地電阻影像剖面法於坡地探查案例探討

蔡道賜
三合技術工程公司

一、大鳥崩坍地探查

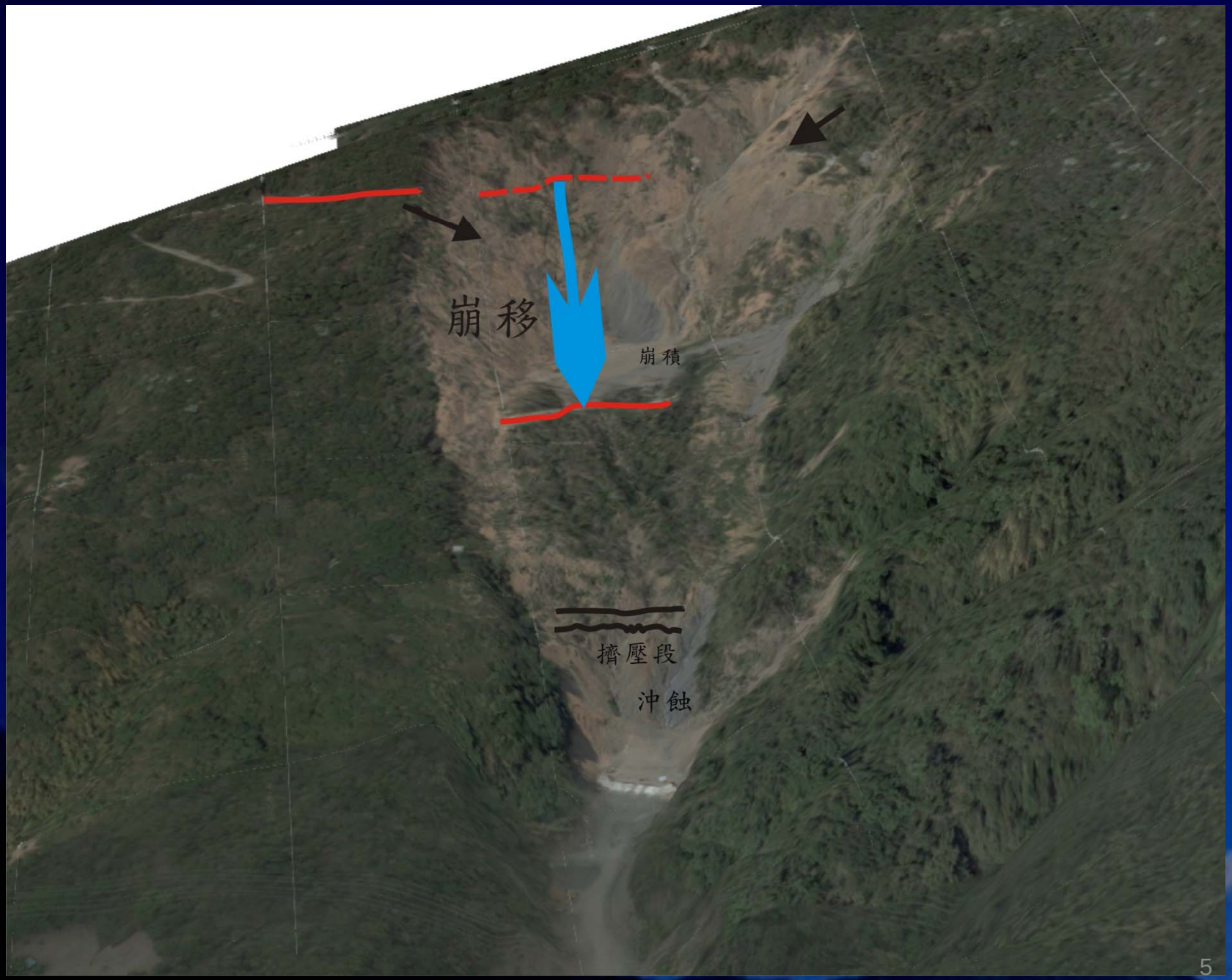
業主: 行政院農業委員會水土保持局台東分局

執行單位:建國科技大學

探查單位:三合技術工程有限公司

前言

- 台東位處台灣東南部由於地質脆弱，地震頻繁，在每年侵台之颱風及豪大雨作用下，導致嚴重之土砂災害發生。
- 98年8月8-9日莫拉克颱風登陸侵襲臺灣，造成臺東縣大武鄉大鳥社區後方上游集水區產生約6.81公頃之崩塌，不僅使得產業道路中斷，超過30萬立方公尺的土石下移，掩埋部份民宅，受影響住戶約298戶。


崩移
崩積
擠壓段
沖蝕

調查作業說明

調查作業

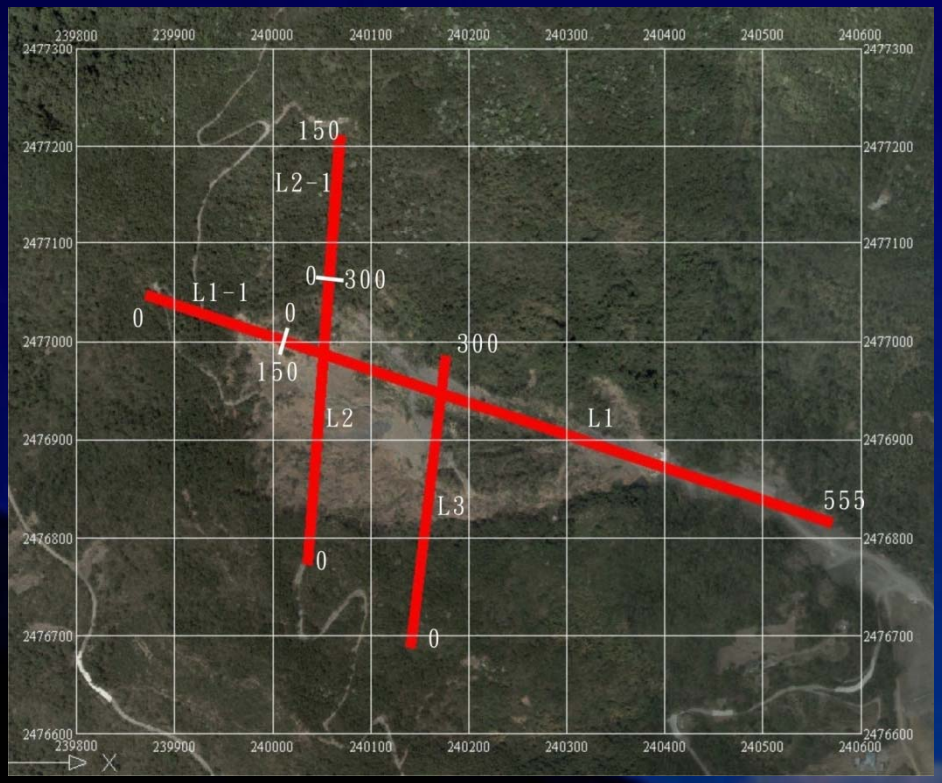
本案集水區現況調查工作包含地質鑽探（含土壤試驗）、地電阻探測、設置水位觀測計、傾斜觀測儀、自計式雨量計等監測儀器，並進行地表地質調查，說明如下：

(1)地質鑽探部分包含水位觀測井150公尺及傾斜觀測計150公尺，崩塌地地質鑽探21公尺，共計321公尺。

(2)地電阻探測部分L1測線長度705m，L2測線長度450m，L3測線長度300m，共施作1455m 。

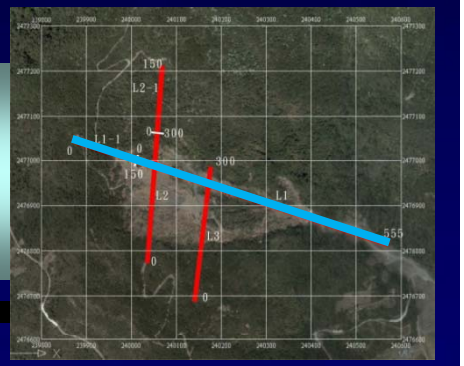
地電阻影像剖面探查
Resistivity Image Profiling

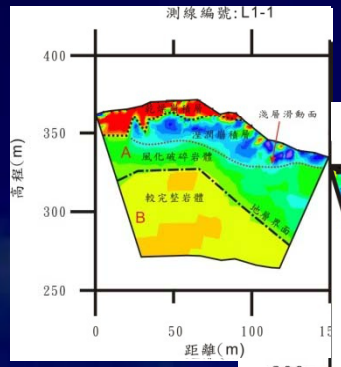
地電阻影像剖面探測測線位置

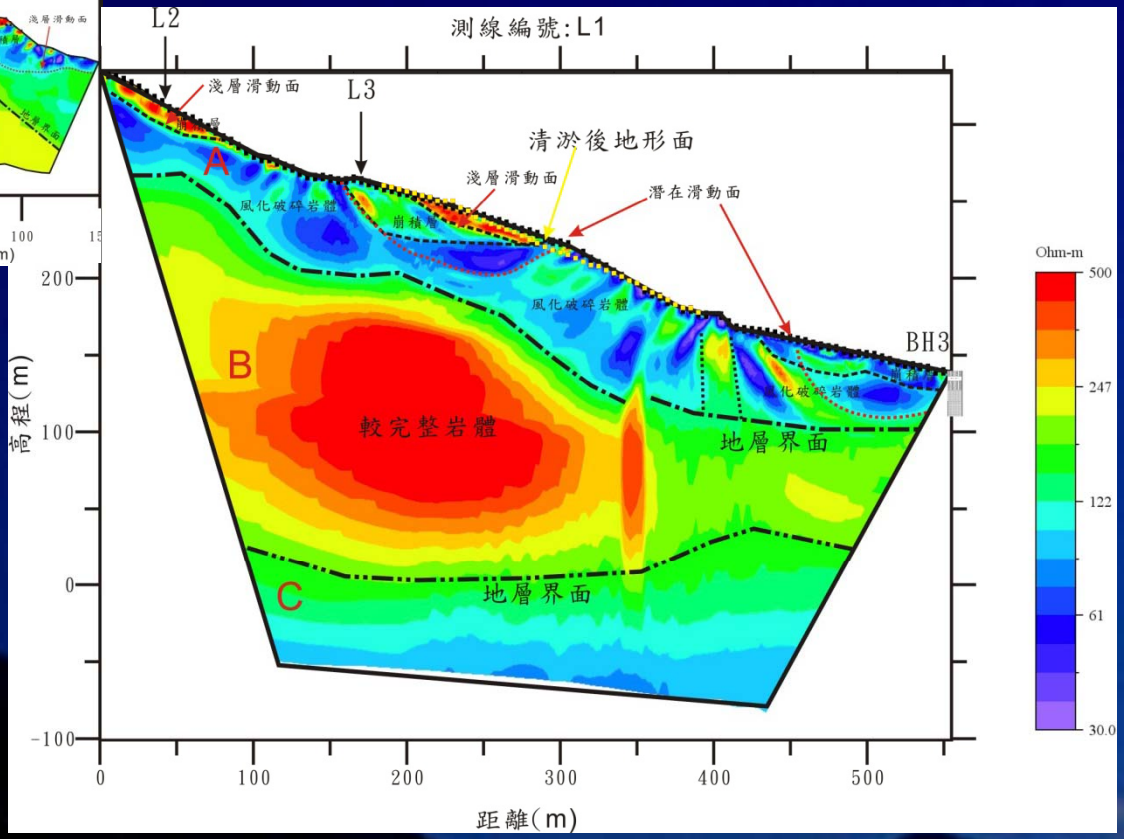


編號	長度(m)	測線起迄座標		
L1	555	起	E240013.178	N2476999.898
		迄	E240540.089	N2476825.577
L2	300	起	E240035.910	N2476773.371
		迄	E240058.313	N2477072.439
L3	300	起	E240141.029	N2476688.052
		迄	E240176.615	N2476985.554
L1-1	150	起	E239870.736	N2477047.087
		迄	E240013.178	N2476999.898
L2-1	150	起	E240058.313	N2477072.439
		迄	E240068.704	N2477211.298
合計	1455公尺			

測線L1和L1-1


L2-1
L1-1
L2
L3
L1
150
300
555


測線編號:L1-1
淺層滑動面
風化破碎岩體
較完整岩體
A
B
高程(m)
距離(m)


測線編號:L1
L2
L3
淺層滑動面
清淤後地形面
潛在滑動面
風化破碎岩體
崩積層
BH3
A
B
C
較完整岩體
地層界面
高程(m)
距離(m)
Ohm-m
500
247
122
61
30.0

(1)A層

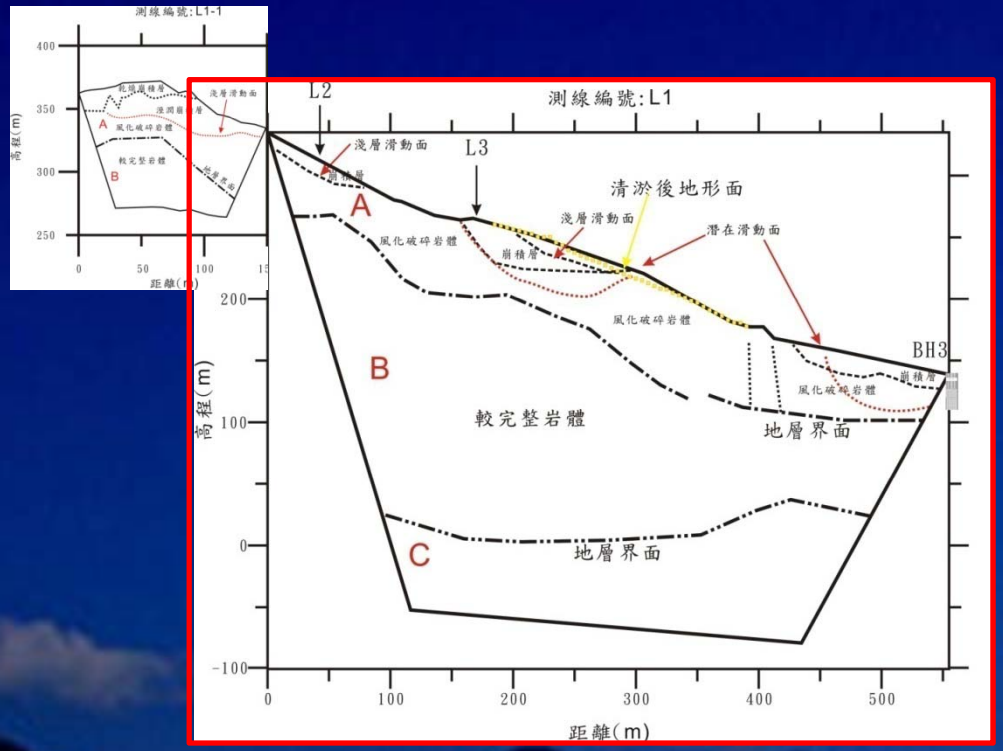
- 崩積層及風化破碎岩體(測線位置0～100公尺較淺，最淺約為38公尺;測線位置100～555公尺深度可達50～80公尺)
- 潛在之滑動面(次底部)

(2) B層

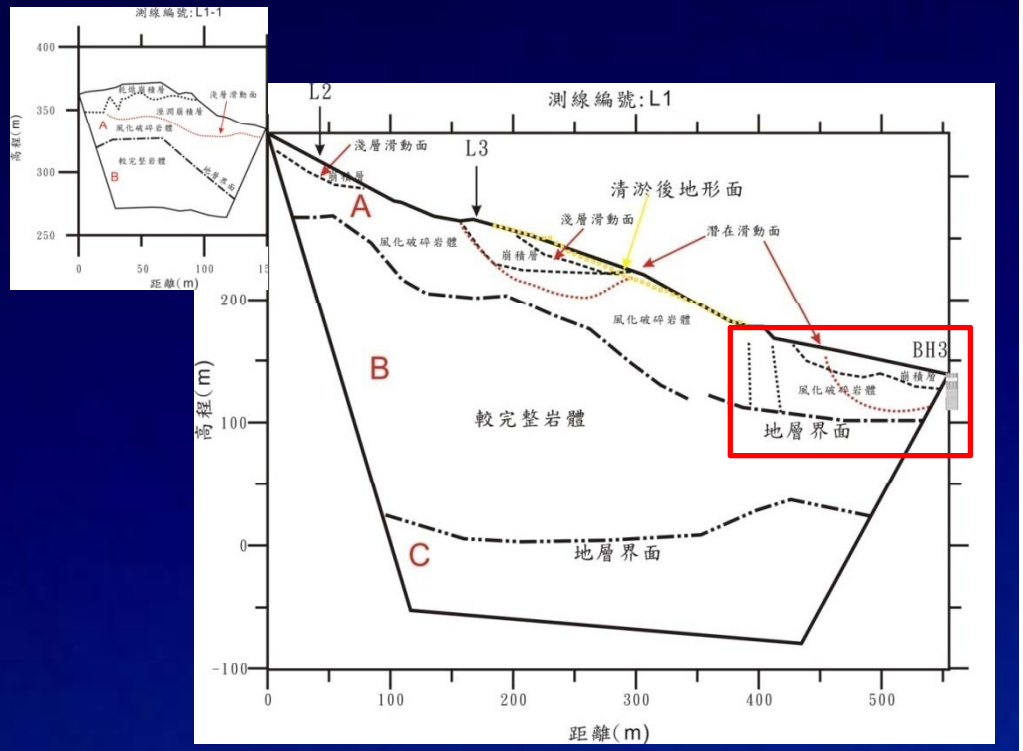
- 較完整岩體(位置100～360公尺)
- 地層不連續之界面(位置約360公尺)
- 較為破碎(位置360～555公尺)

(3) C層

- 節理較發達之地層。



- 地質鑽探BH-3孔位，位於L1測線尾端，依地質鑽探成果顯示於鑽探深度30公尺以內之範圍均為崩積層、破碎板岩與破碎板岩夾剪裂泥，於深度0～12.65公尺為崩積岩塊夾灰色砂土，深度3.6～6.3公尺夾混凝土層研判為先前之防洪構造物，依據傾斜管監測資料初步顯示此孔整層均為滑動之狀態，綜合上述資料與地電阻影像剖面成果，顯示三者資料相當吻合，研判此區域若為飽和含水狀態易產生地層滑動。

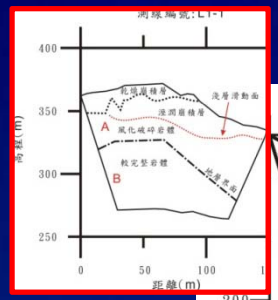


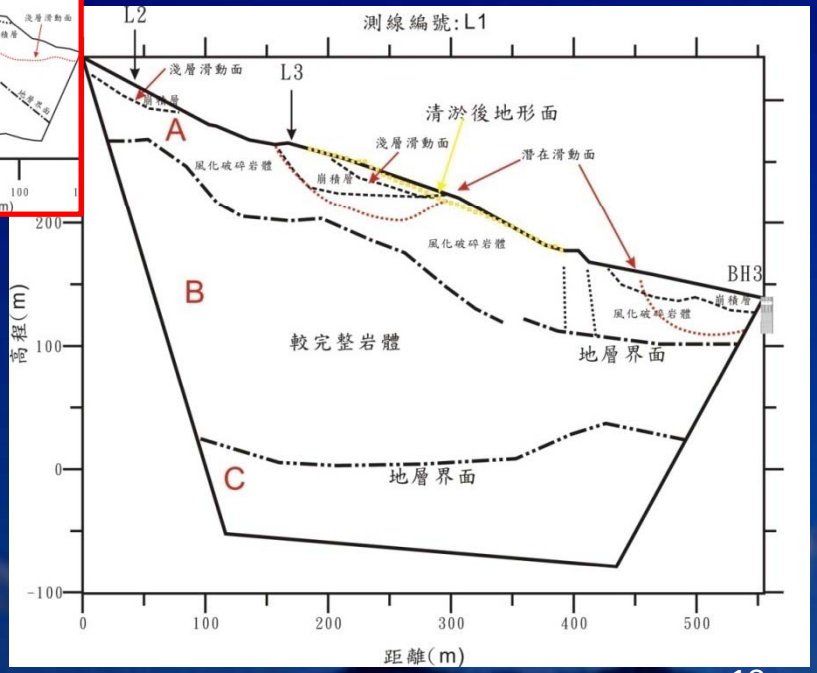
(1)A層

- 崩積層及風化破碎岩體(地表至地下約40～80公尺)
- 乾燥之崩積層(位置0～100公尺淺部地層)
- 溼潤之崩積層(位置20～150公尺深度約30公尺)
- 淺層滑動面(位置23～150公尺深度約10～32公尺)

(2)B層

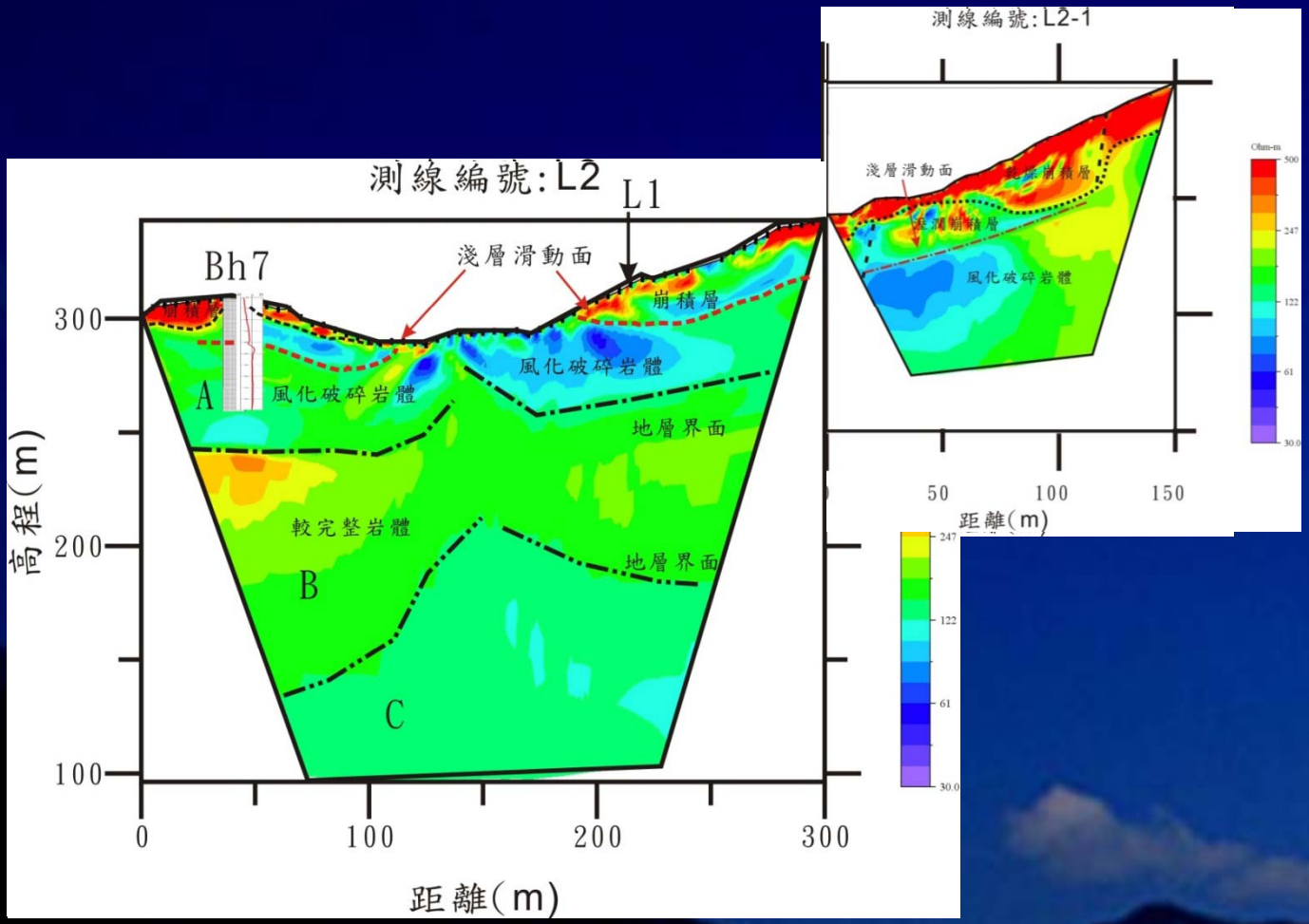
- 裂隙少節理較不發達較完整之地層





測線L2和L2-1

L2
L1-1
L1
L3
150
300
555


測線編號:L2
L1
Bh7
淺層滑動面
崩積層
風化破碎岩體
地層界面
較完整岩體
A
B
C
高程(m)
300
200
100
0
100
200
300
距離(m)
247
122
61
30.0

測線編號:L2-1
淺層滑動面
崩積層
風化破碎岩體
Ohm-m
500
247
122
61
30.0
50
100
150
距離(m)

(1) A層

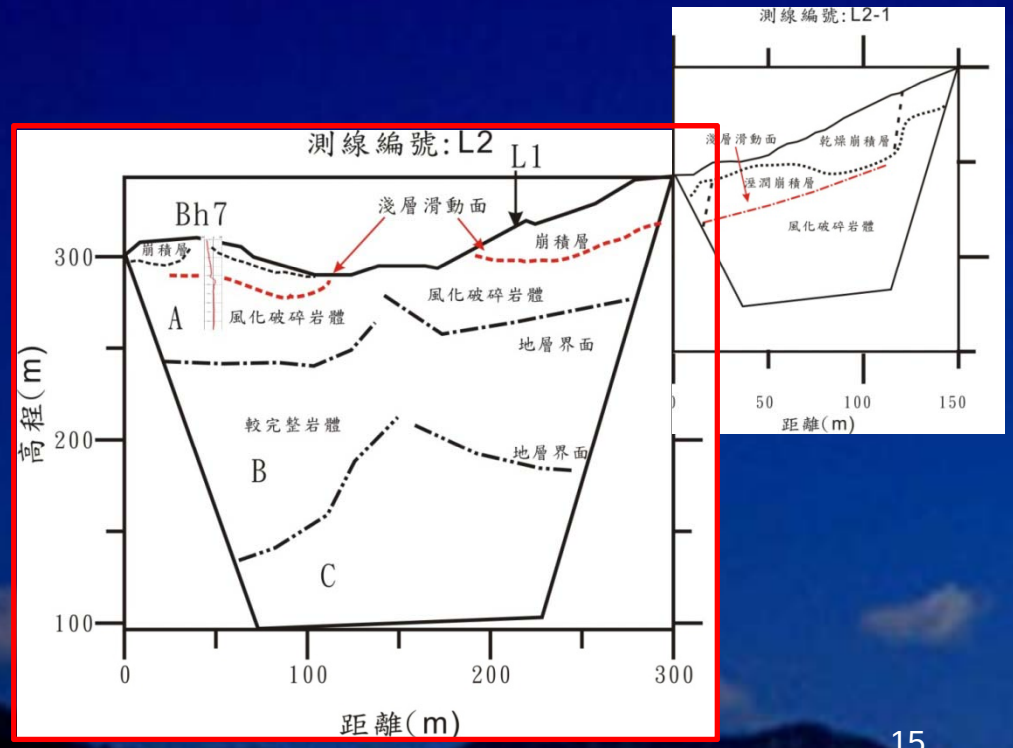
- 崩積層及風化破碎岩體(地表至地下最深約66～68公尺)
- 地層不連續(位置約130公尺底下)應為一剪裂破碎帶
- 淺層滑動面(位置24～110公尺深度約36公尺；位置214～300公尺深度約25公尺)

(2) B層

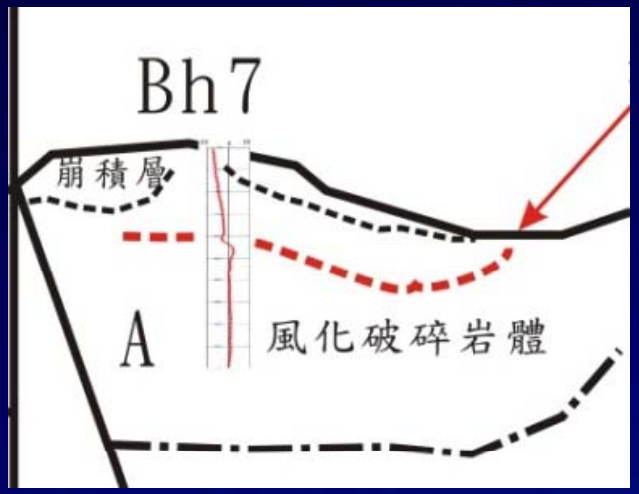
- 地層較為完整(位置0～130公尺)

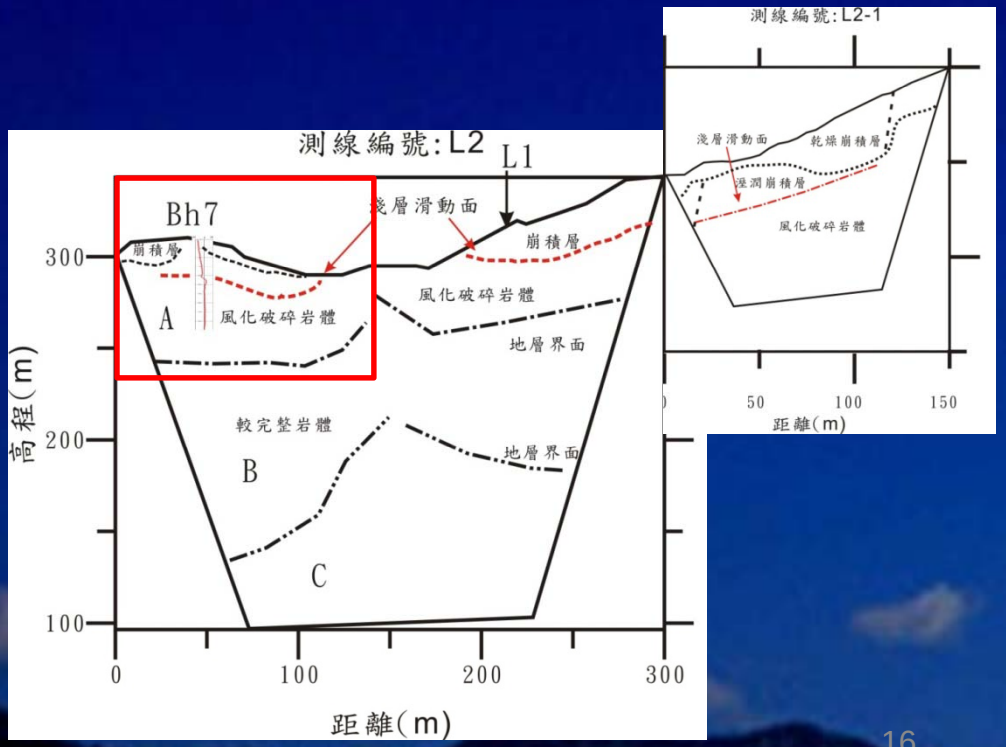
(3) C層

- 節理較發達之地層。



- 地質鑽探BH-7孔位，位於L2測線位置約40公尺處，配合地質鑽探成果、地電阻影像剖面成果及傾斜管資料顯示三者資料相當吻合、於BH-7孔位深度約22公尺處為一地層滑動面。

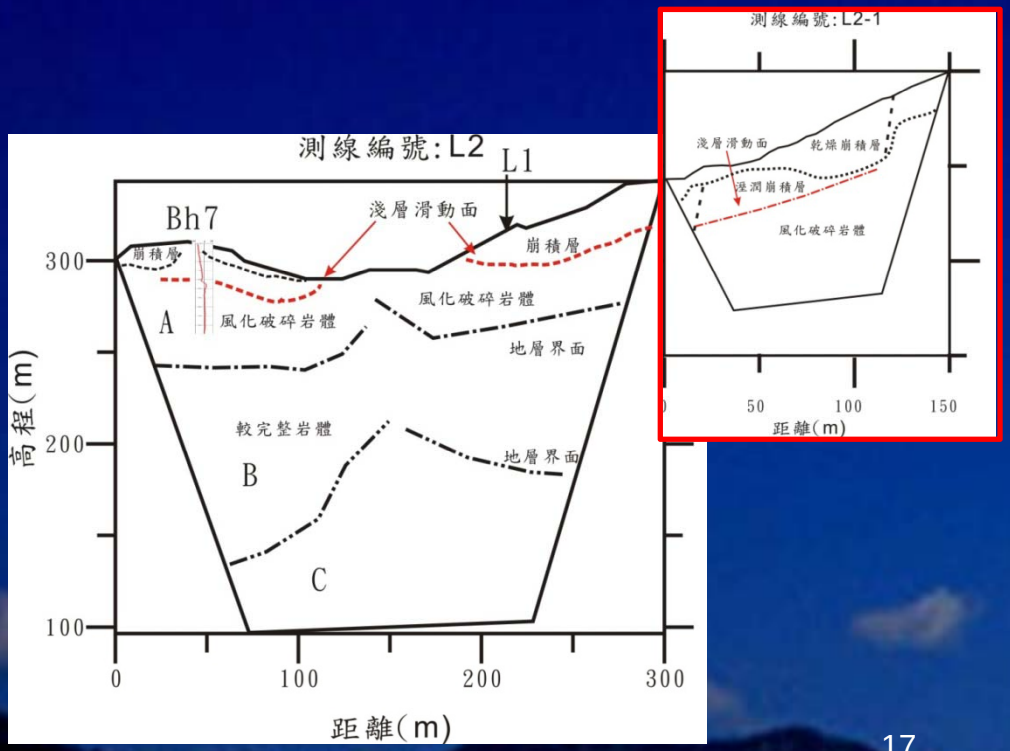




(1)淺層滑動(位置0～110公尺深度約31公尺)

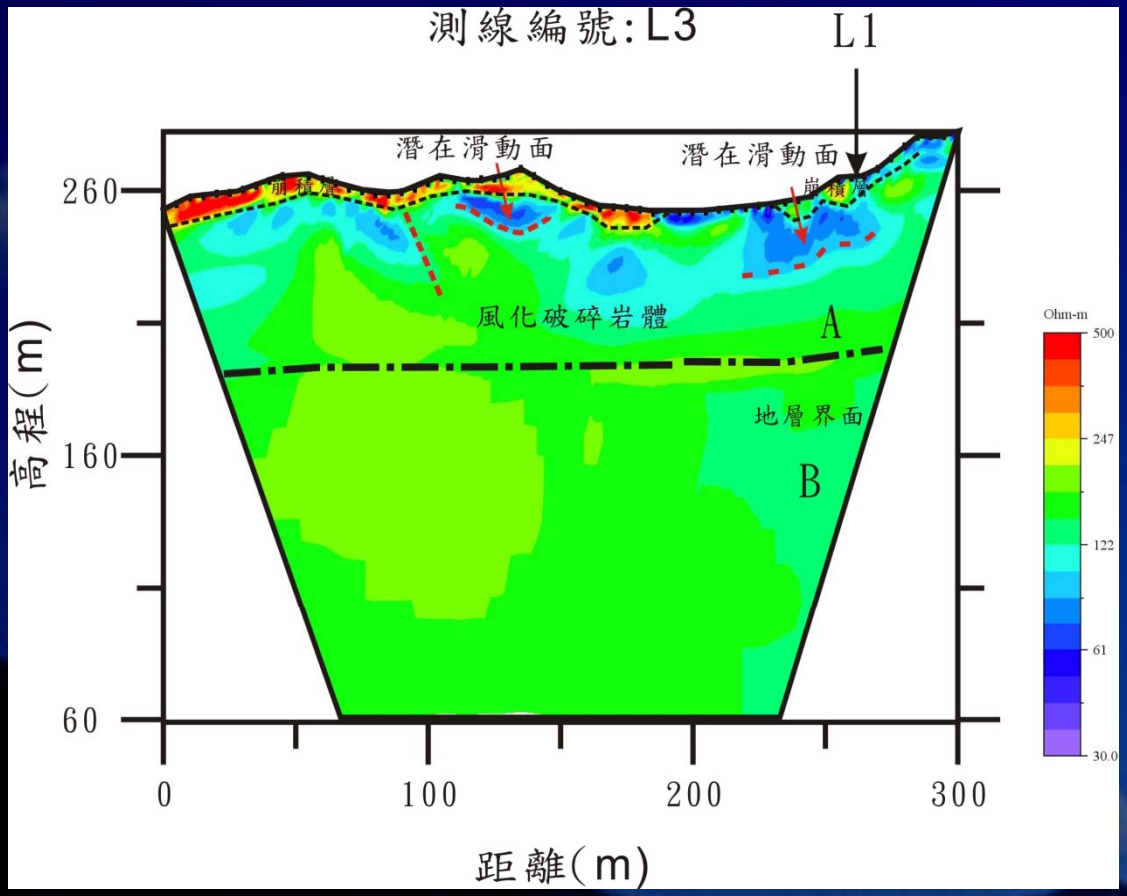
(2)淺層滑動面(位置約20公尺與120公尺二處)

- 上方為較乾燥之崩積層
- 電阻率不連續之情形(崩塌區造成地層錯動)



測線L3

L2-1
L1-1
L2
L1
L3
150
300
555

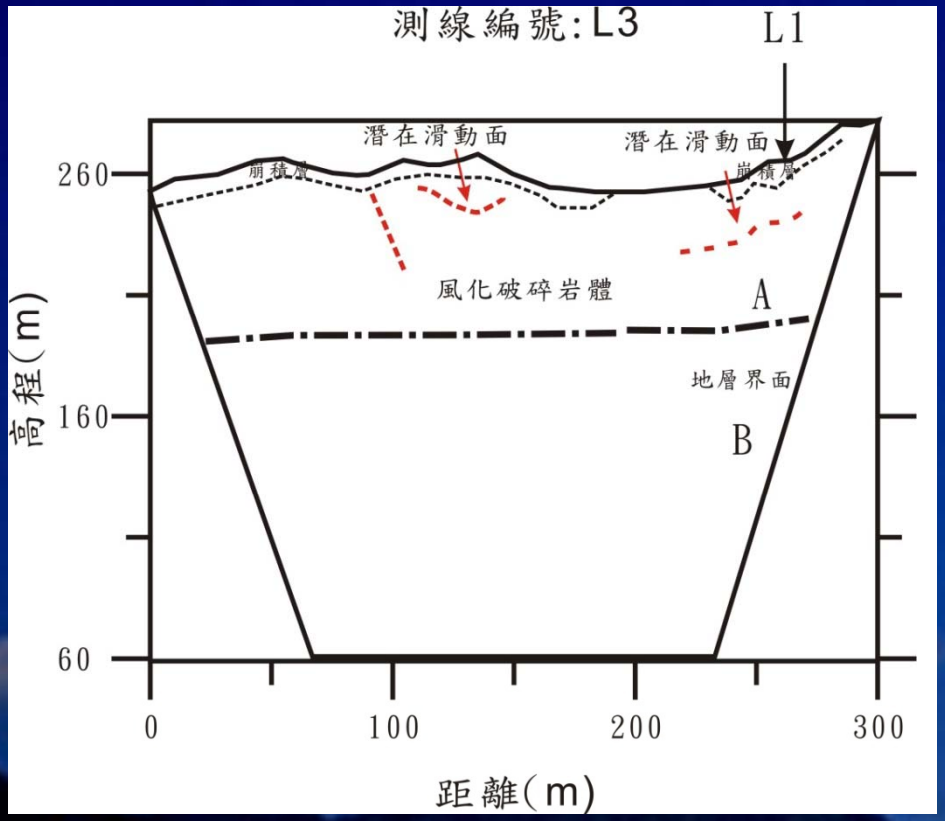

測線編號:L3
L1
潛在滑動面
潛在滑動面
崩積層
崩積層
風化破碎岩體
A
地層界面
B
260
160
60
高程(m)
0
100
200
300
距離(m)
Olum-m
500
247
122
61
30.0

(1)A層

- 崩積層及風化破碎岩體(地表至地下最深約58～70公尺)
  - 崩積層主要分佈深度最深約為8公尺
- 地層不連續(位置約92與185公尺二處底下)應為一剪裂破碎帶
- 潛在滑動面(位置108～146公尺；位置216～260公尺)深度最深達24公尺

(1)B區

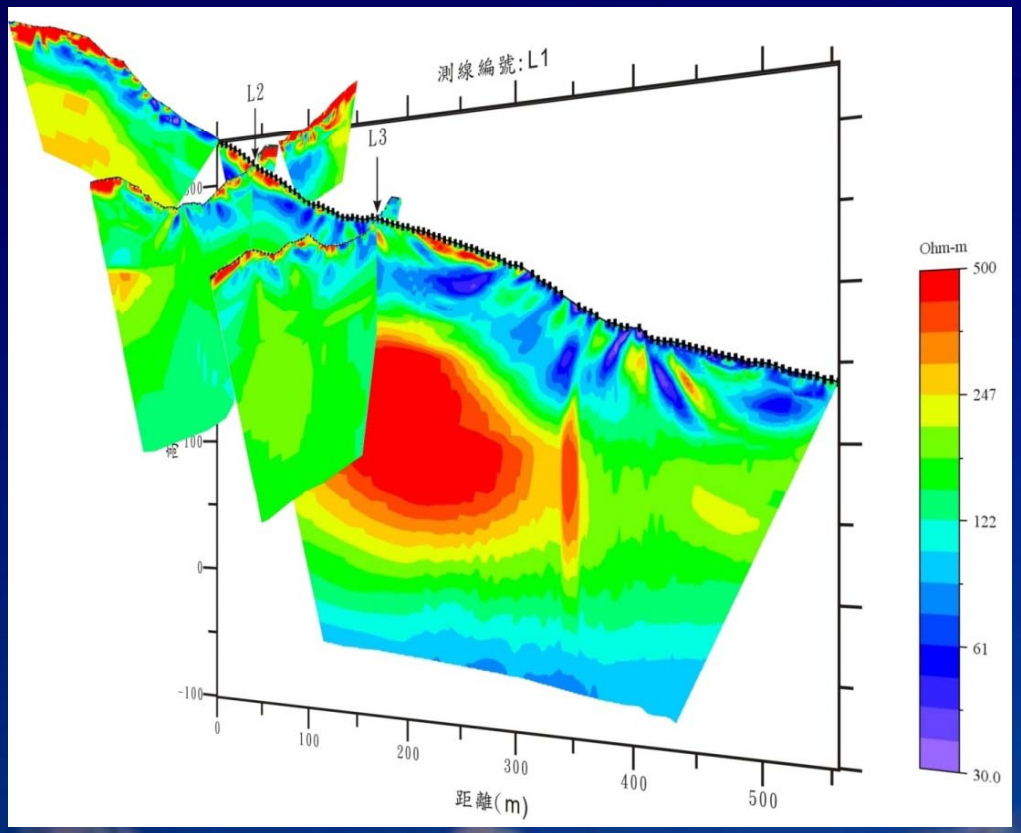
- 節理較發達之地層



測線剖面柵狀立屏成果圖

1）地層不連續之現象(大鳥社區上方之大崩塌區內有一約呈東西走向之剪裂破碎帶)

2）崩積層及風化層影響深度
- L1測線上最深可達80公尺
- L2測線上最深可達68公尺
- L3測線上最深可達70公尺

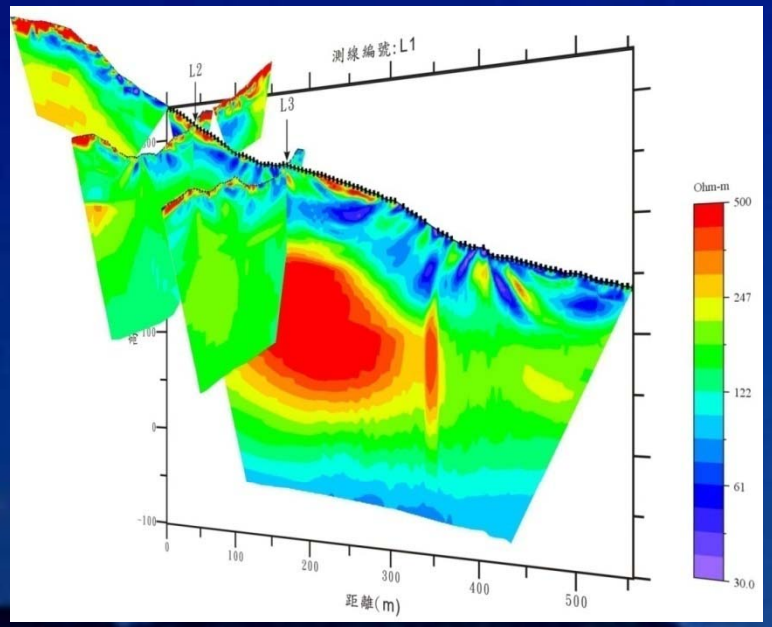


測線剖面柵狀立屏成果圖

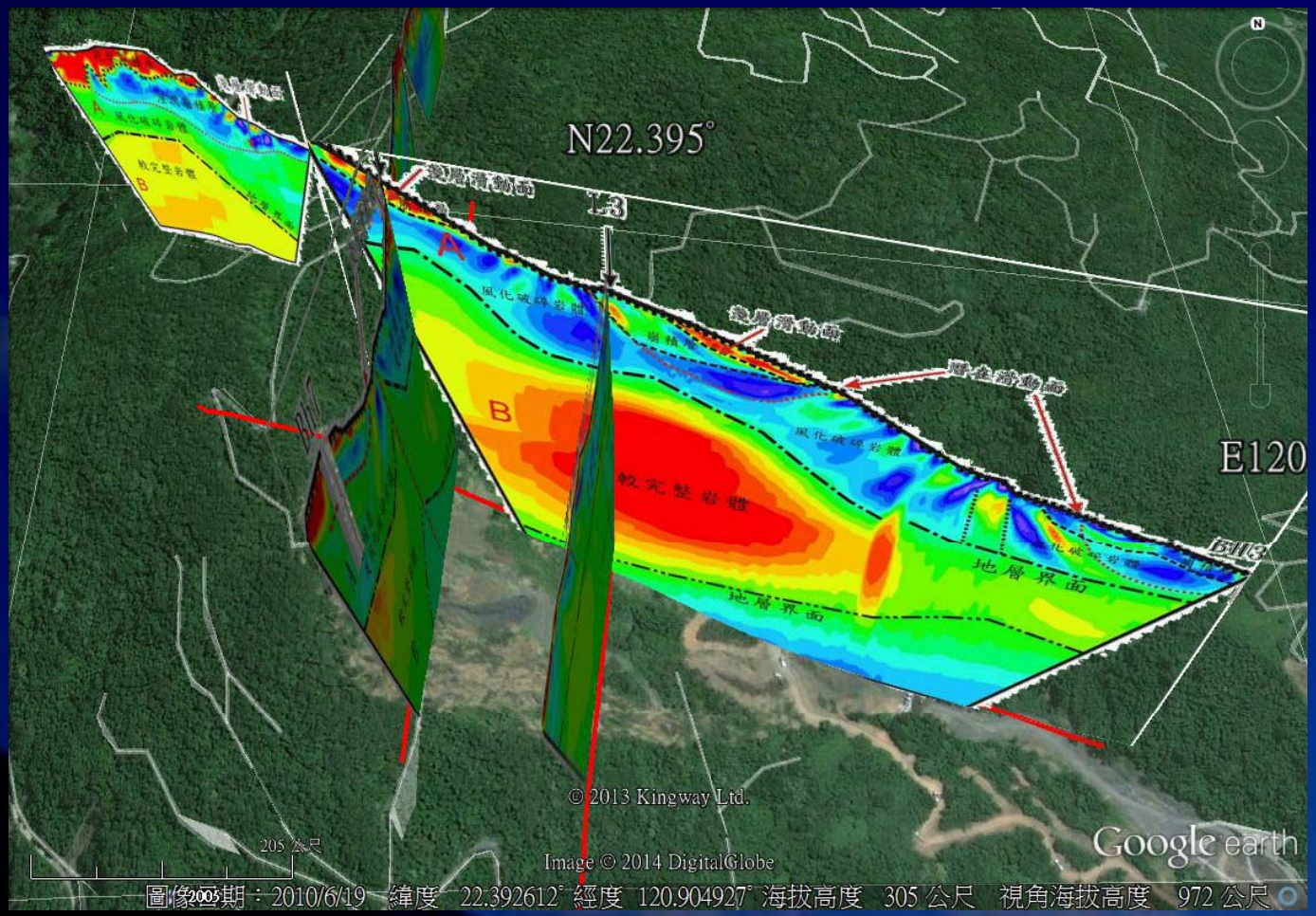
3）L1測線：淺層滑動深度約12~15公尺
L1測線：潛在滑動面深度最深達40公尺
L1-1測線：淺層滑動深度約10～32公尺

4）L2測線：淺層滑動深度約25~36公尺
L2-1測線：淺層滑動深度約31公尺

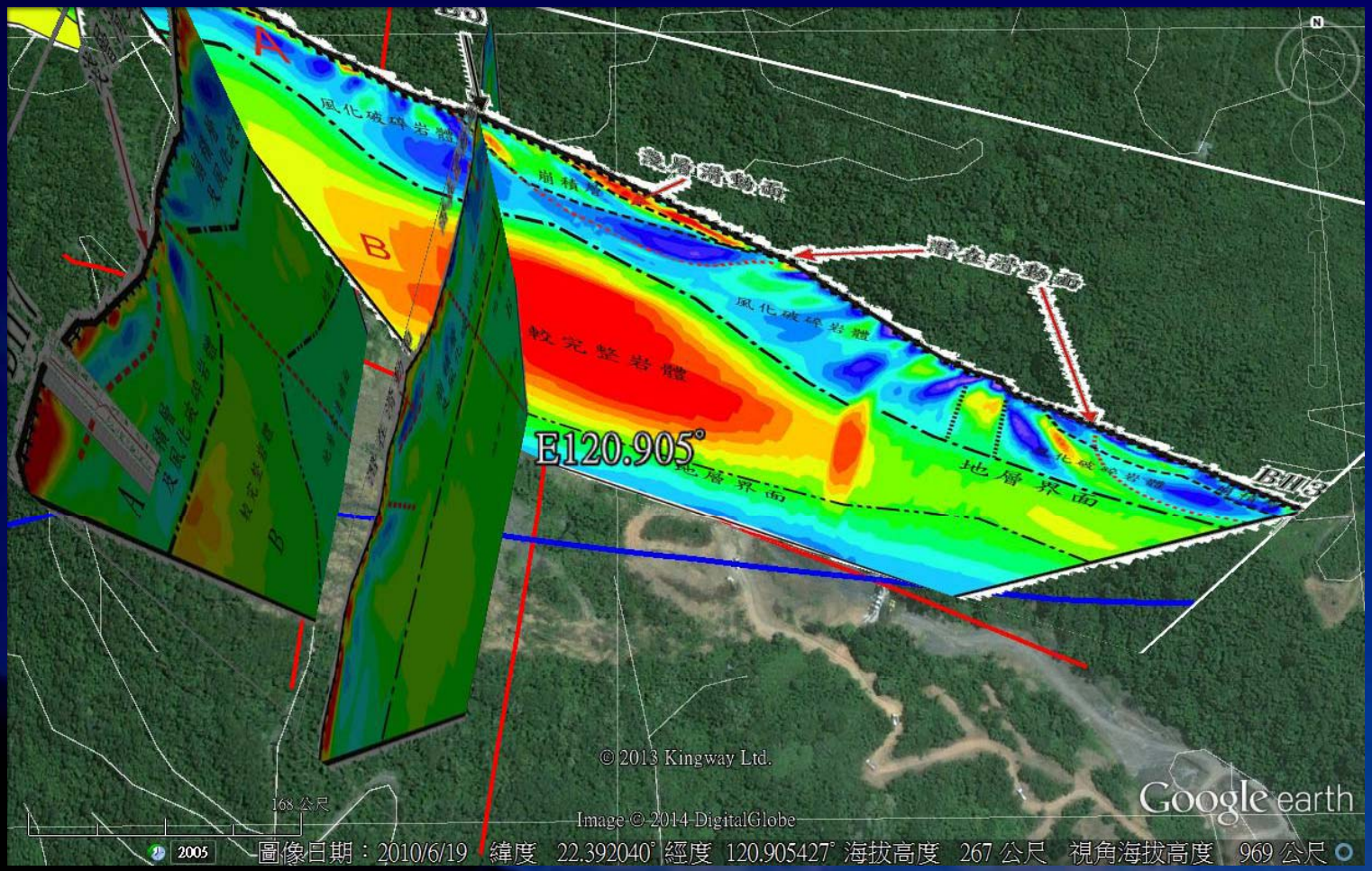
5）L3測線：潛在滑動面深度最深達24公尺



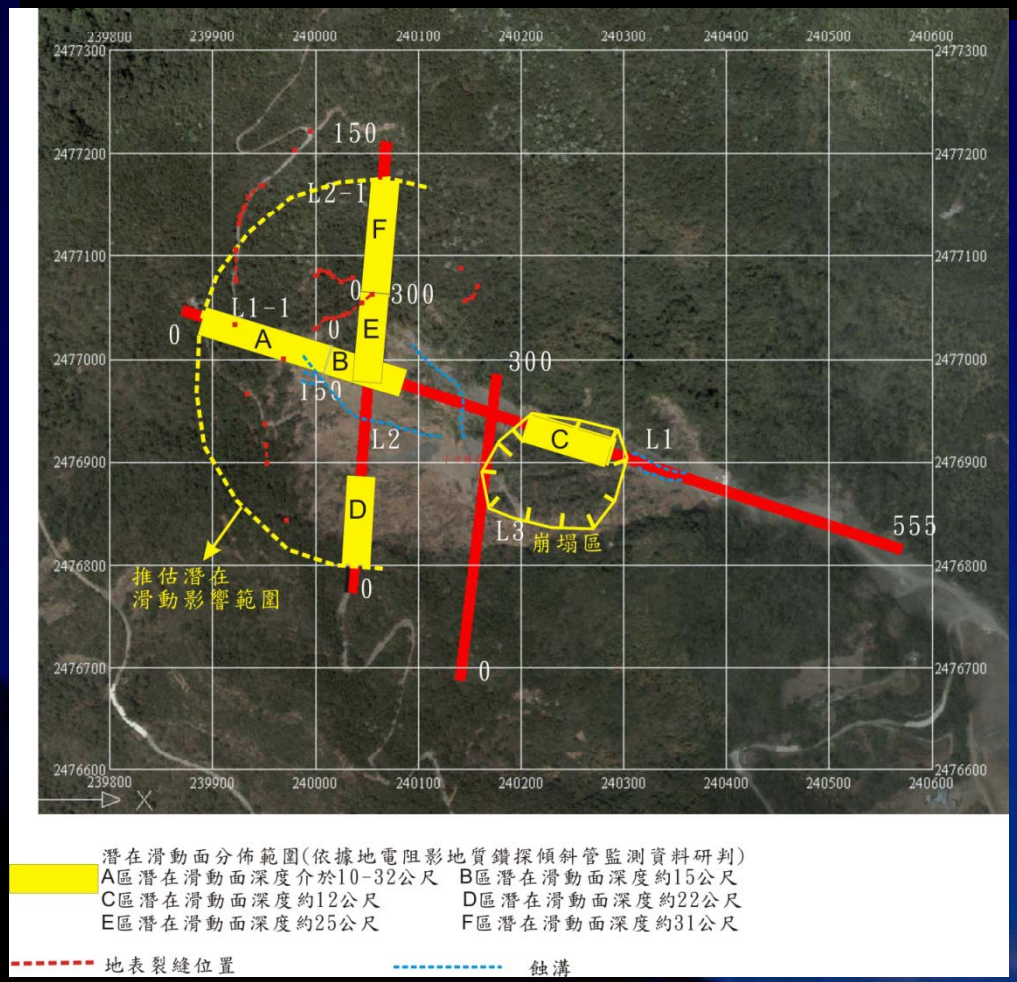
測線剖面柵狀立屏成果圖



測線剖面柵狀立屏成果圖



地電阻影像剖面探測成果判釋圖



推估潛在滑動面分佈範圍

A區深度介於10-32公尺

B區深度約15公尺

C區深度約12公尺

D區深度約22公尺

E區深度約25公尺

F區深度約31公尺

蝕溝　　地表裂縫大略位置

裂縫觀測

照片1 張力裂縫。座標E 239972, N 2476845

照片2 張力裂縫。座標E 239953, N 2476900

照片3 道路裂縫。座標E 239934, N 2476967

照片4 道路裂縫。座標E 239923, N 2477076

裂縫觀測

照片5 道路裂縫。座標E 239949, N 2477169

照片6 道路裂縫。座標E 239926, N 2477131

照片7 道路裂縫。座標E 239980, N 2477203

照片8 道路裂縫。座標E 239995, N 2477221

裂縫觀測

照片9 邊坡陷落。座標E 239969, N 2477001

照片10 邊坡陷落。座標E 240000, N 2477030

照片11 邊坡陷落。座標E 240010, N 2477040

照片12 邊坡陷落。座標E 240027, N 2477043

裂縫觀測

照片13 邊坡陷落。座標E 240036, N 2477079

照片14 邊坡陷落。座標E 240017, N 2477080

照片15 邊坡陷落。座標E 240000, N 2477081

照片16 邊坡陷落。座標E 240145, N 2477057

地質鑽探

地質鑽探孔號

- 鑽探共計10孔(區域六處)，孔號分別爲BH-1~BH-10

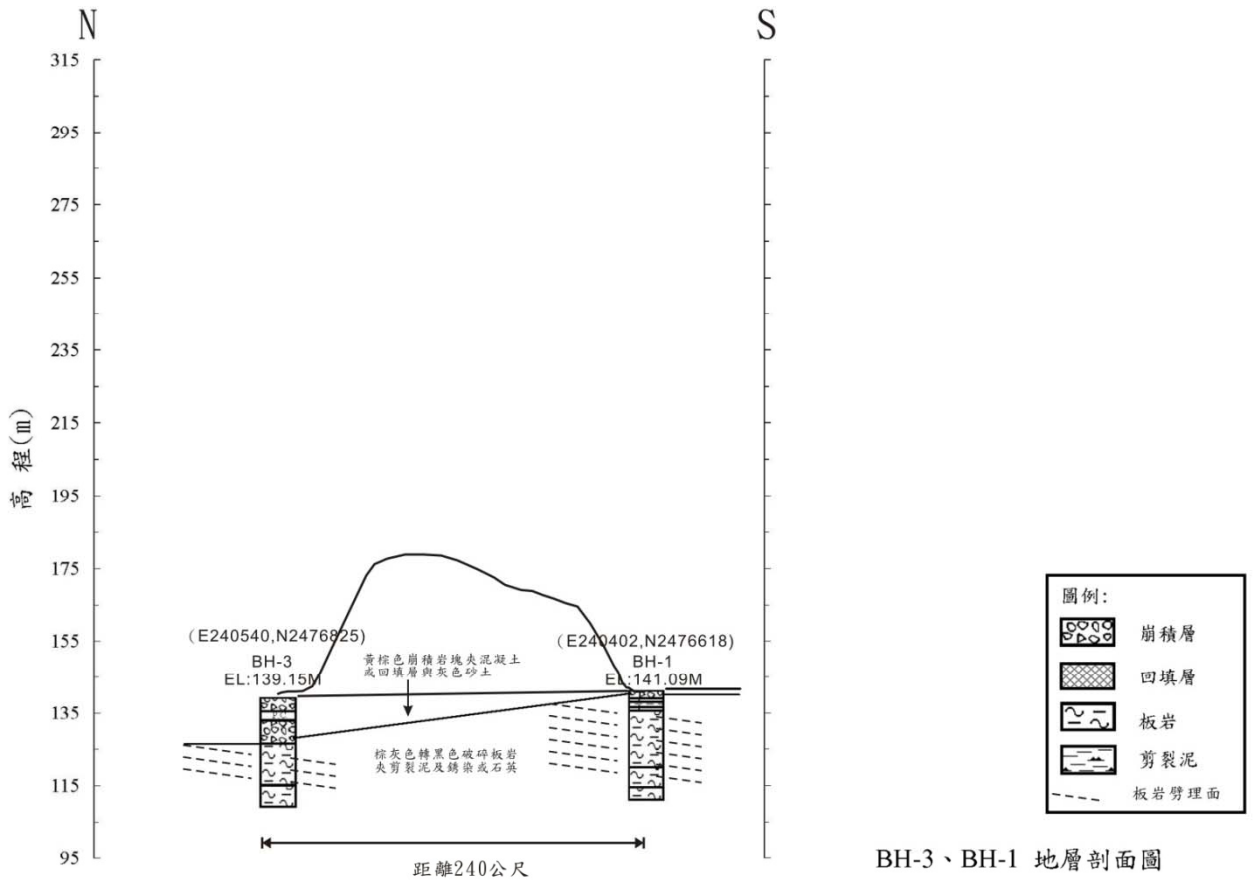
	孔號	T97座標	高程(m)	鑽孔深度(m)
第一處	BH-1, BH-2	E240402, N2476618	141.09	30
第二處	BH-3, BH-4	E240540, N2476825	139.15	30
第三處	BH-5, BH-6	E240759, N2476655	135.0	40
第四處	BH-7, BH-8	E240038, N2476813	310.20	50
第五處	BH-9	E240124, N2476916	262.5	11
第六處	BH-10(L1與L3交會處)	E240172, N2476955	268.5	10

合計總鑽深共321公尺

地質鑽探孔位位置圖

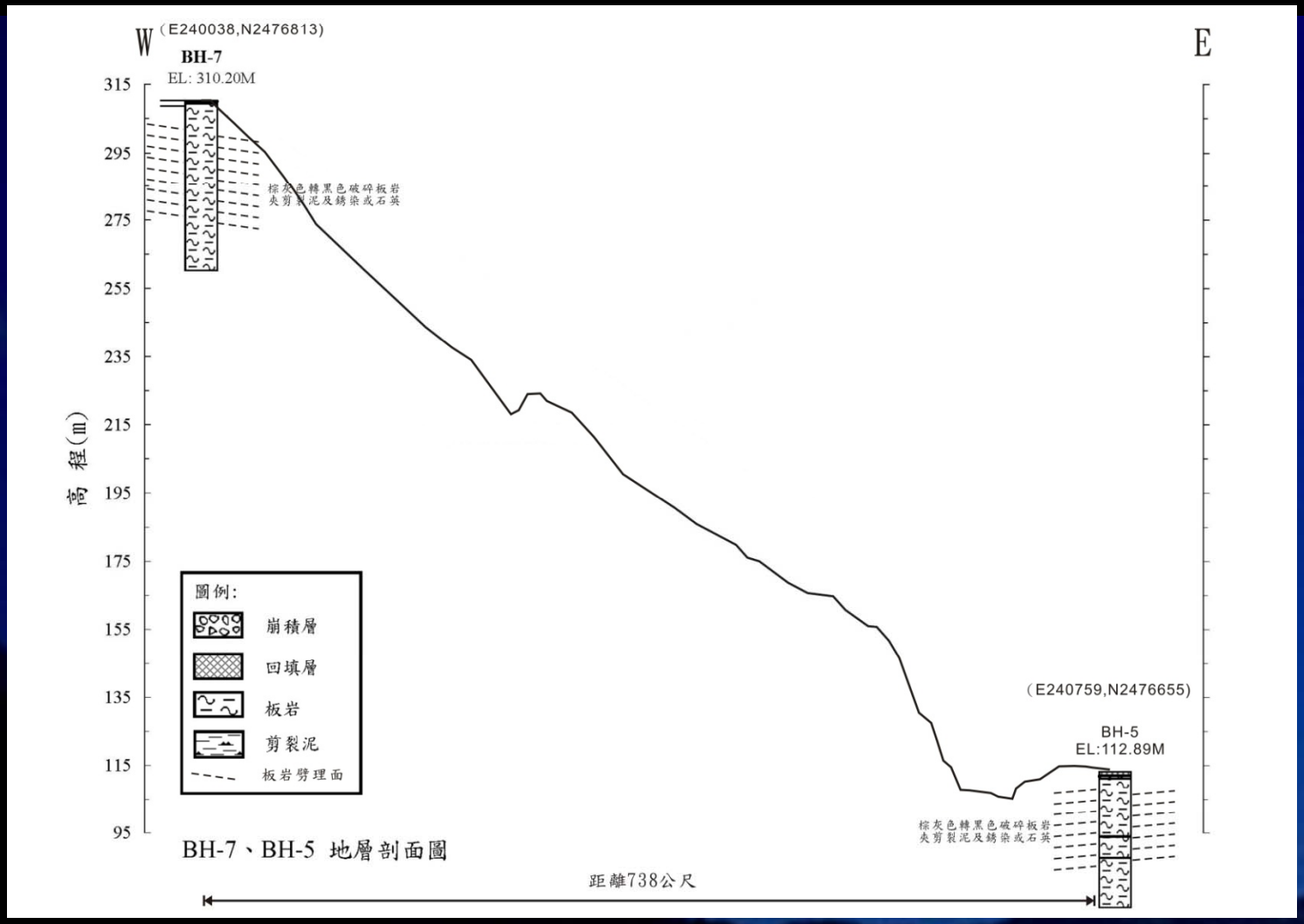
- BH-1、BH-3、BH-5、BH-7、BH-9、BH-10等孔現場每隔1.5公尺施以標準貫入試驗，求取貫入地層之垂擊數（SPT-N值）及以劈管取樣供試驗室進行一般物性試驗，並於鑽孔完成後埋設傾斜管
- BH-2、BH-4、BH-6、BH-8等偶數孔鑽孔至預定深度後隨即埋設水位觀測井

BH-1和BH-3地質剖面圖

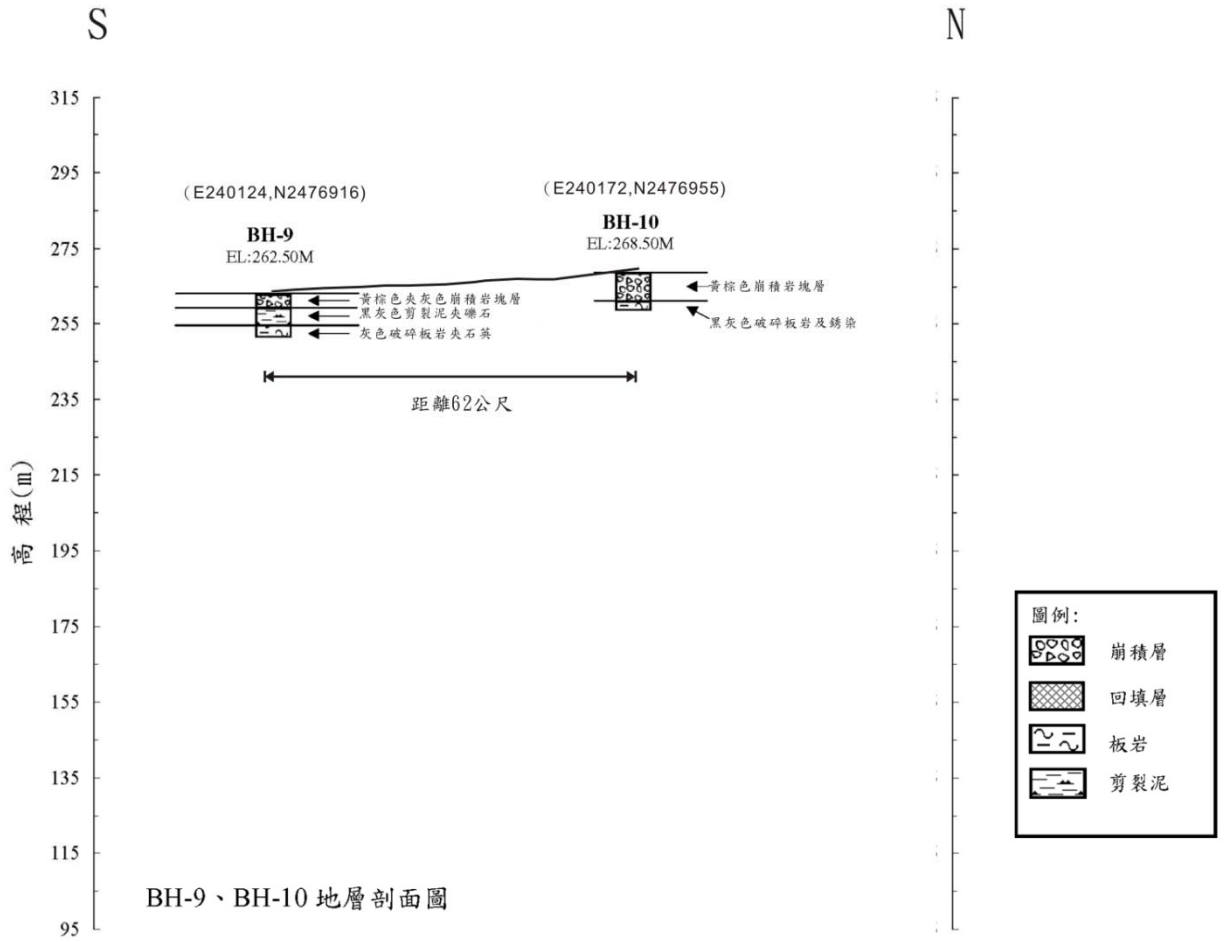


BH-3、BH-1 地層剖面圖

BH-5和BH-7地質剖面圖



BH-9和BH-10地質剖面圖



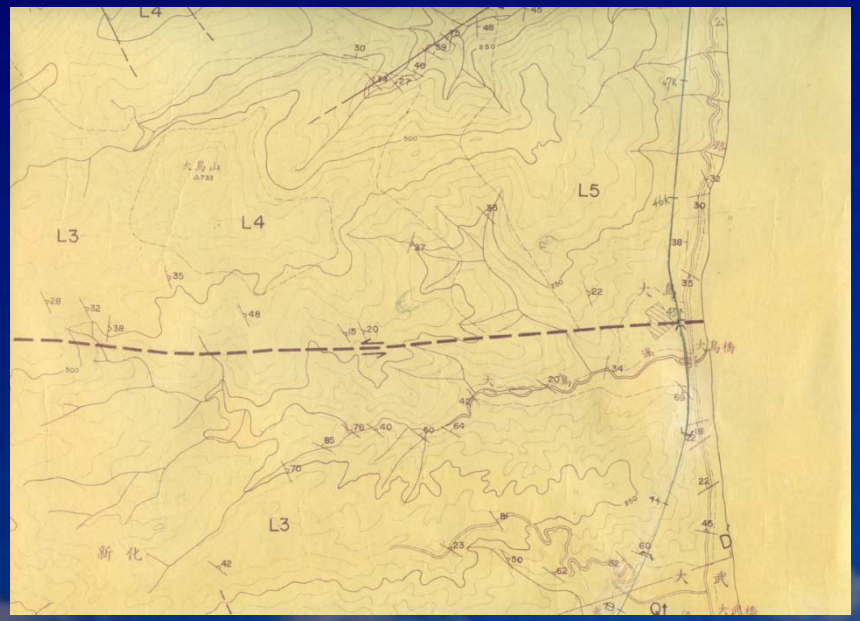
BH-9、BH-10 地層剖面圖

地層簡化土層建議表

土壤層次	分佈深度（M）	主要組成	N值	單位重（t/m³）	含水量（%）	孔隙比	液性限度 LL(%)	塑性指數 PI(%)	RQD (%)
棕色崩積岩塊夾混凝土或回填層與灰色砂土	地表下0.00 m 至地表下 0.75~12.65m 平均厚度爲 4.34m	崩積岩塊回填層	8~>100 平均值：62.2	2.11~2.28 平均值：2.21	6.7~12.7 平均值：8.9	0.26~0.43 平均值：0.32	17.2~19.2 平均值：18.5	6.8~8.7 平均值：8.0	--
棕灰色轉灰黑色破碎板岩夾剪裂泥及銹染或石英	地表下 0.75~12.65m 至鑽探終止爲止(地表下 30.00~50.00m)	破碎板岩	50~>100 平均值：69.0	1.86~2.20 平均值：2.03	8.5~9.8 平均值：9.0	0.31~0.57 平均值：0.45	17.6~19.5 平均值：18.4	6.8~9.5 平均值：8.0	0~70 平均值：9.1

地質鑽探結論與建議

- 地層變化可概分為兩個層次
  - 黃棕色崩積岩塊夾混凝土或回填層與灰色砂土
  - 棕灰色轉灰黑色破碎砂板岩夾剪裂泥及銹染或石英
- 根據既有官方文獻資料，大鳥崩塌地範圍不屬於中央地質調查公佈之活動斷層區，但於實際鑽探過程中可發現調查範圍內存在規模不一之剪裂破碎帶，依據69年12月林朝宗等進行南迴鐵路地質調查所繪製之1/25000比例尺南迴鐵路東部地區地質圖顯示於大鳥社區區域內有一疑似平移斷層通過，如圖所示。於調查範圍內仍應注意剪裂破碎帶等地質問題及崩塌區內降雨排水等問題



南迴鐵路東部地區地質圖(林朝宗、塗明寬、陳文政;69年12月)

安全監測

地下水位觀測井分佈

- 觀測地下水水位可直接瞭解整體坡面地下水高程與分佈情況，能有效掌握監測坡面安全，配合地質鑽孔設置地下水觀測井。
- 本計畫設置4口水位觀測井，孔內放置自動記錄方式觀測地下水位變化情形，地下水水位以地面下高程為主。

地下水觀測井BH-1、BH-3、BH-5、BH-7

地下水井參數表

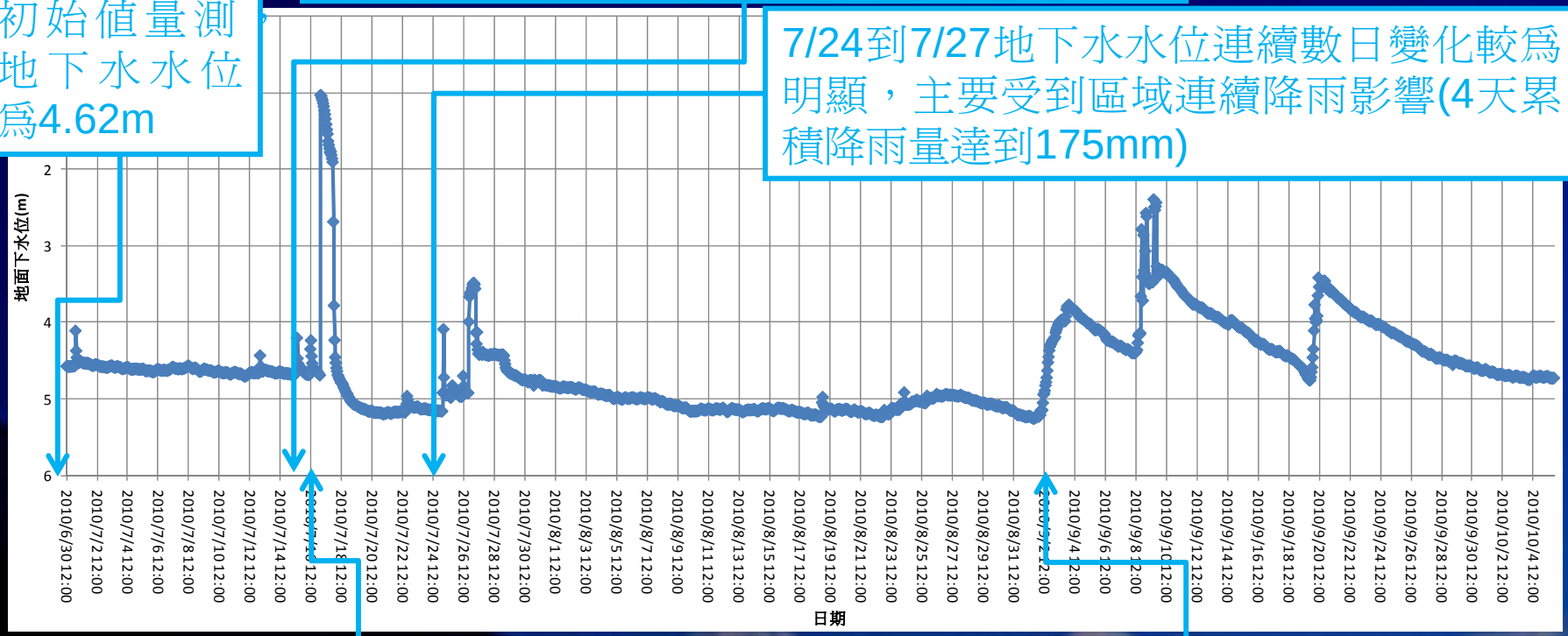
編號	井深度（m）	地下水水位初始值（m）	自動記錄器放置深度（m）	備註
BH-1	30	4.62m	15m	
BH-3	30	5.17m	15m	
BH-5	40	20.28m	30m	
BH-7	50	孔內無地下水（>50m）	–	
BH-9	11	3.05m	–	鑽探完成後量測
BH-10	10	4.15m	–	鑽探完成後量測

BH-1觀測井地下水水位變化

6/29 完成水位計設置與初始值量測地下水水位爲4.62m

7/15計畫區域測得降雨量爲35.4mm(日累積降雨量) 地下水水位有些微上升

7/24到7/27地下水水位連續數日變化較爲明顯，主要受到區域連續降雨影響(4天累積降雨量達到175mm)



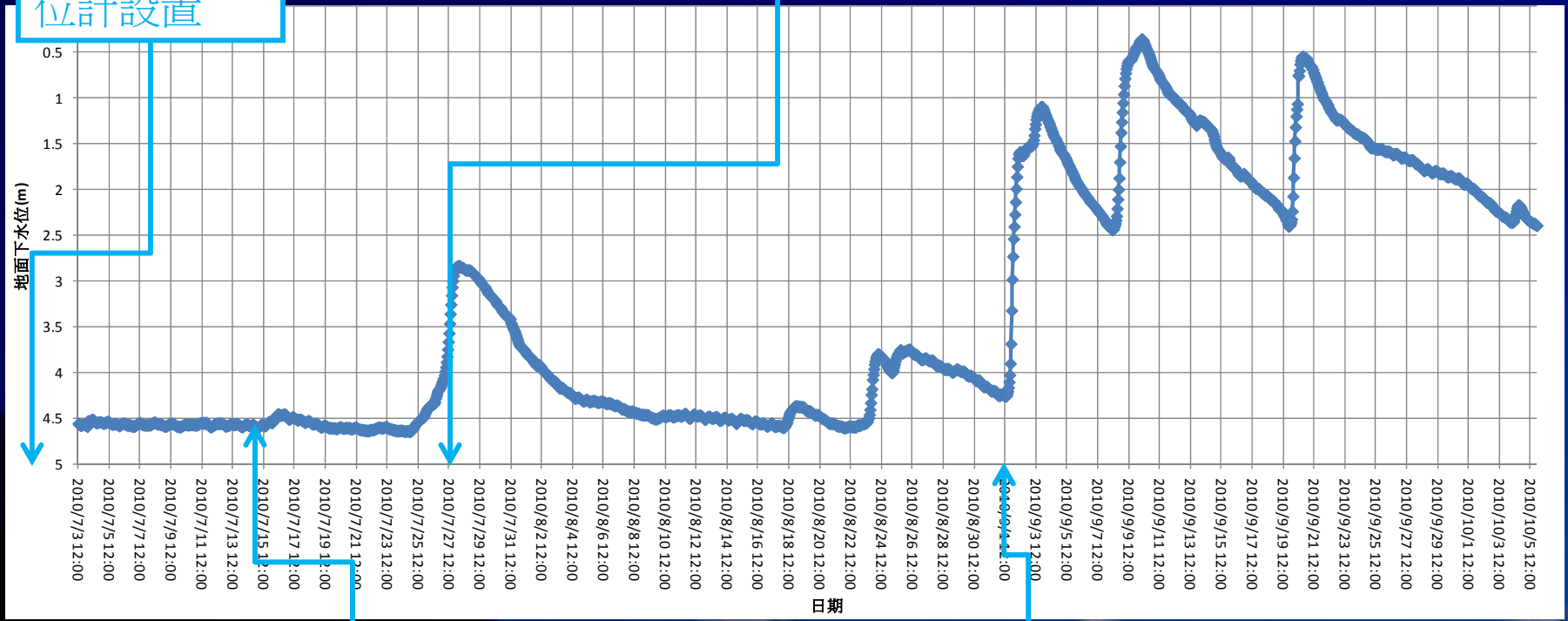
7/16地下水水位瞬間抬升3.5m達到地面下1m，24小時之後下降至地面下5m

9/2地下水水位瞬間抬升3.5至4m受到山區降雨補注影響可能性較大

BH-3觀測井地下水水位變化

6/29 完成水位計設置

7月底受到連續降雨影響，水位抬升至1.7m



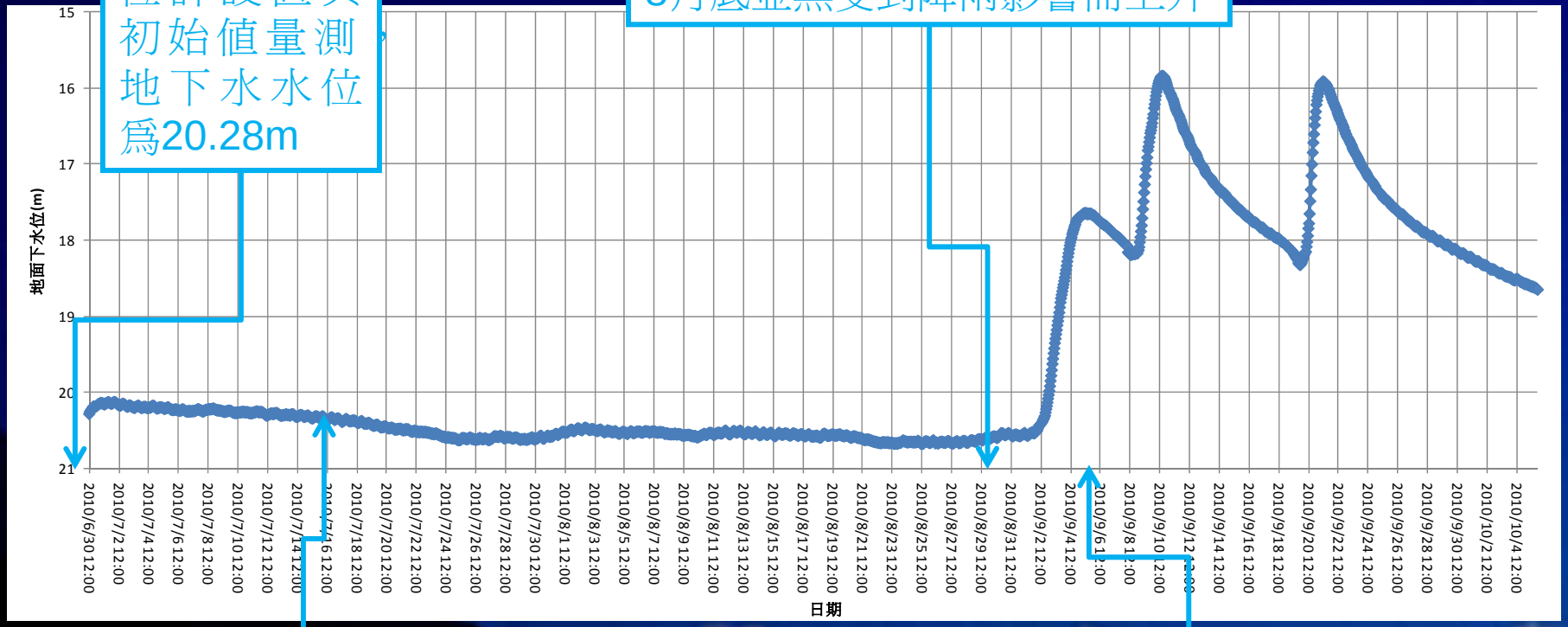
地下水水位維持地面下4.5m

9月初受到連續降雨影響，水位抬升至地面下0.5m

BH-5觀測井地下水水位變化

6/29 完成水位計設置與初始值量測地下水水位爲20.28m

8月底並無受到降雨影響而上升

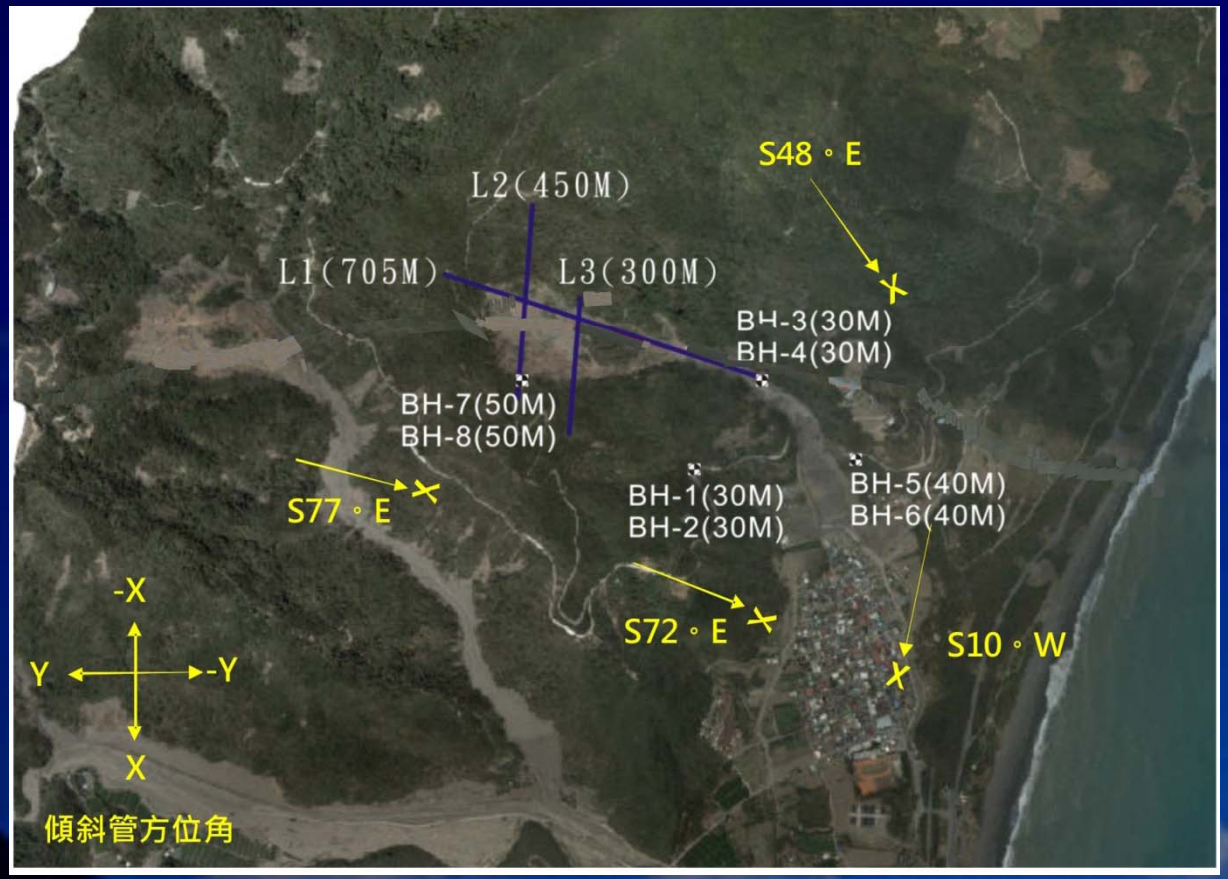


地下水水位從20.3m下降至20.6m，僅0.3m的變化

9月初受到連續降雨影響，水位抬升至地面下17.5m

傾斜管監測分佈

- 本區域埋置4處傾斜管
- 在99年6月29日、7月3日、7月30日、9月7日與10月4日完成5次量測
- 方位設定X方向爲坡面滑動方向。



傾斜管監測BH-2、BH-4、BH-6、BH-8

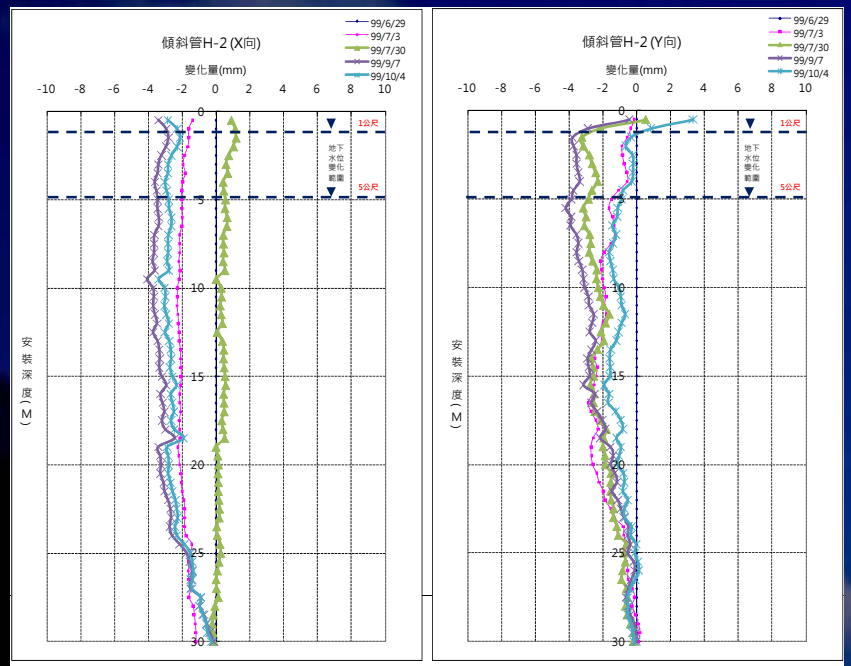
位移速率與邊坡穩定性判斷建議表

變動種類	日變動量(mm)	月變動量(mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	滑動類型
緊急變動	20以上	500以上	非常顯著	急速崩壞	崩壞型 泥流型
確定變動	1以上	10以上	顯著	活潑運動中	崩積土滑動 深層滑動
準確定變動	0.1以上	2.0以上	略顯著	緩慢運動中	粘土滑動 回填土滑動
潛在變動	0.02以上	0.5以上	稍稍有	有待持續觀測	粘土滑動 崖錐土滑動

位移速率與邊坡穩定性判斷建議表(日本地滑對策技術協會,1978)

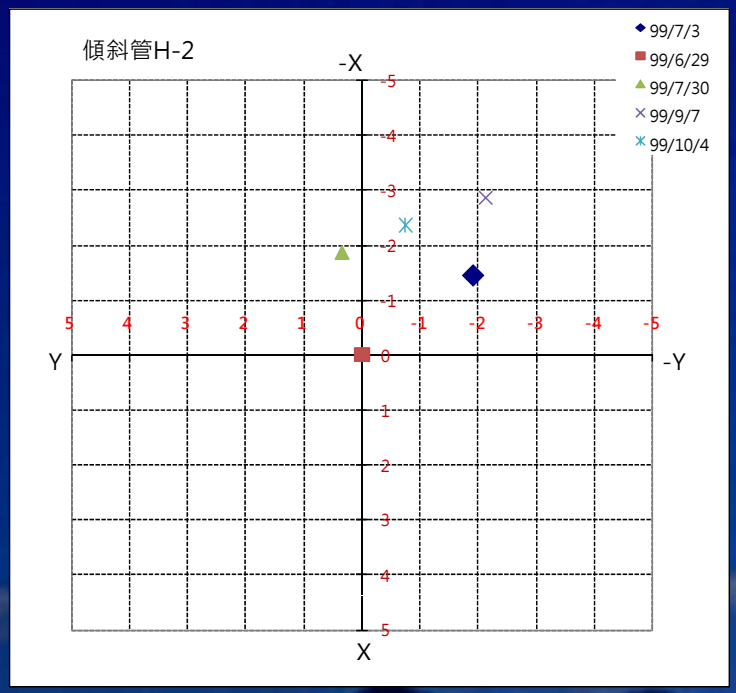
傾斜管BH-2量測成果

- 初始值量測位移量，總深度爲30m
- X方向深度0~30m變化量相當平均爲-4mm，整層均爲滑動情況
- Y方向深度5~25m變化量均分佈在-4mm，頂部變化較明顯，5~10m顯著滑動趨勢
- 配合地下水水位研判地面下5m至岩盤呈現飽和且穩定，在地下水變化範圍因爲水壓上升導致有效應力降低，爲可能滑動破壞面



(A) 傾斜管H-2 (X方向)變化量　(B) 傾斜管H-2 (Y方向) 變化量

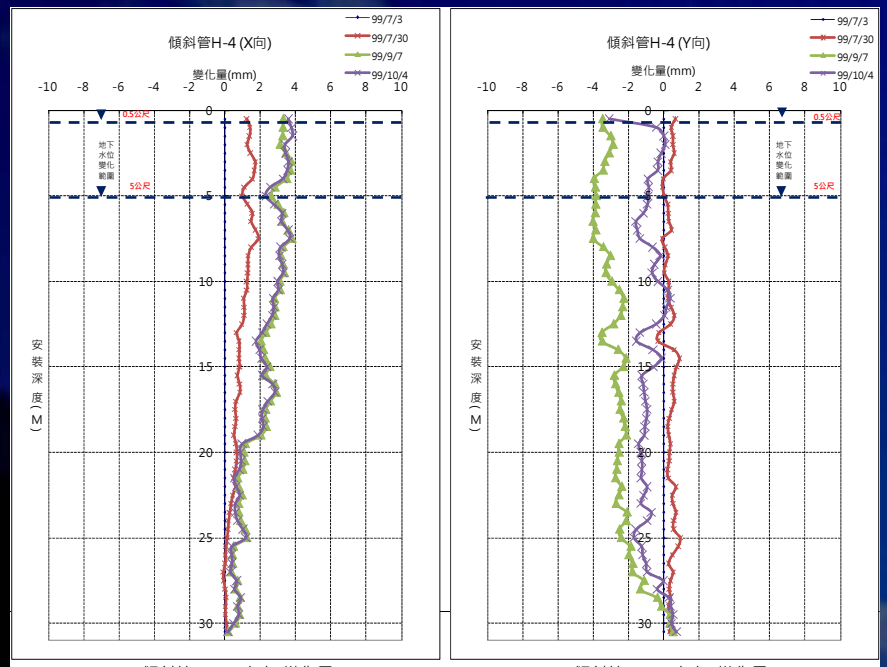
變化曲線圖



平面變化圖

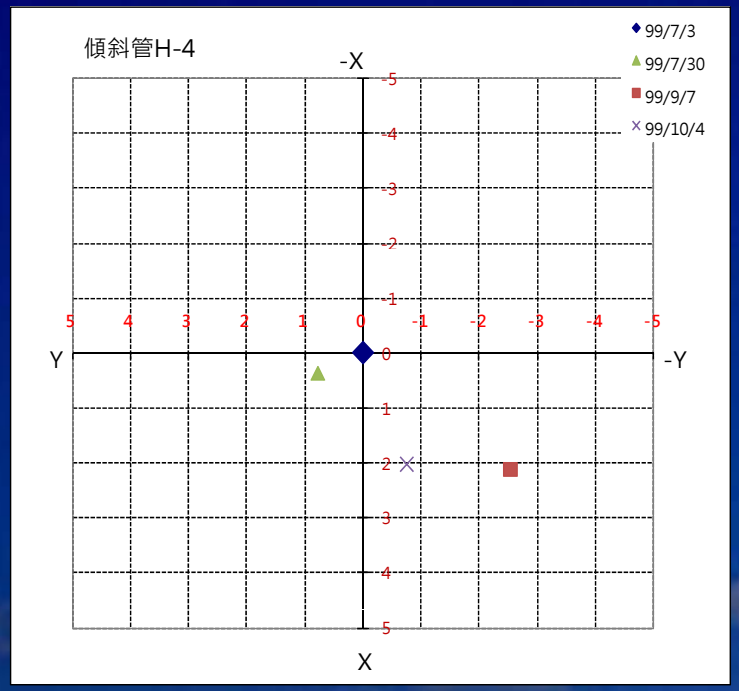
傾斜管BH-4量測成果

- 初始值量測位移量，總深度爲30m
- X方向深度0~25m變化量相當平均爲4mm，整層均爲滑動情況
- Y方向深度5~25m變化量均分佈在-4mm，底部變化較不明顯
- 最大變化範圍位於地下水水位變動區，地下水水位面下變化幅度不大



(A) 傾斜管H-4 (X方向)變化量　(B) 傾斜管H-4 (Y方向) 變化量

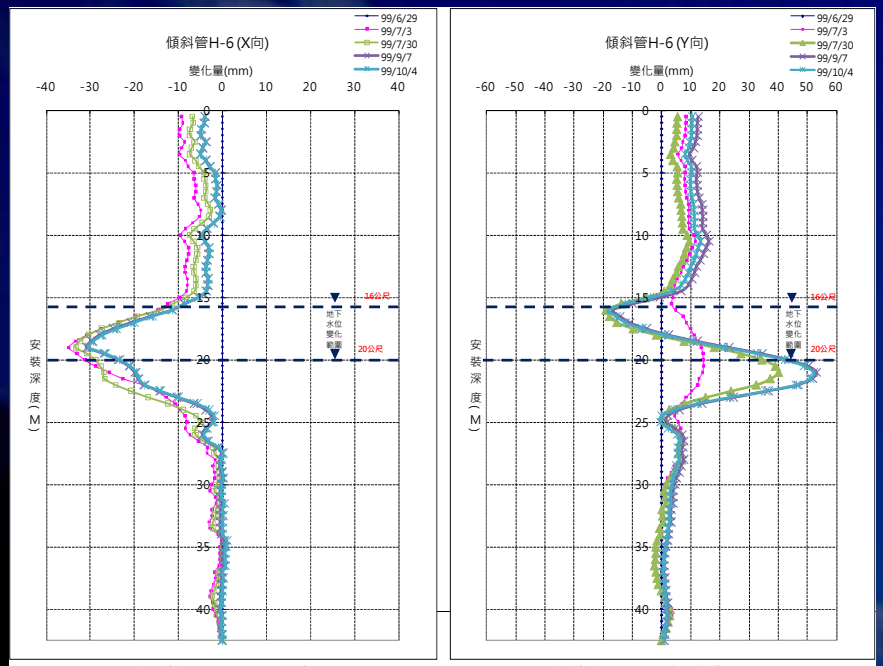
變化曲線圖



平面變化圖

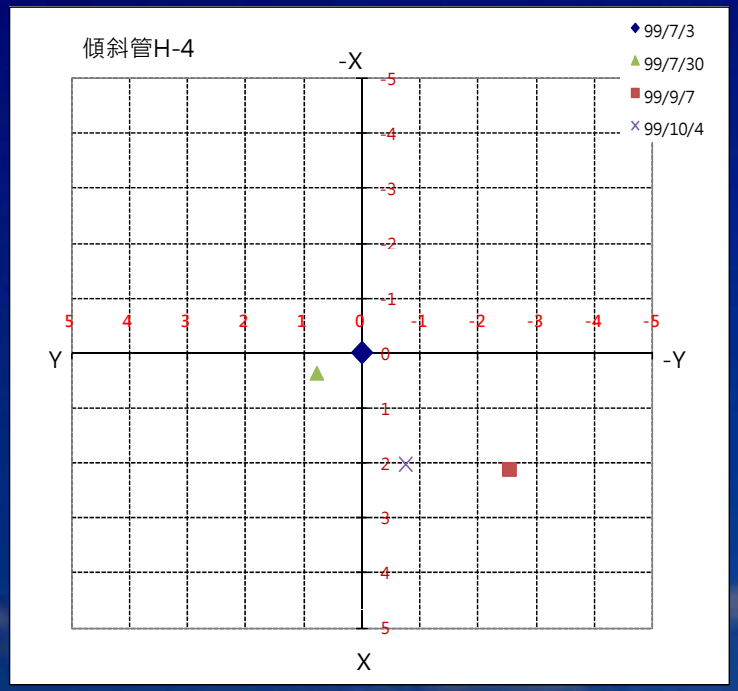
傾斜管BH-6量測成果

- 初始值量測位移量，總深度爲42.5m
- X方向0~15m深度變化量爲-10mm，深度20m尖峰的變化量爲-34mm
- Y方向傾斜變化大致發生在相同深度，變化量爲50mm
- 地下水水位變化也位於傾斜變化處，研判爲影響滑動因素之一



(A) 傾斜管H-6 (X方向)變化量　(B) 傾斜管H-6 (Y方向) 變化量

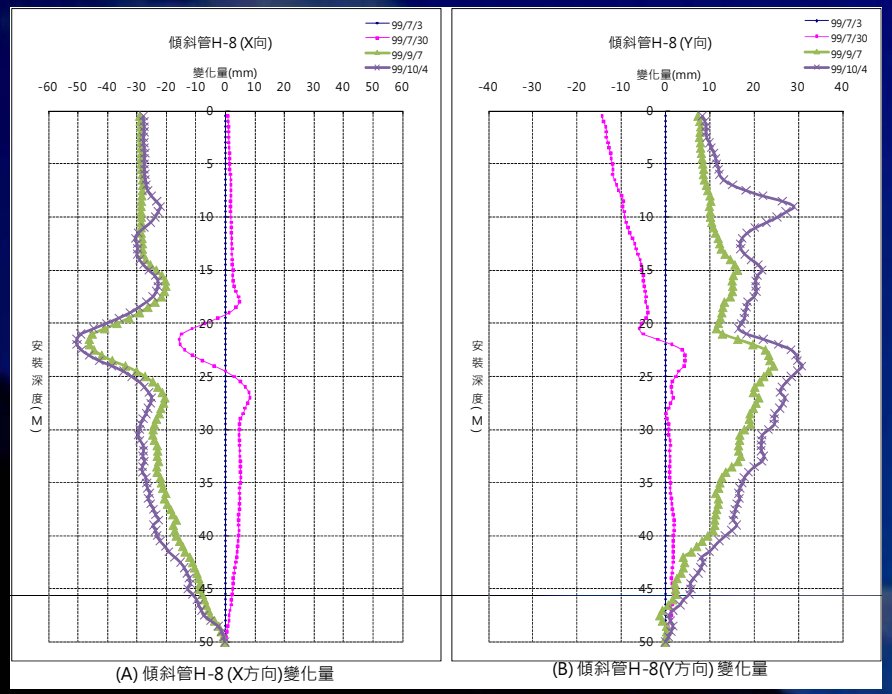
變化曲線圖



平面變化圖

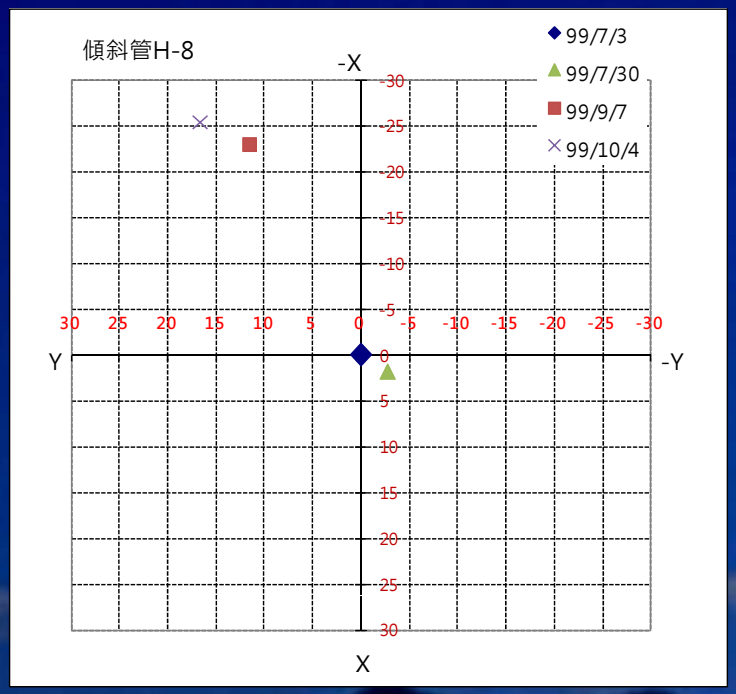
傾斜管BH-8量測成果

- 初始值量測位移量，總深度爲50m
- X方向0~18m深度變化量爲33mm，深度22m尖峰的變化量爲46mm，推斷爲此處爲地層滑動面，到底部僅爲10mm的變化量
- Y方向爲頂部變化最大從-15mm至7mm，隨深度逐漸減少至20m處變化量爲22mm，在21~25m處有大幅變動與X方向尖峰變化量爲同一深度



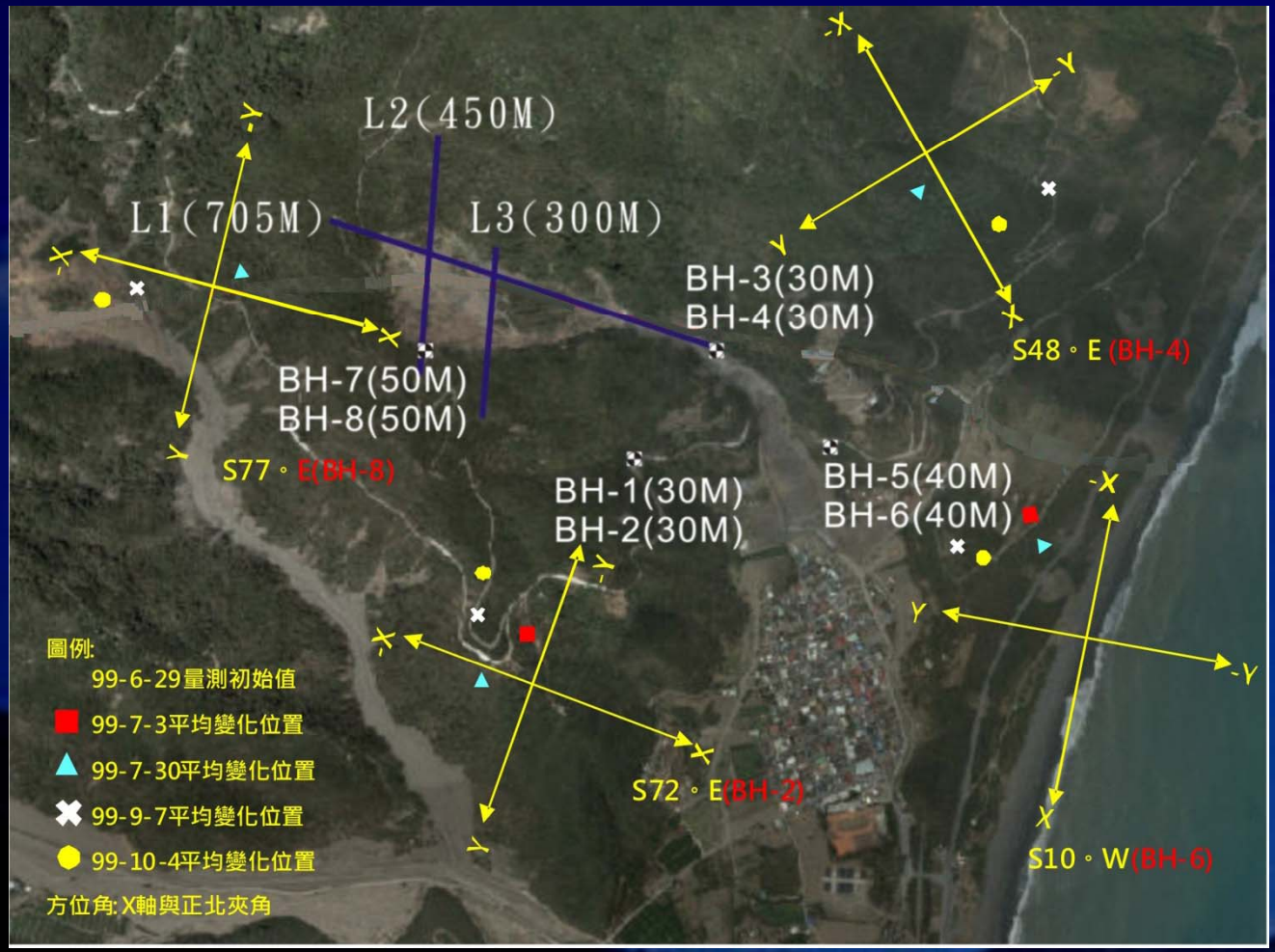
(A) 傾斜管H-8 (X方向)變化量　(B) 傾斜管H-8(Y方向) 變化量

變化曲線圖

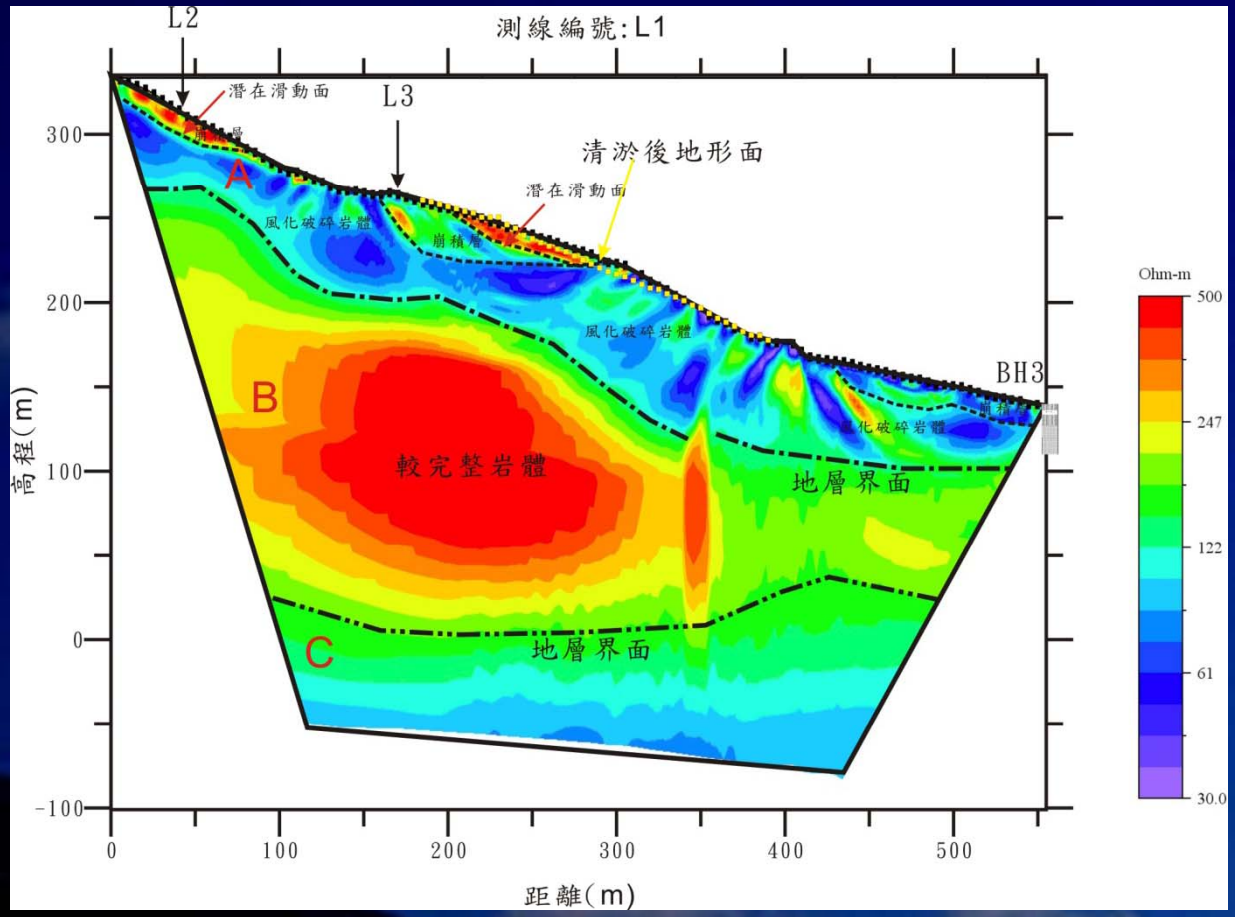


平面變化圖

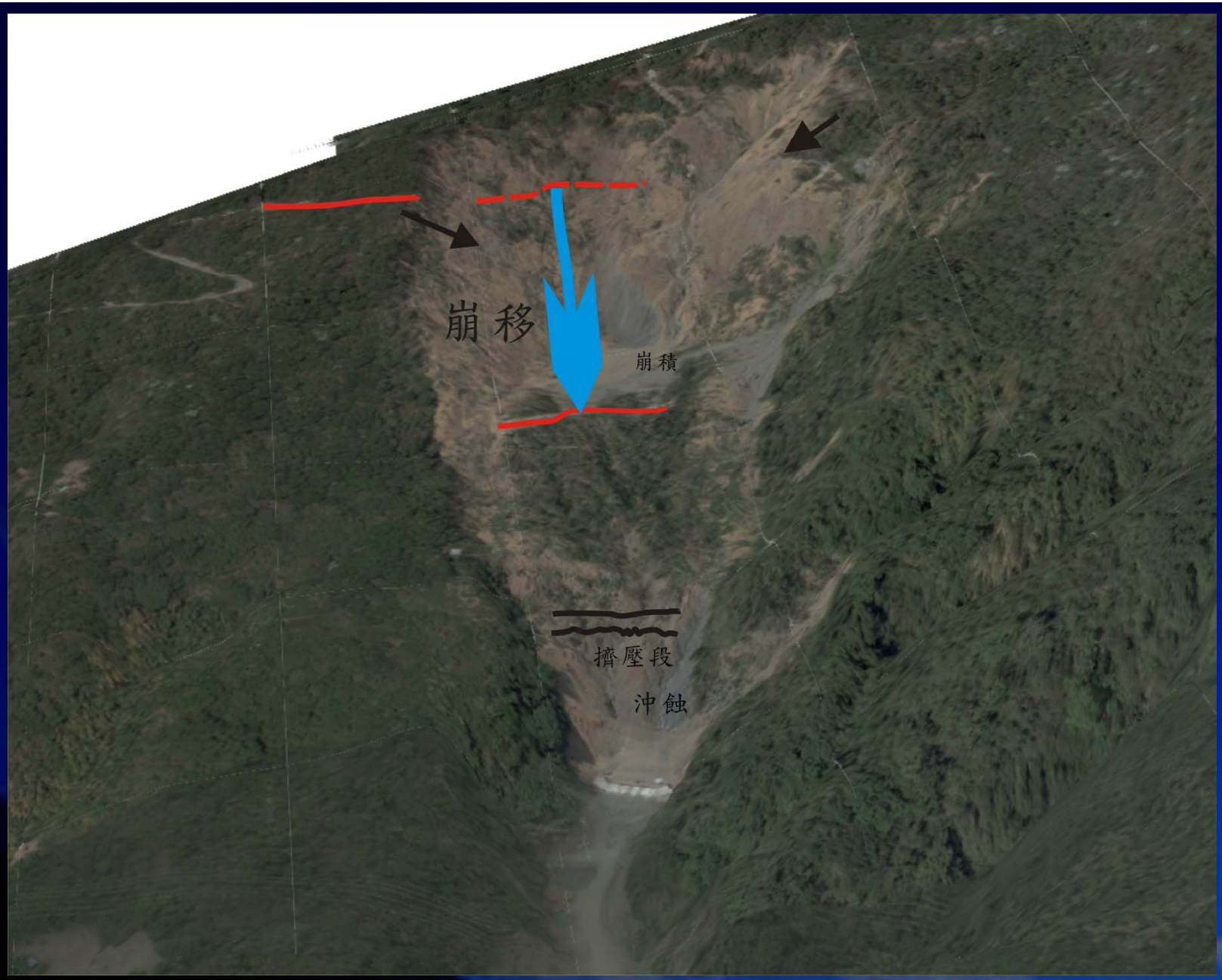
各監測點平面變化位置圖

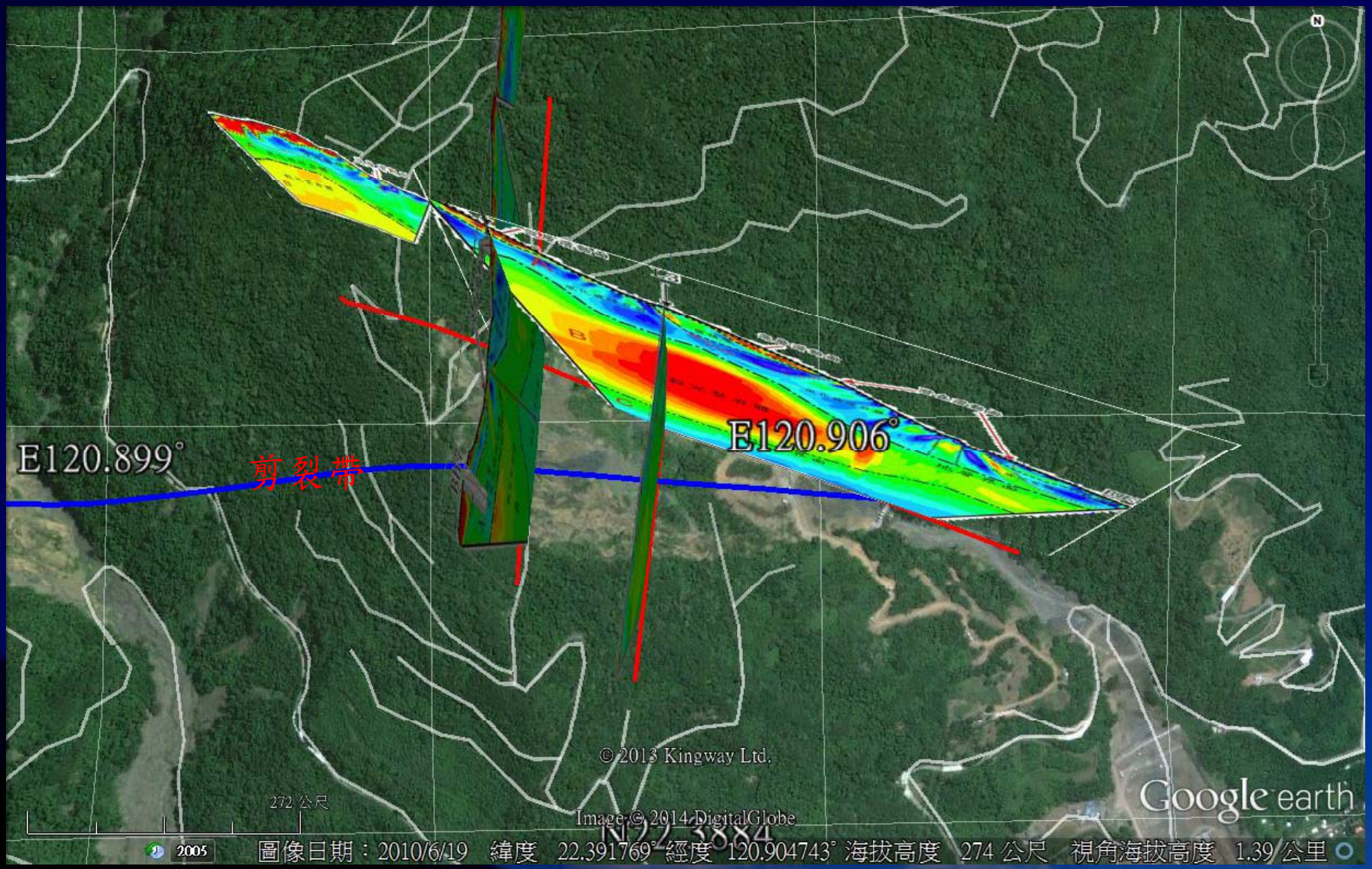


結論



大鳥崩塌地**L1**測線剖面解釋圖


崩移
崩積
擠壓段
沖蝕


E120.899°
剪裂帶
E120.906°
© 2013 Kingway Ltd.
272 公尺
Image © 2014 DigitalGlobe
Google earth
2005
圖像日期：2010/6/19 緯度 22.391769° 經度 120.904743° 海拔高度 274 公尺 視角海拔高度 1.39 公里

結論

- 由地電阻測勘、地質鑽探、地質調查，本崩坍地中有一剪裂帶或斷層，所以崩坍區內地層較為破碎。
- 雖經清汙，仍然有相當大量的破碎岩土層，當颱風等因素，帶來超大雨量時就有可能再次崩坍。

二、砂崙子坡地探查

委託單位:交通大學

Time-lapse RIP

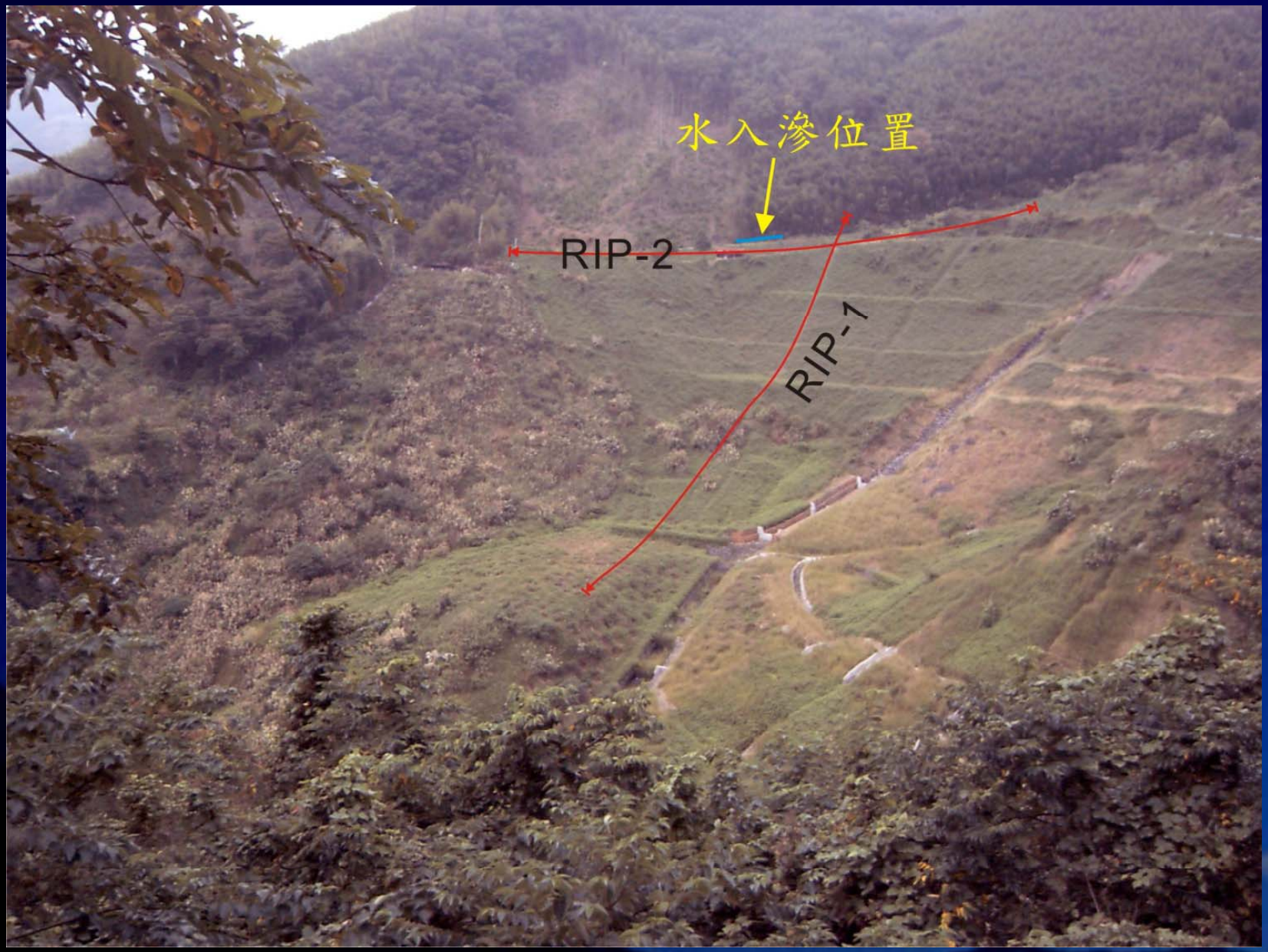
假設地層未變動而地下水可能變動

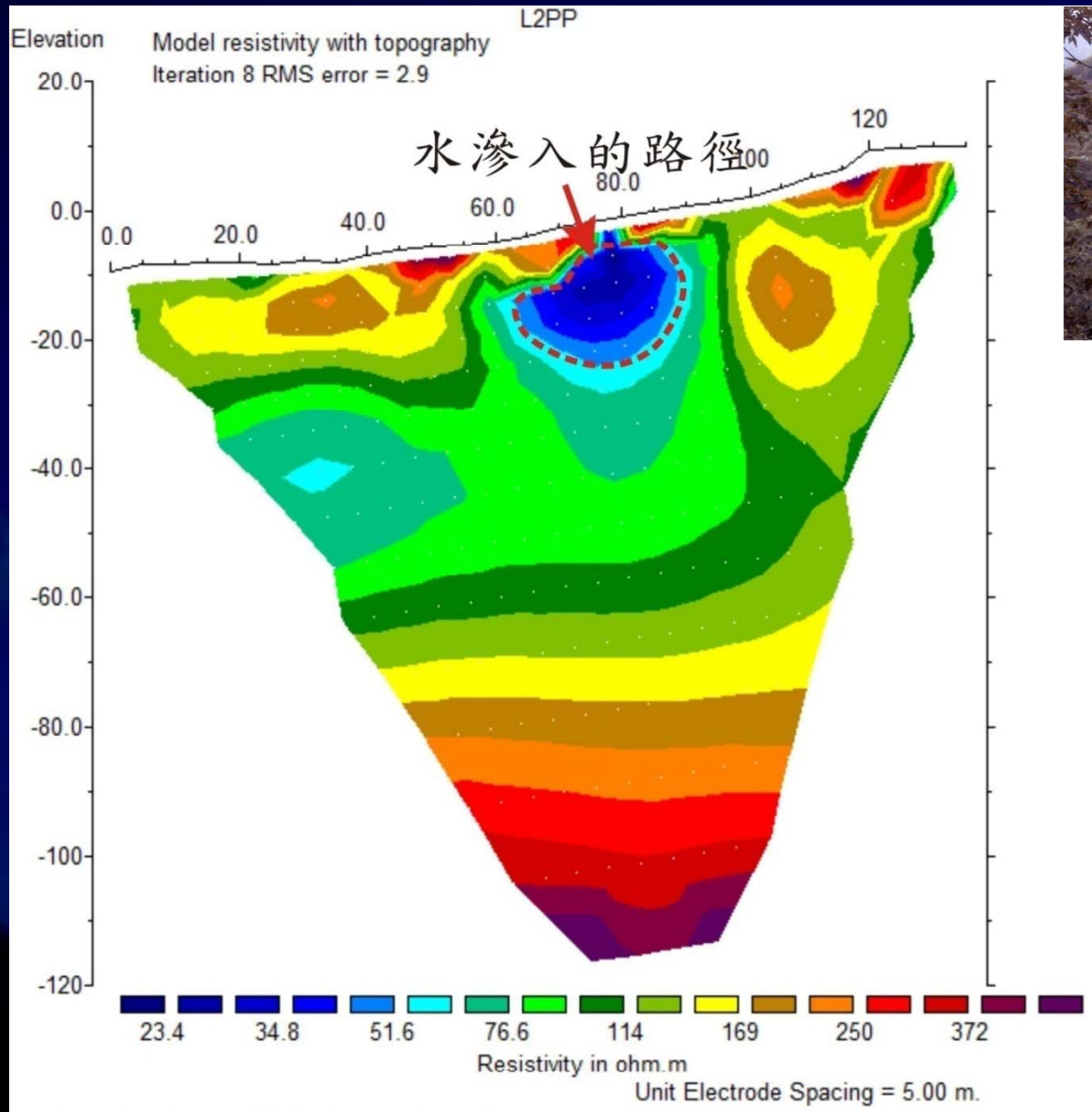
透過量測地電阻率的變化,可以量測地下水的變動?

含水量越高,地電阻率越低

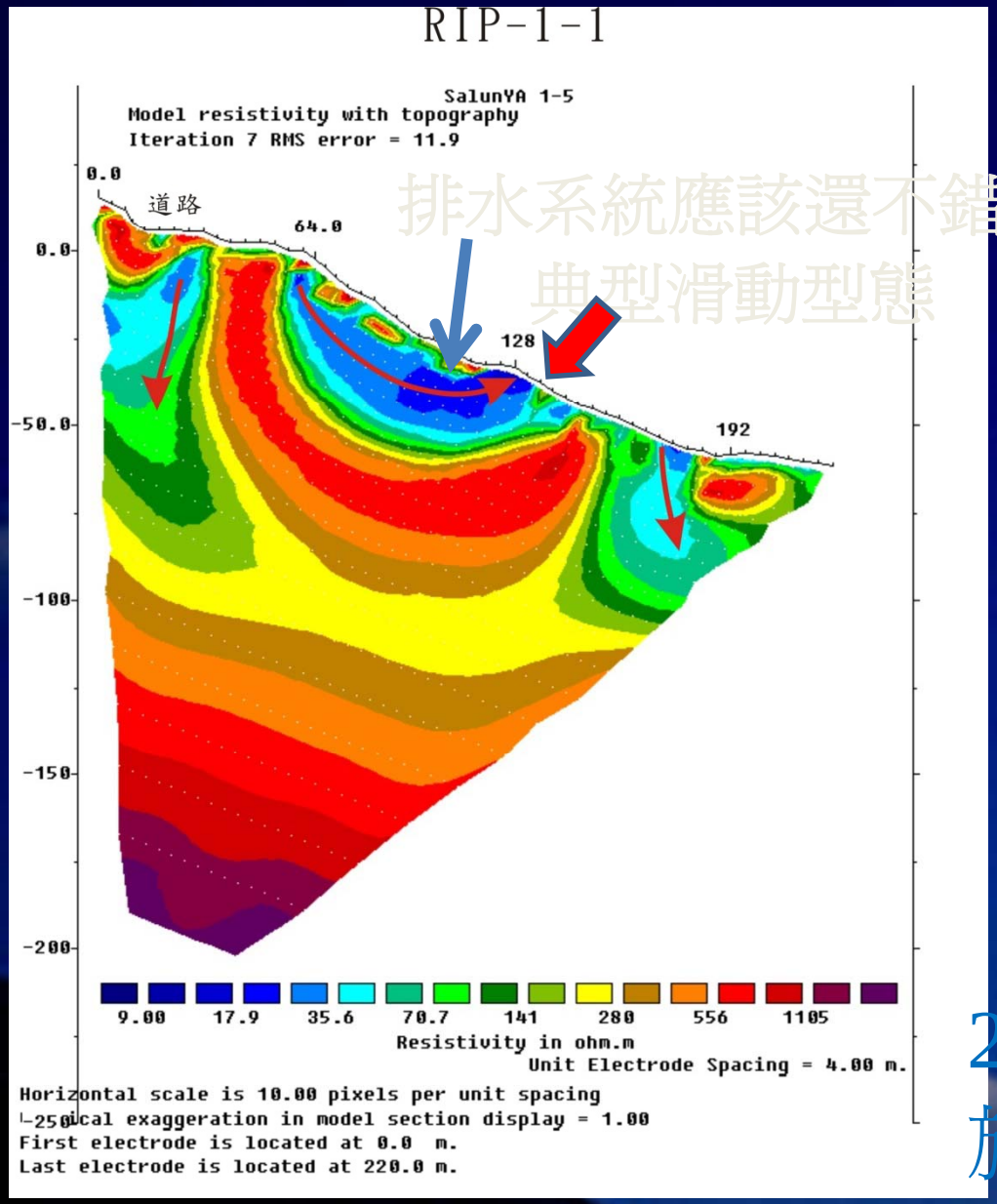
滑動面可以更明顯,

而提醒相關人員做必要的防患措施


水入滲位置
RIP-2
RIP-1



Horizontal scale is 18.00 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 135.0 m.

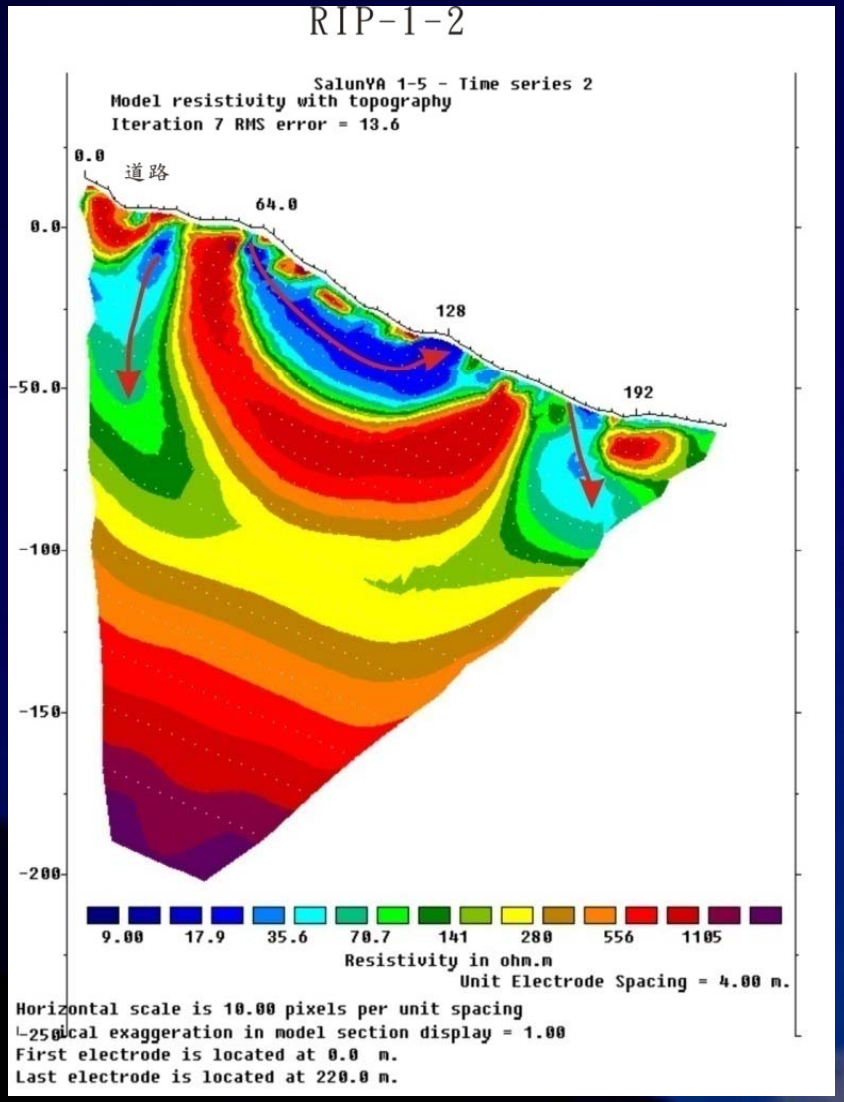


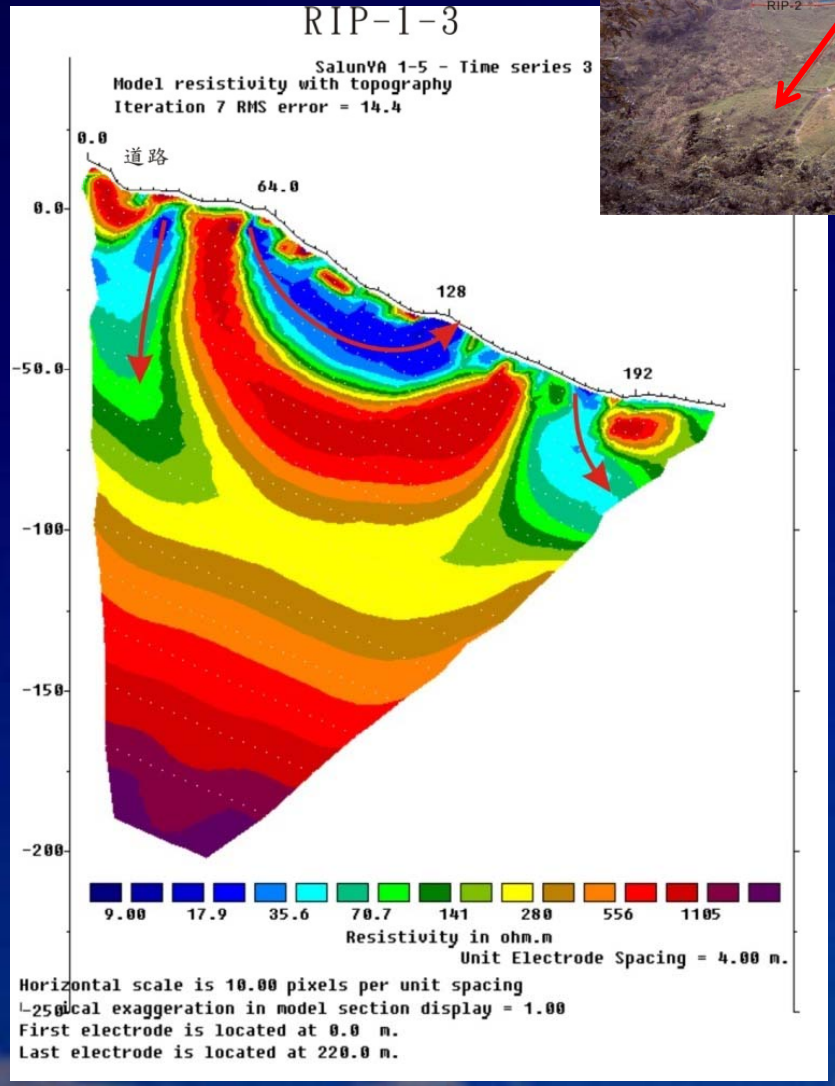
排水系統應該還不錯

典型滑動型態

2008年11月8日

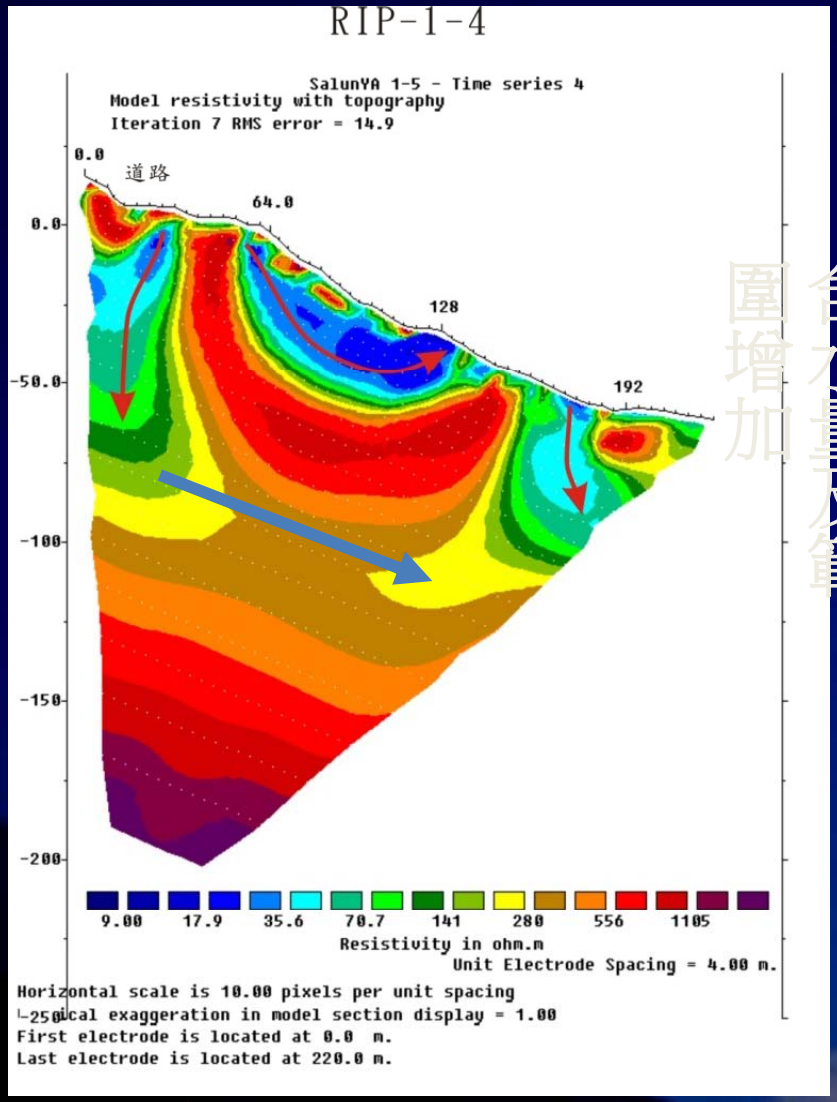
施測成果





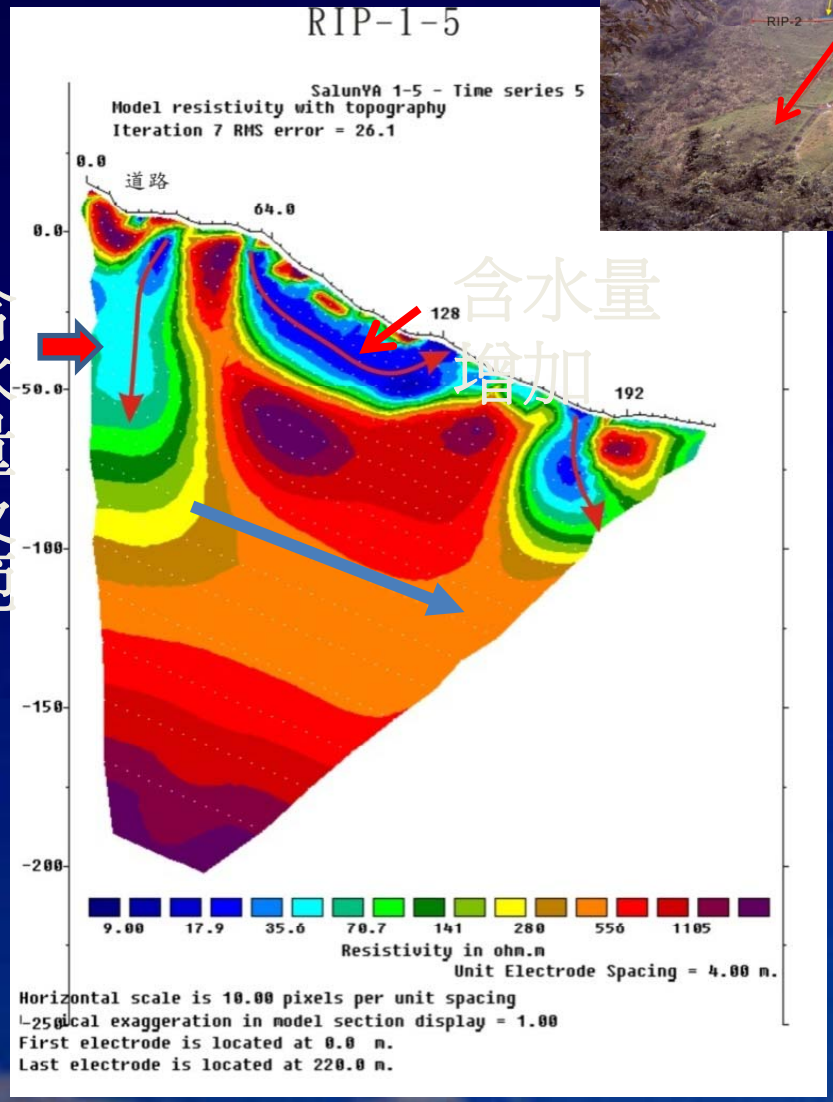
2008年11月20日施測成果

2008年12月7日施測成果



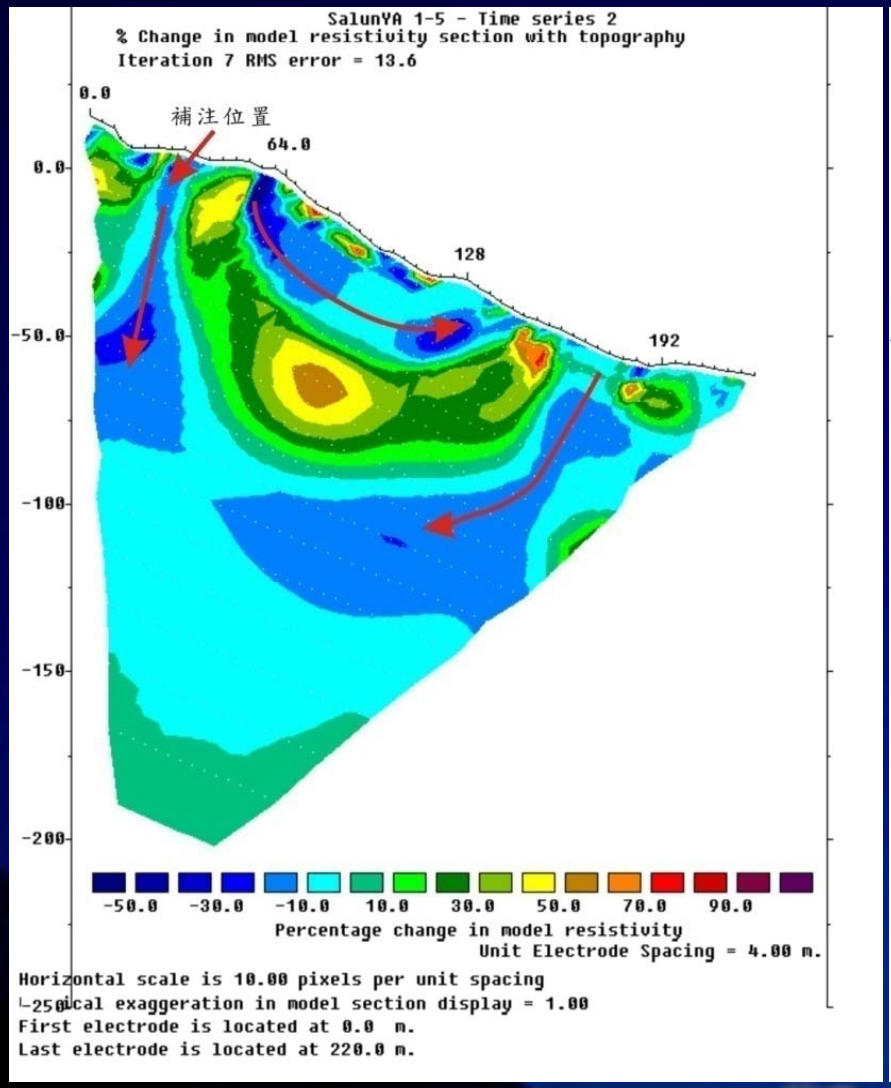
2008年12月26日施測成果

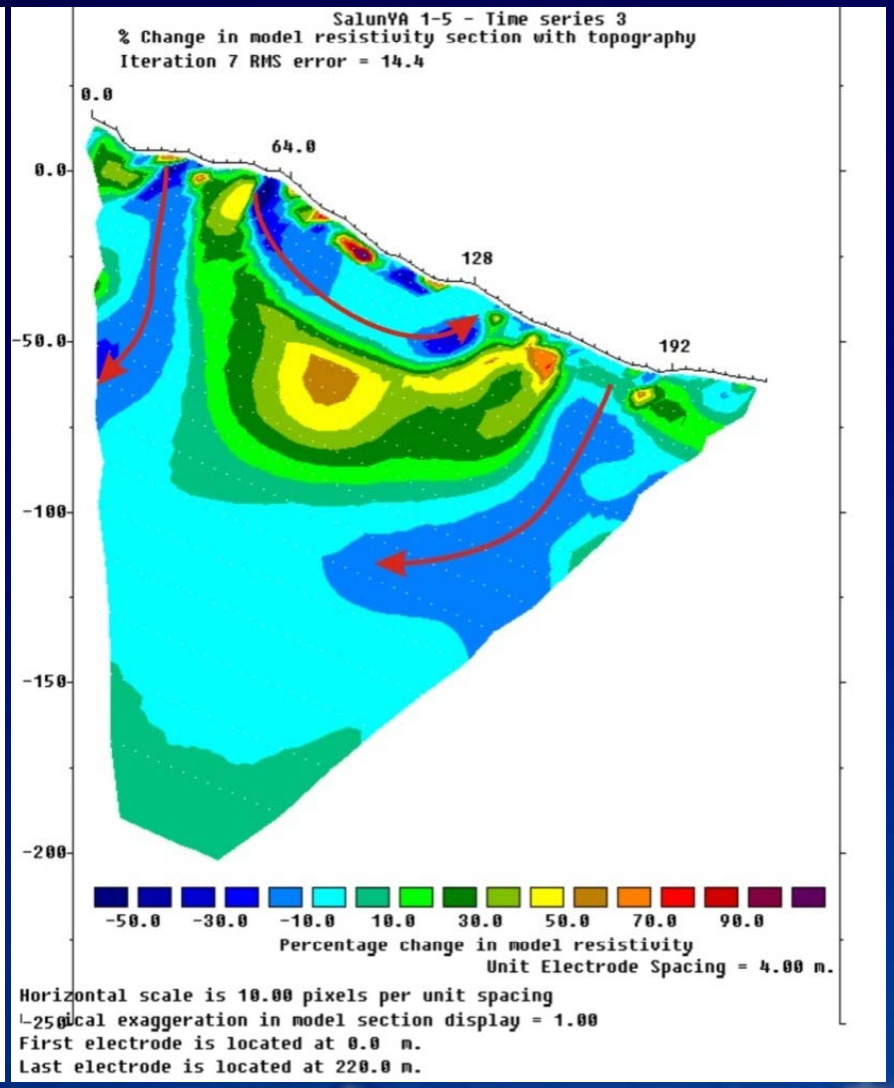
含水量及範圍增加



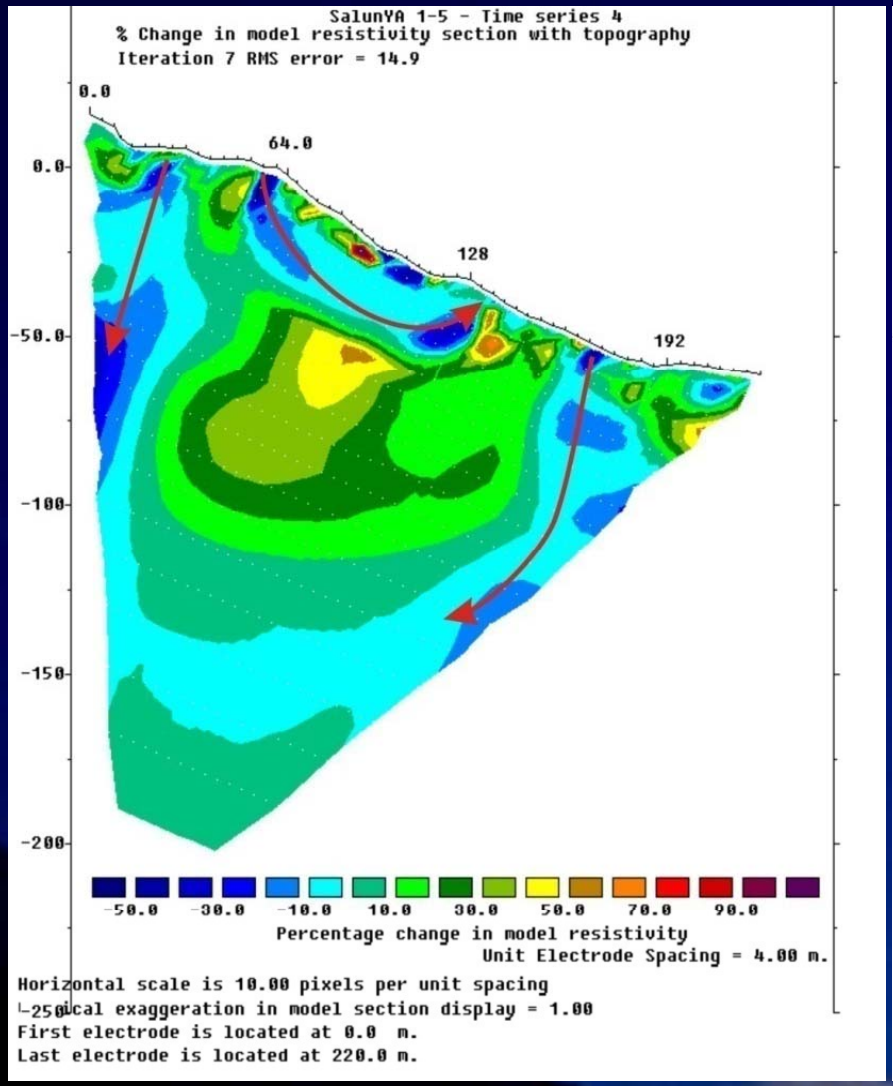
含水量增加

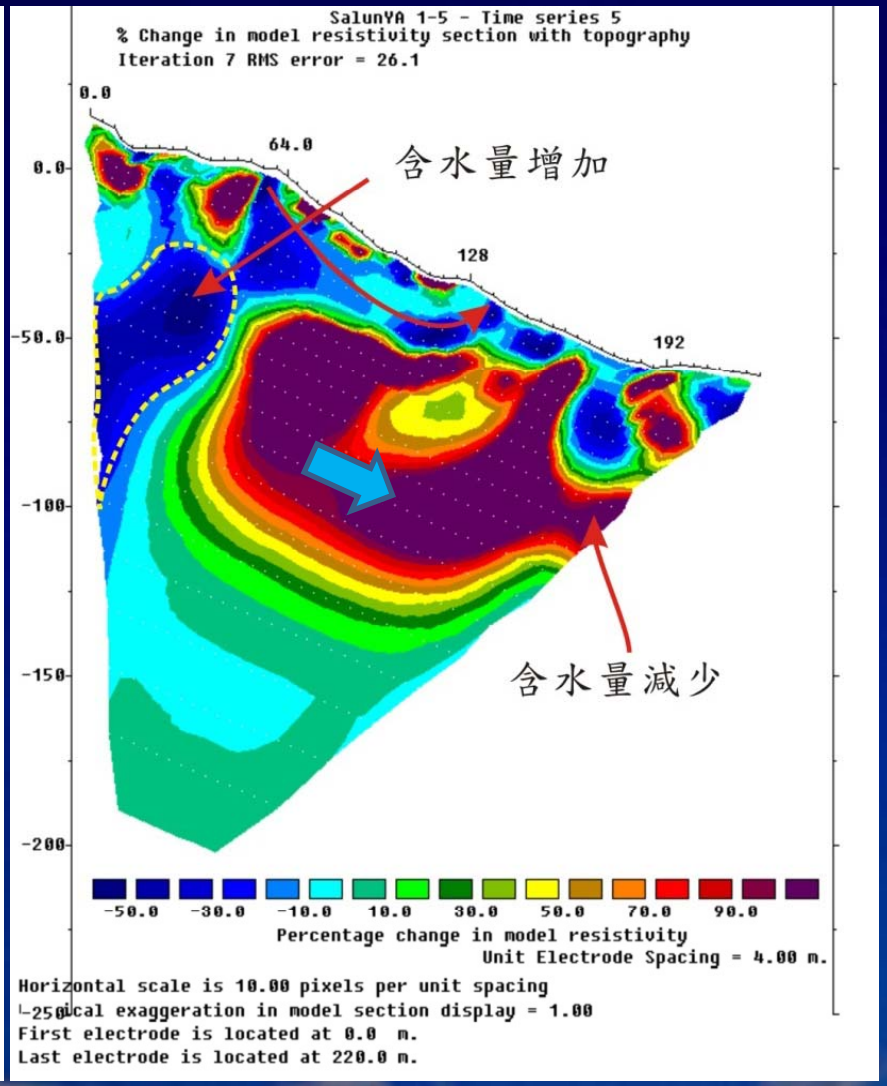
2009年1月9日施測成果





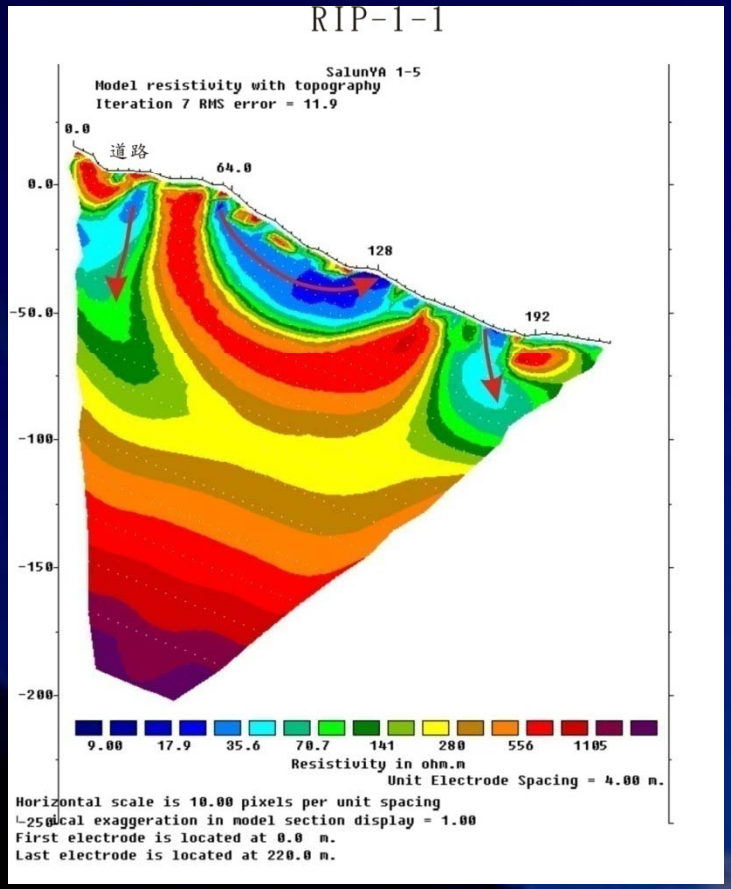
第二次對第一次之變化率　　第三次對第一次之變化率



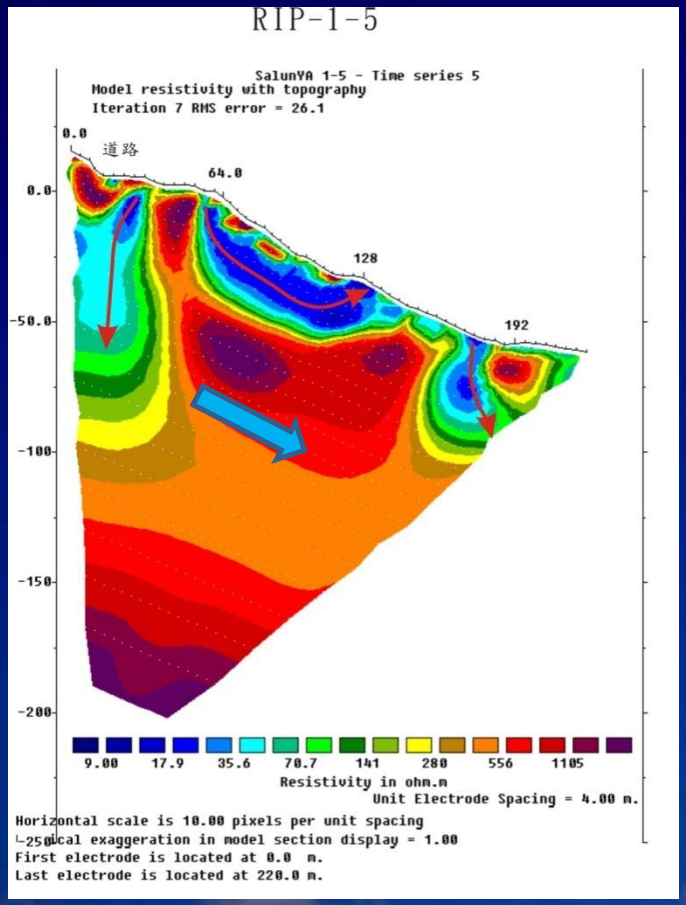


第四次對第一次之變化率　　第五次對第一次之變化率

那裡不一樣?　　那裡在動?

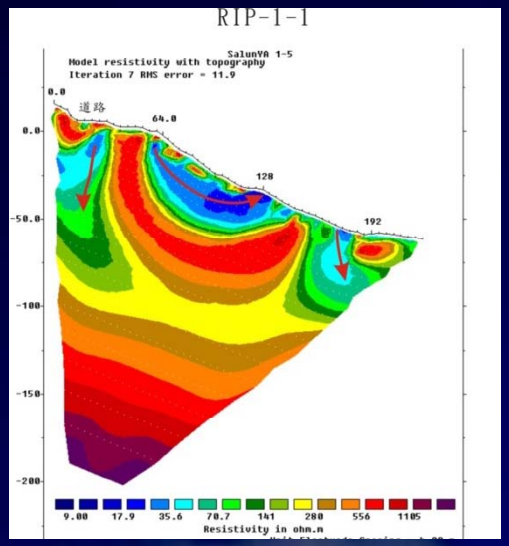


2008年11月8日施測成果

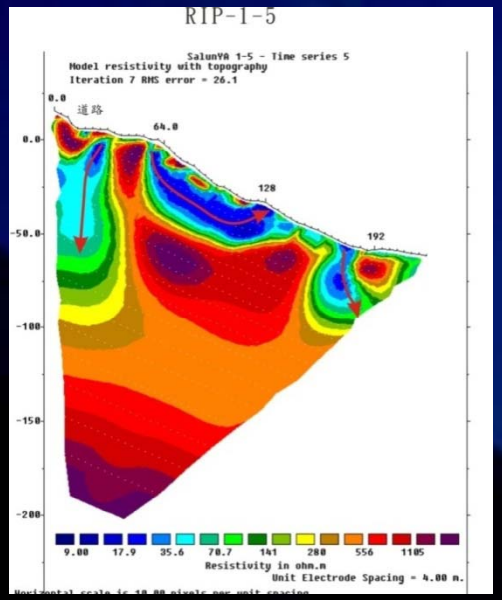


2009年1月9日施測成果

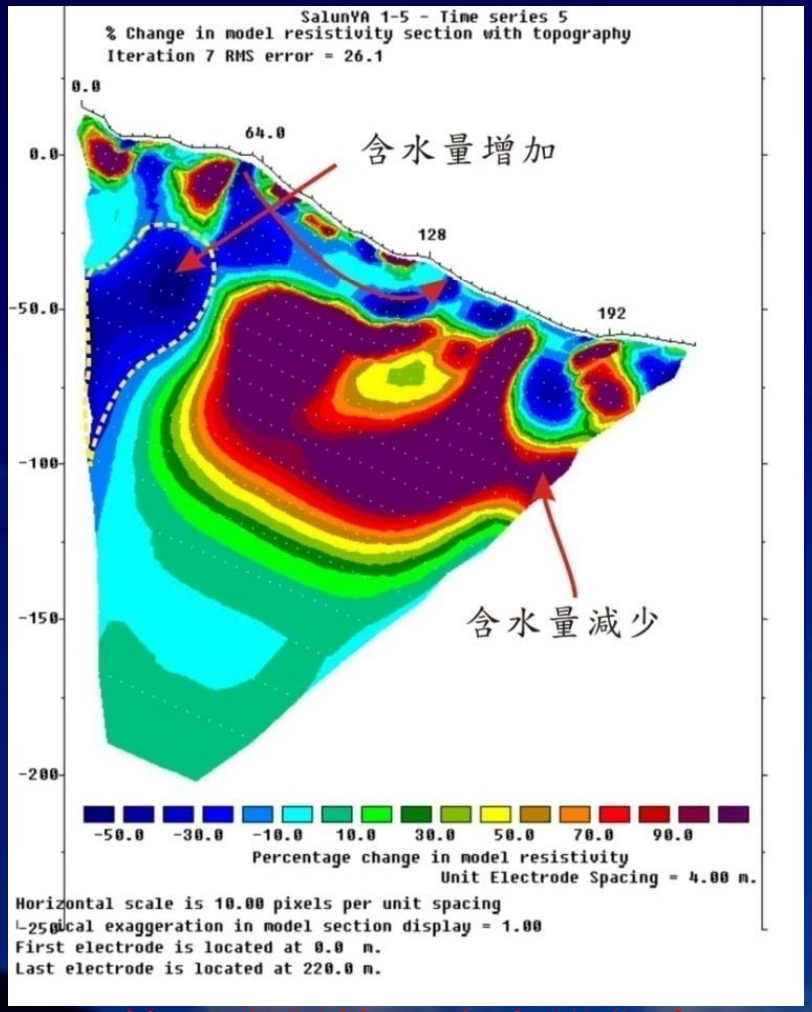
那裡不一樣?　那裡在動?



2008年11月8日施測成果



2009年1月9日施測成果



第五次對第一次之變化率

由圖中可以明顯看到，在崩坍地下方地層之含水量有明顯下降趨勢。在測線左側有一個地帶，其含水量明顯上升，可能是其裂隙增加，同時有大量水灌入。

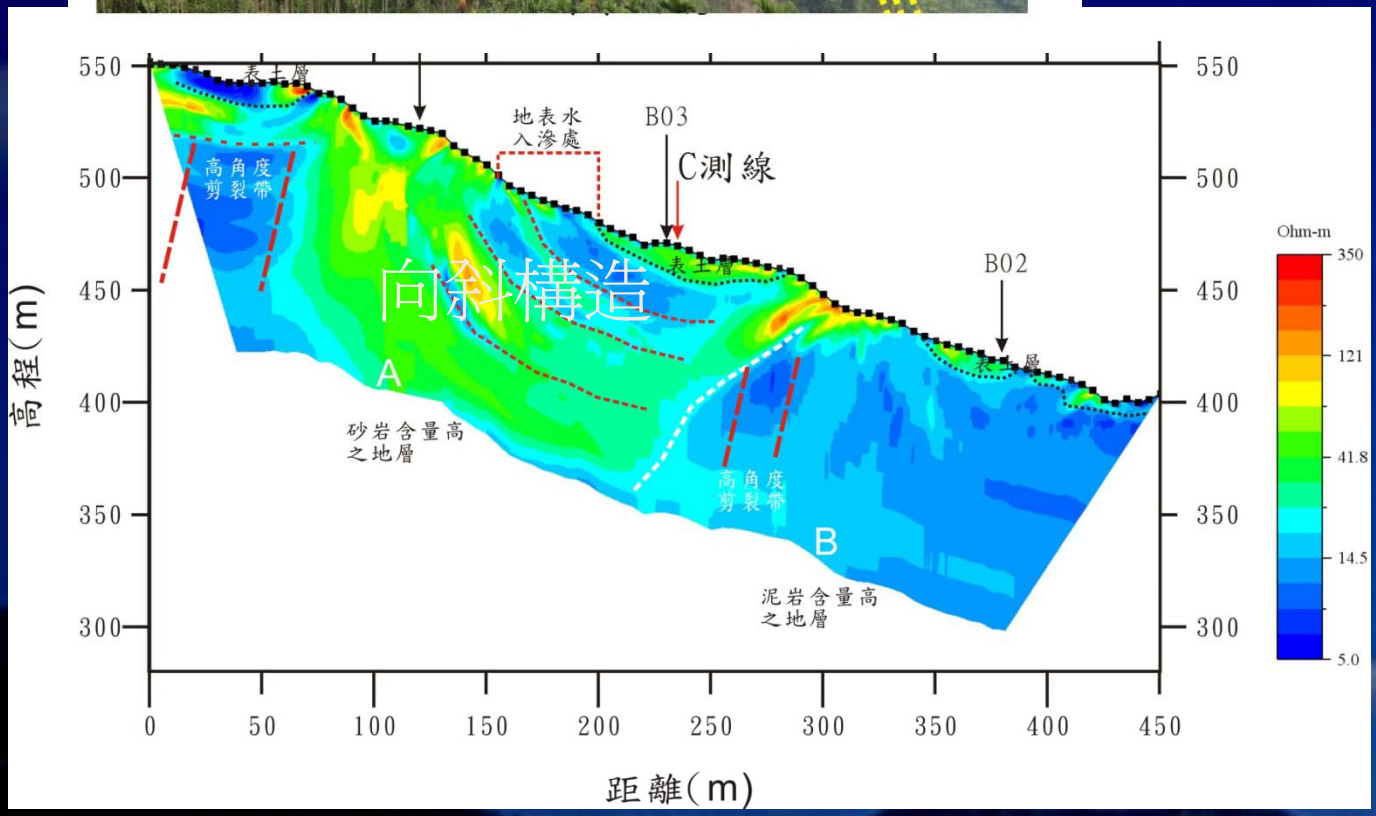
建議

- 隨時檢修截水溝，以免有任何閃失。
- 增加隔時地電阻影像探查(Time-lapse RIP監測)，監測地下水的變化
- 加強觀測，聯合其他監測資料，綜合研判
- 增加監測井的深度
- 探討可疑滑動面的性質，在可能移動的位置增設監測井

Time-lapse RIP

- 可以用來監測坡地(搭配其他監測)
  - 傾斜管
  - 水位
  - 水壓
- 可得較全面觀的資訊
- 可能提供較長預警時間

某坡地


表土層
地表水
入滲處
B03
C測線
B02
表土層
表土層
高角度
剪裂帶
向斜構造
A
砂岩含量高
之地層
高角度
剪裂帶
B
泥岩含量高
之地層
高程(m)
距離(m)
550
500
450
400
350
300
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
Ohm-m
350
121
41.8
14.5
5.0

三、東部某崩坍地

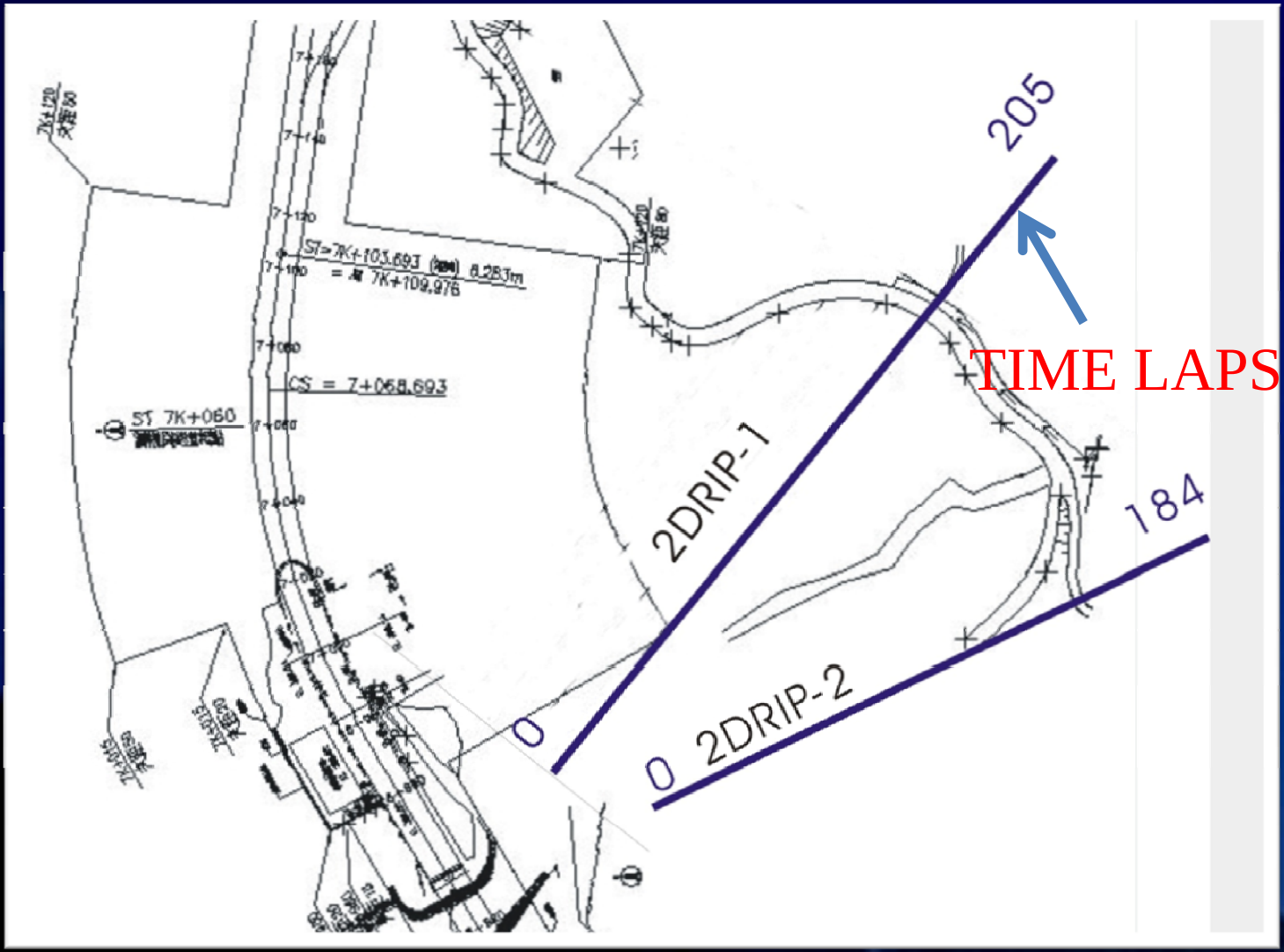
現地說明

- 因施工引發原不穩定地層滑動
- 調查現況以供整治之參考

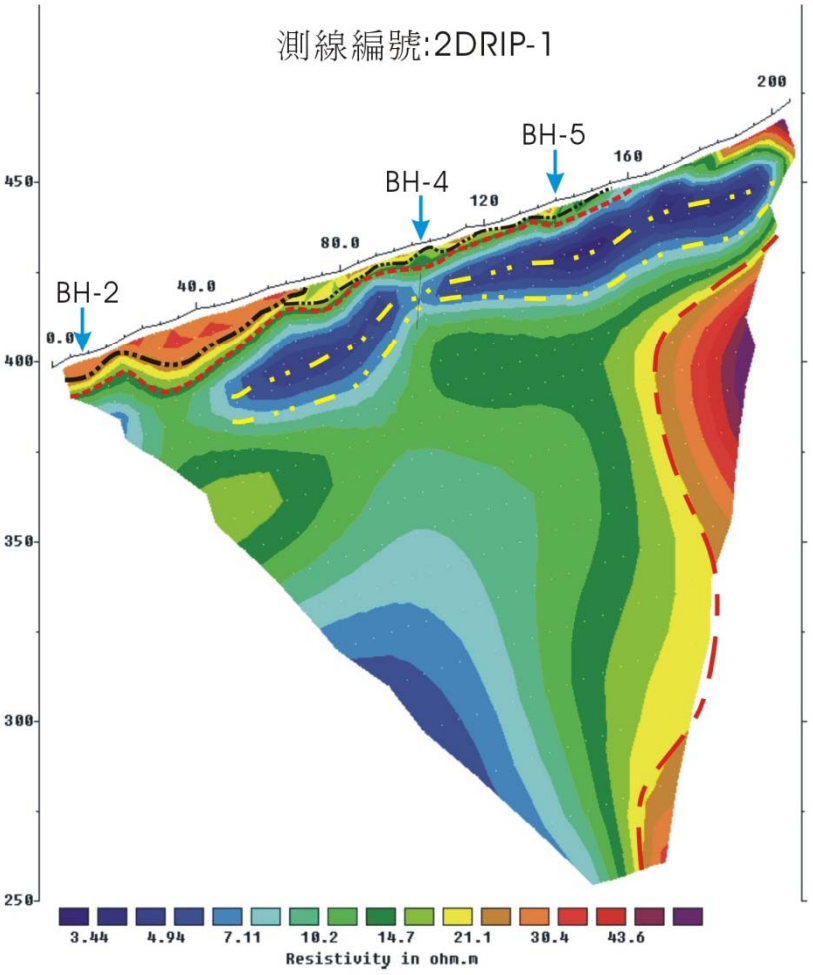
施測方式

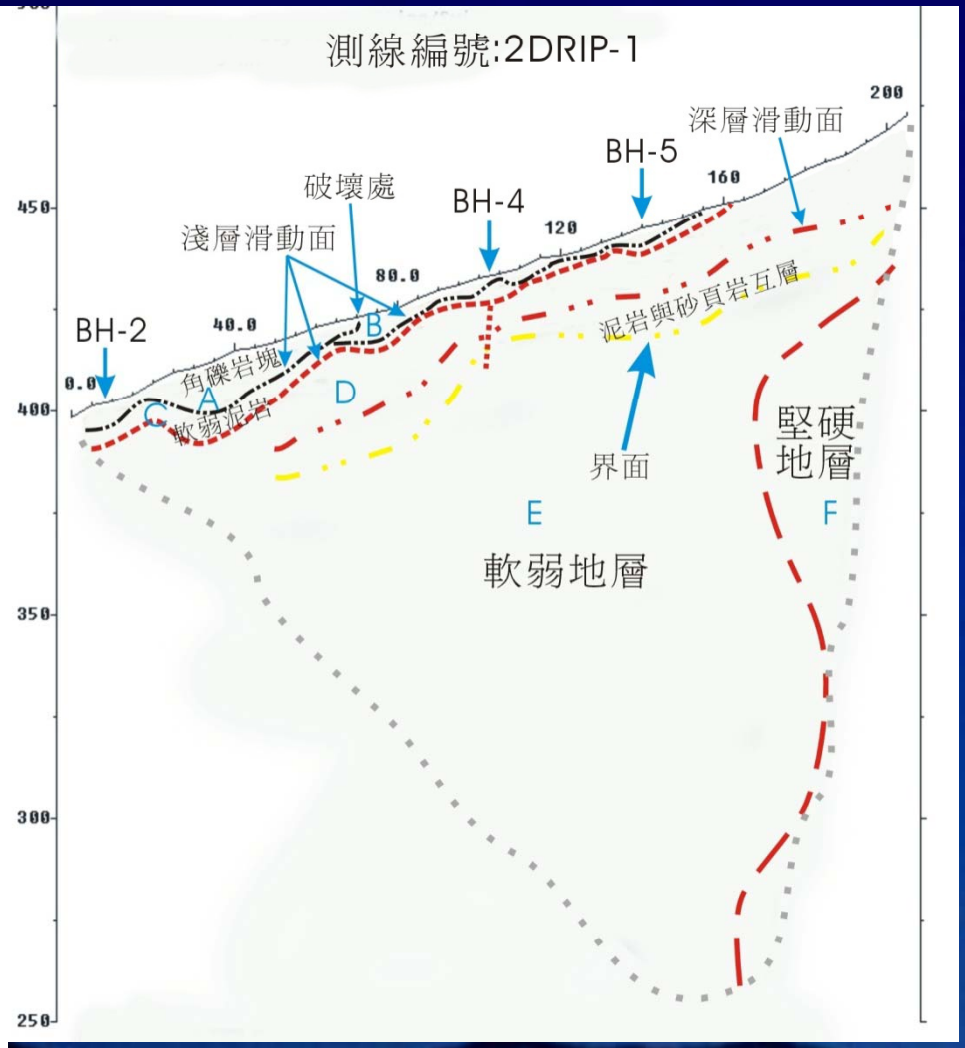
- 使用RIP 調查可能滑動面
- 由於測區地層含泥量高,含水及泥岩都是低電阻率，不容易區分。
- 使用TIME LAPSE RIP 調查期間之變化,進一步瞭解其水的來源

測線分佈圖

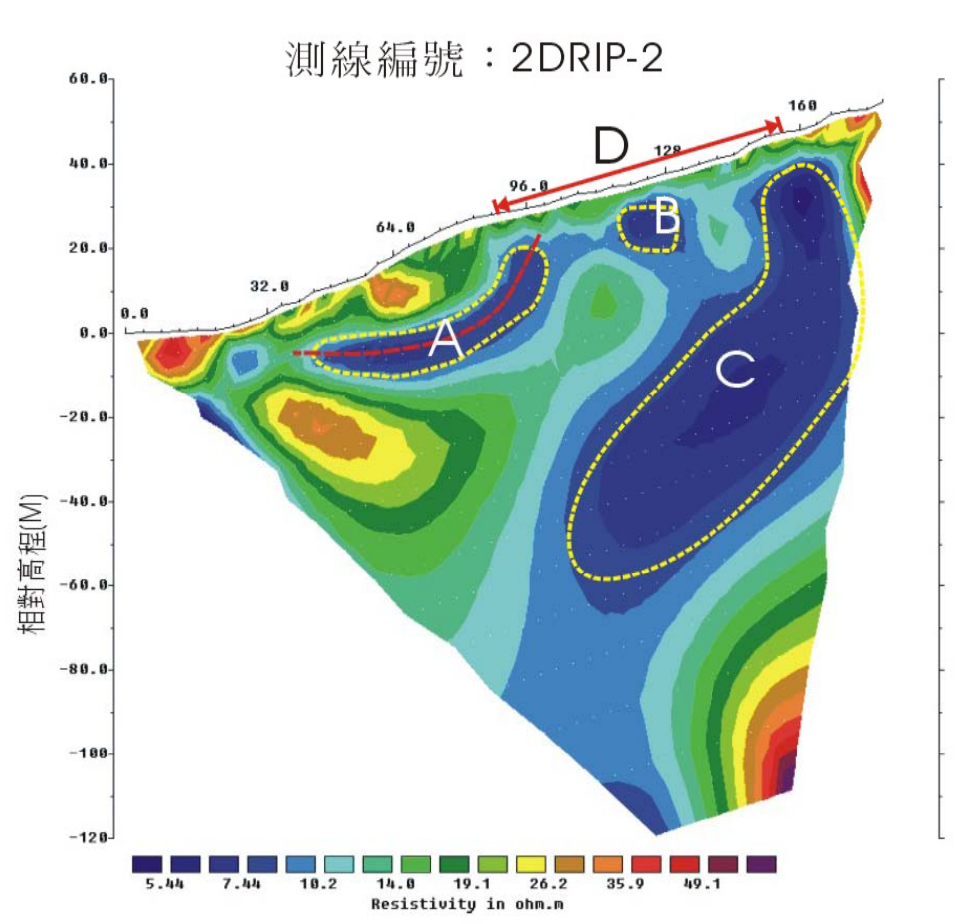


2DRIP-1


測線編號:2DRIP-1
BH-2
BH-4
BH-5
0.0
40.0
80.0
120
160
200
450
400
350
300
250
3.44
4.94
7.11
10.2
14.7
21.1
30.4
43.6
Resistivity in ohm.m

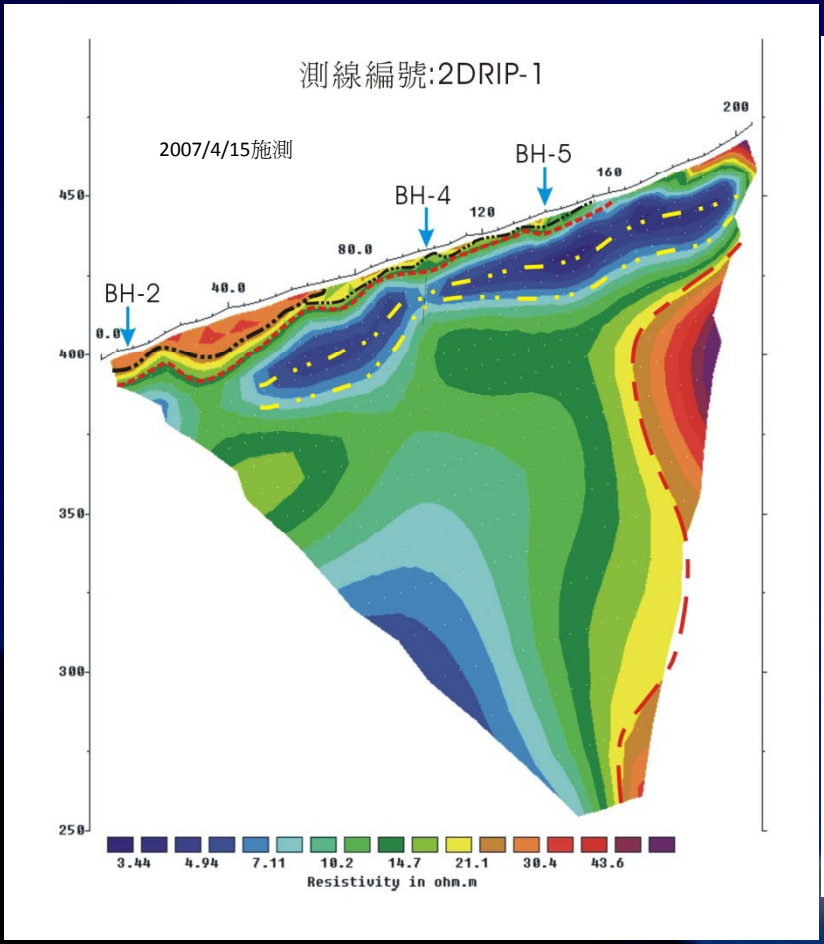

測線編號:2DRIP-1
深層滑動面
破壞處
淺層滑動面
BH-2
BH-4
BH-5
0.0
40.0
80.0
120
160
200
450
400
350
300
250
角礫岩塊
軟弱泥岩
泥岩與砂頁岩互層
界面
堅硬地層
軟弱地層
A
B
C
D
E
F

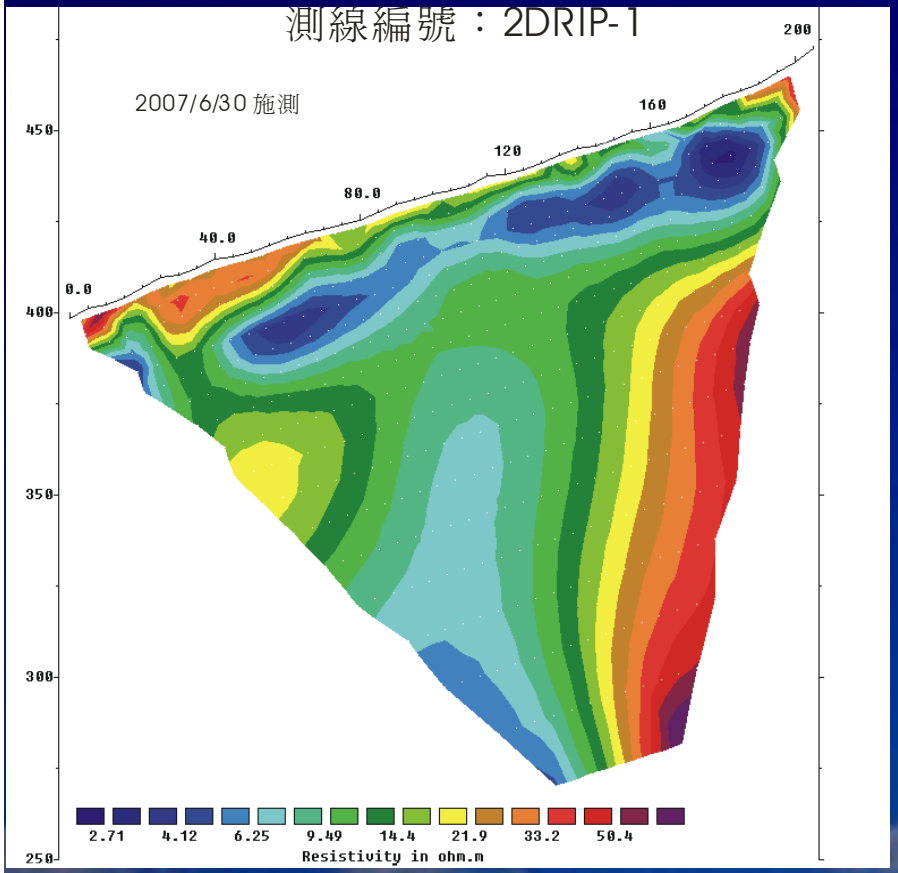
2DRIP-2



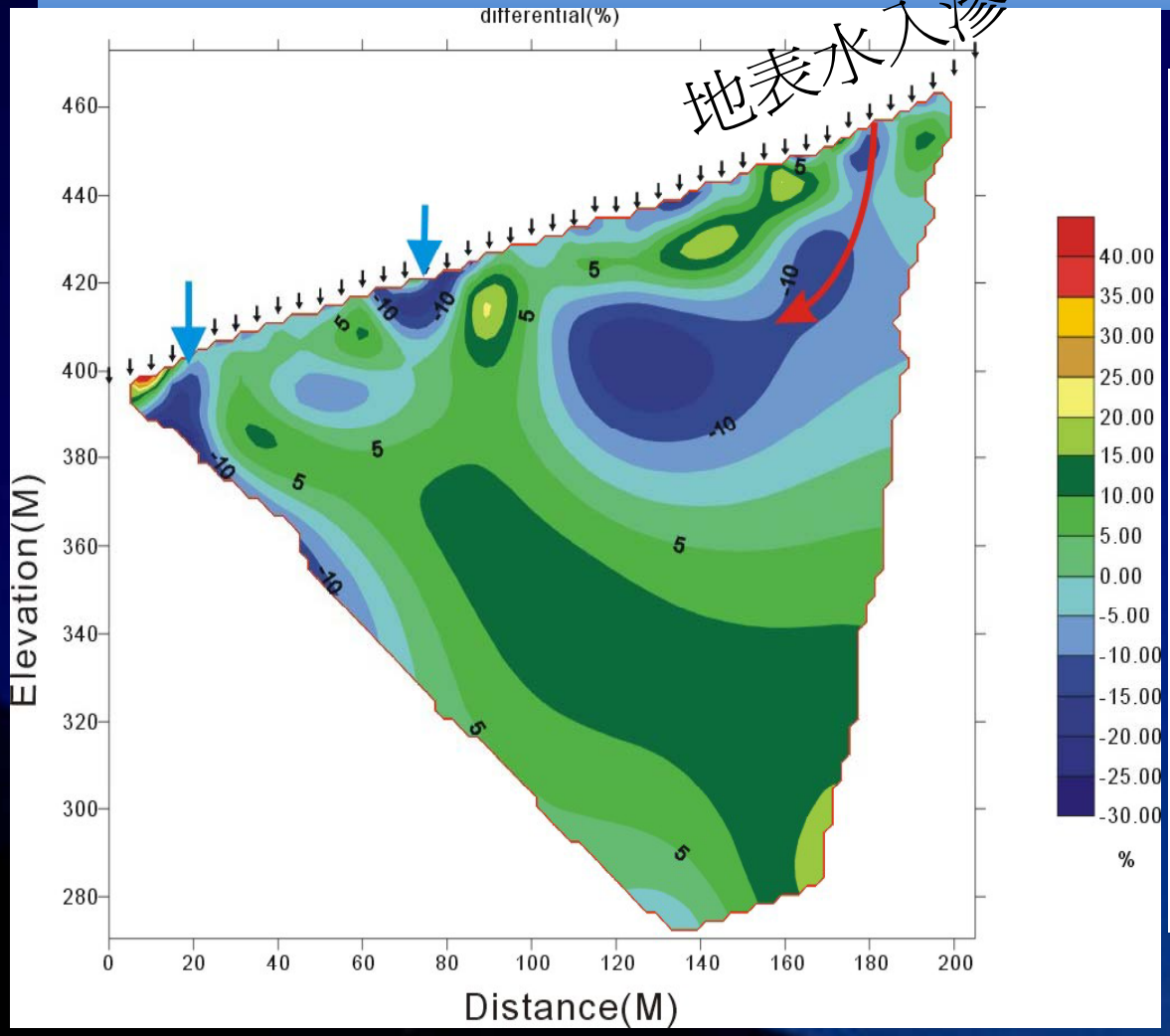
- 圖中ABC區爲低電阻率區，其中A區爲可能之滑動面位置，B、C區爲含水量較高的地層或泥岩層。D區爲地表裂隙較多的位置，地表水很容易經由該區進入地層中。在A 區的上方高電阻率之處可能爲崩積層。

施測成果


測線編號:2DRIP-1
2007/4/15施測
BH-2
BH-4
BH-5
0.0
40.0
80.0
120
160
200
450
400
350
300
250
3.44
4.94
7.11
10.2
14.7
21.1
30.4
43.6
Resistivity in ohm.m


測線編號：2DRIP-1
2007/6/30 施測
0.0
40.0
80.0
120
160
200
450
400
350
300
250
2.71
4.12
6.25
9.49
14.4
21.9
33.2
50.4
Resistivity in ohm.m

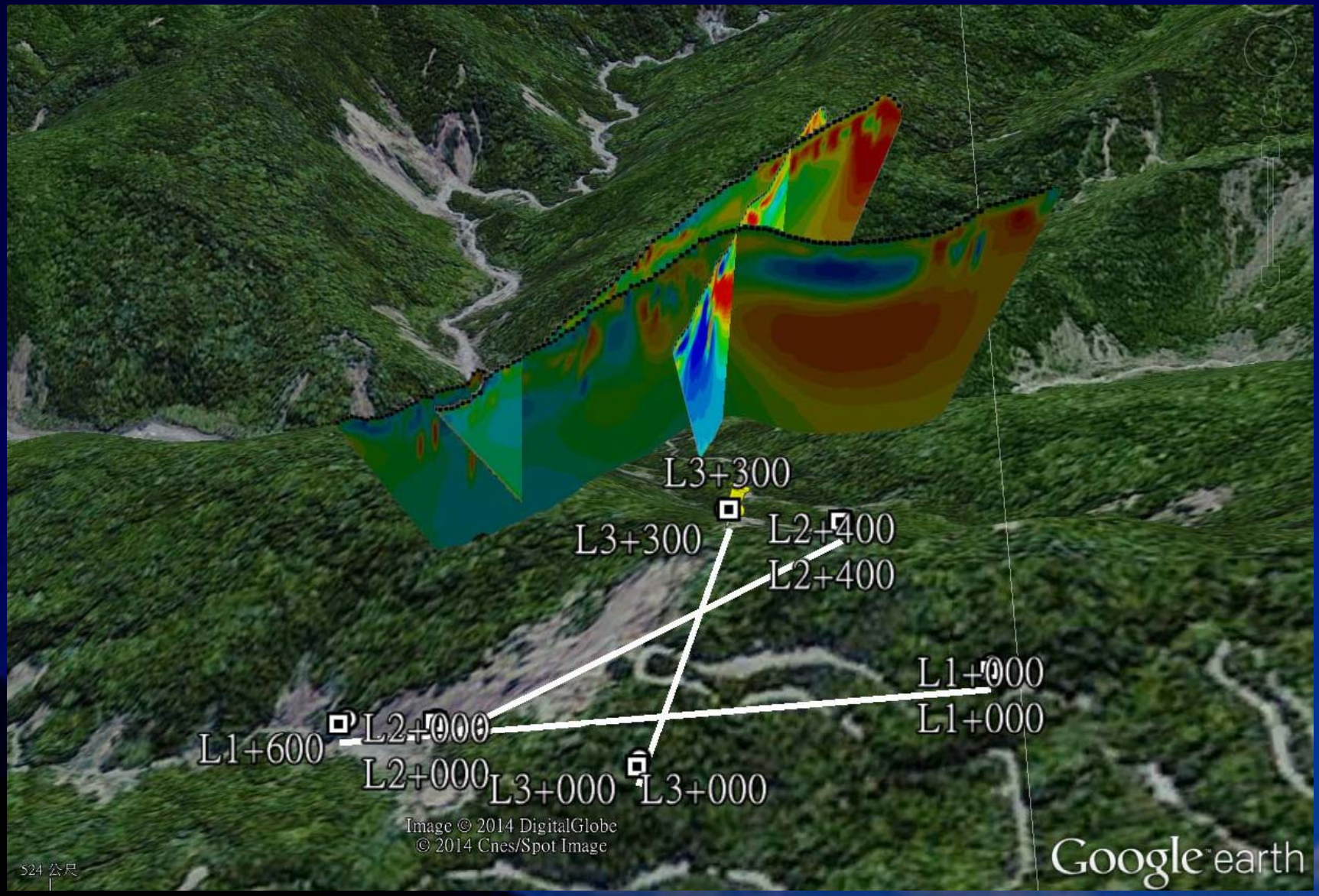
TIME LAPSE RIP



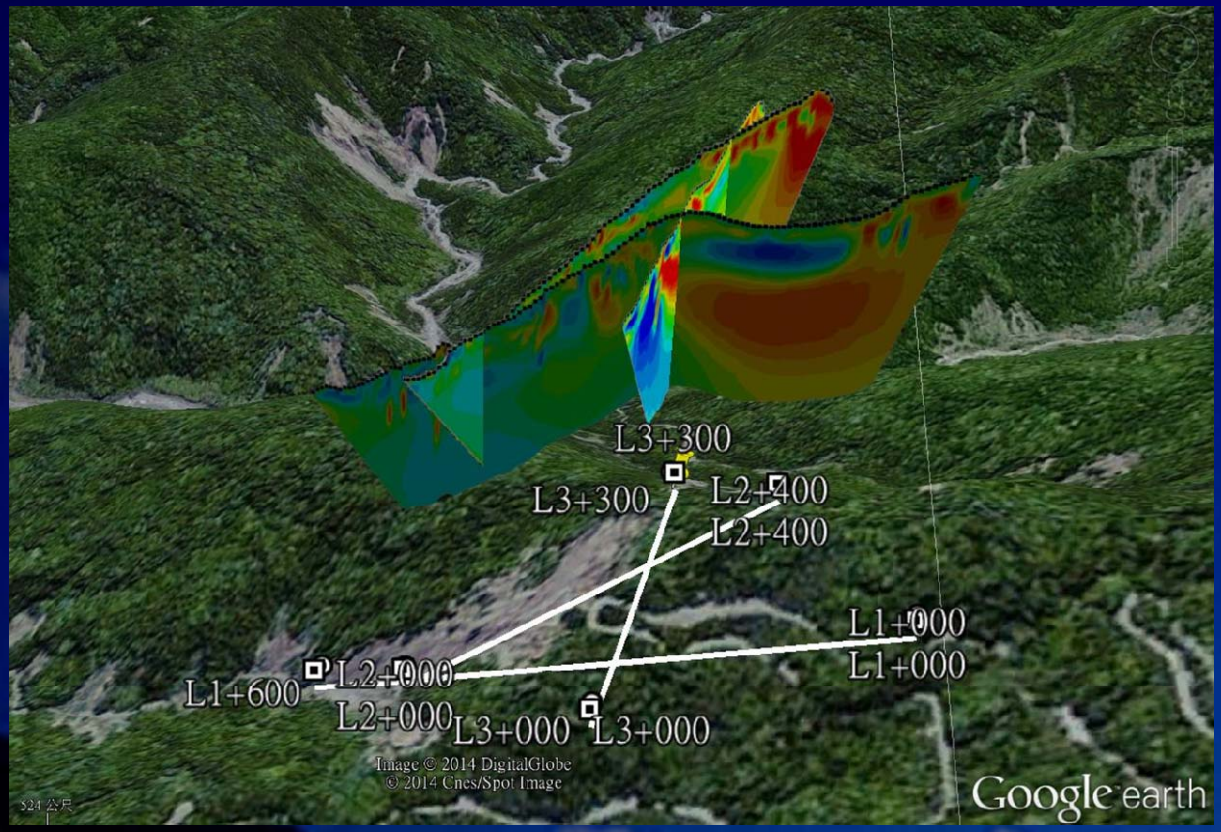
- R = (B-A)/A
- 負值代表電阻率減少,可能含水量增加
- 正值則可能含量減少

小結

- 透過 RIP 可以得知可能地層弱帶位置
- 透過TIME LAPSE RIP 可以地層中含水之消長及入滲的位置及路徑。
- RIP 是很好的監測工具


L3+300
L3+300
L2+400
L2+400
L1+000
L1+000
L1+600
L2+000
L2+000
L3+000
L3+000
Image © 2014 DigitalGlobe
© 2014 Cnes/Spot Image
524 公尺
Google earth

辛苦了　測量及量測工作同仁



謝謝聆聽