

15. 1999年台湾のChi-Chi地震により草嶺 地区で発生した大規模地すべりの 発生機構

-粘土鉱物的立場から-

Occurrence Mechanism of the 1999 Tsao-ling landslide induced
by the Chi-Chi earthquake
-Effect of clay mineral-

○北川隆司・宮本裕貴（広島大学）

地下まゆみ（千葉科学大学）

1. はじめに

1999年9月21日に台湾で発生したマグニチュード7.6の集-集（Chi-Chi）地震により、台湾中央部の山岳地域では多くの土砂災害が発生した（林ら, 2005）。なかでも草嶺（Tsao-ling）では、大規模な地すべりが発生した（図1）。この地すべりに関する研究は、発生直後から台湾内外の研究により多くの報告がある（Hung et al., 2002; Chigira et al., 2003）; Chien Chen et al., 2003; Chen et al., 2006）。その多くは地質学的、力学的、地形学的側面からの研究である。

これらの研究により、草嶺地すべりは、過去何回かの大規模崩壊を起こし、その崩壊面は地質境界（砂岩と砂岩泥岩互層）となっている（Chen et al. 2006）（図2）。崩壊の走向と傾斜はこれら堆積岩の層理面となっており、傾斜は、約14～15度程度の非常に緩やかである。このように流れ盤構造であるが、傾斜が非常に緩いにもかかわらず、大規模崩壊がなぜ何回も発生したのであろうか。Chigira et al. (2003)によると、地層境界で地下水が流れて、境界を境に徐々にすべりつており、地震が引き金になりより、その動きは急速になり、崩壊が発生したのではないかと推定している。

我々は、2008年5月にこの地すべり地の調査を実施した。それは、地質構造的に滑りやすいことは明白であるが、それに加えて、膨潤性粘土鉱物の関わりがある可能性を推定し、すべり面を含めて各所から試料を採取し、膨潤性粘土鉱物の存在の有無とその鉱物学的特徴を調べたので報告する。



図1 草嶺(Tsao-ling)の位置(Hung, 2002)

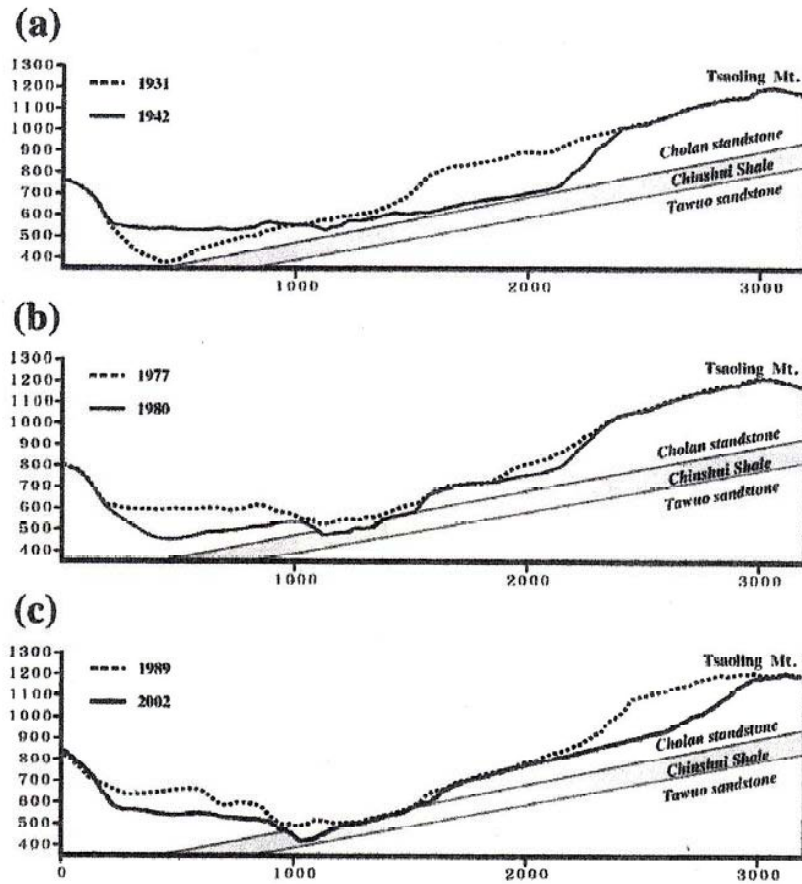


図2 草嶺地すべりの変遷(Chen, 2006)

2. 実験結果

すべり面には地下水が流れていた証拠として、白色物質が形成している。この物質をX線回折分析した結果、全て方解石（ CaCO_3 ）であった。しかし、Chigira et al. (2002)によると、石膏（ CaSO_4 ）としている。また、流れている水は硫酸性であるとし、石膏の生成を指示している。

地すべりが発生した当時、地層境界で水が流れていたとすると、現在の地層境界で水が流れている地点、それ以外の泥岩と砂岩試料を採取し、その部分に膨潤性粘土鉱物の生成が認められるか否かを調べた。その結果、地層境界の泥岩中には、それ以外の泥岩中と比較するとスメクタイトがやや多く生成している。また、砂岩中にもスメクタイトは認められた。その一例としてX線回折図を図3に示す。

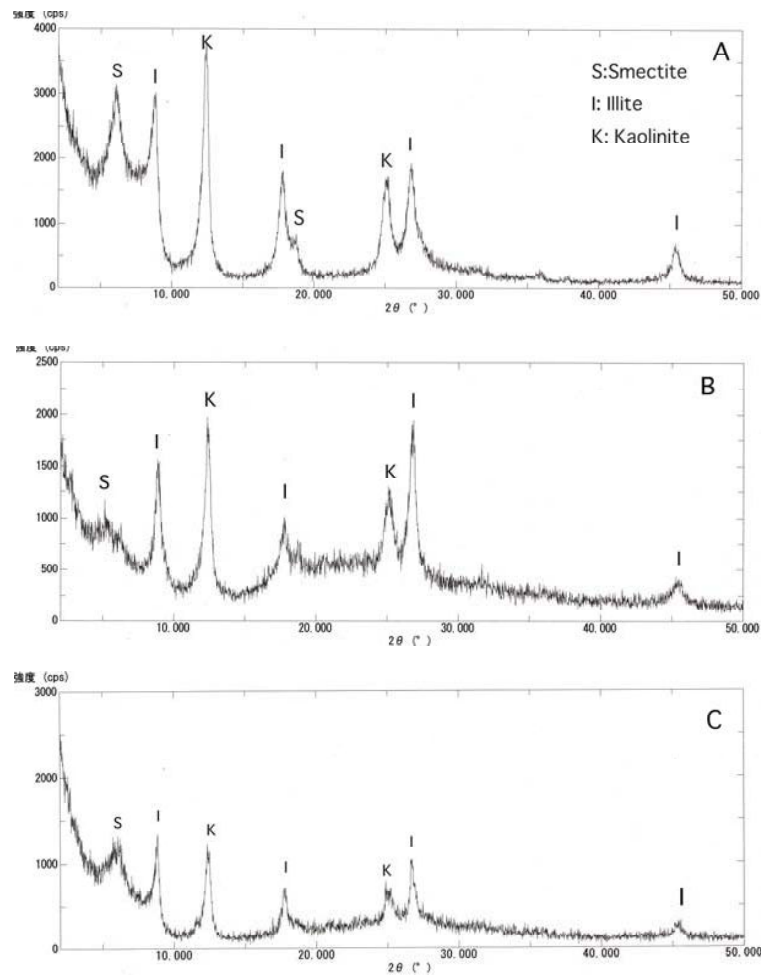


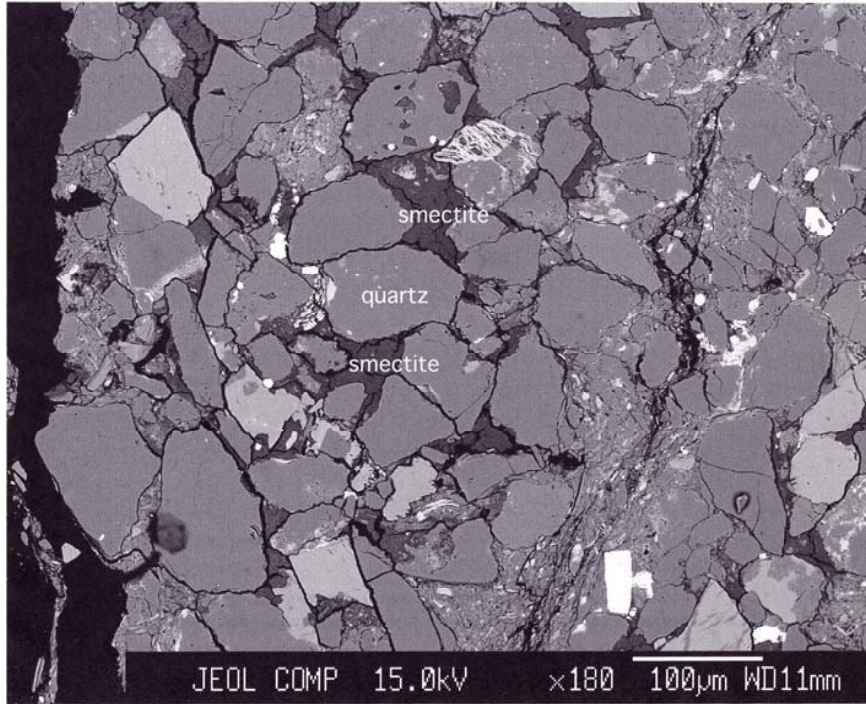
図3 泥岩・砂岩中の粘土鉱物のX線回折分析図
A: 層境界部の泥岩, B: 泥岩, C: 砂岩

図 3 に示すように、泥岩、砂岩中に含まれている粘土鉱物は、イライト、カオリナイトとスメクタイトである。一般に泥岩の構成粘土鉱物はイライトとカオリナイトであるので、スメクタイトは二次鉱物であると推定される。そこで、EPMAにより、それぞれの粘土鉱物がどのような状況で砂岩や泥岩中に存在しているかを光学顕微鏡とEPMAの二次電子像により観察し、また、化学分析を実施した（図 4）。その結果、スメクタイトの多くは石英粒子の粒間に存在していることがわかった。

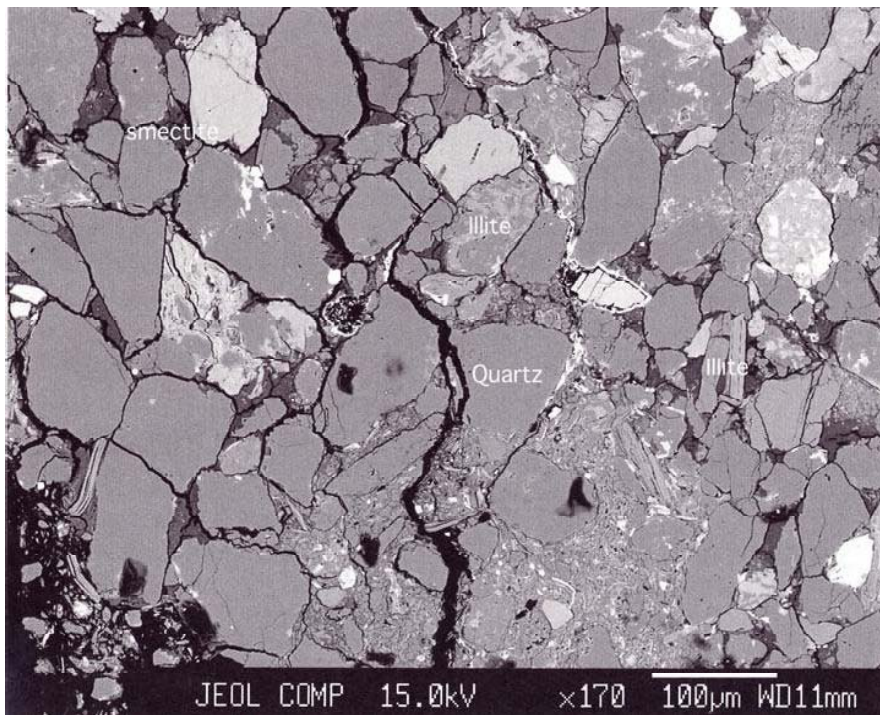
スメクタイト（族名）の化学分析の結果、モンモリロナイト（種名）であるが、一般のモンモリロナイトに比較してAl₂O₃/SiO₂比が大きく、イライトに近い。また、層間に陽イオンと推定されるCaとNaは、前者が非常に多く、いわゆるCa型モンモリロナイトである。

生成しているモンモリロナイトは、その化学分析の結果、イライトの組成に近く、イライトから変化した可能性が高い。このことから判断すると、スメクタイトはCaを多量に含んだ地下水（方解石の生成から明白）によりイライトの風化生成物である可能性が高い。しかし、図 3 に示すように、いずれの層からも大なり小なりスメクタイトの存在が認められることから、スメクタイトの全てがイライトからの二次生成物ではない可能性も考えられる。

そこで、すべり面近傍とそれからやや離れた部分でのスメクタイトの存在状況に違いがあるか否かを検討した。



A すべり面付近, 左がすべり面



B 内部

図4 砂岩泥岩互層中のすべり面付近の
EPMA分析による二次電子像

3. 結果

草嶺における砂岩と砂岩・泥岩互層の地すべりは、両層の境界がすべり面となっており、緩い傾斜の流れ盤構造であった。しかしその傾斜は14～15度程度の非常に緩やかな傾きであることから、粘土鉱物もすべりの要因にあるのではないかと推定して調査した結果、岩層全体に大なり小なりスメクタイトが含まれており、特にすべり面付近ではややスメクタイトが多い傾向が認められた。そのスメクタイトはCa型スメクタイト（モンモリロナイト）で、Na型スメクタイト程には膨張による影響は少ないけれど、スレーキングは起こしやすかったのではないかと推定される。よって草嶺の地すべりにはスメクタイトの存在も大きく関わっていると推定される。

参考文献

- 1) Rou-Fei Chen, Kuo-Jen Chang, Jacques Angelier, Yu-Chang Cham, Benoît Deffontaines, Chyi-Tyi Lee and Ming-Lang Lin (2006), Eng. Geol., 88, 160-172.
- 2) Tien-Chien Chen, Meei-Ling Lin and Ju-Jiang Hung (2003), Eng. Geol., 71, 31-47.
- 3) Chigira, M., Wen-Neng Wang, Furuya, T. and Kamai, T. (2003), Eng. Geol., 68, 259-273.
- 4) Ju-Jiang Hung, Chyi-Tyi Lee and Ming-Lang Lin (2002), Geol. Soci. America, Reviews in Eng. Geol. Vol. XV. 91-115.
- 5) Ju-Jiang Hung, Chyi-Tyi Lee and Ming-Lang Lin (2002) Geol. Soci. Ameri., Reviews in Eng. Geol., Vol. XV, 91-115.