

[研究成果報導]

集集大地震破裂行為

中央大學地球科學系 馬國鳳

1999年9月21日凌晨1時47分，當大家正在沉睡時，台灣發生百年來陸上規模最大地震，其震央位於南投集集一帶，震源深度10公里，芮氏地震規模7.3，全島震度都在3以上，震央區震度達到6以上。921集集大地震在車籠埔斷層沿線產生地變位移。車籠埔斷層，從南投縣的桶頭開始，向北經過竹山、名竹大橋(垮了)、名間、南投、中興新村、草屯、烏溪橋(垮了)、霧峰(穿過市區)、車籠埔、太平、大坑到豐原，過了豐原後向東彎了70度，轉而切過石岡、石岡橋(垮了)南方、長庚橋(垮了)、過大甲溪形成現今世界聞名的地震瀑布、再過大安溪，切入卓蘭鎮裡的內灣，並從東安彎出，全長估計約100公里。

此次大地震因車籠埔斷層再活動的逆衝作用，使得沿斷層帶上的建築物與橋樑無一倖免，遭到嚴重的破壞。逆衝斷層造成的地表破裂，最大垂直位移約達8米，最大水平位移超過5.8米左右。圖一為台灣地區921地震，車籠埔斷層地表錯動分佈及強震網的分佈。此次地震在造成重大傷害的同時，沿線佈置的地震站紀錄了當時地震動的情形。利用這些密集地震站紀錄的地震波形，我們可以還原地震當時車籠埔斷層的活動情形。

此次集集大地震發生後，在一個月內發生約一萬的餘震，其中發生近四百次有感地震，包括五個規模大於6的餘震，其中有三個餘震規模達6.8，再度造成嚴重災害。其餘震分佈範圍長達約100公里，寬約30公里。由地震發生時所激發之地震波，分析集集大地震之破裂過程分析其震源機制，可知其主要破裂面約為南北走向，傾角向東約為26度，能量釋放 2.23×10^{27} 達因/公分，相當於三十顆日本廣島之原子彈能量。此地震破裂總長約100公里，寬度總長約40公里(圖二)。最大錯動約12公尺，位於震央往北約40公里處(豐原一帶)，然後繼續往東

40°~70°轉折約30公里，往南破裂約30公里。往北破裂在地理位置即為豐原一帶，往南破裂的位置則為前一年7月17日佳里地震之震央一帶。較大餘震幾乎包圍主震破裂帶，皆在車籠埔斷層東方及震央南方一帶。北方以三義埔里地震帶為邊界形成一屏障。因三義埔里地震帶相當活躍，所以應該已釋放相當多的能量，因此斷層並無多餘能量釋放。此次斷層錯動破裂大多發生於深度地表10公里以內，圖三為地震當時每一秒斷層面上的錯動分部及其破裂波前的傳遞情形。在地震發生後的三秒，破裂波前停留在震央位置，在破裂後的12秒內，斷層同時往北及往南破裂，但往南破裂僅30公里。在第13秒後，地震僅往北破裂；在第17秒時，破裂波前抵達最北端且在當地停留約10秒，形成大的錯動量。整個斷層平均破裂速度約為2.5公里/秒，全長破裂時間約為30秒。當我們在睡夢中感受到地震波的同時，車籠埔斷層在短短30秒中，由南往北破裂形成約100公里長的地表錯動。

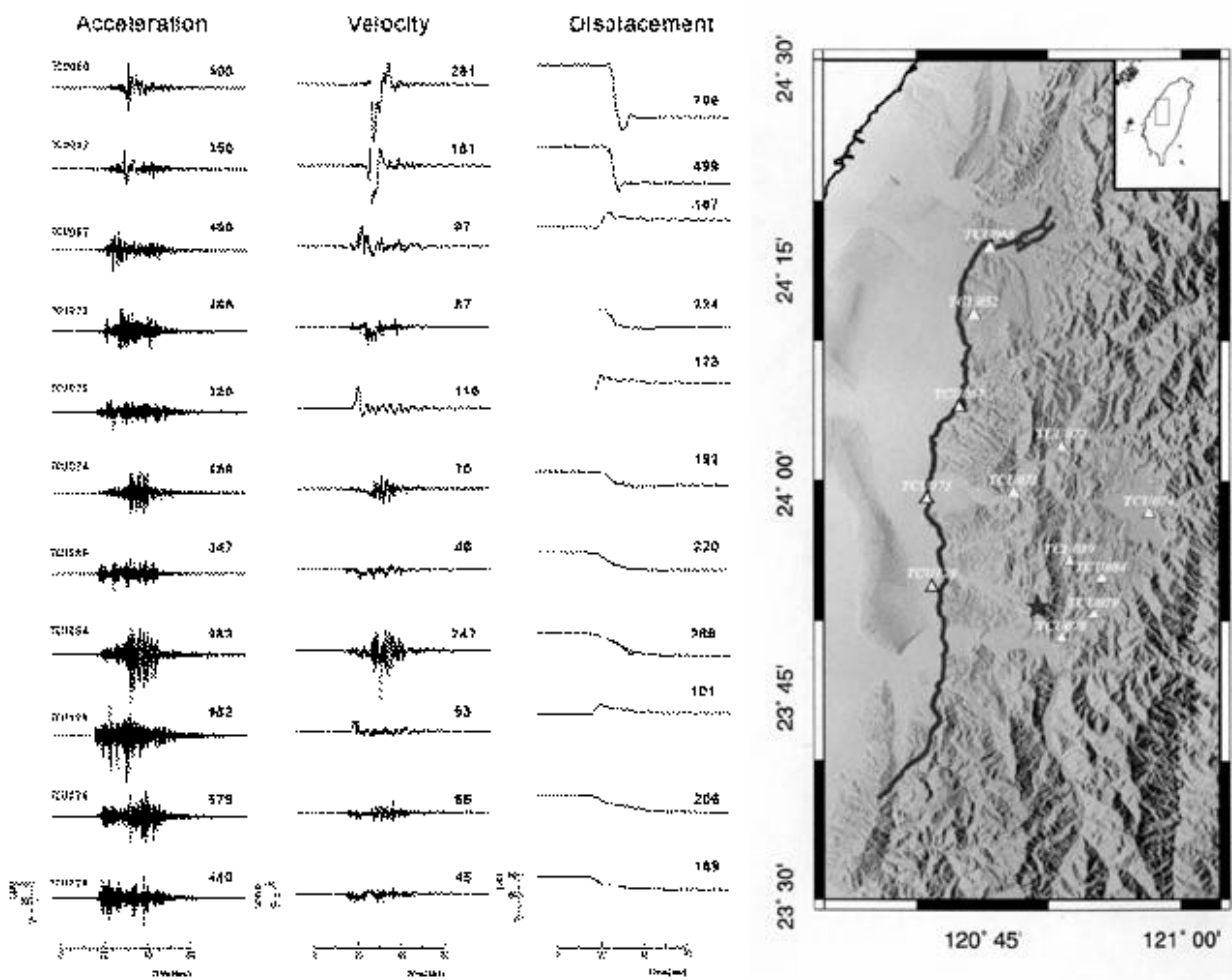
地表錯動大多沿著車籠埔斷層。在豐原一帶約45°~70°轉彎，破裂至東勢一帶。此轉折可能造成震源機制的改變，由於幾何的效應使得豐原、東勢一帶有約8米高的垂直抬升，造成埤豐橋及時崗霸的毀壞。東勢鎮因位處破裂終點，由於破裂方向性的效應，導致能量累積形成重大災害。震央及其鄰近區域如集集與中寮，造成嚴重破壞。各區的破壞與該區的震動週期有關。在斷層北邊一帶，地震紀錄顯示較長期的訊號為1秒，對於較高建築物(約10層樓高)較有影響。由於其長震動週期，雖造成8米高的抬升，除大樓外災情不嚴重。反之，斷層南段震動週期為0.25秒，對斷層上盤二到三樓之建築物有較大之破壞，且因其振動相當激烈，因此下盤亦有輕微災害。

仔細分析，車籠埔斷層沿線的地震紀錄及

其以東上盤地區最大水平地動加速度(PGA)超過 0.4g，而車籠埔斷層以西下盤地區則低於 0.2g，清楚反應逆衝斷層上下盤之地動強度並不對稱，上盤遠超過下盤。結果造成斷層沿線及以東各鄉鎮災情較為嚴重，而以西地區災情較不嚴重之現象。台北盆地內各測站之 PGA 值，多數高於相同震源距離之其他測站，顯示台北地區之強地動受到較為鬆軟的沖積地層的顯著

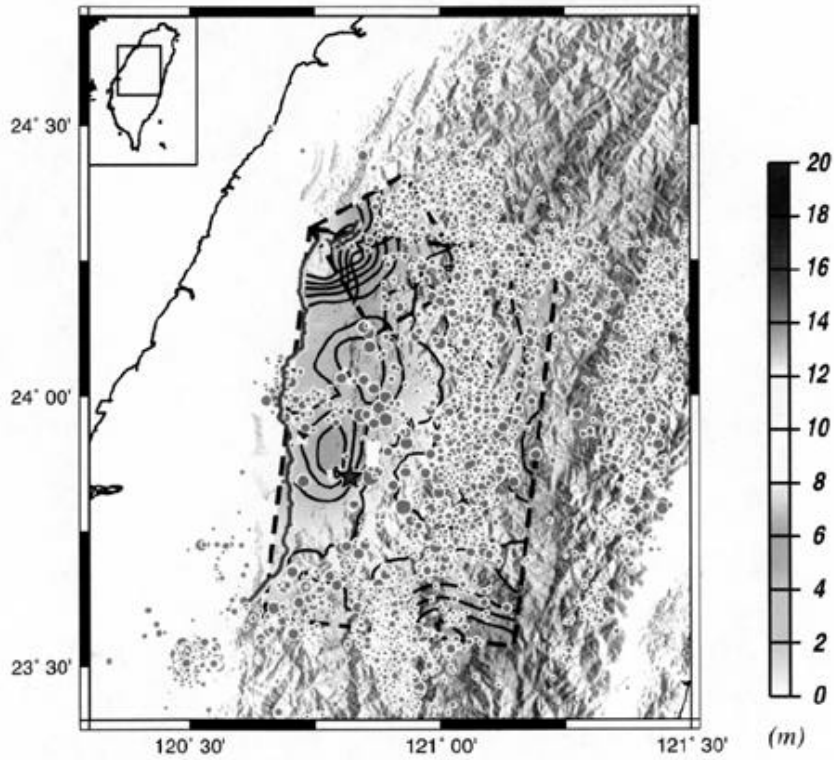
放大效應。

此次 921 地震，強震網紀錄的完整地震，提供我們對台灣地區地震破裂特性、斷層活動有更清楚的了解，此紀錄亦在工程上提供重要訊息。國內外專家學者亦投入相當多的研究，了解大地震的行為及其可能的災害，以加強建築設計規範，使伴隨地震之災害降至最低。

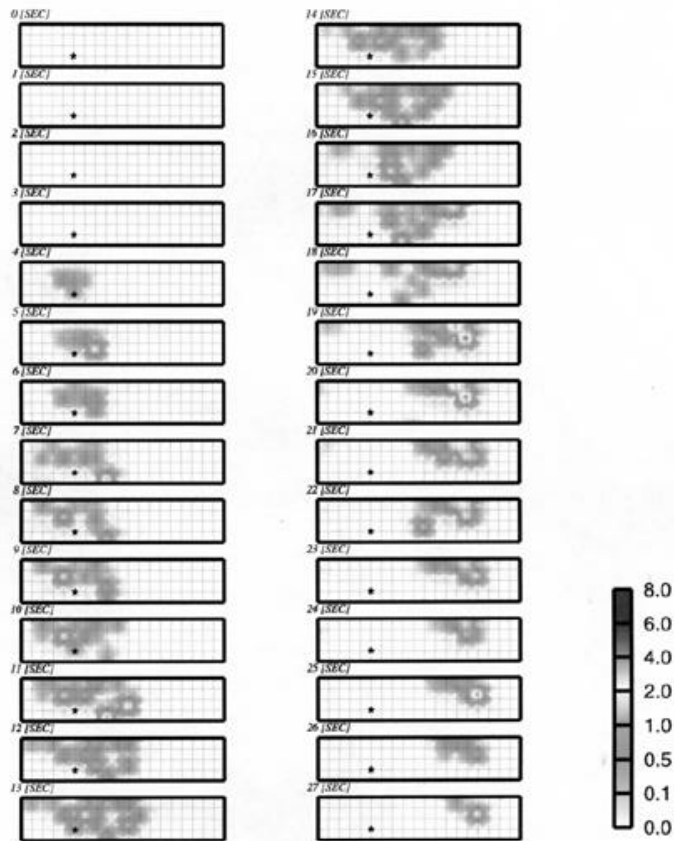


圖一

Slip Distribution



圖二



圖三