



中華民國大地工程學會
Taiwan Geotechnical Society

107年度大地工程技術獎

湖山水庫工程 簡報



經濟部水利署中區水資源局



中興工程顧問股份有限公司

民國108年3月9日



簡報內容

壹、工程背景

貳、關鍵課題與對策

- 一、兼顧耐震與環境保護之壩體設計
- 二、因應軟岩基礎之止水設施
- 三、滿足生態保育需求
- 四、周詳確實檢查與監測

參、結語



湖山水庫工程

1 工程背景

工程背景 計畫執行概要



- 90年1月30日行政院以台八十九37096號函核定實施
- 水利署中區水資源局(中水局)依權責**承辦整體工程**
- 中興承辦大壩細部規劃、附屬工程設計、施工諮詢、營運管理(安全檢查與監測)
- 92年中水局成立設計隊接棒大壩設計，並辦理施工監造

工作項目	年度																
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
規劃、設計階段																	
1. 施工導水路工程設計	—																
2. 大壩工程細部規劃	—	—	—	—	—	—											
3. 溢洪道工程設計	—	—															
4. 取出水工工程設計	—	—															
5. 庫區內外道路設計								—	—	—	—	—					
6. 集水區治理設計										—	—	—	—				
7. 周邊環境整理及綠美化設計													—	—	—	—	
施工階段																	
1. 大壩工程技術總顧問										—	—	—	—				
2. 設計工程施工諮詢					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
管理階段																	
1. 水庫使用前安全複核		—	—										—	—	—	—	—
2. 水庫監測及安全檢查														—	—	—	—

- 調蓄集集攔河堰共同引水工程之供水能力
- 提升雲林地區民生用水品質
- 減抽地下水、補注地下水，減緩地層下陷
- 試營運已供水7,400萬噸(107年9月)，平均日供水量達8萬噸

工程背景 計畫位置

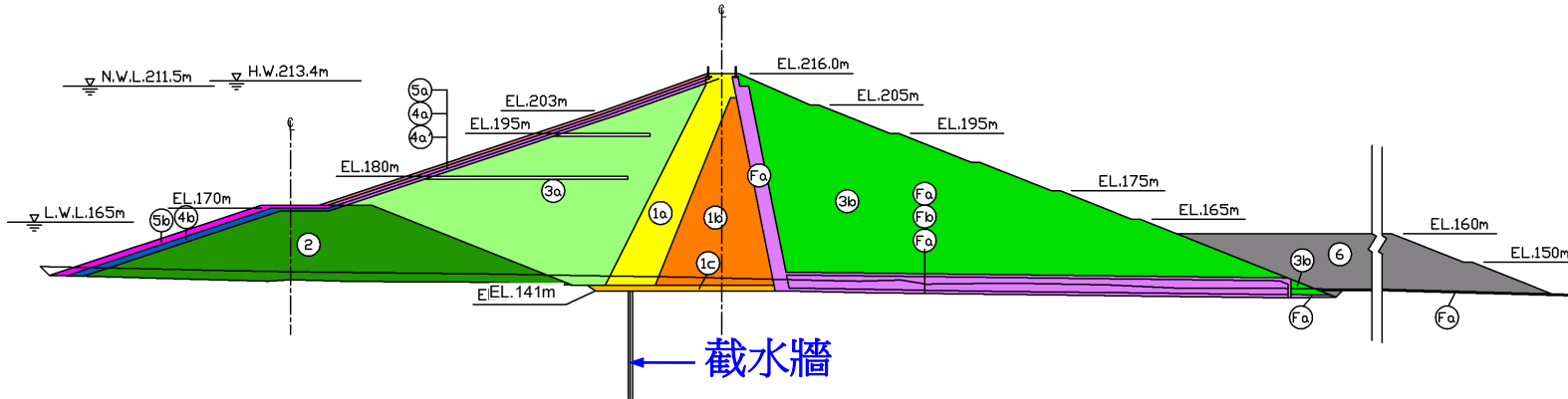


- 斗六市東南方約10 km，北港溪上游之梅林溪水系
- 水庫集水面積約6.5 km²，由清水溪建置桶頭攔河堰引水
- 水庫有效蓄水量 5,085 萬m³

工程背景 計畫內容



項目	壩高 (m)	壩軸長 (m)	壩體積 (m ³)	壩頂 (EL.m)	滿水位 (EL.m)	洪水位 (EL.m)
湖山主壩	75	578	5,542,858	216	211.5	213.4
湖山副壩	63	334	1,957,464			
湖南壩	75	609	5,297,035			
			1,521 次長	12,800,000 全國最大		

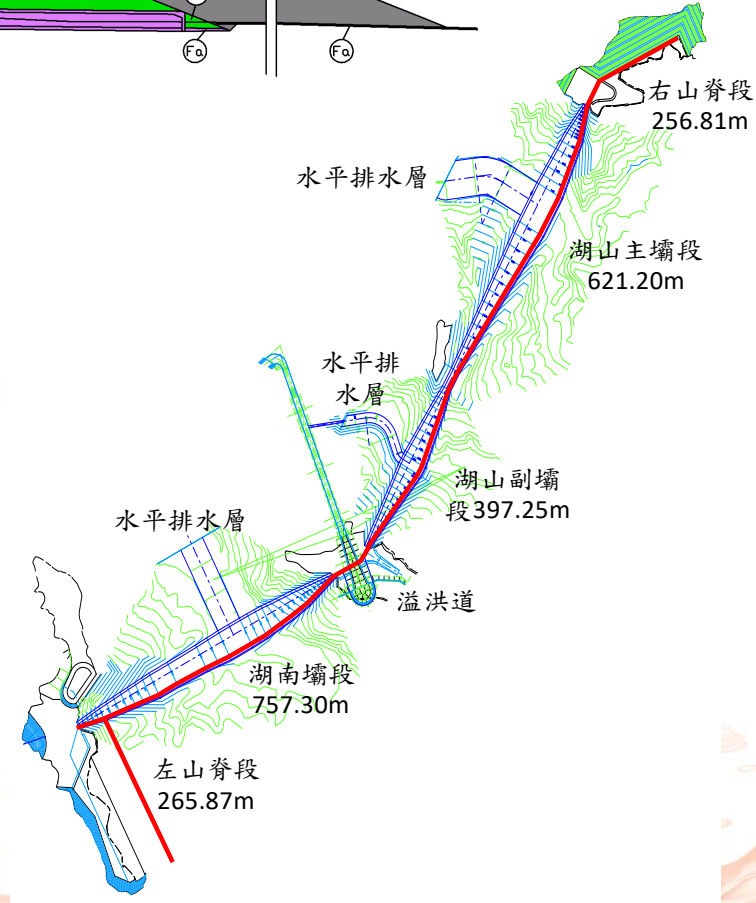


壩型

➤ 中央黏土心層分區型滾壓式土壩

壩基塑性混凝土截水牆(全國首創)

- 厚度1m
- 水平長度2,298 m
- 深度30m至55m
- 面積88,945m²



地層

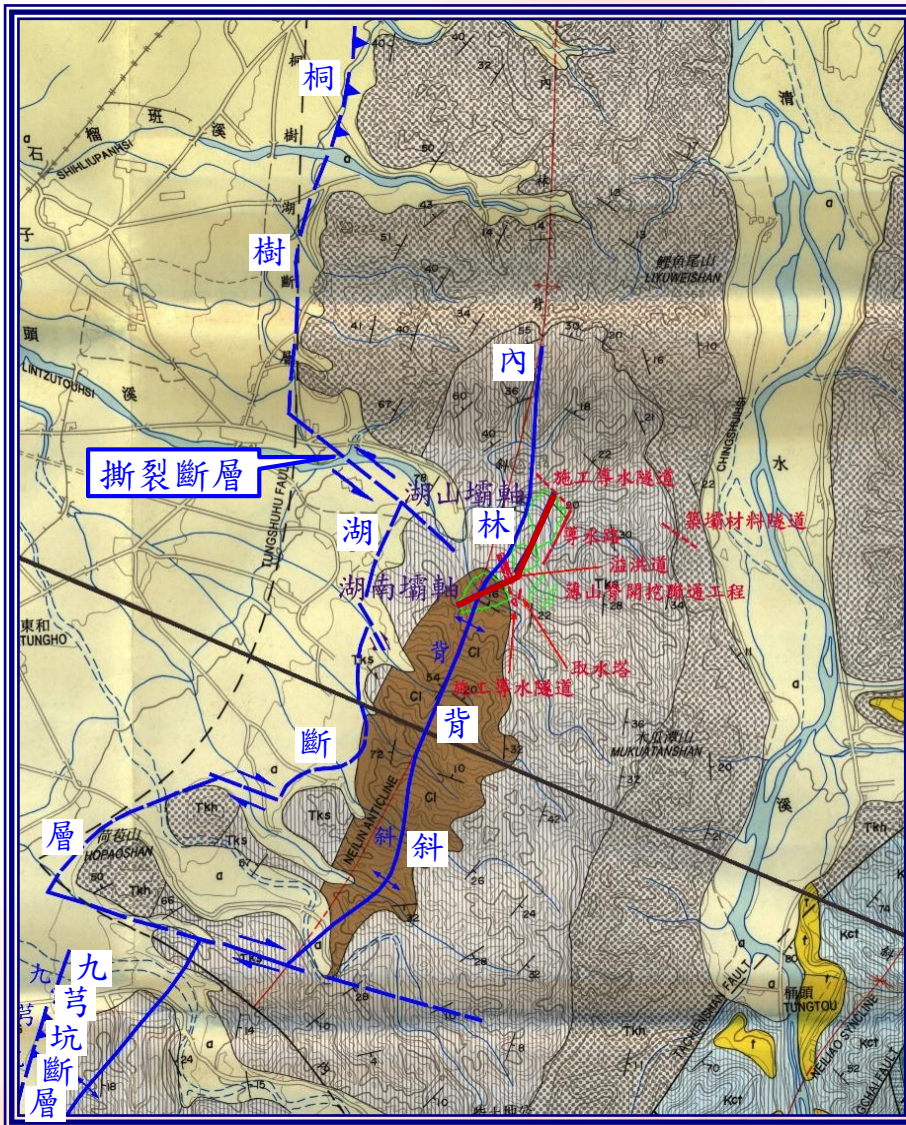
- 頭嵙山層香山相砂岩
- 卓蘭層

岩性

- 膠結鬆散泥質砂岩、泥岩及少量礫岩

主要地質構造

- 內林背斜軸穿越湖南壩左壩座
- 桐樹湖斷層於下游約2.5公里處通過
- 撕裂斷層指向壩址
- 桐樹湖斷層+九芎坑斷層(第一類活動)43公里





湖山水庫工程

2 關鍵課題與對策



關鍵課題 與對策

1

兼顧耐震與環保之壩體設計

充份掌握庫區材料分布與特性

2

因應軟岩基礎之止水設施

塑性混凝土截水牆

3

滿足生態保育需求

監測取代工程，假洞取代開挖

4

周詳確實檢查與監測

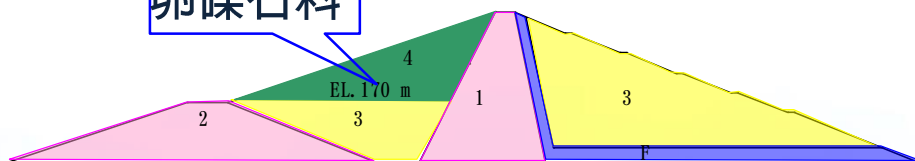
關心、用心、細心

近斷層強地動(全國水庫最高)

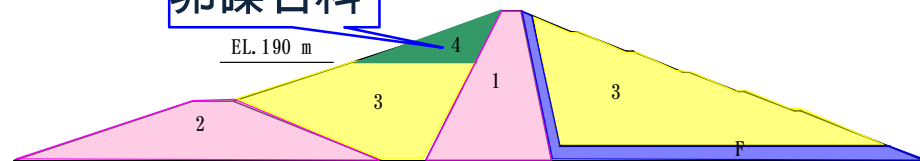
設計地震基準	設計PGA值		設計地震基準	設計PGA值	
	水平向	垂直向		水平向	垂直向
MDE	0.7g	0.47g	DBE	0.59g	0.39g
MCE	0.7g	0.47g	OBE	0.52g	0.34g

壩體耐震設計對策

卵礫石料



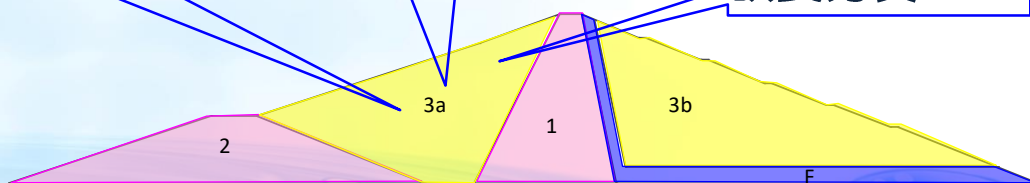
卵礫石料



標準夯實98%

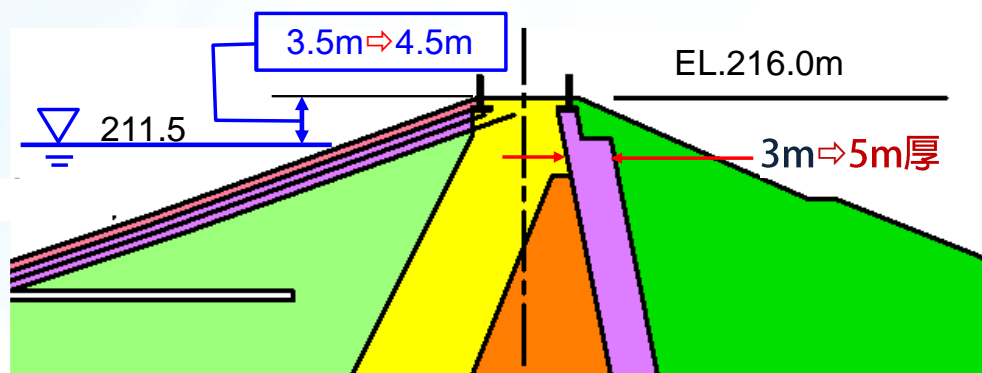
標準夯實100% 全國首例

改良夯實93%



壩體耐震設計對策

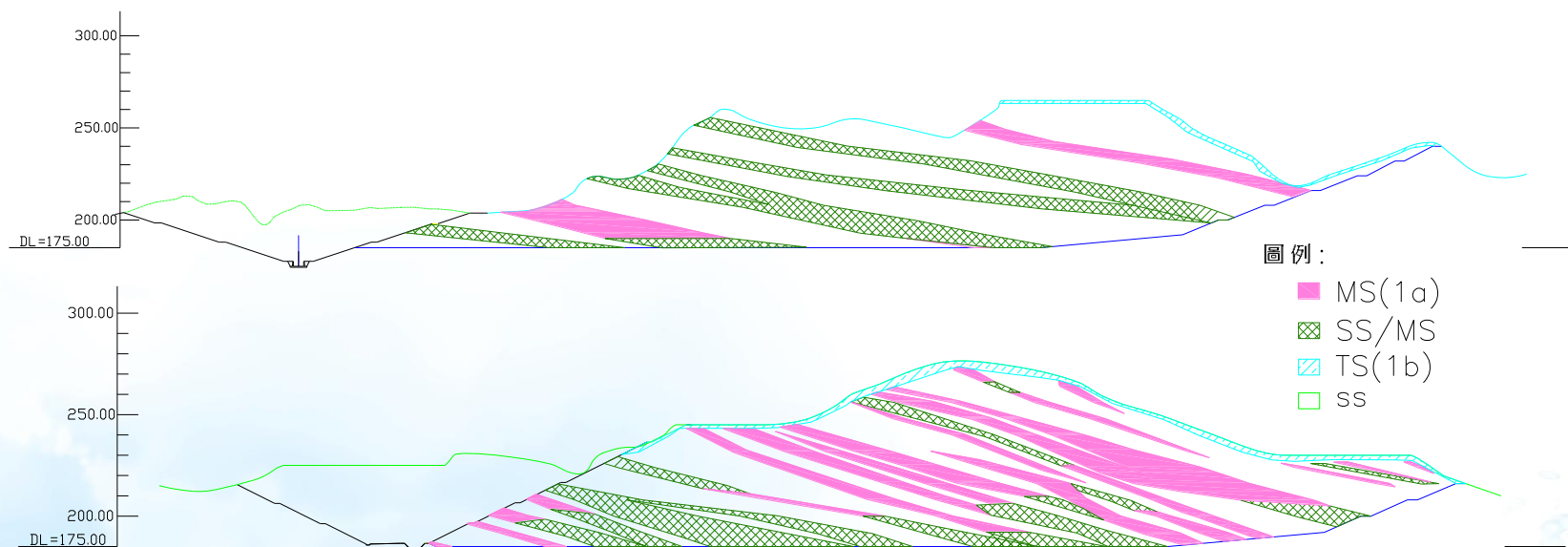
- 壩址地變： $H=2m$
 $V=1m$



壩名	壩高	狀況描述	因應對策
Coyote 美國(1939)	38m	斷層 穿越壩址 ，可能錯動量： $H=6m$ 、 $V=1m$ 、張裂=約0.3m	加厚心牆，壩頂超高7m，心牆上下游兩側鋪設砂礫石排水層，於壩體發生張裂時，砂礫石層可減少進入心層之水量
Cedar Springs 美國(1971)	66m	次生斷層 穿越壩址	心牆、砂礫石過渡區及壩頂加寬。斷層通過之處，約為正常壩頂寬度兩倍
Los Angeles 美國(1977)	40m	次生斷層 穿越壩址 ，可能錯動量： $H=1.0m$ ， $V=2m$ 、張裂=約0.5m	設計壩體可承受1.4m位移量，上、下游面坡度加緩 $1V:3.5H$ ； $1V:3H$
Matahina 紐西蘭(1999)	80m	左壩基活動斷層 可能錯動量： $H=2.7m$ 、 $V=1.3m$	心層下游增設濾層及排水層，最小水平厚度為5m，壩頂加高3m，壩頂加寬為40m
Seven Oaks 美國(2000)	168m	壩址距兩側主斷層分別為1及2km	設計壩體可承受1.2m位移量

庫區材料選挖取得

- 補充調查，**掌握泥岩分布**
- 由頂部水平分層向下逐層開採，**依種類選挖利用**：
1b(TS)⇒1a(MS)⇒3a(SS)⇒3b



補充調查成果

 施工成果

● 施工品質檢驗(以湖南壩為例)

- 上游殼層夯實度 D_{\min} 100% , D_{ave} 101% , 容許偏差2%
(國內土石壩首例)
- 含水量 OMC-2.5%~OMC+2.0%

填築區	壓實度(%)					含水量差值($W_o - W_f$)(%)				
	規定值	最大值	最小值	平均值	標準差	規定值	最大值	最小值	平均值	標準差
1a	≥ 98	106.9	98.0	102.03	1.65	-2.5~1.5	1.5	-2.5	-0.27	0.80
1b	≥ 98	107.6	98.1	101.73	1.57	-2.5~1.5	1.6	-2.5	-0.32	0.85
1c	≥ 98	103.4	98.0	100.52	1.22	-3.0~0	0.0	-2.8	-1.08	0.66
2	≥ 100	107.3	100.0	101.96	1.28	-2.0~2.5	4.7	-2.7	0.79	1.26
3a	≥ 100	108.3	100.0	102.23	1.29	-2.0~2.5	2.5	-2.0	0.41	0.87
3b	≥ 98	106.0	98.0	101.58	1.43	-2.0~2.5	2.5	-2.0	0.40	0.87
6	≥ 95	107.7	95.1	100.68	2.15	-3.0~3.0	2.9	-3.0	0.58	1.27

● 施工經驗

- 施工含水量偏乾側，夯實能量略高於標準夯實

施工成果複核

- 採取**不擾動土塊**辦理試驗
- 材料參數與設計階段採用**大致相近**
- 安定分析與動態分析：填築壩體**符合耐震要求**

填築體材料參數

Zone	γ_m (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	試驗 CID、CIU				試驗 UUU	
			總應力參數		有效應力參數			
			c(kN/m ²)	ϕ (°)	c'(kN/m ²)	ϕ' (°)	c(kN/m ²)	ϕ (°)
1a	21.38	21.86	30.44	29.3	20.39	35.2	44.18	27.8
1b	20.09	21.21	44.10	25.3	8.82	32.1	48.02	39.0
3a	20.97	21.73	60.07	34.3	31.43	32.6	64.68	34.6
2&3b	20.27	21.43	67.46	31.3	26.30	35.0	61.32	28.5



設計階段材料參數

壩體分區	濕單位重 γ_t (t/m ³)	飽和單位重 γ_{sat} (t/m ³)	UU 強度參數		總應力強度參數		有效應力強度參數	
			C (kg/cm ²)	ϕ (degree)	C (kg/cm ²)	ϕ (degree)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (degree)
1a	2.15	2.21	1.45	20.7	1.04	19.4	0.54	25.7
1b	2.10	2.14	0.39	24.3	0.66	15.2	0.28	23.9
3a	2.05	2.17	0.32	28.0	1.27	18.0	0.05	32.1
3b	2.09	2.17	0.32	28.0	1.27	18.0	0.05	32.1



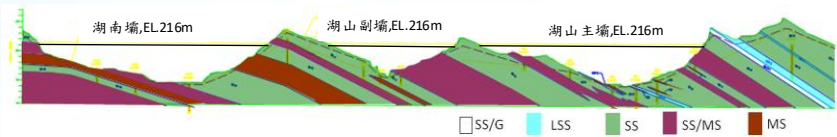
地層不利因素

➤ 弱面位態

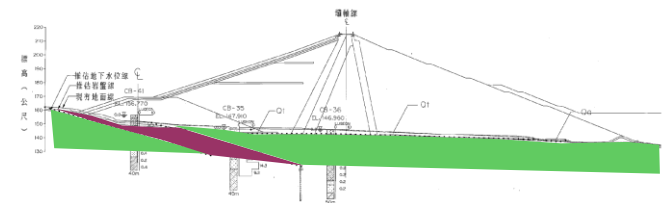
- ✓ 岩層、節理之走向垂直於壩軸
- ✓ 鬆軟砂層及砂泥層介面及不連續面為潛在滲漏管道

➤ 地層變化

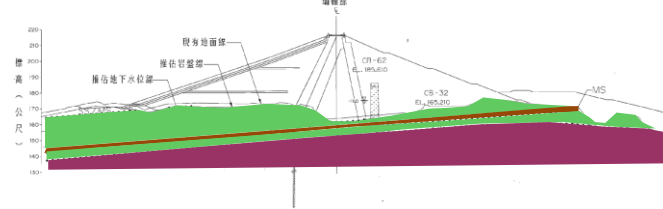
- ✓ 三座壩壩長近2公里，地層不均勻性及不確定性高



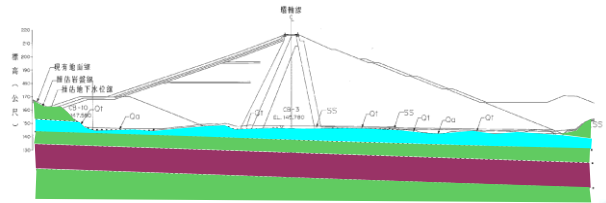
壩軸地質縱剖面



湖南壩地質橫剖面



湖山副壩地質橫剖面

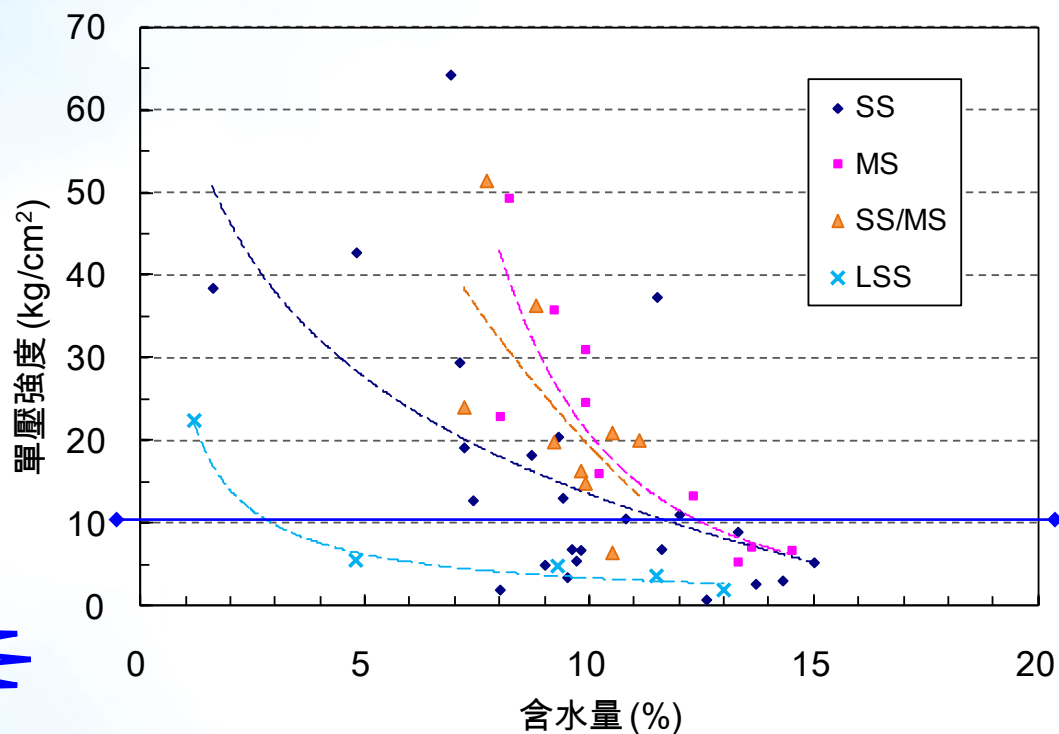


湖山主壩地質橫剖面

灌漿試驗

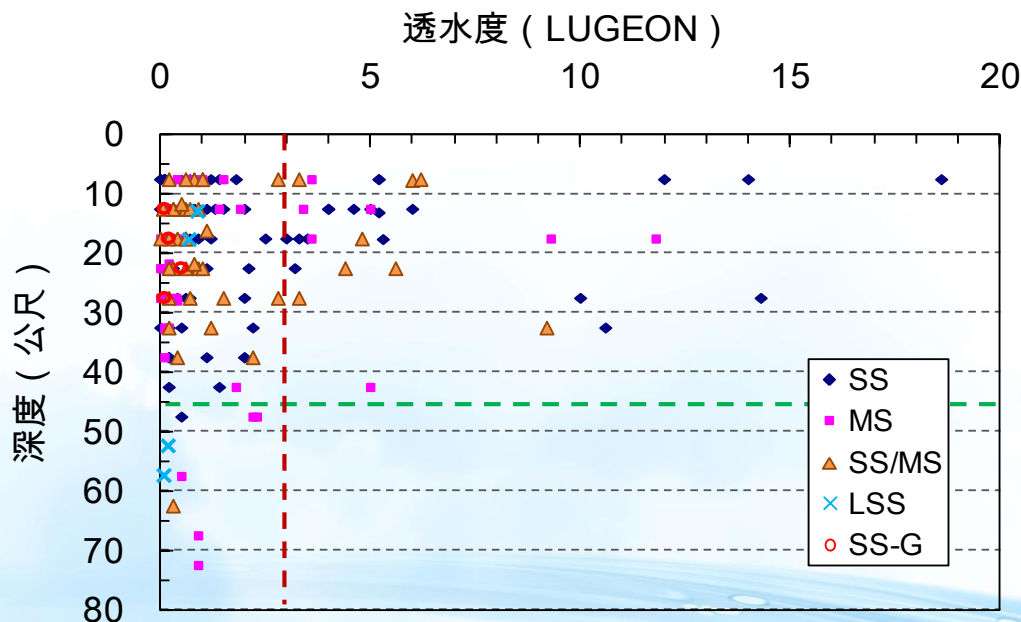
- 須多次重覆施灌
- 水泥、細水泥及化學藥液等，低壓力下注入成效差
- 提高壓力，因岩體強度低，易水力劈裂
- 傳統隔幕灌漿

無法滿足工程需求



基礎應作適當截水處理

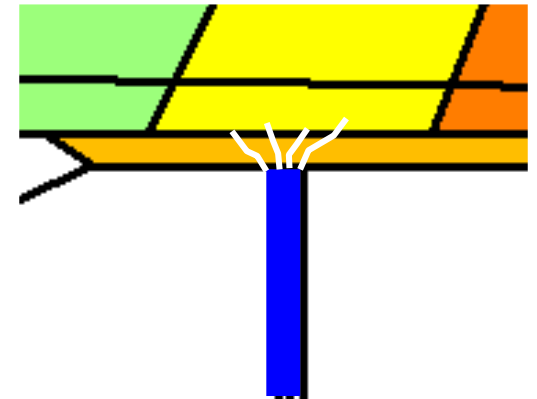
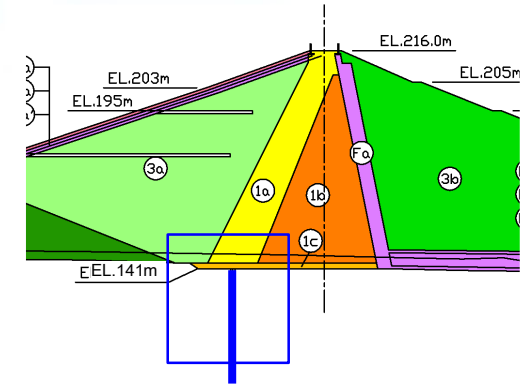
- 岩層、節理之走向垂直於壩軸。壩長近2公里，地層不均勻性及不確定性高
- 整體岩體透水性(Lugeon)雖不高，但局部存在一定透水性
- 鬆軟砂層等抗沖蝕能力低地層，具管湧潛能



- 砂岩： ≤ 29 Lugeon (219組)
- 泥岩： ≤ 11 Lugeon (90組)
- 砂泥岩互層： ≤ 13 Lugeon (151組)
- 鬆散砂層： < 3 Lugeon (4組)
- 砂夾礫石： < 3 Lugeon (4組)

● 塑性混凝土之選用

- 低透水性
- 可與軟岩基礎變形性達到一致性
- 塑性混凝土標準
 - ✓ k值小於 5×10^{-7} cm/sec
 - ✓ 變形模數為 $18,000 \sim 36,000$ kg/cm²
 - ✓ 單軸壓縮強度 $14 \sim 25$ kg/cm²
 - ✓ 坍度 $18 \sim 23$ cm



● 配比設計

- 初次配比設計合格率偏低
- 鈉系皂土活性高，選用活性較低之鈣系皂土

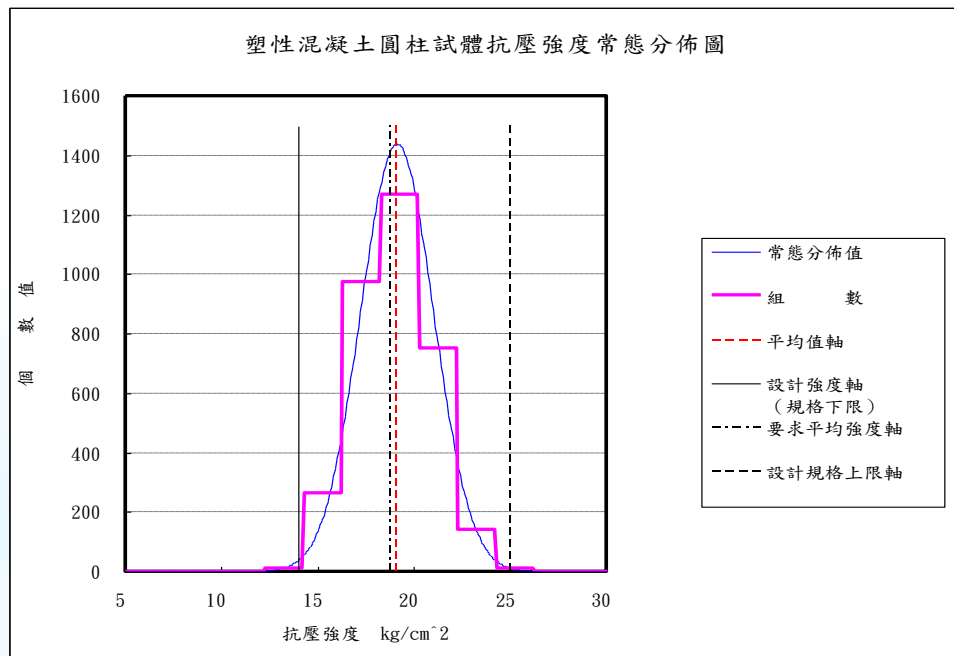
施工階段建置專用拌合廠，確定生產配比

 單位：kg/m³

項目	水泥	皂土	水	粗骨材	細骨材
設計配比	190	40	390	215	1230
廠商實作配比	170	30	385	350	1100

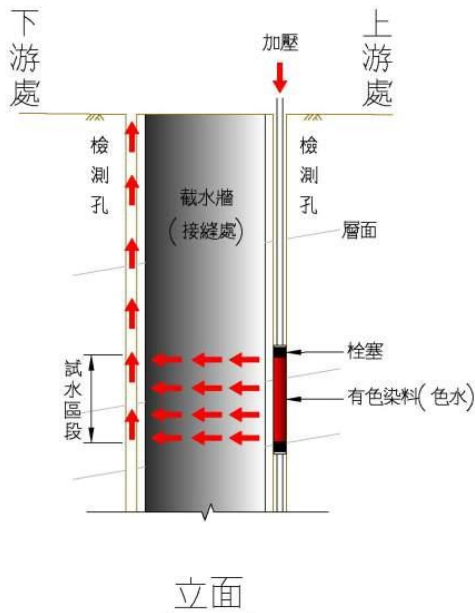
施工品質檢驗

- 原物料品質檢驗
- 硬固塑性混凝土品質檢驗

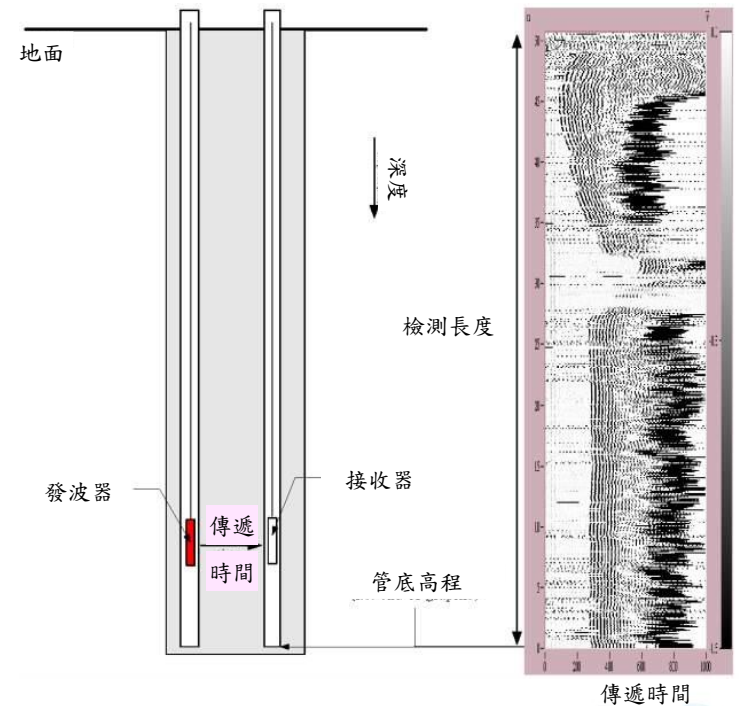
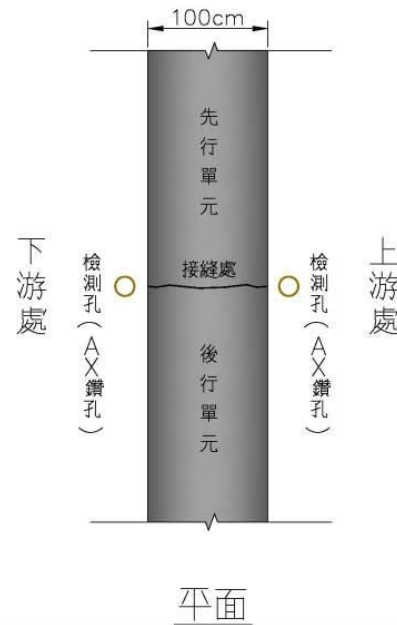


施工品質檢驗

➤ 截水牆成品檢驗



截水牆單元接縫水密性



完整性檢驗

● 減少水泥使用量，減少CO₂排放約12,000噸
(約31座大安森林公園一年碳吸附量)

● 監測顯示地下水沿截水牆繞滲

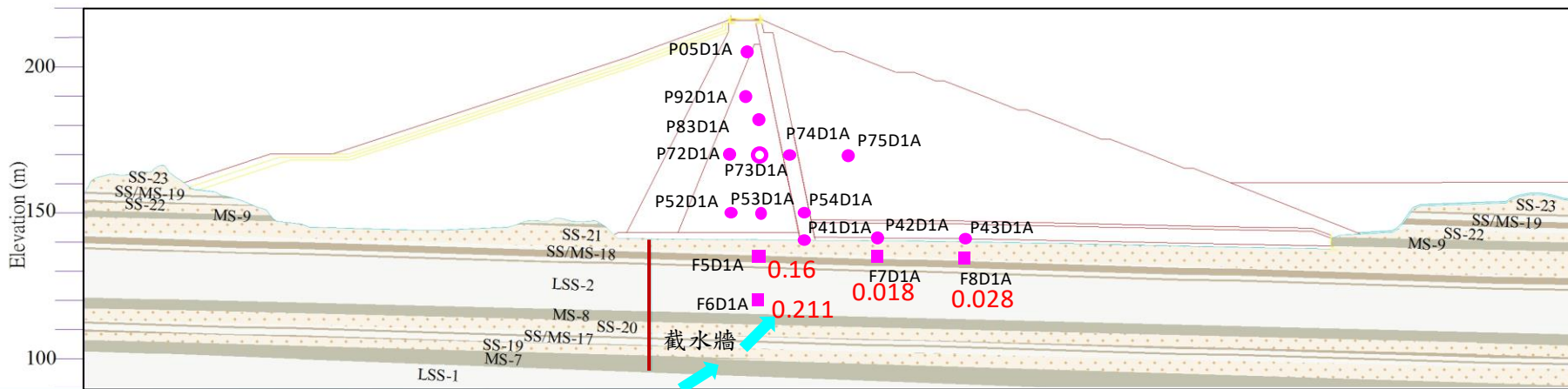
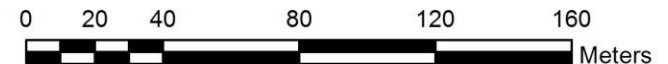


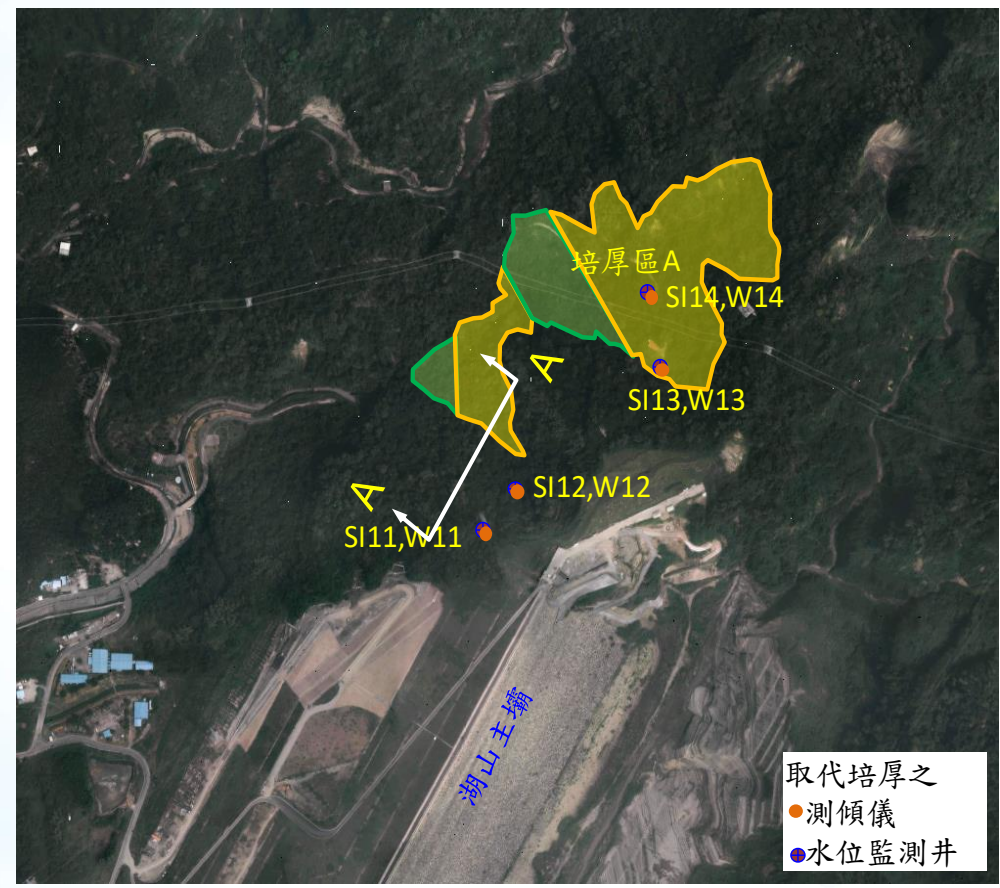
圖 例

- SS 砂岩
- LSS 疏鬆砂岩
- SS/MS 砂、泥岩互層
- MS 泥岩

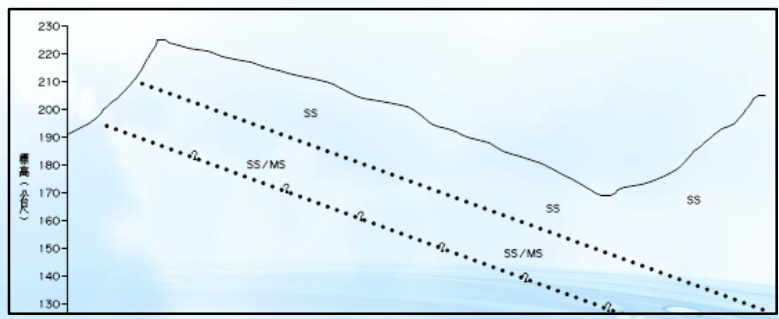


以監測取代右山脊順向坡之壓腳培厚

- 生態豐富之培厚區A變更為**自然生態保留及復育區**，供生物棲地營造與復育
- 壓腳培厚為**穩定順向坡**及**去化餘土**
- 設置**測傾管**及**水位井**監測邊坡穩定性

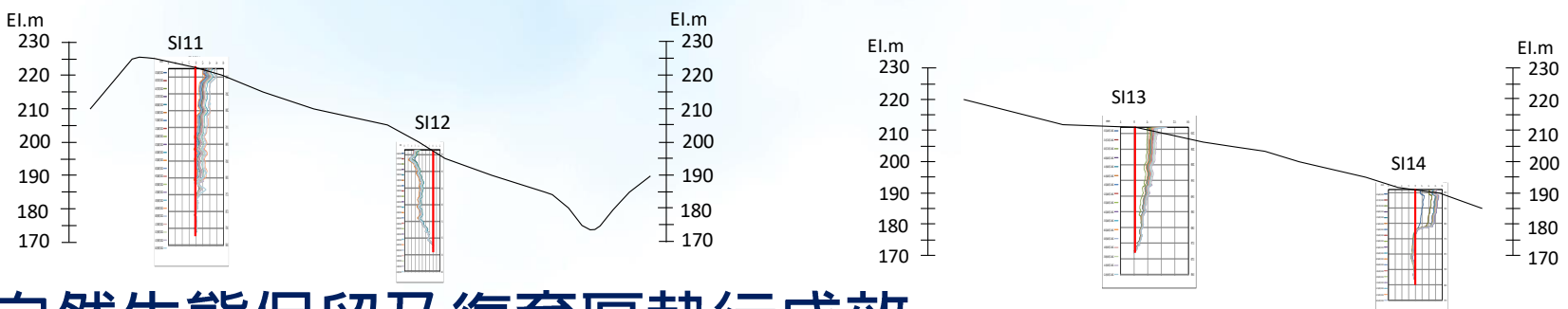


取代培厚之
● 測傾儀
● 水位監測井



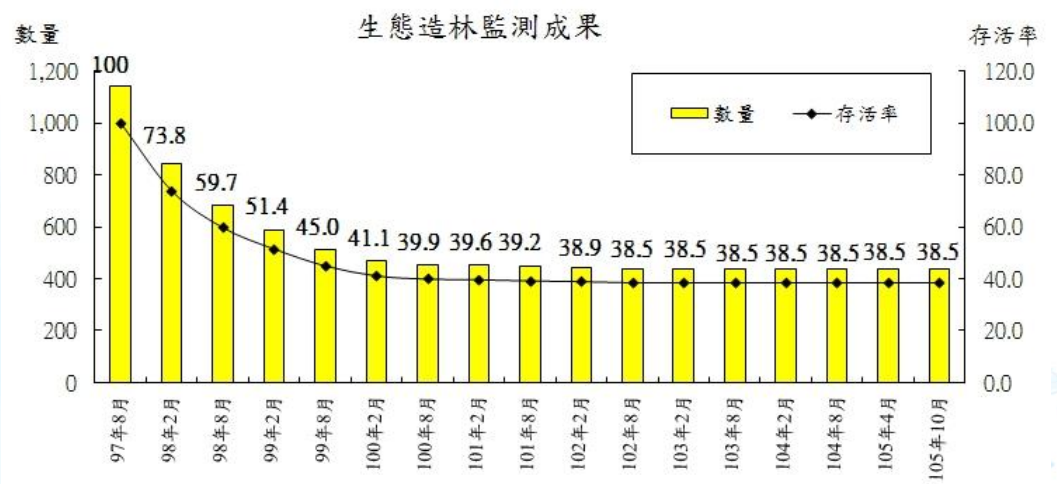
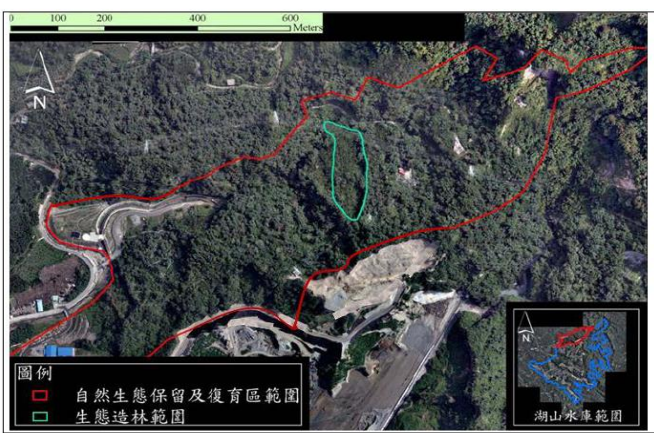
A-A剖面

截至目前監測成果，右山脊順向坡尚屬穩定



自然生態保留及復育區執行成效

➤ 生態造林



湖山導水隧道出口以假隧道進洞，保護隧道洞口稀有圓葉布勒德藤植物

圓葉布勒德藤



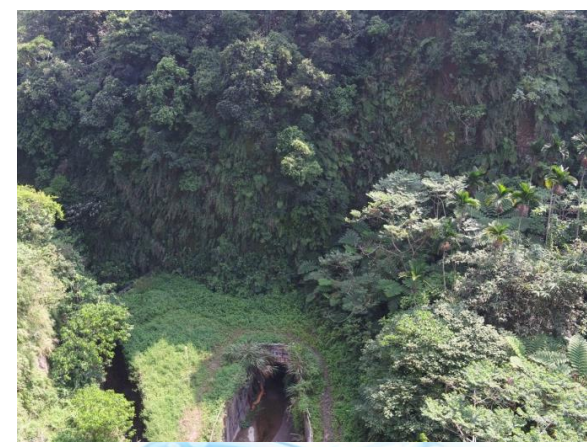
圓葉布勒德藤開花



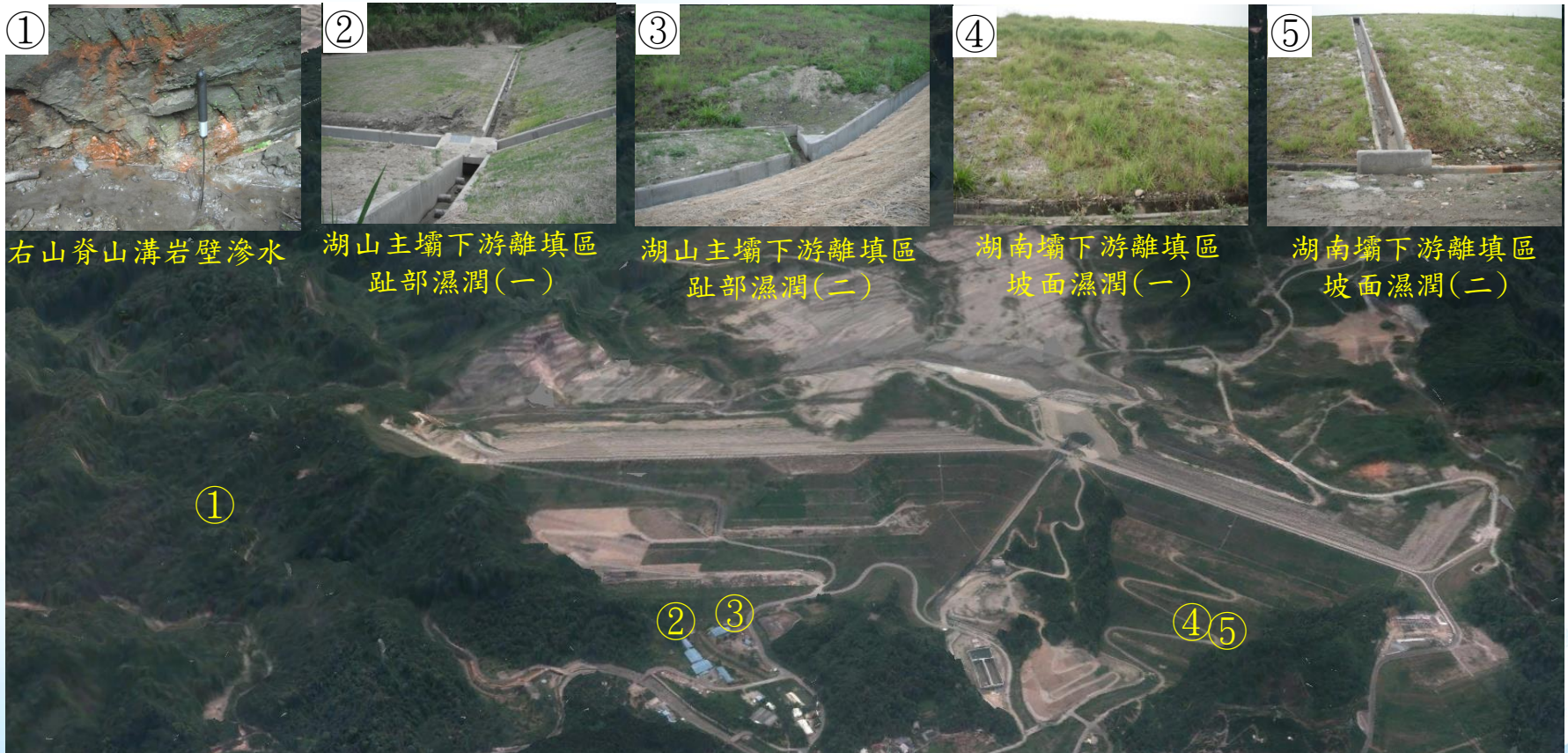
導水隧道出口假洞



導水隧道出口現況

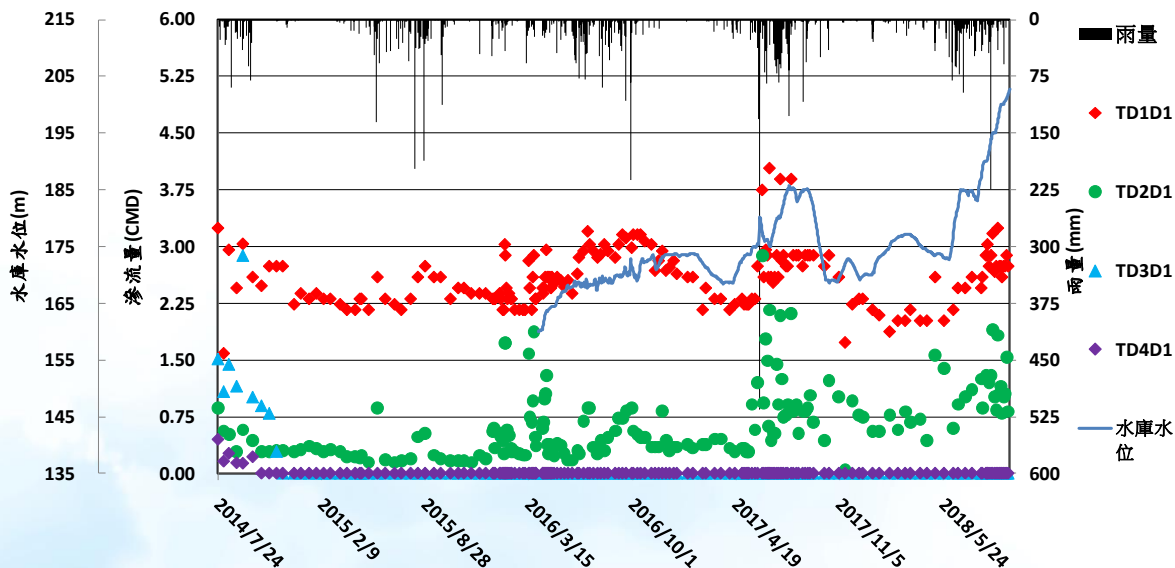


- 異常濕潤或滲水為水庫安全重要警訊
- 蓄升前掌握異常濕潤或滲水，減少營運困擾



湖山主壩下游雜填區趾部濕潤

- 設置盲溝導排濕潤水並監測出水量
- 濕潤水非為庫水，係雨水及基礎岩盤地下水
- 建立背景值，持續監測掌握水庫安全

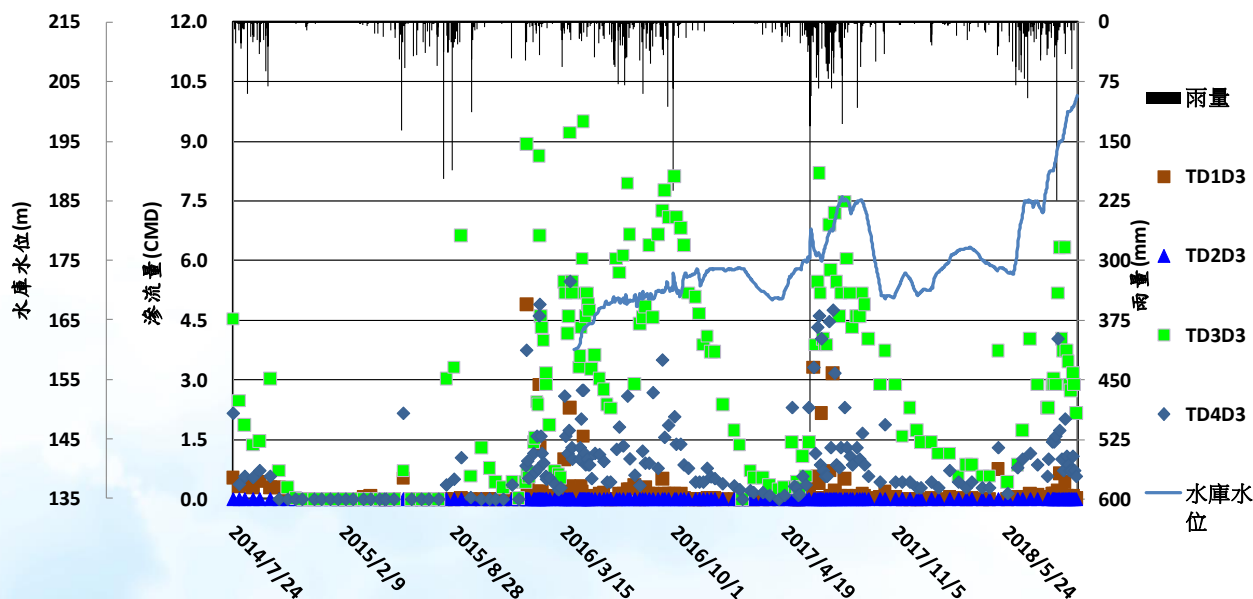


湖山主壩下游雜填區濕潤處盲溝出水量變化圖



湖南壩下游雜填區EL.160m附近坡面 濕潤

- 設置盲溝導排濕潤水並監測出水量
- 濕潤水非為庫水，主要來自雨水
- 建立背景值，持續監測掌握水庫安全

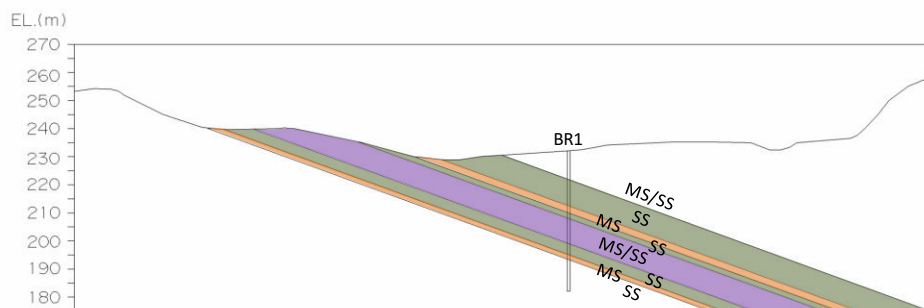


湖南壩下游雜填區濕潤處盲溝出水量變化圖

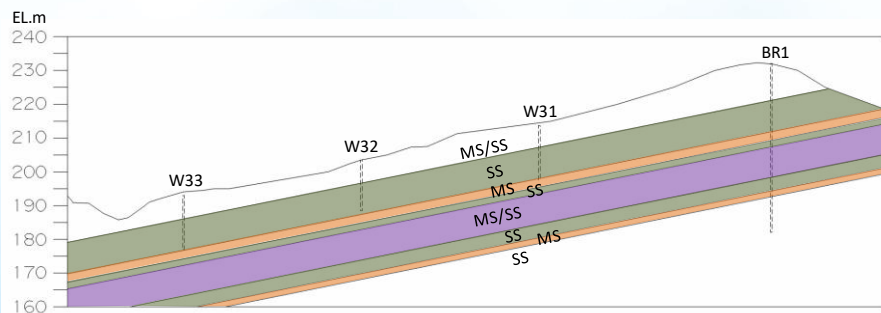


水庫右山脊外側山溝岩壁滲水

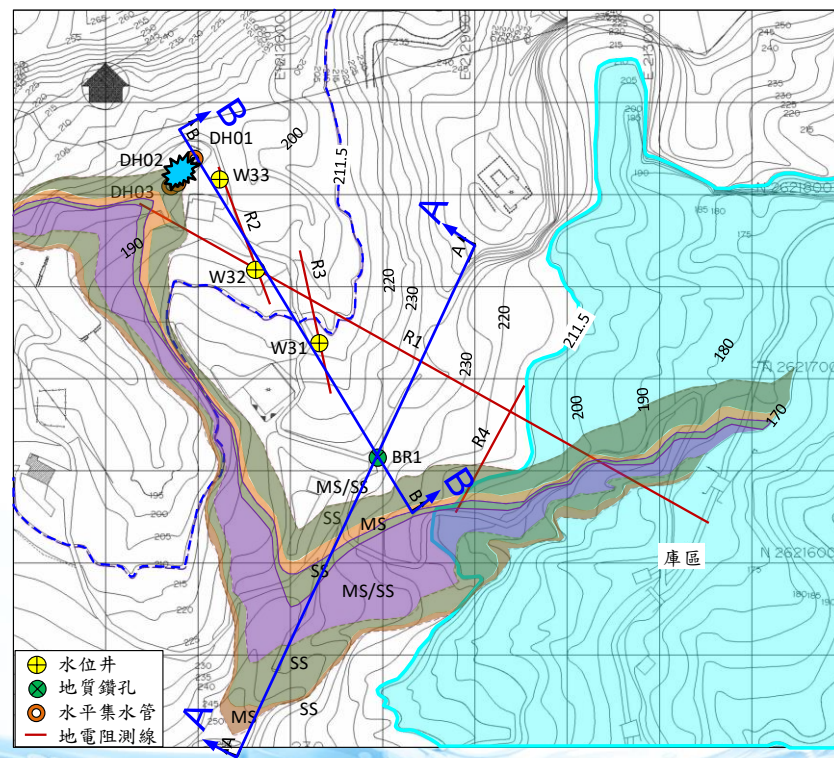
- 地下水受阻於泥岩層，
- 地下水順著砂、泥岩層界面向溪谷(低處)滲流匯集



剖面A-A

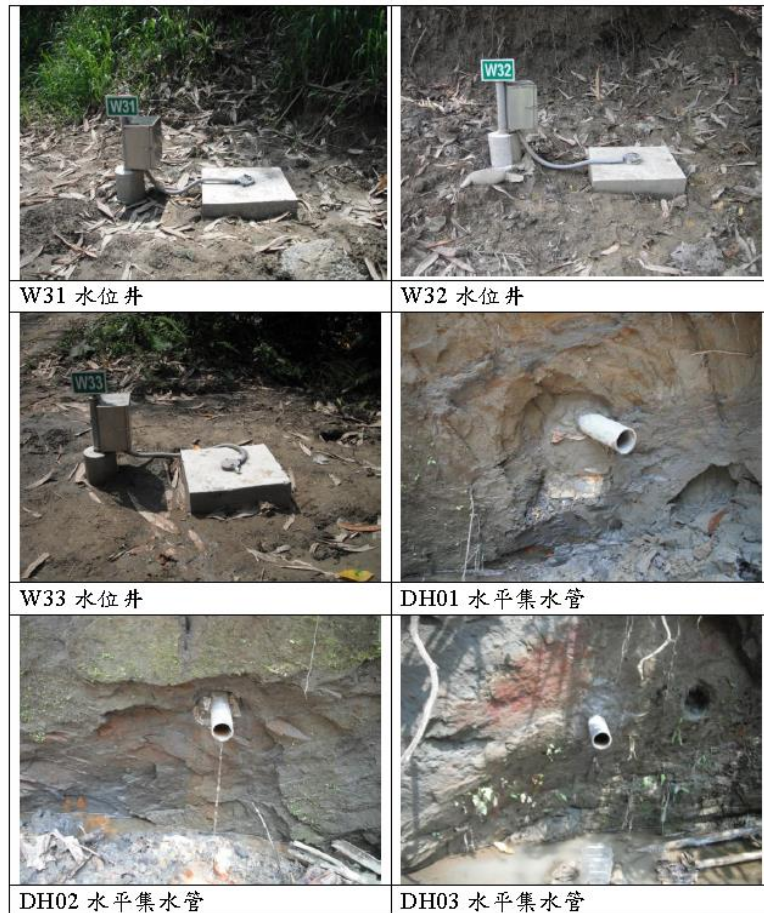
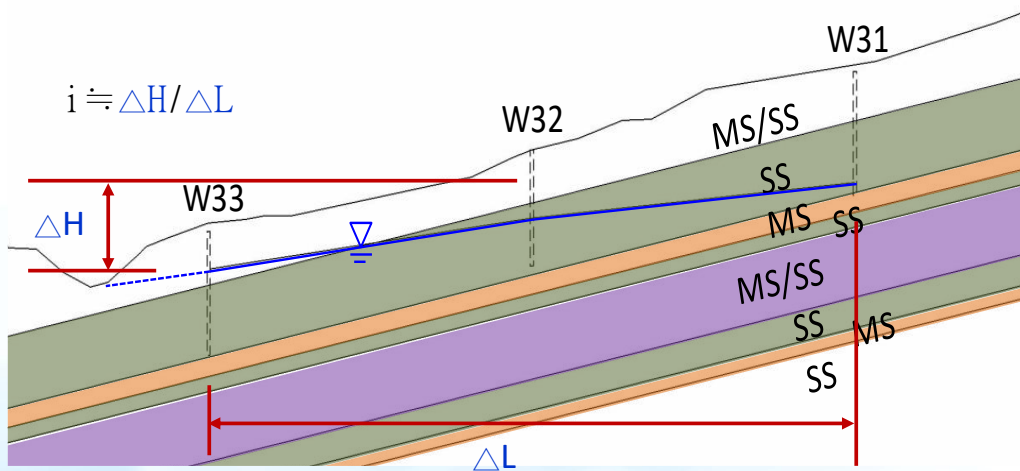


剖面B-B



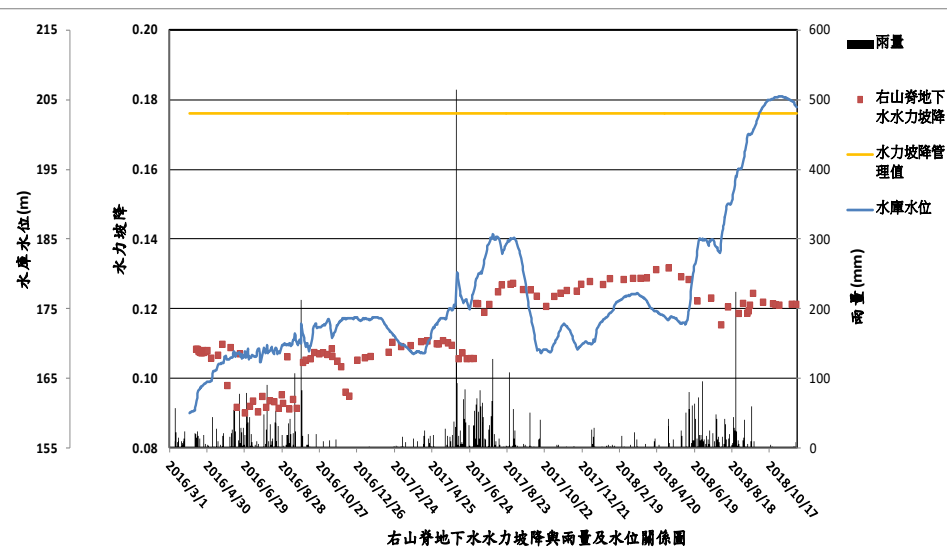
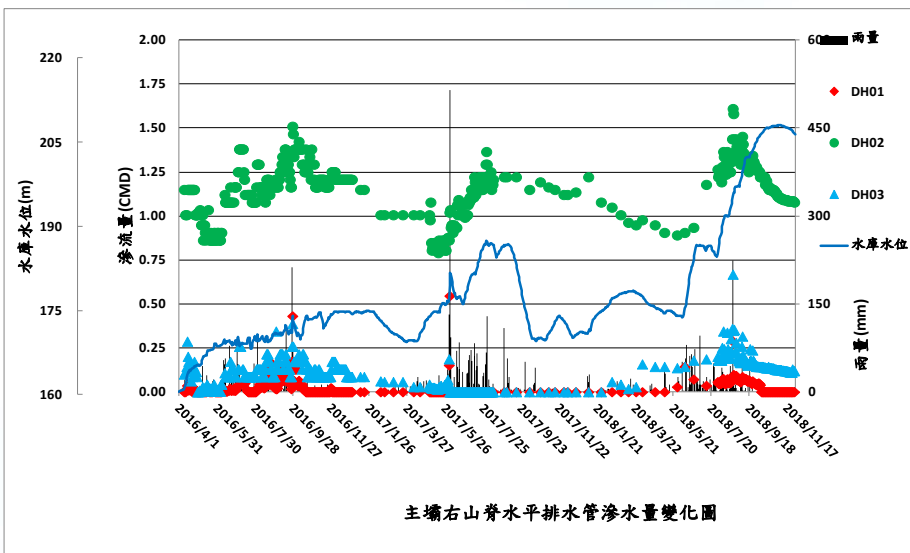
水庫右山脊外側山溝岩壁滲水

- 山脊地下水位及滲水監測
- 水量、水位及水力坡降變化
- 建立背景值，持續監測掌握水庫安全



水庫右山脊外側山溝岩壁滲水

➤ 監測成果





湖山水庫工程

3 結語



- 湖山水庫於三溪谷建壩，填方1,280萬 m^3 ，全國最大；軸長1,521m，全國次長；有效蓄水量5,085萬 m^3 。與集集攔河堰聯合運轉，日供水量69萬噸，提供優質地表水，減少地下水使用，減緩地層下陷
- 最大設計地震=0.7g，全國最高值，壩體上游殼層夯實度100%，首創使用；填築材料88%來自庫區，全國首例。大壩設計兼顧耐震與環保需求，同時增加庫容，減少碳排放
- 塑性混凝土截水牆國內首創使用，已充份掌握配比與施工要領，其他工程陸續應用。後續監測顯現其阻水功能
- 湖山水庫結合保育生態，全國首例
- 關心、用心及細心之檢查與監測，掌握蓄水前異常濕潤與滲水，水庫得以順利蓄升，並減少營運困擾



中興工程

經驗豐富 專業導入

品質提升 安全倍增

簡報結束

敬請指教

HU-SHAN Reservoir



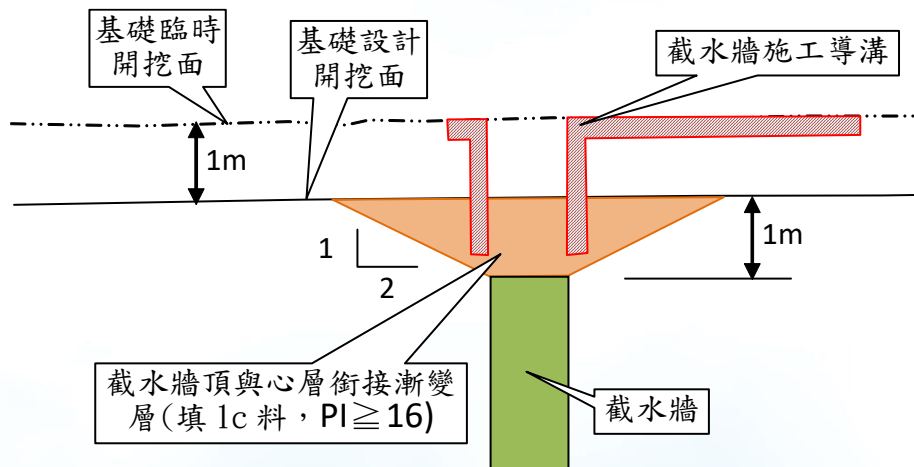


中華民國大地工程學會
Taiwan Geotechnical Society



截水牆規劃設計

➤ 牆頂與壩體銜接





截水牆施工



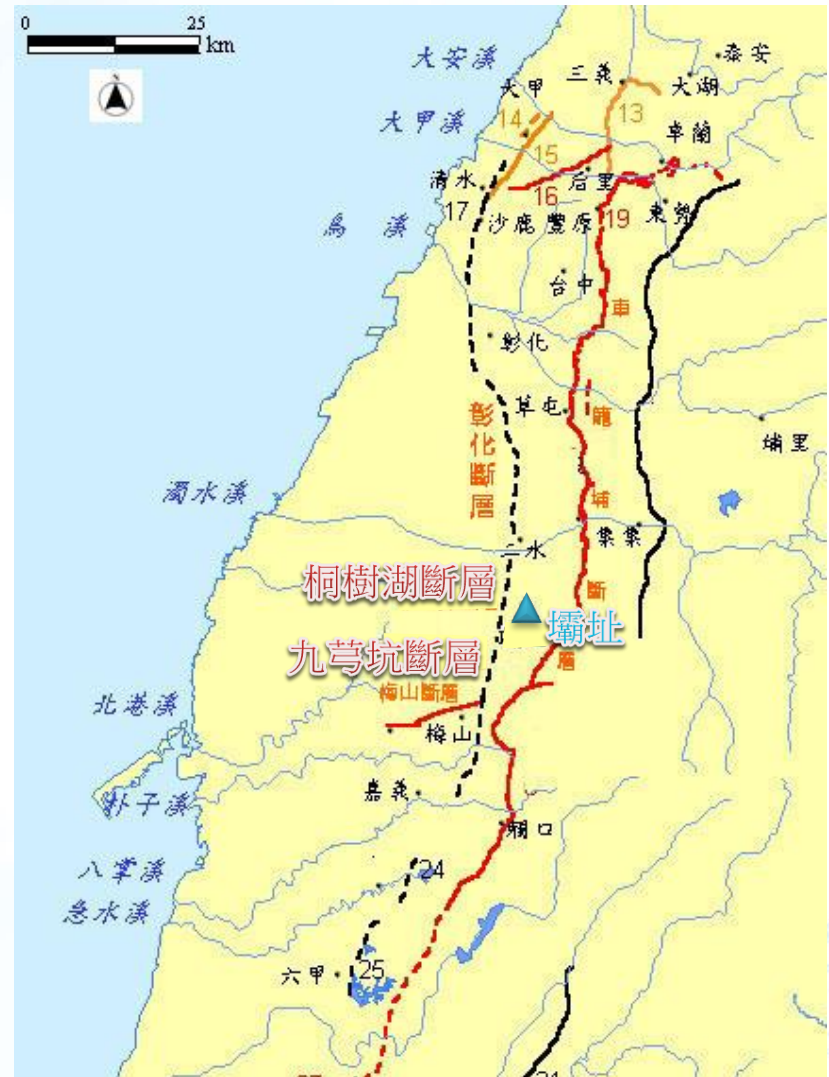


● 壩體受震變形大於1.5m之檢討

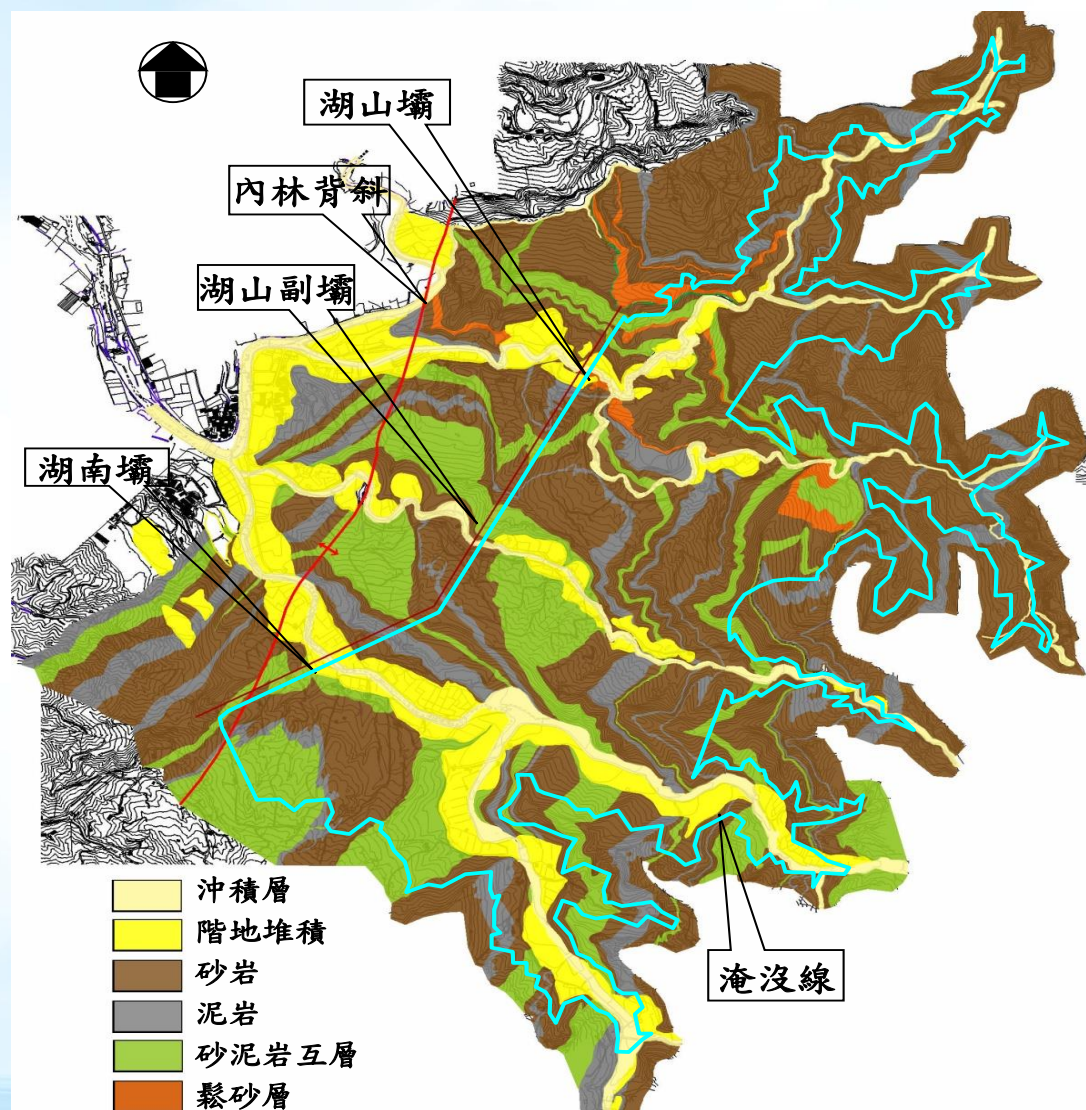
項目	檢討結果
殘餘出水高	4.5m(壩體出水高) - 1.78m(壩頂受震最大沈陷) - 1.0m(垂直地變) - 1.37m(地震湧浪) = 0.35m，壩頂1m高的防浪牆未發生嚴重損壞，壩體尚有1.35m殘餘出水高
壩頂寬	壩頂寬10m，壩頂受震沉陷由上游1.78 m減至0.43m，顯示壩頂有足夠水平寬度緩和壩頂動態變形
壩體分區	心層下游垂直濾層加寬為5m，可承受水平地變2m，能在庫水緊急洩降期間，達到排除滲漏水與保護心層材料之功能
上下游坡度	設計地震發生時，壩體頂部或將發生局部裂縫與位移，但尚不致於造成壩體驟然之嚴重滑移

大壩控制斷層

- 桐樹湖斷層連接九芎坑斷層，
總長度43km，地表距離2.5km
- 九二一地震經驗
 - ✓ 極可能產生近斷層效應
 - ✓ 保守估計壩址地變：
水平2m，垂直1m



庫區地質



921地震後規劃、設計新水庫，耐震設計考量更勝以往

➤ 地變及強地動

環境保護的意識已深植社會

➤ 八色鳥、圓葉布勒德藤⇒生態保育



壩址屬近代沉積岩，強度低、膠結弱，灌漿工法不適用

➤ 岩層走向垂直壩軸，鬆砂層、砂泥岩介面不連續面為滲漏管道

水庫工程竣工後須藉由蓄升檢驗確認安全無虞

➤ 蓄水前發現異常濕潤及滲水




 灌漿與截水牆工法比較

比較項目	灌漿	評分	截水牆	評分
止水效果	不易掌握	1	易掌握 (幾乎完全阻隔滲流)	5
壩體壩基壓力差	較小	5	較大 (須往上游設置減少上頂力及向壩體之滲流)	4
可施作深度	限制小	5	限制小	5
施工成效控制	不易掌握	1	容易掌握 (具體工程構造物)	5
施工方便性	工作場地限制小，對大壩填築影響小	5	大型機具須設邊坡道路，坡面須整水平面施作，與大壩填築有干擾	2
工程費用	4.7億(鑽灌數量、成本變化大，難掌握)	2	4.37億(工作數量明確)	4
工期	18個月	5	10個月(6部機)	4
合計評分	24		29	

1 兼顧耐震與環保之庫區取土設計



- 檢討由庫區取得心層料取代大埔美農場黏土
- 研究上游殼層減少或取消使用卵礫石料

