

由長週期表面波推研台灣地區上部地函 S 波速度 及衰減構造(III)

計畫編號：NSC96-2116-M-034-003

主持人：黃瑞德 (hrd@faculty.pccu.edu.tw)

中國文化大學地質學系

Tel: (02) 28610511 ext.26122

中文摘要

本研究利用臺灣寬頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, 簡稱 BATS)從 1996 至 2007 年所收錄的來自 180 個地震的 400 筆區域表面波資料,並採用地層掃描法(tomographic method)呈現台灣地區週期 5 至 40 秒的雷利波(Rayleigh wave)群速分布。結果顯示群速分布與地質及地體構造有好的關聯性,特別是在週期 40 秒,台灣東北方有高速分布,此與板塊隱沒有關,而中央山脈南斷較北斷的群速度高,暗示北斷的地殼較厚。

關鍵詞：雷利波、群速、地層掃描法

Abstract

Two-dimensional group-velocity maps of Rayleigh waves recorded by BATS at period range 5-40 sec are derived by using a tomographic method. Results show group-velocity distribution is highly in connection with the geological and tectonic features, especially for the 40-s period. For a group-velocity map at 40-s, high velocity appears at northeastern Taiwan which is related to the subduction zone. Additionally, group-velocity is higher at the southern portion of the Central Range than that at northern one. This implies that the northern portion of the Central Range has thicker crust relative to the southern one.

Keywords: Rayleigh wave, group velocity, tomographic method

前言

近年來,震波速度的變化確實提供對台灣的地體構造演化有更深的認識,特別是 P 波三維速度影像(Rau and Wu, 1995; Ma et al., 1996; Kim et al., 2005; Wu et al., 2007),但由於震源深度的限制,三維速度構造主要對台灣地殼速度(Moho 以上)的分布有很好的掌握。但由於 S 波到時不易挑選,致使 S 波資料較為缺乏,Wu et al. (2007)利用台灣 TSMIP 下的強震資料收集較多的 P 波及 S 波的走時差,提高了 S 波的解析度。而表面波能提供較佳的地殼及上部地函 S 波速度,對了物質組成、非均向性等等,提供重要的訊息。過去認為由於台灣島過於狹小,無法有效分析台灣地區的表面波資料,但近幾年來,中央研究院及中央氣象局在全島設置數十餘部寬頻地震儀,能記錄區域地震及遠震所激發的表面波訊號,這對台灣地區的表面波研究提供良好的環境。Hwang and Yu (2005)利用 BATS 所收錄

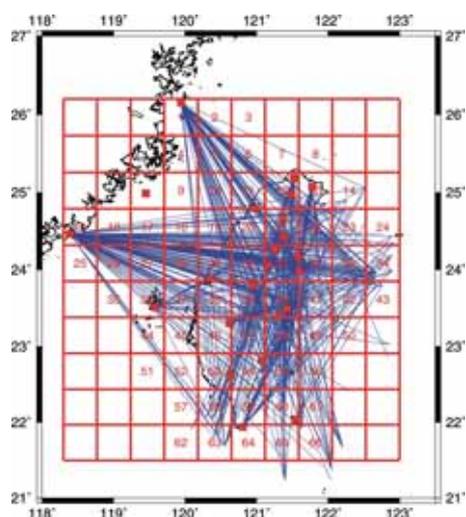
的遠震表面波資料，並配合陣列分析法(array analysis method)，得到臺灣中央山脈下一維 S 波速度構造。翁(2006)利用 1999-2005 年台灣區域地震所產生的表面波資料逆推台灣三維 S 波速度構造。由此可見，臺灣地區表面波研究是可行的。

研究目的

近年來，震波速度的變化確實提供對台灣的地體構造演化有更深的認識，特別是 P 波三維速度影像(Rau and Wu, 1995; Ma et al., 1996; Kim et al., 2005; Wu et al., 2007)，但由於 S 波到時不易挑選，致使 S 波資料較為缺乏。本研究利用台灣區域地震資料所產生的雷利波資料，進行三維 S 波速度構造逆推，此過程包括兩個步驟的逆推。首先，將台灣地區分成數個子區塊，利用地層掃描法逆推出臺灣地區週期 5-40 秒雷利波群速分布；其次，由每個子區塊的群速頻散曲線逆推隨深度分布的速度構造，之後，將每區塊的速度構造組合成三維速度構造。目前，只針對雷利波群速分布作討論，三維速度構造將儘快完成。雖然，翁(2006)也從事類似的工作，但本研究收集更多的地震資料，考慮震央距離遠近對表面波的激發，確實能改善地層掃描的解析度。

資料選取

挑選發生在北緯 21~27 度，東經 118~123 度，且近地規模(M_L)大於 5.0、深度小於 50 公里及震央距離大於 200 公里的地震紀錄，濾波(0.02~1 Hz)後並利用多重濾波法(Dziewonski et al., 1969)確認可用的表面波資料，最後本研究共利用發生於 1996 至 2007 年的 180 個地震，分析週期 5 至 40 秒的 400 筆雷利波群速資料。圖一為寬頻地震站及波徑分布圖。



圖一 本研究所採用的雷利波波徑及區塊分布圖。

研究方法

本研究所採用的區塊逆推法(block inversion method)，其觀念建立在純路徑法(pure path method)上。純路徑法是地震學家利用表面波研究地球構造側向變化的一個基礎方法(Knopoff, 1969)，所謂純路徑法是假設表面波由震源至測站的傳

遞是走大圓路徑，並不考慮通過不同構造邊界時，所產生的折射現象，因此，可以很單純的計算表面波經過各個不同構造的走時(travel time)，而每個單獨的構造都被視為均質的(homogeneous)，因此表面波由震源至測站的走時等於其通過各個不同構造走時的總和，若以數學型式表示，其關係如下：

$$t_i(T) = \frac{L_i}{V_{0i}(T)} = \sum_{j=1}^n \frac{L_{ij}}{V_j(T)} \quad (1)$$

式中 $t_i(T)$ 為第 i 條波徑在週期 T 的觀測走時， L_i 為第 i 條波徑的震央距離， $V_{0i}(T)$ 為第 i 條波徑在週期 T 所觀測到的群速或相速， L_{ij} 表第 i 條波徑通過第 j 個區塊時所行進的距離， $V_j(T)$ 為第 j 個區塊在特定週期 T 時的區域化群速或相速 (regionalized group or phase velocity)， n 為分區的區塊總數。在式(1)中，已知的資料有 $t_i(T)$ 、 L_{ij} 、 L_i 及 $V_{0i}(T)$ ，而欲推求的參數為 $V_j(T)$ ，因此式(1)是一個線性逆推的問題，為了方便討論此逆推問題，將式(1)以矩陣的方式表示：

$$Ax = b \quad (2)$$

其中 A 為各波徑通過各個區塊之行進距離所組合而成的矩陣，稱為核心矩陣 (kernel matrix)，相當(3.1)式中 L_{ij} 的組合， b 為觀測的走時，為式(1)中的 t_i 或

$\frac{L_i}{V_{0i}(T)}$ ，是一個向量(vector)，而 x 則為欲解的參數 $\frac{1}{V_j(T)}$ ，代表各區塊慢度 (slowness)的組合，若觀測的資料有 M 筆，欲解的區塊有 N 個， A 則為 $M \times N$ 階矩陣， b 為 $M \times 1$ 階向量， x 為 $N \times 1$ 階向量。對於解(3.2)式中的 x ，一般利用具有平化的最小方差法(least-squares method)(例如，Menke, 1984)。則解為

$$x^{est} = (A^T A + \lambda^2 D^T D)^{-1} A^T b \quad (3)$$

其中 $(A^T A + \lambda^2 D^T D)^{-1} A^T$ 可視為泛化逆矩陣 (generalized inverse matrix)，稱為 A^{-g} ，而解逆矩陣 $(A^T A + \lambda^2 D^T D)^{-1}$ ，則採用SVD(Singular Value Decomposition)技巧(例如，Menke, 1984)來解決。 D 為粗糙度矩陣。

由於表面波頻散速度與速度構造間呈現非線性關係，為了方便利用線性逆推求得地球內部的速度及衰減構造，因此，必須利用泰勒展開法，在忽略高階相的影響下使其成為準線性關係(quasi-linear relationship)，如下

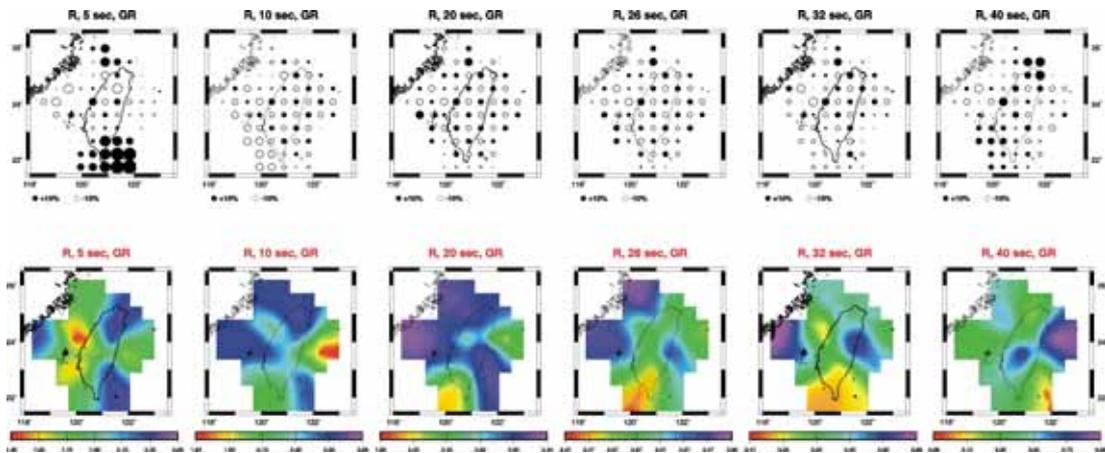
$$\Delta C(T_j) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial C(T_j)}{\partial \beta_i} \right) \Delta \beta_i \quad (4)$$

$\Delta C(T_j)$ 是第 j 個週期觀測與理論頻散曲線(群速)的差異。 N 是速度模型的層數。

$\frac{\partial C(T_j)}{\partial \beta_i}$ 是群速對第 i 層 S 波速度或 Q 值得偏微分，而 $\Delta \beta_i$ 第 i 層 S 波速度在鄰近兩次逆推的差異。本研究採用 Herrmann (1991)所發展的表面波逆推程式進行有關台灣地區 S 速度的逆推。

結果與討論

本研究將台灣及鄰近區域分成 66 個子區塊(圖一)，利用地層掃描法得到週期 5-40 秒的雷利波群速分布。圖二為數個週期的雷利波群速分布及其對應的棋盤式解析度分析。由棋盤式解析度分析可見在台灣島內速度解析度較佳，特別是在週期 10-32 秒。週期 5 秒，西部地區有相對的低速，此低速與厚的沉積有關；週期 10 秒，西部澎湖至北港有相對的高速，可能與基盤上升有關；週期 20 秒，南部地區顯示低速的分布，可能存在中地殼低速；週期 26-32 秒，東部(北緯 24 度)顯現高速，與板塊碰撞有關，此現象持續至週期 40 秒；週期 40 秒，台灣東北方顯示高速，與板塊隱沒有關，另在中央山脈處，南斷速度較北斷高，暗示中央山脈南斷地殼厚度較北斷薄，即北斷有較厚的地殼。



圖二 上圖為在週期 5、10、20、26、32、40 秒棋盤式解析度分析。下圖為所對應的群速度分布，色階單位為 km/sec。

計劃成果自評

利用台灣島內高品質的寬頻地震網(BATS)資料分析區域地震所產生的表面波資料，能有效提供台灣地區地殼 S 波速度構造，改進 S 波速度構造的解析度。本研究目前準備一篇文章「Maps of Rayleigh-wave group velocity in the Taiwan region」。本研究計畫有系統性的分析台灣地震網所紀錄的遠震及近震的表面波資料，推論速度構造、 Q 構造及非均向性構造等等，進一步了解及釐清台灣地體構造的問題。因此，本研究的成果及未來的目標是值得繼續推動的。

參考文獻

- Dziewonski, A., S. Bloch and M. Landisman, 1969, A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 427-444.
- Herrmann, R. B., Computer Programs in Seismology, Vol. IV: Surface Wave Inversion, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Saint Louis University, Saint Louis, 1991.
- Hwang, R.-D. and G.-K. Yu, 2005, Shear-wave velocity structure of upper mantle under Taiwan from the array analysis of surface waves, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L07310, doi:10.1029/2004GL021868.
- Kim, K.-H., J.-M. Chiu, J. Pujol, K.-C. Chen, B.-S. Huang, Y.-H. Yeh and P. Shen, 2005, Three-dimensional Vp and Vs structural models associated with the active subduction and collision tectonics in the Taiwan region, *Geophys. J. Int.*, 162, 204-220.
- Knopoff, L., 1969, Phase and group slownesses in inhomogeneous media. *J. Geophys. Res.*, 74, 1701.
- Ma, K.-F., J.-H. Wang and D. Zhao, 1996, Three-dimensional seismic velocity structure of the crust and uppermost mantle beneath Taiwan, *J. Phys. Earth*, 44, 85-105.
- Rau, R.-J. and F. T. Wu, Tomography imaging of lithospheric structure under Taiwan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 133, 517-532.
- Wu, Y.-M., C.-H. Chang, L. Zhao, J. B. H. Shyu, Y.-G. Chen, K. Sieh, and J.-P. Avouac, 2007, Seismic tomography of Taiwan: Improved constraints from a dense network of strong motion stations, *J. Geophys. Res.*, 112, B08312, doi:10.1029/2007JB004983.
- 黃瑞德, 1999, 由表面波頻散資料推研中國大陸地殼及上部地函構造, 博士論文, 國立中央大學地球物理研究所, 中壢, 台灣, 127 頁。
- 翁偉哲, 2006, 由表面波資料探討臺灣及鄰近區域之地殼側向速度變化, 碩士論文, 國立中央大學地球物理研究所, 中壢, 台灣, 53 頁。