

# 與會報導 地工技術第 36 次學術研討會

## 智慧化地工技術新趨勢

鄧源昌\* 盧志杰\* 整理

時 間：2020 年 12 月 11 日(星期五) 9:00-17:00

地 點：國家災害防救科技中心 國際會議廳

講題及主講人：

講 題	主講人	主持人
致 詞		董家鈞
利用地電阻影像法協助推估含水層水力參數之研究	張竝瑜	林志平
電法技術在土壤地下水汙染問題之應用	劉興昌	
結合圍封阻絕及現地整治工法應用案例介紹	林威州	黃建霖
雙環塞灌漿技術於高度異質性污染場址之精確整治應用	董天行	
綜合討論 (一)(全體講員)		
監測手段於坡地工程防減災之運用概況	陳昭維	鄧福宸
蘇花公路因雨致災崩塌機率模式之建立與防災應用	陳進發	
物聯網系統於大地工程運用~以捷運萬大線站體開挖為例	吳智偉	
隧道監測特徵化智慧辨識	邱雅筑	
綜合討論 (二)(全體講員)		

### 綜合討論(一)

**主持人(林志平 教授)：**

請大家不吝發言，今天上午之四個講題皆與地中、地下水有關，大地工程在此領域有很大的影響力與發揮空間，希望大家一起凝聚能量，看各位是否有問題一同討論。

**與會者(黃敏祥 主任)：**

請教一下張教授，利用地電阻協助推估含水層參數，但地下環境除了水以外，還有土壤，但您的內容似乎少著墨於地層的判定。都市中施作地電阻時，在捷運施工亦有使用地電阻之探測，但似乎不適用於地層分層之判定使用。因您的研究場址多位於郊區，此類都市干擾較少，在都市施測時亦受到許多干擾如既有管線影響。故想請教地電阻試驗是否不適用於都市中執行地層分層探測，應用成效如何？

**主講人(張竝瑜 教授)：**

本研究團隊有另外研究探討地電阻應用於探測地層分層，在具有有限鑽井資料時，觀察簡報之 Archie's law 公式，等式左側為地電阻試驗

量測得到之電阻率，等式右側中有一係數為孔隙水之電阻率，若鑽井時有量測孔隙水之電阻率，則有此公式之孔隙水電阻率資料。移項後則等式右側項次則僅餘孔隙率、同時亦與孔隙之膠結程度有關，該右側項次稱為地層因子。在該研究中，我們使用地層因子與鑽井資料做比對，用此建立地層分布。以濁水溪沖積扇為例，以地電阻試驗判釋地層分布之準確率達六至七成，而蘭陽平原案例之準確率可達九成，此判釋成果差異原因與地層複雜程度有關。綜合案例顯示可使用地電阻方法之地層因子作地層判斷，只是過去多僅使用地層電阻率判斷，而地層電阻率會受到孔隙水之電阻率影響甚大，故必須要有孔隙水電阻率之知識與量測，如此才能重建地層分布。至於都市部份，的確都市有許多管線分布，像劉老師所講在做跨孔、下孔或孔對地的電阻率試驗時，此時可有效避免近地表導電物質的干擾。地電阻方法使用時須因地制宜，如劉老師與董博士皆有提到，非方法本身不適用，而是須視現地有哪些干擾來調整所用方法。以非破壞性量測而言，在沒有都市管線干擾情況下，地電阻試驗規劃於地面

\* 國家地震工程研究中心

執行為最直接且容易。在有管線干擾時，可使用特殊方法避開，或直接把電極放於鑽孔指定深度處，如此可避開地表淺層導電物體之干擾。

**與會者(黃敏祥 主任)：**

孔與孔之間之地電阻量測之所受到之干擾是否一樣很多？

**主講人(張竝瑜 教授)：**

需視目標物，若兩井間為你的目標物時，其實容易知道目標物之幾何、大小與位置。想進一步詢問所謂之干擾？

**與會者(黃敏祥主任)：**

都市中使用此地電阻探測方法僅可大致了解地層分布，但無法實際掌握地層分布。最直接掌握實際地層分布之方法為直接進行地層鑽探取樣。

**主講人(張竝瑜 教授)：**

應該說要看在什麼地方施測，還有施測人的經驗程度有一些關係，舉例我的學生在執行地電阻試驗時，很喜歡在路旁邊則進行施測，但我們會要求要遠離某些道路，各位地工做得很好，道路附近多有涵管與管線，所以試驗若沿涵管佈設，則會一直看到涵管效應，則干擾很大。若有基礎量測知識，因應改變測線方位，或是改變測線位置，則可避開涵管之干擾。另外就是施測前已知有涵管干擾，但是避不開，則一般會施作平行測線，做三維的反演，然後把有干擾的那段切掉。因為剛劉老師所講之反演算，其實按照物理原理，每一個感測器皆有其感測空間範圍。但是當我開始做三維的施測時，我可以把干擾範圍集中在同一個階段，所以可以在沒有受到干擾的狀況下，在某些測線之量測結果看到良好的地層分布。故最後仍是看你要怎麼去調整，就地球物理的專業來講，其實有很多方式可以調整，使得到地層之原本資訊。只是這個須對技術本身有基本的了解。

**主持人(林志平 教授)：**

我幫忙補充一些意見與交流，我想這種就是相輔相成，也不能因噎廢食。例如作內視鏡如大腸鏡或胃鏡為最準，但是否意味著不用照X光或超音波？我想也不是這樣，仍是要相輔相成。故我們須對目的要很清楚，對於探測的物理量、震

測方法、可能有之限制與複雜的影響等需有一定的認知。常常我們會想做地層的探測，可能是土層的分層，或是地下水位探測。例如地下水位在我們的認知與定義為水壓等於零的線(phreatic line)，可是在做探測的認知為飽和與非飽和土層的界線，因為毛細現象而使此界線往往不是很明確，為漸變界線。所以有時用P波的對比較佳，有時用電阻率的對比為較好。除了水之外，在張老師之簡報內容中，要比較精準解釋時，地層因子求取不僅要電阻率，需進一步取得地下水之電阻率。並在假設地層為同一地層下，可以把飽和度、含水量剖面推估出來，所以需要相輔相成。至於環境的干擾，有一些可克服的，比如說管線，若試驗配置為跨孔，若是在頭尾兩側則目前的反演技術可以考慮進去，若是在測線外則可能映射進來，此時看到的東西不見得是在這個剖面，而存有3D效應。因為我們常只做2D，沒辦法做到3D，所以要有這層認知，在解釋上要把這些可能因子考慮進來，倒不是因為這樣而此技術則不好用，仍須因地制宜。在此做小補充，看大家還有什麼問題。

**主講人(張竝瑜 教授)：**

我再補充一下在都市裡之一般作法，如果有一管線在這邊，那我就會在管線的左或右佈兩條測線或是三條測線，因為理論上最後會執行地電阻的反衍算或地球物理反衍算時，因為跟管線平行而有不同的距離，所以第一條測線受到管線干擾影響程度為75%，第二條為50%，第三條為25%。在整個反衍算過程中會知道因距離差而知道干擾之來源方向。故把所有的干擾排在第一條測線之位置，使遠離管線之兩條測線量測干擾則較小。也就是剛剛所提的有些技術可以排除干擾，但是這需要透過現地的特殊施測安排，以及對地球物理的反衍算要有一些概念。

**主持人(董家鈞 教授)：**

請教一下董天行經理簡報中所提之案例，以前常聽李錫堤老師提及做灌漿前會有試灌，試灌以後會開挖以確認實際灌漿情況。想詢問董經理所提案例中，是否有試灌計畫，或是試灌後是否有使用開挖的方式來確認試灌的結果？

**主講人(董天行 經理)：**

謝謝老師，董老師所提為傳統地工作法，即

眼見為憑。整治藥劑與漿有其不同，因漿會凝固。故未來有很大發展性為跟不同藥劑搭配，譬如可溶性藥劑為稀釋藥劑，容易流失。故一般確認作法為使用監測井之佐證，觀察一般水質有無變化、濃度改變，屬直接確認法。剛提及之 CVOCs 跨孔式地物監測案例為空間評估的作法，一般傳統監測井採樣屬於點的分析，點與點之間是否有傳遞到？不得而知；或哪個深度是否有傳遞到藥劑？因為進到井內則為通井效應，屬於平均化概念，難以確定不同深度是否有藥劑，因此該項地物技術可作為輔助空間傳輸分布的方法。有些若要更明確，則鑽個特定採樣點，此為可行。我們比較不會用開挖方式確認，因整治藥劑濃度為十分低，也不易用開挖作確認。而是以現地測試作法，譬如說現場使用單井或雙井測試，確認壓力與流量變化是否穩定，並透過鄰近監測井評估水質變化。我們強調現地，原則上以不破壞地下環境為原則。

#### 主持人(黃建霖 總經理)：

這裡做一些過去經驗的分享，約在 2002~2003 年，在高雄某些區域，因國道等等之橋墩，旁邊有很多天然氣與石油管線，因為 921 地震後需耐震補強，所採用之工法與 double packer 類似。故想與董經理請教，在做低壓灌漿、double packer 灌漿時，地質為重要因素。董經理所提之生物部分，屬於溶劑型，而地工常用之水泥材料仍有顆粒。故這個部分土壤的調查十分重要，過往經驗來講，超細水泥(D<sub>90</sub> or D<sub>95</sub> 小於 10 μm)仍可灌入於粉土層中。在 10~20 幾年前，過往許多前輩做許多壩體之隔幕灌漿，水灰比多為 1:1、1:2，或是水灰比 0.5 等等。但其實當初在試灌時，使用十分稀的漿，其水灰比約為 4~5，轉換成重量比為 1:15，看起來似水。但其實也在想說在地層中如何兼顧可灌性，剛亦提到沒有傳輸到，則怎麼做亦無用。大概有這樣的經驗，未來行政院也核定後續有上百個橋墩之耐震補強部分。這個與剛提到之地工技術與低壓灌漿技術的結合，未來在地工界仍有很多發展部分，以上做簡單的補充，謝謝。

#### 與會者(黃敏祥 主任)：

請教一下董經理，double packer 的灌漿方

式在捷運工程是用於地盤改良，做潛盾發進的灌漿。在這灌漿裡面，剛才黃總經理亦有提到我們所用之顆粒較大。但是在捷運施工時則會分兩部分，一部分是固結灌漿，同樣在 double packer 裡面做的是固結灌漿，後續為劈裂灌漿。就污染改良，則直接灌滲透性很高之化學藥劑，為一直灌。若是此作法是定量，上面是否有做控制，到底要灌多少？灌的方式是一條水路跑出去呢？還是說會限制漿在一個區域去灌注？

#### 主講人(董天行 經理)：

謝謝，通常這種專業問題則請我們公司的地工團隊來回答，我們主要跟恆毅地工合作。我想，整個藥劑配置最大的不同，我們大部分是使用可溶性的藥劑，剛提到有些混凝土會用到奈米級。然後剛剛您有提到到底要灌多少，其實現場灌注最怕發生一件事情，即劈裂，產生一個人為途徑。地工現場會看，灌漿壓力突然陡降，流量突然變大。因為最怕此途徑產生之後，以後灌漿可能都往此路徑跑，打通任督二脈，全部浪費掉藥劑，想灌的地方皆達不到。故現場需做微控，我們一般會根據藥劑特性，假設我今天大概估計影響半徑為 3~5m，這邊的濃度或無機鹽會消耗藥劑，算完之後，一般有污染的地方譬如大概 4~6 個月，大概可把藥劑量算出來。剛剛提到的就是要巧，巧的使不產生劈裂，使灌得剛好。整治藥劑不是灌得多就有效(藥劑很昂貴)，吃到飽難受，產生大量生物膜或化學物質沉澱，會造成塞得一蹋糊塗。我們希望最後藥劑可讓生物增殖應用，降解污染物後形成無毒之二氧化碳與水，回復本來最好，希望減少廢棄物。這是水文地質與環工的設計，這個藥劑量會有一些經驗。我們的場址不太一樣，不過我們所用之藥劑量會較地工所用漿量多很多，故他們很辛苦，我們的量不是幾百升，可能是好幾公噸，10 幾~20 幾公噸都在灌。因為有許多整治深度，像最近設計深度達 100~130 公尺，那個量嚇死人，厚度達 70~80m 厚。我若 2~3 公尺要灌一段，影響範圍至 2~3、3~4 公尺，甚至更遠，則藥量則很驚人。可是我們的整治並不是說，我要影響到 3~4m，則我一定要讓藥劑把這個地方包起來(藥劑量的估算是指欲處理的污染體積量)，不是這個樣

子，地質的異質性不可能，而是透過比較佳的灌注技術(如雙環塞灌漿技術)把藥劑推到各個深度，讓藥劑能更均勻地分布，之後透過生物增殖(如生物藥劑)或擴散等擴大影響範圍。當然會有一些設計參數及我們的經驗，可以去估算。這個大概要有一些經驗，不同藥劑則不一樣，有些藥劑含大分子零價鐵，灌注移動範圍頂多1~2公尺，但後續會有溶解性藥液慢慢靠擴散而加大影響範圍。剛提到之可溶性藥劑，30公尺處仍可看得到，顯示出藥劑特性之不同。重點就是說不產生劈裂，需為滲透工法。遇到粉黏土，地工團隊亦協助，使用脈衝式、拍打，想辦法把藥劑打進去。一次進不去，變量灌注使藥劑慢慢擠進去，我們沒有辦法把整個粉黏土處理掉，技術有先天限制，但我可以把它處理到一個程度。讓藥劑慢慢擴散，之後濃度出來，剛好可以自然衰解，大自然的力量，使不會超標，這樣就好了。所以我說這個是一個藝術，我們也還在揣摩，還在學習。

**主講人(劉興昌 助理研究員)：**

我補充一下，我是用物理的角度去看高壓灌漿，我有一個場址是六價鉻，剛剛就跟董經理所講，他灌的是零價鐵，所以他預計要成相是以灌注井為圓心，三公尺為半徑，希望形成一個反應牆、反應柱。但他的壓力灌得太大，第二個他的地層多為粉黏土，顆粒很細，故最後看出成相僅有1公尺為半徑畫圓。可是中間有一段壓力太大，整個劈裂掉，所有藥劑隨著水往某個方向跑，一個很清楚的類似斷樁現象。我們就是希望透過一些監測模式，在大地工程所做的灌漿過程中，林老師希望能夠很成熟的把他看出來。要不然我們就跟董老師講的，要開挖，打開來看，那個樁的樁形為何，是否符合我們的要求。他是否可以透過一些電法、磁法的狀況去解這個現象，謝謝。

**與會者(黃敏祥 主任)：**

林經理那邊有提到，之前污染區是一個中油的儲油槽，儲油槽結構物挖出來，當初會產生這個問題，儲油槽這個設施是否只有混凝土而已？為什麼會污染的這麼嚴重？

**主講人(林威州 經理)：**

以這個案例加油站來講，不論是油槽或加

油站，他的管線深度或者儲槽深度基本上不會超過地表下4m。甚至地表下3m或2m左右，大致埋在此深度。事實上當初我特別提到說他是第一手接手的公司，一開始用強力抽水的方式，但因為其實在土壤地下水污染整治技術，在一開始皆用pump and treat的方式來做。但他沒有把污染團先浮油回收，也許有收，可能效果不是很好，當污染環還存於土壤孔隙時，大量抽水產生洩降錐把污染往下拉，所以污染帶至深層。一般在常見的洩漏方式，例如煉油廠等大的石化廠的等級，一旦發生洩漏，大概都是在污染在地表下1~2公尺範圍時，就要趕快透過開挖或回收的方式把它處理掉，才不會跑到這麼深。溶解相最深的深度以文獻來講，石油碳氫化合物之最深深度為3m，橫向傳輸最遠為350公尺左右。含氯有機物則更深與廣，依據污染物的特性仍有不同。

這邊在補充一下，剛剛地工技術在現地的整治事實上仍有很大的空間可以涉及現地的整治。過去有與成大合作在水工所做一個砂箱，就是要揣摩說現地注藥後，藥劑之傳輸與影響方式，從試驗結果可以看出，井旁有濾料時，不論施工多確實，此孔隙一定非均勻。以我們的經驗，使用現地化學氧化的注藥，或是生物的製劑，或其他藥劑，大概一口井注藥的區間，在產生劈裂或特定的通道，大概半年的時間一定會發生這個問題。故大概透過地工或慢慢地滲透方式，對現地灌漿會比較有效，不然其實在很大的成本上，都是花費在無效的藥劑浪費，甚至造成污染的擴散，這些都是我們在現地整治當初的門檻。現在有地工技術慢慢引進之後，事實上對我們現地的整治應該慢慢有較精確、比較有成功的機會。

**主持人(黃建霖 總經理)總結：**

與會人員是否還有什麼意見要與早上的四位講者來提問，他們也可以做一些經驗上的分享。其實今天是一個很好的機會，剛剛提到的不管是地電阻、污染整治的部分，其實用了許多地工方面的技術，不論是從開挖、水文地質的調查，皆十分重要。雖然先前的調查費用較多，但是有好的調查，可以採用到適當的技術，來做一個解決的方案，不然的話可能常常

會有事倍功半。這樣的機會，可以讓不同領域如環工界、地工界有更多的機會可以交流，也讓地工人知道未來還有許多可以發展的方向。不知道大家還有無想法可與講者提問？等等中午亦可再與這幾位講者提問亦是沒問題，因現在已經12時10分，也到用餐的時間，我們就把時間交給司儀，謝謝。

## 綜合討論(二)

### 主持人(鄧福宸 教授)：

我們下午從邊坡防災開始談，慢慢談到都會區的工程，還有隧道工程。我們一直希望新的技術可以引進到地工監測，讓整個事件的推演與變化帶給工程人員更多更即時、更能了解原因的這一些特徵。這是我們希望這一期的地工技術讓產官學各領域，大家繼續投入的。隨著科技技術越來越進步，現在開始智慧型手機時代，不看手機而訊息仍持續進來，放假亦難放假。以後開挖工地之支撐應變讀數則會一直進來，其實有點可怕。科技會一直督促我們往前走，在這個狀況底下，我們要如何利用新的技術，讓我們地工的監測可以更快地往前推進。這邊歡迎各位與會的來賓，跟我們分享一些經驗，或是意見的提問，謝謝。

### 與會者(詹佩臻 工程師)：

主席您好，今天聽完下午的演講，因為上禮拜有去參觀中橫的明隧道，今天講到邊坡或隧道的部分，就明隧道而言是一個具有特色的，因為明隧道位於邊坡旁邊，屬於邊坡整治中的最後一道防線。那明隧道的產生與岩石隧道或土壤隧道也許有點關係，那在蘇花公路底下，明隧道有可能是在真正發生災害的時候，為一個好的避難場所。故想問說就明隧道而言，未來可精進的部分，不知道在監測部分、安全避難的提升部分有無一些討論？謝謝。

### 主講人(陳進發 副總工程司)：

那我首先發難來分享一下，那個中橫便道裡面的鋼構明隧道是我在921當下，我發表了一篇文章，是因為我必須要施工快速，而且需要可潰式。因為一條帶狀的公路，最重要的是明隧道施作的話，那後面的交通皆會中斷無法通行。所以我提出我主要規劃的明隧道構想，是

希望每單位長度為10公尺之明隧道，可以用組裝的則速度快。所以中橫公路(中興設計)在我那時當處長的時候，我就主持設計原則，蓋了好幾座，但是它有它的極限。剛您提到的蘇花公路，我跟你分享一個概念，如果說他的下邊坡是穩定的，而且腹地夠的話，那您大概可以用落石的防治方式，有好幾種，例如剝落(剝離)、庇護、迴避(亦為庇護的一種)，此當然為最好。但我要跟您報告一件事情，我們做地工的需要用長遠的眼光去看，你對上邊坡沒有一個積極的整治效果，所以根據我的經驗，我們的隧道是永遠不夠長。若今天我在蘇花公路做了100公尺的明隧道，很可能我用個15年，但是終究有一天在隧道口會發生土石砸死人的事件。因為一直滿一直滿，而一直沒有去整治邊坡，一直往後抽。台8線63k就是這個樣子，一直抽到兩條沖蝕溝都結合在一起的時候，則整片山就滑落下來，這個就是明隧道可能遇到的問題。明隧道只是暫時去庇護而已，所以我認為學地工的應該把整個時間軸把他拉長，不要認為說什麼事情都使用明隧道來解決。這個是我20幾年來從中橫(民國88年)到現在，所看到的現象。所以我並不鼓勵使用明隧道，而且蘇花公路也不適合作明隧道，現在已經沒有空間。以上。

### 主講人(陳昭維 總經理)：

從監測的角度來看明隧道，如果明隧道的目的是要防止落石掉下來之後，幫明隧道戴個帽子的這件事來看，當初設計的結構行為，會不會因為我上面累積了一些落石，或是打了他之後，造成明隧道本身的變形，我需要監測明隧道本身變形的狀況。如果說這幾年來他都沒有累積落石的話，其實他是沒有受到外力的改變。但是有的很多明隧道之基礎承載力是不足的，或者是其本身的道路較小而有懸吊出去。變成是基礎下方的承載力與基礎穩定性的監測比隧道本身構造物的監測相對重要。這邊附帶提一點，前幾天在報紙看到猴硐案例，他有提到後續的改善計畫用明隧道，那我是覺得有點可怕。我不知道各位地工的前輩怎麼看，好像自己應該坐在下面問問題，但我看到這件事情，但我也想了解大家怎麼看待此事。目前我對明隧道的概念為一個避難庇護的場域，那看

起來在此猴硐計畫案例中，他並不具備這樣的條件，他不是落石、土石流通過段，但確想要使用明隧道工法來執行。若這個概念沒有被澄清或釐清的話而貿然做此事情，其失敗的機率則相當高。這是我粗淺的看法。

**與會者(郭治平 教授)：**

不好意思想要請教吳總一下，您剛分享台中勤美的開挖案例，您的印象中Lora最遠與您的Server隔了多遠，中間是有支撐或其他樓版阻隔？謝謝。

**主講人(吳智偉 總經理)：**

印象中最遠的為120公尺，目前施工階段為基礎構築中，所以會受到樓版與其本身結構鋼材的影響。可是目前我們資料的擷取頻率為30分鐘一筆，必要時我會把Lora的擷取時間縮短，目前看起來是沒有受到構築結構之干擾。

**與會者(張程翔 工程師)：**

想要請問一下陳總經理有關坡面監測的部分，那目前一般大規模的作法則採光學方式去看地表的變化。若是有關地層的話，則需鑽井做一些單點監測，那因為早上有提到一些有關地球物理探查的部分，而這些部分則屬於地層中比較大規模探查變化。目前有無可能未來在使用地球物理探測方式，以提高頻率或自動化的方式，譬如在邊坡滑動監測的行為，不知是否具有可行性？謝謝。

**主講人(陳昭維 總經理)：**

以地球物理探測之地電阻來看，中央大學陳建志老師有做這件事情。從目前的資料結果來看，如果他的擷取頻率夠密的話，應該是可以反映出一些現場改變的狀況。但是如果說現場擺的這條設備是很貴且複雜，他的可行性就會受限，則僅能在某些很特別、很重要、非用他不可的地方才會被使用，則其可行性則會受到推展上面的阻礙。不過目前比較多的是雅筑剛剛提到的是說，監測是當對同一物理量重複執行，讓彼此在不同時間下可比對的話。只是可能不是即時的監測，而是長期的監測來知道長期的變化。例如使用各種地物的方法在同一條測線不同時間重複施測，即為監測不同的時間下、不同環境改變造成之變化，其實還蠻常

被接受的，資料亦還算豐富。若是從長期的趨勢變化來看待監測，而不是從防災的角度來看監測的話，其後續的普及性應該是蠻高的。

**與會者(黃敏祥 主任)：**

想請教一下吳總，電子設備與智慧化的量測，那目前捷運用的監測費用非為電子化監測，想詢問目前費用來講，是否足夠涵蓋電子化量測。因為非電子化需人力量測，故目前編列監測的預算主要是人力費用。用電子化監測則設備需要費用，但是設備可以重複使用。就費用上面的比較，在商言商，因目前國家預算趨減，此中間如何取得平衡？可拿到即時的資料，我們是很歡迎的。但是要怎麼樣在費用上面，有無降低費用之可能？另外有關這些在工區之電子設備，您有提到經常需去維護，那會有經常維護的問題，電子設備會受損。這些受潮、雨水、太陽曝曬、塵埃因子是否皆對電子設備產生影響？

**主講人(吳智偉 總經理)：**

大概回答第一個問題，目前我也積極與工程處洽談，他們有詢問我有關自動化架購的費用。早期有與工程處去討論這個部分，有必要在捷運工地適時佈設自動化來加強安全性的管控。他們也看到82標建立許多設備，可以提供給後端呈現。他們亦有提到成本問題，這塊亦是我不斷的精進與改善，把監測費用下降的原因之一。早期的Campbell設備皆較昂貴，這部分我們一直在朝低成本的監測，透過通訊費，而降低通訊費只是一個手段。我們目前持續在降低現有監測儀器費用在努力，使有機會讓每個工地使用。目前坊間非捷運的工地委託監測，則買一送一附送自動化監測，可是您們會發現他的自動化監測數值皆不會飄移，為直線。業主則會問我說您們公司的自動化支撐變形量怎麼會上上下下，別人為一直線，我不太敢講實際原因，知道的人大概都知道。這些都是我們跟其他家的不同，費用上我們一直在朝降低成本的狀況下去努力。第二個問題是損害性的問題，剛有講到當初VW Hub用串聯式很容易因工人施工弄斷而使後端資料無法即時回傳。這也是我們導入Lora系統，可以降低損耗率的部分。至於說儀器是否會受到雨水影

響，正弦式儀器不怕水，開關箱箱型目前為IP68等級，不會有滲水影響。基本上儀器架構，不但會有做一些相關的維護，以82標來講，安裝將近4年多的儀器，目前仍營運當中，相信是非常的堪用。

**與會者(黃敏祥 主任)：**

想對邱博士的一些裂縫提出看法，事實上從隧道來講，是從弧度變成一個圓，每一片組起來變成一個圓，然後抵抗了不少外力。而圓跟圓之間又形成了環，又加強了效果。環跟環串起來則成管，從弧到圓到環到管，其實他所能承受的力量是很多的。所以有很多隧道裡面的裂縫看久了會覺得無異狀，但不是說不去注意，仍是需要關切注意。意思是說，有些隧道在變化過程中會有一些裂縫產生。

**主講人(邱雅筑 教授)：**

謝謝黃前輩的這些建議，剛剛您說的這些概念即為隧道從一個片到環到管，這些概念比較近似於我簡報第1頁所放之潛盾隧道概念。潛盾隧道在土壤裡面比較特殊，他跟山岳隧道不太一樣。山岳隧道基本上是隧道結構體比外面周邊的材料體為弱。潛盾隧道的環片較厚，相較於周圍土體強度為強。而潛盾隧道的問題是可能周邊有間接開挖或者是其他的施工等等的擾動，他的行為大致是受到些許擠壓而從

正圓變成些微橢圓時，環片與環片間的擠壓，片與片間可能非呈直線。稍微擾動一點或解壓時，環片與環片間可能有壓碎的破壞模式，或是防水材久了而耐久性變差，而有滲水的問題，大概是比較接近這些問題。隧道特色為結構體在土體或岩體裡面，他不會像邊坡有劇烈式的破壞。只要隧道開通後，挖完結構都上了之後，比較少見災變情形。謝謝。

**與會者(黃敏祥 主任)：**

剛剛報告中有些照片是，包括隧道在做新奧工法之噴凝土的狀態，為初步讓岩體變化的階段，襯砌尚未打上去。在岩體調整過程中所產生的一些裂縫，他不見得是不穩定。

**主講人(邱雅筑 教授)：**

不好意思，我再補充一下。剛才的照片其實我還有很多，剛才放的大部分是營運後過一段時間再出現的，我們主要想要知道說到底為何會出現。如果說是剛挖完後上噴凝土所出現的裂縫，後面因為還會再開襯砌，會把裂縫蓋掉，謝謝。

**主持人(鄧福宸 教授)：**

很感謝大家今天陪我們到這個時間，希望大家今天收穫滿滿，回去的路上都平安順利。感謝大家，謝謝。



主講人與主持人合影 (上午場)



主講人與主持人合影 (下午場)