集水井工法於崩塌地地下排水有效性之精進

- 以梅花地滑區整治調查及設計為例

青山工程顧問股份有限公司

簡報人　陳昭維

www.safe100.com.tw

SAFE100 青山 www.safe100.com.tw 坡地防災的專業團隊

簡報大綱

- 集水井工法簡介
- 國內應用狀況及面臨問題
- 規劃設計精進歷程
- 效能評估之量化指標
- 結語



www.wisafe.com

青山工程顧問公司 民國77年創立

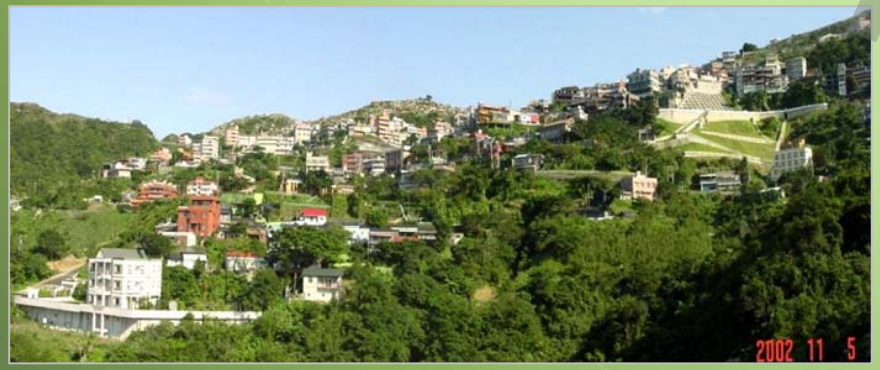
坡地防災專業顧問(調查、監測、分析、整治設計，一連貫整合)



台18線五彎仔地滑區(面積40公頃)



太平山中間解說站地滑區(面積10公頃)



九份地滑區(面積20公頃)

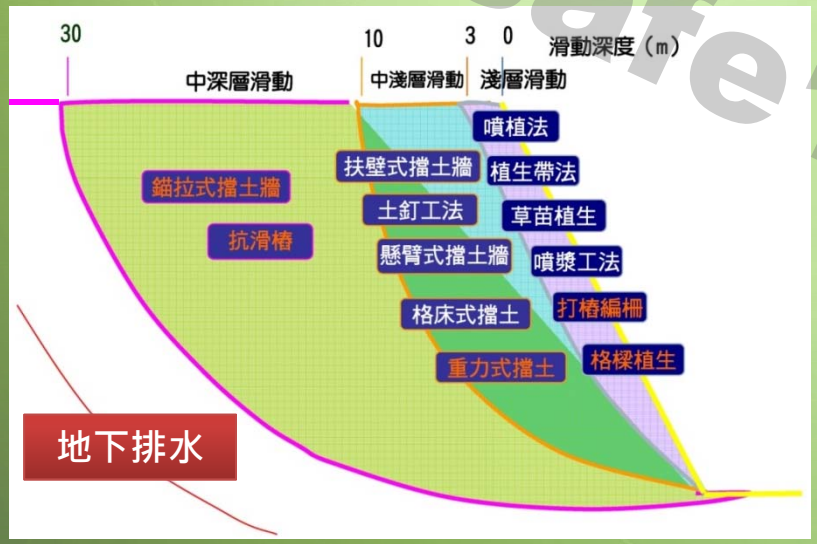


中山大學地滑區(面積13公頃)

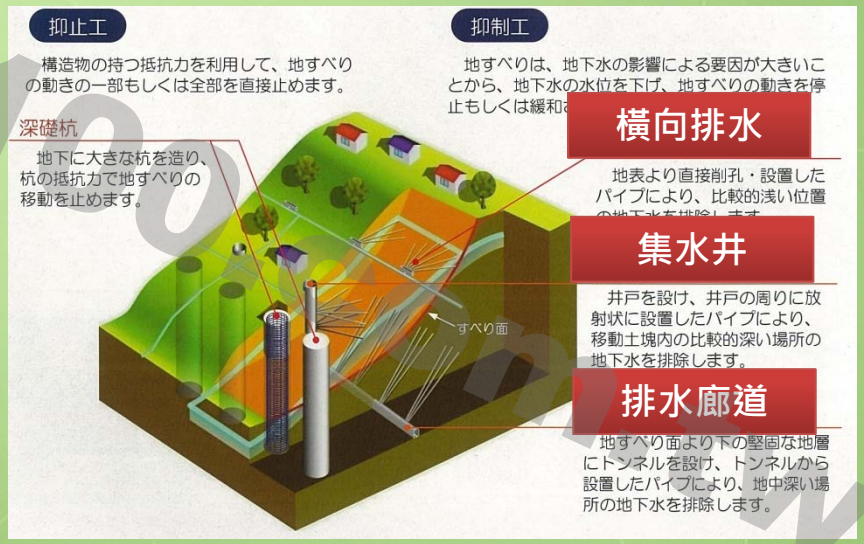
(大規模崩塌地，均規劃以集水井進行整治)

大口徑集水井於崩塌地整治之必要性

- **大規模崩塌地**
  - 常有特殊地質及地下水條件
  - 擋土工法往往不足以抗滑
  - 需採地下排水工法降低下滑力
- **大口徑集水井**
  - 能導排深層地下水
  - 整治大規模崩塌地之利器
  - 深層滑動崩塌地之必要工法(可替代性低)



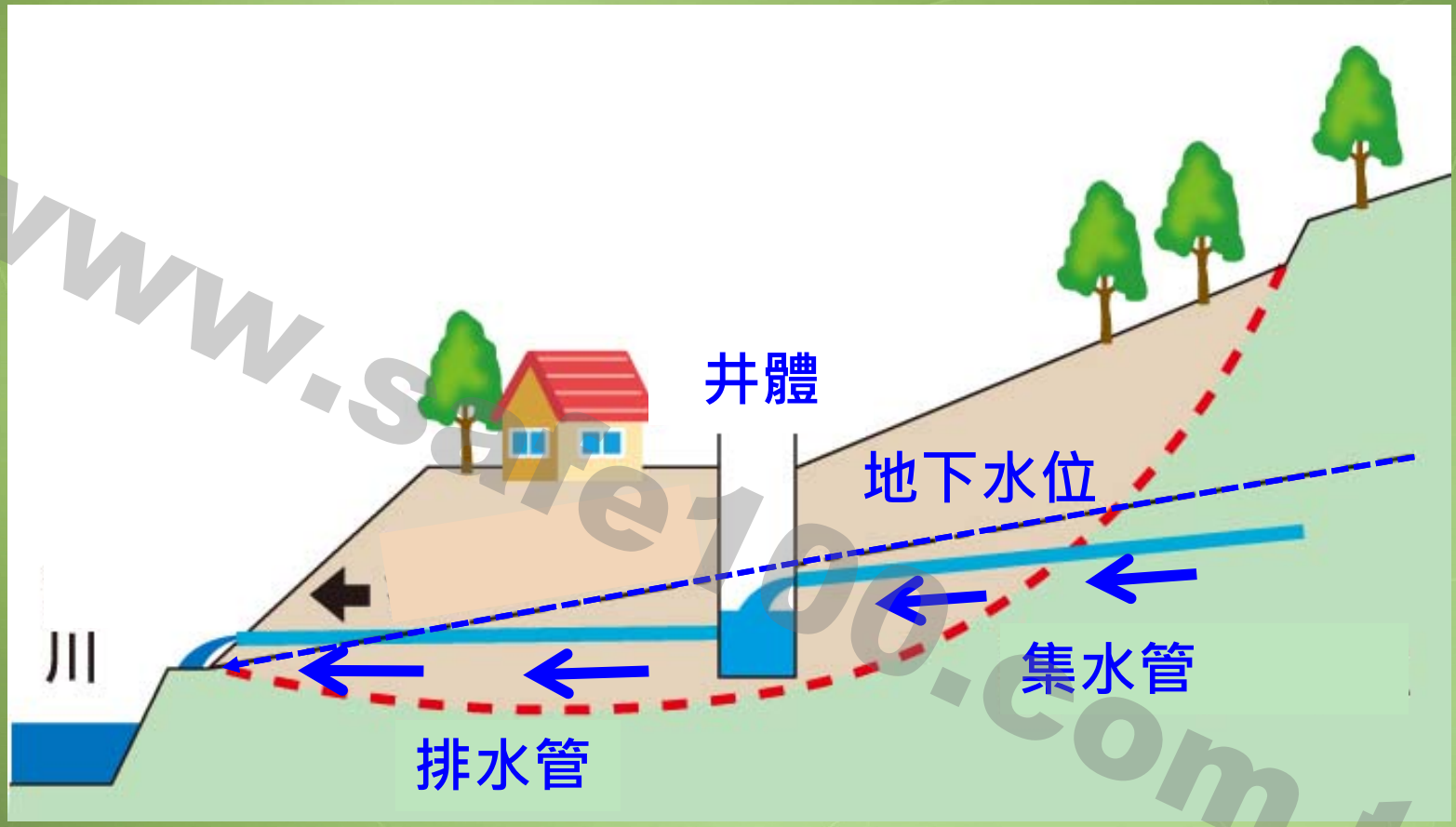
各種滑動深度之適用工法



深層滑動整治工法

www.safe100.com.tw

大口徑集水井運作機制

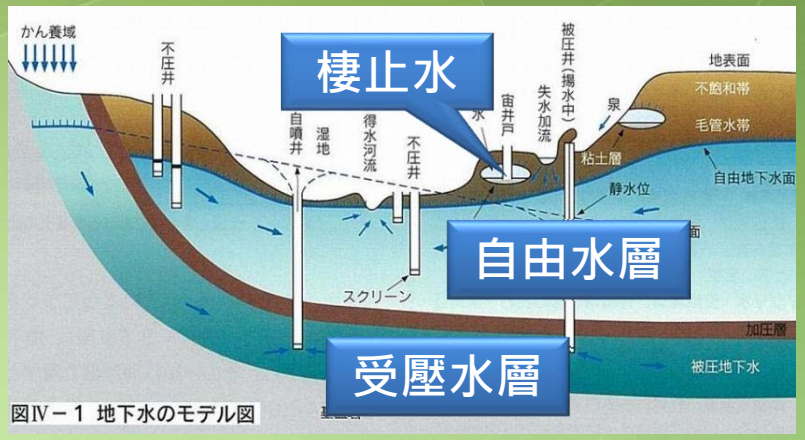


排出地下水 ➡ 降低地下水位 ➡ 穩定邊坡

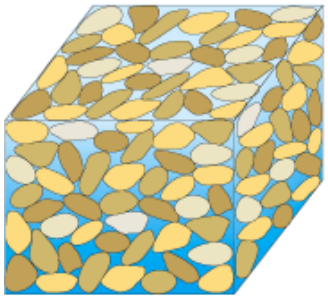
www.safe100.com.tw

坡地地下水具高度複雜性

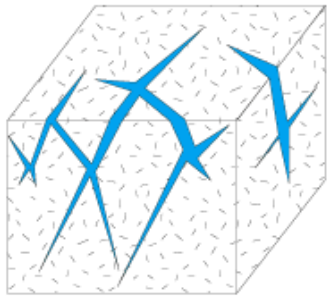
- 地層分佈複雜
- 水集中於裂隙及破碎帶，具水脈特性。分布不均，難掌握
- 集水管需打入流徑，才能有效排水



図Ⅳ－1 地下水のモデル図


土壤

孔隙水
分布均勻


岩盤

裂隙水
極不規則


國道3號3.1k


台3線296k

地下水局部滲出坡面

www.safe100.com.tw

國內應用大口徑集水井之起源

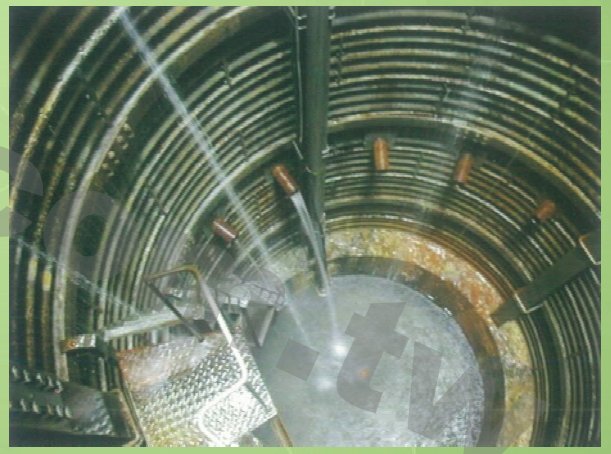
約40年

開始運用	較為人所知	目前
民國60年代	民國84年(梨山地滑整治)	民國105年



阿里山鐵路沿線(坡地災害防治，洪如江)



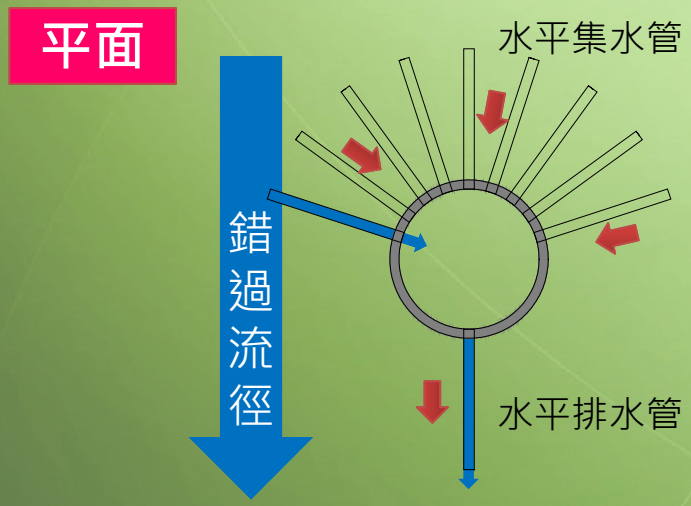


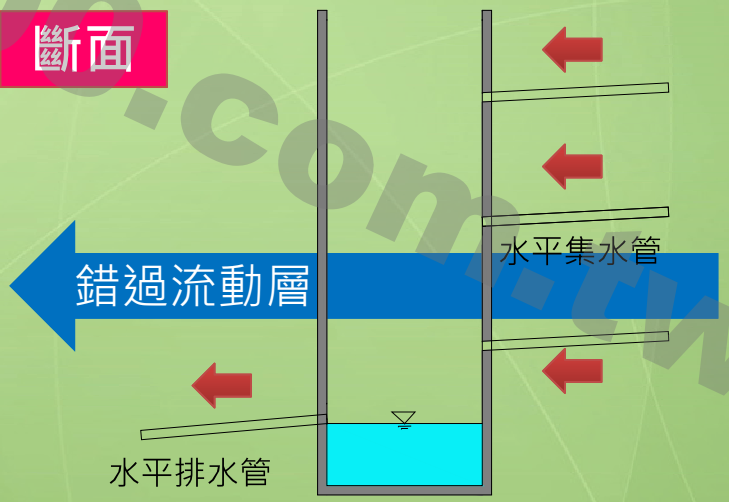
梨山地滑區(梨山地區地層滑動整治計畫圖表與解說彙編)

www.safe100.com.tw

國內早期常見問題

- 未詳細調查地下水分佈，即進行規劃設計
- 依少量調查成果輔以經驗判斷，精確度較低
- 位置及深度
  - 正確→排水效果佳
  - 錯誤→完全無功能
- 有必要精進集水井規劃設計新思維，提升命中率





www.safe100.com.tw

青山顧問-集水井規劃設計經驗

民國94年起
規劃設計42座

時期	項次	專案		設計期間(民國)	集水井數量
萌芽期	1	台11線28K路基下陷修復		94.09 ~ 94.11	3
	2	中山大學 藝術大樓後側邊坡		95.11 ~ 95.12	4
發展期	3	桃園介壽國中地滑區		96.08 ~ 96.12	2
	4	宜專一線 中間解說站第二期整治		97.02 ~ 97.04	3
	5	九份地滑區		97.06 ~ 97.08	5
	6	台北市新光路崩塌地		97.12 ~ 98.02	1
	7	五彎仔地滑區整治(第一期)		98.02 ~ 98.08	4
	8	台7線雪霧隧道第一期整治		98.09 ~ 98.11	1
	9	台62線 順向坡整治	A工區	103.02 ~ 103.11	3
			B工區	103.02 ~ 103.08	3
			C工區		2
	10	台8線116K+100路基下陷改善		103.03 ~ 103.05	3
精進期	11	華梵大學第一期集水井		103.07 ~ 103.08	2
	12	五彎仔地滑區整治(第二期)		104.03 ~ 104.05	4
	13	梅花地滑區整治		106.03~106.05	2

www.safe100.com.tw

集水井規劃設計精進歷程

四大主軸

管理維護

施工

規劃設計

調查

基本調查

更合理精準
提升命中率

更多元及深化

更簡單
延長使用壽命

更彈性可行
及安全

萌芽期
民94~95年

發展期
民96~103年

精進期
民104年迄今

導入監測方式掌握成效，回饋設計調整

www.safe100.com.tw

萌芽期 (依基本調查成果進行規劃)

- 以中山大學藝術大樓邊坡整治為例
- 邊坡長期有滑動現象
- 滑動深度25m，規劃以集水井排水整治

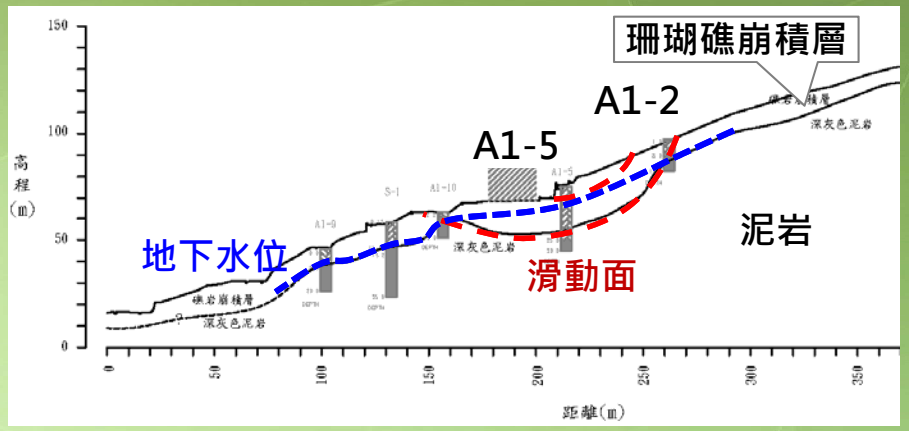


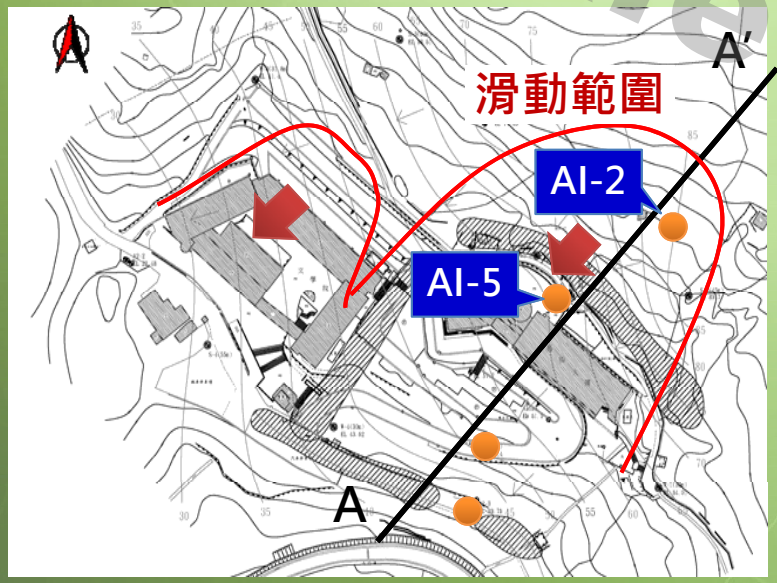


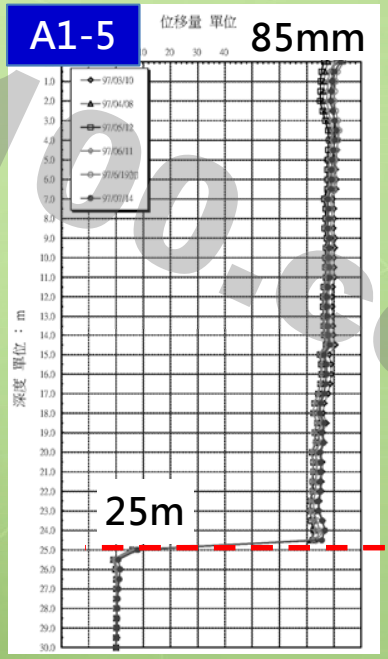
www.safe100.com.tw

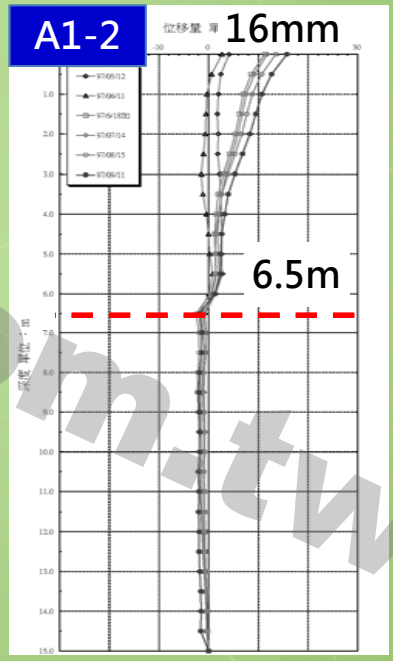
地表地質及鑽探調查

- 鑽探調查、傾斜管監測
- 掌握
  - 地質
  - 滑動範圍及深度





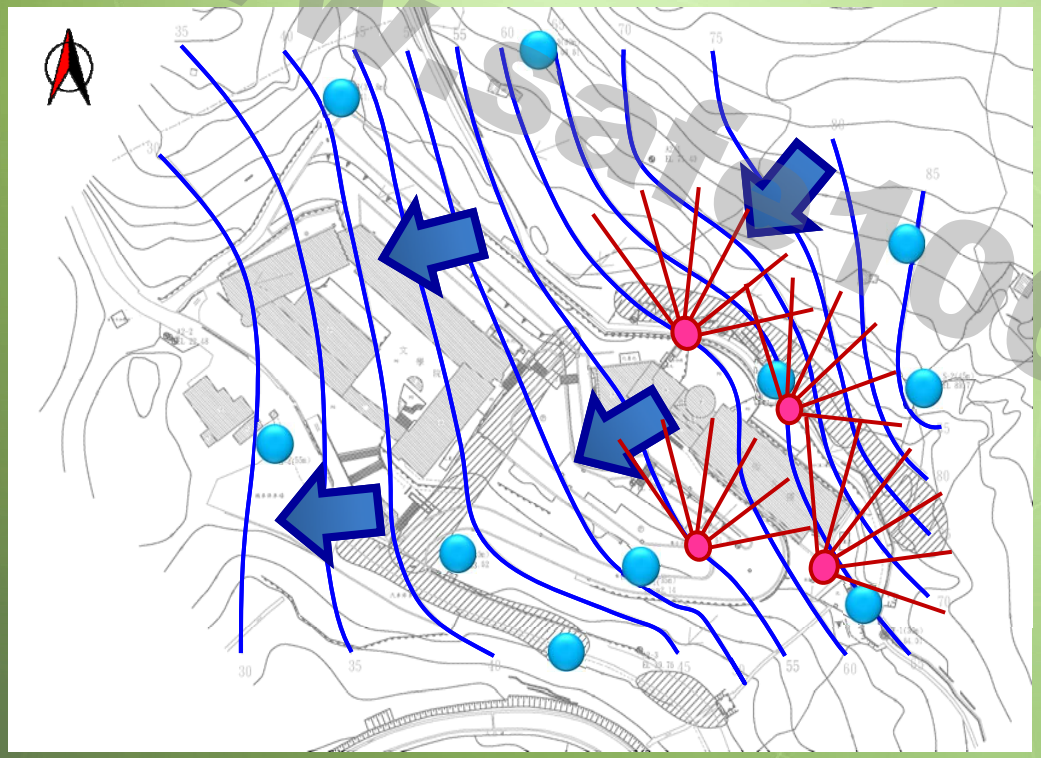




www.safe100.com.tw

地下水位監測及井位規劃

- 依水位井監測成果，繪製地下水位等高線
- 配置集水井，由上游攔截地下水
- 整治成效甚佳，邊坡滑動速率大幅降低





水位觀測井

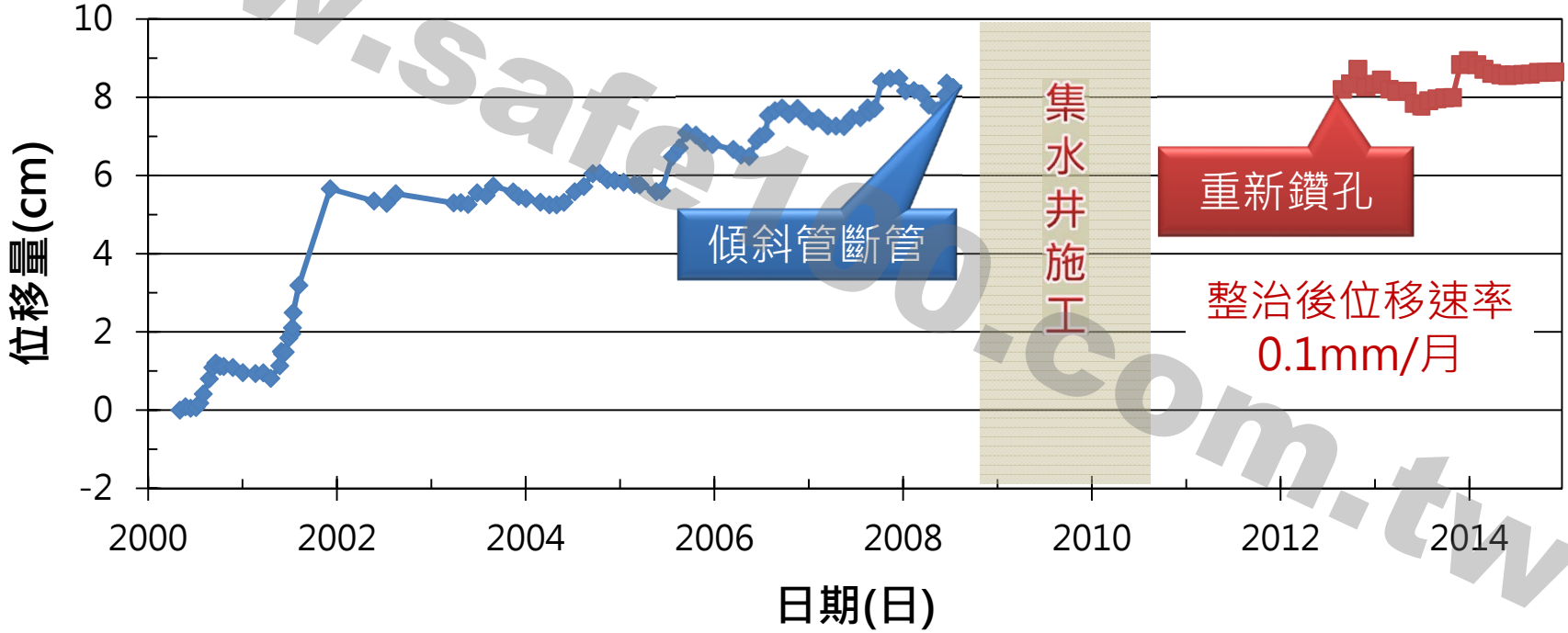
地下水位等高線

集水井

www.safe100.com.tw

地下水位監測及井位規劃

- 依水位井監測成果，繪製地下水位等高線
- 配置集水井，由上游攔截地下水
- 整治成效甚佳，邊坡滑動速率大幅降低



集水井有效排水，確實有助於邊坡穩定

www.safe100.com.tw

萌芽期不足處檢討

- 中山大學案例，地質分佈較單純，無明顯水脈特性
- 一旦集水管未穿越地下水流徑，仍可能失敗
- 應深化調查，做更精準之規劃設計



www.safe100.com.tw

發展期之主要精進方向

- **強化地下水分佈調查**，以使規劃設計更精準
- **導入自動監測系統**，掌握排水及整治成效，回饋設計調整



www.safe100.com.tw

發展期 (代表案例：台18線五彎仔地滑區整治)

- 早期嘗試多種整治工法均未成功
  (包括民國89年集水井)
- 92年大崩塌，造成阿里山公路中斷





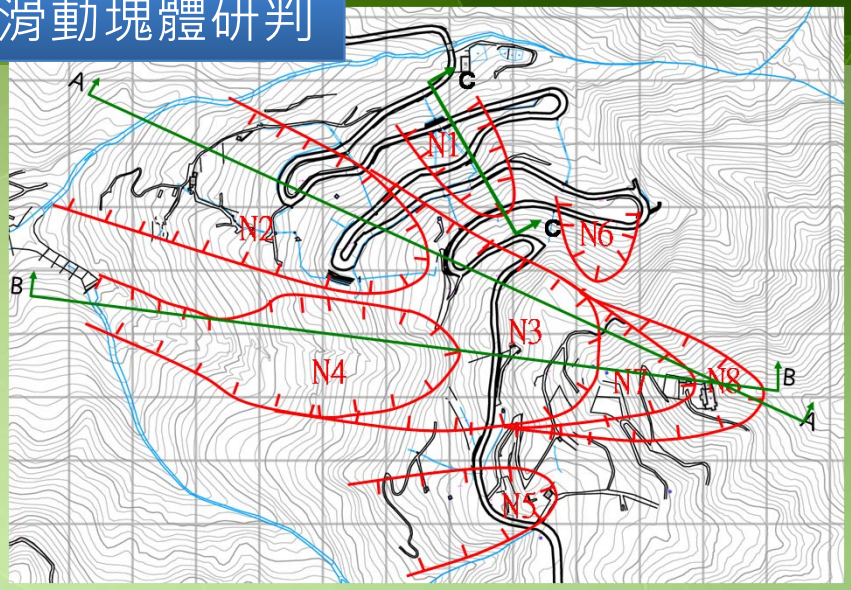
民國89年完工集水井：無水



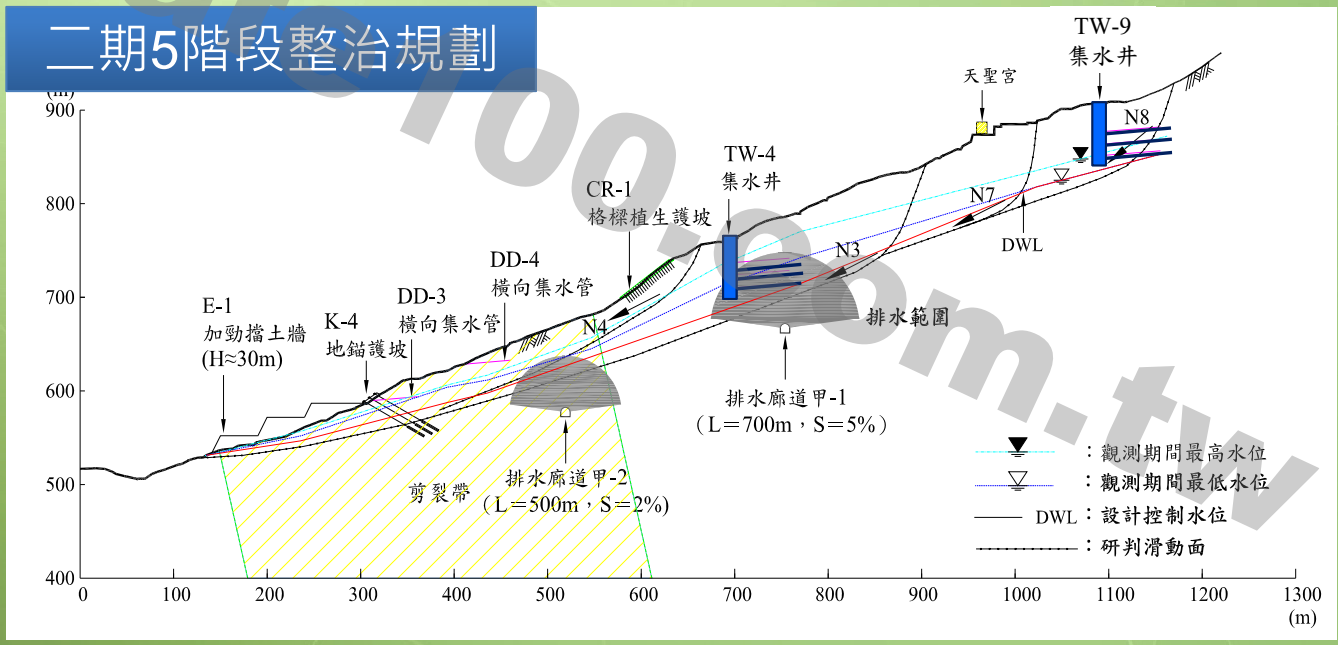
地滑區概況

- 滑動範圍30公頃
- 8個滑動塊體，最深80m
- 整治對策：
  - 排水為主(降低整體滑動趨勢)
  - 擋土為輔(局部塊體穩定)

滑動塊體研判



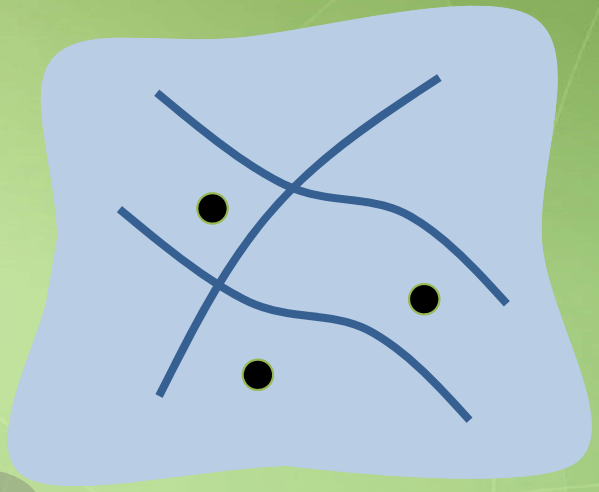
二期5階段整治規劃



www.safe100.com.tw

地下水調查策略

- 調查方法達15種以上(五彎仔採用其中10種)
- 面→線(大範圍研判流徑)
  →點(單點掌握個別井位狀況)
- 地質影響甚鉅，必須納入調查

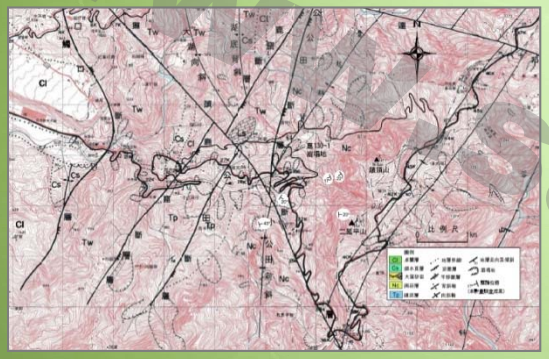


調查形式	面狀	線狀	點狀
成本	低	執行順序	高
範圍	廣大	→	極小
資料精細度	概略		最高

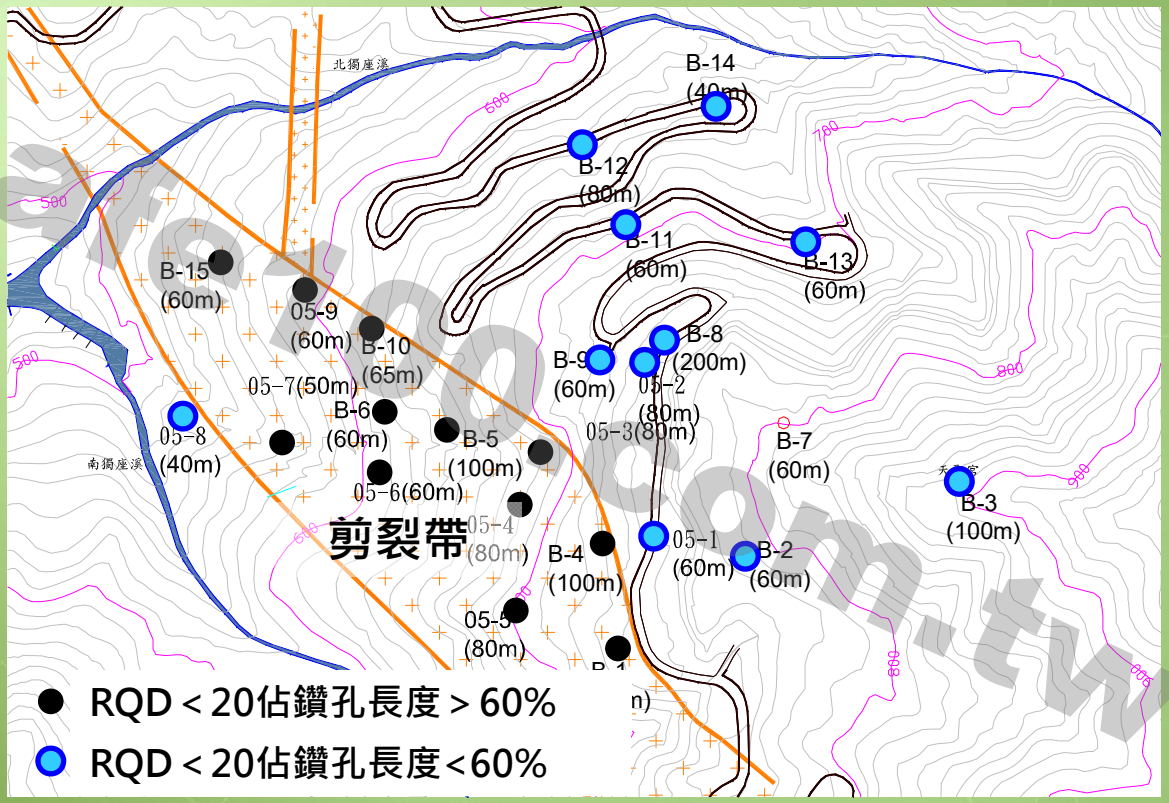
www.safe100.com.tw

面狀調查

- 綜合基本圖資、地表地質及鑽探調查
- 建構地質模式，研判剪裂帶分布情形



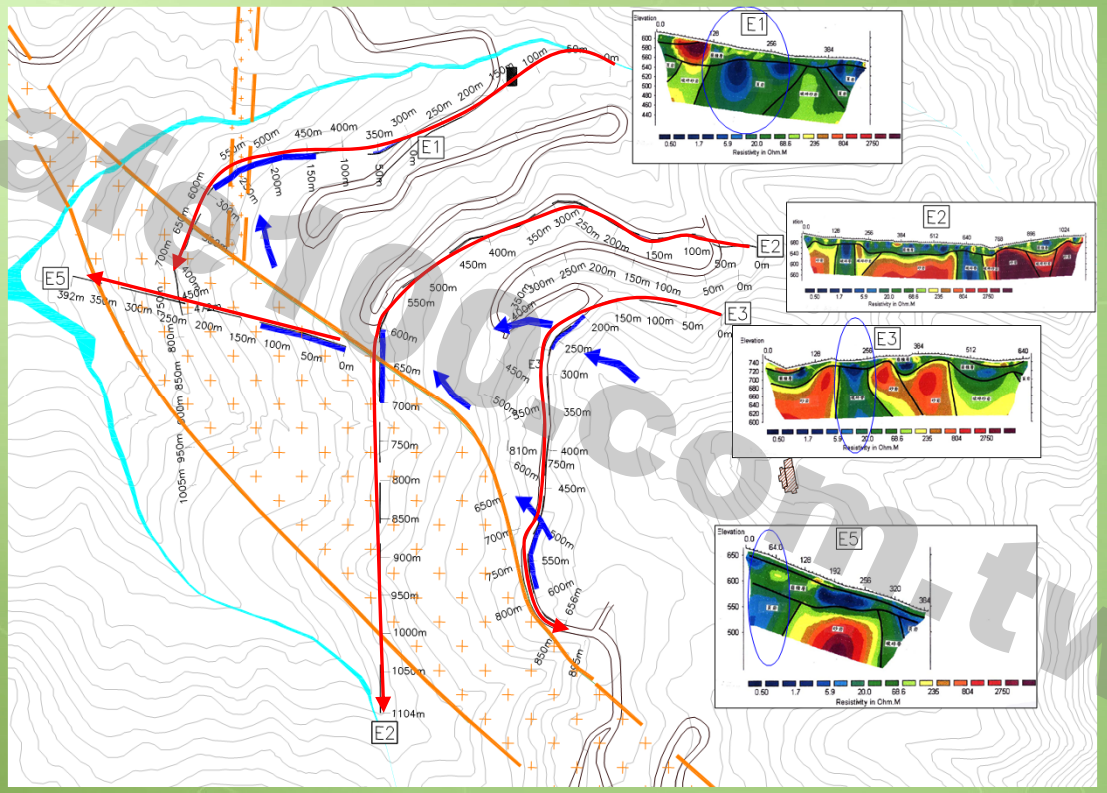




www.safe100.com.tw

線狀調查

- 以面狀調查成果為基礎
- 採用地電阻探測法，線狀測線確認剪裂帶分布
- 研判地下水可能流徑 (剪裂帶泥質材料阻水)

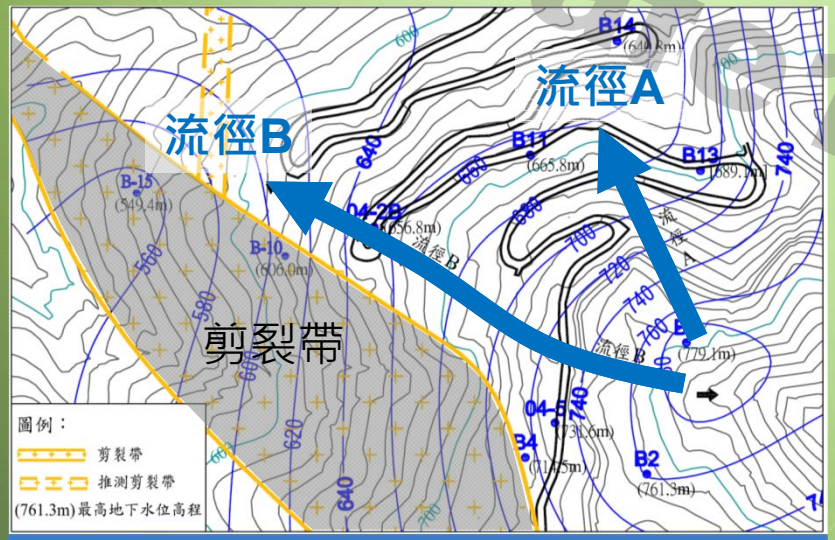


www.safe100.com.tw

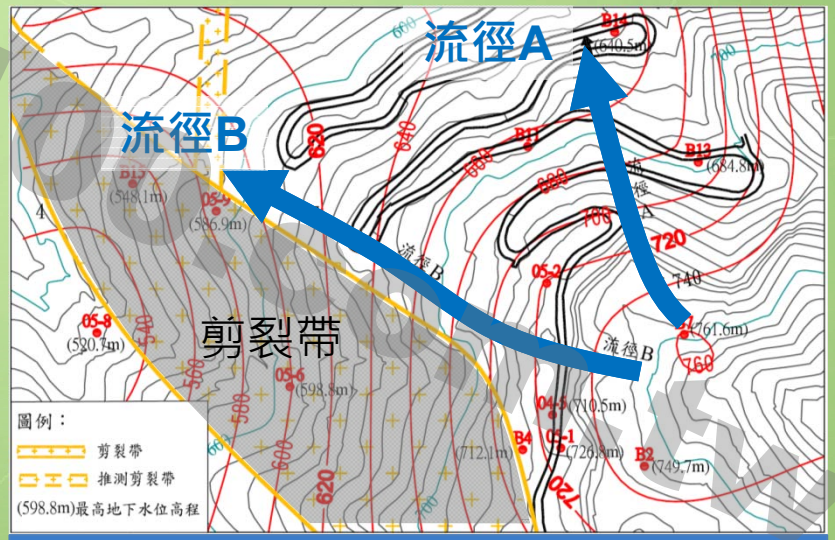
地下水流徑綜合研判

- 調查孔之地下水位採**自動化監測**
- 測得暴雨期間實際最高水位
  繪製高水位等高線
- **配合剪裂帶位置，研判地下水流徑**





93年敏督利颱風最高水位等高線

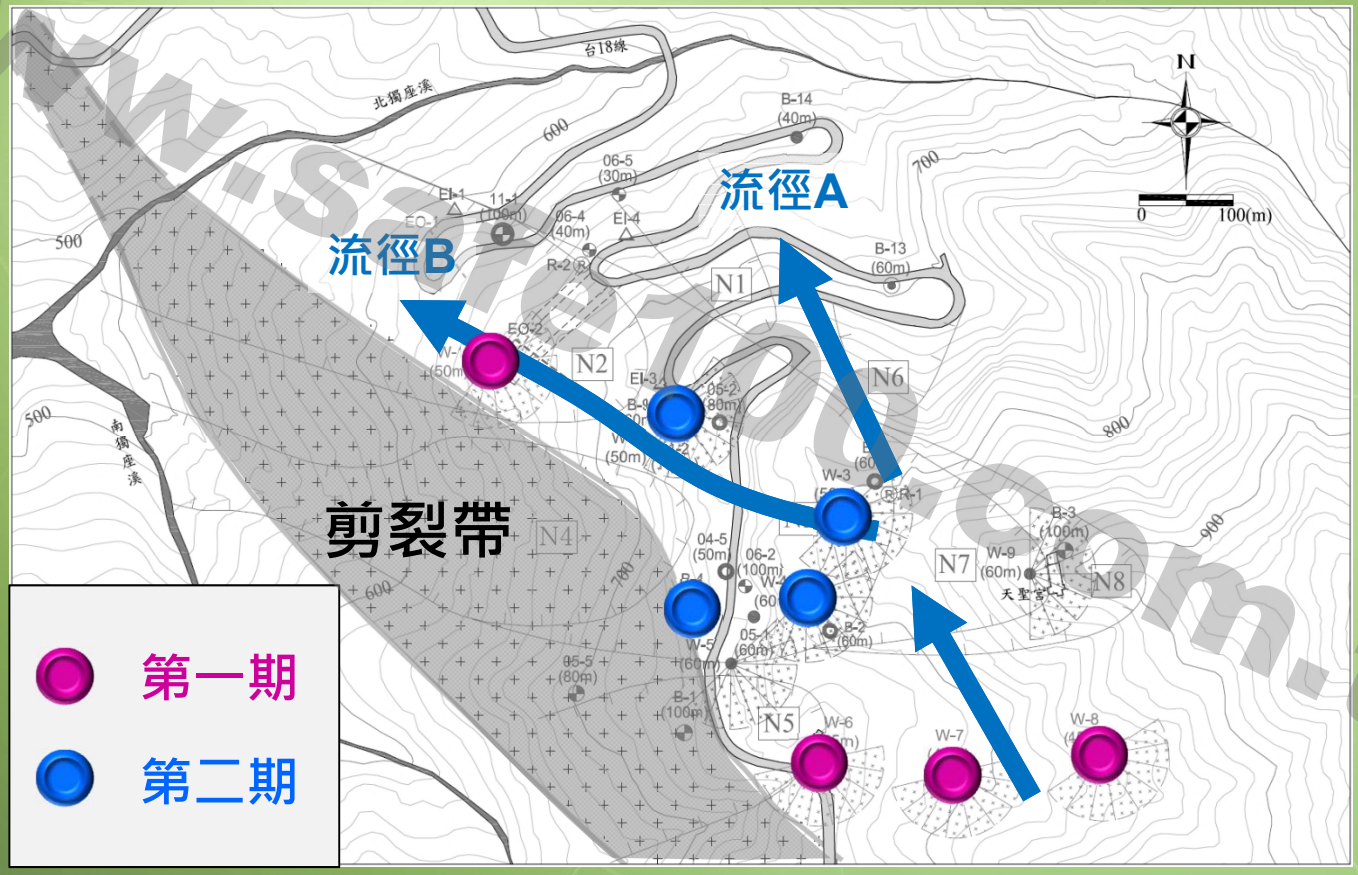


95年69豪雨最高水位等高線

www.saf

依流徑分佈規劃井位

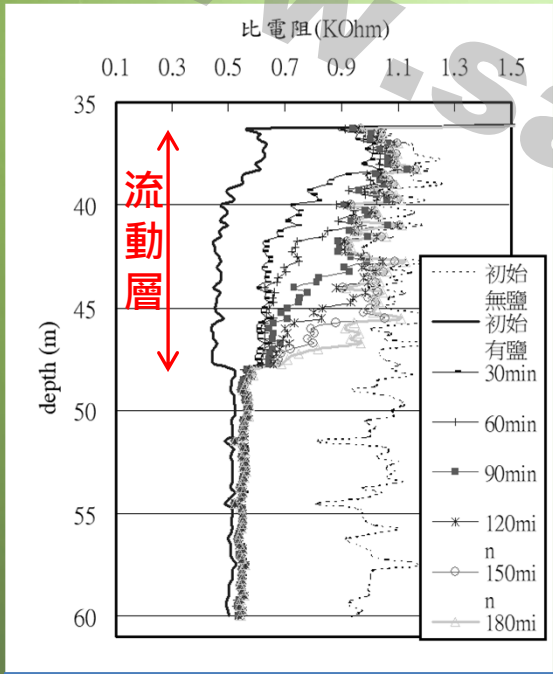
- 規劃8座，分二期施作
- 第一期先嘗試於流徑上游攔阻地下水



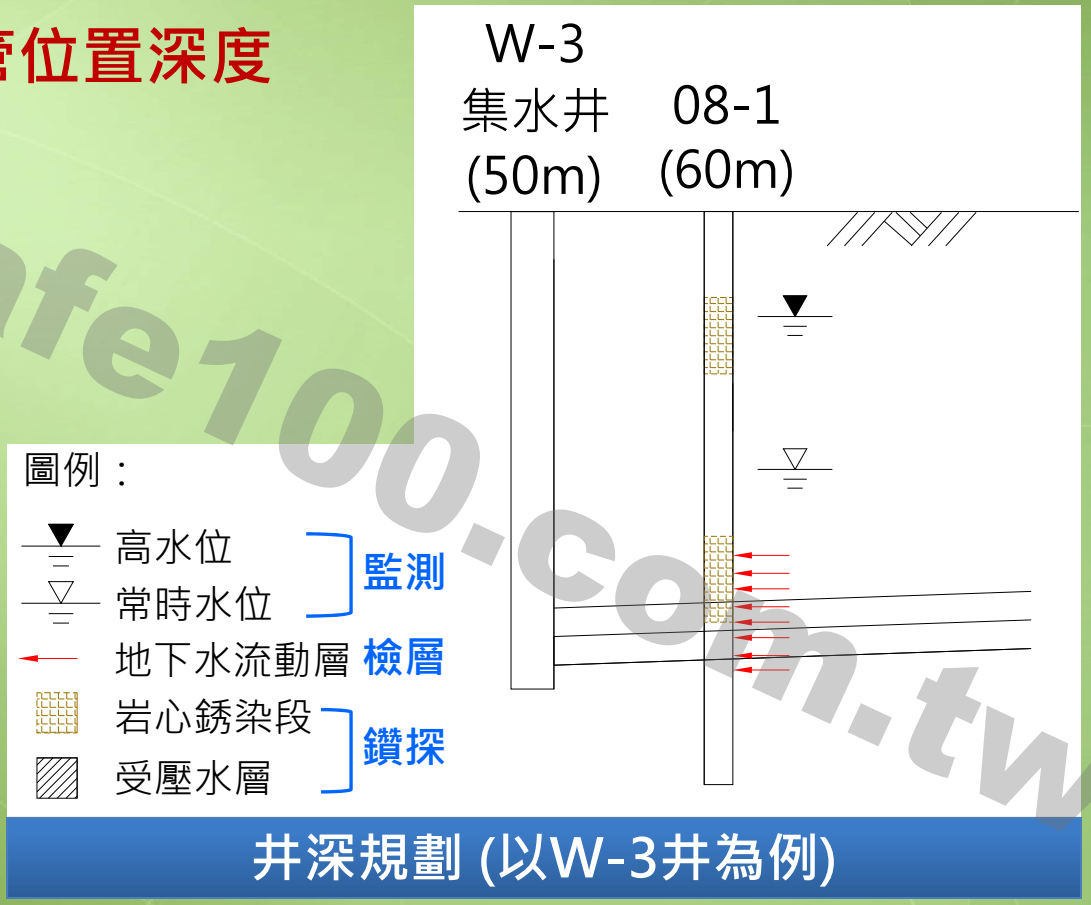
www.safe100.com.tw

點狀調查：地下水檢層法

- 確認地下水水平流動層深度
- 結合鑽探資料、監測成果
- 決定井深、集水管位置深度



地下水檢層(B-7孔為例)

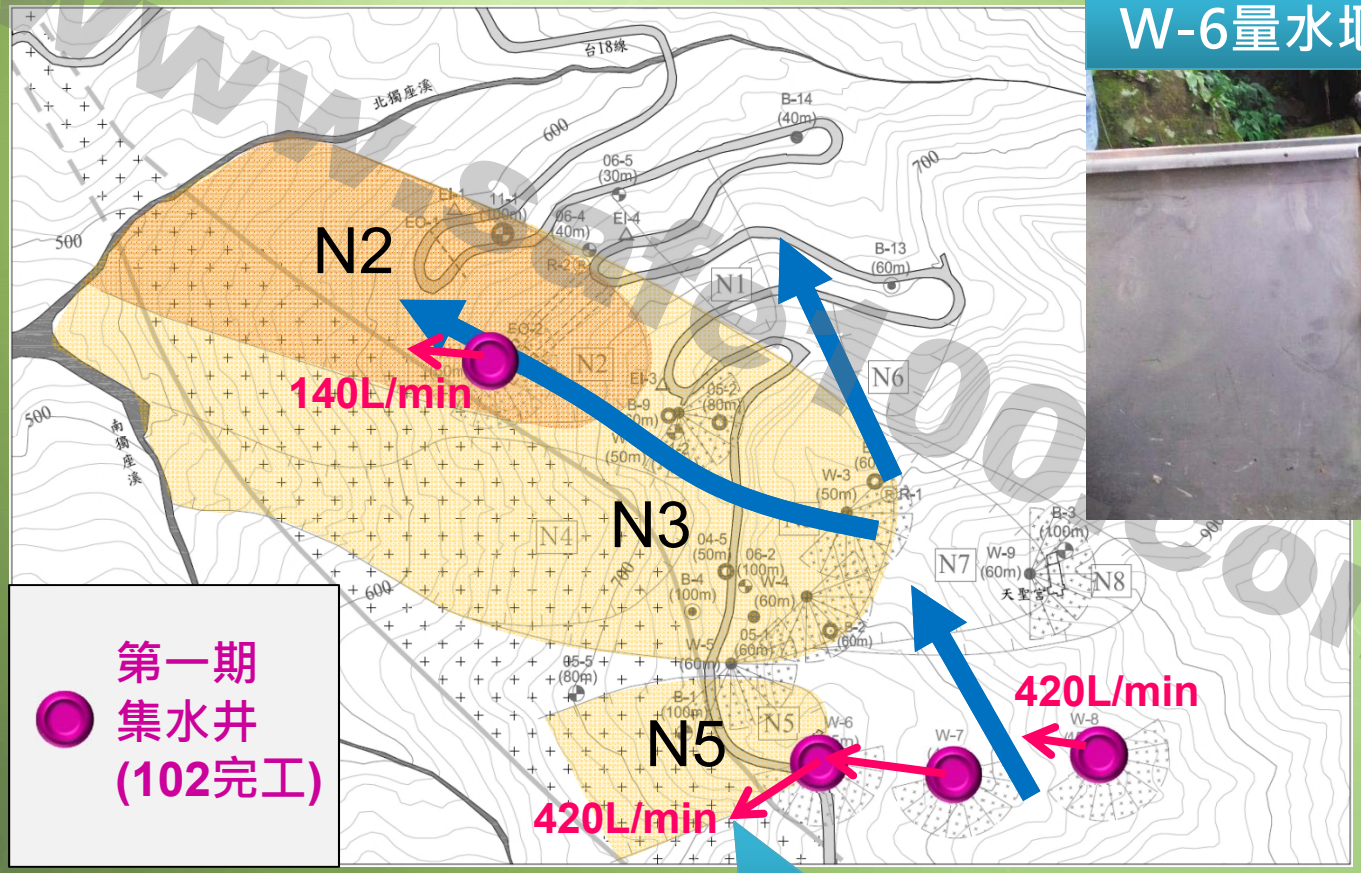


井深規劃 (以W-3井為例)

www.safe100.com.tw

第一期整治排水成效 (由監測成果回饋)

- 上游3座井總排水量：每分鐘約840L (0.84噸)
- 有效減少流入主要滑動塊體之地下水





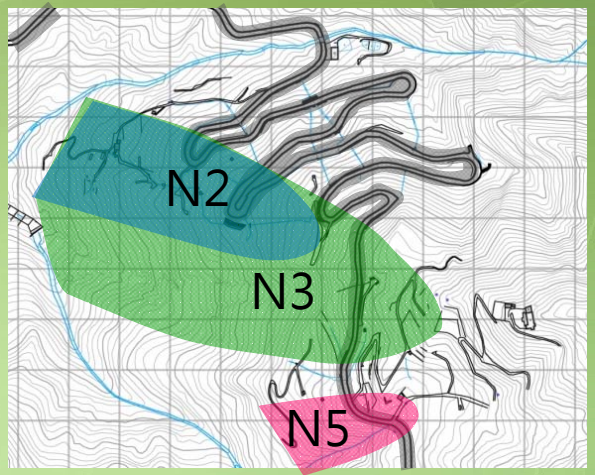
www.safe100.com.tw

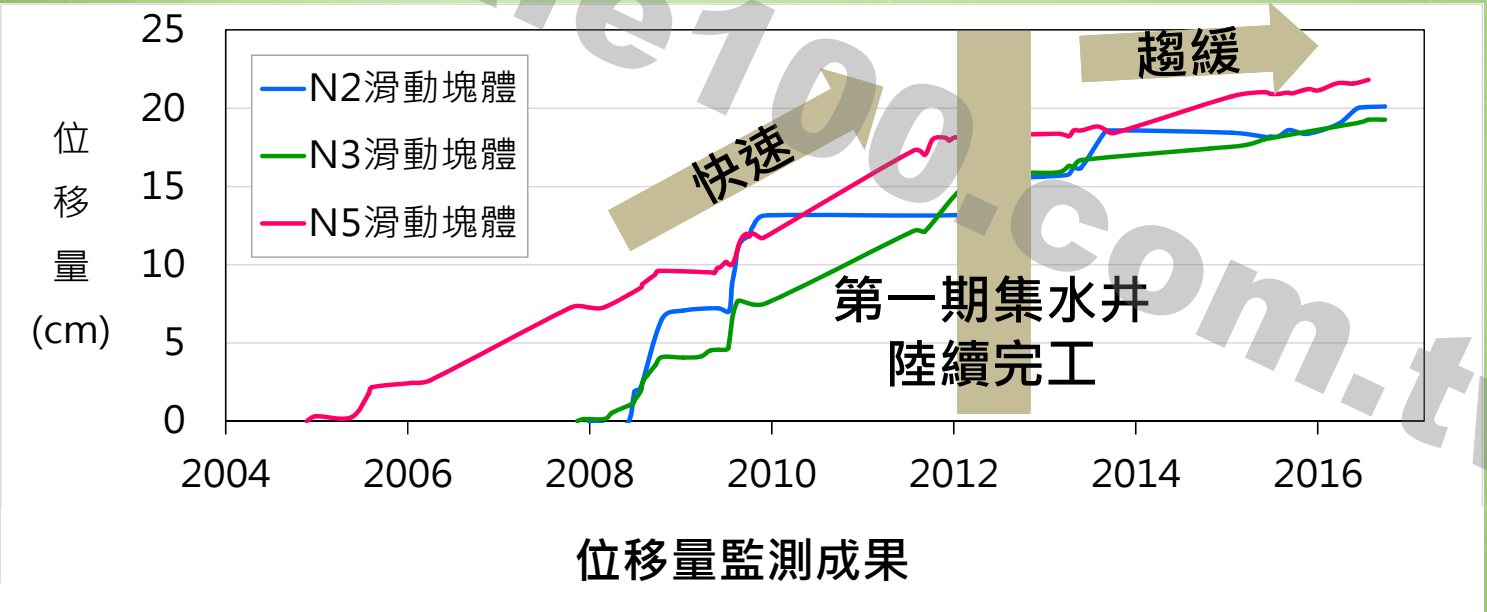
第一期整治成效

- 較活潑之主要滑動塊體已趨緩

雨季滑動速率 (cm/月)

滑動塊體	N2	N3	N5
整治前	1.80	1.70	0.38
整治後	0.16	0.08	0.13





位移量監測成果

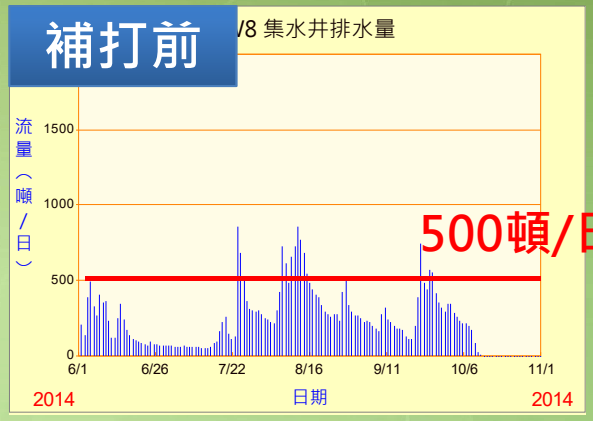
www.safe100.com.tw

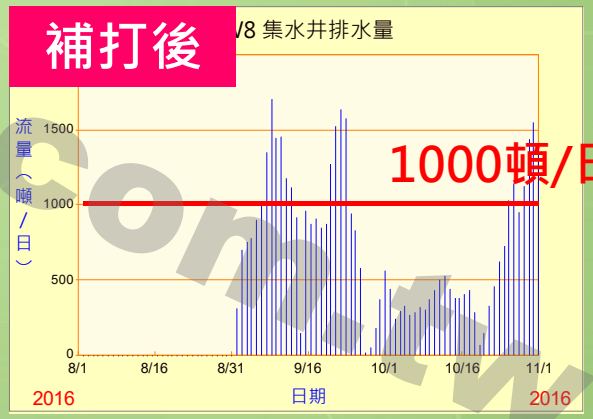
第一期不足處檢討及改進

- 未於施工中，依現況即時調整集水管打設位置
- 於第二期工程(105年)中補打集水管
- 排水量明顯提升



105年補打集水管
出水量大





集水井排水量監測成果
(以W-8井為例)

應於施工中立刻調整
乘勝追擊，一次搞定

www.safe100.com.tw

精進期 (民國104年迄今)



www.safe100.com.tw

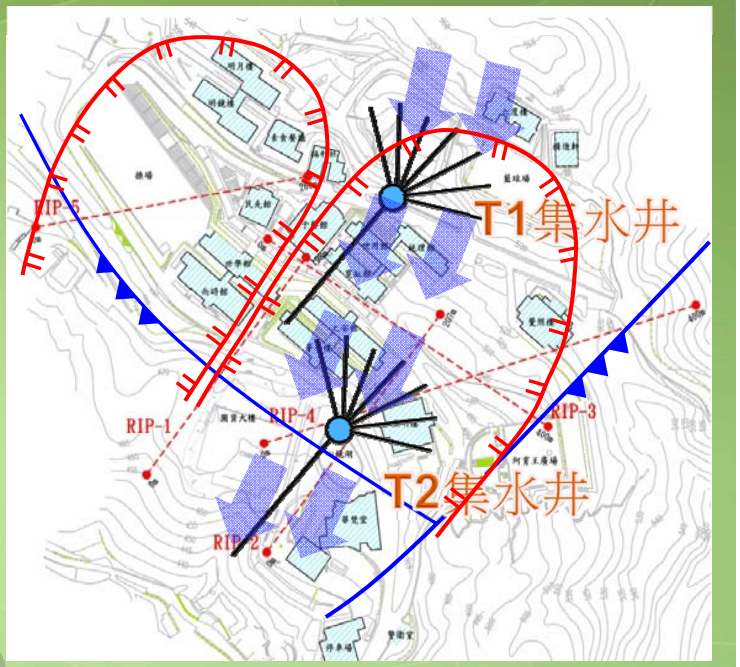
- 地下水調查更全面，強化施工紀錄，預留更多彈性調整項目
- 加強職業安全管理措施，導入全生命週期理念

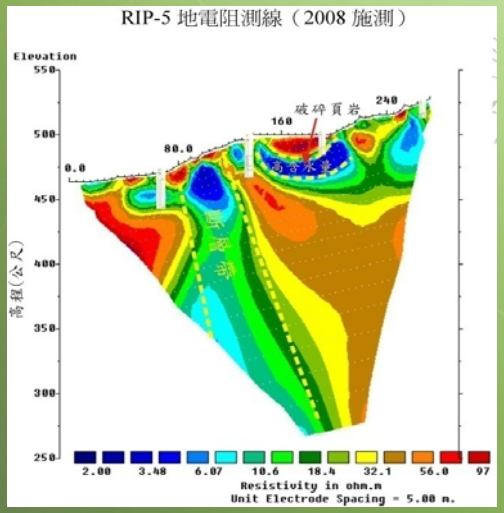
精進期代表案例：石碇大崙地滑整治(105完工)

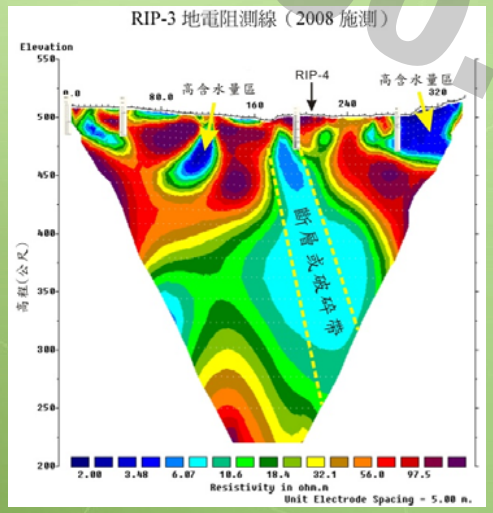
- 確認地質模式、滑動範圍及機制
- 完整之地下水面、線、點狀調查，研判可能地下水流徑

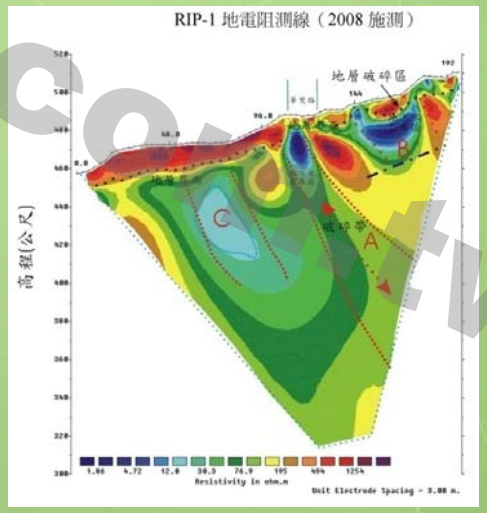








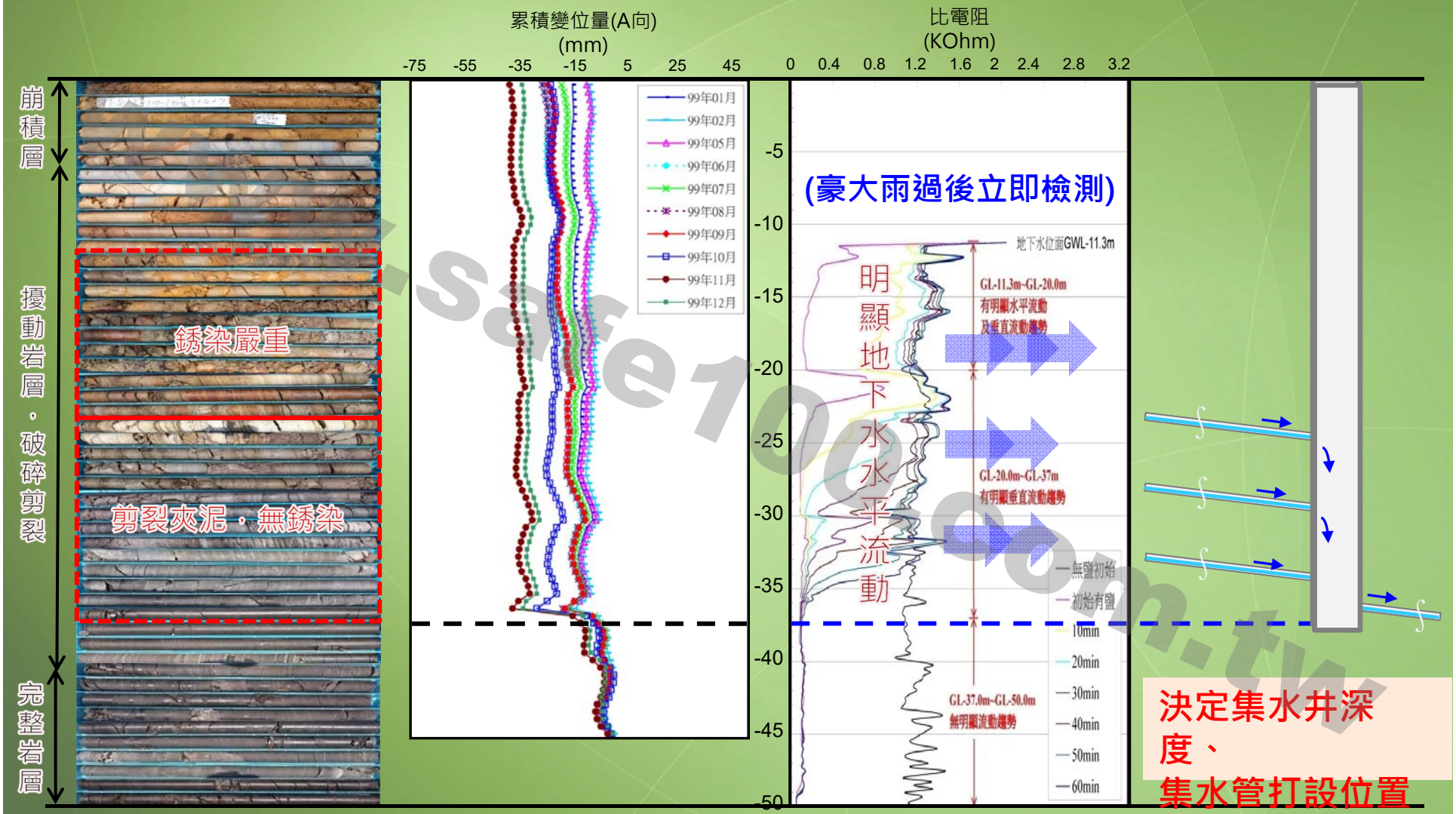




www.safe100.com.tw

地下水調查再進化(集水井預定位置)

- 多次不同時期地下水流動層檢測(常時、暴雨)



岩心狀況　地下水檢層成果　傾斜觀測管資料　集水井設計

強化施工中紀錄

- 設計**明訂應紀錄內容**
  (開挖面拍照、岩性描述、滲水紀錄、打設後出水量...等)
- 紀錄事項表格化，供現場人員依標準操作
- 成果供**監造單位**於施工中評估，**調整集水管打設位置、數量**



地層岩性、地下水記錄

開挖狀況紀錄表

深度 (m)	施工期間 (年/月/日 時:分)	氣候 (日累計雨量)mm	出水狀況 (湧水、漏水層)	岩性 (砂岩、頁岩)	構造 (斷層等)	備註 (破碎、開口節理)
0.5	104/02/17	0		粉土質砂夾岩塊		
1.0	104/02/17	0		-		
1.5	104/02/24	19.5		-		
2.0	104/02/25	0		-		
2.5	104/02/26	0		黃棕色風化砂岩		
3.0	104/02/27	1		-		
3.5	104/02/28	0		-		
4.0	104/03/06	5.5		-		
4.5	104/03/08	0		-		
5.0	104/03/11	40.5(大雨)		-		
5.5	-	-		-		
6.0	104/03/12	15.5		-		開口節理、破碎
6.5	104/03/13	0		-		-
7.0	104/03/14	0		-		-
7.5	104/03/16	0		-		-
8.0	104/03/18	0		-		開口節理
8.5	104/03/19	0		-		-
9.0	104/03/20	0		-		-
9.5	104/03/21	1.5		-		
10.0	104/03/22	0.5		-		
10.5	104/03/24	26		-		
11.0	104/03/25	54.5(大雨)		-		
11.5	104/03/27	10.5		-		
12.0	104/03/29	0	北-東 漏水	-		
12.5	104/03/30	0	北-東 漏水	黃棕色砂岩夾灰色頁岩		
13.0	-	-	北-東 湧水	-		
13.5	104/04/01	0	北-東 湧水	-		
14.0	-	-	北-東 湧水	黃棕色砂岩		
14.5	104/04/03	0	北-東 湧水	-		
15.0	104/04/05	0	北-東 漏水	-		
15.5	104/04/06	0	北-東 漏水	灰色頁岩		破碎
16.0	104/04/08	13	北-東 漏水	-		-
16.5	104/04/10	12	北-東 漏水	-		-
17.0	104/04/14	0	北-東 漏水	-		-
17.5	104/08/15		北-東 湧水	-		破碎

www.safe100.com.tw

梅花地滑區 (新竹縣尖石鄉)

四大主軸

管理維護

施工

規劃設計

調查

萌芽期	發展期	精進期
民94~95年	民96~103年	民104年迄今
基本調查	調查 更多元及深化	
	規劃設計 更合理精準 提升命中率	
	施工 更彈性可行 及安全	
	管理維護 更簡單 延長使用壽命	

民國100年梅花地滑區調查開始

www.safe100.com.tw

民國94年海棠颱風，發生大規模邊坡滑動



摘自：民國94年中華民國工程環境學會調查

民國100年現勘成果

- 曾產生之裂縫處，雖經補強，但仍重複發生









梅花地滑區調查歷程

100~101年(面調查)

- **地質模式及崩塌範圍確認**
  - 基本資料蒐集
  - 現況調查
  - 地表地質調查
  - 地質鑽探調查

102~103年(面調查)

- **滑動機制及地下水特性研判**
  - 半自動化監測儀器建置
  - 整體治理規劃
  - 分年分期計畫

104年(線調查)

- **確定集水井井位**
  - 持續性監測
  - 地下水流徑研判
  - 緊急處理工程施工

105年(點調查)

- **補充地下水調查**
  - 集水井預定施作位置，進行地下水試驗
  - 緊急治理工程成效評估
  - 滾動檢討必要處理工程內容

106年(施工中調整)

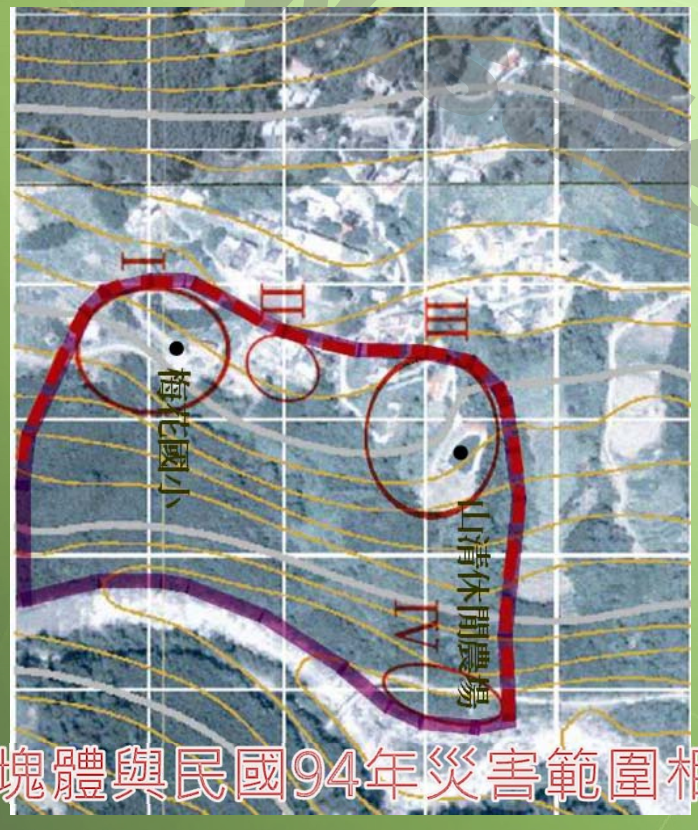
- **設計、施工階段**
  - 自動化監測儀器建置
  - 追蹤治理成效

www.safe100.com.tw

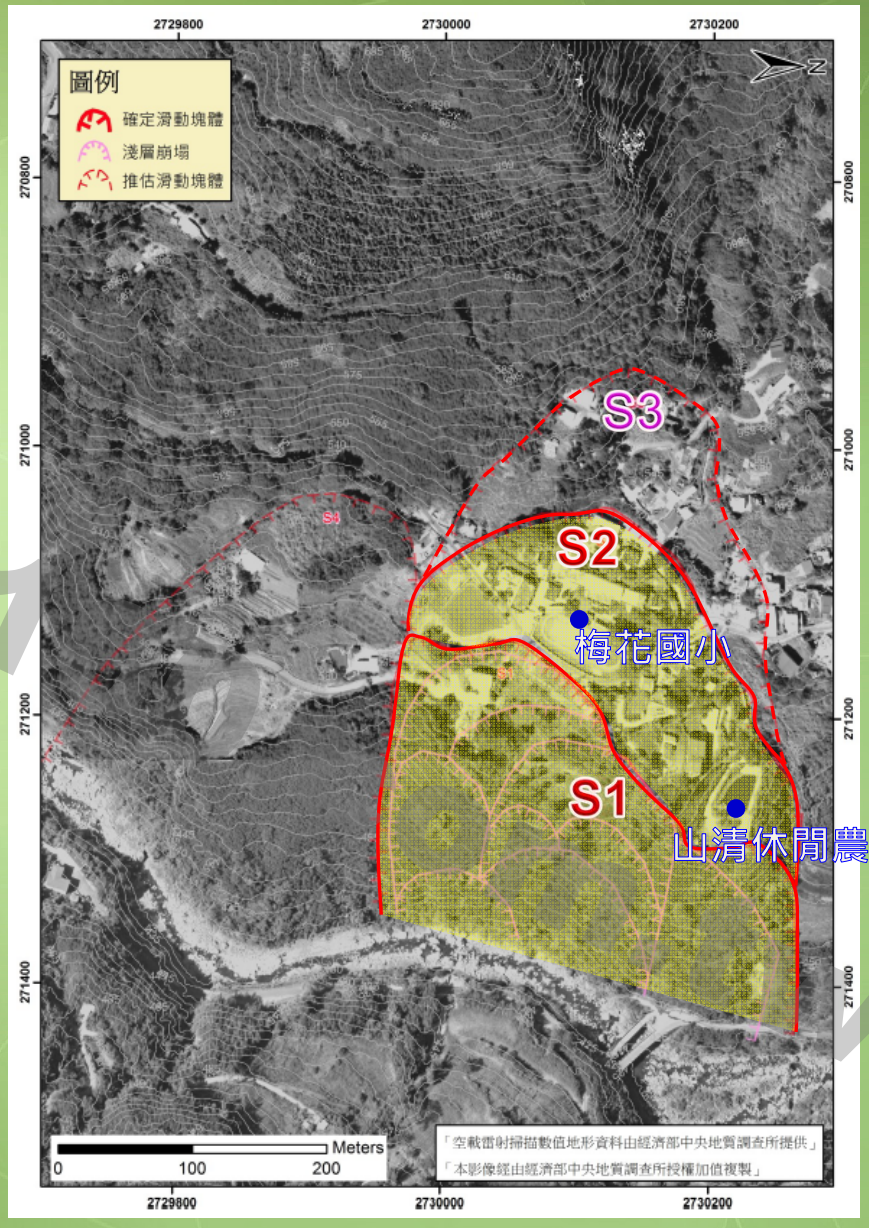
滑動塊體分布

- 歷年航照蒐集
- 遙測影像判釋
- 地表地質調查
- 地質鑽探
- 地球物理探測

- S1~S2為明確滑動塊體，滑動範圍約8ha
- S3為推估之滑動塊體

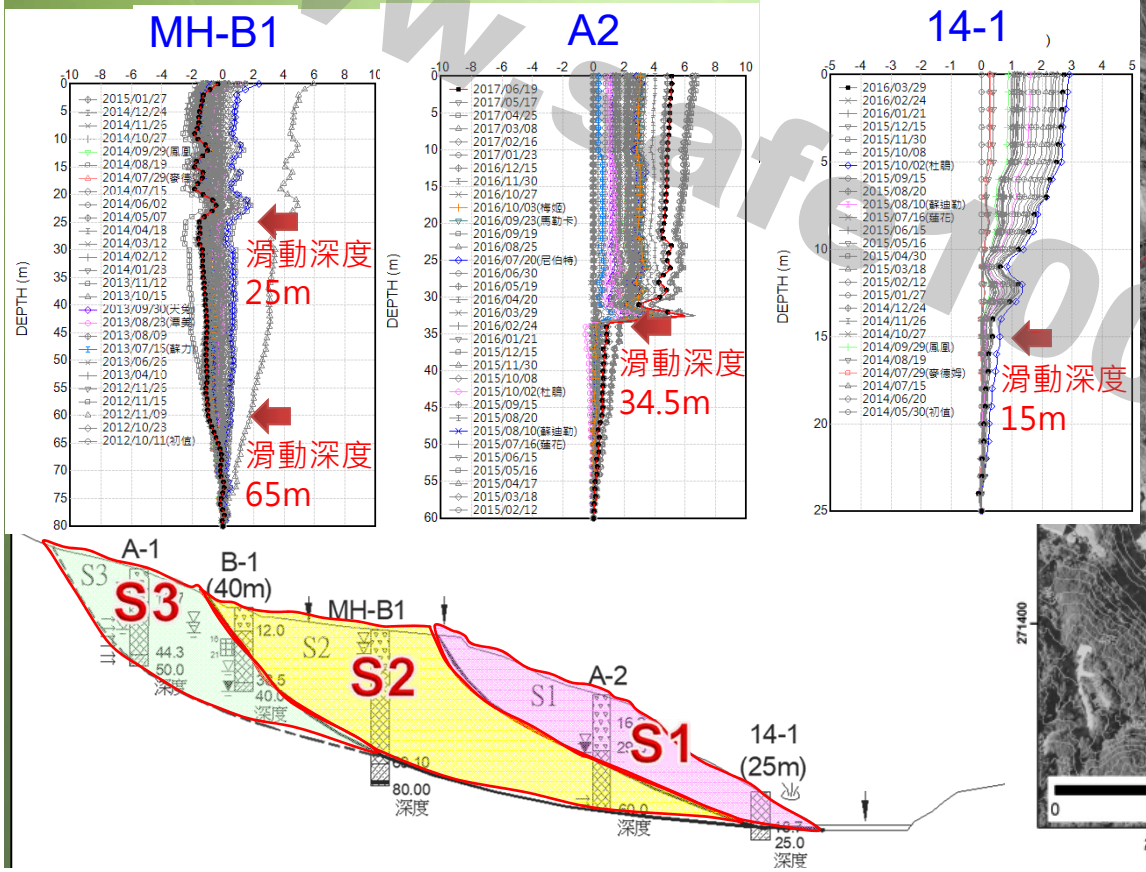


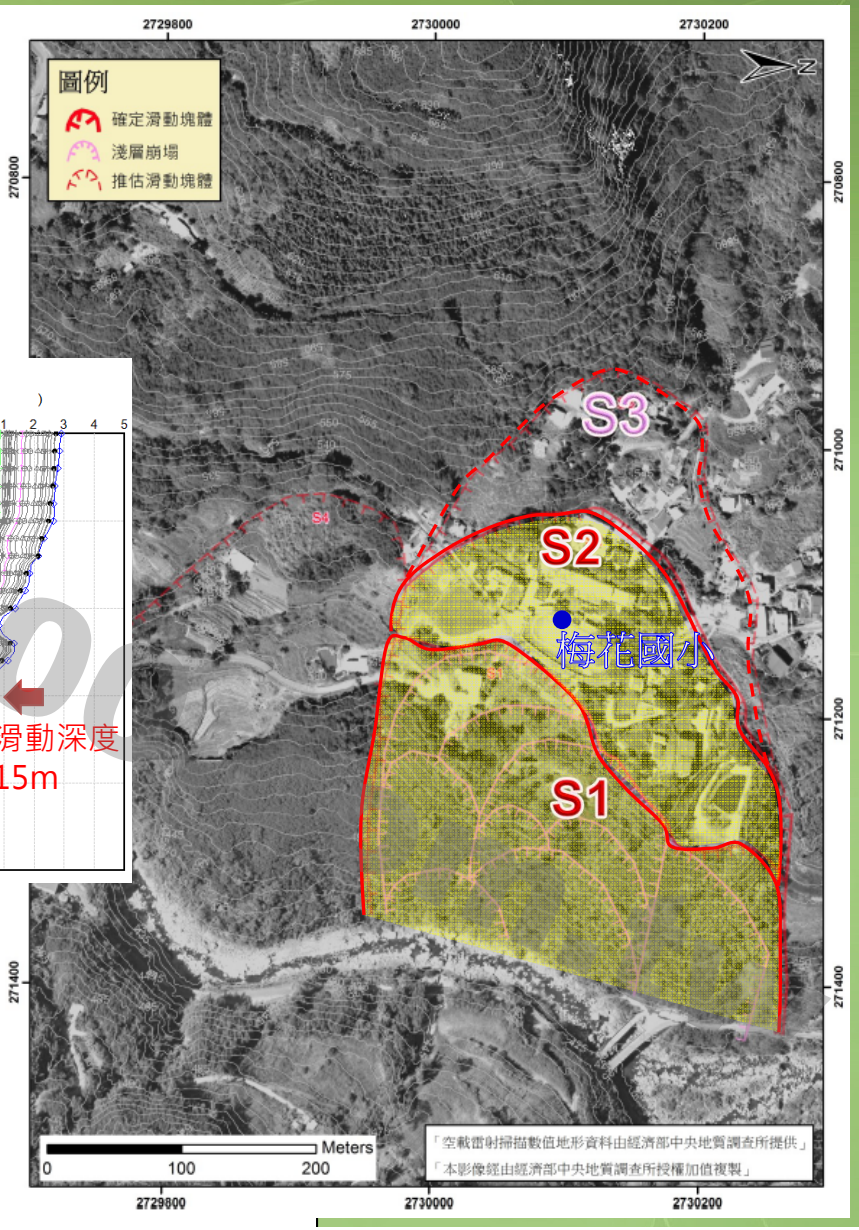
S2塊體與民國94年災害範圍相似



滑動塊體剖面

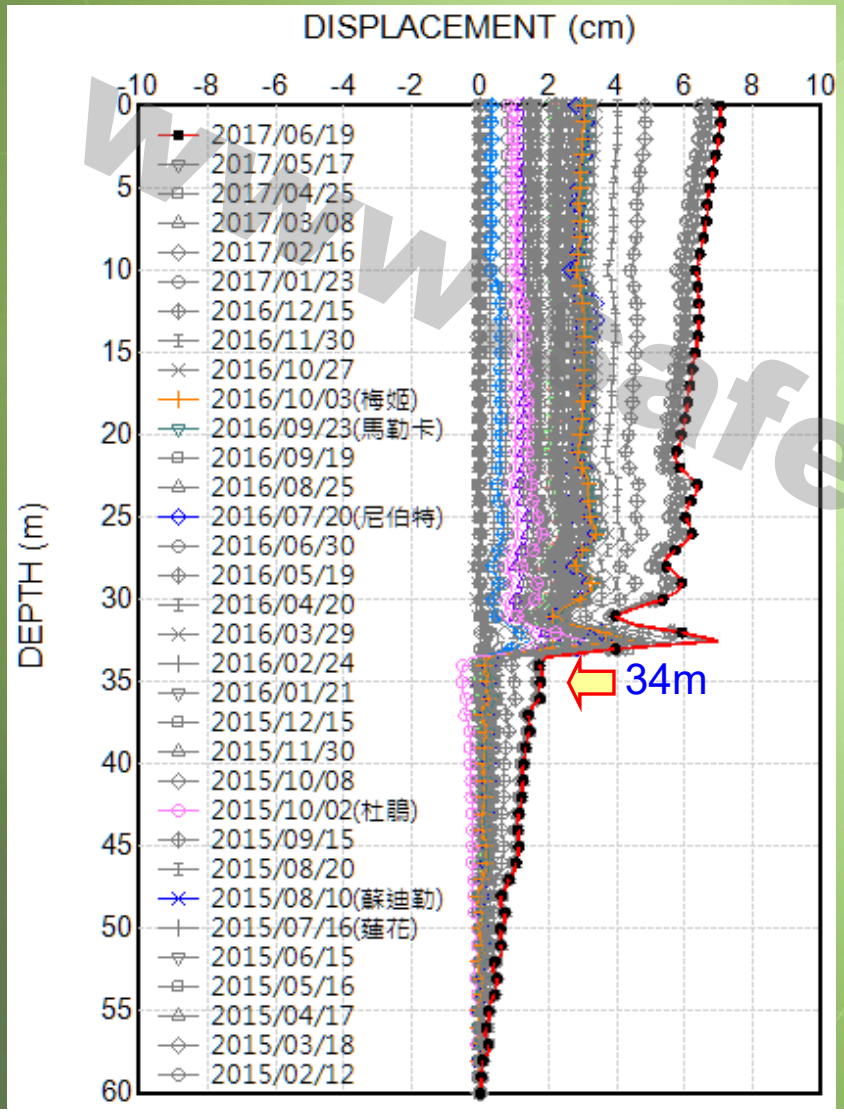
- S2：滑動深度研判約地表下65m，滑動速率約0.4m/年
- S1：滑動深度研判約地表下34m，滑動速率約2~4cm/年

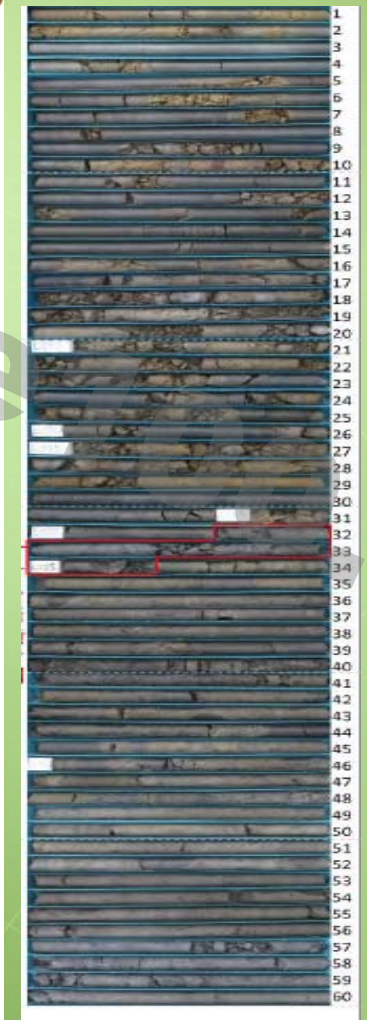


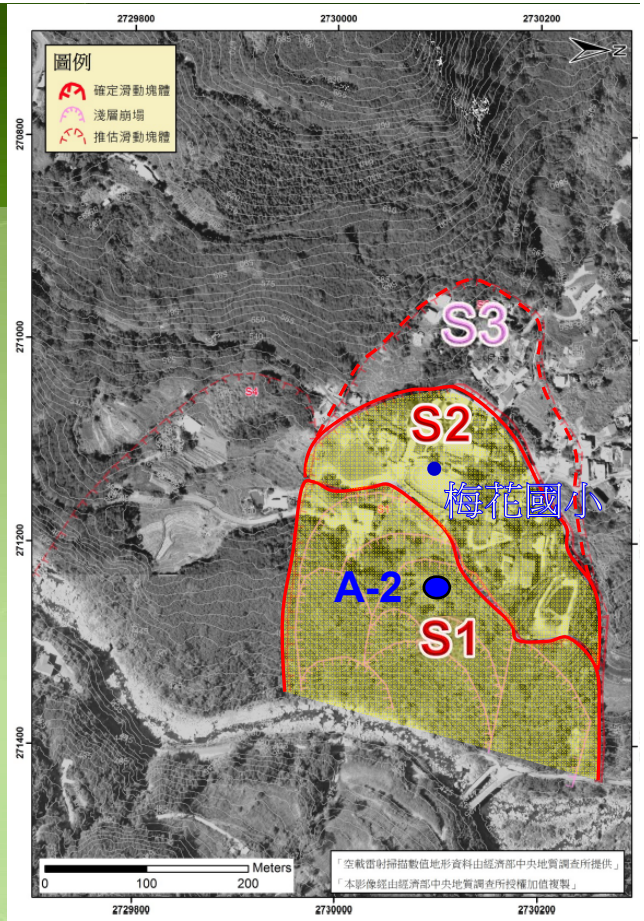


滑動深度 A-2孔

- 滑動面深度約34m(上、下崩積層交界)





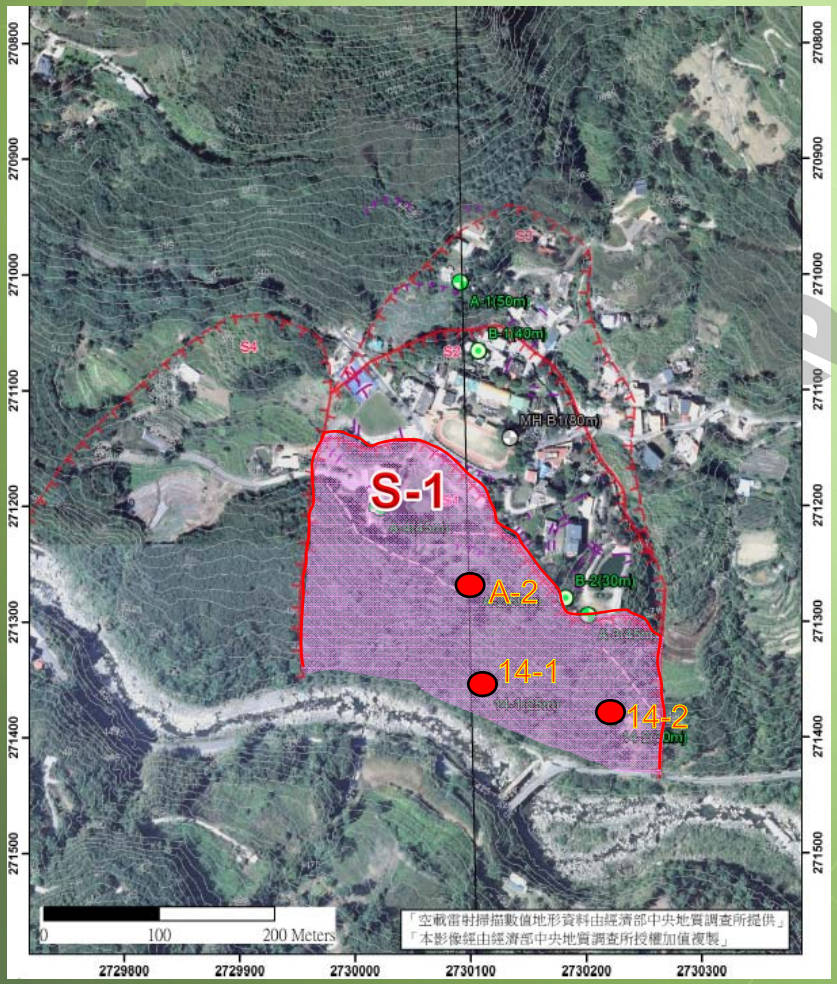


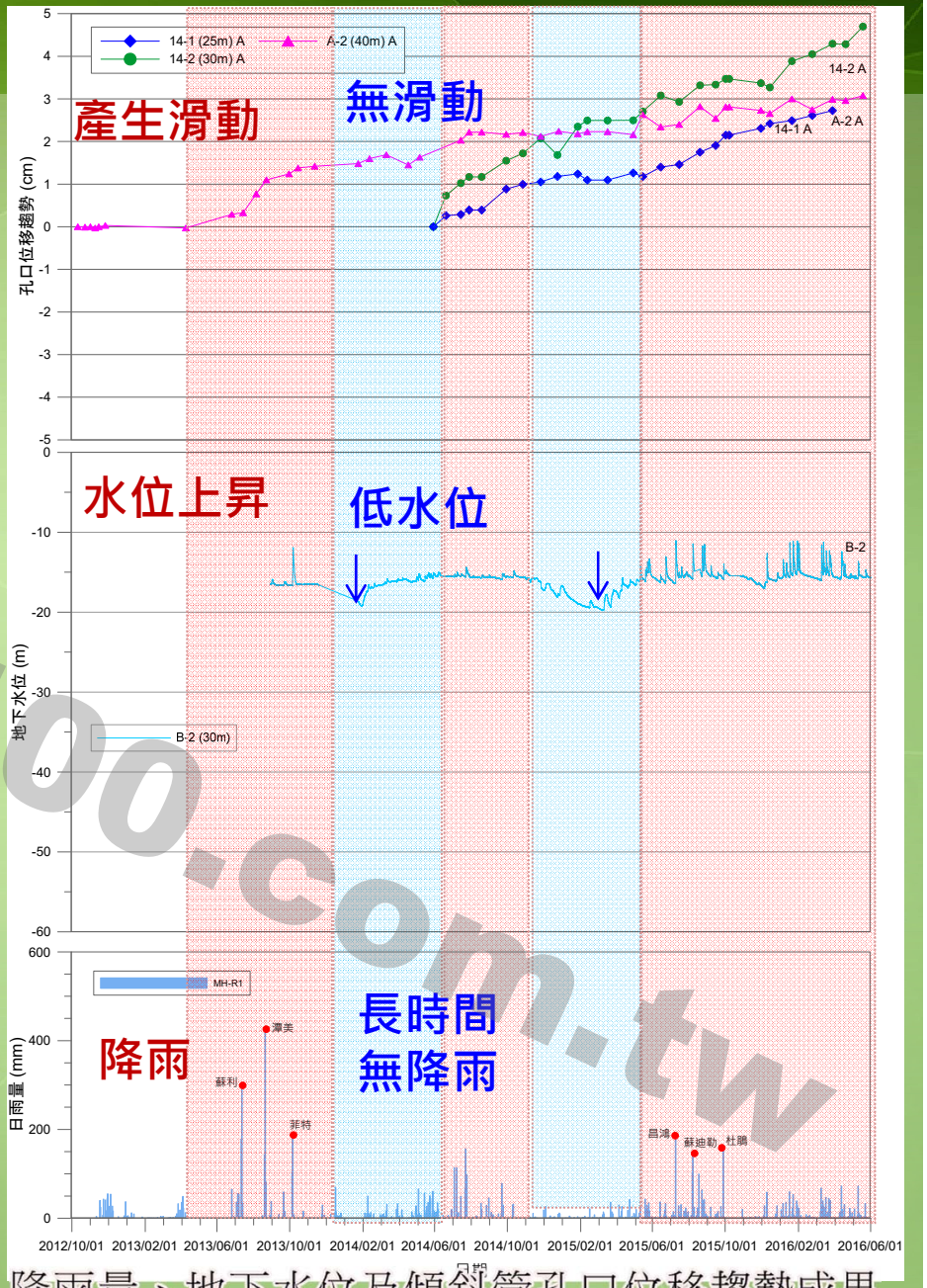
上、下崩積層交界

www.safe.com.tw

滑動機制研判

- 塊體穩定性與降雨、地下水上昇有密切關係(半自動監測)

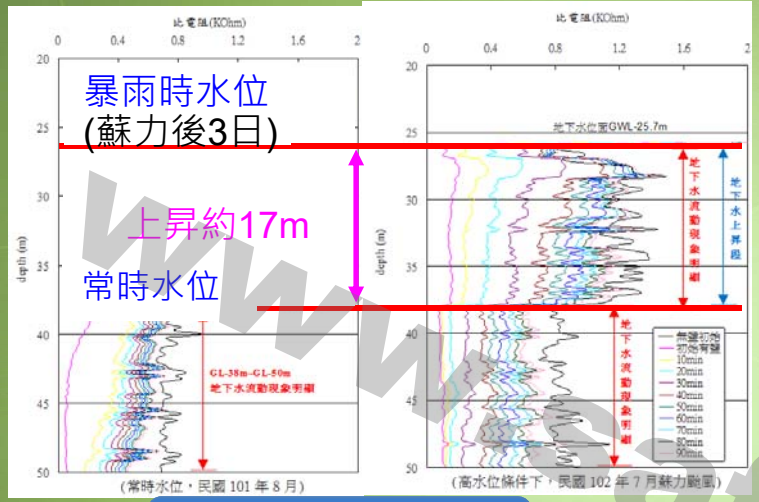




降雨量、地下水位及傾斜管孔口位移趨勢成果

地下水流徑

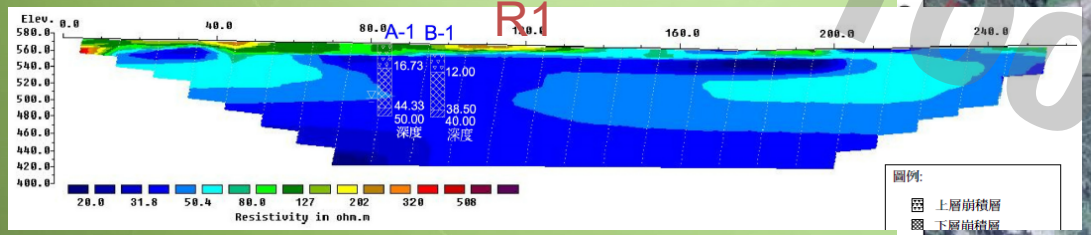
根據現勘、地質調查及監測成果，
研判可能地下水流徑

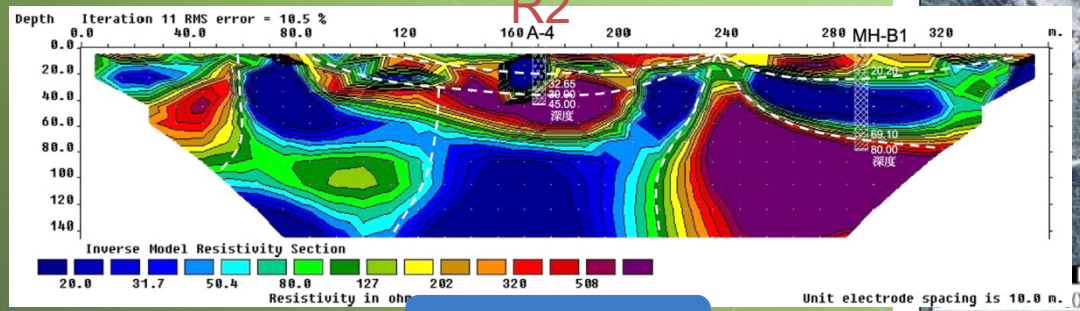


地下水檢層試驗



記錄滲水位置





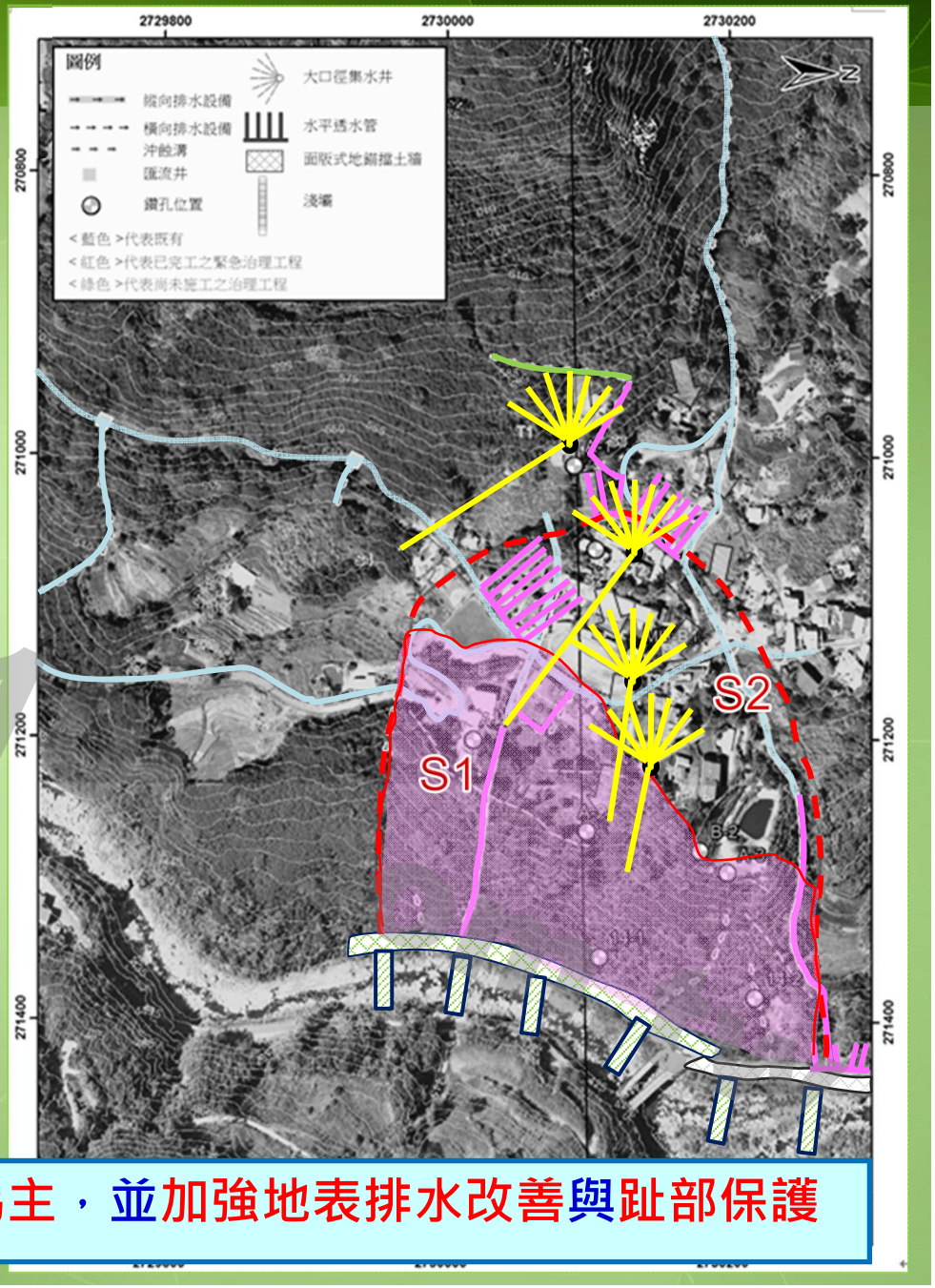
地電阻探測

www.safe100.com.tw

整體治理規劃內容

102年提出 104年修正

- **地表排水系統改善**
  - 橫向截流(減少地表水流入)
  - 縱向排水(延伸既有縱向溝)
- **加強地下水導排**
  - 坡面集水管
  - 大口徑集水井(4座)
- **趾部保護**
  - 護岸加固
  - 面版地錨擋土牆

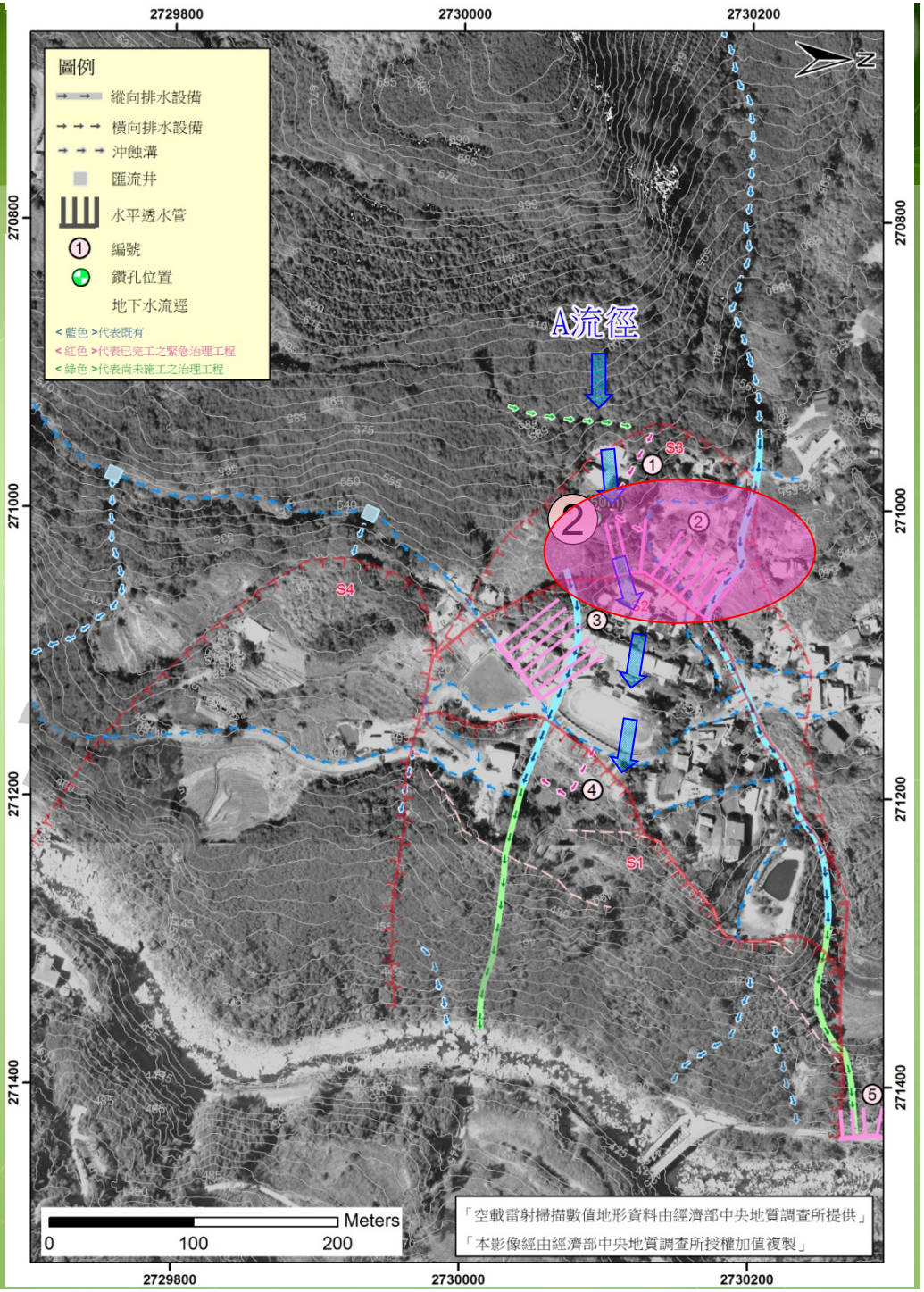


整體治理規劃構想：地下水導排為主，並加強地表排水改善與趾部保護

坡面集水管打設






2729800
2730000
2730200
270800
271000
271200
271400
圖例
縱向排水設備
橫向排水設備
沖蝕溝
匯流井
水平透水管
編號
鑽孔位置
地下水流遙
< 藍色 >代表既有
< 紅色 >代表已完工之緊急治理工程
< 綠色 >代表尚未施工之治理工程
A流徑
S3
S4
S1
1
2
3
4
5
Meters
0
100
200
「空載雷射掃描數值地形資料由經濟部中央地質調查所提供」
「本影像經由經濟部中央地質調查所授權加值複製」

坡面集水管打設後追蹤

- 持續有出水效果











分年分期治理計畫

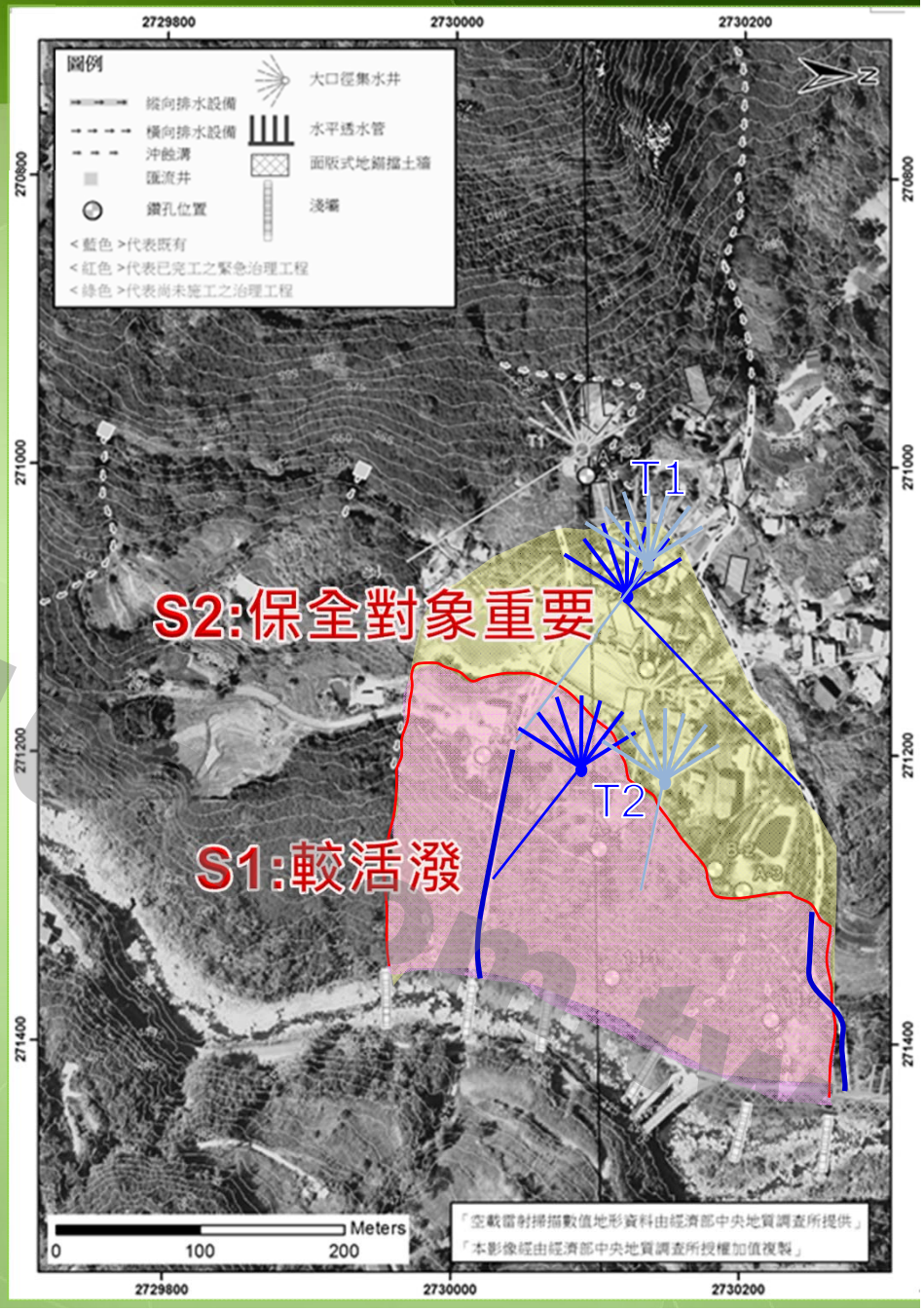
既有地表排水系統改善

⇩

降低保全對象「大規模崩塌」
發生風險 (T1、T2集水井)

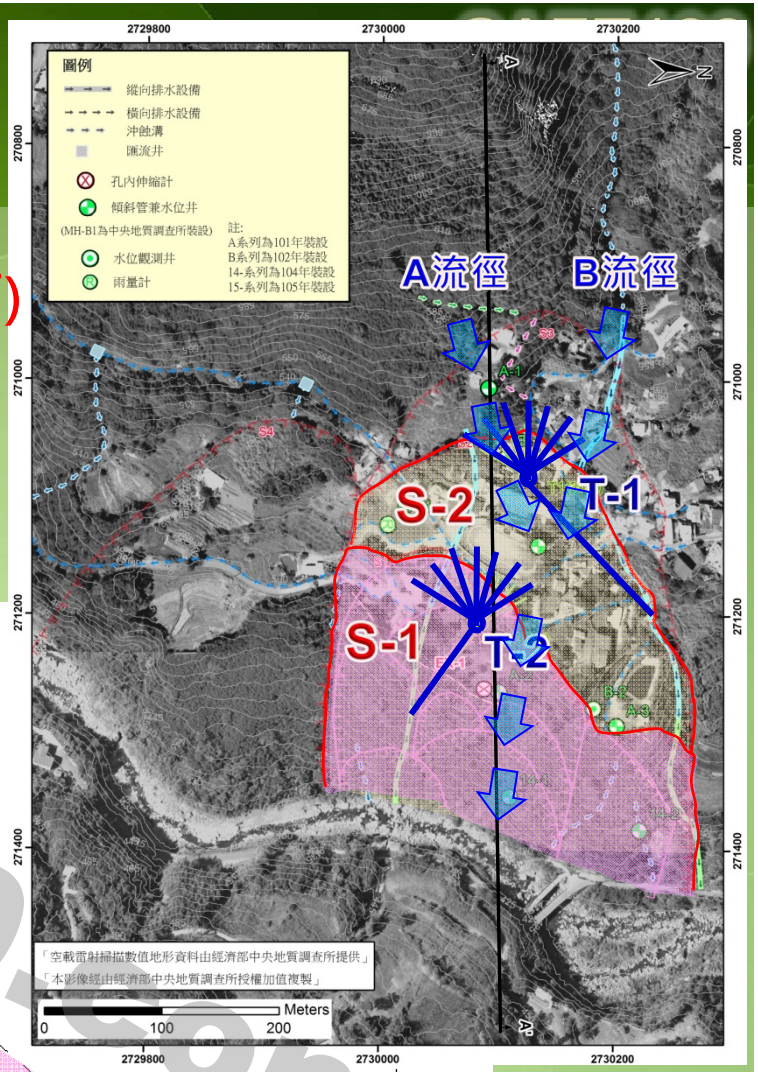
⇩

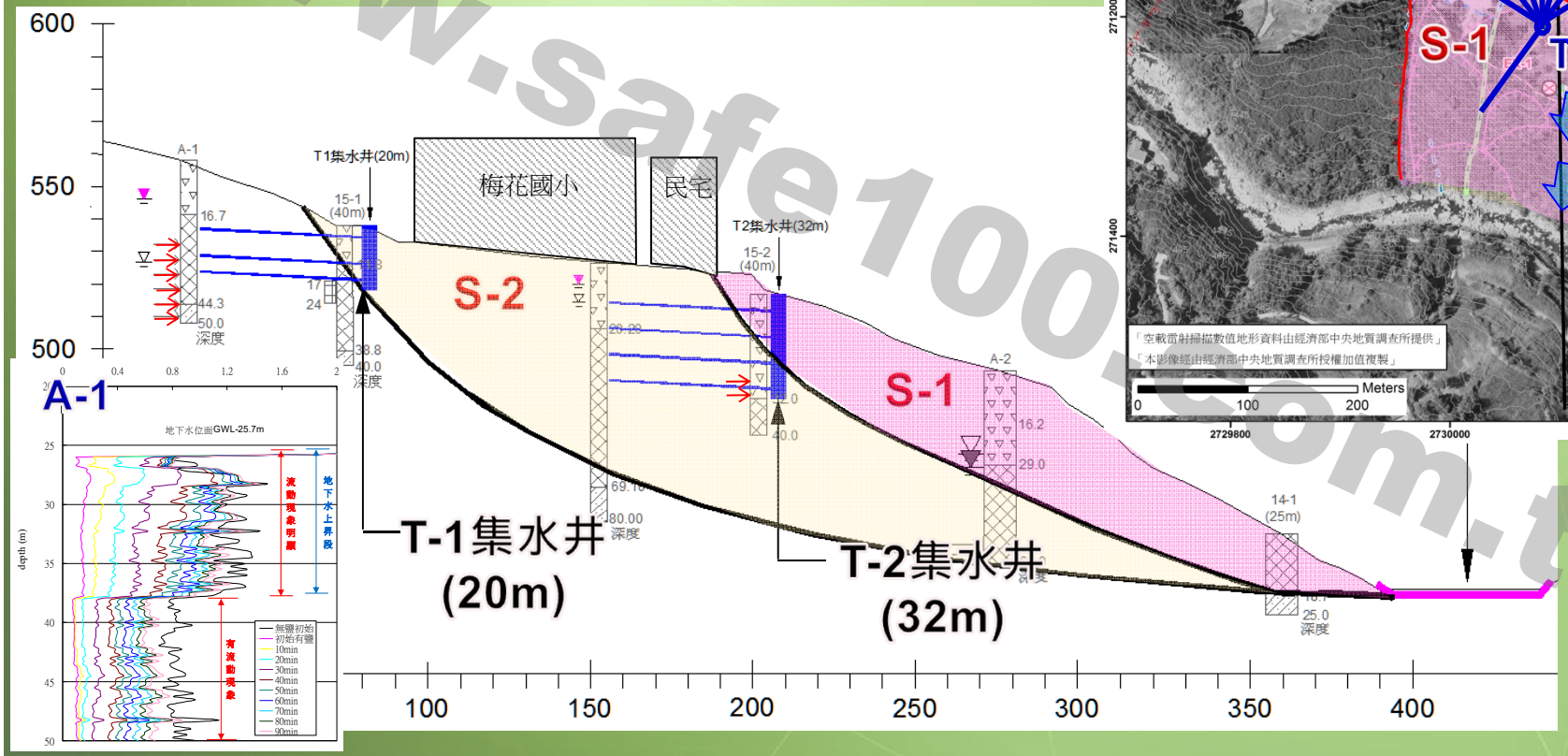
整體邊坡達初步穩定後，
再針對S1滑動塊體進行整治



集水井設計構想

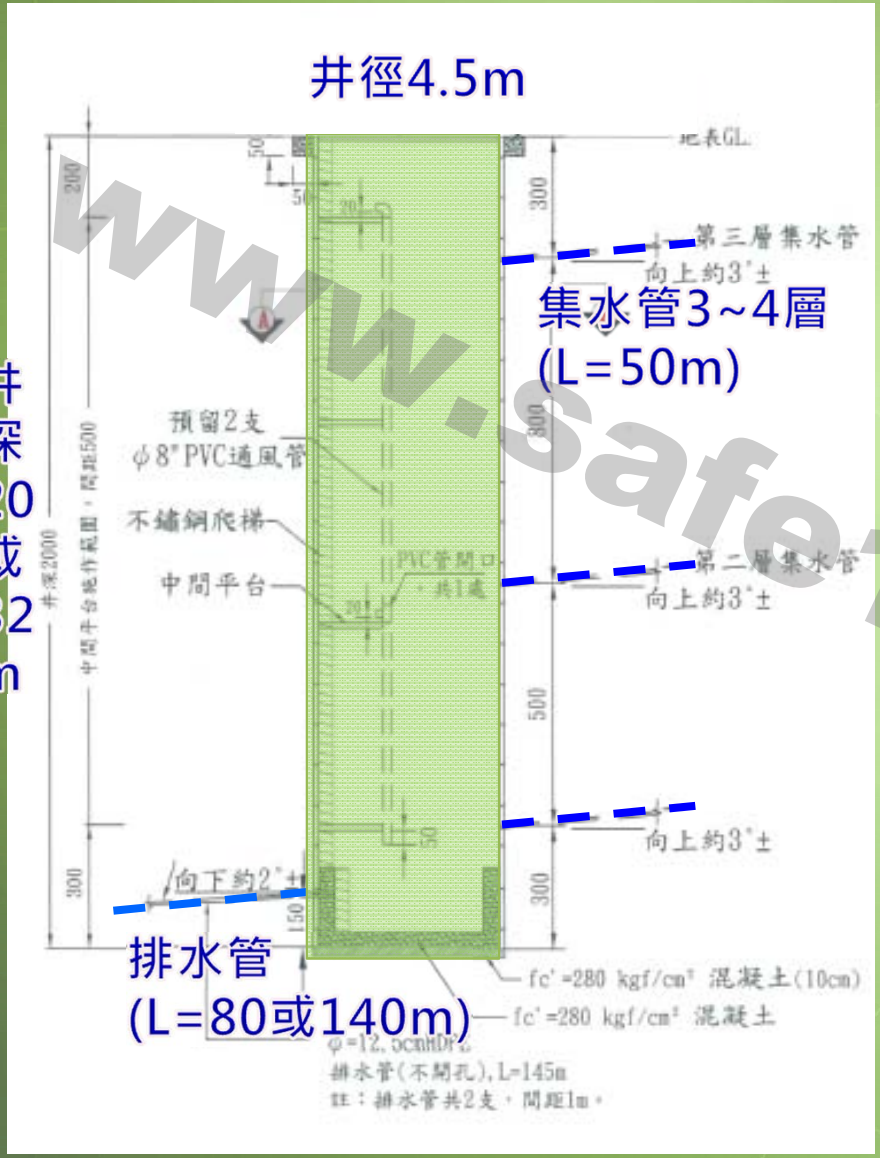
- **崩塌機制**：地下水位上升造成之大規模崩塌(面)
- **集水井位置及深度**：地下水流徑(線)
- **集水管打設位置**：佈設於地下水流動層(點)
  →於施工中再機動調整





www.safe100.com.tw

集水井設計尺寸



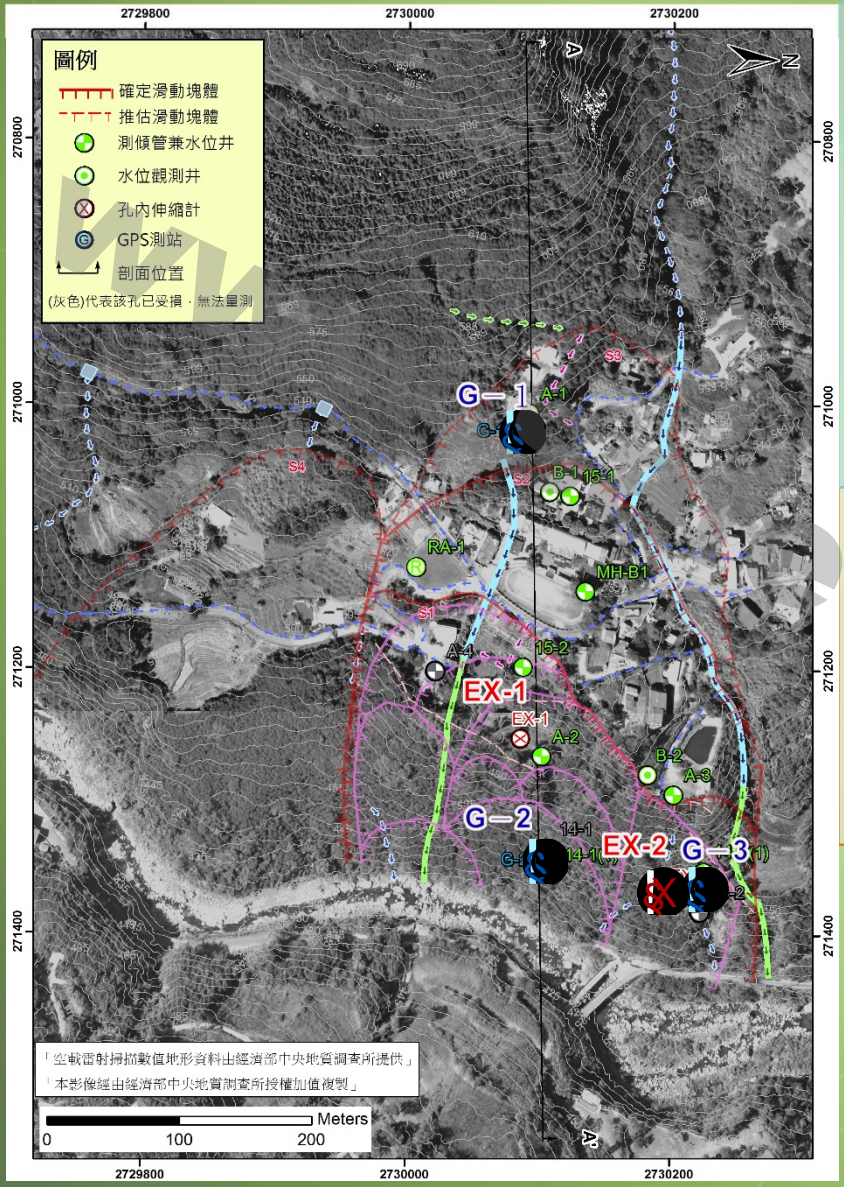

集水井井內實際情形
(台18線五彎仔地滑區)



集水井完工後實際情形
(宜蘭中間解說站)
2016/07

www.safe100

搭配監測手段，評估治理成效



- 8孔 傾斜管兼水位井
  (含地調所MH-B1，並納入15-1及15-2)
- 2孔 水位觀測井
- 2只 自計式水壓計(MH-B2、B-2)
- 1組 自計式雨量計

- 3處 GPS測站
- 2處 孔內伸縮計
- 4支 電子式水壓計
  (A-1、A-2、14-1(1)、14-2(1))

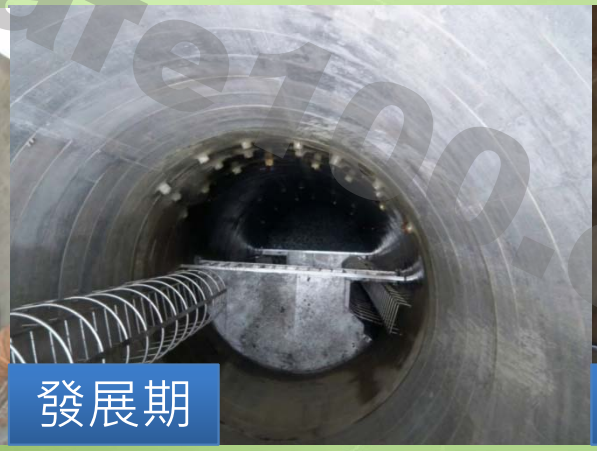
- 確保施工中安全及整體邊坡穩定性
- 供後續進行治理成效評估

導入全生命週期理念、延長使用壽命

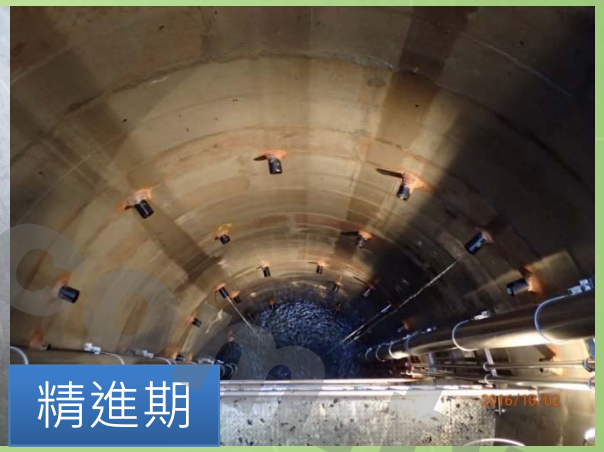
- 集水井並非地表設施，不易管理，且造價不斐
  - 改進下井維護之便利及安全性
  - 集排水管週期性洗孔維護，提高集水成效
  - 長期監測，加以掌握評估



爬梯耗費體力
具危險性



設有數階中間平台



預留照明及通風管等

www.safe100.com.tw

集水井成效評估指標 (QDRS指標)

- 成效檢討應有量化之標準，但缺乏相關文獻
- 嘗試建立4項指標，作為坡地排水整治成效評估依據
- 持續蒐集資料，再修正



www.safe100.com.tw

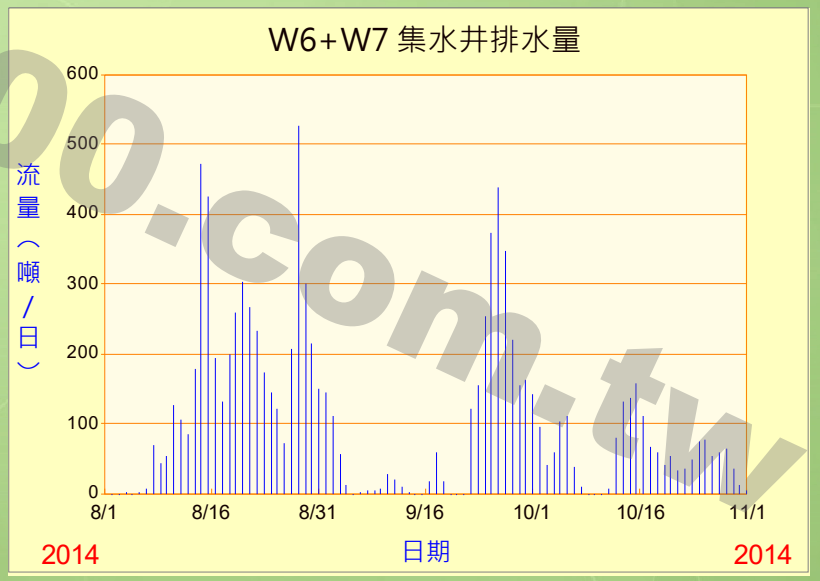
集水井出水量(Q)

- 單井成效之**最直接指標**

出水量分級	定性說明	定量分級 Qt(L/min)	效能評估	代表性案例
5	極大	Q >400	極佳	石碇大崙地滑(480L/min) 五彎仔一期(420L/min)
4	大	200 <Q ≤ 400	佳	雪霧隧道(270L/min) 中山大學
3	中	50 <Q ≤ 200	符合預期	中間解說站 介壽國中 台8線116K 九份地滑區(90L/min)
2	小	20 <Q ≤ 50	尚可	台11線28K 新光路崩塌地 台62線整治工程
1	極小	Q ≤ 20	不佳	

- **可提供約2000人每日生活用水**



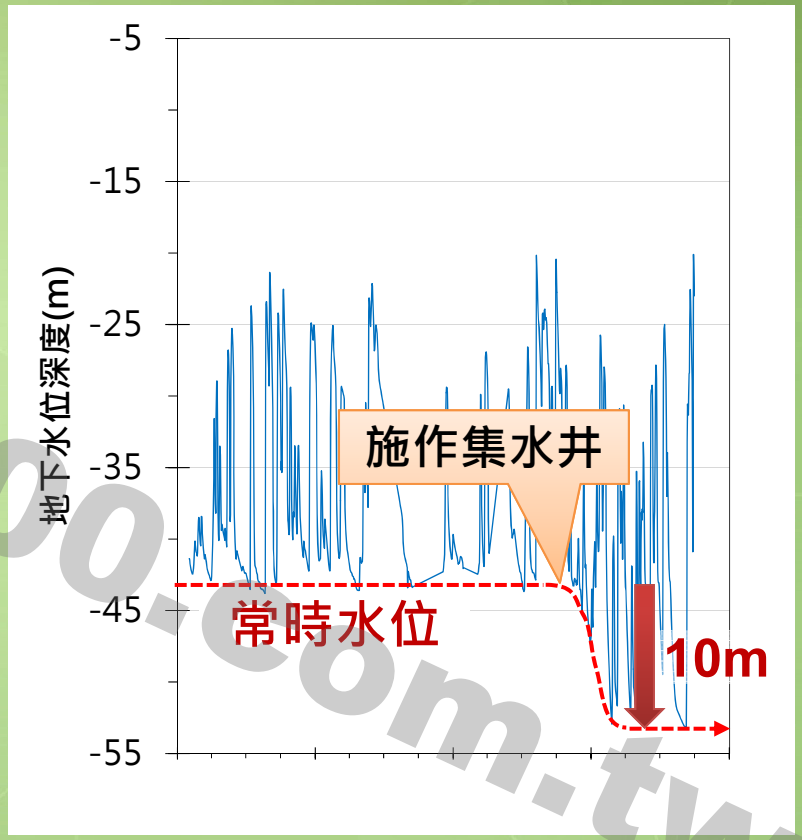


www.safe100.com.tw

常時地下水位下降量(D)

- 地下水位下降可提升邊坡穩定性、預留地下水上升空間
- 單座集水井影響範圍有限
  需參考鄰近範圍內之觀測井

下降量分級	下降程度	定量分級 (m)	代表性案例
5	極顯著	D ＞10	
4	顯著	7＜D ≤10	石碇大崙地滑
3	中等	4＜D ≤7	五彎仔一期
			中間解說站
2	略有	1＜D ≤4	
1	極小	D ≤1	



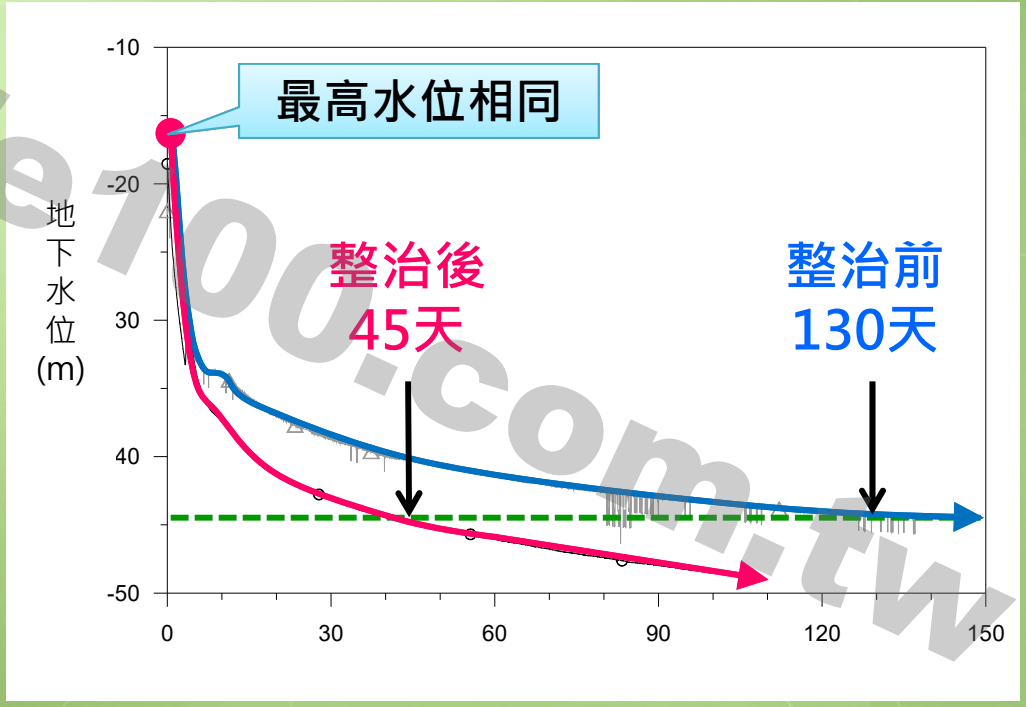
施作集水井後常時水位下降
(以石碇大崙地滑W1孔為例)

www.safe100.com.tw

地下水宣洩速率比(R)

- 指降雨過後(達高水位後)水位下降速率
- 比較集水井施作前後之速率比(R)
- R值越大，越能減少邊坡處於高水位(高風險)之時間

宣洩速率分級	排水性定性說明	集水井打設前後宣洩速率比 R ($*V_f/V_0$)	代表性案例	宣洩速率 (m/每日)
5	極佳	R > 4	中間解說站	V_f=18 V_0=3.3 R=5.5
4	佳	2.5 <R ≤ 4	五彎仔一期	V_f=0.58 V_0=0.22 R=2.6
3	中等	1.5 <R ≤ 2.5	石碇大崙地滑	V_f=1.06 V_0=0.48 R=2.2
2	略差	1.1 <R ≤ 1.5		
1	幾乎未改變	R ≤ 1.1		



水位下降所需天數(五彎仔)

www.safe100.com.tw

邊坡穩定性(S)

- 以邊坡位移速率為評估基準
- 不僅與集水井排水成效有關，需視整治規劃方案

穩定性分級	評估基準	說明	代表性案例
A級	• 位移速率V≒0(平時或豪大雨)並經5年以上豪大雨事件的考驗	• 改善成效極佳	• 中山大學 • 雪霧隧道 • 台11線28K • 新光路崩塌地
B級	• 平時位移速率V≒0 • 豪大雨時邊坡仍會微動 • 雨季 0 < V <2 (mm/每月) • 平時或豪大雨時邊坡均呈穩定但未經5年以上驗證	• 改善成效佳 • 但仍須加以追蹤 • 局部仍需補強改善	• 中間解說站 • 九份地滑區部分滑動塊體 • 五彎仔部分滑動塊體(N5、N3)
C級	• 邊坡平時穩定 • 雨季 2 < V < 10 (mm/每月) • 單場豪大雨，邊坡位移量大於50mm，但小於20mm	• 改善已略有成效 • 集水井之排水功能可能不足 • 可能仍有盲點未掌握 • 集水井數量可能不足	• 五彎仔部分滑動塊體(N2)
D級	• 雨季V > 10mm/月，或單場豪大雨邊坡位移量大於20mm	• 需檢討集水井工法的適用性 • 需採用更多的工法綜合運用	
E級	• 位移速率與改善前相同	• 需檢討集水井工法適用性 • 地下水調查不足 • 集水井位置不對或深度不足	

www.safe100.com.tw

青山案例評估結果

- 完工5年以上案例，均已減緩滑動速率
- 部分案例尚未經5年以上驗證或缺乏監測資料

時期	項次	專案	集水井出水量	水位下降量	地下水宣洩速率比	邊坡穩定綜合指標	備註
萌芽期	1	台11線28K路基下陷修復	2			A級	
	2	中山大學藝術大樓後側邊坡	4			A級	集水井為主、地錨為輔
發展期	3	桃園介壽國中地滑區	3			B級	集水井為主、護坡為輔
	4	宜專一線 中間解說站第二期整治	3	3	5	B級	集水井、擋土工法並行
	5	九份地滑區	3			B級	集水井為主
	6	台北市新光路崩塌地	2			A級	擋土為主、集水井為輔
	7	五彎仔地滑區整治(第一期)	5	3	4	B級(部分) C級(部分)	集水井為主、擋土為輔 (擋土工法尚未施作)
	8	台7線雪霧隧道第一期整治	4				集水井、擋土並行
	9	台62線順向坡整治 A工區					施工中
		台62線順向坡整治 B工區	2				本年度完工
		台62線順向坡整治 C工區	2				本年度完工
	10	台8線116K+100路基下陷改善	3				完工後無資料
精進期	11	石碇大崙地滑區第一期集水井	5	4	3		集水井為主，本年度完工
	12	五彎仔地滑區整治(第二期)					施工中

www.safe100.com.tw

結語

- 大口徑集水井排水工法，為大規模地滑區整治重要利器更為深層滑動崩塌區整治，有效且必要工法，但成功機率不確定性高
- 雖為舊工法，但若能不斷精進調查、設計、施工、維護各階段作業，成效確有大幅提昇

- 梅花地滑區之集水井排水工法，於詳細調查後進行規畫設計，設計考量視施工紀錄調整施作內容之彈性。
- 同時輔以監測，評估治理成效，進而滾動修正後續治理規劃作為。

www.safe100.com.tw

簡報結束 敬請指教

www.safe100.com.tw

SAFE100 青山 www.safe100.com.tw 坡地防災的專業團隊