

曾文水庫防淤隧道工程設計與施工



經濟部水利署南區水資源局

曾文防淤工務所主任

張世賢

簡報目錄

零	今日行程
壹	工程緣由
貳	工程簡介
參	工程設計與施工
肆	創新工法施工情形
伍	工程效益
陸	結語

行程表

時間	分鐘	行程	地點
10:50~11:10	20mins	主辦單位致詞	曾文簡報室
11:10~12:00	50mins	曾文水庫防淤隧道工程介紹	曾文簡報室
12:00~12:30	30mins	午餐	曾文簡報室
12:30~12:50	20mins	簡報室→南側參觀平台	車程
12:50~13:00	10mins	危害告知	南側參觀平台
13:00~13:50	50mins	消能池介紹	步行至消能池
13:50~14:10	20mins	消能池→地表閘室	車程
14:10~14:40	30mins	地表閘室介紹	地表閘室
14:40~15:10	30mins	返回簡報室並卸裝	車程
15:10~16:00	50mins	綜合研討	曾文簡報室

壹

工程緣由

- 曾文水庫為**臺灣第一大庫!**
- 嘉南平原灌溉之**供水命脈!**



受颱風影響，曾文水庫集水區崩塌地遽增

崩塌地600處增加為1,717處
崩塌面積250公頃增加為1,467公頃

樂野崩塌



台18線46K+300



雷公溪崩塌



達邦附近崩塌



陀亞奇伊溪崩塌

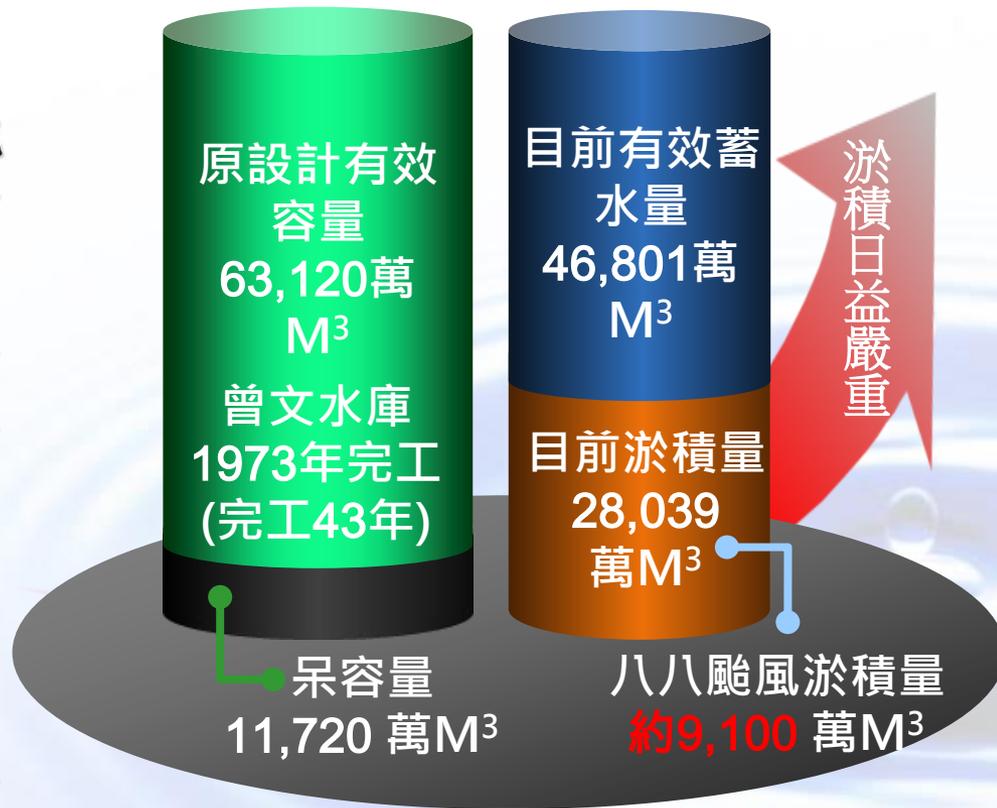


圖說

- 曾文水庫集水區
- 莫拉克颱風前舊有崩塌地
- 莫拉克颱風新增崩塌地

● 八八風災後庫容驟減

- 民國98年8月8日莫拉克颱風後，水庫淤積量急速增加約**9,100萬**立方公尺，約等於**20年**水庫總淤積量，嚴重威脅水庫之蓄水功能。
- 一次颱風洪事件即能造成如此淤積，面對氣候變遷，降雨極端化，水庫管理必須有新思維。



- 曾文水庫庫容示意圖 (滿水位227公尺)

攔



清



排



- 集水區保育
- 攔砂壩清淤
- 新建攔木設施

集水區

庫區

- 取水塔延長工程
- 前庭淤泥處理

- Pro改建工程
- 新建防淤隧道

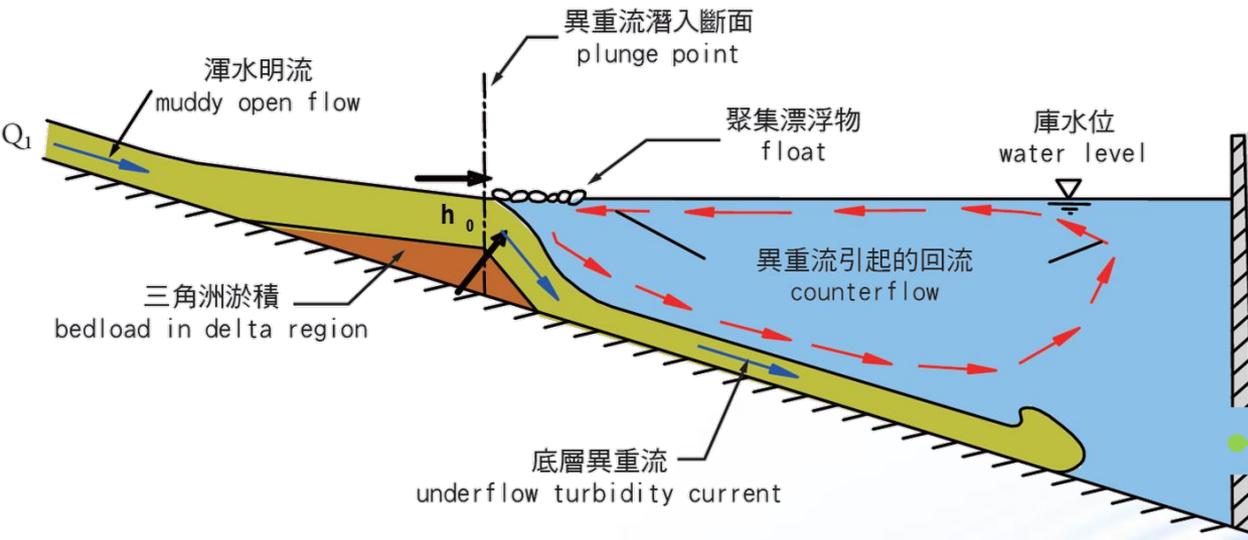
水庫設備

源頭管理

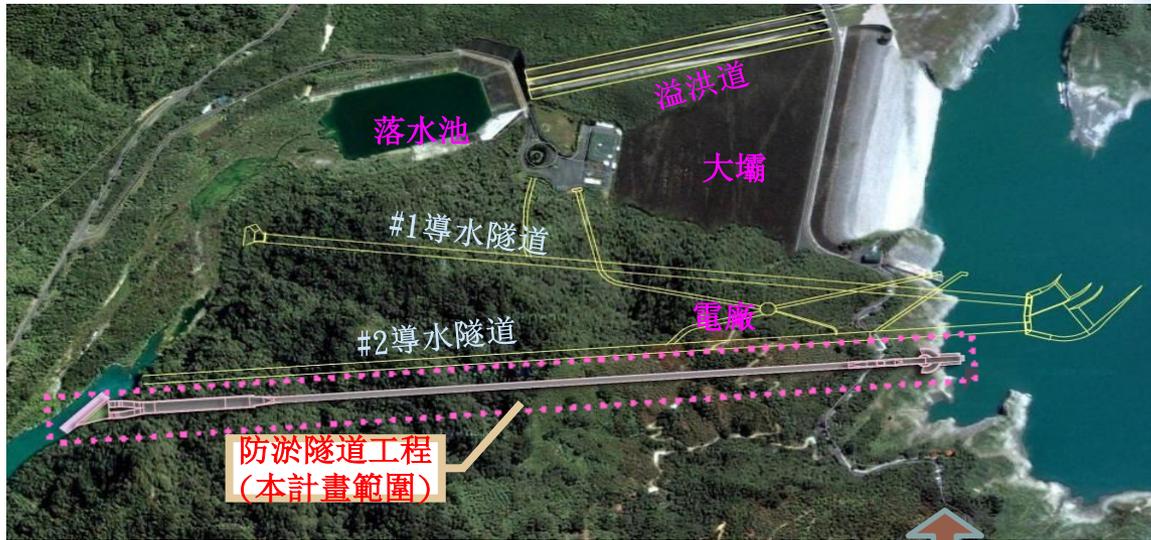
供水需求

預為規劃

衷於民意



石門水庫電廠防淤排砂



曾文水庫防淤隧道設計目的：

颱風來臨，發生水庫異重流，適時排放渾水，達到「蓄清排渾」目的，減緩水庫淤積，延長水庫壽命。

新設曾文水庫防淤隧道工程 選址於大壩左肩

貳

工程簡介



執行團隊

統包團隊



上級機關： 經濟部水利署

主辦單位： 經濟部水利署南區水資源局

監造單位： 經濟部水利署南區水資源局工務課曾文防淤工務所

基本設計： 聯合大地工程顧問股份有限公司(總顧問)

出水口段： 中華工程股份有限公司(49.85%) **代表廠商**

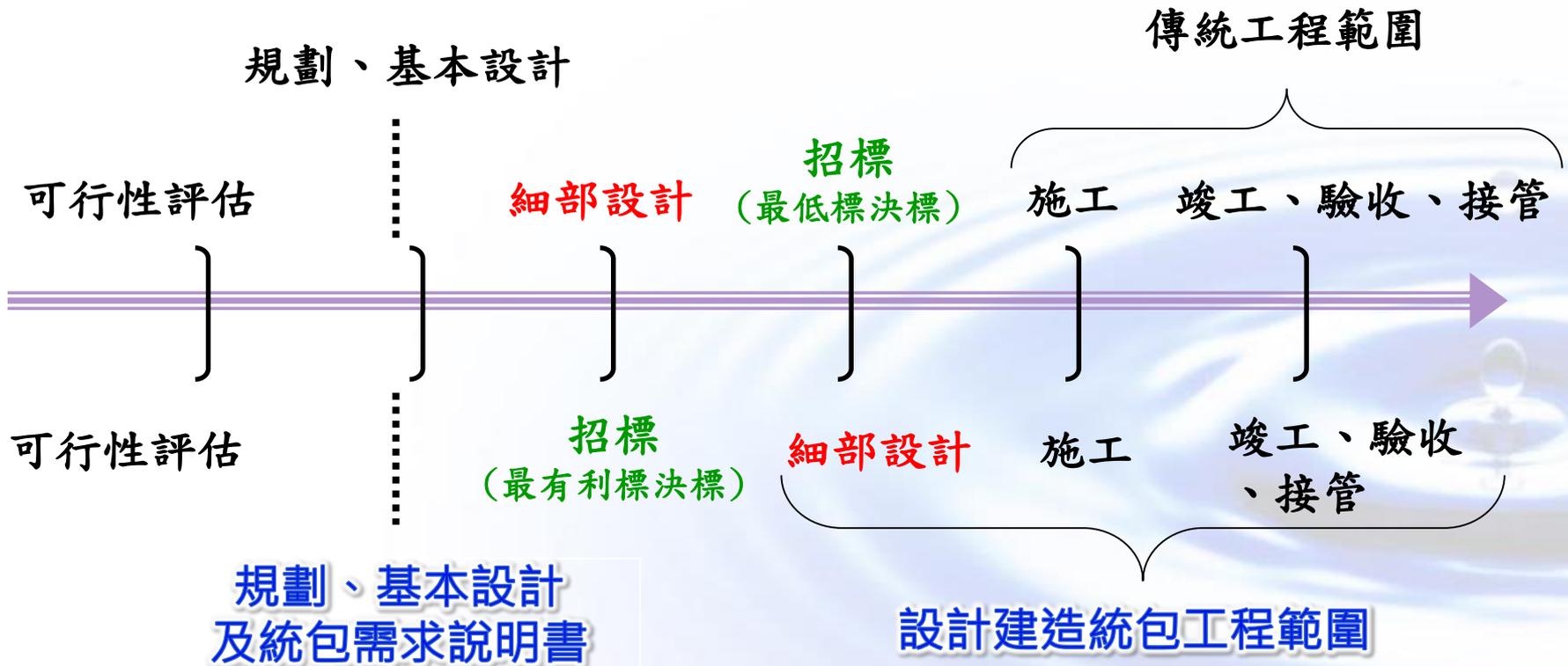
進水口段： 國統國際工程股份有限公司(48.15%)

細部設計： 黎明工程顧問股份有限公司(2%)



開 工 日 期	102年3月31日
預 定 完 工 日 期	106年7月11日
契 約 金 額	新台幣40億9,800萬元

傳統工程與設計建造統包工程比較 (依時間序列)



● 統包之基本觀念

工程會發佈統包契約類型規範：

1. 設計建造(Design & Build, D&B)
統包契約：承包商通常依據主辦機關需求，辦理設計及施工。**主辦機關需審查承包商之圖說並監督施工。**

防淤隧道工程的統包

2. 設計建造與供應安裝(Engineering, Procurement and Construction, EPC/Turnkey)統包契約：主要用於供應製程工廠或基礎建設，**其最後完成價格及竣工時程於工程契約簽訂時即需確定者**。承包商依據主辦機關需求，承擔設計、施工、供應及安裝等之全責，將整體工程全部完成至移交後即可營運之程度。**主辦機關幾乎不涉入其過程**

設計建造統包契約文件位階關係





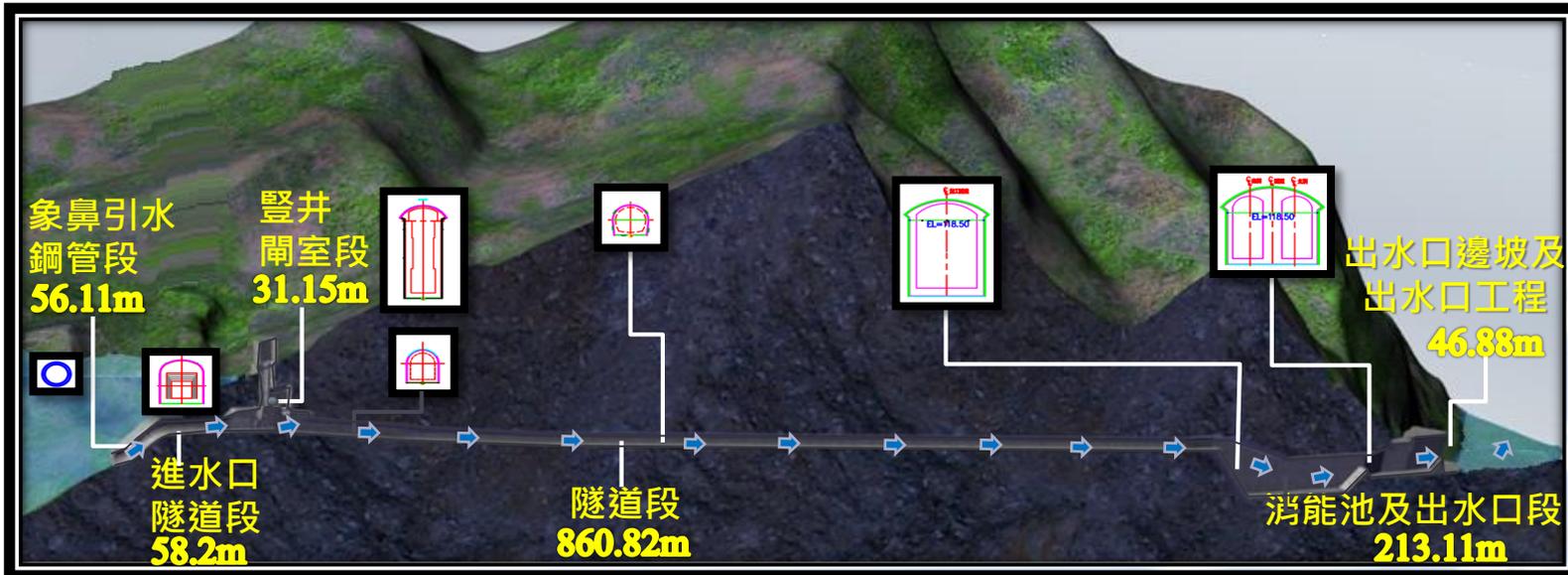
●動畫紅點位置分別為本工程進、出水口



- ◆新建防淤隧道位於曾文水庫大壩左肩。
- ◆動畫紅點位置分別為本工程進、出水口。
- ◆防淤隧道工程總長 1266.27m

●主體工程

●本工程3D示意圖



水工機械：高壓弧形閘門(6.8m × 6.8m)一座
維護閘門(6.8m × 7.7m)一座

防淤隧道工程總長(抗渦版至異形塊末端) 1266.27m

●附屬工程

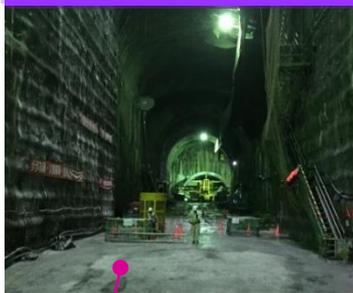
曾文環湖道路隧道工程	本工程第一里程碑；改道長度 208 m。
護岸堤防工程	為土方去化平衡，兼顧保護河岸及公路安全；護岸堤防長度約 1,140 m。

水工機械



- 水工機械：
直立式閘門尺寸→6.8m x 7.7m
弧形閘門尺寸→6.8m x 6.8m

豎井及隧道閘室段



- 豎井閘室：
豎井深→53m
閘室高→35m

隧道段



- 隧道段：
襯砌內徑→9m
隧道長度→860.82m

消能池出水口區段

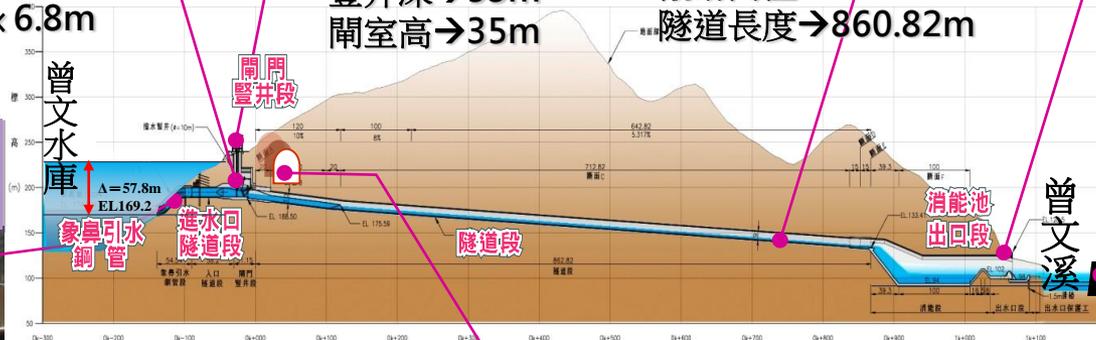


- 消能池段：
消能池高→29~47m
消能池寬→18m
平面長度→147.3m

進水口區段
(象鼻引水鋼管)



- 象鼻鋼管段：
鋼管外徑→11.6m
鋼管內徑→10m
平面長度→56.11m



護岸工程



- 曾文溪護岸(左右岸)：
擋牆高度→8m
總長→約1140m

曾文環湖道路隧道

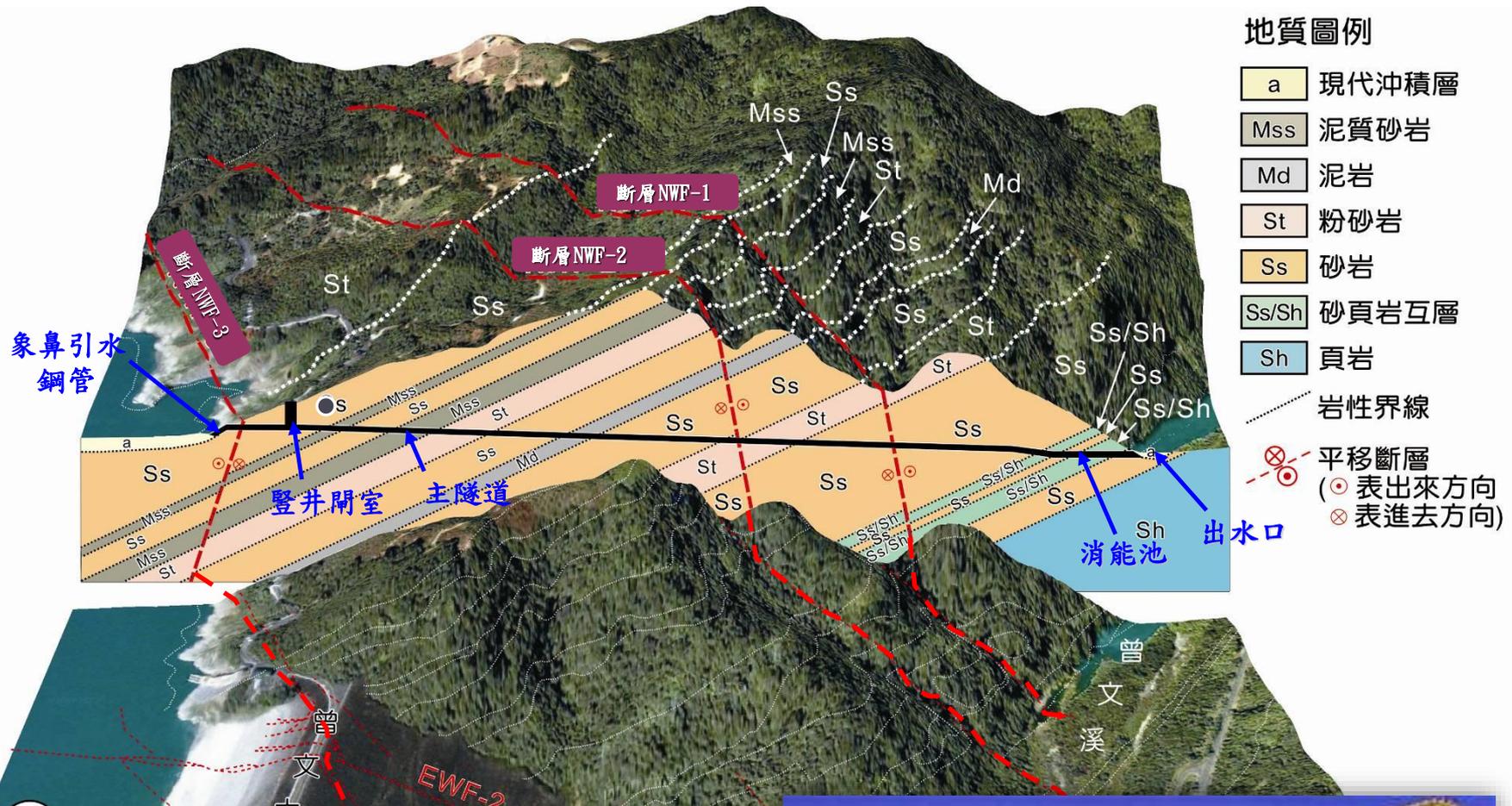


- 曾文環湖道路隧道：
改道長度→208m
隧道全長→171m
襯砌內徑→13m

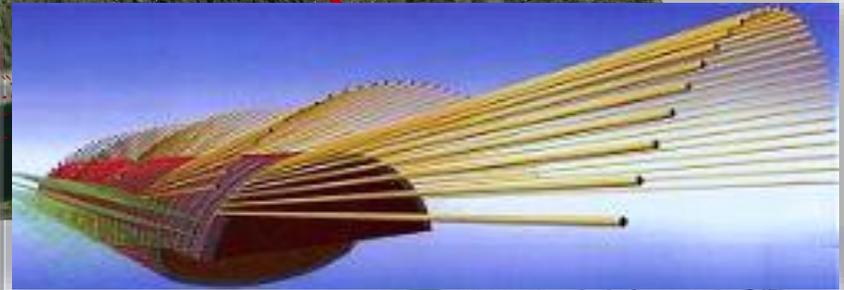
項目	施工里程 / 單元長度	工程內容
主體工程	象鼻引水鋼管段 0K-145.46~0K-089.35 / (56.11 m)	1. 平台管心高程EL. 195m，最低管心高程EL. 175m。 2. 鋼管內徑10m，水路長約60m。
	進水口隧道段 0K-089.35~0K-031.15 / (58.20 m)	1. 銜接象鼻引水鋼管及閘門豎井之重要設施。 2. 圓形斷面漸變為矩型隧道，仰拱高程EL. 190m。 3. 進水口隧道長約58.2m。
	閘門豎井段 0K-031.15~0K+000.00 / (31.15 m)	1. 設置緊急/維護閘門及操作閘門。 2. 上半部為內徑10m擋水豎井，下半部為閘門操控閘室。
	隧道段 0K+000.00~0K+860.82 / (860.82 m)	1. 隧道段長約860.82m(含漸變段)。
	消能池出水口隧道段 0K+860.82~1K+120.81 / (259.99 m)	1. 消能池約147.3m，出水口雙孔隧道(含尾檻)約112.69m。 2. 採投潭式消能再與曾文溪銜接。
附屬工程	環湖道路隧道 改道長度208 m	1. 曾文水庫道路改道。 2. 隧道約171m，引道約37m。
	護岸堤防工程 護岸堤防長度1140 m	1. 護岸堤防長度約1,140 m(含左右岸)。 2. 達成土方平衡目標，兼保護河岸及公路安全。

參

工程設計與施工

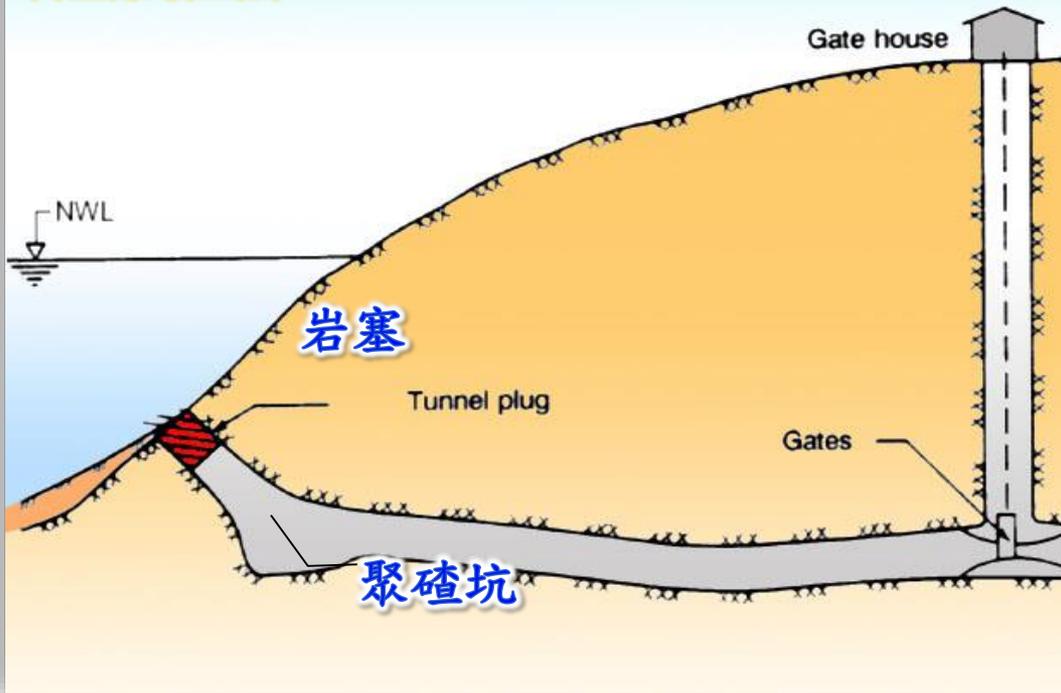


- 新奧工法
- III~V類支撐
- 洞口培厚及管幕工法



岩塞爆破工法？圍堰工法？象鼻引水鋼管工法？

岩塞爆破工法



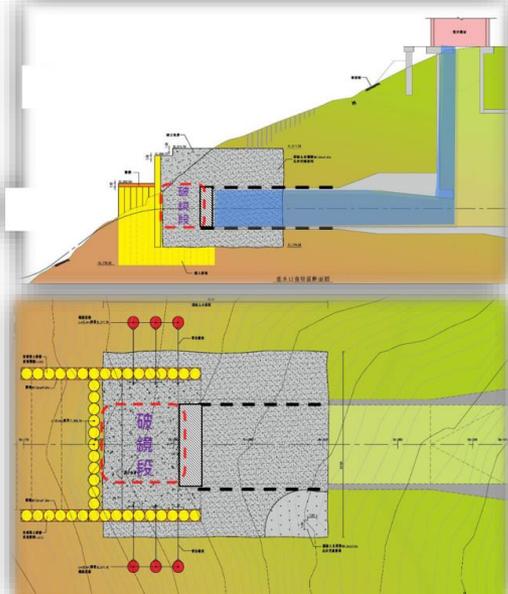
岩塞爆破：

於岩塞下游設置聚碴坑，以精密控制爆破方式，**一次性爆破完成水中破鏡**。

1. 進水口長期浸水軟化(地質條件不佳)
2. 國內尚無岩塞爆破前例
3. 由於設置堵塞段，爆破會使閘門井中產生強烈的井噴
4. 爆破岩塊恐造成閘門無法關閉
5. 爆破研究及地質調查時間過久
6. 水中爆破技術難度高

地質條件不佳，水位變化大，岩塞爆破與圍堰工法風險高，採象鼻引水鋼管工法

無圍堰象鼻引水鋼管工法



- 無庫水溢過圍堰之風險
- 無圍堰倒塌之風險
- 延伸進水口至庫底
- 施工時對水庫水位變化之容忍度高



施工特色 ◆ 在維持水庫正常營運下，施工不能影響供水

運輸困難

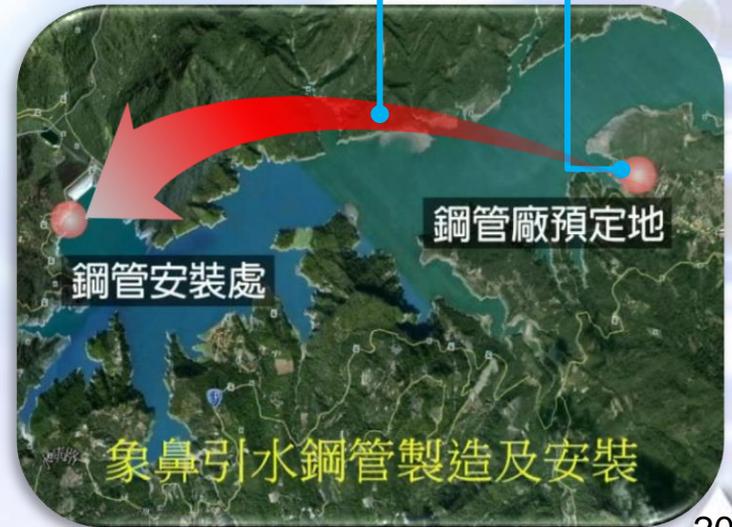
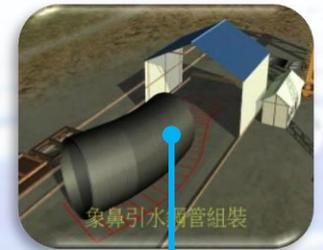
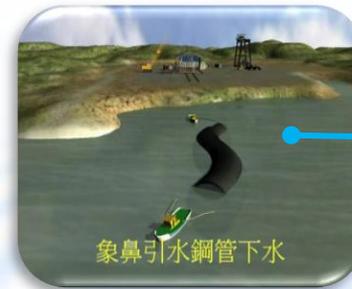


●鋼管陸運示意圖

✦ 象鼻鋼管直徑11.6m運輸困難

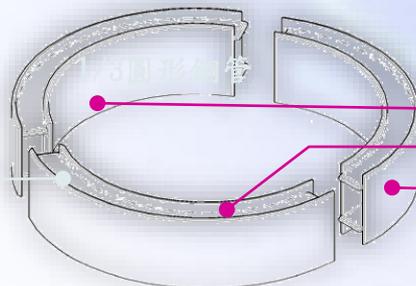
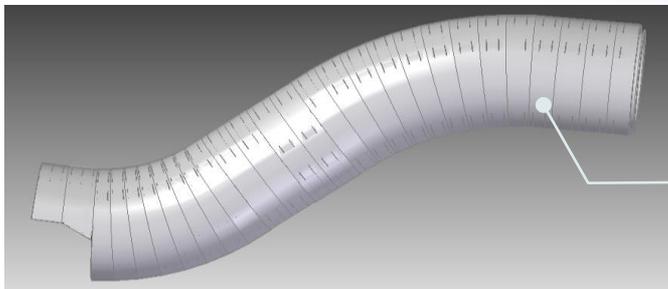
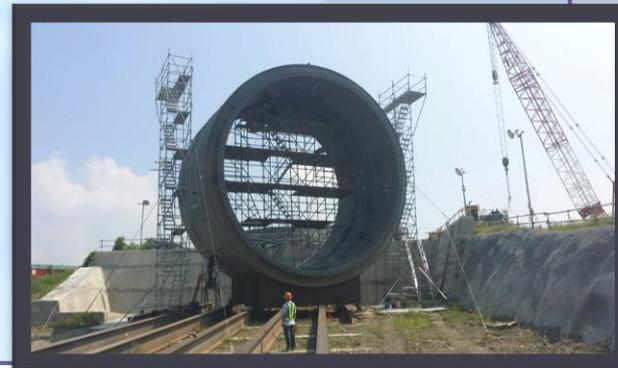
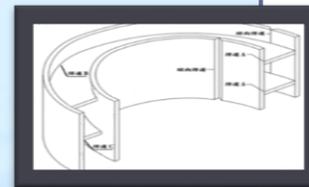
- 庫區道路狹小，路幅嚴重不足。
- 道路電桿過低，阻礙通行。

➢ 於曾文水庫庫區設置鋼管廠，以水運代替陸運。



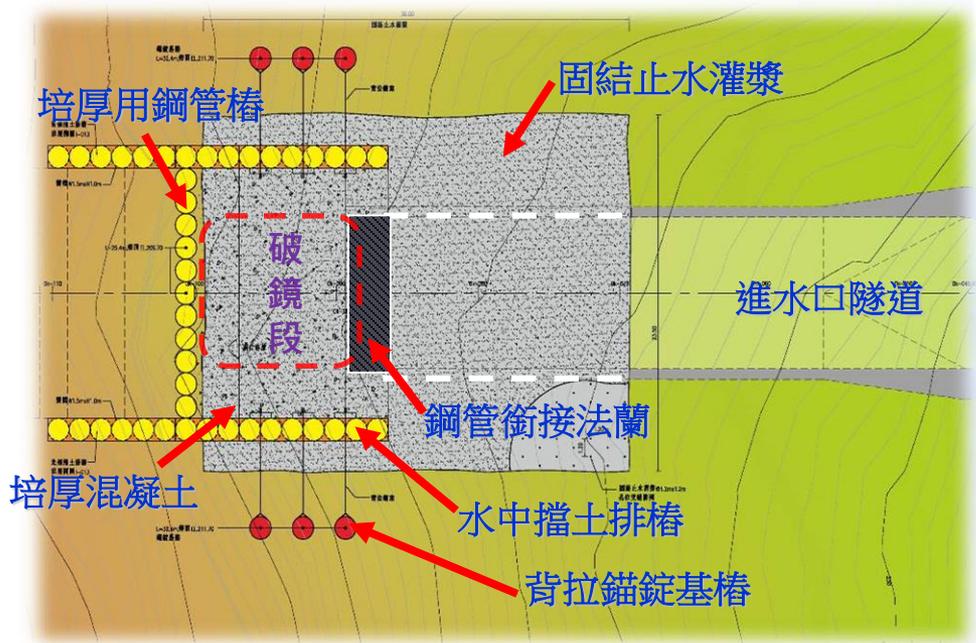
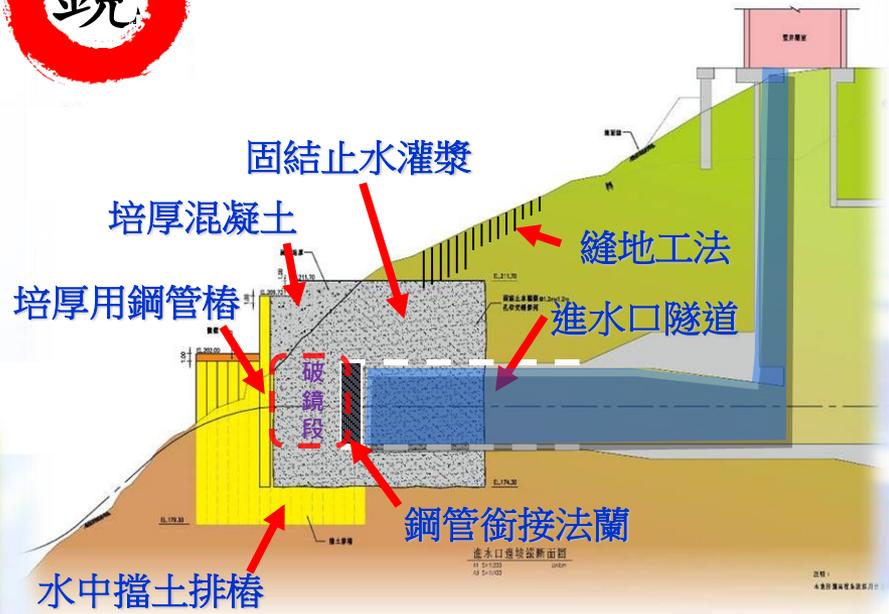
創 新 設 計

- 雙層鋼管，強化結構。
- 浮力大於自重，避免沉入庫底，加強拖曳安全。
- 隔艙設計，俾利姿勢調整。
- 鋼管隔艙灌注混凝土，減少震動。
- 預留延伸空間，永續經營。



水中開挖破鏡

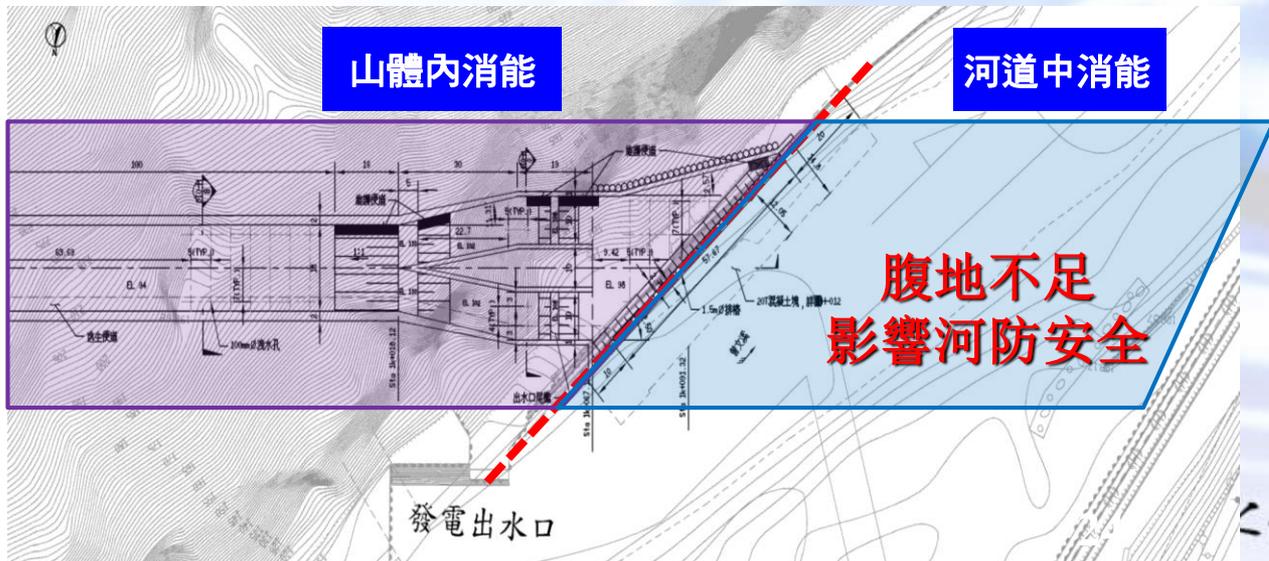
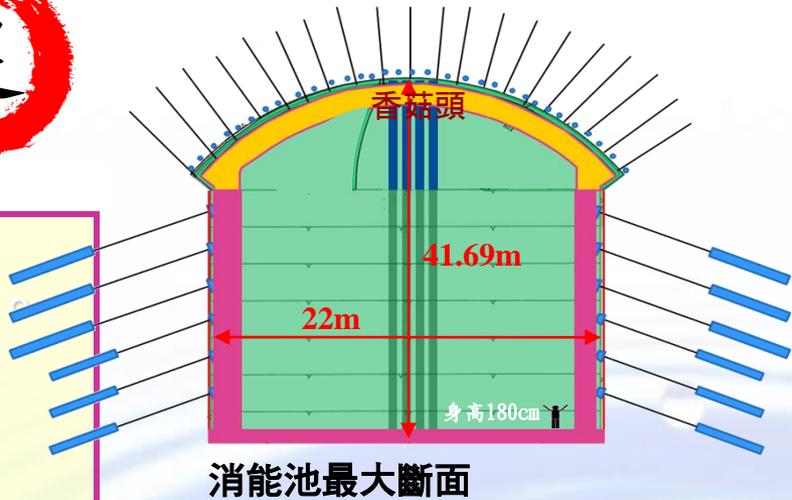
水庫維持營運，水位無法配合施工降低，進水口破鏡風險高，施工困難。



- 進水口邊坡縫地工法、排樁打設、地盤改良、洞口培厚。
- 隧道開挖採先進探查、先撐後挖。
- 閘門完成後，注水使兩邊水壓平衡，才可進行破鏡開挖。

消 能 腹 地 不 足

- 曾文溪河道狹窄，洞外消能**腹地不足**
- 河道中消能影響**河防安全**
- **山體內消能**對河道影響最低。

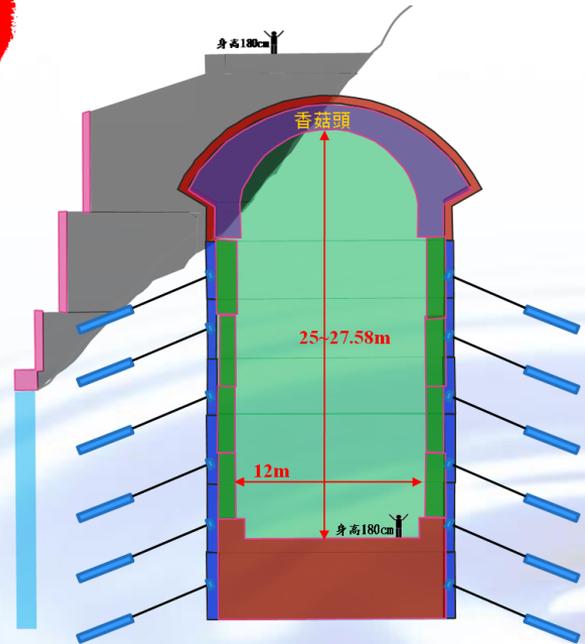


回 饋 最 佳 設 計

➢ 委託經濟部水利署水利規劃試驗所進行水工試驗，調整佈置消能池及出水工。



超 大 坑 室 開 挖



消能池-北洞口開挖支撐示意圖

● 鄰近邊坡之超大地下坑室開挖

- ⊕ 邊坡陡峭，隧道軸線與邊坡斜交，產生洞口偏壓，不利進洞。

- 洞口邊坡培厚保護，垂直入洞開挖。
- 先撐後挖、分段開挖，輔以計測，調整施工。

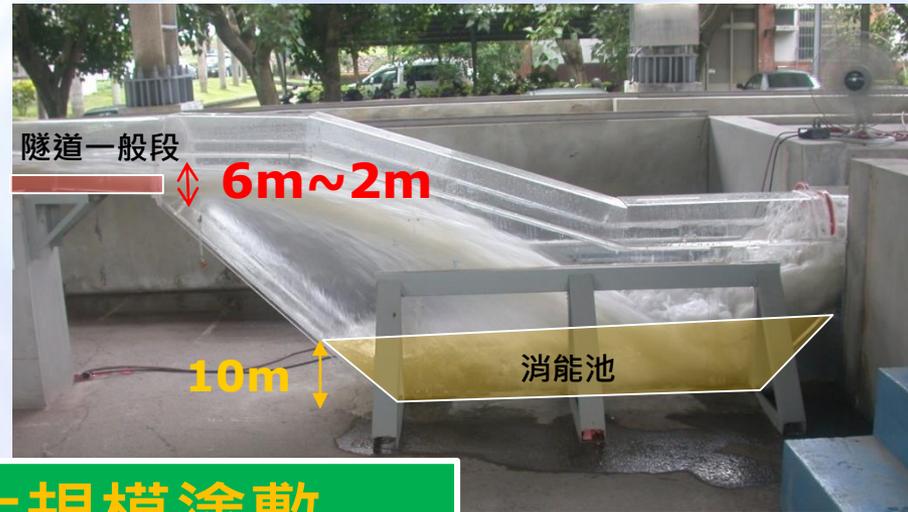
流水面須有抗磨保護措施

- 高速含砂水流(18~31m/s)
- 穴蝕潛勢高(臨水面需平順，孤立體 ≤ 0.74 公分，施工接縫距 ≤ 0.1 公分)。



■穴蝕現象(負壓下流體夾帶氣泡破裂之破壞)

■磨蝕現象(水流泥砂岩屑對表面之磨擦淘撞破壞)



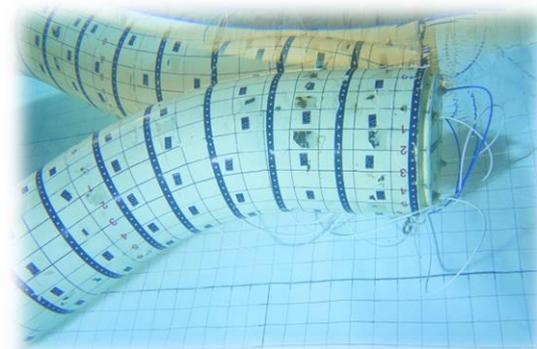
➢ 抗磨層大規模塗敷

伍

創新工法施工情形

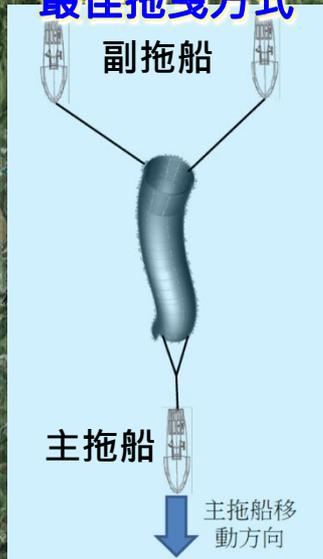
鋼材捲圓作業

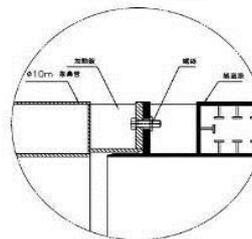
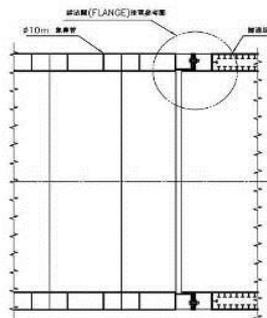
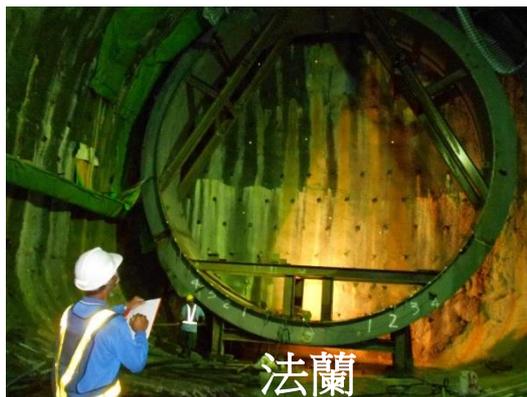




象鼻引水鋼管拖曳路線圖

最佳拖曳方式





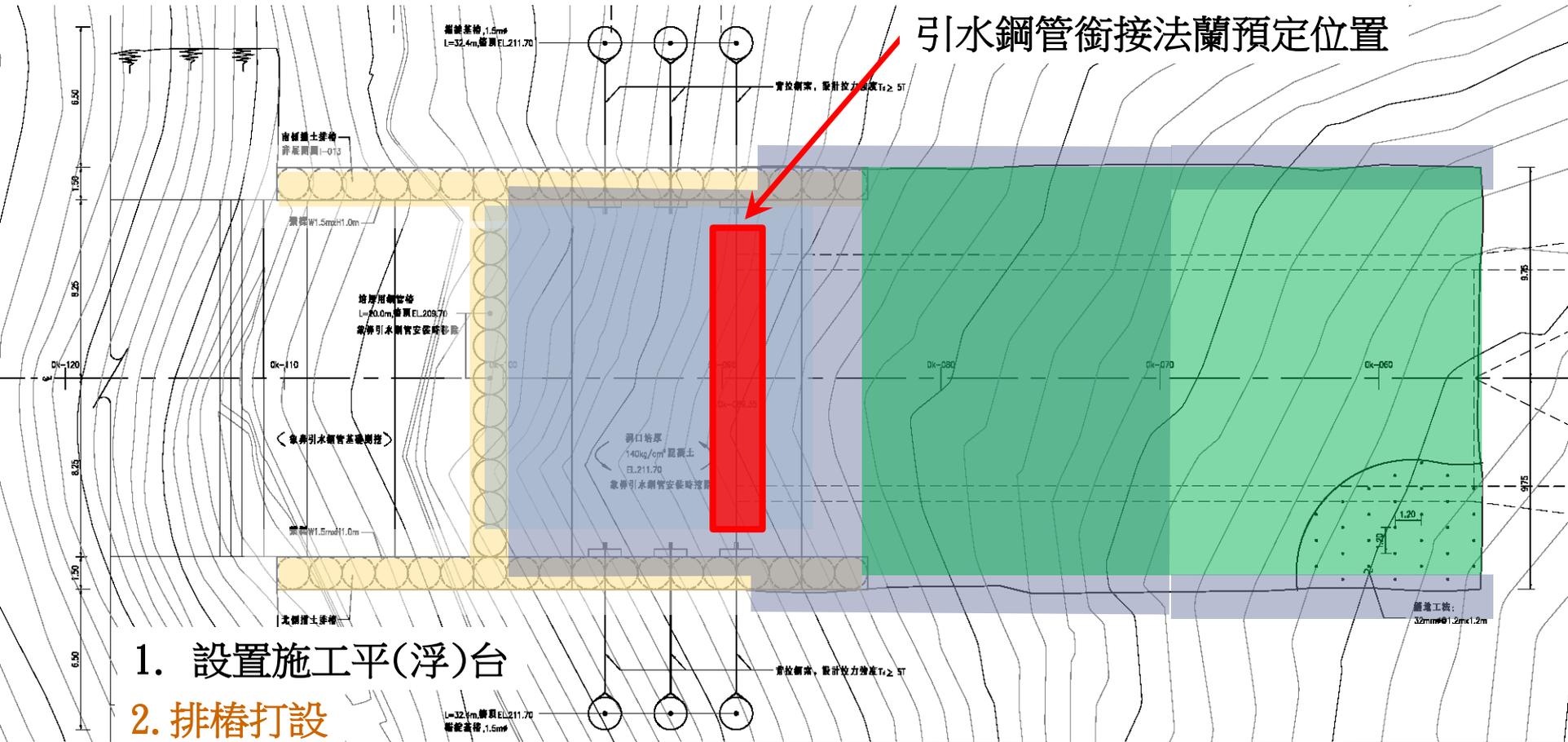
承插式法蘭接合

鋼管與隧道段法蘭進行接合工作



鋼管牽引鎖接

在進水口排樁上適當位置架設滑輪組，當鋼管下沉到法蘭銜接之深度時，微調象鼻引水鋼管法蘭與入水口法蘭之位置及角度，以捲揚機透過法蘭對位孔，牽引鋼管至預定銜接位置進行螺栓鎖接。

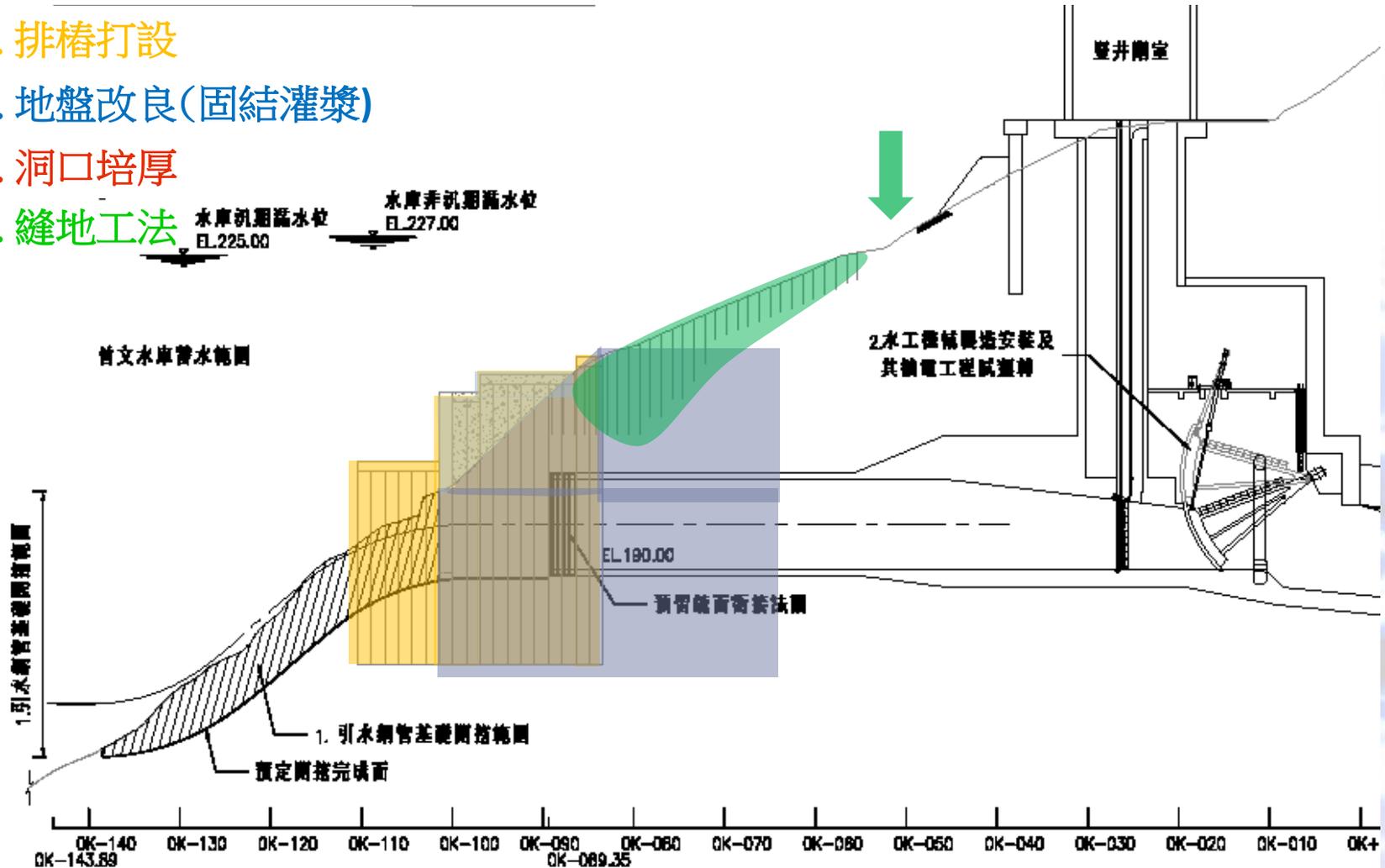


引水鋼管銜接法蘭預定位置

1. 設置施工平(浮)台
2. 排樁打設
3. 地盤改良(固結灌漿)
4. 洞口培厚
5. 縫地工法

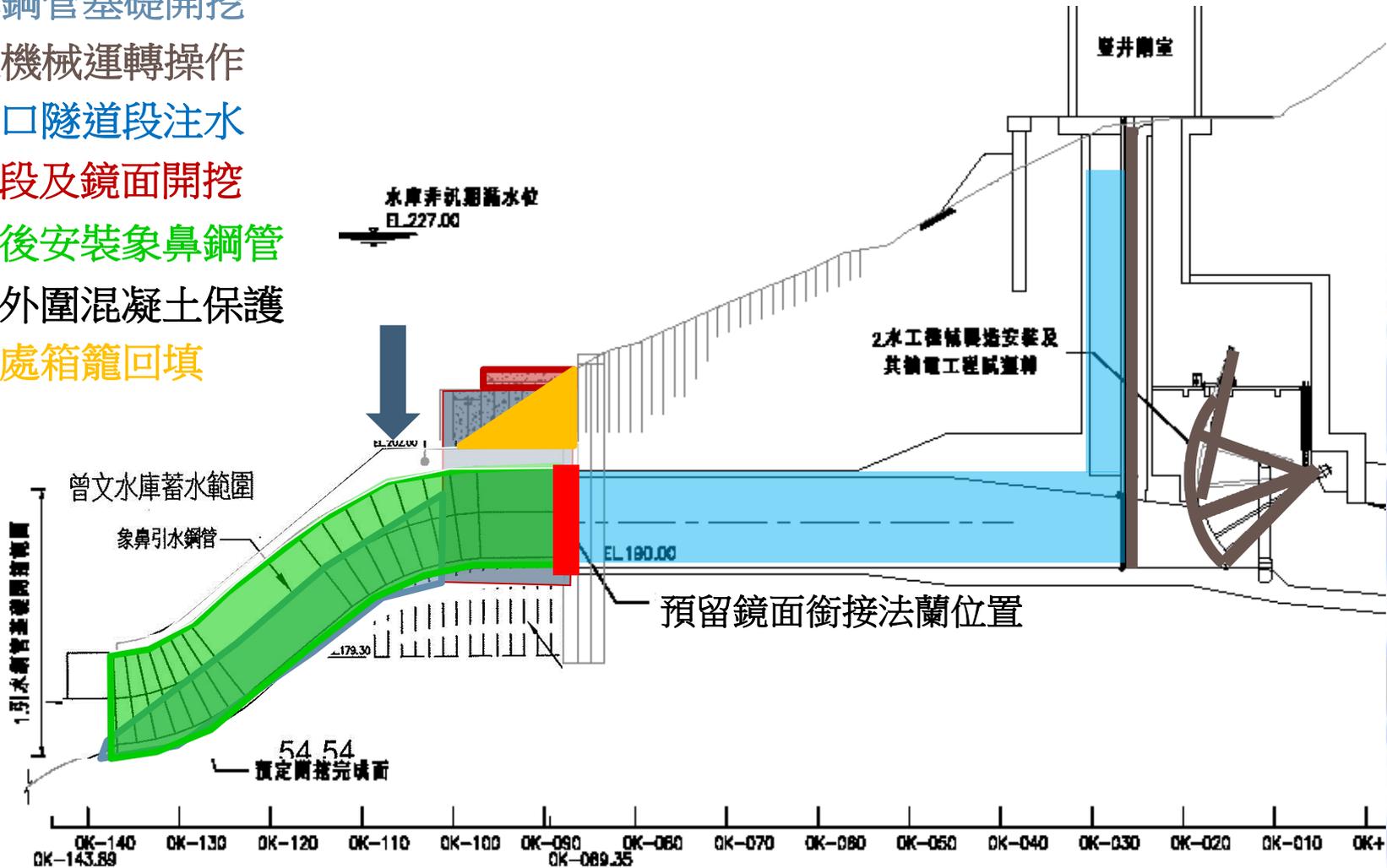
進水口平面圖

1. 排樁打設
2. 地盤改良(固結灌漿)
3. 洞口培厚
4. 縫地工法

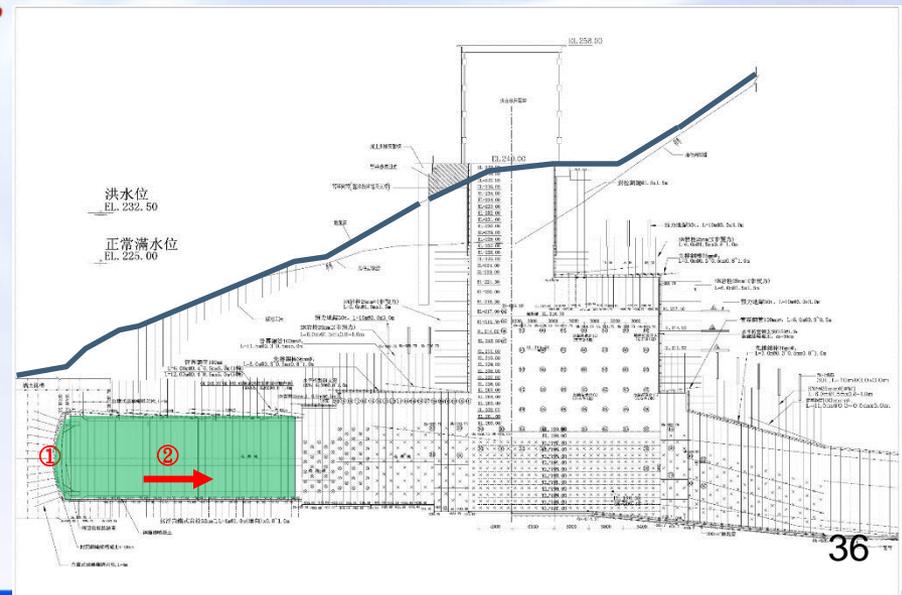
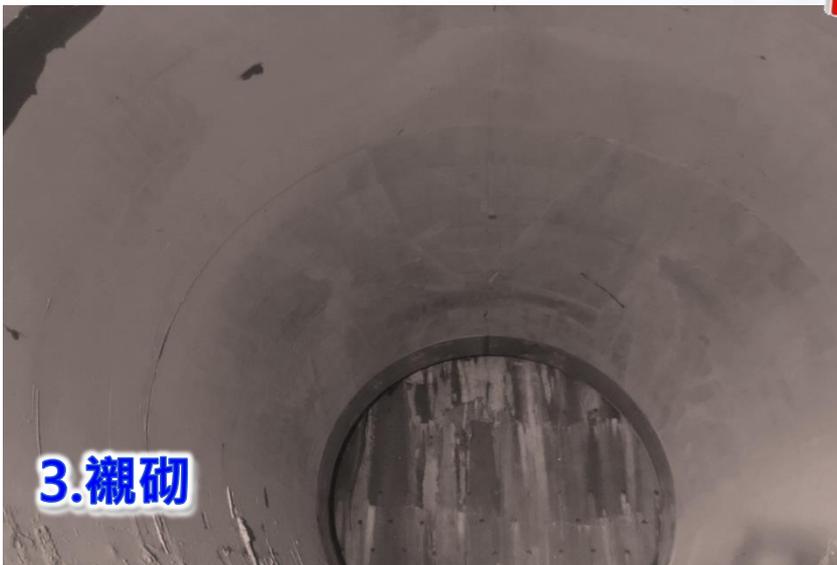


進水口立面圖

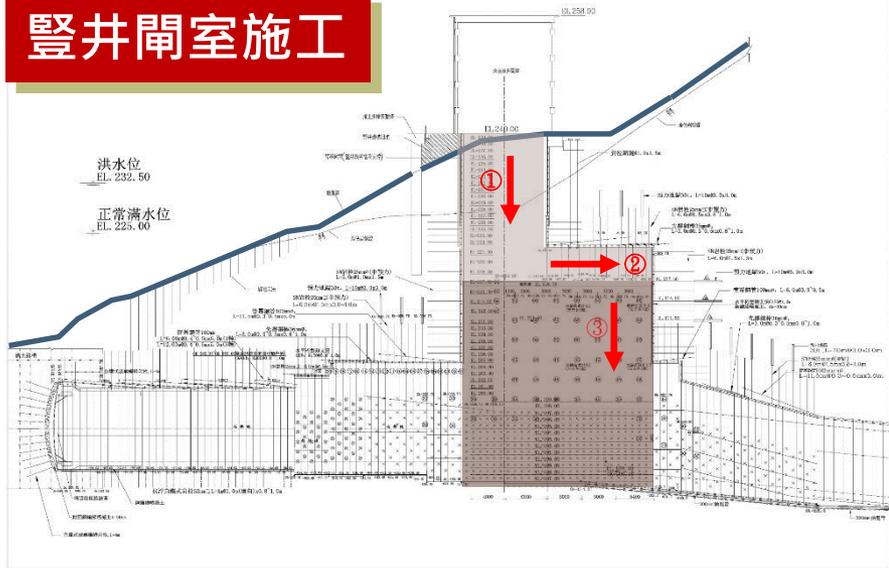
1. 象鼻鋼管基礎開挖
2. 水工機械運轉操作
3. 進水口隧道段注水
4. 封堵段及鏡面開挖
5. 破鏡後安裝象鼻鋼管
6. 鋼管外圍混凝土保護
7. 開挖處箱籠回填



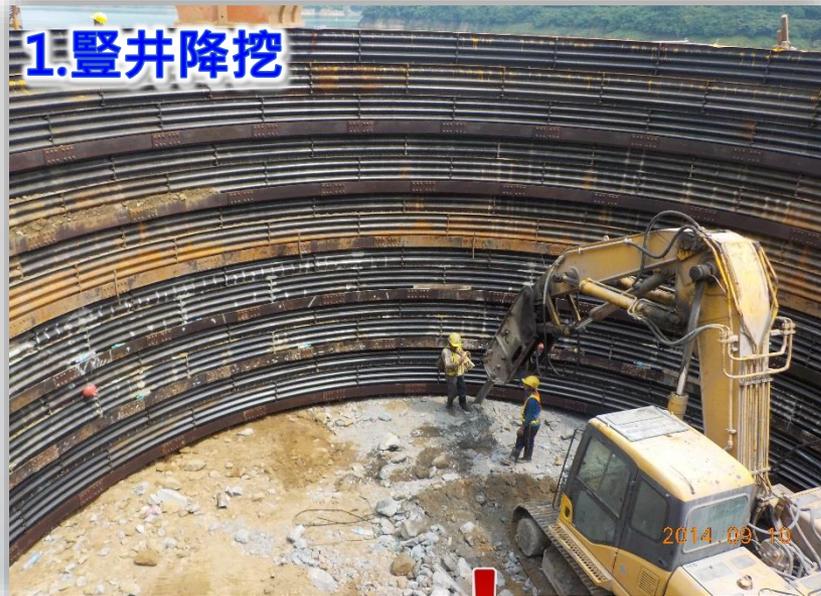
鏡面施工



豎井閘室施工



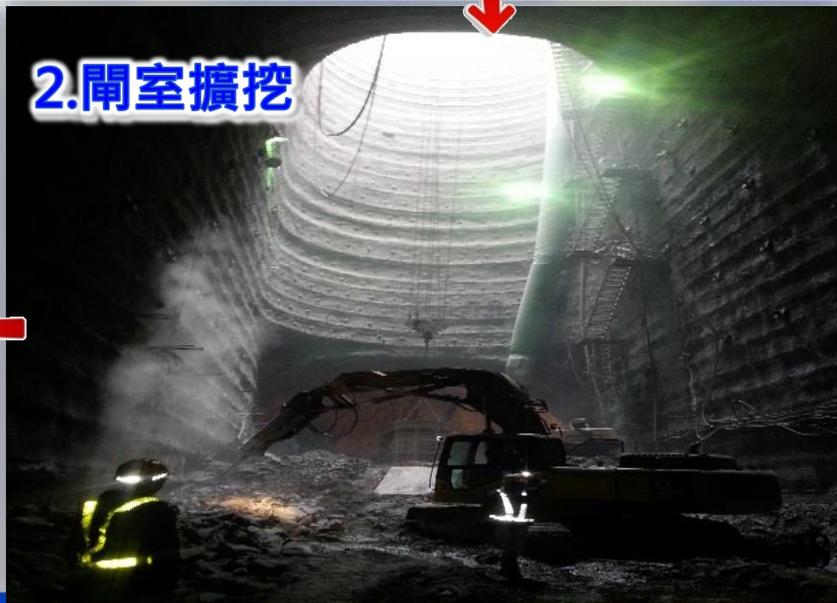
1. 豎井降挖



3. 閘室降挖



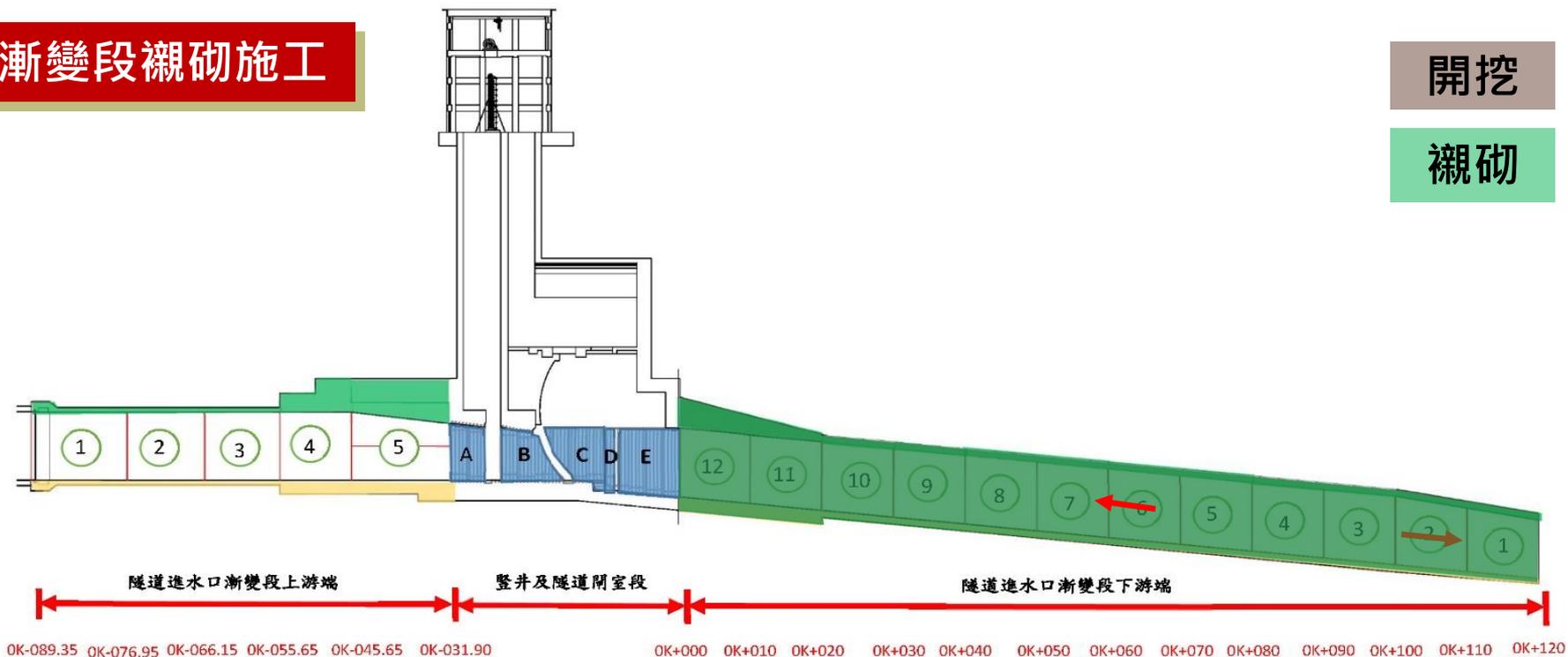
2. 閘室擴挖



漸變段襯砌施工

開挖

襯砌



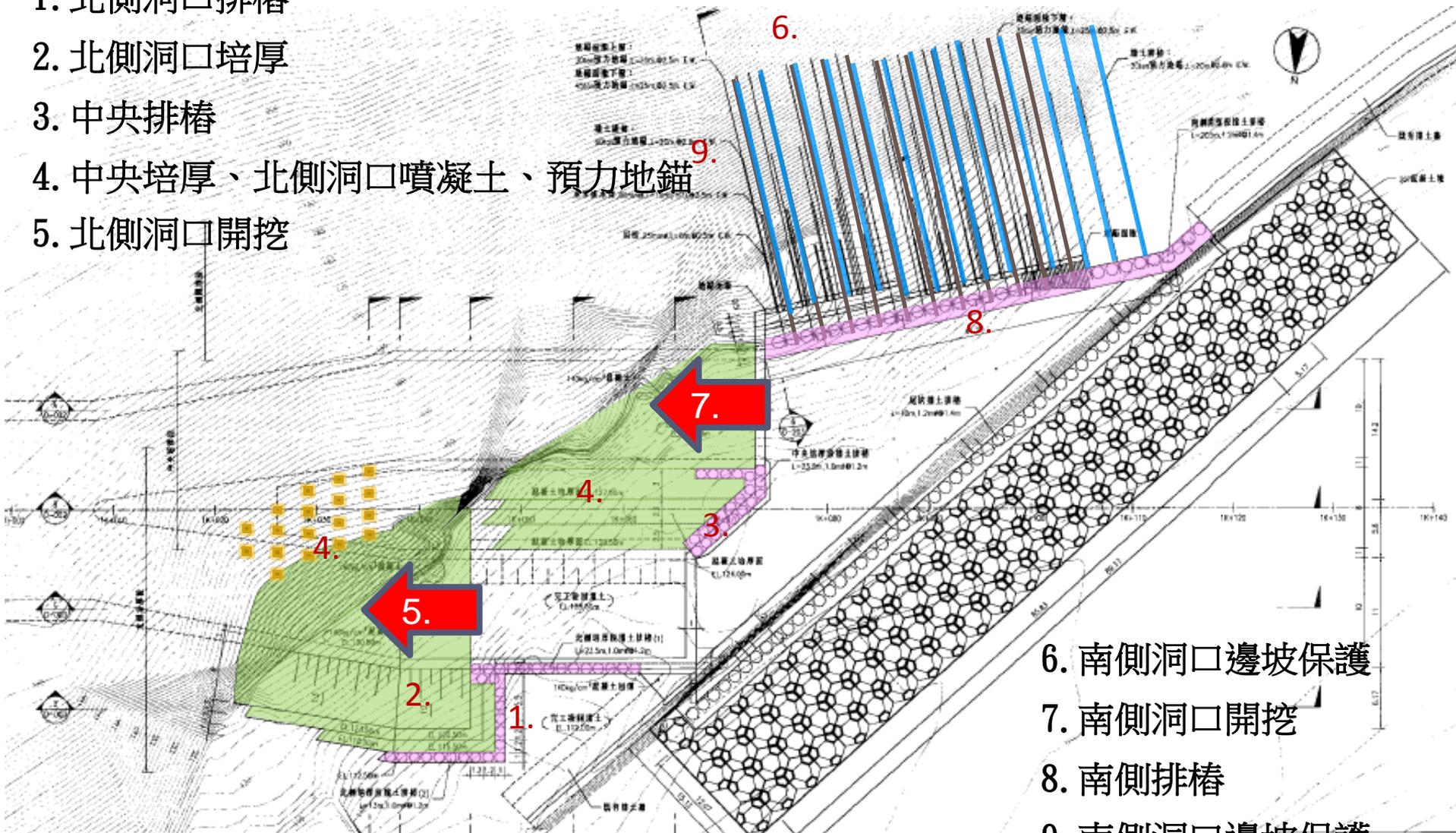
1. 隧道開挖

2. 襯砌鋼筋

3. 隧道襯砌

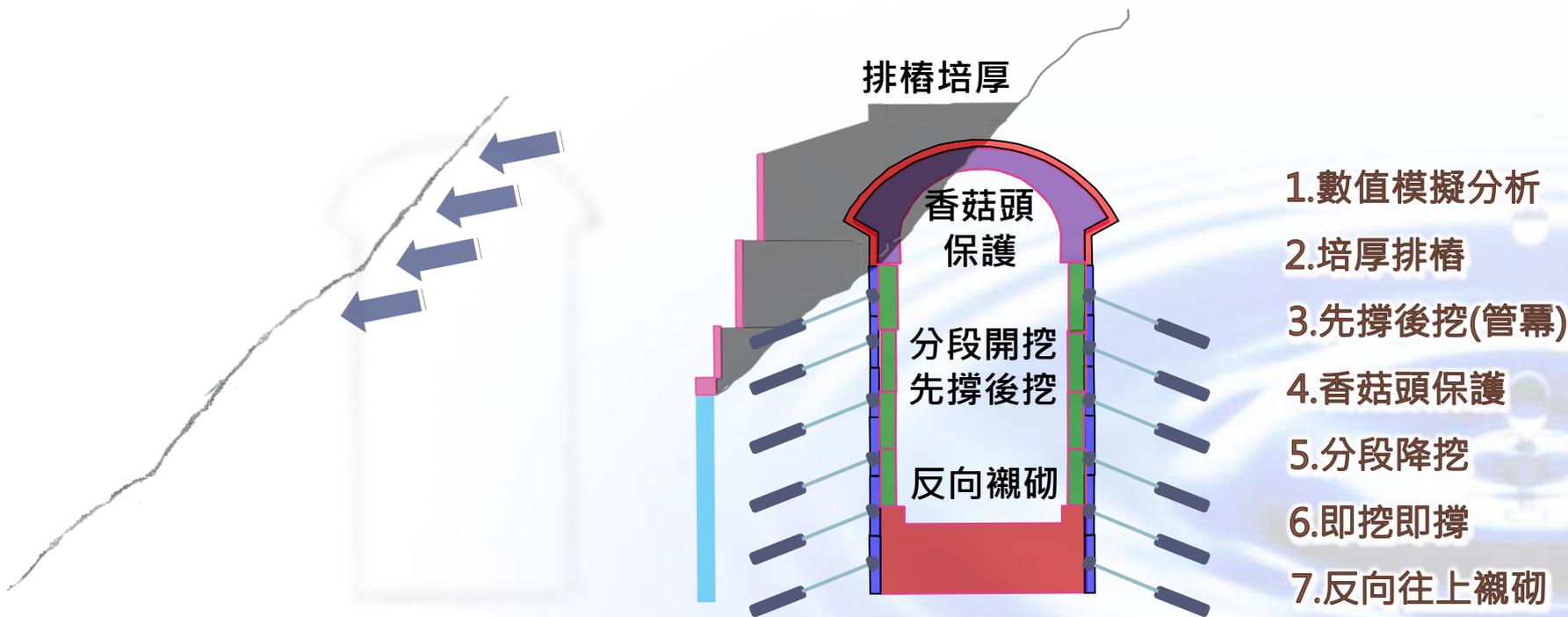


1. 北側洞口排樁
2. 北側洞口培厚
3. 中央排樁
4. 中央培厚、北側洞口噴凝土、預力地錨
5. 北側洞口開挖



6. 南側洞口邊坡保護
7. 南側洞口開挖
8. 南側排樁
9. 南側洞口邊坡保護

洞口偏壓 解決對策





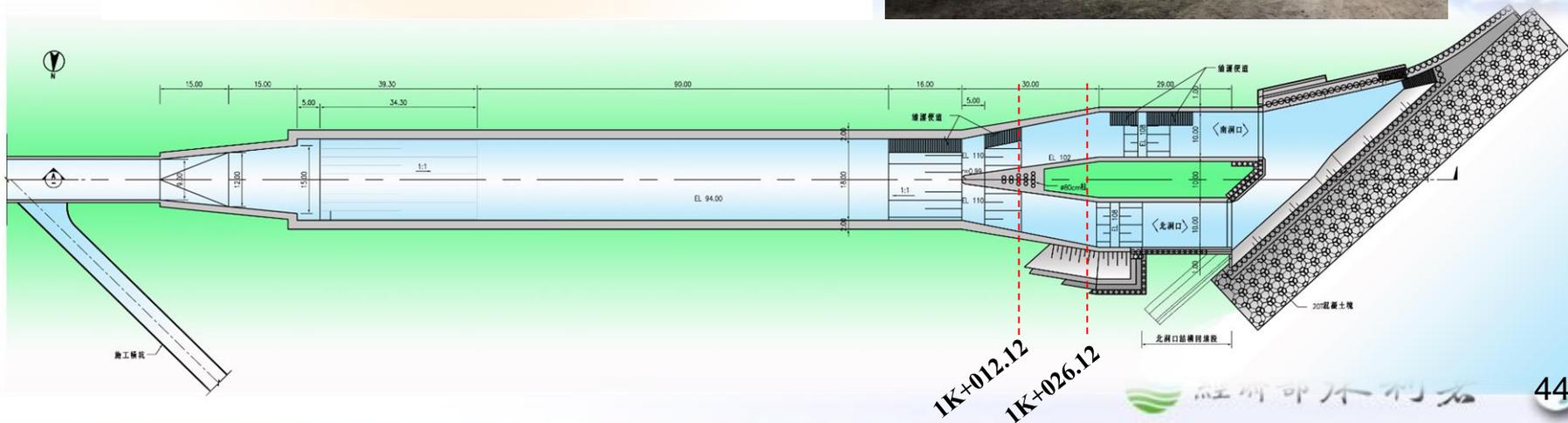
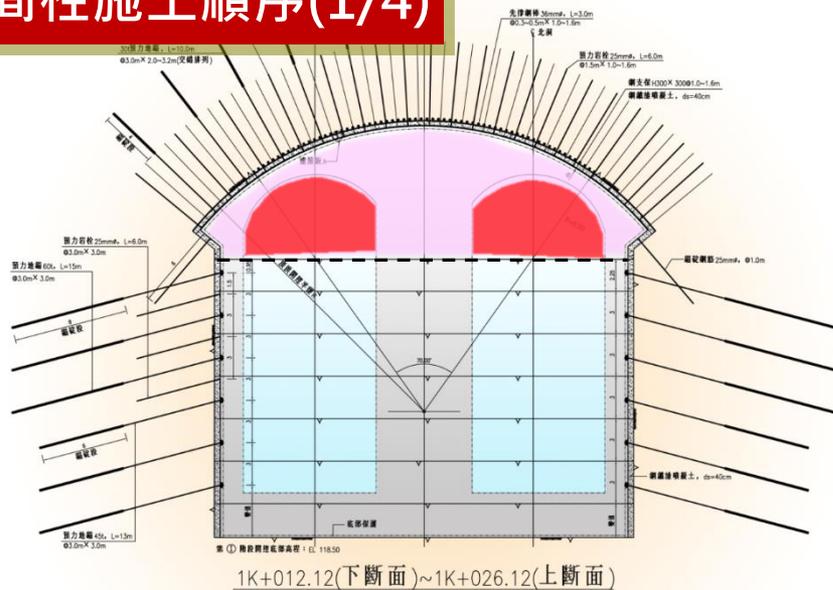
鄰近邊坡開挖 施工(前)



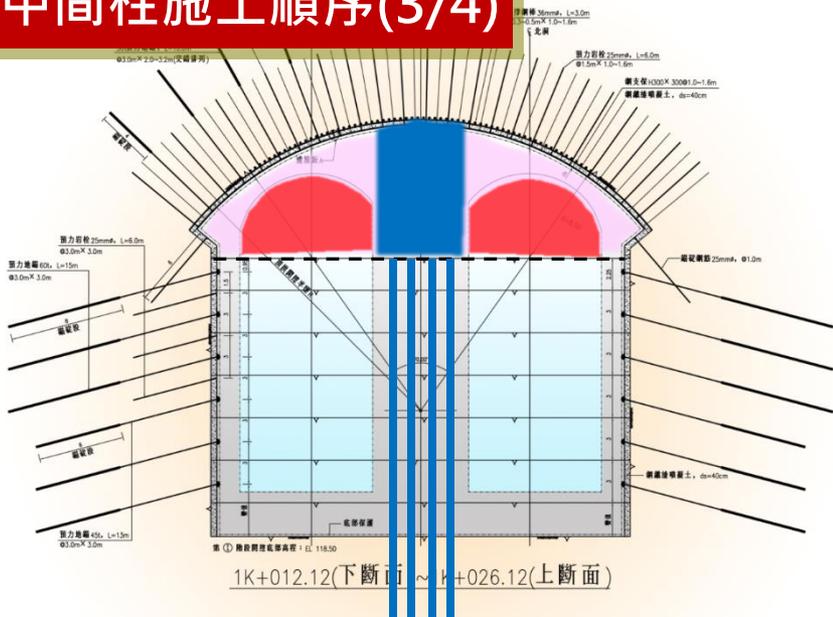
鄰近邊坡開挖 施工(後)



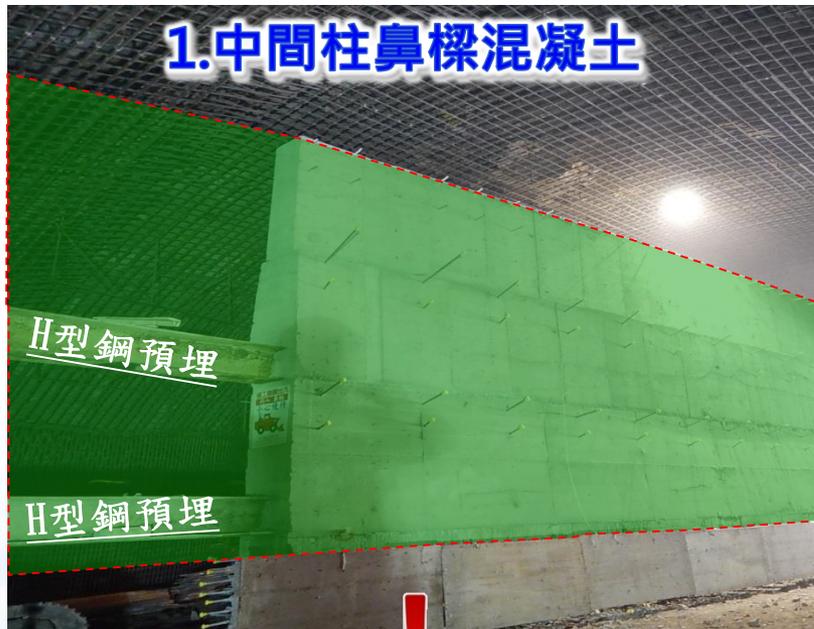
中間柱施工順序(1/4)



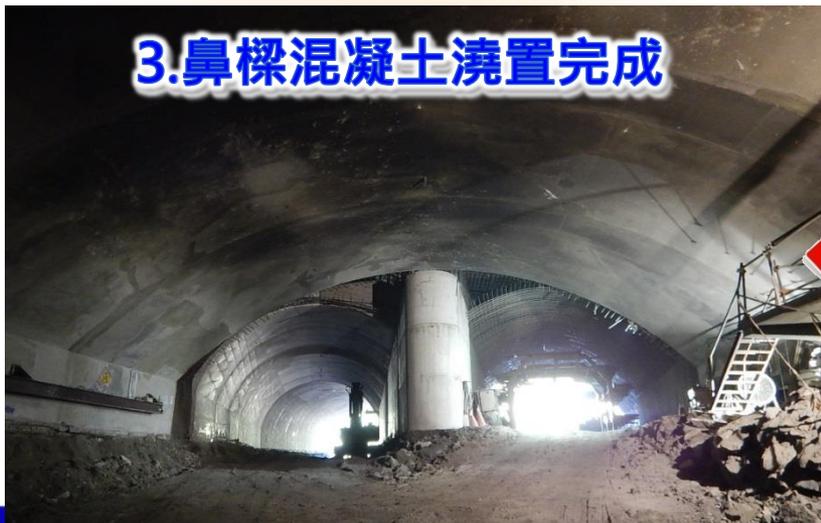
中間柱施工順序(3/4)



1.中間柱鼻樑混凝土



3.鼻樑混凝土澆置完成



2.鼻樑鋼筋綁紮及鋼模組立



中間柱穩定問題

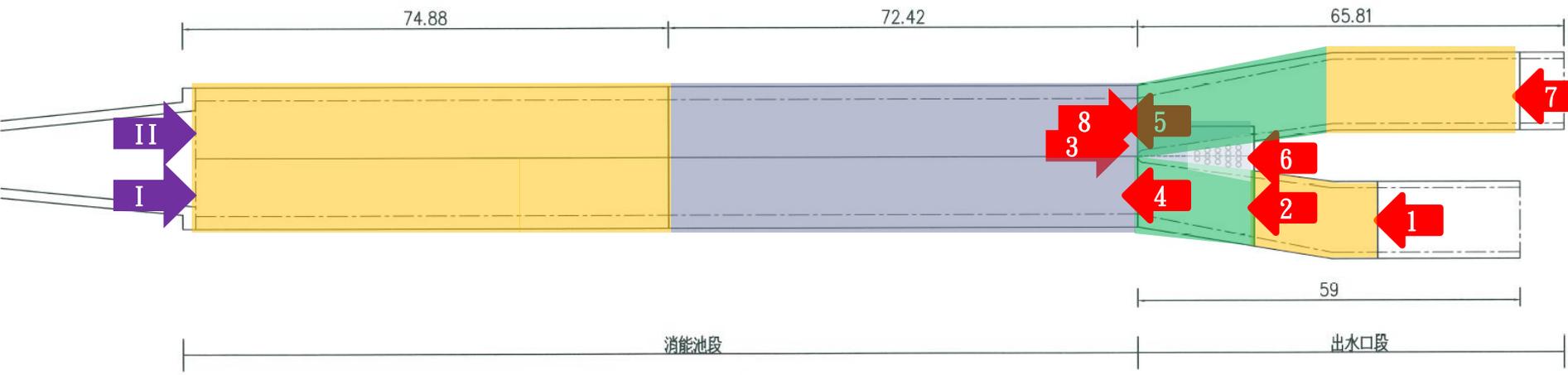


中間柱施工順序(4/4)

中間柱施工降挖配合對鎖岩栓及對鎖地錨施作，能有效提高中間柱圍束提高支撐力。

消能池施工

- 1. 北側出水口隧道
- 2. 北側出水口隧道
- 3. 漸變段擴挖
- 4. 消能池頂拱北側
- 5. 消能池頂拱南側
- 6. 漸變段中間柱排樁
- 7. 8. 南側出水口隧道



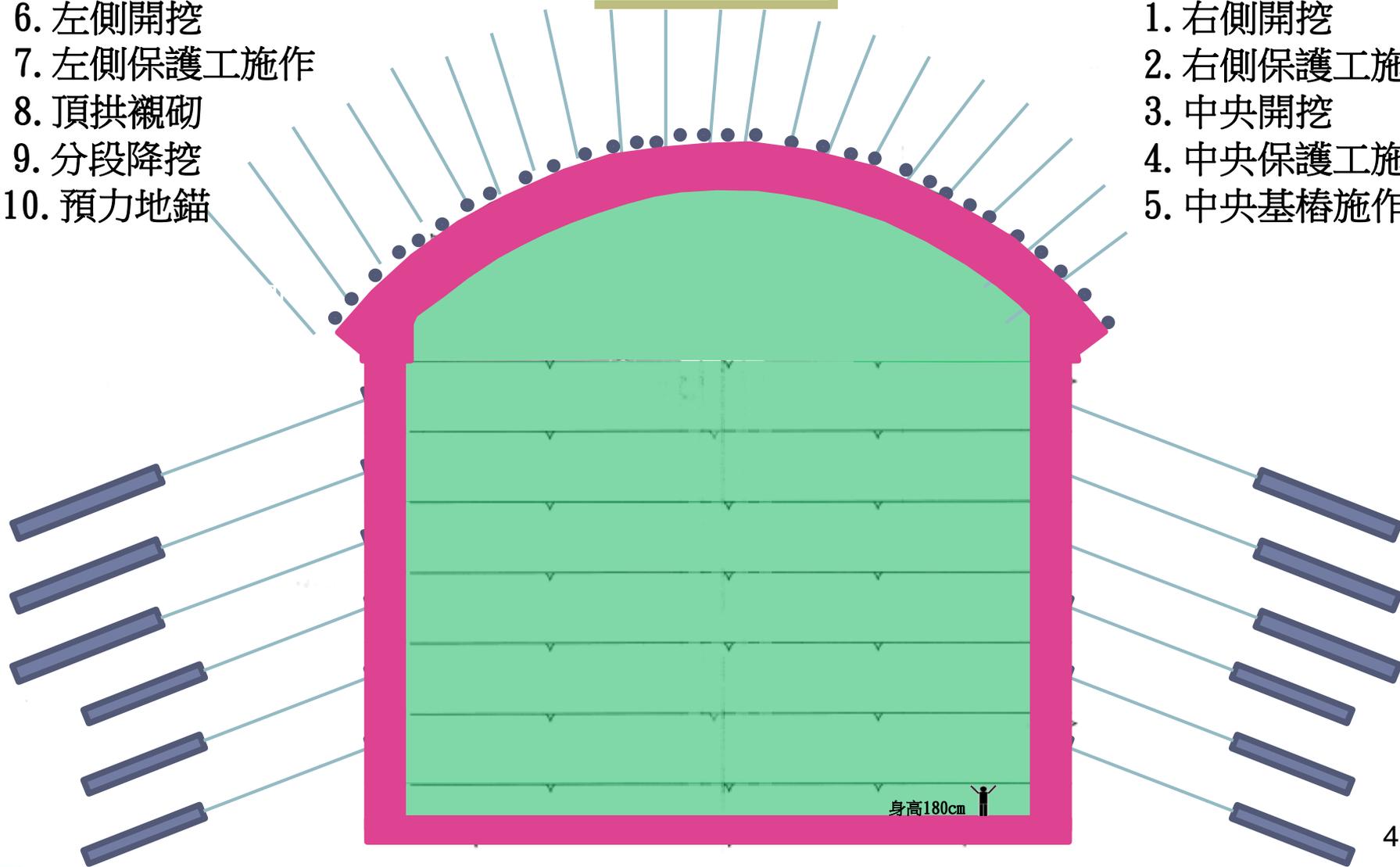
第二工作面

- I 消能池頂拱北側
- II 消能池頂拱南側

消能池施工

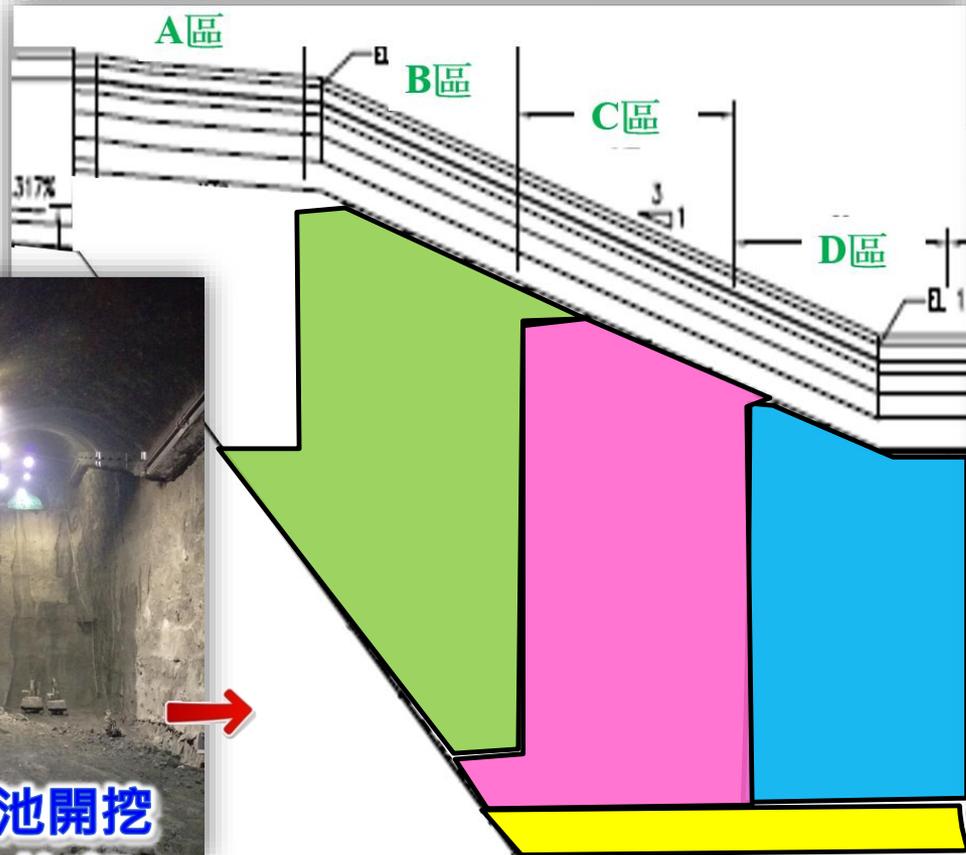
- 6. 左側開挖
- 7. 左側保護工施作
- 8. 頂拱襯砌
- 9. 分段降挖
- 10. 預力地錨

- 1. 右側開挖
- 2. 右側保護工施作
- 3. 中央開挖
- 4. 中央保護工施作
- 5. 中央基樁施作



消能池施工

※ 消能池頂部完成頂部開挖及襯砌後，進行超大坑室開挖(分段降挖)，再由底部向上施作側壁襯砌，最後與頂部襯砌閉合。



3.消能池側壁襯砌



2.消能池底部襯砌

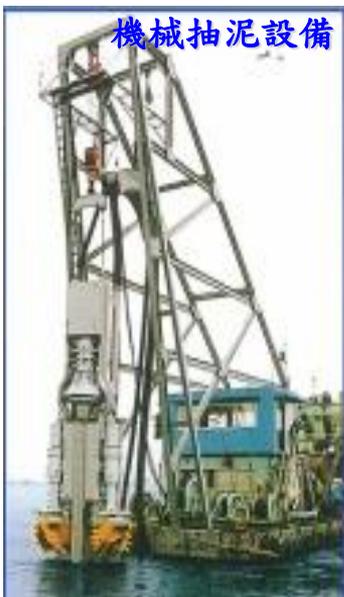


1.消能池開挖
(超大坑室)

伍

工程效益

● 可節省清淤成本



- 本工程將增加水庫防洪運轉之洩洪能力**995cms**，提昇水庫防洪能力，增進水庫安全。
- 完工後年平均排砂量約**104萬立方公尺**，以機械抽泥50年之年均化清淤單價約666元/立方公尺計算，每年可**節省約6.93億元**清淤成本。



●長期效益：

- 增加防洪能力
- 提供備援取水功能
- 降低水庫原水濁度
- 補充水庫下游河道砂源



陸

結語

- 曾文水庫為南部重要水源且無替代水源方案，惟淤積嚴重亟須**底孔水力排砂設施**以延長水庫壽命、提高供水穩定。
- 利用**颱風時期水力排砂**為現階段水庫清淤最經濟的方式，同時對於環境亦最為友善。
- 本工程進水口**象鼻引水鋼管工法**、出水口山體**超大坑室消能(含中間柱)設計**及整體流路之**抗磨工程**皆屬台灣**創新之設計或工法**，一般細設後發包恐無法因應現況，**統包最有利標**方式發包為一**適當之招標策略**。
- 本工程設計或工法之**創新不是目標**，**兼顧水庫安全及營運，安全完工才是目標**。
- 本工程新材料、新技術及新工法是**不斷地檢討及試驗的產物**，衍生出經驗及技術的提升，也是一種進步的象徵。

- 本工程以統包最有利標方式發包，工程團隊**嚴守施工安全與品質**，期望「如期、如質、如度」完工，再現曾文水庫風華。





感謝聆聽

謝

謝

各

位

活水、利水、治水、親水、保水

簡報者簡介

防淤隧道工程：張主任 世賢

地質技師



學歷：

- 國立成功大學礦業及石油工程學系學士
- 國立中正大學法律碩士

經歷：

- 聯合大地工程顧問公司 地質科長
- 經濟部水利署南水局 副工程司
- 經濟部水利署南水局 正工程司兼工務所主任