

TCDP (台湾 Chelungpu 断層掘削計画) Hole-B からのシュードタキライトの分析: 1999年集集地震時の断層すべり挙動に関する意義

Analyses of pseudotachylyte from Hole-B of TCDP; their implications for seismic slip behaviors during the 1999 Chi-Chi earthquake

大槻 憲四郎 [1]; 廣野 哲朗 [2]; 坂口 真澄 [3]; 谷川 亘 [4]; 林 為人 [5]; 徐 垣 [4]

Kenshiro Otsuki[1]; Tetsuro Hirono[2]; Masumi Sakaguchi[3]; Wataru Tanikawa[4]; Weiren Lin[5]; Wonn Soh[4]

[1] 東北大・理・地学; [2] 阪大・宇宙地球; [3] (株) マリン・ワーク・ジャパン; [4] JAMSTEC; [5] 海洋研究開発機構高知コア研究所

[1] Earth Sci., Tohoku Univ.; [2] Osaka Univ.; [3] MWJ; [4] JAMSTEC; [5] Kochi Institute / JAMSTEC

TCDP Hole-B の深度 1136m、1194m、1243m、および 1314m に断層帯が確認された。1136m の断層帯は 1999 年 Chi-Chi 地震のすべり帯とみなされている。これより下位の 3 層準にはシュードタキライト (PT) 薄層 (7-28mm) が伴われている。産状の記載は省略するが、いずれも過去の PT である。

I. プロトリスの粒径分布とその堆積分率

4000 倍までの SEM 像で総計 7,400 個の粒径を計測した。粒径分布は大まかにはべき関数に従い、1 マイクロメートルに観察分解能の限界による cut-off を、100 マイクロメートル付近に母岩 (砂岩) の最大粒径による roll-off を伴う。1 マイクロメートルより大きなプロトリスだけでも体積分率は 63% にも達し、極めて溶融度の低い PT である。

II. PT の化学組成

母岩・PT のバルク組成の類似性から、PT の原岩は母岩の砂岩である。SiO₂ を除いた残りを 100% に規格化したとき、PT の基質はバルクよりも Al₂O₃、FeO、MgO に富み、K₂O、Na₂O に乏しいという系統的な差異が認められる。

II. 溶融の証拠

破断面にはプロトリスがメルトに包み込まれた粥状の構造と気泡が普遍的に認められること、その表面には丸みを帯びた石英などのプロトリスが張り付いていること、空隙に砂時計状の糸が張っていること、PT 基質の化学組成はストキオメトリックではないことなどが溶融した証拠である。実験的に形成されるゲルには SiO₂ が濃集するが、TCDP の PT 基質は SiO₂ に乏しいので、前者には該当しない。

III. 溶融体の温度

1. PT の化学組成が花崗岩のそれに似ていることから、圧力 100MPa、H₂O 存在下での花崗岩の平衡溶融温度 720 を適用できる。

2. 黄鉄鉱は 720 以上でピロータイトと硫黄に分解する。TCDP の PT 中には直径黄鉄鉱粒子が残存している所もあれば、硫黄の微粒子が存在する所もある。

3. PT のガラス転移温度は 800 程度だが、リサイクルした PT の破片は、丸みを帯びながらも多数残存している。

4. 石英プロトリスが丸みを帯でいるだけでなく、SiO₂ に富んだ砂時計状の糸も認められる。

5. 母岩と比較した PT 基質の化学組成は、変質による可能性もあるが、Al に富んだカオリナイトや Fe と Mg に富んだ緑泥石が選択的に溶融した可能性もある。

6. PT 基質の化学組成のバリエーションは少ないとはいえ、無視できない。これは近傍にあるプロトリスの鉱物種の溶融を反映しているのかもしれない。

上記の温度指標は最低 750、最高 1750 という極めて幅広いものである。

IV. 極低度溶融層の摩擦抵抗

粉体層内でも、真の接触面積が非常に少なく、接触応力も大変不均質なので、接触面は容易に flash melt し、温度分布は粉体の粒子サイズのスケールで著しく不均質である。partial melting に至っても、この状況は変わらない。Montgomery (1976) の pin-on-disc 実験によれば、flash melting の段階では摩擦係数は 0.4 以下だが、partial melting regime に入ったとたん 1.2 を超え、磨耗率も劇的に増加する。TCDP の PT の推定温度に大きなバラツキがあるのは、まさに partial melting の状況を示唆する。

V. 低溶融度 PT の地震学的意義

TCDP に先立って、北部の Fenyuan と南部の Nanto で浅層ボーリングが行われた。Otsuki et al. (2005) は Fenyuan の深度 150 - 450 から多数の粘土注入脈を、Nanto の深度は 175m から過去の低溶融度の PT を発見した。そして、1999 年集集地震の際には、北部セグメント浅部で elastohydrodynamic lubrication が大きく滑らかなすべりを促し、南部セグメント浅部では低溶融メルトパッチがすべりを抑制したと考えた。TCDP Hole-B は、北部のより深部 (1200m 付近) にも同様の低溶融 PT を発見したことになる。この PT も過去のものだが、南部セグメントと同様、PT 発見深度よりやや深い所での断層すべりは、低溶融メルトパッチで抑制されたものと考えられる。

波形インバージョン解析 (Wu et al., 2001; Zeng & Chen, 2001; Ma et al., 2001, 2003; Ji et al., 2003) は TCDP サイトから約 3km 東 (深度約 3km) にすべり量、すべり速度、応力降下の局所的な最小領域を描き出している。これは、まさに低溶融メルトパッチに相当するのではなからうか。この極小領域のさらに 3km 東には、地震動による被害が大きかった東勢市が位置していて、この考えに調和する。