



臺南台地 現今 地殼變形 機制爭議 之 初步探討 及來自 成大資源工程系教學井之暗示

景國恩／國立成功大學測量及空間資訊學系 副教授

陳松春／經濟部中央地質調查所 科長

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

蔡佩京／國立成功大學測量及空間資訊學系 研究助理

蕭詩涵／國立成功大學測量及空間資訊學系 博士生

陳芊如／國立成功大學測量及空間資訊學系 研究助理

臺灣西南部現今構造活動之成因是否和泥貫入體有關，一直是個極大的爭議。此外泥貫入體現今的活動性也和國土利用規劃、防災與各項建設之設計、維護息息相關。為了釐清泥貫入體對構造發育及其災害型態之特性，本研究藉由臺南地區與國立成功大學成功校區及自強校區之野外調查發現，研究區域之建築物破壞的分布地點是廣泛的散佈在整個台地，且建築物破壞的尺度大小也各異。上述特性並無法用斷層活動來解釋，但卻能用泥貫入體淺部泥貫入筒的發育來解釋。此外，根據成功大學資源工程學系設置之教學井數據分析結果指出，成功大學成功校區之地下水流動方向也可能受到泥貫入筒的發育所影響。

前言

臺灣西南部位於馬尼拉隱沒系統至臺灣碰撞造山的過渡帶，是海域一直延伸到陸域之造山前緣增積楔構造；與此同時，藉由震測資料的判釋也指出，一系列的泥貫入體沿著此增積楔構造走向在發育，而且這些泥貫入體所形成之線形排列，可以延伸至陸域一系列雁形排列之背斜構造^[1]，暗示著陸域的背斜構造可能和泥貫入體的發育有關^[2-4]（圖 1a）。因此，臺灣西南部便一直存在著一個爭議：「現今之構造活動是由活動斷層還是由泥貫入體在主導？」^[5,6]若活動斷層主導臺灣西南部之地殼變形，則此地區之地震潛勢與風險將非常高；反之，若由泥貫入體在主導，雖然地震潛勢會大幅下降，但是泥貫入體平時不斷活動所帶來之不

均勻地表變形則會對建物或各項基礎設施帶來持續的危害與破壞，如南二高中寮隧道之案例^[7]。

臺南台地的發育是探討上述爭議之最佳地點（圖 1b），根據震測與重力之研究成果，臺南台地在過去一直被視為泥貫入體^[4,8-10]。然而，現今之陸域泥貫入體是否仍然活躍的問題卻一直沒有被釐清，因此，透過 DInSAR 的研究 Fruneau *et al.*^[5] 指出臺南台地正在抬升，且其台地形貌為西緩東陡，比較接近逆衝與背衝斷層共同形成之上拱構造（pop-up structure），為一系列向東傾斜之逆衝斷層隨著造山前緣構造不斷的向西遞進，最終逆衝斷層的發育主導了現今西南部地表變形之型態^[5]。由於上拱構造發育之機制更加符合臺灣位於板塊擠壓環境所可能造成之構造型態，因此後續的

研究工作多採用斷層構造發育的角度進行解釋，例如臺灣西南部之脫逸構造 (tectonic escape) [6,11]，而臺南臺地則位於構造脫逸的最西緣。

由於泥貫入體現今的活動性除了會改變我們對臺灣西南部地質活動的認知，更和國土利用規劃、防災與各項建設之設計、維護息息相關，因此本研究將由建築物損壞情形與分布特性的觀點，提出泥貫入體活動的可能性及其危害度，同時也將提出未來持續探討泥貫入體活動的建議作法。

臺南地區建築物損壞情形及分布之特性

根據陳松春等人 [10] 的野外地質調查指出，臺南台地有 11 處學校校舍建築物發生抬升損壞情形，分別為台南都會公園、德高國小、中華醫事科大、臺南榮總、崑山科大、臺南大學、後甲國中、成大自強校區、台南二中、台南高工及南臺科大等 (圖 1c)。這些建築物之

抬升都以主結構物抬升，造成結構物和邊溝脫離斷裂為主，建築物相對地表抬升約 3 ~ 10 cm 不等 [10]。根據此調查結果，本研究注意到：(1) 建築物破壞的分布地點並非集中在背斜軸部或是斷層線沿線位置；相反地，建築物破壞的分布是廣泛的散佈在整個台地，甚至是斷層下盤的位置。(2) 建築物破壞的尺度大小差異也各異，由約 100 m × 100 m 大小的教學大樓 (如長榮大學之教學大樓)，至約 1.2 m 寬之一條操場跑道大小 (如德高國小之操場跑道)。

本研究也在國立成功大學成功校區與自強校區進行初步之野外調查，初步了解國立成功大學校園內之建物破壞分布特性 (圖 2a)。計算機與網路中心所在之大樓周圍，皆可見到不論是人行道或是樓梯皆向四周傾斜，且即便沒有植物生長，這些人行道與樓梯皆佈滿破裂裂隙，指出計算機與網路中心大樓正往上抬升中。相對地，其鄰近之地球科學系系館則無此建物破壞型態，顯見此建物抬升僅侷限在計算機與網路中心大樓。另外，測量系館外之道路與工學院大道的道路交叉路口，有一約 4 m × 4 m 大小之約 10 公分路面抬升突起位置。資源工程學系與資訊工程學系新舊系館間，可以見到一向西傾斜的坡面，顯見新建大樓至長榮路之間位處抬升之區域，但是面積大小並不明確。位於自強校區的自強操場，也可以見到操場相對於四周是相對抬升，此抬升所造成之坡面，在操場和化學工程學系與儀器設備大樓之間的東西向道路最明顯，沿林森路之南北向邊緣也可見到。此外，在自強校區機械工程學系及電機新館前之南北向道路，可以見到向北傾斜的坡面，顯見南側之電機工程學系系館與成功大學工學院皆落在地表抬升的位置，但是具體範圍並不明確。此初步之調查結果同樣指出，(1) 建築物破壞的分布地點並非集中在某些特定地區，且 (2) 建築物破壞的尺度大小差異也各異。

根據過去的研究指出，若臺南台地現今之抬升主要是由斷層活動 (後甲里斷層或是臺南斷層) 所主導 [5]，則預期建物破壞會集中在臺南背斜軸部位置，或是背斜兩側斷層線位置上 (圖 1c)。然而，根據目前的初步調查結果顯示，不論是以整個臺南地區的尺度來看 [10]，或是以成大校區的尺度來看，皆指出建物之破壞範圍有其獨立性，並非完全由建築物特性所影響，且地表變形或

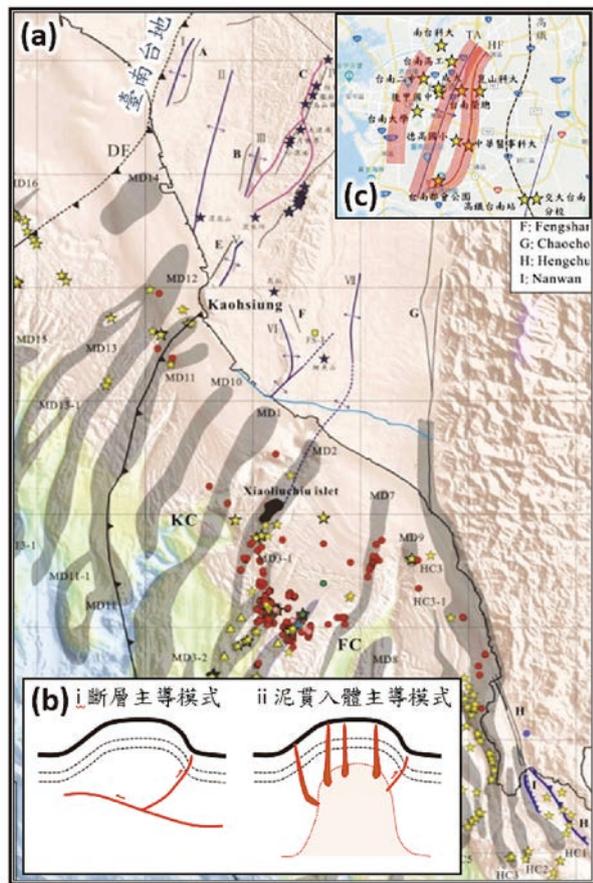


圖 1 臺灣西南部外海泥貫入體與陸域背斜分布位置圖 (修改自陳松春等人 [10])。(a) 泥貫入體 (灰色區域) 與背斜分布位置圖 (藍色實線)。(b) 臺南台地構造發育模式概念圖。(c) 臺南地區建築物破壞分布圖 (黃色星號) 與斷層主導模式預期之建物分布位置 (紅色粗線)。



圖 2 國立成功大學建築物破壞分布位置圖（底圖取自 2009 年成大校園環境藝術節校園分布圖）。(a) 建築物破壞分布位置（紅色方框）與對應之照片。(b) 泥貫入體發育模式^[20]。

是建物破壞之大小範圍皆不相同。因此，這些建築物之破壞，顯然並非和斷層活動有直接的關係。

泥貫入體與後甲里斷層

後甲里斷層多被認為是背衝斷層，大致位於臺南台地東緣，與南北向之中山高速公路平行，並和臺南台地的發育有關^[5,12-14]。由於臺灣西南地區的深部存在一個低傾角之滑脫面，在這滑脫面上的地層受到從東南往西北方向的大地構造應力，造成上部地層往西滑移，並在臺南台地下方造成向西傾向的後甲里背衝斷層。然而，根據經濟部中央地質調查所在後甲里斷層的調查研究，不論從槽溝開挖或鑽探結果，均未挖掘到後甲里斷層的主斷層帶^[15,16]，僅可見到多組不同方向的小型斷層，並且臺南層及其上更年輕的地層受劇烈擾動，造成地層撓曲、傾斜及液化等現象。後甲里斷層的活動多是根據現今地表變形數據與數值斷層模型推論而來^[5,12]。換言之，後甲里斷層是否存在，或後甲里斷層是否為發震構造等問題，其實並沒有非常明確的證據可以支持。

相反地，上述的地質調查證據，或是地表變形分析成果，其實也可以用泥貫入體發育之模式進行描述。泥貫入體是因為快速沉積作用下，沉積物內之水分排出

速度遠小於沉積物的累積速度，隨著沉積荷重之快速增加，造成沉積物中孔隙水壓力之持續上升，再因板塊聚合之側向擠壓力作用，使得深部泥質沉積物往上抬昇，將上部地層上拱形成類似背斜構造，且常伴隨大量流體及甲烷^[17-19]。由於泥貫入體的活動可以造成背斜構造，且在泥貫入體的抬升過程中，因受到來自東南方向的構造應力作用，在淺部地層形成非發震構造之後甲里背衝斷層。故此泥貫入體與後甲里斷層交互作用之地質模型，將可以解釋目前臺南台地所蒐集到的地質及地球物理證據，同時也可以解釋為何後甲里斷層過去皆沒有地震發生之紀錄。此外，根據 Brown^[20]對於泥貫入體的描述指出，泥貫入體除了多呈現一包一包類似金針菇的獨立型態^[10,20]，其淺部也常常有泥貫入筒（diatreme）的發育（圖 2b）。這些泥貫入筒的發育，恰好可以解釋為何臺南台地的建築物破壞是散佈在整個臺南地區，且尺度大小均不一致。

來自成大資源工程系教學井之暗示

根據國立成功大學資源工程學系於 2022 年設立之 1 口教學井與 3 口觀測井資料，4 口井之伽瑪射線值之數據分析顯示，除教學井外，其餘 3 口井內皆有一含水層位於地表下 16 m 之 18 m 之間。其中，觀測 3 號

井之地下水層訊號（17 m）相對其餘兩口水文井之深度更低，觀測 1 號井與 2 號井之伽瑪射線曲線有非常高之一致性。因此就含水層深度加以推斷，教學井應位於此區之相對高區，含水層的走向由北向東南遞降。

此結果若是結合在成功大學測量系館外之道路與工學院大道的道路交叉路口，有一約 4 m × 4 m 大小之約 10 公分路面抬升突起位置（圖 2a），以及資源工程學系與資訊工程學系新舊系館間一向西傾斜的坡面，將暗示這 4 口井位可能位於成功校區中一南北向之地下構造低區位置，且北側略高。換言之，成功大學成功校區之地下水流動方向可能受到地下構造發育所影響。

結論與建議

臺灣西南部一直存在著現今之構造活動，是由活動斷層還是由泥貫入體在主導的爭議。本研究藉由臺南地區及國立成功大學成功校區與自強校區之野外調查，從地表變形與建築物損壞情形與分布特性的觀點進行探討。結果指出，研究區域之建築物破壞分布地點是廣泛的散佈在整個台地，甚至是斷層下盤的位置；建築物破壞的尺度大小差異也各異，由約 100 m × 100 m 大小的教學大樓，至約 1.2 m 寬之一條操場跑道大小都有可能。結合過去對於臺南台地的地質與地球物理調查成果指出，泥貫入體的活動可以造成背斜構造，且在淺部地層形成非發震構造之後甲里背衝斷層。另外，泥貫入體淺部泥貫入筒的發育，可以解釋為何臺南台地的建築物破壞是散佈在整個臺南地區，且尺度大小均不一致。最後，根據成功大學資源工程學系設置之教學井數據分析結果指出，成功大學成功校區之地下水流動方向可能受到地下構造（泥貫入筒）發育所影響。

參考文獻

1. Doo, W.-B., S.-K. Hsu, C.-L. Lo, S.-C. Chen, C.-H. Tsai, J.-Y. Lin, Y.-P. Huang, Y.-S. Huang, S.-D. Chiu, and Y.-F. Ma (2015), Gravity anomalies of the active mud diapirs off southwest Taiwan, *Geophys. J. Int.*, 203, 2089-2098.
2. Pan, Y.S. (1968), Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies over southwestern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 6, 197-207.
3. 翁群評 (2001), 小崗山斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 84 頁。
4. Chen, Y.-G. and T.-K. Liu (2000), Holocene uplift and subsidence

along an active tectonic margin southwestern Taiwan, *Quat. Sci. Rev.*, 19, 923-930.

5. Fruneau, B., E. Pathier, D. Raymond, B. Deffontaines, C.-T. Lee, H.-T. Wang, J. Angelier, J. P. Rudant, and C.-P. Chang (2001), Uplift of Tainan Tableland (SW Taiwan) revealed by SAR interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3071-3074.
6. Lacombe, O., F. Mouthereau, J. Angelier, and B. Deffontaines (2001), Structural, geodetic and seismological evidence for tectonic escape in SW Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 323-345.
7. 楊名、景國恩、楊智堯、吳宗翰、吳文隆、蕭秋安 (2018), 廣域大地變位之利用 GPS 監測分析與解算—以國道 3 號田寮 3 號高架橋及中寮隧道大地變位監測為例，中華技術，第 119 期，第 122-135 頁。
8. Hsieh, S.-H. (1972), Subsurface geology and gravity anomalies of the Tainan and Chungchou structures of the coastal plain of southwestern Taiwan, *Petro Geol Taiwan*, 10, 323-338.
9. 郭炫佑 (1999), 後甲里斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 83 頁。
10. 陳松春、景國恩、羅祐宗、陸挽中 (2020), 台南背斜及中洲背斜之泥貫入體特徵、活動性及地質安全，經濟部中央地質調查所彙刊，第三十三號，第 1-32 頁。
11. Ching, K.-E., R.-J. Rau, J.-C. Lee, and J.-C. Hu (2007), Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995-2005, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 262, 601-619.
12. 饒瑞鈞、景國恩、劉宗訓、余致義、侯進雄、李元希、胡植慶、詹瑜璋、李建成、洪日豪 (2003), 台南台地的地表變形與地震潛能。經濟部中央地質調查所特刊，第 14 號，第 161-171 頁。
13. 林耕霽 (2012), 利用永久性散射體差分干涉法探討台南地區之地殼形變。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 81 頁。
14. Le Béon, M., Huang, M.-H., Suppe, J., Huang, S.-T., Pathier, E., Huang, W.-J., Chen, C.-L., Fruneau, B., Baize, S., Ching, K.-E., and Hu J.-C. (2017), Shallow geological structures triggered during the Mw 6.4 Meinong earthquake, southwestern Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 28, 663-681.
15. 陳文山、李錫堤、陳于高 (2003), 地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫 (2/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 92-7 號。
16. 陳文山、陳于高、楊小青 (2006), 地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫 (5/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 95-7 號。
17. Brown, K. and G.K. Westbrook (1988), Mud diapirism and subcretion in the Barbados Ridge accretionary complex: the role of fluids in accretionary processes, *Tectonics*, 7, 613-640.
18. Pérez-Belzuz, F., B. Alonso, and G. Ercilla (1997), History of mud diapirism and trigger mechanisms in the Western Alboran Sea, *Tectonophysics*, 282, 399-422.
19. Kopf, A.J. (2002), Significance of mud volcanism, *Rev. Geophys.*, 40, 1005, doi:10.1029/2000RG000093.
20. Brown, K.M. (1990), The nature and hydrogeologic significance of mud diapirs and diatremes for accretionary system, *J. Geophys. Res.*, 95, B6, 8969-8982. 