嚴重下限之間時，家用及公共給水按基準供水量供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水量之百分之七十五供應。
 - (四)蓄水量在嚴重下限以下時，家用及公共給水按基準供水量之百分之八十供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水量之百分之五十供應。
 - (五)依第三款至第四款規定縮減各標的用水，水庫蓄水仍不敷分配使用時，應視當時情況，依各標的縮減方式再縮減分配供應，或由南水局、水利會、台灣自來水股份有限公司（以下簡稱自來水公司）等協商辦理。
 - (六)依第三款至第五款各標的用水不同打折率之差異水量以移用水量補

注之。

十一、本水庫洩放供應家用及公共給水、農業用水與工業用水之水量，應經由曾文發電廠發電後放出。但不能或不宜經曾文發電廠放水，或發電放水量不足農業用水需要時，得由永久河道放水道放水。

十二、本水庫有效蓄水量在上限以下洩放水量時，不得使東口導水堰溢流。但逾上限且烏山頭水庫水位標高超過五十七·五〇公尺、東口導水堰水流含砂濃度過高或特殊情況洩放水量無法進入烏山頭水庫時，得在東口導水堰溢流。

本水庫之放水應維持烏山頭水庫之水位在標高四十五公尺以上，並應防止溢流。但為調節性放水、實驗、緊急情況等特殊者不在此限。

十三、南水局與水利會應在水庫運用年度開始前共同協商擬定年度供水計畫。

十四、曾文發電廠應配合家用及公共給水、農業用水與工業用水所需水量運轉發電，所發電量按合約售予台灣電力股份有限公司。

十五、本水庫給水以供應嘉義縣、嘉義市及臺南市地區內所需家用及公共給水與工業用水之原水為限，影響農業用水時協議計價補償；公共給水之原水，應售予自來水公司。但自來水公司尚未供水地區，得由本水庫供給原水；工業用水之原水，以不妨礙自來水公司給水計畫為原則，由南水局專案報本部核准後供應之。

給水用戶應與南水局簽訂供水契約後由本水庫按約供水。移用其他標的分配水量時，應先徵詢該標的同意並預先擬定移用水計畫，送南水局及水利會參考配合運用或輸送。如供水需利用水利會之設施時，應洽得水利會同意。

第三章 防洪運轉

十六、本水庫防洪運轉依下列規定執行：

(一)當本水庫於颱風、豪雨、超大豪雨情況或蓄水量超過運用規線上限時，為增加本水庫滯洪容積，得執行調節性放水，唯其放水流量小於二千二百五十秒立方公尺。

(二)超大豪雨情況時，水庫水位超過標高二百二十三公尺，或水庫水位及進水流量達到附表二之條件，得開始防洪運轉。

(三)未達超大豪雨情況時，水庫水位超過標高二百二十六公尺，或水庫水位及進水流量達到附表三之條件，得開始防洪運轉。

十七、防洪運轉在洪峰通過前，放水流量超過二千二百五十秒立方公尺時，放水流量之增加率應小於水庫進水流量之最高增加率，放水流量應小於最大進水流量。水庫水位及進水流量達到附表四之設計洪水情況時，得依本要點及水門操作規定允許之最大流量放水。

十八、防洪運轉在洪峰通過後，當水庫進水流量小於已發生洪峰流量之八成流量，放水流量不得大於進水流量之洪峰流量。

十九、本水庫有下列情事之一時，得停止防洪運轉：

(一)依第十六點第二款規定開始之運轉，水庫水位未超過標高二百二十三公尺，且水庫水位及進水流量低於附表二之條件。

(二)依第十六點第三款規定開始之運轉，水庫水位未超過標高二百二十六公尺，且水庫水位及進水流量低於附表三之條件。

洪峰通過後，得適時調整水庫放水量以增加攔蓄水庫進水流量，以利後續蓄水利用與防淤操作。

二十、南水局執行調節性放水或防洪運轉時，應於放水開始二小時前，廣播放水警報，並以電話及傳真通報本部水利署、本部水利署第六河川局、臺南市政府、臺南市政府消防局、臺南市政府警察局及水利會，迅速轉知下游居民遠離河川區域，以策安全。

二十一、執行調節性放水或防洪運轉之第一小時放水流量以小於一百五十秒立方公尺為原則，以示警告。

若玉井中正橋水位高於該橋在集水區降雨發生前之水位三·五公尺，或走馬瀨橋水位高於該橋在集水區降雨發生前之水位三·五公尺，得免除執行警告性放水。

二十二、防洪運轉時，放水流量達五千五百秒立方公尺時，曾文發電廠應停止發電。

二十三、為排除進水口附近淤砂或增加排除洪水來砂，得使用永久河道放水道、防淤隧道放水。

第四章 緊急運轉

二十四、本水庫發生可能危及壩體安全之緊急情況，應實施緊急運轉。

二十五、緊急運轉時，放水量視緊急情況而定，在不危及壩體安全範圍內，得實施調節性放水，有潰壩之虞者，放水流量得超過二千二百五十秒立方公尺。

二十六、本水庫有潰壩之虞時，應立即發布警報與洩洪。

二十七、本水庫於實施緊急運轉後，應將緊急應變處理經過，陳報本部水利署轉本部備查。

附表一 曾文—烏山頭水庫串聯運用規線 單位：萬立方公尺

月	旬	上限	下限	嚴重下限
6	上	26,644	4,000	3,000
	中	28,538	5,000	3,000
	下	30,431	7,000	4,000
7	上	32,324	9,000	6,000
	中	34,217	12,000	8,000
	下	36,111	15,000	10,500
8	上	38,004	18,000	13,000
	中	40,984	21,000	15,500
	下	43,964	24,000	18,000
9	上	46,943	27,000	20,000
	中	49,923	30,000	24,000
	下	49,923	33,000	28,000
10	上	51,803	36,000	28,000
	中	51,803	36,000	28,000
	下	51,803	36,000	28,000
11	上	51,803	36,000	28,000
	中	51,803	36,000	28,000
	下	51,803	36,000	28,000
12	上	51,803	36,000	28,000
	中	51,803	36,000	26,000
	下	51,803	36,000	25,000
1	上	49,382	36,000	24,000
	中	47,330	35,000	23,000
	下	45,277	33,000	22,000
2	上	43,224	31,000	21,000
	中	41,172	28,000	20,000
	下	39,119	25,000	19,000
3	上	37,067	22,000	17,000
	中	35,014	19,000	16,000
	下	32,962	17,500	15,000
4	上	30,909	14,500	12,000
	中	28,856	11,500	9,000
	下	26,804	10,000	8,000
5	上	24,751	8,000	5,500
	中	24,751	6,500	4,000
	下	24,751	5,000	3,000

說明1：各旬水量為旬初水量。

說明2：上限為曾文水庫有效蓄水量，下限與嚴重下限為曾文水庫與烏山頭水庫有效蓄水量之和。

附表二 超大豪雨情況下得開始防洪運轉之條件

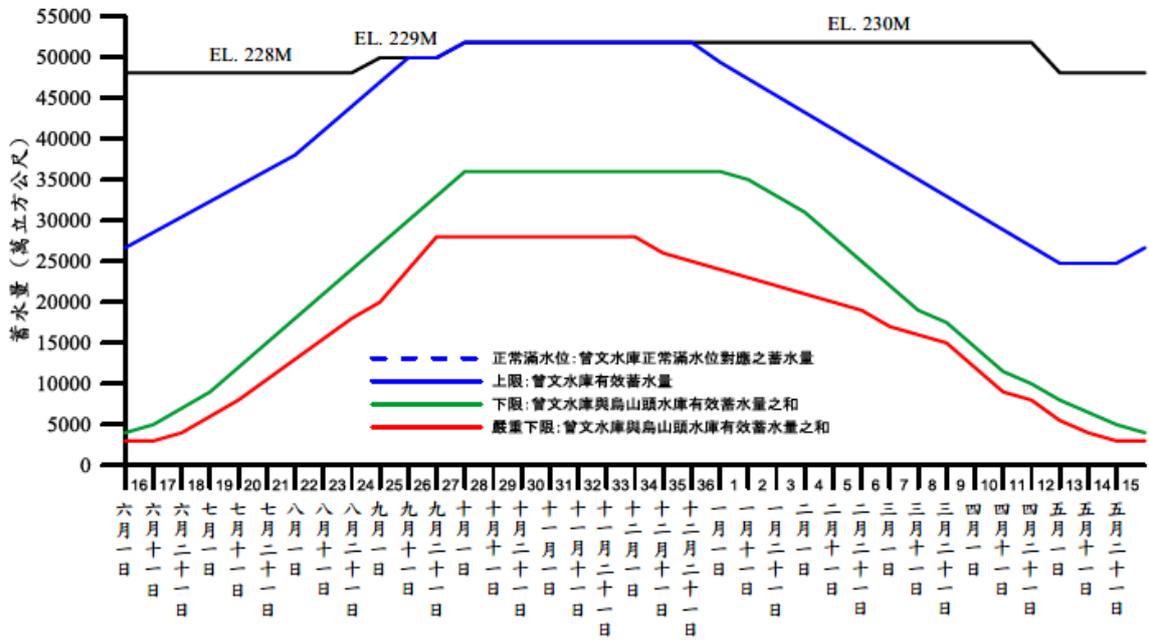
水庫水位（標高公尺）	223	222	221	220
進水流量與放水流量之差量（秒立方公尺）	200	400	600	800
水庫水位（標高公尺）	219	218	217	216
進水流量與放水流量之差量（秒立方公尺）	1,700	2,500	3,200	4,000

附表三 未達超大豪雨情況下得開始防洪運轉之條件

水庫水位（標高公尺）	226	225	224	223	222
進水流量與放水流量之差量（秒立方公尺）	200	600	1,300	1,700	2,100

附表四 得視為設計洪水之條件

水庫水位 (標高公尺)	230	229	228	227	226	225
進水流量與放水流量之差量(秒立方公尺)	0	300	700	950	1,200	1700
水庫水位 (標高公尺)	224	223	222	221	220	—
進水流量與放水流量之差量(秒立方公尺)	2,100	2,600	3,100	3,400	3,900	—



附圖一 曾文—烏山頭水庫串聯運用規線

附錄四 曾文水庫水門操作規定

曾文水庫水門操作規定

1. 中華民國92年5月30日經濟部經授水字第 09220207320 號令訂 定發布全文 11 點；並自即日生效
2. 中華民國98年6月30日經濟部經授水字第 09820206420 號令修 正發布第 3、4、6 點條文；並自即日生效
3. 中華民國99年9月3日經濟部經授水字第 09920209830 號令修正 發布全文 11 點；並自即日生效
4. 中華民國100年5月11日經濟部經授水字第 10020203880 號令修正 發布第 8 點；並自即日生效
5. 中華民國102年3月19日經濟部經授水字第 10220202660 號令 修正發布全文 12 點；並自即日生效
6. 中華民國103年12月12日經濟部經授水字第 10320213350 號 令修正發布全文 11 點；並自即日生效
7. 中華民國104年6月30日經濟部經授水字第 10420208410 號令 修正發布第 5 點及其附圖二、三；並自即日生效
8. 中華民國106年8月11日經濟部經授水字第 10620209320 號令 修正發布全文 12 點；並自即日生效

一、經濟部（以下簡稱本部）為規範曾文水庫（以下簡稱本水庫）各水門啟用之標準、時間及方法，特訂定本規定。

二、本水庫位於嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游，由本部水利署南區水資源局負責操作維護管理。

三、本水庫主要設施及相關水門如下：

(一)大壩：分區滾壓土石壩，壩高一百三十四公尺，壩長四百公尺，壩頂標高二百三十六公尺。

(二)溢洪道：閘門控制溢流式，後接洩槽。堰頂標高二百一十一公尺，設弧形閘門三座，每座寬十五公尺、高二十·五公尺，編號由右岸向左依序為第一號至第三號。最大放水流量為一萬一千三百四十五秒立方公尺。

(三)防淤隧道：閘門控制式，進口中心標高一百七十五公尺，設控制閘門及維修閘門各一座。控制閘門為弧形閘門，寬六·八公尺、高六·八公尺；維修閘門為直立式閘門，寬六·八公尺、高七·七公尺。最低運轉水位為標高二百零二·五公尺。最大放水流量為一千零七十秒立方公尺。

(四)取出水工：

1、取水塔：斜依式取水塔，位於大壩左岸，後接發電放水路及永久河道放水道。

(1)發電放水路取水閘門：寬三·二公尺、高五·〇公尺固定輪閘門一座，進口中心標高一百六十五公尺。

(2)永久河道放水道取水閘門：寬三·二公尺、高六·二公尺固定輪閘門一座，進口中心標高一百五十五公尺。

2、發電放水路：出口設垂直滑動閘門一座，寬六·〇公尺、高四·五公尺，進口中心標高一百六十五公尺，設計流量五十六秒立方公尺。

3、永久河道放水道：出口設射流閘門及環滑閘門各二組，閘門直徑一·九五公尺，進口中心標高一百五十五公尺。最大放水流量為一百八十秒立方公尺。

(五)發電廠：裝機容量五萬瓩，經由發電放水路供水發電，最低發電水位標高一百七十一公尺。

(六)東口導水堰：長（包括排砂道）二百十公尺，高七·四公尺，堰頂

標高八十七公尺，於右岸設固定輪式排砂閘門二座，每座寬十公尺，高四·三公尺，底檻標高八十三公尺，由右向左編號為第一號及第二號閘門。

四、溢洪道閘門操作規定如下：

- (一)平時全閉，於實施防洪運轉、緊急運轉或檢修維護必要時開啟。
- (二)在溢洪道放水流量小於九百秒立方公尺時，閘門之開啟順序原則為第二號、第三號及第一號閘門，第一號閘門為二百五十秒立方公尺，第二號閘門為三百秒立方公尺，第三號閘門為三百五十秒立方公尺。關閉順序與開啟時相反。但須緊急運轉時，閘門操作順序不在此限。
- (三)溢洪道放水流量大於九百秒立方公尺時，三座閘門之操作應維持同一開度，但為因應設計洪水、緊急運轉或水庫自低水位開始滯洪，採取一座閘門自由溢流洩洪，應先全開第二號閘門；採兩座閘門自由溢流洩洪，應先全開第一號及第三號閘門。前述第二號閘門全開後，擬再增加放水流量，應循第三號、第一號閘門之順序全開。
- (四)閘門在每年十一月至次年五月間，應每月維護檢修一次；六月至十月間，應每週維護檢修一次。維護檢修時，閘門開啟至一公尺開度，再關至全閉。但水庫水位在標高二百一十一公尺以上時，不辦理維護檢修之啟閉。
- (五)溢洪道閘門開度與流量關係曲線如附圖一。
- (六)緊急運轉時閘門流量及開度不受以上規定限制。

五、防淤隧道閘門操作規定如下：

- (一)控制閘門：平時全閉，配合水庫防洪運轉、調節性放水或排除泥砂時開啟。
- (二)維修閘門：平時全開，於控制閘門需要檢修維護時關閉之。
- (三)控制閘門開度與流量關係曲線如附圖二。
- (四)閘門開度每小時得調整一次，緊急運轉時不受此限。

六、取出水工閘門操作規定：

(一)取水塔閘門：

- 1、發電放水路取水閘門：平時開啟，於壓力鋼管、水輪機受損或壓力鋼管及發電機組檢修維護時全閉。
- 2、永久河道放水道取水閘門：平時開啟，於永久河道放水道或出口射流閘門及環滑閘門檢修維護時全閉。

(二)發電放水路尾水閘門：平時開啟，於發電機組檢修維護時全閉。

(三)永久河道放水道放水閘門：

- 1、射流閘門：為控制閘門，平時全閉，於發電機組檢修維護、水庫水位低於標高一百七十一公尺無法發電放水、配合水庫防洪運轉、調節性放水或排除泥砂時開啟。開啟時可單閘操作或雙閘同步操作。射流閘門開度與流量關係曲線如附圖三及附圖四。
- 2、環滑閘門：為維修閘門，平時全開，於射流閘門需要檢修維護時關閉之。

七、東口導水堰排砂閘門操作規定如下：

(一)平時全開。

(二)於實施防洪運轉、因地區性陣雨使進水流量超過東口導水堰進水口之最大容許進水量、水流含砂濃度過高、特殊情況洩放水量無法進入烏山頭水庫、供應下游用水時或沖除泥砂或淤積之雜物，應予開啟。

(三)閘門開啟順序以優先開啟第一號閘門、再開啟第二號閘門；關閉順序與開啟時相反。

八、各水門操作方式如下：

(一)溢洪道閘門：以現場電動操作為原則，並得以大壩閘控室遙控電動操作。

(二)防淤隧道閘門：以現場電動操作為主，以遙控電動操作為輔。

(三)取出水工閘門。

1、發電進水口閘門：平時以遙控電動操作，檢修設備或測試時改為現場電動操作。

2、永久河道放水道進水口閘門：現場電動操作。

3、發電尾水閘門：現場電動操作。

4、永久河道放水道出口射流閘門及環滑閘門：現場電動操作。

(四)東口導水堰閘門：現場電動操作。

九、放水警報之配合操作規定如下：

(一)執行調節性放水或防洪運轉，經溢洪道、防淤隧道或取出水工放水至下游時，於預定放水前二小時，應對下游發布放水警報至開始放水後三十分鐘止，並依本水庫運用要點規定通知或通報相關單位。

(二)曾文發電廠開始取水發電或開啟防淤隧道閘門、永久河道放水道射流閘門前一小時，由曾文發電廠實施放水廣播。

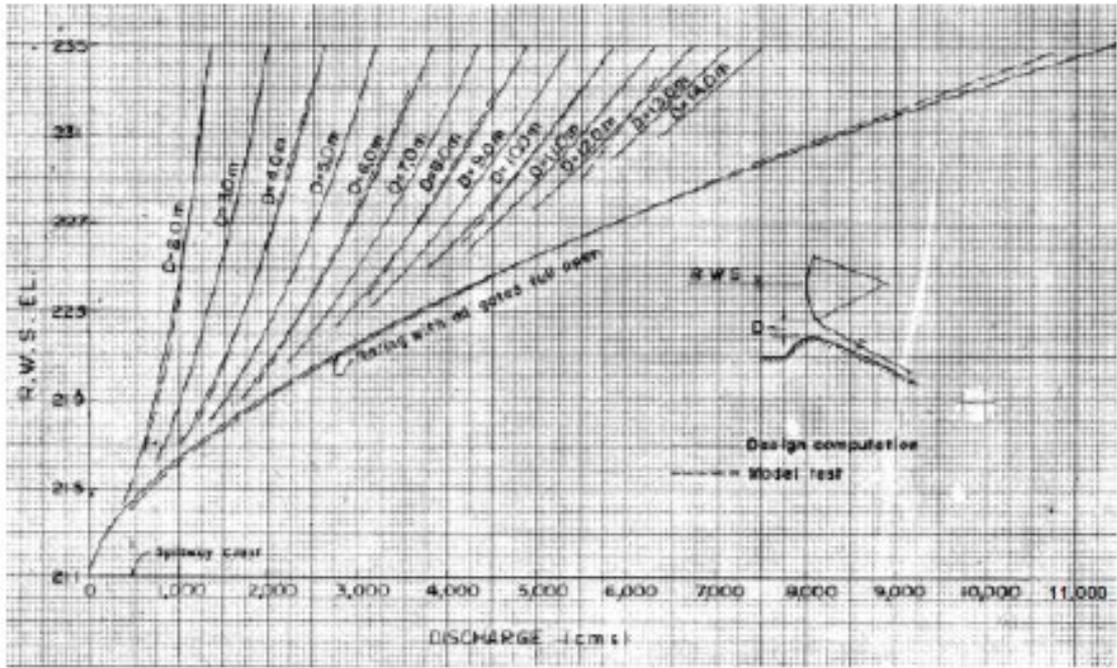
(三)開啟溢洪道閘門、防淤隧道閘門、永久河道放水道射流閘門及曾文發電廠實施發電放水後，閘門開度之調整或增減放流量時，不再發布警報、廣播、通知或通報。

(四)東口導水堰溢流或放水至下游河道前一小時應對下游河道實施放水廣播。

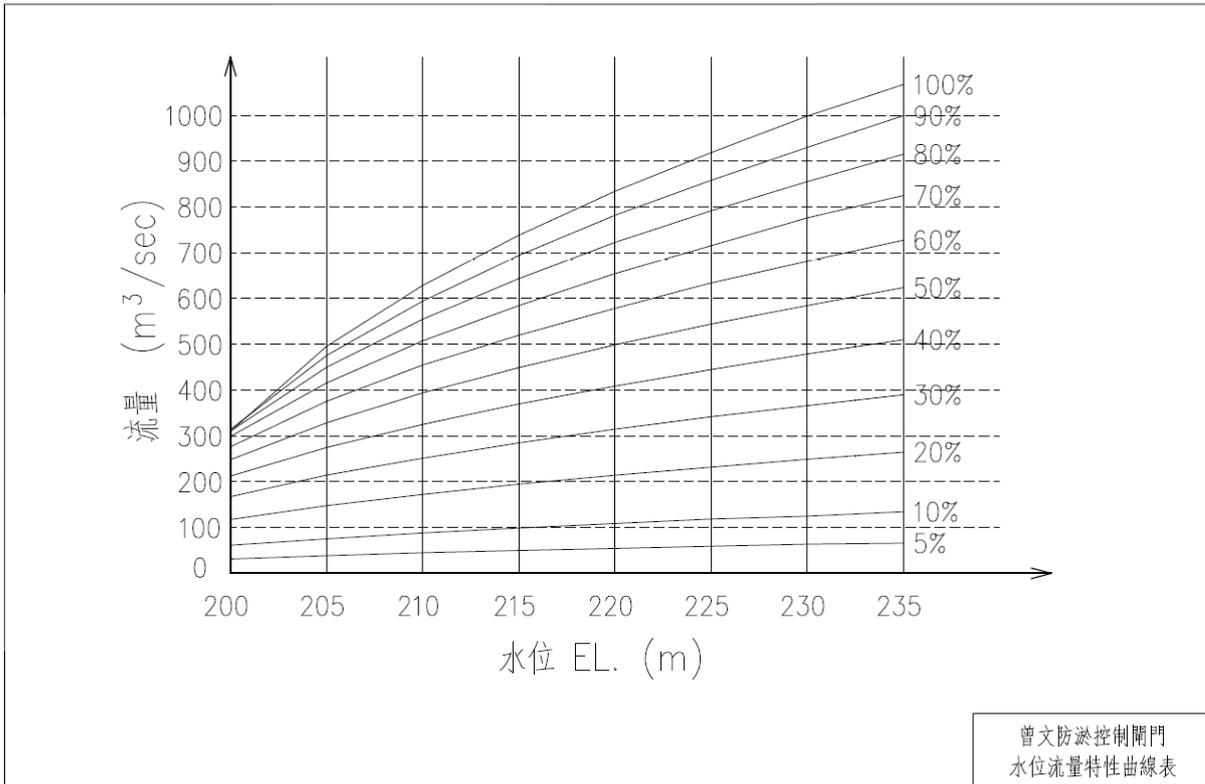
十、本水庫各水門操作情形應確實記錄。

十一、本水庫各水門檢查及維護，應確實依照規定辦理。

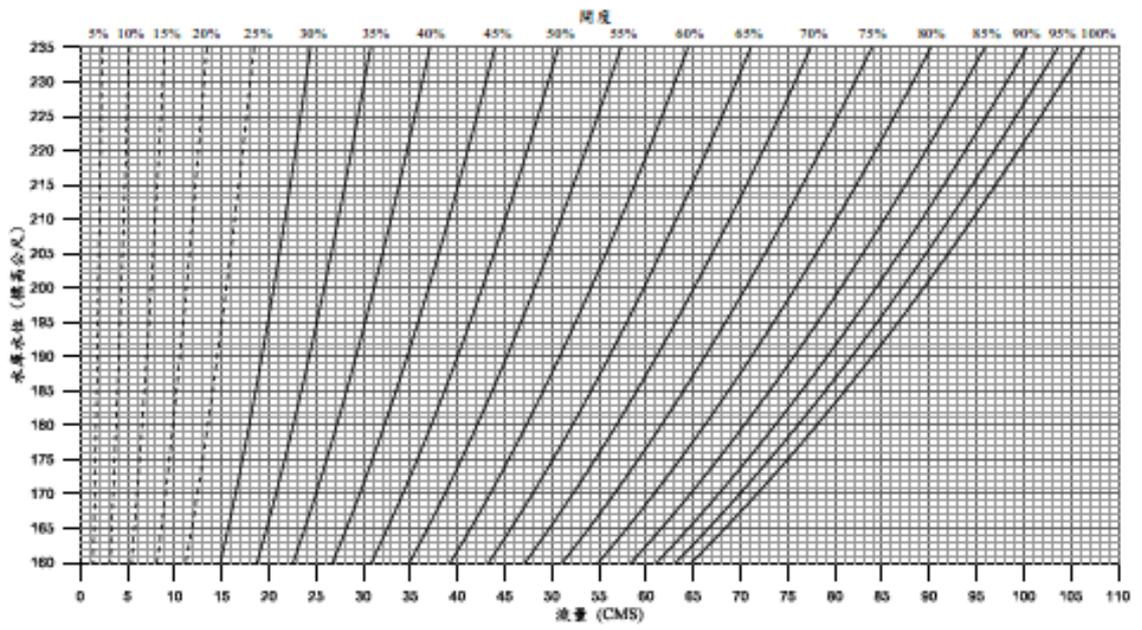
十二、本水庫運轉操作中，如遇緊急事故或異常狀況時，應採取必要之應變措施，事後應陳報本部水利署備查。



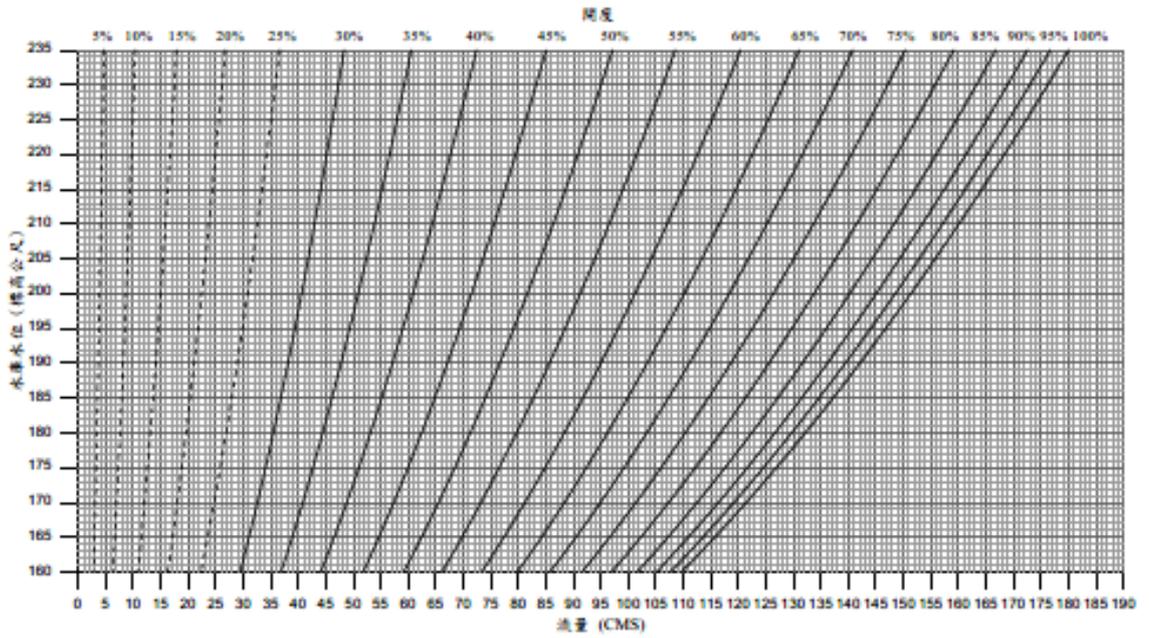
附圖一 溢洪道閘門開度與流量關係曲線(圖型修正至標高235 公尺)



附圖二 防淤隧道閘門開度與流量關係曲線(圖型修正至標高 235 公尺)

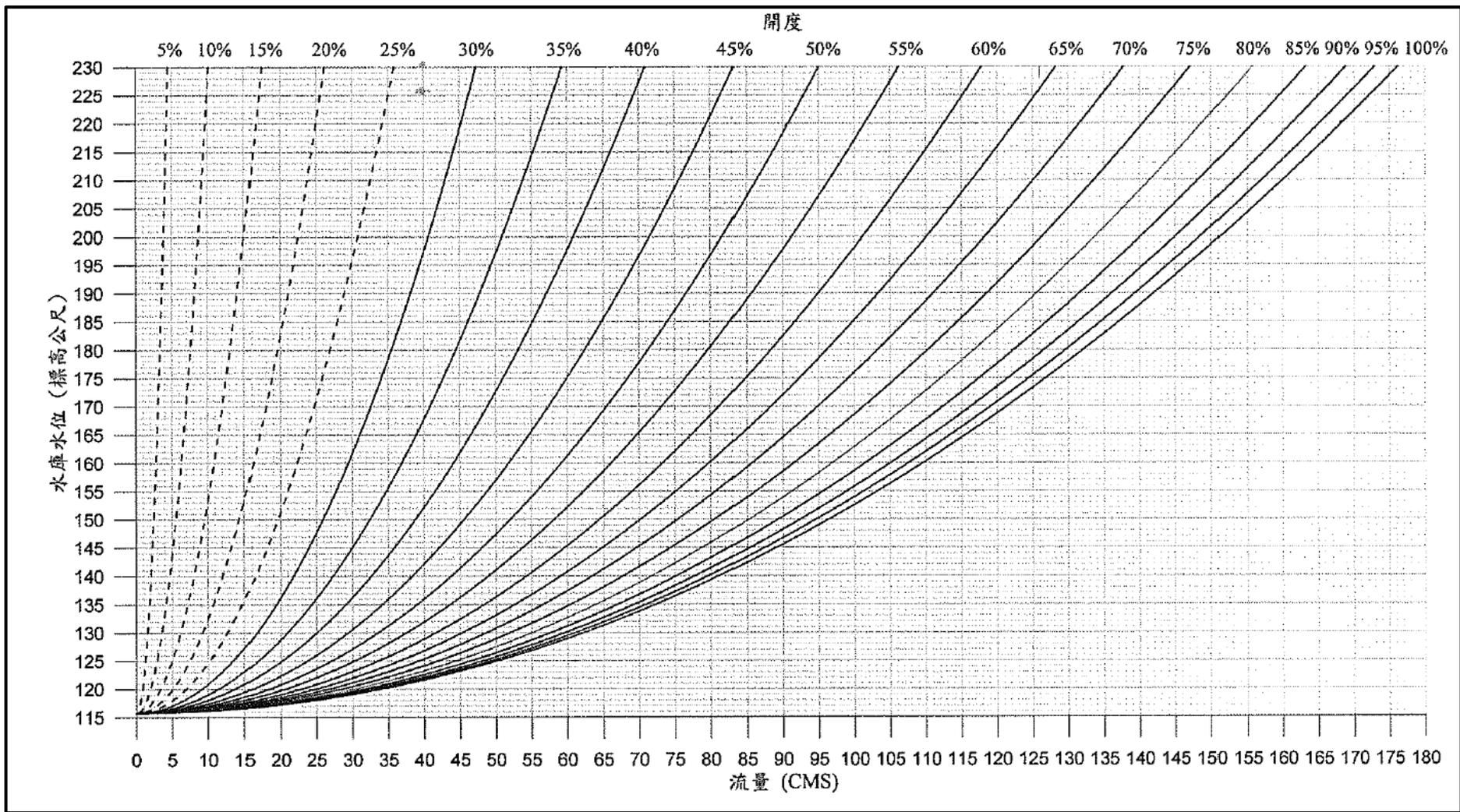


附圖三射流閘門開度與流量關係曲線(單閘啟閉)
 (圖型修正至標高235公尺)



附圖四射流閘門開度與流量關係曲線(雙閘同時啟閉)
 (圖型修正至標高235公尺)

附錄五 PRO 之流量率定曲線



註：本資料由南水局提供

附圖5-1 射流閘門開度與放流量關係曲線(兩閘門同時開啟)