

台湾集集地震断層における小断層逆解析による応力と有効摩擦係数

Stress and effective frictional coefficient estimated by micro-fault inversion method in Chi-Chi seismicogenic fault, Tai

戸部 航太^{1*}, 橋本 善孝¹, 葉恩肇², SHIU CHI-SHUN²Kota Tobe^{1*}, Yoshitaka Hashimoto¹, YEH, E. C², SHIU, C.S²¹ 高知大学理学部, ² 国立台湾師範大学¹ Kochi University, ² National Taiwan Normal University

はじめに: 応力と地震の関係は時空間的に変化し、お互いに影響している。Chelungu-pu 断層は陸上から掘削可能な逆断層型地震断層であり、Taiwan Chelung-pu Fault Drilling Project (TCDP) によって、詳細な構造データが得られている。また、本断層は陸上トレースが詳細に捉えられている。本研究の目的は、これらの構造データを用いて、小断層に記録されている過去の応力および有効摩擦係数を推定し、地震と応力との関係を時空間的に検討することである。

TCDP コア: 1999 年台湾中西部で起こった集集地震の断層物質の解析および物理探査を目的とし、TCDP が 2004 年に行われた。掘削地点は Chelungu-pu 断層の地表変異地点から約 2km 東で、1111m、1153m、1222m に地震断層が確認された。コアリングで得られたコアの範囲は 400m から 2000m までである。得られたコアの観察から、小断層やオープンクラック、断層岩等の変形構造が確認された。いくつかの小断層、およびオープンクラックにはカルサイト脈が入っていた。カルサイト脈を伴う小断層およびオープンクラックは、地震断層帯の下盤側で多く見られた。小断層面上のスリッケンライン、レイク、スリッケンステップからスリップデータを得た。

陸上の断層データ: TCDP コアと比較するために陸上の露頭から小断層のスリップデータを計測した。調査地点は Chelungu-pu 断層の地表変位上の大坑地震公園の南部を走る川沿いで約 450m の範囲で調査を行った。岩相は主として灰色の頁岩からなり、所々に厚い砂岩も見られた。得られた断層データはそのほとんどが約 100m の範囲に限定的に存在していた。

断層データの分類: 解析を行う断層データは 1153m の断層の上盤側を T1、下盤側を T2 として、それぞれ脈の有るもの (T1c および T2c)、無いもの (T1n および T2n)、3 つの断層帯の上下 10m の小断層 (FZ) と、コア全体の小断層 (ALL)、陸上の露頭から得られた断層データをそれぞれ応力比によって分けたもの ($s_1 \sim s_4$) の 10 個に分類した。データ数は ALL が 153 個、FZ が 10 個、T1c が 33 個、T1n が 65 個、T2c が 27 個、T2n が 31 個、 s_1 が 32 個、 s_2 が 26 個、 s_3 が 28 個、 s_4 が 28 個である。

小断層解析: 小断層解析には Hough 変換を用いた逆解法 HIM (Yamaji et al., 2006) を使用した。解析の結果得られた応力場を用いて個々の小断層面上の垂直応力と剪断応力の比の最小値を有効摩擦係数 $\mu b'$ とした。また解析を行う際、ミスフィット角度が 30 度以上のものは除いて解析を行った。

結果: 解析の結果、コアの圧縮方向は ALL、T1c、T1n では西北西 東南東方向、FZ は北北西 南南東方向、T2c、T2n は東西方向となった。以上のように 1153m の断層を境に T1 と T2 で圧縮方向に変化が見られた。陸上断層データの圧縮方向は s_2 、 s_4 では西北西 東南東方向、 s_1 は北北西 南南東方向、 s_3 は南北方向となった。陸上の断層データは応力比の違いによって圧縮方向が異なっていた。

また、応力比 σ_1/σ_3 はコアでは全体的に同じような傾向を示し、 $\sigma_1/\sigma_3 = 0.008 \sim 0.274$ となり、軸性圧縮であった。陸上の露頭では $\sigma_1/\sigma_3 = 0.0194 \sim 0.6448$ となり、軸性圧縮から中間圧縮を示した。コアの有効摩擦係数 $\mu b'$ はコア全体で 0.08 ~ 0.70、断層帯で 0.51、T1c で 0.74、T1n で 0.18 ~ 0.65、T2c で 1.14、T2n で 0.51 ~ 1.44 となった。陸上では s_1 で 0.04、 s_2 で 0.08、 s_3 で 0.13、 s_4 で 0.09 となった。T1 よりも T2 で高い $\mu b'$ の値をとった。また、カルサイト脈があるものは高い $\mu b'$ の値をとり、脈がないものは場合によっては低い $\mu b'$ の値を示した。断層帯の $\mu b'$ は他の高い $\mu b'$ に比べ低い値を示した。陸上の有効摩擦係数はコアよりも全体的に低い値を示した。

考察: 断層データの解析で得られた T1 の圧縮方向は Lin et al (2010) で報告されている圧縮方向と概ね一致したが、T2 の圧縮方向はやや異なる方向を示した。陸上の露頭から得られた s_2 、 s_4 は T1 の圧縮方向とほぼ同じ方向を示し、最も応力比の低い s_1 の応力方向は FZ の応力方向とほぼ一致した。また、Lin et al (2010) では断層帯近傍で 90 度圧縮方向が変化していることが示されているが、 s_3 の応力方向では約 60 度ずれた応力方向が見られた。有効摩擦係数 $\mu b'$ が脈帯で高い値を示したのは脈が存在している場所で流体圧が低いことを示している。脈のない小断層は相対的に流体圧が高く有効摩擦係数を小さくしていると考えられる。また断層帯の応力比は他の応力比に比べて 1 桁小さい値をとっており、これは地震時により強い軸性圧縮を受けたことを示している可能性がある。

引用文献:

Lin, W, Yeh, E. C., Hung, J. H., Haimson, B. and Hirono, T., 2010, Tectonophysics, V. 482, 82-91.

Yamaji, A., Otsubo, M. and Sato, K., 2006, Journal of Structural Geology, 28, 980-990.