

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

台灣及鄰近地區之變形模式(II)

Deformation Mechanism of Collision Mountain Belt around Taiwan (II)

計畫編號：NSC 88-2116-M-002-018

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：盧佳遇 台灣大學地質學系

一、中文摘要

地質模型為地質學研究中一新的途徑。透過物理模型及數值模擬，可以輔助我們瞭解大地構造的可能模式，進而解釋複雜的地質現象。本論文嘗試進行砂箱模擬實驗可行性的評估，並分析物理模型中的各邊界條件和主要控制變因對物理模型結果的影響，再進一步運用砂箱物理模型和三維數值模型來模擬台灣附近區域地體架構。斜向聚合及基盤高區對西部區域整體構造的發育、演化及構造間相互關係的影響，以期能對台灣地區大區域構造能有些許的了解與助益。

本研究模擬砂箱行為，獲得以下幾點結論：大部分的模擬，都發育整組的共軛逆斷層，並形成衝起構造；且大部份同一組共軛逆斷層的發育，都是逆斷層早於背衝逆斷層。後阻體（backstop）的摩擦係數對模擬結果有很大的影響，隨著摩擦係數的減小，會使應變集中於後阻體上方，並沿著後阻體斜坡往上爬。後阻體傾角的增大，應變越容易往前傳遞；傾角減小會使應變集中於後阻體的底部部份，並沿著基腳發育一組衝起構造。隨底部摩擦係數的減小，應變容易往前傳遞。材料的軟硬度對位移的傳遞雖有影響，但影響的程度不如其他因素所影響的程度大。

本研究探討西部基盤高區對鄰近新構造運動的影響，歸納結論如下：後阻體最主要的影響在於斜向聚合活動的早期；後期構造的外型與發育，則受控於基盤外型和後阻體嵌入所造成的早中期構造，所以中部地區，變形前緣往前移，基盤高區前方因基盤的阻擋效應，致使變形前緣往前發育得較慢，而停留於高區前方，南部區域因無高區阻擋且岩層變厚，易使變形前緣往前移，綜合以上原因

即為台灣西部區域存在著 S 型變形前緣的可能原因。大部分的逆斷層為有秩序的往前發育，越向西越晚發育。台灣西部之大度台地、八卦台地、恆春西台地可能因逆斷層作用而形成，屏東谷地、台中盆地、恆春平原等可能為一馱背式盆地。從本實驗的初步成果可以印證，砂箱物理模型為一可以繼續發展的工具，尤其對於構造的發育演化，展現了無窮的潛力。從三維數值模型的參數分析中，建議基盤高區的界面摩擦角小於 15°。數值模型中基盤高區的存在，會造鄰近區域應力場、應變場方向的偏轉。從斷層性質的探討中，建議基盤斜坡附近斷層在早期傾向於發育逆斷層，中晚期則轉換成發育平移斷層。嘉南麓山帶前緣附近地區為應變能集中的區域，應小心地震發生，並作好防災的準備。

關鍵詞：地質模型、物理模型、數值模擬，台灣附近區域，地體架構，地震，應變能

二、英文摘要

Geological modeling is a new way in geological studies. By the help of physical modeling and numerical modeling, we can understand the possible models of the development of the kinematics and dynamics evolution of structure. These studies try to estimate the possibility of sandbox simulation experiments in physical modeling; and try to analyze the effect of boundary conditions and main controlling factors in physical modeling. Furthermore, by using physical modeling and three-dimensional numerical modeling, we try to simulate the consequence of geological settings, oblique convergence and basement

high in the inter-relationship between the development, evolution and structure in the western Taiwan. We hope that will help us understand more about the regional tectonics of Taiwan.

By the simulation of sandbox behavior, there are some conclusions: most models develop conjugate thrust faults and pup-up structures; in most cases, the same set of conjugate thrust faults developed earlier than the backthrust faults. The modeling result is highly affected by the friction coefficient of backstop; as the friction coefficient reduced, the strain would concentrate on the top part of the backstop and increase along the ramp of the backstop. The greater the angle of inclination of the backstop, the easier the forward propagation of the strain. Reduction in the angle of inclination results in the concentration of strain near the toe front of the backstop, and a set of pup-up structures could be found at the toe of the backstop. As the friction coefficient of the base reduced, the forward propagation of the strain becomes more easily. Though the competence of materials would affect the displacement of the propagation, it is not as important as the others factors. This research aimed to realize the effect of the basement high of western Taiwan during oblique convergence. Results: Backstop mainly affects the earlier stage of the oblique convergence; the shape of the basement and the early stage structures formed by the indent backstop controls the shape and development of later stage structures. As a consequence, forward propagation of the deformation front occurred in the central western Taiwan, because of the resistance at the front of the basement high, the deformation front propagated slowly at the front of the basement high. There is low resistance in the southern Taiwan and the sediments there are thickened, the deformation front moved forward. The above reasons may explain the S-shaped deformation front at the

western Taiwan. Most thrust faults are forward-breaking sequence and it develops later in the western region. The formation of Tatu terrace, Bakua terrace, west Hengchun terrace may be the result of thrust faults; Pingtung valley, Taichung basin, Hengchun plain may be piggy-back basins. And these results are supported by the preliminary results of these experiments. Sandbox physical modeling is very useful in the research of the development and evolution of geological structures, and it showed great potential in this research. From the analysis of the parameters of the three-dimensional numerical modeling, we suggest that the interface friction angle of the basement high should be smaller than 15° . The existence of the basement high in the numerical modeling results in the change in the direction of stress field and strain field. Based on the nature of faults, we suggest that the faults near basement ramp tend to develop thrust faults and strike-slip faults would develop at later stage. Since the strain energy concentrated at the front of the West-Foothill near Chiayi and Tainan, these areas may affect by earthquakes.

Keywords: Geological modeling , physical modeling , western Taiwan , earthquakes, tectonics.

二、緣由與目的

台灣島位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的斜向聚合帶上(Suppe, 1977; Liou & Ernst, 1984; Angelier, 1986), 為全球現今活動造山帶之一, 以其特殊的地質背景與現象, 故長久以來一直受到世人的注目。以往的研究除了少數物理模擬實驗(黃敏郎等人, 1996; 黃敏郎, 1996; 盧佳遇等人, 1996; Davies, 1983; Lu, et al., 1994) 和數值模擬(李錫堤, 1986; 鄭世楠, 1995; 蕭銘璽, 1996; Huchon, 1986a,b; Hu, et al., 1996; Hu, et al., 1997; Jeng, et al., 1997) 外, 幾乎都直接從野外的觀察與實驗室的分析進行台灣造山帶的研究。但不可諱言的, 野外的研究雖然是最直接的作法, 有工作量很大, 花費時間長等缺點, 而且野外的露頭不多且露頭的連續性不佳的情況下, 往往只能夠專注於小區域內的觀察, 或從數個各別剖面研究成果來推論大區域的構造, 較不易直接從大尺度的眼光來看待整體構造的發育及構造間的相互關

係。同樣地球物理等研究方法，往往所需的研究經費十分龐大，不易輕易為之。基於以上兩點，直接透過模型的模擬，常可發揮其經濟、快速、過程直觀的優點，並獲取大區域內構造發育演化，構造相互間的關係和構造外型的主控變因等等概觀上的優勢，並可能藉此推論往後構造的演化。

本論文嘗試運用砂箱物理模型實驗和三維數值模型模擬，來了解台灣西部區域整體構造的發育及構造間的相互關係，以期能對台灣地區大區域構造能有些許的了解與助益。

台灣地區的造山過程中，基盤高區所扮演的角色未儘知曉，因此本研究藉由砂箱物理模型模擬和數值模型來探討：

1. 台灣大區域整體構造的發育及構造間的相互關係
2. 台灣西部地區新構造運動與先期已存構造高區的關係
3. 基盤高區外型對台灣西部地區新構造運動的影響
4. 進行砂箱模擬實驗可行性的評估，並運用砂箱與數值模擬兩不同領域的結果交互印證
5. 透過數值模擬，期望能更符合實際地質的狀況，來探討各物理參數對構造發育的影響
6. 藉由本研究，希望能作更完整的推測往後可能的地質災害

三．結果與討論

結論

1. 後阻體最主要的影響在於斜向聚合活動的早期。後期構造的發育與外型，則受控於基盤外型和後阻體嵌入造成的早中期構造發育區，所以中部地區，變形前緣往前移，基盤高區前方因基盤的阻擋效應，致使變形前緣往前發育得較慢，而停留於高區前方，南部區域因無高區阻擋且岩層變厚，易使變形前緣往前移，綜合以上原因即為：為何台灣西部區域存在著 S 型變形前緣的原因。

2. 大部分的逆斷層為有秩序的往前發育 (forward-breaking sequence)，越向西發育得越晚。且大部份同一組的逆斷層與背衝逆斷層的發育，都是逆斷層早於背衝逆斷。

3. 台灣西部之大度台地、八卦台地、恆春西台地可能因逆斷層作用而形成而，屏東谷地、台中盆地、恆春平原等可能為一馱背式盆地。

4. 從本實驗的初步成果可以印證，砂箱物理模型為一可以繼續發展的工具，尤其對於構造的發育演化，展現了無窮的潛力。

5. 從三維數值模型中參數分析的結果，本研

究建議基盤高區的界面摩擦角小於 15° 。

6. 數值模型中基盤高區的存在，會造鄰近區域應力場、應變場方向的偏轉。

7. 從斷層性質的探討中，建議基盤斜坡附近斷層在早期傾向於發育逆斷層，中晚期則轉換成發育平移斷層。

8. 嘉南麓山帶前緣附近地區為應變能集中的區域，應小心地震發生，並作好防災的準備。

討論

脊樑山脈帶為一變質度較高的區域，且因中央山脈地區現今出露的岩石，原來位於較深部的地殼，因此在整個造山過程中，無論在物理性質或化學性質上和原來的狀況有著極大的差異，所以在模擬過程中，較不考慮其物性變化，所以本研究主要探討的區域偏重於台灣西部新構造運動的區域。

小砂箱模擬結果中，在西部區域逆斷層後方的腹地，因逆斷層的發育造成後方盆地的發育，此種盆地稱為馱背式盆地。以實驗結果來比對，可以指示屏東谷地、台中盆地、恆春平原等等盆地及大度台地、八卦台地、恆春西台地可能因逆斷層作用而形成。

從構造分區的角度來看，初期密集的逆斷層，間距小，斷距也小，構造複雜，代表脊樑山脈帶。中期突然發展出開闊式的逆斷層，間距大，斷距大，隨背衝逆斷層的發育，展現大區域的衝起構造，地形突然變陡的雪山山脈帶代表。本帶和其他兩帶的分界在於：間距突然變大的位置和地形上突然的分野。中晚期的逆斷層又漸密集，逆斷層的發育使腹地普遍發育為馱背式盆地，代表西部麓山帶。逆斷層前方可能代表海岸平原區域。

S 型構造前緣的成因

從無後阻體且非斜向聚合的數值模型模擬中，可見 S 型構造前緣雖然會發育，但不明顯，對比於砂箱模型所獲得的結果相較，可見得砂箱模型之 S 型變形前緣發育較完整；因此台灣西部 S 型構造前緣的成因，應該是受嵌入體外型、斜向聚合與基盤高區三重作用的影響所致。

本研究中探討斷層性質的方法是從三維空

間中主應力場的方向來討論,當最大主應力方向大致位於水平面上,並近似平行於聚合方向,最小主應力位於鉛直方向者,則傾向於發育逆斷層;當最小主應力方向主要位於水平面上者,則傾向於發育平移斷層。藉以上觀點來討論斷層發育之性質。

經由本研究三維數值中各不同聚合量 各剖面和各層的比較結果可以看出:北港基盤高區南坡為主要發生平移斷層的區域,基盤高區北坡亦為另一平移斷層區,觀音高區南坡分佈一平移斷層區域且平移斷層主集中於底層附近,越至表層,可能產生平移的分量也越小。

再從構造演化的觀念來看,可能發育平移斷層的區域,在早期(較小的聚合量)最小的主應力方向近乎垂直,故區域內早期斷層的發育仍以逆斷層的活動性質為主,中晚期(較大的聚合量時)再漸漸轉換成具平移分量為主的斷層。

四 . 計畫成果自評

本研究中不易模擬沖繩海槽擴張及後阻體嵌入效應,故把研究對象侷限於台灣西部新構造的探討,且模型的南北邊界尚不夠遠,故模型的模擬結果也易受邊界效應的影響;建議以後的學者可從這部份下手,應更可合理的模擬台灣地區造山的過程

五、參考文獻

- Biq, C. (1972) Dual-trench structures in the Taiwan-Luzon region, *Proc. Geol. Soc. China*, no. 15, 65-75.
- Biq, C. (1981) Collision, Taiwan-style, *Memoir of Geol. Soc. China*, no. 6, 91-102.
- Chiu, H.T. (1973) Basement rocks under the Neogene formations of the west central plain of Taiwan, *Proc. Geol. Soc. China*, no. 16, p. 51-58.
- Ernst, W.G., Liou, J.G. and Moore, D.E. (1981) Multiple metamorphic events recorded in Tailuko amphibolites and associated rocks of the Suao-Naoao area, Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, no. 4, p. 391-441.
- Hu, J.C., J. Angelier, S.B. Yu, (1997) An interpretation of the active deformation of southern Taiwan based on numerical simulation and GPS studies: *Tectonophysics*, v. 274, p. 145-169.
- Hubbert, M.K. (1937) Theory of scale models as applied to the study of geologic structures: *Geological Society of American Bulletin*, v. 48, pp. 1459-1520.
- Hubbert, M.K. (1951) Mechanical basis for certain familiar geologic structures: *Geological Society of American Bulletin*, v. 62, pp. 335-372.
- Jeng, F. S., M. H. Hsiao, C. Y. Lu, (1996) Numerical simulation of neotectonics near Peikang high: *Jour. Geol. Soci. China*, Vol. 39, No. 4, p. 557-578.
- Lu, C.Y. (1994) Neotectonics in the foreland thrust belt of Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 29, 1-26.
- Lu, C.Y. and J. Malavieille (1994) Oblique convergence, indentation and rotation tectonics in the Taiwan mountain belt: Insights from experimental modeling, *Earth and Planetary Science Letters*, v. 121, p. 477-494.
- Ramberg, H. (1981) *Gravity, Deformation and the Earth's Crust*, 2ed, Academic Press, London and New York
- Stach, L.W. (1958) Subsurface exploration and geology of the coastal plain region of western Taiwan, *Proc. Geol. Soc. China*, no. 1, p. 55-96.
- Sun, S.C. (1985) The Cenozoic tectonic evolution of offshore Taiwan, *Energy*, 10, no. 3/4, p. 421-432.
- Suppe, J., (1981) Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan, *Memoir of Geol. Soc. n. 4*, p. 67-89.