

小年夜的震撼彈——美濃地震初探

文—蔣正興·圖—詹美律

發生於年前的美濃地震，是繼921集集地震以來傷亡最嚴重的地震，使全臺陷入一片愁雲慘霧之中，渡過一個沉重、難忘的農曆年。地震後，所有學術單位、中央氣象局、地質調查所立刻著手進行研究調查，中央氣象局更與臺灣地震科學中心(TEC)在極短時間內舉辦美濃地震研討會，讓民眾能易於了解此次地震的成因與始末。據中央氣象局資料顯示，此次美濃地震發生於2月6日上午3時57分，芮氏規模6.4，震央位在東經120.54度、北緯22.93度的高雄市美濃區，地震深度為16.7公里的淺層地震。此次地震連遠在200公里外的臺中也有震度4級，甚至在金門、馬祖外島也產生有感地震，可見此次地震威力強大。本次地震最特別的是鄰近震央的災情並不大，反而離震央20至30公里遠的臺南市災情最為嚴重。為何此地震深度深於斷層的基底滑脫面，是否關於33條活動斷層等議題，本文希望以地質的角度，來討論地震災情分布及其可能成因。

根據中央氣象局歷史地震觀測統計資料顯示(圖1)，屏東霧臺向西北延伸至高雄美濃，以及高雄茂林向西北延伸經六龜至甲仙，頻繁發生淺於30公里的地震，被標示為「地震密集帶」，此次主震震央也在此區域內。主震後續相關餘震活動主要分布於臺南新市、新化、關廟、歸仁、仁德等地區，且震源深度較主震深。這些餘震群可能是造成臺南災情的元凶，而局部震度估算等問題，目前學者正在研究與討論中。

臺灣有歷史記錄的大地震災害多是由斷層再活動所引起，例如921集集地震為車籠埔斷層再活動所造成。此次的美濃地震位置雖在旗山斷層延伸處，但從旗山斷層傾角及震源深度來看，震源位在旗山斷層的下盤，且震源較所在區域斷層的基底滑脫面深，無法對應到地調所公布的33條活動斷層，目前解釋為由潛在地表下，未造成地表破裂的盲斷層活動所致。儘管盲斷層可以暫時解釋地震，但背後的地體架構及地質意涵到底為何？為何此盲斷層深度深於斷層的基底滑脫面？其震源深度更可能位在

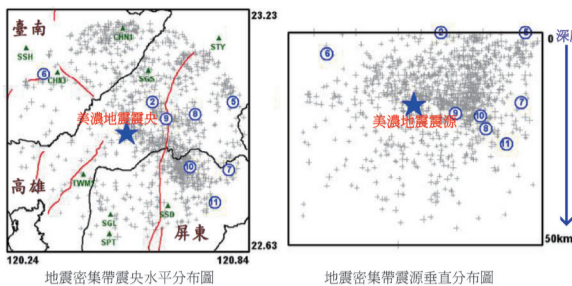


圖1 中央氣象局統計1990/01/01至2016/02/02，以美濃地震震央為中心，方圓30公里、深度50公里內的地震分布，數字標記處為規模超過5.5的較大地震。

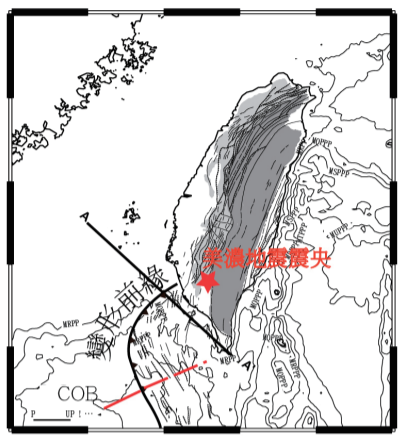


圖2 臺灣西南區域地體架構示意圖。美濃地震震央於構造變形前緣以東(AA'剖面)的褶皺逆衝斷層帶，震源約位於斷層的基底滑脫面以下。

地殼與上部地函的邊界，故此地震不易用一般的斷層來解釋。

地體架構、造山、地震

這次的地震位在地質及地體架構的轉折處、變形前緣以東的位置(圖2)。變形前緣為逆衝斷層帶最西側前緣，以東為褶皺逆衝斷層帶，以西為未受板塊擠壓的前淵盆地¹。臺灣造山帶是由於歐亞板塊與菲律賓海板塊相互擠壓所形成，但究竟是岩石圈多深的範圍參與造山過程卻不易得知，目前學界仍有不同的看法。臺灣中西部的逆衝斷層分布，常以「薄皮理論」來解釋，也就是地下5到20公里處存在斷層滑脫面，滑脫面上方的物質受板塊擠壓而產生一連串褶皺與逆衝斷層，例如921集集地震與車籠埔斷層就可以解釋為基底滑脫面以上的逆衝斷層活動所造成。但這次的美濃地震震源位置，卻比斷層的基底滑脫面還深十餘公里，究竟為何在臺灣西南部存在較深的地震群，筆者嘗試以Huang等人(2015)的耦合分層模型(圖3)解釋此次美濃地震的可能原因。據臺大喬凌雲教授表示，臺灣西南部深層速度模型顯示在13-17公里處存在明顯快軸轉向現象，耦合分層模型可提供此次地震原因的參考。臺灣西南部地層深部處在上層擠壓隆起造山，下層受歐亞板塊持續向東隱沒的牽引，由於深部地殼及上部地函皆參與造山運動以及板塊隱沒作用同時進行，耦合分層變形所累積的能量釋放，可能產生深於17公里的美濃地震及餘震。

在臺南與高雄、屏東一帶的地質大致可以以旗山斷層為界，以東主要為晚第三紀的海相砂岩至河相的礫、砂、泥岩所組成；而此次地震災情較嚴重的區域則位在旗山斷層以西，以巨厚的上新-更新世泥岩所構成的古亭坑層為主，厚度約5千公尺。臺灣西南部曾為深水的沉積環境，而古亭坑泥岩層即為前陸盆地²初期所堆積形成，深水沉積物受板塊擠壓才出露到地表上，顯示臺灣西南部臺南一帶地質背景相當年輕。臺南近岸區的地質，幾百年間更形成為潟湖的沉積環境，提升因地震產生土壤液化的風險。

古亭坑泥岩區之下常存在特殊的泥貫入體構造，其成因為沉積物荷重、斷層、擠壓及快速沉積作用，使泥質沉積物向上流動並貫入上方地層，這個不穩定的泥貫入體可因地震作用而再活動或搖動。泥貫入體主要分布於臺灣西南部及外海區域，如陸上的古亭坑背斜及海上的小琉球背斜，以東北-西南向呈線性排列。

美濃地震震央雖在高雄美濃，從雷達差分干涉圖顯示地震造成最大地表位移量卻在臺南，與區域地質圖比對可發現，地表最大位移量恰好落在古亭坑層的範圍(圖4)。筆者推測臺南區最大地表位移量，除了是軟弱古亭坑層產生的場址效應外，可能也與下方的泥貫入體活動有關，位於古亭坑背斜下的泥貫入體，在美濃地震時強烈搖動，使不穩定的泥貫入體活動傳遞到地表，造成地表劇烈晃動(圖5)。以2006年恆春地震為例，海底的小琉球背斜西側海床因地震而崩塌，也可能是不穩定的泥貫入體受地震影響而造成(圖6)。古亭坑層西側歸仁區、關廟區局部產生較高震度，類似2006年恆春地震造成小琉球背斜西側的表層崩塌，此種地震時泥貫入體作用及軟弱泥層的影響值得學界進一步研究。

結語

臺灣西南部平均30~40年發生一次死傷慘重的大規模災害地震，此次高雄美濃地震又重新喚起大眾對地震及土壤液化的重視，更揭露出區域地質條件與災情的關聯。臺灣南部高雄、臺南一帶，因為較深水的沉積環境，堆積以泥質沉積物為主，易形成較脆弱的泥岩及活動的泥貫入體，地震時可能產生劇烈的地表變形，因此鄰近古亭坑層的居民可考慮提升建築物之耐震能力。

¹前淵盆地：盆地位於褶皺逆衝斷層帶與穩定的古陸之間，盆地的沉積物來自鄰近造山帶。
²前陸盆地：盆地範圍較前淵盆地大，更包括褶皺逆衝斷層帶上所堆積的盆地，盆地的沉積物來自鄰近造山帶。

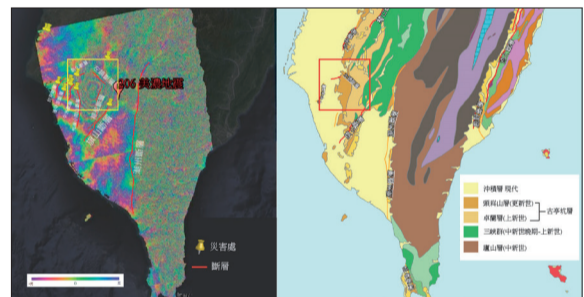


圖4 合成孔徑雷達差分干涉圖(DInSAR,左)與地質圖(右)對比。相對位移量最大區域(左圖黃框)發生在古亭坑層區域(右圖紅框內)。合成孔徑雷達差分干涉圖每一圈干涉環代表2.8公分的距離變化，建築物受災害處環繞古亭坑層及位移量大之周圍，並鄰近斷層帶。(資料修改自太遠中心及中央地質調查所；DInSAR, differential interferometric synthetic sperture radar)

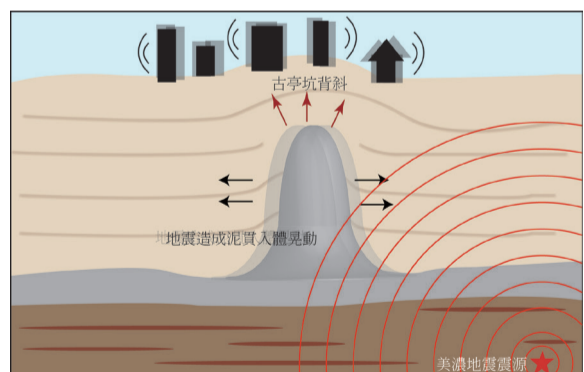


圖5 造成古亭坑層背斜區域地表位移示意圖。地震使不穩定的泥貫入體產生再活動或更大的搖晃，導致古亭坑層地表區域最大位移量。

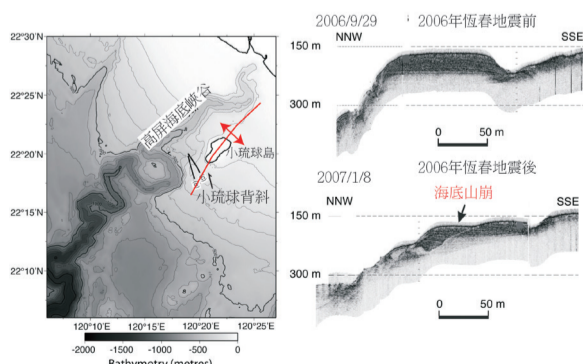


圖6 小琉球背斜於2006年恆春地震前後變頻聲納剖面比對圖。小琉球底下為泥貫入體形成的小琉球背斜，在恆春地震過後，有明顯海底山崩現象，可能為泥貫入體的不穩定性，在地震過程中可能造成海床崩塌現象。(修改自Hsu等人, 2008)

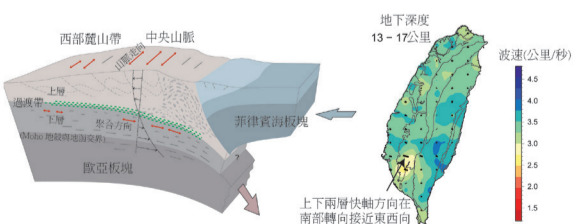


圖3 Huang等人(2015)所提出的耦合分層模型示意圖(左)；臺灣西南部13-17公里深度存在明顯的快軸轉向(右)。耦合分層模型分為平行造山帶走向的上層，與受歐亞板塊隱沒作用驅動而平行聚合方向的下層，兩層間存在過渡帶，此模型顯示上下兩層皆參與造山。(修改自Huang et al., 2015)