

100年度 井下地震儀微震觀測 (II)

計畫主持人：馬國鳳

計畫參與人：林彥宇 王郁如 鄭惠文

計畫編號：MOTC-CWB-100-E-04

執行單位：地球科學學院地球科學學系地球物理研究所

委託單位：氣象局

摘要

歷年以來，地震研究多以研究地表測站的紀錄為主，因此資料品質深受站址及雜訊的影響，無法分析微小地震。台灣車籠埔深鑽(TCDP)在斷層帶上下設置7-level地震儀，深度為地下850~1300公尺。此井下地震儀紀錄可紀錄極微小地震，且低雜訊，將可有效的分析，小地震至大地震的地震波相特性。TCDP-A井中安裝三分量七層井下地震儀陣列，間距為50到60公尺，跨越車籠埔斷層主要破裂帶1111公尺，在分析TCDP井下地震儀的資料及經驗後，我們將井下地震儀的分析應用到氣象局井下地震儀，在原來研究的架構之下本計畫在計劃中，加入分析氣象局井下地震儀方向修正的探討，目前分析的井下加速度地震儀的方位角校正值，WJS站的修正值為北往西128度，HWA站為北往東152度，而NNSH站則為北往東90度。修正後其紀錄完整地震波形，有能力偵測更小的地震。由氣象局地震網的定位的地震，我們得到井下地震儀紀錄的振幅與規模的關係式，進而未來根據此關係式，可以針對地震觀測網沒有紀錄但井下地震儀紀錄到的微小紀錄，做規模的訂定，了解每一井部地震站的偵測能力，未來將以此經驗，運用到其它氣象局的井下測站，分析其波形特性並了解其偵測能力。在此三年期的計畫中，陸續由以上的計畫目標進行觀測及研究，以目前及未來持續紀錄的地震分析其特性以助於了解台灣區域構造及地震斷層的特性。

資料分析及處理

因地表站的記錄容易受雜訊之影響，且其站址位置與井下地震儀佈置的位置仍有差距，因此我們對井下寬頻地震儀和井下加速度地震儀的波形做比較，並以具有正確方位校正的寬頻地震儀之波形資料為基準，對井下加速度地震儀所接收的波形資料做修正，完成方位角校正。首先，所有加速度地震儀的波形積分到速度型的地震波。為了能夠清楚地辨識波相，對於每一測站所接收到所有分量之地震波，先使用1Hz的高通濾波做處理。接著藉由水平分量波形的比較，以及質點運動軌跡的分析，對波相做旋轉，使得井下加速度地震儀的波形和質點運動軌跡與寬頻地震儀的波形一致，以完成修正。以下以三個測站為例。

WJS站

修正前，在圖二(右)的水平分量質點運動軌跡的比較上，加速度地震儀的震波質點運動與寬頻地震儀的震波模式相似，但是兩者之間相差一個相角。我們根據井下寬頻地震儀的質點運動軌跡為基準，對井下加速度地震儀的質點運動軌跡做旋轉，使得井下加速度的質點運動軌跡與寬頻地震儀完全一致。井下加速度地震儀的波形做北往西128度的旋轉後，兩者的水平分量波形幾乎完全一致。(圖二、三)

HWA站

運用與測站WJS相同的分析方式，將HWA所收到的震波紀錄做北往東152度的旋轉。(圖四、五)

NNSH站

在質點運動分析上顯示相差一個90度的相角。因此，需對井下加速度地震儀之波形做北往東90度的旋轉，以完成校正。(圖六、七)

為瞭解各地震儀的訊號主頻與震幅的關係，我們以地震事件二為例，做頻譜分析比較(圖八)。三個測站的波形訊號主要分佈在0.5至15Hz的頻率範圍，15Hz後訊號則明顯受雜訊影響。此外，三個地表加速度地震儀的P波和S波振幅(灰色曲線)皆比井下地震儀地震波的頻譜振幅值大，其中又以S波最為明顯。此現象可能是地表站受到淺層沉積物的放大效應所造成。

井下地震儀紀錄 M_w 與 M_L 的關係

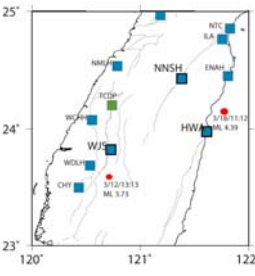
為了解目前井下地震儀紀錄 M_L 與 M_w 的關係，我們分析2011年3月12日至3月19日(Julian Day: 71至78)的井下寬頻地震儀資料。分析步驟為：定出發震時間及發震地點後，可將E、N分量旋轉至R、T分量，接著利用T分量找出SH波做頻譜擬合得到地震矩(圖九)，頻譜擬合主要採用下列式子(林彥宇，碩士論文2008)：
$$M_0 = \frac{4\pi\rho v^3 \Omega_0 d}{F} \quad M_w = \left(\frac{\log M_0}{1.5} \right) - 10.73$$

F為S波輻射效應，設定為0.63； ρ 為地層密度(2700 Kg/m³)；v為S波波速(2601 m/s)；d為震央距(m)。再利用地震矩估計地震矩規模(Kanamori, 1997)，便可得到 M_w 。

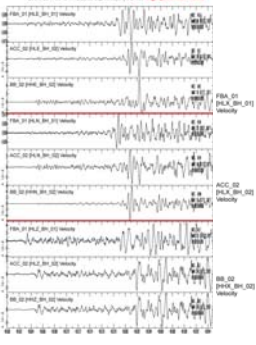
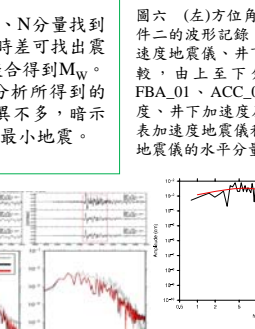
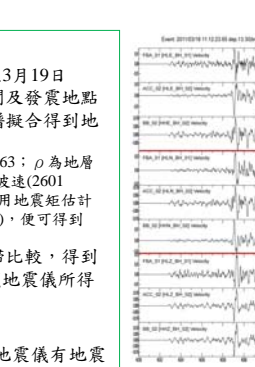
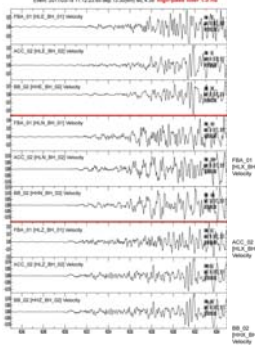
分析結果，將3個井下寬頻地震儀得到 M_w 與氣象局報告的 M_L 值進行迴歸比較，得到一組關係式， $M_w = 0.7389 M_L + 0.8271$ (圖十)。圖十一顯示3個井下寬頻地震儀所得的 M_w ，與氣象局報告的 M_L 經過迴歸式運算後所得之 M_w 比較。

氣象局無報告的地震事件

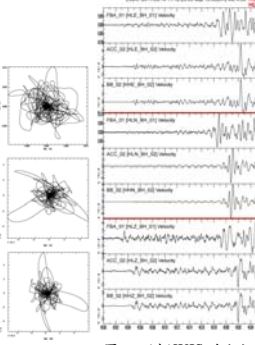
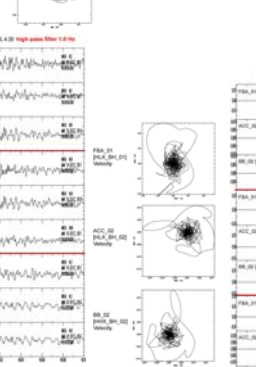
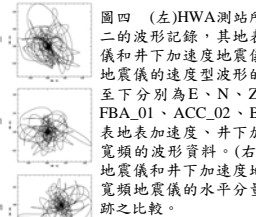
將2011年3月12日至3月19日氣象局有資訊報告的地震數目與井下寬頻地震儀有地震波紀錄的地震數目統計比較，以WJS站為例(圖十二)。由於無報告的地震事件無法得知其詳細發震位置與時間，利用人工將E、N分量找到SH波震幅最大的角度即視為R、T分量的旋轉角度，再利用P、S波的到時差可找出震央距(將P波波速設定為5.5 km/s，S波波速為P的1/√3)，即可透過頻譜擬合得到 M_w 。為測試此分析的可靠度，我們以WJS站，事件3為例進行測試。以此分析所得到的 M_w 為3.89，與利用已知的T分量SH波頻譜擬合分析得到的 M_w 為3.98差異不多，暗示此方法是可行的。未來三年的計畫，將依此方法偵測測站的可能紀錄的最小地震。



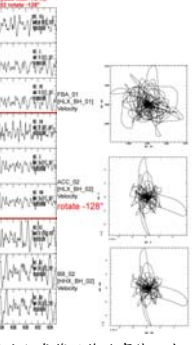
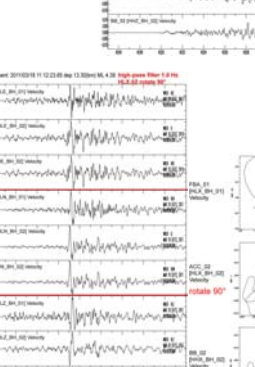
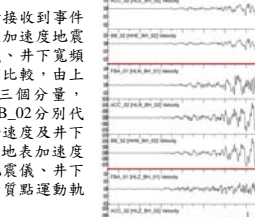
圖一 分析範例的地震事件(紅點)及NNSH、HWA、WJS三個測站和周圍井下測站(藍色方塊)之分佈圖，綠色方塊為TCDP井下地震儀之位置。



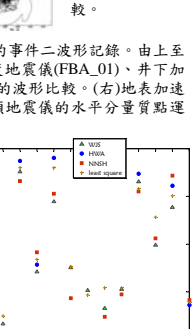
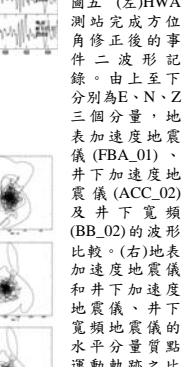
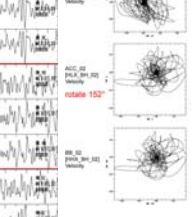
圖二 (左)WJS測站所接收到事件二的波形紀錄，其地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的速度型波形的比較，由上至下分別為E、N、Z三個分量，FBA_01、ACC_02、BB_02分別代表地表加速度、井下加速度及井下寬頻的波形資料。(右)地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的水平分量質點運動軌跡之比較。



圖三 (左)WJS測站完成方位角修正後的事件二波形紀錄。由上至下分別為E、N、Z三個分量，地表加速度地震儀(FBA_01)及井下寬頻(BB_02)的波形比較。(右)地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的水平分量質點運動軌跡之比較。

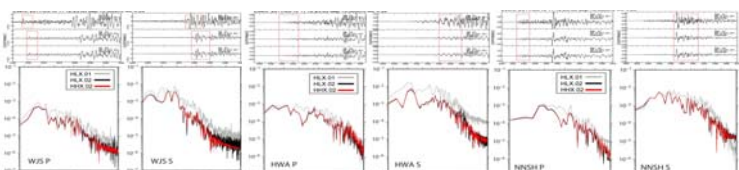


圖四 (左)HWA測站所接收到事件二的波形紀錄，其地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的速度型波形的比較，由上至下分別為E、N、Z三個分量，FBA_01、ACC_02、BB_02分別代表地表加速度、井下加速度及井下寬頻的波形資料。(右)地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的水平分量質點運動軌跡之比較。



圖五 (左)HWA測站完成方位角修正後的事件二波形紀錄。由上至下分別為E、N、Z三個分量，地表加速度地震儀(FBA_01)及井下寬頻(BB_02)的波形比較。(右)地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的水平分量質點運動軌跡之比較。

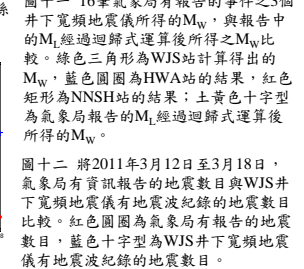
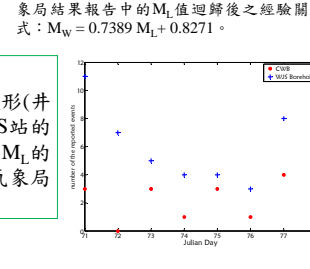
圖六 (左)WJS測站完成方位角修正後的事件二波形紀錄。由上至下分別為E、N、Z三個分量，地表加速度地震儀(FBA_01)及井下寬頻(BB_02)的波形比較。(右)地表加速度地震儀和井下加速度地震儀、井下寬頻地震儀的水平分量質點運動軌跡之比較。



圖八 由上而下分別為WJS、HWA、NNSH測站各地震儀所收到事件二的P波(左)及S波(右)訊號與對應的震幅頻譜圖。

圖九 SH波的頻譜擬合，得 Ω_0 ，即可透過公式計算 M_w 。

圖十 3個井下寬頻地震儀所得的 M_w 與氣象局結果報告中的 M_L 值迴歸後之經驗關係式： $M_w = 0.7389 M_L + 0.8271$ 。



結論

對於井下加速度地震儀的方位角校正，本研究簡單地運用各測站水平分量震波質點運動軌跡與標準波形(井下寬頻地震儀之記錄)的比較，以獲得各井下加速度地震儀的方位角校正值，以完成修正。其中，WJS站的修正值為北往西128度、HWA站為北往東152度，而NNSH站則為北往東90度。井下地震儀紀錄 M_w 與 M_L 的關係研究中，得出 $M_w = 0.7389 M_L + 0.8271$ 的關係式，經測試驗證此經驗公式可能運用至井下地震儀氣象局無報告的地震事件，有效瞭解各井下地震儀之可能偵測能力。