

石門水庫阿姆坪防淤隧道可行性規劃 總報告

Feasibility Study of Amouping Desilting Tunnel Project for Shimen Reservoir Summary Report



主辦機關：經濟部水利署北區水資源局

執行單位：聯合大地工程顧問股份有限公司

中華民國 104 年 7 月

石門水庫阿姆坪防淤隧道可行性規劃

總報告

Feasibility Study of Amouping Desilting Tunnel Project for Shimen Reservoir Summary Report

主辦機關：經濟部水利署北區水資源局

執行單位：聯合大地工程顧問股份有限公司

中華民國 104 年 7 月

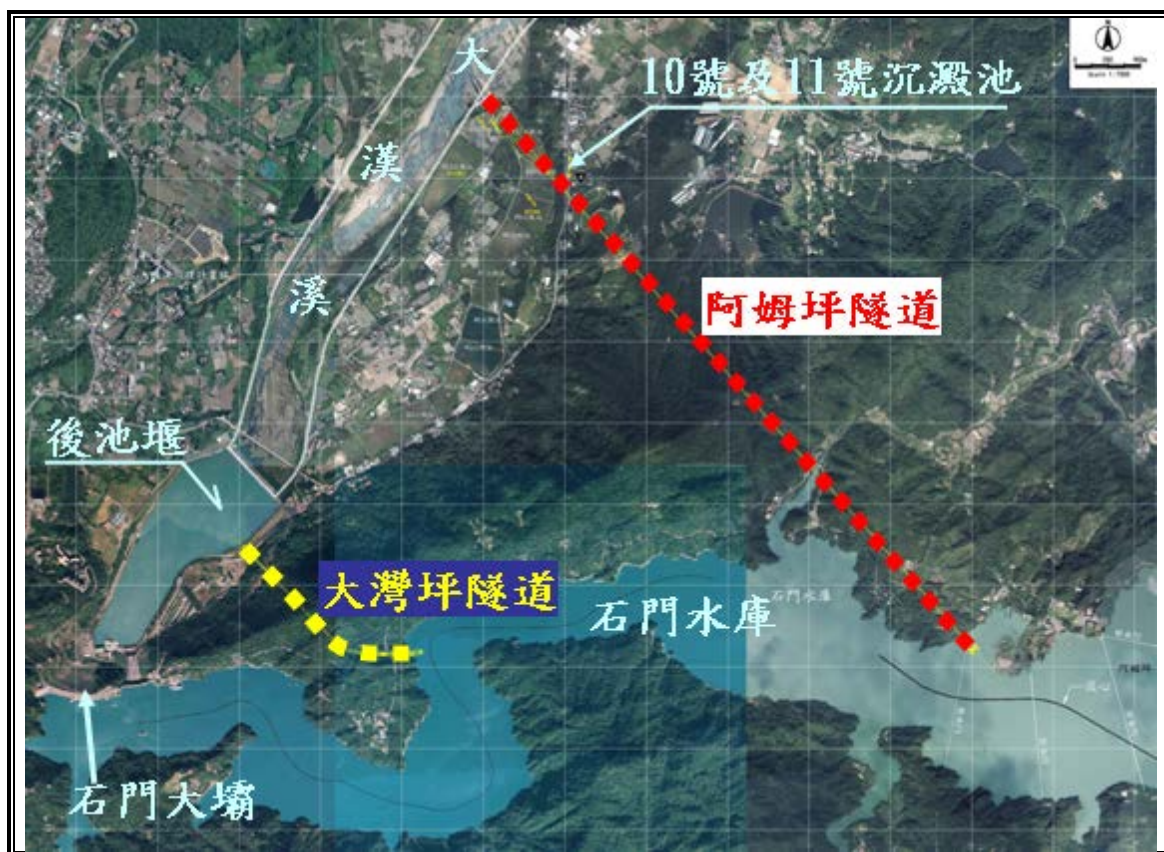
摘 要

一、前言

石門水庫為具有灌溉、發電、給水、防洪及觀光等多目標水利設施，自民國 53 年 6 月 14 日竣工起營運迄今，歷經極端颱風事件後，依據 103 年調查成果，水庫總容量已從原設計 3.09 億立方公尺減少為 2.01 億立方公尺，使得穩定供水及防洪操作之風險提高。面臨氣候變遷致極端水文事件，強降雨之頻率已然驟增，加強石門水庫防淤及排洪能力已刻不容緩，應予以重視並提出對策。

經濟部水利署(以下簡稱水利署)研擬於水庫蓄水範圍內阿姆坪及大灣坪等 2 處增設防淤隧道(位置詳摘圖-1)，規劃藉由功能屬性不同之 2 條隧道工程，加速水庫清淤及增加水力排砂能力，阿姆坪隧道於平時作為水庫土石清淤輸送通道，由佈設於隧道上方之抽泥(砂)管輸送至隧道出口沖淤池及浮覆地堆置，於颱風期間利用該通道排洪水量將沖淤池內可沖淤料排放至下游河道，不可沖淤料部分則進行標售，大灣坪隧道則利用颱風期間水量進行水力排砂操作，藉由水庫異重流到達時將高濃度泥流排放至水庫下游，以提升石門水庫防淤能力，減少水庫泥砂淤積。

水利署在考量整體工程計畫之必要性、急迫性及施工條件，將工程計畫分 2 階段實施，第 1 階段優先推動阿姆坪隧道，並俟阿姆坪隧道完成後再檢討推動第 2 階段大灣坪隧道。國家發展委員會於 103 年 7 月 21 日通過「石門水庫防淤隧道工程計畫(第 1 階段)」，並於 103 年 9 月 1 日經行政院同意辦理，故阿姆坪隧道開始實質進行基本設計工作。本報告為經濟部水利署北區水資源局(以下簡稱北水局)辦理阿姆坪隧道可行性規劃階段之總報告。



摘圖-1 石門水庫增設防淤隧道工程位置圖

二、阿姆坪隧道規劃歷程

民國 97 年經濟部水利署水利規劃試驗所(以下簡稱水規所)開始辦理「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究」，經初步規劃評估較為可行的隧道方案包括(1)中游導淤：自溪口導至 10 號沉澱池之 A 案；(2)庫區排淤：自大溪坪(阿姆坪)排放至 10 號沉澱池之 D 案及自大灣坪排放至後池之 C 案，均能增加石門水庫防淤及防洪能力。

民國 99 年水利署為延續上述庫區排淤排洪策略，由水規所及北水局分別辦理大灣坪隧道(C 案)及阿姆坪隧道(原 D 案)之可行性規劃工作，擬進行二方案比較，選擇優先方案後續推動實施。

水利署於二方案完成可行性規劃成果後於民國 100 年 10 月 21 日召開會議，因根據水工模型試驗結果，大灣坪及阿姆坪兩隧道同時操作之排砂量略低於大灣坪隧道單獨操作之累計排砂量，

故決議「石門水庫防淤隧道工程計畫」採大灣坪隧道(C 案)及阿姆坪隧道(調整 D 案)作為規劃設計組合，其中大灣坪隧道維持利用颱風期間水量進行水力排砂操作，藉由水庫異重流到達時將高濃度泥流排放至水庫下游，阿姆坪隧道則調整為於平時作為水庫土石清淤之輸送通道，由佈設於隧道上方之抽泥(砂)管輸送至隧道出口沖淤池及浮覆地堆置，於颱風期間利用該通道排洪水量將沖淤池內可沖淤料排放至下游河道，不可沖淤料部分則進行標售。

故阿姆坪隧道原 D 案歷經工程方案研擬，完成排砂方案可行性規劃成果，後因功能目標修定再進行調整 D 案可行性規劃，維持原定案路線，調整進水口型式、隧道斷面、及出水口改設沖淤池，因沖淤池型式持續配合水工模型試驗成果進行修正，故本總報告之進水口及隧道規劃方案與工程計畫書一致，惟出水口沖淤池規劃方案係對於工程計畫書方案再進行調整 D 案修正。

後池堰下游河道整理工程非本計畫工作內容，但包括於石門水庫防淤隧道工程計畫(第一階段)中，依審查意見要求本報告需納入後池堰下游河道整理，故摘錄工程計畫內容說明如下：石門水庫後池下游約 250 公尺大漢溪右岸有一突出河道天然高灘，在歷年豪大雨水庫洩洪時，因該河道束縮地形阻礙水流，造成水流加快，河道沖刷潛勢提高。為使水庫既有設施排洪排砂及阿姆坪隧道沖淤時之河道水流順暢，並減低對左岸三坑堤防之安全影響，辦理河道整理。

三、補充地形及地質調查

(一)地形測量

阿姆坪隧道可行性規劃階段於民國 100 年完成補充地形測量範圍如摘圖-2，總計陸域測量面積約 137 公頃，水域測量面積約 38 公頃。

(二)地質調查

阿姆坪隧道可行性規劃階段於民國 100 年完成地表地質複核，地質鑽探 12 孔，總深度 1,000 公尺，各鑽孔目的及孔位座標如摘表-1，現地及室內岩石試驗，地下水位量測 7 孔，地電阻影像剖面探測全線施作共 4,200 公尺，煤礦坑補充調查，路線工程地質綜合評估及隧道特殊地質評估。

(三)地質綜合評估

(1)進水口

進水口位於平坦階地，階地堆積層厚度約 2~3 公尺，其下基盤為桂竹林層，岩層位態約 N66E/56S，岩性以粗粒及細粒之砂岩為主，膠結不良，疏鬆易碎，岩質軟弱，大致完整，層理和節理不發達，單壓強度約 $50\text{Kg}/\text{cm}^2$ ，屬甚弱岩石。

(2)出水口

出水口位於台 4 線省道下方邊坡，地層屬卓蘭層，岩性以砂岩夾頁岩為主，單壓強度約 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ ，屬甚弱岩石，部分岩體呈未膠結之鬆砂狀態。沖淤池通過#10 及#11 沉澱池，原為河階堆積層已移除作為容納水庫淤泥之空間，河階堆積層下方基盤為卓蘭層，高程約為 105~107 公尺，尾水渠道結構物基礎無法座落於岩盤面上，挑流工所在之岩盤岩石強度較低，為低至中耐久性，岩盤易受沖刷應進行保護。

(3)隧道

隧道沿線層面位態為 N62°E/64°S，主要節理有 2 組，位態分別為 J1：N16°W/60°S 及 J2：N58°W/59°N；地層之工程地質特性，桂竹林層強度為 $50\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 屬甚弱岩；

南莊層風化銹染深度達 90 公尺，因膠結變差強度約為 50 Kg/cm² 屬甚弱岩，有含水層，其夾含凝灰岩位置為後續調查重點；南港層強度約為 200 Kg/cm² 屬弱岩，通過湳仔溝溪過河段覆蓋約為 52 公尺，因岩盤透水性低應不致發生大湧水，砂岩層中會有受壓水層；石底層強度約為 350 Kg/cm² 屬中強岩，其煤層分佈確實位置為後續調查重點；新店斷層為阻水層；卓蘭層強度為 50 Kg/cm² 屬甚弱岩，近出水口位置有含水層，隧道通過台 4 線省道下方為淺岩覆約 1.5 倍隧道直徑需進行地質改良。

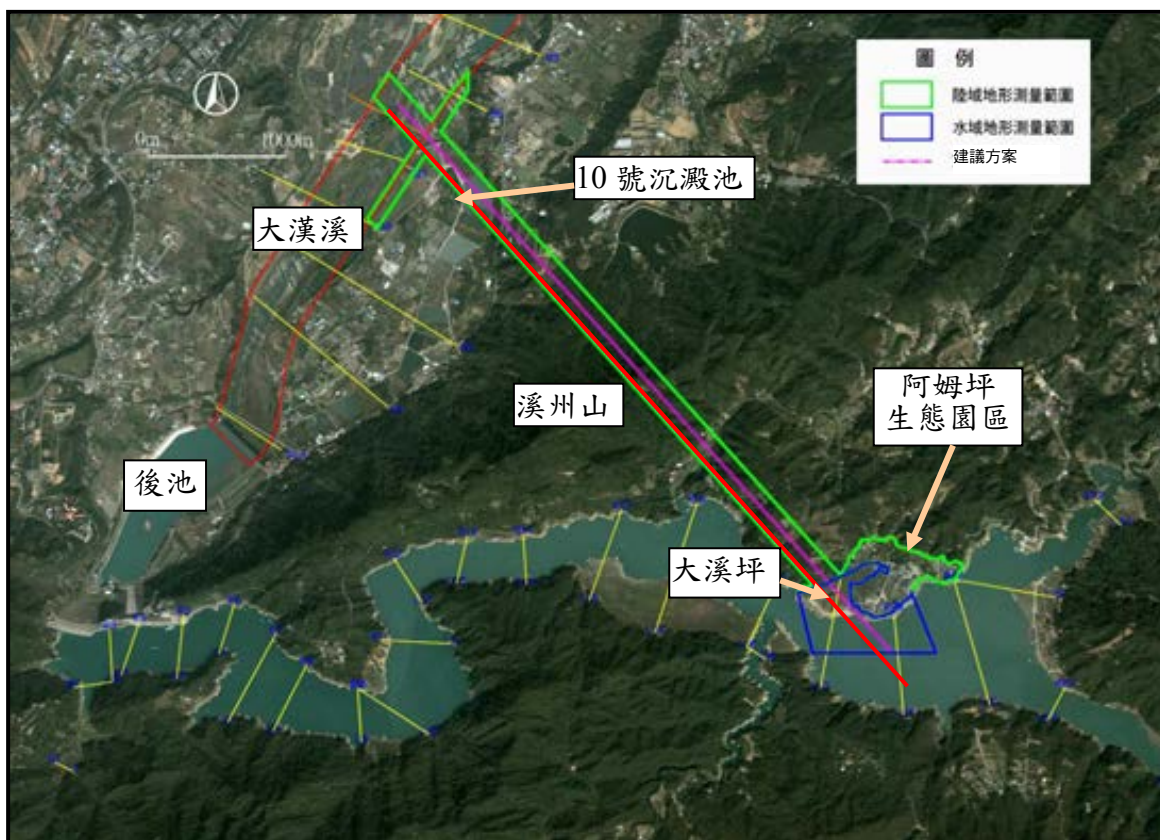
自進水口往出水口隧道沿線各地層及構造所佔比例為桂竹林層佔 3%、南莊層佔 23%、南港層佔 23%、石底層佔 10%、新店斷層佔 2%及卓蘭層佔 9%。

(4)岩體類別分布

根據 PCCR 岩體分類系統，隧道通過南莊層、南港層及石底層為 A 岩類，岩體等級 A_{II}、A_{III}、A_{IV}、A_V 分別佔 5%、50%、30%、15%；通過新店斷層區段估為 A_{VI} 岩體佔 9%；隧道通過桂竹林層及卓蘭層為 B 岩類，岩體等級 B_{IV}、B_V 及 B_{VI} 岩分別佔 40%、40%、20%。

(5)隧道特殊地質評估

隧道通過新店斷層破碎帶區段，評級為高度擠壓地盤，長度估計約 120 公尺，需特別注意；分析結果顯示隧道沿線均無湧水性地盤；根據煤坑調查成果，推估隧道可能通過石底層上、中、本及下層煤，此區段為可能含有害性氣體地盤，長度估計約 290 公尺。



摘圖-2 阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地形測量範圍圖

摘表-1 阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地質鑽孔資料表

鑽孔編號	位置	目的	孔向	座標(TWD97)	高程 (m)	深度 (m)
99BH-02	0K-420	進水口結構物 桂竹林層	垂直	E280203.5 N2744880.2	218.8	50
99BH-03	0K-240		垂直	E280004.4 N2744963.0	235.0	30
99BH-06	0K-110		垂直	E279995.8 N2745123.7	236.8	30
99BH-07	0k+010	隧道進水口段桂竹林層	垂直	E279891.6 N2745191.5	252.4	40
99BH-08	1k+360	隧道段豎井南港層	垂直	E279011.1 N2746181.9	242.6	75
99BH-09	1k+900	隧道段石底層煤層	75°	E278638.7 N2746591.1	417.3	270
99BH-10	2k+220	隧道段新店斷層破碎帶	75°	E278754.5 N2747012.0	293.5	220
99BH-11	3k+630	隧道出口台 4 線公路卓蘭層	垂直	E277506.5 N2747918.5	155.2	45
99BH-12	3k+700	隧道出水口段卓蘭層	水平	E277463.2 N2747967.5	123.2	100
99BH-13	3k+960	出水口結構物卓蘭層	垂直	E277290.5 N2748164.3	116.9	20
99BH-14	4k+410		垂直	E276979.2 N2748523.1	105.8	20
99BH-16	0k+450	隧道段南莊層煤層	垂直	E279593.4 N2745510.8	319.6	100

四、工程規劃

(一)工程規劃路線

阿姆坪隧道進水口約位於水庫河道斷面 19 處，隧道路線則往西北方向以直線佈設，通過湍仔溝溪懷德橋下游溪谷下方，出水口位於台 4 線 35k 附近下方，其後利用 10 及 11 號沉澱池設置沖淤池 1 座，並延伸至大漢溪，阿姆坪隧道平面布置見摘圖-2。

(二)工程規劃原則

為不影響大灣坪隧道或石門水庫之水庫排砂，因此阿姆坪隧道之操作係利用豪大雨或颱風期間多餘水量排放，且應於水庫調節性洩洪或異重流尚未到達時操作，依據「石門水庫水門操作規定及運用要點」石門水庫調節性洩洪量約 200~600 秒立方公尺，本工作訂定阿姆坪隧道操作水位與流量如下。

- 1、水庫水位高程上升至約 242.9 公尺時沖淤流量為 200 秒立方公尺。
- 2、水庫水位高程超越 245.0 公尺時則以自然溢流方式取水。
- 3、水庫水位高程於 245.0 公尺時能有 600 秒立方公尺之放流量，以達沖淤及兼顧防洪功能。

依北水局 103 年 10 月 13 日水北畫字第 10305055440 號函，為配合石門水庫汛期經常性操作水位，進水口應修正為高程 242 公尺可排洪 600 秒立方公尺，本計畫將於基本設計階段檢討辦理。

(三)工程規劃成果

工程規劃分為進水口段、隧道段、出水口段、沖淤池段、淤泥貯留設施場地及後池堰下游河道整理等區段，各主體工程之重要工程數據詳摘表-2，總長度約 4,531 公尺，阿姆坪隧道整體縱斷面見摘圖-3。各主體規劃成果說明如下：

摘表-2 阿姆坪防淤工程重要數據

區段	工程項目	工程內容(高程、數量及尺寸)
水口段	引水渠道進水口堰	1.L1=28.65 公尺，臥箕堰堰長 30 公尺，堰頂高程 245.00 公尺，底部高程 236.00 公尺，設置 5.00 公尺(H)×8.00 公尺(W)之孔口。 2.L2=40.50 公尺，W=30 公尺→18 公尺。
	隧道進水口	1.L1=7.00 公尺，雙道孔口 2@5.50 公尺(H)×7.00 公尺(W)設計。 2.L2=80.00 公尺，S=10%，側牆高程 252.00 公尺。
隧道段	混凝土襯砌隧道	1.L=3675.3 公尺，S=2.86~10%，W×H=8 公尺×9 公尺。
出水口段		1.L1=60.00 公尺，S=2.863%，W=8 公尺→10.5 公尺→26.22 公尺。 2.L2=40.00 公尺，S=10%，W=26.22 公尺→31.26 公尺。
沖淤池段		1. L1=200.00 公尺，S=0.877%，W=31.26 公尺→120 公尺。 2. L2=414.00 公尺，S=0.877%，W=120 公尺。

- 1、進水口段：共設置引水渠道進水口堰及隧道進水口，引水渠道進水口堰採臥箕堰設計，進水口採 3 道孔口設計，進水口型狀以橢圓設計，孔口設有閘門，閘門平時全開，設有操作橋及閘室。隧道進水口採 3 道孔口設計，進水口型狀採橢圓設計，降低入口損失，進水口段平縱斷面如摘圖-4。
- 2、隧道段(含豎井)：隧道斷面為 8 公尺(W)×9 公尺(H)的馬蹄形斷面如摘圖 6 所示，隧道長度 3,675 公尺，進水口高程 236 公尺，出水口高程 115 公尺，坡度為 2.863%，為增加工作面以縮短工期，於隧道里程 0k+305 處設置橫坑，長約 360 公尺，於隧道里程 1k+352 處(懷德橋)，另設置施工豎井，深度約 70 公尺。
- 3、出水口及沖淤池段：出水口及沖淤池段目前檢討修正規劃方案 A、B 及 C 等 3 種不同方案，目前暫以方案 C 出水口之佈置方案，待水工模型試驗驗證其排砂效率後方能決定最終採用方案，出水口段由隧道出口末端寬 8 公尺，漸變至 31.26 公尺銜接沖淤池段。沖淤池段由 20 公尺深槽及兩側坡度 10%之複式斷面渠道構成出水口及沖淤池段如摘圖-5。
- 4、淤泥貯留設施：淤泥貯留設施場區設置於隧道出水口左側，

位置見摘圖-7，主要淤泥貯留設施包含振篩機、洗砂機及泥砂分離機，設定面積為 9,000 平方公尺，包含堆置區、停車場、車道、公用區及地磅管制區，4 周退縮 10 公尺設置緩衝綠帶。

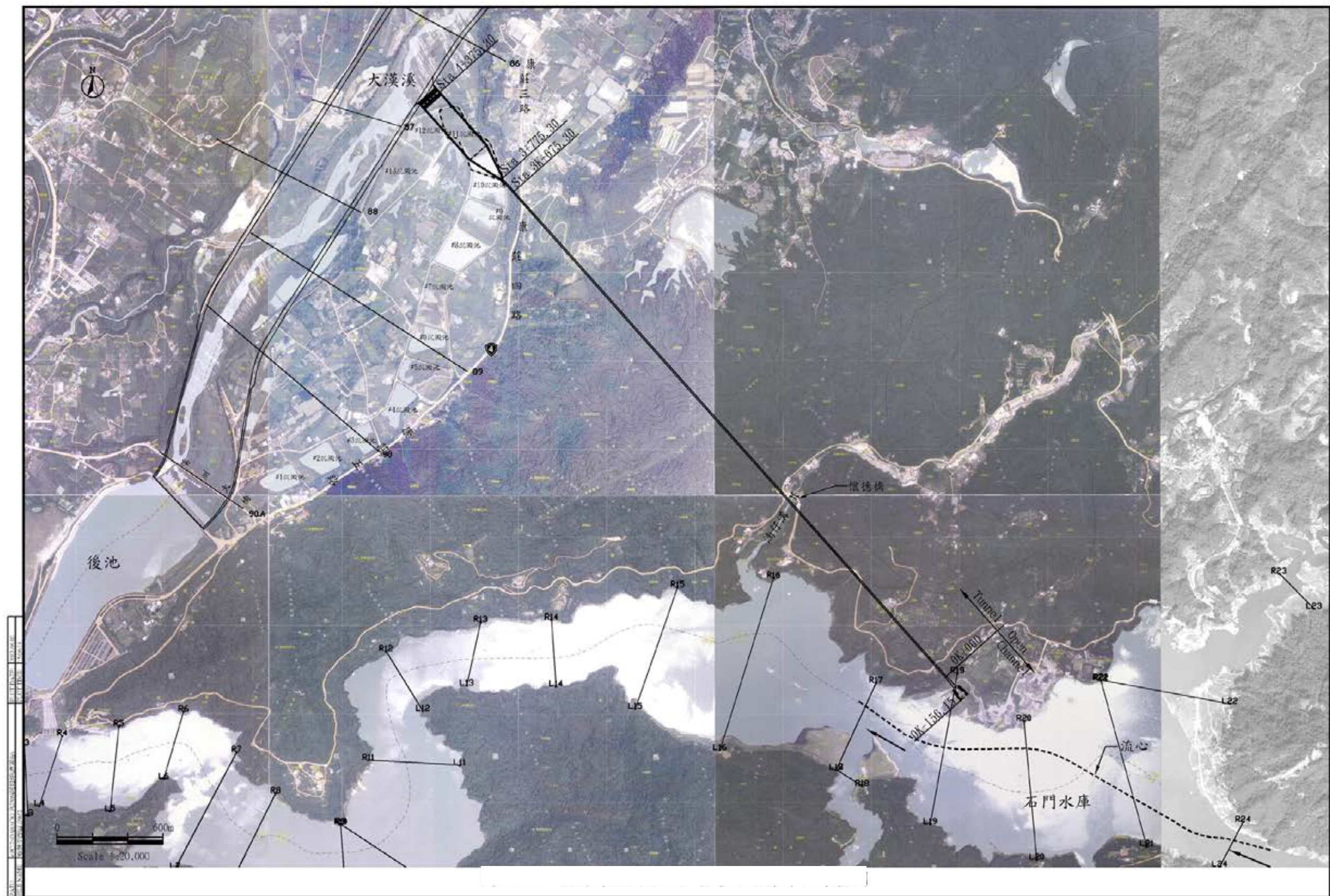
5、後池堰下游河道整理：於大漢溪 88~90A 斷面間河段辦理河道整理工程，並延伸溪洲大橋下游右岸之溪洲護岸約 350 公尺。

(四)工期規劃

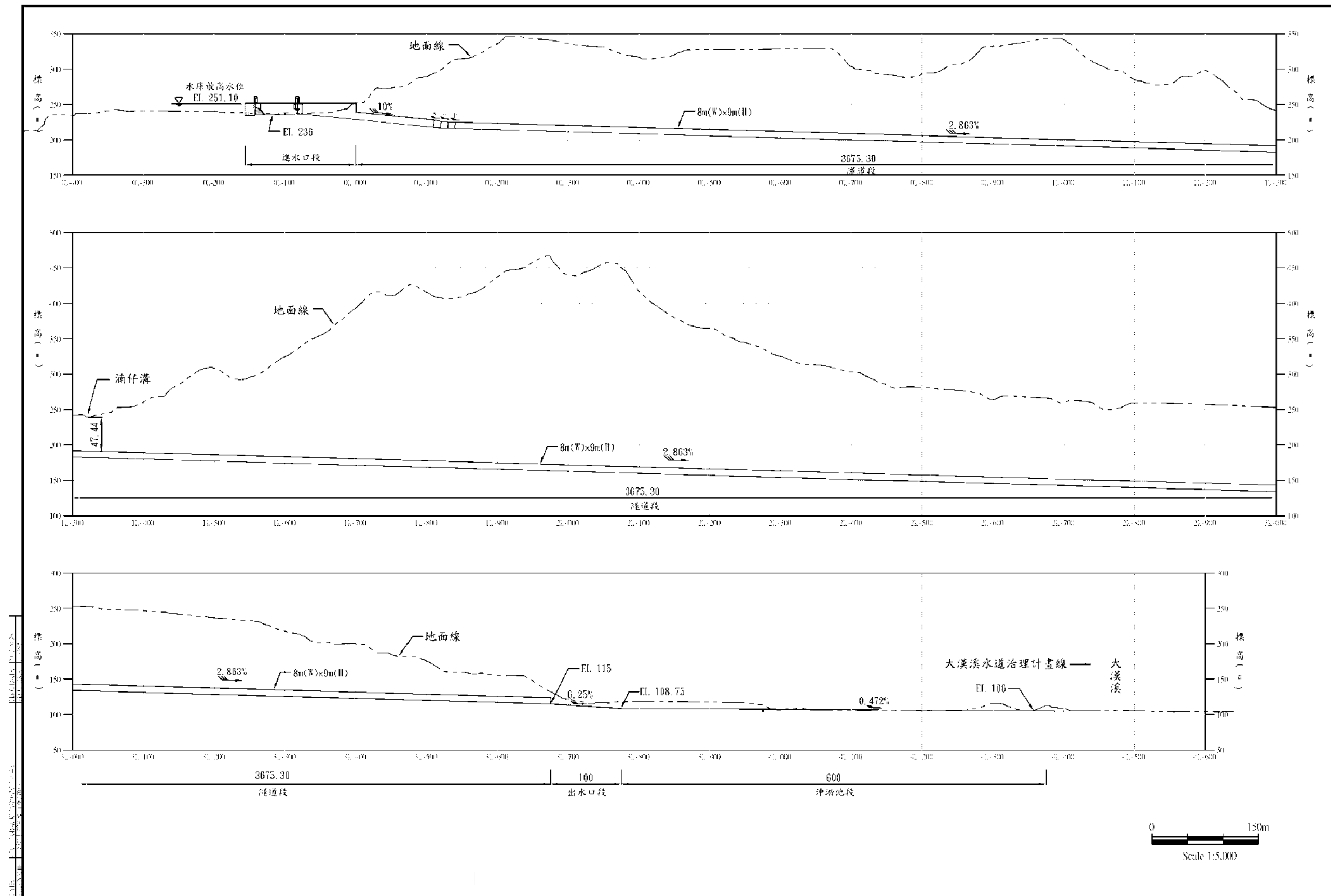
阿姆坪隧道之總工期估算約為 78 個月(不含開發計畫、都市計畫變更、基本設計與發包工期約 42 個月)，各工程項目之工期如摘表 3。

(五)工程經費

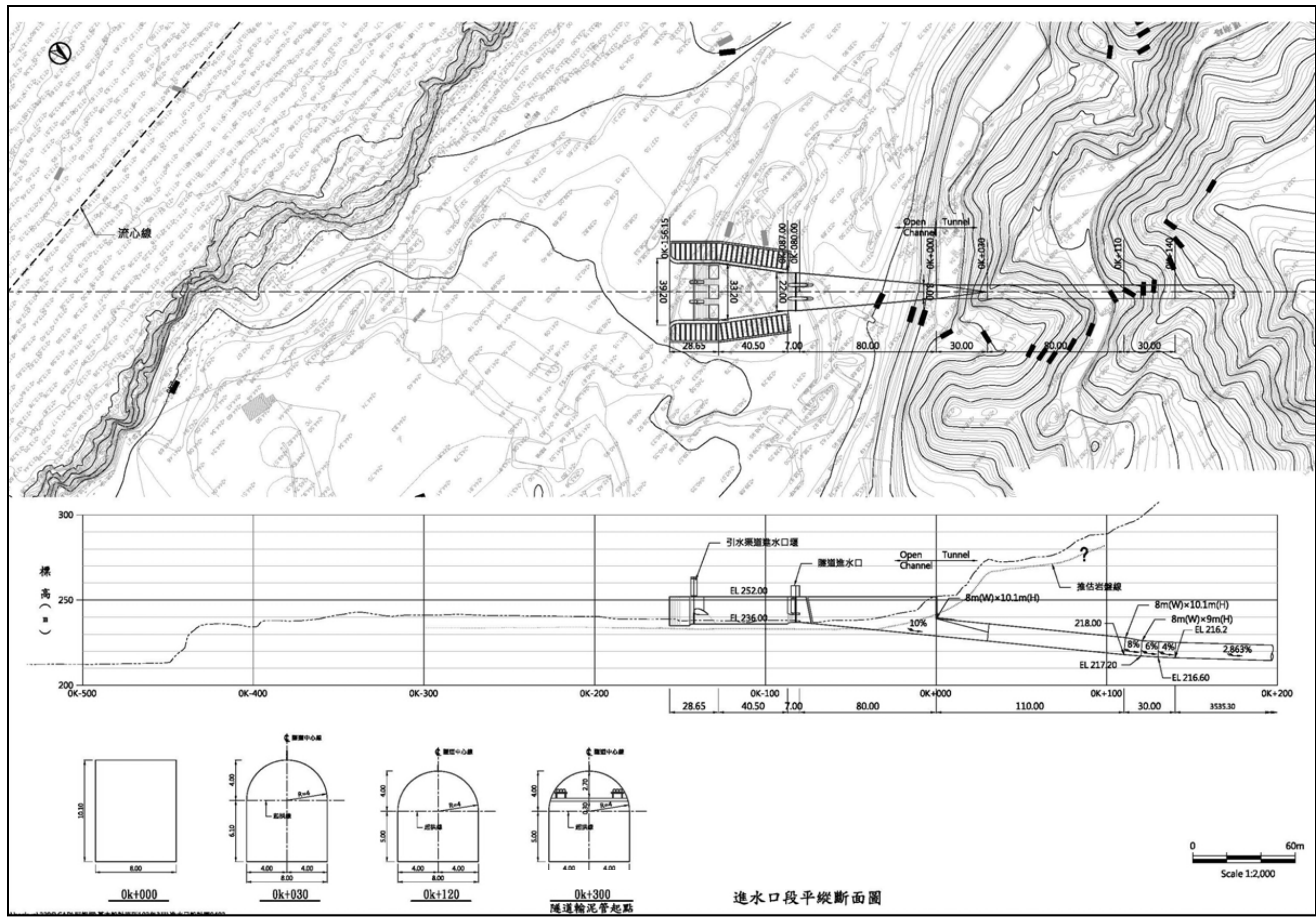
阿姆坪隧道之工程建造成本詳如摘表-4 所示，其中直接工程費為 31.51 億元，間接工程費為 2.52 億元，工程預備費為 2.52 億元，總工程費為 46.27 億元，總建造成本為 49.94 億元。



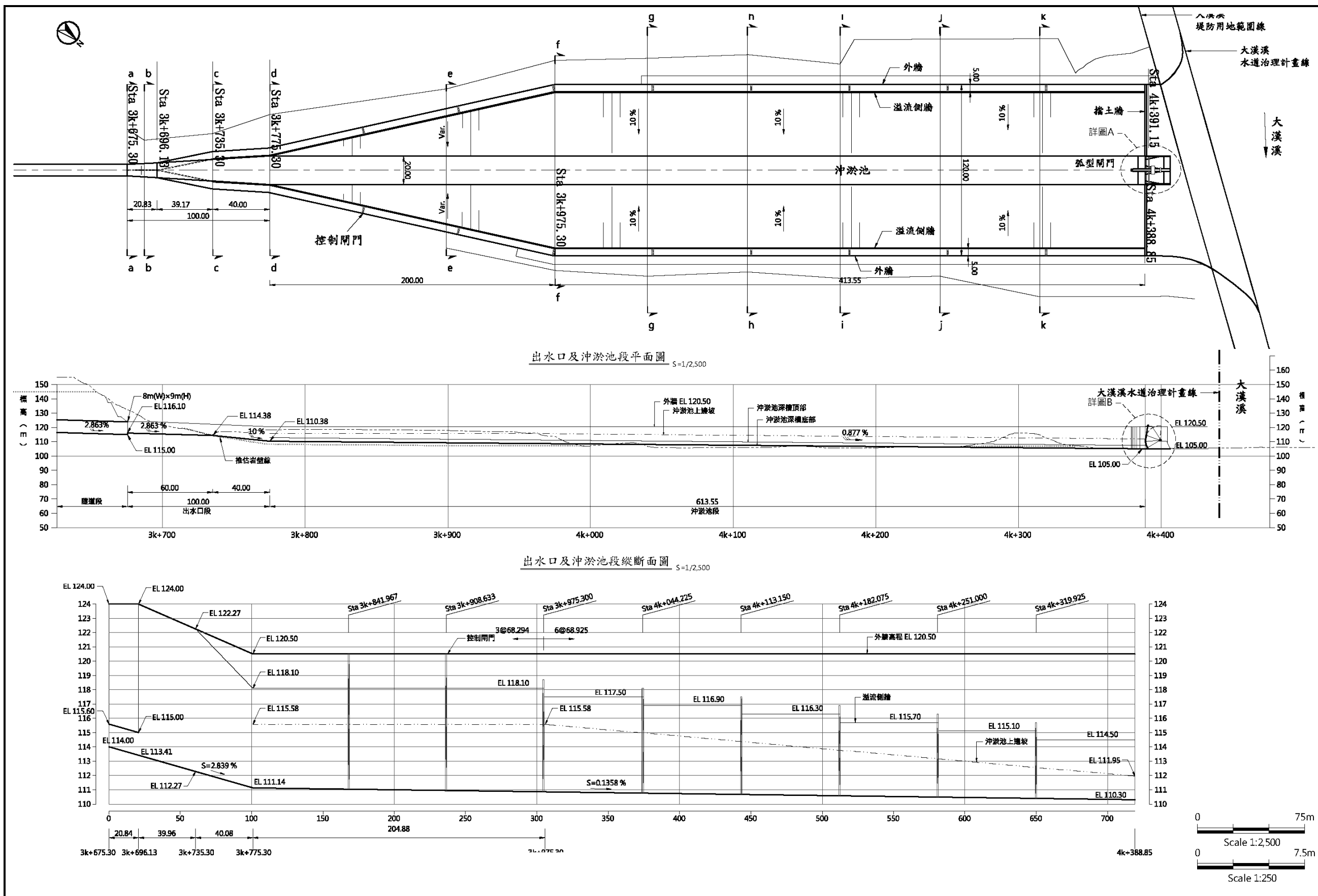
摘圖-2 工程平面布置圖



摘圖-3 工程整體縱斷面圖



摘圖-4 進水口段平縱斷面圖



摘圖-5 出水口及沖淤池段平縱斷面圖

摘表-3 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程預定進度表

工 項 \ 年 數	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年	第 6 年	第 7 年
一、調查設計							
二、用地處理							
三、阿姆坪隧道工程							
(一)進水口工程							
(二)隧道工程							
(三)出水口工程							
(四)水工機械及電器工程							
(五)試運轉							
(六)淤泥貯留設施							
四、後池堰下游河道整理							

摘表-4 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程分年經費表

項 目		工程費 (萬元)	分年經費(萬元)						
			第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年	第 6 年	第 7 年
一、設計階段作業費用(直接工程成本 2.13%)		7,000	1,100	800	3,100	2,000	0	0	0
二、用地取得及拆遷補償費		41,800	400	200	41,200	0	0	0	0
三、工程建造成本	(一)直接工程成本								
	1.進水口工程	27,336	0	0	0	13,050	13,678	608	0
	2.隧道段工程	207,452	0	0	0	56,570	58,757	55,576	36,549
	3.出水口工程	38,743	0	0	0	16,316	19,007	3,420	0
	4.水工機械	2,204	0	0	0	0	2,204	0	0
	5.電氣及機電工程	500	0	0	0	0	500	0	0
	6.下游河道整理	6,356	0	0	0	3,178	3,178	0	0
	7.淤泥貯留設施	5,833	0	0	0	0	0	0	5,833
	8.周邊環境改善工程	8,700	0	0	0	2,700	2,900	1,800	1,300
	9.雜項工程(1~8 項直接工程成本 5%)	14,856	0	0	0	4,591	5,011	3,070	2,184
	10.環保安衛費(1~9 項直接工程成本 1%)	3,120	0	0	0	964	1,052	645	459
	(二)間接工程成本(8%直接工程成本)	25,209	0	0	0	7,790	8,503	5,210	3,706
	(三)工程預備費(8%直接工程成本)	25,209	0	0	0	7,790	8,503	5,210	3,706
	(四)物價調整費(年上漲率 3%)	48,406	0	0	0	10,473	15,474	12,031	10,428
四、總工程費合計(一至三項之合計)		462,724	1,500	1,000	44,300	125,422	138,767	87,570	64,165
五、施工期間利息(年利息 3%)		36,698	45	31	1,370	3,307	7,369	10,985	13,591
六、建造成本(四至五項之合計)		499,422	1,545	1,031	45,670	128,729	146,136	98,555	77,756

五、計畫評價

(一)年計成本

計畫成本為分年所需總工程費與施工期間利息(年利率採3%複利計算)之和，即為建造成本，阿姆坪隧道年計成本為26,484 萬元，如摘表-5。

摘表-5 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程年計成本

項目	費用(萬元)
1.利息(3%)	14,961
2.年償債基金(0.887%)	4,423
3.年營運費用	2,938
4.年換新準備金	1,293
5.年稅捐及保險(0.62%)	2,869
小 計	26,484

(二)效益評估

阿姆坪隧道年計效益為 41,600 萬元，年計營運成本為36,705 萬元，淨效益約為 4,895 萬元，益本比為 1.13，符合經濟可行原則，詳如摘表-6。

摘表-6 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程益本比

項 目		費用(萬元)
年計成本	防淤工程年計成本	26,484
	機械清淤成本	10,221
	合計	36,705
年計效益	可計效益	32,000
	不可計效益(採可計效益 30%)	9,600
	合計	41,600
淨效益		4,895
益本比(年計效益/年計成本)		1.13

Abstract

1 、 Introduction

Shimen Reservoir is the water conservation facility which has the function of irrigation, generate electric power, water supply, preventing flood and tourism. Through years of operation the reservoir has experienced severe siltation. The capacity decreases from $3.09 \times 10^8 \text{m}^3$ to $2.01 \times 10^8 \text{m}^3$. This has affected water supply capability of the reservoir. The frequency of heavy rain has increased by extreme hydrological events of climate change. Therefore, it has become imperative to develop measures to enhance silt-sluicing and flood-discharge capabilities of the reservoir.

Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs drafted to build two desilting tunnel at Amuping and Dawanping in the reservoir. Amuping tunnel is the transport channel of silt-sluicing(coarse and fine sand) which bank up at erosion pool of the tunnel exit as usual. During typhoon and flood period, the fine sand at erosion pool is discharged to the downstream and coarse sand will be sold by auction. High concentration mud flow is discharged through Dawanping tunnel to the downstream by density flow during typhoon and flood period to upgrade the desilting ability of Shimen Reservoir.

Water Resources Agency will execute the project by 2 stages. The first stage pushes Amuping project, and the second stage will push Dawanping project until Amuping tunnel has finished. The report is “Feasibility Study of Amuping Desilting Tunnel Project in

Shimen Reservoir Summary Report” by Northern Region Water Resources Office.

2 、 The course of Amuping tunnel plan

The feasible tunnel plan of the preliminary estimate by Water Resources Planning Institute since 2008 included: (1) Silt transport of midstream: transport from the estuary to #10 sedimentation tank (A plan). (2) Desilting of reservoir: discharge from Dasiping (Amuping) to #10 sedimentation tank (D plan) and from Dawanping to back tank (C plan).

Feasibility study of Dawanping tunnel (C plan) and Amuping tunnel (original D plan) were processed respectively by Water Resources Planning Institute and Northern Region Water Resources Office since 2010. Water Resources Agency compared the two plan and choose the prior plan to push.

According to the result of hydraulic model test, the silt discharge amount of Dawanping and Amuping tunnel operation simultaneously was lower than the silt discharge amount of Dawanping operation alone. Water Resources Agency decided “Desilting Tunnel Project in Shimen Reservoir” to adopt Dawanping tunnel (C plan) and Amuping tunnel (adjusted D plan). High concentration mud flow is discharged through Dawanping tunnel to the downstream by density flow during typhoon and flood period. Amuping tunnel is the transport channel of silt-sluicing (coarse and fine sand) which bank up at erosion pool of the tunnel exit as usual. During typhoon and flood period, the fine sand at erosion pool is discharged to the downstream and coarse sand will be sold by auction.

The adjusted D plan of Amuping tunnel maintained the original D plan route, adjusted the intake type and tunnel section, and set up erosion pool at outlet. Because the erosion pool type is continued corrected by hydraulic model test result, the intake and tunnel project of this Summary Report is consistent with the Project Plan, and executes the corrected D plan of outlet erosion pool by the Project Plan.

3 、 Additional topographic and geological survey

(1) Topographic survey

The land area was about 137ha and the water area was about 38ha of the additional topographic survey in the stage of Feasibility Study of Amuping Tunnel Project in 2011.

(2) Geological survey

The stage of Feasibility Study of Amuping Tunnel Project finished 12 geological drillings (total depth was 1,000m), in-Situ and indoor rock test, 7 holes of groundwater level measurement, Resistivity Image Profile on the surface of the whole tunnel route (total length was 4,200m), additional colliery pit survey, and the comprehensive estimate of the route engineering geology and the special geology of the tunnel in 2011.

(3) Comprehensive estimate of geology

A. Intake

Tunnel intake is located on an accumulative terrace whose thickness is about 2~3m and the based rock is the Kueichulin Formation whose attitude is about N66° E/56° S. The lithology is coarse to fine sand, cement is weak, and the stratification and joint is

not developed well. The rock Simple Compression Test is about 50kg/cm^2 which belongs to the very weak rock.

B. Outlet

Tunnel outlet is located under Tai No.4 Line province way and the laccolith is the Cholan Formation. The lithology is sandstone interbedded with some shale which is weak and poor and the rock Simple Compression Test is about 50kg/cm^2 which belongs to the very weak rock. Erosion pool passes through #10 and #11 sedimentation tank. The original terrace deposits are removed to stack the silt. The based rock beneath the terrace deposits is the Cholan Formation and the elevation is about 105~107m. The structure foundation will not locate on the bedrock surface. The bedrock strength of the ski-jump energy dissipators located on is lower which belong to the low-medium durability. It is need to discrete consideration the water erosion to affect to weak laccolith of the Cholan Formation.

C. Tunnel

The attitude along the tunnel route is $N62^\circ E/64^\circ S$, and the attitude of two main joint are J1 : $N16^\circ W/60^\circ S$ and J2 : $N58^\circ W/59^\circ N$. The characters of strata engineering geology are as follows: The simple compression strength of the Kueichulin Formation is 50kg/cm^2 which belongs to the very weak rock. The weathering and rusting depth of the Nanchuang Formation is 90 m, and the simple compression strength is 50kg/cm^2 which belongs to the very weak rock because the cement becomes weak; the aquifer is appeared, and the location of the tuff in the aquifer is the point of follow-up investigation. The simple compression strength of the Nankang Formation is

200kg/cm² which belongs to the weak rock and the overburden in Nantzugo River though area is about 52 meters; the pressurized aquifers is appeared in the sandstone and there is no a lot of gushing water because the laccolith water permeability is low. The simple compression strength of the Shiti Formation is 350kg/cm² which belong to the medium-strong rock and the location of the coal layer is the point of follow-up investigation. The Hsintien fault is the water blocking layer. The simple compression strength of the Cholan Formation is 50kg/cm² which belongs to the very weak rock; the aquifers is appeared near the outlet; the shallow overburden of the tunnel passes though the underground area of Tai No.4 Line province way is about 1.5D and ground stabilization methods may be consider in tunnel excavation.

The proportion of the stratas and structures along the tunnel route from the intake to outlet are the Kueichulin Formation (3%), the Nanchuang Formation (23%), the Nankang Formation (23%), the Shiti Formation (10%), the Hsintien fault (2%) and the Cholan Formation (9%).

D. Rock type

The rock of the tunnel passed through the the Nanchuang Formation, the Nankang Formation and the Shiti Formation belong to A type according to PCCR system; the proportion of rock level are A_{II} (5%), A_{III} (50%), A_{IV} (30%) and A_V (15%). The rock of the tunnel passed through the Hsintien fault is A_{VI} type (9%). The rock of the tunnel passed through the the Kueichulin Formation and the Cholan Formation belong to B type; the proportion of rock level are B_{IV} (40%),

B_V (40%) and B_{VI} (15%).

E. Tunnel special geology estimate

The area passed through the Hsintien fault is evaluated high squeezing laccolith. The fault zone length is about 120 meters which is needed to pay attention. According to the result of colliery pit survey, the tunnel may pass through the coal layer of the Shiti Formation which may have gases and the length is about 290 meters.

4 、 Project Planning

(1) Tunnel route of Project

The intake of Amuping Tunnel is located on the 19th section of reservoir river course. The route is set straight to the northeastward and passes through beneath downstream valley of Whaider Bridge in Nantzugo River. Tunnel outlet is located under Tai No.4 Line province way and extends to the Dahan River; One Erosion pool is set at #10 and #11 sedimentation tank.

(2) Principle of Project

- A. The erosion flow rate is 200cms when the reservoir water level rises at EL.242.9m.
- B. Water intaking by nature overflow when the reservoir water level exceeds at EL.245.0m.
- C. The discharge rate reaches 600cms when the reservoir water level is at EL.245.0m for erosion and flood protection.

(3) Result of Project

The project is divided to the intake, tunnel, outlet, erosion pool and silt reserving facilities, etc. Total length is about 4,531 meters.

- A. Intake: the diversion channel intake weir and tunnel intake are set.

The diversion channel intake weir adopts ogee weir design; the intake adopts 3 opening design and the intake shape adopts oval design; the gate is set on the opening. The tunnel intake adopts 3 opening design and the shape adopts oval design.

B. Tunnel(include vertical shaft): The tunnel section is U-shaped (8m(W) ×9m(H)). The length of tunnel is 3,675 meters. The elevation of intake is 236 meters. The elevation of outlet is 115 meters. The slope is 2.863%. The adit is set at tunnel mileage 0k+305 for increasing excavated face to shorten construction period. The vertical shaft is set at tunnel mileage 1k+352 and the depth is about 70 meters.

C. Outlet and Erosion pool: The project is correcting A, B and C plan of outlet and erosion pool, and adopts C plan temporarily. The final plan will be decide by the discharge efficiency of hydraulic model test result. The width of outlet is 8m transiting to 31.26m from tunnel exit to erosion pool. The depth of erosion pool is 20 m and the side slope is 10%.

D. Silt reserving facilities: The silt reserving facilities are set the left side of outlet. The area is 9,000m³ included stacking area, parking lot, lane, public area and weighbridge control area; the zone back to 10m around the silt reserving facilities area set the green belt.

(4) Construction Period

The total construction period is about 78 months (excluding development plan, urban planning changes, basic design and contract duration (42 months)).

(5) Project Cost

The direct cost of the project is 3.151×10^9 NTD. Considering indirect cost, contingency, inflation and interest, the total project cost is 4.994×10^9 NTD.

5 、 Project Evaluation

(1) Annual cost

The annual cost of Amuping project is 2.6484×10^8 NTD.

(2) Benefit Estimate

The annual benefit is 4.16×10^8 NTD. The annual service cost is 3.6705×10^8 NTD. Net benefit is 4.895×10^7 NTD. The benefit/ cost ratio is 1.13. It is economically feasible.

目 錄

	頁次
摘 要	摘-1
Abstract	A-1
目 錄	I
表目錄	VII
圖目錄	X
結論與建議	結-1
第壹章 前言	1-1
1.1 計畫緣起及目的	1-1
1.2 工作範圍	1-3
1.3 工作項目及內容	1-3
1.4 前期規劃成果	1-6
第貳章 基本資料蒐集分析評估	2-1
2.1 集水區概況	2-1
2.1.1 位置與交通	2-1
2.1.2 氣象與水文	2-1
2.1.3 地形與地質	2-5
2.2 既有水工結構物說明	2-8
2.2.1 大壩	2-10
2.2.2 溢洪道	2-10
2.2.3 排洪隧道	2-10
2.2.4 永久河道放水道	2-12
2.2.5 電廠及排砂道	2-13
2.2.6 石門大圳	2-17
2.2.7 分層取水工	2-17

2.2.8	導水隧道	2-20
2.2.9	後池	2-20
2.3	水庫營運資料	2-20
2.3.1	入庫水量及洩水結構放水量	2-20
2.3.2	水庫水位特性	2-21
2.3.3	颱風期間水庫操作分析	2-23
2.3.4	蘇力及潭美颱風期間水庫操作分析	2-26
2.4	年平均入庫砂量估算	2-30
2.5	水庫相關排砂計畫	2-38
2.5.1	石門水庫防淤整體綱要計畫	2-38
2.5.2	石門水庫相關設施水工模型試驗	2-38
2.5.3	石門水庫大灣坪防淤工程可行性規劃	2-42
2.6	石門水庫泥砂運移及淤積特性	2-43
2.6.1	泥砂運移監測資料	2-43
2.6.2	淤積型態及特性	2-57
2.6.3	庫區沿程淤積物顆徑界定	2-58
2.6.4	入庫泥砂顆徑分佈推估	2-62
2.6.5	石門水庫阿姆坪上游有價料估算	2-63
第參章	補充地形及地質調查	3-1
3.1	地形測量	3-1
3.2	地質調查	3-6
3.3	水文地質調查	3-18
3.4	煤礦坑調查	3-21
3.5	後續基設階段補充地質調查重點	3-24
第肆章	工程方案研擬	4-1
4.1	初步規劃檢討	4-1

4.1.1	防淤功能評估	4-1
4.1.2	防洪容量評估	4-2
4.2	工程方案研擬(原 D 案)	4-2
4.2.1	可能路線方案研擬	4-2
4.2.2	可能進水口方案研擬	4-4
4.2.3	可能出水口方案研擬	4-4
4.2.4	出口沉澱池	4-5
4.2.5	可能方案組合	4-5
4.2.6	方案評估與擇定	4-5
4.3	工程可行性規劃(原 D 案)	4-11
4.3.1	進水口段	4-11
4.3.2	閘門漸變段	4-17
4.3.2	隧道段	4-17
4.3.2	出水工段	4-19
4.4	數值模擬分析(原 D 案)	4-22
4.4.1	河道沖淤數值模式建立	4-22
4.4.2	河道防洪能力分析	4-23
4.4.3	水庫內懸浮泥砂濃度分布之三維數值模擬分析與效率 分析	4-23
4.4.4	渾水排砂防淤效率評估	4-24
4.5	阿姆坪(原 D 案)與大灣坪方案評比	4-26
4.6	工程計畫書方案研擬(調整 D 案)	4-29
4.6.1	調整方案緣由	4-29
4.6.2	調整方案規劃原則與整體佈置	4-31
4.6.3	調整方案進水口段	4-32
4.6.4	調整方案隧道段	4-40

4.6.5	調整方案出水口及沖淤池段.....	4-40
4.7	工程規劃方案研擬(調整 D 案修正).....	4-51
4.7.1	修正方案進水口段.....	4-51
4.7.2	修正方案出水口及沖淤池段.....	4-56
第伍章	工程可行性評估.....	5-1
5.1	地質方面.....	5-1
5.2	環境影響方面.....	5-4
5.2.1	下游河道沖淤變化評估.....	5-4
5.2.2	河防安全影響評估.....	5-5
5.2.3	對下游取水設施影響.....	5-6
5.2.4	對下游河道棲地影響.....	5-7
5.3	防洪效益方面.....	5-9
5.4	防淤效益方面.....	5-9
5.5	營運操作方式規劃.....	5-10
5.5.1	閘門操作原則.....	5-10
5.5.2	操作水位與流量.....	5-11
5.5.3	結合既有設施之防洪防淤操作規劃.....	5-11
5.5.4	設施管理規劃.....	5-12
5.5.5	設施檢查與維護原則.....	5-15
5.5.6	修訂水庫運用要點及水門操作規定.....	5-16
5.6	水庫安全影響評估.....	5-21
第陸章	工程規劃.....	6-1
6.1	規劃佈置.....	6-1
6.2	進水口段.....	6-1
6.2.1	規劃原則.....	6-1
6.2.2	規劃成果.....	6-4

6.3	隧道段	6-12
6.3.1	規劃原則	6-12
6.3.2	規劃成果	6-12
6.4	出水口及沖淤池段	6-31
6.4.1	規劃原則	6-31
6.4.2	規劃成果	6-31
6.5	淤泥儲留設施	6-39
6.6	後池堰下游河道整理	6-41
6.7	用地調查	6-43
6.8	隧道運輸抽泥及清淤方式	6-46
6.9	土石方處理規劃	6-51
6.10	施工規劃	6-52
6.11	工期規劃	6-58
6.12	工程經費估算	6-61
6.12.1	工程經費	6-61
6.12.2	分年工作經費	6-64
第柒章	計畫評價	7-1
7.1	年計成本	7-1
7.1.1	建造成本	7-1
7.1.2	年計成本	7-1
7.2	效益評估	7-4
7.2.1	可計效益	7-4
7.2.2	不可計效益	7-4
7.2.3	計畫效益	7-4
7.3	財務計畫	7-5
7.3.1	財務評估	7-5

7.3.2 財源籌措	7-6
參考文獻	參-1

附錄一 審查意見回覆

附錄二 石門水庫斷面 20~31 有價料估算

附錄三 用地取得相關文件

表目錄

	頁次
摘表-1 阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地質鑽孔資料表	摘-6
摘表-2 阿姆坪防淤工程重要數據.....	摘-8
摘表-3 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程預定進度表.....	摘-15
摘表-5 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程年計成本.....	摘-16
摘表-6 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程益本比.....	摘-16
結表-1 基設階段建議補充地質鑽探位置表.....	結-3
結表-2 基設階段建議補充地質鑽探及試驗配置表	結-4
表 1-1 石門水庫新建分洪防淤規劃方案綜合表	1-6
表 2-1 石門水庫石門氣象站氣象統計資料.....	2-2
表 2-2 石門水庫集水區最大一日、二日、三日雨量及發生日期	2-3
表 2-3 石門水庫歷年最大入庫洪峰統計表.....	2-4
表 2-4 石門水庫主要工程數據.....	2-8
表 2-5 石門水庫各洩水結構放水量統計表(74 年~103 年)	2-21
表 2-6 石門水庫歷年重大颱風各出流設施放水量統計表	2-24
表 2-7 石門水庫民國 74 年至 103 年颱風前後水庫水位及颱風後入流量	2-25
表 2-8 蘇力颱風石門水庫排砂量觀測結果表	2-28
表 2-9 潭美颱風石門水庫排砂量觀測結果表	2-30
表 2-10 石門水庫年淤積測量成果.....	2-32
表 2-11 石門水庫年入庫泥砂量估算表.....	2-33
表 2-12 水庫設計估算之 W1 及 K 值.....	2-34
表 2-13 石門水庫淤積物清除數量統計表.....	2-35
表 2-14 石門水庫入庫砂量綜合表.....	2-37
表 2-15 石門水庫防淤策略與措施一覽表(1/2).....	2-39

表 2-15	石門水庫防淤策略與措施一覽表(2/2).....	2-40
表 2-16	已執行與石門水庫防淤改善相關水工模型試驗綜合表	2-42
表 2-17	民國 97 年及 98 年颱風基本資料.....	2-45
表 2-18	鳳凰颱風期間石門水庫洩水結構物運轉綜合表	2-46
表 2-19	近年颱風水砂運移規律因子整理表.....	2-48
表 2-20	民國 97、98 年度石門水庫觀測入、排砂量統整表	2-49
表 2-21	實測與推估入庫砂量差異表.....	2-51
表 2-22	入庫渾水量與蓄存清水量比值和壩前表層水濁度觀測對照一覽表	2-52
表 2-23	近年颱風水砂運移規律因子整理表.....	2-56
表 2-24	入庫泥砂粒徑分佈	2-62
表 2-25	石門水庫阿姆坪上游斷面有價料估算表	2-64
表 3-1	阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地質鑽孔資料表	3-6
表 3-2	阿姆坪隧道鑽孔完成試驗數量統計表	3-15
表 3-3	阿姆坪隧道各地層及岩性之岩石力學參數表	3-16
表 4-1	石門水庫初步規劃各防淤方案排砂效率模擬成果表	4-1
表 4-2	方案研擬阿姆坪隧道路線綜整表.....	4-4
表 4-3	方案研擬阿姆坪隧道可能方案組合.....	4-5
表 4-4	方案研擬阿姆坪隧道方案評估因子比較表	4-10
表 4-5	大灣坪與阿姆坪(原 D 案)方案優選比較表.....	4-28
表 4-6	阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口水位、流量及閘門操作表...	4-33
表 4-7	石門水庫阿姆坪隧道(調整 D 案)沖淤池各次沖刷試驗成果表	4-67
表 5-1	抽砂船清淤特性.....	5-10
表 5-2	石門水庫既有及規劃中洩水結構之功能定位	5-11
表 5-3	法規評估與對策.....	5-13
表 5-4	混凝土常見問題之特徵及檢查要領(1/4).....	5-17

表 5-4	混凝土常見問題之特徵及檢查要領(2/4).....	5-18
表 5-4	混凝土常見問題之特徵及檢查要領(3/4).....	5-19
表 5-4	混凝土常見問題之特徵及檢查要領(4/4).....	5-20
表 6-1	石門水庫近年颱風期間洩洪水位.....	6-4
表 6-2	進水口方案水位、流量及閘門操作特性表	6-5
表 6-3	阿姆坪隧道進水口前後之水位與輸泥底版出水高計算表 ..	6-11
表 6-4	各種岩石隧道開挖工法比較表.....	6-14
表 6-5	山岳隧道之地下湧水對策及工法.....	6-24
表 6-6	阿姆坪隧道開挖輪進時間.....	6-31
表 6-7	沖淤池規劃方案 Q=600cms 水理表	6-36
表 6-8	沖淤池規劃方案 Q=600cms 淤泥高程 113.3m 水理表.....	6-37
表 6-9	阿姆坪隧道工程用地分區土地權屬一覽表	6-44
表 6-10	阿姆坪上游各斷面不可沖淤及可沖淤土石體積估算表	6-46
表 6-11	阿姆坪隧道不可沖淤土石外運方案比較分析表	6-50
表 6-12	阿姆坪隧道周邊合法砂石碎解洗選場	6-57
表 6-13	阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程預定進度表.....	6-60
表 6-14	阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程經費估算表.....	6-62
表 6-15	阿姆坪隧道(含下游河道整理)分年經費表.....	6-65
表 7-1	阿姆坪隧道(含下游河道整理)年運轉維護及年換新準備金.....	7-3
表 7-2	阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程年計成本.....	7-3
表 7-3	阿姆坪隧道機械清淤成本.....	7-3
表 7-4	阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程年計成本及效益.....	7-4

圖目錄

	頁次
摘圖-1 石門水庫增設防淤隧道工程位置圖.....	摘-2
摘圖-2 阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地形測量範圍圖	摘-6
摘圖-2 工程平面布置圖	摘-10
摘圖-3 工程整體縱斷面圖	摘-11
摘圖-4 進水口段平縱斷面圖	摘-12
摘圖-5 出水口及沖於池段平縱斷面圖	摘-13
摘圖-6 阿姆坪隧道標準斷面圖	摘-14
摘圖-7 阿姆坪隧道出水口淤泥貯留設施場區位置圖	摘-14
摘表-4 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程分年經費表.....	摘-15
圖 1-1 石門水庫防淤隧道工程位置圖.....	1-3
圖 1-2 石門水庫阿姆坪隧道原規劃 D2 方案平面線型圖	1-9
圖 1-3 阿姆坪隧道原規劃 D 方案入口平面佈置圖.....	1-10
圖 1-4 阿姆坪隧道原規劃 D2 方案進水口布置.....	1-11
圖 1-5 阿姆坪隧道原規劃 D2 方案縱剖面圖.....	1-12
圖 1-6 阿姆坪隧道原規劃 D2 方案隧道斷面圖.....	1-13
圖 2-1 石門水庫集水區地形圖.....	2-6
圖 2-2 石門水庫集水區地質圖.....	2-7
圖 2-3 石門水庫既有及施工中之洩水結構平面位置圖	2-9
圖 2-4 石門大壩橫剖面圖.....	2-10
圖 2-5 溢洪道平面圖	2-11
圖 2-6 溢洪道縱剖面圖	2-11
圖 2-7 排洪隧道平面位置圖	2-12
圖 2-8 排洪隧道縱剖面圖(一號隧道).....	2-12
圖 2-9 永久河道放水道平面及縱剖面圖.....	2-13

圖 2-10	既有電廠輸水路平面及立面圖.....	2-14
圖 2-11	電廠防淤改善工程平面佈置圖.....	2-15
圖 2-12	石門電廠防淤改善一期工程排砂道縱剖面圖	2-16
圖 2-13	石門大圳進水口結構.....	2-18
圖 2-14	分層取水工取水豎井與取水口及取水隧道之相關佈置圖	2-19
圖 2-15	民國 74 年至 103 年石門水庫旬末平均水位	2-22
圖 2-16	民國 74 年至 103 年石門水庫日水位超越機率圖	2-22
圖 2-17	艾利颱風操作歷程線.....	2-26
圖 2-18	蘇力颱風操作歷程線.....	2-27
圖 2-19	蘇力颱風期間石門庫區入出流量與含砂量綜整	2-28
圖 2-20	潭美颱風操作歷程線.....	2-29
圖 2-21	潭美颱風期間石門庫區入出流量與含砂量綜整	2-30
圖 2-22	石門水庫淤砂平衡分析圖.....	2-41
圖 2-23	大灣坪隧道平面配置圖	2-43
圖 2-24	石門水庫泥砂觀測作業測站.....	2-45
圖 2-25	鳳凰颱風入庫泥砂濃度監測成果.....	2-47
圖 2-26	石門水庫水文測站位置圖.....	2-50
圖 2-27	入庫輸砂量與入庫流量關係圖.....	2-51
圖 2-28	水庫三角洲典型形態示意圖.....	2-58
圖 2-29	石門水庫庫區淤積物顆粒沿程分布初估圖	2-60
圖 2-30	石門水庫庫區淤積橫斷面圖.....	2-61
圖 2-31	石門水庫庫區入庫泥砂粒徑分布曲線圖(推估).....	2-63
圖 3-1	阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地形測量範圍圖	3-1
圖 3-2	阿姆坪隧道進水口地形測量成果圖.....	3-2
圖 3-3	阿姆坪隧道出水口地形測量成果圖.....	3-3
圖 3-4	阿姆坪隧道沿線浦仔溝以南區域地形圖	3-4

圖 3-5	阿姆坪隧道沿線浦仔溝以北區域地形圖	3-5
圖 3-6	阿姆坪隧道路線地質平面圖	3-8
圖 3-7	阿姆坪隧道進水口地質平剖面圖	3-9
圖 3-8	阿姆坪隧道出水口地質平剖面圖(1/2)	3-10
圖 3-8	阿姆坪隧道出水口地質平剖面圖(2/2)	3-11
圖 3-9	阿姆坪隧道地質平剖面圖(1/3)	3-12
圖 3-9	阿姆坪隧道地質平剖面圖(2/3)	3-13
圖 3-9	阿姆坪隧道地質平剖面圖(3/3)	3-14
圖 3-10	阿姆坪隧道全線地電阻影像剖面探測成果圖	3-20
圖 3-11	阿姆坪隧道礦務局煤礦坑分佈資料套繪圖	3-21
圖 3-12	阿姆坪隧道路線與福安煤礦礦坑及片道分佈平面圖	3-23
圖 3-13	阿姆坪隧道與福安煤礦礦坑及片道分佈剖面圖	3-24
圖 4-1	方案研擬阿姆坪隧道路線平面圖	4-3
圖 4-2	方案研擬阿姆坪隧道方案 D5 及 D6 線型平面圖	4-7
圖 4-3	方案研擬阿姆坪隧道方案 D5 及 D6 進水口現況	4-8
圖 4-4	方案研擬阿姆坪隧道方案 D6 進水口象鼻引水鋼管與地形及岩盤面相關位置剖面圖	4-9
圖 4-5	阿姆坪隧道(原 D 案)工程平面布置圖	4-12
圖 4-6	阿姆坪隧道(原 D 案)工程整體縱斷面圖	4-13
圖 4-7	阿姆坪隧道(原 D 案)進水工段平縱斷面圖	4-14
圖 4-8	阿姆坪隧道(原 D 案)進水工段工程布置圖	4-15
圖 4-9	阿姆坪隧道(原 D 案)進水工段及閘門漸變段橫斷面圖	4-16
圖 4-10	阿姆坪隧道(原 D 案)隧道標準斷面圖	4-19
圖 4-11	阿姆坪隧道(原 D 案)出水工段平縱斷面圖	4-20
圖 4-12	阿姆坪隧道(原 D 案)出水工段布置圖	4-21
圖 4-13	阿姆坪隧道(調整 D 案)工程平面布置圖	4-34

圖 4-14	阿姆坪隧道(調整 D 案)工程整體縱斷面圖	4-35
圖 4-15	阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口段平縱斷面圖	4-36
圖 4-16	阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口段標準斷面圖	4-37
圖 4-17	阿姆坪隧道(調整 D 案)引水渠道進水口堰詳圖	4-38
圖 4-18	阿姆坪隧道(調整 D 案)隧道進水口詳圖	4-39
圖 4-19	阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口各結構水位與流量率定曲線	4-40
圖 4-20	阿姆坪隧道(調整 D 案)隧道標準斷面圖	4-41
圖 4-21	阿姆坪隧道(調整 D 案 I)出水口及沖於池段平縱斷面圖	4-42
圖 4-22	阿姆坪隧道(調整 D 案 I)沖淤池出口閘門示意圖	4-43
圖 4-23	阿姆坪隧道(調整 D 案 II)閘門及中隔牆型式出水口及沖於池 段平縱斷面圖	4-45
圖 4-24	阿姆坪隧道(調整 D 案 II)臨時性土堤型式出水口及沖於池段 平縱斷面圖	4-46
圖 4-25	阿姆坪隧道(調整 D 案 II)出水口及沖淤池 H-V 曲線	4-47
圖 4-26	保險堤設計型式	4-48
圖 4-27	阿姆坪隧道(調整 D 案 II)臨時性土堤型式	4-49
圖 4-28	阿姆坪隧道(調整 D 案)沖淤池規劃方案沖淤試驗照片	4-50
圖 4-29	阿姆坪隧道(調整 D 案)沖淤池 1/3 土堤缺口沖淤試驗照片	4-50
圖 4-30	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)進水口段平縱斷面圖	4-53
圖 4-31	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)進水口方案圖	4-54
圖 4-32	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)進水口詳圖	4-55
圖 4-33	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 A 平 縱斷面圖	4-58
圖 4-34	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池修正方案 A 挑流工佈置	4-59

圖 4-35	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)沖淤池修正方案 A 沖淤試驗照片	4-60
圖 4-36	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 B 平縱斷面圖	4-64
圖 4-37	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 B 平縱斷面詳圖	4-65
圖 4-38	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 B 橫斷面圖	4-66
圖 4-39	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)沖淤池修正方案 B 沖淤試驗照片	4-68
圖 4-40	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 C 平縱斷面圖	4-69
圖 4-41	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 C 平縱斷面詳圖	4-70
圖 4-42	阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 C 橫斷面圖	4-71
圖 5-1	阿姆坪隧道沿線工程地質剖面圖	5-3
圖 5-2	大壩及排洪隧道距隧道距離示意圖	5-21
圖 5-3	規模距離(SD)產生最大質點振速與結構物距離關係圖	5-22
圖 5-4	隧道採機械開挖工期山形圖	5-23
圖 6-1	阿姆坪隧道工程平面佈置圖	6-2
圖 6-2	阿姆坪隧道工程整體縱斷面圖	6-3
圖 6-3	阿姆坪隧道進水口段規劃方案平縱斷面圖	6-6
圖 6-4	阿姆坪隧道進水口修正規劃方案圖	6-7
圖 6-5	阿姆坪隧道進水口詳圖	6-8
圖 6-6	阿姆坪隧道進水口規劃方案結構之水位與流量率定曲線	6-9
圖 6-7	阿姆坪隧道進水口前後之水位圖	6-10

圖 6-8	阿姆坪隧道標準斷面圖.....	6-13
圖 6-9	阿姆坪隧道橫坑平面位置圖.....	6-16
圖 6-10	阿姆坪隧道橫坑標準斷面圖.....	6-17
圖 6-11	阿姆坪隧道橫坑與隧道銜接斷面示意圖.....	6-17
圖 6-12	阿姆坪隧道豎井平面位置圖.....	6-18
圖 6-13	阿姆坪隧道進口護坡配置圖.....	6-19
圖 6-14	阿姆坪隧道出口護坡配置圖.....	6-20
圖 6-15	阿姆坪隧道橫坑洞口護坡配置圖.....	6-21
圖 6-16	隧道管幕工法示意圖.....	6-23
圖 6-17	可伸縮式鋼支保示意圖.....	6-24
圖 6-18	隧道內錐體灌漿示意圖.....	6-25
圖 6-19	有害氣體通風稀釋示意圖.....	6-26
圖 6-20	煤層與廢煤坑探查孔布設示意圖.....	6-27
圖 6-21	隧道與未開採煤層相交之處理對策.....	6-28
圖 6-22	斷層破碎帶處理對策示意圖.....	6-30
圖 6-23	阿姆坪隧道出水口及沖淤池段規劃方案平縱斷面圖	6-32
圖 6-24	阿姆坪隧道出水口及沖淤池段規劃方案平縱斷面詳圖	6-33
圖 6-25	阿姆坪隧道出水口及沖淤池段規劃方案橫斷面圖	6-34
圖 6-26	沖淤池規劃方案 H-V 曲線.....	6-38
圖 6-27	阿姆坪隧道出水口淤泥儲留設施場區位置圖	6-39
圖 6-28	淤泥貯留設備配置圖.....	6-40
圖 6-29	貯留設備場區配置圖.....	6-40
圖 6-30	後池堰下游河道整理平面圖.....	6-42
圖 6-31	下游河道整理開挖斷面示意圖.....	6-42
圖 6-32	阿姆坪隧道工程範圍地籍套繪圖.....	6-45
圖 6-33	抽泥清運設備示意圖.....	6-47

圖 6-34	不可沖淤土石外運路線方案平面圖.....	6-48
圖 6-35	外運路線方案現場照片	6-50
圖 6-36	阿姆坪隧道大漢溪堤後回填區示意圖	6-51
圖 6-37	阿姆坪隧道大漢溪堤後浮覆地現場照片	6-52
圖 6-38	阿姆坪隧道進水口工區布置.....	6-53
圖 6-39	阿姆坪隧道豎井工區布置.....	6-54
圖 6-40	阿姆坪隧道出水口工區布置.....	6-54
圖 6-41	阿姆坪隧道進水口暨豎井聯外施工動線	6-56
圖 6-42	阿姆坪隧道出水口聯外施工動線.....	6-56
圖 6-43	阿姆坪隧道施工山型圖	6-61

結論與建議

一、結論

- (一) 阿姆坪隧道之功能規劃原設定為水力排砂隧道，規劃完成後與大灣坪隧道進行方案比較，擇優推動實施，經水工模型試驗由於兩隧道同時操作之排砂量低於大灣坪隧道單獨操作之排砂量，故調整阿姆坪隧道之方案為平時作為水庫土石清淤之輸送通道，由佈設於隧道上方之抽泥管輸送至隧道出口沖淤池及浮覆地堆置，再於颱風期間利用洪水將沖淤池內可沖淤料排放至下游河道，不可沖淤料部分則進行標售。
- (二) 阿姆坪隧道工程路線自阿姆坪往西北方向以直線佈設，出水口位於台 4 線 35k 附近下方，其後利用 10 及 11 號沉澱池設置沖淤池並延伸至大漢溪，全長約 4,531 公尺，工程規劃分為進水口段、隧道段、出水口段及沖淤池段，目前進水口及隧道段規劃方案均已定案，沖淤池段則須待水工模型試驗驗證排砂效率後以決定最終採用方案。
- (三) 進水口段包含引水渠道進水口堰及隧道進水口引水渠道進水口堰長 30 公尺，底部設置孔口，進水口堰下游由寬 30 公尺漸變為 18 公尺銜接隧道進水口，長度為 69.15 公尺，隧道進水口採雙道孔口設計，長 87 公尺。
- (四) 隧道段長度約 3,675 公尺，斷面為寬 8 公尺、高 9 公尺之正馬蹄形斷面，隧道上半部設置固定式輸泥管；隧道下半部為排洪通道，而如遇特別枯旱及水庫低水位之非常時期，此排洪通道亦可兼作水庫機械清淤之卡車行駛便道。
- (五) 出水口段由隧道出口末端寬 8 公尺，漸變至 31.26 公尺銜接沖淤池段，長度 100 公尺。沖淤池段由 20 公尺深槽及兩側坡度 10%之複式斷面渠道構成，寬 120 公尺，長度 614 公尺。
- (六) 貯留設備場區佔地 9,000 平方公尺，位於於隧道出水口左側

包含堆置區、停車場、車道、公用區及地磅管制區等，主要淤泥貯留設施包含振篩機、洗砂機及泥砂分離機。

- (七) 阿姆坪隧道全長約 3,675 公尺，最大覆蓋約為 310 公尺。隧道沿線通過地層及構造分別為桂竹林層、南莊層、南港層、石底層、新店斷層及卓蘭層。其中 A 岩類中岩體分類 AII、AIII、AIV、AV 岩體分別各佔 5%、50%、30%、15%；新店斷層區段岩體等級為 AVI；B 岩類中岩體分類 BIV、BV 及 BVI 岩體分別各佔 40%、40%、20%。本計畫隧道之特殊地質地盤於新店斷層將遭遇包括擠壓性地盤，長度估計約 120 公尺、於石底層煤層區段將遭遇有害氣體性地盤，長度估計約 290 公尺。
- (八) 本計畫排砂對下游大漢溪之影響，僅有局部河段淤積較為明顯，對河防安全影響不大，影響取水設施部分已有配套水源可茲因應。
- (九) 阿姆坪隧道施工將採用鑽炸法進行開挖，經計算使用炸藥量之造成之最大質點振動速度小於 5mm/s，隧道採鑽炸法施工對水庫大壩及排洪隧道結構並無影響。
- (十) 阿姆坪隧道功能為抽砂或運砂兼排洪沖淤為主，設計流量為 600 秒立方公尺，具 600 秒立方公尺之防洪效益。以 2 艘抽砂船操作預估年清淤疏濬量可達 64 萬立方公尺。
- (十一) 阿姆坪隧道之總工期約為 78 個月(不含開發計畫、都市計畫變更、基本設計與發包工期為 42 個月)。總工程費為 46.27 億元，總建造成本為 49.94 億元。
- (十二) 阿姆坪隧道以 50 年經濟年限分析，年計成本約 36,705 萬元，計畫年計效益為 41,600 萬元，益本比為 1.13，淨效益約為 4,895 萬元，符合經濟可行之原則。

二、建議

- (一) 本計畫考量隧道寬僅 8 公尺，故建議進行 1/50 比尺之清水水工模型試驗，並進行以下的觀測與試驗，包括：(1)建立進水口段各結構之水位流量率定曲線；(2)隧道進水口至隧道段之水理，確認輸泥底版之出水高；(3)出水口至沖淤池段之流態，並進行淤泥沖刷試驗；(4)出水口流態對大漢溪之影響評估，作為基本設計的參考。
- (二) 建議後續進入基本設計階段時應針對阿姆坪隧道進出水口之水、陸域地形及大漢溪浮覆地地形（比例尺為 1/500）之測量工作。另考量出水口沖淤池段水工模型需求，由後池堰至阿姆坪隧道出水口沖淤池段下游 3 公里，每 200 公尺施測大斷面測量。基本設計階段亦建議補充地質鑽探工作則整理如結表-1，相關試驗配置如結表-2。
- (三) 阿姆坪隧道須辦理水土保持計畫之範圍包括進水口及橫坑洞口、豎井與出水口等 4 處工區。水土保持計畫須依照水土保持技術規範辦理。

結表-1 基設階段建議補充地質鑽探位置表

孔號	深度 (m)	鑽孔 角度	探查目的	備註
103-BH-01	30	垂直	隧道洞口位置覆蓋層厚度及岩盤性質	
103-BH-02	120	垂直	南莊層凝灰岩及煤層分布位置及岩盤性質	
103-BH-03	80	垂直	施工豎井位置岩盤性質	
103-BH-04	350	75°	石底層中煤層分布	鑽孔位於稜線附近，無通達道路，恐需開闢施工便道，須向權責單位辦理用地申請
103-BH-05	120	垂直	補充卓蘭層岩盤性質	
103-BH-06	70	垂直	隧道出口段卓蘭層可能含水層之岩盤性質及範圍	
103-BH-07	20	垂直	堤防位置覆蓋層厚度及岩盤性質	
總深度	790			

結表-2 基設階段建議補充地質鑽探及試驗配置表

孔 號	深 度 (m)	鑽 孔 角 度	岩 盤 透 水 試 驗	岩 石 一 般 物 性 試 驗	岩 石 單 軸 壓 縮 試 驗	岩 石 弱 面 直 剪 試 驗	岩 石 三 軸 壓 縮 試 驗	岩 石 消 散 耐 久 試 驗	岩 石 彈 性 試 驗	岩 石 抗 張 強 度 試 驗	水 位 觀 測 井
			(組)								(孔)
103-BH-01	30	垂直	1	1	1	1	1	1	1	1	1
103-BH-02	120	垂直	3	5	5	4	2	2	4	2	1
103-BH-03	80	垂直	2	3	3	2	1	1	2	1	1
103-BH-04	350	75°		10	10	8	4	4	8	4	
103-BH-05	120	垂直	3	5	5	4	2	2	4	2	1
103-BH-06	70	垂直	2	3	3	1	1	1	1	1	1
103-BH-07	20	垂直	1	1	1	1	1	1	1	1	1
合計	790		12	28	28	21	12	12	21	12	6

(四) 為能瞭解防淤隧道完成後操作對下游河道之影響，應進行長期河道、水質、生態監測，進行評估分析並研擬因應對策，以降低排砂造成之衝擊。

(五) 阿姆坪隧道之前期規劃及研究多專注於工程及效益方面，對於本工程施工及營運可能影響之陸域、水域及人文環境資料較缺乏調查及分析，為確實掌握本計畫在施工前之環境背景及施工階段對附近區域環境可能產生之影響，建議進行施工前及施工期間環境監測，以作為環境管理及施工改善之依據。

(六) 阿姆坪隧道於出水口有 5 處需辦理用地徵收，其餘需辦理徵收地上權，另依據「經濟部水利事業工程用地核發獎勵金及救濟金要點」工程用地通過私有地時，土地所有權人願意出具土地使用同意書先行提供施工，且未阻撓施工者，按每公頃 120 萬元計算發給配合施工獎勵金（目前該規定已有修正唯先前如已對外承諾等工程原則仍可繼續核發）。相關用地徵收作業流程，需依照桃園市政府頒布之作業流程辦理。

(七) 阿姆坪隧道進水口位於水源特定計畫區，需辦理都市計畫變

更區域，出水口浮覆地位於非都市計畫區，後續辦理程序需依照都市計畫法施行細則配合桃園市政府辦理都市計畫變更，初步擬定內容將包含(一)申請開發目的、(二)計劃位置與範圍、(三)土地使用、權屬及使用地編定情形、(四)基地環境資料分析、(五)實質發展計畫、(六)公共設施營運管理計畫等議題。

第壹章 前言

1.1 計畫緣起及目的

石門水庫為具有灌溉、發電、給水、防洪及觀光等多目標水利設施，對桃園地區農業生產、工業發展、人民生活水準提升及水旱災害防治等方面均有重大貢獻。依據 103 年調查成果，自民國 53 年 6 月 14 日竣工起營運迄今，歷經數場極端颱風事件後，水庫總容量已從原設計 3.09 億立方公尺減少為 2.01 億立方公尺，使得穩定供水及防洪操作之風險提高。面臨氣候變遷致極端水文事件，強降雨之頻率已然驟增，加強石門水庫防淤及排洪能力已刻不容緩，應予以重視並提出對策。

經濟部水利署(以下簡稱水利署)依據「石門水庫及其集水區整治特別條例」辦理「石門水庫及其集水區整治計畫」，已完成水庫清淤 115 萬立方公尺、沉澱池清運 145 萬立方公尺之目標量，並於民國 101 年完成電廠防淤一期改善工程(發電鋼管改為排砂專用管)，惟由於立地條件等客觀因素，排砂設施容量及清淤能量(含去化)均有其限度，致使水庫仍有粗、細泥砂之淤積，整體防淤能力仍不足，須再增設水庫防淤設施以為因應。

民國 97 年水利署水利規劃試驗所(以下簡稱水規所)開始辦理「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究」，經初步規劃評估較為可行的隧道方案包括(1)中游導淤：自溪口導至 10 號沉澱池之 A 案；(2)庫區排淤：自大溪坪(阿姆坪)排放至 10 號沉澱池之 D 案及自大灣坪排放至後池之 C 案，均能增加石門水庫防淤及防洪能力。

民國 99 年水利署為延續上述庫區排淤排洪策略，由水規所及北水局分別辦理大灣坪隧道(C 案)及阿姆坪隧道(原 D 案)之可行性

規劃工作，擬進行二方案比較，選擇優先方案後續推動實施，民國 100 年 10 月 21 日水利署於二方案完成可行性規劃成果後召開會議，因根據水工模型試驗結果，大灣坪及阿姆坪兩隧道同時操作之排砂量略低於大灣坪隧道單獨操作之累計排砂量，故決議採大灣坪隧道(C 案)及阿姆坪隧道(調整 D 案)作為規劃設計組合，其中大灣坪隧道利用颱風期間水量進行水力排砂操作，藉由水庫異重流到達時將高濃度泥流排放至水庫下游，阿姆坪隧道則調整為平時作為水庫土石清淤之輸送通道，由佈設於隧道上方之抽泥(砂)管輸送至隧道出口沖淤池及浮覆地堆置，於颱風期間利用該通道排洪水量將沖淤池內可沖淤料排放至下游河道，不可沖淤料部分則進行標售，並依據決議開始辦理「石門水庫防淤隧道工程計畫」(以下簡稱本計畫)。

阿姆坪隧道設計流量為 600 秒立方公尺，颱風期間操作排水量以為隧道出口堆置泥砂之沖淤，對石門水庫而言，將擴增原設計排洪量 14,100 秒立方公尺至 14,700 秒立方公尺，大灣坪隧道設計流量為 1,600 秒立方公尺，排洪能力將可再提升至 16,300 秒立方公尺，可因應未來全球氣候變遷極端水文事件發生之情境。

北水局在考量計畫之必要性、急迫性及施工條件，將計畫分 2 階段實施，第 1 階段優先推動阿姆坪隧道，以兼顧處理落淤在水庫之泥砂問題，並俟阿姆坪隧道完成後再檢討推動第 2 階段大灣坪隧道。國家發展委員會於 103 年 7 月 21 日通過「石門水庫防淤隧道工程計畫(第 1 階段)」，並於 103 年 9 月 1 日經行政院同意辦理，故阿姆坪隧道開始實質進行基本設計工作，今為總結北水局辦理阿姆坪隧道可行性規劃階段工作(以下簡稱本隧道及本工作)，完成總報告(以下簡稱本報告)如后。

1.2 工作範圍

民國 99 年水利署為延續石門水庫庫區排淤排洪策略，由水規所及北水局分別辦理大灣坪隧道(C 案)及阿姆坪隧道(原 D 案)之可行性規劃工作，後決議採大灣坪隧道(C 案)及阿姆坪隧道(調整 D 案)作為規劃設計組合，作為石門水庫防淤隧道工程計畫，計畫之二隧道位置如圖 1-1，本工作之工作範圍主要為阿姆坪隧道。

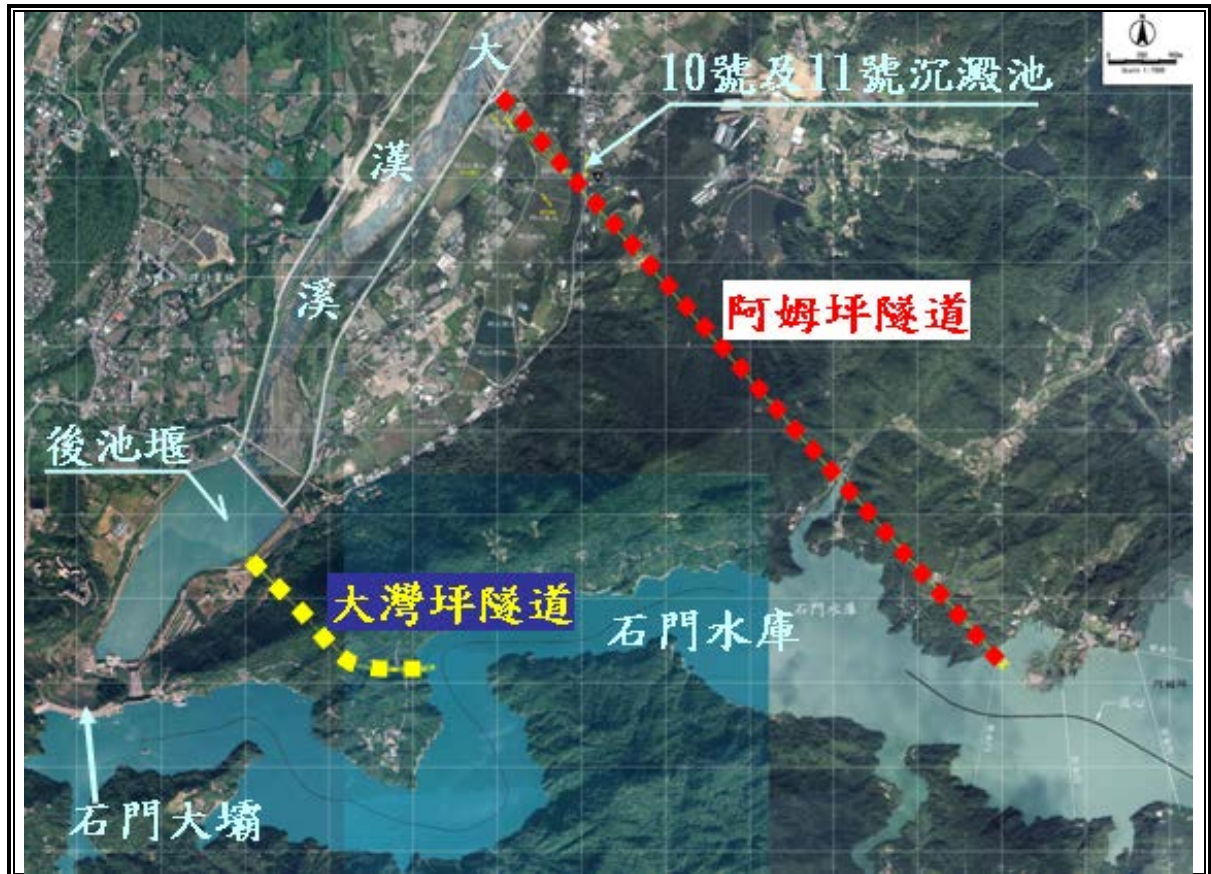


圖 1-1 石門水庫防淤隧道工程位置圖

1.3 工作項目及內容

依北水局委託說明書規定工作項目及內容，本工作可行性規劃階段辦理情形說明如下。

1.基本資料蒐集及分析：本報告見第貳章。

(1)氣象、水文相關資料蒐集及分析。

(2)地形、地質資料蒐集及分析。

- (3)輸砂量及水庫淤積資料蒐集及分析。
- (4)相關排砂計畫。
- 2.初步規劃報告檢討：本報告摘錄本工作期中報告(二)成果見第肆章。
 - (1)防淤功能探討。
 - (2)防洪容量評估。
- 3.工程方案研擬：本報告摘錄本工作期中報告(二)阿姆坪隧道(原 D 案)成果見第肆章。
 - (1)可能防洪入口方案研選。
 - (2)可能防洪隧道路線研選。
 - (3)可能防洪出口方案研選。
 - (4)出口沉澱池可能防洪防淤方案研選。
 - (5)可能工程方案組合研擬。
- 4.補充地質地形調查與試驗：已分別完成專題報告，本報告摘錄見第參章。
 - (1)地表地質調查及複核。
 - (2)地質鑽探及現地試驗工作。
 - (3)水文地質調查。
 - (4)補充地形測量。
 - (5)煤礦坑補充調查。
- 5.工程初步規劃：已於期中報告(一)完成，本報告摘錄本工作期中報告(二)阿姆坪隧道(原 D 案)可行性規劃成果見第肆章，故對於初步規劃成果不予摘錄。
 - (1)防洪防淤隧道入口設施(含閘門)工程規劃。
 - (2)防洪防淤隧道本體(含豎井)與洞口邊坡保護工程規劃。
 - (3)防洪防淤隧道出口設施工程規劃(含出口處之沉澱池佈

設、沉砂排砂及排洪設施規劃)。

(4)陸上清淤或抽泥經由隧道運送至沉澱池設施工程規劃。

(5)施工規劃(含隧道開挖土石方處理)。

(6)工程經費估算(含用地地上物、拆遷及其他)。

6.數值模擬分析：本報告摘錄本工作期中報告(二)阿姆坪隧道(原 D 案)成果見第肆章。

(1)河道沖淤數值模式之建立。

(2)利用三維數值模型分析洪水期間水庫內懸浮泥砂濃度分佈情形(需與水工模型實驗進行驗證比較，確定方案可行性)。

(3)防淤效率評估。

7.工程可行性規劃：

(1)可行性規劃：本報告摘錄本工作期中報告(二)阿姆坪隧道(原 D 案)成果見第伍章。

A、地質方面

D、防淤效益方面

B、環境影響方面

E、營運操作方式規劃

C、防洪效益方面

F、水庫安全影響評估

(2)工程規劃設計(含工程費用估算)：本報告摘錄本工作期中報告(二)阿姆坪隧道(原 D 案)規劃成果見第肆章，另阿姆坪隧道(調整 D 案)規劃成果見第陸章。

(3)計畫評價(含經濟及財務分析)：本報告將說明阿姆坪隧道(調整 D 案)成果見第柒章。

(4)阿姆坪與大灣坪方案比較(阿姆坪與大灣坪方案可行性規劃優選評估，比較方案內容須針對防洪功能、工期、經費、施工難易度、排砂效益、對下游衝擊及傳統方式發包或統包方式發包等進行評估比較)：本報告摘錄本工作期中報告(二)成果見第肆章。

1.4 前期規劃成果

水規所於 98 年度辦理「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究」，針對方案 A、B、C、D 進行地質調查及初步規劃工作，各方案成果綜合如表 1-1，將辦理成果摘要說明如下。

表 1-1 石門水庫新建分洪防淤規劃方案綜合表

項目 \ 方案	中游導淤方案		庫區排淤方案	
	B 案	A 案	D 案	C 案
規劃流量 (cms)	1,600	1,600	1,600	1,200 [*]
排砂效能	初估歷年颱風期平均排砂比約 61% 非汛期抽砂浚漂運輸通道	初估歷年颱風期平均排砂比約 61% 非汛期抽砂浚漂運輸通道	汛期異重流及渾水水庫排砂 非汛期抽砂浚漂運輸通道	異重流及渾水水庫排砂
隧道入口位置	羅浮下游(水庫滿水位時水深約 5m)	溪口吊橋附近(水庫滿水位時水深約 13m)	斷面 Sm21 下游入口高 209.35m	大壩上游約 1 公里，入口高程 200m
隧道出口位置	鳶山堰上游右岸山麓，上下游均有民舍	#10 沉澱池右側 #4 省道下邊坡	#10 沉澱池右側 #4 省道下邊坡	後池右邊坡
隧道長度 (km)	14.7	8.1	4.0	0.9
對環境影響	排洪時不影響鳶山堰原水濁度	排砂時鳶山堰原水濁度升高	排砂時不影響後池原水濁度 入口若採岩塞爆破對環境影響待評估	排砂時後池原水濁度升高 入口若採岩塞爆破對環境影響待評估
直接工程費	229 億 (含上游淤砂運移工程)	125 億 (含上游淤砂運移工程)	66 億	24 億
工 期	*	8 年	6 年	4 年

註：(1) “*” 指無資料。

(2) “※” 「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究—應用岩塞爆破法可行性調查及評估」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。建議若進水口採岩塞爆破工法，設計流量以介於 500~800cms 為宜。

(3) 資料來源：「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究—初步規劃」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。

- 1、石門水庫分洪防淤策略包括(1)上游減淤；(2)中游導淤；(3)庫區排淤；(4)下游放淤。針對中游及庫區進行初步分洪防淤功能探討及工程規劃，經評估較為可行的策略有(1)中游導淤：自溪口導至 10 號沉澱池之 A2 案；(2)庫區排淤：自大溪坪排放至 10 號沉澱池之 D2 案及自大灣坪排放至後池之 C1 案。
- 2、各策略方案評估結果如下：
 - (1)中游導淤策略：方案 A2 隧道分洪能力 1,600 秒立方公尺，為入庫前分洪排砂，年排砂量 129 萬噸，排砂率 61%，使大部份水砂免於入庫，於汛期分洪兼排上游來砂，非汛期為上游河道、攔砂壩及庫區機具清淤土石運移通道，分洪防淤功能俱佳。
 - (2)庫區排淤策略：異重流排砂功能仍待試驗分析，目前有 2 種可能方案，方案 C1 隧道分洪能力 1,200 秒立方公尺，功能為汛期分洪兼排放運行至斷面 12 之異重流，對石門水庫之分洪防淤效能有加成果，減緩壩前庫容淤積速率，惟工址距大壩僅 1 公里與進水口於水下約 50 公尺施工，入口設計與工法及對大壩之影響尚須進一步研究評估。方案 D2 隧道分洪能力 1,600 秒立方公尺，於汛期分洪兼排放進入庫區中段可能剛形成異重流之水砂，非汛期可充當庫區抽砂之運移通道。惟可能受三民溪匯流及河道突擴影響，排砂能力可能降低，工程功能亦需進一步評估。
- 3、水庫排砂操作排放之渾水，將使下游水質濁度飆高而無法取水，影響供水，需有備援水源(如中庄調整池)等配套措施。
- 4、工程完工營運後，藉由分洪排砂隧道的操作，排放上游集水區之入庫泥砂，具有排砂、分洪、運砂(C 方案無此項功能)

的功能，可有效改善水庫淤積及增加水庫排洪能力，促進水庫永續利用。

5、依地表地質調查結果，地質評估以 A2、C1、D2 為較佳方案。

6、工程完工後期望帶來之效益，包括：

(1)減緩水庫淤積，延長水庫壽命，確保水庫供水能力。

(2)因應氣候變遷，增加水庫排洪能力。

(3)颱風時期降低水庫水質濁度，縮短水庫水質混濁期距，減少公共給水供水水質處理支出成本，降低缺水損失及對庫區生態環境之衝擊。

(4)改善水庫上游淤砂運送動線，降低運送成本。另有降低空氣污染效益與降低噪音污染效益之社會效益。

(5)增進大漢溪水庫下游河海砂源平衡，降低對河海生態環境衝擊。

本計畫工作，其路線即為前期規劃之 D2 方案，入口設於大溪坪石門水庫苗圃南方，汛期導引上游異重流水砂排放至 #10 沉澱池放回大漢溪，並兼具防洪功能，非汛期兼為抽砂運移路徑，工程位置如圖 1-2，工程佈置規劃說明如后。

1、隧道入口工程：

入口工址位於河道斷面 21 下游 300 公尺右岸處，地面高程 238.40 公尺，其至隧道口間為明挖段，進水口為淨寬 60.16 公尺之矩形斷面，兩側以導流牆束縮至隧道口為寬 12 公尺之矩形斷面，將計畫最大排洪量 1,600 秒立方公尺水砂導入分洪排砂隧道。明挖部份土石暫置於臨水區為臨時水壩，確保庫水不溢入工區。該區段開挖工程須於隧道工程全部完工後進行，可規劃於枯水期機械開挖至水庫水位，再以岩塞爆破方式開挖至高程 210 公尺，以利水流順利進入隧道。進口段

平面佈置如圖 1-3，平面詳如圖 1-4 及縱斷面詳如圖 1-5。

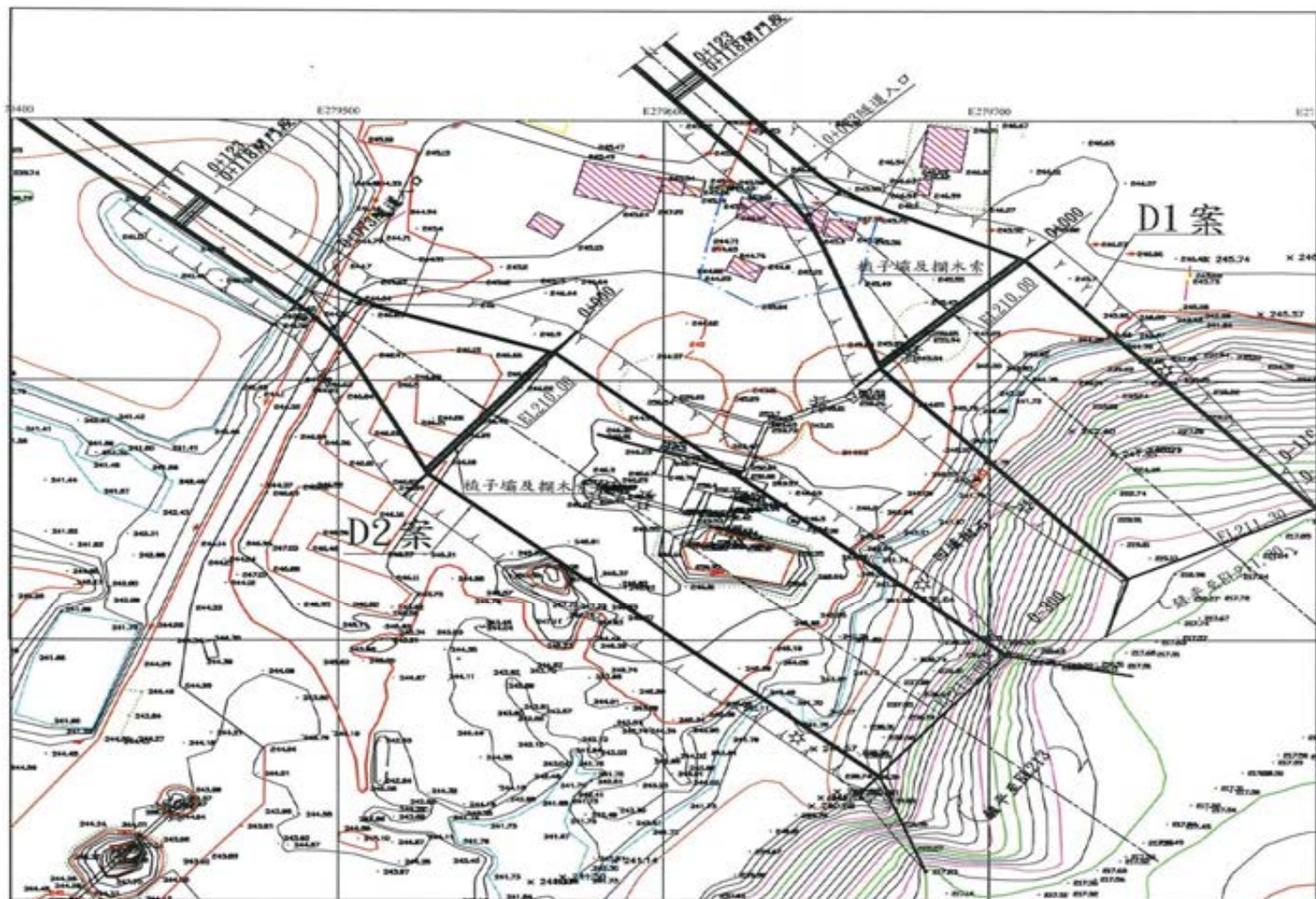
2、分洪隧道工程：

樁號 0+073 為隧道起點，隧道入口底拱高程 209.35 公尺，於 2+295.40 至 2+494.99 間為一左彎曲段長 199.59 公尺，4+930 為隧道終點，終點底拱高程 127.47 公尺，隧道全長 3,927 公尺，縱坡 1/100。至樁號 4+097 為水砂進入 10 號沉澱池消能，10 號沉澱池設計底部高程 117.50 公尺。

隧道設計內徑 12 公尺圓形斷面標準斷面如圖 1-6，設計排洪流量為 1,600 秒立方公尺。

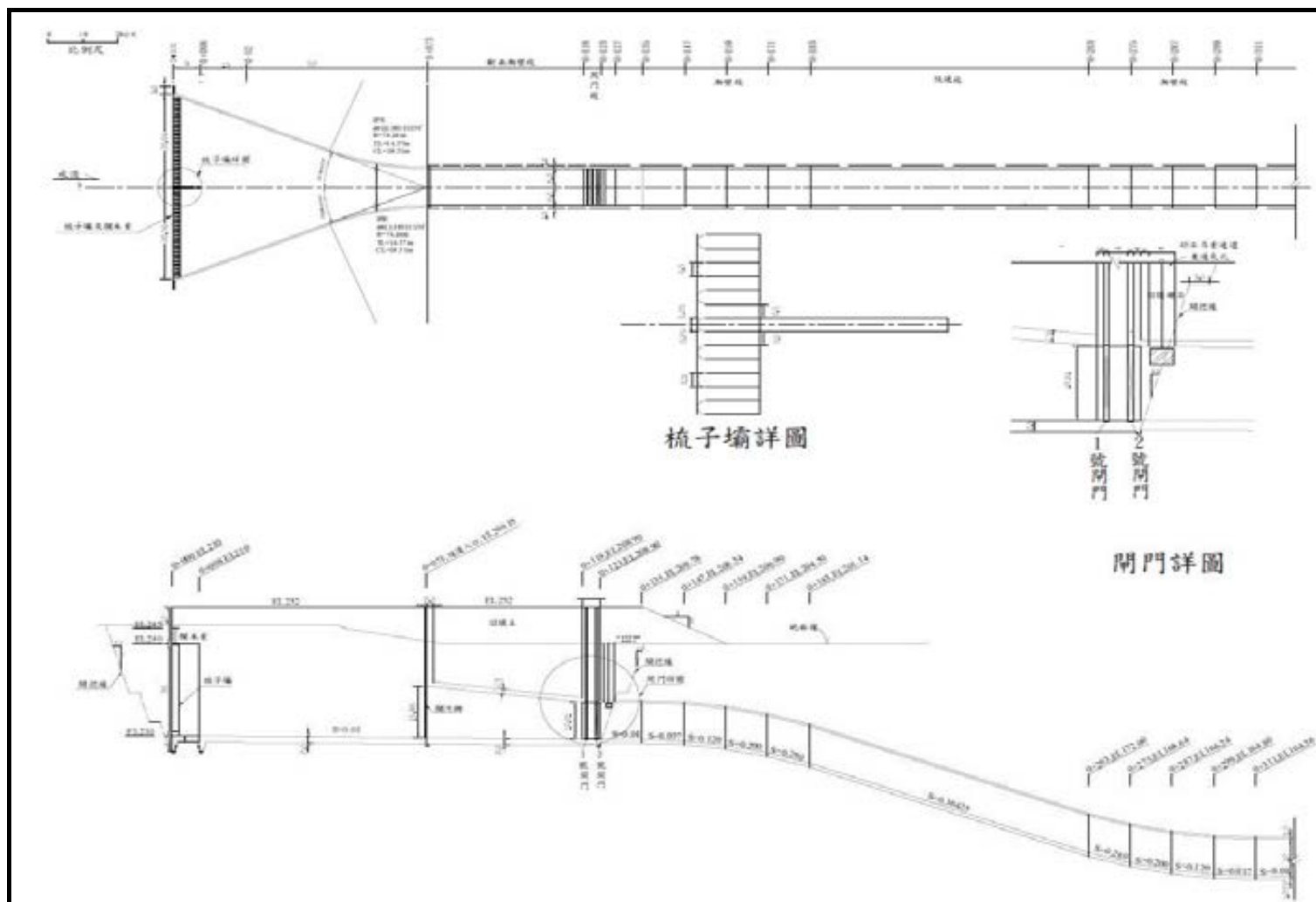


圖 1-2 石門水庫阿姆坪隧道原規劃 D2 方案平面線型圖



資料來源：石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-初步規劃報告，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。

圖 1-3 阿姆坪隧道原規劃 D 方案入口平面佈置圖



資料來源：石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-初步規劃報告，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。

圖 1-4 阿姆坪隧道原規劃 D2 方案進水口布置

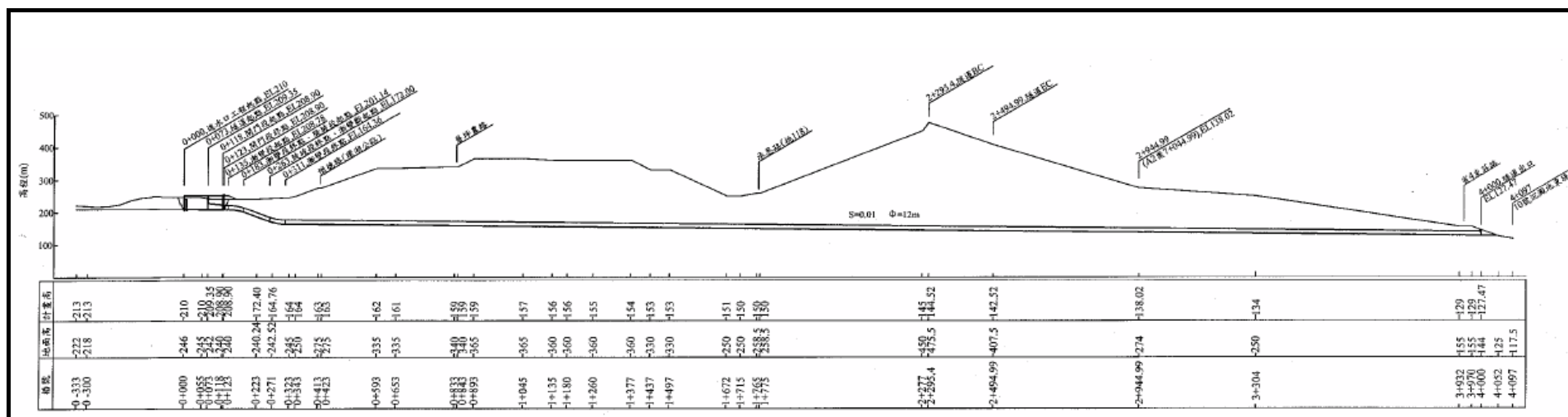


圖 1-5 阿姆坪隧道原規劃 D2 方案縱剖面圖

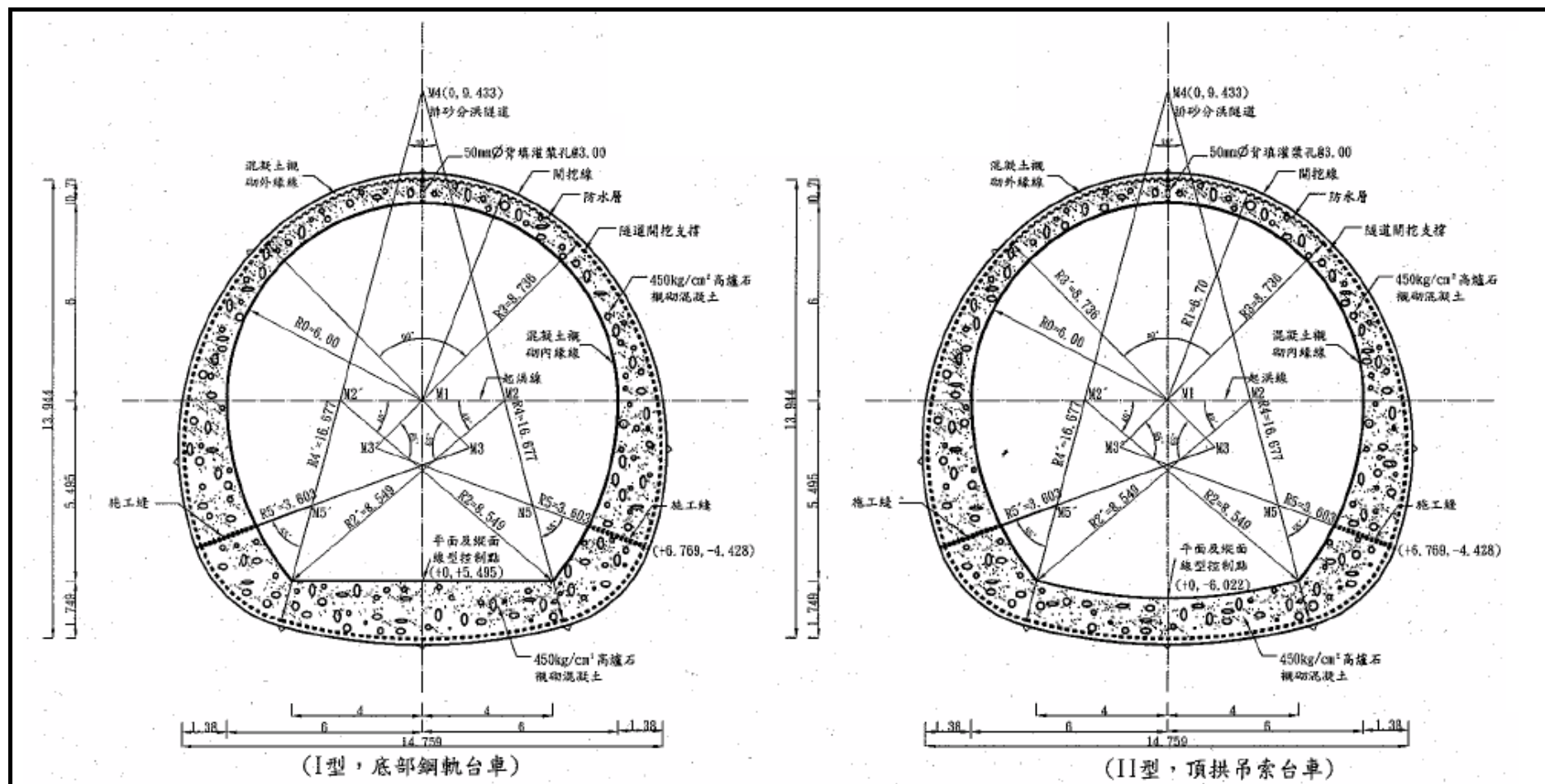


圖 1-6 阿姆坪隧道原規劃 D2 方案隧道斷面圖

第貳章 基本資料蒐集分析評估

2.1 集水區概況

2.1.1 位置與交通

1、位置與交通：

石門水庫位於桃園市大漢溪中游，集水區面積為 763.4 平方公里，集水區跨越行政區域包括桃園市復興區、龍潭區、大溪區，新竹縣尖石鄉、關西鎮及宜蘭縣大同鄉等共 6 鄉。

2、交通：

石門水庫集水區內主要及次要道路系統多沿著河谷興建，省道台 7 線由大溪進入至復興區後，順沿著大漢溪及其支流(三光溪)一直蜿蜒至明池後轉進宜蘭市，過境里程約 68 公里。縣道 118(即羅馬公路)從新竹進入桃園後，沿著石門水庫庫區及大漢溪溪谷蜿蜒至羅浮地區，而鄉道為主要道路與部落或風景遊憩區之間的連接通路，並有產業道路分布於集水區內。

2.1.2 氣象與水文

1、氣象：

由石門氣象站民國 86 年 6 月至 103 年 12 月氣象統計資料顯示(詳表 2-1)，集水區內之氣溫，由於受到海拔高度之影響，各地氣溫變化較大，全年氣溫溫差約在 13.7~26.7°C 間，年平均溫度約為 20.6°C，以每年元月氣溫為低，約在 13.7°C 左右；7、8 月份最熱，氣溫可達 26~27°C。惟在濕度方面集水區之乾濕季節變化不甚明顯，各月份之平均濕度約在 87~91%，年平均濕度約在 89%。估算水庫流域平均雨量所用之雨量站，依據石門水庫管理中心目前採用石門、霞雲、高義、巴陵、嘎拉賀、玉峰、白石、鎮西堡、西丘斯山及池端等 10

站，其雨量面積權重依序為 4.32、17.03、9.29、7.31、10.02、9.34、11.52、12.74、14.46 及 3.97%等。

表 2-1 石門水庫石門氣象站氣象統計資料

月份	平均風速 (m/s)	平均氣溫 (°C)	平均濕度 (%)	平均氣壓 (kpa)	累積雨量 (毫米)	累積蒸發量 (毫米)
1	3.37	13.65	91.5	988.68	112.1	74.24
2	3.13	14.62	91.14	987.17	307.94	101.14
3	2.51	16.26	88.24	985.52	165.87	117.26
4	1.85	19.62	91.35	982.72	277.82	100.18
5	2.14	22.94	87.57	979.34	298.17	85.43
6	2.34	25.29	88	977.22	306.44	84.05
7	2.16	26.69	86.89	976.6	331.17	103.62
8	2.29	26.48	89.71	976.07	519.67	87.5
9	2.1	24.87	88.46	979.09	399.57	116.65
10	3.46	21.97	88.71	983.83	368.59	74.13
11	3.91	19.13	89.17	986.54	109.13	66.41
12	3.6	15.27	90.3	988.63	88.59	65.55

資料來源：經濟部水利署北區水資源局管中心提供，統計自民國 86 年 6 月至民國 103 年 12 月。

2、水文：

表 2-2 為民國 45~103 年石門水庫集水區最大一日、二日、三日暴雨量及發生日期，顯示最大一日、二日、三日暴雨量皆為民國 52 年葛樂禮颱風，分別為 770 毫米、1,285 毫米及 1,421 毫米；而表 2-3 為民國前 4 年至 103 年之最大洪峰流量統記表，顯示民國 52 年葛樂禮颱風達 10,200 秒立方公尺最大，其次為 93 年艾利颱風 8,594 秒立方公尺，而 85 年賀伯颱風 6,363 秒立方公尺位居第 3。

表 2-2 石門水庫集水區最大一日、二日、三日雨量及發生日期

年 (民國)	一日最大雨量 (毫米)	發生日期	二日最大雨量 (毫米)	發生日期	三日最大雨量 (毫米)	發生日期
45	697	7/31	870	7/31~8/1	882	7/30~8/1
46	89	8/18	102	8/18~8/19	111	8/18~8/20
47	225	9/3	239	9/3~9/4	242	9/3~9/5
48	261	7/15	275	7/15~7/16	287	7/14~7/16
49	274	7/31	338	7/31~8/1	348	7/30~8/1
50	355	9/11	383	9/11~9/12	410	9/10~9/12
51	264	8/5	275	8/5~8/6	280	8/4~8/6
52	770	9/10	1,285	9/10~9/11	1,421	9/9~9/11
53	97	8/20	107	8/19~8/20	107	8/18~8/20
54	297	8/18	306	8/17~8/18	310	8/17~8/19
55	179	9/6	190	9/5~9/6	203	9/5~9/7
56	164	11/17	204	11/17~11/18	215	11/16~11/18
57	146	9/29	260	9/28~9/29	295	9/28~9/30
58	506	9/26	512	9/26~9/27	517	9/25~9/27
59	393	9/6	499	9/5~9/6	534	9/5~9/7
60	414	9/22	537	9/21~9/22	541	9/20~9/22
61	537	8/16	619	8/15~8/16	629	8/15~8/17
62	94	10/8	150	10/7~10/8	206	10/7~10/9
63	117	10/14	151	10/14~10/15	154	10/14~10/16
64	147	8/2	283	8/2~8/3	305	8/2~8/4
65	480	8/9	481	8/8~8/9	500	8/9~8/11
66	279	7/31	372	7/30~7/31	375	7/30~8/1
67	160	9/12	310	9/11~9/12	310	9/11~9/13
68	396	8/14	478	8/13~8/14	507	8/13~8/15
69	186	8/27	195	8/27~8/28	209	9/15~9/17
70	327	7/19	363	7/19~7/20	390	7/18~7/20
71	234	8/9	262	8/9~8/10	282	8/8~8/10
72	140	6/3	156	3/24~3/25	164	3/24~3/26
73	252	8/18	339	8/18~8/19	359	8/17~8/19
74	458	8/22	564	8/22~8/23	592	8/22~8/24
75	292	9/18	361	8/22~8/23	488	8/22~8/24
76	248	10/24	302	10/23~10/24	322	10/23~10/25
77	70	9/29	106	9/29~9/30	155	9/29~10/1
78	252	9/11	381	9/11~9/12	474	9/10~9/12
79	256	8/30	474	8/18~8/19	519	8/17~8/19
80	127	8/17	146	8/16~8/17	177	6/22~6/24
81	262	8/29	367	8/28~8/29	433	8/28~8/30
82	62	6/5	74	6/4~6/5	100	3/16~3/18
83	370	10/10	494	10/9~10/10	500	10/8~10/10
84	64	4/1	107	7/10~7/11	124	7/10~7/12
85	554	7/31	641	7/30~7/31	709	7/30~8/1
86	323	8/18	504	8/17~8/18	507	8/17~8/19
87	351	10/16	557	10/48~10/16	558	10/14~10/16
88	61	5/27	106	5/27~5/28	125	6/17~6/19
89	279	8/22	347	8/22~8/23	352	8/22~8/24
90	352	9/16	698	9/16~9/17	847	9/16~9/18
91	261	7/4	453	7/3~7/4	465	7/3~7/5
92	104	9/1	166	9/10~9/11	167	9/10~9/12
93	598	8/24	929	8/24~8/25	1,034	8/23~8/25
94	456	8/5	836	8/4~8/5	841	8/4~8/6
95	138	9/16	218	6/9~6/10	245	6/8~6/10
96	521	10/6	632	10/5~10/6	654	10/5~10/7
97	367	9/13	703	9/13~9/14	876	9/12~9/14
98	253	8/7	375	8/6~8/7	451	8/6~8/8
99	140	9/19	166	9/18~9/19	190	9/18~9/20
100	127	6/25	212	10/2~10/3	273	10/1~10/3
101	363	8/2	647	8/1~8/2	805	7/31~8/2
102	288	7/13	399	7/12~7/13	422	7/12~7/14
103	88	7/23	140	7/22~7/23	140	7/22~7/24

註：1.民國 45 年至 93 年資料摘自民國 95 年「石門水庫第三次整體檢查與安全評估綜合報告」。

2.民國 94 年至 103 年資料由本計畫整理。

表 2-3 石門水庫歷年最大入庫洪峰統計表

單位:cms

年	最大洪峰流量	年	最大洪峰流量	年	最大洪峰流量	年	最大洪峰流量	備註
1907	730	1942	2,240	1977	2,715	2012	5,385	1.1907 年 至 2004 年資料 摘自「石門 水庫第三次 整體檢查與 安全評估」 (初稿) 2.2005 年 至 2014 年資料 由石管中心 提供
1908	450	1943	4,730	1978	694	2013	5,458	
1909	3,700	1944	3,670	1979	1,790	2014	1,180	
1910	1,900	1945	1,830	1980	1,310			
1911	6,100	1946	1,110	1981	2,190			
1912	5,900	1947	1,740	1982	1,250			
1913	1,400	1948	5,170	1983	1,100			
1914	3,900	1949	530	1984	2,166			
1915	950	1950	280	1985	4,880			
1916	350	1951	1,070	1986	2,130			
1917	3,400	1952	210	1987	1,650			
1918	2,700	1953	2,890	1988	458			
1919	4,300	1954	420	1989	2,960			
1920	5,000	1955	2,090	1990	4,344			
1921	820	1956	3,900	1991	689			
1922	1,200	1957	650	1992	2,243			
1923	1,900	1958	2,070	1993	120			
1924	2,800	1959	2,890	1994	3,138			
1925	2,600	1960	2,940	1995	254			
1926	2,100	1961	4,940	1996	6,363			
1927	240	1962	3,950	1997	3,411			
1928	1,800	1963	10,200	1998	4,643			
1929	2,600	1964	400	1999	1,067			
1930	3,360	1965	1,760	2000	2,230			
1931	2,470	1966	2,200	2001	4,123			
1932	4,140	1967	1,300	2002	2,536			
1933	1,300	1968	1,210	2003	410			
1934	980	1969	5,700	2004	8,594			
1935	2,180	1970	3,680	2005	5,377			
1936	440	1971	5,170	2006	979			
1937	2,510	1972	5,660	2007	5,300			
1938	1,600	1973	717	2008	3,447			
1939	1,160	1974	884	2009	1,838			
1940	4,020	1975	2,030	2010	1,056			
1941	1,300	1976	5,490	2011	1,059			

2.1.3 地形與地質

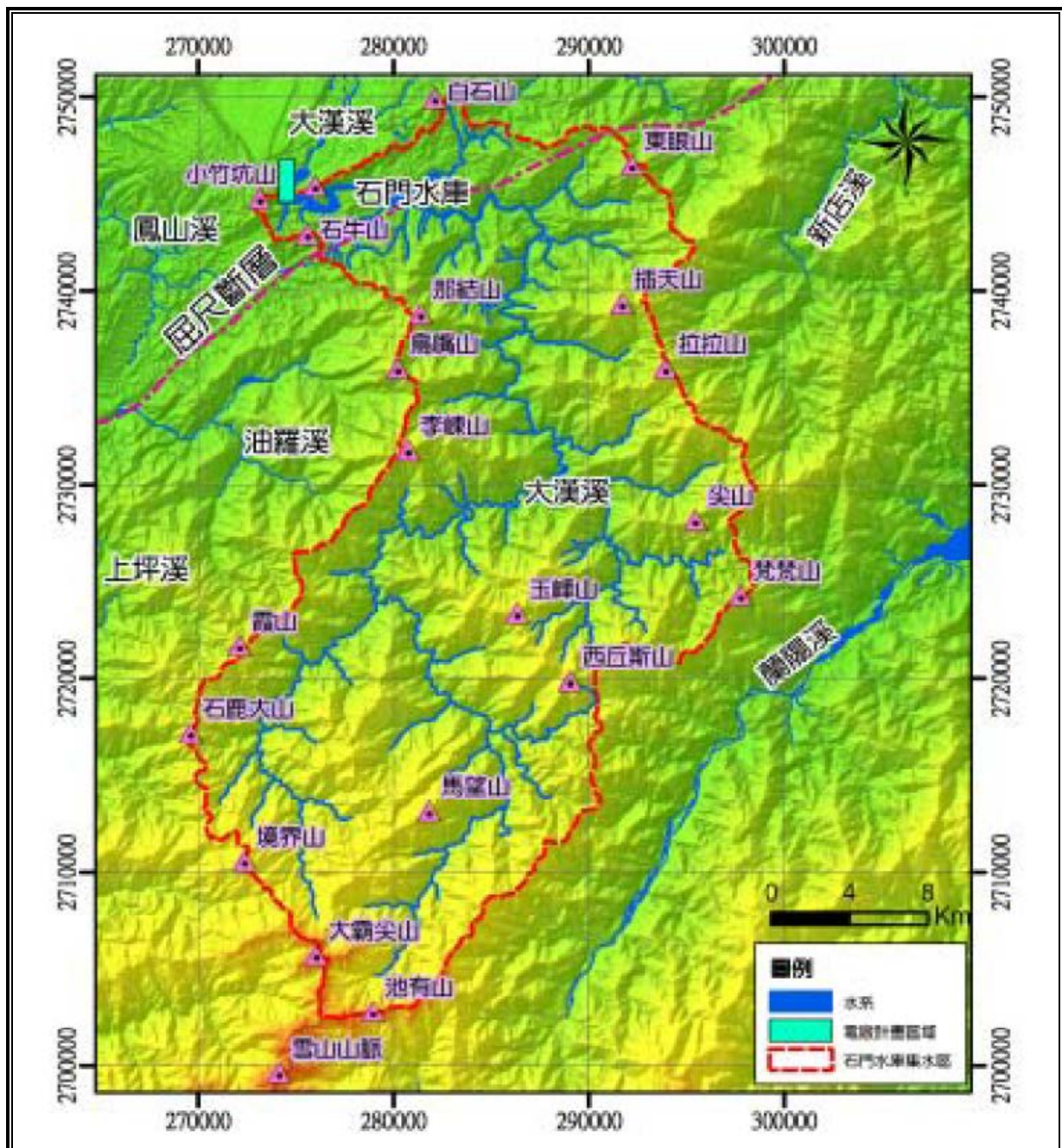
1、地形：

石門水庫集水區內地勢起伏由海拔 100 公尺變化至 3,500 公尺之間，以南端之品田山 3,529 公尺為最高，全區地形自東南向西北傾斜，而呈南北向之狹長腰形。而依據「山坡地土地可利用限度分類標準」分析水庫集水區內坡度，集水區內多為五級坡以上(坡度百分比在 40%以上)之陡坡，約占全區面積的 80%，可見集水區內地形相當險峻，地形如圖 2-1 所示。

2、地質：

石門水庫集水區為一外形南北長，東西窄之流域，區域內之地質構造主要以東北-西南走向為主貫穿大漢溪流域，詳圖 2-2。主要斷層線自北而南為屈尺斷層、石槽斷層、烏嘴斷層(錦屏斷層)、插天山斷層、霞山斷層、羅山斷層與檜山斷層等，其中大多數為由東南向西北逆衝之逆斷層。整體而言，區域內的斷層，近期並未有明顯之活動跡象。各斷層間則存在密度與規模不一之褶皺構造，其走向亦多平行於斷層走向。主要褶皺構造自北往南主要有金山向斜、尖石向斜、插天山背斜、三光向斜、萱原向斜與中嶺背斜等。

大漢溪流域內出露之地層，可由屈尺斷層概分為兩大區塊。屈尺斷層北側地層包含中新世之南港層與南莊層，以及中新世晚期至上新世早期之桂竹林層。屈尺斷層南側地層則包括始新世晚期之西村層、始新世晚期至漸新世早期之四稜砂岩、漸新世之巴陵層與中新世之木山層、大寮層、石底層、北寮層及打鹿頁岩等。



(摘自水利署北水局「石門水庫增設取水工水力發電可行性評估及規劃委託技術服務」報告，民國 97 年)

圖 2-1 石門水庫集水區地形圖

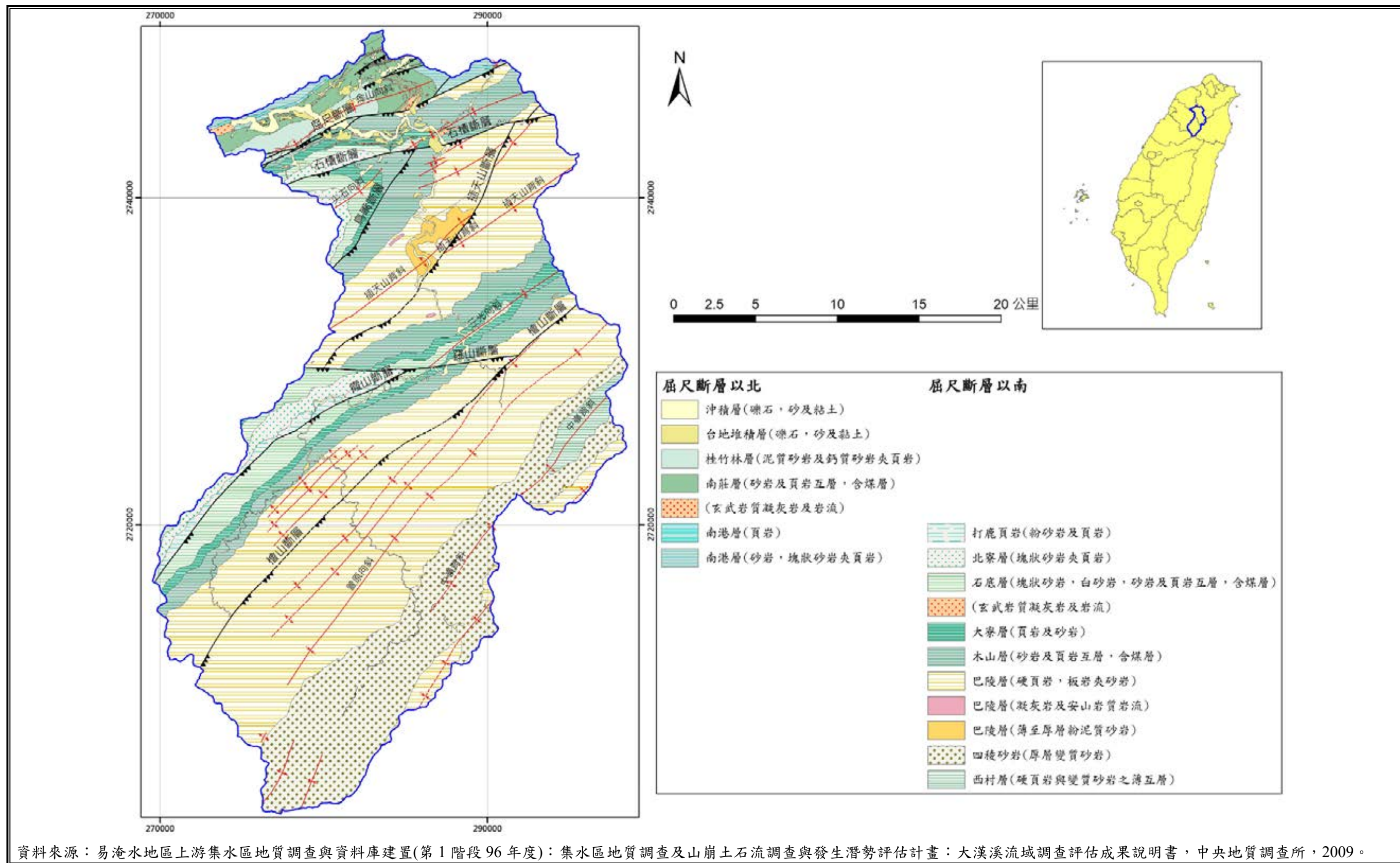


圖 2-2 石門水庫集水區地質圖

2.2 既有水工結構物說明

石門水庫整體平面佈置如圖 2-3，主要土木結構物工程數據如表 2-4，茲將各施簡述如下。

表 2-4 石門水庫主要工程數據

結構物	項 目	數 量
水 庫	集水面積	763.4km ²
	滿水位高程	高程 245.0m
	最高洪水位	高程 251.1m
	總蓄水量	20,720 萬 m ³ (30,912 萬 m ³) ⁽¹⁾
	有效蓄水量	20,228 萬 m ³ (25,188 萬 m ³) ⁽¹⁾
大 壩	壩 型	滾壓土石壩
	壩頂高程	高程 252.1m
	最大壩高	133.1m
	壩總體積	706 萬 m ³
	壩頂長度	360m
	壩頂寬度	10m
石門大圳進水口	進水口中心高程	高程 193.55m
	連接隧道(馬蹄型)	D=2.5m
	設計流量	18.4cms
分層取水工	進水口底檻高程	高程 236.0m、高程 228.0m、高程 220.0m
	進水口直徑	2.40m ϕ
	設計進水量	16.2cms
發電進水路	進水口中心高程	高程 173.0m ⁽²⁾
	直 徑	4.57~3.50m
	壓力鋼管(1 條)	D=4.57m、Q=68.6cms ⁽³⁾
#2 發電鋼管改建排砂道	進水口中心高程	高程 173.0m ⁽²⁾
	直徑	D=4.57~3.60~2.5m
	設計流量	300cms
永久河道放水道	進水口中心高程	高程 169.5m ⁽⁴⁾
	直 徑	1.372m
	長 度	375.4m
	最大流量	34cms
導水隧道(已封堵)	進口底部高程	高程 135.0m
	隧道直徑/長度	D=15.0m、L=248.75m
	設計流量	4,700cms
溢洪道	堰頂高程	高程 235.0m
	設計排洪量	11,400cms
排洪隧道	進口底部高程	高程 220.0m
	隧道直徑	9.0m ϕ
	設計排洪量	2,400cms (2@1,200cms)
後 池	體 積	220 萬 m ³
	非溢流堰高程及長度	高程 142.5m、L=150m
	溢流堰高程及長度	高程 137.0m、L=380m

註：(1)外為統計至民國 103 年 2 月之量，()內為原設計之量

(2)進水口底緣由預壘混凝土提高至高程 174.66m

(3) 電廠二期改建後，以分歧管分接至 2@3.60m ϕ 壓力鋼管，單機額定流量 68.6cms

(4)進水口底緣由預壘混凝土提高至高程 174.20m

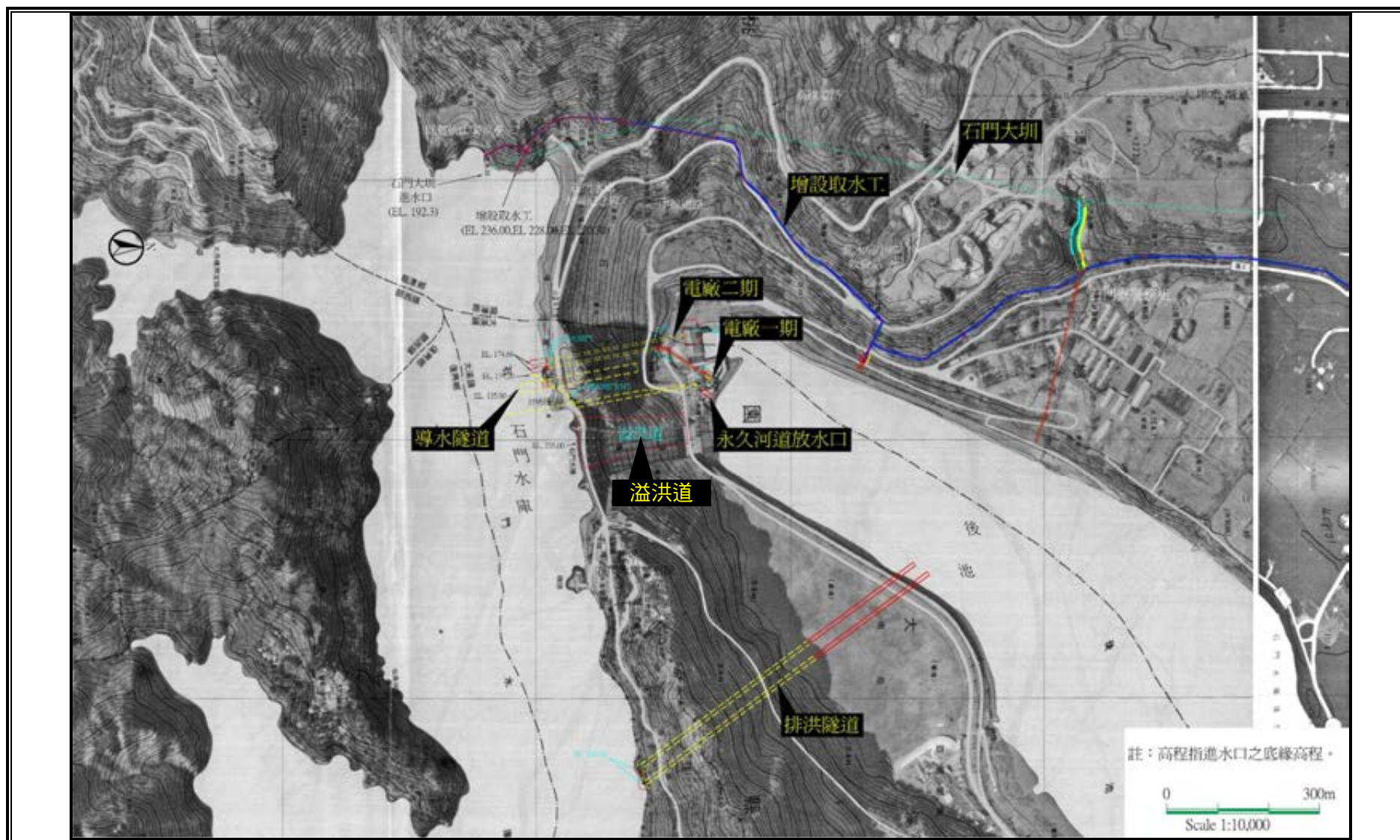


圖 2-3 石門水庫既有及施工中之洩水結構平面位置圖

2.2.1 大壩

石門水庫主壩原規劃為混凝土拱壩，基於壩基承载力考量，設計時修正為滾壓式土石壩，位於大漢溪石門峽谷，壩高 133.1m，壩頂高程 252.1m，壩頂長 360m，壩頂寬度 10m，壩總體積 706 萬立方公尺。圖 2-4 為石門大壩橫剖面圖。

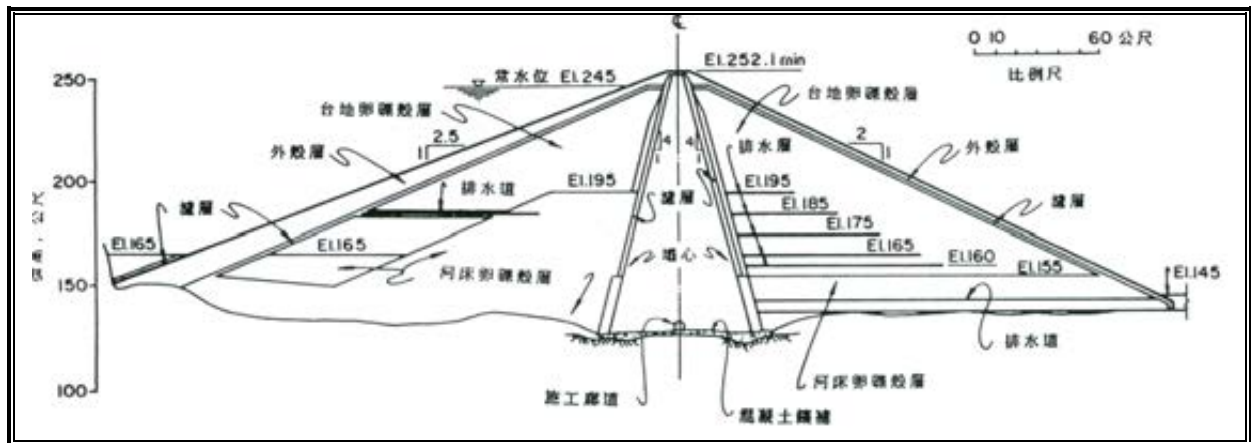


圖 2-4 石門大壩橫剖面圖

2.2.2 溢洪道

石門水庫溢洪道位於距右壩座約 300m 的右山脊鞍部，堰頂高程 235.0m，型式參照美國加州培伏壩(Pine Flat)之設計，採用開渠收縮式，原設計最大通過洪水為 10,000 秒立方公尺，在此洪水時之水庫水位高程為 249.5m。但實際完工時，溢洪道與大壩之胸牆最低高程均為 252.5m 以上，扣除出水高度 1.5m 後，實際水庫最高水位高程可至 251.0m，相當之溢洪洩洪量可達 11,400 秒立方公尺。圖 2-5 及 2-6 分別為溢洪道平面及縱剖面圖。

2.2.3 排洪隧道

排洪隧道位於大壩右岸山脊之腰部，距溢洪道約 600m 處。隧道共有兩條中心線距離 30m。每條隧道最大設計流量為 1,200 秒立方公尺，進口底部高程 220.0m。排洪隧道平面及縱剖面如圖 2-7 及 2-8 所示。

後曾辦理排洪隧道防淤方案規劃，構想於高程 220m 平台設置鋼擋水牆，並於平台下邊坡設置 17 支 $\phi 4,500$ 公厘鋼引水管延伸至水庫淤積面，以利引取水庫底層之渾水。此方案雖經水工模型試驗顯示排砂效率良好，水理可行，但設置引水管之邊坡疑似崩塌區，地質穩定性有疑慮，不予執行。

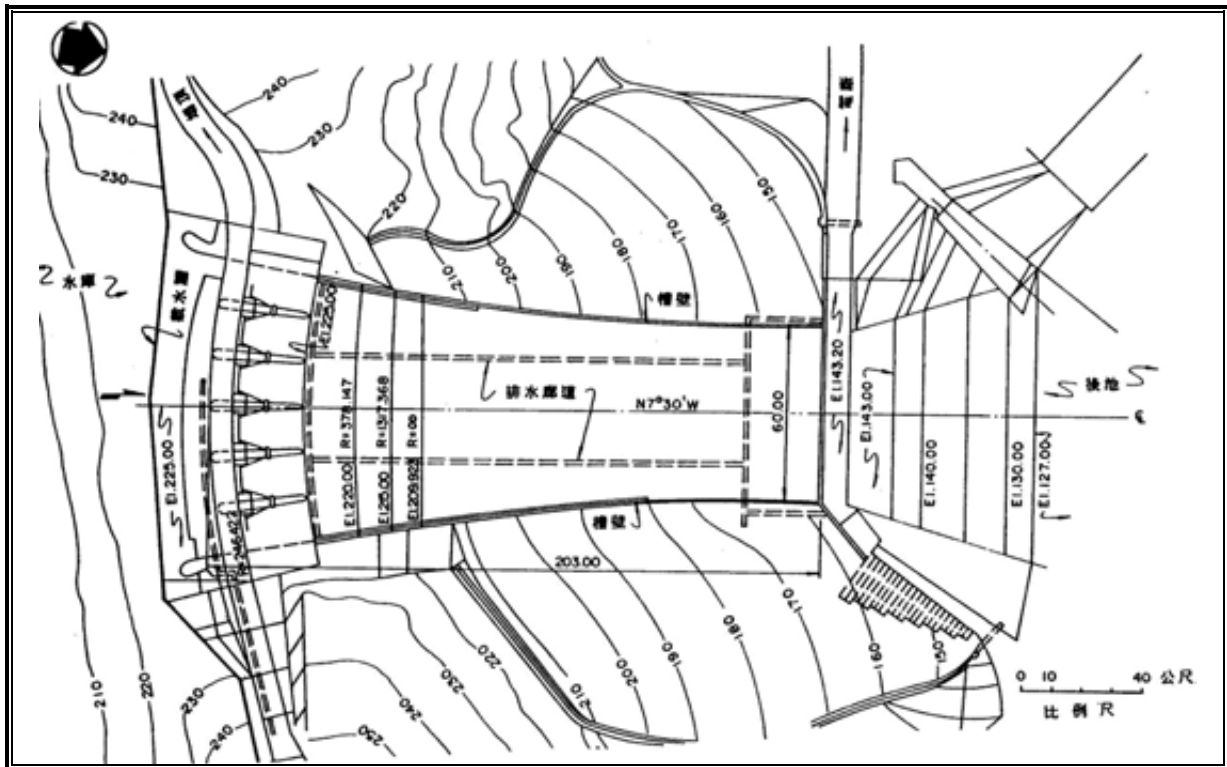


圖 2-5 溢洪道平面圖

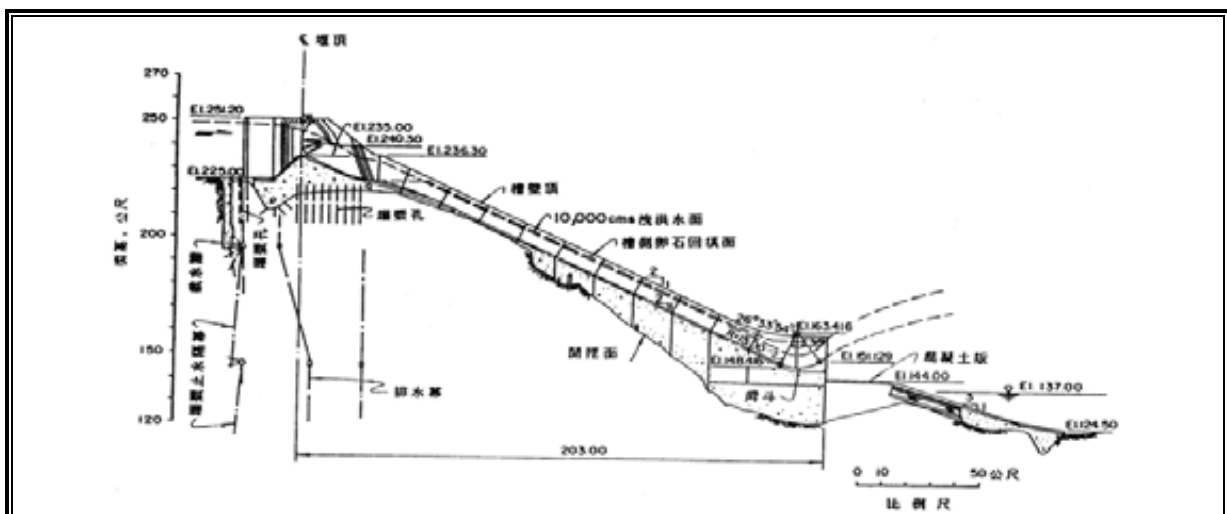


圖 2-6 溢洪道縱剖面圖

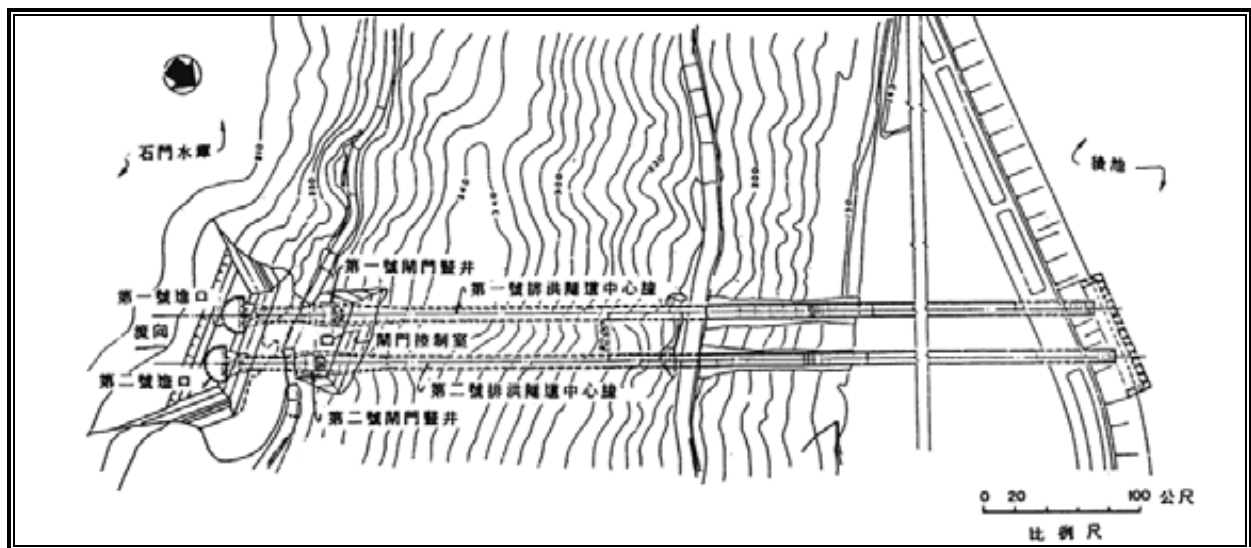


圖 2-7 排洪隧道平面位置圖

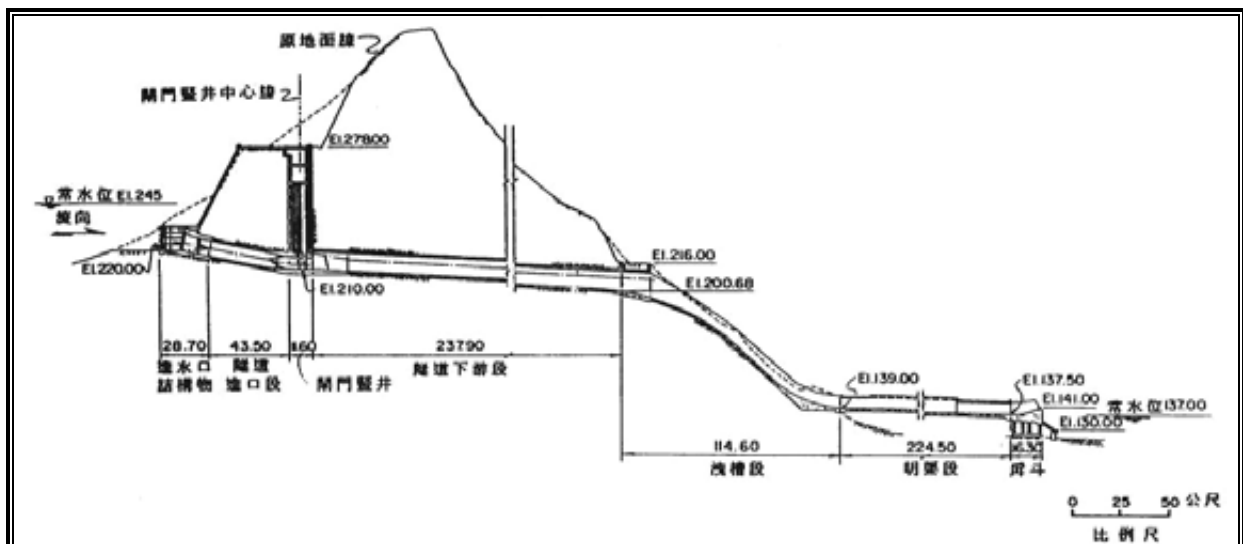


圖 2-8 排洪隧道縱剖面圖(一號隧道)

2.2.4 永久河道放水道

永久河道放水道之功用在於水庫正常運用情形下如發電機組發生故障停機時，仍可洩放水庫蓄水給下游用水單位，此外在水庫有緊急情況則可以降低水位，確保安全，永久河道放水道之平面及縱剖面如圖 2-9。水路終端之何本閘已於民國 97 年 7 月 29 日改建為射流閘門完工，設計流量為 34 秒立方公尺。

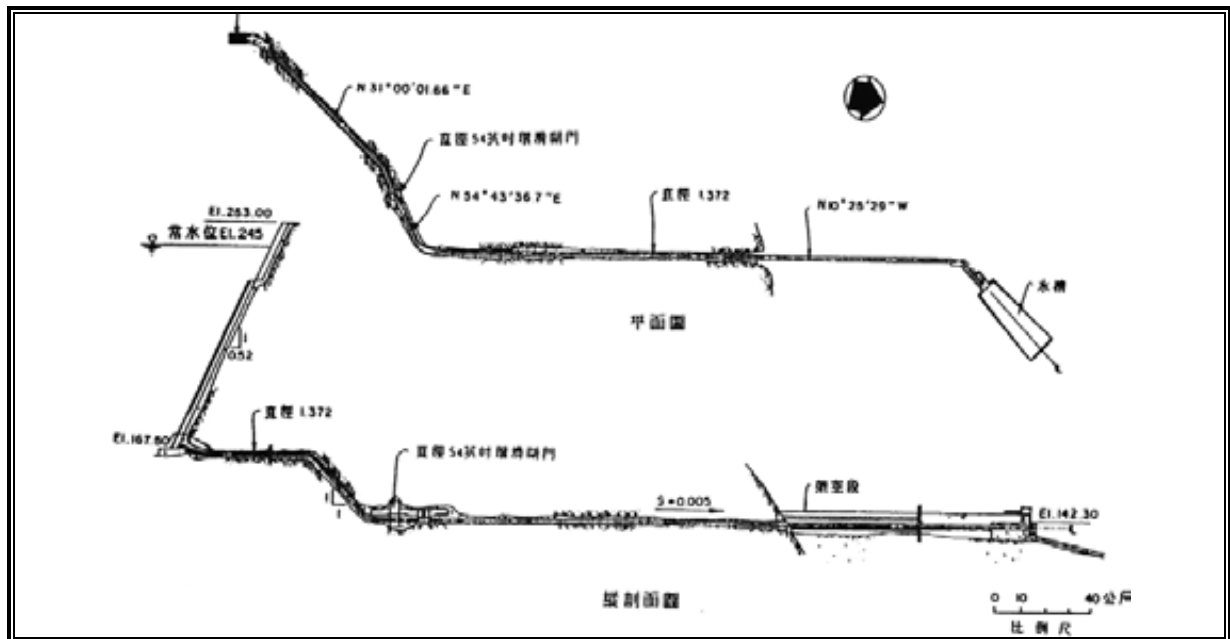


圖 2-9 永久河道放水道平面及縱剖面圖

2.2.5 電廠及排砂道

石門電廠裝置有二部機組，額定出力每部 62,500 馬力，圖 2-10 示進水口、輸水路及廠房整體平面與縱剖面圖，每部機組之額定流量為 68.6 秒立方公尺。電廠防淤改善工程為利於水力排砂並兼顧發電進行兩階段工程，其中電廠防淤一期工程將電廠#2 機組輸水路已改為專用排砂道，其設計流量為 300 秒立方公尺稱為石門排砂隧道。電廠防淤二期工程將於#1 機組輸水路直徑 4.5m 壓力鋼管中分歧為 2@3.60m 壓力鋼管，並分別銜接#1 及#2 機組，恢復發電功能並可作為互為備援功能，因直徑 4.5m 中管段之水頭損失有限，故電廠防淤改建後二部機組之額定流量應接近於原額定流量 137.2 秒立方公尺，改建後電廠與排砂道之平面佈置如圖 2-11，排砂道之縱剖面如圖 2-12。

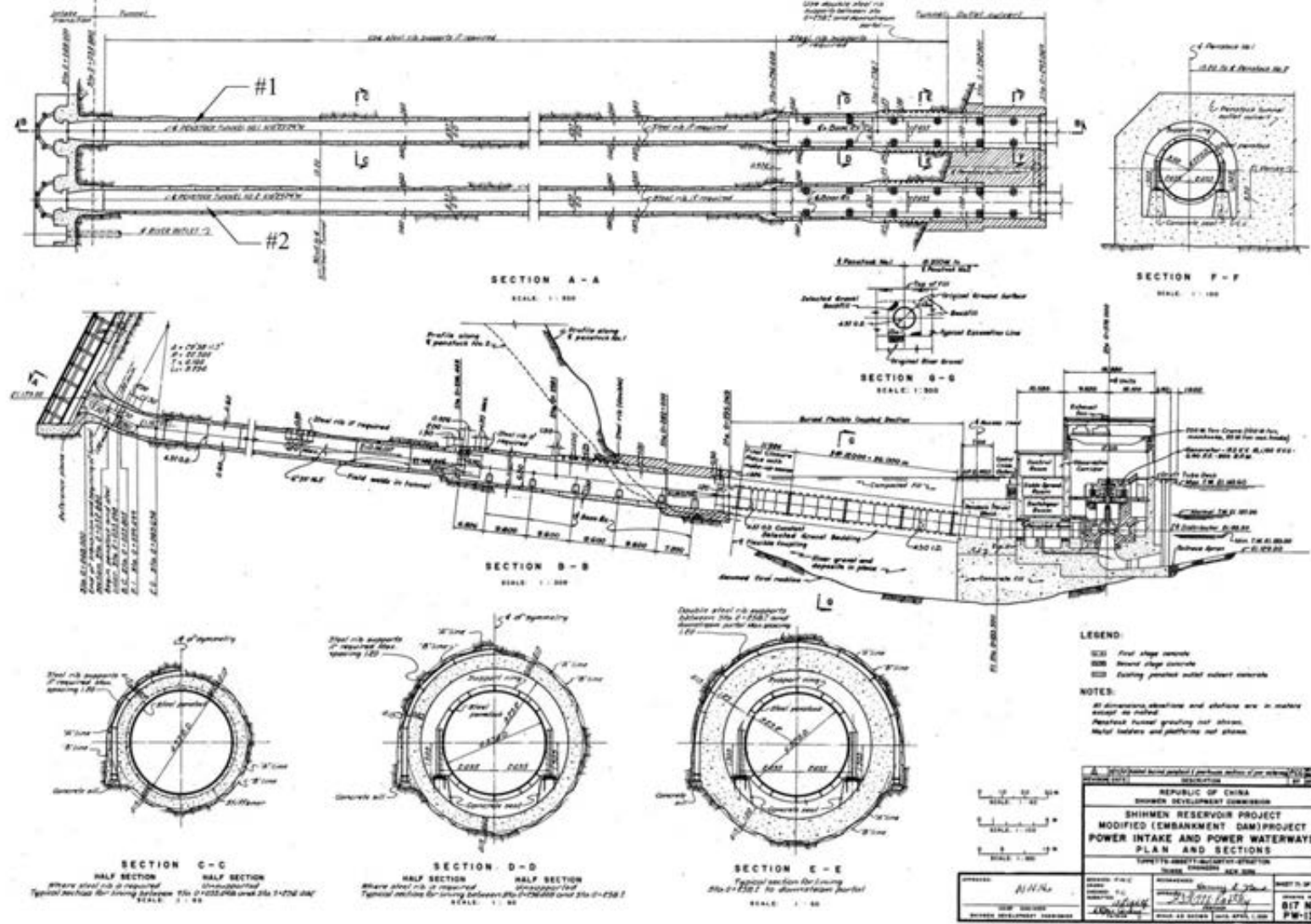


圖 2-10 既有電廠輸水路平面及立面圖

圖 2-11 電廠防淤改善工程平面佈置圖

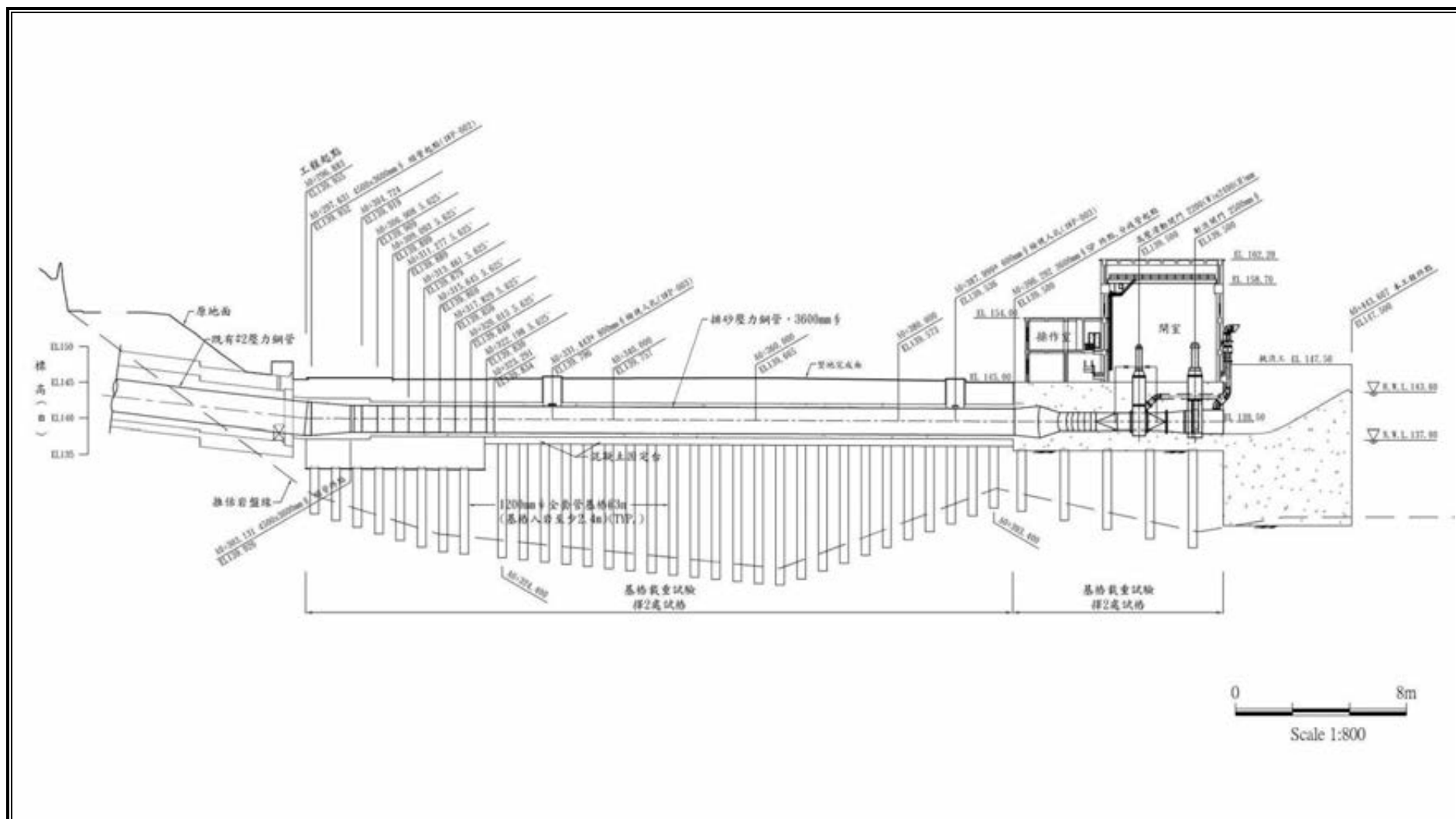


圖 2-12 石門電廠防淤改善一期工程排砂道縱剖面圖

2.2.6 石門大圳

石門大圳主要結構包括進水口、2.5m 圓形進水壓力隧道、地下鋼筋混凝土閘門室、消力池、3.3m 馬蹄形輸水隧道及地面控制室等，隧道縱坡 1/1,000，設計取水量 18.4 秒立方公尺。石門大圳進水口設置於石門大壩左岸山腰，其中心線高程為 193.55m，進口設於離左壩座約 200m 處，具有良好岩基的山座上游面，是一半圓形鋼筋混凝土攔污柵結構，其底版的基線高程 190.0m，頂版高程 200.0m。在攔污柵結構物下游側壓力隧道進口處，設置一寬為 2.9m，高為 3.7m 的阻水閘門，以便於防護閘門或進水壓力隧道發生故障時關閉進口，放空壓力隧道積水，進入檢查或修護之用。圖 2-13 為進水口設計圖，照片則顯示整體進水口結構。

2.2.7 分層取水工

分層取水工包括三處取水口，底檻高程分別為高程 236.0m、高程 228.0m 及高程 220.0m 與水庫相通，直徑 2.4m 的取水口隧道、直徑 10.0m 的取水豎井、直徑 3.0m 的取水隧道及下游長約 1,800m 的壓力輸水路與自來水公司二原取水之管線相銜接。中、上層取水口已於民國 98 年運轉使用，其目的在於當水庫底層濁度高時，可引取上層濁度低的原水，設計取水量 140 萬 CMD，相當於 16.2 秒立方公尺，本工程之取水豎井位於依山閣對面大壩左壩肩之山坡，該豎井與取水口隧道及取水隧道之相關位置如圖 2-14。

圖 2-13 石門大圳進水口結構

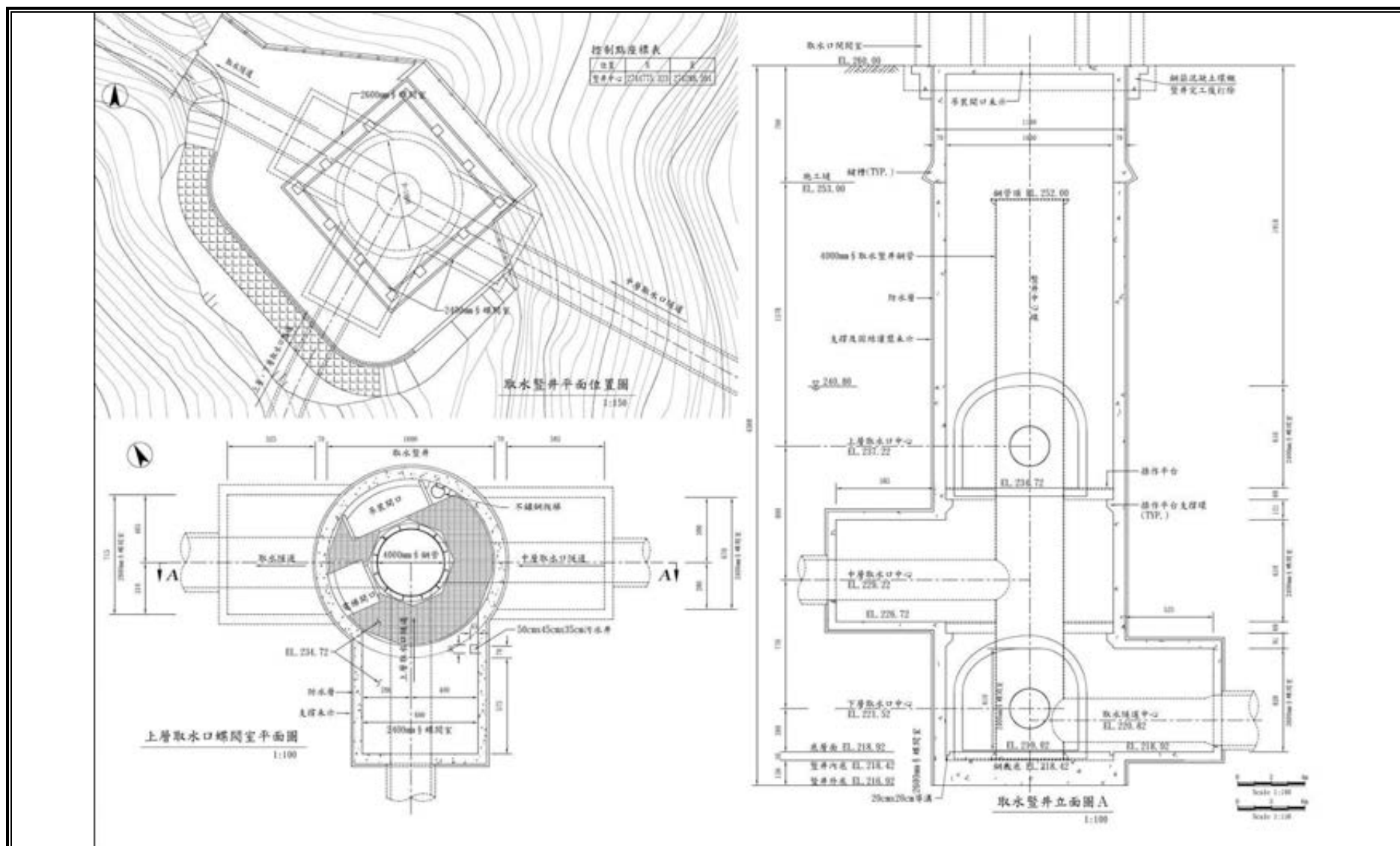


圖 2-14 分層取水工取水豎井與取水口及取水隧道之相關佈置圖

2.2.8 導水隧道

導水隧道位於大壩右山脊，距大壩右墩約 150m，隧道進口底版高程為 135m，隧道直徑 15m，長 248.75m，隧道出口並有長約 192m 的出口導槽，與下游擋水壩相連，擋水壩壩頂高程為 190m，目的為防止水倒灌。導水工程係屬臨時施工設施，已於民國 52 年 5 月封堵開始蓄水。

2.2.9 後池

石門水庫後池長約 1,400m，調蓄容量 220 萬立方公尺，上游段長 700m，寬 300m，係兼作溢洪道洩洪時之落水池，池底高程前段 129m，後段高程 130m，兩岸均用大型預鑄混凝土塊保護，岸頂高程 145m。下游段長 700m，寬 600m，池底高程 131m，左岸為舊河岸，高程約 150m，右岸為拋石護岸，岸頂高程 142.2m。

2.3 水庫營運資料

2.3.1 入庫水量及洩水結構放水量

表 2-5 為石門水庫民國 74 年至 103 年各洩水結構物放水量之統計。民國 80 年、82 年、84 年、88 年、91 年、92 年溢洪道洩洪量為 0，96 年~99 年永久河道放水道尚未修復故放水量為 0。表 2-5 顯示下列現象：

- 1、總洩水量以民國 94 年達 27.77 億立方公尺最高，民國 92 年 6.13 億立方公尺最低。
- 2、各洩水結構中電廠年平均洩水量 7.65 億立方公尺最高，約佔 50.55%，溢洪道(含排洪隧道)4.27 億立方公尺次之，約佔 28.20%，石門大圳 2.55 億立方公尺再次之，約佔 16.84%，永久河道放水口 0.67 億立方公尺最低，僅佔 4.41%。

表 2-5 石門水庫各洩水結構放水量統計表(74 年~103 年)

單位：10⁶m³

年	永久河道	溢洪道*	電廠	石門大圳	合計
74	20.8	549.2	1,035.5	186.3	1,791.9
75	34.6	496.3	1,164.1	170.5	1,865.7
76	1.3	252.8	1,010.5	168.3	1,432.9
77	1.5	52.6	814.4	194.6	1,063.1
78	12.1	318.7	989.6	187.1	1,507.5
79	27.4	814.3	1,183.5	181.2	2,206.4
80	9.2	0.0	811.0	186.7	1,006.9
81	25.3	340.3	1,296.6	187.9	1,850.0
82	0.3	0.0	705.4	186.4	892.0
83	22.2	561.6	929.0	156.8	1,669.5
84	5.7	0.0	785.5	226.4	1,017.6
85	11.1	355.0	655.4	206.1	1,227.6
86	36.3	215.6	1,042.2	253.2	1,547.2
87	2.4	280.4	1,108.1	248.6	1,639.5
88	0.0	0.0	761.4	302.1	1,063.5
89	23.2	110.9	1,123.1	312.3	1,569.5
90	27.9	640.2	993.7	321.0	1,982.9
91	8.0	0.0	544.9	299.3	852.2
92	0.0	0.0	292.5	320.7	613.2
93	169.4	1,376.8	269.7	258.8	2,074.7
94	510.5	1,564.3	369.7	332.6	2,777.1
95	37.7	1,054.6	92.0	328.7	1,513.0
96	0.0	981.2	854.4	311.0	2,146.6
97	0.0	999.8	677.7	325.3	2,002.8
98	0.0	112.9	569.5	309.2	991.6
99	0.0	63.4	583.4	272.0	918.8
100	25.59	53.98	664.84	286.61	1031.02
101	207.28	753.38	916.38	321.07	2198.11
102	208.86	677.88	681.34	302	1870.08
103	573.57	180.75	31.17	302.43	1087.92
合計	2002.2	12806.89	22956.53	7645.21	45410.83
年平均	66.7	426.9	765.2	254.8	1513.694
百分比	4.41%	28.20%	50.55%	16.84%	100.00%

註：“*” 含排洪隧道。

2.3.2 水庫水位特性

欲於運轉中的水庫興建施設，對水庫水位變化的特性應有所瞭解，分析石門水庫歷年來水位資料，成果顯示如下：

- 1、圖 2-18 為民國 74 年至 103 年旬末的平均水位，長期而言，平均水位高程介於 231.49 m 至 239.52 m 之間，其中每年 9 月至次年 5 月為水位下降期，5 月至 7 月水位略微上升，7 月至 9 月由於處於豐水期，水位明顯上升。

2、圖 2-16 為民國 74 年至 103 年以日水位記錄所分析而得之水位超越機率圖，該圖共展現三條曲線，即全年期、颱風期(7 至 10 月)及枯水期(2 至 5 月)，若以高程 220.0m 為參考，則相應之超越機率相當大，枯水期約 90.28%，豐水期約 96.86%。

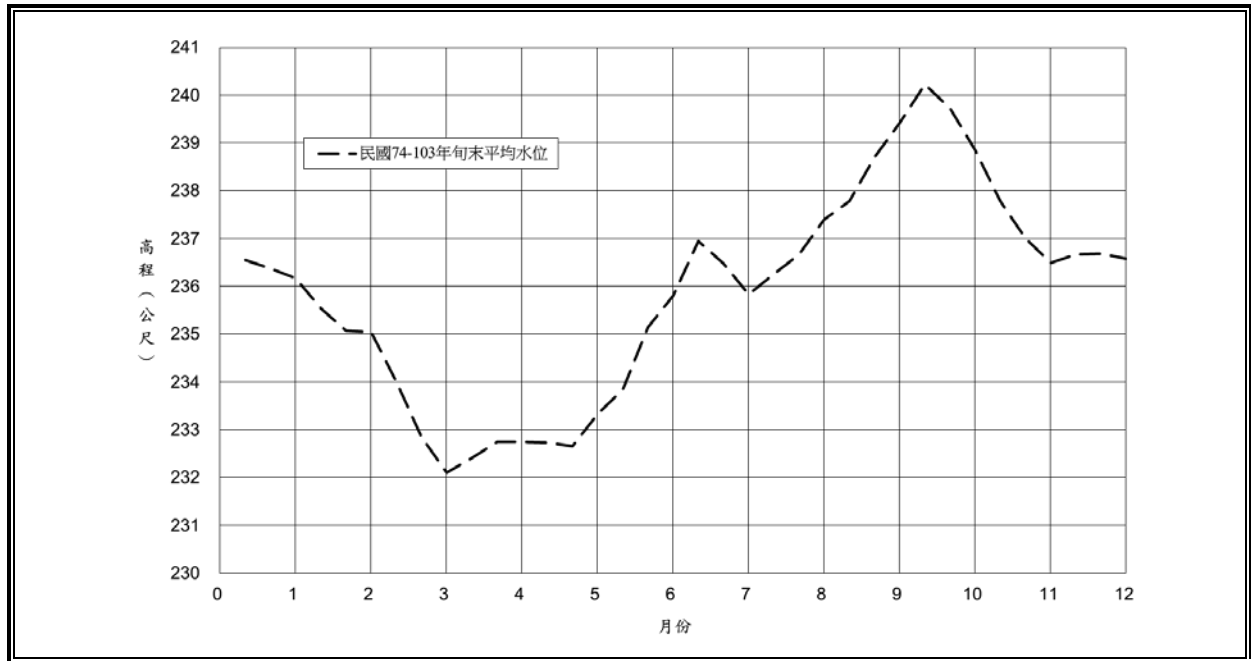


圖 2-15 民國 74 年至 103 年石門水庫旬末平均水位

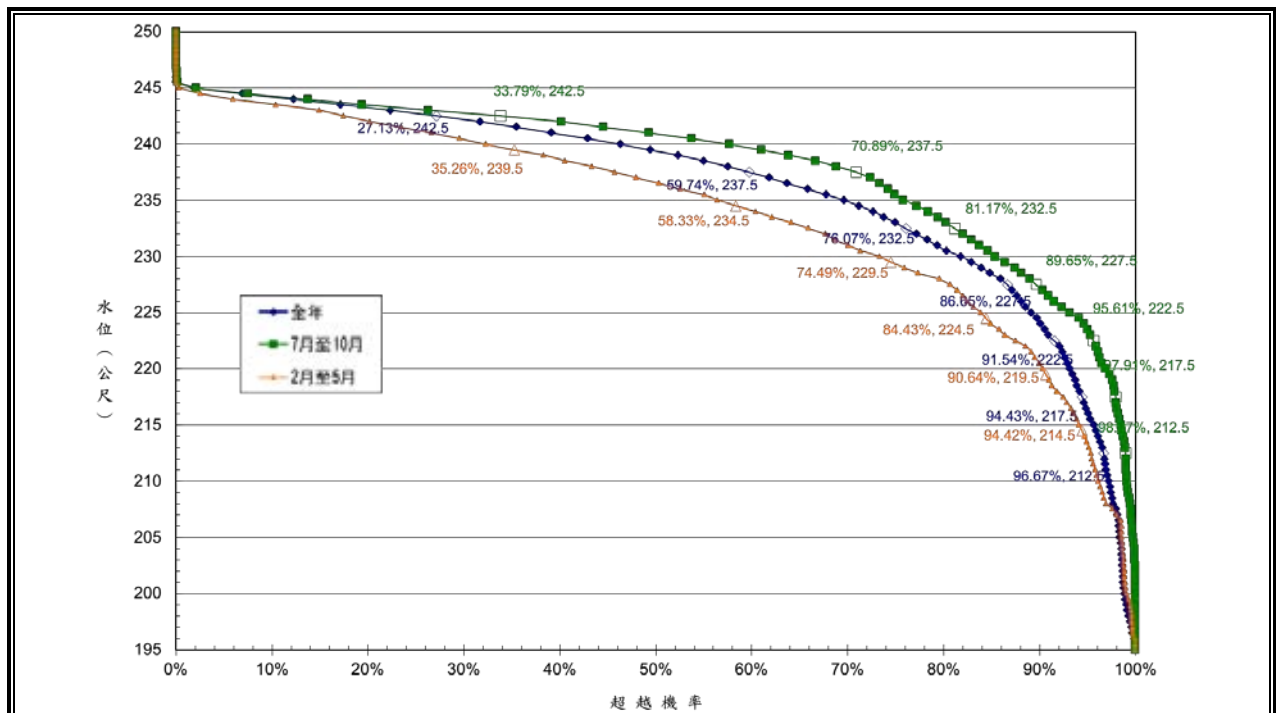


圖 2-16 民國 74 年至 103 年石門水庫日水位超越機率圖

2.3.3 颱風期間水庫操作分析

表 2-6 以累計三日雨量超過 300 毫米之颱風事件做為標準統計民國 58 年至 103 年間石門水庫重大颱風事件各出流設施出流量，由該表可歸納以下 4 點結論：

- 1、大部分颱風在較高水位高程(高於 242.50m)的情況下開啟溢洪道放水，僅有少部分颱風在水位高程低於 242.50m 的情況下開啟溢洪道排水。
- 2、溫妮颱風(86.8)之前，幾乎沒有開啟排洪隧道的操作，在溫妮颱風後則常利用排洪隧道進行排水。
- 3、艾利颱風(93.8)之前石門水庫大多藉由溢洪道與電廠進行放水，艾利颱風期間因電廠受漂流木干擾受損而無法順利持續運轉，因此艾利颱風後多藉由溢洪道與排洪隧道進行放水，艾利颱風後排洪隧道總排洪量由 25.76%提高至 43.23%。
- 4、颱風期間大部份的出流量多自溢洪道與排洪隧道排出，所佔總出流比例約為 91%。其中，溢洪道佔 48%，排洪隧道佔 43%。

圖 2-17 為艾利颱風操作歷程線，艾利颱風為石門水庫完工以來第二大颱風，約等於 100 年重現期洪水量，入庫尖峰流量 8,594 秒立方公尺，最高水位高程 245.8m，出庫尖峰流量 8,444 秒立方公尺，洪峰消減率僅 1.74%，顯示大洪水期間水庫實際運轉之洪峰削減量有限。

表 2-7 表示石門水庫民國 74 年至 103 年間共 65 場颱風前後，水庫水位及颱風過後一星期流量資料，該表顯示考量水資源之運用，颱風期間水庫大部份採高水位運轉，且颱風過後亦維持高水位，65 場颱風之平均資料如下：

- (1)颱風前水位：高程 239.0m
- (2)颱風離台水位：高程 240.9m
- (3)颱風後一週水位：高程 242.6m
- (4)颱風後一週平均入流量：113.46 秒立方公尺

表 2-6 石門水庫歷年重大颱風各出流設施放水量統計表

年份	颱風名稱	最高 水位 高程 (公尺)	溢洪道		排洪隧道		電廠		永久河道放水口		石門大圳		總入流量 (10 ⁸ 立方公尺)	總出流量 (10 ⁸ 立方公尺)
			放水量	比例	放水量	比例	放水量	比例	放水量	比例	放水量	比例		
			(10 ⁸ 立方公尺)	(%)	(10 ⁸ 立方公尺)	(%)	(10 ⁸ 立方公尺)	(%)	(10 ⁸ 立方公尺)	(%)	(10 ⁸ 立方公尺)	(%)		
58	艾爾西	244.0	0.07	88.86	-	-	0.01	8.92	0.001	1.71	0.0004	0.51	2.63	0.08
62	芙安	245.0	0.03	90.38	-	-	0	6.06	0.001	3.51	0.00002	0.05	2.24	0.03
64	貝蒂	245.0	-	-	-	-	0.01	9.4	-	-	0.12	90.6	3.68	0.13
68	歐敏	242.0	0.03	72.37	-	-	0.01	21.24	0.001	2.81	0.002	3.58	1.94	0.04
73	郝麗	245.0	0.07	90.33	-	-	0.01	7.87	0.001	1.41	0.0003	0.4	2.08	0.08
74	尼爾森	241.0	0.1	90.77	-	-	0.01	7.02	0.002	1.33	0.001	0.88	3.12	0.11
75	艾貝	244.0	0.06	85	-	-	0.01	14.31	-	-	0.0005	0.68	1.76	0.07
76	傑魯得	245.0	0.04	74.65	-	-	0.01	24.71	-	-	0.0003	0.64	1.55	0.05
76	琳恩	245.2	0.05	76.98	-	-	0.01	21.46	-	-	0.001	1.56	1.93	0.06
78	莎拉	246.5	0.12	87.7	-	-	0.02	11.73	-	-	0.001	0.58	3.76	0.14
79	楊希	245.9	0.07	98.01	-	-	0	1.14	-	-	0.001	0.86	2.51	0.07
79	亞伯	247.8	0.1	90.03	0.0003	0.29	0.01	8.92	0.0004	0.34	0.0005	0.41	2.47	0.11
79	黛特	244.9	0.08	77.69	0.01	12.18	0.01	9.83	-	-	0.0003	0.31	2.2	0.1
81	寶莉	244.9	0.06	81.79	0	6.69	0.01	10.27	-	-	0.001	1.25	2.64	0.07
81	泰德	244.0	0.04	74.51	-	-	0.01	23.95	-	-	0.001	1.54	1.42	0.05
83	道格	243.0	0.05	85.07	-	-	0.01	13.73	-	-	0.001	1.2	1.84	0.05
83	弗雷特	241.0	0.05	81.82	-	-	0.01	14.77	0.002	2.76	0.0004	0.65	1.66	0.07
83	席斯	-	0.08	88.29	-	-	0.01	10.64	-	-	0.001	1.07	2.35	0.09
85	賀伯	245.0	2.81	91.3	-	-	0.2	6.5	0.05	1.5	0.02	0.7	2.15	3.07
86	溫妮	244.0	0.08	81.4	0.01	6.08	0.01	11.2	0.0002	0.17	0	1.16	2.8	0.09
87	瑞伯	244.6	2.37	72.84	0.44	13.69	0.42	12.87	-	-	0.02	0.61	3.54	3.25
89	碧利斯	243.6	0.44	57.98	0.13	16.67	0.16	21.31	0.02	2.06	0.01	1.97	1.21	0.76
89	巴比倫	242.0	-	-	0.82	75.12	0.25	23.09	-	-	0.02	1.79	1.04	1.09
90	納莉	245.2	4.36	90.54	0.03	0.6	0.39	8.17	0.01	0.2	0.02	0.49	5.33	4.82
90	利奇馬	241.4	1.05	57.81	0.51	27.84	0.24	12.96	0.01	0.74	0.01	0.65	1.8	1.82
91	雷馬遜	242.0	-	-	-	-	0.12	79.63	-	-	0.03	20.37	2.04	0.16
93	艾利	245.8	5.67	79.85	1.07	15.1	0.31	4.35	0.03	0.37	0.02	0.33	7.13	7.1
94	海棠	241.4	1.68	58.12	0.84	28.88	0.27	9.17	0.08	2.83	0.03	1	2.9	2.89
94	馬莎	245.3	4.96	95.28	-	-	0.14	2.78	0.08	1.52	0.02	0.43	5.23	5.2
94	泰利	243.1	1.21	46.46	1.1	42.53	0.15	5.91	0.08	3.2	0.05	1.89	2.37	2.6
96	聖帕	243.9	0.58	37.69	0.77	49.51	0.18	11.78	-	-	0.02	1.01	1.79	1.55
96	韋帕	243.8	1.02	48.58	0.83	39.73	0.23	10.84	-	-	0.02	0.85	2.1	2.1
96	柯羅莎	243.9	2.01	43.6	2.2	47.78	0.38	8.33	-	-	0.01	0.29	4.57	4.61
97	鳳凰	241.9	0.21	14.46	0.83	58.09	0.35	24.5	-	-	0.04	2.83	1.57	1.43
97	辛樂克	242.5	1.89	29	3.97	60.94	0.44	6.8	-	-	0.08	1.28	6.39	6.52
97	薔密	243.6	0.5	18.42	1.89	68.98	0.31	11.35	-	-	0.04	1.29	2.65	2.73
98	莫拉克	244.4	-	-	1.02	69.65	0.37	25.49	-	-	0.07	5.1	1.94	1.46
101	蘇拉	244.5	3.04	53.24	1.74	30.47	0.46	8.06	0.33	5.78	0.14	2.45	6.01	5.71
102	蘇力	244.0	1.27	47.39	0.84	31.34	0.46	17.16	0.06	2.24	0.05	1.87	2.82	2.68
102	潭美	243.2	0.71	25.63	1.19	42.96	0.56	20.22	0.23	8.30	0.08	2.89	2.92	2.77
58-93	艾利颱風 前平均	244.1	0.53	63.10	0.22	25.76	0.08	8.96	0.01	0.98	0.01	1.20	2.37	0.63
93	艾利颱風	245.8	5.67	79.85	1.07	15.1	0.31	4.35	0.03	0.37	0.02	0.33	7.13	7.1
93-103	艾利颱風 後平均	243.5	1.47	45.16	1.32	40.76	0.33	10.18	0.07	2.04	0.05	1.54	3.33	3.25
58-103	總平均	243.9	1.00	48.08	0.88	43.06	0.16	6.83	0.04	1.14	0.02	0.89	2.80	1.65

資料來源：1. 「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究—總報告書」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。(統計至 97 年)
 2. 重大颱風以累計三日雨量超過 300 毫米之颱風事件做為標準。
 3. 97 年後由本計畫整理。

表 2-7 石門水庫民國 74 年至 103 年颱風前後水庫水位及颱風後入流量

項次	侵台日期		颱風名稱	颱風前水位(m)	颱風離台水位(m)	颱風後一週水位(m)	颱風後一週日平均入流量(cms)
1	74.8.21	~ 8.24	尼爾森(Nelson)	233.8	239.0	241.5	82.37
2	74.10.3	~ 10.4	白蘭黛(Brenda)	243.2	244.4	244.1	72.74
3	75.6.22	~ 6.24	南施(Nancy)	242.6	241.6	241.9	55.43
4	75.8.21	~ 9.3	韋恩(Wayne)	232.8	232.4	240.2	33.40
5	75.9.18	~ 9.20	艾貝(Abby)	240.5	241.2	243.1	93.22
6	76.7.12	~ 7.14	賽洛瑪(Thelma)	237.0	240.3	243.5	76.35
7	76.7.25	~ 7.27	亞力士(Alex)	242.4	241.9	241.8	59.90
8	76.9.8	~ 9.10	傑魯得(Gerald)	239.7	242.4	242.8	66.12
9	76.9.23	~ 9.27	琳恩(Lynn)	240.6	240.8	241.1	35.50
10	78.9.11	~ 9.13	莎拉(Sarah)	242.3	240.6	244.5	138.61
11	79.6.21	~ 6.24	歐菲莉(Ofelia)	241.2	242.2	243.0	59.93
12	79.8.18	~ 8.20	楊希(Yancy)	245.4	240.6	243.7	86.50
13	79.8.29	~ 9.1	亞伯(Abe)	243.3	242.1	243.6	232.45
14	79.9.6	~ 9.8	黛特(Dot)	242.5	240.6	244.0	121.46
15	80.8.18	~ 8.20	愛麗(Ellie)	230.6	230.5	228.7	46.35
16	80.9.22	~ 10.2	耐特(Nat)	238.0	244.2	243.5	66.56
17	81.8.27	~ 8.31	寶莉(Polly)	229.1	242.1	243.5	250.32
18	83.8.6	~ 8.10	道格(Doug)	236.1	242.5	240.5	158.63
19	83.8.19	~ 8.22	弗雷特(Fred)	240.2	239.5	242.5	82.57
20	83.10.7	~ 10.11	席斯(Seth)	238.6	242.2	244.1	77.42
21	85.7.24	~ 7.27	葛樂禮(Gloria)	232.0	231.6	--	--
22	85.7.29	~ 8.1	賀伯(Herb)	231.4	243.2	244.1	127.96
23	86.8.15	~ 8.17	溫妮(Winnie)	237.0	238.3	244.5	95.02
24	86.8.27	~ 8.29	安珀(Amber)	242.7	243.5	244.3	152.13
25	87.9.27	~ 9.29	楊妮(Yanni)	229.5	236.0	243.4	346.12
26	87.10.13	~ 10.17	瑞伯(Zeb)	242.0	243.4	240.3	121.12
27	87.10.26	~ 10.27	芭比絲(Babs)	239.1	239.6	243.5	62.90
28	89.7.8	~ 7.9	啟德(Kai-Tak)	235.0	235.0	237.6	33.09
29	89.8.21	~ 8.23	碧利斯(Bilis)	237.8	243.6	242.6	179.79
30	89.8.28	~ 8.30	巴比倫(Prapiroon)	240.5	242.0	243.5	82.60
31	89.10.31	~ 11.1	象神(Xangsane)	238.3	243.1	242.5	77.80
32	90.9.16	~ 9.19	納莉(Nari)	242.3	241.8	244.2	280.36
33	90.9.24	~ 9.28	利奇馬(Lekima)	240.7	244.1	244.0	114.10
34	91.7.2	~ 7.4	雷馬遜(Rammasun)	204.4	236.3	241.7	122.20
35	91.7.9	~ 7.10	納克莉(Nakri)	241.7	242.3	242.8	58.96
36	93.6.29	~ 7.3	敏督利(Mindulle)	234.3	236.1	240.8	36.83
37	93.8.23	~ 8.26	艾利(Aere)	241.6	243.1	240.7	119.56
38	94.7.17	~ 7.20	海棠(Haitang)	237.4	238.0	239.4	129.88
39	94.8.4	~ 8.7	馬莎(Matsa)	239.4	238.3	244.4	171.35
40	94.8.30	~ 9.1	泰利(Talim)	243.1	242.3	241.1	167.15
41	94.9.10	~ 9.11	卡努(Khanun)	241.2	243.0	242.8	95.19
42	94.10.1	~ 10.3	龍王(Longwang)	241.3	241.8	243.7	103.44
43	95.5.16	~ 5.18	珍珠(Chanchu)	241.3	239.5	241.5	51.79
44	95.7.12	~ 7.15	碧利斯(Bilis)	241.2	239.9	241.2	99.24
45	95.7.24	~ 7.26	凱米(Kaemi)	241.8	241.4	242.3	45.12
46	95.8.09	~ 8.10	桑美(Saomai)	241.8	241.3	241.9	38.59
47	95.9.13	~ 9.17	珊珊(Shanshan)	244.2	242.3	244.7	101.56
48	96.8.16	~ 8.20	聖帕(Sepat)	242.8	242.2	241.8	137.89
49	96.9.17	~ 9.20	韋帕(Wipha)	242.8	242.8	243.4	152.29
50	96.10.5	~ 10.7	柯羅莎(Krosa)	243.7	243.3	243.6	206.3
51	97.7.26	~ 7.28	鳳凰(Fungwong)	242.2	240.2	243.3	133.40
52	97.9.11	~ 9.15	辛樂克(Sinlaku)	240.6	240.0	243.7	216.80
53	97.9.27	~ 10.1	薔蜜(Jangmi)	244.2	243.1	244.4	129.13
54	98.8.5	~ 8.10	莫拉克(Morakot)	222.9	243.5	244.1	107.70
55	99.9.17	~ 9.20	凡那比(Fanapi)	239.4	241.3	244.2	116.29
56	99.10.21	~ 10.23	梅姬(Megi)	243.4	242.99	244.1	174.67
57	100.6.23	~ 6.25	米雷(Meari)	232.4	239.9	243.2	124.5
58	101.7.30	~ 8.03	蘇拉(Saola)	240.9	242.4	243.5	158.7
59	102.7.11	~ 7.13	蘇力(Soulik)	239.4	242.8	240.5	133.3
60	102.08.20	~ 8.22	潭美(Trami)	242.1	242.4	243.2	149.8
61	102.8.27	~ 8.29	康芮(Kong-Rey)	242.2	242.6	243.2	93.7
62	102.9.19	~ 9.22	天兔(Usagi)	244.4	243.1	244.6	85.4
63	102.10.4	~ 10.7	菲特(Fitow)	244.8	242.9	244.4	109.3
64	103.7.21	~ 7.23	麥德姆(Matmo)	243.5	243.4	242.4	92.8
65	103.9.19	~ 9.22	鳳凰(Fung-Wong)	238.2	238.8	241.0	29.9
平均值				239.0	240.9	242.6	113.46

資料來源：中央氣象局，經濟部水利署北區水資源局。

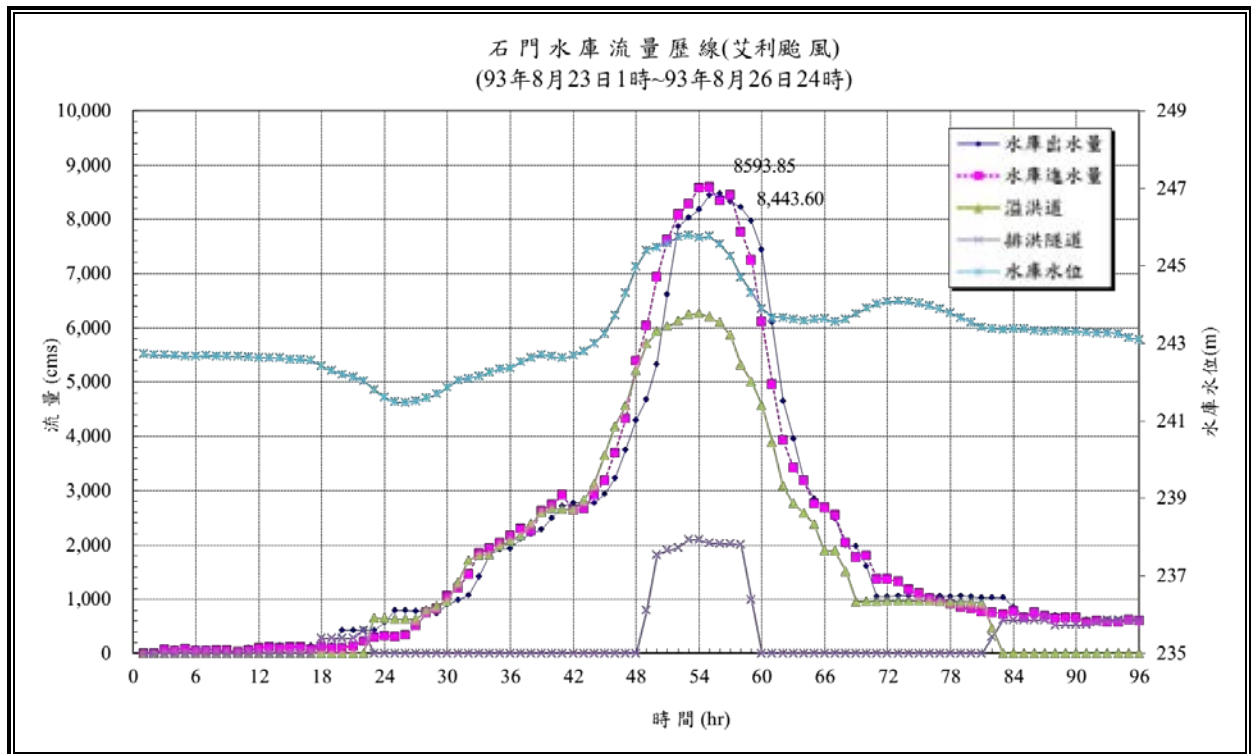


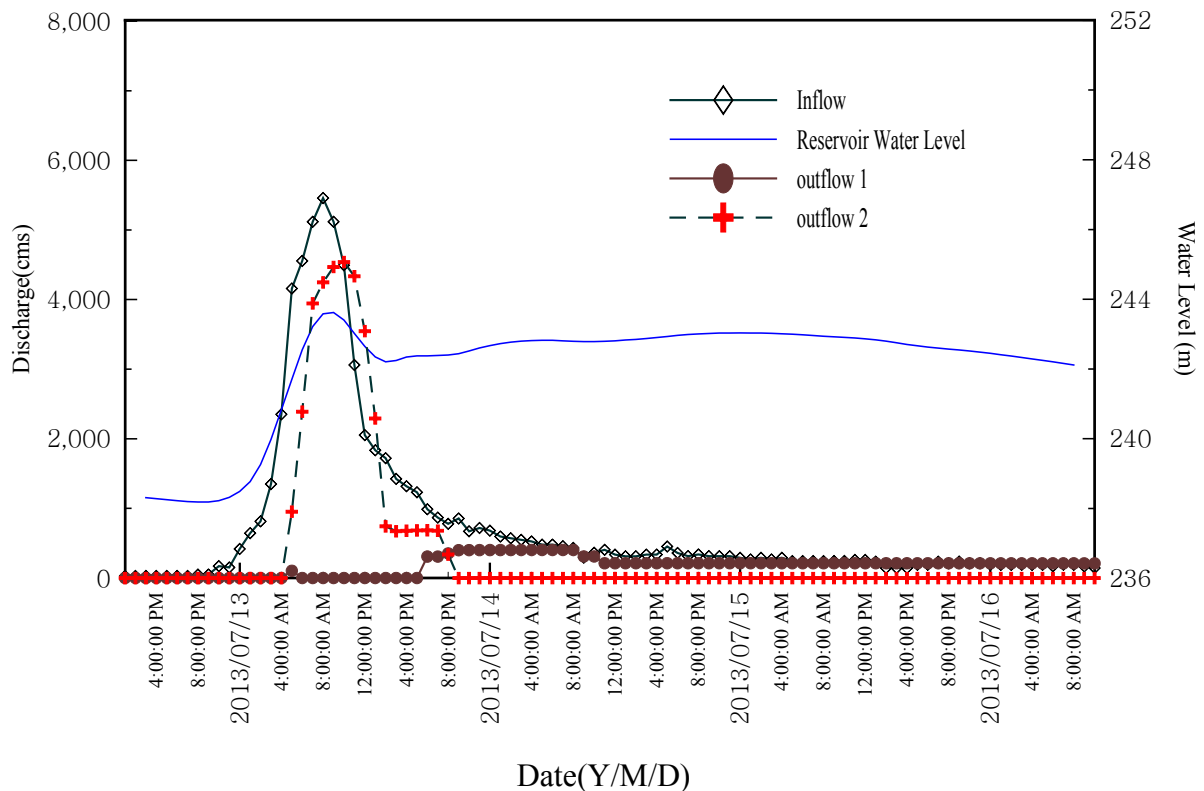
圖 2-17 艾利颱風操作歷程線

2.3.4 蘇力及潭美颱風期間水庫操作分析

1、蘇力颱風期間水庫排洪運轉資料：

蘇力颱風期間石門水庫操作歷程如圖 2-18，蘇力颱風約相當於 10 年重現期距洪水量，入庫尖峰流量 5,457 秒立方公尺，最高水位 高程 244.0m，出庫尖峰流量 4,949 秒立方公尺，洪峰消減量達 508 秒立方公尺，洪峰消減率 9.32%，顯示洪水期間水庫實際運轉之洪峰削減發揮一定成效，蘇力颱風前後水位及流量資料如下：

- (1) 颱風前水位：高程 239.0 公尺。
- (2) 颱風離台水位：高程 242.7 公尺。
- (3) 颱風後 60 小時水位：高程 242.0 公尺。
- (4) 颱風後 60 小時平均入流量：294.81 秒立方公尺。



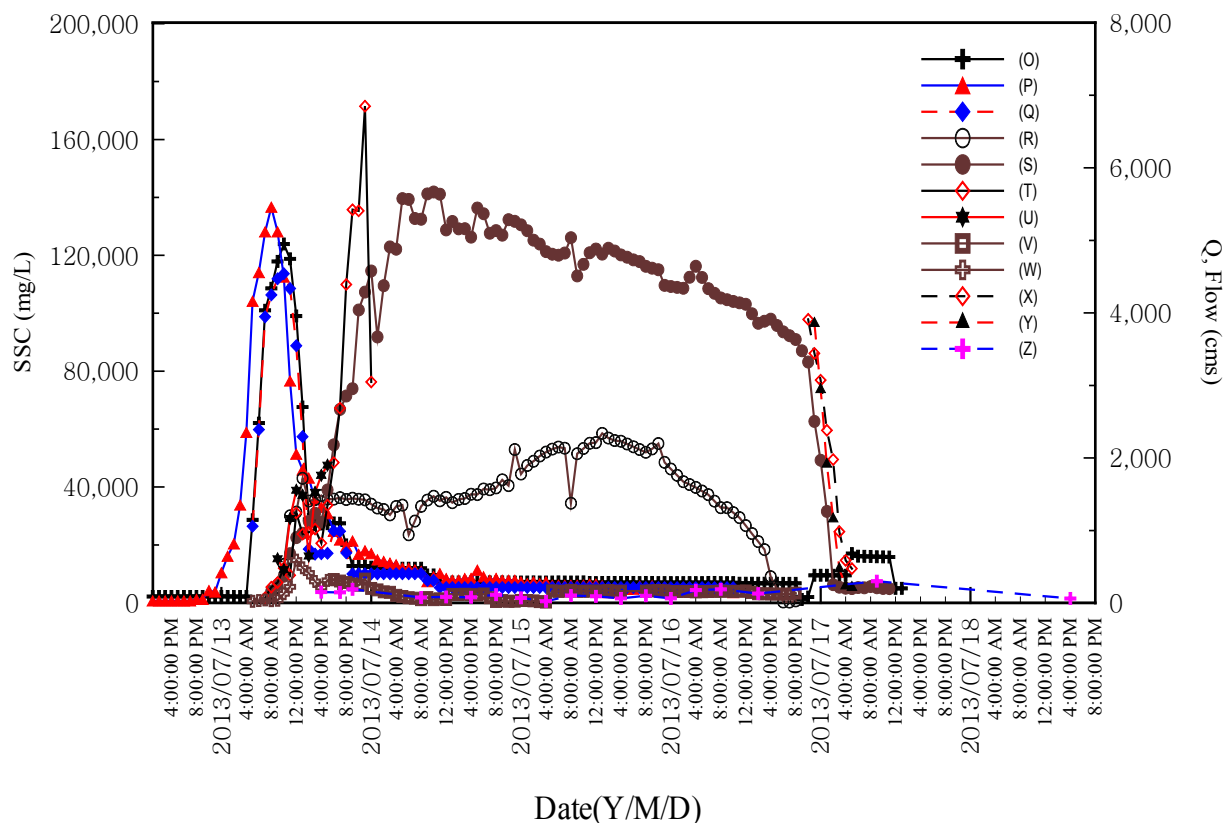
Inflow:水庫入流歷程線； Reservoir Water Level:水庫水位歷程線
 outflow1:水庫排洪隧道出流歷程線； outflow2:水庫溢洪道出流歷程線
 資料來源：「石門水庫放淤對下游河道生態影響」，經濟部水利署北區水資源局。

圖 2-18 蘇力颱風操作歷程線

2、蘇力颱風期間排淤資料：

蘇力颱風期間水庫入出流量及石門大圳退水路、電廠 1 號鋼管、PRO(永久河道放水口)、排砂隧道、排洪隧道、溢洪道及重陽橋等處之泥砂濃度觀測資料如圖 2-19，各排放口排砂量觀測結果表如表 2-8 所示，資料顯示最高含砂量為發生於 7 月 13 日 23 時 PRO 之 171,476ppm。

颱風期間排放總砂量為 316.54 萬噸，出庫水量為 23,476 萬立方公尺。比對入庫與出庫砂量，概估因庫總砂量為 605.34 萬噸，排砂比為 34%。



(O):水庫出水量; (P):水庫入水量; (Q):水庫洩洪量(不含放水);(R)石圳退水(SSC); (S):電廠1號鋼管(SSC); (T):第一次PRO(SSC);(U): 第一次排砂隧道(SSC); (V):排洪隧道(SSC); (W):溢洪道(SSC);(X):第二次PRO(SSC);(Y): 第二次排砂隧道(SSC); (Z):重陽橋(SSC)
資料來源：「石門水庫放淤對下游河道生態影響」，經濟部水利署北區水資源局。

圖 2-19 蘇力颱風期間石門庫區入出流量與含砂量綜整

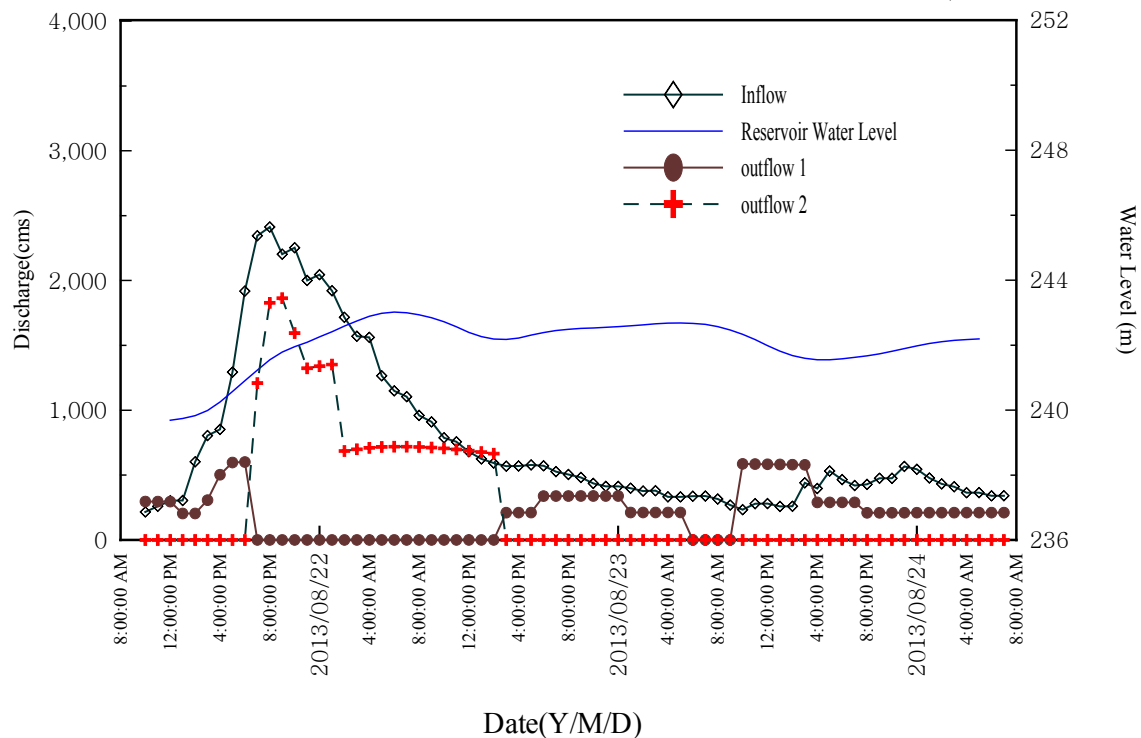
表 2-8 蘇力颱風石門水庫排砂量觀測結果表

位置 \ 項目	入庫水量 (萬 m ³)	平均濃度 (kg/m ³)	入流時間 (小時)	入庫砂量(萬噸)		起迄時間
羅浮觀測站(入流點)	26,410	34.91	113	921.88		7月12日20:00~ 7月17日13:00
水庫各排放口	排放量	平均濃度 (kg/m ³)	放流時間 (小時)	排砂量 (萬噸)	排砂比率 (%)	起迄時間
1.電廠1號壓力鋼管	1,764	91.88	99	162.25	17.6	08:00~11:00
2.永久河道(第一段)	214	52.15	17	11.15	1.21	07:00~00:00
永久河道(第二段)	95	52.63	7	5	0.54	22:00~05:00
3.排砂隧道(第一段)	918	31.31	8.5	28.74	3.12	08:30~17:00
排砂隧道(第二段)	756	38.51	7	29.11	3.16	22:00~05:00
4.石圳退水路	347	35.52	84	12.34	1.34	08:00~02:00
5.溢洪道	12,551	3.56	15	44.66	4.84	05:00~19:00
6.排洪隧道(第一段)	6,723	3.46	74	23.29	2.53	18:00~20:00
排洪隧道(第二段濃度低未測)	1,528	-	9	-	-	05:00~13:00
水庫各排放口累計 排洪及排砂量	24,896	12.71		316.54	34.34	統計至 13:00

資料來源：北水局提供。

3、潭美颱風期間水庫排洪運轉資料：

潭美颱風期間石門水庫操作歷程線如圖 2-20，潭美颱風相當於 2 年重現期距洪水量，入庫尖峰流量 2,412 秒立方公尺，最高水位 高程 243.05m，出庫尖峰流量 1,955 秒立方公尺，洪峰消減量達 457 秒立方公尺，洪峰消減率 18.9%。

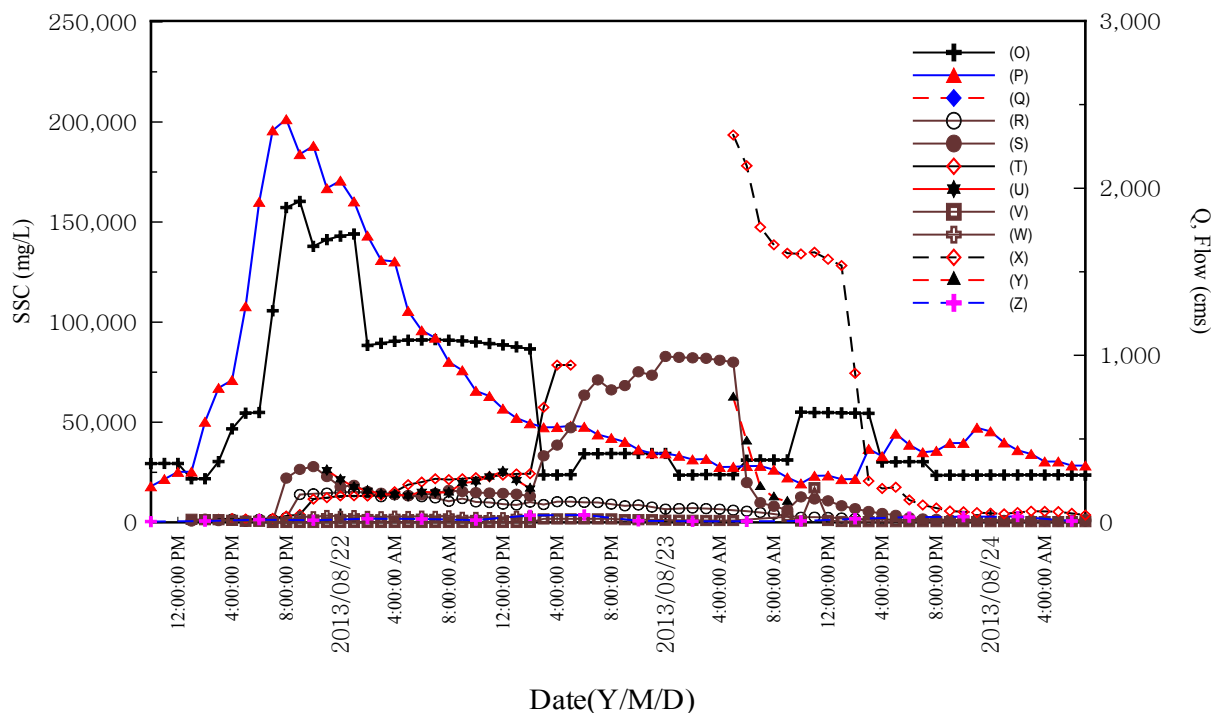


Inflow:水庫入流歷程線； Reservoir Water Level:水庫水位歷程線
outflow1:水庫排洪隧道出流歷程線； outflow2:水庫溢洪道出流歷程線
資料來源：「石門水庫放淤對下游河道生態影響」，經濟部水利署北區水資源局。

圖 2-20 潭美颱風操作歷程線

4、潭美颱風期間排淤資料：

本次潭美颱風期間水庫入出流量及石門大圳退水路、電廠 1 號鋼管、PRO(永久河道放水口)、排砂隧道、排洪隧道、溢洪道及重陽橋等處之泥砂濃度觀測資料如圖 2-21，各排放口排砂量觀測結果表如表 2-9 所示，其中由圖可知整體排洪排淤設施中，全程觀測資料中顯示最高含砂濃度最高為發生於 8 月 23 日 05 時 PRO 之 193,473ppm。



(O):水庫出水量; (P):水庫入水量; (Q):水庫洩洪量(不含放水);(R)石圳退水(SSC); (S):電廠 1 號鋼管(SSC); (T):第一次 PRO(SSC);(U): 第一次排砂隧道(SSC); (V):排洪隧道(SSC); (W):溢洪道(SSC);(X):第二次 PRO(SSC);(Y): 第二次排砂隧道(SSC); (Z):重陽橋(SSC)

資料來源：「石門水庫放淤對下游河道生態影響」，經濟部水利署北區水資源局。

圖 2-21 潭美颱風期間石門庫區入出流量與含砂量綜整

表 2-9 潭美颱風石門水庫排砂量觀測結果表

位置 \ 項目	入庫水量(萬 m ³)	入流時間(小時)	入庫砂量(萬噸)	
羅浮觀測站(入流點)	16,531	55	320.55	—
水庫各排放口	排放量	放流時間(小時)	排砂量(萬噸)	排砂比率(%)
1.電廠 1 號壓力鋼管	1,175	67	26	8.1
2.永久河道	655	54	23.2	7.2
3.排砂隧道	2,268	21	41.0	12.8
4.石圳退水路	234	68	1.4	0.4
5.溢洪道	7,065	20	18.7	5.8
6.排洪隧道	4,914	44	7.5	2.3
水庫各排放口累計排洪及排砂量	16,310	—	111.7	34.8

資料來源：經濟部水利署北區水資源局提供。

2.4 年平均入庫砂量估算

表 2-10 為石門水庫歷年淤積情況，由表中可看出自民國 52

年統計至民國 99 年底，石門水庫年平均淤積量為 201 萬 m^3 。

石門水庫集水區入庫砂量可由石門水庫上游霞雲水文站之懸浮載資料與庫區等實測資料來推估比較，各項推估說明如下。

1、水文資料推估：

石門水庫上游設有霞雲水文站，其集水面積約為 622.8 km^2 ，該站自民國 52 年起即開始觀測記錄流量與含砂量資料，「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究(1/2)」由民國 52 年 7 月至民國 94 年 10 月霞雲站流量與輸砂量資料進行迴歸分析，得輸砂率與流量率定曲線 $Q_s=0.005269*Q^{1.969}$ ， Q_s 為輸砂率(kg/s)， Q 為流量(cms)，相關值 $R^2=0.79$ 。

以民國 53 年至 99 年石門水庫運轉時流量記錄，再由霞雲水文站輸砂率與流量關係並假設懸浮質佔總入砂量之 85%，推估石門水庫年總入砂量約 400 萬 ton，如表 2-11。

2、實測資料推估：

石門水庫入砂量可由庫區之淤積量、排砂量及清淤量等估算，以下就目前所蒐集之資料予以分析。

A、水庫年淤積量：統計自建壩後至民國 99 年 12 月之水庫淤積測量，考慮淤積泥砂之比重視泥砂之種類及淤積年代而異，本計畫參考歷年來水庫底質粒徑分布曲線，以砂土 20%、粉土 55%及黏土 25%作為泥砂種類之估算，而泥砂比重則採用賴恩及克爾茲氏根據時間及淤泥成分，推估設計用之泥砂單位重量。

$$W=W_1+K \log t$$

上式， W 為經 t 年壓密後，泥砂之單位重。

W_1 為經 1 年後之起始泥砂單位重。

K 為壓密係數。

表 2-10 石門水庫年淤積測量成果

期別	起迄年月	間隔	呆容量 10^3 m^3		有效容量 10^3 m^3		合 計 10^3 m^3			年平均淤積 10^3 m^3	
			剩餘	淤積	剩餘	淤積	剩餘	淤積	累計淤積	每期淤積	累計年平均
1	52.05-53.03	0.8	43,390	13,850	246,260	5,620	289,650	19,470	19,470		
2	53.03-54.04	1.1	43,220	170	245,660	600	288,880	770	20,240	700	10,653
3	54.04-55.05	1.1	42,080	1,140	244,810	850	286,890	1,990	22,230	1,809	7,410
4	55.05-56.05	1.0	40,450	1,630	244,250	560	284,700	2,190	24,420	2,190	6,105
5	56.05-57.06	1.1	38,630	1,820	244,890	-640	283,520	1,180	25,600	1,073	5,020
6	57.06-58.05	0.9	37,840	790	244,350	540	282,190	1,330	26,930	1,478	4,488
7	58.05-59.06	1.1	34,680	3,160	242,480	1,870	277,160	5,030	31,960	4,573	4,501
8	59.06-60.06	1.0	34,610	70	241,140	1,340	275,750	1,410	33,370	1,410	4,120
9	60.06-61.12	1.5	30,000	4,610	240,520	620	270,520	5,230	38,600	3,487	4,021
10	61.12-63.08	1.7	29,767	233	240,518	2	270,285	235	38,835	138	3,437
11	63.08-64.11	1.2	28,877	890	241,108	-590	269,985	300	39,135	250	3,131
12	64.11-65.11	1.0	29,480	-603	238,477	2,631	267,957	2,028	41,163	2,028	3,049
13	65.11-66.11	1.0	28,440	1,040	238,730	-253	267,170	787	41,950	787	2,893
14	66.11-67.11	1.0	28,534	-94	238,130	600	266,664	506	42,456	506	2,739
15	67.11-68.11	1.0	28,446	88	238,034	96	266,480	184	42,640	184	2,584
16	68.11-69.11	1.0	27,296	1,150	238,357	-323	265,653	827	43,467	827	2,484
17	69.11-70.11	1.0	27,155	141	238,375	-18	265,530	123	43,590	123	2,356
18	70.11-71.11	1.0	26,199	956	238,439	-64	264,638	892	44,482	892	2,281
19	71.11-72.11	1.0	25,554	645	238,986	-547	264,540	98	44,580	98	2,175
20	72.11-73.11	1.0	25,515	39	238,956	30	264,471	69	44,649	69	2,077
21	73.11-74.11	1.0	24,320	1,195	236,456	2,500	260,776	3,695	48,344	3,695	2,149
22	74.11-75.11	1.0	24,615	-295	236,036	420	260,651	125	48,469	125	2,063
23	75.11-76.11	1.0	24,868	-253	235,560	476	260,428	223	48,692	223	1,987
24	76.11-77.11	1.0	25,171	-303	235,669	-109	260,840	-412	48,280	-412	1,893
25	77.11-78.11	1.0	25,330	-159	235,337	332	260,667	173	48,453	173	1,828
26	78.11-79.11	1.0	24,367	963	235,607	-270	259,974	693	49,146	693	1,787
27	79.11-80.11	1.0	24,786	-419	236,590	-983	261,376	-1,402	47,744	-1,402	1,675
28	80.11-81.11	1.0	24,708	78	236,670	-80	261,378	-2	47,742	-2	1,618
29	81.11-82.11	1.0	24,972	-264	237,387	-717	262,359	-981	46,761	-981	1,533
30	82.11-83.11	1.0	22,751	2,221	239,075	-1,688	261,826	533	47,294	533	1,501
31	83.11-84.11	1.0	22,328	423	239,599	-524	261,927	-101	47,193	-101	1,452
32	84.11-85.11	1.0	18,762	3,566	234,495	5,104	253,257	8,670	55,863	8,670	1,668
33	85.11-86.11	1.0	17,954	808	233,826	669	251,780	1,477	57,340	1,477	1,662
34	86.11-87.11	1.0	17,682	272	233,086	740	250,768	1,012	58,352	1,012	1,644
35	87.11-88.11	1.0	17,544	138	232,766	320	250,310	458	58,810	458	1,611
36	88.11-89.11	1.0	17,476	68	232,560	206	250,036	274	59,084	274	1,576
37	89.11-90.11	1.0	15,407	2,069	238,251	-5,691	253,658	-3,622	55,462	-3,622	1,441
38	90.11-92.04	1.5	15,651	-244	237,601	650	253,252	406	55,868	271	1,397
39	92.04-93.03	1.0	15,216	435	237,760	-159	252,976	276	56,144	276	1,369
40	93.03-93.12	0.8	6,216	9,000	218,876	18,884	225,092	27,884	84,028	34,855	2,010
41	93.12-94.12	1.0	4,925	1,291	217,835	1,041	222,760	2,332	86,360	2,332	2,018
42	94.12-95.12	1.0	5,943	-1,017	217,825	9	223,768	-1,008	85,352	-1,008	1,949
43	95.12-96.12	1.0	5,066	877	209,078	8,747	214,144	9,624	94,976	9,624	2,120
44	96.12-97.12	1.0	5,150	-84	209,692	-614	214,842	-698	94,278	-698	2,058
45	97.12-98.12	1.0	5,370	-220	206,009	3,683	211,379	3,463	97,741	3,463	2,088
46	98.12-99.12	1.0	5,832	-462	207,308	-1,299	213,140	-1,761	95,980	-1,761	2,008
47	99.12-100.12	1.0	6,492	-660	208,764	-1,455	215,256	-2,115	93,864	-2,115	1,923
48	100.12-102.02	1.2	7,275	-783	209,865	-1,101	217,140	-1,884	91,980	-1,570	1,840
49	102.02-103.02	1.0	4,917	2,358	202,278	7,587	207,195	9,945	101,925	9,945	1,999
合 計		51.0		52,323		49,602		101,925			
容量損失			91.41%		19.69%		32.97%				

附註：1.水庫設計總容量 $309,120 \times 10^3 \text{ m}^3$,有效設計容量 $251,880 \times 10^3 \text{ m}^3$,呆容量 $57,240 \times 10^3 \text{ m}^3$ 。
 2.1~36 期僅測量 34 條主斷面,修正 1/10,000 舊地形等高線,以求積儀測面積及計算容積。
 3.第 37 期起,全面均勻測量水深,新測 1/1,000 地形圖,電腦檔案計算面積及容積。

表 2-11 石門水庫年入庫泥砂量估算表

單位:萬 ton

年度	時流量推估		石門水庫淤積測量推估					水庫上游攔砂壩淤積量
	懸浮質 W	年總入砂量 W/0.85	水庫年淤積量	底層設施出砂量	水庫年清淤量	上層設施出砂量	小計	
53	3,362.28	3,955.62	2,312.77	168.11	-	284.28	2,765.17	淤積量×乾容重 =31.97×10 ⁶ (m ³) ×1.47(ton/ m ³) (民國 52 年~96 年)
54	54.30	63.88	91.38	2.71	-	2.48	96.57	
55	128.17	150.78	235.95	6.41	-	8.40	250.76	
56	69.29	81.51	259.42	3.46	-	3.75	266.64	
57	145.90	171.65	139.64	7.30	-	13.03	159.97	
58	529.02	622.38	157.24	26.45	-	52.77	236.46	
59	199.49	234.69	594.07	9.97	-	14.02	618.07	
60	501.71	590.25	166.35	25.09	-	41.47	232.91	
61	546.97	643.50	616.38	27.35	-	49.88	693.62	
62	30.13	35.44	0.00	1.51	-	1.37	2.88	
63	118.97	139.97	27.63	5.95	-	10.51	44.09	
64	142.88	168.09	35.24	7.14	-	13.71	56.09	
65	249.33	293.33	237.92	12.47	-	13.50	263.88	
66	150.52	177.08	92.21	7.53	-	10.01	109.75	
67	56.65	66.65	59.21	2.83	16.39	3.71	82.15	
68	154.34	181.58	21.50	7.72	25.93	12.61	67.76	
69	57.86	68.07	96.52	2.89	21.95	2.91	124.28	
70	192.25	226.18	14.34	9.61	29.84	15.16	68.95	
71	96.68	113.74	103.81	4.83	26.30	6.25	141.19	
72	83.28	97.97	11.39	4.16	9.40	6.57	31.51	
73	256.38	301.62	8.01	12.82	29.25	23.63	73.70	
74	421.73	496.15	428.00	21.09	104.64	43.27	596.99	
75	229.13	269.57	14.45	11.46	107.50	23.94	157.36	
76	156.53	184.15	25.74	7.83	78.97	13.23	125.78	
77	36.83	43.33	-47.47	1.84	81.98	2.20	38.55	
78	263.26	309.72	19.89	13.16	65.17	22.51	120.74	
79	621.60	731.30	79.53	31.08	66.16	76.77	253.54	
80	54.01	63.54	-95.51	2.70	139.59	3.59	50.37	
81	231.71	272.60	-0.23	11.59	79.72	24.87	115.95	
82	18.01	21.19	-111.83	0.90	153.02	0.77	42.86	
83	501.73	590.27	60.61	25.09	74.44	53.38	213.52	
84	24.68	29.04	-11.45	1.23	22.15	1.31	13.24	
85	600.57	706.55	980.48	30.03	-	52.49	1,063.00	
86	329.91	388.13	166.52	16.50	5.85	33.22	222.09	
87	363.84	428.05	113.72	18.19	6.99	41.48	180.38	
88	34.15	40.17	51.28	1.71	27.93	2.17	83.10	
89	202.73	238.50	30.56	10.14	11.04	21.76	73.51	
90	594.19	699.04	-	29.71	24.46	70.56	124.73	
91	125.06	147.13	44.88	6.25	28.12	6.42	85.66	
92	14.59	17.17	30.35	0.73	31.51	0.50	63.08	
93	1,463.85	1,722.17	3,047.34	73.19	57.39	201.65	3,379.57	
94	1,032.95	1,215.24	253.06	51.65	32.11	166.82	503.64	
95	114.03	134.15	-	5.70	52.78	11.48	69.97	
96	676.91	796.36	1,024.90	33.85	39.03	95.17	1,192.95	
97	785.36	923.96	-73.33	39.27	80.28	102.22	148.43	-
98	181.94	214.04	356.82	9.10	71.81	13.48	451.20	-
99	76.06	89.49	-175.36	3.80	92.70	5.42	-73.44	-
合計	16,281.75	19,155.00	11,493.97	814.09	1,694.38	1,680.72	15,683.16	4,699.59
年平均	339.20	399.06	244.55	17.32	36.05	35.76	333.68	104.44

註:1.民國 53 年懸浮質含民國 52 年葛樂禮颱風懸浮質，故年平均皆採 48 年平均。

2.底層設施出砂量採懸浮質 5%計算。

3.上層設施出砂量採庫倫曲線以因砂率計算。

4.水庫上游攔砂壩淤積量採民國 52 年~96 年，故年平均皆採 45 年平均。

表 2-12 為應用上式，不同泥砂種類水庫條件之 W_1 及 k 值。以水庫泥砂時被浸淹之水庫情況，依不同年份求得泥砂單位重以估算水庫淤積量，由表 2-11 所示，水庫之淤積量統計至民國 99 年 12 月已達約 11,493.97 萬公噸。

表 2-12 水庫設計估算之 W_1 及 K 值

單位：kg/m³

水庫情況	砂土		粉土		黏土	
	W_1	k	W_1	k	W_1	k
水庫泥砂時被浸淹	1,497.3	0.00	1,046.5	91.77	483.0	257.60
中度水庫洩降	1,497.3	0.00	1,191.4	43.47	740.6	172.27
較顯著水庫洩降	1,497.3	0.00	1,271.9	1.61	966.0	96.60
水庫經常中空	1,497.3	0.00	1,320.2	0.00	1,255.8	0.00

B、底層設施出砂量：底層設施出砂量為考慮石門水庫發電進水路、永久河道放水口及石門大圳進水口 3 個設施之出砂量估算，惟因缺乏長期統計資料而難以精細的估算，本計畫採用石門水庫運轉紀錄之時流量資料所推估之懸浮質 5% 進行估算。

C、水庫年清淤量：石門水庫之歷年清淤統計分為下游段及中上游段如表 2-13 所示，清淤方式為水庫下游段採抽泥船作業方式清淤，而水庫中上游段則以挖泥船方式清淤，因所採取作業方式不同，故本計畫於估算水庫年清淤量時參考「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-初步規劃」報告中水力挖泥船之乾容重 1.33 (公噸/立方公尺) 及水力抽泥船乾容重 0.95 (公噸/立方公尺) 進行估算，總清淤量為 1,694.38 萬公噸，如前表 2-11 所示。

表 2-13 石門水庫淤積物清除數量統計表

單位：m³

時間 (年)	水庫下游段抽泥及沉澱池 土方清運作業	水庫中、上游段 浚漂作業	年疏浚量
66		151,795	151,795
67		123,203	123,203
68		194,929	194,929
69		165,063	165,063
70		224,376	224,376
71		197,732	197,732
72		70,649	70,649
73		219,901	219,901
74	321,863	556,844	878,707
75	534,530	426,475	961,005
76	410,860	300,315	711,175
77	323,301	385,452	708,753
78	315,420	264,730	580,150
79	302,000	281,700	583,700
80	300,322	835,000	1,135,322
81	300,144	385,000	685,144
82	328,531	915,845	1,244,376
83	351,845	308,404	660,249
84	233,128		233,128
86		43,970	43,970
87		52,550	52,550
88		210,000	210,000
89	42,759	52,500	95,259
90	257,434		257,434
91	176,853	85,080	261,933
92	28,736	216,387	245,123
93	296,146	220,000	516,146
94	254,015	60,000	314,015
95	213,372	244,465	457,837
96	151,358	185,336	336,694
97	242,572	430,360	672,932
98	135,000	443,500	578,500
99	480,000	354,100	834,100
100	415,000	445,800	860,800
101	251,200	161,200	412,400
102	303,900	297,700	601,600
103	392,100	508,400	900,500
小計	7,362,389	10,018,761	---
總計	17,381,150		

資料來源：經濟部水利署北區水資源局。

D、上層設施出砂量：上層設施出砂量：上層設施出砂量
為估算溢洪道及排洪隧道之出砂量計算，利用石門水
庫運轉紀錄統計之年逕流量，藉由布倫曲線以因砂率
計算上層設施出砂量，估算平均年出砂量為 36.05 萬

公噸，如表 2-11 所示。

3、水庫上游攔砂壩淤積量：

統計民國 52 年至 96 年石門水庫上游攔砂壩淤積量計 3,197 萬立方公尺，乾容重依據水規所民國 94 年「石門水庫異重流排砂研究」所提出之 1.47(公噸/立方公尺)計，總清淤量為 4,699.59 萬公噸，如表 2-11 所示。

4、綜合評估：

綜合以上各節，推估年平均入庫砂量整理如表 2-14 所示，各方法推估值評估說明如下：

- (1)「石門水庫既有設施防淤功能改善工程計畫」、「高台水庫可行性規劃第一階段總報告」與「石門水庫上游攔砂壩清淤方式可行性規劃」乃根據北水局實測資料推估入砂量，所以彼此間差異不大。
- (2)歷年水庫實測資料推估年來砂量約 330 萬公噸，乾容重依據北水局民國 98 年「石門水庫上游攔砂壩清淤方式可行性規劃」所提出之平均乾容重 1.13(公噸/立方公尺)，則石門水庫庫區疏濬量 31.9 萬立方公尺/年，庫區淤積量 216.4 萬立方公尺/年，取水設施排放量 47.0 萬立方公尺/年，合計年來砂量約為 295.3 萬立方公尺。又石門水庫上游攔砂壩大多淤滿，未來若集水區無新增攔砂設施，則石門水庫來砂量將增加，以歷年石門水庫上游攔砂壩淤積量 71 萬立方公尺/年，則初估最大平均年來砂量約為 366.3 萬立方公尺；若再考量泥砂遞移率，依據水利署民國 97 年「石門水庫集水區崩塌與庫區淤積風險評估研究(3/3)」所提出石門水庫集水區平均泥砂遞移率 29%估算，上游攔砂壩淤積遞移量約 20.6 萬立方公尺/年，初估年來砂量約為 315.9 萬立

方公尺。

(3)由石門水庫時流量推估年泥砂量約 400 萬公噸，高於歷年水庫實測資料，乾容重為 1.13(公噸/立方公尺)，則石門水庫年來砂量約為 353.2 萬立方公尺。

(4)由本計畫時流量推估石門水庫年來砂量約為 353.2 萬立方公尺，而以水庫實測資料推估未來年來砂量約為 315.9~366.3 萬立方公尺，亦與北水局民國 98 年「石門水庫上游攔砂壩清淤方式可行性規劃」所提出的 353 萬立方公尺相近。故本計畫建議以 353 萬立方公尺作為後續水庫防淤設施排砂效率計算之依據。

表 2-14 石門水庫入庫砂量綜合表

單位：萬 m³/年

入庫砂量	石門水庫工程定案計畫報告(民國 44 年)	石門水庫淤砂之研究(民國 63 年)	石門水庫第二次整體安全檢查與評估(民國 87 年)	石門水庫既有設施防淤功能改善工程計畫(民國 95 年)	高台水庫可行性規劃第一階段總報告(民國 97 年)	石門水庫上游攔砂壩清淤方式可行性規劃(民國 98 年)	本計畫推估			建議
							時流量推估	石門水庫淤積測量推估(註 1)	石門水庫淤積測量推估(註 2)	
懸浮質	70.6	231.3	-	-	-	-	300.2	-	-	
推移質	9.2	53.4	-	-	-	-	53.0	-	-	
攔砂壩淤積量	-	-	-	67	85	71	-	71	-	
遞移量	-	-	-	-	-	-	-	-	20.6	
庫區疏濬量	-	-	10.8	25	26	23	-	31.9	31.9	
庫區淤積量	-	-	166.2	205	205	186	-	216.4	216.4	
設施排放量	-	-	-	35	106	73	-	47.0	47.0	
合計	79.8	284.7	177.0	332	422	353	353.2	366.3	315.9	353

註 1：不考慮遞移量使用攔砂壩淤積量

註 2：考慮遞移量以遞移率 29%估算遞移量為 20.6 萬立方公尺

2.5 水庫相關排砂計畫

2.5.1 石門水庫防淤整體綱要計畫

水規所於民國 99 年 11 月研擬為確保石門水庫防洪安全及石門水庫維持庫容的整體綱要計畫，該計畫認為由於桃園地區需水量增加及氣候異常而導致極端水文事件增加等外在因素，將使石門水庫庫容銳減及防洪風險提高。為解決上述問題，建議採用下列目標：

(1)維持民國 98 年石門水庫之庫容，即有效庫容 2.06 億立方公尺。

(2)安全排放可能最大洪水，即 14,500 秒立方公尺。

為達上述目標，該計畫建議執行策略詳如表 2-15 所列。該計畫採防淤量及水庫排洪增加量為預期績效指標，石門水庫現況年淤積量約為 240 萬立方公尺，民國 102 年經實施近程相關計畫後，年淤積量減為 110 萬立方公尺，擴充排洪量 300 秒立方公尺，民國 110 年經實施中程相關計畫後，年淤積量減為 60 萬立方公尺，擴充排洪量 1,600 秒立方公尺，民國 120 年經實施遠程相關計畫後，水庫泥砂進出平衡，擴充排洪量 1,600 秒立方公尺，石門水庫淤砂平衡分析如圖 2-22 所示。

2.5.2 石門水庫相關設施水工模型試驗

石門水庫防淤計畫中一項不可或缺的工作是水工模型試驗，以確認工程佈置及評估方案的可行性或提供水工結構水理的定量數據。自民國 94 年至 99 年水規所共執行下列 5 類別的水工模型試驗：

- (1)電廠防淤工程。
- (2)增設取水工工程。
- (3)羅浮增設防淤設施。
- (4)局部庫區泥砂運移(斷面 13 至大壩)。
- (5)全庫區泥砂運移(斷面 31 至大壩)。

表 2-15 石門水庫防淤策略與措施一覽表(1/2)

策略	措施	計畫方案			計畫功能
上游 減淤 蓄洪	*集水區保育治理	近程	土地 使用管 理	土地使用計畫通盤檢討	管制集水區土地利用，完成土地使用計畫後納入北部區域計畫
				原住民保留地保育治理	超限利用地土地改正，並實施造林工作及成立復育團
				水庫蓄水範圍保護帶規劃及水質巡查	加強水庫蓄水範圍及保護帶巡查，主流防砂壩淤積區及影響範圍私有地徵收補償，蓄水範圍用取得，擬定合理保護帶
				山坡地管理	山坡地土地可利用限度調查，違規案件取締，法規宣導及道路訪查
				國有林合法出租造林地補償收回	收回國有林租地，完成造林，以恢復森林生態穩定地質
		近程	土地使用與環境生態、防災監測計畫	建置山坡地之多元尺度遙測影像資訊、建置集水區地理資訊查詢系統、建置災害應變通報系統、調查環境生態及建置原水濁度自動測系統	
		近程	水庫集 水區保 育	道路水土保持規劃分級保育與維護	邊坡、排水、路面改善，增設擋土牆及護欄
				蓄水範圍(含保護帶)及主流河道治理	蓄水範圍(含保護帶)(約 13 公里)及主流河道(20 公里)治理，減少土砂產生
				山坡地治理及棲地生態保育施評估	山坡地災害法及生態保育，完成崩塌地處理 150 公頃、野溪處理 345 處
				國有林班地治理	國有林班地保育 54,650 公頃、野溪及崩塌地整治 23 處
		近程	保育防災宣導	土地利用、保育、防災教育宣導，增進民眾參與瞭解	
	調水調砂水庫	遠程	高台水庫	配合農業用水減供，石門水庫可進行空庫排砂、清淤及設施改善，與石門水庫聯合防淤，維持大漢溪水庫系統長期有效庫容	
中游 導淤 分洪	*河道及攔砂設施疏濬	中程	上游攔砂壩清淤計畫	維持上游設施攔砂能力	
		近程	義興、羅浮清淤及榮華壩防淤改善	維持上游設施攔砂能力	
	繞庫分洪排砂隧道	遠程	石門水庫溪口防淤隧道	初步規劃採入口位於溪口之方案，導引洪水期間高濃度含砂水流，具分洪分淤功能，非汛期時可當上游清淤土石運輸通道	

註：1.加註*號者，為應持續辦理之措施，其經費除已納入石門整治計畫外，由各權責機關相關預算支應。

2.資料來源：「石門水庫防洪防淤整體綱要計畫」，民國 99 年 11 月，經濟部水利署水利規劃試驗所。

表 2-15 石門水庫防淤策略與措施一覽表(2/2)

策略	措施	計畫方案		計畫功能
庫區 排淤 防洪	現有設施更新改善	近程	永久河道放水口改善	放水口更換為全斷面閘門，降低流木堵塞風險
		近程	電廠防淤設施改善	2 號壓力鋼管改建為水力排砂專用通道，1 號壓力鋼管發電
		中程	排洪隧道防淤功能改善	入口高程降低，可引排放底層高濃度渾水-
	增建排洪排淤設施	中程	庫區防淤隧道	初步規劃入口分別位於大灣坪、阿姆坪兩案，排放庫區渾水，具防淤功能，非汛期時阿姆坪方案可當庫區清淤土石運輸通道
	*機械清淤	近程	水庫泥砂浚渫	機械清淤，維持水庫庫容
下游 放淤 防洪	*河道及海岸放淤	近程	河道及海岸放淤	泥砂回歸河道，維持水庫上下游河川輸砂功能
	*淤泥多元化處理及利用	近程	淤泥多元化處理及利用	有效利用淤泥，增加清淤量
	*配合水庫排洪下游防洪措施	近程	淡水河流域整體治理規劃	以流域整體治理角度研擬淡水河流域整體治理綱要計畫
		中程	淡水河綜合治水規劃	水庫排洪操作，下游之防洪配套措施，避免洪災轉移
相關 計畫	*水砂資料監測	近程	水文及水質試驗監控中心建置工程	即時掌握石門水庫及上游水文及水質變化
		近程	石門水庫泥砂運移長期監測計畫	掌握石門水庫泥砂運移行為
	*水砂預報模擬系統	中程	洪水及泥砂預報與水庫操作模擬系統建置	模擬水庫操作情境與上下游之水砂關係，提供水庫排洪排砂即時操作之參考
	*規線及操作規則檢討	近程	防淤規線及操作規則研擬	制訂兼具防淤及水資源利用三面向之規線及操作規則

註：1.加註*號者，為應持續辦理之措施，其經費除已納入石門整治計畫外，由各權責機關相關預算支應。

2.資料來源：「石門水庫防洪淤整體綱要計畫」，民國 99 年 11 月，經濟部水利署水利規劃試驗所。

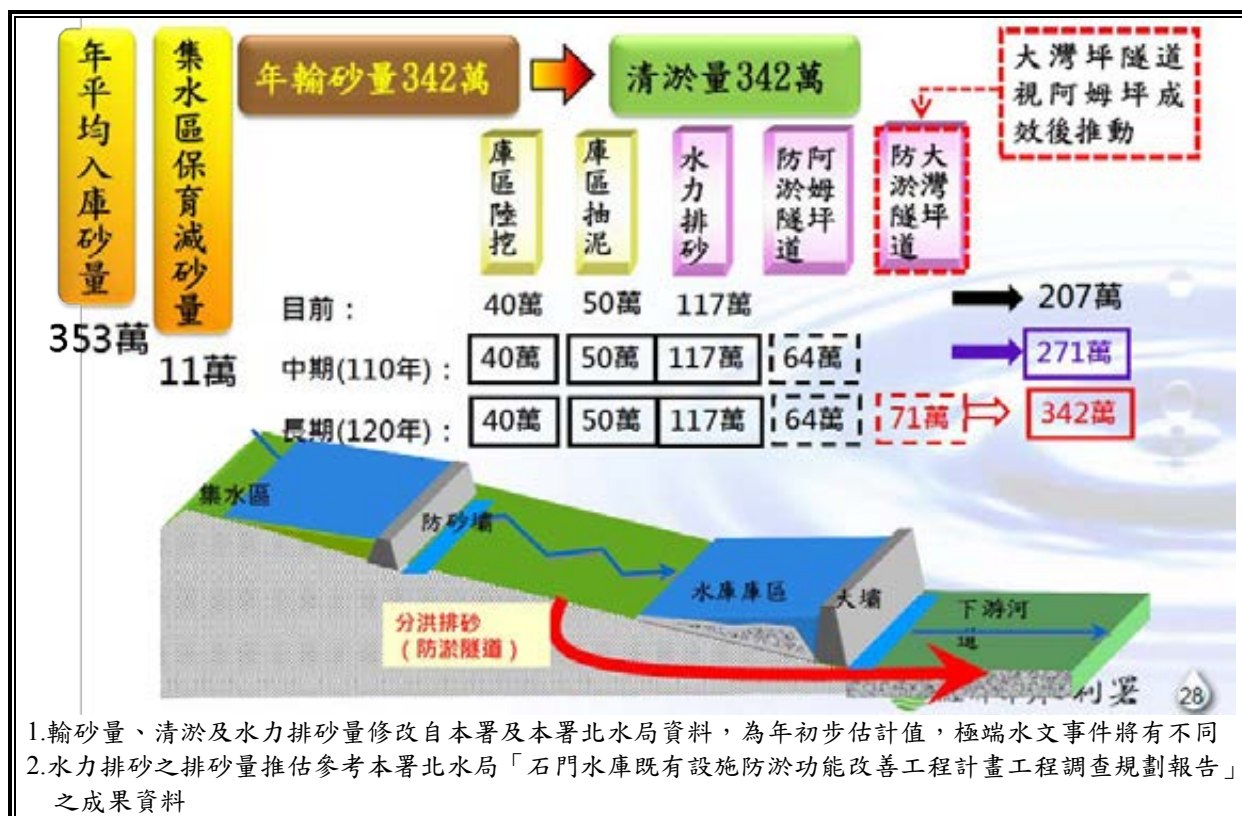


圖 2-22 石門水庫淤砂平衡分析圖

表 2-16 綜合共 6 個水工模型的模型範圍，模型比尺，試驗目的及主要成果。

表 2-16 已執行與石門水庫防淤改善相關水工模型試驗綜合表

試驗類別	模型範圍	比尺	目 的	主要成果
一、電廠防淤工程	水庫至後池	1/40	評估初步規劃方案及建議方案之水理	初步規劃方案出口後池潛沒水深不足消能不佳
		1/25	評估基本設計方案水理	水位高程 245.0m 時專用排砂道流量 274cms 淤積高程對出流量及壓力分佈的影響
二、增設取水工程	水庫至輸水隧道	1/21	水位流量率定 水理流況觀測分析	增設上層鋼管 90°彎管改善落水鋼管漩渦捲氣問題 增設輸水鋼管排氣閥改善充水過程排氣問題
三、羅浮增設防淤設施	局部水庫地形及防砂設施上游 450m，下游 550m	1/100	不同流量清水沖刷試驗 不同水庫水位之清水沖刷試驗	淤砂設施沖刷劇烈，效果不佳
四、局部庫區泥砂運移	斷面 13 至大壩	1/100	了解水庫泥砂運移現象 協助水庫現場觀測	觀測艾利、海棠、馬莎及泰利颱風水庫垂直濃度 模擬艾利颱風期間異重流運移特性及排砂比
			評估電廠改建前後之防淤功能	模擬艾利颱風電廠改建前排砂比 14.63% 模擬艾利颱風排洪隧道改建#1 隧道排砂比 26.10%
			評估排洪隧道進水口向下延伸之防淤功能	排洪隧道改建前兩座隧道在艾利颱風情況下之排砂功能 7.97% 改建一個隧道合計排砂比 20.80% 改建二座隧道合計排砂比 32.70%
五、全庫區泥砂運移	斷面 31 至大壩	1/100	現況防淤功能檢定驗證 方案 A、C 與 D 之防淤功能	模擬鳳凰、辛樂克及艾利颱風加砂試驗，若濃度小於 30,000ppm 模型採用原型砂有水深效應，但若大於 40,000 ppm 此效應較不明顯，各項試驗仍進行中

2.5.3 石門水庫大灣坪防淤工程可行性規劃

民國 99 年水利署為延續石門水庫庫區排淤排洪策略，由水規所辦理大灣坪隧道(C 案)之可行性規劃工作，大灣坪隧道平面配置如圖 2-23 所示，其進水口位於水庫斷面 12 下游約 240 公尺，出水口位置則位於後池，將防淤操作之渾水利用戽斗挑流工，挑流至後池進行消能；進水口工法考量減少坡面之開挖深度及減少開挖量體，採用象鼻引水鋼管方式設計，同時於環湖路旁設計擋水豎井以安裝水工閘門進行擋水及操作之用。

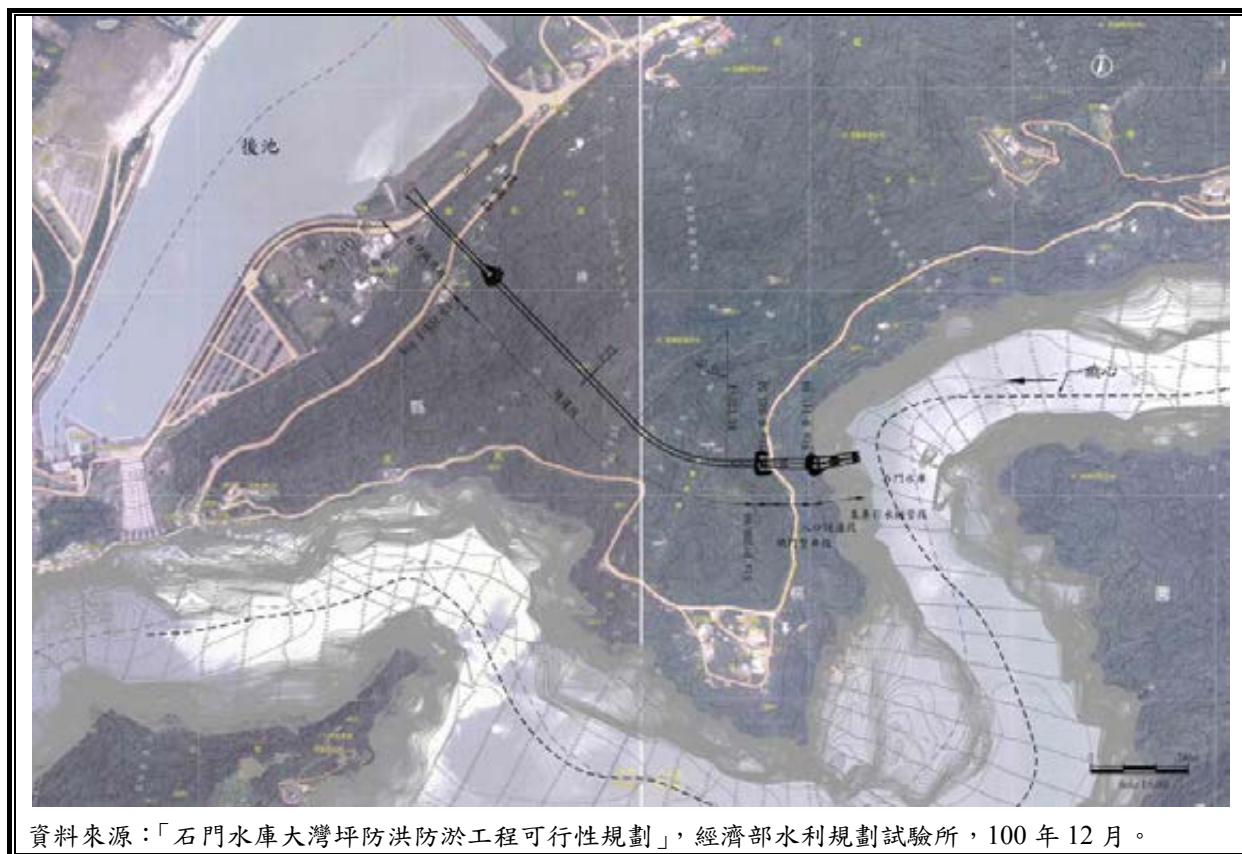


圖 2-23 大灣坪隧道平面配置圖

2.6 石門水庫泥砂運移及淤積特性

2.6.1 泥砂運移監測資料

1、石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究(民國 96 年至民國 99 年)：

自民國 96 年起至 99 年水規所委託國立交通大學辦理石門水庫颱風期間之泥砂監測，此項工作之目的在於瞭解石門水庫洪水期間泥砂在水庫內之運移、捲增及淤積特性，以下摘錄「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究—總報告書」之相關內容及本計畫的瞭解。

(1)觀測地點及颱風事件：

觀測地點如圖 2-24，其中第一期(民國 96 年 11 月至 97 年 12 月)觀測下列斷面：

- A、斷面 32，羅浮站(復興橋下游)。
- B、斷面 24，攔污索自動化垂直 8 層監測站。
- C、電廠進水口自動化垂直 8 層監測站。
- D、水庫 5 個排放口(溢洪道、排洪隧道、電廠、永久河道放水口、石門大圳)。
- E、後池堰。

第二期(民國 98 年 8 月至 99 年 8 月)增加下列 3 個觀測站：

- A、斷面 16，龍珠灣站，自動化垂直 5 層監測站。
- B、斷面 8，排洪隧道前站，自動化垂直 5 層監測站。
- C、斷面 4，溢洪道前站，自動化垂直 5 層監測站。

依其設置方式測站可分為：

- A、自動化測站：入庫之斷面 32-羅浮站、庫區各測站(斷面 24-攔污索、斷面 16-龍珠灣、斷面 8-排洪隧道前、斷面 4-壩前)及出庫之石門大圳渠道。
- B、人工觀測：以取樣方式進行觀測，地點包括入庫之斷面 32-羅浮站、水庫各排放口(溢洪道、排洪隧道、電廠壓力鋼管、永久河道放水口、石門大圳渠道)與後池堰。

該計畫在上述工作期間台灣地區共歷經 5 場颱風，包括民國 97 年卡玫基、鳳凰、辛樂克、薔蜜與 98 年莫拉克，其中卡玫基颱風在石門水庫降雨量有限，並未造成高濁度原水，另外 4 場颱風的基本資料如表 2-17。



圖 2-24 石門水庫泥砂觀測作業測站

表 2-17 民國 97 年及 98 年颱風基本資料

年度	颱風名稱	觀測期間	降雨量 (毫米)	尖峰流量 (cms)	尖峰流量 發生時間(hr)
97	鳳凰	7/27/18:00~7/31/00:00 (羅浮站至 8/5/18:00)	273.9	2,040	7/28/09:00
97	辛樂克	9/12/18:00~9/17/21:00 (羅浮站至 9/21/18:00)	965.2	3,447	9/13/23:00
97	薔蜜	9/27/09:00~10/1/00:00 (羅浮站至 10/3/06:00)	427.1	3,292	9/28/19:00
98	莫拉克	8/6/18:00~8/10/02:00 (羅浮站至 8/14/06:00)	471.3	1,838	8/8/00:00

(2) 泥砂運移觀測整理與分析：

泥砂運移觀測主要瞭解颱風期間，泥砂於水庫運移情形，包含人工取樣濃度與自動化濃度觀測、流量、入庫與出庫砂量、異重流分析及泥砂粒徑分析等資訊。以下整理歷年颱風資料並進行泥砂運移觀測分析。

(3) 主要觀測成果：

A、泥砂運移觀測：

鳳凰颱風期間洩水結構之運轉如表 2-18，顯示鳳凰颱風位於羅浮、攔污索(斷面 24)及石門大圳的泥砂濃度歷線及入庫流量歷線，由圖 2-25 可觀察到下列流量與泥砂運動的相關性：

(A)位於羅浮(即入庫)泥砂最高濃度較入庫尖峰流量提早約 3 小時。

(B)羅浮、攔污索及石門大圳的最高濃度分別約為 28,000ppm、13,500ppm 及 9,000ppm，而濃度尖峰值發生的時間分別為 28 日 06:00AM，28 日 12:00 PM 及 28 日 18:00PM，該尖峰值之時間差由羅浮至斷面 24 及由斷面 24 至石門大圳各約為 6 小時。

監測成果顯示(1)斷面 24 渾水高程達 228m，推估異重流厚度約為 15m，(2)事件過後斷面 24 淤積約 3.5m，由以上成果可判斷，斷面 24 位於淤積三角洲，該處之濃度遠較羅浮為低，表示較粗之顆粒已在中間沉澱，而石門大圳與斷面 24 之間之濃度差除部份較粗顆粒可能在運移過程中淤積外，電廠、石門大圳、排洪隧道與溢洪道在此間之運轉，排洩部份泥砂亦是重要因素。

表 2-18 鳳凰颱風期間石門水庫洩水結構物運轉綜合表

設 施	開啟時間	關閉時間
石門發電廠	7/26 08:00	7/31 24:00
石門大圳	7/28 01:00	7/31 24:00
排洪隧道	7/27 20:00	7/29 01:00
溢 洪 道	7/28 10:00	7/28 14:00

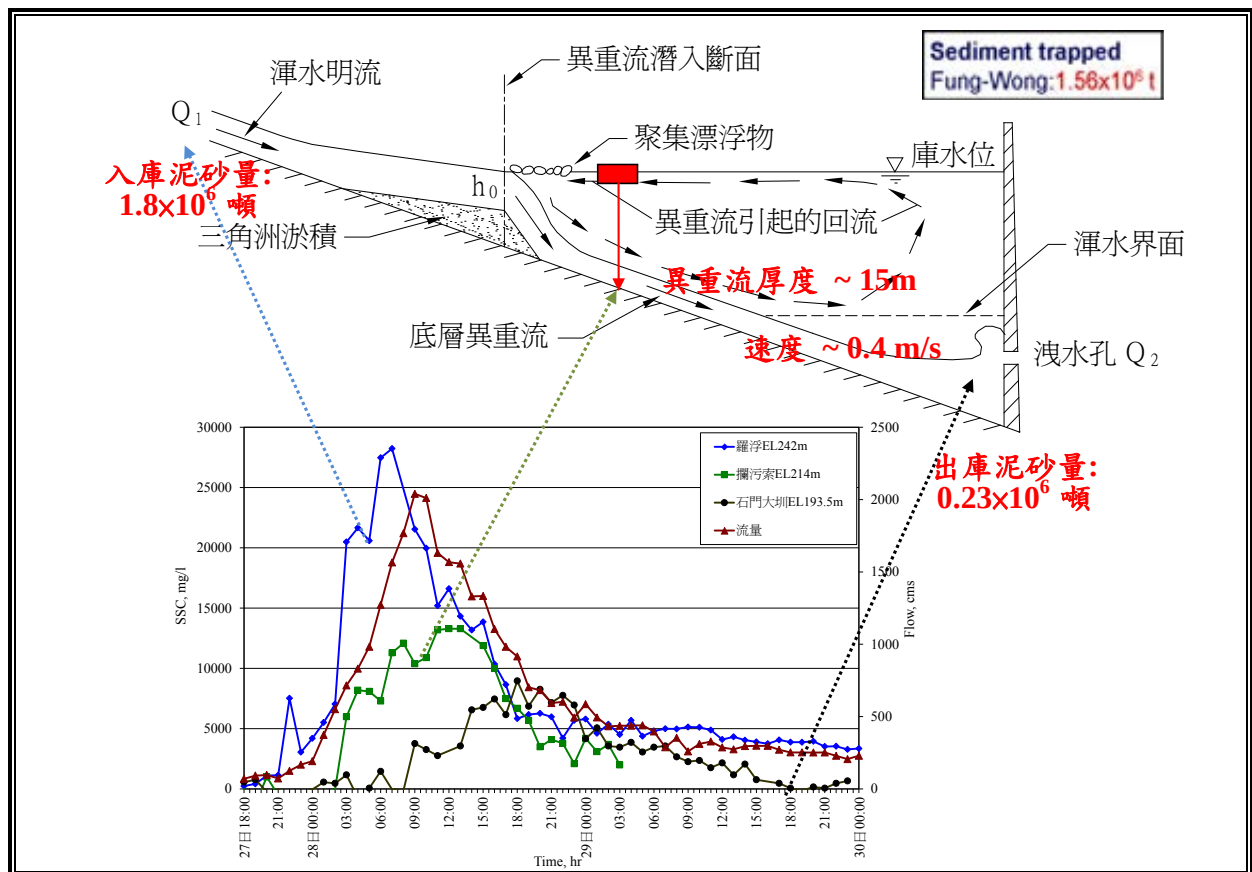


圖 2-25 鳳凰颱風入庫泥砂濃度監測成果

該計畫亦彙整民國 94 至 98 年颱風事件觀測之資料，整理如表 2-28 以入庫流量 $Q > 300$ 秒立方公尺作為參考時間起點)所示。由表 2-19 可針對以下議題歸納水砂運移之特性：

(A)入庫尖峰流量與入庫尖峰含砂濃度時間差：由鳳凰、薔蜜及莫拉克等 3 場颱風事件觀察入庫尖峰含砂濃度較入庫尖峰流量發生時間提前約 1 至 4 小時，但辛樂克颱風事件則入庫尖峰流量較入庫尖峰含砂濃度提前 12 小時，可能與其降雨型態無明顯峰值有關。

(B)底孔高濃度泥砂之延時與入庫高流量延時之關係：以民國 97 與 98 年度觀測資料，石門大圳或電廠濃度大於 1,000ppm 之延時與入庫流量大於

300 秒立方公尺延時呈高度正相關。

表 2-19 近年颱風水砂運移規律因子整理表

颱風事件	鳳凰	辛樂克	薔蜜	莫拉克
(1) 入庫流量>300cms 時間(time) 參考起始點	2008/7/28 01:00	2008/9/12 19:00	2008/9/28 04:00	2009/8/6 18:00
(2) 入庫流量>300 cms 之延時(hr)	35	173	68	92
(3) 入庫水量(10^8m^3)	1.57	6.39	2.65	2.79
(4) 入庫尖峰流量時間(time)	8 (2008/7/28 09:00)	28 (2008/9/13 23:00)	15 (2008/9/28 19:00)	30 (2009/8/8 00:00)
(5) 入庫尖峰含砂濃度時間 (hr)	7 (2008/7/28 08:00)	40 (2008/9/14 11:00)	11 (2008/9/28 15:00)	28 (2009/8/7 20:00)
(6) 電廠或石圳含砂濃度抵達時間 (hr)	8 (2008/7/28 09:00)	17 (2008/9/13 12:00)	10 (2008/9/28 14:00)	23 (2008/8/7 17:00)
(7) 電廠或石圳尖峰含砂濃度時間 (hr)	21 (2008/7/28 22:00)	89 (2008/9/16 12:00)	36 (2008/9/29 16:00)	39 (2009/8/8 09:00)(石圳)
(8) 電廠或石圳含砂濃度<1,000 mg/l (hr)	47 (2008/7/30 00:00)	130 (2008/9/18 05:00)	82 (2008/10/1 14:00)	80 (2009/8/10 02:00)(石圳)
(9) 電廠或石圳>1,000 mg/l 延時(hr)	38	121	72	70(石圳)
(10) 入庫尖峰流量與電廠或石圳尖峰 含砂濃度延時(hr)(7)-(4)	13	61	21	9
(11) 入庫尖峰流量(cms)	2,040	3,447	3,292	1,838
(12) 異重流速度(m/s)	0.38	0.63	-	0.27
(13) 庫區渾水(>3,000 mg/l)厚度 (m)	15	14	-	-
(14) 壩前表層(高程 236)>3,000NTU 延 時(hr)	0	8	0	-
(15) 降雨強度 I>15 mm/hr 延時(hr)	5	21	9	4
(16) 降雨量(毫米)	273.9	965.2	427.1	471.3

註：-者：表資料缺漏或無資料。

(C)降雨量與異重流持續時間對壩前表層水濁度影響：當降雨量大於 500 毫米，壩前表層水(高程 236m)將可能會大於 3,000NTU 而形成渾水水庫。此表層高濁度之延時明顯與排洪隧道操作與否有關，在約同等降水情況下，馬莎颱風之高濁度延時達 51 小時，但辛樂克僅 8 小時。

(D)異重流流速及厚度觀測成果：由鳳凰、辛樂克及莫拉克颱風事件觀測異重流之運移，其速度約在 0.3~0.7 公尺/秒之間，該速度隨流量之增加而增

加。另由斷面 24 之觀測結果顯示，鳳凰及辛樂克颱風事件之異重流厚度約為 10~15 公尺。

B、入庫與排出砂量比較：

由入庫水流所挾帶之泥砂量及各排放口所排出砂量，便可推求於庫區中泥砂之淤積量，為得入庫與過庫泥砂總量，將民國 97 及 98 年颱風資料整理如表 2-20 所示，由該表可得知莫拉克颱風入庫總砂量為 184 萬公噸(乾重)，入庫水量為 22,799 萬立方公尺。各排放口於觀測期間排放總砂量為 26.4 萬公噸，出庫水量為 9,302 萬立方公尺。比對入庫與出庫砂量，概估因庫總砂量為 157.7 萬公噸，砂量排放比為 14%，其結果與 97 年度鳳凰、薔蜜颱風觀測資料相近。由民國 97 及 98 年亦顯示既有設施於颱風事件之排砂比介於 13~24%。其中以辛樂克颱風事件排砂比較高，可能與入庫水量產生置換，使由排洪隧道及溢洪道等上層設施排出量加大有關。

表 2-20 民國 97、98 年度石門水庫觀測入、排砂量統整表

評估項目		颱風事件							
		鳳凰		辛樂克		薔蜜		莫拉克	
入水量 (10^4 m^3)	出水量 (10^4 m^3)	12,447	12,030	62,638	62,224	26,579	23,736	22,799	9,302
入砂量 (萬噸)	排出砂量 (萬噸)	179.42	23.18	1,094	266.8	408.6	54.7	184.0	26.4
排砂比(%)		13		24		13		14	
電廠 (%)	溢洪道 (%)	69	9	39	22	65	0.3	68	0
排洪隧 道(%)	石門大 圳(%)	20	2	38	1	33	2	26.5	4.5
後池堰排砂量 (萬ton)		20.96		252.5		73.1		27.3	
排砂比(%)		12		23		18		15	

C、流量與輸砂量之關係：

前期既有入庫砂量估算係依據霞雲站 1963 年 7

月至 2005 年 10 月年流量 Q 與輸砂量 Q_s 資料之率定相關式，其率定曲線為 $Q_s \text{ (kg/s)} = 0.005269 \times Q^{1.969}$ (秒立方公尺)，水文站位置詳圖 2-26。將 97、98 年完成之 4 場颱風全洪程觀測實測結果搭配北水局所提供之入庫流量資料繪成流量與輸砂量之關係，如圖 2-27，並與既有率定曲線比較，發現過去依據既有率定關係迴歸式推估之輸砂量有明顯低估的情形。其次，將 4 場颱風全洪程觀測實測入庫砂量，以及利用霞雲站流量 Q 與輸砂量 Q_s 率定關係推估入庫砂量整理如表 2-21 所示。由表中可明顯觀察出，以既有率定曲線推估之入庫砂量與實測資料相差約 2~3 倍。其主要原因除近年來氣候變化與上游集水區山坡地貌地質差異外，傳統泥砂取樣時機大多為低流量狀態(<1,000 秒立方公尺)下，可能無法準確地提供高流量。



圖 2-26 石門水庫水文測站位置圖

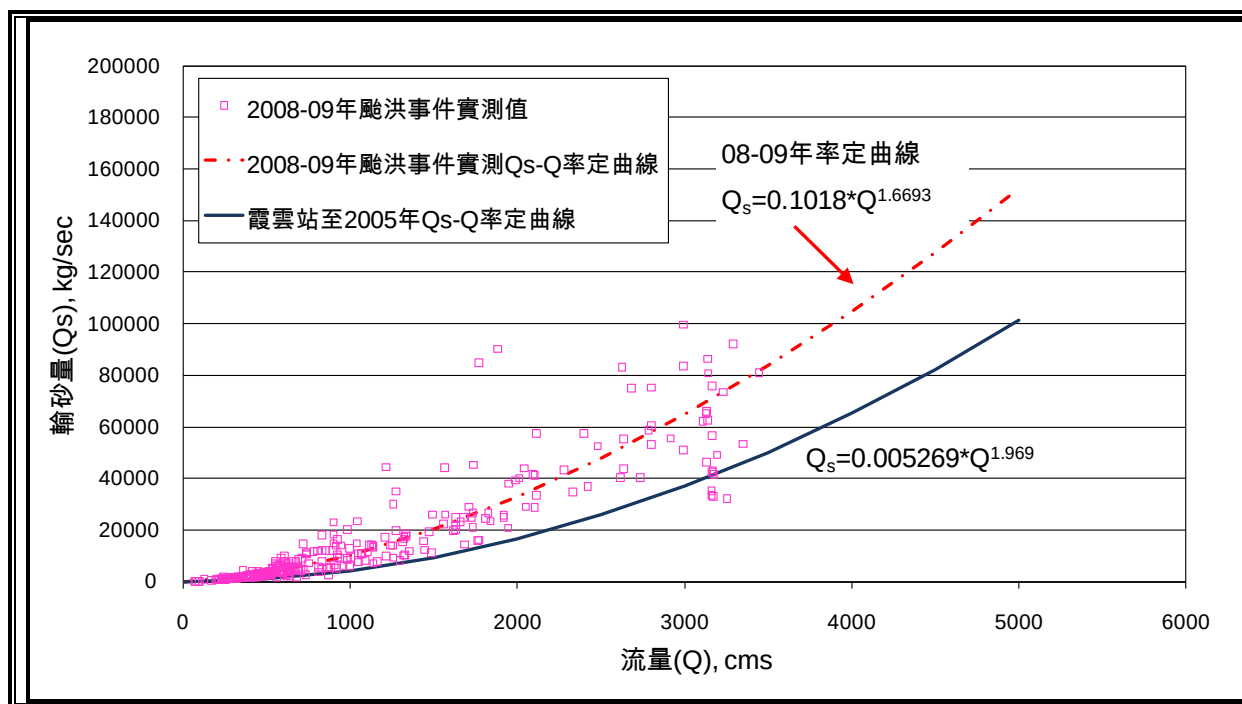


圖 2-27 入庫輸砂量與入庫流量關係圖

表 2-21 實測與推估入庫砂量差異表

颱風事件	實測入庫砂量(10^4 ton)	推估砂量(10^4 ton)	實測/估計
鳳凰	179.4	56.3	3.2
辛樂克	1,094.8	579.7	1.9
薔蜜	408.6	154.3	2.6
莫拉克	184.0	97.0	1.9

D、粒徑分析：

為分析入庫及出庫懸浮質粒徑分布情形，以莫拉克颱風期間所量測之資料選定各測站不同時間之結果。羅浮站最大粒徑約 1 公厘， $d < 0.04$ 公厘之顆粒所佔比例介於 70~96%；石門電廠一號及二號機 $d < 0.04$ 公厘之顆粒所佔比例為 97%以上；石門大圳 $d < 0.04$ 公厘之顆粒所佔比例為 98%以上。

根據上述取樣之粒徑分布可知，小於 0.04 公厘之顆粒所佔比例分別約為羅浮 83%以及電廠、石門大圳 98%，顯示由羅浮到異重流潛入沿程落淤之粒徑約介

於 0.04~1 公厘，約佔羅浮站入庫砂量之 4~30%。

E、評估歷年颱風前水庫原有蓄存清水量與入庫渾水量比值和壩前表層水濁度關係：

將歷年颱風前水庫蓄存清水由入庫渾水量與蓄存清水量比值和壩前表層水濁度觀測對照列如表 2-22 所示。由表初步研判若入庫渾水量與蓄存清水量比值為 1 則可能產生壩前表層水(高程 236m)濁度高於 3,000NTU 之現象，但若水庫操作以排洪隧道為主排放，該比值可提高至 1.5。

表 2-22 入庫渾水量與蓄存清水量比值和壩前表層水濁度觀測對照一覽表

時間 年份(民國) (日期)	颱風名稱	水庫水位 (m)	蓄存 清水量 (10^8m^3) (1)	入庫渾水 量 (10^8m^3) (2)	入庫渾水 量與蓄存 清水量差 值(10^8m^3) (2)-(1)	入庫渾水 量與蓄存 清水比 (2)/(1)	壩前表層水(高 程 236m) > 3,000NTU 延時(hr)
93(12/03-12/04)	南瑪都	244	2.45	0.26	-2.19	0.11	-
95(09/14-09/16)	珊珊	243	2.07	0.63	-1.44	0.3	-
93(08/10-08/13)	蘭寧	237	1.91	0.63	-1.28	0.33	-
98(08/05-08/10)	莫拉克	213	0.64	0.23	-0.41	0.36	0
94(09/30-10/03)	龍王	241	2.21	0.91	-1.3	0.41	-
93(10/23-10/26)	納坦	244	2.45	1.08	-1.37	0.44	-
89(08/28-08/30)	巴比倫	243	2.29	1.04	-1.25	0.45	-
90(09/24-09/26)	利奇馬	244	2.45	1.36	-1.09	0.55	-
89(08/22-08/23)	碧利斯	242	1.99	1.09	-0.9	0.55	-
97(07/26-07/29)	鳳凰	243	2.07	1.19	-0.88	0.57	-
96(08/06-08/09)	聖帕	237	1.92	1.26	-0.66	0.66	-
94(08/30-09/01)	泰利	244	2.45	1.89	-0.56	0.77	-
96(09/17-09/19)	韋帕	243	2.07	1.74	-0.33	0.84	-
97(09/26-09/29)	薔蜜	244	2.16	1.93	-0.23	0.89	-
94(07/16-07/20)	海棠	237	1.91	2.13	0.22	1.12	21*
87(10/15-10/19)	瑞伯	240	2.13	2.81	0.68	1.32	-
96(10/04-10/07)	柯羅莎	244	2.16	3.59	1.43	1.66	2
94(08/03-08/06)	馬莎	239	2.06	4.62	2.56	2.25	51*
90(09/15-09/20)	納莉	237	1.91	4.43	2.52	2.32	-
97(08/19-08/21)	辛樂克	241	1.91	5.17	3.26	2.71	8
93(08/23-08/26)	艾利	242	1.99	7.14	5.15	3.59	>72*

註： * 表示溢洪道洩水量遠大於排洪隧道洩水量。

- 表示無資料。

2、石門水庫長期監測計畫與防淤操作模擬分析(1/2)(民國 101 年)

(1)觀測地點及颱風事件：

延續前期之泥砂觀測計畫，並在羅浮站、水庫各排放口測站及後池堰建置適當的人工取樣觀測設施與自動化量測系統；觀測庫區異重流運移行為採用浮台監測站，浮台建置自動化濃度監測設施，包括溫度及濃度垂直分 8 層。

該計畫在上述工作期間台灣地區歷經泰利、蘇拉及天秤等 3 場颱風，其中泰利及天秤颱風並未造成石門水庫產生高濁度原水。因此以下僅摘錄蘇拉颱風之觀測結果，蘇拉颱風期間集水區累計降雨量為 830 毫米。觀測時間為於 101 年 8 月 1 日 16 時 30 分至 101 年 8 月 6 日 12 時。

(2)泥砂運移觀測整理與分析：

泥砂運移觀測主要瞭解颱風期間，泥砂於水庫運移情形，包含人工取樣濃度與自動化濃度觀測、流量、入庫與出庫砂量、異重流分析及泥砂粒徑分析等資訊。以下整理歷年颱風資料並進行泥砂運移觀測分析。

(3)主要觀測成果：

A、泥砂運移觀測：

根據蘇拉颱風觀測結果，其渾水運移速度較 97 年度與 98 年度觀測事件慢，推測應是蘇拉颱風事件未產生顯著的異重流現象有關。另由大灣坪測站及大溪坪測站不同深度於不同時間點的含砂濃度變化關係顯示，蘇拉颱風由上游運移至下游的過程中並未產生顯著的清濁介面。

B、水砂運移特性分析：

為了解水砂運移的特性，該計畫將歷年颱風事件

中之尖峰時雨量、降雨延時 (>15 公厘/時)、累積雨量、入庫尖峰流量、入庫流量 $Q>300$ 秒立方公尺 延時、入庫水量、尖峰降雨時間、以流量 $Q>100$ 秒立方公尺 or 300 秒立方公尺 (作為參考時間起點)、入庫含砂濃度 >1 萬 ppm 時間、入庫尖峰含砂濃度時間、入庫含砂濃度降至 3,000ppm 以下時間、斷面 24 或龍珠灣異重流抵達時間、尖峰含砂濃度時間、電廠或石圳含砂濃度抵達時間、電廠或石圳尖峰含砂濃度時間、電廠或石圳含砂濃度 $<1,000$ ppm 時間、異重流速度、庫區渾水 ($>3,000$ ppm) 厚度及壩前表層 (EL236m) $>3,000$ NTU 延時等資料，整理如表 2-23(以入庫流量 $Q>300$ 秒立方公尺作為參考時間起點)所示。

由表 2-23 觀察並歸納以下出幾點特性：

- (A)入庫流量快速增加，有利於異重流形成，以入庫流量 $Q>300$ 秒立方公尺到壩前濃度上升的延時約為 5~10 小時；反之，延時將延長至大於 10 小時~20 小時。此一觀察可提供下游出水口取樣或排砂時機參考。101 年度蘇拉颱風流量大於 300 秒立方公尺到 1,000 秒立方公尺之中強度流量維持超過 24 小時，似乎不利於異重流形成，造成沒有明顯清渾界面，且渾水往下由推移速度明顯較慢，使得 $Q>300$ 秒立方公尺到壩前濃度上升的延時長達 42 小時。
- (B)歷年各場颱風其入庫尖峰流量時間點至電廠或石圳尖峰濃度時間延時(Duration of $Q_{peak} \sim SSC_{peak}$) 無明顯一致關係。但由 97 年度所觀測資料顯示，

入庫尖峰流量時間點至電廠或石圳尖峰濃度時間延時，與入庫尖峰流量大於 300 秒立方公尺延時有高度正相關。

(C)以觀測資料得知，入庫尖峰流量大於 300 秒立方公尺延時與石圳或電廠濃度大於 1,000ppm 之延時，亦成高度正相關。

表 2-23 近年颱風水砂運移規律因子整理表

颱洪事件	警報期間	尖峰時雨量 (毫米)	降雨延時 >15毫米/時 (hr)	累積雨量 (毫米)	入庫尖峰流量 (cms)	入庫流量 >300 cms 延時 (hr)	入庫水量 (10 ⁸ m ³)	尖峰降雨時間 (time)	入庫流量 >300cms 時間 (time)參考起始點	入庫尖峰流量時間 (time)	入庫含砂濃度>1萬 mg/l時間 (hr)	入庫含砂濃度>2萬 mg/l時間 (hr)	入庫尖峰含砂濃度 時間 (hr)	入庫含砂濃度降至 3,000mg/l以下時間 (hr)	斷面 24 或龍珠灣 異重流抵達時間 (hr)	斷面 24 或龍珠灣 尖峰含砂濃度時間 (hr)	電廠或石圳含砂濃度抵達時間 (hr)	電廠或石圳含砂濃度抵達時 累積入庫水量 (萬 立方公尺)	電廠或石圳含砂尖峰濃度 時間 (hr)	電廠或石圳含砂濃度 <1000 mg/l (hr)	電廠或石圳 >1000 mg/l 延時 (hr)	尖峰流量與尖峰含砂濃度延時 (hr)	異重流速度 (m/sec)	庫區渾水 (>3,000 mg/l) 厚度 (m)	壩前表層 (EL236)>3,000NTU 延時 (hr)
海棠	2005/7/16 -2005/7/20	36.9	13	504.4	3,199	74	2.9	14 (2005/7/18 08:00)	2005/7/17 18:00	16 (2005/7/18 10:00)	14 (2005/7/18 08:00*)	-	16 (2005/7/18 10:00*)	36 (2005/7/19 06:00*)	-	-	-	-	56 (2005/7/20 02:00*)	117 (2005/7/22 15:00*)	-	40	-	-	21
馬莎	2005/8/3 -2005/8/6	42.1	28	818.9	5,322	84	5.23	7 (2005/8/4 20:00)	2005/8/4 13:00	24 (2005/8/5 13:00)	7 (2005/8/4 20:00*)	19 (2005/8/5 08:00*)	24 (2005/8/5 13:00*)	46 (2005/8/6 11:00*)	-	-	9 (2005/8/4 22:00*)	5,547	105 (2005/8/8 22:00*)	157 (2005/8/11 02:00*)	148	81	-	-	51
泰利	2005/8/30 -2005/9/1	46.6	10	383.5	3,689	48	2.37	4 (2005/8/31 23:00)	2005/8/31 19:00	7 (2005/9/1 02:00)	4 (2005/8/31 23:00*)	-	7 (2005/9/1 02:00*)	22 (2005/9/1 17:00*)	-	-	5 (2005/9/1 00:00*)	3,639	15 (2005/9/1 10:00*)	107 (2005/9/5 06:00*)	102	8	-	-	0
聖帕	2007/8/16 -2007/8/19	17.7	2	317.1	1,844	56	1.79	13 (2007/8/18 06:00)	2007/8/17 17:00	18 (2007/8/18 11:00)	-	-	18 (2007/8/18 11:00*)	33 (2007/8/19 02:00*)	23 (2007/8/18 16:00*)	35 (2007/8/19 04:00*)	21 (2007/8/18 14:00*)	5,675	37 (2007/8/19 06:00*)	65 (2007/8/20 10:00*)	44	19	-	-	0
韋帕	2007/9/17 -2007/9/19	24.7	10	363	2,788	54	2.1	13 (2007/9/18 14:00)	2007/9/18 01:00	18 (2007/9/18 19:00)	17 (2007/9/18 18:00*)	-	18 (2007/9/18 19:00*)	29 (2007/9/19 06:00*)	15 (2007/9/18 16:00*)	34 (2007/9/19 11:00*)	13 (2007/9/18 20:00*)	9,889	27 (2007/9/19 04:00*)	68 (2007/9/21 01:00*)	55	9	-	-	0
柯羅莎	2007/10/4 -2007/10/7	42.1	19	666.4	5,300	75	4.57	14 (2007/10/6 13:00)	2007/10/5 23:00	17 (2007/10/6 16:00)	11 (2007/10/6 10:00*)	17 (2007/10/6 16:00*)	17 (2007/10/6 16:00*)	42 (2007/10/7 17:00*)	-	-	14 (2007/10/6 13:00*)	8,429	54 (2007/10/8 05:00*)	-	-	37	-	-	2
鳳凰	2008/7/26 -2008/7/29	19.5	5	273.9	2,040	35	1.57	5 (2008/7/28 06:00)	2008/7/28 01:00	8 (2008/7/28 09:00)	2 (2008/7/28 03:00)	2 (2008/7/28 03:00)	7 (2008/7/28 08:00)	58 (2008/7/30 11:00)	1.5 (2008/7/28 02:30)	11 (2008/7/28 12:00)	8 (2008/7/28 09:00)	3,928	21 (2008/7/28 22:00)	47 (2008/7/30 00:00)	38	13	0.38	15	0
辛樂克	2008/9/11 -2008/9/16	32.4	21	965.2	3,447	173	6.39	22 (2008/9/13 17:00)	2008/9/12 19:00	28 (2008/9/13 23:00)	0 (2008/9/12 19:00)	25.5 (2008/9/13 20:30)	40 (2008/9/14 11:00)	178 (2008/9/20 05:00)	13 (2008/9/13 08:00)	40 (2008/9/14 11:00)	17 (2008/9/13 12:00)	2,815	89 (2008/9/16 12:00)	130 (2008/9/18 05:00)	121	61	0.63	14	8
薔蜜	2008/9/26 -2008/9/29	30.7	9	427.1	3,292	68	2.65	12 (2008/9/28 16:00)	2008/9/28 04:00	15 (2008/9/28 19:00)	6 (2008/9/28 10:00)	7 (2008/9/28 11:00)	11 (2008/9/28 15:00)	112 (2008/10/2 20:00)	-	-	10 (2008/9/28 14:00)	2,591	36 (2008/9/29 16:00)	82 (2008/10/1 14:00)	72	21	-	-	0
莫拉克	2009/8/5 -2009/8/10	17.4	4	471.3	1,838	92	2.79	28 (2009/8/7 22:00)	2009/8/6 18:00	30 (2009/8/8 00:00)	25 (2009/8/7 19:00)	28 (2009/8/7 20:00)	28 (2009/8/7 20:00)	108 (2009/8/12 06:00)	-	45 (2009/8/8 15:00)	23 (2008/8/7 17:00)	6,376	39 (2009/8/8 09:00)(石圳)	80 (2009/8/10 02:00)(石圳)	70(石圳)	9	0.27	-	-
凡那比	2010/09/17 -2010/09/20	23	4	166.6	1,056	16	0.44	-1 (2010/9/19 08:00)	2010/9/19 09:00	3 2010/9/19 12:00	0	0	1 2010/9/19 10:00	14 2010/9/19 23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
蘇拉	2012/7/30-2012/8/3	44.3	18	830.8	5,385	111	4.92	42 (2012/8/2 05:00)	2012/7/31 11:00	44 2012/8/2 07:00	17 (2012/8/1 04:00)	40 (2012/8/2 03:00)	50 (2012/8/2 13:00)	77 (2012/8/3 16:00)	34 (2012/8/1 21:00)	52 (2012/8/2 15:00)	42 (2012/8/2 05:00)	19,563	73 (2012/8/3 12:00)	93 (2012/8/4 08:00)(石圳)	51(石圳)	29	0.2*		7
泰利	2012/6/19-2012/6/21	5	0	60	156	0	0.54		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
天秤	2012/8/22-2012/8/28	13.4	0	137	363	2	0.72	-45 2012/8/24 1:00	2012/8/25 22:00	0 2012/8/25 22:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.6.2 淤積型態及特性

石門水庫建壩至今水庫淤積大都呈三角洲淤積體型態，水庫淤積三角洲典型形態如圖 2-28，三角洲淤積體的縱剖面一般可分為兩段，即頂坡段和前坡段，在頂坡段之上有時有一段推移質淤積段，可稱為尾部段，當入庫推移質少時，尾部段就不明顯。歷年石門水庫上游興建攔砂壩攔阻推移質，由石門水庫歷年之縱斷面地形變化如圖 2-29，顯示並無明顯尾部段。頂坡段是三角洲的主體，接近平衡輸砂情況、頂坡段上的水流也接近均勻流。前坡段是淤積強烈的地方，流速沿程遽減淤積迅速及顆粒分選明顯。在前坡段以下的庫區段為細顆粒淤積段，淤積速度較前坡慢，且由於細顆粒常以異重流的形式被帶到壩前，若底孔洩水不暢，渾水在壩前聚集，形成均勻淤積使壩前淤積厚度可能較大，根據大陸恆山水庫 1984 年 8 月 22 洪水資料分析泥砂粒徑 $d > 0.1$ 公厘多數淤積到回水末端附近床面；泥砂粒徑 $0.04 \text{ 公厘} < d < 0.1 \text{ 公厘}$ 一般在異重流運行過程途中淤積； $d < 0.04$ 公厘部分泥砂在水庫滯洪時淤積。

由圖 2-29 可知石門水庫運轉使用 40 餘年後，庫區平均淤積厚度已逾 30m，但壩前淤積則更超過 50m，且由艾利颱風前後(艾利颱風前：第 39 次測量(93.03)、艾利颱風後：第 40 次測量(93.12))縱斷面圖顯示艾利颱風造成的淤積量主要為壩前以及斷面 12~斷面 16 為主，平均淤積深度分別為 20m 及 10m，艾利颱風總淤積量約為 2,788 萬立方公尺，而艾利颱風後至 99 年淤積測量縱斷面的淤積量主要以斷面 20 以上居多，平均淤積深度約 23m。

由圖 2-30 石門水庫歷年庫區淤積橫斷面顯示，斷面 19 於艾利颱風前至 99 年平均淤積高程約 5m；斷面 20 於艾利颱風

前至 99 年平均淤積高程約 7m；斷面 24 於艾利颱風前至 99 年，平均淤積高程約 13m；斷面 27 於艾利颱風前至 99 年平均淤積高程約 10m。顯見石門水庫整體淤積嚴重，而庫區已有大灣坪防淤工程、電廠防淤改善第一期工程及 PRO 改善工程可進行異重流排砂，中游庫區粗顆粒淤積物亟待解決，因此辦理阿姆坪防淤工程具有急迫性及必要性。

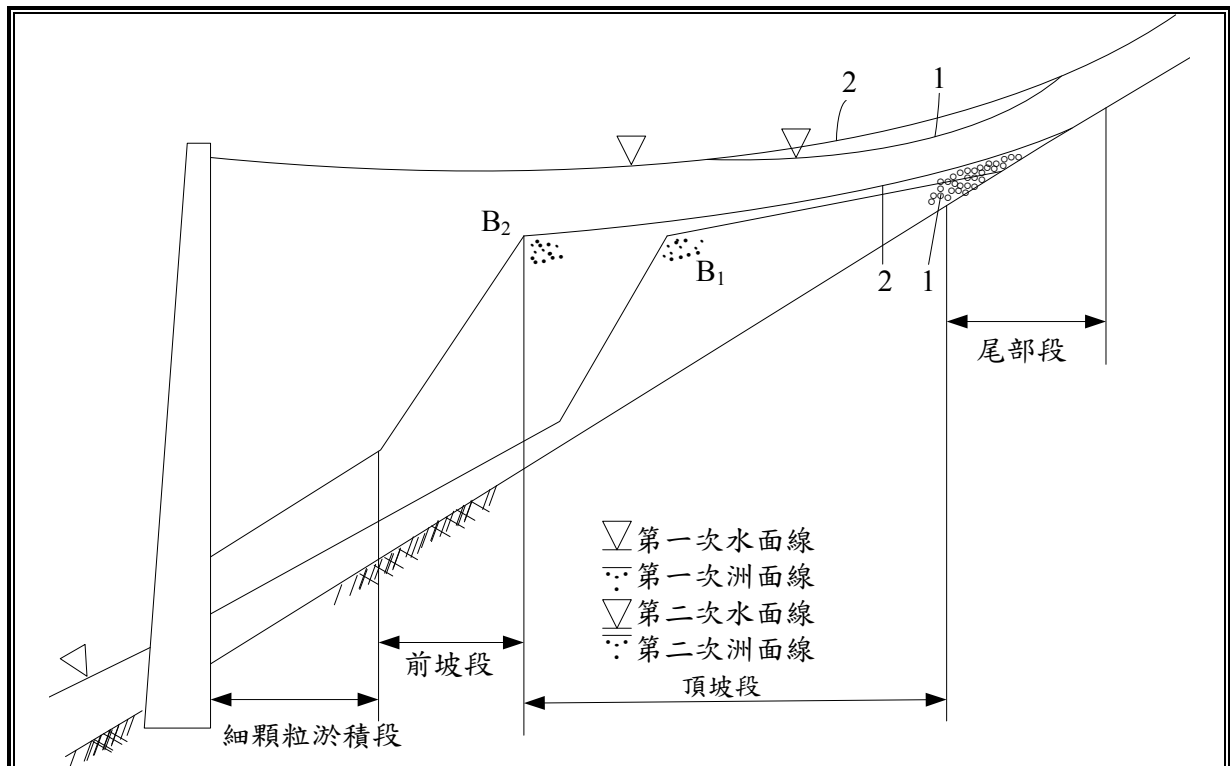


圖 2-28 水庫三角洲典型形態示意圖

2.6.3 庫區沿程淤積物顆徑界定

為利於定義庫區泥砂運移顆徑特性，本團隊由近年石門水庫庫區淤砂採樣資料，所得成果如下：

1、民國 97 年水規所庫區鑽探：

「石門水庫濁水成因及淤泥層運移機制鑽探試驗分析 (1/2)」之鑽探位置及成果顯示如圖 2-32 所示，庫區由上游往下游之土壤級配呈明顯細化現象，庫區上游斷面 20 及 24 其採樣編號 SM10 及 SM11，顯示淤積層以砂為主，黏土含量低於 10%。庫區中游斷面 12 及 15 其採樣編號 SM08 及 SM09，

顯示淤積層以粉土與黏土為主，但夾雜約 1%~4%之砂；庫區大壩處斷面 03~04 及 09 其採樣編號 SM05 及 SM07，顯示淤積層完全為粉土及黏土，而粉土比例多於黏土。

2、中央地質調查所庫區鑽探：

參考民國 97 年中央地質調查所之 CGS03 及 CGS04 編號鑽探位置及成果顯示如圖 2-29 所示，兩處水庫沉積物皆為極細顆粒組成，CGS03 及 CGS04 二孔之平均粒徑分別為 0.0104 及 0.0142 公厘。

3、民國 98 年水規所試坑開挖及底泥取樣：

根據民國 99 年 6 月水規所「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究總報告書(初稿)」報告之試坑開挖及底泥取樣位置亦如圖 2-29 所示，其成果顯示斷面 31 以上為礫石淤積，而斷面 27~29 為細砂，粉土只佔約 10%，斷面 20 至斷面 4 有越往下游粒徑分佈越細之趨勢。

由水庫淤積型態及上述淤泥取樣資料，本工作團隊初步研判在民國 99 年石門水庫總淤積 9,598 萬立方公尺中，其縱向分布如圖 2-29，顯示水庫淤積物沿程分布大致為：

- (1)斷面 31 以上屬礫石淤積段，估算體積約 251 萬立方公尺。
- (2)斷面 31~斷面 27 屬粒徑 0.1 公厘以上砂粒淤積段，估算體積約 671 萬立方公尺。
- (3)斷面 27~斷面 20 屬粉砂質(SM)粒徑 0.1~0.04 公厘淤積段，估算體積約 3,282 萬立方公尺。
- (4)斷面 20 以下屬顆粒 0.04 公厘以下細顆粒淤積段，估算體積約 5,394 萬立方公尺。

水庫之持續淤積將使粗顆粒向下游延伸，因之以上推估將呈現動態的變化。

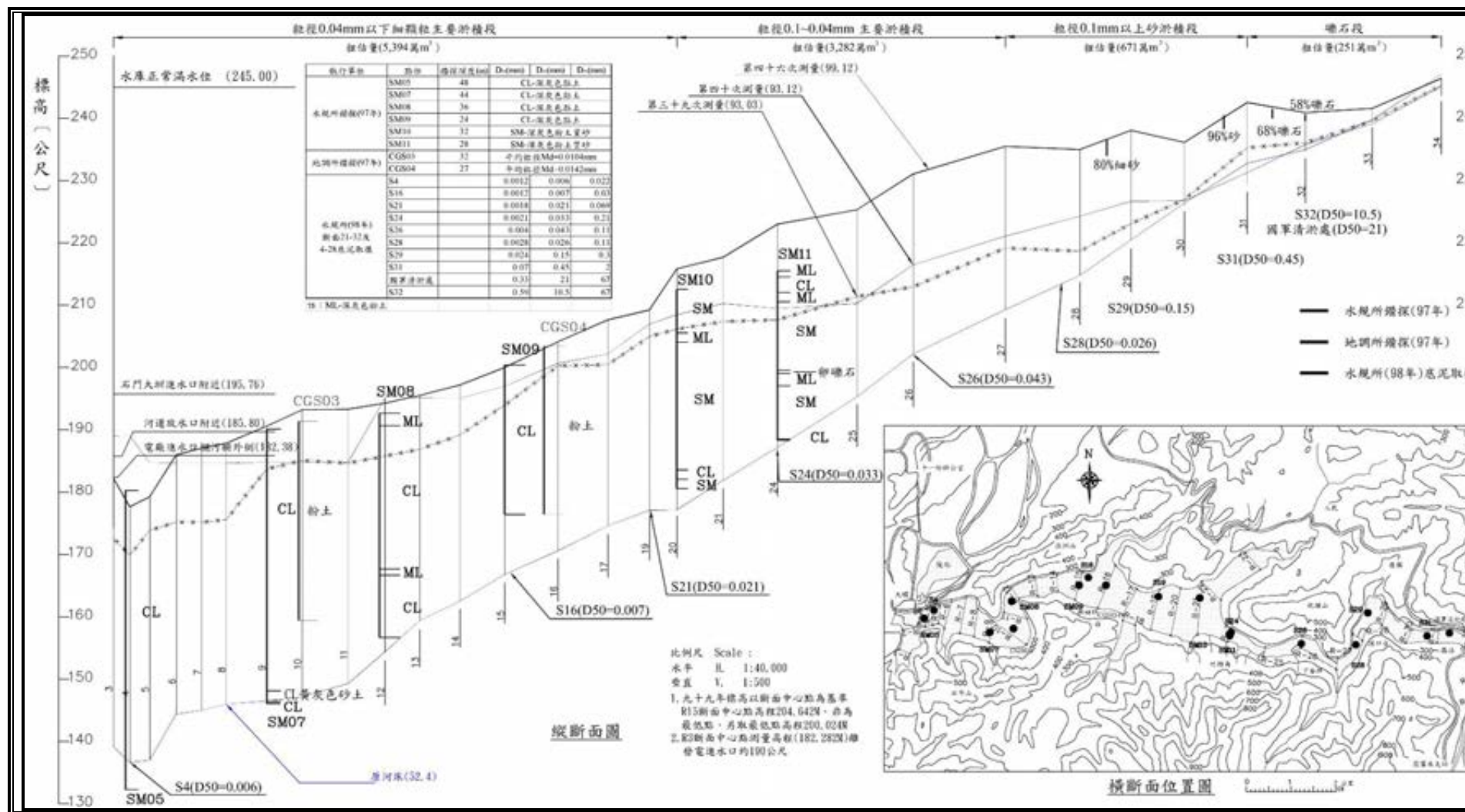


圖 2-29 石門水庫庫區淤積物顆粒沿程分布初估圖

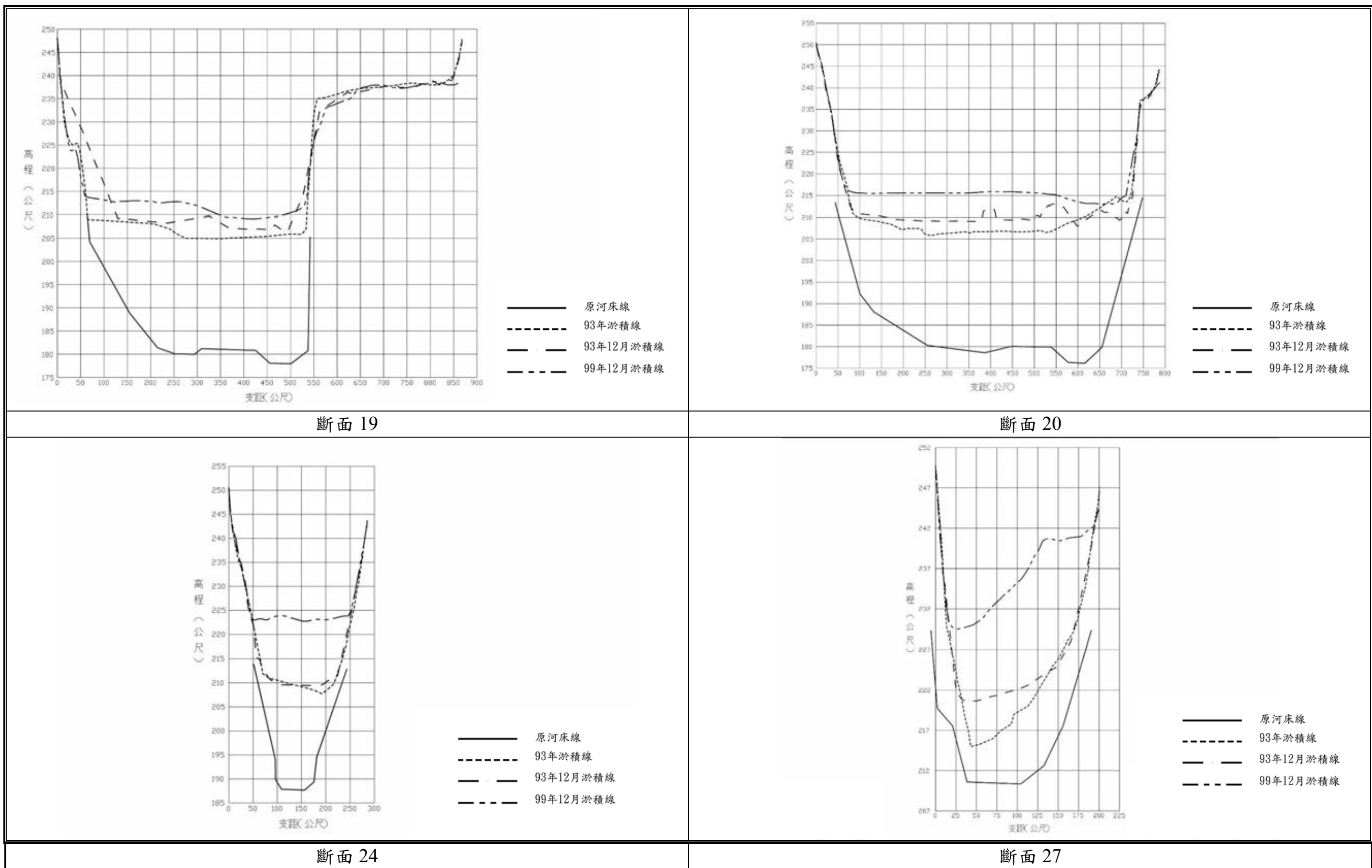


圖 2-30 石門水庫庫區淤積橫斷面圖

2.6.4 入庫泥砂顆徑分佈推估

根據近年石門水庫庫區淤砂採樣資料成果，茲將入庫泥砂量分為淤積量、清淤量與設施排砂量 3 部分並依所佔比例推估入庫泥砂粒徑分佈詳附錄二，依表 2-11 石門水庫年入庫泥砂量估算表統計淤積量約佔入庫泥砂量之 73.3%、清淤量佔 10.8% 與排砂量佔 15.9%，入庫泥砂粒徑分佈如表 2-24 及圖 2-31 所示。顆粒 0.04 公厘以下細顆粒為本工程主要排砂範圍約佔 64.71%。

表 2-24 入庫泥砂粒徑分佈

單位：%

粒徑(mm)	水庫淤積量 (73.3%)	清淤量 (10.8%)	設施排砂量 (15.9%)	推估
76.2 (3")	100.00	100.00	100.00	100.00
50.8 (2")	99.53	100.00	100.00	99.66
38.1 (1 1/2")	99.24	100.00	100.00	99.44
25.4 (1")	98.86	100.00	100.00	99.17
19.1 (3/4")	98.56	100.00	100.00	98.95
9.52 (3/8")	97.93	100.00	100.00	98.48
4.76 (#4)	97.24	100.00	100.00	97.98
2 (#10)	96.23	100.00	100.00	97.24
0.42 (#40)	92.30	100.00	100.00	94.36
0.149 (#100)	78.97	99.98	100.00	84.59
0.074 (#200)	66.62	99.49	100.00	75.48
0.04	54.29	86.33	98.00	64.71
0.025	44.66	76.50	95.00	56.11
0.005	14.90	30.51	47.00	21.69

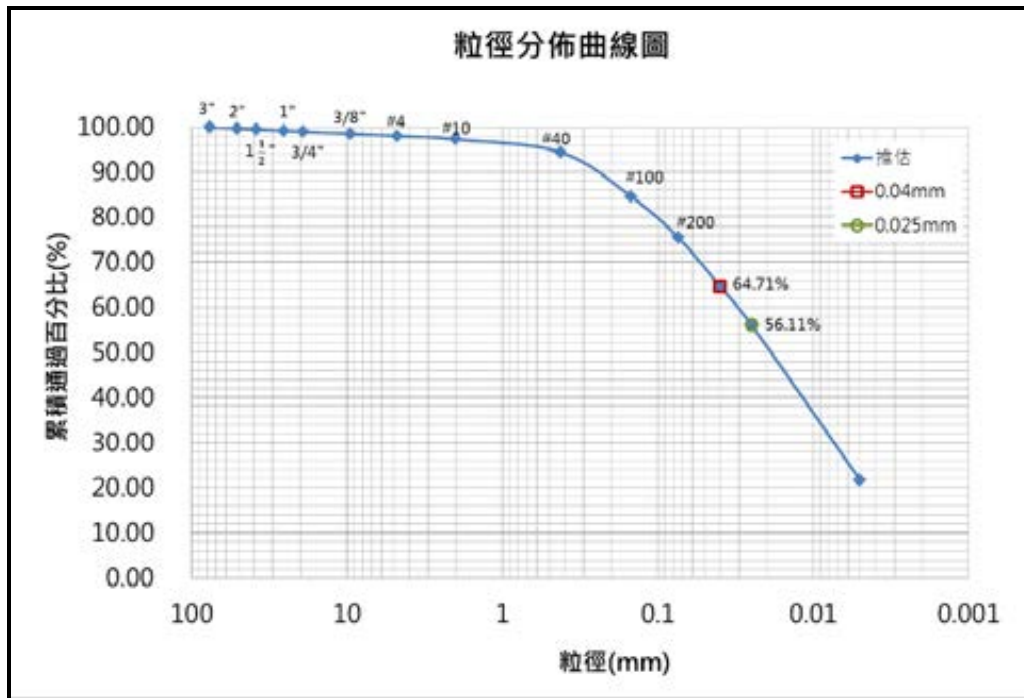


圖 2-31 石門水庫庫區入庫泥砂粒徑分布曲線圖(推估)

2.6.5 石門水庫阿姆坪上游有價料估算

石門水庫阿姆坪上游庫區淤積物中，砂石粒料所佔比例相當高，這些粒料經洗篩後即具其經濟價值。有價料之界定根據何建誠所編著之「混凝土工程施工技術」ASTM 細骨材級配要求曲線，通過#100 篩(粒徑 $D=0.149$ 公厘)之重量百分比僅能為 2~10%，研擬以#100 篩與#200 篩間之粒徑 0.1 公厘為有價料之界定。

根據民國 101 年「石門水庫阿姆坪上游河道淤積物調查」之估算，在石門水庫阿姆坪上游(斷面 20 以上)有價料及無價料體積估算如表 2-25 所示，保守估算(頂層淤爛泥取不到具代表性樣本之泥層不含有價料)有價料總體積為 1,549.2 萬立方公尺，開放估算(頂層淤爛泥取不到具代表性樣本，以其下層之有無價料比例代表取不到樣本之土層之有無價料比例)有價料總體積為 1,645.9 萬立方公尺。

表 2-25 石門水庫阿姆坪上游斷面有價料估算表

	100年	有價料比例		有價料體積		無價料體積	
斷面	淤積量(萬M ³)	保守	開放	保守(萬M ³)	開放(萬M ³)	保守(萬M ³)	開放(萬M ³)
21	1,164.40	13.45%	15.87%	156.6	184.8	1,007.8	979.6
24	858.61	42.18%	42.18%	362.2	362.2	496.4	496.4
25	462.71	52.41%	52.41%	242.5	242.5	220.2	220.2
26	280.32	42.15%	42.15%	118.2	118.2	162.2	162.2
27	375.71	53.16%	67.15%	199.7	252.3	176.0	123.4
28	251.57	72.29%	72.29%	181.9	181.9	69.7	69.7
29	126.61	78.60%	78.60%	99.5	99.5	27.1	27.1
30	114.63	58.56%	72.49%	67.1	83.1	47.5	31.5
31	134.82	90.16%	90.16%	121.6	121.6	13.3	13.3
			合計	1,549.2	1,645.9	2,220.2	2,123.5

第參章 補充地形及地質調查

3.1 地形測量

本隧道可行性規劃階段於民國 100 年完成補充地形測量範圍如圖 3-1 所示，總計陸域測量面積約 137 公頃，水域測量面積約 38 公頃，其中進水口包含水域與陸域部份，水域測量係以高程 240m 以下估算，完成之 1/1000 地形測量成果圖詳見本計畫「地形測量成果專題報告」，地形測量成果縮圖如圖 3-2~圖 3-5。

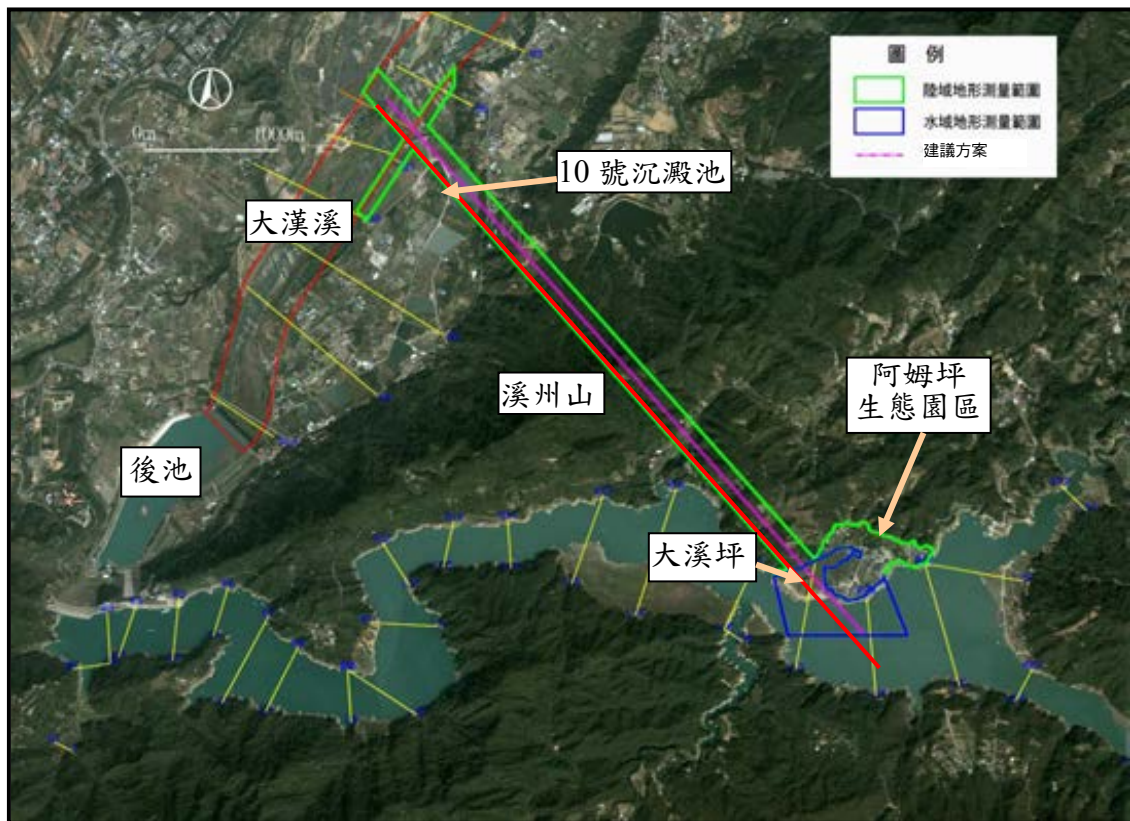


圖 3-1 阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地形測量範圍圖

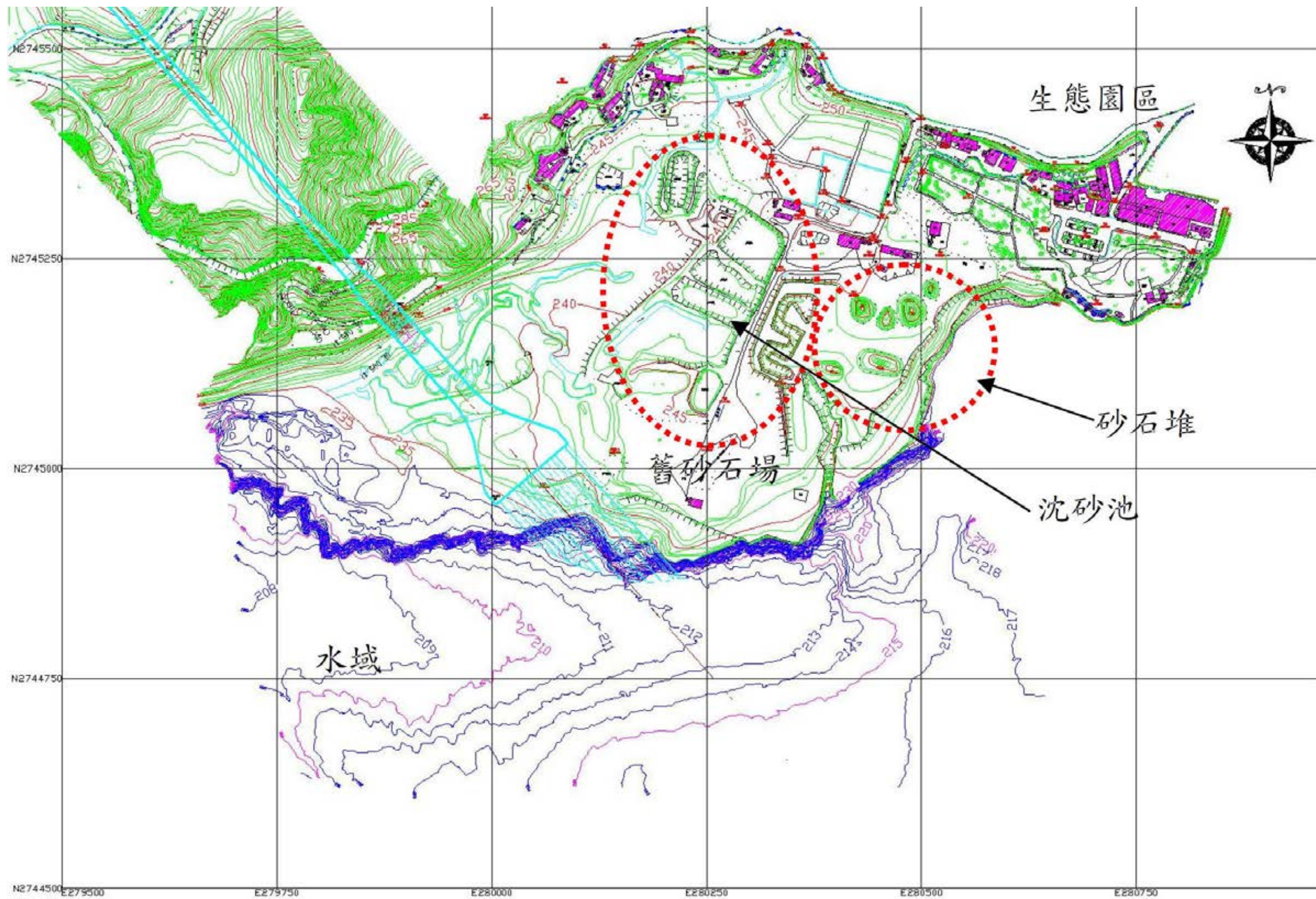


圖 3-2 阿姆坪隧道進水口地形測量成果圖

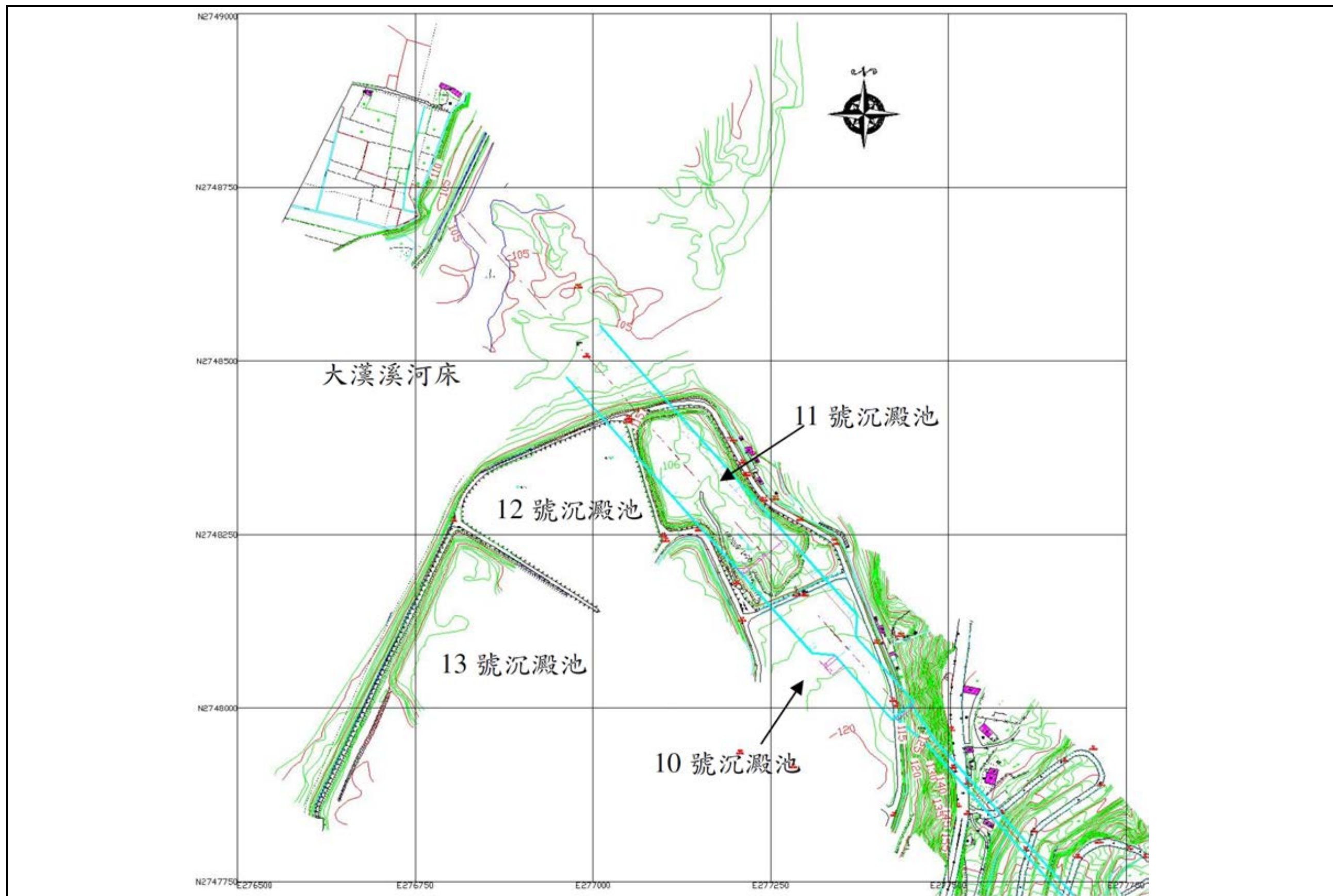


圖 3-3 阿姆坪隧道出水口地形測量成果圖

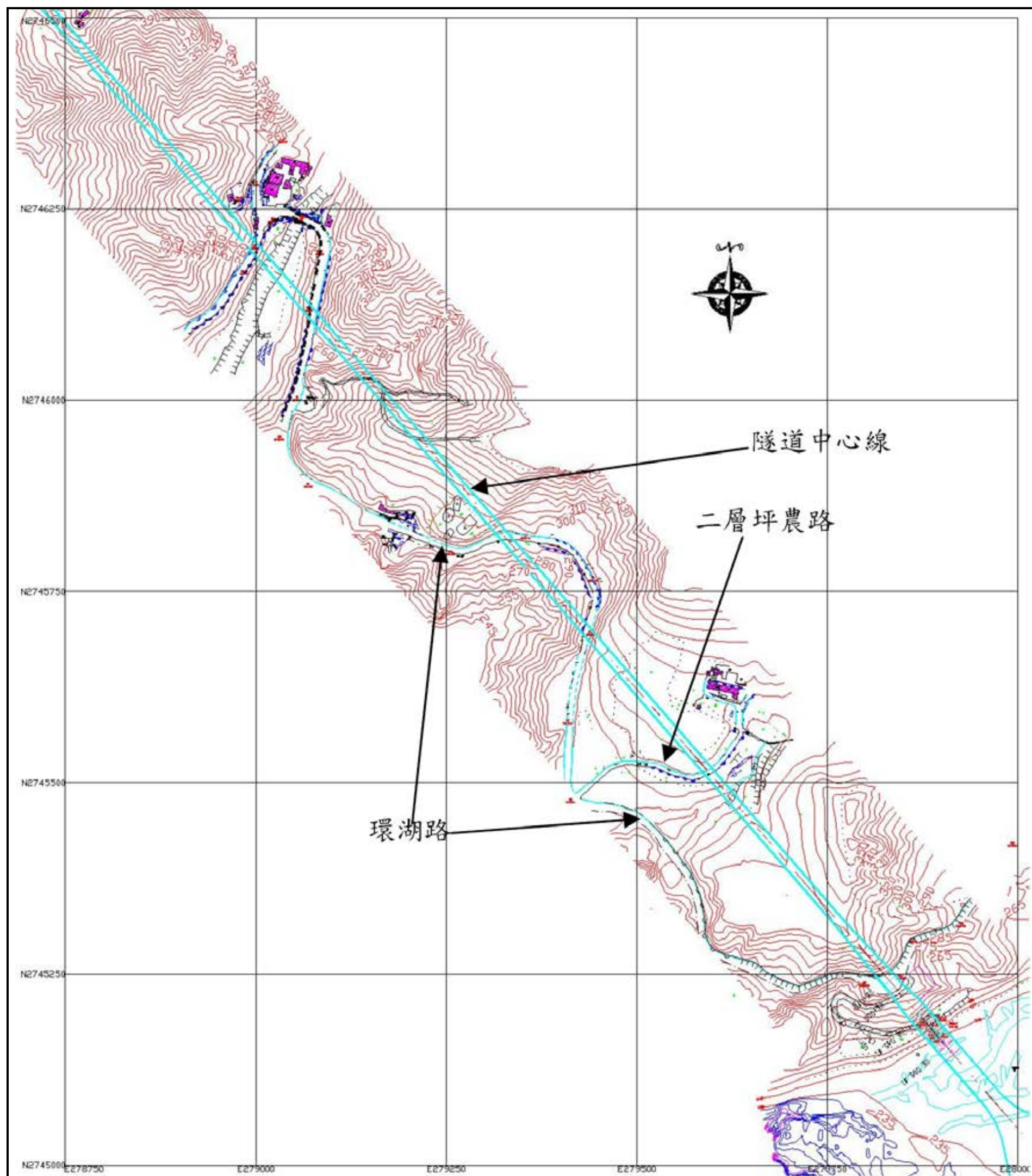


圖 3-4 阿姆坪隧道沿線浦仔溝以南區域地形圖

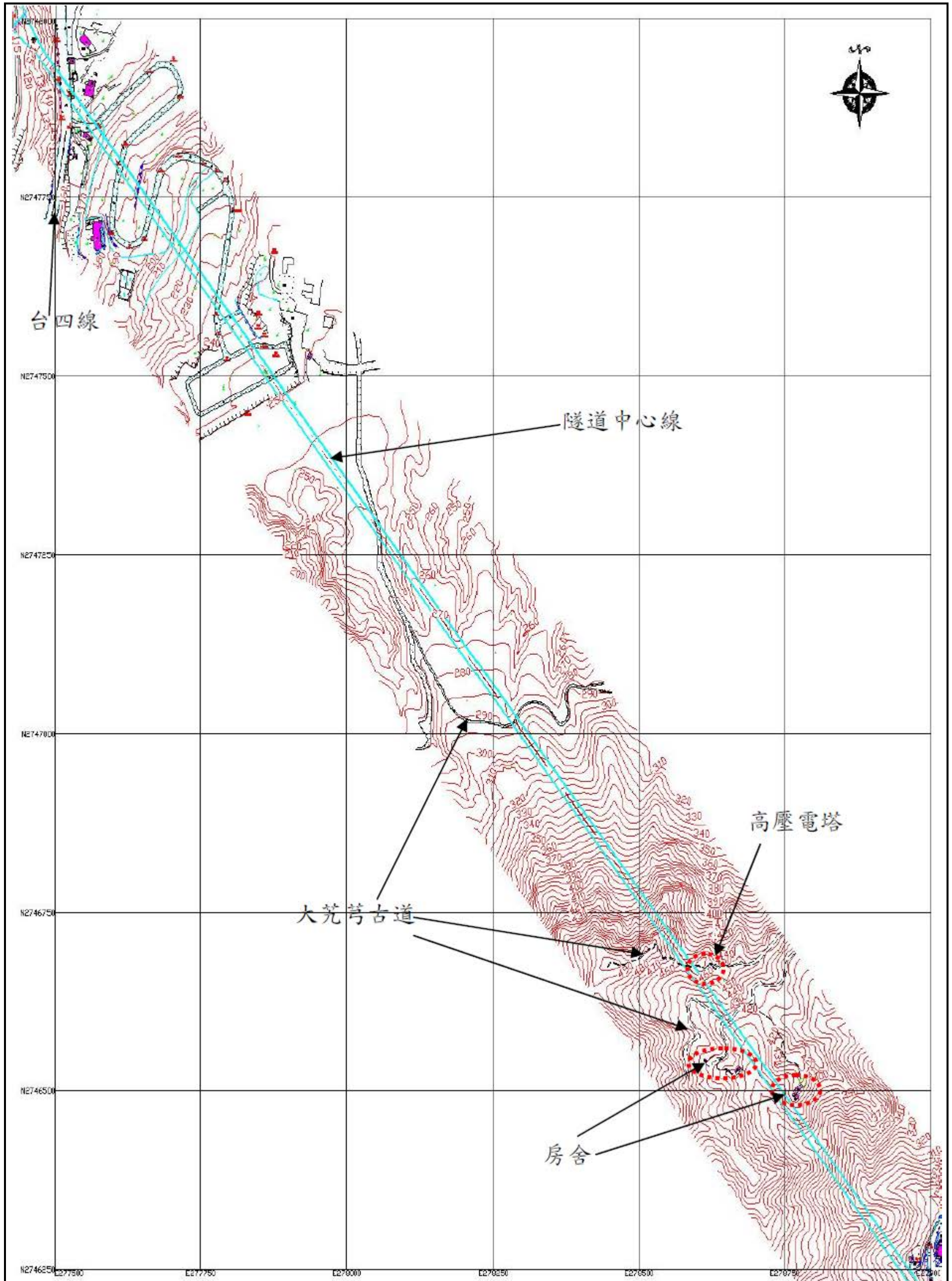


圖 3-5 阿姆坪隧道沿線浦仔溝以北區域地形圖

3.2 地質調查

本隧道可行性規劃階段於民國 100 年地質調查完成地表地質複核，地質鑽探 12 孔，總深度 1,000 公尺，現地及室內岩石試驗，地下水位量測 7 孔，地電阻影像剖面探測全線施作共 4,200 公尺，煤礦坑補充調查，路線工程地質評估及隧道特殊地質評估，完成之詳細地質調查成果詳見本計畫「地質調查成果專題報告」。

1、地質條件：

本隧道可行性規劃階段完成鑽孔目的及孔位座標如表

3-1，隧道路線地質平面如圖 3-6。

表 3-1 阿姆坪隧道可行性規劃階段完成地質鑽孔資料表

鑽孔編號	位置	目的	孔向	座標(TWD97)	高程(m)	深度(m)
99BH-02	0K-420	進水口結構物 桂竹林層	垂直	E280203.5 N2744880.2	218.8	50
99BH-03	0K-240		垂直	E280004.4 N2744963.0	235.0	30
99BH-06	0K-110		垂直	E279995.8 N2745123.7	236.8	30
99BH-07	0k+010	隧道進水口段桂竹林層	垂直	E279891.6 N2745191.5	252.4	40
99BH-08	1k+360	隧道段豎井南港層	垂直	E279011.1 N2746181.9	242.6	75
99BH-09	1k+900	隧道段石底層煤層	75°	E278638.7 N2746591.1	417.3	270
99BH-10	2k+220	隧道段新店斷層破碎帶	75°	E278754.5 N2747012.0	293.5	220
99BH-11	3k+630	隧道出口台 4 線公路卓蘭層	垂直	E277506.5 N2747918.5	155.2	45
99BH-12	3k+700	隧道出水口段卓蘭層	水平	E277463.2 N2747967.5	123.2	100
99BH-13	3k+960	出水口結構物卓蘭層	垂直	E277290.5 N2748164.3	116.9	20
99BH-14	4k+410		垂直	E276979.2 N2748523.1	105.8	20
99BH-16	0k+450	隧道段南莊層煤層	垂直	E279593.4 N2745510.8	319.6	100

(1)進水口：

進水口位於平坦階地，階地堆積層厚度約 2~3 公尺，其下基盤為桂竹林層，岩層位態約 N66E/56S，岩性以粗粒及細粒之砂岩為主，膠結不良，疏鬆易碎，岩質軟弱，大

致完整，層理和節理不發達，單壓強度約 $50\text{Kg}/\text{cm}^2$ ，屬甚弱岩石，進水口地質平面及剖面詳如圖 3-7。

(2)出水口：

出水口位於台 4 線省道下方邊坡，地層屬卓蘭層，岩性以砂岩夾頁岩為主，單壓強度約 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ ，屬甚弱岩石，部分岩體呈未膠結之鬆砂狀態。沖淤池通過#10 及#11 沉澱池，原為河階堆積層已移除作為容納水庫淤泥之空間，河階堆積層下方基盤為卓蘭層，高程約為 105~107 公尺，尾水渠道結構物基礎無法座落於岩盤面上，挑流工所在之岩盤岩石強度較低，為低至中耐久性，岩盤易受沖刷應進行保護，出水口地質平剖面詳如圖 3-8。

(3)隧道：

隧道全長約 3,675 公尺，最大覆蓋約為 310 公尺，沿線地層之工程地質特性桂，竹林層強度為 $50\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 屬甚弱岩；南莊層風化銹染深度達 90 公尺，因膠結變差強度約為 $50\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 屬甚弱岩，有含水層，其夾含凝灰岩位置為後續調查重點；南港層強度約為 $200\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 屬弱岩，通過浦仔溝溪過河段覆蓋約為 52 公尺，因岩盤透水性低應不致發生大湧水，砂岩層中會有受壓水層；石底層強度約為 $350\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 屬中強岩，其煤層分佈確實位置為後續調查重點；新店斷層為阻水層；卓蘭層強度為 $50\text{ Kg}/\text{cm}^2$ 屬甚弱岩，近出水口位置有含水層，隧道通過台 4 線省道下方為淺岩覆約 1.5 倍隧道直徑需進行地質改良，隧道沿線地質平剖面如圖 3-9。

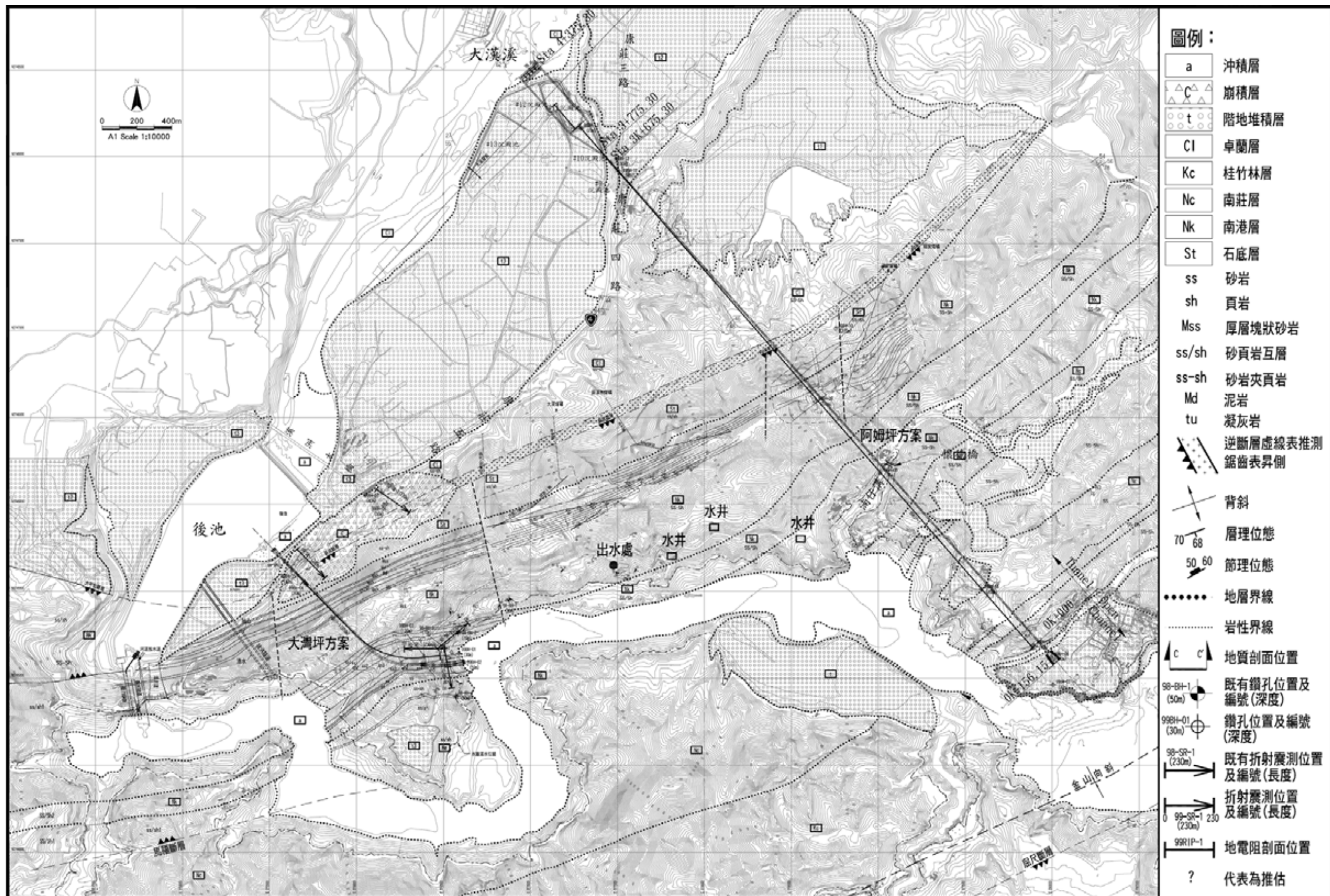


圖 3-6 阿姆坪隧道路線地質平面圖

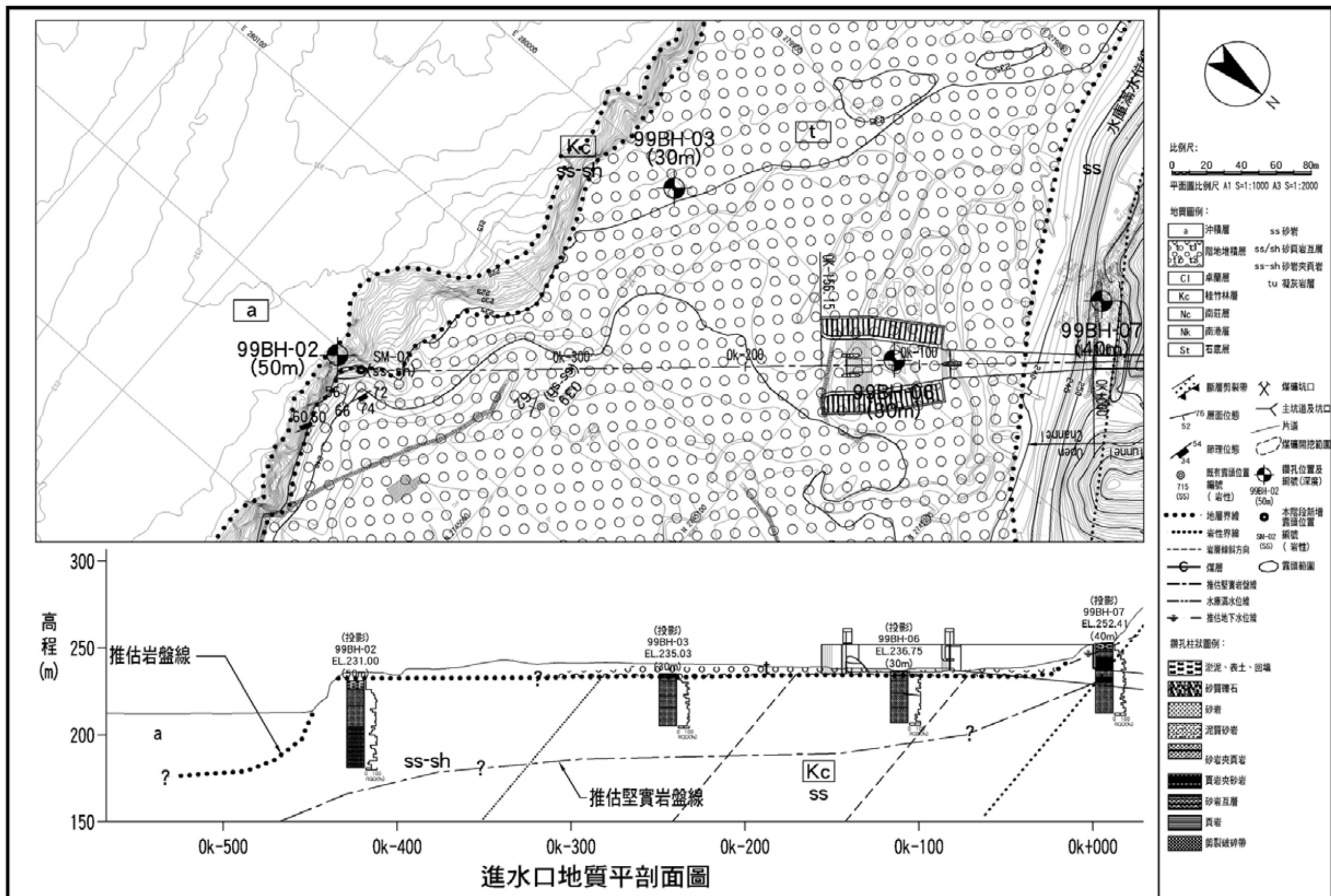


圖 3-7 阿姆坪隧道進水口地質平剖面圖

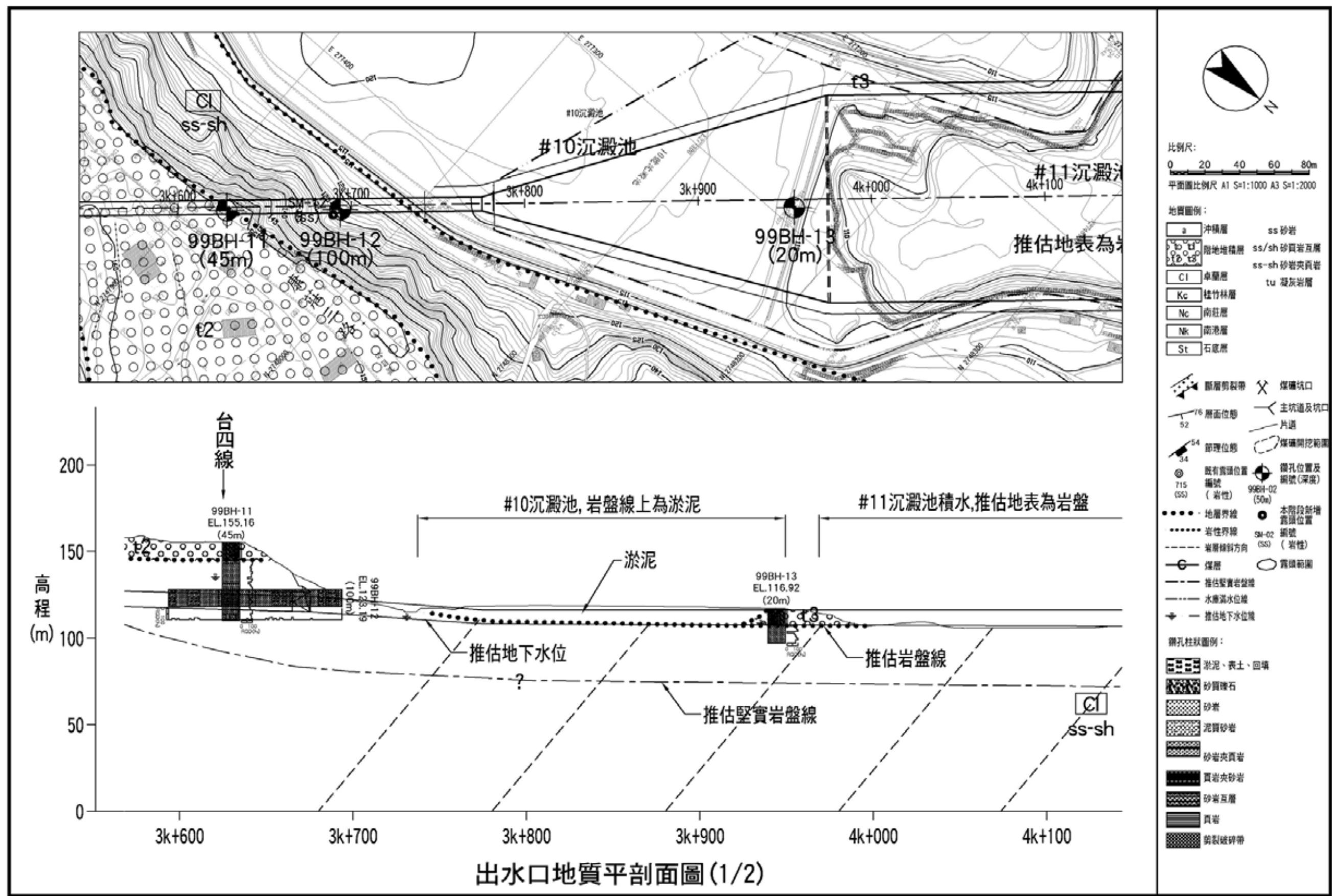


圖 3-8 阿姆坪隧道出水口地質平剖面圖(1/2)

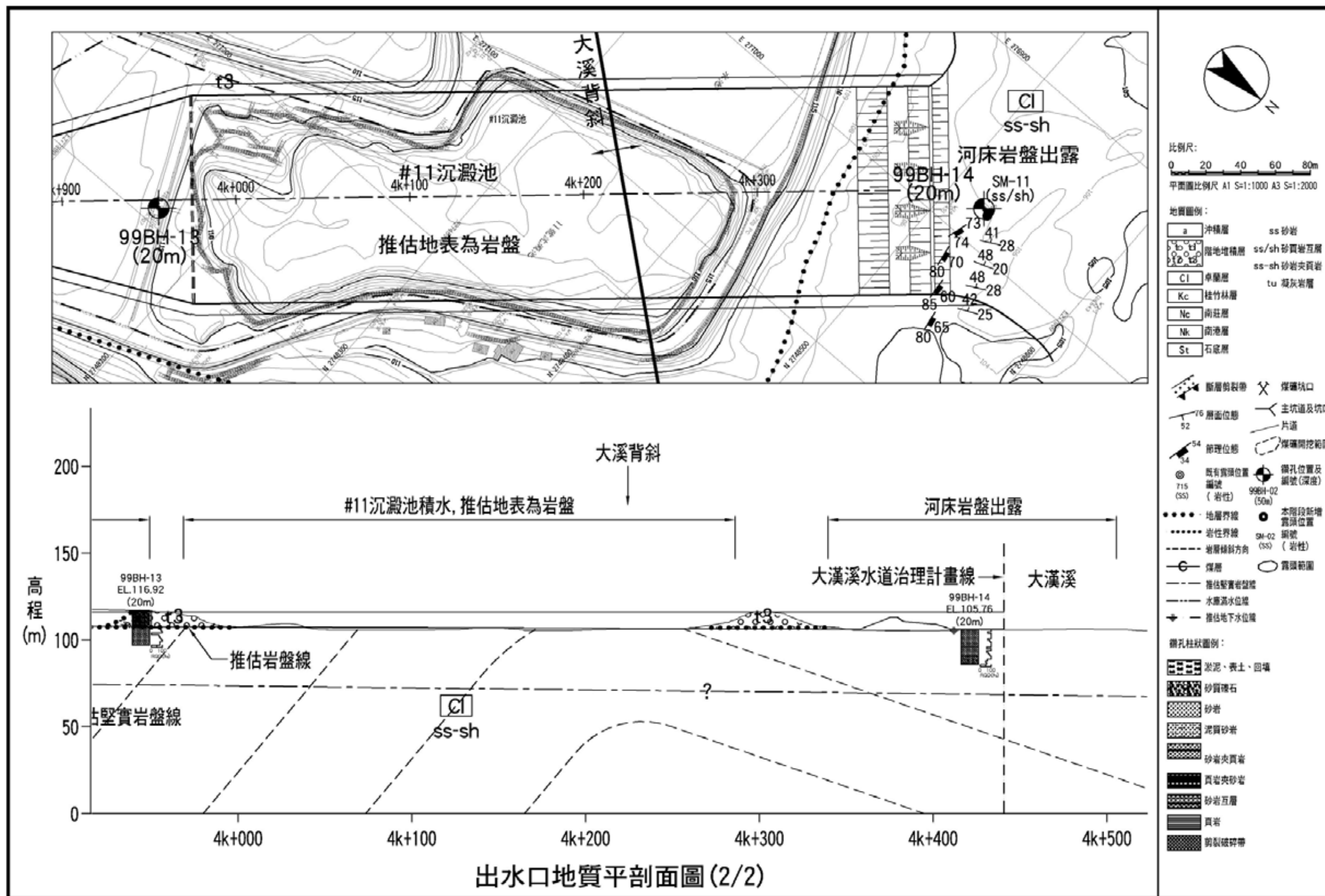


圖 3-8 阿姆坪隧道出水口地質平剖面圖(2/2)

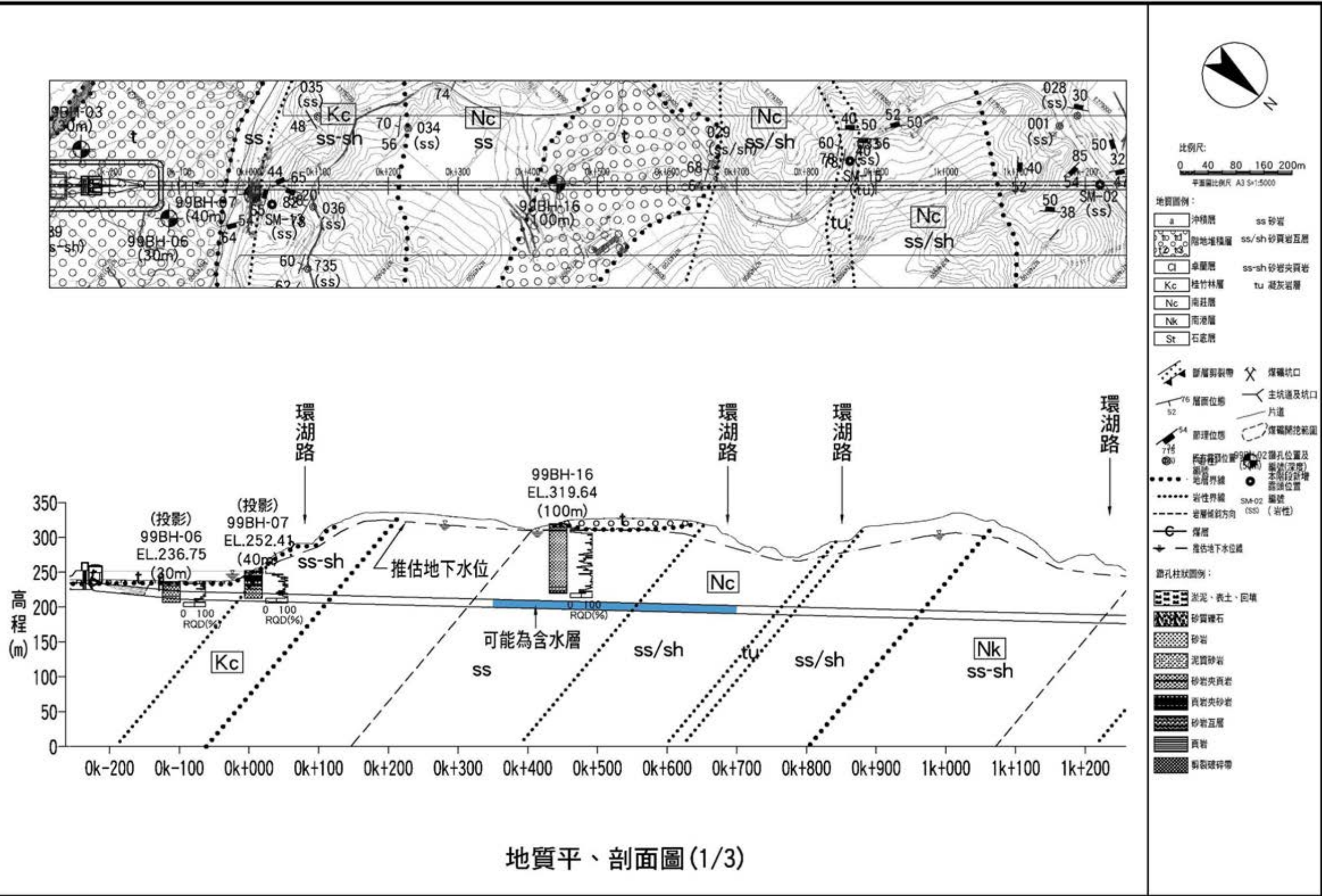
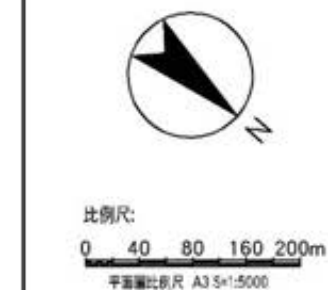
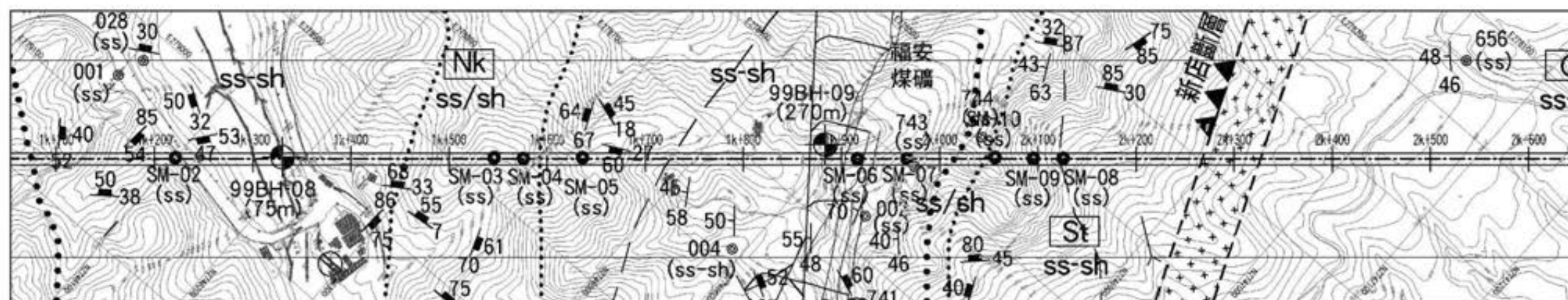


圖 3-9 阿姆坪隧道地質平剖面圖(1/3)



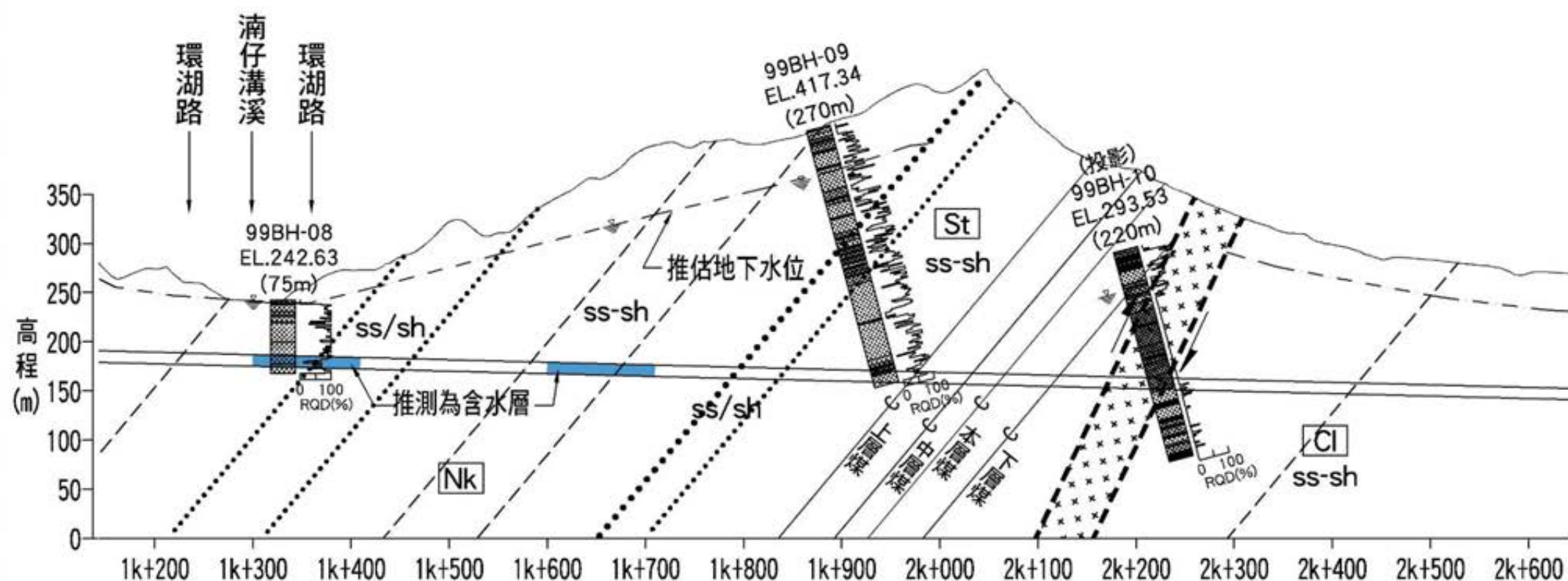
地質圖例：

a	沖積層	ss	砂岩
ss	砂岩互層	ss/sh	砂質泥岩互層
Cl	砂岩	ss-sh	砂質泥岩
Kc	砂岩	tu	凝灰岩
Nc	砂岩		
Nk	砂岩		
St	砂岩		

斷層	煤礦坑口
主坑道及坑口	片道
節理	煤礦開挖範圍
岩性界線	99BH-02 鑽孔位置及
岩層傾斜方向	本階段新增
煤層	鑽孔位置
推估地下水位線	SM-02 編號
	(SS) (岩性)

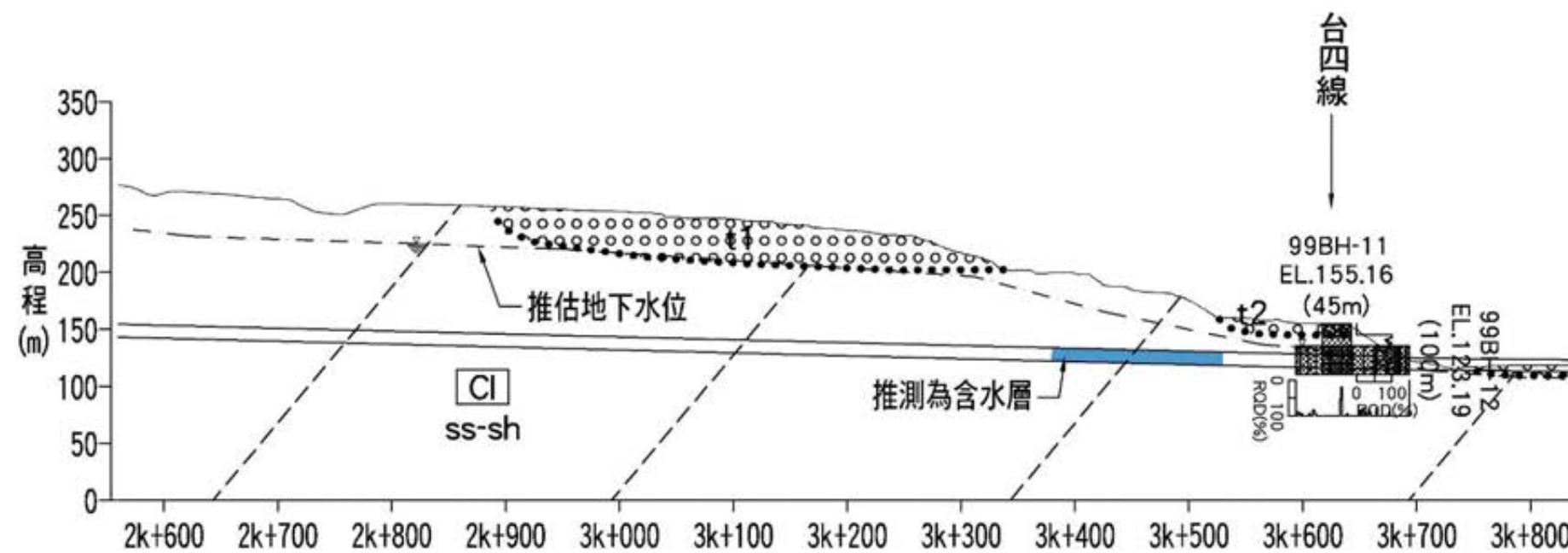
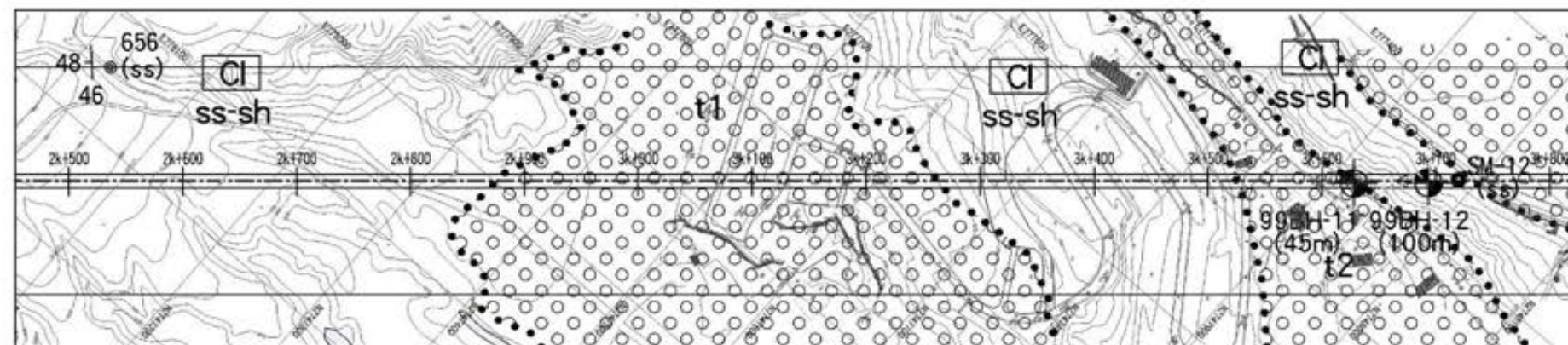
鑽孔柱狀圖例：

淤泥、表土、回填
砂質礫石
砂岩
泥質砂岩
砂岩夾頁岩
頁岩夾砂岩
砂岩互層
頁岩
剪裂破碎帶



地質平、剖面圖(2/3)

圖 3-9 阿姆坪隧道地質平剖面圖(2/3)



地質平、剖面圖(3/3)

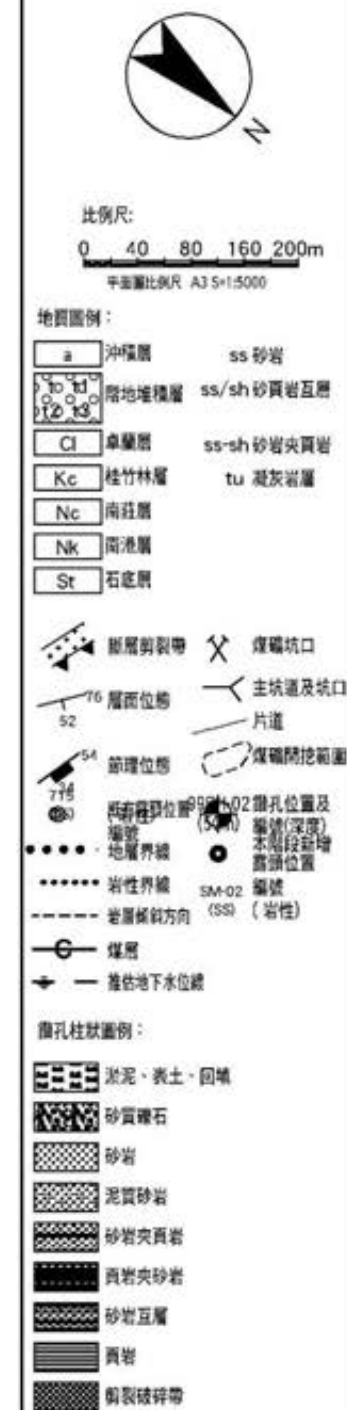


圖 3-9 阿姆坪隧道地質平剖面圖(3/3)

自進水口往出水口隧道沿線各地層及構造所佔比例為桂竹林層佔 3%、南莊層佔 23%、南港層佔 23%、石底層佔 10%、新店斷層佔 2%及卓蘭層佔 9%。

2、工程地質分析：

(1)各地層之岩石力學參數統計分析：

各鑽孔完成試驗數量統計如表 3-2，以不同地層不同岩性為統計分析單元，對於各種試驗成果進行統計分析，作為岩體強度參數的參考。若分析樣品數量不足(≤ 3)，則分別列為上下限值，若分析樣品數量 ≥ 4 ，則主要參考「工程地質手冊」(中國建築工業出版社，第三版，1992)之方法，求得參數平均值以及置信機率 95%的上下限值，分析結果見表 3-3。

表 3-2 阿姆坪隧道鑽孔完成試驗數量統計表

孔 號	深 度 (m)	鑽 孔 角 度	岩 盤 透 水 試 驗	標 準 貫 入 試 驗	土 壤 一 般 物 性 試 驗	岩 石 一 般 物 性 試 驗	岩 石 單 軸 壓 縮 試 驗	岩 石 弱 面 直 剪 試 驗	岩 石 三 軸 壓 縮 試 驗	岩 石 消 散 耐 久 試 驗	岩 石 單 向 度 膨 脹 試 驗	岩 石 彈 性 試 驗	岩 石 抗 張 強 度 試 驗	水 位 觀 測 井
			(組)											(孔)
99BH-02	50	垂直		4		1	1	1	1	1	1	1	1	
99BH-03	30	垂直		2		1	1		1		1		1	
99BH-06	30	垂直		2		1		1		1		1		
99BH-07	40	垂直	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
99BH-08	75	垂直	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1
99BH-09	270	75°				4	2	2	3	3	3	3	3	1
99BH-10	220	75°				2	2	2	1	1	1	1	1	1
99BH-11	45	垂直	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
99BH-12	100	水平				2	1	1	1	1	1	1	1	
99BH-13	20	垂直	1	5		1	1	1	1	1	1	1	1	1
99BH-14	20	垂直	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1
99BH-16	100	垂直	1	4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
合計	1000		8	30	5	20	15	15	15	15	15	15	15	8

表 3-3 阿姆坪隧道各地層及岩性之岩石力學參數表

地層	岩性	一般物性試驗	單軸壓縮	三軸試驗		消散耐久試驗	單向度膨脹	動彈性試驗	靜彈性試驗	抗張強度試驗	弱面直剪試驗			
		單位重	q_u	凝聚力	摩擦角	耐久性	回脹應變	E_s	彈性模數	抗張強度	尖峰凝聚力	尖峰摩擦角	殘餘凝聚力	殘餘摩擦角
		γ_t (t/m^3)	(kg/cm^2)	C_p (kg/cm^2)	ϕ_o (度)		(%)	(kg/cm^2)	E_{50} (kg/cm^2)	σ_t (kg/cm^2)	C_p (kg/cm^2)	ϕ_p (度)	C_r (kg/cm^2)	ϕ_r (度)
石底層	細砂岩	2.496~2.554 2.525 ^{*1} (4)	184.8~468.7 (2)	12.1~23.4 (3)	60.5~63.4 (3)	中~中高 (2)	0.286~ 0.322 (3)	93,433~ 103,182 (3)	32,436~ 61,982 (3)	24.34~ 31.47 (3)	0.63 (1)	26.7 (1)	0.4~0.73 (2)	22.8~25.5 (2)
南港層	泥質砂岩	2.51~2.53 (3)	167.2~244.3 (2)	18.8~48.7 (2)	48.6~62.1 (2)	中 (2)	0.669~ 0.787 (2)	123,419~ 198,862 (2)	35,754~ 37,865 (2)	22.13~ 23.1 (2)	0.45 (1)	25 (1)	0.41~0.47 (2)	22.7~24.3 (2)
南莊層	鬆砂岩	2.26 (1)	14.7 (1)	14.8 (1)	31.2 (1)	低 (1)	0.189 (1)	17,054~ 29,842 (2)	6,123~ 8,777 (2)	9 (1)	0.68 (1)	13.8 (1)	0.24~0.58 (2)	11.5~16.6 (2)
	頁岩夾砂岩	2.46 (1)	63.5 (1)	20.9 (1)	34.1 (1)	中 (1)	0.424 (1)	—	—	6.24 (1)	—	—	—	—
桂竹林層	砂岩	2.53~3.10 (3)	27.9~80.5 (2)	59.0~88.3 (2)	33.4~42.4 (2)	中~中高 (2)	0.345~ 0.36 (2)	114,342~ 136,124 (2)	24,865~ 111,306 (2)	13.96~ 16.53 (2)	0.54 (1)	29.6 (1)	1.19 (1)	21.6 (1)
	細砂岩夾頁岩	2.41 (1)	12.8 (1)	1.6 (1)	54.4 (1)	低 (1)	0.524 (1)	84,385 (1)	17,780 (1)	14.55 (1)	—	—	0.69 (1)	28.3 (1)
	頁岩	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.90 (1)	24.0 (1)
卓蘭層 (出水口)	砂岩	2.22~2.34 2.285 ^{*1} (5)	19.0~60.2 39.6 ^{*1} (4)	8.7~19.3 14.0 ^{*1} (4)	32.4~49.2 40.8 ^{*1} (4)	低~中 (4)	0.23~ 0.53 0.38 ^{*1} (4)	26,135~ 106,618 66,377 ^{*1} (4)	-11,493~ 147,600 68,054 ^{*1} (4)	6.15~ 10.62 8.38 ^{*1} (4)	0.69 (1)	13 (1)	0.44~0.84 0.58 ^{*1} (4)	12.5~14.4 13.5 ^{*1} (4)

說明：1. *1 為平均值

2. () 內為試驗組數

(2)不連續面位態極點統計分析：

分析結果層面位態為 $N62^{\circ}E/64^{\circ}S$ ，主要節理有 2 組，位態分別為 $J1:N16^{\circ}W/60^{\circ}S$ 及 $J2:N58^{\circ}W/59^{\circ}N$ 。

(3)隧道洞口邊坡大圓投影分析：

進水口邊坡為順向坡，分析結果顯示具平面破壞潛能，另層面 B 與節理 $J1$ 及 $J2$ 皆形成楔形破壞潛能，惟因層面不明顯且節理不發達，邊坡發生大規模破壞之可能性低；出水口邊坡為逆向坡，分析結果顯示無平面破壞危險，另節理 $J1$ 與 $J2$ 相交形成楔形破壞潛能，亦因層面不明顯且節理不發達，邊坡發生大規模破壞之可能性低。

(4)隧道沿線岩楔分析：

隧道沿線岩楔分析結果顯示，頂拱有岩楔墜落之危險，左右側壁有岩楔滑落之危險，左右肩部有岩楔滑落之危險。

(5)岩體類別分布：

根據 PCCR 岩體分類系統，隧道通過南莊層、南港層及石底層為 A 岩類，岩體等級 A_{II} 、 A_{III} 、 A_{IV} 、 A_V 分別佔 5%、50%、30%、15%；通過新店斷層區段估為 A_{VI} 岩體佔 9%；隧道通過桂竹林層及卓蘭層為 B 岩類，岩體等級 B_{IV} 、 B_V 及 B_{VI} 岩分別佔 40%、40%、20%。

3、隧道特殊地質評估：

根據行政院公共工程委員會「台灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立研究計畫」(民國 92 年)，以規劃階段標準評估阿姆坪隧道沿線可能遭遇之特殊地質為擠壓性地盤、湧水性地盤、有害氣體性地盤、斷層破碎帶等，分別說明如下：

(1)擠壓性地盤：

隧道通過新店斷層破碎帶區段，評級為高度擠壓地盤，長度估計約 120 公尺，需特別注意，其餘路段因覆蓋較高，地層強度低，分析結果屬輕至高度擠壓，隧道通過這些區段其開挖設計加以適當支撐系統，評估應不致出現擠壓變形情形。

(2)湧水性地盤：

分析結果，顯示隧道沿線均無湧水性地盤。

(3)有害氣體性地盤：

根據煤坑調查成果，推估隧道可能通過石底層上、中、本及下層煤，此區段為極可能含有害性氣體地盤，長度估計約 290 公尺。

(4)斷層破碎帶：

本隧道通過新店斷層破碎帶，評估結果為中度危害，估計長度約 60 公尺。

3.3 水文地質調查

依據隧道全線地電阻影像剖面探查成果，如圖 3.3-1，顯示隧道沿線有 4 處可能含水層，里程分別為 0k+700~1k+020(A)、1k+300~1k+410(B)、1k+600~1k+780(C)、3k+380~3k+530 (D)。

含水層 A 位為南莊層分佈，配合鑽孔 99BH-16(0k+450 深度 100 公尺)，鑽孔未遇南莊層煤層，惟鑽至深度 92 公尺砂岩仍呈風化鏽染之黃棕色，地下水位深度約 7~12 公尺，顯示本處南莊層之地下水位高為含水層，且水位可能上下劇烈變化。

含水層 B 及 C 均為南港層分佈，B 位於隧道通過湳仔溝溪過河段右岸，C 位於隧道南港層與石底層交界處，配合鑽孔 99BH-09(75 度斜孔深度 270 公尺)，於深度 124.6~141.8 公尺因夾

頁岩層為不透水層，其上為南港層存在受壓含水層造成孔口湧水現象，其下為石底層依據地電阻影像剖面探查為高電阻顯示不含水，顯示南港層所夾砂岩層，可能成為受壓水層之通路。

依據地電阻影像剖面探查成果，可清楚判釋新店斷層位置及不含水現象，配合鑽孔 99BH-10(75 度斜孔深度 220 公尺)，於新店斷層上盤石底層地下水位甚低，新店斷層破碎帶亦無地下水分佈，至下盤卓蘭層始有地下水分佈，量測地下水位深度保持約 38~40 公尺，高程約 255 公尺，根據鑽孔方位 N40°W 顯示孔底處地形為一山溝，且臨近高程約 245 公尺的福州圳，研判卓蘭層之地下水位分佈與福州圳有關。

含水層 D 為卓蘭層分佈，位於隧道出水口段，配合洞口水平鑽孔 99BH-12(100 公尺)鑽探結束後孔口持續流水，台 4 線垂直鑽孔 99BH-11(45 公尺)之地下水位變化較大，研判可能與含水層 D 有關。

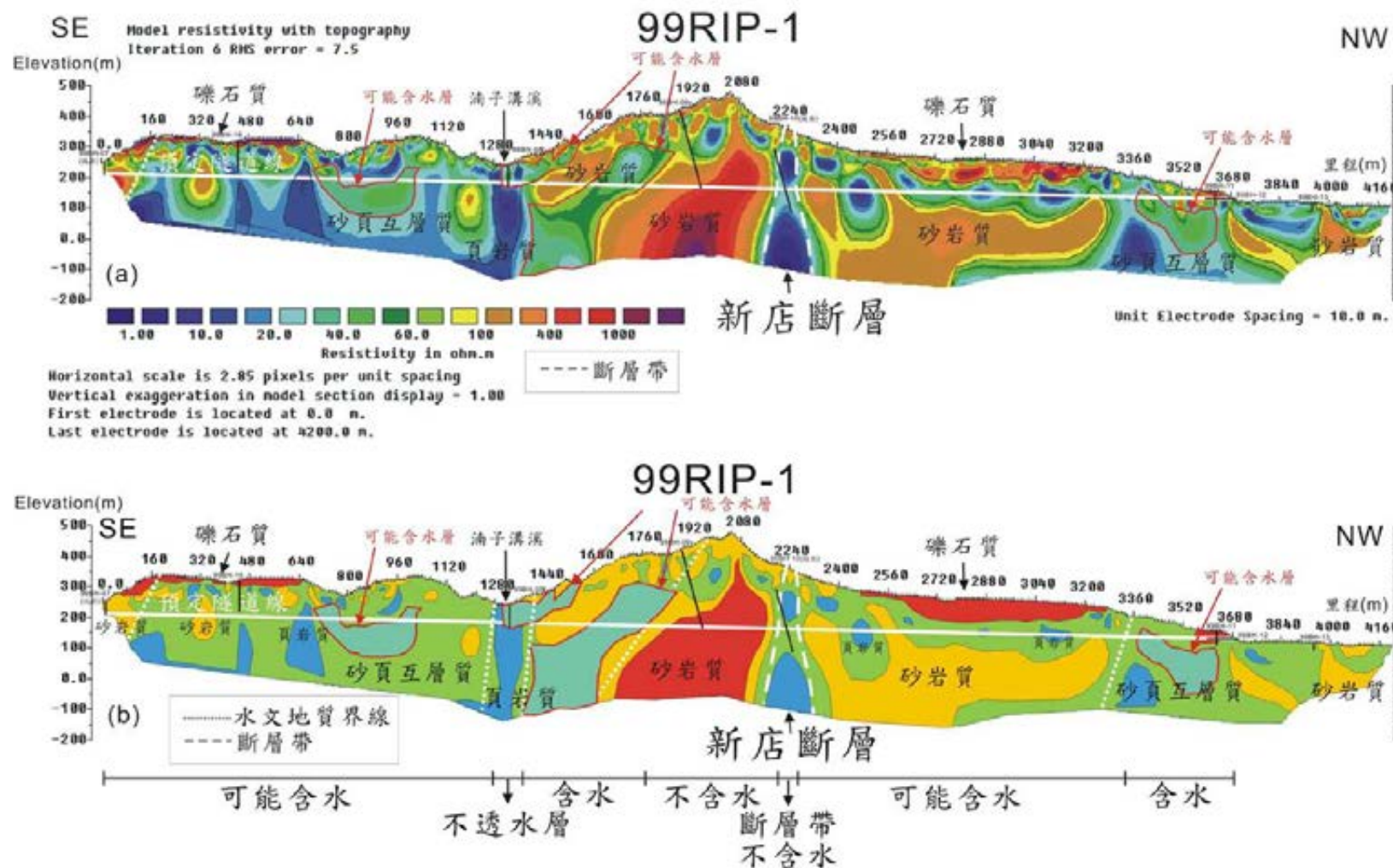


圖 3-10 阿姆坪隧道全線地電阻影像剖面探測成果圖

3.4 煤礦坑調查

套繪礦務局之舊煤礦坑道分佈資料，顯示隧道路線通過福安煤礦，西南側尚有新溪洲煤礦及大溪煤礦，開採地層皆為石底層，且均為礦業權已註銷之舊礦區，相關位置見圖 3-11。

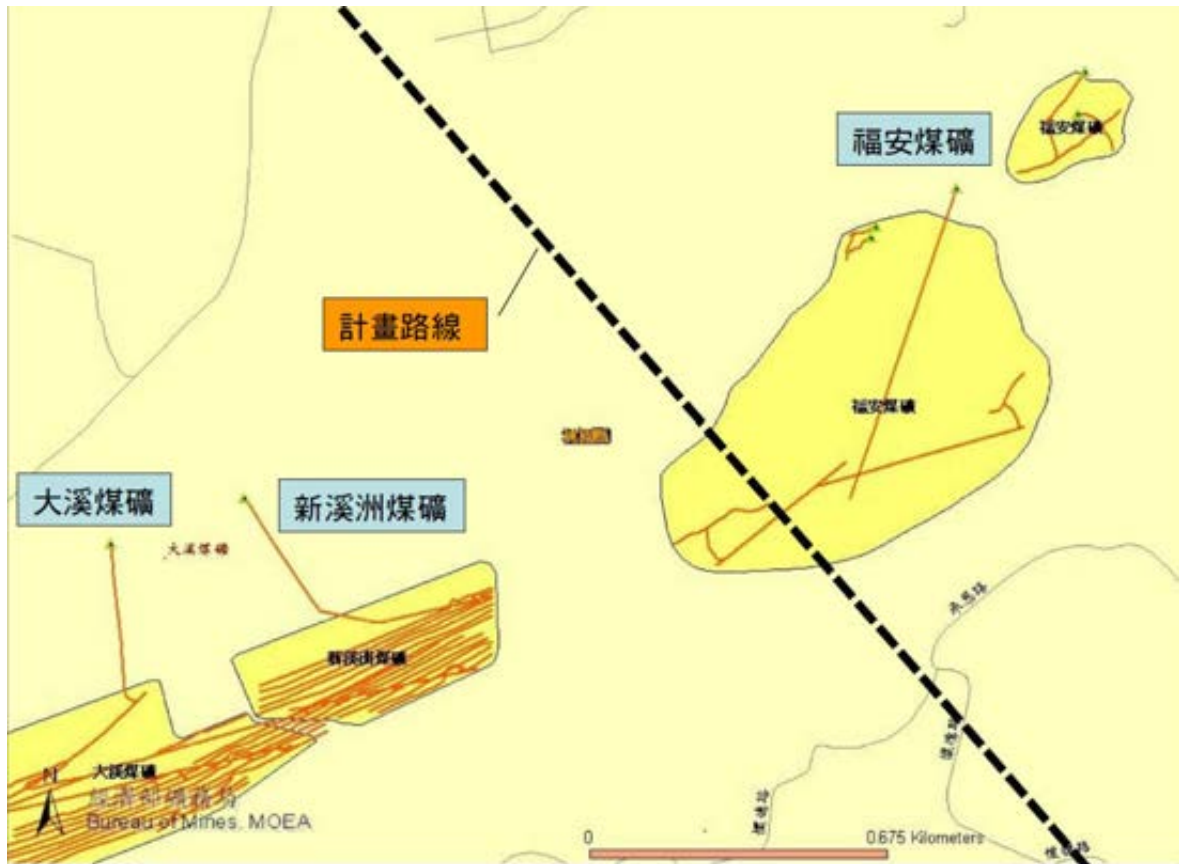


圖 3-11 阿姆坪隧道礦務局煤礦坑分佈資料套繪圖

福安煤礦本斜坑為石門掘進，高 7 尺×寬 7 尺，傾斜 28 度，延長 823 公尺，內有部份沿層坑道；管卸坑為沿層掘進，高 6 尺×寬 7 尺，傾斜 28 度，延長 767 公尺；東邊煤巷有 1~9 片，各煤巷延長 300~500 公尺，平均煤厚 0.8 公尺；西邊煤巷有 1~9 片，各煤巷延長 400~600 公尺，平均煤厚 0.6 公尺。

坑內西斜坑為沿層掘進，高 7 尺×寬 7 尺，傾斜 25 度，延長 423 公尺；煤巷為一片東延長 1,000 公尺，平均煤厚 0.6 公尺；二片東延長 190 公尺，平均煤厚 0.6 公尺；三片東延長 2,200 公尺，

平均煤厚 0.6 公尺；三片西延長 140 公尺，平均煤厚 0.5 公尺；三片半東延長 110 公尺，平均煤厚 0.5 公尺；三片半西延長 80 公尺，平均煤厚 0.4 公尺。

坑內東斜坑為沿層掘進，高 7 尺×寬 7 尺，傾斜 25 度，延長 533 公尺；煤巷為二片東延長 400 公尺，平均煤厚 0.9 公尺；二片西延長 30 公尺，平均煤厚 0.6 公尺；三片東延長 350 公尺，平均煤厚 0.8 公尺；三片西延長 120 公尺，平均煤厚 0.6 公尺；三片半東延長 290 公尺，平均煤厚 0.8 公尺；三片半西延長 230 公尺，平均煤厚 0.6 公尺；五片東延長 230 公尺，平均煤厚 0.7 公尺；五片西延長 300 公尺，平均煤厚 0.5 公尺；六片東延長 90 公尺，平均煤厚 0.6 公尺；六片西延長 35 公尺，平均煤厚 0.4 公尺。

福安煤礦坑內開採圖顯示東西兩斜坑之間及西斜坑北側有南北走向斷層構造存在，此點可由『台灣全省煤田地質構造與煤礦開發之綜合研究(一)北部』文獻中記載「福安煤礦中有一橫斷層」佐證之，另描述與福安煤礦相鄰之大溪煤礦開採煤層傾角約為 70°，與福安煤礦開採煤層傾角約為 50~60°有差異，推估兩煤礦之間亦可能有南北走向斷層構造存在，根據坑內開採圖修繪隧道路線與礦坑及片道分佈平面圖如圖 3-12。

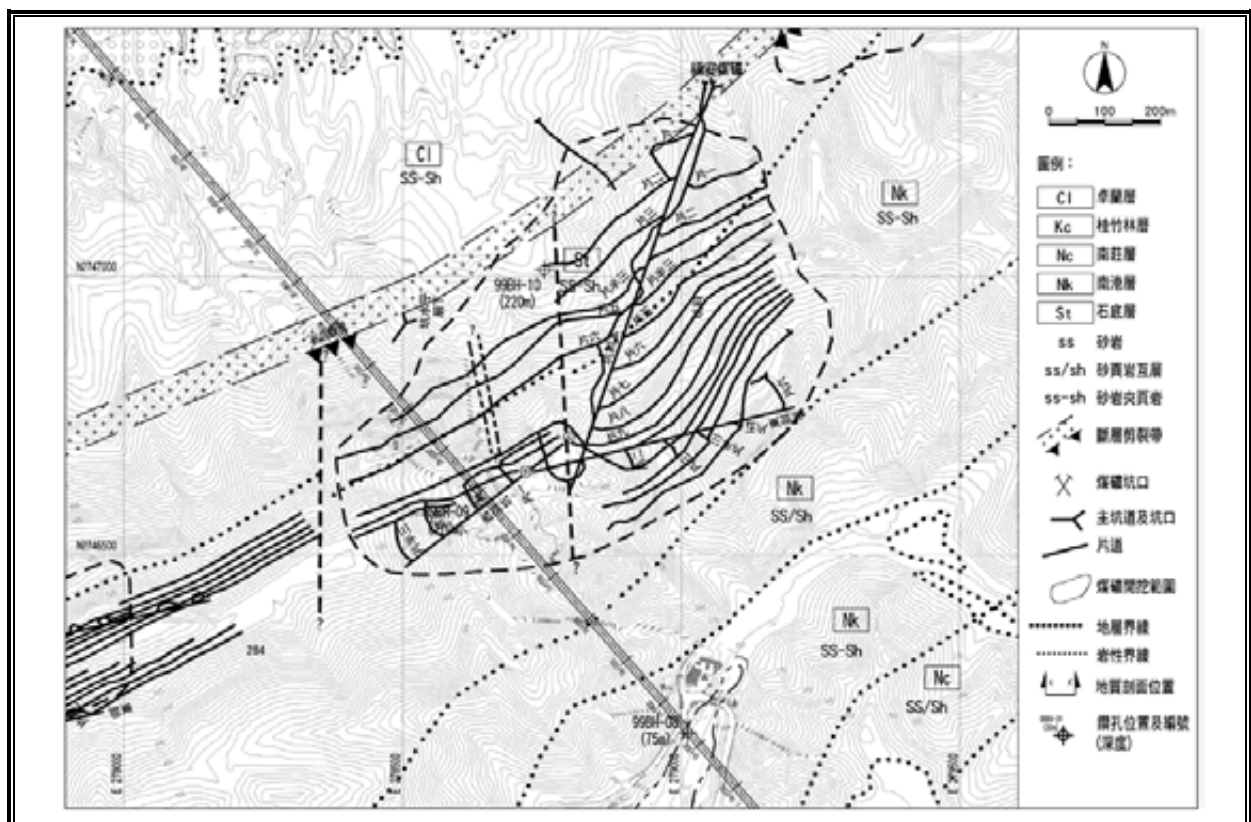
隧道路線通過主斜坑西邊煤巷三片半、五片、六片及九片，西斜坑及二片東、三片東、三片半東，以主斜坑坑口高程 310 公尺為分析基礎，依據各斜坑長度及傾角，修繪隧道高程與礦坑及片道分佈剖面圖如圖 3-13，分析成果敘述如下。

(1)依據主斜坑傾角估算西邊煤巷三片半已略低於隧道高程，惟考量煤層往上連續應可開採，隧道通過煤層採掘跡之可能性大。

(2)依據主斜坑傾角及長度估算主斜坑坑底高程約為-76 公

尺，再以西斜坑傾角及長度估算片道高程，於隧道里程約 1k+900 通過主斜坑西邊煤巷九片及西斜坑二片東、三片東、三片半東上方，距離超過 200 公尺，對隧道不致造成影響。

- (3)配合鑽孔 99BH-09 於深度 220 公尺內並未鑽遇煤層，顯示孔底仍在上層煤之上，因福安煤礦主要開採為本層煤，故以片道延伸為本層煤分佈位置，距離 70 公尺為下層煤分佈位置，綜合推估石底層 4 層煤分佈位置於圖 3-13，隧道約於里程 1k+970~2k+130 可能通過煤層分佈或採掘跡位置。
- (4)因主斜坑西邊煤巷五片至九片間無採煤紀錄，可能因煤層被斷層所截斷，並造成煤層傾角略為改變，往地表處煤層傾角為 50 度。



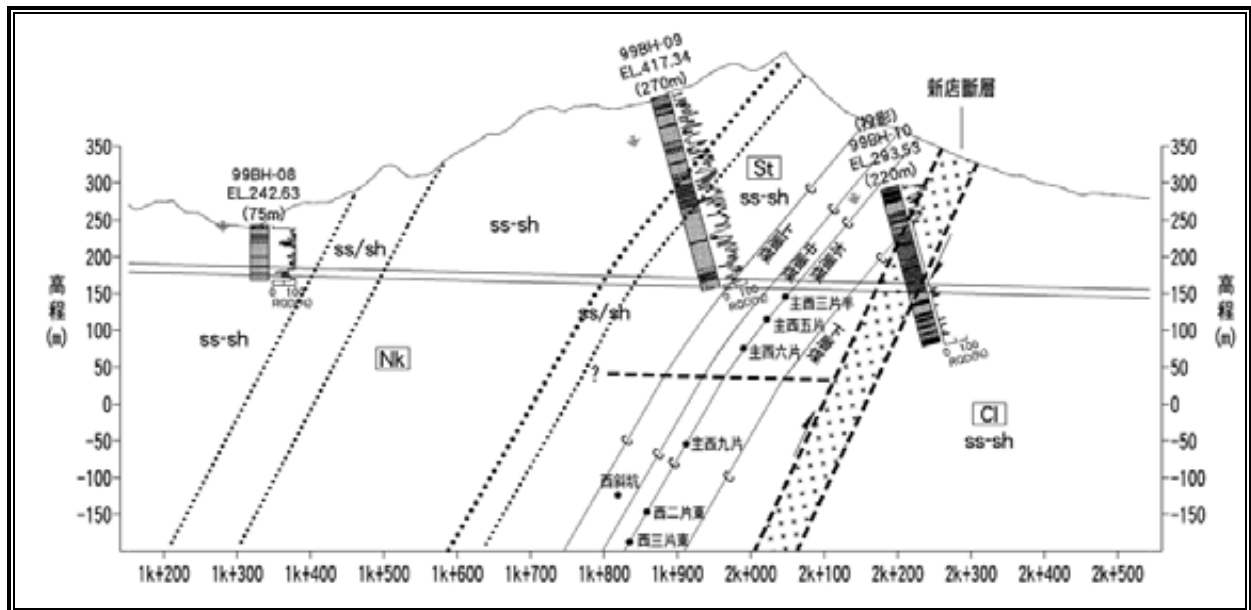


圖 3-13 阿姆坪隧道與福安煤礦礦坑及片道分佈剖面圖

3.5 後續基設階段補充地質調查重點

阿姆坪隧道規劃階段完成工程地質評估剖面如圖 5-1，對於隧道沿線之地質分布狀況已有初步掌握，惟根據審查委員意見，對於隧道沿線仍有局部區段地質分佈尚待進一步釐清，歸納後續階段補充地質調查重點說明如下，其中地質構造部分新店斷層位置及寬度已可確定(99-BH-10 鑽孔)，出水口地質狀況亦可確定(99-BH-11 及 12 鑽孔)。對於尚未釐清及仍需進行補充調查之位置。

1、由於規劃過程中路線進行微調之關係，導致可行性規劃階段完成隧道進水口洞口垂直鑽孔 99BH-7(長度 40 公尺)及過河段豎井垂直鑽孔 99BH-8(長度 75 公尺)未在路線上，但出水口完成台 4 線垂直鑽孔 99BH-11(長度 45 公尺)及洞口水平鑽孔 99BH-12(長度 100 公尺)仍位於路線上，故基設階段補充地質調查建議針對進水口洞口及施工豎井位置進行補充鑽探調查。另大漢溪堤防位置前階段未進行鑽探調查，亦針對堤防位置進行補充鑽探調查。

2、可行性規劃階段南莊層鑽孔 99BH-16(深度 100 公尺)內並未鑽

遇煤層，以及石底層鑽孔 99BH-09(傾斜 75 度深度 270 公尺)亦未鑽遇煤層，故後續基設階段仍須針對南莊層之凝灰岩及煤層，以及石底層之煤層，進行補充鑽探調查以確認分布狀況。

- 3、可行性規劃階段隧道全線地電阻影像剖面探測成果，於出水口段卓蘭層中發現可能含水層 D，尚缺少鑽探資料進行調查，故後續基設階段仍須針對卓蘭層中發現可能含水層 D 範圍進行補充鑽探調查，以確認可能含水層 D 之影響範圍。

第肆章 工程方案研擬

4.1 初步規劃檢討

本工作於期中階段辦理阿姆坪隧道(原 D 案)相關可行性規劃(民國 100 年 10 月)，針對水規所 99 年完成「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-初步規劃報告」方案 D2 之成果進行檢討，說明如下。

4.1.1 防淤功能評估

「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究-總報告書」曾利用該計畫所開發的三維模式，模擬方案 D2 及其他方案的排砂效率，綜合如表 4-1 所示，成果顯示以辛樂克及薔蜜颱風為例，方案 D2 排砂效率分別為 27.2%及 29.4%，由於方案 D2 設置於斷面 20 及 21 之間，位於異重流潛入點之下游，故可判斷上述排砂效率係指懸浮質，而非全砂之排砂比，亦即若以全砂而言，其排砂比將更低。

另由水規所之水工模型試驗，針對 D 方案以艾利颱風事件進行模擬，其結果之總排砂比以濃度分析法及曬乾法分別為 56.2%與 55.2%，其中 D 方案為 7.7%，遠低於初步規劃報告所估算數場颱風之平均排砂效率 61%。

本工作評估原初步規劃之排砂比需進一步檢討評析。

表 4-1 石門水庫初步規劃各防淤方案排砂效率模擬成果表

防淤操作案例	辛樂克颱風	薔蜜颱風
排洪隧道改善	34.5%	36.1%
A2 案	19.9%	19.9%
C1 案	44.8%	41.3%
D2 案	27.2%	29.4%
排洪隧道改善搭配 A2 案	38.5%	43.3%
排洪隧道改善搭配 D2 案	37.9%	40.2%
A2 案改善搭配 C1 案	49.5%	50.2%
C1 案改善搭配 D2 案	54.8%	56.3%

註：12 小時平均。

資料來源：石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究-總報告書，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。

4.1.2 防洪容量評估

石門水庫若欲維持最高水位高程不超過 250.58 公尺之最佳策略為水庫之洩水能力須達最大可能之洪水(PMF)，依石門水庫 PMF 與因應全球氣候變遷，為提昇水庫洩洪能力之流量，本工作評估阿姆坪隧道規劃設計流量維持與初步規劃相同為 1,600 秒立方公尺。

4.2 工程方案研擬(原 D 案)

本工作於期中階段辦理阿姆坪隧道(原 D 案)相關可行性規劃(民國 100 年 10 月)，說明如下。

4.2.1 可能路線方案研擬

本工作檢討原初步規劃方案 D2 進水口距離流心線為 285 公尺(詳如圖 1-2)，由於距離流心線較遠，受異重流沿深槽運動之慣性作用及明渠進水，由水工模型試驗顯示其排砂比僅 7.7%。故本工作研擬 3 條路線方案進水口距離流心線較近如圖 4-1 所示，分別稱為方案 D3、D4、D5。

出水口之受水體僅有大漢溪一處，而考量隧道之出口應降低對於台 4 線與其周邊鄰房之影響，以及尾水渠道應儘量使用公有地，減少土地徵收經費及徵收過程所衍生之問題，出口段僅能選擇通過#10 及#11 沉澱池，再放流至大漢溪。

各方案路線及內容綜整詳如表 4-2，其中因方案 D5 為直線段，隧道長度最短，當 3 種方案搭配相同之進出水口工法時，工程經費將最低。由於本隧道除進水設施段(弧型閘門上游段)為壓力流外，當水流通過弧型閘門進入輸水隧道段後，水流變為明渠流，就水理條件而言，直線段優於彎道段，因此本工作建議採用方案 D5 直線路線進行布置，具有較低之工程經費優勢及較佳之水理條件。

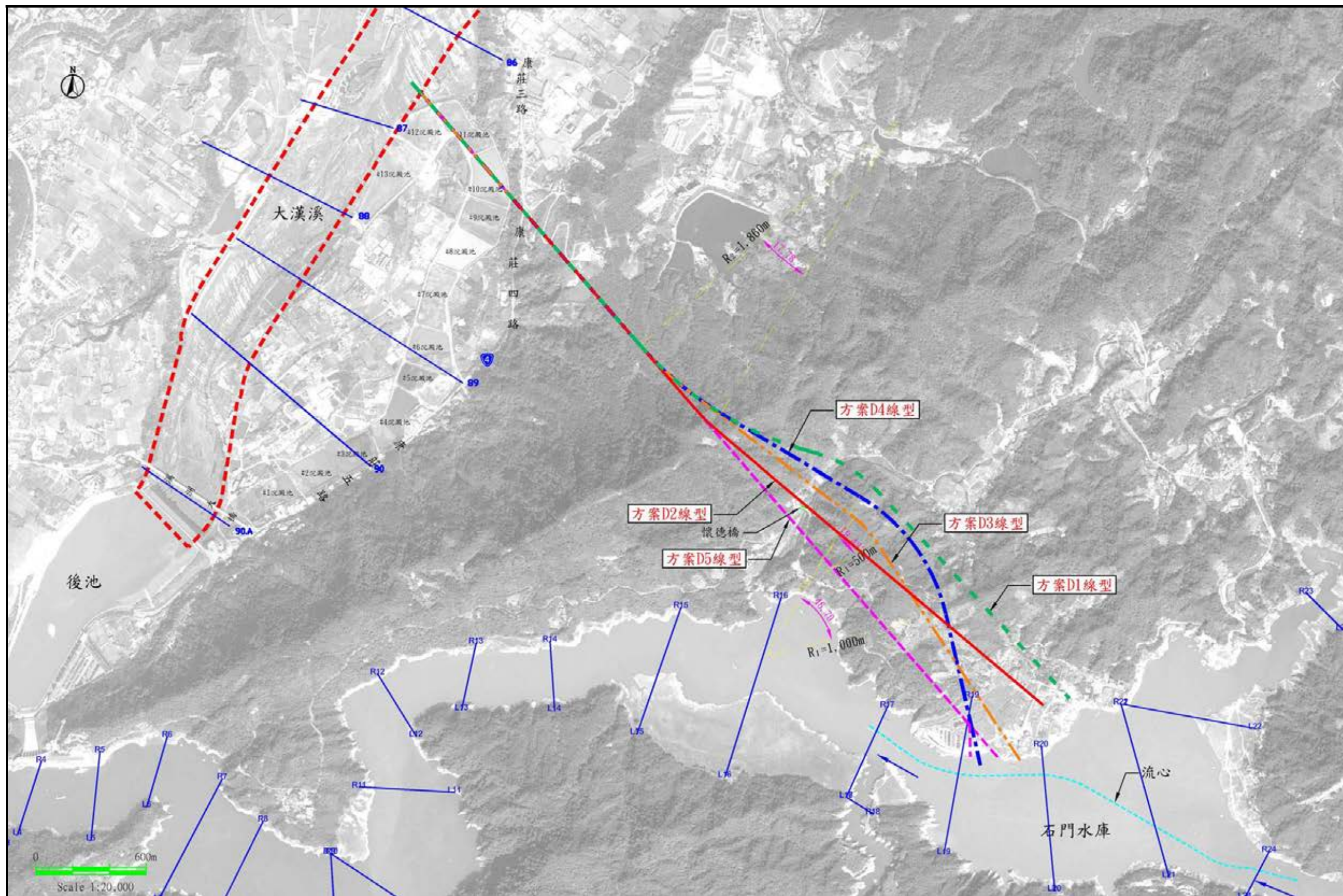


表 4-2 方案研擬阿姆坪隧道路線綜整表

方案	進水口位置	方案長度(m)	隧道曲率半徑	出水口位置
D3	斷面 19~20	4,921	$R_1=500\text{m}/R_2=1,860\text{m}$	大漢溪斷面 87~86
D4	斷面 19 上游	5,014	$R_1=10,00\text{m}/R_2=1,860\text{m}$	
D5	斷面 19~20	4,864	直線	

4.2.2 可能進水口方案研擬

原初步規劃 D2 方案之進水口採用明渠方案，進水口引水渠道之底床高程為 210 公尺，頂部回填至高程 252 公尺，進水設施分為二段設計，入水口處(0k+000)設置梳子壩，其上方再設置攔木索；而在水流進入隧道入口前(0k+073)設置攔污柵，高度 16.86 公尺、寬度 12 公尺，通過攔污柵後再設置二道直立式閘門作為止水閘門及操作閘門(詳如圖 1-4)。

本工作依現場地形測量與地質調查成果，共研擬 7 種可能之進水口方案，分別稱為明渠胸牆(直線)方案、隧道(直線與轉彎)方案、箱涵(轉彎)方案、中型象鼻引水管(直線)方案及大型象鼻引水管(直線與轉彎)方案。其中所指轉彎乃部份設施與進水口處地形正交，方能取得較佳之施工條件，而轉彎段均為壓力流，出了轉彎段仍維持隧道為直線段，故不影響隧道水理。

當時根據水規所完成之水工模型試驗成果，可定性的研判以象鼻引水管往水庫方向延伸作為進水口之排砂效率，將明顯優於明渠胸牆、箱涵及隧道等方案將進水口佈設於阿姆坪台地內部之排砂效率。

4.2.3 可能出水口方案研擬

原初步規劃 D2 方案隧道出口位於#10 沉澱池東側省道台 4 線下邊坡，隧道出口至大漢溪之尾水渠道則通過#10 及#11 沉澱池，經套繪地籍圖檢討，原規劃路線經過#10 及#11 沉澱池所使用之土地皆為公有地，無徵收私有土地問題，故本工作維持尾水渠道通過#10 及#11 沉澱池之方式布置。

本工作研擬隧道出口位於台 4 線下邊坡，地形陡峭，有減少洞口開挖影響範圍之優點，隧道出口仰拱高程設定 115 公尺，由地形測量資料得知台 4 線路面高程為 155 公尺，故覆蓋層厚度為 $155 - 127 = 28$ 公尺，約 2.5 倍隧道直徑，因此本工作設定隧道出口高程為合理。

4.2.4 出口沉澱池

本工作研擬出水口之消能方案有投潭消能池方案及挑流工方案，考量挑流工方案工程經費較投潭消能池方案為低，且可減少#10 及#11 號沉澱池之用地，同時 12 公尺尾水渠道有利於輸泥設施布置，故本工作以挑流工作為出水口消能方案

4.2.5 可能方案組合

由於本工作隧道路線採用直線線型，以及出水消能型式採用挑流工，因此可能之工程方案可收斂為由進水口方案決定，故共有 7 種可能之方案組合，詳如表 4-3 所示。

表 4-3 方案研擬阿姆坪隧道可能方案組合

項次	方案別	進水口段線型	進水口方案	出水工方案
1	D5-1	直線	明渠胸牆底孔進水方案	挑流工
2	D5-2	直線	隧道進水方案	
3	D5-3	轉彎	隧道進水方案	
4	D5-4	轉彎	箱涵進水方案	
5	D5-5	直線	中型象鼻引水管進水方案	
6	D5-6	直線	大型象鼻引水管進水方案	
7	D5-7	轉彎	大型象鼻引水管進水方案	

4.2.6 方案評估與擇定

本工作對於方案 D5 直線線型於進水口採大型象鼻引水管進行工程初步規劃，其中方案 D5-6 引水鋼管為直線斜交地形，導致引水鋼管位於斜坡上，造成 2 支引水鋼管與地形高差甚大，須進行大規模開挖，初估水下開挖量約 1.73 萬立方公尺；方案 D5-7 引水鋼管為轉彎正交地形，因台地邊緣地形較為陡峭，導致引水鋼管縱向高差變化大，且高於岩盤面達

25~30 公尺，施工上雖可克服，惟考量高橋墩在地震作用下之振動週期較長，將引致墩頂位移較大，會對鋼管產生額外應力，不利結構安全。

本工作另研擬 D6 方案，對進水口進行較佳布置以降低水下開挖量體，路線仍保持直線，D6 方案以 D5 方案出水口為固定點，出水渠道仍利用#10 及#11 沉澱池，將進水口位置往東北移動 65 公尺，D5 及 D6 方案之線型如圖 4-2 所示，進水口佈置如圖 4-3 所示，其中照片顯示水庫水位高程約 220 公尺之現況，D6 方案平台較平緩，D5 方案則較陡峭，D6 方案進水口大型象鼻引水鋼管為轉彎正交地形，引水鋼管與地形及岩盤面相關位置剖面如圖 4-4 所示。

本工作就防淤功能、施工技術、工期及工程經費等 4 項做為方案評選之因子，於原 7 種可能方案組合外再加 D6 方案成為 8 種方案進行比較如表 4-4 所示，結果顯示 8 個可能方案之施工技術均屬可行；而工期則以採用大型引水鋼管方案之工期較其他方案要多出約 3 個月，基本上 8 個方案工程完成之時間點差異不大；而就工程經費而言，採象鼻引水管方案其工程經費則介於明渠胸牆方案(直線)、隧道方案(直線)及隧道方案(轉彎)之中間；惟若以本工程最重要之指標因子防淤功能而論，象鼻引水管方案之防淤效率以 C1 案之試驗成果顯示，則高於其他方案約 3.85 倍，故其整體經濟效益將最佳，另再以象鼻引水管方案之工程經費相比，大型象鼻引水管較中型象鼻引水管工程經費低。

因此本工作採用 D6 直線線型為規劃路線，進水口依象鼻引水管施工安裝工法不同研擬 D6-1 及 D6-2 方案，其中 D6-1 方案為樁式基礎，D6-2 方案則為明挖工法，經評估明挖工法對進水口整體結構安全性較佳，故本工作以 D6-2 方案進行工程可行性規劃。

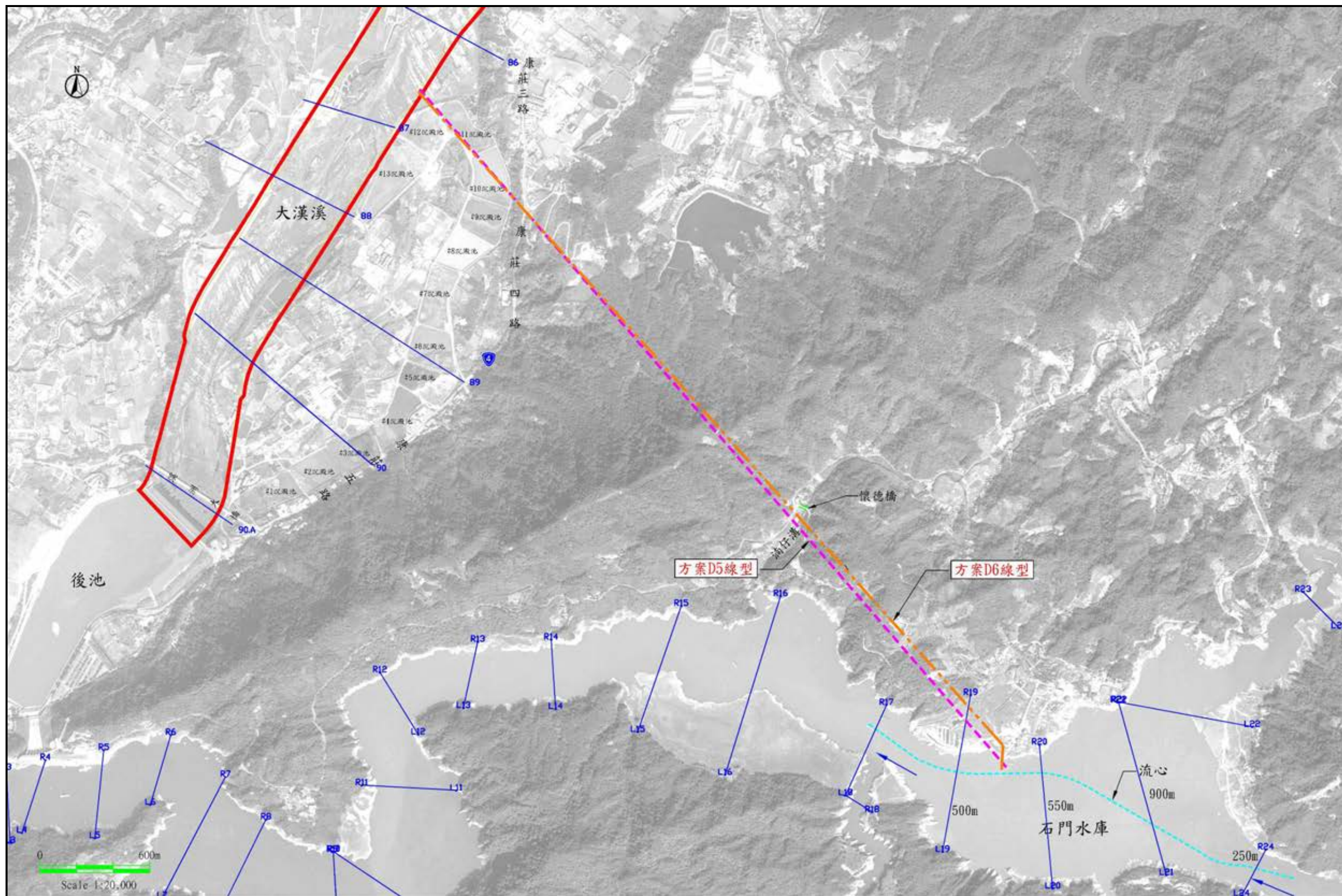


圖 4-2 方案研擬阿姆坪隧道方案 D5 及 D6 線型平面圖

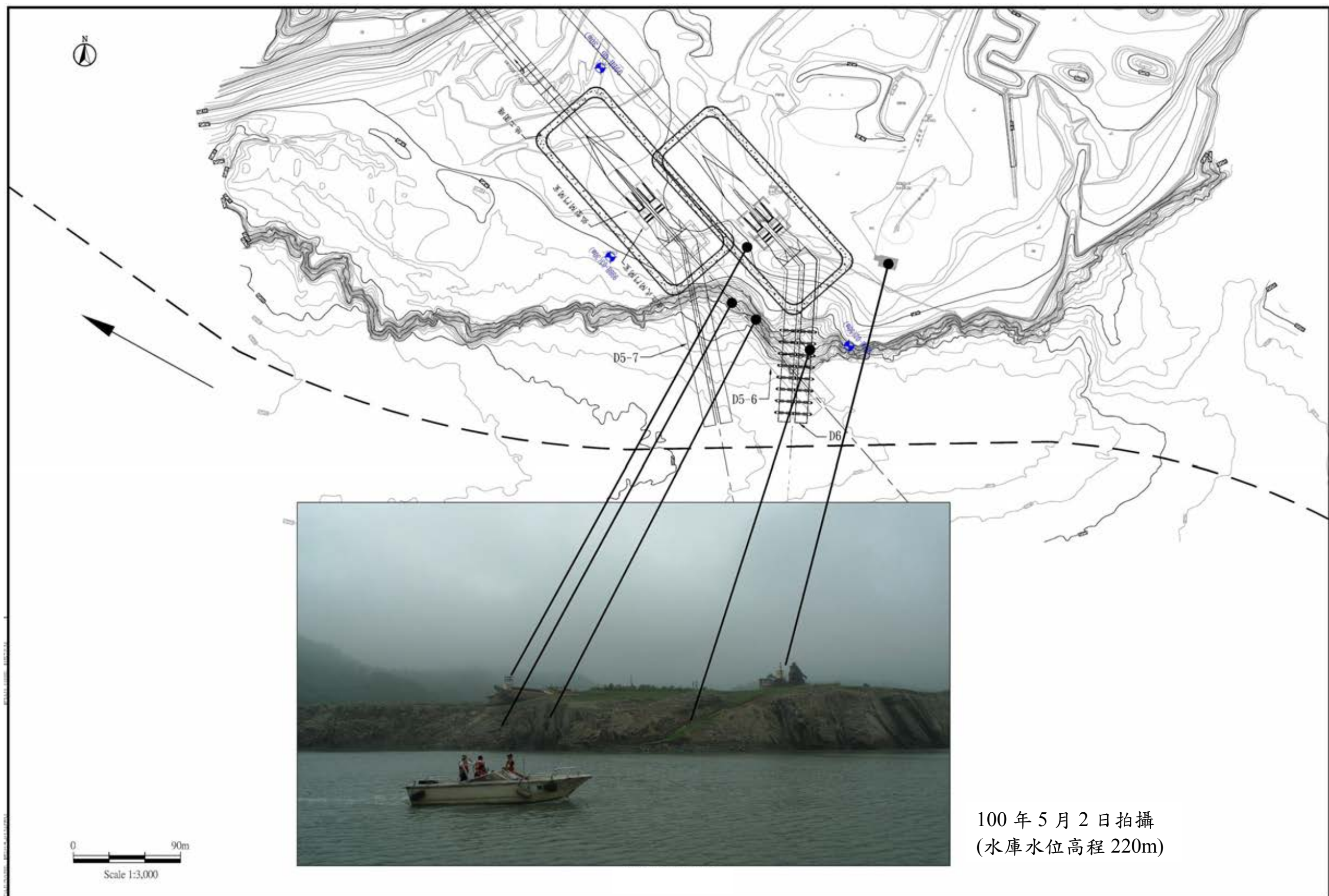


圖 4-3 方案研擬阿姆坪隧道方案 D5 及 D6 進水口現況

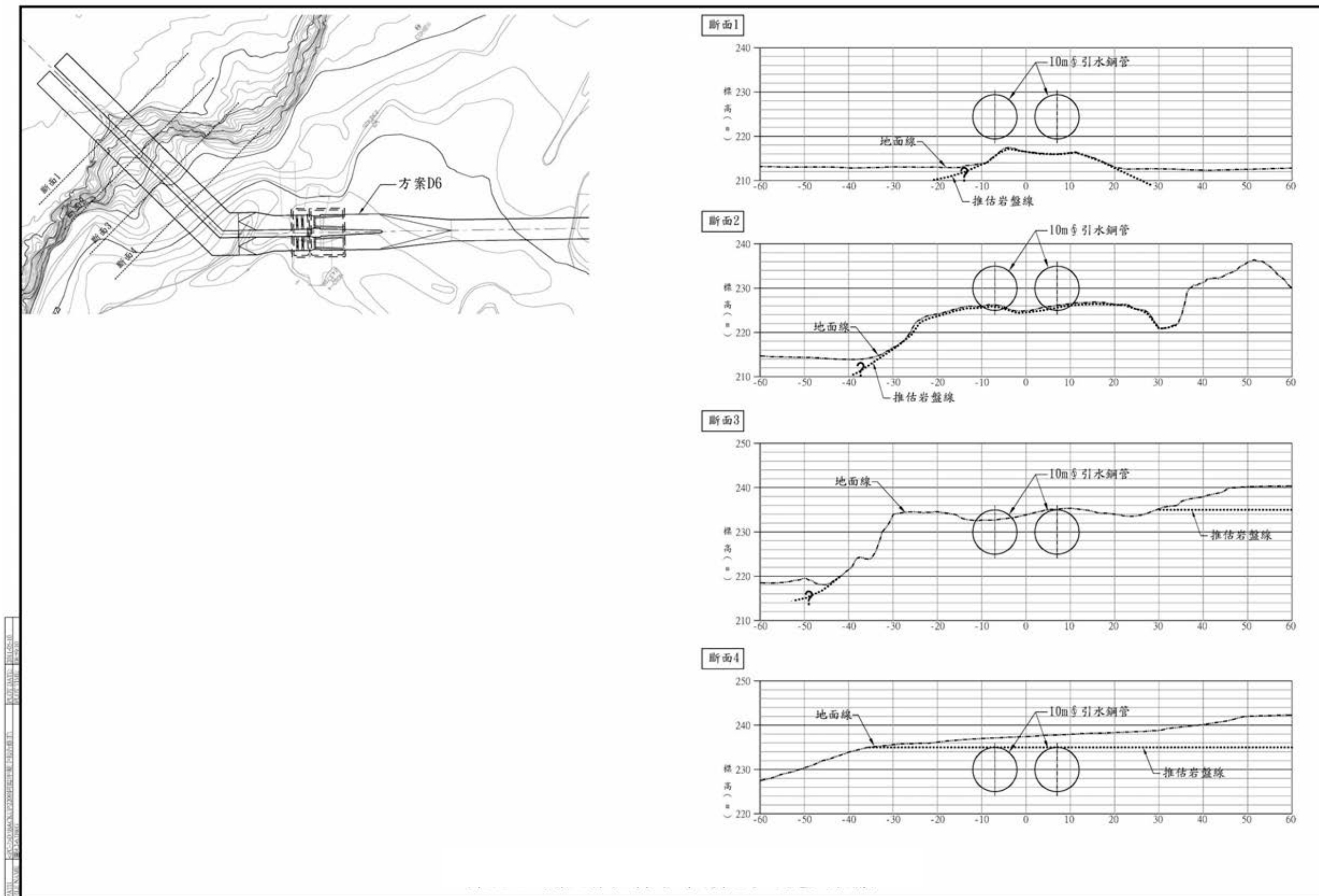


圖 4-4 方案研擬阿姆坪隧道方案 D6 進水口象鼻引水鋼管與地形及岩盤面相關位置剖面圖

表 4-4 方案研擬阿姆坪隧道方案評估因子比較表

項目	方案	進水口工法	排砂率	施工技術	隧道長度(m)	進水口長度(m)	出水口長度(m)	豎井(m)	閘室(座)	橫坑長度(m)	工期(月)	工程(億元)	建議方案
1	D5-1	明渠胸牆底孔進水方案(直線)	進水口內縮於阿姆坪台地，且有拉清效應，故排砂效率不佳	可行	3,675	275.0	763.07	φ 6m，55m	-	400	39	73.4	
2	D5-2	隧道進水方案(直線)	進水口內縮於阿姆坪台地，且有拉清效應，故排砂效率不佳	可行	3,556	377.5	763.07	φ 6m，55m	2	600	39	69.2	
3	D5-3	隧道進水方案(轉彎)	進水口內縮於阿姆坪台地，且有拉清效應，故排砂效率不佳	可行	3,550	354.5	763.07	φ 6m，55m	2	600	39	56.5	
4	D5-4	箱涵進水方案(轉彎)	進水口內縮於阿姆坪台地，且有拉清效應，故排砂效率不佳	可行	3,550	363.5	763.07	φ 6m，55m	2	600	39	61.7	
5	D5-5	中型引水管進水方案(直線)	引水管延伸至庫底排砂效率較佳	可行	3,675	265.4	763.07	φ 6m，55m	-	400	39	71.2	
6	D5-6	大型引水管進水方案(直線)	引水管延伸至庫底排砂效率較佳	可行	3,824	309.7	763.07	φ 6m，55m	2	400	42	61.8	
7	D6-1	大型引水管進水方案(轉彎)	引水管延伸至庫底排砂效率較佳	可行	3,850	274.1	760.12	φ 6m，55m	2	400	42	62.4	
8	D6-2	大型引水管隧道進水方案(轉彎)	引水管延伸至庫底排砂效率較佳	可行	3,850	256.0	760.12	φ 6m，55m	2	400	42	62.0	✓

4.3 工程可行性規劃(原 D 案)

本工作於期中階段辦理阿姆坪隧道(原 D 案)相關可行性規劃(民國 100 年 10 月)，主要可分為 4 個主體，分別為進水工段(包含象鼻引水管段及入口隧道段)、閘門漸變段(由閘室至隧道進口)、隧道段(隧道進口至台 4 線下邊坡出洞口止)及出水工段(尾水渠道末端銜接挑流工將洩放之水流挑流至消能池消能後溢流至大漢溪)，圖 4-5 為阿姆坪隧道(原 D 案)整體平面配置圖，圖 4-6 為整體縱剖面圖，各主體之工程初步規劃說明如下：

4.3.1 進水口段

進水工平縱面圖詳如圖 4-7，進水工段布置圖詳如圖 4.3-4 所示。進水工段分為象鼻引水管段及入口隧道段，說明如下：

- 1、象鼻引水管段：象鼻引水管段之上游側引水管長約 154.9 公尺，下游側引水管長約 146.9 公尺，內徑均為 $\phi 10$ 公尺，如圖 4.3-3 所示，兩管之間距為 4 公尺。引水管中心高程配合該處水庫淤泥高程 212.0 公尺設定高程為 210 公尺，取水工設計有抗渦設施。
- 2、入口隧道段：圖 4-8 為進水工段工程布置圖，隧道自上游銜接象鼻引水管起，底部高程 220.0 公尺降低至高程 217.0 公尺，兩條水路以 4.0 公尺寬中隔牆分開，而為降低直立式閘門與弧型閘門受力，並配合閘門形狀，於 10 公尺長範圍由 10 公尺圓型隧道漸擴為 $W \times H = 10$ 公尺 $\times$ 10 公尺之方形隧道，方形隧道長 10 公尺，後再以 13 公尺長之範圍將 $W \times H = 10$ 公尺 $\times$ 10 公尺之方形隧道漸變為 $W \times H = 8$ 公尺 $\times$ 10 公尺之方形隧道，其後即銜接閘門漸變段，總長 33 公尺。

進水工段及閘門漸變段樁號 Sta0-125~Sta0+000 之距離內，包含許多斷面之漸變，其詳細之橫斷面詳如圖 4-9 所示。

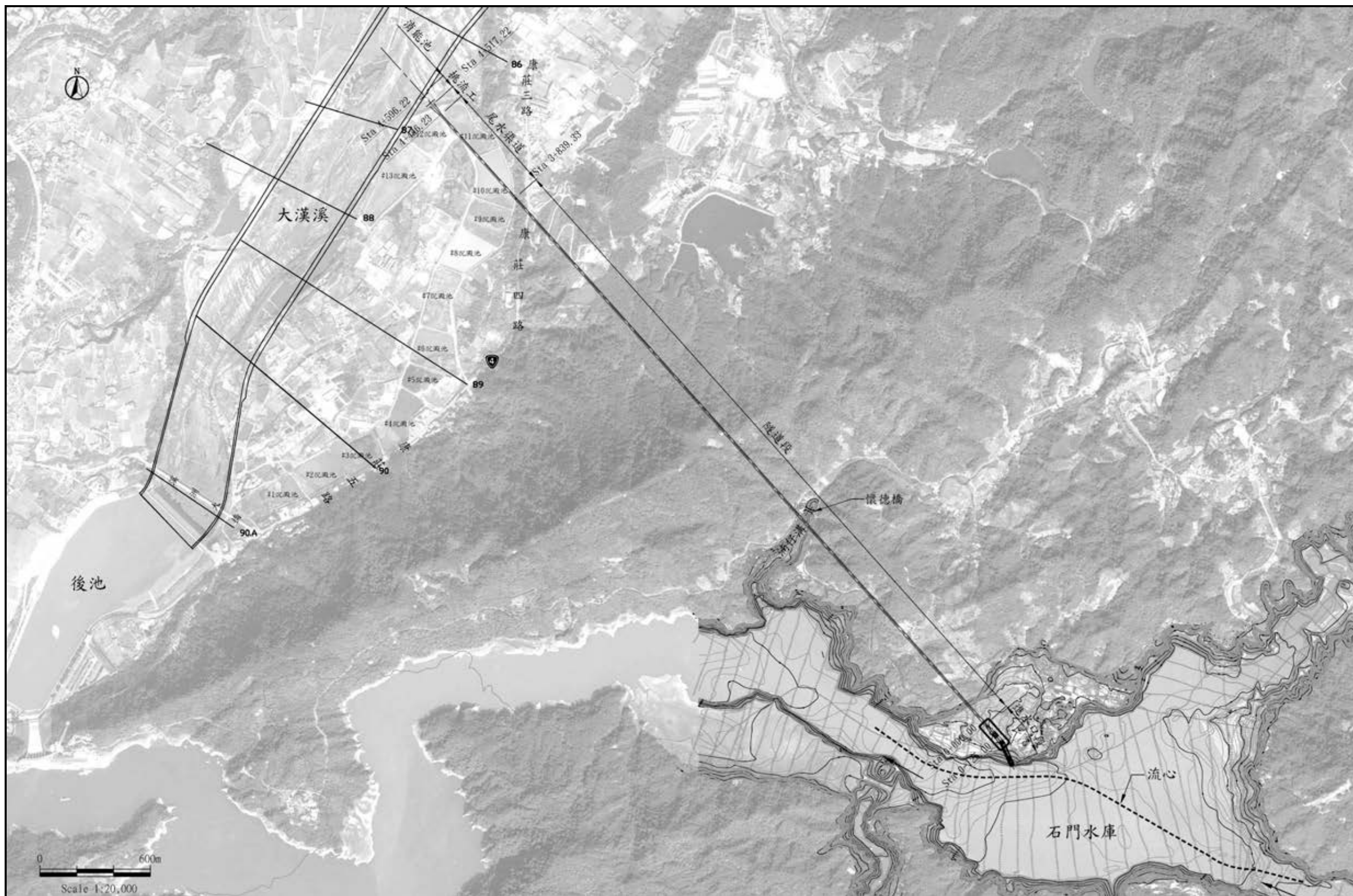


圖 4-5 阿姆坪隧道(原 D 案)工程平面布置圖

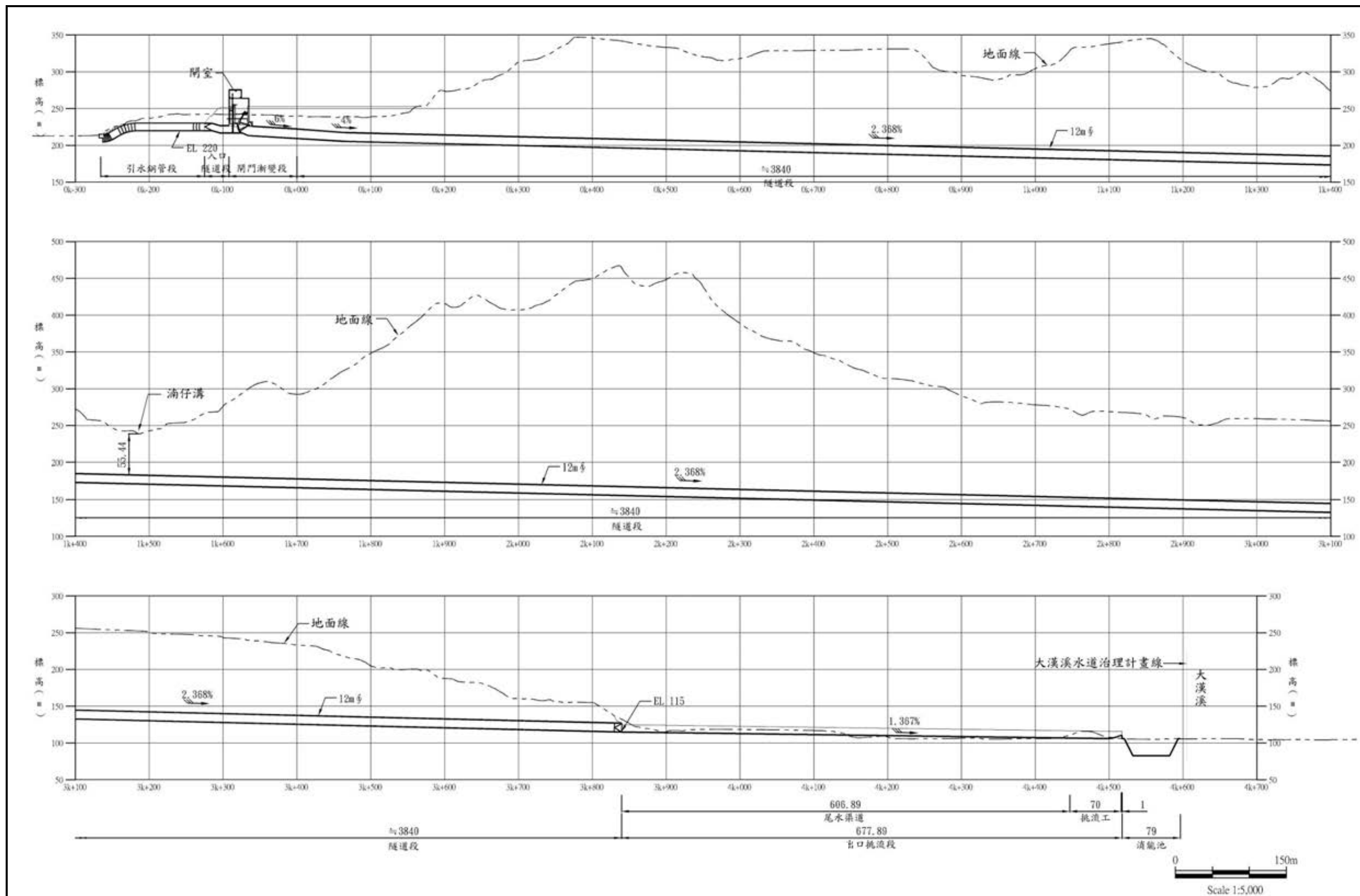
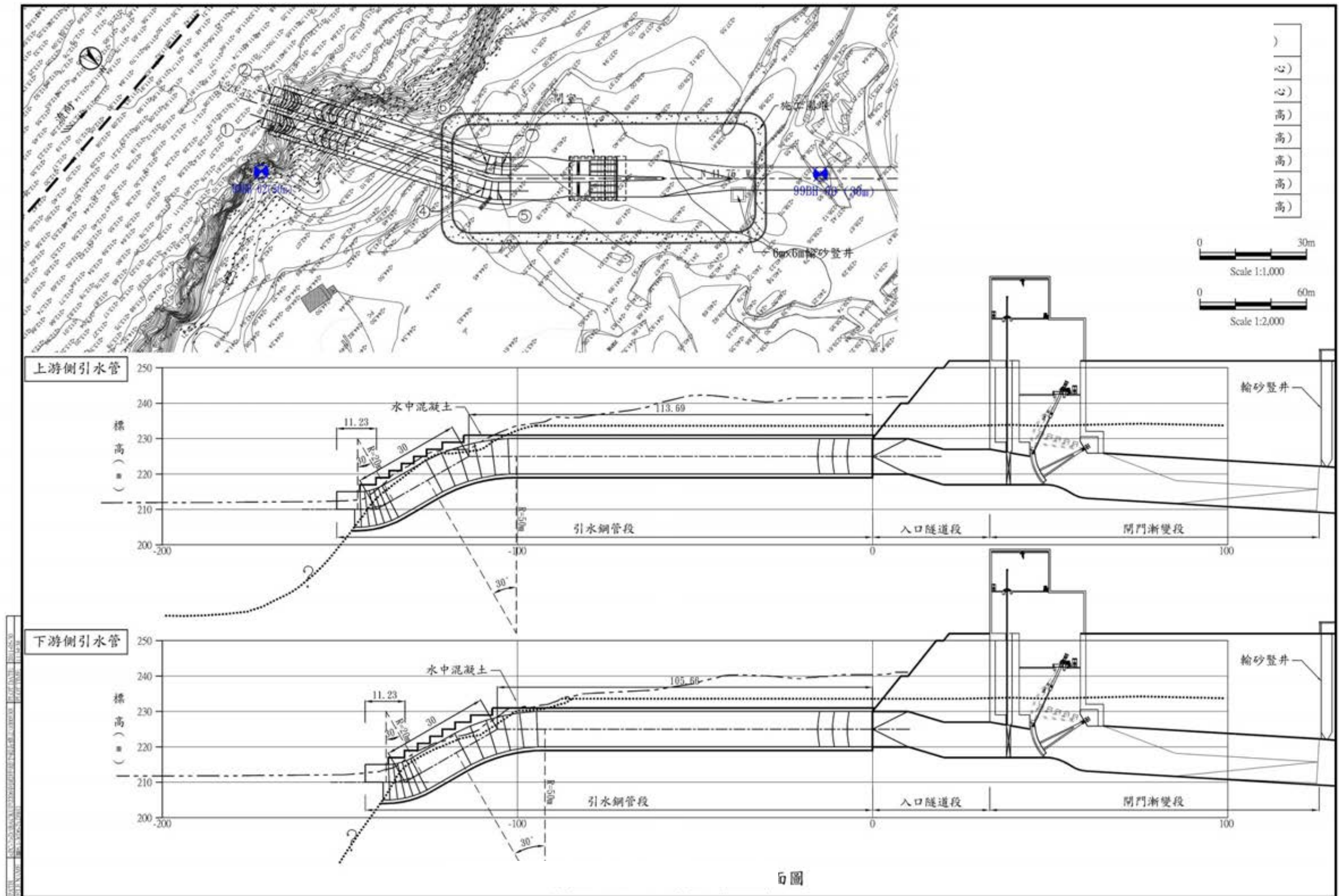
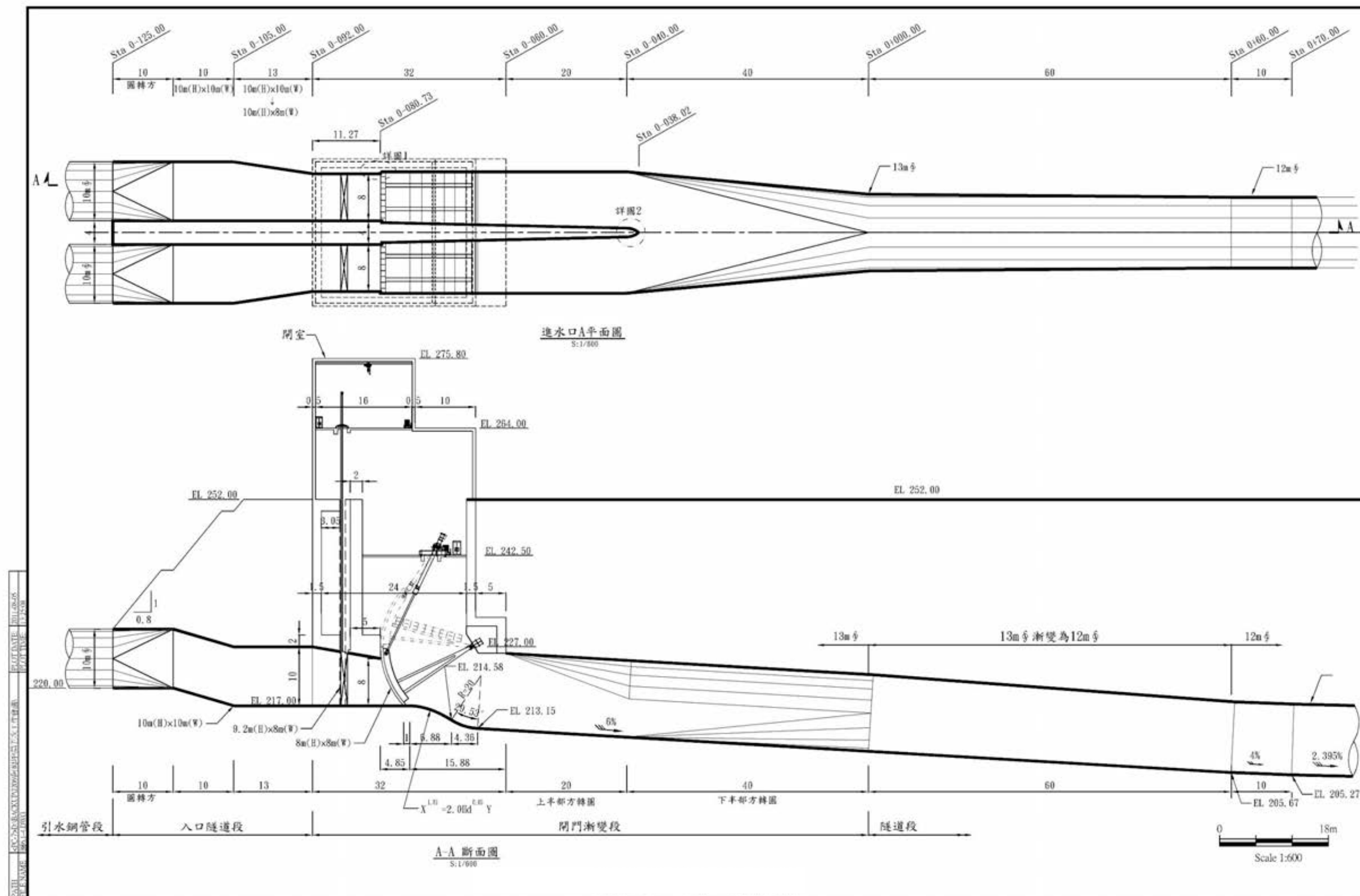


圖 4-6 阿姆坪隧道(原 D 案)工程整體縱斷面圖



註：縱向累距並非整體工程累距，整體工程累距以隧道進口為 0k+000。

圖 4-7 阿姆坪隧道(原 D 案)進水工段平縱斷面圖



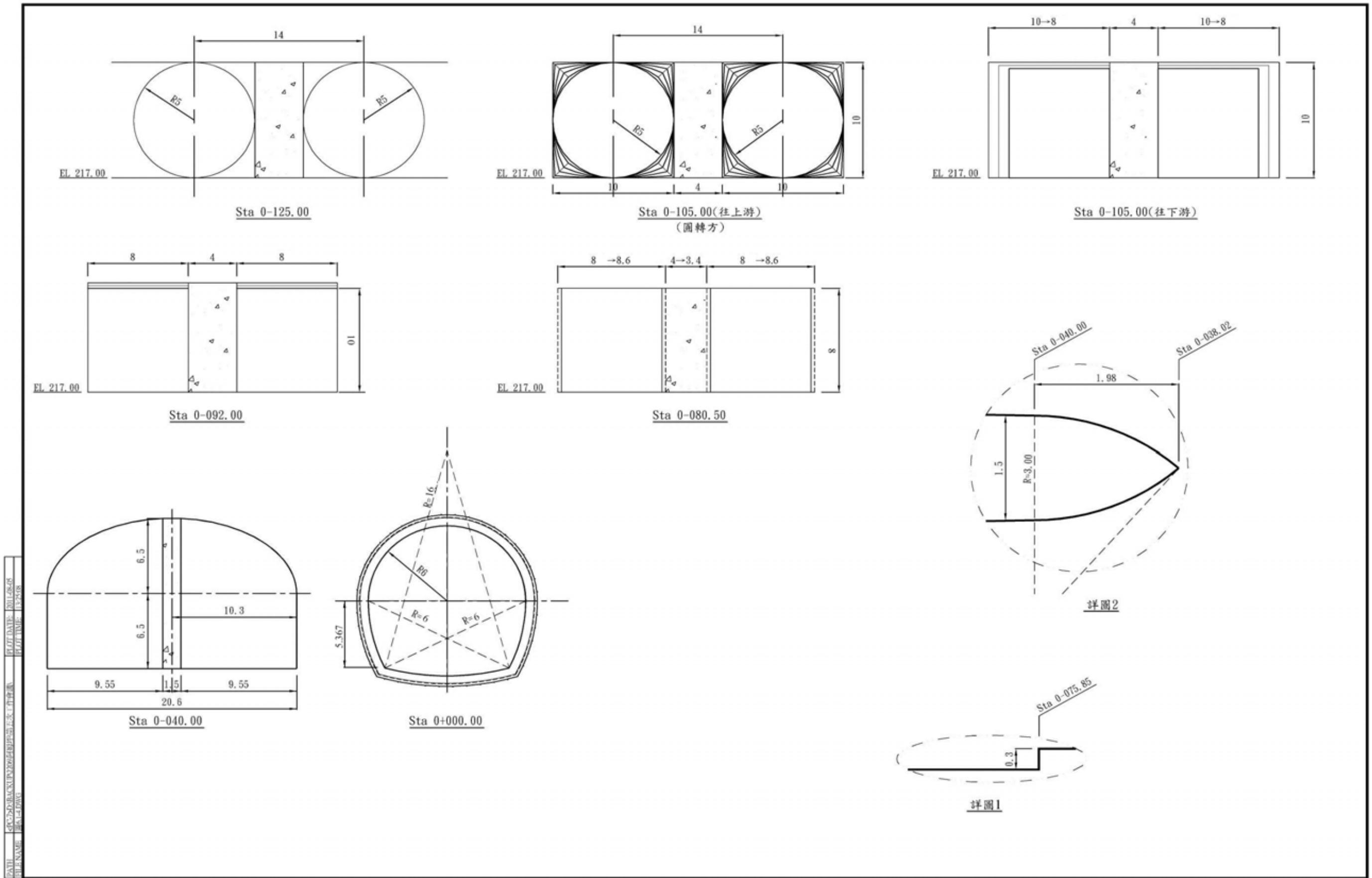


圖 4-9 阿姆坪隧道(原 D 案)進水工段及閘門漸變段橫斷面圖

4.3.2 閘門漸變段

圖 4-8 為進水工工程布置圖，顯示閘門漸變段長 92 公尺，每條水路各安裝一道固定輪閘門及弧型閘門，工程包含下列各項。

- 1、閘室：本工程閘室共設計安裝二道緊急閘門與二道弧型閘門，考量緊急閘門、弧型閘門及中隔墩之尺寸，閘室之平面尺寸需求為 $W \times H = 27\text{m} \times 25\text{m}$ ，而由於石門水庫最高洪水位高程為 251.1m，考量日後操作人員進出閘室進行防洪運轉操作與設施維護，故閘室之一樓高程設定為 252.0m，高於最高洪水位 90cm，以確保閘室不淹水及操作維護人員之安全。
閘室為二層樓之 RC 結構，總高 23.8m，而因緊急閘門高 9.2m，考量日後操作提吊空間，二樓底版高程設定為 264.0m，並設置緊急閘門之現場操作盤(電氣箱)與油壓設備，頂版高程則設定為 275.8m，另布置一部 20 公噸之單軌天車。同時閘室下方高程於 242.5m 設置一樓版，以裝設弧型閘門之現場操作盤(電氣箱)與油壓設備。
- 2、閘門：直立式閘門 $W \times H = 8.0$ 公尺 $\times$ 9.2 公尺，弧型閘門 $W \times H = 8.0$ 公尺 $\times$ 8.0 公尺。
- 3、漸變段：閘室末端以長 20 公尺由方形渠道漸變為馬蹄型渠道(上半部方轉圓)，再以 40 公尺漸變為 $\phi 12$ 公尺之三心圓隧道(下半部方轉圓)。

4.3.2 隧道段

隧道斷面形狀大小之設計取決於 3 項需求，分別為使用機能、地質條件暨力學機制，以及開挖工法與施工作業。逐項探討說明如下：

- 1、使用機能：本計畫隧道為排洪防淤隧道，就水理條件而言，

圓形斷面較佳，考量排砂規劃隧道標準斷面內徑為 12 公尺。

- 2、地質條件暨力學機制：就力學機制而言，新奧工法之原理為：隧道主要承載結構係利用周圍岩體自持力，各種人為支撐單元旨在提供約束作用，使岩體與人為支撐形成整體之拱作用，而形成壓力構材。因此，隧道開挖斷面儘量設計接近圓形，或者以多心圓圓弧組合形狀作為隧道結構斷面，以有效將外力轉換成壓力並可減少應力集中現象。
- 3、開挖工法與施工作業：隧道斷面之設計應配合開挖工法、使用機具大小、棄碴方式、機械通風等空間需求，決定適當的斷面尺寸，以期能兼顧造價下快速施工，合理縮短工期。綜合考量上述因素，建議隧道開挖斷面為 2r-2r-2r 馬蹄形斷面，隧道支撐與襯砌分為兩層，外層為由噴凝土、鋼支保、岩栓及其他輔助構材所組成之開挖支撐，內層則為由鋼筋混凝土澆鑄而成之內襯砌。另由於本隧道設計流速高達 22.64 公尺/秒，考慮水流磨耗因素，混凝土襯砌強度不得低於 450 公斤/平方公分，且在下半襯砌之內層另加鋼絲網，以解決混凝土水化熱問題及提升抗磨耗性。建議本隧道襯砌臨水面至第一層鋼筋厚度為 25 公分 (含磨耗層 10 公分及鋼筋保護層 15 公分)，襯砌厚度視位置而異。隧道標準斷面如圖 4-10 所示。

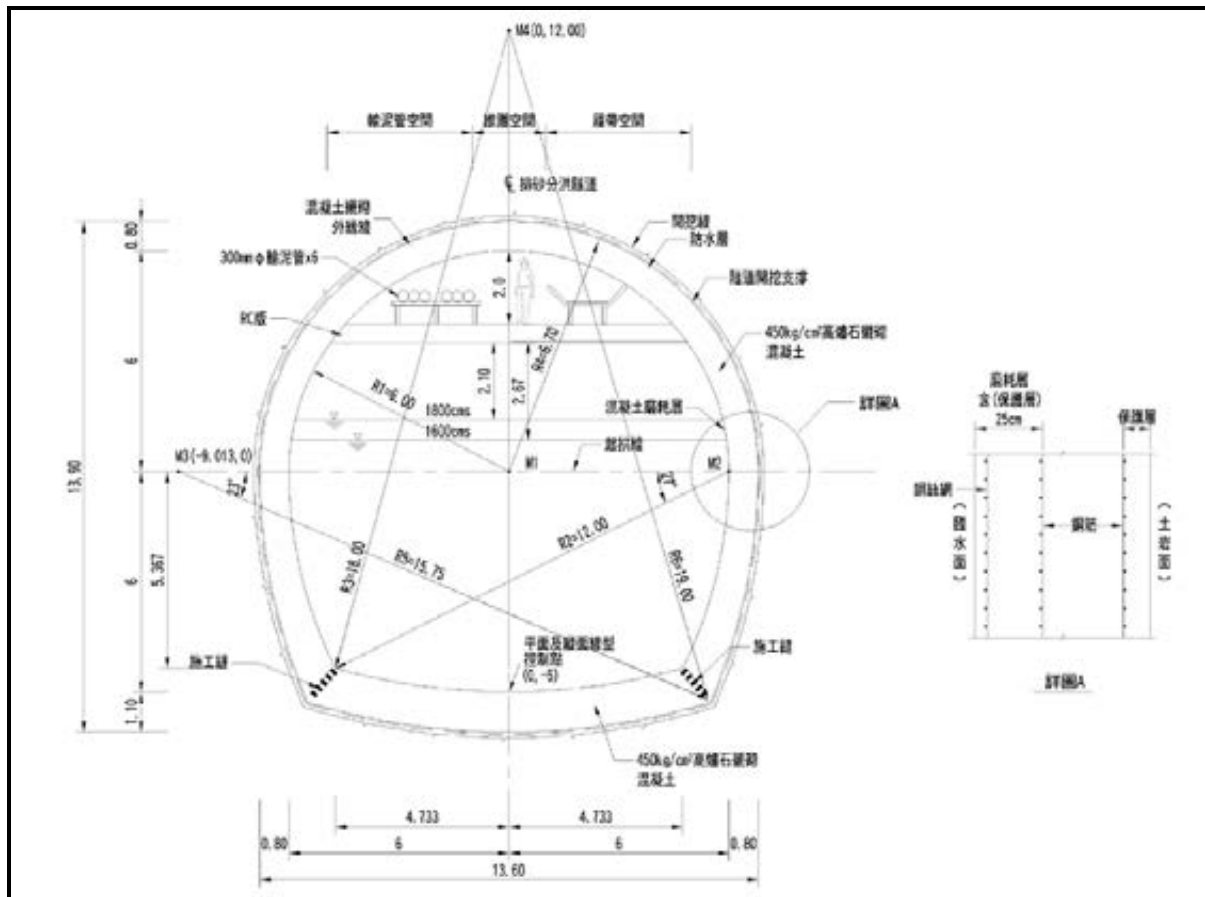


圖 4-10 阿姆坪隧道(原 D 案)隧道標準斷面圖

4.3.2 出水工段

出水工段工程規劃成果詳如圖 4-11，而出水工段之布置圖則詳如圖 4-12 所示，出水工主要包含尾水渠道、挑流工及消能池，工程規劃說明如下：

- 1、Sta.3k+839.33~Sta.4k+446.23：屬尾水渠道直線段，以台 4 線西側邊坡之隧道出洞口為起點，隧道出洞前先以 10m 長之距離由馬蹄型漸變為矩型渠道，渠底高程同隧道出洞仰拱高程為 115m。尾水渠道穿越#10 及#11 沉澱池至快進入大漢溪前與挑流工相銜接，渠底高程為 106.706m。尾水渠道全段設計渠寬 12m，高 10m，縱坡 1.367%，渠道型式採 RC 扶壁式擋土牆設計，每隔 3m 施作一道扶壁。

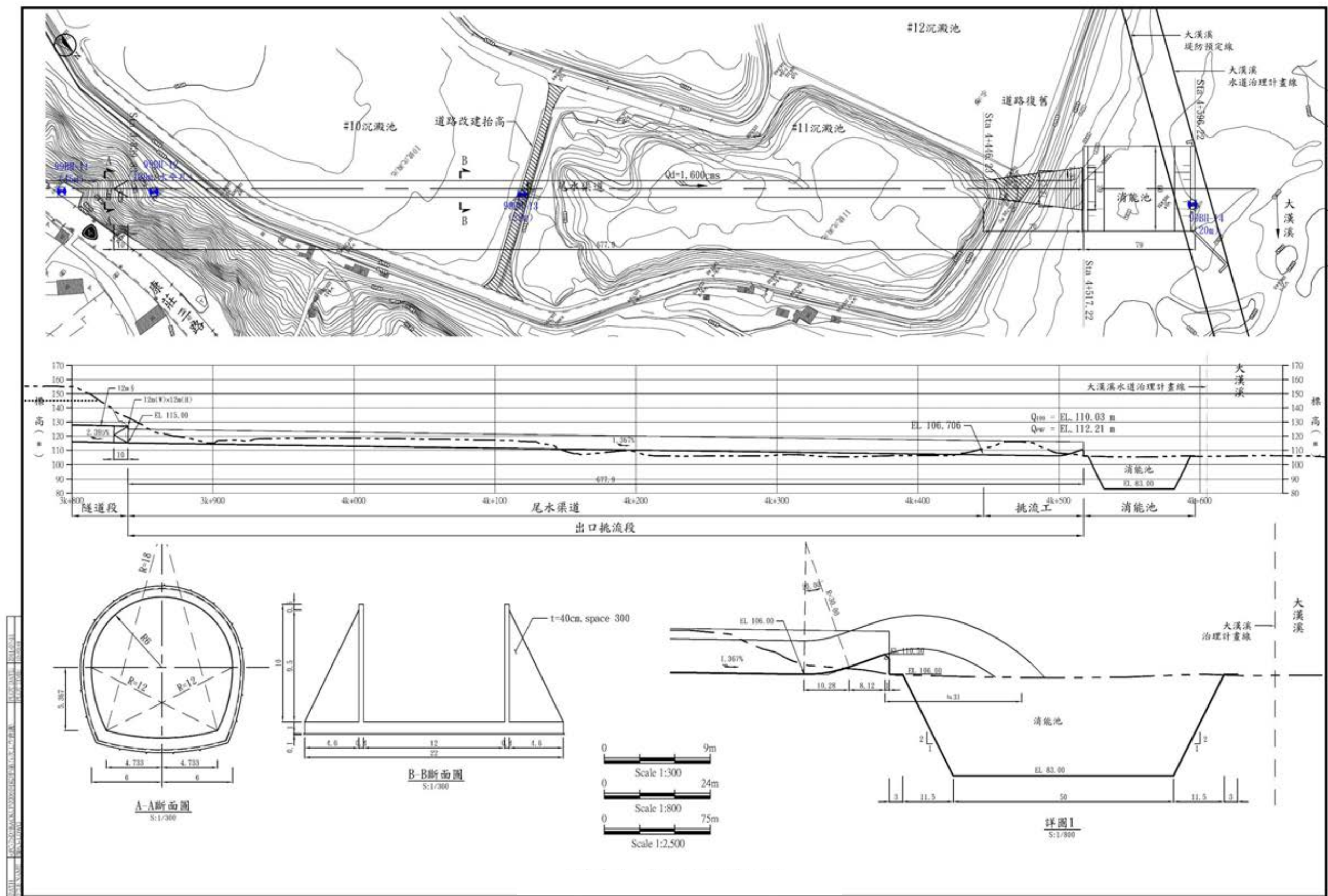


圖 4-11 阿姆坪隧道(原 D 案)出水工段平縱斷面圖

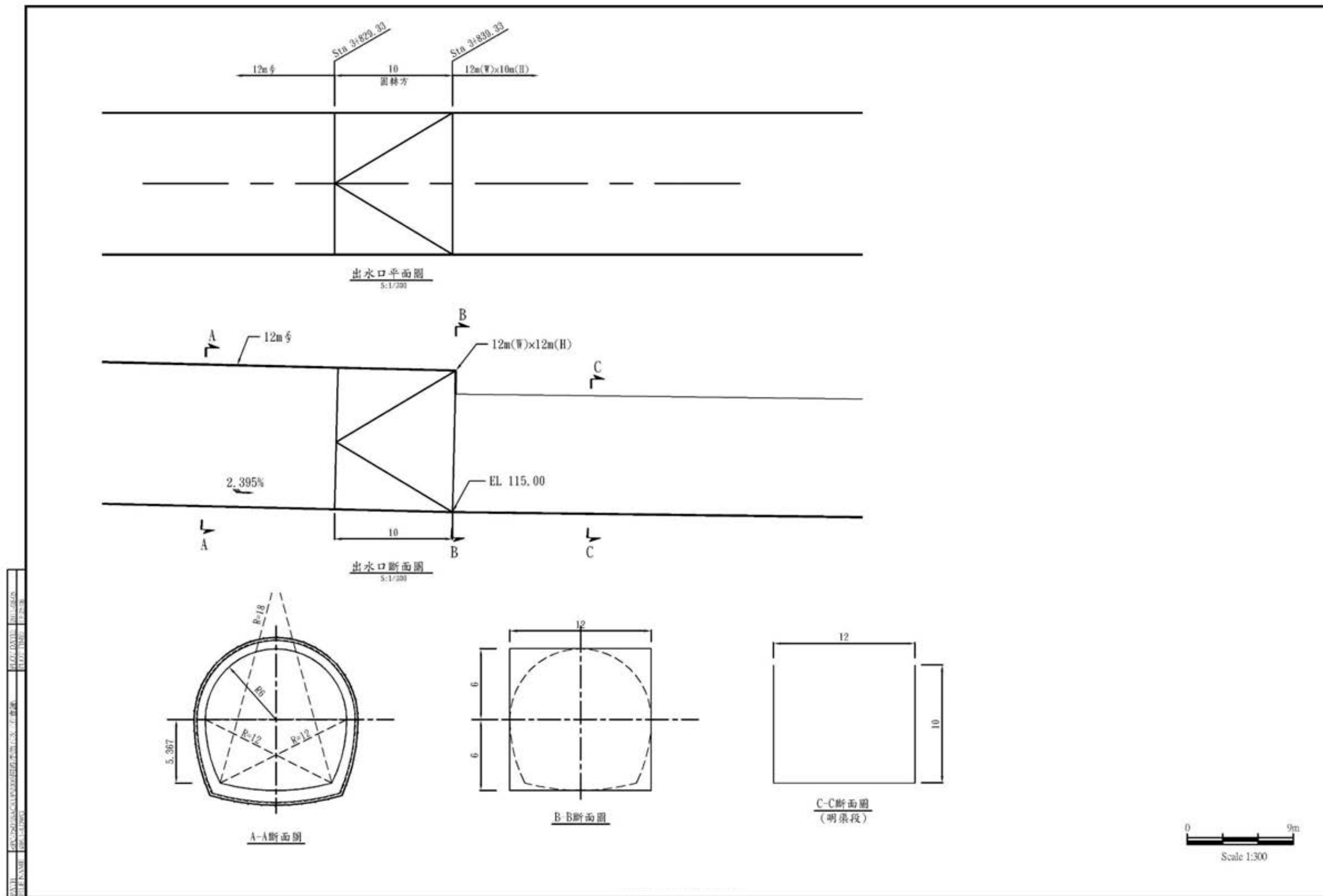


圖 4-12 阿姆坪隧道(原 D 案)出水工段布置圖

- 2、Sta.4k+446.23~Sta.4k+517.22：屬挑流工段，長約 71m，銜接尾水渠道直線段終點，渠底高程 106.706m，由渠寬 12m 以擴散角 7.33° 漸擴至 30m 與大漢溪水道治理計畫線相接，而當渠道由 12m 拓寬至 25.27m 時，渠底高程 106.0m，其後渠道長 10.28m，以半徑 $R=30\text{m}$ 、角度 20° 之弧度銜接，再由水平夾角 20° 、長 8.03m 之戽斗挑流至消能池。
- 3、消能池：消能池段底部採長 50m 寬 60m，深 23m 設計，由#11 沉澱池至大漢溪間之空地高程 106m 挖至高程 83m，渠道方向之挑流工坡面採斜坡 1：0.5 設計，而渠道兩側則設計為垂直坡面(打設排樁)。
- 4、道路復舊：尾水渠道穿越#10 與#11 沉澱池處，待尾水渠道完工後，#11 沉澱池處因地形較高故可採用設計版橋方式直接進行道路復舊。而#10 與#11 沉澱池交接處之道路復舊，則必須採道路抬高(前後引道一併抬高)之方式改建。

4.4 數值模擬分析(原 D 案)

本工作於期中階段辦理阿姆坪隧道(原 D 案)相關可行性規劃。

4.4.1 河道沖淤數值模式建立

1、對河道輸砂影響評估：

本工作以勞斯數(Rouse Number：泥砂之沉降速度(W_s)與水流剪力速度(U_*)之比值)進行大漢溪河道泥砂淤積評估，由分析結果顯示，石門水庫排放渾水其顆粒屬粉土及黏土，各重現期之 Rouse Number 皆小於 0.8，以 2 年重現期 Rouse Number 0.736 最大，在河川輸砂機制屬於沖洗載，即在有流動之河川中不易沉降，事實上大漢溪上游河段坡陡流急，岩盤明顯出露，因此本隧道排淤之沖洗載並不致於在石門水庫之下游河道形成嚴重淤積。

2、石門水庫防淤工程對下游河道之影響評估：

本工作以 CCHE1D 模式(美國國家計算水科學及工程中心所研發之一維動床模式)模擬石門水庫阿姆坪防淤工程對大漢溪由後池堰至鳶山堰下游河道之影響，由分析結果顯示，武嶺橋上游無明顯沖淤變化，下游至鳶山堰則有些微沖淤互現情形，與前述採 Rouse Number 分析，本河川輸砂機制屬沖洗載，泥砂不易沉降之定性分析結果相符，故本隧道對下游至鳶山堰河道之沖淤量約在 $+0.3\text{m} \sim -0.2\text{m}$ ，僅在武嶺橋至鳶山堰有些微沖淤情形。

4.4.2 河道防洪能力分析

本工作以美國陸軍工程師團水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers)所發展計算水面剖線之數值模式 HEC-RAS4.0 進行一維水理分析，評估排洪出口對下游河道防洪之影響，由分析結果顯示，當發生水庫最大排洪量時，鳶山堰至溪洲大橋河段僅有崁津大橋左岸有溢淹之情事，惟現況崁津大橋左岸為高崁，故溢淹應屬高灘地溢淹。且 13,800 秒立方公尺及 15,400 秒立方公尺則均已遠超過大漢溪 100 年重現期保護標準。

4.4.3 水庫內懸浮泥砂濃度分布之三維數值模擬分析與效率分析

本工作三維數值模擬採用水規所辦理之「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究」計畫，由台大黃良雄教授研發適用於石門水庫三維水砂運移模式，選用辛樂克颱風為模擬事件，並以斷面 24 攔污索處之實測分層濃度資料為邊界，根據模擬時間 4hr、8hr、12hr、16hr、20hr 及 24hr 之泥砂濃度分佈圖，藉由泥砂隨時間之變化，可觀察庫區的濃度變化以了解異重流之運移行為，根據下游濃度最尖峰值

計算結果顯示於模擬時間約 8 小時發生異重流。

將模擬結果繪製垂向濃度剖面分佈圖，顯示底層濃度大小隨時間增加而逐漸升高，且高濃度朝向高程較高處移動。此外，辛樂克垂向濃度變化幅度較為規則，研判與上游入庫垂向密度分布有關。

依據辛樂克颱風相同參數設定配合阿姆坪設施資料進行模擬，其中濃度出流採用特殊高程處理技巧，根據濃度歷線尖峰時刻分別繪製模擬時間 16hr、20hr 及 24hr 之水平濃度分布，可觀察設置阿姆坪設施前後整體濃度有減小趨勢，尤其斷面 17 至斷面 21 更為顯著，表示阿姆坪設施有降低泥砂濃度一定程度之成效，此外，根據計算結果阿姆坪方案平均排砂比約為 26.2%。

4.4.4 渾水排砂防淤效率評估

1、各重現期距異重流計算：

本工作參考中國水利水電出版社朱鑒遠編著之「水利水電工程泥沙設計」之水庫異重流計算方法，採范家驊異重流 $V-d_{90}$ 關係曲線，進行石門水庫異重流計算，該方法假設異重流只淤不沖及恒定均勻流條件情況下計算排砂量，結果顯示發生重現期距 1.11 年小洪水時異重流運移至壩前機率低，重現期距 2 年以上則異重流運移至壩前砂量愈多，由各重現期距概率加權平均石門水庫異重流到達壩前全砂百分比約為 64.6%。

2、渾水排砂量估算方法：

本工作以中國大陸恒山經驗公式推估石門水庫之排砂比，以民國 97~98 年發生之 4 場颱風鳳凰、辛樂克、莫拉克及薔蜜颱風之實測資料進行驗證，結果顯示估算之排砂比介

於 14%~24%，除辛樂克颱風事件外其餘 3 場颱風事件均較實測值為大，推估之誤差值約介於-2%~36%，平均誤差值約為 10%，由於水庫泥砂運移及沉降機制相當複雜，國內亦缺乏長期對水庫泥砂運移與排放之觀測資料，採用恒山公式推估結果驗證尚適用於石門水庫渾水排砂之排砂比計算。

以中國大陸恒山經驗公式計算石門水庫各重現期之排砂量及來砂量，再以概率加權之觀念計算年期望值排砂量及年期望值來砂量後，兩者相除即為年期望值排砂比。本工作採恒山公式估算既有及電廠改善防淤工程洩水結構年平均排砂比為 0.28，由異重流計算 100 年重現期排砂比與年期望值排砂比修正水工模型單一艾利颱風事件排砂比，轉換為年期望值排砂比為 0.37，由修正後與恒山水庫推估年期望值排砂比 0.28 之平均值 0.32 作為既有及電廠改善防淤工程之年期望值排砂比。

本工作推估石門水庫既有洩水結構及電廠改建排砂道(設計流量 300 秒立方公尺)與新建防洪防淤設施之各重現期排砂比，茲依所發生機率估算年期望值全砂排砂比為 0.37。石門水庫既有及電廠改建排砂道與大灣坪防洪防淤設施之估算年期望值排砂比為 0.59。而石門水庫既有及電廠改建排砂道與規劃中大灣坪案及阿姆坪案同時運轉之估算年期望值排砂比為 0.57。又根據水規所 1/100 水工模型試驗 D6-2 方案之排砂(以濃度分析)約 48.1%，以異重流計算 100 年重現期排砂比與年期望值排砂比修正水工模型單一艾利颱風事件排砂比，轉換為年期望值排砂比為 0.42，由修正後與恒山水庫推估年期望值排砂比 0.37 之平均值為 0.4 作為新建阿姆坪案之年期望值排砂比。

4.5 阿姆坪(原 D 案)與大灣坪方案評比

本工作於期中階段辦理阿姆坪隧道(原 D 案)相關可行性規劃。

1、防洪功能：

兩案防洪效益，以石門水庫現況 PMF14,500 秒立方公尺及回應氣候變遷提昇至 15,000 秒立方公尺進行水庫洪水演算(Routing)分析。分析結果如表 4.5-1，二者防洪功能皆相等。

2、工期：

大灣坪方案工期由發包至試運轉約 51 個月，阿姆坪方案則約 45 個月。

3、經費：

阿姆坪方案工程總經費 91.8 億元，總建造成本 103.4 億元。大灣坪方案工程總經費 55.3 億元，總建造成本 62.3 億元。

4、施工難易度：

- (1)象鼻引水管：兩方案均採相同 D=10.0m 之鋼管，故施工技術相同。
- (2)兩方案直立式閘門及弧型閘門規格相當，故施工技術相同。
- (3)尾水渠道出水工：兩方案均為明渠挑流消能，環境相當，故施工技術相當。
- (4)進水工整坡：進水工邊坡開挖部份，阿姆坪方案施工場地較寬廣；大灣坪方案施工場地則受限制，相較之下，大灣坪方案之進水工邊坡開挖較阿姆坪方案困難。
- (5)隧道洞口：隧道施工部分，阿姆坪方案隧道較長，沿線可能遭遇特殊地質包括新店斷層破碎帶之擠壓性地盤，以及石底層煤層之有害氣體性地盤，需進行施工處理對策；大灣坪方案則隧道較短，沿線並無特殊地質地盤，相較之下，

阿姆坪方案之隧道施工較大灣坪方案困難。

(6)豎井：豎井施工部份，阿姆坪方案於浦仔溝溪有直徑 6 公尺施工豎井需開挖；大灣坪方案則於進水工有直徑 9 公尺閘室豎井需開挖，相較之下，大灣坪方案之豎井施工較阿姆坪方案困難。

5、防淤效益：

大灣坪方案單獨施設時排砂比為 31.7%，阿姆坪方案單獨施設時排砂比為 12.3%，大灣坪方案略高於阿姆坪方案。

6、比較結果建議：

表 4-5 為綜合上述各比較項目結果，由於在工程經費及水力排砂效益均以大灣坪為較佳之方案，其中大灣坪總建造成本 62.3 億元較阿姆坪 103.4 億短少達 41.1 億元，而水力排砂量在艾利颱風水工模型試驗結果顯示，大灣坪較阿姆坪多達 557 萬噸的淤砂量。而阿姆坪方案因具有做為中上游庫區輸泥之廊道，可解決目前庫區中上游日益嚴重淤積問題。因此，由兩方案地理位置及水力排砂效益，以大灣坪方案為水力排砂方案為較佳方案，而阿姆坪雖水力排砂功能相對較差，但其具有清淤庫區中上游淤積之優點，可解決石門水庫中上游庫區無法清淤之困境，因此可進一步探討其功能。本工作建議大灣坪為石門水庫防洪防淤較佳方案，而阿姆坪方案建議可針對其為水庫中上游輸砂廊道進一步評估。

表 4-5 大灣坪與阿姆坪(原 D 案)方案優選比較表

比較項目	大灣坪防洪防淤工程	阿姆坪防洪防淤工程	結論
防洪功能	14,500cms Qout：13,307cms WSL：249.02m 15,000cms Qout：13,958cms WSL：249.75m	14,500cms Qout：13,322cms WSL：249.05m 15,000cms Qout：13,966cms WSL：249.78m	二者防洪功能相當
工期	51 個月	45 個月	阿姆坪隧道長度約 4 公里，大灣坪隧道長度約 1 公里，但大灣坪需施作豎井且隧道只有一個施工面故工期較高
經費	1.工程總經費：55.3 億元 2.總建造成本：62.3 億元	1.工程總經費：91.8 億元 2.總建造成本：103.4 億元	大灣坪總建造成本較阿姆坪少 41.1 億元。
施工難易度	1.象鼻引水管工法相同 2.隧道洞口位於水庫邊坡採圍堰施工，並由水域為進出動線，腹地小，施工機具不易進出，施工困難度高 3.大灣坪隧道沿線無特殊地質 4.大灣坪豎井直徑 9m/19m	1.象鼻引水工法相同 2.隧道洞口位於阿姆坪台地，腹地大，施工機具進出容易，施工容易 3.阿姆坪隧道開挖可能遭遇之特殊地質較多，需進行處理對策 4.阿姆坪僅直徑 6m 施工豎井開挖	大灣坪施工困難度較高，但施作技術無問題
艾利颱風防淤效益 (水工模型)	排砂比 31.7%	排砂比 12.3%	1.大灣坪艾利颱風之水力排砂較阿姆坪多出 557 萬噸 2.阿姆坪可執行每年機械清淤為 60 萬 m ³
對下游衝擊	1.配合修訂水門操作規定，在治理計畫流量下不影響防洪 2.排砂期間可啟動分層取水工及中庄降低衝擊 3.排砂可增加河道棲地多樣化及補充砂源，但亦可能落淤於部份河段	1.配合修訂水門操作規定，在治理計畫流量下不影響防洪 2.排砂期間可啟動分層取水工及中庄降低衝擊 3.排砂可增加河道棲地多樣化及補充砂源，但亦可能落淤於部份河段	1.兩方案基本上對於下游環境影響相當。 2.建議進行排砂操作對下游及河道生態環境影響分析
傳統方式發包或統包方式發包	統包方式發包	統包方式發包	發包方式相同
建議	水力排砂為較佳方案	可進一步評估為水庫中上游運砂廊道之用，解決中上游庫區嚴重淤積無法清淤之困難	兩案可同時推動，功能不同

4.6 工程計畫書方案研擬(調整 D 案)

4.6.1 調整方案緣由

水利署於民國 100 年 10 月 21 日召開「研商石門水庫增設防淤隧道工程推動事宜」會議，決議如下：

- 1、石門水庫增設防淤隧道工程採大灣坪案(C 案)及阿姆坪修正案(D 案)作為規劃設計組合，亦即修正阿姆坪案為以運砂及抽砂通道為主，若再考量下游沉澱池沖淤操作，則以不降低 C 案或水庫整體水力排砂效能為原則，阿姆坪修正案之工程佈置、規模、經費及期程請北水局儘速檢討規劃完成。
- 2、配合大灣坪案推動及整體防洪防淤操作，請水規所持續進行水工試驗模擬分析營運操作方式與排砂效能。
- 3、象鼻引水鋼管施工及技術可行性，請水規所於可行性規劃報告中加以審慎研析與說明，至是否需另成立專案計畫進一步對此議題深入評估請北水局研處，後續工程計畫內容請一併提出象鼻管引水之其他替代方案預為因應。
- 4、配合增設防淤隧道工程後之水庫操作模式，請北水局預為檢討規劃研訂。
- 5、大灣坪案(C 案)及阿姆坪修正案(D 案)所需合理工期請水規所及北水局再審慎評估擬訂。
- 6、為加速推動石門水庫防淤隧道工程，請水規所儘速將大灣坪案規劃成果(含工程計畫)送請北水局併阿姆坪修正案彙整提報「石門水庫防淤隧道工程計畫」，俾利後續儘速報院審議推動。

北水局於民國 100 年 11 月 4 日召開第五次工作會議，討論阿姆坪隧道(調整 D 案)內容，結論如下：

- 1、隧道設計最大流量 600 秒立方公尺、最小流量 200 秒立方公

尺，排放啟動水位高程以 243 為基準。隧道斷面原則以下方上圓方式設計，隧道內部淨高為 9m，底部淨寬為 8m，其上部佈設抽泥管線，並考量具有管線維修管理及自行車通行之功能，下部以沖淤放水功能為原則，另請考量緊急狀況具有車輛通行之功能。

- 2、引水渠道入口原則孔口入流方式設計，孔口尺寸 4m x 4m，孔口底部高程為 236m，胸牆頂部高程為 245m，孔口閘門型式請再檢討。引水渠道底部高程原則為 235m，渠寬為 8m，控制閘門採垂直式，並設定水庫水位高程 243m 時，為閘門開啟原則，閘門底部高程為 237m。引水渠道渠頂高程為 252m，並請配合阿姆坪現地情況以緩坡堤防方式並充分利用既有挖方材料回填土方。
- 3、隧道出口底部高程原則為 115m，並配合出口處、11 與 12 號沈澱及大漢溪現地地形，規劃具有沖淤功能尾水設施之傾倒式閘門，俾利用颱風時期，將水庫淤泥沖放至大漢溪，以回歸至下游原有河道。另請妥善規劃利用北水局各沈澱池功能及容量，作為阿姆坪至羅浮間河道有價料及無價料清運之儲存區，以利水庫未來清淤、沖淤作業執行。
- 4、石門水庫增設防淤隧道工程，C 案加 D 修正案之工程總經費，原則以新台幣 100 億元額度，辦理修正可行性規劃各項工程數量、經費估算之參據。

水利署於民國 100 年 11 月 24 日召開「研商石門水庫增設防淤隧道工程規劃工作事宜」會議，決議如下：

- 1、阿姆坪案以運砂及抽砂通道為主，所提規劃設計內容請北水局持續進行檢討，其中利用通道排洪沖淤有其施設可行性，且經初步評估不降低大灣坪案之排砂效能，原則上認屬可行。

- 2、本案施工期間對環境之影響，擬於後續環境影響調查及水土保持計畫進一步評估，請北水局詳予分析及研擬減輕對策，並參據對兩案誰動時程及優先順序再進一步評析。
- 3、簡報所提水庫整體防淤策略各項清淤數據，請北水局再分析核算，以明確排砂清淤之計畫效能。
- 4、後續環境影響調查、水土保持計畫、工法設計、水工試驗及營管操作模式等工作，請水規所及北水局賡續辦理。
- 5、依簡報經討論及綜合評估，以象鼻引水鋼管工法優於岩塞爆破工法、圍堰工法，惟最後施作工法及優先替代方案仍請北水局會同水規所再行檢討。
- 6、本案經費部分依上述檢討後再核算，原則以 100 億元以內額度辦理。
- 7、阿姆坪案之沉澱池沖淤行為模式，以現地試驗模擬仍有困難，請水規所依現地狀況蒐集相關資料評析。

緣此本工作對於阿姆坪隧道由原 D 案修正為調整 D 案，其功能調整為排除水庫中上游淤積泥砂之運砂及抽砂之通道，並輔以下游沉澱池沖淤操作之功能，以解決石門水庫中上游清淤影響交通及觀光之困擾，阿姆坪隧道研擬調整方案作為工程計畫書之規劃方案。

4.6.2 調整方案規劃原則與整體佈置

調整方案規劃原則為不影響大灣坪隧道或石門水庫之水庫排砂，因此阿姆坪隧道之操作係利用豪大雨或颱風期間多餘水量排放，且應於水庫調節性洩洪或異重流尚未到達時操作，本計畫最小放水量 200 秒立方公尺，參考「石門水庫水門操作規定及運用要點」石門水庫調節性洩洪量約 200~600 秒立方公尺，本工作參考水庫歷年操作經驗如表 6-1，訂定阿姆坪隧道

操作水位與流量。

- 1、洪水期間水庫於水位上升至約 242.90 公尺時沖淤流量為 200 秒立方公尺。
- 2、水庫水位超越高程 245 公尺時則以孔口及自然溢流方式操作，當水位高程高於 247.40 公尺關閉引水渠道進水口堰孔口以自然溢流方式操作，當水位高程 250.22 公尺最大沖淤設計流量為 600 秒立方公尺。

阿姆坪隧道(調整 D 案)之路線線型維持不變，調整方案共分為進水口段、隧道段、出水口段及沖淤池段等 4 大結構。圖 4-13 為阿姆坪隧道(調整 D 案)平面布置，圖 4-14 為整體縱斷面圖。

出水口及沖淤池段功能為沖淤由阿姆坪隧道抽泥中之可沖淤料 32 萬立方公尺，假設每年沖淤 2 次，因此每次堆放之體積為 16 萬立方公尺，考量當第一次沖淤與第二次沖淤時間可能僅數天至數個月(5 月~9 月)不等，兩艘抽泥船抽泥 16 萬立方公尺所需時間約 5 個月，故由抽泥管現場操作暫置恐無法達 16 萬立方公尺，故應以緊臨之沉澱池為暫置區，當第一次沖淤結束後即可由沉澱池補充。

4.6.3 調整方案進水口段

圖 4-15 為進水口段平縱斷面，圖 4-16 為標準斷面圖，長度為 156.15 公尺，共設置引水渠道進水口堰及隧道進水口，其布置分別如下：

- 1、引水渠道進水口堰：

圖 4-19 為進水口堰詳圖，採臥箕堰設計堰長 30 公尺，堰頂高程 245.00 公尺，底部高程 236.00 公尺設置 5.00 公尺(H)×8.00 公尺(W)之孔口，進水口型狀以橢圓設計，降低入口損

失，孔口上游高程 235.00 公尺，下游高程 236.00 公尺。孔口設有閘門為 7.00 公尺(H)×10.00 公尺(W)，閘門平時全開。進水口堰側牆高程 252.00 公尺，設有 4.00 公尺操作橋及一座 13.20 公尺(L)×5.00 公尺(W)×9.00 公尺(H)閘室。

進水口堰下游由寬 30 公尺漸變為 18 公尺銜接隧道進水口，長度為 40.5 公尺。

2、隧道進水口：

圖 4-18 為隧道進水口，採雙道孔口 2@5.50 公尺(H)×7.00 公尺(W)設計，進水口型狀採橢圓設計，降低入口損失。孔口上游渠底高程 236.00 公尺，下游高程 237.00 公尺。孔口閘門為 5.50 公尺(H)×7.00 公尺(W)。隧道進水口側牆高程 252.00 公尺，出孔口後渠底高程 237.00 公尺以 L=80 公尺，S=10% 之陡槽銜接隧道進口。

規劃方案相關水位、流量及閘門操作如表 4-6，各結構水位、流量率定曲線如圖 4-13，本方案已由水規所完成水工模型試驗。

表 4-6 阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口水位、流量及閘門操作表

時機及因子	水位(m)	流量(cms)	閘門操作
水位上升段： 最低操作水位與流量	高程 242.9	200(258) (說明)	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全閉→全開
上升段： 滿水位高程 245	高程 245.0	266(350)	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全開
上升段： 洪水位高程 247.4	高程 247.4	200(177)	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開→全閉(註 2) 2.隧道進水口孔口閘門：全開
上升段： 洪水位高程 250.2	高程 250.2	600(655cms)	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開→全閉(註 2) 2.隧道進水口孔口閘門：全開
下降段： 滿水位高程 245	高程 245.0	0	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全閉→全開 2.隧道進水口孔口閘門：全開→全閉

說明：流量 266(350)：266 表經驗公式計算，(350)表依水工模型結果內插。

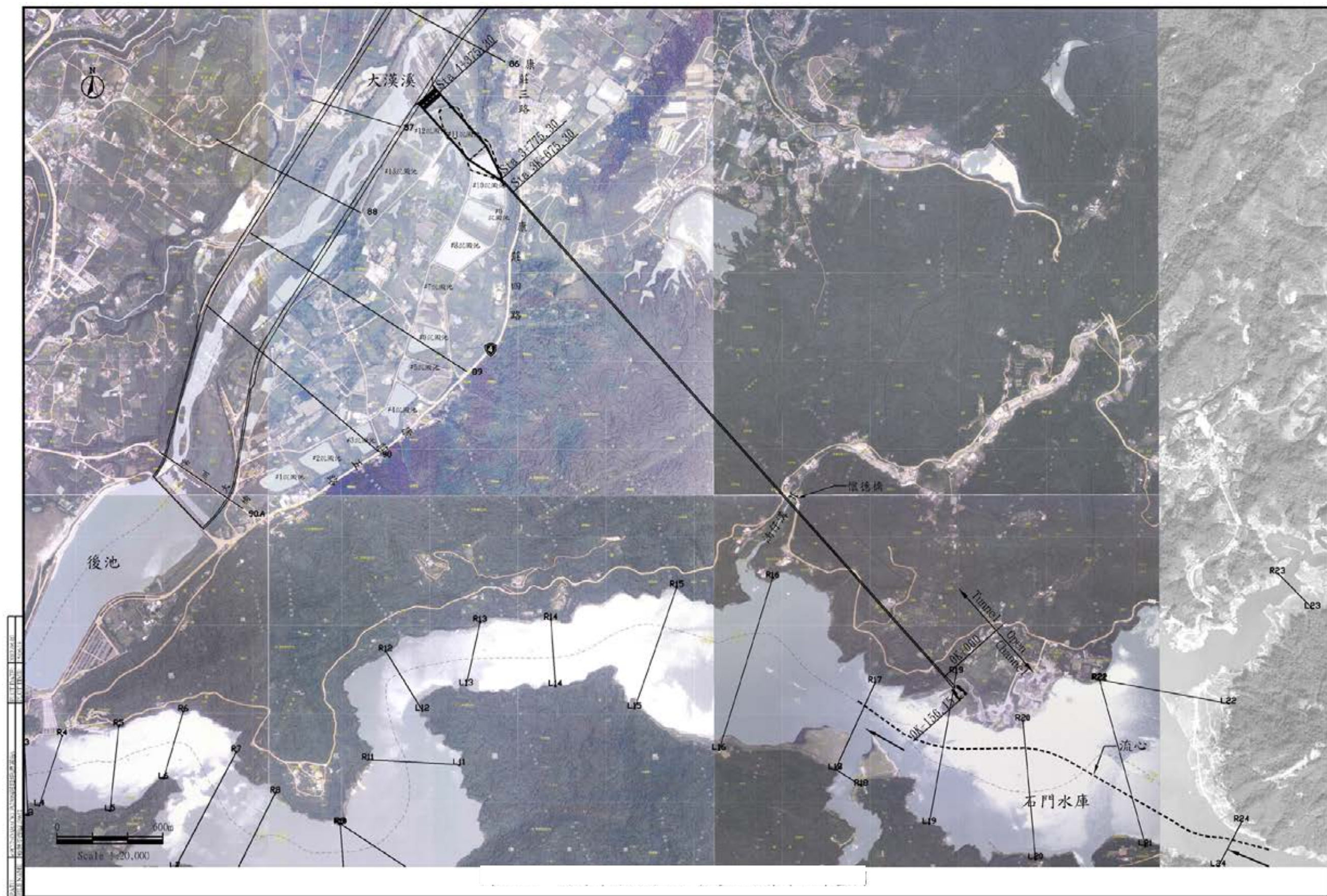


圖 4-13 阿姆坪隧道(調整 D 案)工程平面布置圖

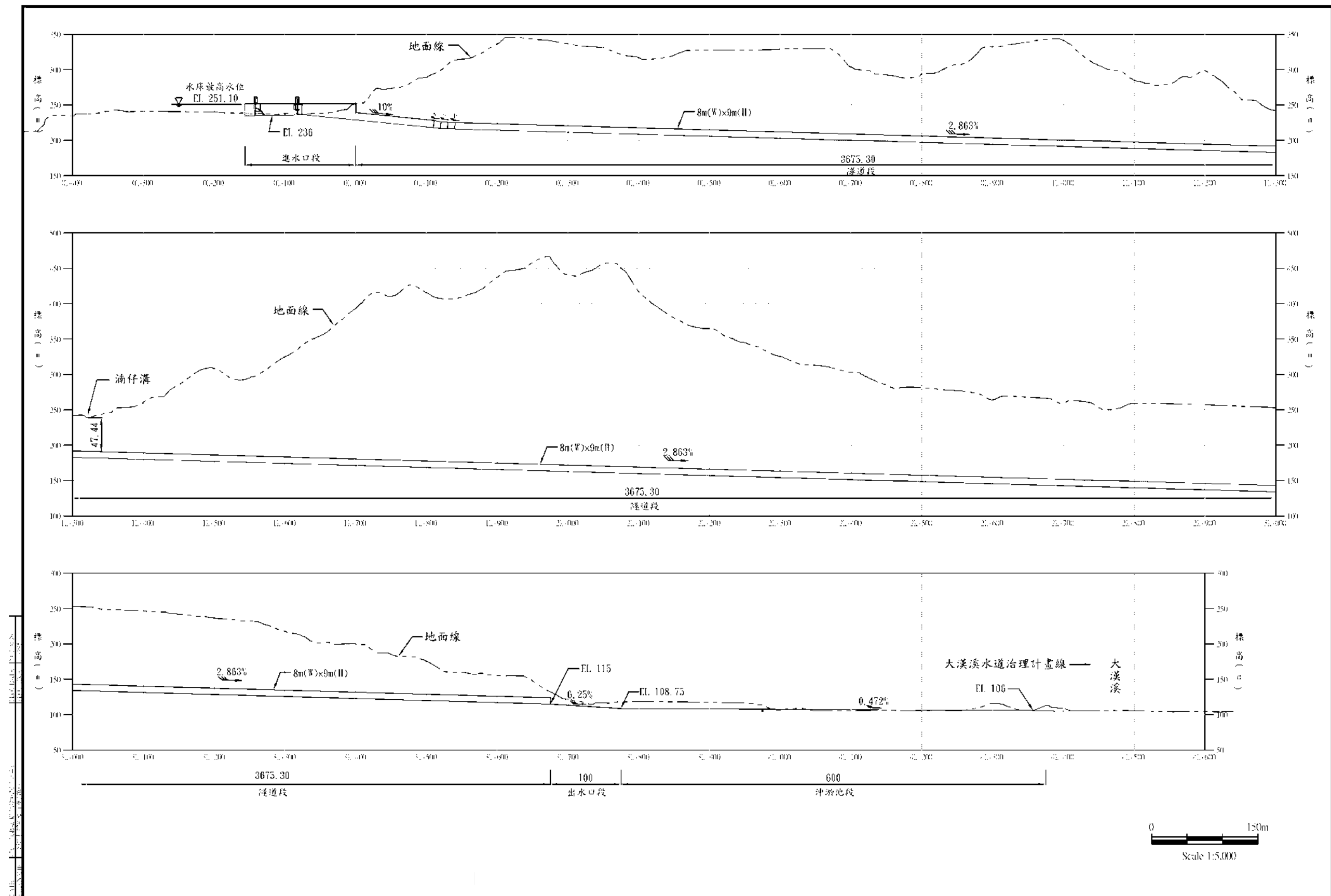


圖 4-14 阿姆坪隧道(調整 D 案)工程整體縱斷面圖

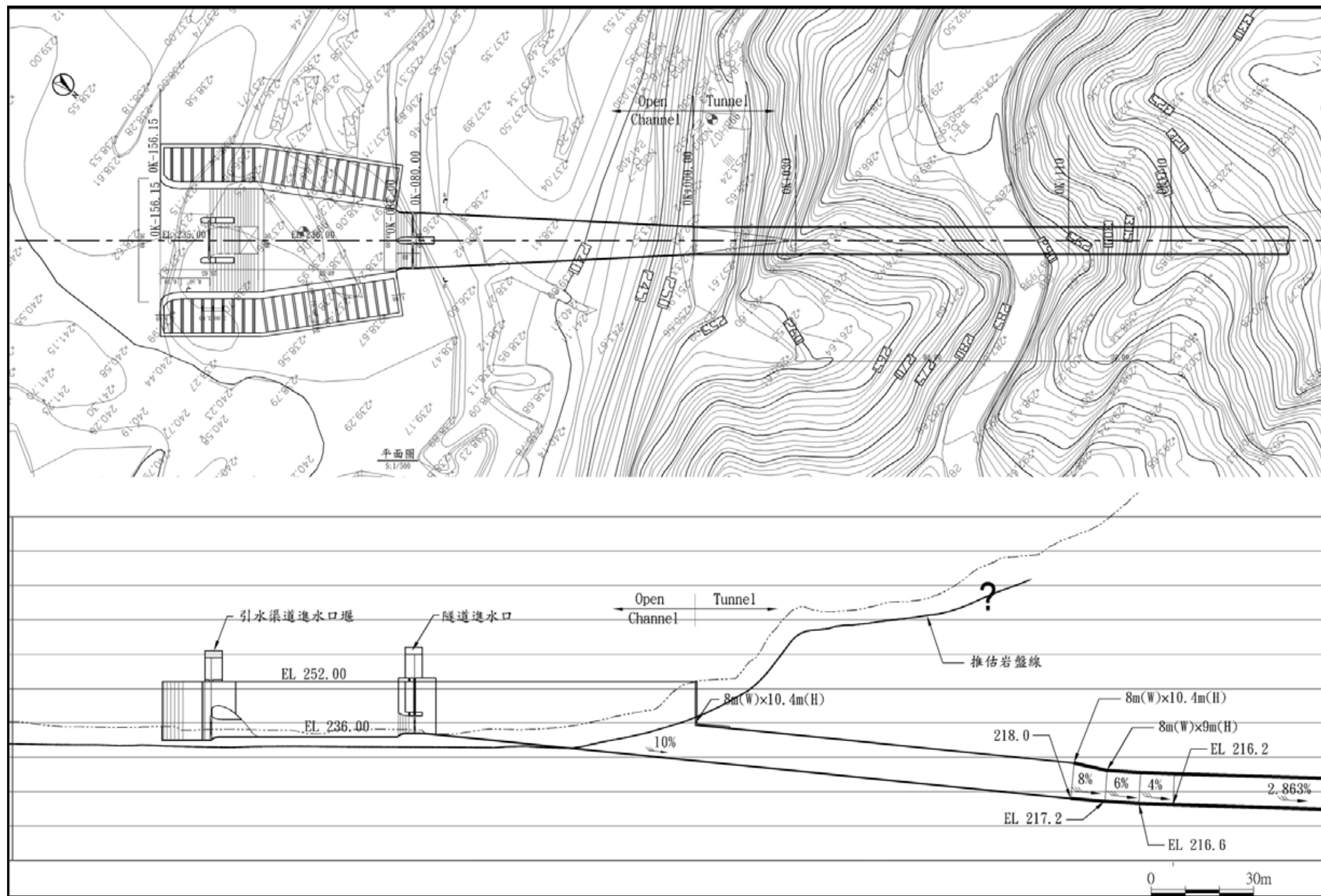


圖 4-15 阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口段平縱斷面圖

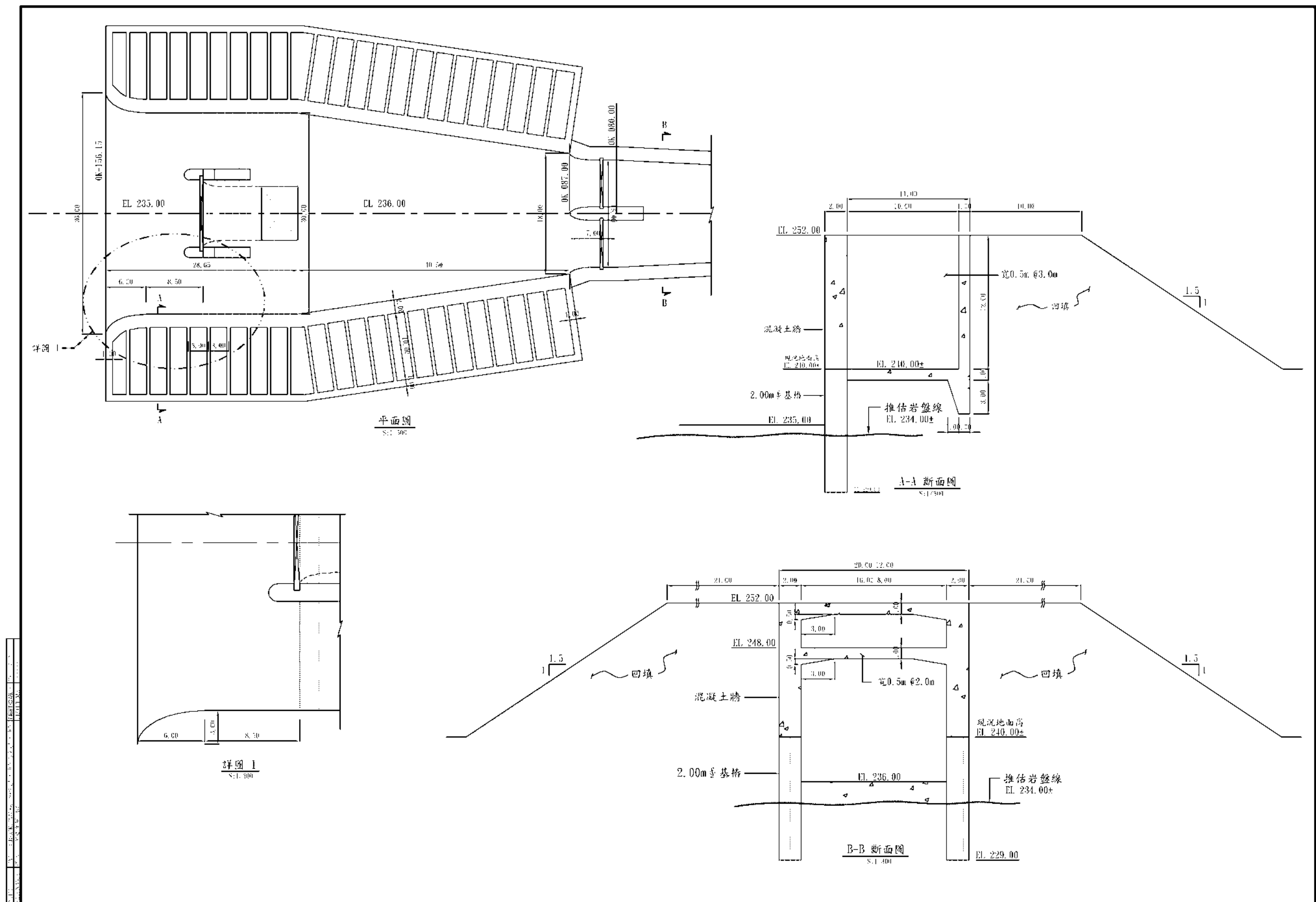


圖 4-16 阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口段標準斷面圖

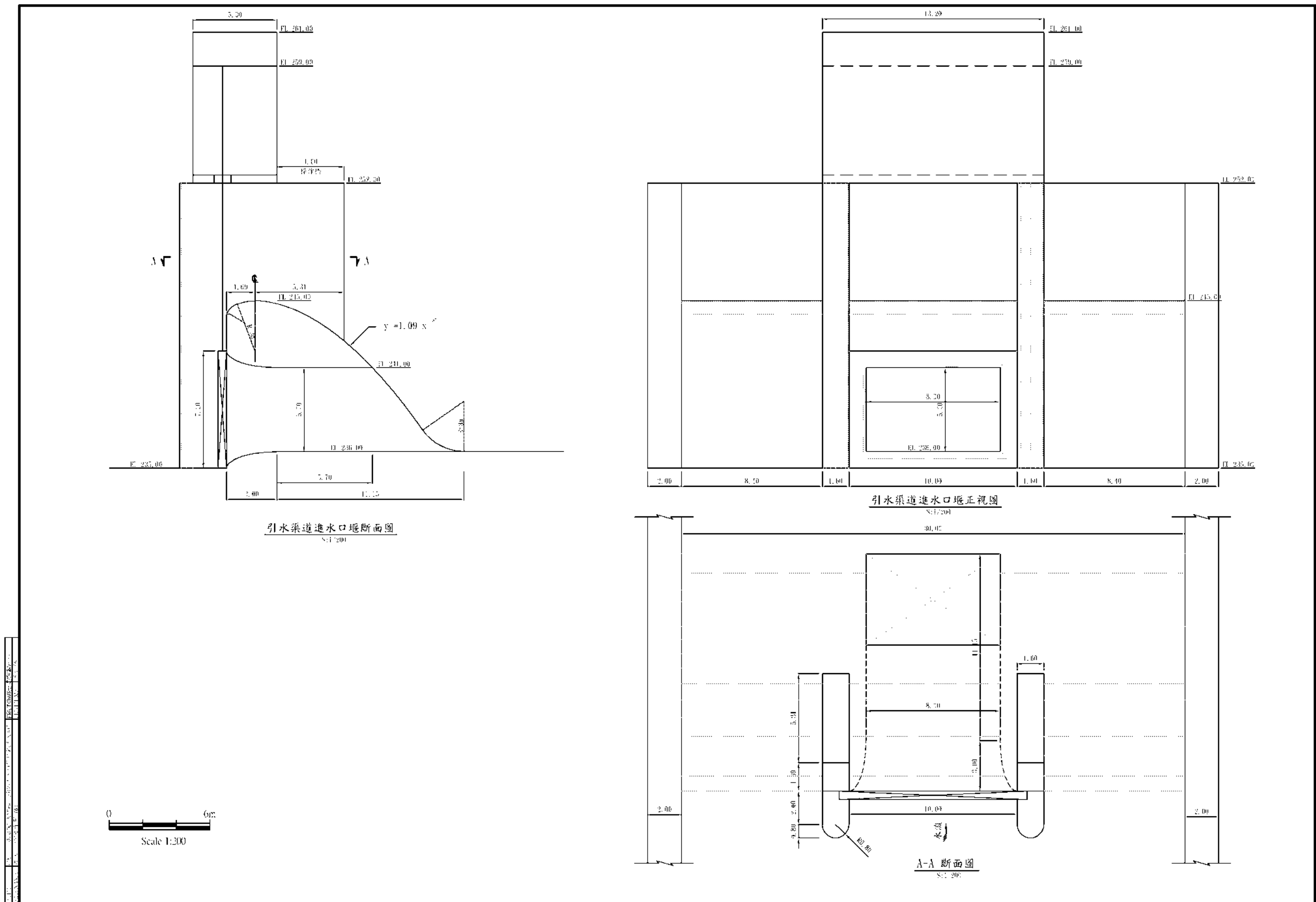
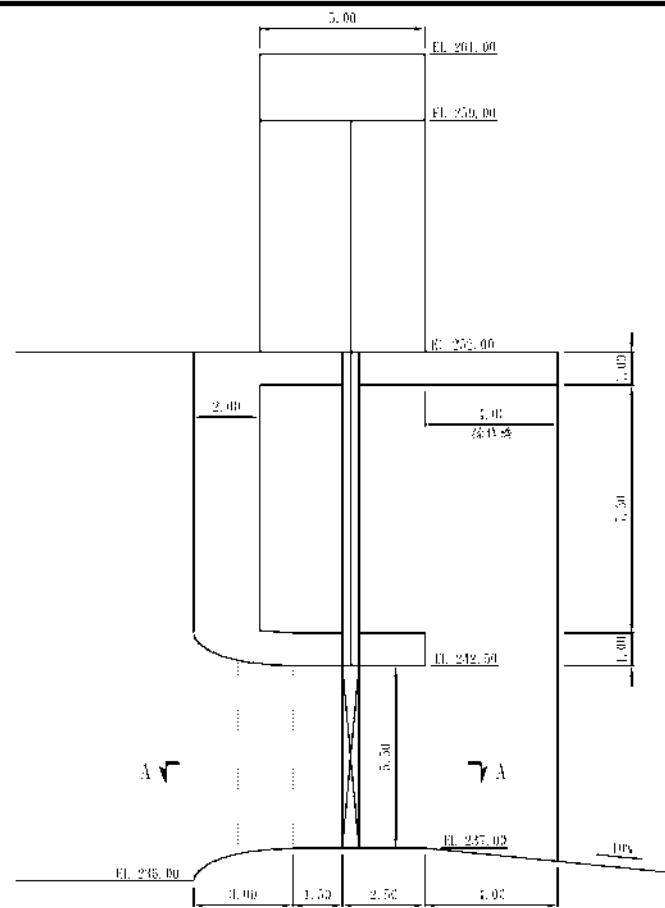
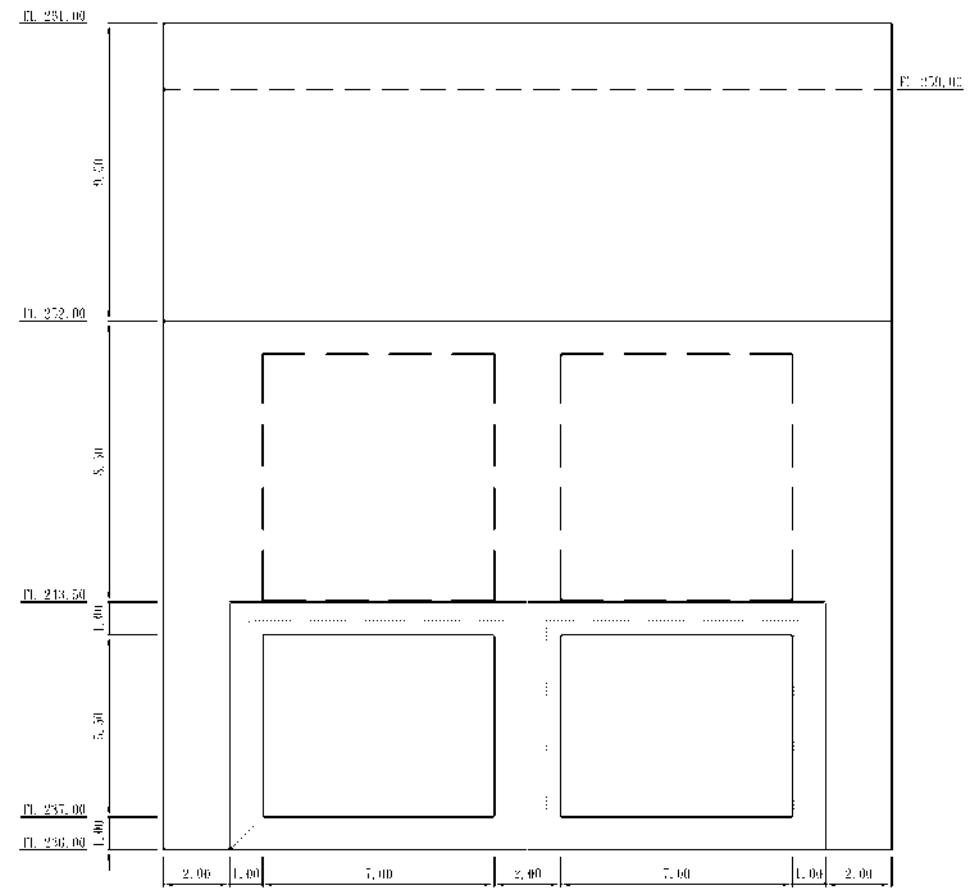


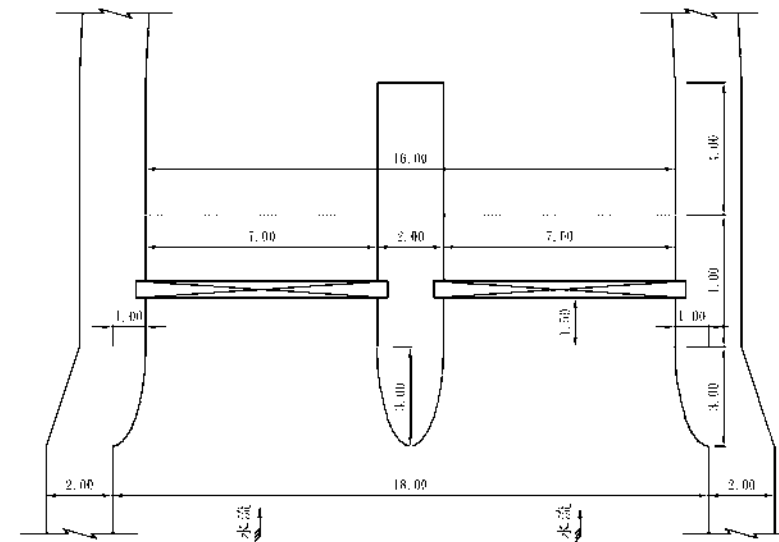
圖 4-17 阿姆坪隧道(調整 D 案)引水渠道進水口堰詳圖



隧道進水口断面圖
S:1/250



隧道進水口正視圖
S:1/250



A-A 断面圖
S:1/250

0 6m
Scale 1:300

圖 4-18 阿姆坪隧道(調整 D 案)隧道進水口詳圖

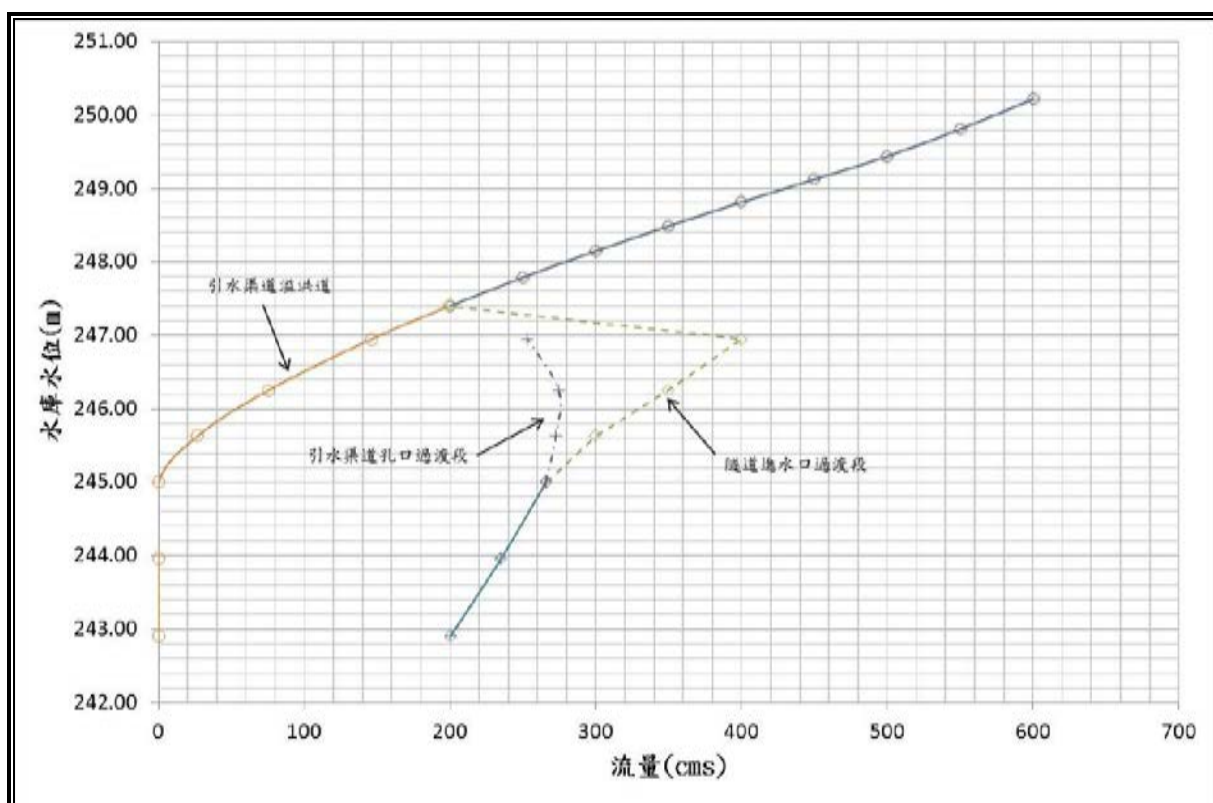


圖 4-19 阿姆坪隧道(調整 D 案)進水口各結構水位與流量率定曲線

4.6.4 調整方案隧道段

隧道段長度維持 3,675 公尺，隧道斷面調整為正馬蹄形斷面，隧道內部淨高為 9 公尺，底部淨寬為 8 公尺，其上部佈設抽泥管線，隧道標準斷面如圖 4-20 所示。根據「勞工安全衛生設施規則」第 25 條規定，樓地板至天花板淨高應在 2.1 公尺以上，因此規劃上部空間由輸泥管架旁起維持 2.1 公尺以上淨空距離。因應卡車清運期間通風需求，預埋設通風機掛鉤，供使用期間可附掛臨時用通風設備，其中縱流通風之臨時風機外徑至少 1.1 公尺。

4.6.5 調整方案出水口及沖淤池段

出水口及沖淤池段陸續依水工模型試驗成果進行修正調整，依各次調整方案成果分別說明如下。

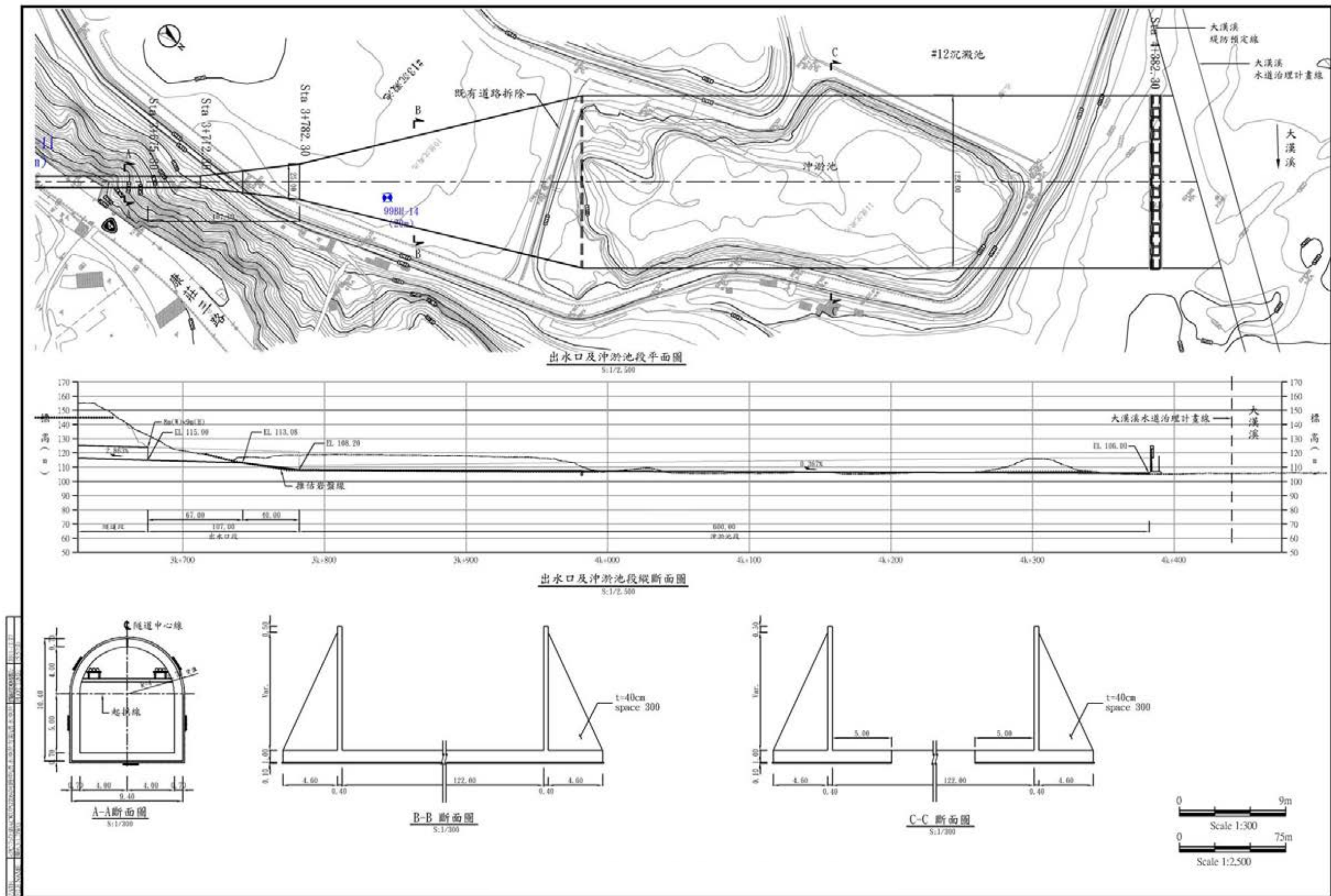


圖 4-21 阿姆坪隧道(調整 D 案 I)出水口及沖於池段平縱斷面圖

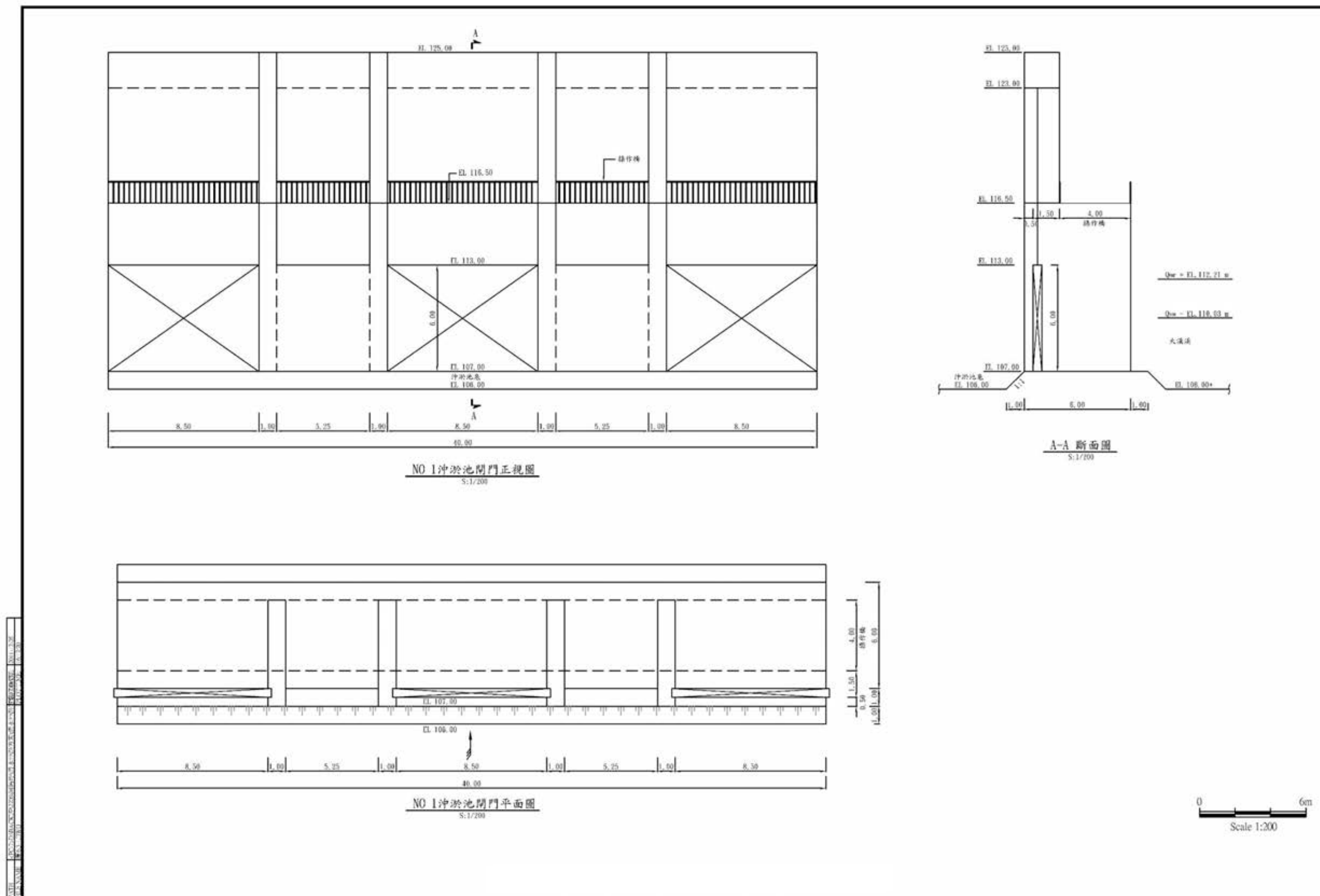


圖 4-22 阿姆坪隧道(調整 D 案 I)沖淤池出口閘門示意圖

2、民國 101 年 4 月，可行性規劃報告及總報告

出水口及沖淤池段採兩種方案布置，一為閘門及中隔牆型式，如圖 4-23 所示；另一為臨時性土堤，如圖 4-24。

(1)方案一：閘門及中隔牆型式

A、出水口段：

隧道出口仰拱高程 115.00 公尺，先以長 37 公尺維持寬 8.00 公尺之渠道後再以長 67 公尺漸變至寬 25 公尺，角度 6.92° ，全長共 107 公尺。出水口段於出隧道口約 67 公尺處為配合現況岩盤高程由 113.08 公尺順接至出水口末端 108.20 公尺。

B、沖淤池段：

沖淤池由出水口末端寬 25 公尺，漸變至 122 公尺，長度為 200 公尺，為避免高流速水流的流態不均勻分布無法有效沖砂，故設計 2 道隔牆，將沖淤池 3 等分，亦即隔牆寬 1.00 公尺時，每道沖淤池之寬度為 40 公尺，由左至右分為 NO1 沖淤池、NO.2 沖淤池及 NO.3 沖淤池。

沖淤池中隔牆牆高由上游 3.00 公尺，漸變至下游的 10.50 公尺，其目的在於水流可藉由上游端較低的中隔牆進行流量分配。每道沖砂池末端均設有 3@6.00 公尺(H)×8.50 公尺(W)閘門及 2@6.00 公尺(H)×8.75 公尺(W)胸牆，閘門底部高程 107.00 公尺，於高程 116.50 公尺設置 W=4.00 公尺操作橋，高程 116.50~125.00 公尺設置有操作閘門之結構。本閘門平時全關，當沖砂時則 3 道沖砂池分別輪流操作，亦即每次僅操作一道沖淤池以取得沖淤池較大之流速，以利沖砂。

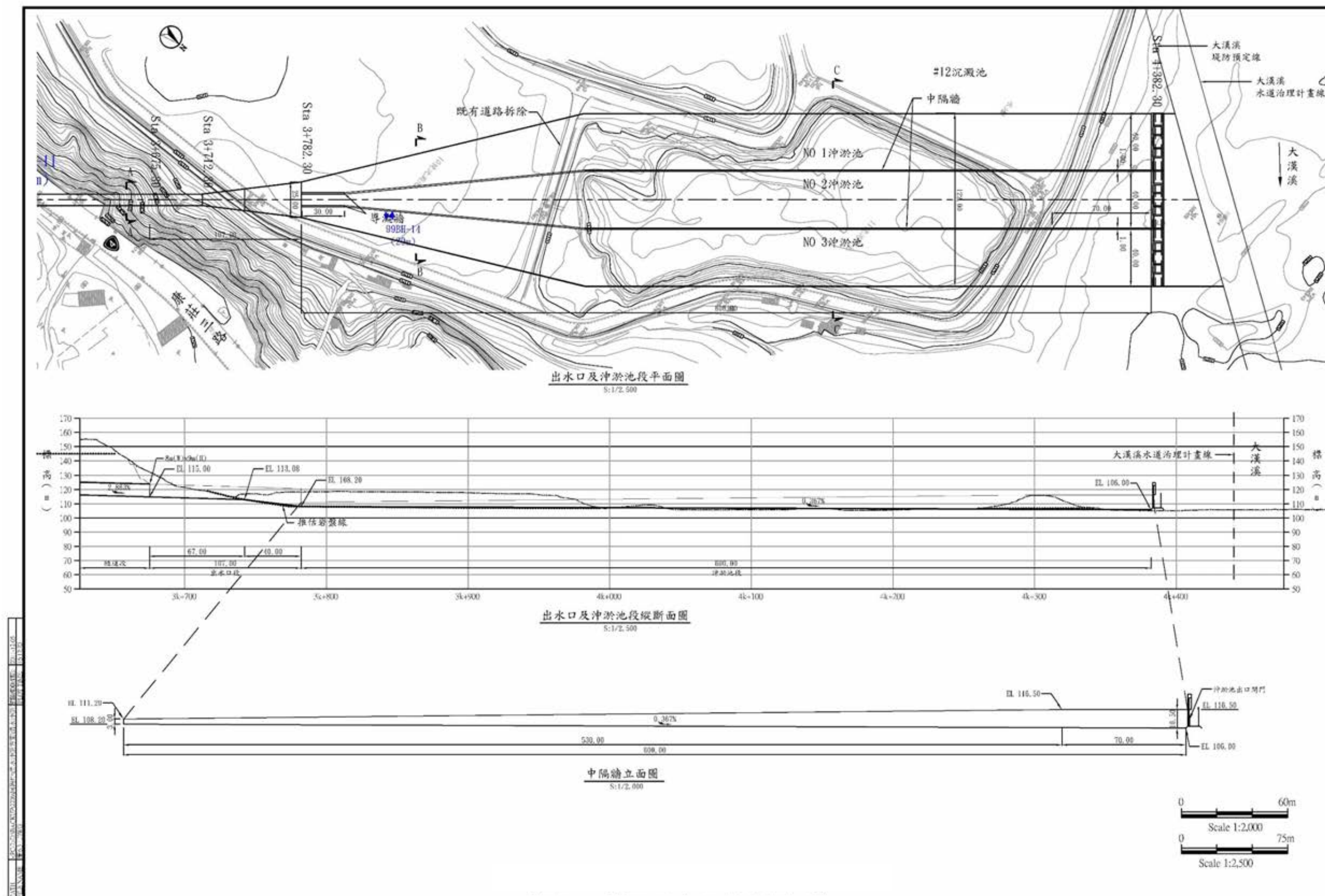
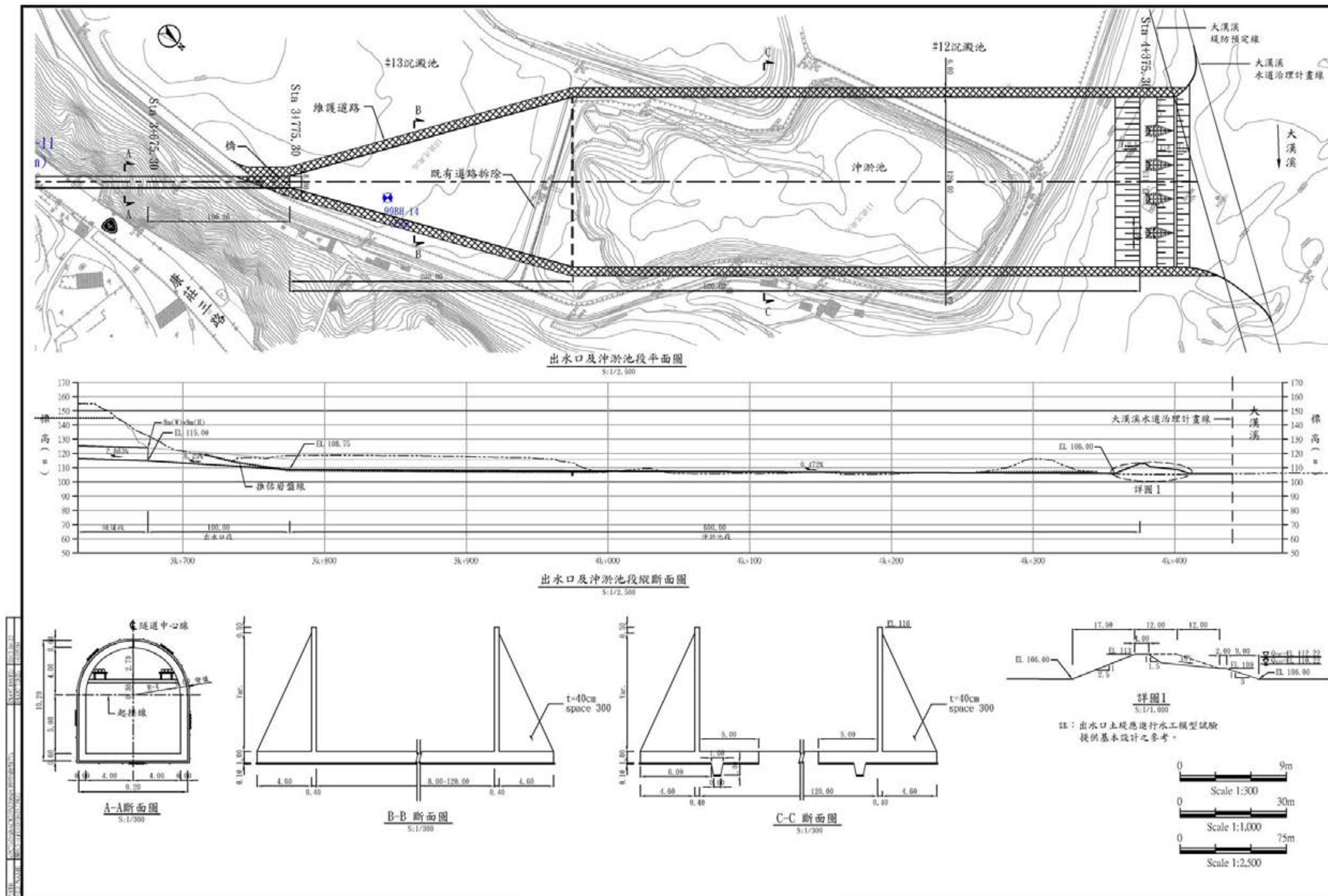


圖 4-23 阿姆坪隧道(調整 D 案 II)開門及中隔牆型式出水口及沖於池段平縱斷面圖



2、方案二：臨時性土堤型式

(1)出水口段：

隧道出口仰拱高程 115.00 公尺，長 100 公尺維持寬 8.00 公尺之渠道，以坡度 6.25%順接至出水口末端高程 108.75 公尺。

(2)沖淤池段：

沖淤池由出水口末端寬 8 公尺，漸變至 120 公尺，長度為 200 公尺，再由寬 120 公尺銜接至現有水道治理計畫線，以坡度 0.472%順接至出水口末端高程 106.00 公尺，長度約 400 公尺，於沖淤池尾端興建臨時土堤以作為平時將儲蓄水庫之淤泥之用，為滿足一次蓄淤體積至少 16 萬立方公尺，淤泥高度至少需高程 110 公尺，另避免淤泥直接曝曬於陽光下，淤泥上方需有水浸沒，圖 4-25 為淤池 H-V 曲線。

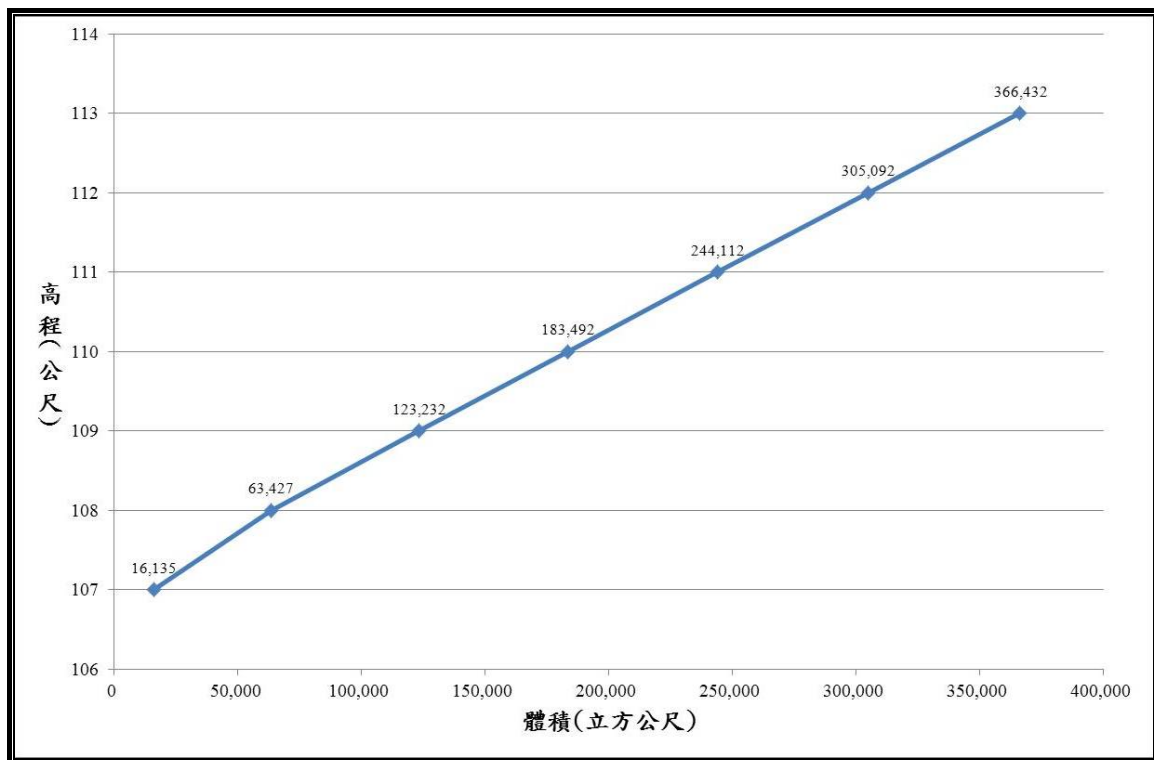
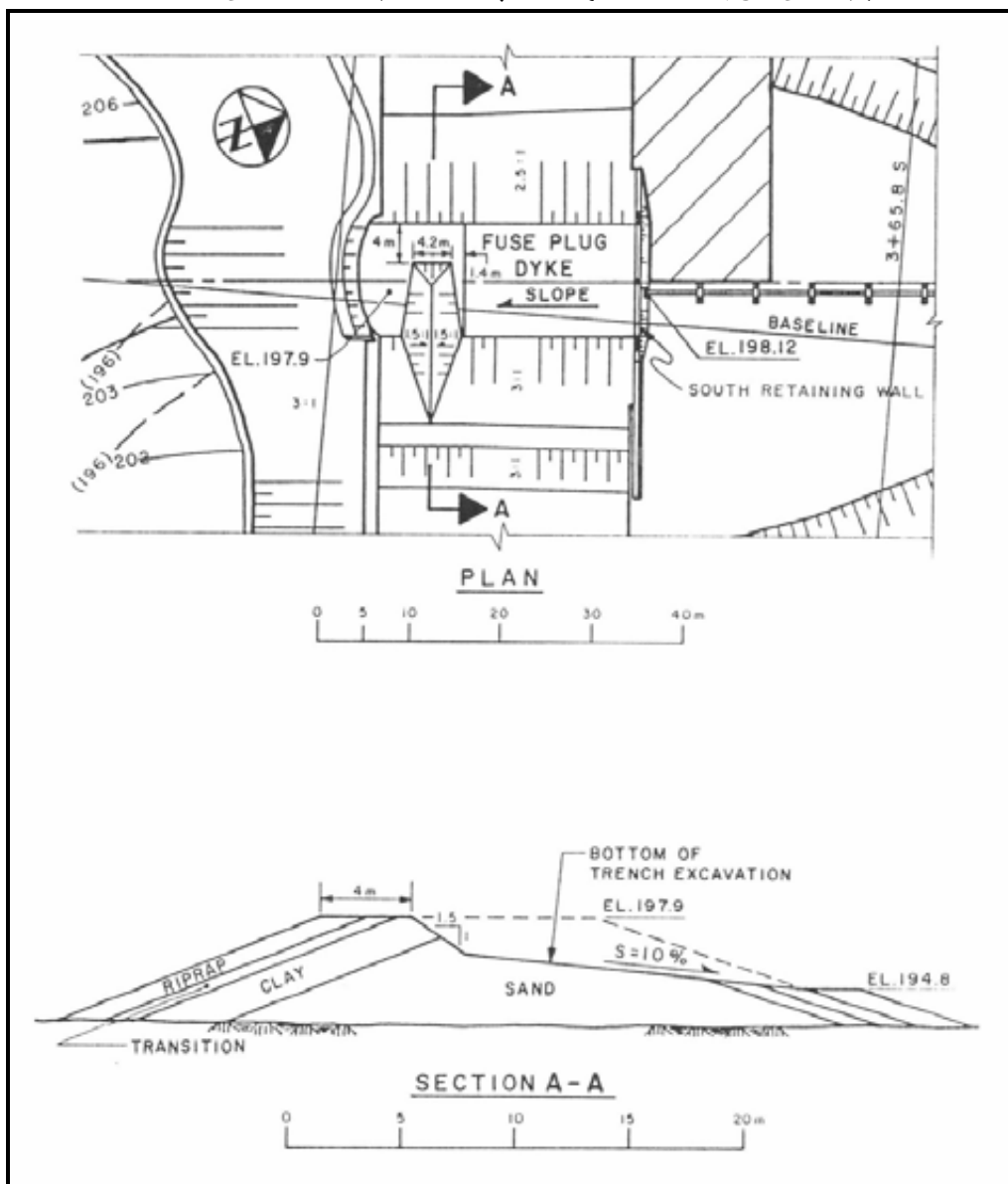


圖 4-25 阿姆坪隧道(調整 D 案 II)出水口及沖淤池 H-V 曲線

(3)臨時性土堤型式：

土堤型式參考 “Design and Construction of a Fuse Plug Dyke in Northern Manitoba, Dam Safety 1992”保險堤設計，如圖 4-26 所示，阿姆坪隧道因考量黏土層較難取得，故改採不透水布，並以水庫淤泥作為土堤主要回填料，如圖 4-27 所示。該不透水布主要是防止沖淤池內滲水，造成土堤破壞，而本計畫土堤破壞型式，主要是藉由水流越過堤頂後，直接沖刷堤身造成土堤不穩後毀損。



資料來源：Design and Construction of a Fuse Plug Dyke in Northern Manitoba, Dam Safety 1992.

圖 4-26 保險堤設計型式

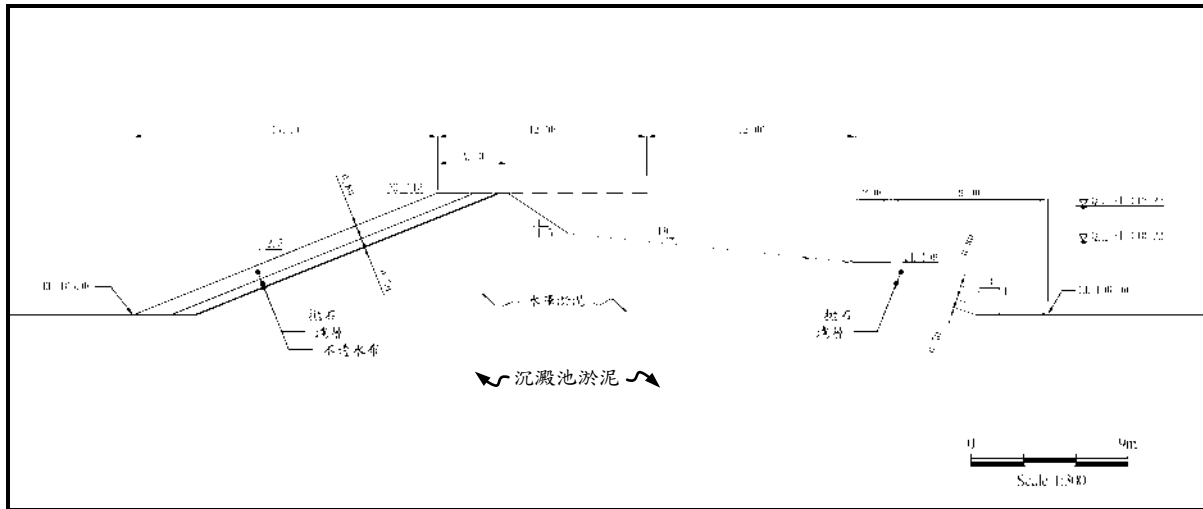


圖 4-27 阿姆坪隧道(調整 D 案 II)臨時性土堤型式

3、方案擇定：

因考量閘門及中隔牆型式，其所需經費較高且未來運轉維修費用亦較高等因素，故採方案 2 臨時性土堤作為工程計畫書規劃方案。

4、水工模型試驗成果：

水規所民國 102 年 7 月 22、23 日已完成規劃方案之初步水工模型試驗，各次之試驗成果詳表 4-8。在水庫水位高程 245 公尺，流量 360 秒立方公尺條件下，沖淤池淤泥堆置 16 萬噸，排砂比約 7.98%，如圖 4-28 所示；相同水、砂試驗條件下，當土堤開 1/3 缺口時排砂比約 18.89%，如圖 4-29 所示。因此規劃方案需進一步調整佈置提高排砂比。其排砂比不佳之原因初步研判如下：

水流由陡坡至緩坡且寬度由 8 公尺漸變至 120 公尺將產生水躍，因此在長達 600 公尺之沖淤池段水流動能不足以啟動淤泥。

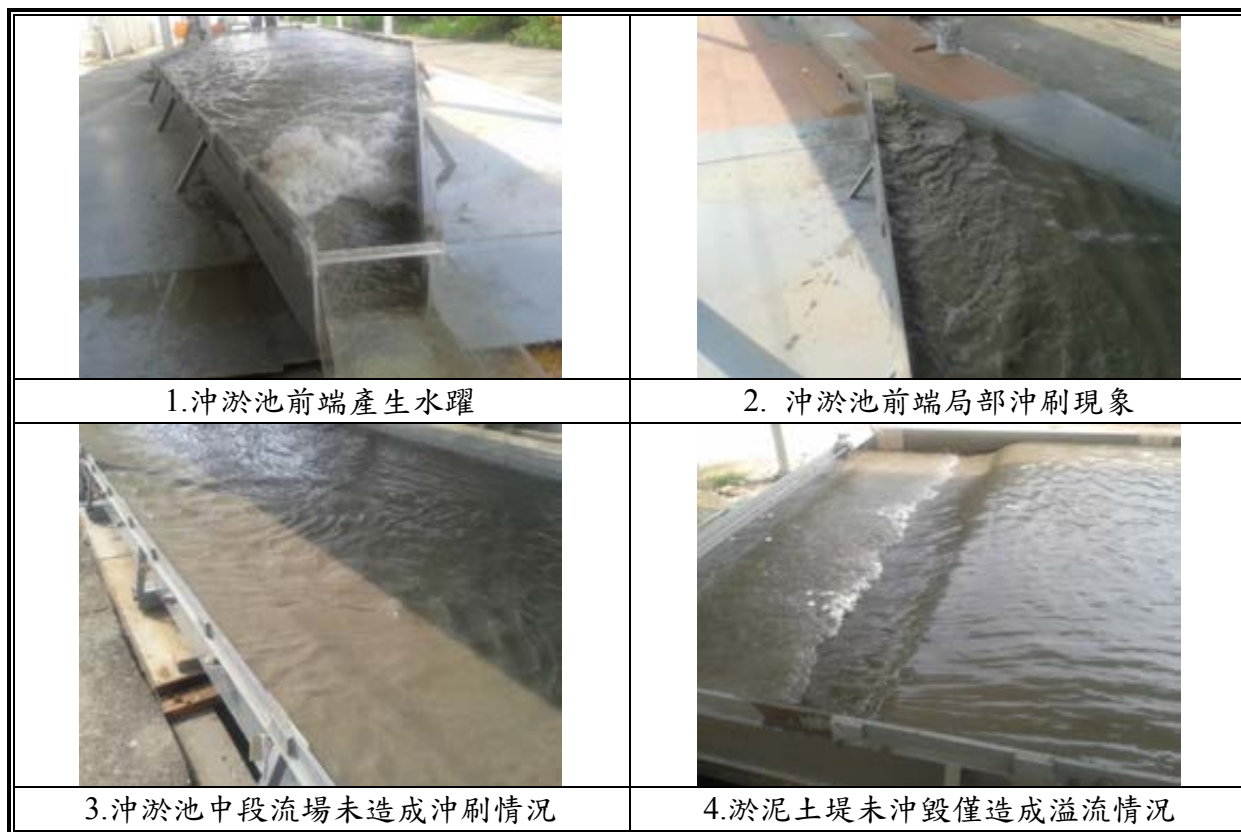


圖 4-28 阿姆坪隧道(調整 D 案)沖淤池規劃方案沖淤試驗照片

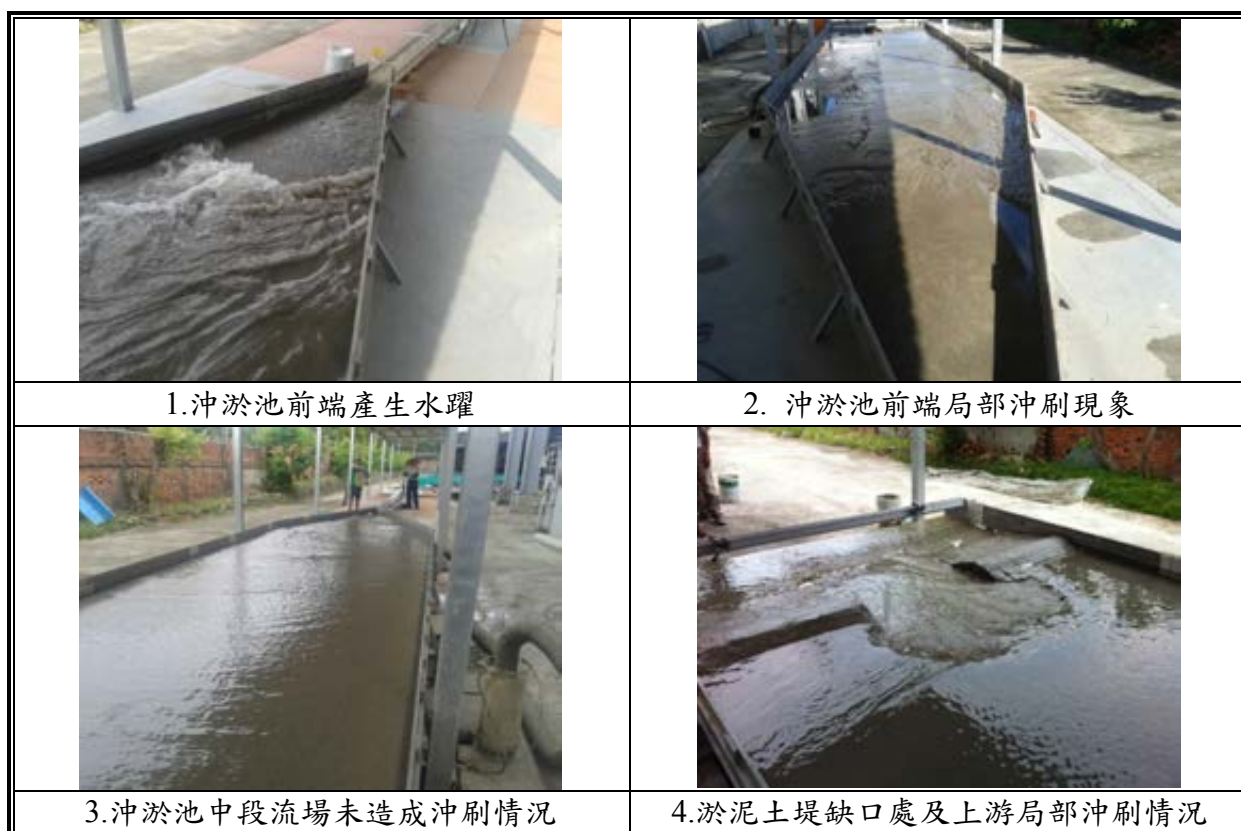


圖 4-29 阿姆坪隧道(調整 D 案)沖淤池 1/3 土堤缺口沖淤試驗照片

4.7 工程規劃方案研擬(調整 D 案修正)

北水局在考量計畫之必要性、急迫性及施工條件，將工程計畫分 2 階段實施，第 1 階段優先推動阿姆坪隧道，以兼顧處理落淤在水庫之粗細砂問題，並俟阿姆坪隧道完成後再檢討推動第 2 階段大灣坪隧道。國家發展委員會於 103 年 7 月 21 日通過「石門水庫防淤隧道工程計畫(第 1 階段)」，並於 103 年 9 月 1 日經行政院同意辦理，惟阿姆坪隧道由工程計畫書之規劃方案仍持續修正至本報告之工程規劃方案，主要針對進出水口進行修正，分別說明如下。

4.7.1 修正方案進水口段

由 102 年 11 月 15 日水工模型試驗顯示，本修正規劃方案於高程 245 公尺 600 秒立方公尺可提高水庫沖淤流量有助於沖淤池之沖刷，並可提高水庫防洪能力。依北水局民國 102 年 11 月 20 日水北畫字第 10205063310 號函辦理修正規劃方案，主要之調整原則如下：

- 1、引水渠道保留溢流堰設施，俾使水庫水位高程高於 245.0 公尺時，以自然溢流方式取水。
- 2、水庫水位於高程 245.0 公尺時能有 600 秒立方公尺之放流量，以達沖淤及兼顧防洪功能：

圖 4-30 為修正規劃方案進水口段平縱斷面，共設置引水渠道進水口堰及隧道進水口，本修正規劃方案仍須進行後續水工模型試驗驗證功能，其佈置說明如下：

- 3、引水渠道進水口堰：

圖 4-31 為進水口堰詳圖，臥箕堰為配合孔口設計堰長 33.2 公尺，堰頂高程 245.00 公尺，底部高程 236.00 公尺設置 3@ 5.50 公尺(H)×8.00 公尺(W)之孔口，進水口型狀以橢圓設

計，降低入口損失，孔口上游渠底高程 235.00 公尺，下游渠底高程 236.00 公尺。孔口設有閘門為 7.50 公尺(H)×10.00 公尺(W)，閘門平時全開。進水口堰側牆高程 252.00 公尺，設有操作橋及一座 33.20 公尺(L)×5.00 公尺(W)×9.00 公尺(H)閘室。

進水口堰下游由寬 32.2 公尺漸變為 22.0 公尺銜接隧道進水口，長度為 40.5 公尺。

4、隧道進水口：

圖 4-32 為隧道進水口，採 3@4.50 公尺(H)×6.00 公尺(W)設計，進水口型狀採橢圓設計，降低入口損失。孔口上游渠底高程 236.00 公尺，下游高程 237.00 公尺。孔口閘門為 6.00 公尺(H)×6.00 公尺(W)。隧道進水口側牆高程 252.00 公尺，出孔口後渠底高程 237.00 公尺以 L=80 公尺，S=10%之陡槽銜接隧道進口。

5、後續(基本設計階段)評估事宜：

依民國 103 年 12 月 9 日石門水庫防淤隧道工程計畫(第一階段)103 年第 7 次工作會議之結論，為配合石門水庫操作需求，進水口擬修正為水位 242 公尺時流量 600 秒立方公尺，應於後續基本設計階段進行相關佈置調整，並由進行水工模型試驗加以驗證。

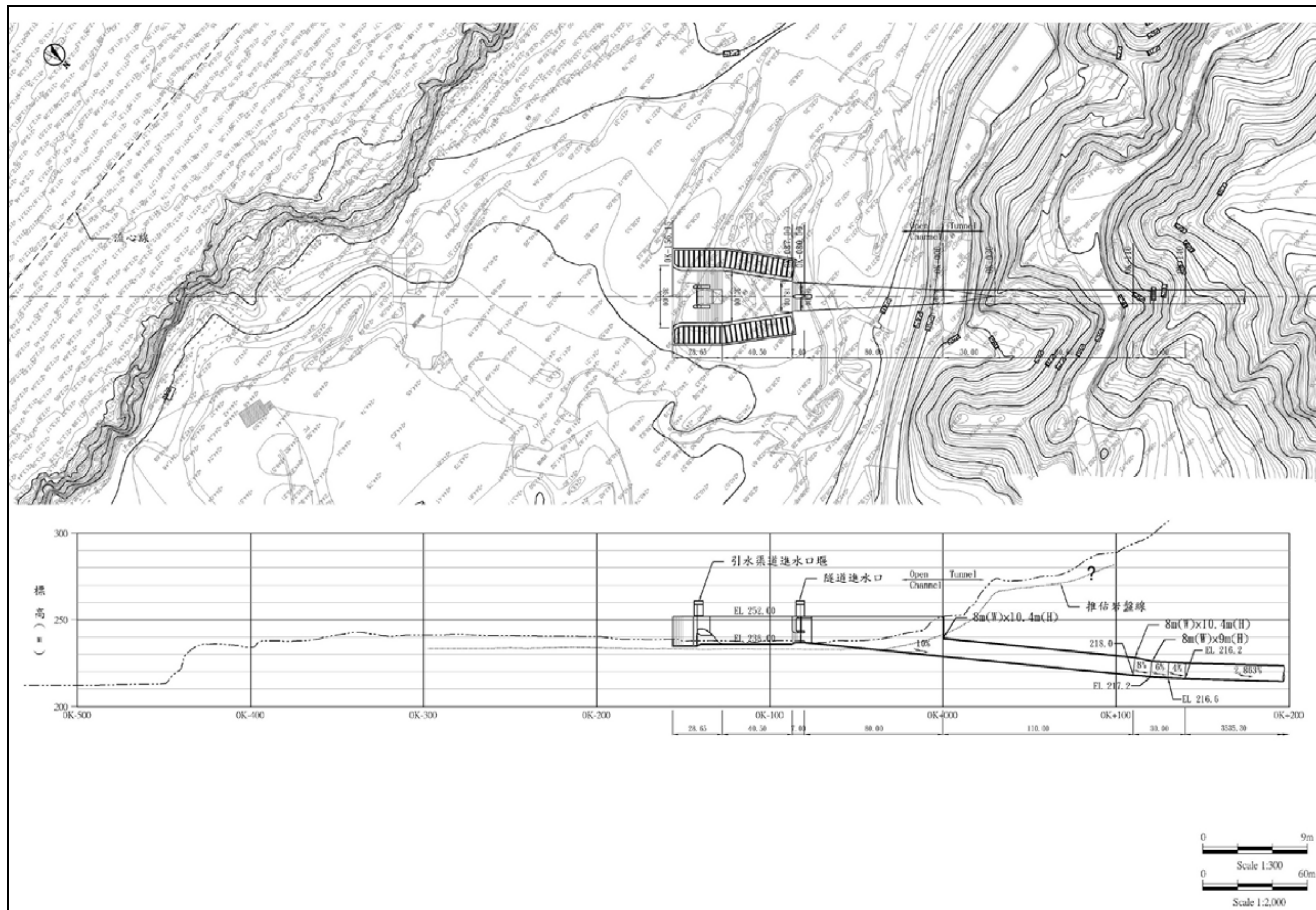


圖 4-30 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)進水口段平縱斷面圖

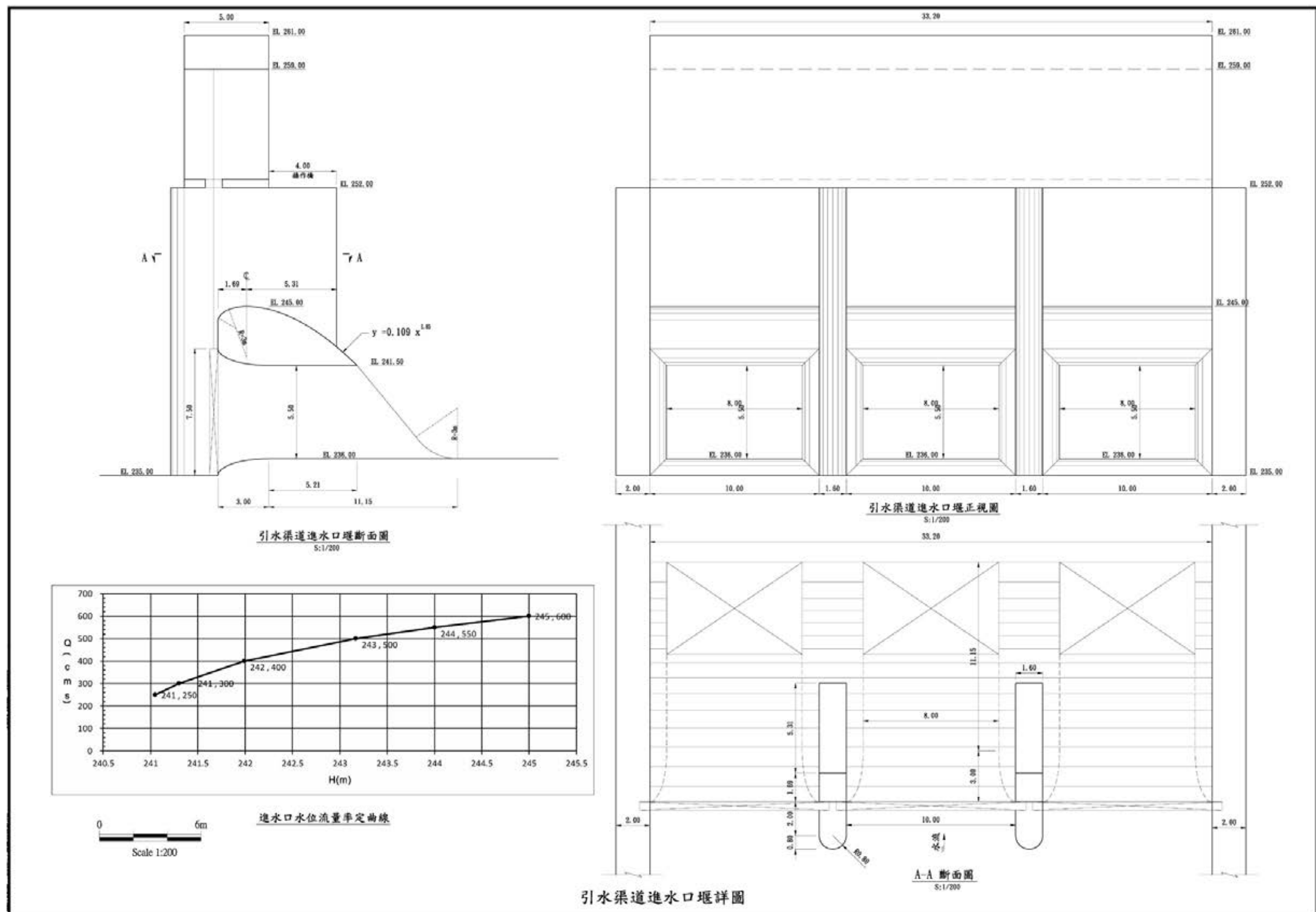
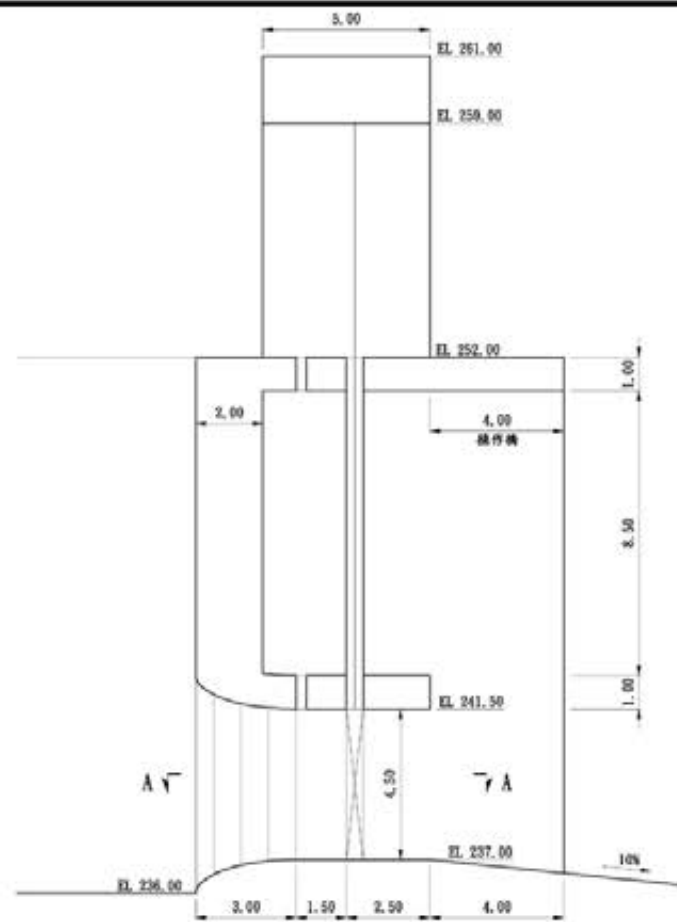
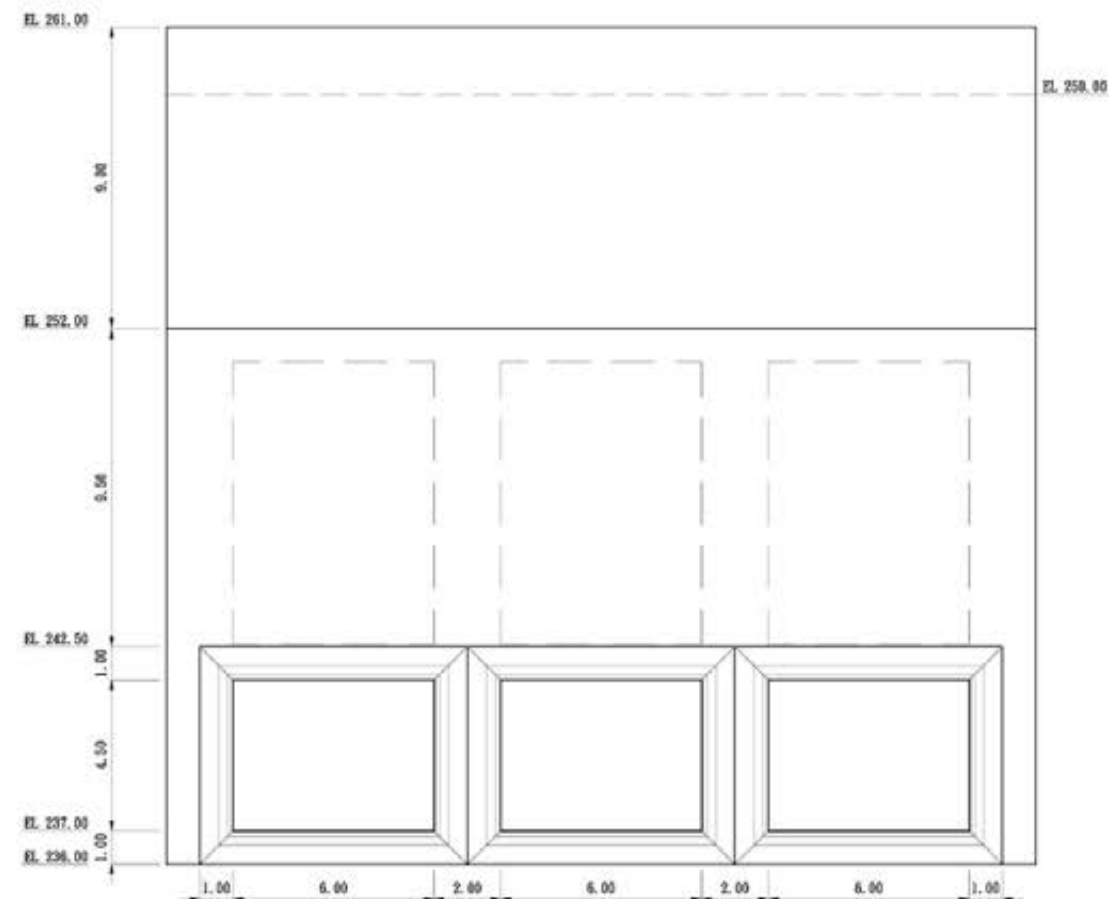


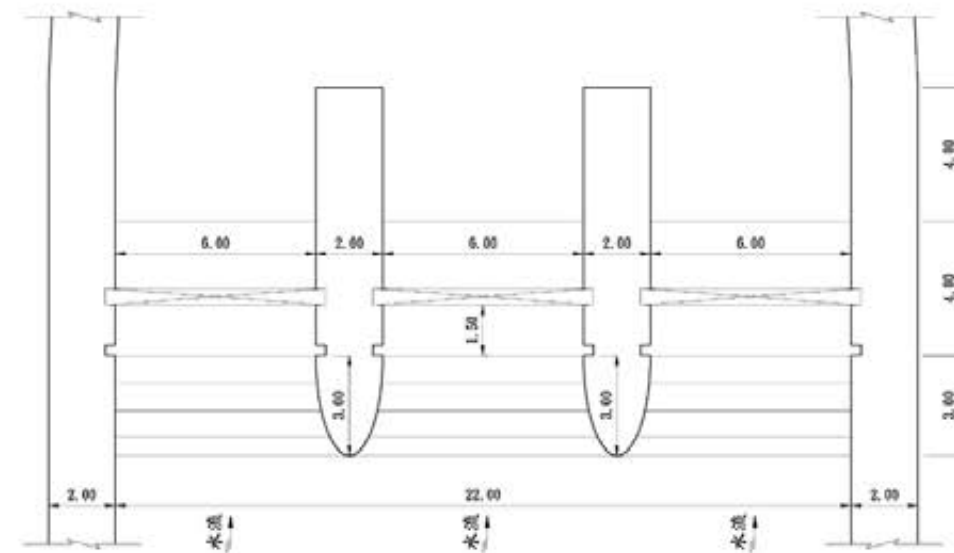
圖 4-31 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)進水口方案圖



隧道進水口斷面圖
S:1/200



隧道進水口正視圖
S:1/200



A-A 斷面圖
S:1/200

隧道進水口詳圖



圖 4-32 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)進水口詳圖

4.7.2 修正方案出水口及沖淤池段

(一)修正方案 A：

由民國 102 年 9 月 12 日之臨時工作會議結論，考量沖淤池束縮水流以提高水流沖刷力，沖淤池佈置如圖 4-33 所示，挑流工詳圖 4-34 所示。說明如下：

1、出水口段：

隧道出口仰拱高程 115.00 公尺，長 100 公尺維持寬 8.00 公尺之渠道，以坡度 5%順接至出水口末端高程 110.00 公尺。

2、沖淤池段：

(1)深槽：

出水口末端寬 8 公尺，深 4 公尺，漸變至 20 公尺，長度為 200 公尺，下游段 400 公尺維持寬 20 公尺，全段 600 公尺縱坡為 1%，順接至出水口末端高程 103.90 公尺，以斜坡順接挑流工鼻坎高程 106.00 公尺，挑流工兩側以 1：6 擴張，末端渠寬 28 公尺。另外，挑流工末端可佈置閘門或土堤兩種型式。考量第一次沖淤與第二次沖淤時間可能間隔 1~2 星期，重新施作土堤時間可能不足，故建議採閘門較為適當，閘門型式於基設階段再進一步評估。

(2)灘地：

深槽兩側灘地寬各 50 公尺，加上深槽寬 20 公尺，故沖淤池全寬仍維持 120 公尺。灘地採由沖淤池兩側以 10% 的坡度往深槽斜降，以利淤泥的沖淤，沖淤池兩側側牆高配合現況地形設定高程為 116 公尺，考量減少閘門佈置降低工程經費及集中出水口流速兩側灘地末端亦採擋土牆設計，頂部高程 116 公尺。

(3)水力分析：

依流量分別為 600 秒立方公尺、390 秒立方公尺及 200 秒立方公尺分析修正方案 A 無堆置淤泥的流速，流速約介於 14.5~6.1 公尺/秒。

若考量淤泥堆置高程 110m 時，流量分別為 600 秒立方公尺、390 秒立方公尺及 200 秒立方公尺，流速在出水口段約達 17 公尺/秒~11.5 公尺/秒，唯在沖淤池段因渠寬已達 120m，故流速僅達 1.7~0.2 公尺/秒。

(4)沖淤池體積：

考量淤泥淤滿及淤泥面上須有一定水深，且須預留初期沖淤操作時的出水高，故初步設定淤泥高度 113 公尺，此時淤泥體積僅約 10.3 萬立方公尺，遠小於每次 16 萬立方公尺的需求。

3、水工模型試驗成果：

本方案之水工模型已於民國 102 年 11 月 15 日進行試驗，試驗成果如表 4-8 及圖 4-35 所示。該次試驗沖淤池之淤泥量 8 萬噸，試驗成果顯示之深槽已具有初步沖淤功能，排砂比可達 88%，但仍應針對深槽寬度及深度進行調整增加淤泥堆置體積以發揮最大功能。

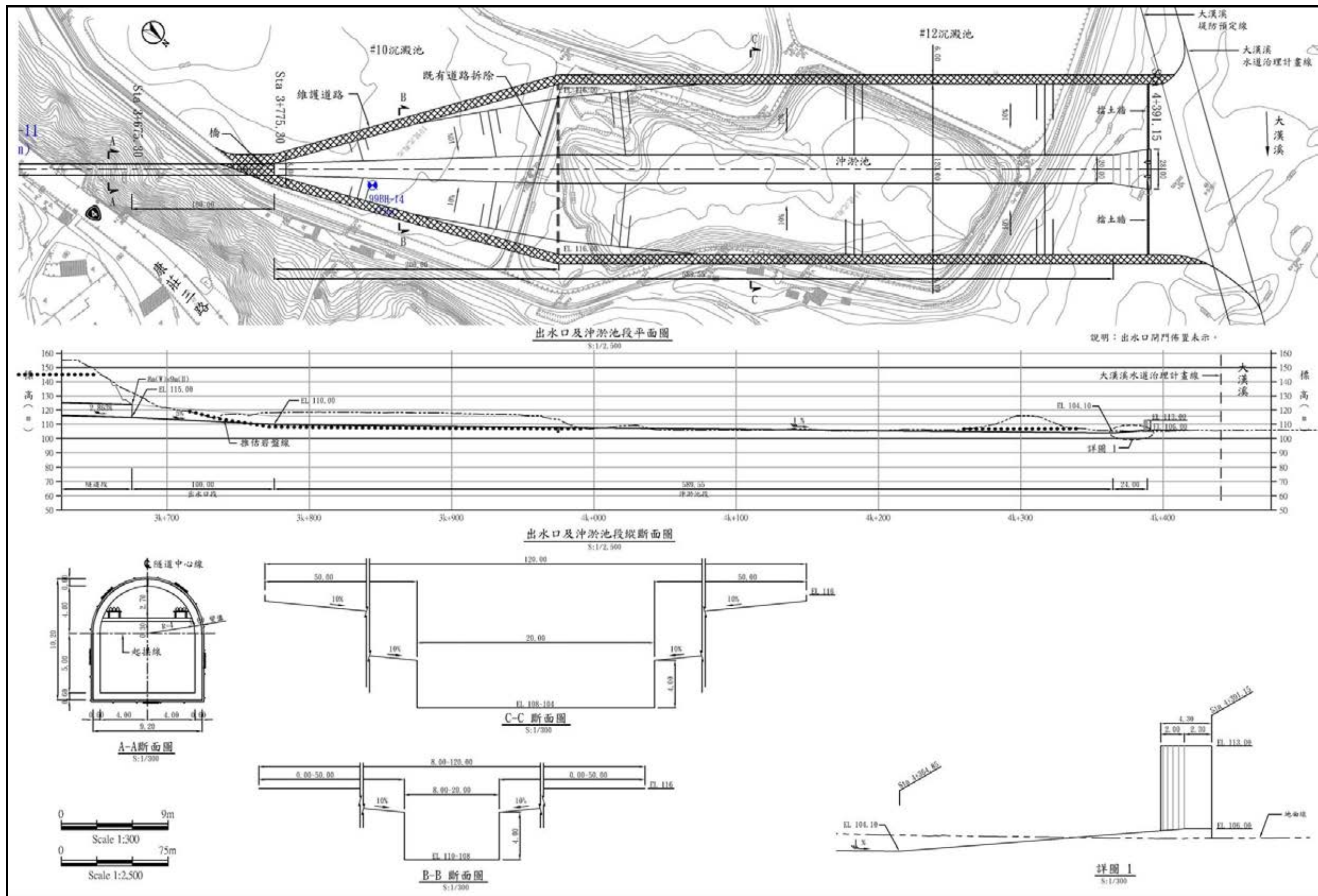


圖 4-33 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 A 平縱斷面圖

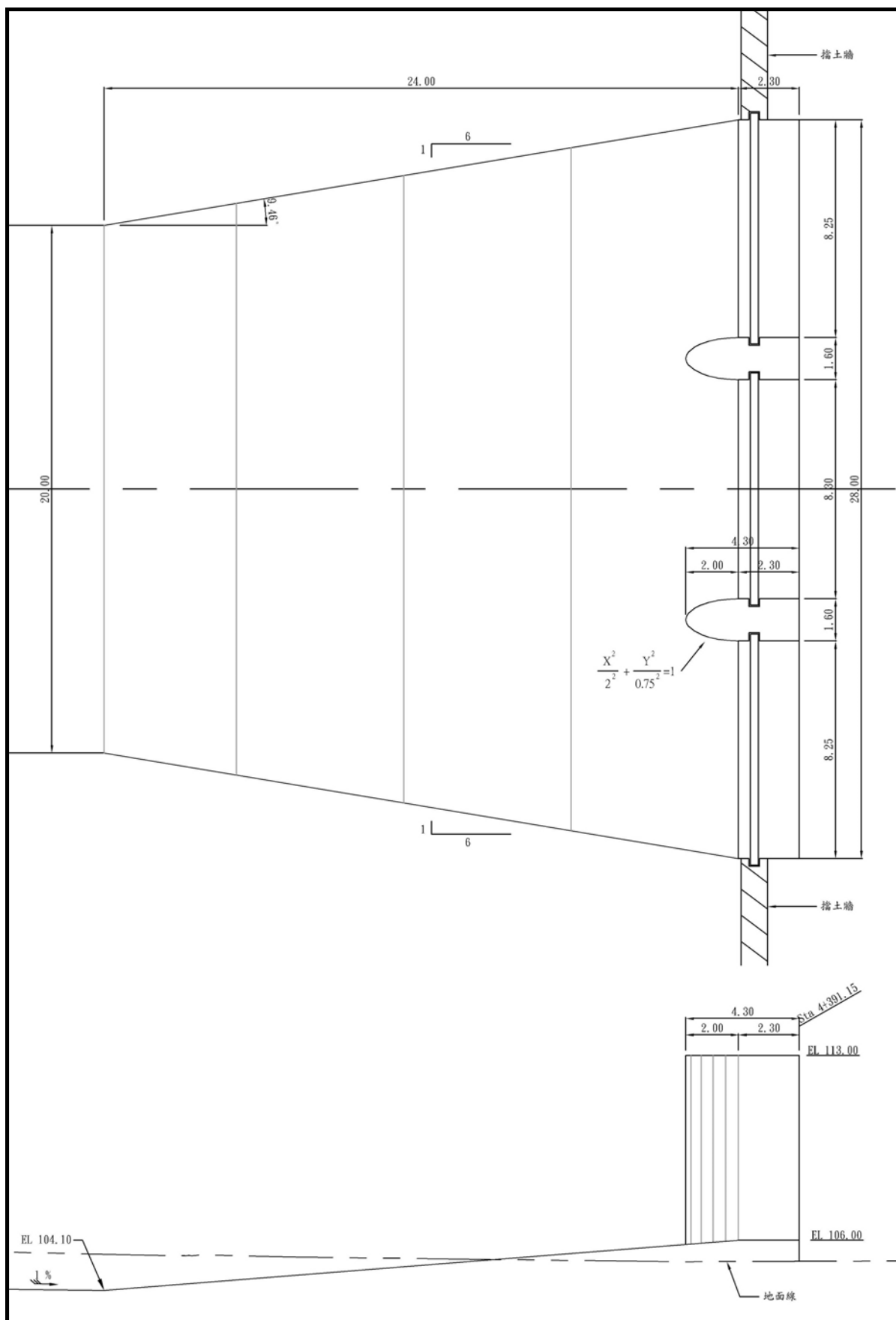


圖 4-34 阿姆坪隧道(調整D案修正)出水口及沖淤池修正方案 A挑流工佈置

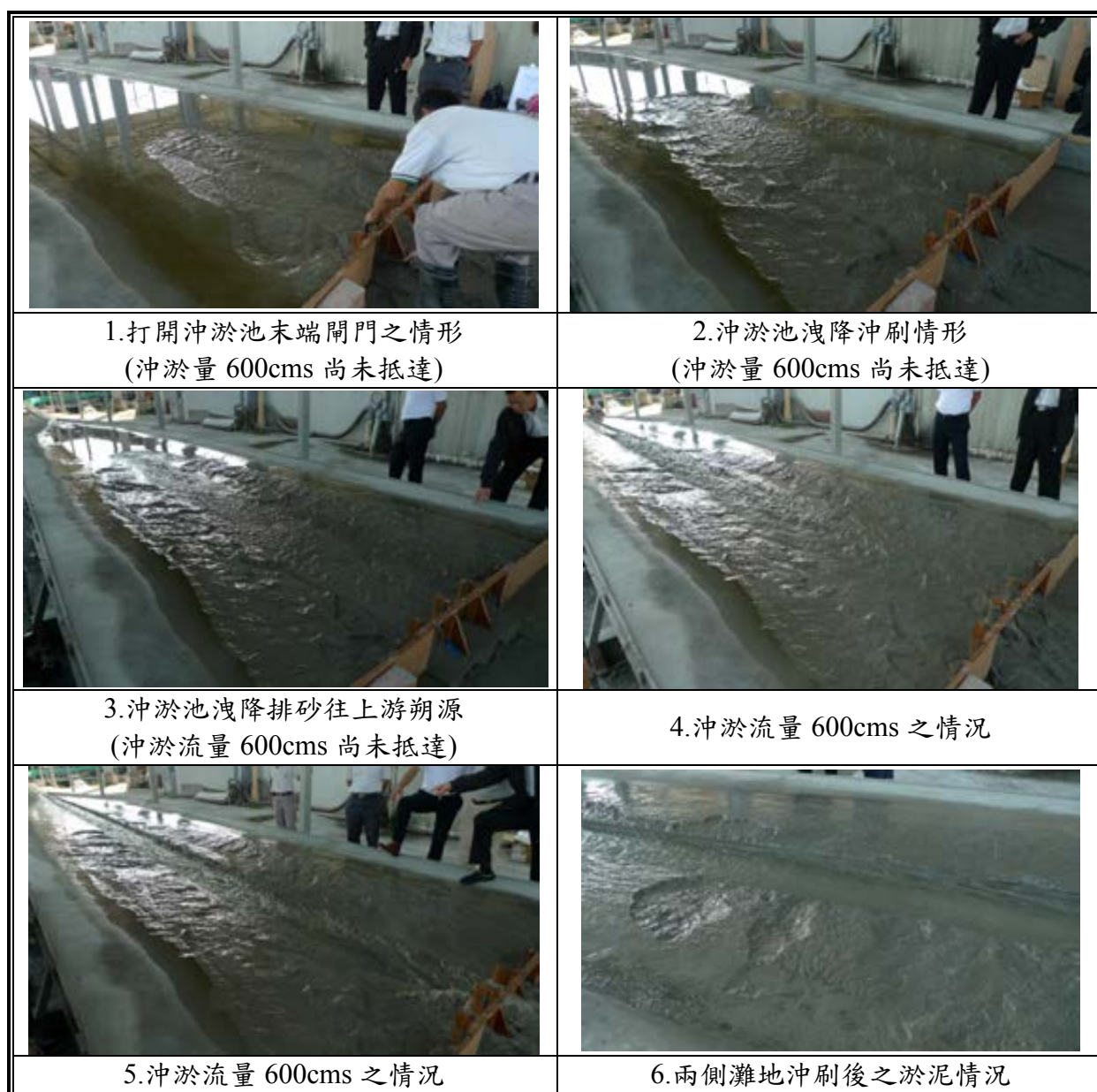


圖 4-35 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)沖淤池修正方案 A 沖淤試驗
照片

(二)修正方案 B：

根據民國 102 年 11 月 15 日之水工模型試驗成果進一步調整兩側灘地坡度及兩側灘地輔助沖刷機制，以提高沖淤量。沖淤池佈置如圖 4-36 圖 4-38 所示，說明如下：

1、出水口段：

於隧道出口處設置分流板，上層流向沖淤池，下層流向兩側側向沖淤渠道，藉由兩側沖淤渠道之沖淤孔，流入兩側灘地，將灘地上之淤泥藉由側向沖刷流入深槽中。

分流板上層仰拱高程 116.10 公尺，沖淤池深槽寬度由 8 公尺經過 100 公尺後漸變為寬 20.00 公尺之渠道，以坡度 2.863%順接至出水口末端高程 114.382 公尺。

分流板下層仰拱高程 114.00 公尺，由中隔牆將下層渠道分為兩道，在隧道末段後 20.83 公尺處往兩側分流，側向沖淤渠道於出水口段末端(Sta. 3k+775.3)高程 111.137 公尺，坡度 2.842%，渠道淨寬 5 公尺。

2、沖淤池段：

(1)深槽：

深槽寬度 20 公尺，深 3 公尺，全段 613.55 公尺縱坡為 0.88%，順接至深槽末端高程 105 公尺。渠道末端將佈置兩扇閘門。閘門型式將於基設階段再進一步評估。

(2)灘地：

深槽兩側灘地寬由出水口末端以 200 公尺長漸擴至 44.5 公尺，加上深槽寬 20 公尺及兩側側向沖淤渠道各 5.5 公尺(含分隔牆)，故沖淤池全寬為 120 公尺。灘地採由沖淤池 Sta.4k+055.30 以下兩側以 5%的坡度往深槽斜降，Sta.4k+055.30 以上則配合沖淤池上邊坡高程 113.382 及

113.143 而往深槽斜降，以利灘地淤泥的沖淤，沖淤池兩側外牆高配合現況地形設定高程為 116 公尺。考量減少閘門佈置降低工程經費及集中出水口流速兩側灘地末端亦採擋土牆設計，頂部高程 116 公尺。

(3)側向沖淤渠道：

側向沖淤渠道底部高程 111.137，以坡度 0.1358%順接至側向沖淤渠道末端(Sta. 4k+388.85)高程 110.30 公尺，兩側沖淤渠道全長 719.28 公尺，分隔牆及外牆頂部高程為 116 公尺，於分隔牆上高程 113.5 公尺高程每隔 1.5 公尺設置一直徑 8 英吋沖淤孔，流入側向沖淤渠道之流水藉由沖淤孔流入灘地，將堆置於灘地上的淤泥沖入深槽。

(4)水力分析：

A.側向沖淤渠道分流流量：

當隧道流量 600 秒立方公尺時分流處正常水深約為 4.141 公尺，假設流況均勻，流量與通水面積呈正比，下層流量約為 $600 \times 0.6 / 4.141 = 86.9$ 秒立方公尺，考量分流時底部流速較低且流況可能無法完全均勻，流量將略為下降，因此設定分流流量為 80 秒立方公尺，兩側渠道各分流 40 秒立方公尺，直接流入沖淤池流量約 520 秒立方公尺。

B.沖淤池水力：

依流量 600 秒立方公尺(沖淤池 520 秒立方公尺)之修正方案 B 無堆置淤泥的流速，流速約介於 18.37~10.51 公尺/秒。

若考量淤泥堆置高程 113.3m 時，流量為 600 秒立方公尺，流速在隧道出水口段約達 18.37 公尺/秒~11.96 公尺/秒，惟在沖淤池下游段，流水漫佈沖淤池(渠寬

109m)，故流速僅達 2.62~3.87 公尺/秒。

C. 沖淤渠道孔口計算：

(A) 基本假設：

- a. 沖淤孔採 $D=8''$ ， $A=0.0324m^2$
- b. 孔口流量係數 $C=0.61$
- c. 渠道設計水位高程 115.00 公尺
- d. 每 1.5m 開一孔，孔中心高程 113.5 公尺

(B) 水理計算：

- a. Sta.3k+802.3~4k+055.3：L=257.23m，計 171 孔

$$q_1 = 171 \times 0.0324 \times 0.61 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times (115 - 113.5)} = 18.35 \text{ cms}$$

- b. Sta.4k+055.3~4k+388.85：L=333.55m，計 222 孔

$$q_2 = 222 \times 0.0324 \times 0.61 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times (115 - 113.5)} = 23.82 \text{ cms}$$

$$q_1 + q_2 = 42.17 \text{ cms} \approx 40 \text{ cms}$$

經計算單側經由沖淤孔流入沖淤池之流量約為 40 秒立方公尺，與分流進入側向沖淤渠道流量一致。

(5) 沖淤池體積：

考量淤泥淤滿及淤泥面上須有一定水深浸沒，且須預留初期沖淤操作時的出水高，故初步設定淤泥高程 113.3 公尺，此時淤泥體積約 16.5 萬立方公尺，符合每次 16 萬立方公尺的需求，閘門頂高程(閘門高 9 公尺)初步規劃高程為 114 公尺，故淤泥浸沒水深約 70 公分。

3、水工模型試驗成果：

本方案之水工模型已於民國 103 年 3 月 25 日~6 月 9 日進行一系列試驗，如表 4-7 及圖 4-39 所示。該系列試驗沖淤池之淤泥量介於 8~16 萬噸，試驗成果顯示沖淤池排砂比約介於 40~60%，初步研判兩側灘地的坡度 5%，以致堆置於灘地淤泥往深槽蠕動潛勢較修正方案 A 低，故排砂比較低。

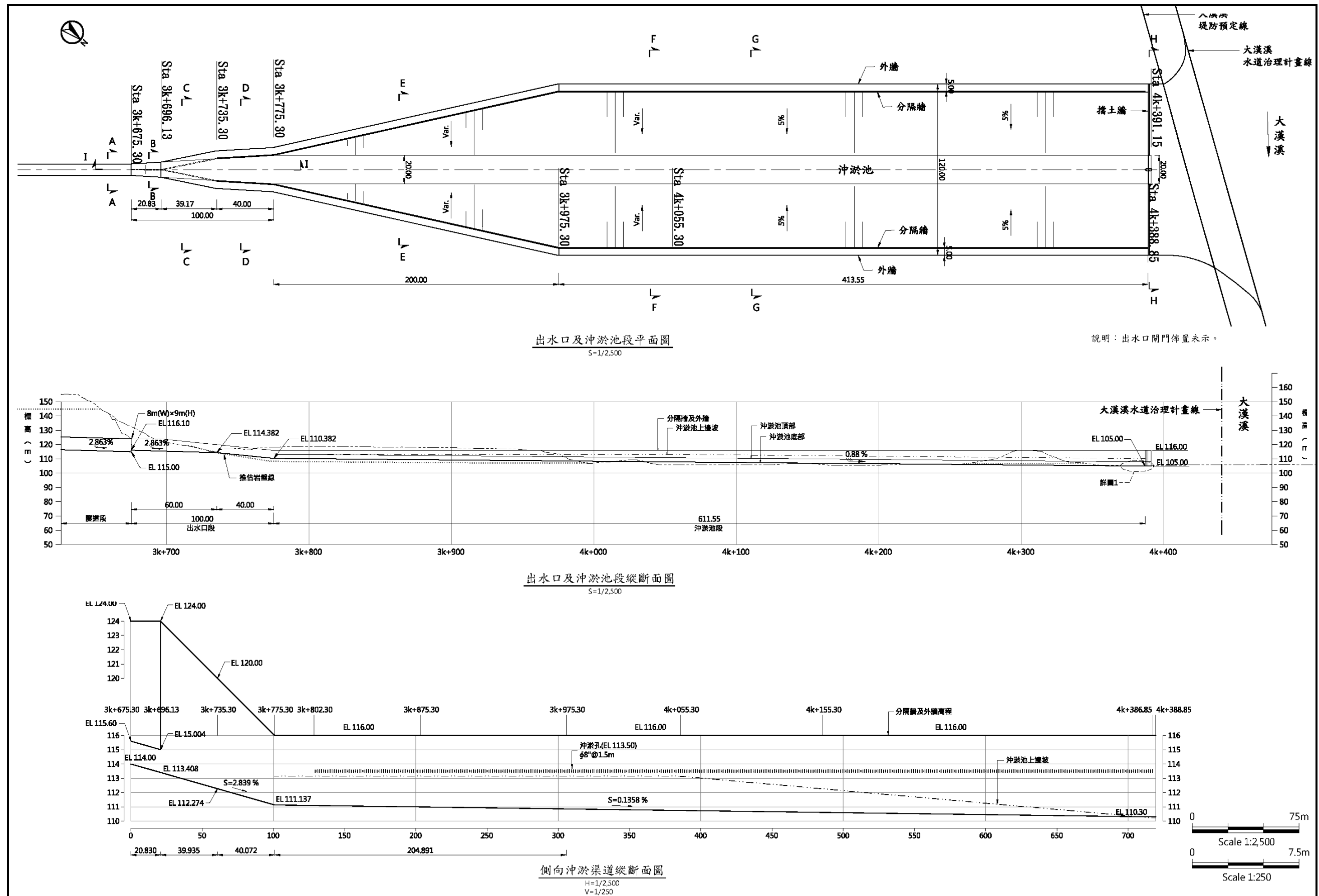


圖 4-36 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 B 平縱斷面圖

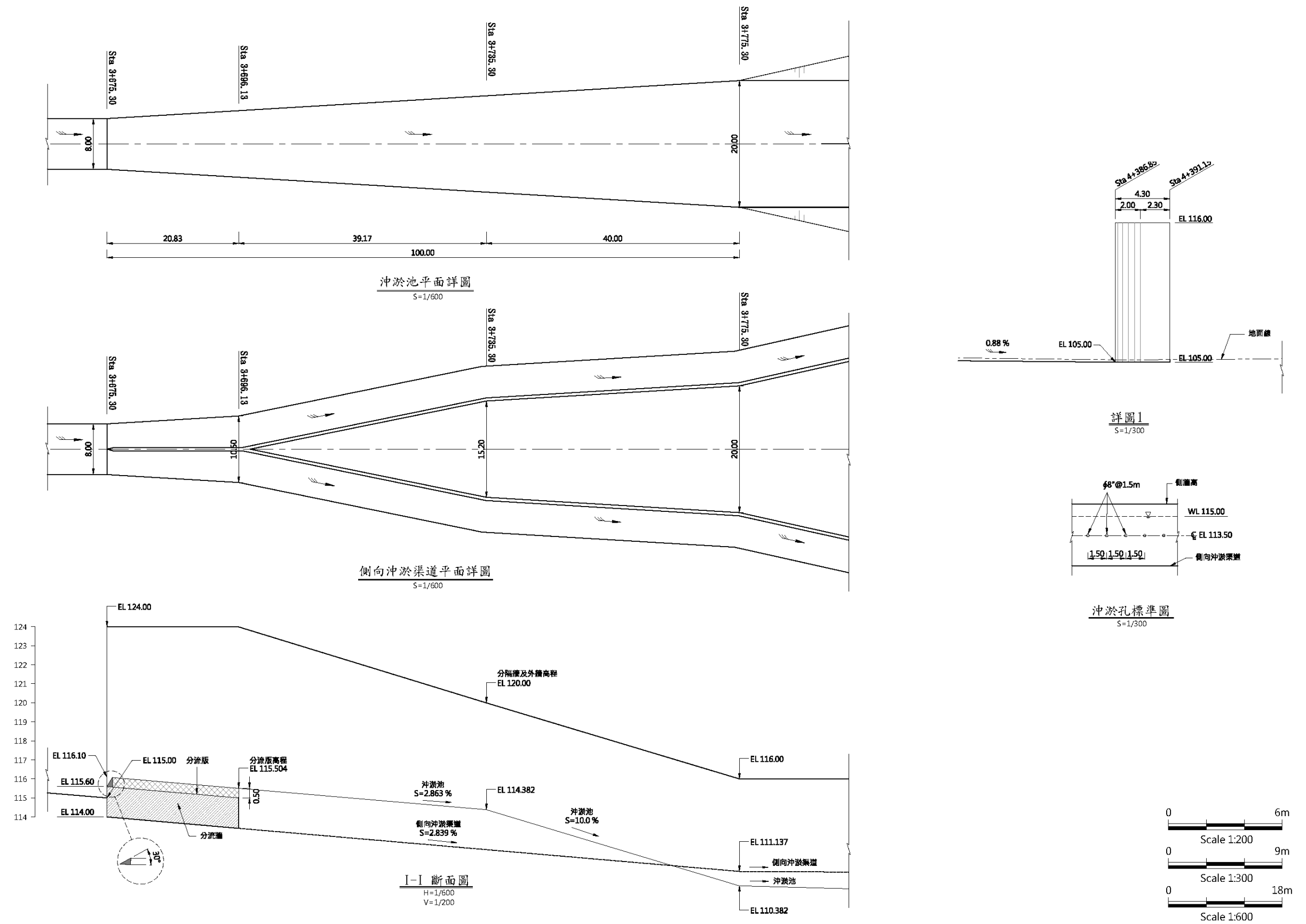


圖 4-37 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 B 平縱斷面詳圖

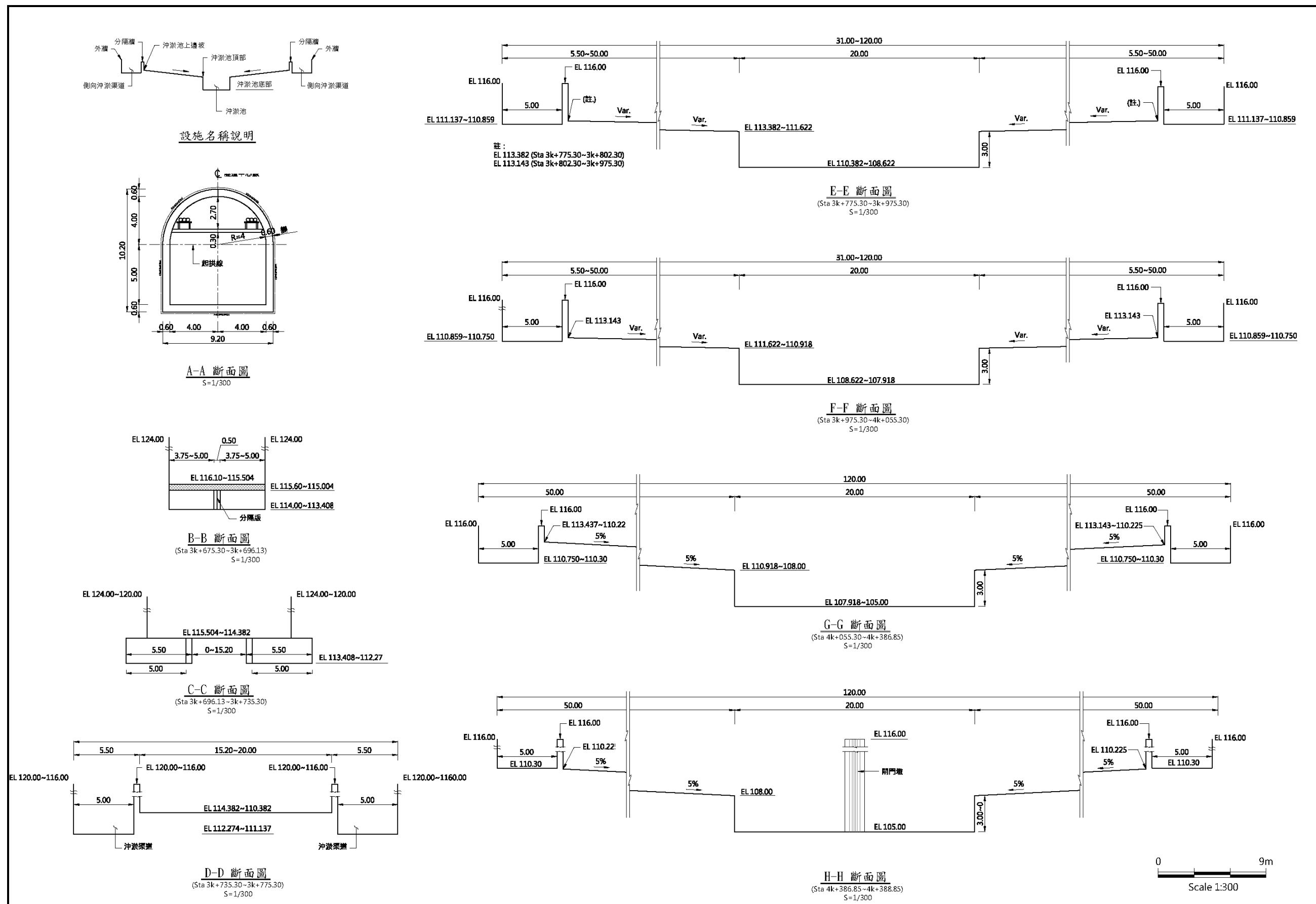


圖 4-38 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 B 橫斷面圖

表 4-7 石門水庫阿姆坪隧道(調整 D 案)沖淤池各次沖刷試驗成果表

試驗 編號	進水口	沖淤池測試方案		日期	試驗 流量 (cms)	現場 時間 (小時)	現場 淤積 堆放量 (萬噸)	現場 淤積 堆放量 (萬方)	左高灘 淤積量 (萬噸)	中間深 槽 淤積量 (萬噸)	右高灘 淤積量 (萬噸)	總排 砂量 (萬噸)	總排 砂量 (萬方)	排砂比	平均排 放濃度 kg/M ³	耗水總量 (10 ⁴ M ³)
1	原設計 (EL=245m, Q=360cms)	單槽寬 120 公尺土堤無缺口		102.7.22	360	17	16	21.13	-	-	-	1.28	1.69	8.00%	0.58	2,203
2		單槽寬 120 公尺土堤 1/3 缺口		102.7.30	360	6	16	21.13	-	-	-	3.04	3.99	18.90%	3.91	778
3		三槽各寬 40 公尺		102.8.28	360	11	16	21.13	4.93	4.75	4.70	1.62	2.14	10.13%	1.14	1,426
4									30.80%	29.69%	29.38%					
5	修正設計 (EL=244.5m, Q=600cms)	單槽複式斷面 深槽寬 20 公尺	底坡 S=1/100 側坡 S=1/10~1/5.6	102.11.15	600	4.6	8	10.56	0.47	0.011	0.48	7.04	9.30	88.00%	7.09	994
6			底坡 S=0.88/100 側坡 S=1/20 橫向沖淤孔	103.3.25	600	12.9	16	21.13	5.90%	0.10%	6.00%					
7			底坡 S=0.88/100 側坡 S=1/20	103.4.7	600	6.4	12	15.84	3.22	0.47	2.77	9.54	12.59	59.60%	3.42	2,786
8				103.4.21	410	12.6	12	15.84	20.00%	2.90%	17.30%					
9				103.4.7	600	6.4	12	15.84	2.64	(無淤泥)	2.69	6.67	8.81	55.60%	4.82	1,382
10				103.4.21	410	12.6	12	15.84	22.00%		22.40%					
11				103.4.21	410	12.6	12	15.84	2.8	0.67	2.81	5.72	7.56	47.70%	3.08	1,860
12				103.4.21	410	12.6	12	15.84	23.30%	5.60%	23.40%					
13				103.5.2	600	7	8	10.56	1.72	(無淤泥)	1.68	4.6	6.06	57.40%	3.04	1,512
14				103.5.2	600	7	8	10.56	21.60%		21.00%					
15				103.5.16	600	8.5	16	21.13	3.54	(無淤泥)	3.56	8.9	11.75	55.60%	4.85	1,836
16				103.5.16	600	8.5	16	21.13	22.10%		22.30%					
17				103.5.30	200	25.3	12	15.84	2.41	2.19	2.63	4.77	6.29	39.70%	2.62	1,822
18				103.5.30	200	25.3	12	15.84	20.10%	18.30%	21.90%					
19				103.6.10	600	12.7	20	26.41	4.2	(無淤泥)	4.16	11.64	15.37	58.20%	4.24	2,743
20				103.6.10	600	12.7	20	26.41	21.00%		20.80%					
21			底坡 S=0.88/100 側坡 S=1/10~1/5.6	103.6.20	600	12.65	12	15.84	0.59	(無淤泥)	0.82	10.55	13.93	87.90%	3.86	2,732
22				103.6.20	600	12.65	12	15.84	5.10%		7.00%					
23				103.7.1	600	5.27	12	15.84	0.73	(無淤泥)	0.6	10.68	14.10	89.00%	9.38	1,138
24				103.7.1	600	5.27	12	15.84	6.10%		5%					
25			底坡 S=0.88/100 側坡 S=1/10~1/5.6	103.7.11	600	12.65	12	15.84	0.55	(無淤泥)	0.48	10.97	14.48	91.40%	4.01	2,732
26				103.7.11	600	12.65	12	15.84	4.60%		4%					
27			分段橫向沖淤	103.7.11	600	12.65	12	15.84	0.16	(無淤泥)	0.19	13.95	18.41	97.50%	5.83	2,391
28				103.7.24	600	11.07	14.3	18.88	1.10%		1%					

資料來源：「石門水庫阿姆坪防淤隧道水工模型試驗研究」期中報告(初稿)，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 103 年。

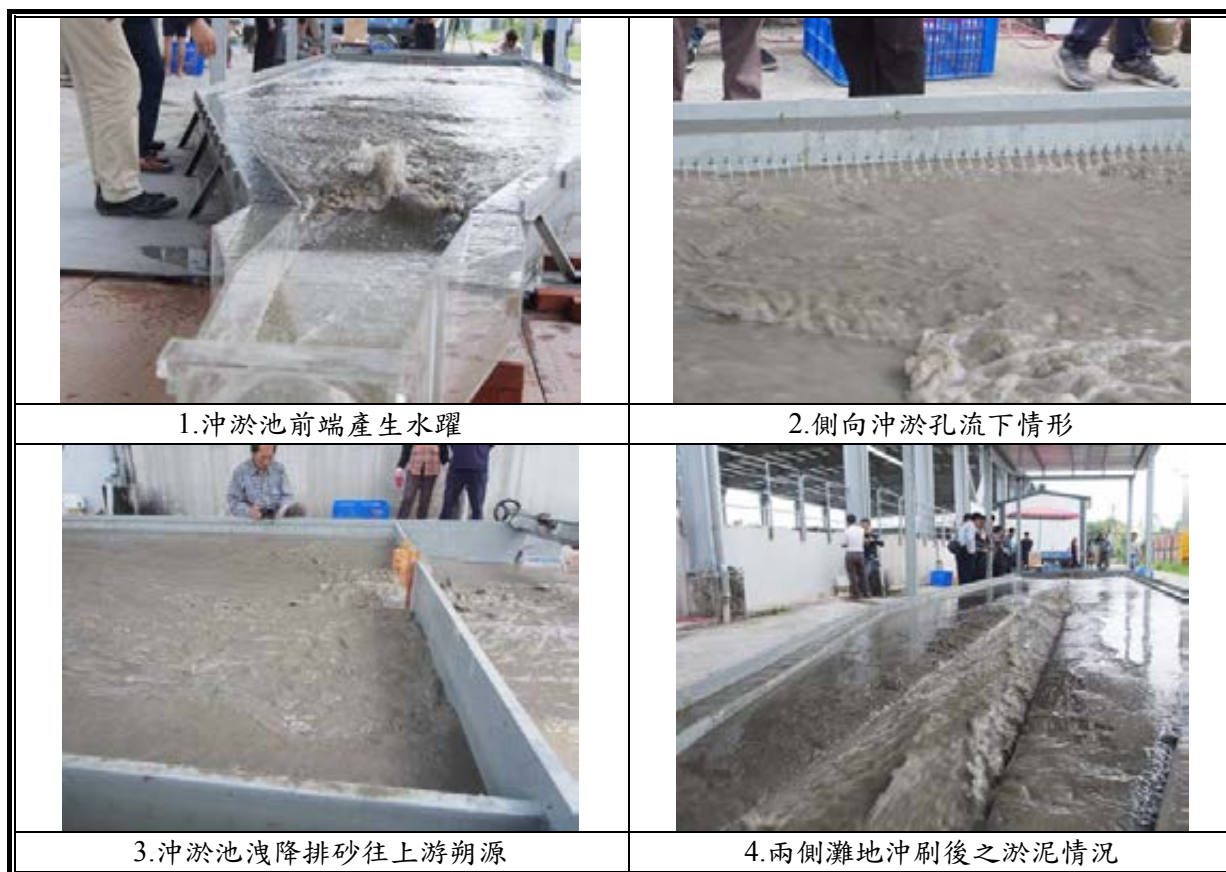


圖 4-39 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)沖淤池修正方案 B 沖淤試驗照片

(三)修正方案 C

根據民國 103 年 3 月 25 日之水工模型試驗成果進一步調整沖淤池佈置，以提高沖淤量。沖淤池佈置如圖 4-40~圖 4-42 所示，出水口及沖淤池段佈置與方案 B 相似，主要之差異為取消側向沖淤孔之設計，改以分段側向溢流之方式提高沖淤量，藉由閘門操作將阻斷沖淤渠道內水的流量，使之溢流入沖淤池內，達到側向冲刷之功能，Sta. 3K+975.3 上游兩側沖淤渠道各設置兩道閘門，下游設置 5 道閘門，Sta. 3K+975.3 上下游之溢流堰長度分別為 3@68.29 公尺及 6@68.93 公尺。

本方案為本報告工程規劃方案，建議後續仍應以水工模型驗證其排砂效率。

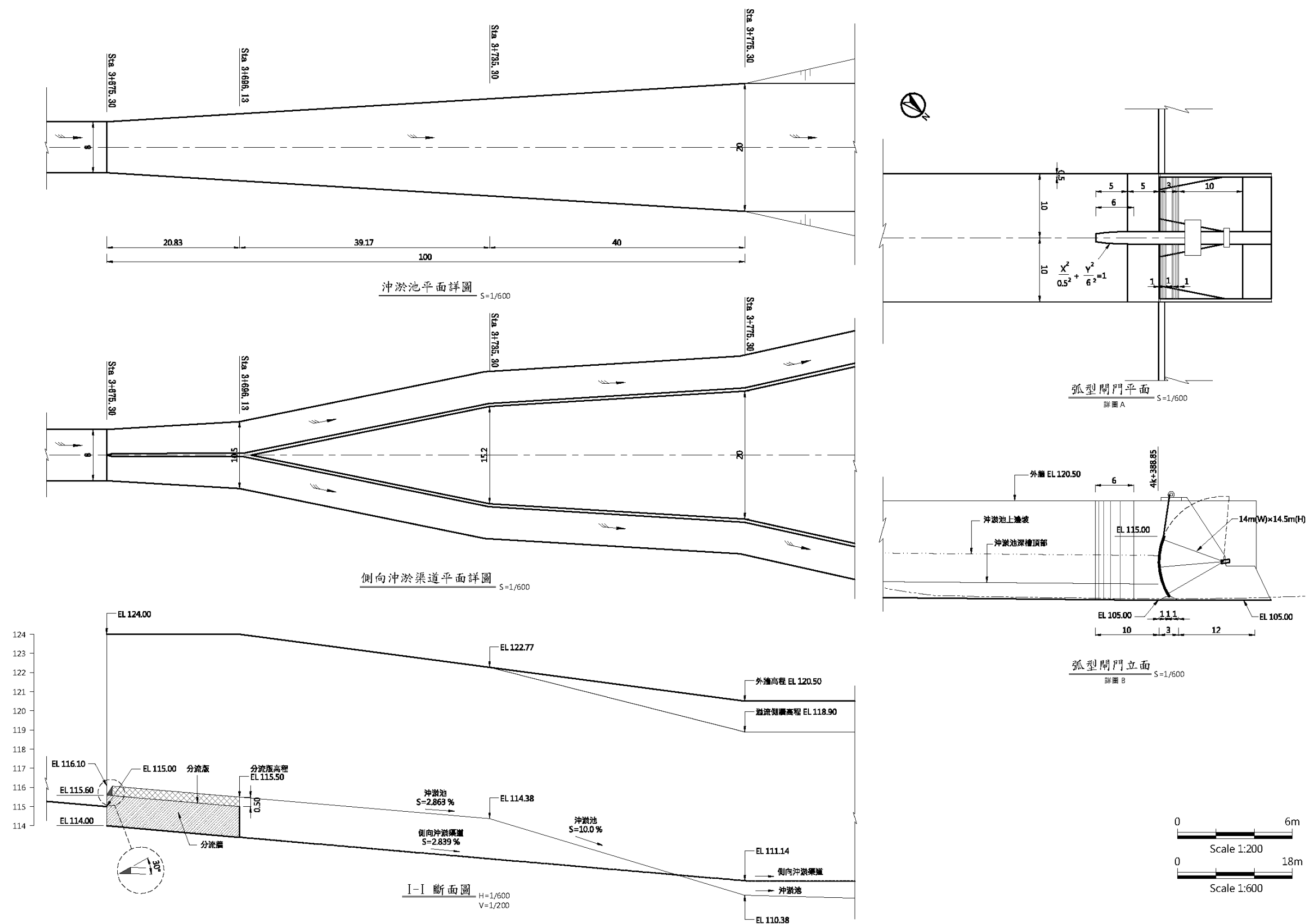
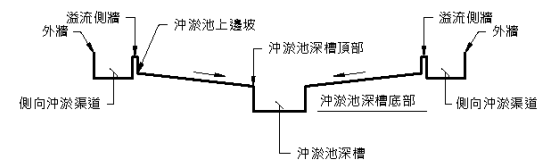
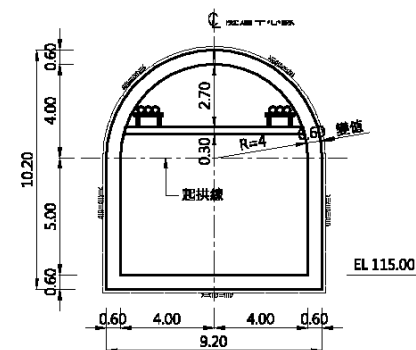


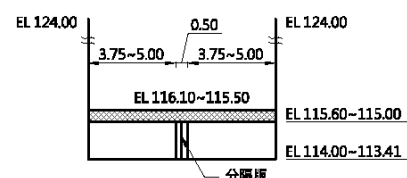
圖 4-41 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 C 平縱斷面詳圖



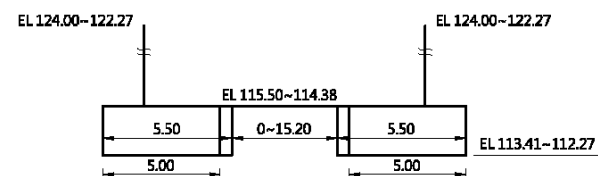
單元名稱說明



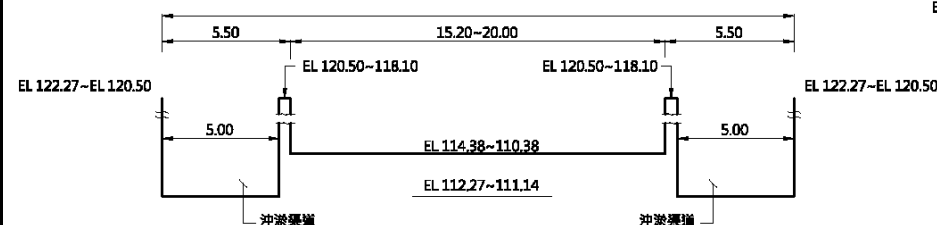
A-A 斷面圖 S=1/300



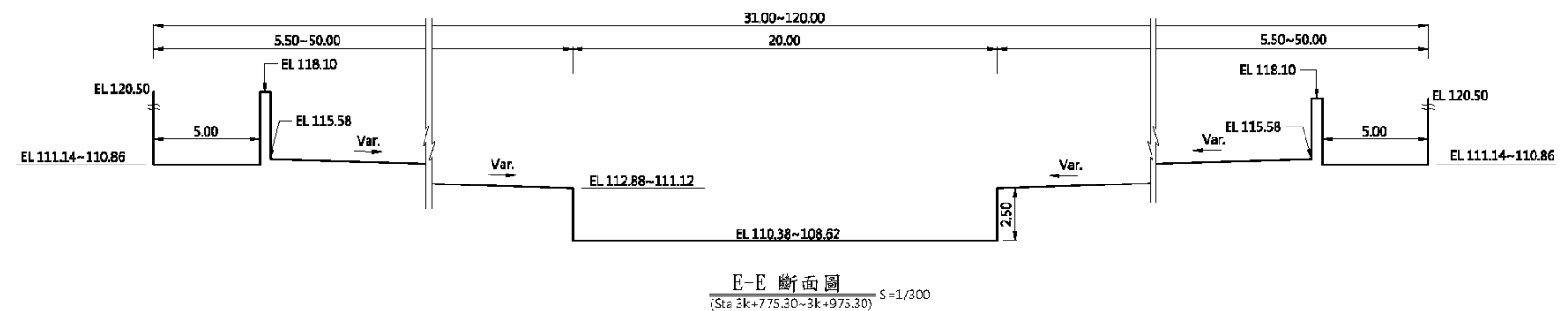
B-B 斷面圖 (Sta 3k+675.30~3k+696.13) S=1/300



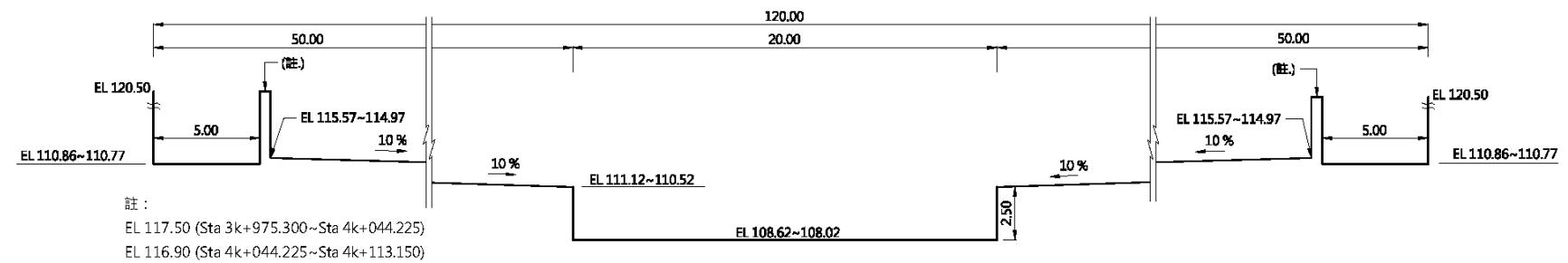
C-C 斷面圖 (Sta 3k+696.13~3k+735.30) S=1/300



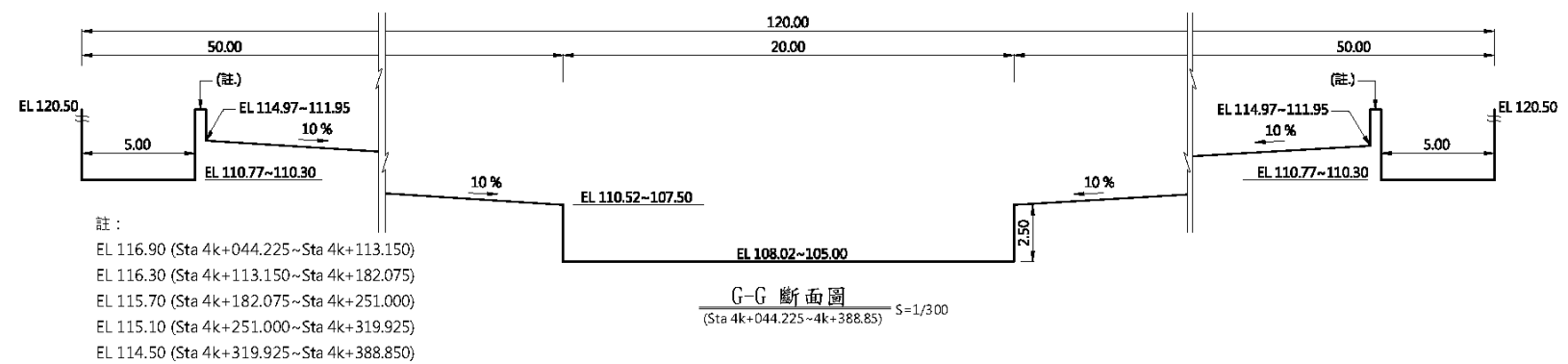
D-D 斷面圖 (Sta 3k+735.30~3k+775.30) S=1/300



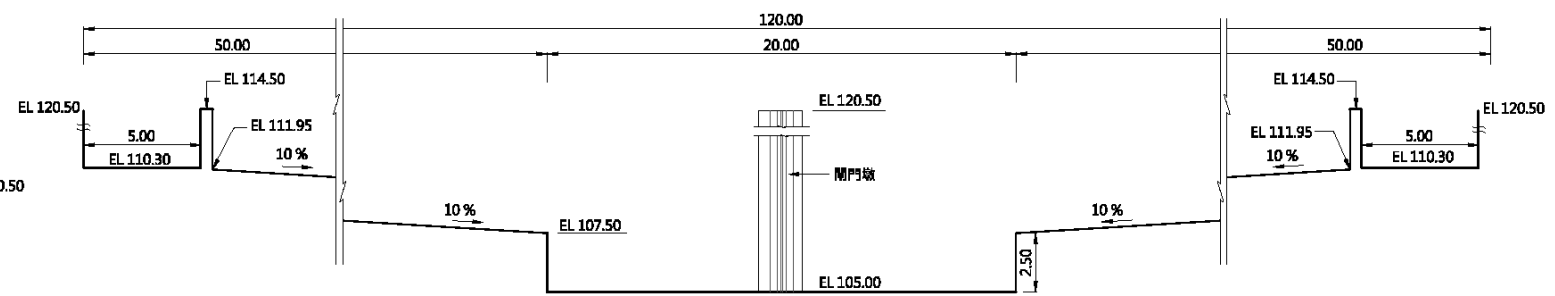
E-E 斷面圖 (Sta 3k+775.30~3k+975.30) S=1/300



F-F 斷面圖 (Sta 3k+975.30~4k+044.225) S=1/300



G-G 斷面圖 (Sta 4k+044.225~4k+388.85) S=1/300



H-H 斷面圖 (Sta 4k+388.85~4k+388.85) S=1/300



圖 4-42 阿姆坪隧道(調整 D 案修正)出水口及沖淤池段修正方案 C 橫斷面圖

第伍章 工程可行性評估

5.1 地質方面

綜合阿姆坪隧道可行性規劃階段地質調查成果，完成隧道工程地質評估剖面如圖 5-1，並獲致以下結論。

- 1、可行性規劃階段地質調查完成地表地質複核，地質鑽探 12 孔總深度 1,000 公尺，現地及室內岩石試驗，地下水位量測 7 孔，地電阻影像剖面探測全線施作共 4,200 公尺，煤礦坑補充調查，路線工程地質及隧道特殊地質評估，繪製路線地質平面圖(1/10,000)、隧道沿線地質平剖面圖(1/5,000)、進出水口地質平剖面圖(1/1,000)、路線工程地質評估剖面圖。
- 2、進水口位於一平坦階地地形，地面高程約 235~240 公尺，階地邊緣為岩盤出露，以陡峭坡度自高程 235 公尺直至 180 公尺，基盤為桂竹林層之砂岩，岩體大致完整，強度約為 50 Kg/cm²，岩層位態為 N66E/56S，洞口邊坡形成順向坡，惟因層理不發達發生大規模平面破壞之可能性低；基盤高程約在 233~234 公尺間，進水口水工結構及隧道均座落於岩盤內，惟因岩石強度低，邊坡降挖需注意保持穩定坡度，另隧道通過階地下方為淺岩覆需進行地質改良。
- 3、出水口位於台 4 線省道下方，為上下兩階地間之邊坡，兩階地堆積層厚度皆約 10 公尺，高差約 40 公尺，基盤為卓蘭層之泥質砂岩，岩體大致完整，膠結不良，強度約為 50 Kg/cm²，岩層位態為 N62E/40~50S，洞口邊坡為逆向坡，隧道通過台 4 線省道下方為淺岩覆需進行地質改良，另因岩石強度低，隧道洞口開挖可考量採管幕工法配合地質改良；尾水渠道通過 #10 及 #11 沉澱池，基盤高程約為 105~107 公尺，渠道高程略高於岩盤面，淤泥需進行固化處理，挑流工為大漢溪岩盤出

露之河床，因岩石容易被沖刷侵蝕需進行保護。

- 4、隧道全長約 3,825 公尺，最大覆蓋約為 310 公尺，通過湊仔溝溪覆蓋約為 52 公尺，自進水口往出水口隧道沿線各地層構造及所佔比例為桂竹林層佔 7.1%、南莊層佔 22%、南港層佔 22%、石底層佔 9.7%、新店斷層佔 1.6%及卓蘭層佔 37.6%。
- 5、隧道沿線各地層之工程地質特性為桂竹林層之強度為 50 Kg/cm^2 屬甚弱岩；南莊層之風化銹染深度達 90 公尺，因膠結變差強度約為 50 Kg/cm^2 屬甚弱岩，有含水層，其夾含凝灰岩位置為後續調查重點；南港層之強度約為 200 Kg/cm^2 屬弱岩，通過湊仔溝溪過河段因岩盤透水性低應不致發生大湧水，砂岩層中會有受壓水層；石底層之強度約為 350 Kg/cm^2 屬中強岩，其煤層分佈確實位置為後續調查重點；新店斷層為阻水層；卓蘭層之強度為 50 Kg/cm^2 屬甚弱岩，近出水口位置有含水層。
- 6、隧道沿線特殊地質主要為新店斷層破碎帶為高度擠壓性地盤，位於里程 $2\text{K}+170\sim 2\text{K}+230$ ，佔 1.6%，以及石底層煤層段為有害性氣體地盤，位於里程 $1\text{K}+970\sim 2\text{K}+130$ ，佔 4.2%。
- 7、隧道沿線岩體分類採 RMR 標準，RMR 為 $80\sim 61$ 佔 2.68%，RMR 為 $60\sim 41$ 佔 44.73%，RMR 為 $40\sim 21$ 佔 34.01%，RMR 為 $20\sim 11$ 佔 17.01%， $\text{RMR} \leq 10$ 佔 1.57%。
- 8、依隧道地質條件評估具可行性，對於進出水口工程地質問題及隧道特殊地質問題，可經由後續設計階段及施工中繼續進行地質調查，提供隧道設計研擬因應對策之參考資料，達到降低隧道施工之地質風險。

5.2 環境影響方面

5.2.1 下游河道沖淤變化評估

依民國 100 年國立交通大學「石門水庫防淤策略對下游河道影響之評估研究」成果，為整體考量未來石門水庫排洪及排砂策略，該計畫以長時間角度評估分析本計畫未來長期操作對下游河道之沖淤變化及河防安全影響，其模擬條件係設定以民國 93 年至 98 年為一時間序列，並重複模擬該時間序列 8 次，評估未來 48 年間之河道沖淤變化，並假設未來不作任何人為處置，以觀察下游河道之沖淤潛勢。該研究以 93 年艾利、97 年鳳凰、97 年薔蜜、97 年辛樂克及 98 年莫拉克等 5 場颱風於未來 48 年間重複發生，因其模擬條件採每 6 年即有 1 場重大土砂災害發生(艾利颱風)、本計畫(第 1 階段)沖淤池置放 30 萬立方公尺淤泥以及同時考量現況石門電廠水力排砂(每年約排砂 100 萬立方公尺)與本計畫(第 2 階段)大灣坪防淤隧道水力排砂(每年約排砂 71 萬立方公尺)之最大排砂情境分析，故其對下游河道影響模擬結果對本計畫(第一階段)而言係屬相對保守。

依上述研究成果，石門水庫於民國 52 年興建後因攔阻部分砂源，加上以往人為活動及地層下陷緣故，使下游河床大幅下降，民國 58 年與 99 年大漢溪及淡水河實測縱剖面之比較，期間河床下降約 5~15 公尺間，而近年因禁止採砂及加強河川管理，河床漸有回淤趨勢。本計畫完成後(含現況之石門電廠水力排砂情境)艾利颱風及鳳凰單場次颱風情境之下游河道沖淤模擬結果，結果顯示艾利颱風因洪水量較大且入庫含砂濃度較高，當進行石門水庫排洪、水力排砂及水力沖淤，下游河道沖淤較明顯，河道底床高程變化約+2.63~-0.59 公尺，其中淤積較明顯河段為城林大橋至浮洲橋；另鳳凰颱風情境下，因洪水量

相對不大，下游河道沖淤並不明顯，底床高程變化約+0.24~-0.32 公尺，其中武嶺橋上游河段有局部淤積，鳶山堰下游河道並無明顯沖淤變化。

另上述研究考量石門水庫集水區治理完成後之電廠水力排砂及本計畫阿姆坪與大灣坪隧道排淤長期情境下，其中連續操作 12 年底床高程變化約-1.14~3.22 公尺；連續操作 24 年底床高程變化約-1.06~3.86 公尺；連續操作 36 年底床高程變化約-1.71~4.36；連續操作 48 年底床高程變化約-1.52~4.50 公尺，其中因受河川環境特性，沖刷明顯河段位於溪洲大橋，淤積明顯則位於城林大橋至新海大橋之間。

此外，依據民國 102 年國立台灣大學「石門水庫放淤對下游河道變遷影響分析」成果，在石門水庫防洪排淤短期對下游河道之影響評估方面，已完成汛期前、蘇力颱風後及汛期後之河道及河口地形測量，包含：河口(T000)、竹圍紅樹林(T006)、二重疏洪道出口處(T014)、二重疏洪道入口下游(T030)、二重疏洪道入口上游(T033)、新海大橋下游(T036)、城林橋下游(T046)、城林橋上游(T049)、柑園大橋下游(T053)、阿姆坪防淤隧道出口處(T086)共計 10 個河道斷面，觀察民國 102 年汛期前至汛期後之斷面平均床高差，呈現淤積之斷面有 T030、T053，其餘斷面略為沖刷；河口地形測量則以河口河道中心至外海 3 公里半徑扇形範圍內，進行 13 個斷面之地形測量；經過汛期前後，斷面 T001 與 T005 無顯著改變，其餘斷面呈現略為淤積的趨勢。另由蘇力颱風前後調查結果，河口斷面 006 至 009 深槽有較明顯的淤積。

5.2.2 河防安全影響評估

依民國 100 年國立交通大學「石門水庫防淤策略對下游河

道影響之評估研究」成果，考量石門電廠水力排砂、阿姆坪及大灣坪防淤隧道排淤操作後下游河道沖淤變化，及以台北地區防洪計畫大漢溪三峽河採 100 年重現期洪水、淡水河採 200 年重現期洪水及河口水位以 EL4.03 公尺等條件進一步模擬本計畫排淤對下游河道河防安全，經比對下游河道沖淤變化後各河道斷面之洪水位與現況左、右岸堤防或護岸高度，除未納入台北地區防洪計畫之關渡地區下游部分斷面(編號 01~04 斷面)外，其餘斷面之設計洪水水位均低於既設左右岸堤防高度，顯示本計畫排淤操作不會影響既有台北防洪計畫設施之防洪安全。而上述未完成河川治理之淡水河口段，因該河段位於河口且水位變化易受暴潮影響，加上現況左右兩岸均屬台北地區重要觀光地區(淡水及八里)，該河段河川治理須綜合考量地方需求、觀光影響及計畫效益，較難比照上游地區興建堤防或抽水站等方式防洪，目前經濟部水利署第十河川局正持續辦理治理規劃檢討並與地方溝通，後續將視檢討結果推動辦理。

5.2.3 對下游取水設施影響

- 1、公共給水：經濟部水利署業於 98 年完成石門水庫分層取水工上層及中層取水設施，目前正趕辦中庄調整池工程(第 1 期)，預計 105 年營運供水。本計畫(第一階段)預計於民國 110 年完工營運，預計每年進 2 次行水力沖淤，預估操作時間約 6~12 小時。屆時中庄調整池工程(第一期)每日可提供 80 萬噸的原水，可供應大湳與板新淨水場約 6.2 日，足以在水庫防淤操作期間提供鳶山堰備援供水需求，此外，石門水庫分層取水工可每日引取 140 萬噸水庫原水，可引取水庫較上層及低濁度原水供應桃園地區公共用水，故於本計畫(第一階段)進行水庫沖淤期間，鳶山堰取供水可由中庄調整池及分層取

水提供備援供水，可確保桃園及板新地區公共用水不受本計畫排砂之影響。

- 2、農業用水：另石門水庫下游大漢溪農業灌溉設施，計有溪洲圳、土銀圳、月眉圳、順時埔圳、十三張圳、二甲九圳、公館后圳、隆恩埔圳及石頭溪圳等 9 條，於本計畫進行水力沖淤期間，因於颱風期間該等水利會圳路進水口已關閉並停止引水，爰本計畫對下游灌溉無用水影響。

5.2.4 對下游河道棲地影響

依民國 100 年國立交通大學「石門水庫防淤策略對下游河道影響之評估研究」成果，以含砂濃度評估水域生態及水質變化，並以艾利颱風探討各防淤方案對下游河道含砂濃度影響。泥砂濃度在空間上的分佈趨勢，愈往下游移動，各防淤方案與現況案之泥砂濃度差異愈小，泥砂運移至新店溪匯流口(約斷面 28 號處)時，各方案與現況案之泥砂濃度相近，顯示防淤隧道排砂對下河道棲地影響差異不大。

為能更明確掌握排砂對下游河道生態之影響，北水局於 102 年進一步辦理「石門水庫放淤對下游河道變遷影響分析」及「石門水庫放淤對下游河道生態影響之調查研究計畫」，並辦理 102 年蘇力及潭美颱風電廠水力排砂對下游棲地調查結果顯示，兩場颱風水庫泥砂回歸至下游河道，對下游河道棲地並無顯著影響。另 102 年進行汛期及非汛期之生態物種調查結果如下：

- 1、植物調查結果：所觀察植物均為沿河道生長之植物，因濱臨河道，易受河流水位影響，但生長於河道旁之植物，多為親水性植物對環境變異耐性較強之物種，於汛期調查期間，因洪水衝擊力而致使部分植株流失或倒伏；下游部分區域河道

兩側易有垃圾及泥砂淤積，進而影響植群生長。非汛期時，各樣站所紀錄之植物物種及覆蓋度皆有提高；整體而言，102 年汛期前後濱水植群雖有改變，無植群大幅改變或消失之情形，物種之變動主要以數量較少之伴生種為主，優勢物種形成的植相也僅是略為消長，惟並無太大變動，而調查期間因受汛期影響而降低或減少之物種，於汛期後多能順應汛期而有週期性消長及回復。

- 2、水域生態調查結果：颱風期間因河川水流流速增加之故，易導致水域底棲生物被帶往他處，而汛期過後即有緩慢回復之現象，各類物種數及生物量均有下降趨勢，惟洪災對不同河域及不同物種之衝擊有所差異。綜合魚類之 4 季調查，第二、三季調查受汛期影響，魚類會減少群聚行為及種類與數量普遍較繁殖季低，而進入非汛期後魚類種類及數量均會緩慢回復至繁殖季達到高峰。

綜上，經以數值模擬分析及石門水庫既有排砂設施 102 年颱風期間排砂操作後對下游河道監測成果顯示，石門水庫以水力排淤方式將水庫淤積泥砂回歸下游河道，對下游河道及海岸砂源補充有正面助益，雖其改變下游河道部份河段沖淤，惟經水理分析並不會影響台北防洪計畫既設設施之防洪安全，未來石門水庫水力排淤期間，可藉由中庄調整池及石門水庫分層取水工調度供應鳶山堰供水區域，可確保桃園地區及板新地區公共給水不受影響。另由 102 年蘇力及潭美颱風水力排砂後對下游河道生態調查結果，其濱水植物及水域生態主要受洪水衝擊改變其數量及植相，惟颱風過後即會有週期性回復，因颱風期間河川洪水水位、流速、底床礫石運移、漂流物等均係影響河川環境主要因子，至 102 年監測調查結果顯示，石門水庫水力

排淤與對下游河道生態變化並無顯著直接相關，惟為審慎評估，經濟部水利署後續將持續辦理下游河道水質及生態監測計畫，俾進行更詳細評估分析，如經調查因本計畫而造成防洪安全及生態影響時，將適時研提因應措施，並由河川環境營造計畫或水資源作業基金編列預算辦理。

5.3 防洪效益方面

本計畫完成後增加水庫設施排洪量 600 秒立方公尺，使水庫防洪運轉之洩洪能力增加，除提升水庫防淤能力外，亦增進水庫安全，保護下游人民生命及財產之安全。

5.4 防淤效益方面

石門水庫落淤砂量依已完成之防淤設施及清淤作為估算如下：石門水庫壩址入庫砂量 353 萬立方公尺-11 萬立方公尺(集水區減淤)-40 萬立方公尺(上游陸挖)-50 萬立方公尺(庫區抽泥)-117 萬立方公尺(水力排砂，石門電廠防淤+PRO)=135 萬立方公尺。

經評估大灣坪壩前水力排砂能力 71 萬立方公尺，為維持永續庫容則本計畫阿姆坪隧道機械清淤之量體至少要達 64 萬立方公尺(淤積體積)，本計畫考量淤泥的特性與運輸限制分別針對不可沖淤料及可沖淤料之清淤方式與量體評估如下：

粗顆粒之清淤在本計畫中研擬兩種清淤方式，第一種方式為顆粒粒徑較大時，採陸運方式，而陸運路線依水位高低分高水位清運路線和低水位清運路線，惟無論哪種清運路線，皆屬陸運會因受台 7 線交通衝擊或水位枯水期間過短而無法清運，由於外在變數較大而不列入不可沖淤料計畫評價，僅納入隨機應變之清運方式；至於第二種方式則是利用抽砂船將粗顆粒粒徑較小者，採抽砂方式抽到隧道內輸泥管為主。

根據現有石門水庫抽泥操作資料評估一艘抽砂船 1 年約可輸

送 40 萬立方公尺的泥砂(淤積體積)，抽砂船清淤特性及抽泥量估算如表 5-1 所示，分別於斷面 16-24 及斷面 24-27 設置抽砂船一艘，以斷面 16-24 為可沖淤料輸送範圍，斷面 24-27 為不可沖淤料運送範圍，則斷面 24-27 抽砂船作業 1 年輸送約 32 萬立方公尺不可沖淤料(淤積體積)，而在斷面 16-24 抽砂船作業 1 年輸送約 32 萬立方公尺可沖淤料(淤積體積)；可沖淤料暫置於沖淤池，並藉由自身水流將可沖淤料帶出海。初步估計每年可增加石門水庫庫容 64 萬立方公尺(淤積體積)，惟實際沖淤操作模式、淤泥堆置方式及淤泥含水量與沈陷、壓密等情形，尚須藉助水工模型試驗及其他數值模擬加以驗證，以供後續營運操作之參據。

表 5-1 抽砂船清淤特性

清淤特性
(一) 抽水砂能力：1,000m ³ /hr
(二) 水砂體積比：20%
(三) 工作天數：200 日(每日 10 小時)
(四) 抽泥量估算：1,000 m ³ /小時*20%*10 小時*200 日=400,000 m ³ /年

5.5 營運操作方式規劃

5.5.1 閘門操作原則

1、引水渠道進水口閘門：

- (1) 平時全開吊放至閘室
- (2) 隧道進水口閘門檢修時，全閉。
- (3) 隧道進水口閘門故障無法關閉可緊急關閉。
- (4) 平衡水頭開啟。

2、隧道進水口閘門：

- (1) 平時全閉。
- (2) 防淤操作時依流量需求決定閘門開度。

3、操作時機：

當水庫進行調節性洩洪。

5.5.2 操作水位與流量

當水庫水位高程 245 公尺隧道設計流量為 600 秒立方公尺，惟規劃之水位與流量關係仍須依水工模型確認。

5.5.3 結合既有設施之防洪防淤操作規劃

表 5-2 為石門水庫既有、施工中及規劃中之洩水結構與其定位，共有石門大圳、溢洪道、排洪隧道、石門排砂隧道(電廠防淤一期工程)、石門電廠(電廠防淤二期工程，預計民國 105 年 12 月底完工)、分層取水工、永久河道放水道及本計畫阿姆坪防淤隧道設施。既有及施工中之洩水結構其分布位置詳圖 2-3。

石門水庫既有、施工中及規劃中之洩水結構依其功能可分為供水、防洪、防淤及發電，各設施之功能亦於表 5-2 有所定位，說明如下：

表 5-2 石門水庫既有及規劃中洩水結構之功能定位

設施 流量或功能		既有設施							規劃中設施
		不改建				已改建或改建中			
設計流量 (秒立方公尺)		石門 大圳	溢洪道	排洪 隧道	增設 取水工	石門排砂隧道 (石門電廠防淤 一期工程,排砂 道專用)	石門電廠 (電廠防 淤二期工 程,發電 專用)	永久河 道放水 道	阿姆坪 防淤隧道
		16.4	11,400*	2,400*	16.2	300	68.6	34	600≠
功 能	供水	1	0	0	1	0	1	2	0
	防洪	0	1	1	0	2	0	3	2
	防淤	2	2	2	0	1	3	1	1
	發電	0	0	0	0	0	2	0	0

註：1. “*” 水庫水位高程 251.0m。

2. “1” 表示主要功能，“2” 及 “3” 則為次要功能。

3. “≠” 水庫水位高程 245 公尺沖淤設計流量 600 秒立方公尺。

- 1、供水：石門大圳供應農業用水；石門電廠(電廠防淤二期工程)供應桃園大圳、平鎮第二原水抽水站及鳶山堰取水；分層取水工作為颱風時期之供水，故供水為主要功能；而永久河道放水道則因應石門電廠維修或水位過低時，作為供水替代設施，故為次要功能。
- 2、防洪：以溢洪道、排洪隧道等上層洩洪量大之設施為主要功能；而石門排砂隧道(電廠防淤一期工程)為次要功能。
- 3、防淤：永久河道放水道、石門排砂隧道(電廠防淤一期工程)及規劃中之本計畫阿姆坪隧道設施，3 者工程之主要目的為防淤；而石門大圳(石圳退水路)、溢洪道及排洪隧道於防洪時兼可排除泥砂，故防淤為次要功能。
- 4、發電：石門電廠(電廠防淤二期工程)利用水庫供水之水頭落差發電，故發電為次要功能。

5.5.4 設施管理規劃

1、法令規範：

與本計畫設施管理有關之法規整理摘錄各條文之部份內容如下：

(1)石門水庫及其集水區整治特別條例：

本計畫雖不屬「石門水庫及其集水區整治特別條例」項下之工作項目，但工程屬水庫更新改善，故本計畫之執行實乃延續「石門水庫及其集水區整治特別條例」之精神。

(2)開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準：

上述法規與水利工程開發行為相關有第十二條蓄水工程開發、第十三條供水、抽水或引水工程開發及第十四條防洪排水工程開發。本計畫主要目標為防淤，藉由颱風期間防淤操作排除入庫異重流與渾水潭以減少石門水庫

的淤積，延長水庫壽命，對確保下游區域之供水能力有正面之助益。由於上述法規乃屬正面表列，依本工程屬性為防淤並非屬上述法規所列之開發行為，故不需實施環境影響評估。

(3)水土保持法：

依「水土保持法」第八條與第十二條之規定，本工程場址因位屬山坡地，故施工前須先提送水土保持計畫送主管機關(行政院農業會水土保持局)審核通過，始得動工。

(4)山坡地保育利用條例：

依上述法規第三十二條之一條文，由於本計畫於水庫集水區內採取或堆積土石，應先徵得其治理機關（構）之同意，並報經各該目的事業主管機關核准。

經評估本計畫於法規面並無窒礙難行之處，相關法令與對策整理如表 5-3。

2、管理機關：

本計畫未來興辦機關為北水局，而石門水庫目前則由北水局石門水庫管理中心管理，由於本計畫屬於水庫設施更新改善，未來完工後之管理機關亦應隸屬北水局石門水庫管理中心。

表 5-3 法規評估與對策

法規項目	法令	對策
環境影響評估	開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準(經相關部會討論後可免實施環境影響評估)	需辦理施工前、施工階段之環境監測
水土保持計畫	水土保持法第八條、第十二條	為避免延誤本工程發包作業期程，建議納入統包細設階段辦理
維護水庫安全	水利法第五十四之一條	確實監督執行之情況，當無法污染水庫水質之虞
水庫水質	1.飲用水管理條例第五條及飲用水管理條例施行細則第七條 2.自來法第 11 條	施工前承商擬定施工計畫書及水污染防治計畫書，由機關審核通過並徹底監督執行

3、管理人員訓練：

實施水庫防淤工程營運作業訓練，可提升管理人員的本職學能，增加對水庫防淤設施操作及維護能力，避免因人為疏失而造成損害，以及因人員流動造成經驗中斷的現象，訓練項目包括對水庫防洪防淤功能、工程單元及操作維護準則之熟悉與了解等。

(1)一般操作規定：

水庫管理人員在充實專業技術之前，應先瞭解石門水庫運轉的整體概念，俾使在水庫營運上具有共同的認知與相同目標。一般操作規定內容包括有業務職掌、水文觀念、流域特性、水庫設施、水庫運用要點、閘門操作規定等事項。

(2)水庫防淤及防洪運轉作業：

水庫防淤及防洪運轉作業中，各項儀器設備、閘門及系統之使用訓練課程應由承包廠商在完工後，依據工程規範於規定時間內召開講習班實施。管理人員應藉由無水及有水試運轉及值勤操作反覆訓練，致使熟悉各項系統設備之操作方式及流程。水庫管理單位則應負責經驗傳授及資料蒐集之工作，以便於承包廠商實施訓練後，能延續專業知識，不致因人員流動而降低水庫操作能力。

(3)監測及維護作業：

水庫防淤設施之檢查維護工作，是依據檢查維護規劃及監測計畫來實施，在形式上可分為例行檢查維護及特別檢查維護兩種，在檢查方法上又可分為目視檢查及儀器檢查兩類。訓練課程應包含檢查維護規劃及監測計畫。

(4)緊急應變作業：

管理操作人員應充份瞭解緊急應變作業相關法規與機制，並依緊急應變作業計畫針對各種緊急狀況進行應變模擬。水庫管理單位則應定期辦理緊急應變演練，以加強管理操作人員對緊急狀況之處置能力。

5.5.5 設施檢查與維護原則

1、土木設施檢查維護重點：

本計畫之主要土木設施包括防淤隧道、豎井、閘室、出水工(尾水渠道及挑流工)等，各項土木構造物檢查重點如下：

(1)防淤隧道：

- A、定期檢查隧道混凝土襯砌表面是否有龜裂、沉陷、蜂窩、漏水、劣化或其他異常現象，必要時予以改善。
- B、於洪水量較大事件之防淤操作後，應檢查防淤隧道，以了解是否有沖蝕、穴蝕或其他異常現象。任何足以危害其功能與安全之缺陷，均應儘速改善。

(2)出水工：

- A、定期檢查出水工(尾水渠道及挑流工)結構物表面是否有龜裂、沉陷、蜂窩、漏水、劣化或其他異常現象，必要時予以改善。
- B、於洪水量較大事件之防淤操作後，應檢查出水工，以了解是否有沖蝕、穴蝕或其他異常現象。任何足以危害其功能與安全之缺陷，均應儘速改善。

(3)豎井：

- A、定期檢查豎井結構物表面是否有龜裂、沉陷、蜂窩、漏水、劣化或其他異常現象，必要時予以改善。
- B、豎井閘室內部應定期維護清理，電梯需定期辦理檢查與維護。
- C、目視檢視設備附屬之各項鐵件，是否有銹蝕或其他異

常現象，定期油漆與維護。

(4)閘室：

A、定期檢查閘室結構物表面是否有龜裂、蜂窩、漏水、劣化或其他異常現象，必要時予以改善。

B、閘室應定期維護清理。

C、閘室內之電梯及附屬設備，是否有銹蝕或其他異常現象，定期油漆與維護。

本計畫之主要土木設施均為鋼筋混凝土結構物，經例行及特別檢查後，若發現混凝土表面有異常現象，可依表 5-4 檢查要領辦理，其中混凝土表面裂縫於檢查過程中，應詳實填列檢查表格說明裂縫長度、寬度及深度，並於現場以噴漆標示其位置與附照片佐證，交由技術人員比對裂縫變化情形及初步研判其安全性，必要時可委由專業顧問公司分析及提出改善建議。

2、水工機械檢查維護一般重點：

本計畫水工機械設備包含阿姆坪隧道三座直立式閘門，水工機械的檢查要點應由閘門製造廠家依其特性提出完整的操作維護手冊。

5.5.6 修訂水庫運用要點及水門操作規定

配合本防淤設施之營運操作及水砂競合，應修訂「石門水庫運用要點」及「石門水庫水門操作規定」。

表 5-4 混凝土常見問題之特徵及檢查要領(1/4)

型 態	特 徵 或 原 因		檢 查 要 領
一、裂縫			1.對於過去曾經觀測且有記錄的裂縫，檢查人員必須持續檢查其變化情形及記錄。對某些裂縫，由其發展的趨勢可決定觀測期距及考慮合適之監測儀器。 2.顯著的裂縫或裂縫分布範圍較大者，須予以檢測與記錄，在此種情況之下，亦需予以增加其觀測次數，或建議設置觀測儀器。 3.新的且廣泛的裂縫需做量測，並對其結構之裂縫與性質做一完整的記錄。 4.如發現有新的且嚴重的裂縫，或是與舊有記錄相比發現有明顯變化之情形者，必須儘速予以評估分析其情況。 5.如裂縫之變化而造成之位移顯示將可能危及結構物或設備操作(如閘門準線不正而妨礙閘門之操作與取水功能)時，需予以深入評估。 6.如裂縫有大量的滲水，而無法由排水系統予以處理，則需提出改善之建議。 7.裂縫之位置、長度、寬度及深度。
1.結構裂縫	裂縫之寬度較寬及因受力及潛變效果可能繼續增寬，此種裂縫較為嚴重。	由荷重情況不同、設計不當、施工不良或材料缺失等引起超應力所致。	
2.沿接縫(施工縫或昇層線)裂縫	此種龜裂均沿接縫發生，除非設計上有意預裂者，否則對結構物之整體性可能有威脅性。	由於結構物異常移動、體積變化或化學反應等所致。	
3.收縮裂縫	裂縫細而淺，對安全沒有影響。	由於混凝土之乾縮產生張應力所致，通常發生於剛澆置完不久。	
4.溫度裂縫	裂縫方向一般與結構體之長向成直交，深度較收縮裂縫為深。	施工期間水化熱及不良溫度控制或過急劇氣溫變化(如寒流)影響，使混凝土受外拘束或內拘束或兩者相互作用影響導致超過張應力強度而形成。	
5.花紋式裂縫	裂縫成花紋式分布。	混凝土表面或靠近表面之內部受凍與解凍交替作用或其他異常化學反應之影響，使靠近表面之混凝土體積收縮或膨脹交替作用所致。	
6.D 型裂縫	首先沿接縫發生細而密之裂縫成 D 狀。嚴重者會逐漸離縫向外擴大範圍，影響混凝土之整體性。此型龜裂在古舊結構較易發生，因早期輸氣劑不發達。	同花紋式裂縫，屬花紋式裂縫之早期現象。	

表 5-4 混凝土常見問題之特徵及檢查要領(2/4)

型 態	特 徵 或 原 因	檢 查 要 領
二、材料劣化 (Deteriotation)	1.乾縮、溫度應力、凍與解凍等。	1.整理劣化資料。
1.鬆(Disintegratiom)	2.不當之骨材或材料配比，使強度不夠所致。	2.將劣化處註於圖上，或用拍照、錄影、另附說明，並與過去之資料比較。
2.剝落(Spalling)	3.化學物侵襲	3.須注意某一種劣化是否可能影響其他問題。
3.碳酸鈣沉積 (Efflorsecence)	(1)硫化物(sulfate)侵襲：由化學及物理反應引起膨脹及顏色之污漬(stain)並導致龜裂、剝落、鱗狀物。	4.必要時須用岩石錘探測表面下之空洞。
4.表面下之空洞 (Drummy Concrete)	(2)酸性(acid)侵襲：由波特蘭水泥、石灰岩或白雲石骨材(dolomitic aggregate)水化作用後所生氫氧化鈣(calcium hydroxide)之作用，將材料中水溶性物質溶出，導致碳酸鈣沉積、龜裂、剝落、變色等。	5.一般穴蝕發生的位置有：閘門或閘門之下游，溢洪道陡槽、隧道或管路。
5.爆出(Popout)	(3)鹼性骨材反應(alkali- aggregate reaction)：由水泥與骨材起化學反應形成膨脹及龜裂。二種主要反應型態：alkali -carbonate reaction 及 alkako- silica reaction。導致花紋式裂縫(易生於乾濕交替頻繁處)、碳酸鈣沉積、骨材周圍出現白色圈、在孔隙或開裂處有膠狀物質(alkali-silica reaction)。鹼性骨材反應如繼續惡化，混凝土會膨脹(trowth)，將導致分塊或升層間之接著力降低，閘門卡住、嚴重龜裂、強度損失，最後整個結構物失敗。	(1)混凝土表面之粗糙不平與嶙峋之坑洞且部份骨材被拔除，表示已產生穴蝕損壞。上游產生穴蝕後將以跳蛙型式向下游產生連串的穴蝕現象；每一個穴蝕點將啟動下游一新的穴蝕點產生。
6.小坑洞(Pitting)	4.鐵件銹蝕(metal corrsion)：由於體積膨脹形成龜裂、銹蝕及剝落等。銹蝕之型態有，galvanic corrosion-發生在鐵件接合點上，pitting corrosion-表面上很多小洞，stress corrosion-由環境及受力之綜 合影響而產生，表面無任何跡象，因此很容易在毫無先兆下突然脆裂。	(2)如發現有一穴蝕現象產生，則其形成原因及進一步破壞的潛力必須予以探討。
7.鱗狀物(Scaling)	5.沖蝕(erosion)：由含有砂、石頭或其他垃圾之高速流引起。	(3)穴蝕有時可以用強度較大之材料，如鋼纖維(Steel Polymer)混凝土來修補，以緩和其損害程度。於隧道中亦可設通氣孔，以便藉由通氣孔(Aeration Slots)輸送空氣而減除負壓作用，以減少其損害。
	6.穴蝕(cavitation)：當高速流流經輕低壓區或轉向時會產生氣池(vapor bubbles)，這些氣泡遇高壓時突然爆裂產生很大壓力衝擊水面形成穴蝕。	6.一般沖蝕發生的位置為： (1)由進水口至隧道、管路及陡槽之彎曲段。 (2)靜水池中之消能設備。

表 5-4 混凝土常見問題之特徵及檢查要領(3/4)

型 態	特 徵 或 原 因	檢 查 要 領
三、表面缺失		1.混凝土表面缺點係一種非因自然過程而造成的缺失；故不會因時間增長而產生嚴重的變化。 2.當檢查發現混凝土表面有缺失時，必須注意下列事項： (1)記錄此表面缺失之性質與位置。 (2)注意是否需要立即予以處理，以免引起更嚴重的混凝土破壞現象(如造成混凝土內部滲水情形)。
1.蜂窩	由於不良的施工作業如混凝土拌合不足、不正確的澆注所造成之粒料分離(Segregation)或澆注後振動不足等現象所造成的。	
2.層離現象	由於澆注時混凝土含水量太高或過度的振動，而造成每一水平澆注層中細顆粒之材料浮於上部，其可能引起混凝土強度不均勻，強度減弱及昇層線(uplift line)之結著不良(disbanding)等情形。	
3.模板滑動 (From Slippage)	發生於當施工模板缺乏適當的強度以支撐，由於混凝土澆注與振動時所產生的壓力，其可能產生較輕微的分離與接縫及表面不平現象。有時模板滑動被誤認為混凝土連結不良，後者通常會在完工後很久才發生。	
4.斑點(Stains)	雖然混凝土之褪色與斑點生成原因與混凝土變質現象有關，但大部份之斑點僅產生外觀不良而無損壞之現象。斑點有時係自然原因產生的，如由於水流之沉積物或由於外部鋼銹蝕所產生之沉積物等之影響，亦可能係由於施工或維護時意外造成的。如潤滑油、油漆、木焦油(Creosote：防腐劑)或瀝青(Asphalt)等。	
5.撞擊破壞 (Impact Damage)	混凝土表面的損害有時係由於機械的撞擊而產生，如車、船、起重機等的撞擊、或是石塊投入以致於混凝土表面發生損壞或剝裂。雖然此為一局部現象，但可能產生其他破壞現象，如由於表面破壞而造成混凝土內部潮溼而產生之凍解作用(Freeze-Thaw Action)。	

表 5-4 混凝土常見問題之特徵及檢查要領(4/4)

型 態	特 徵 或 原 因	檢 查 要 領
四、位移 (Displacement) 1. 移位 (Misalignment) 從原構築位置移開 2. 錯動 (Differential movement) 相鄰分塊或結構物錯開	1. 位移的主要原因為：基礎或回填料流失、膨脹泥頁岩、排水不佳引起之超額水壓、過量之土壓、基礎剪力變弱引起之滑動、基礎沉陷、不良施工等。 2. 混凝土內部起化學變化。 3 本身之結構行為。 4. 其他異常之額外荷重，如上頂水壓力、地震、溫度變化等。 5. 如果不適時處理其後果可能有： (1) 引起沖蝕或穴蝕至影響結構之安全。 (2) 變位後之裂縫使水灌入壩體或基礎內，引起基礎淘刷、流失及增加上頂水壓力。 (3) 變位引起之擠壓導致混凝土剝落，鐵件變形或水封撕裂。	1. 特別注意過去已發生變位之處。 2. 校核觀測變位之儀器資料。 3. 檢視有否移位或錯動。 4. 檢視接縫、管線或設備有否錯動之跡象。 5. 注意有否裂縫、新的位移或變化。 6. 發現位移時須記錄其位置、範圍、方向、狀況、檢查日期、時間、溫度及上下游水位。
五、接縫滲水 (Leaking Joinse)	由於水封(Waterstops)受損、輸水管路漏水、混凝土劣化或缺失、基礎劣化、隔幕灌漿不良、基礎排水系統不良或失去功能、基礎內有不利之節理或泥縫。可能造成： 1. 加速混凝土之劣化。 2. 混凝土分離。 3. 減弱混凝土強度。 4. 增加上頂水壓力引起水工結構物錯動或不穩定。 5. 溶解可溶性岩石，使基礎或壩座不穩定。 6. 浪費水庫存水。	1. 於乾燥的情況下，接縫亦必須予以檢查。例如管路中之接縫可於剛停水(Dewatering)時予以檢查，因此時已滲出之水可能由接縫處是發生嚴重之滲水(停水後有稍許滲回之正常現象)。 2. 當接縫處被懷疑有問題時，則施工縫之設計圖與已有之檢查資料是一非常有用之參考資料，下述幾點可作為接縫之檢查： (1) 接縫有泥濘的現象表示有滲水之情形。 (2) 混凝土接縫處通常以接縫封料或塑膠、橡膠壓縮封料填縫，當此等止水封料流失或硬化後，則接縫易受到損害。接縫處如有植物生長情形，則表示此接縫封料有流失或已遭到破壞之情形。 (3) 檢查重點：如一貫穿大壩之管路設有接縫，則接縫材料是否流失或損壞必須予以考慮。

5.6 水庫安全影響評估

本計畫阿姆坪隧道開挖距離石門水庫大壩最近直線約為 3.8 公里，距離排洪隧道約 3.3 公里，如圖 5-2 所示。施工將採用鑽炸法進行開挖，由於爆破工程必須確保對鄰近重要結構物的安全，因此需針對隧道鑽炸對大壩既有結構之安全進行評估。

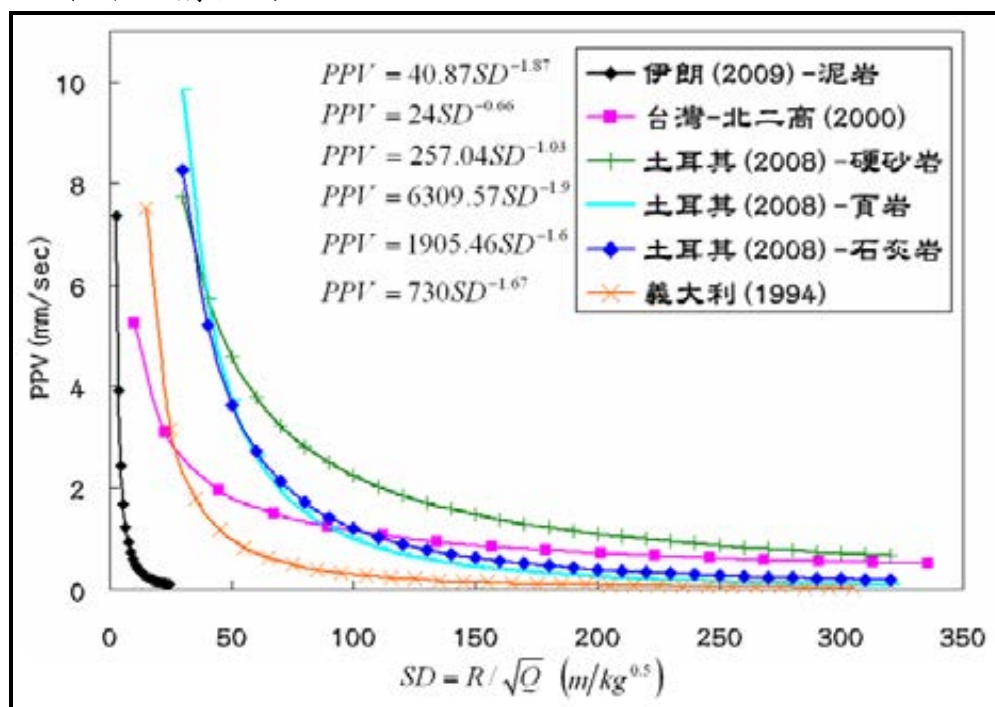


圖 5-2 大壩及排洪隧道距隧道距離示意圖

美國礦業局(1971)和其他學者提出以質點速度作為結構物受高頻率之爆破破壞的準則，一般認為 PPV(peak particle Velocity)小於 5 公分/秒時周圍建築物結構性破壞的可能性很小，13 公分/秒至 19 公分/秒將產生輕微損害，超過 19 公分/秒將產生嚴重損壞。許多國家亦提出了多種因素綜合評判標準供參考，本計畫採用圖 5-3 由國內外利用現地試驗之方法求取兩常數建立出來的規模距離與質點振動速度關係，來評估同時起爆炸藥量。

以石門水庫區域砂岩或砂頁岩互層之岩性來評估，水庫屬於敏感性建築物，以最大質點振動速度大於 5 公厘/秒作為評估構造物損壞

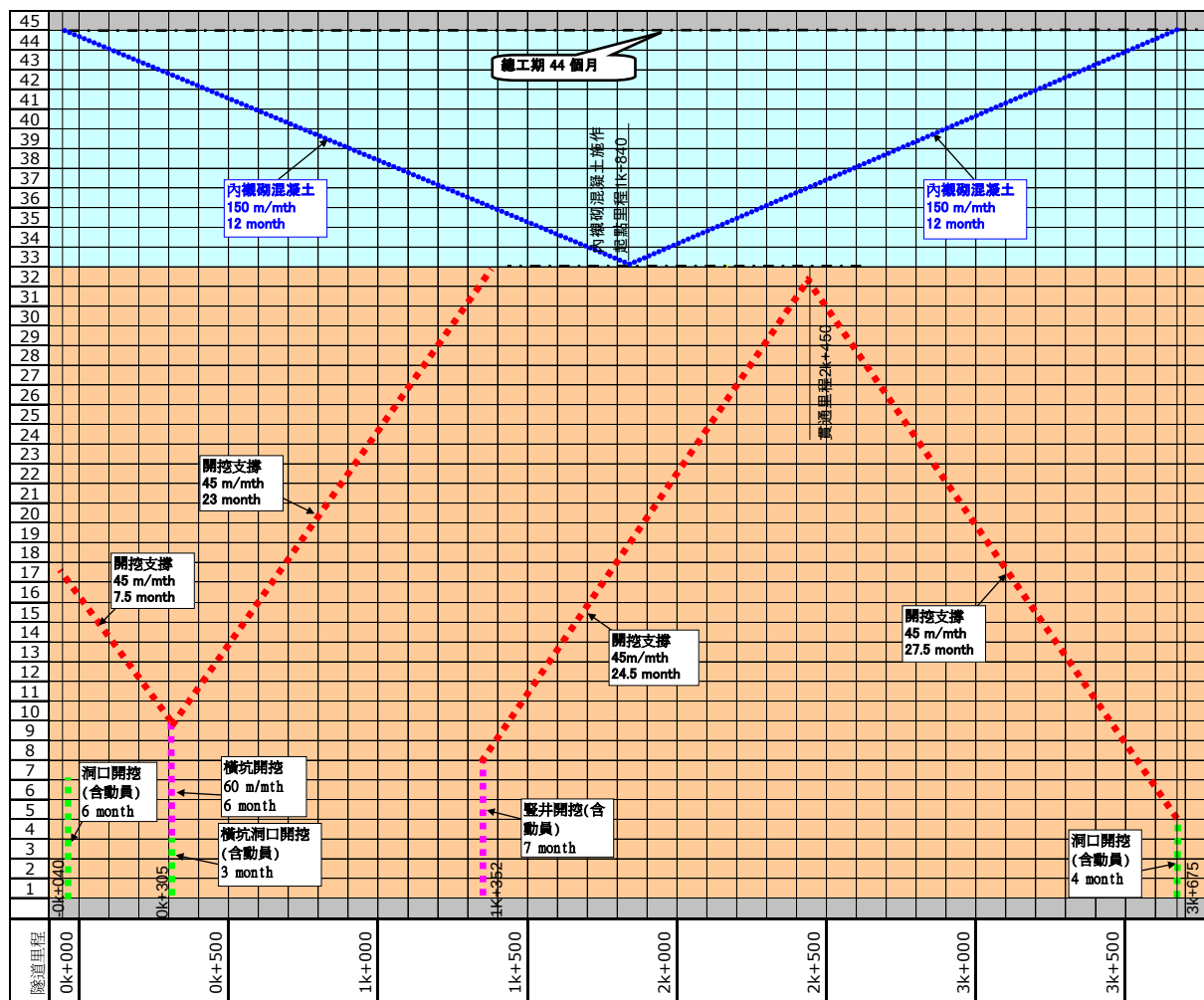
與否的依據，距離則以隧道施工面距壩址最近的 3.3 公里來計算，套入圖 5-2 可得知，砂岩及頁岩之地層，規模距離 SD 須達 40~50 最大質點振動速度方能達到 5 公厘/秒，結果顯示隧道採鑽炸法開挖時，單一鑽孔之爆藥量在 5,378 公斤以下不會影響結構物安全，而以鑽炸法開挖時鑽孔底部裝藥量約為 0.25 公斤左右，遠小於 5,378 公斤之極限值，因此隧道採鑽炸法施工對排洪隧道結構並無影響。另施工階段將進行爆破振動監測，監測位置除大壩與排洪隧道外，亦包括周圍私人與其他結構物，並要求爆破期間最大質點振動速度不得大於 5 公厘/秒以確保結構物安全。



註：ppv：最大質點振動速度(mm/sec)；R：爆破位置與結構物距離(m)；Q：爆藥量(kg)

圖 5-3 規模距離(SD)產生最大質點振速與結構物距離關係圖

由於本工程隧道長達 3,675 公尺，在採取鑽炸工法情形下，其工期為 36 個月。若採機械開挖，其開挖進度約 45 公尺/月，隧道工期為 44 個月，如圖 5-4，較鑽炸工法增加 8 個月，故建議仍採用鑽炸工法。



第陸章 工程規劃

6.1 規劃佈置

阿姆坪隧道進水口約位於水庫河道斷面 19 處，隧道路線則往西北方向以直線佈設，通過湍仔溝溪懷德橋下游溪谷下方，出水口位於台 4 線 35k 附近下方，其後利用 10 及 11 號沉澱池設置沖淤池 1 座，並延伸至大漢溪，阿姆坪隧道平面布置見圖 6-1。

阿姆坪隧道以抽砂或運砂兼排洪沖淤為主，設計流量為 600 秒立方公尺，颱風期間操作排放水量作為隧道出口堆置泥砂之沖淤水量，對石門水庫而言，將擴增原設計最大排洪量 14,100 秒立方公尺至 14,700 秒立方公尺，預估年清淤疏濬量可達 64 萬立方公尺。工程規劃分為進水口段、隧道段、出水口段及沖淤池段、及淤泥貯留設施場地等區段，總長度約 4,531 公尺，阿姆坪隧道整體縱斷面見圖 6-2。

6.2 進水口段

6.2.1 規劃原則

為不影響大灣坪隧道或石門水庫之水庫排砂，因此阿姆坪隧道之操作係利用豪大雨或颱風期間多餘水量排放，且應於水庫調節性洩洪或異重流尚未到達時操作，依據「石門水庫水門操作規定及運用要點」石門水庫調節性洩洪量約 200~600 秒立方公尺，本工作參考水庫歷年操作經驗如表 6-1，訂定阿姆坪隧道操作水位與流量如下：

- 1、水庫水位高程上升至約 242.90 公尺時沖淤流量為 200 秒立方公尺。
- 2、水庫水位高程超越 245.0 公尺時則以自然溢流方式取水。
- 3、水庫水位於高程 245.0 公尺時能有 600 秒立方公尺之放流量，以達沖淤及兼顧防洪功能。

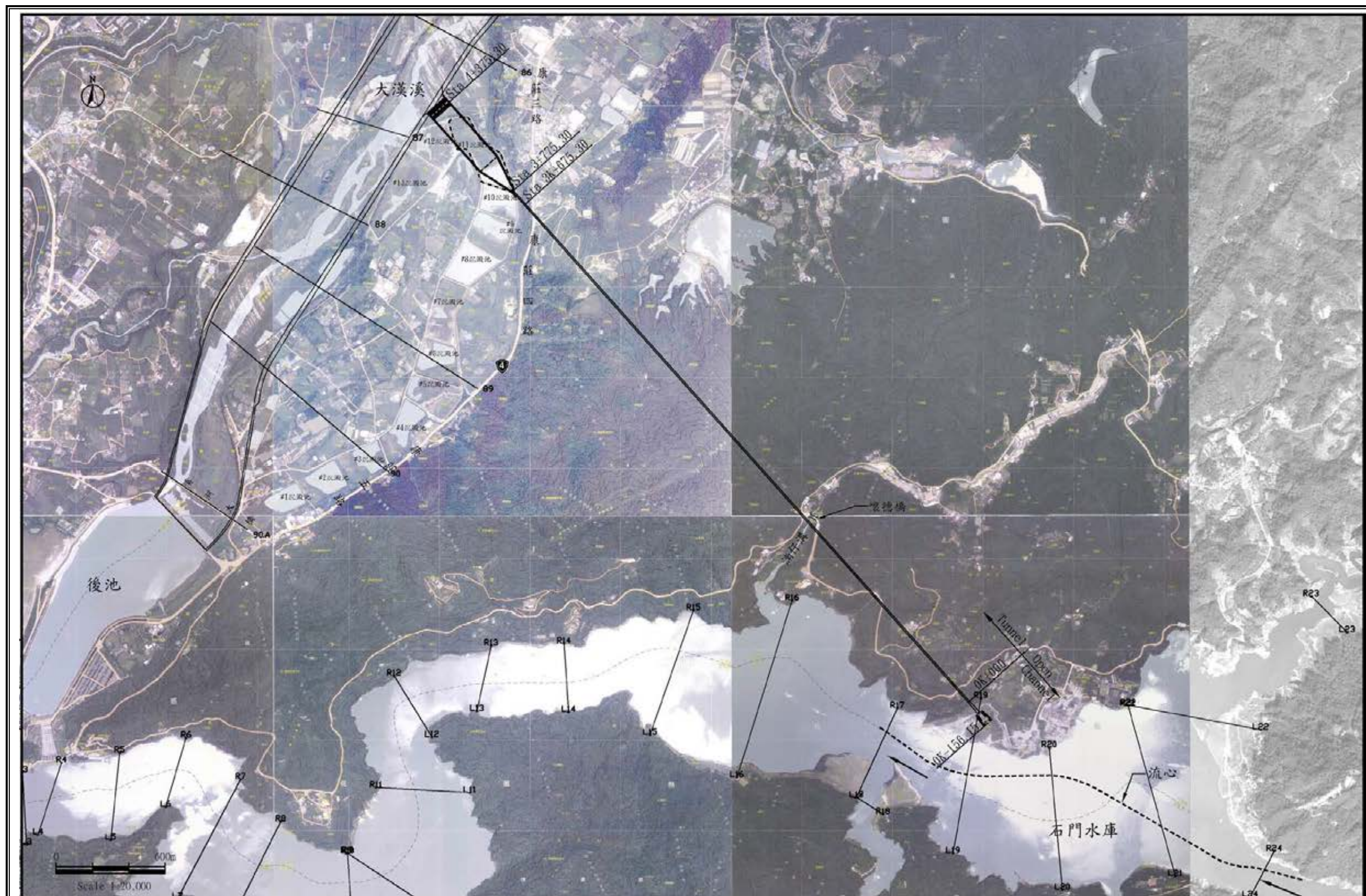


圖 6-1 阿姆坪隧道工程平面佈置圖

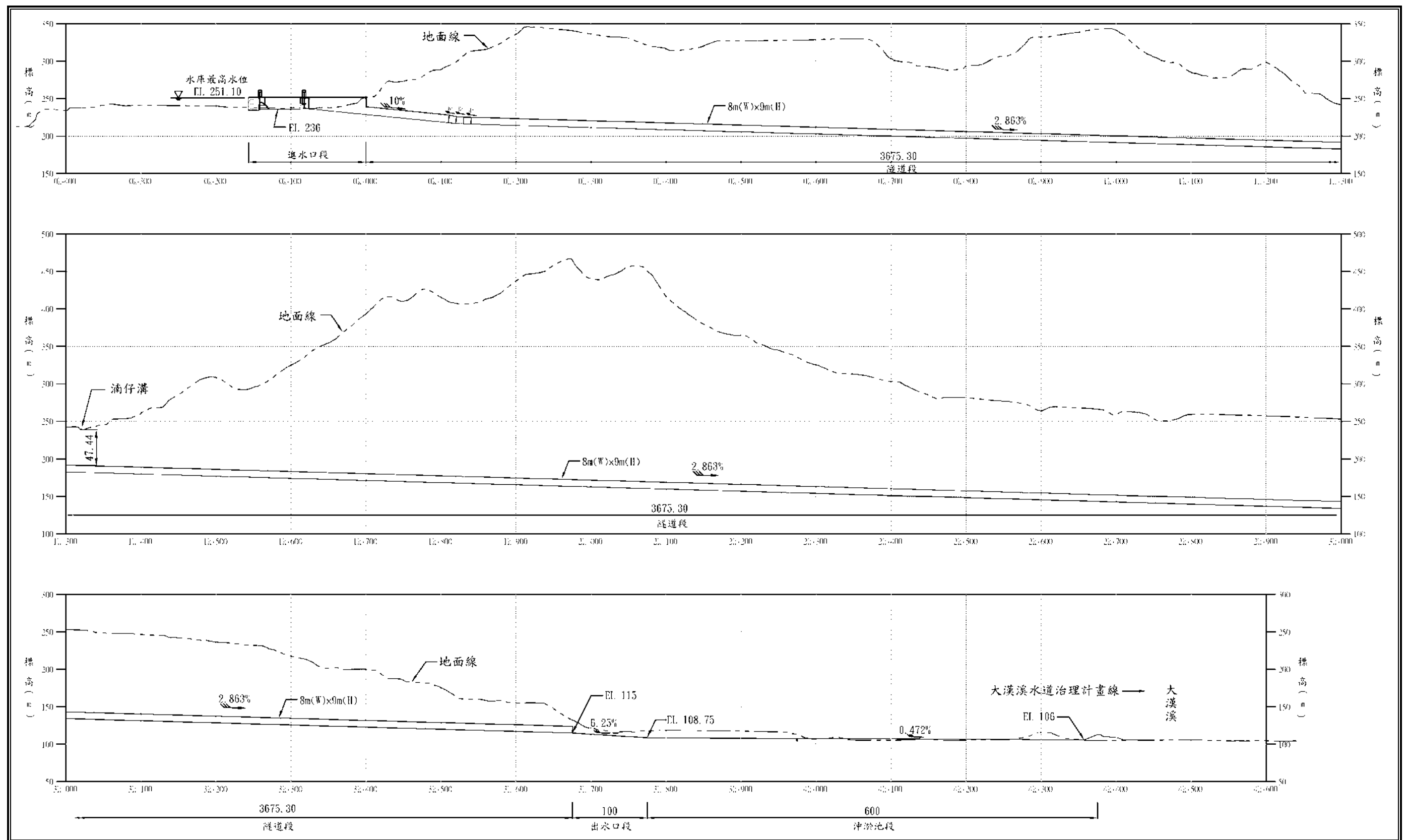


圖 6-2 阿姆坪隧道工程整體縱斷面圖

表 6-1 石門水庫近年颱風期間洩洪水位

民國	颱風	起洩時間	終洩時間	洩洪時間 (hr)	起洩水位 (m)	終洩水位 (m)	最高水位 (m)	平均洩洪量 (cms)
93	蘭寧	8/12(10)	8/12(19)	10	240.34	239.92	240.53	693.49
	艾利	8/23(18)	8/26(24)	79	242.42	243.01	245.80	2,370.25
	納坦	10/24(12)	10/26(14)	51	243.53	241.58	243.62	507.42
	南瑪都	12/3(14)	12/4(24)	35	243.63	243.30	243.70	221.95
94	海棠	7/17(24)	7/20(24)	73	238.85	238.03	241.38	841.15
	馬莎	8/4(19)	8/7(12)	66	242.30	238.13	245.30	2,080.34
	龍王	10/2(4)	10/5(12)	81	241.79	241.05	243.94	329.20
95	珍珠	5/16(20)	5/18(7)	36	241.40	239.02	241.49	205.29
	碧利斯	7/13(18)	7/15(6)	37	240.59	239.89	240.91	358.05
	凱米	7/24(12)	7/25(7)	20	241.87	240.52	241.94	202.84
	桑美	8/9(13)	8/10(11)	23	242.77	241.03	242.81	276.45
	珊珊	9/15(20)	9/19(7)	84	243.32	241.72	244.28	366.39
96	聖帕	8/17(20)	8/20(14)	67	243.22	241.52	243.90	618.42
	韋帕	9/18(1)	9/20(18)	66	242.76	242.51	243.80	773.23
	柯羅莎	10/5(13)	10/10(17)	125	243.68	242.56	243.86	936.60
97	鳳凰	7/27(20)	7/29(1)	30	242.00	240.42	243.64	960.55
	辛樂克	9/12(20)	9/17(12)	113	240.98	239.88	242.50	1,437.19
	薔蜜	9/27(15)	10/1(5)	87	244.28	242.58	244.37	763.15
98	莫拉克	8/8(3)	8/10(24)	70	242.14	243.34	244.38	386.80
99	凡那比	9/19(11)	9/19(19)	9	239.33	240.69	242.16	205.15
	梅姬	10/21(17)	10/23(9)	41	245.02	242.53	245.02	384.13
平均值				57	242.20	241.11	243.30	710.38

6.2.2 規劃成果

圖 6-3 為進水口段平縱斷面，共設置引水渠道進水口堰及隧道進水口，其佈置分別如下：

1、引水渠道進水口堰：

圖 6-4 為進水口堰詳圖，臥箕堰為配合孔口設計堰長 33.2 公尺，堰頂高程 245.00 公尺，底部高程 236.00 公尺設置 3@5.50 公尺(H)×8.00 公尺(W)之孔口，進水口型狀以橢圓設計，降低入口損失，孔口上游渠底高程 235.00 公尺，下游渠底高程 236.00 公尺。孔口設有閘門為 7.50 公尺(H)×10.00 公尺(W)，閘門平時全開。進水口堰側牆高程 252.00 公尺，設有

操作橋及一座 33.20 公尺(L)×5.00 公尺(W)×9.00 公尺(H)閘室。

進水口堰下游由寬 32.2 公尺漸變為 22.0 公尺銜接隧道進水口，長度為 40.5 公尺。

2、隧道進水口：

圖 6-5 為隧道進水口，採 3@4.50 公尺(H)×6.00 公尺(W)設計，進水口型狀採橢圓設計，降低入口損失。孔口上游渠底高程 236.00 公尺，下游高程 237.00 公尺。孔口閘門為 6.00 公尺(H)×6.00 公尺(W)。隧道進水口側牆高程 252.00 公尺，出孔口後渠底高程 237.00 公尺以 L=80 公尺，S=10%之陡槽銜接隧道進口。

規劃方案相關水位、流量及閘門操作如表 6-2，各結構水位、流量率定曲線如圖 6-6。

表 6-2 進水口方案水位、流量及閘門操作特性表

時機及因子	規劃方案			備註
	水位(m)	流量(cms)	閘門操作	
水位上升段： 最低操作水位與 流量	高程 241.1	250	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全閉→全開	
上升段： 滿水位高程 245	高程 245	600	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全開	
上升段： 洪水位高程 247.4	高程 247.4	600	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全開 3.隧道進水口孔口閘門：控制流量	
上升段： 洪水位高程 250.2	高程 250.2	600	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全開 3.隧道進水口孔口閘門：控制流量	
下降段： 滿水位高程 245	高程 245	0	1.引水渠道進水口堰孔口閘門：全開 2.隧道進水口孔口閘門：全開 3.隧道進水口孔口閘門：全開→全閉	

說明：流量 266(350)：266 表經驗公式計算，(350)表依水工模型結果內插。

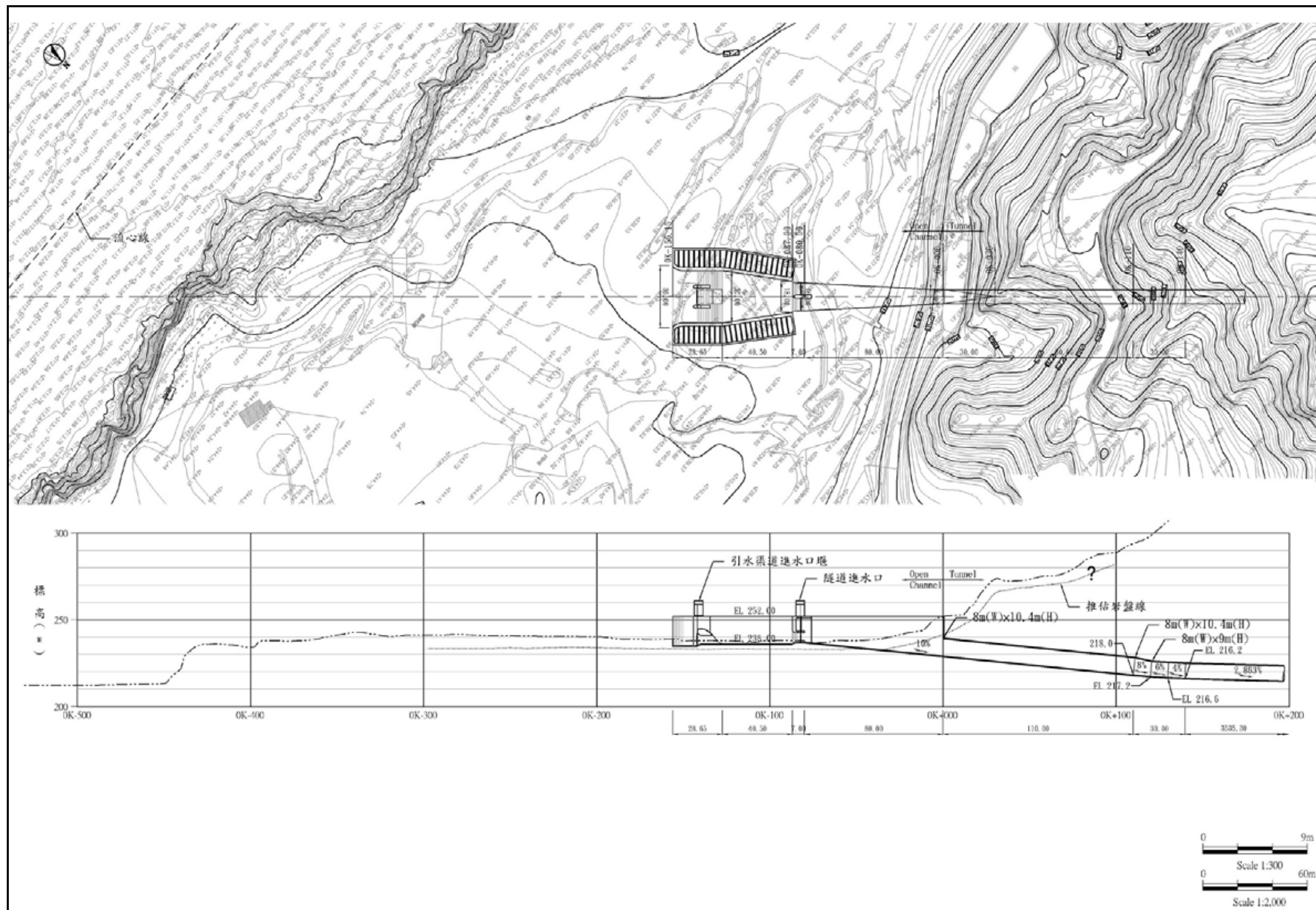


圖 6-3 阿姆坪隧道進水口段規劃方案平縱斷面圖

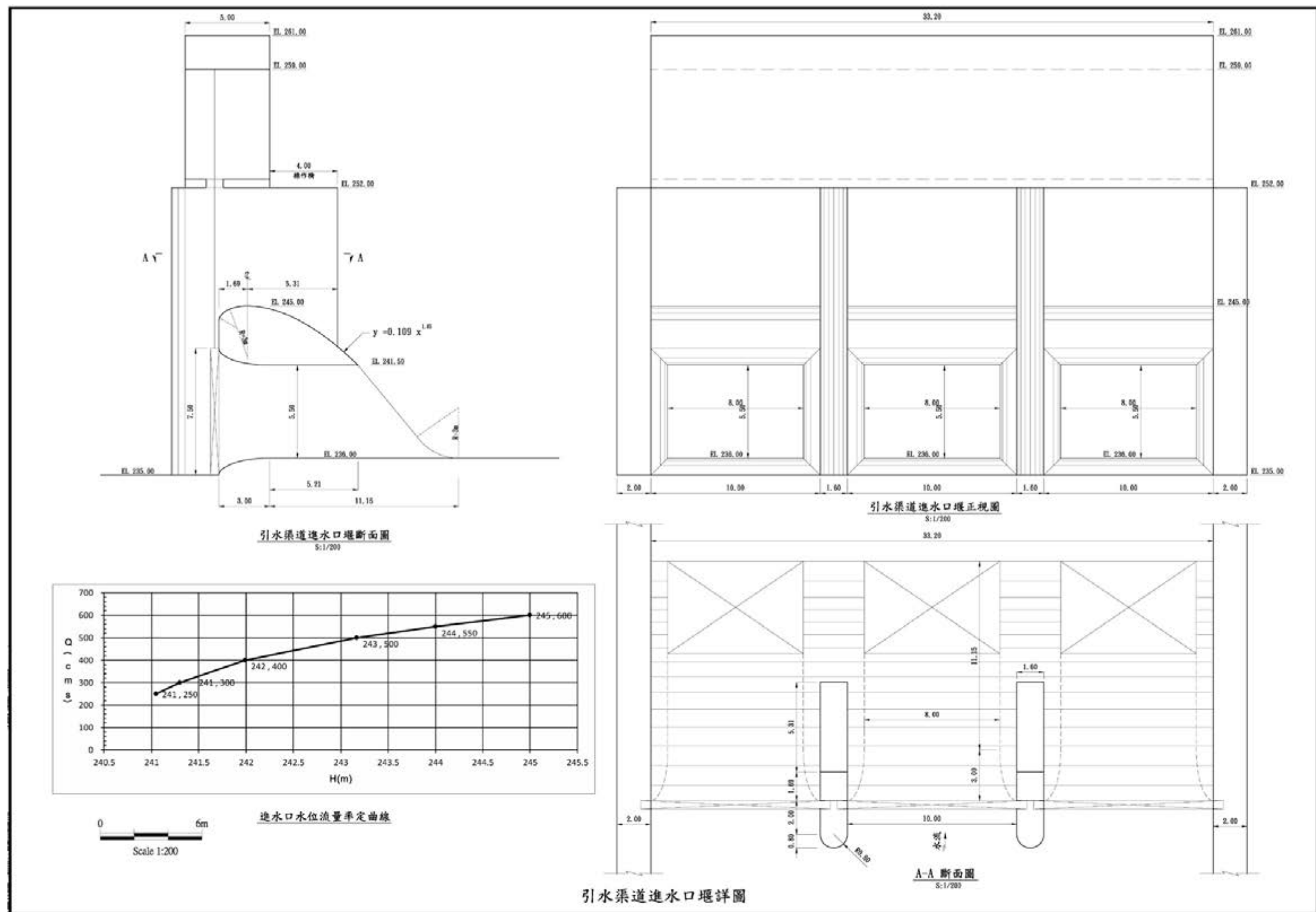


圖 6-4 阿姆坪隧道進水口修正規劃方案圖

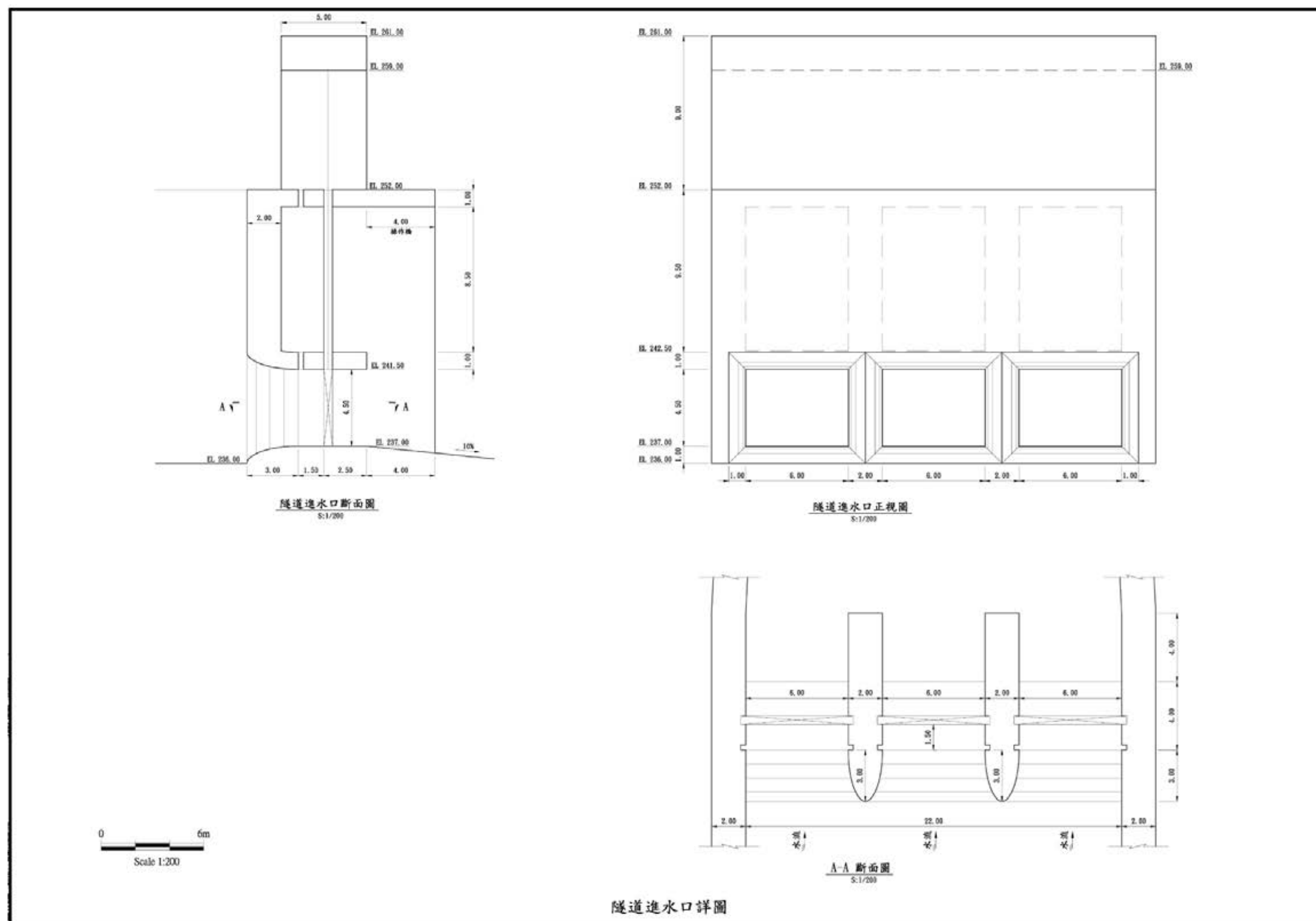


圖 6-5 阿姆坪隧道進水口詳圖

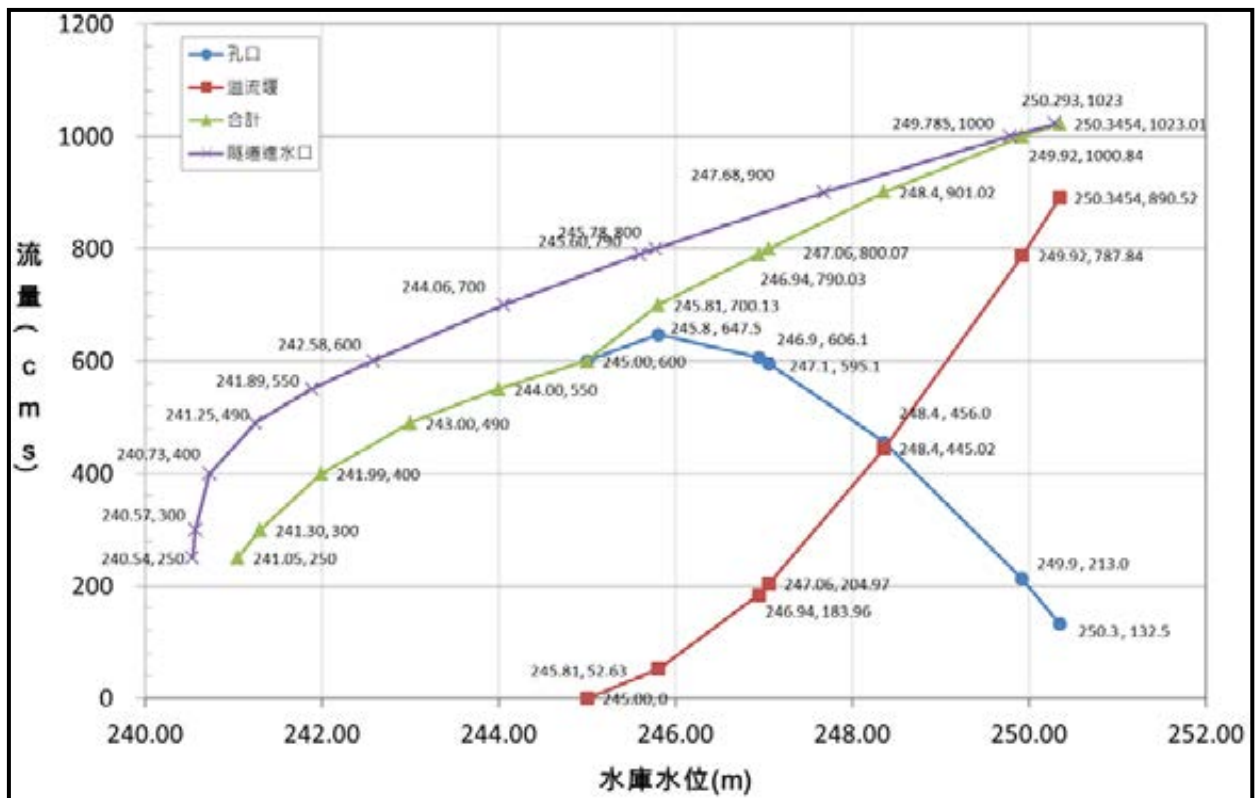


圖 6-6 阿姆坪隧道進水口規劃方案結構之水位與流量率定曲線

3、隧道出水高評估：

本工程最大取水流量除取決於引水渠道進水口堰及隧道進水口之設計外，尚需考量隧道在水理穩定的條件下之最大可輸水能量，本計畫隧道上半部需設置輸泥設施，由圖 6.2-1 及圖 6.2-4 顯示，隧道段 Sta.0k+000~ Sta.0k+110 為 10.40 公尺(H) × 8.00 公尺(W)，Sta.0k+110~ Sta.0k+120 漸變至 9.00 公尺(H) × 8.00 公尺(W)，因此由隧道仰拱至輸泥設施底緣為 7.1~6.0 公尺。

本計畫建議出水高以 1.5 公尺為原則，以三維水理模式計算 $Q=600$ 秒立方公尺、 $Q=650$ 秒立方公尺、 $Q=700$ 秒立方公尺、 $Q=750$ 秒立方公尺、 $Q=800$ 秒立方公尺等取水流量下隧道各累距出水高，因本工程在隧道進水口前後為斷面變化較大之處，隧道在 Sta.0k+140.00 後即為固定坡度 2.863%，斷面亦不再變化，故評估範圍取隧道進水口後端至 Sta.0k+200.00，水理計算結果如圖 6-7 及表 6-3。

結果顯示， $Q=600\sim 650$ 秒立方公尺時，輸泥底版最小出水高分別為 1.16 及 0.7 公尺，當 $Q>700$ 秒立方公尺時，在 Sta.0k+000.00 處水位將越過輸泥底版且 Sta.0k+120.00 以下出水高僅 1.10 公尺，故建議最大流量不大於 650 秒立方公尺，避免輸泥管遭水流沖擊而破壞，而 Sta.0k+000.00~Sta.0k+120.00 之輸泥板高程將配合 $Q=650$ 秒立方公尺流量之水面線調整，以使出水高為 1.5 公尺，另外本設施當水庫水位高於 245.00 公尺以上時，應由隧道進水口閘門控制流量，使流量不大於 650 秒立方公尺。

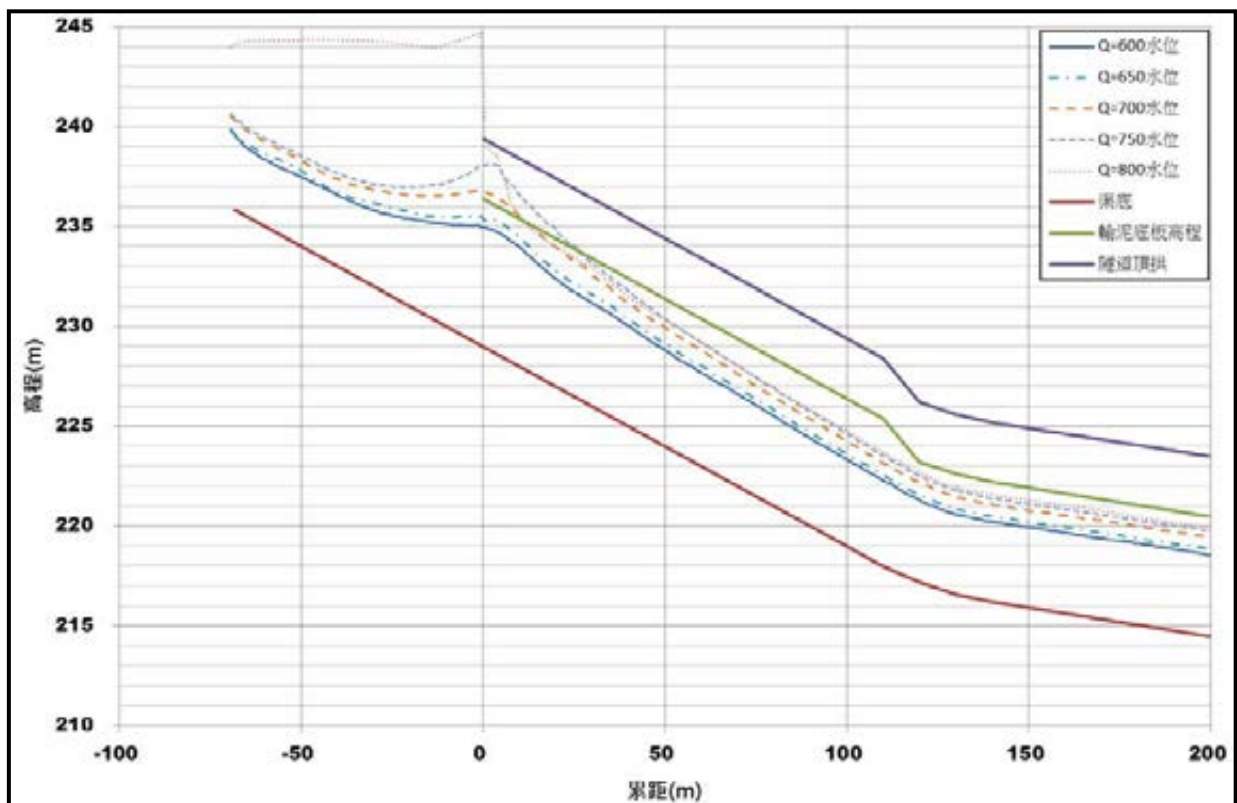


圖 6-7 阿姆坪隧道進水口前後之水位圖

表 6-3 阿姆坪隧道進水口前後之水位與輸泥底版出水高計算表

里程 (m)	渠底 (m)	Q=600cms			Q=650cms			Q=700cms			Q=750cms			Q=800cms			備註
		水位(m)	水深 (m)	輸泥底 版底緣 出水高 (m)	水位(m)	水深 (m)	輸泥底 版底緣 出水高 (m)	水位(m)	水深 (m)	輸泥底 版底緣 出水高 (m)	水位(m)	水深 (m)	輸泥底 版底緣 出水高 (m)	水位(m)	水深 (m)	輸泥底 版底緣 出水高 (m)	
0k-068.5	235.85	239.62	3.77	-	239.67	3.82	-	240.37	4.52	-	240.50	4.65	-	244.13	8.28	-	
0k+000	229.00	234.94	5.94	1.46	235.40	6.40	1.00	236.73	7.73	-0.33	238.12	9.12	-1.72	238.99	9.99	-2.59	隧道起點
0k+110	218.00	222.24	4.24	2.86	222.55	4.55	2.55	223.16	5.16	1.94	223.52	5.52	1.58	223.68	5.68	1.42	
0k+120	217.20	221.25	4.05	1.95	221.56	4.36	1.64	222.18	4.98	1.02	222.51	5.31	0.69	222.66	5.46	0.54	
0k+130	216.60	220.56	3.96	2.04	220.86	4.26	1.74	221.48	4.88	1.12	221.80	5.20	0.80	221.96	5.36	0.64	
0k+140	216.20	220.20	4.00	2.00	220.47	4.27	1.73	221.08	4.88	1.12	221.40	5.20	0.80	221.57	5.37	0.63	
0k+200	214.48	218.53	4.05	1.95	218.85	4.37	1.63	219.40	4.92	1.08	219.74	5.26	0.74	219.94	5.46	0.54	

6.3 隧道段

6.3.1 規劃原則

阿姆坪隧道以抽砂或運砂兼排洪沖淤為主，平時利用抽泥(砂)船浚渫水庫淤泥，並經由阿姆坪隧道上層輸送管設備，將浚渫之淤泥運至隧道出口處堆放，屬不可沖淤土石部分則暫置於河川浮覆地後外運；屬可沖淤土石部分則暫置於沖淤池內，利用颱風汛期時排洪之水量沖刷堆放之淤泥，使淤泥排放回歸至下游大漢溪河道。如遇特別乾旱時期，水庫水位降至高程 210 公尺以下時，可考量讓卡車可直接行駛阿姆坪河床時，在配合機械清淤情況下，裝載淤積料之卡車可經由隧道輸送至水庫下游，提高水庫清淤效率。

6.3.2 規劃成果

阿姆坪隧道規劃隧道段長度為 3,675 公尺，進水口高程 236 公尺，出水口高程 115 公尺，坡度為 2.863%，為增加工作面以縮短工期，於隧道里程 0k+305 處設置橫坑，長約 360 公尺，於隧道里程 1k+352 處(懷德橋)，另設置施工豎井，深度約 70 公尺。

1、隧道斷面：

規劃隧道斷面 Sta.0k+000~0k+110 為 8 公尺(W)×10.4 公尺(H)的馬蹄形斷面，其後是 8 公尺(W)×9 公尺(H)的馬蹄形斷面，隧道標準斷面如圖 6-8 所示。根據「勞工安全衛生設施規則」第 25 條規定，樓地板至天花板淨高應在 2.1 公尺以上，因此規劃上部空間由輸泥管架旁起維持 2.1 公尺以上淨空距離。因應卡車清運期間通風需求，預埋設通風機掛鉤，供使用期間可附掛臨時用通風設備，其中縱流通風之臨時風機外徑至少為 1.1 公尺。

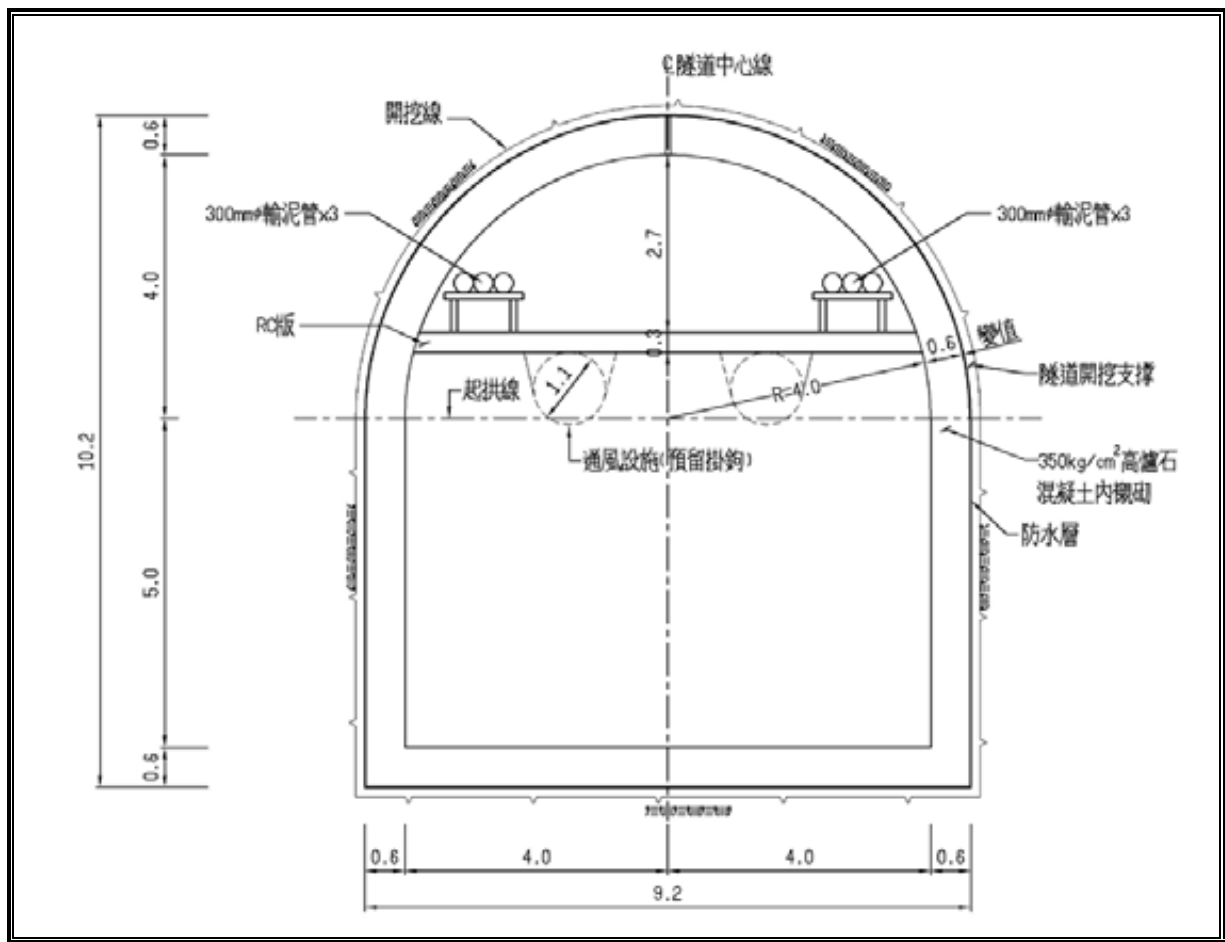


圖 6-8 阿姆坪隧道標準斷面圖

2、開挖工法評估：

隧道施工方法的規劃將影響施工進度、工程造價及隧道安全甚鉅，因此隧道施工方法之選擇，為隧道工程作業之首要考慮因素，但無論採用何種工法，事先均須做到詳盡之地質調查及配合施工時之良好工地管理，才可達到提升施工進度的目的。目前岩石隧道施工方法有全斷面鑽掘機(TBM)開挖法、自由斷面鑽掘機(Roadheader)開挖法、破碎機(Breaker)開挖法和傳統鑽炸法，每種施工方法各有其不同之開挖特性及適用地質條件，整理如表 6-4 所示，將各種隧道開挖工法分別敘述如下：

表 6-4 各種岩石隧道開挖工法比較表

考慮因素	施工方法	鑽炸工法 D&B	破碎機 Breaker	懸臂式鑽掘機 Roadheader	全斷面鑽掘機 TBM
應用地質狀況		任何地質	任何地質	軟岩~中硬岩	軟岩~硬岩
投資成本		較低	較低	低~中等	高
施工進度及工期		慢	甚慢	中等	甚快
交貨時間		2~3 月	2~3 月	3~6 月	9~18 月
工地組合及試運轉		2 週	2 週	2 週	8~12 週
組合場地		無限制	無限制	中等	大
最小轉彎半徑		無限制	無限制	約 5 m	約 200~300 m
一般最大坡度		約 30 度	約 30 度	約 15 度	10~30 度
開挖斷面形狀		任意	任意	任意	圓形
開挖斷面尺寸		任意	任意	任意	1.8~12m
隧道支撐費用		大	大	中等	小
開挖面周邊擾動情形及超挖量		大	大	小	小
隧道內通風情形及費用		不良、高	不良、高	尚可、中	良好、小
斷層處理及探查孔		無限制	無限制	無限制	可能
適用隧道長度(D 為隧道直徑)		無限制	無限制	1,000 m 以上	約 0.8D×1,000m
環境影響(如噪音、震動、廢氣等)		大	大	小	小
使用坑夫人力數量		大	大	中	小
國內施工經驗		多	多	少	少
施工使用電量		小	小	小~中等	大
地質風險造成機具損失		小~中等	小~中等	小~中等	小~大
施工人員安全性		低	低	高	高
機具重複使用性		高	高	中	低
對於地下水影響		大	大	小	小
隧道內運碴系統要求及重要性		較小	較小	較小	高

(1)隧道全斷面鑽掘機(TBM)：

隧道全斷面鑽掘機主要優點在於可將開挖、出碴及支撐架設等作業整合於自動化機械設備中，其優點包含：A、從開挖到襯砌一貫作業，縮短作業時間，並可使用預鑄混凝土內襯砌；B、在合適的地盤中開挖速率高；C、開挖面較為完整，超挖及對岩體的擾動均較小；D、開挖面周圍及工作區域較穩定、安全；E、所需工作人員較少但素須較高。

另外使用 TBM 需要 1~2 年時間作為製造、組裝及試

挖等先期作業時間，如依開挖速率評估約需 2 公里以上隧道才能顯示出 TBM 相較於鑽炸工法在速率上的優勢，若依所需費用評估則至少需 5~6 公里以上長隧道才能有較鑽炸法優勢之經濟性效益。

(2)懸臂式鑽掘機(Roadheader)與破碎機(Breaker)：

除 TBM 外，機械開挖工法尚有採用自由斷面鑽掘機(Roadheader)及破碎機(Breaker)等，與鑽炸法主要不同為開挖方式以機械掘削取代開炸，其餘作業程序並無不同，其優點在於可得到較完整光滑的開挖面，減少超挖及對岩體的擾動及降低施工之噪音與振動。對於位於人口密集及淺層覆土條件下之隧道頗為適用。

Roadheader 在施工初期需要費用之投資略高於鑽炸工法，理論上其施工速率亦可高於鑽炸法，惟以國內目前使用 Roadheader 的經驗，因施工粉塵及排水問題仍無法有效解決，且國內具此類機械施工經驗之承商較少。

(3)傳統鑽炸工法(D&B)：

傳統鑽炸工法之優點有：(1)施工準備期間較短，初期資金投入較少；(2)適用於各種地質及地質突然變化或惡劣之施工環境；(3)支撐系統可隨地質狀況作調整；(4)國內承商多已熟練鑽炸工法，人員設備供應較無困難。

目前規劃隧道長度 3,675 公尺，且沿線地質條件複雜，考量工期、經費、施工性等因素，規劃隧道採 NATM 工法進行設計，隧道主體採用傳統鑽炸工法進行開挖作業，另由於隧道進口為庫區，隧道出口則鄰近台 4 線，為避免鑽炸之振動影響，故建議距隧道洞口 50 公尺區段採破碎機開挖。

3、橫坑規劃：

規劃橫坑長約 360 公尺，坡度約為 11.3%，其路線如圖 6-9 所示，橫坑斷面規劃為內徑 5.5 公尺馬蹄形斷面如圖 6-10 所示，橫坑與主隧道銜接處斷面圖如圖 6-11 所示，為避免橫坑進水，橫坑洞口高程規劃至 252 公尺，而進入橫坑之施工道路則沿著北側環庫道路高程 260 公尺為起點，以縱坡 3~5% 長約 250 公尺延伸至橫坑洞口，橫坑於隧道完工後作為維護之通達廊道。

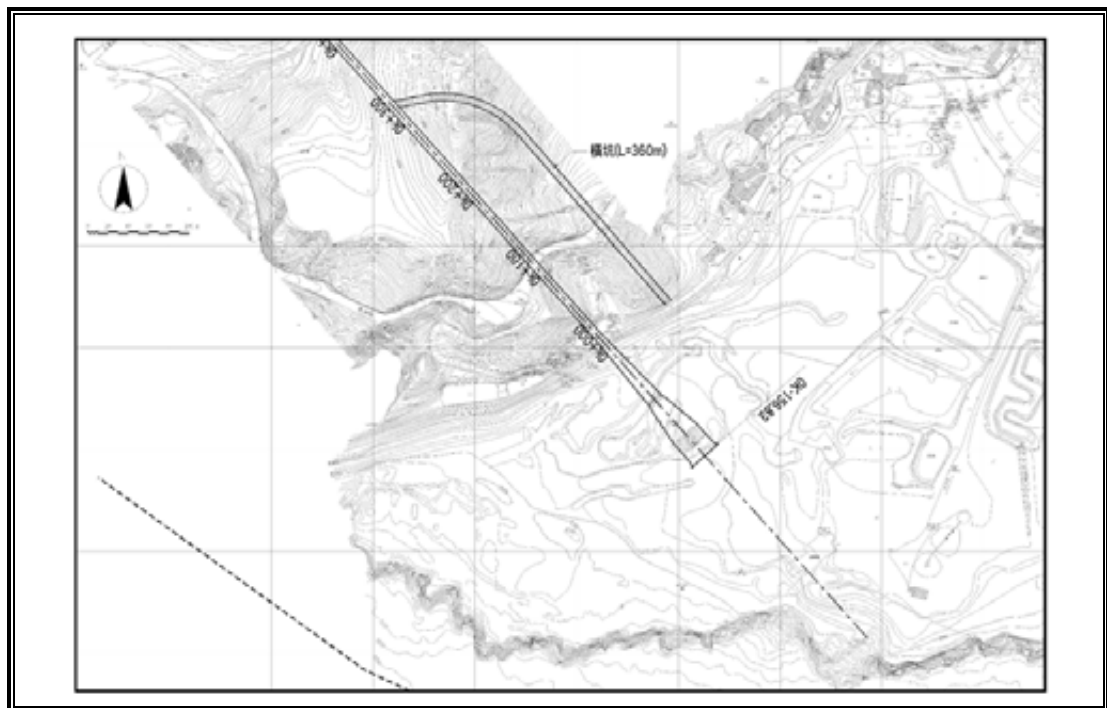


圖 6-9 阿姆坪隧道橫坑平面位置圖

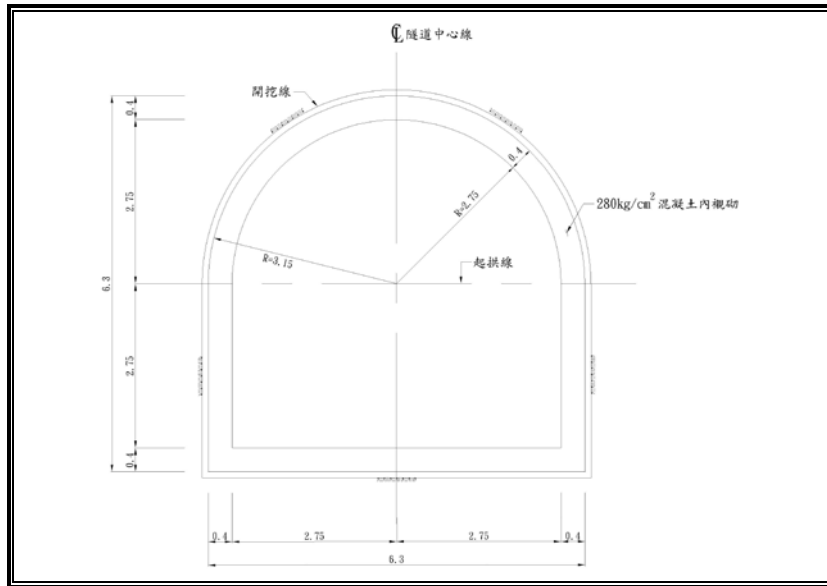


圖 6-10 阿姆坪隧道橫坑標準斷面圖

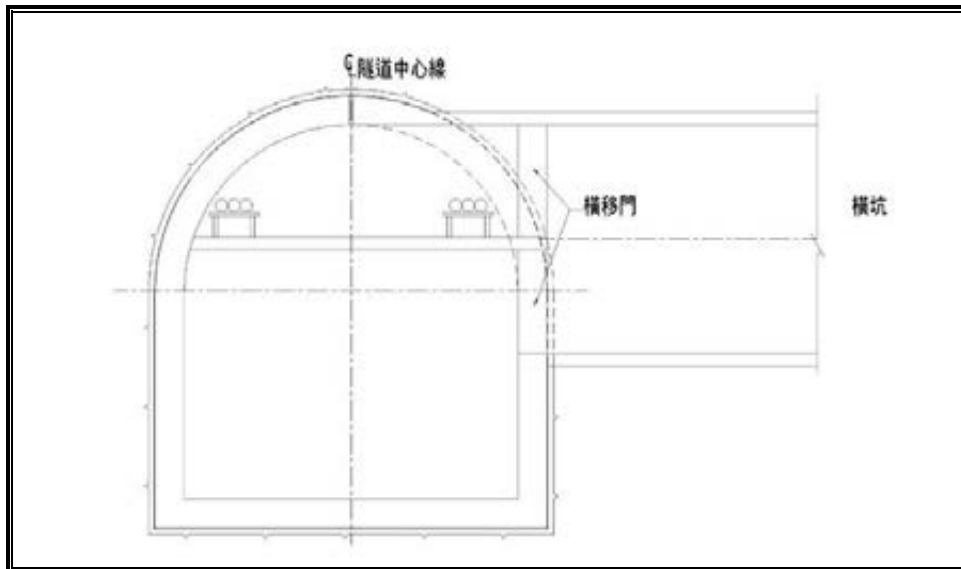


圖 6-11 阿姆坪隧道橫坑與隧道銜接斷面示意圖

4、豎井規劃：

規劃施工豎井於隧道里程 1k+352 處(懷德橋)，深度約 70 公尺、內徑 6 公尺，如圖 6-12 所示，豎井於隧道完工後將作為通氣孔用。

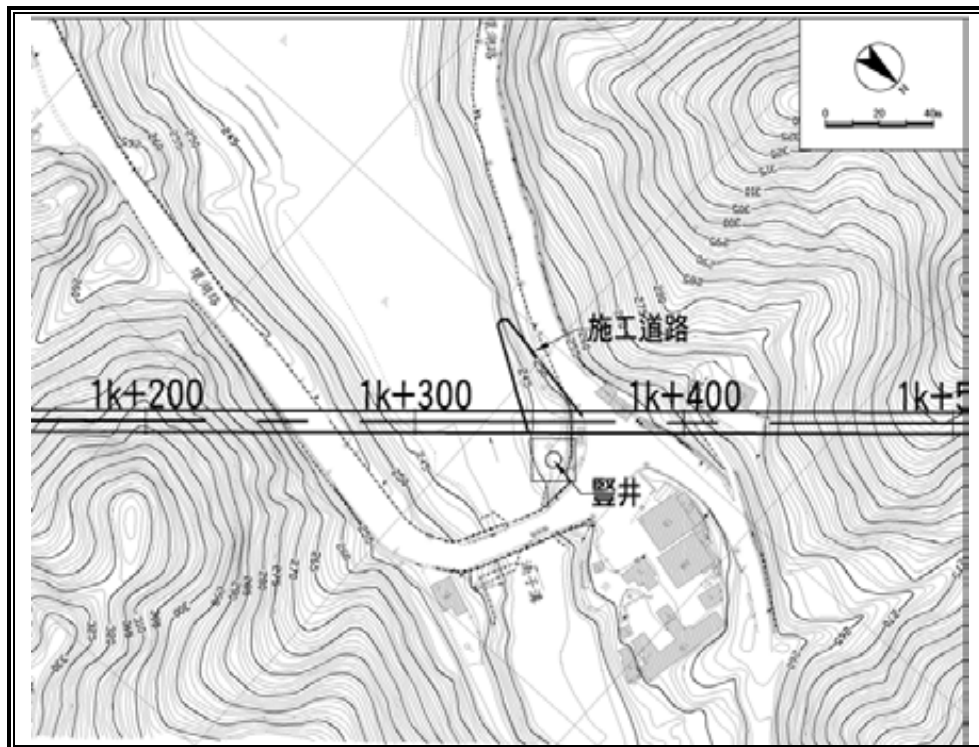


圖 6-12 阿姆坪隧道豎井平面位置圖

5、隧道洞口邊坡保護工程規劃：

規劃隧道進口考量配合明渠段開挖，將先於洞口上方打設擋土排樁與預力地錨以穩定坡面，如圖 6-13 所示。隧道出口第一階採 1:0.3(V:H)開挖，第二階以上則採 1:0.5(V:H)，並採鋼筋混凝土格樑及預力地錨護坡，如圖 6-14 所示。橫坑洞口採 1:0.4 (V:H)分階開挖並打設噴凝土與岩栓以穩定坡面，如圖 6-15 所示。此外各洞口並設置水土保持設施以加強水土保持。

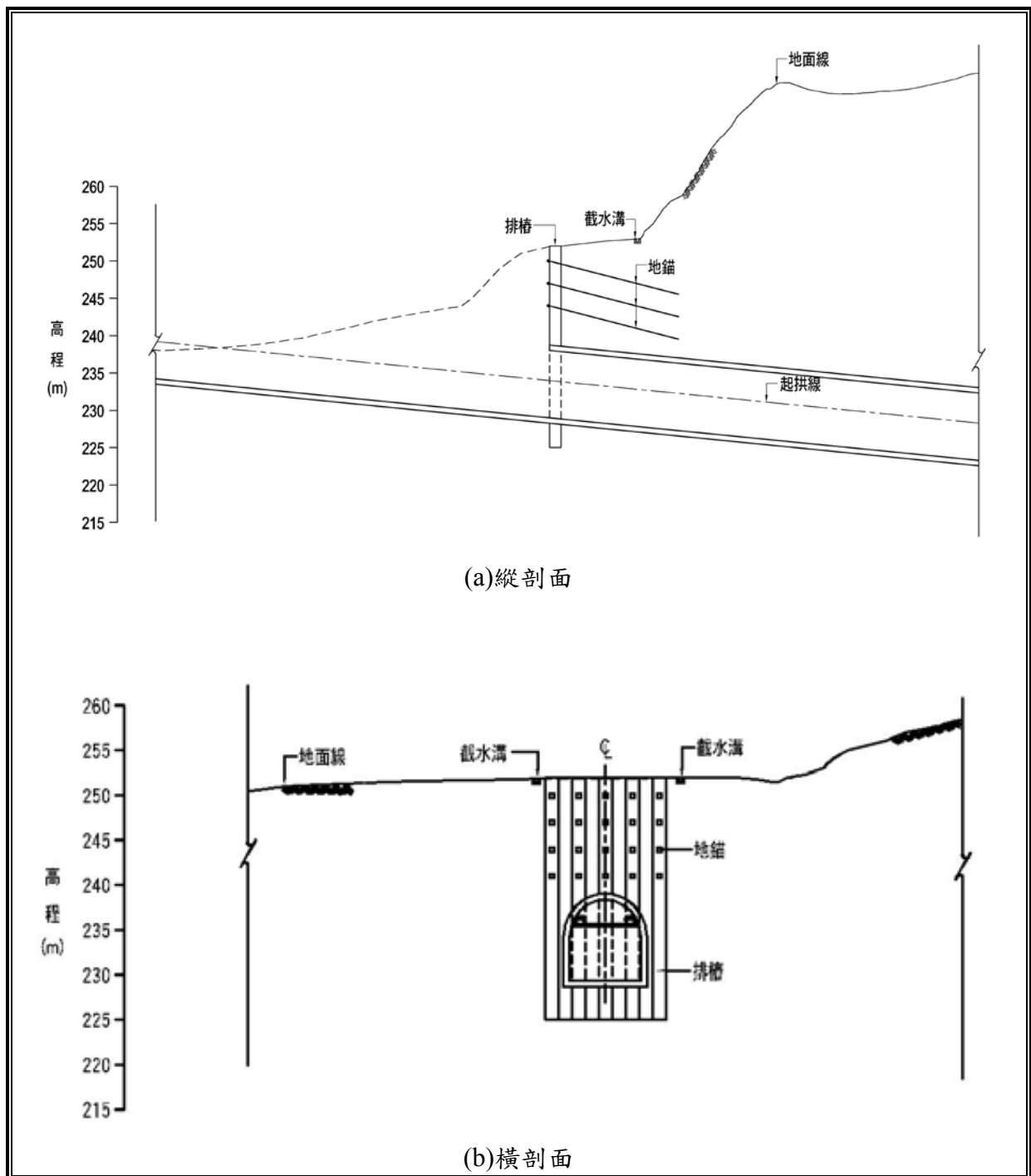


圖 6-13 阿姆坪隧道進口護坡配置圖

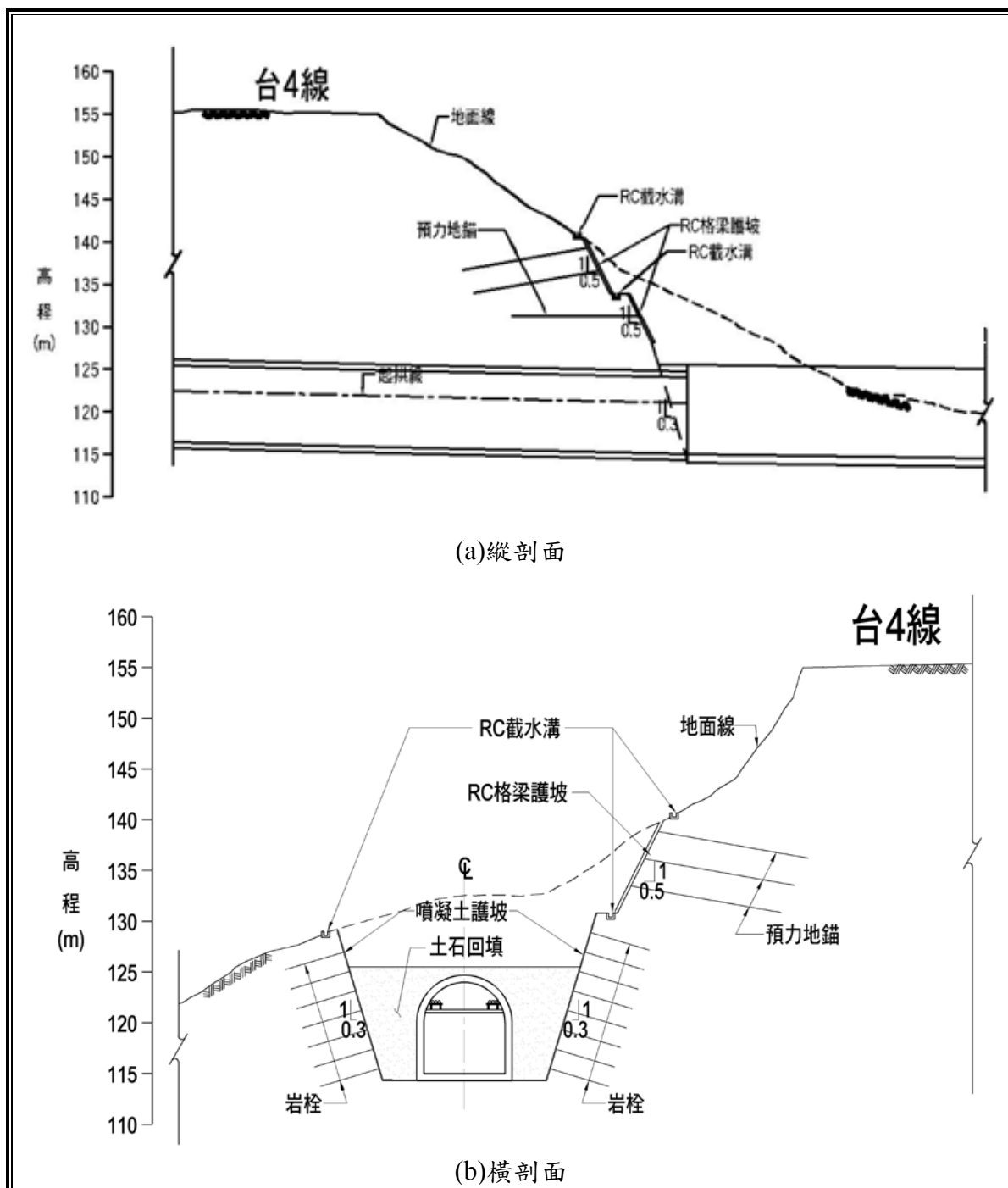


圖 6-14 阿姆坪隧道出口護坡配置圖

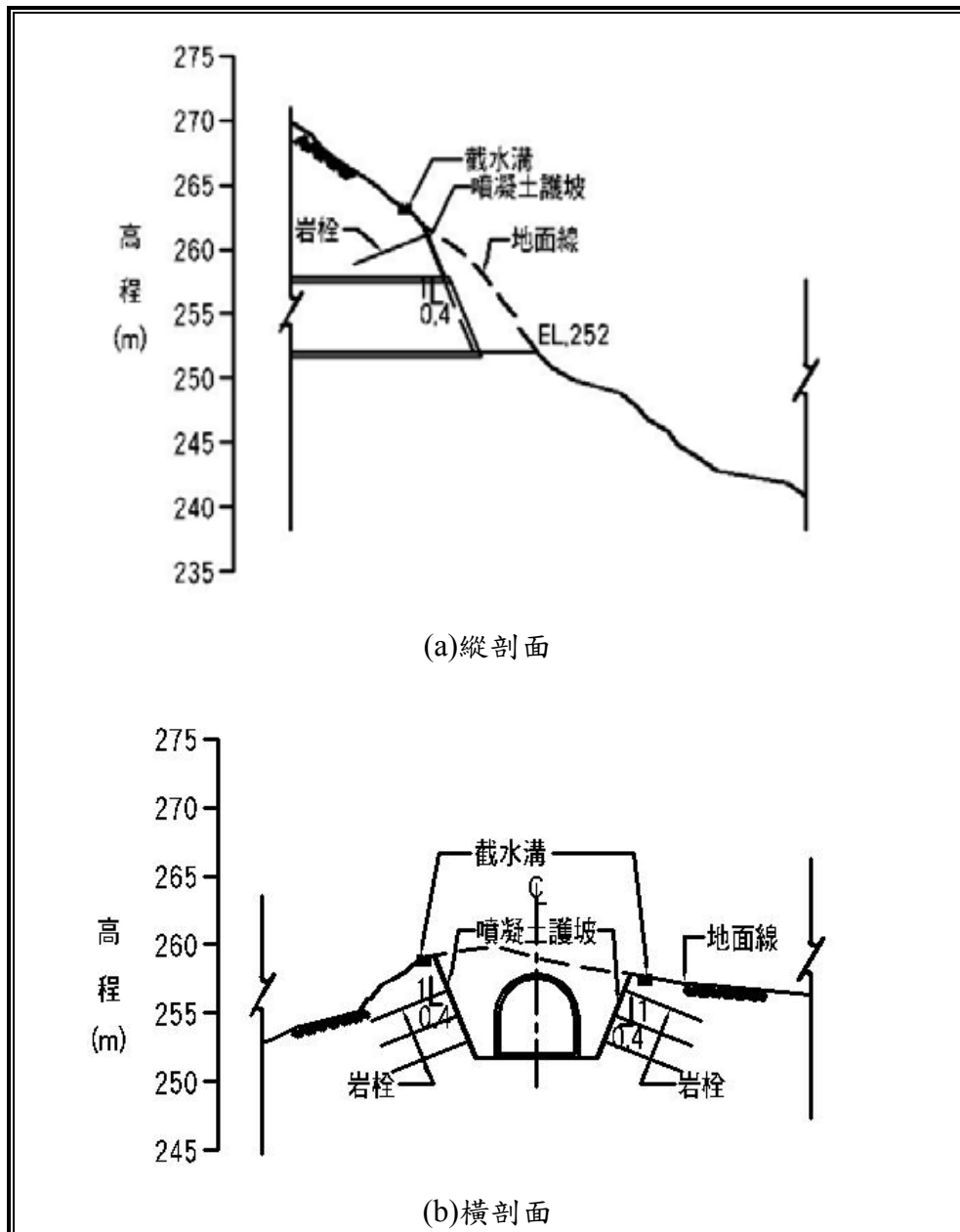


圖 6-15 阿姆坪隧道橫坑洞口護坡配置圖

6、隧道洞口段開挖之處理對策：

隧道洞口段的範圍以隧道頂部的覆蓋厚度來決定，依照經驗形成地拱約為 $1\sim 2D$ (D 為隧道開挖直徑)，隧道洞口段通常覆土較薄，且由未固結地層及風化岩層構成，故當隧道開挖無法形成地拱時，必須採用剛性支保構材以承受全部覆土荷重。由於洞口段受到地震或雨水等風化作用，易產生隧道開挖面崩壞及地表下陷等問題。洞口段周邊地盤產生鬆動，

亦常使隧道洞口段呈現坡面崩壞以及地層滑動的狀態。

基於上述考量，洞口段的開挖乃視上半斷面承載力的情況，可分為台階式與雙側導坑兩種工法，並配合防止周邊地盤鬆動的對策，以及確保隧道開挖面安定的各種輔助工法，組合而成隧道的開挖工法。採用台階式工法或雙側導坑工法都必須掌握基本原則為挖掘時儘量避免周邊地盤產生鬆弛現象，挖掘後應儘早施作支撐工，以減少變形及沉陷。

(1)台階式工法：

當開挖隧道時，若洞口地質為較堅實的地層，其開挖面的安定性以及上半斷面的承載力均無問題，且隧道軸線與自然坡面直交或大角度斜交的狀態入洞，則可以台階式工法開挖。

(2)側壁導坑工法：

當開挖隧道時，如洞口周圍地盤係由不安定的土砂、崖錐堆積物所構成，若未採取適當之加強措施，可能發生開挖面崩塌、地表下陷、偏土壓、承載力不足以及出現地下水等現象，甚至在隧道外也會發生自然坡面崩壞及地層滑動等大規模破壞。為避免上述現象之發生，可採用側壁導坑工法開挖。

(3)輔助工法：

前述台階式工法及側壁導坑工法，基本上是將設計斷面分割成較小面積且具安定性為開挖斷面，分割時需考慮施工機具運作之最小空間，為確保隧道周邊地盤安定，仍有必要在隧道內外採用輔助工法，常用之輔助工法有：(1)預設鋼筋微型樁；(2)地盤灌漿工法；(3)抽排水工法；(4)先撐鋼材；(5)管幕鋼管；(6)開挖面噴凝土；(7)開挖面岩

栓等。

規劃洞口開挖時採台階式開挖為主，並視現地地質狀況採側壁導坑工法開挖。另為支撐洞口上方之覆土荷重，先以管幕工法保護後再行開挖，如圖 6-16。

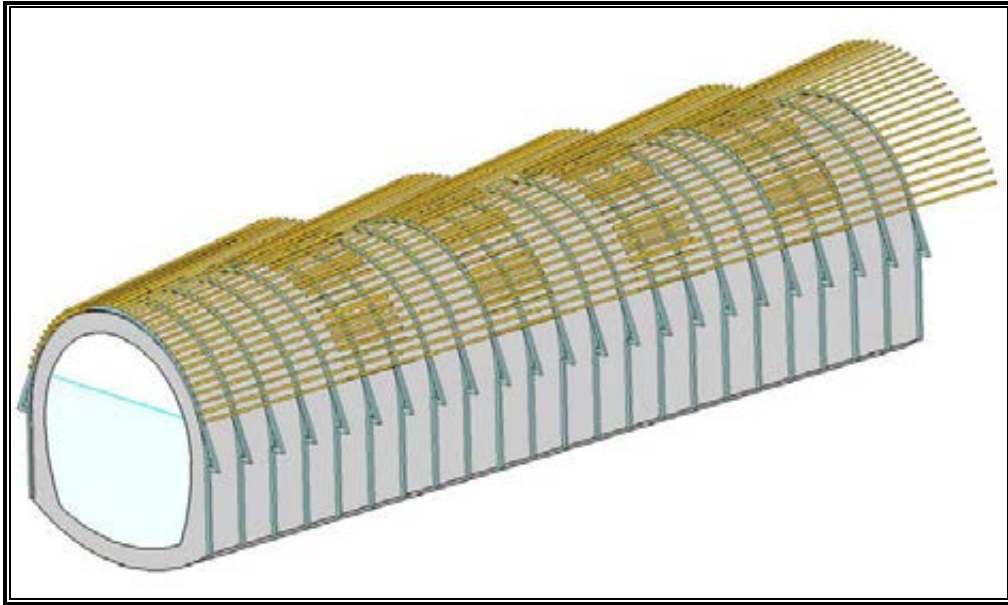


圖 6-16 隧道管幕工法示意圖

7、特殊地質狀況處理對策：

根據地質調查評估成果，隧道開挖時可能遭遇擠壓、湧水、有害氣體、煤礦坑與斷層破碎帶等特殊地質狀況，以下分別說明處理對策。

(1) 擠壓：

擠壓性岩盤的支撐方式可概分為主動式策略及被動式策略兩種。主動式支撐策略係利用勁度較高、厚度較厚的支撐，抑制過量變形的發生，必要時亦可如國內之中央、中和及坪林等隧道，採用固結灌漿進行地盤改良。

被動式支撐策略須於施工初期預測可能發生的擠壓變形量，先行超挖預留變形空間，允許周圍岩體發生一定量的變形後，配合容許較大變形的支撐構件穩定岩體，此

類支撐包括可伸縮式鋼支保(adjustable ribs)、可延展式岩栓(yielding bolt)以及噴凝土預留槽溝(slot)(並可於槽溝內填入變形吸納元件，absorbing element)等。採被動式支撐策略時，通常俟變形趨於穩定後，再度施加二次噴凝土、或是設置剛性較大的鋼筋混凝土內襯砌，以抑制進一步之變形。被動式支撐策略強調岩體變形與支撐功效發揮互動關係之掌握，因其較接近現代隧道支撐設計之理念，遂成為近年來處理隧道擠壓的主要支撐方式。可伸縮式鋼支保詳見圖 6-17。

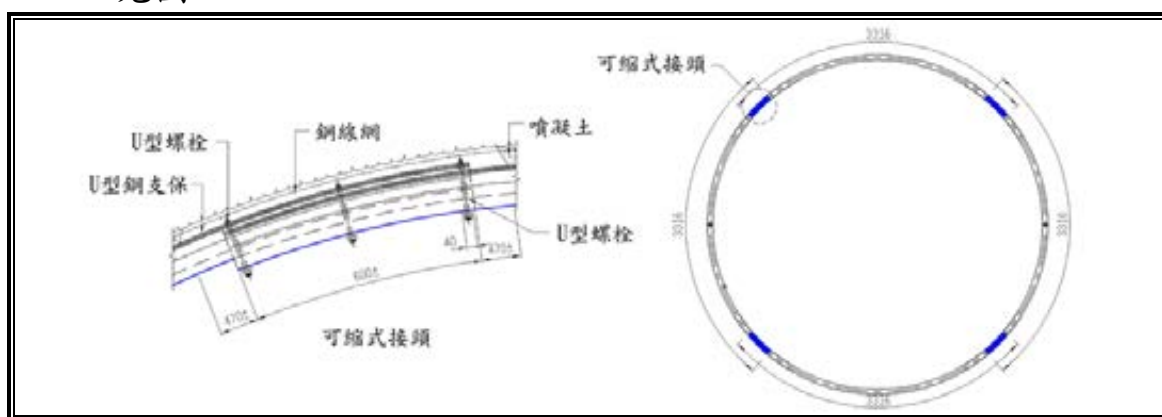


圖 6-17 可伸縮式鋼支保示意圖

(2)湧水：

隧道施工遭遇地下湧水一般採用之處理對策可分為排水與阻水兩大類，整理見表 6-5，說明如下。

表 6-5 山岳隧道之地下湧水對策及工法

處理對策	工 法	
排水工法	重力排水	排水鑽孔、排水導坑
	強制排水	深井工法、點井工法
阻水工法	化學灌漿，壓氣工法，冷凍工法	
併用工法	化學灌漿，輔助壓氣，止水工法與排水工法併用	

對於排水或阻水工法之選擇，應根據地形、地質、工期及環保等條件，就其經濟性及施工效果等項目加以評估，其影響因素包括：A、地質構造(透水係數，地下水位

分布等)，B、湧水量與水壓，C、湧水區範圍，D、覆蓋厚度，E、鄰近構造物(包括地上與地下)，F、周圍地下水利用情況，G、隧道外排水設施。

隧道開挖遭遇地下湧水之處理對策包括環狀排水孔、熱瀝青灌漿、設置臨時排水導坑、錐體灌漿等方式，其中錐體灌漿如圖 6-18 所示。

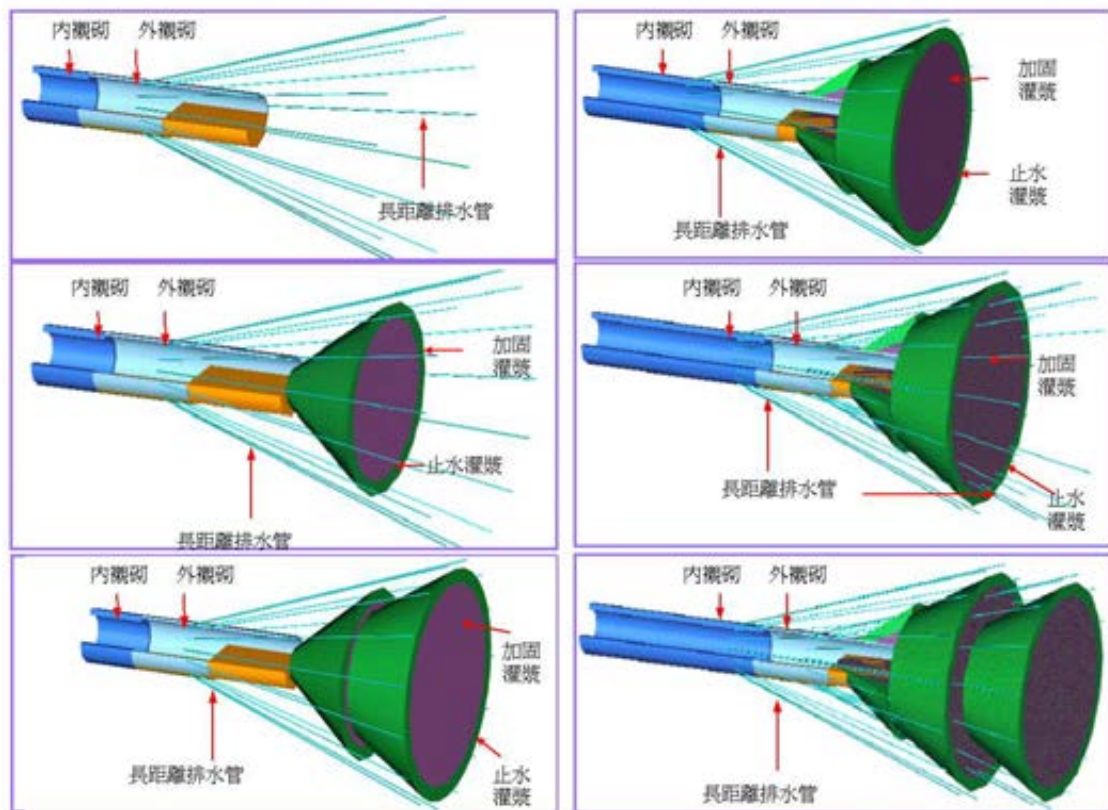


圖 6-18 隧道內錐體灌漿示意圖

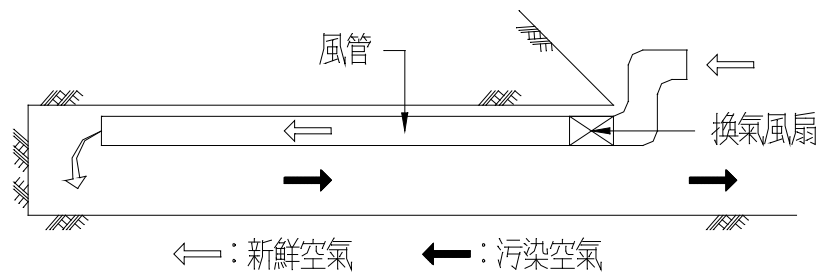
(3)有害氣體：

隧道工程中常見的可燃性有害氣體為甲烷(CH_4)，又稱沼氣，主要發生於煤礦區、油田或含有機物腐化區，於隧道開挖過程時，若遭遇此類氣體，如遇火花即產生瓦斯爆炸，會造成隧道破壞及人員傷亡，另此類氣體對人體大多有害，亦可能造成瓦斯中毒或窒息之危險。

對於隧道開挖接近可能發生瓦斯氣體突出之區段

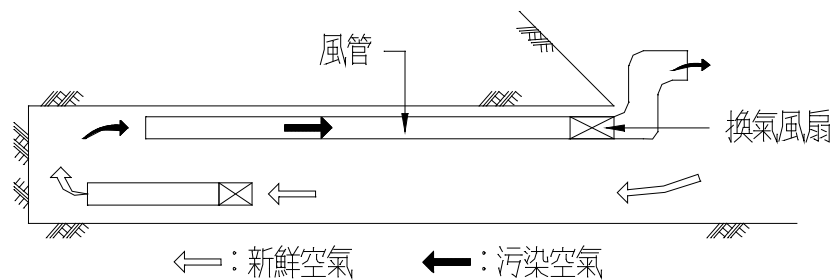
時，宜先進行探查孔，確定氣體位置、種類、流量與濃度，作為後續處理之參考，處理方式包括加強隧道之通風排氣設備，進行化學止氣灌漿，選用安全爆材及爆破方式，注意電器設施與電纜線，儘早襯砌回填。

隧道開挖遭遇有害氣體之處理方式甚多，視地質條件、出氣範圍、出氣量、岩覆深度等各不相同，但基本上，仍以通風稀釋或排除有害氣體為主，示意見圖 6-19，灌漿等其他方式為輔。對於隧道內的各項電器設施及施工機具應防止產生火花並採防爆設計，對電纜線應防碰撞或短路，並以通風方式稀釋或排除有害氣體。



送風式風扇（風管內為正壓）

(a) 送風式換氣



送風式風扇（風管內為負壓）

(b) 抽風式換氣

圖 6-19 有害氣體通風稀釋示意圖

(4)煤礦坑：

隧道開挖施工通過含煤地層前，需先行布設探查孔，確定隧道可能遭遇之煤層或廢棄煤礦坑後，可決定最適當之處理對策，探查孔示意圖 6-20。本計畫隧道預估將遭遇未開採煤層，建議之處理對策示意圖 6-21，煤層距離隧道小於 1 公尺者，應予以挖除並回填混凝土。

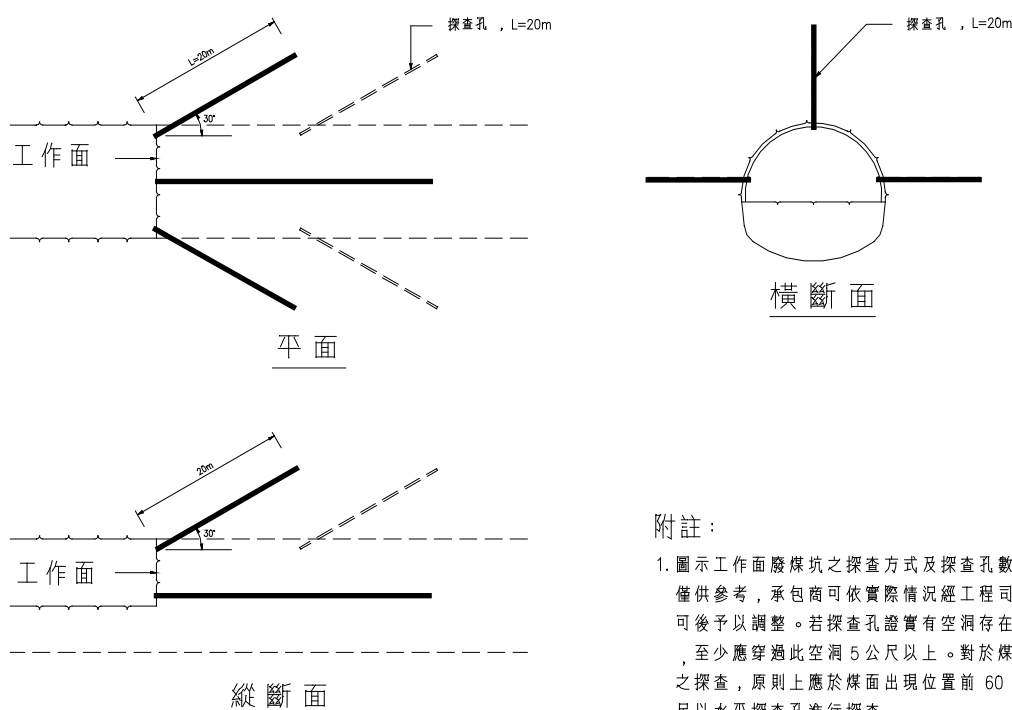


圖 6-20 煤層與廢煤坑探查孔布設示意圖

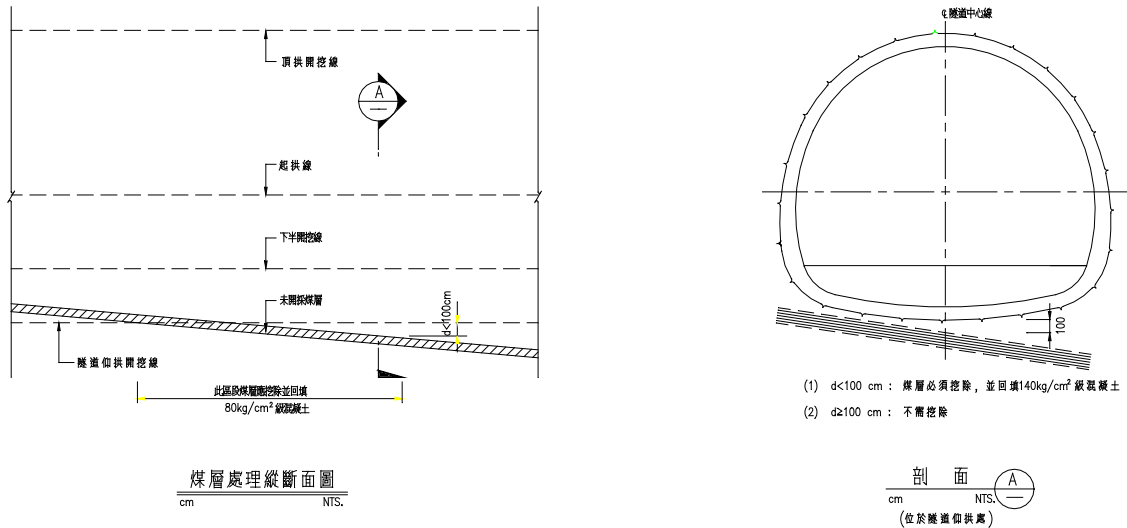


圖 6-21 隧道與未開採煤層相交之處理對策

(5)斷層破碎帶：

隧道開挖前宜對斷層段預作處理，例如以排水或阻水方式減輕或避免湧水之影響，可以考慮於頂拱上方及開挖面前方實施開挖前之地盤改良工法，如管幕工法、水平高壓噴射樁等。斷層段隧道施工應採分區開挖之原則，支撐與襯砌宜緊緊跟上，並儘速閉合仰拱，以發揮隧道整體之支撐功效。支撐設計類似於軟弱地層處理原則，以勁度較大，強度較高之支撐系統，抑制岩體過量變形，避免引發更大之岩壓。必要時亦可以配合開挖前之保護工法，採用固結灌漿之方式進行地盤改良，以提高隧道與周圍岩體長期之穩定性。

本工程斷層破碎帶處理對策見圖 6-22，施工順序如下：

- A、當開挖將進入斷層破碎帶時，改作頂導坑前進，並於頂導坑利用調查方式探測斷層或破碎帶之位置。
- B、繼續開挖頂導坑至與斷層破碎帶距離約 6 公尺，鑽取水平前進探查孔，如遭遇地下水時，則進行水文地質

試驗，根據試驗結果決定是否進行抽(排)水措施或隔幕灌漿，但若湧水量超過 3 立方公尺/min 時，則需於主隧道旁開挖迂迴排水導坑先行將水排出後再進行隔幕灌漿。

- C、於頂導坑上段鑽取適量之抽(排)水孔，待孔內出水量降至容許範圍之內，視需要施作固結灌漿後，繼續開挖通過斷層破碎帶。
- D、繼續開挖頂導坑至與斷層破碎距離約 3 公尺，沿頂導坑 4 周進行隔幕灌漿，灌漿時，利用水文地質試驗孔為檢驗孔，待試孔中出水量降至安全範圍內才可繼續開挖。
- E、進入斷層或破碎帶，必要時延伸前進探查孔以瞭解前方之地質及水文狀況，每輪進約 6 公尺實施，若尚未通過斷層時，則視需要施做隔幕灌漿，如此反覆進行，直至通過斷層破碎帶為止。
- F、繼續隧道下半段開挖，當開挖面接近斷層破碎帶時，視需要沿開挖面施作固結灌漿，以降低滲水量並防止仰拱隆起，如此重覆進行開挖、灌漿，以至通過斷層破碎帶為止。

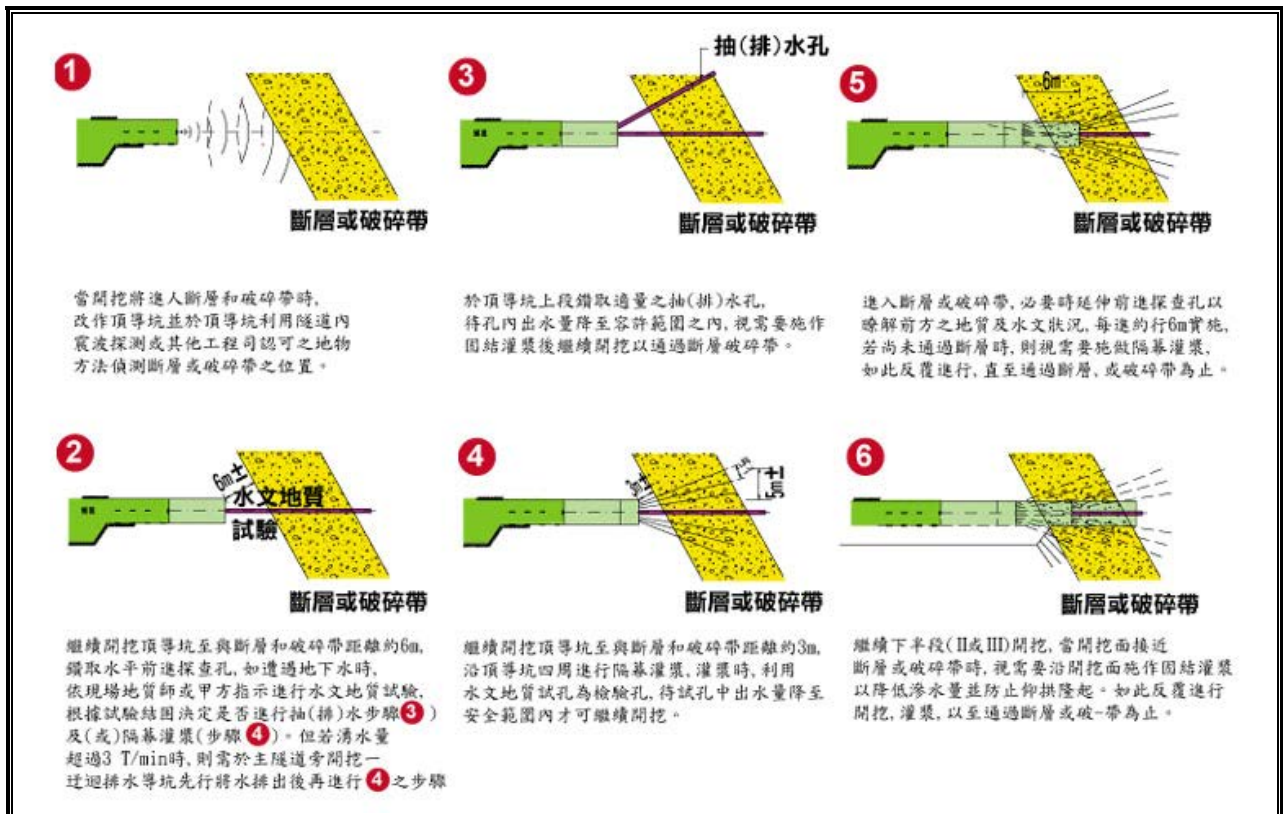


圖 6-22 斷層破碎帶處理對策示意圖

8、隧道施工進度評估：

(1)開挖進度：

隧道開挖水平進出每輪進所需時間如表 6-6 所示。以此計算隧道開挖進度如下。

平均每日 2 個輪進 1.5 公尺 $\times$ 2=3 公尺/日(其餘時間為換班、浮時等)，每月工作日 25 日，其餘日期則為前進地質探查、裝備保養、施工場地整理維護，故其開挖月進度為 3 公尺/日 $\times$ 25 日/月=75 公尺/月(工作面)。

(2)襯砌作業進度(包含防水模鋪設、鋼筋組立及混凝土澆置)：

每套鋼模 12 公尺，平均 2 日一模、一個月以施作 25 工作日估算，每個月可施作 150 公尺襯砌(12 公尺/模 $\times$ 0.5 模/日 $\times$ 25 日/月=150 公尺/月模)，每月輪進為 150 公尺/模 $\times$ 2 套模=300 公尺/月，故混凝土襯砌工期為 12 個月。

表 6-6 阿姆坪隧道開挖輪進時間

工項	每輪進 1.5 m 所需時間(min)
	水平進出
測量放樣	30
鑽孔、開炸作業	120
出碴	120
支撐(含掛網、噴凝土、岩栓鑽設及支保組立)	360
小計	630/循環

6.4 出水口及沖淤池段

6.4.1 規劃原則

出水口及沖淤池段功能為沖淤由阿姆坪隧道抽泥中之可沖淤料 32 萬立方公尺，假設每年沖淤 2 次，因此每次堆放之體積為 16 萬立方公尺。

6.4.2 規劃成果

規劃方案之平縱斷面如圖 6-23，橫斷面如圖 6-25 所示，。

1、出水口段：

於隧道出口處設置分流板，上層流向沖淤池，下層流向兩側側向沖淤渠道，藉由兩側分段側向溢流之方式，流入兩側灘地，將灘地上之淤泥藉由側向沖刷流入深槽中。

分流板上層仰拱高程 116.10 公尺，沖淤池深槽寬度由 8 公尺經過 100 公尺後漸變為寬 20.00 公尺之渠道，以坡度 2.863%順接至出水口末端高程 114.382 公尺。

分流板下層仰拱高程 114.00 公尺，由中隔牆將下層渠道分為兩道，在隧道末段後 20.83 公尺處往兩側分流，側向沖淤渠道於出水口段末端(Sta. 3k+775.3)高程 111.137 公尺，坡度 2.839%，渠道淨寬 5 公尺。

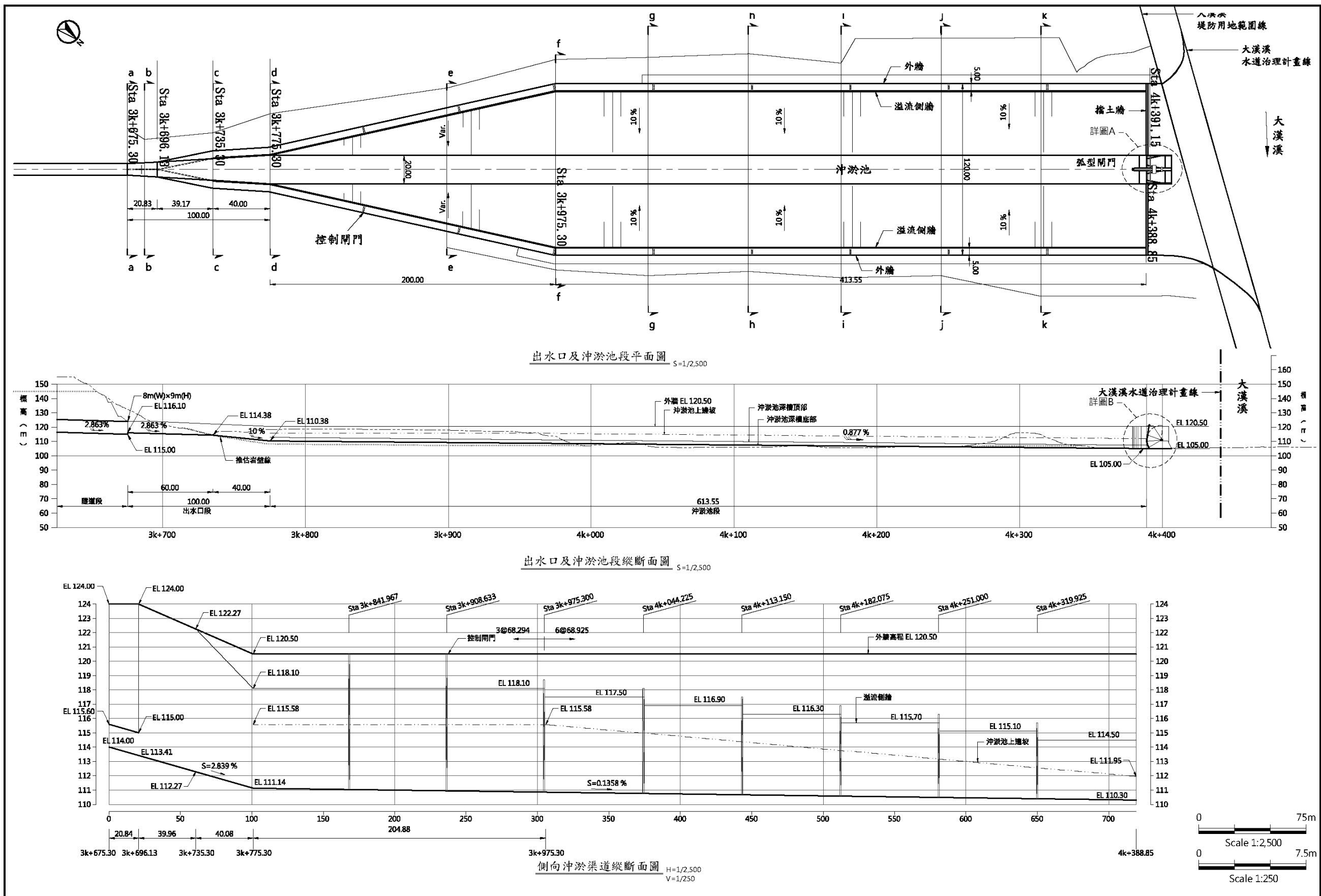


圖 6-23 阿姆坪隧道出水口及沖淤池段規劃方案平縱斷面圖

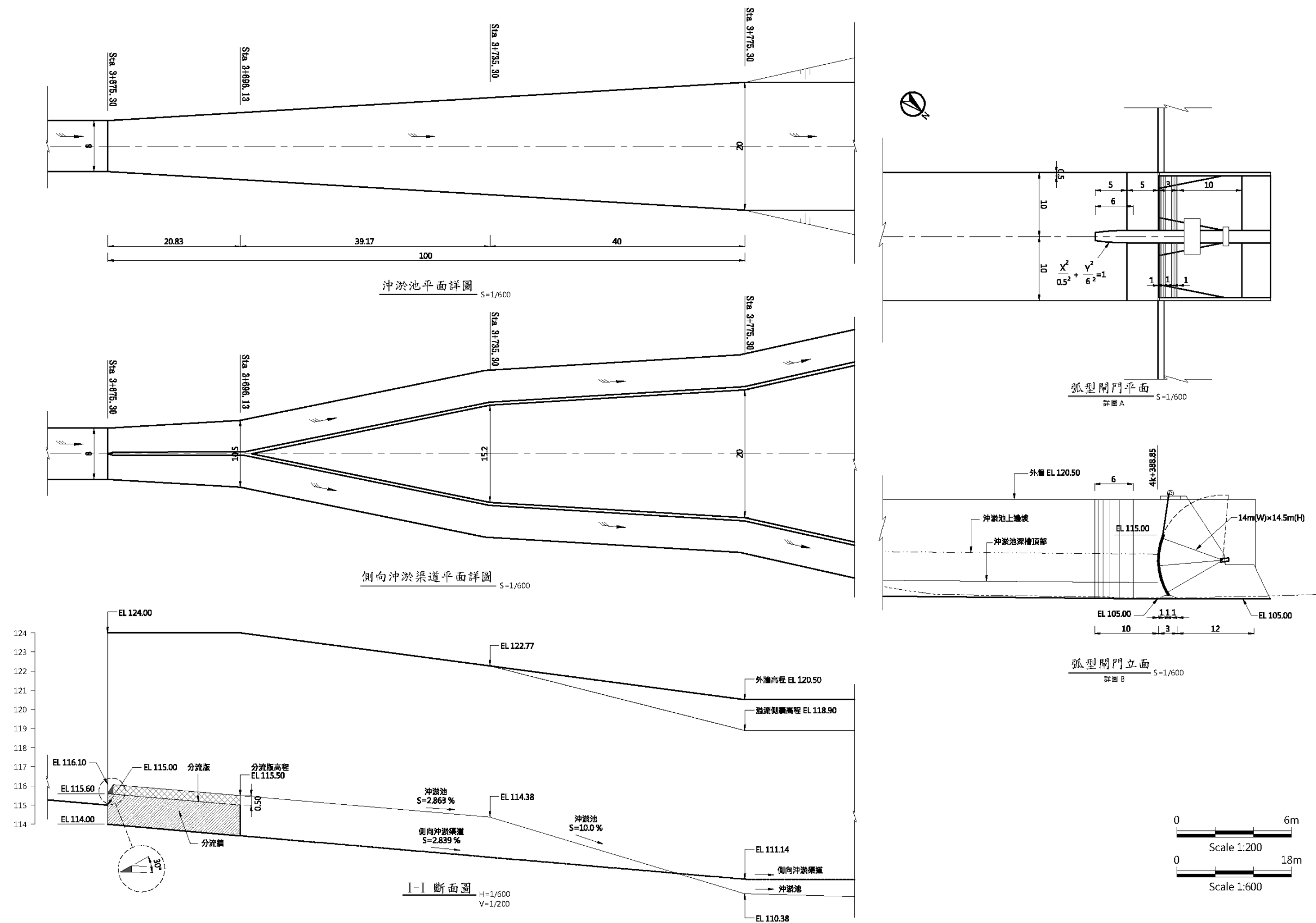
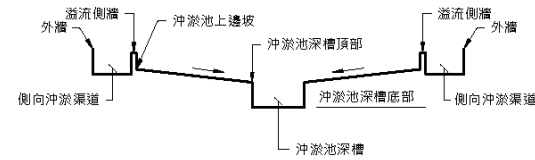
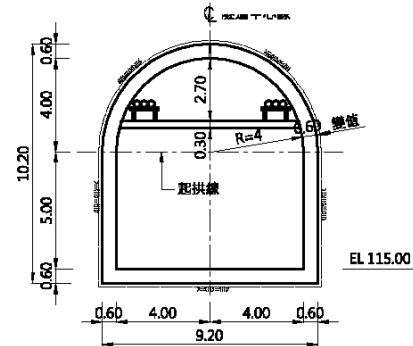


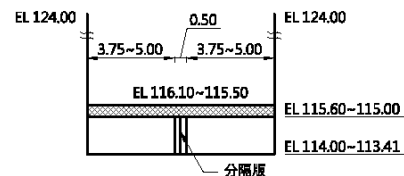
圖 6-24 阿姆坪隧道出水口及沖淤池段規劃方案平縱斷面詳圖



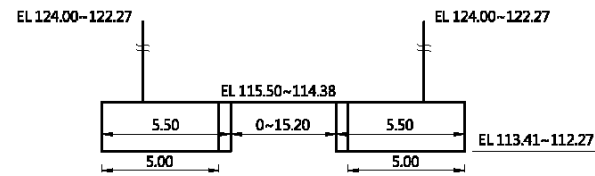
單元名稱說明



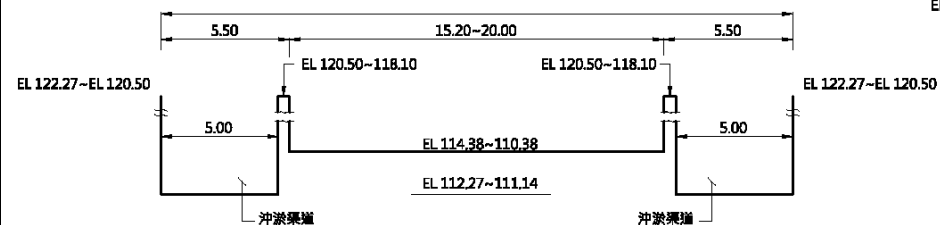
A-A 斷面圖 S=1/300



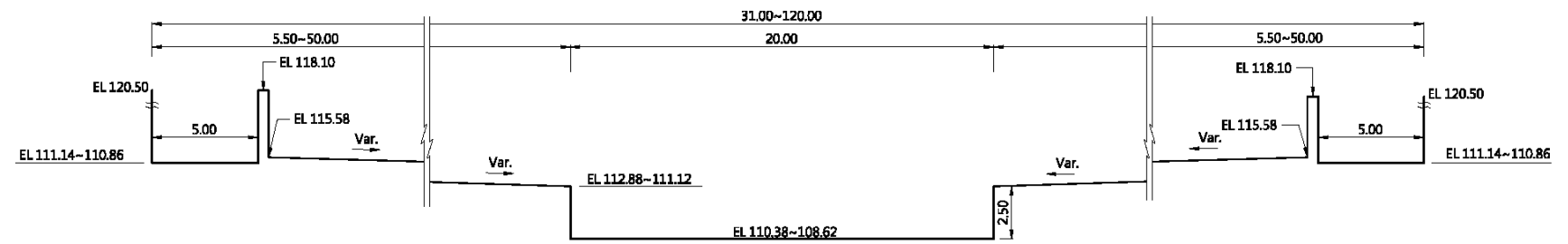
B-B 斷面圖 (Sta 3k+675.30~3k+696.13) S=1/300



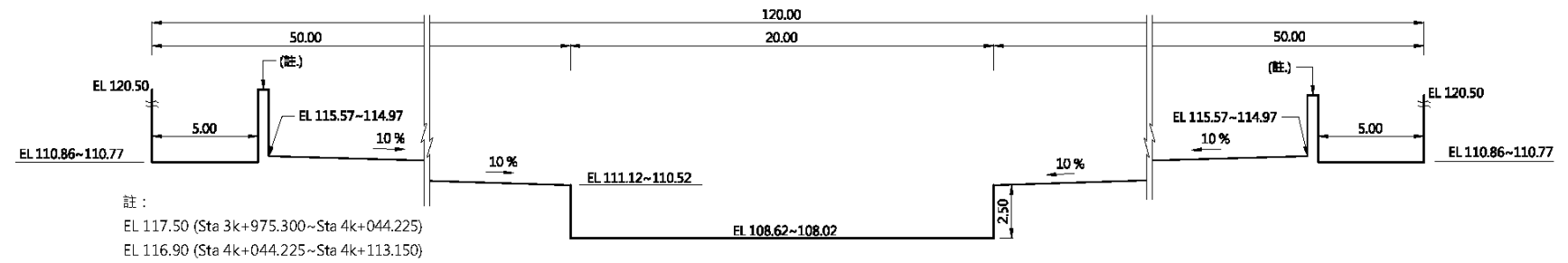
C-C 斷面圖 (Sta 3k+696.13~3k+735.30) S=1/300



D-D 斷面圖 (Sta 3k+735.30~3k+775.30) S=1/300

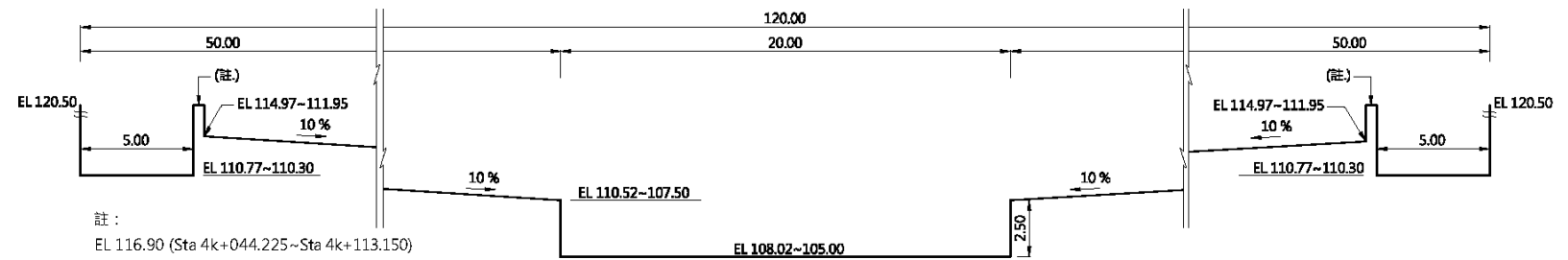


E-E 斷面圖 (Sta 3k+775.30~3k+975.30) S=1/300



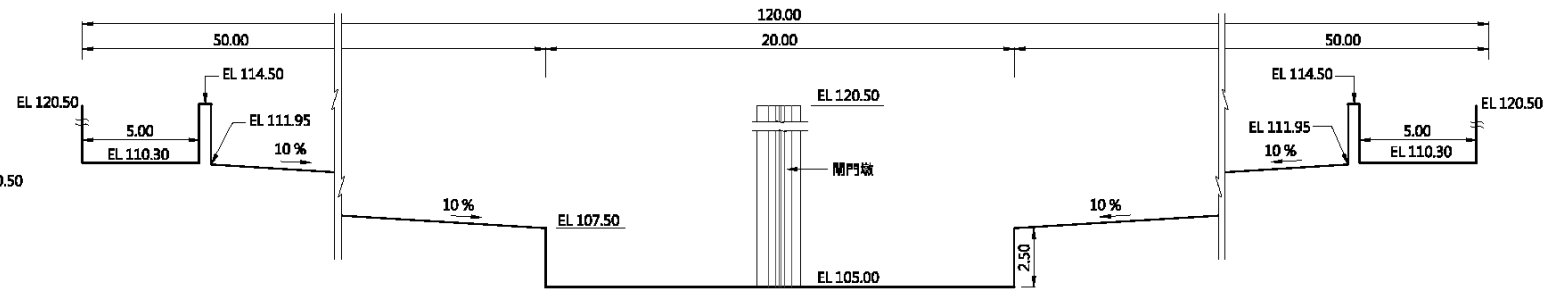
註：
EL 117.50 (Sta 3k+975.300~Sta 4k+044.225)
EL 116.90 (Sta 4k+044.225~Sta 4k+113.150)

F-F 斷面圖 (Sta 3k+975.30~4k+044.225) S=1/300



註：
EL 116.90 (Sta 4k+044.225~Sta 4k+113.150)
EL 116.30 (Sta 4k+113.150~Sta 4k+182.075)
EL 115.70 (Sta 4k+182.075~Sta 4k+251.000)
EL 115.10 (Sta 4k+251.000~Sta 4k+319.925)
EL 114.50 (Sta 4k+319.925~Sta 4k+388.850)

G-G 斷面圖 (Sta 4k+044.225~4k+388.85) S=1/300



H-H 斷面圖 (Sta 4k+388.85~4k+388.85) S=1/300

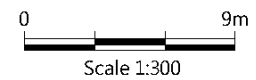


圖 6-25 阿母坪隧道出水口及沖淤池段規劃方案橫斷面圖

2、沖淤池段：

(1)深槽：

深槽寬度 20 公尺，深 3 公尺，全段 613.55 公尺縱坡為 0.88%，順接至深槽末端高程 105 公尺。渠道末端將佈置兩扇閘門。閘門型式將於基設階段再進一步評估。

(2)灘地：

深槽兩側灘地寬由出水口末端以 200 公尺長漸擴至 44.5 公尺，加上深槽寬 20 公尺及兩側側向沖淤渠道各 5.5 公尺(含分隔牆)，故沖淤池全寬為 120 公尺。灘地採由沖淤池 Sta.4k+055.30 以下兩側以 5%的坡度往深槽斜降，Sta.4k+055.30 以上則配合沖淤池上邊坡高程 113.382 及 113.143 而往深槽斜降，以利灘地淤泥的沖淤，沖淤池兩側外牆高配合現況地形設定高程為 116 公尺。考量減少閘門佈置降低工程經費及集中出水口流速兩側灘地末端亦採擋土牆設計，頂部高程 116 公尺。

(3)側向沖淤渠道：

側向沖淤渠道底部高程 111.137，以坡度 0.1358%順接至側向沖淤渠道末端(Sta. 4k+388.85)高程 110.30 公尺，兩側沖淤渠道全長 719.28 公尺，分隔牆及外牆頂部高程為 116 公尺，於 Sta. 3K+975.3 上游兩側沖淤渠道各設置兩道閘門，下游設置 5 道閘門，Sta. 3K+975.3 上下游之溢流堰長度分別為 3@68.29 公尺及 6@68.93 公尺，藉由閘門操作阻斷沖淤渠道內水的流量，使之溢流入沖淤池內，達到側向沖刷之功能。

(4)水力分析：

A、側向沖淤渠道分流流量：

當隧道流量 600 秒立方公尺時分流處正常水深約為 4.141 公尺，假設流況均勻，流量與通水面積呈正

比，下層流量約為 $600 \times 0.6 / 4.141 = 86.9$ 秒立方公尺，考量分流時底部流速較低且流況可能無法完全均勻，流量將略為下降，因此設定分流流量為 80 秒立方公尺，兩側渠道各分流 40 秒立方公尺，直接流入沖淤池流量約 520 秒立方公尺。

B、沖淤池水理：

表 6-7 為流量 600 秒立方公尺(沖淤池 520 秒立方公尺)之無堆置淤泥的流速，流速約介於 18.37~10.51 公尺/秒；若考量淤泥堆置 113.3m 時，流量為 600 秒立方公尺的水理如表 6-8 所示，流速在隧道出水口段約達 18.37 公尺/秒~11.96 公尺/秒，惟在沖淤池下游段，流水漫佈沖淤池(渠寬 109m)，故流速僅達 2.62~3.87 公尺/秒。

表 6-7 沖淤池規劃方案 Q=600cms 水理表

累距	HEC-RAS				備註
	Q ₆₀₀				
	水深(m)	水位(m)	流速(m/s)	福祿數	
3k+675.30	4.06	120.16	16.02	2.54	隧道終點，出水口段起點
3k+695.30	2.94	117.90	16.96	3.15	
3k+715.30	2.32	116.13	17.56	3.69	
3k+735.30	1.90	114.57	17.97	4.16	
3k+755.30	1.62	113.15	18.22	4.57	
3k+775.30	1.42	111.80	18.37	4.93	出水口段終點，沖淤池起點
3k+802.30	1.50	111.64	17.38	4.54	
3k+842.30	1.61	111.40	16.16	4.07	
3k+882.30	1.72	111.16	15.15	3.69	
3k+922.30	1.81	110.90	14.31	3.39	
3k+962.30	1.91	110.65	13.60	3.14	
3k+975.30	1.94	110.56	13.40	3.07	漸變段終點
4k+015.30	2.02	110.29	12.84	2.88	
4k+055.30	2.10	110.02	12.37	2.72	
4k+095.30	2.17	109.74	11.98	2.59	
4k+135.30	2.24	109.45	11.65	2.49	
4k+175.30	2.29	109.15	11.37	2.40	
4k+215.30	2.34	108.85	11.13	2.32	
4k+255.30	2.38	108.54	10.94	2.26	
4k+295.30	2.41	108.22	10.77	2.21	
4k+335.30	2.45	107.90	10.64	2.17	
4k+375.30	2.47	107.57	10.53	2.14	
4k+386.85	2.47	107.47	10.51	2.13	

表 6-8 沖淤池規劃方案 Q=600cms 淤泥高程 113.3m 水理表

累距	HEC-RAS				備註
	Q600				
	水深(m)	水位(m)	流速(m/s)	福祿數	
3k+675.30	4.06	120.16	16.02	2.54	隧道終點，出水口段起點
3k+695.30	2.94	117.90	16.96	3.15	
3k+715.30	2.32	116.13	17.56	3.69	
3k+735.30	1.94	115.24	17.64	4.04	
3k+755.30	1.72	115.02	17.17	4.18	
3k+775.30	1.56	114.86	16.62	4.24	出水口段終點，沖淤池起點
3k+802.30	1.03	114.33	15.93	5.03	
3k+842.30	0.83	114.13	13.87	4.86	
3k+882.30	0.76	114.06	11.69	4.27	
3k+922.30	0.75	114.05	9.71	3.59	
3k+962.30	0.76	114.06	8.05	2.94	漸變段終點
3k+975.30	0.77	114.07	7.57	2.75	
4k+015.30	0.95	114.25	6.15	2.02	
4k+055.30	2.23	115.53	2.62	0.56	
4k+095.30	2.20	115.50	2.66	0.57	
4k+135.30	2.16	115.46	2.71	0.59	
4k+175.30	2.12	115.42	2.76	0.61	
4k+215.30	2.07	115.37	2.83	0.63	
4k+255.30	2.01	115.31	2.90	0.65	
4k+295.30	1.95	115.25	3.00	0.69	
4k+335.30	1.86	115.16	3.14	0.73	
4k+375.30	1.72	115.02	3.41	0.83	
4k+386.85	1.51	114.81	3.87	1.00	

C、沖淤渠道孔口計算：

(A)基本假設：

- 沖淤孔採 $D=8''$ ， $A=0.0324m^2$
- 孔口流量係數 $C=0.61$
- 渠道設計水位高程 115.00 公尺
- 每 1.5m 開一孔，孔中心高程 113.5 公尺

(B)水理計算：

a.Sta.3k+802.3~4k+055.3：

$L=257.23$ 公尺，計 171 孔

$$q_1 = 171 \times 0.0324 \times 0.61 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times (115 - 113.5)} = 18.35cms$$

b.Sta.4k+055.3~4k+388.85：

$L=333.55$ 公尺，計 222 孔

$$q_2 = 222 \times 0.0324 \times 0.61 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times (115 - 113.5)} = 23.82 \text{ cms}$$

$$q_1 + q_2 = 42.17 \text{ cms} \approx 40 \text{ cms}$$

經計算單側經由沖淤孔流入沖淤池之流量約為 40 秒立方公尺，與分流進入側向沖淤渠道流量一致。

(5) 沖淤池體積：

考量淤泥淤滿及淤泥面上須有一定水深浸沒，且須預留初期沖淤操作時的出水高，故初步設定淤泥高程 113.3 公尺，此時淤泥體積約 16.5 萬立方公尺，符合每次 16 萬立方公尺的需求，閘門頂高程(閘門高 9 公尺)初步規劃高程為 114 公尺，故淤泥浸沒水深約 70 公分。圖 6-26 為沖淤池修正規劃方案 B 的 H-V 曲線。

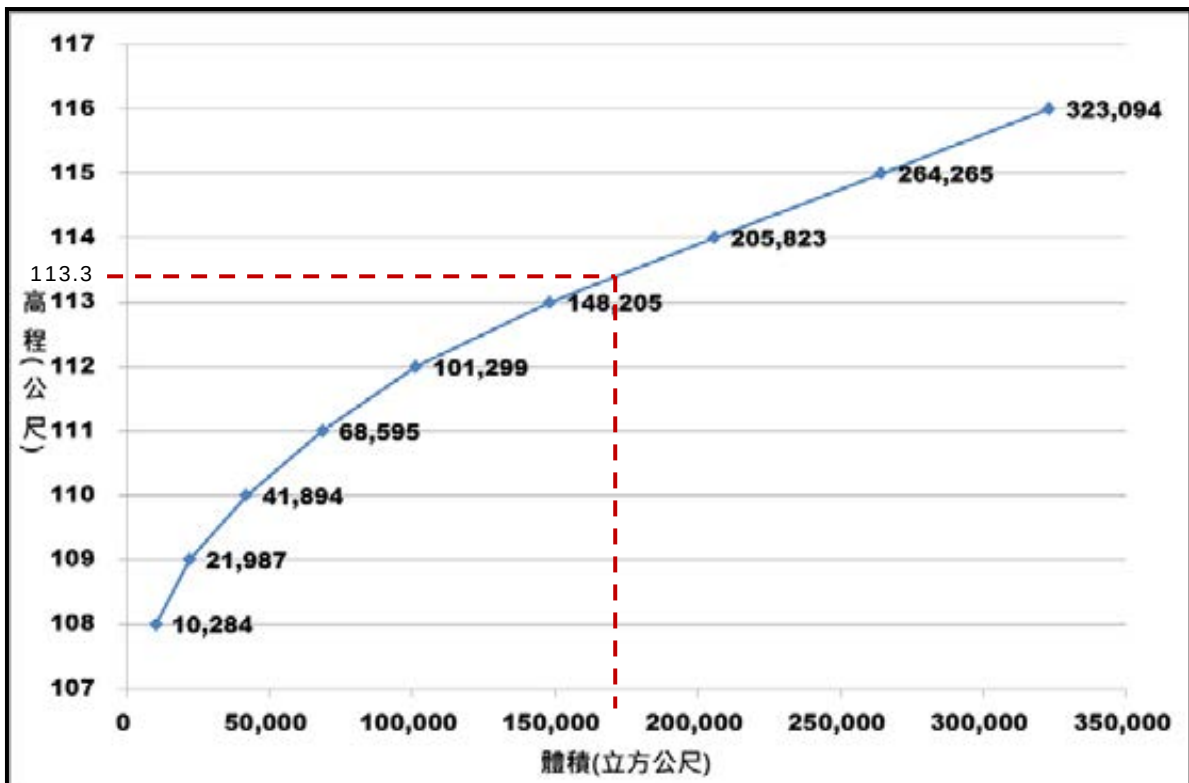


圖 6-26 沖淤池規劃方案 H-V 曲線

6.5 淤泥儲留設施

民國 103 年北水局辦理「阿姆坪防淤隧道淤砂清運模式可行性評估」，對於經由阿姆坪隧道輸送至出水口之不可沖淤土石設置淤泥儲留設施進行處理，完成淤泥儲留設施場區規劃，摘錄成果說明如下。

貯留設備場區設置於隧道出水口左側位置見圖 6-27，主要淤泥貯留設施包含振篩機、洗砂機及泥砂分離機，並配置若干長度之輸送帶，其淤泥貯留設備配置如圖 6-28，除淤泥貯留設備外，其他附屬設備尚包含輸泥管線、輸送帶、堆置區、車道、中控室及必要之水電管線配置，場區配置如圖 6-29，貯留設備所需空間為 400 平方公尺，若含輸送帶及產料區，則約 1,200 平方公尺，另配合環評規定整體場區以不超過 1 公頃為原則，故設定面積為 9,000 平方公尺，包含堆置區、停車場、車道、公用區及地磅管制區，4 周退縮 10 公尺設置緩衝綠帶。

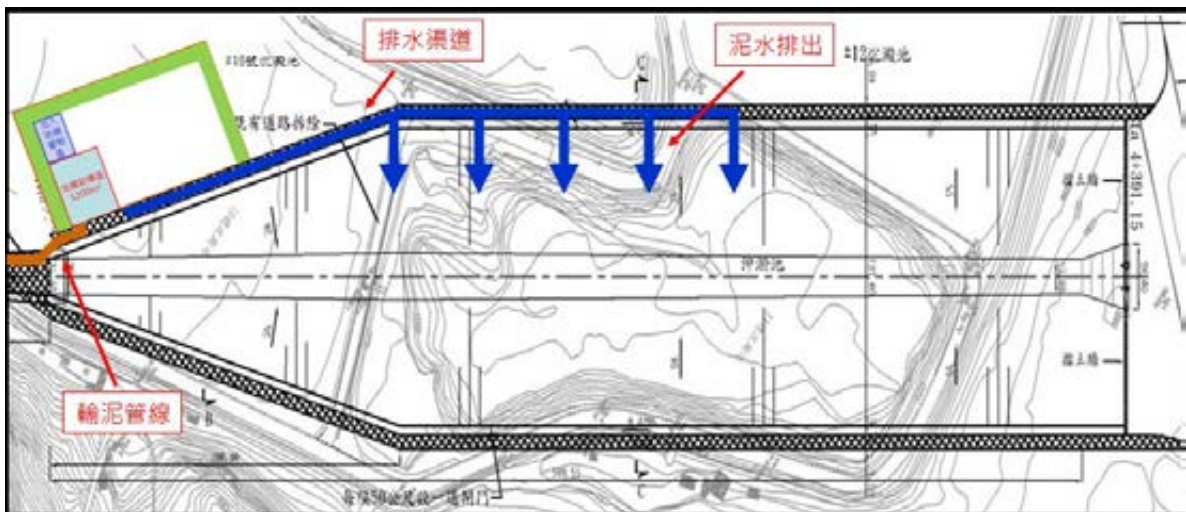


圖 6-27 阿姆坪隧道出水口淤泥儲留設施場區位置圖

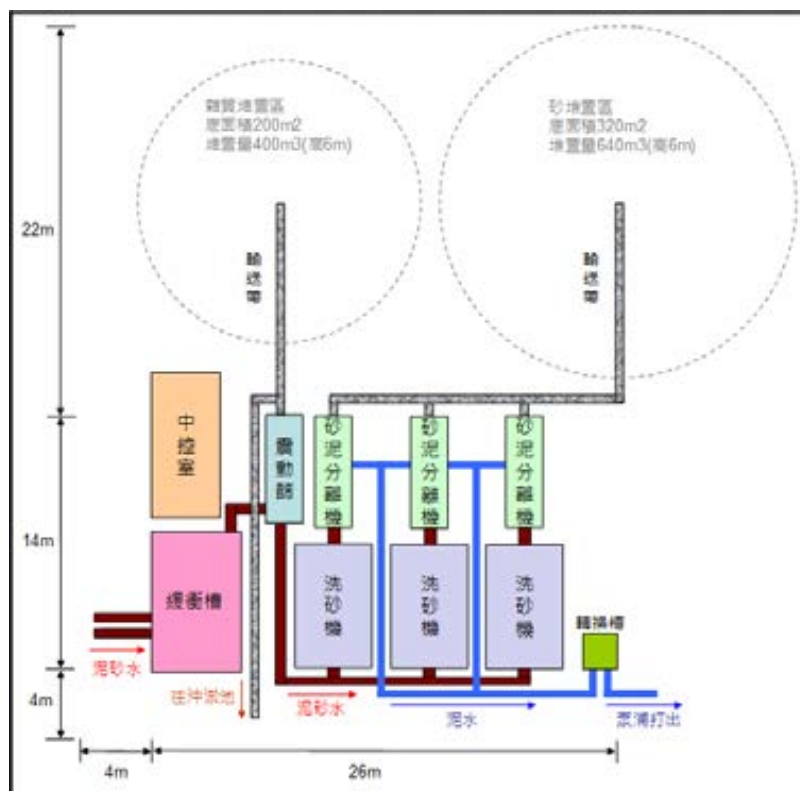


圖 6-28 淤泥貯留設備配置圖

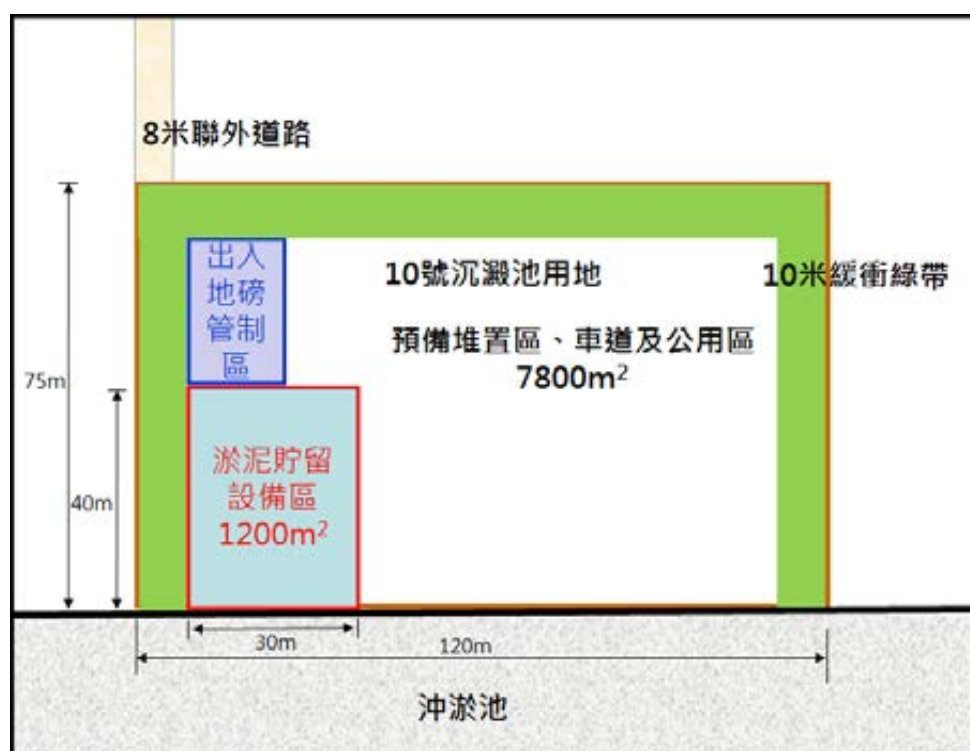


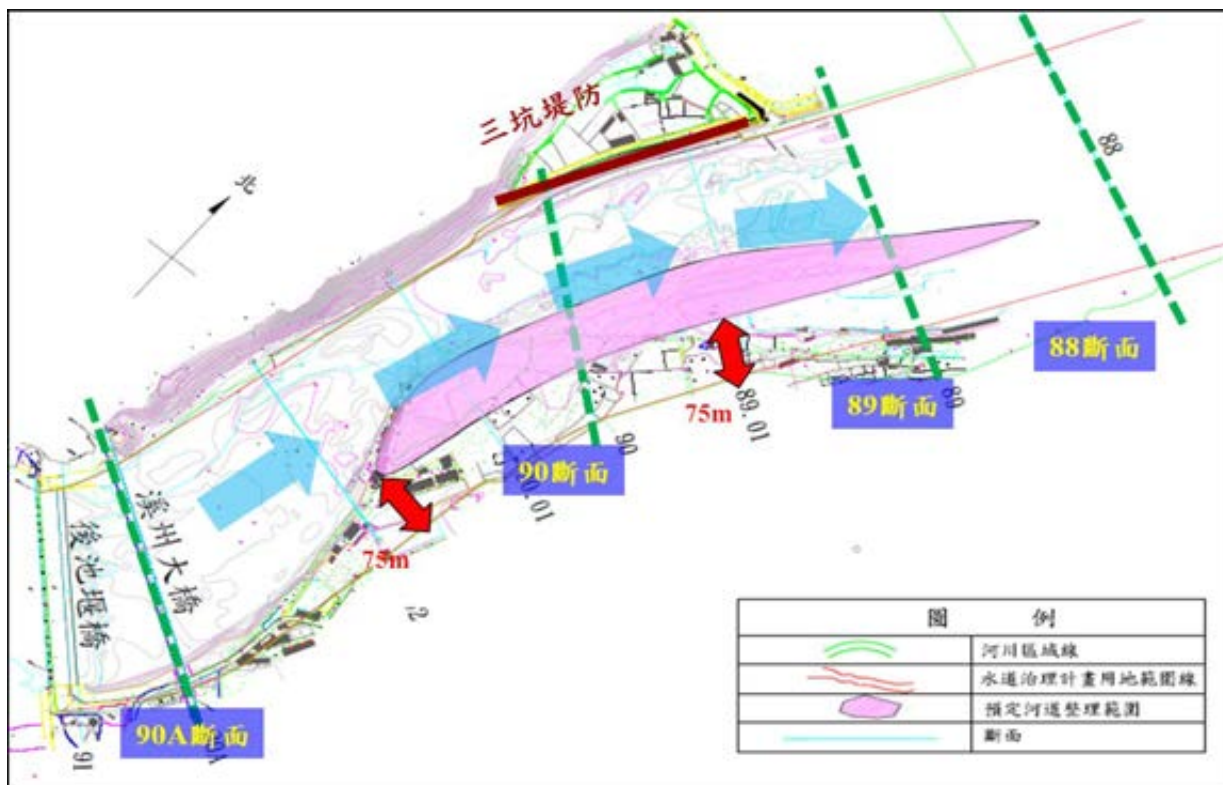
圖 6-29 貯留設備場區配置圖

6.6 後池堰下游河道整理

後池堰下游河道整理工程非本計畫工作內容，依審查意見要求摘錄「石門水庫防淤隧道工程計畫(第一階段)」內容說明如下。石門水庫後池下游約 250 公尺大漢溪右岸有一突出河道天然高灘，在歷年豪大雨水庫洩洪時，因該河道束縮地形阻礙水流，造成水流加快，河道沖刷潛勢提高。為使水庫既有設施排洪排砂及阿姆坪隧道沖淤時之河道水流順暢，並減低對左岸三坑堤防之安全影響，辦理河道整理。

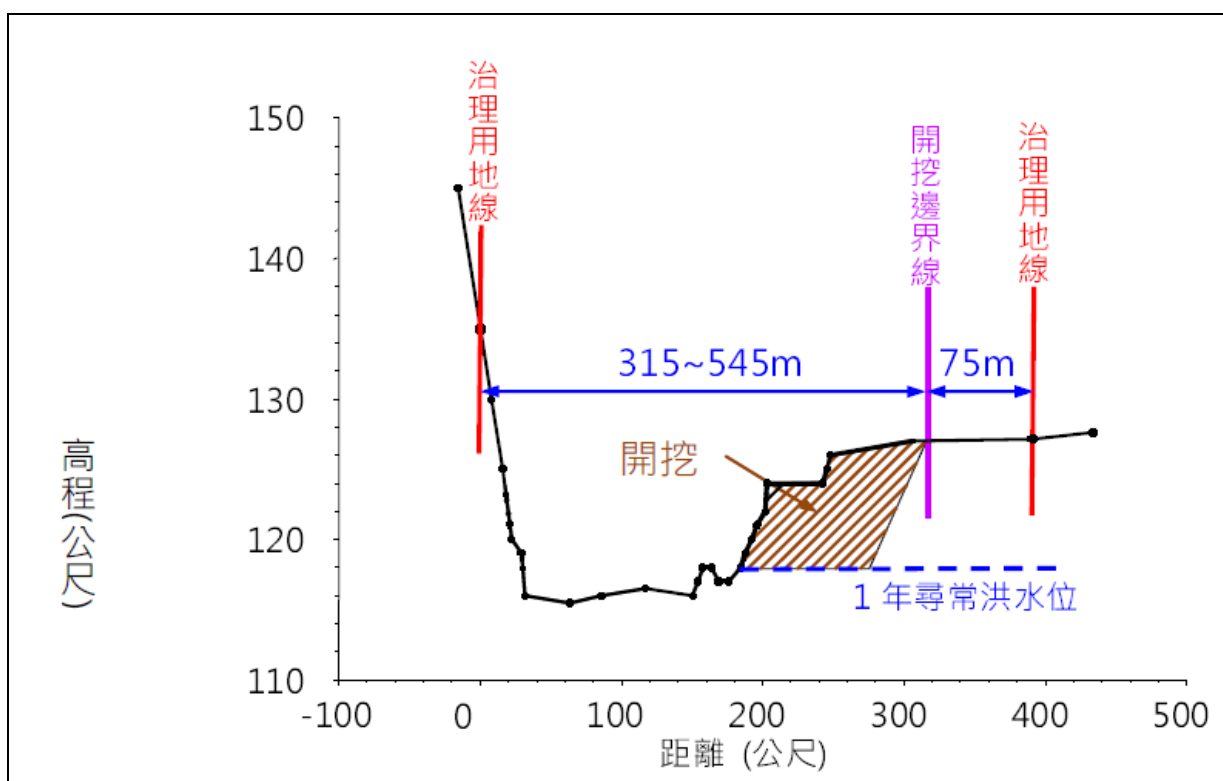
本河段將以疏導洪流方式，採用河道整理進行改善，將延伸溪洲大橋下游右岸之溪洲護岸，補足堤防缺口。工程內容包含河道整理工程及護岸延長工程等二項，位置詳圖 6-30。

- 1、河道整理工程：於大漢溪 88~90A 斷面間河段辦理河道整理工程。本河道已深槽化，右岸高灘地逐漸陸化，整理工程係將部分河中灘地挖除使水流歸中，詳圖 6-31。大漢溪河床多岩盤露出，本河道整理後之剩餘土石料將攤置於河道內，以天然沖淤方式補助下游河床質，並作為河床護甲層，減緩刷深現況。
- 2、護岸延長工程：水庫後池堰下游溪洲橋右岸現存在一段堤坊缺口，為保護溪州圳、河岸房舍並增加後池堰河道空間之可及性，本河道整理將延伸溪洲大橋下游右岸之溪洲護岸約 350 公尺，藉該護岸工程連結既有溪洲護岸及突出灘地上游之框籠護岸，串成一完整親水護岸。



資料來源：大漢溪石門水庫後池堰至其下游 1,500 公尺河道整理工程計畫，民國 101 年

圖 6-30 後池堰下游河道整理平面圖



資料來源：大漢溪石門水庫後池堰至其下游 1,500 公尺河道整理工程計畫，民國 101 年

圖 6-31 下游河道整理開挖斷面示意圖

6.7 用地調查

阿姆坪隧道用地調查區域主要針對隧道之工程用地範圍（不含下游河道整理範圍）、隧道開挖碴料及排淤存放之臨時與永久堆置場地；經調查結果顯示計畫區內土地利用現況大部分以水路、田地及林地為主。

根據阿姆坪隧道劃定之用地範圍進行調查，隧道進口及橫坑段約為 3.98 公頃，隧道主線及豎井段約為 9.50 公頃，出口段約為 7.49 公頃，浮覆地約為 12.85 公頃。地籍所有權方面，中華民國公有地約佔 52.10%，北水局持有土地約佔 28.39%，其他個人持有土地佔 19.51%，各工區及土地權屬與土地使用分區調查如表 6-9，相關文件如附錄三。

目前規劃進水口、橫坑、隧道段及出水口整理合計共 70 筆私有地，其餘皆為公有地或局管地，依「土地徵收條例」(民國 101 年)規定，地價補償費依據應照當期市價進行補償，惟本計畫範圍市價尚未調查完成，故用地補償費用暫以當期土地公告現值加 4 成之金額進行估算，另隧道規劃之路線通過個人持有之私有土地下方，需依照「水利事業穿越私有土地之上空或地下地上權徵收補償辦法」(民國 92 年 6 月)進行地上權補償；此外，根據「經濟部水利事業工程用地核發獎勵金及救濟金要點」(民國 98 年 7 月)，工程用地徵收前土地所有人願意配合施工且未阻撓者，得以發放配合施工獎勵金每公頃 120 萬元，惟該要點已於 103 年 4 月 16 日廢止，但屬過渡時期計畫仍可適用，故本計畫仍可依此要點核發施工獎勵金，經計算阿姆坪隧道私有土地約為 6.60 公頃；另依據「直轄市或縣(市)政府辦理土徵收業務作業費基準」(民國 101 年 10 月)及「辦理水利工程用地取得暨管理作業手冊」(民國 102 年)規定之土地撥用作業費規定，公有地每公頃 6 萬元，私有地每公

頃 8 萬元，而土地徵收補償市價查估作業需編列作業費以每公頃 4.6 萬元。相關工程範圍之地籍套繪圖如圖 6-32 所示。

表 6-9 阿姆坪隧道工程用地分區土地權屬一覽表

項目 分區	用地面積(公頃)						用地筆數(筆)			
	未登錄	已登錄					未登錄	公有地	局管地	私有地
		公有地	局管地	私有地	小計	合計				
進水口	0.09	0.42	2.89	0.00	3.31	3.40	2	1	12	0
橫坑	0.00	0.47	0.00	0.11	0.58	0.58	0	6	1	2
隧道及豎井段	1.09	2.37	0.28	5.76	8.41	9.50	9	19	8	63
出水口	0.37	0.00	6.39	0.73	7.11	7.49	9	1	60	5
浮覆地	12.59	0.22	0.04	0.00	0.26	12.85	2	3	1	0
合計	14.14	3.48	9.60	6.60	19.66	33.82	22	30	82	70

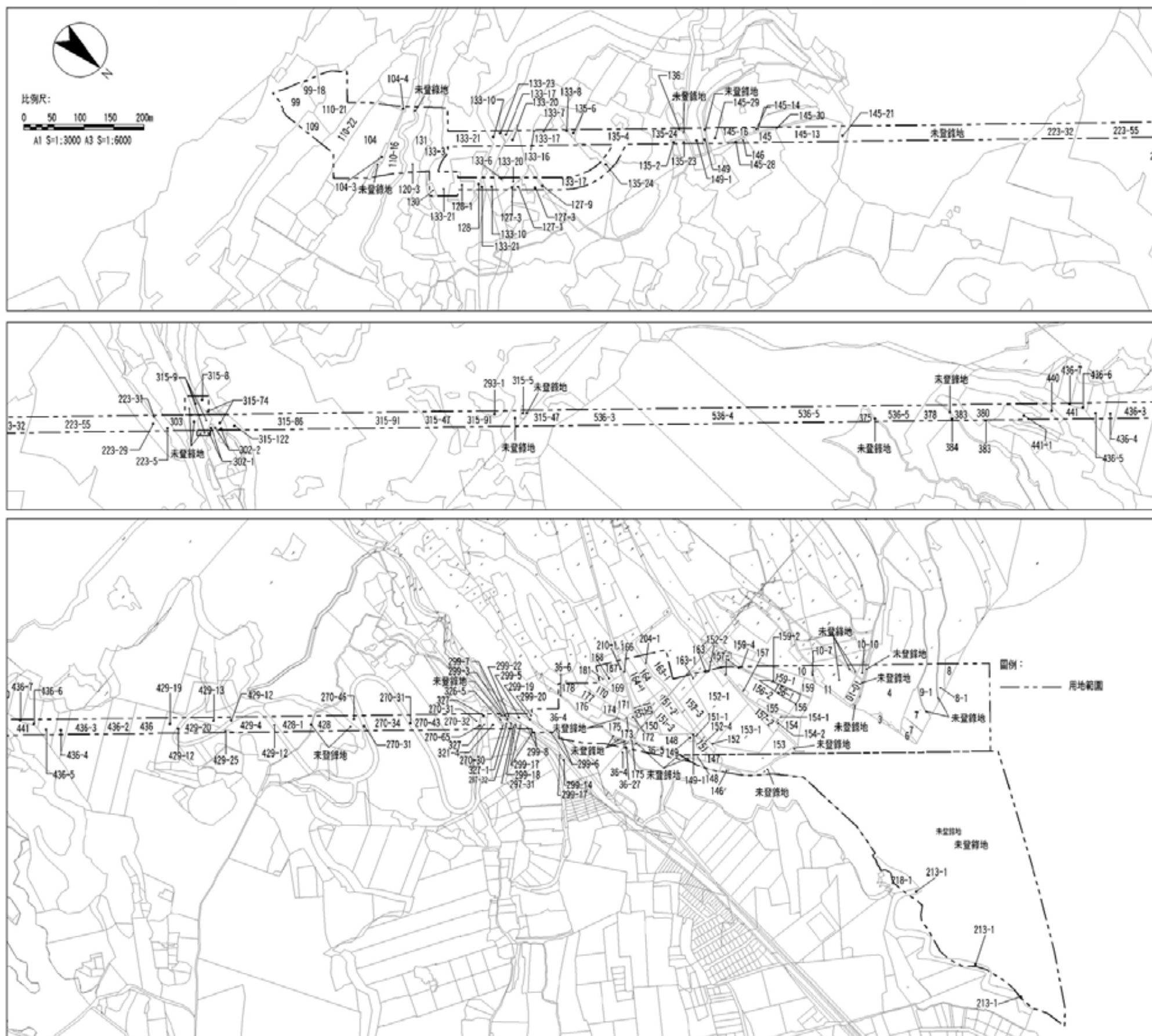


圖 6-32 阿姆坪隧道工程範圍地籍套繪圖

6.8 隧道運輸抽泥及清淤方式

1、不可沖淤及可沖淤土石數量：

民國 101 年北水局辦理「石門水庫阿姆坪上游河道淤積物調查」，為較精確估計石門水庫阿姆坪上游庫區內之不可沖淤土石數量，自斷面 20 至 31 總共進行 11 鑽孔，總長度為 284.8 公尺，取樣進行淤泥一般物理試驗 104 組。

依調查成果顯示於上游靠近羅浮地區泥砂沉積物厚約 5~10 公尺，至阿姆坪附近則厚約 20~30 公尺，依據 101 年淤積物計算阿姆坪上游各斷面之不可沖淤土石及可沖淤土石體積如表 6-10，保守估計不可沖淤土石總體積為 1,549.2 萬立方公尺，開放估算不可沖淤土石總體積為 1,645.9 萬立方公尺。

表 6-10 阿姆坪上游各斷面不可沖淤及可沖淤土石體積估算表

斷面	100 年	不可沖淤土石比例		不可沖淤土石體積		可沖淤土石體積	
	淤積量 (萬 m ³)	保守(%)	開放(%)	保守 (萬 m ³)	開放 (萬 m ³)	保守 (萬 m ³)	開放 (萬 m ³)
21	1,164.4	13.45	15.87	156.6	184.8	1,007.8	979.6
24	858.61	42.18	42.18	362.2	362.2	496.4	496.4
25	462.71	52.41	51.41	242.5	242.5	220.2	220.2
26	280.32	42.15	42.15	118.2	118.2	162.2	162.2
27	375.71	53.16	67.15	199.7	252.3	176.0	123.4
28	251.57	72.29	72.29	181.9	181.9	69.7	69.7
29	126.61	78.60	78.60	99.5	99.5	27.1	27.1
30	114.63	58.56	72.49	67.1	83.1	47.5	31.5
31	134.82	90.16	90.16	121.6	121.6	13.3	13.3
合計	3,769.38			1,549.2	1,645.9	2,220.2	2,123.5

資料來源：石門水庫阿姆坪上游河道淤積物調查，經濟部水利署北區水資源局，民國 101 年 8 月。

2、不可沖淤及可沖淤土石清運方式：

清運方式參考北水局辦理「石門水庫下游段浚渫工程」，由庫區內抽泥船抽取淤泥後經加壓設備送至岸上預埋之鋼管，經隧道輸泥管輸送至下游出水口，抽泥清運設備示意如圖 6-33 所示。

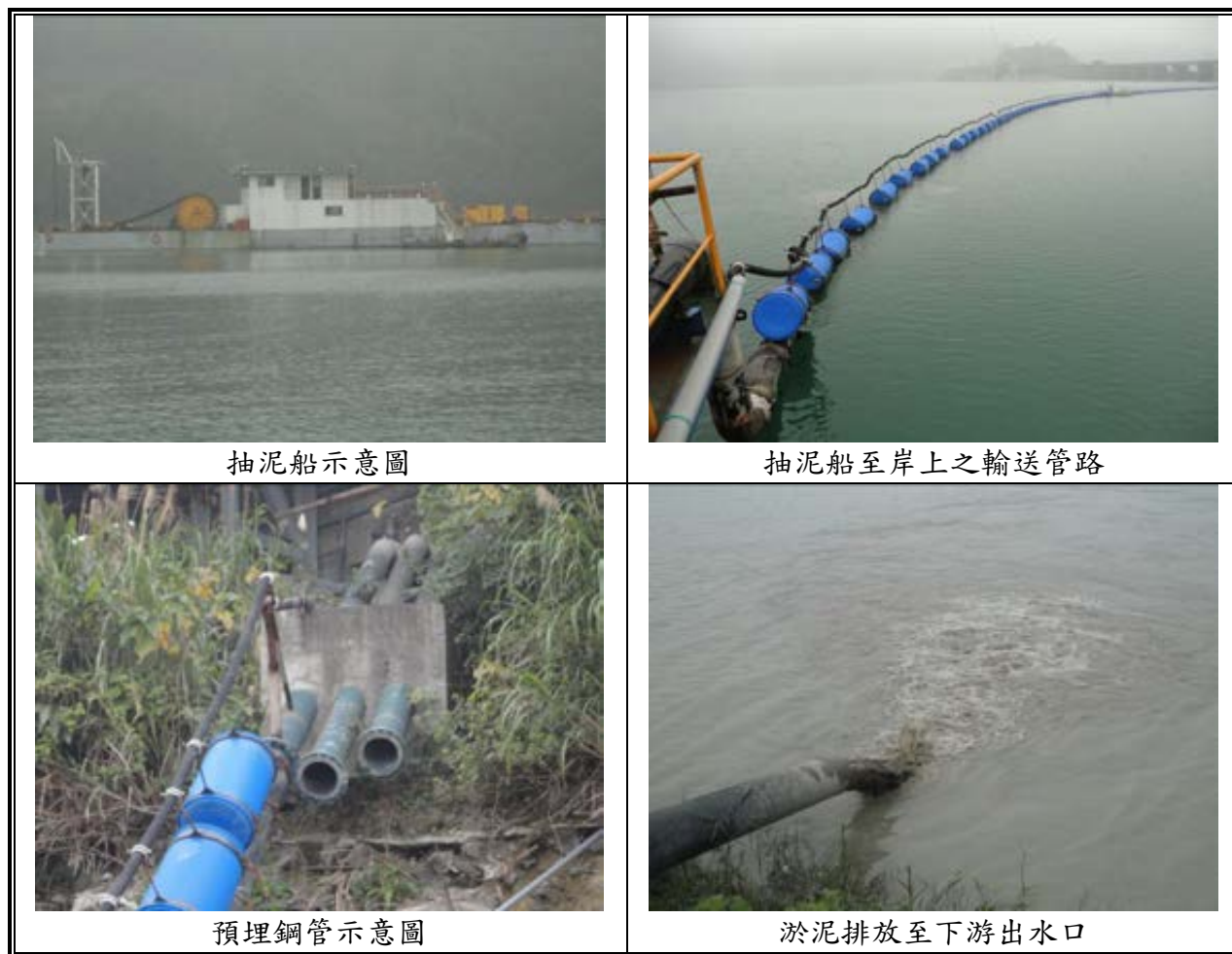


圖 6-33 抽泥清運設備示意圖

本計畫規劃於隧道內裝設 6 支管徑 300 公厘輸泥管，使抽泥船抽取之淤泥經由隧道輸送至下游出水口，根據石門水庫下游浚漂工程經驗，輸泥管收水砂能力每小時可清運 1,000 立方公尺的渾水，其中含泥量約佔 20%，以每日工作 10 小時計算，扣除例假日、颱風天及水位高程低於 230 公尺之不可作業天數，1 年工作天數最多約 200 天，估算一艘抽泥船 1 年最高約可輸送 40 萬立方公尺的沉泥。

庫區淤泥依照組成粒徑大小區分為不可沖淤及可沖淤土石兩部分，根據石門水庫阿姆坪上游河道淤積物調查成果，以 24 斷面作為不可沖淤及可沖淤土石之分界，保守估計一艘抽泥船 1 年輸送量約 32 萬立方公尺，目前規劃在

24~27 斷面設一抽砂船作業，其中可沖淤土石比例約 40%，1 年可清運 12.8 萬立方公尺，不可沖淤土石比例約 60%，1 年可清運 19.2 萬立方公尺，另在 20~24 斷面設一抽砂船，可沖淤土石比例約 60%，1 年可輸送 19.2 萬立方公尺，不可沖淤土石比例約 40%，1 年可清運 12.8 萬立方公尺，合計 1 年不可沖淤土石可輸送 32 萬立方公尺，可沖淤土石亦可輸送 32 萬立方公尺。

3、不可沖淤土石外運路線：

阿姆坪隧道將淤泥貯留設施處理之不可沖淤土石暫置後再外運，因此規劃 3 條可能路線，經比較提出建議外運路線提供參考，其可能路線方案如圖 6-34 所示。



圖 6-34 不可沖淤土石外運路線方案平面圖

(1)方案 A：道路新闢

方案 A 規劃由沖淤池旁新闢一道路銜接台 4 線道路進行外運，此方案其優點為道路與現有沉澱池清運路線分離，且此路線均為公有地，無須經過私有地及用地徵收問題，缺點為此路線與台 4 線之高程差超過 25 公尺，路線縱坡最陡處路長約 90 公尺，高程差為 15 公尺，坡度約為 16.7%，以目前經驗考慮砂石車爬坡能力建議縱坡為 6% 左右，如考慮拉長線型降低坡度，本路線總長需 700 公尺，但方案 A 路段前後有住宅、寺廟及大排水溝，要將路線拉長至 700 公尺相當不易，故本方案若要規劃為運土路線有其困難度，方案 A 現場狀況如圖 6-35。

(2)方案 B：既有道路拓寬

方案 B 規劃沿既有道路與台 4 線銜接，經與北水局資產課聯繫得知，此方案沉澱池既有運土道路旁道路大多為私有地，且為附近住戶唯一之對外聯絡通道，但兩條道路中間設有排水箱涵，其為公有地，因此考量本工程交通及附近居民權益，規劃將沉澱池既有運土路線及附近居民行使道路中間之排水溝渠加蓋，使卡車得以行駛於上方，如此一來既不會影響現有沉澱池之運土作業，亦不會影響附近居民唯一之交通道路，方案 B 現場狀況如圖 6-35。

(3)方案 C：往下游闢路

方案 C 規劃往下游方向新闢路線，並銜接既有道路至台 4 線，此方案優點為路線平緩，適合卡車行走，且與目前沉澱池運土路線並不衝突，但經現勘後發現此路線部份路段須通過一已開發社區，部分區段須新闢道路，方案 C 現場狀況如圖 6-35。



圖 6-35 外運路線方案現場照片

各方案之優缺點比較如表 6-11 所示，其中方案 B 路線平緩又無通過私有地，且大部分路線及與台 4 線銜接之出口與目前既有運土路線並不重複，因此建議採用 B 方案為阿姆坪隧道不可沖淤土石運土路線。

表 6-11 阿姆坪隧道不可沖淤土石外運方案比較分析表

方案項目	方案 A	方案 B	方案 C
用地問題	無	無	通過已開發社區
交通情形	無	部份路段與既有運土路線重複	無
路線坡度	陡峭	平緩	平緩
建議		✓	

6.9 土石方處理規劃

規劃隧道進出水口產生之土石方將運至出水口大漢溪堤後浮覆地堆置，一般道路可通達，規劃面積為 10.2 萬平方公尺，可填土高度為 10 公尺，約可回填為 65 萬立方公尺的棄土，回填區示意如圖 6-36，現場照片如圖 6-37 所示。

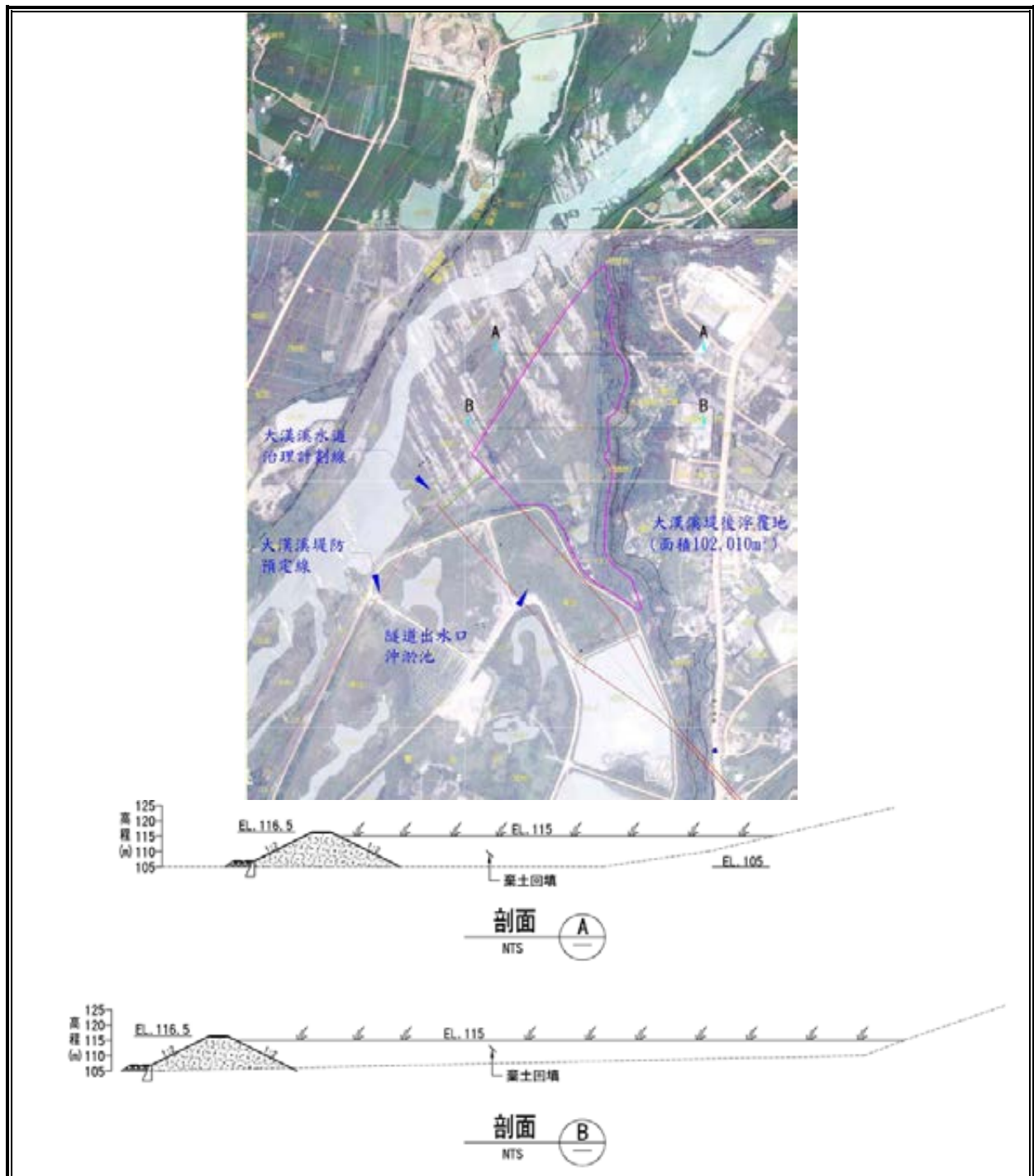


圖 6-36 阿姆坪隧道大漢溪堤後回填區示意圖



圖 6-37 阿姆坪隧道大漢溪堤後浮覆地現場照片

6.10 施工規劃

1、進水口段：

進水口圍堰工程可利用進水口段兩側的基樁與擋水牆之永久結構作為施工之圍堰，其功能在於圍堰內進行乾式施工。本工程基樁採 $D=2.0$ 公尺之全套管基樁施工方法鑽掘。

2、隧道段：

隧道段長 3,675 公尺，分別說明隧道各工作面施工規劃：

(1)進水口：

進水口可再分為隧道進口與橫坑兩處，其中隧道進口因位於淹沒區，必須待施工圍堰打設且封底灌漿後才可進場施作，故其進場期程較晚，因此隧道開挖主要將由橫坑進出，橫坑連接至隧道主線後將分別向上、下游開挖。上游側預計於隧道里程 $0k+150$ 貫通，下游側則開挖至里程

1k+352(豎井處)，惟貫通里程與時間將視各工作面施工進度而定。

(2)豎井：

由豎井向下游側開挖，豎井段工作面施工工率較隧道洞口或橫坑段工作面低，預計於隧道里程 2k+175 處貫通。

(3)出水口：

由隧道出口向上游側開挖，全線貫通後將於隧道里程 1k+840 向上、下游兩側澆置混凝土襯砌。

3、工區布置：

本工程各工區主要設施包括：(1)供水系統；(2)機具修理場；(3)通風機；(4)變電站；(5)污水處理設備；(6)材料庫房；(7)臨時棄碴場。另視場地大小或需求可增加：(8)辦公室；(9)員工房舍；(10)吊運系統；(11)抽排水系統等。各工區布置包括進水口及出水口分別如圖 6-38~圖 6.-40 所示。

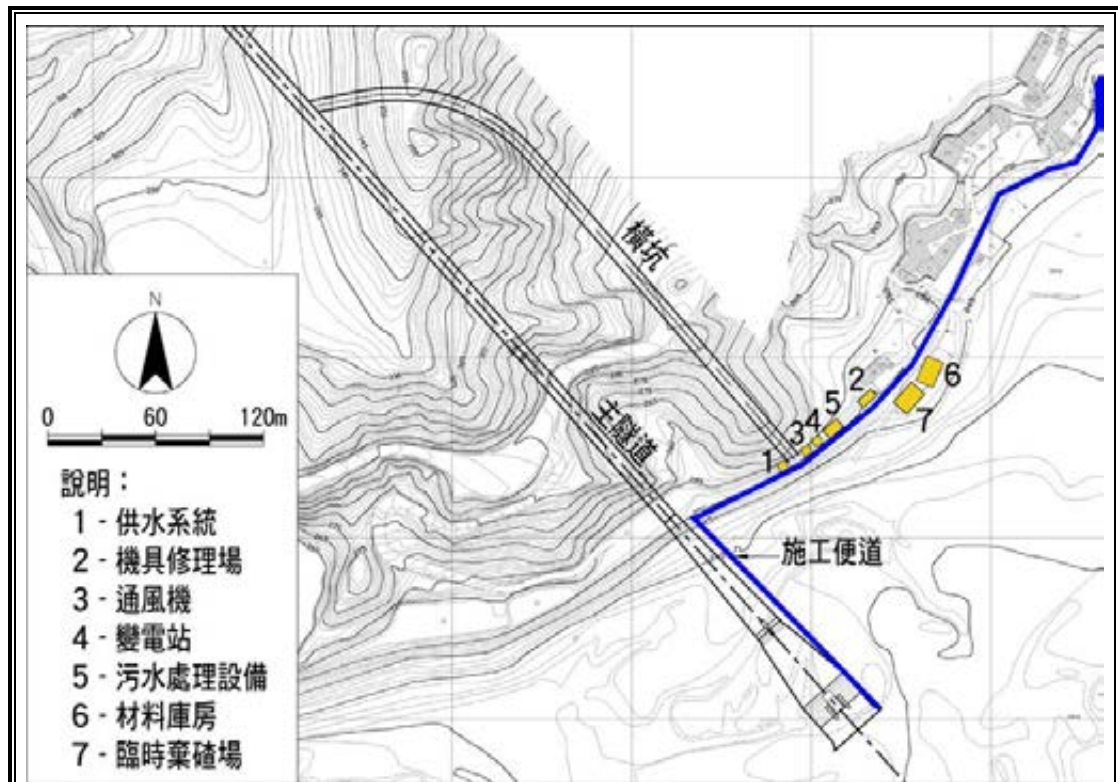


圖 6-38 阿姆坪隧道進水口工區布置

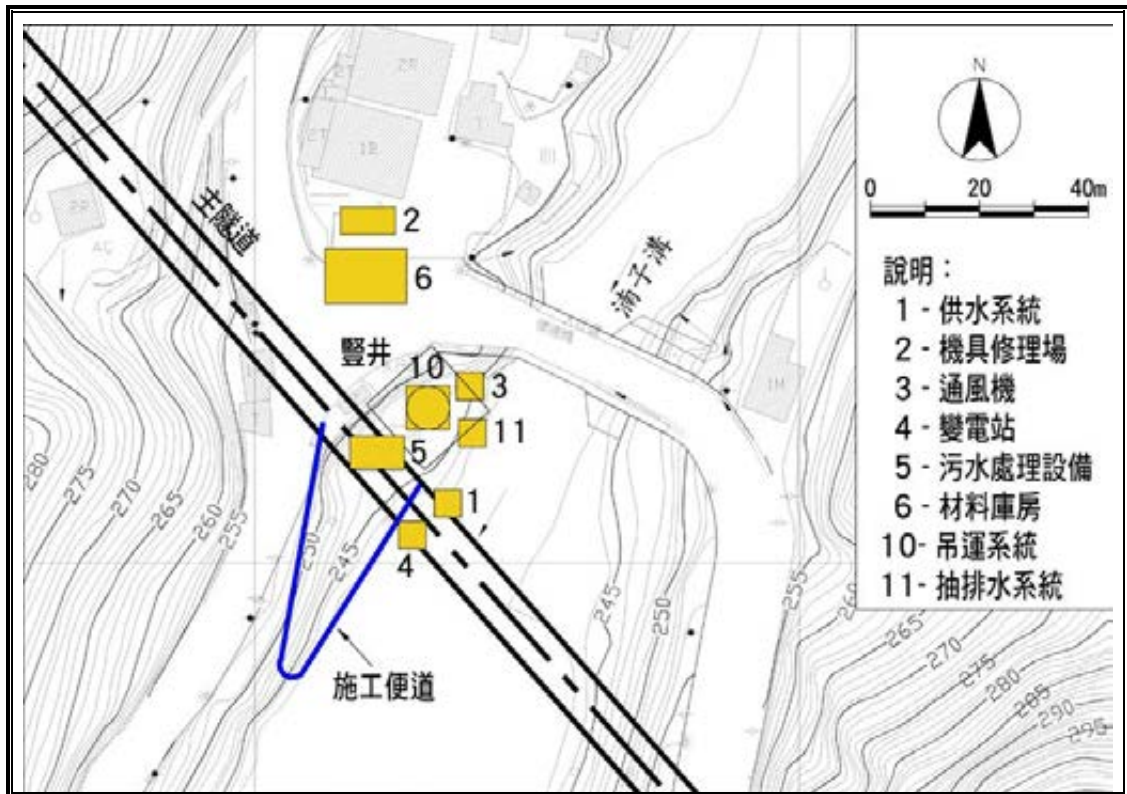


圖 6-39 阿姆坪隧道豎井工區布置

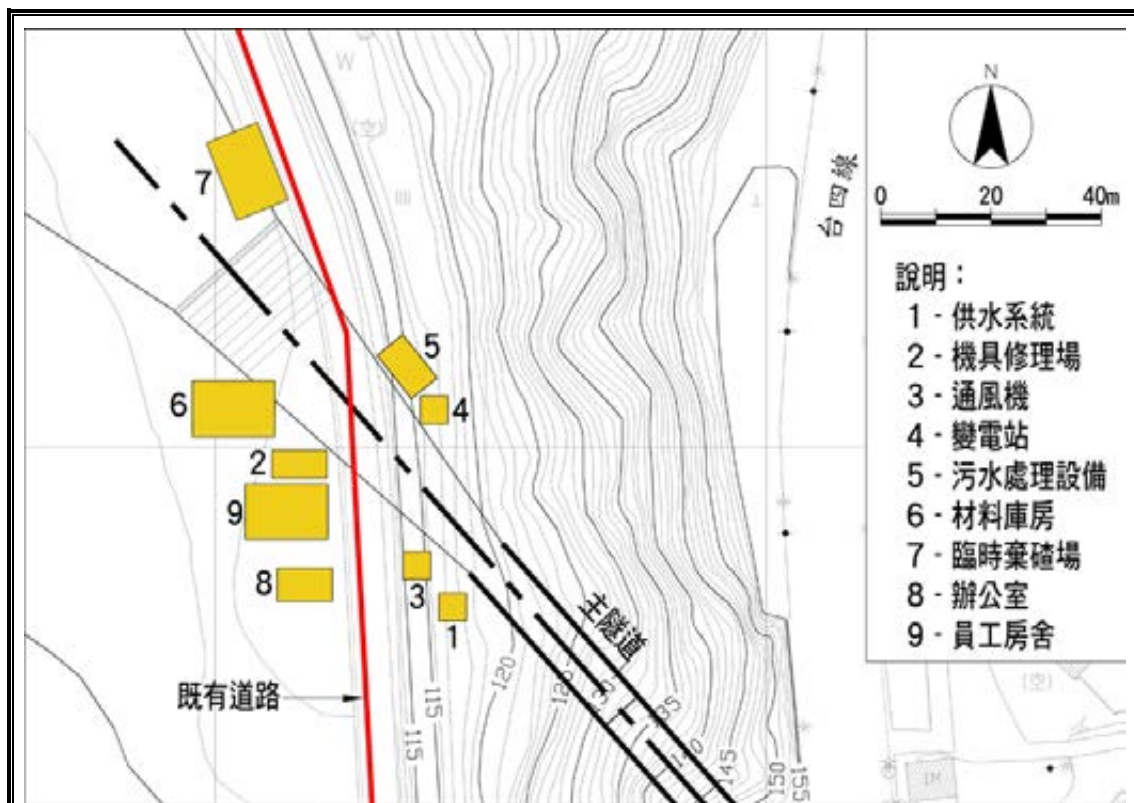


圖 6-40 阿姆坪隧道出水口工區布置

4、聯外施工動線：

由於施工所需各項材料如鋼筋、模板、混凝土、土方挖填方及大型閘門搬運等車輛均須由主要道路運輸至工區，故以下分別就進水口、豎井與出水口等 3 個工作面分別說明聯外施工動線：

(1)進水口：

進水口施工可分為隧道進口與橫坑兩處工作面，其中隧道進口工作面因位於淹沒區，必須待施工圍堰打設且封底灌漿後才可進場施作，故其進場期程較晚。隧道開挖主要將由橫坑進出，橫坑連接至隧道主線後將分別向上下游開挖。施工路線由進水口新增施工便道(約 550 公尺)至環湖公路再銜接北部橫貫公路(台 7 線)路程約 2.6 公里，如圖 6-40 所示。

(2)豎井：

於豎井邊搭建 16 公尺×16 公尺工作構台，使其與既有之承恩路齊高，再由此銜接至北部橫貫公路(台 7 線)路程約 2.4 公里，如圖 6-41 所示。

(3)出水口：

出水口施工道路將利用沉澱池道路旁之排水溝渠，於溝渠上加蓋拓寬使用，施工道路由隧道出水口至台 4 線路程約 1.2 公里，如圖 6-42 所示。

阿姆坪隧道工區位於山區，且鄰近道路平日交通流量並不大，故施工車輛對交通之影響甚小，惟建議各施工道路與主要道路路口於施工時仍應加派交管人員指揮，並盡量利用夜間或凌晨進料及調撥施工機具。



圖 6-41 阿姆坪隧道進水口暨豎井聯外施工動線



圖 6-42 阿姆坪隧道出水口聯外施工動線

5、工料來源調查評估：

阿姆坪隧道主要工程材料為水泥、骨材、飛灰、鋼筋及鋼材等均以在國內購買為原則，主要材料概述如下：

(1)水泥：

水泥可使用省產水泥廠出品之波特蘭水泥，在產量及品質方面均可配合工程供需無虞，不虞缺乏。

(2)骨材：

粗、細骨材可就近由大漢溪下游沿線砂石場採購。初步調查阿姆坪隧道工區方圓 30 公里內之合法砂石碎解洗選場如表 6-12，共計有 8 處可提供混凝土之骨材，已足夠本計畫所需。

(3)鋼筋及鋼材：

鋼筋須符合工程規範規定，並由國內工廠製作供應。一般鋼材可採用中鋼公司或其他廠製品應用，至於高拉力鋼板考慮國外進口。

表 6-12 阿姆坪隧道周邊合法砂石碎解洗選場

編號	名稱	場址	距離(km)
1	裕成工業股份有限公司	新北市三峽區	27
2	長惟工業股份有限公司鶯歌廠	新北市鶯歌區	21
3	南山砂石股份有限公司鶯歌廠	新北市鶯歌區	22
4	茂基興業股份有限公司	桃園市大溪鎮	15
5	鑛吉實業股份有限公司	桃園市大溪鎮	14
6	台榮興業股份有限公司	桃園市大溪鎮	15
7	漢嵩實業股份有限公司大溪廠	桃園市大溪鎮	9
8	錫峰企業股份有限公司	桃園市大溪鎮	13

資料來源：經濟部礦務局

6、出水口段：

(1)測量放樣及施工區域清理。

(2)基礎開挖：

尾水渠道基礎開挖至計畫高程，基礎底下為淤泥時需予以挖除；地面高程低於渠底計畫高程區域，清除地表雜物、淤泥等不適當物質。

(3)基礎填方：

若渠底無直接座落於岩盤面間，將利用沉澱池淤泥固化方式設計，填置淤泥固化混凝土做為承載材料，充分運用既有再生資源，並可減少混凝土用量及節省工程經費。

(4)結構體施工：

完成基礎挖填後，分段施作沖淤池，全長約 670 公尺，結構採扶壁式側牆之 U 型座槽型式(型式將依定案之沖淤池結構為準)，為鋼筋混凝土構造。其中渠道末段(4k+391.15)鄰近大漢溪，可利用第 1 年枯水期施作完成，以避免沖淤池施工受大漢溪洪水影響。

6.11 工期規劃

依據阿姆坪隧道之規劃配置，估算阿姆坪隧道之總工期約為 78 個月(不含開發計畫、都市計畫變更、基本設計與發包工期約 42 個月)，各工程項目之工期如表 6-13，說明如下：

1、測量及設計作業階段：

測量及設計作業階段約 36 個月。相關工作包含都市計畫變更、水工模型試驗、用地處理、基本設計(含地質補充調查、地形測量及水土保持計畫編撰)與細部設計。另施工前環境監測工作亦須於本階段完成。

2、施工動員及計畫書送審：

廠商施工動員及計畫書送審約 4 個月。

3、進水口工程：

(1)施工圍堰：約需 6 個月。

(2)陸域開挖：圍堰完成後，陸域開挖約需 7 個月。

(3)引水渠道興建：工期約需 5 個月。

(4)引水渠道進水口堰：6 個月。

(5)隧道進水口：6 個月。

(6)圍堰破鏡：待閘門完成後關閉隧道進水口閘門，將進水口圍堰破鏡，約需 3 個月。

4、隧道工程：

工期約 36 個月，詳圖 6-43 所示。

5、出水口工程：

包含與輸水隧道銜接之出水口段及沖淤池段及相關堤防保護工。其中出水口段工期約 4 個月，沖淤池段工程約 18 個月，沉澱池整修約 12 個月，堤防工程約 24 個月。

6、水工機械及機電工程：

本工程引水渠道進水口堰共有 3 道操作閘門，隧道進水口堰共有 3 道維護閘門及 3 道阻水閘門，沖淤池共有 2 道閘門，後續將俟水工模型試驗結果及數值模擬成果做局部調整，其中水工機械圖說送審約 3 個月，其製造、安裝及測試約需 8 個月，另附屬機電工程約需 3 個月。

7、下游河道整理：

後池堰下游河道整理工作約 24 個月。

8、試運轉：

含無水及有水試運轉約 2.5 個月。

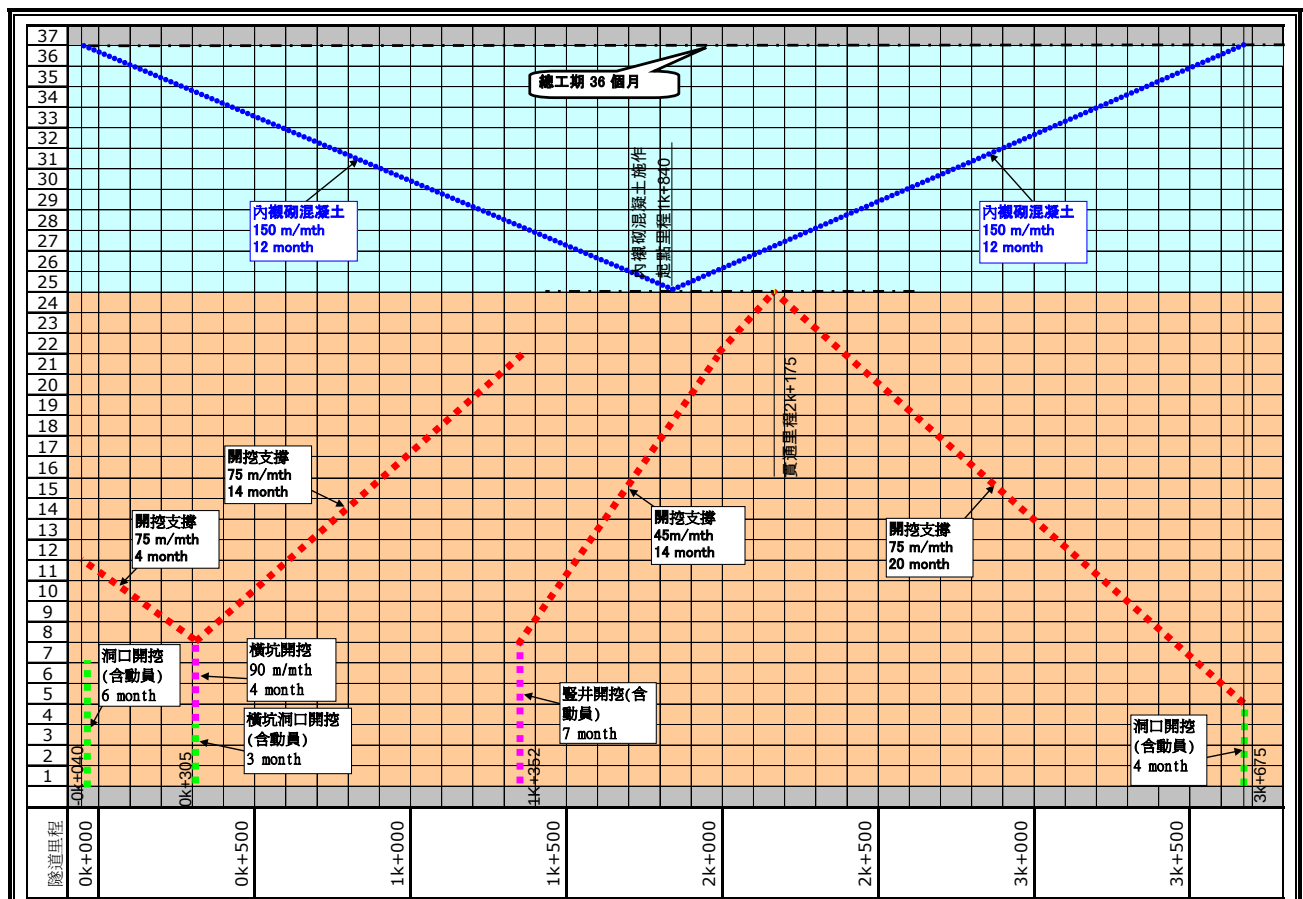


圖 6-43 阿姆坪隧道施工山型圖

6.12 工程經費估算

6.12.1 工程經費

本計畫工程經費編列係依據行政院公共工程委員會編印之「公共建設工程經費估算編列手冊」之規定，估算工程內容及各項費用。估價基準係依據 101 年之物價水準估算人工、材料及機具費用而得。其中人工單價以水利署之估算基準；大宗材料如鋼筋、砂石與水泥等則參考 101 年 7 月的「營建物價」公佈之當地材料單價估算。工程經費估算如表 6-14，說明如下：

1、設計階段作業費用：

採直接工程成本約 2.13% 估算，內容包括水工模型試驗、基本設計(含地質補充調查、地形測量與水土保持計畫編撰)及細部設計，共 7,000 萬元。

表 6-14 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程經費估算表

項次	工程項目	單位	數量	單價(元)	費用(萬元)
壹	設計階段作業費用(直接工程成本 2.13%)	式	1	70,000,000	7,000
貳	用地取得及拆遷補償費	式	1	418,000,000	41,800
參	工程建造成本	式	1	4,199,840,000	419,984
一	直接工程成本			3,151,000,020	315,100
1.	進水口工程	式	1	273,360,000	27,336
(1)	止水灌漿	式	1	44,930,000	4,493
(2)	陸域開挖	式	1	11,630,000	1,163
(3)	渠道興建	式	1	208,440,000	20,844
(4)	填方	m ³	104,553	80	836
2.	隧道段工程	式	1	2,074,520,000	207,452
(1)	隧道工程	式	1	2,064,000,000	206,400
(2)	隧道洞口整坡	式	1	10,520,000	1,052
3.	出水工工程	式	1	387,430,000	38,743
(1)	出水口段渠道工程	式	1	20,630,000	2,063
(2)	沖淤池段渠道工程	式	1	220,770,000	22,077
(3)	沉澱池修整(挖方)	m ³	251,069	200	5,021
(4)	水防道路	m ²	8,400	627	527
(5)	臨時土堤	式	1	4,400,000	440
(6)	堤防工程	式	1	86,150,000	8,615
4.	水工機械	式	1	22,040,000	2,204
(1)	引水渠道進水口堰引水閘門	座	1	6,740,000	674
(2)	隧道進水口控制閘門	座	2	7,650,000	1,530
5.	電氣及機電工程	式	1	5,000,000	500
6.	下游河道整理	式	1	63,560,000	6,356
7.	淤泥貯留設施	式	1	58,330,000	5,833
8.	周邊環境改善工程	式	1	87,000,000	8,700
9.	雜項工程(1~8 項直接工程成本 5%)	式	1	148,562,000	14,856
10.	環保安衛費(1~9 項直接工程成本 1%)	式	1	31,198,020	3,120
二	間接工程成本(約直接工程成本 8%)	式	1	252,090,000	25,209
三	工程預備費(約直接工程成本 8%)	式	1	252,090,000	25,209
四	物價調整費(年上漲率 3%)	式	1	484,060,000	48,406
五	小計(一至四項小計)	式	1	4,139,240,000	413,924
肆	總工程費合計(壹至參項之合計)	式	1	4,627,240,000	462,724
伍	施工期間利息(年利息 3%)	式	1	366,980,000	36,698
陸	建造成本(肆至伍項之合計)	式	1	4,994,220,000	499,422

2、用地取得及拆遷補償費：

阿姆坪隧道進水口部分土地均為北水局持有，橫坑、出水口及隧道段共穿越 70 處私有土地，合計 6.59 公頃，依據「水利事業穿越私有土地之上空或地下地上權徵收補償辦法」(民國 92 年 6 月)及民國 100 年公告土地現值，用地取得及拆遷補償費金額合計約 41,800 萬元。

3、直接工程費：

- (1)進水口工程：主要包含施工圍堰、引水渠道進水口堰、止水灌漿、渠道興建及填方，共約 27,336 萬元。
- (2)隧道段工程：隧道段之工程經費包括主隧道、橫坑與豎井洞口開挖與護坡，隧道、橫坑與豎井之開挖及支撐，隧道與橫坑之內襯砌打設，以及特殊地質處理費用，合計約 207,452 萬元。
- (3)出水口工程：含出水口及沖淤池段渠道及沉澱池整修及相關堤防保護工程等共計 38,743 萬元。
- (4)水工機械：包括引水渠道進水口堰引水閘門、隧道進水口控制閘門與相關驅動裝置、附屬設施及操作設備等，共約 2,204 萬元。
- (5)電氣及機電工程：包括監控系統及閘室電氣工程，共計 500 萬元。
- (6)下游河道整理：約需計 6,356 萬元。
- (7)淤泥貯留設備：約需計 5,833 萬元。
- (8)周邊環境改善工程：約需計 8,700 萬元。
- (9)其他：包括雜項工程(第(1)~(8)項直接工程費 5%)、環保安衛費((第(1)~(8)項+雜項工程)之直接工程費 1%)，共計約 17,976 萬元。

直接工程成本約 31.51 億元。

4、間接工程成本：

間接工程成本含機關工程管理費(含監造)、營建工程污染防治費及環境監測費等，以直接工程成本約 8%估，共計 25,209 萬元。

5、工程預備費：

工程預備費以直接工程成本約 8%估，共計 25,209 萬元。

6、物價調整費：

以年物價調整率 3%計，共計 48,406 萬元。

7、總工程費：

總工程費為設計階段作業費用、用地取得及拆遷補償費與工程建造費之總和，估計為 46.27 億元。

8、施工期間利息：

施工期間利息以年利息 3%估算，總計 3.67 億元。

9、建造成本：

本計畫建造成本為 49.94 億元。

6.12.2 分年工作經費

計畫工期含基本設計與發包共約 78 個月，各分年之經費估算如表 6-15，依據各工程工期及工項分年計算，分年建造成本分別為第 1 年 0.15 億元、第 2 年 0.1 億元、第 3 年 4.57 億元、第 4 年 12.87 億元、第 5 年 14.61 億元、第 6 年 9.86 億元及第 7 年 7.78 億元。

表 6-15 阿姆坪隧道(含下游河道整理)分年經費表

項目			工程費 (萬元)	分年經費(萬元)						
				第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年	第 6 年	第 7 年
一、設計階段作業費用(直接工程成本 2.13%)			7,000	1,100	800	3,100	2,000	0	0	0
二、用地取得及拆遷補償費			41,800	400	200	41,200	0	0	0	0
三、工程建造成本	(一)直接工程成本	1.進水口工程	27,336	0	0	0	13,050	13,678	608	0
		2.隧道段工程	207,452	0	0	0	56,570	58,757	55,576	36,549
		3.出水口工程	38,743	0	0	0	16,316	19,007	3,420	0
		4.水工機械	2,204	0	0	0	0	2,204	0	0
		5.電氣及機電工程	500	0	0	0	0	500	0	0
		6.下游河道整理	6,356	0	0	0	3,178	3,178	0	0
		7.淤泥貯留設施	5,833	0	0	0	0	0	0	5,833
		8.周邊環境改善工程	8,700	0	0	0	2,700	2,900	1,800	1,300
		9.雜項工程(1~8 項直接工程成本 5%)	14,856	0	0	0	4,591	5,011	3,070	2,184
		10.環保安衛費(1~9 項直接工程成本 1%)	3,120	0	0	0	964	1,052	645	459
	(二)間接工程成本(8%直接工程成本)		25,209	0	0	0	7,790	8,503	5,210	3,706
	(三)工程預備費(8%直接工程成本)		25,209	0	0	0	7,790	8,503	5,210	3,706
	(四)物價調整費(年上漲率 3%)		48,406	0	0	0	10,473	15,474	12,031	10,428
四、總工程費合計(一至三項之合計)			462,724	1,500	1,000	44,300	125,422	138,767	87,570	64,165
五、施工期間利息(年利息 3%)			36,698	45	31	1,370	3,307	7,369	10,985	13,591
六、建造成本(四至五項之合計)			499,422	1,545	1,031	45,670	128,729	146,136	98,555	77,756

第柒章 計畫評價

7.1 年計成本

參考行政院經濟建設委員會民國 90 年 5 月之「重大公共建設財務計畫編製手冊」及經濟部水利處（水利署前身）民國 90 年 2 月之「水資源規劃規範—水源開發規劃作業規範(草案)」辦理輸水費用估算。本計畫經濟年限採 50 年，年利率 3%作為分析基礎。

7.1.1 建造成本

計畫成本為分年所需總工程費與施工期間利息(年利率採 3%複利計算)之和，即為建造成本。

7.1.2 年計成本

1、防淤工程年成本：

年計成本係指在經濟分析年限內，每年平均分攤完工建造成本之固定成本及營運期間之年運轉維護費之合計。

(1)固定成本：

A、年利息：為投資之利息負擔，擬以建造成本年利率 3%複利計算。

B、年償債基金：為投資攤還年金，以建造成本依年息複利計算，在經濟分析期限內每年平均負擔數。本計畫擬以年利率 3%、分析年限 50 年來計算年償債基金，計算公式如下：

$$\text{年償債基金} = \frac{P \times i}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (7.1-1)$$

上式中，n 為經濟分析年限，i 為年利率及 P 為建造成本。當經濟分析年限為 50 年，年利率 3%時，年償債基金為建造成本之 0.887%。

C、年換新準備金：為各項工程依壽齡更新之費用，以年

平均計其負擔數，在經濟分析年限內計算更新百分率及次數以推算年換新年金費率，再以其費率乘各對應工程費而得。如營運開始 m 年後，需換新價值 R 之部分設施，其工程設施定期換新百分率為 S ，於經濟分析年限 n 年內換新 k 次，其平均分攤之換新年準備金 r 之計算如下式：

$$r = \frac{(1+i)^{mk} - 1}{[(1+i)^m - 1] \times (1+i)^{mk}} \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times S \times R = A \times S \times R = f \times R \quad \dots (7.1-2)$$

上式中， A 為換新年金因數，年換新準備金係以單項工程設施成本 R 乘以年換新準備金百分率 f 之和而得。參考「水資源開發計畫規劃報告內容、資料標準及評估準則(草案)」各項結構物及設施年換新準備金百分率及各工程採用之年換新準備金百分率如表 7.1-1，年換新準備金合計約 1,293 萬元。。

D、年運轉維護成本：

根據民國 76 年 6 月經濟部前水資源統一規劃委員會「水資源開發計畫規劃報告內容、資料標準及評估準則(草案)」，依構造物總類、大小不同，按各項工程費之百分率計算。本計畫之年運轉維護費約為 2,938 萬元，如表 7-1 所示。

E、年稅捐及保險費：以總工程費之 0.12% 為保險費，0.5% 為稅捐費，共計 0.62%：

表 7-2 為本計畫工程年計成本，共計為 26,484 萬元。

表 7-1 阿姆坪隧道(含下游河道整理)年運轉維護及年換新準備金

項次	工程項目	工程費 (萬元)	耐用 壽齡 (年)	換新年金 因素 (%)	換新 百分 率 (%)	年換新準備 金百分 率(%)	年換新準備 金(萬元)	年營運 維護百 分率	年營運 費用 (萬元)
1.	阿姆坪進水口工程	27,336	50	0.8865	50	0.4433	121	1.0	273
2.	阿姆坪防淤隧道段工程	207,452	50	0.8865	50	0.4433	920	1.0	2,075
3.	阿姆坪出水工程	38,743	50	0.8865	50	0.4433	172	1.0	387
4.	阿姆坪水工機械	2,204	30	1.6012	50	0.8006	18	3.0	66
5.	阿姆坪電氣及機電工程	500	30	1.6012	100	1.6012	8	3.0	15
6.	阿姆坪下游河道整理	6,356	50	0.8865	50	0.4433	28	1.0	64
7.	淤泥貯留設施場地整理	5,833	50	0.8865	50	0.4433	26	1.0	58
合 計		288,424	-	-	-	-	1,293		2,938

表 7-2 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程年計成本

項目	費用(萬元)
1.利息(3%)	14,961
2.年償債基金(0.887%)	4,423
3.年營運費用	2,938
4.年換新準備金	1,293
5.年稅捐及保險(0.62%)	2,869
小 計	26,484

2、機械清淤成本：

根據目前執行之下游浚渫工程，每方之抽泥費用約在 100 元(含輸泥管維護費用)，若以 1 年清運 64 萬立方公尺來計算，每年抽泥成本為 6,400 萬元，出土挖裝成本為 2,880 萬元，營運管理成本 941 萬元。以 1 年可抽取 64 萬立方公尺有價及可沖淤土石計算，其機械清淤所需費用如表 7-3 所示。

表 7-3 阿姆坪隧道機械清淤成本

工程項目	單位	數量	單價(元)	總價(萬元)
1.清淤抽泥費用	m ³	640,000	100	6,400
2.出土挖裝費用	m ³	640,000	45	2,880
3.營運管理費用	m ³	640,000	14.7	941
小 計				10,221

7.2 效益評估

7.2.1 可計效益

依據民國 96 年「石門水庫及其集水區整治計畫第一階段實施計畫」之研究成果，以庫區付費清淤成本每立方公尺 500 元之清淤成本計算，本計畫工程增加水力排砂量為 64 萬立方公尺，可計效益為 32,000 萬元。

7.2.2 不可計效益

不可計效益包括增加水庫蓄水營運效益（發電效益、公共給水效益）、社會公共效益（擴大公共投資、擴大政府公共支出）、可能停水工商損失、落實永續水庫理念、減少運土卡車交通量、補助河海砂源等，以上不可計效益以可計效益之 30% 計算，為 9,600 萬元。

7.2.3 計畫效益

由表 7-4 顯示本計畫年計效益為 41,600 萬元，年計營運成本為 36,705 萬元，淨效益約為 4,895 萬元，益本比為 1.13，符合經濟可行原則。

表 7-4 阿姆坪隧道(含下游河道整理)工程年計成本及效益

項 目		費用(萬元)
年計成本	防淤工程年計成本	26,484
	機械清淤成本	10,221
	合計	36,705
年計效益	可計效益	32,000
	不可計效益(採可計效益 30%)	9,600
	合計	41,600
淨效益		4,895
益本比(年計效益/年計成本)		1.13

7.3 財務計畫

阿姆坪隧道工程已依國家發展委員會「跨域加值公共建設財務規劃方案」考量政府財政狀況、計畫自償性及經濟負擔能力等，評估由水資源作業基金及中央政府公務預算分擔支應。

7.3.1 財務評估

1、建造期間現金流出總工程費 46.27 億元，建造成本為 49.97 億元。

2、營運期間現金流入流出：

(1)售砂收入：參考台灣營造研究院之「營建物價」期刊統計資料及市場行情推估，以 450 元/立方公尺作為不可沖淤土石標售價，年售砂收入為 1 億 4,400 萬元(=450 元/立方公尺×32 萬立方公尺)。

(2)售水售電收入：以民國 92~101 年放水發電收益約 0.37 元/立方公尺，售水收益約 1.16 元/立方公尺，保守估計以石門水庫庫容每年放水發電水量為 1.5 次庫容，因此 1 立方公尺之減淤庫容售水售電收入為 $(1.16+0.37) \times 1.5 = 2.30$ 元/立方公尺。年度售水售電收入係依各年清淤累增庫容量去計算銷售效益。

(3)年運轉維護費用：合計費用約 1 億 4,452 萬元。包含防淤隧道年營運成本 2,938 萬元，年換新費 1,293 萬元。抽泥成本為每立方公尺 100 元，出土區挖裝費為 45 元，管理成本約 14.7 元，合計 159.7 元，以年清除 64 萬立方公尺計，年抽砂費用為 1 億 221 萬元。

(4)重置成本：於營運階段第 1 及 26 年購置抽泥船等設備費用。

3、自償率分析：

(1)物價調整率：3%。

(2)社會折現率：3%。

(3)基年以建設興建第 1 年為準，預計第 8 年中開始投入運轉，營運期之第 1 年僅計半年之營運支出及營運收入。施工期間累計支出現值總合為 44.26 億元，採經濟年限 50 年計，累計淨收入現值總合約 11.68 億元，自償率約 26.40%。

7.3.2 財源籌措

石門水庫已入庫之粗砂問題處理，為永續石門水庫之一環，具有必要性及迫切性，故在考量政府財政困難及本計畫自償性，本計畫(第一階段)所需工程經費將由水資源作業基金負擔總工程經費 30%及中央政府公務預算負擔總工程經費 70%之比例原則。

考量目前政府財政困難，本計畫(第一階段)由水資源作業基金負擔 30%經費，推動期程安排並已錯開經費需求時程，預計核定後第 1~3 年辦理工程設計及用地取得，第 4~7 年辦理工程施工，最高年經費需求約 14 億元，後續本計畫各年度預算編列，將依計畫實際執行情形及配合水資源次類別公務預算及水資源作業基金經費狀況，於經費籌措及負擔總額原則下，配合調整各年度經費編列。

參考文獻

1. 「96 年度石門水庫淤積測量作業成果報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 97 年。
2. 「98 年度石門水庫及榮華壩淤積測量作業-石門水庫測量報告書」，經濟部水利署北區水資源局，民國 99 年 3 月。
3. 「大漢溪防洪工程設計方案水理及河道穩定性分析」，水資會，民國 76 年 6 月。
4. 「大漢溪治理規劃檢討報告(由石門都市計畫界起至三峽河匯流口上)」，台灣省水利局，民國 82 年 3 月。
5. 「中庄調整池可行性規劃-工程可行性規劃專題報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 98 年 4 月。
6. 「水庫淤積」，韓其為，2003 年。
7. 「石門及高台兩水庫聯合防淤之水源運用策略探討」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年 5 月。
8. 「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-初步規劃報告」，經濟部水利署規劃試驗所，民國 99 年 1 月。
9. 「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-應用岩塞爆破法可行性調查及評估」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年 5 月。
10. 「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-98 年度工程地質補充調查工作成果報告書」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年 5 月。
11. 「石門水庫上游攔砂壩清淤方式可行性規劃」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 98 年。
12. 「石門水庫水砂運移監測與異重流模式開發及應用研究-總報告書」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年。
13. 「石門水庫防洪防淤整體綱要計畫」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年 8 月。
14. 「石門水庫防淤策略對下游河道影響之評估研究第四次期中(100 年成果)報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 100 年 8 月。
15. 「石門水庫放淤對下游河道生態影響之調查研究計畫」，經濟部水

- 利署北區水資源局，民國 103 年 4 月。
16. 「石門水庫放淤對下游河道變遷影響分析」，經濟部水利署北區水資源局，民國 103 年 3 月。
 17. 「石門水庫長期監測計畫與防淤操作模擬分析(1/2)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年 12 月。
 18. 「石門水庫阿姆坪上游河道淤積物調查」，經濟部水利署北區水資源局，民國 101 年 8 月。
 19. 「石門水庫阿姆坪防淤隧道水工模型試驗研究期中報告(修正稿)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 103 年 11 月。
 20. 「石門水庫建設誌」，石門水庫建設委員會，民國 55 年 5 月。
 21. 「石門水庫後池改善初步規劃」，經濟部水利署北區水資源局，民國 97 年 12 月。
 22. 「石門水庫既有排洪隧道防淤工程」，經濟部水利署北區水資源局，民國 99 年 12 月。
 23. 「石門水庫既有設施防淤功能改善工程計畫可行性規劃報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 95 年 8 月。
 24. 「石門水庫相關設施水工模型試驗，96 年度成果報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 96 年 12 月。
 25. 「石門水庫相關設施水工模型試驗，97 年度成果報告」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 97 年 12 月。
 26. 「石門水庫淤泥多元化處置方案評估規劃綜合報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 97 年 10 月。
 27. 「石門水庫異重流排砂研究」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 94 年。
 28. 「石門水庫第二次整體安全檢查與評估綜合報告」，台灣省北區水資源局，民國 87 年 12 月。
 29. 「石門水庫第三次整體檢查與安全評估綜合報告」，經濟部水利署北區水資源局，民國 95 年 12 月。
 30. 「石門水庫集水區崩塌與庫區淤積風險評估研究(3/3)」，經濟部水利署，民國 97 年。
 31. 「石門水庫增建排洪隧道工程定案研究報告」，台灣省石門水庫管理局，民國 68 年。
 32. 「石門水庫增設第二後池工程計畫可行性規劃報告」，經濟部水利

- 署北區水資源局，民國 95 年 3 月。
33. 「石門水庫濁水成因及淤泥層運移機制鑽探試驗分析(1/2)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 97 年 12 月。
 34. 「牡丹水庫水力排砂可行性規劃水力排砂專輯」，經濟部水利署南區水資源局，民國 96 年 3 月。
 35. 「黃河首次調水調砂試驗報告」黃河水利委員會，2002 年。
 36. 「應用水文學」下冊，王如意及易任著，民國 72 年 9 月。
 37. APPLIED HYDROLOGY, Ven Te Chow, McGraw-Hill International Editions Civil Engineering Series.
 38. Lin, M. Y. and Huang, L. H. (2008). “Velocity profiles of nonlinear shallow-water flow.” J. Chinese Institute Engineers, 31, No. 1, pp. 105-120.
 39. Reservoir Sedimentation, Gregory L. Morris and Jiahua Fan, McGrawHill, 1997。
 40. Snoek, P.E., “Slurry Pipeline Material Selection”, Bechtel Petroleum, Inc.
 41. Truscott, G.F., “A Literature Survey in Abrasive Wear in Hydraulic Machinery”, Wear 20, 1972.
 42. Want, F.M., “Water in slurry Pipeline”, Mechanical Engineering Transaction, 1979.
 43. 水利水电工程泥砂設計，中國水利水电出版社，2010 年。
 44. 水庫泥沙，陝西水科所與清華大學，1978 年 3 月。
 45. 水電卷水工下冊「溢洪道設計規範 SDJ341-89」中國電力工業標準匯編，1990 年 9 月。
 46. 石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究—工程地質調查，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 98 年。
 47. 西三峽—大溪煤田中部系煤層開發計劃，經濟部礦業研究服務組礦業研究所報告 第 24 號，民國 52 年。
 48. 何春蓀，「台灣基隆沿海區至桃園縣大溪間煤田地質及構造」，經濟部中央地質調查所彙刊，第 2 號，17-70 頁。
 49. 何春蓀，台灣全省煤田地質構造與煤礦開發之綜合研究（一）北部，民國 58 年。
 50. 泥沙運動力學，錢寧、萬兆惠，2003 年。
 51. 泥砂設計手冊(Sediment Design Manual)，主編涂啟華、楊賚斐，中

國水利電力出版社，2006 年。

52. 恒山水庫排砂計算方法研究，凌來文、郭志剛、李新虎、趙光梅，泥砂研究，1991 年 12 月，中國水利學會，P.47~53。
53. 徐鐵良，「桃園石門附近之新店斷層及有關事務」，中國地質學會會刊，第 3 號，49—57 頁，民國 49 年。
54. 曹之獻(2005)，“擬似三維感潮河口水流及質量傳輸計算”國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
55. 都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集及說明書，經濟部中央地質調查所，民國 97 年。
56. 詹德筠，「大溪煤礦誌」，桃園：大嵙崁文化促進委員會，民國 86 年。
57. 臺灣地區隧道岩體分類系統暨隧道工程資料庫之建立（第三期），行政院公共工程委員會，民國 92 年。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

石門水庫阿姆坪防淤隧道可行性規劃總報告 / 聯合
大地工程顧問股份有限公司編著. -- 桃園市 :
水利署北區水資源局, 2015. 07

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-5545-8(平裝)

1. 防洪工程 2. 水庫

443.6

104014487

石門水庫阿姆坪防淤隧道可行性規劃 總報告

出版機關：經濟部水利署北區水資源局

編著者：聯合大地工程顧問股份有限公司

地址：桃園市龍潭區佳安里佳安路 2 號

電話：03-4712001

傳真：03-4713343

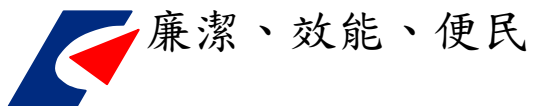
網址：<http://www.wranb.gov.tw>

出版年月：2015 年 7 月

GPN：1010401218

ISBN：978-986-04-5545-8

版權所有，翻印必究



廉潔、效能、便民



經濟部水利署

臺北辦公室

地址：臺北市信義路三段 41 之 3 號 9-12 樓

網址：<http://www.wra.gov.tw>

總機：(02)37073000

傳真：(02)37073166

免費服務專線：0800212239

臺中辦公室

地址：臺中市黎明路二段 501 號

總機：(04)22501250

傳真：(04)22501635

免費服務專線：0800001250

北區水資源局

地址：桃園市龍潭區佳安里

佳安路 2 號

網址：<http://www.wranb.gov.tw>

總機：(03)4712001

傳真：(03)4713343

免費服務專線：0800-200233

ISBN：978-986-04-5545-8



GPN：1010401218

定價：新臺幣 700 元