

台湾小林村の台風 Morakot による斜面災害 (2009. 8. 7~9) の滑り面調査報告 (2011. 8. 6)

参加者：C.T.Lee, J.J.Dong (台湾中央大学), 嶋本 (元広島大教授), 東郷 (防災科研), Fabio (イタリア Padova 大学), 國生, 台湾中央大学院生

今回は国立台湾中央大学応用地質研究所の大学院野外授業に加えてもらい, 小林村崩壊斜面の上部崩壊地帯を見る機会を得た. 図-1 は C.T. Lee 教授から頂いた地質図である. その上に調査ルートを描いているが, 小林村入口の溪流の橋が流されていたため, 標高 380m 地点から標高 1000m 程度まですべて徒歩での調査となった.

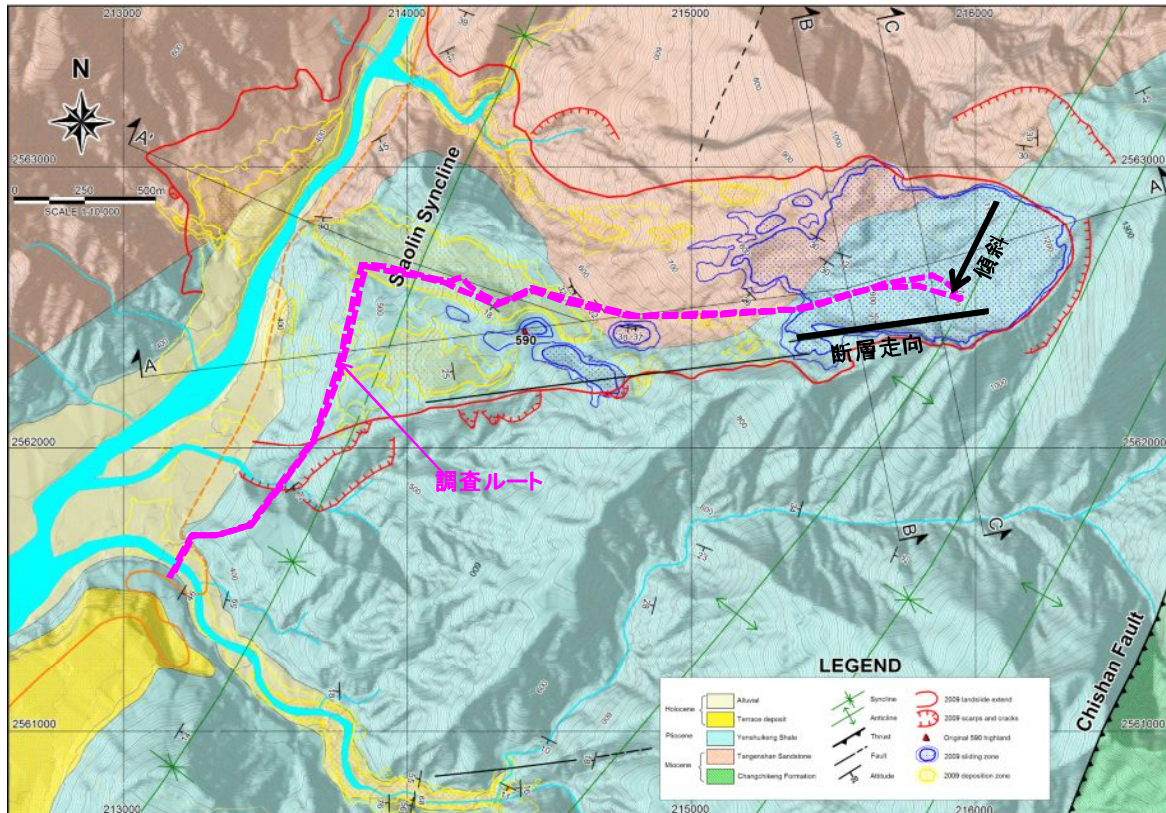


図-1 C.T. Lee 教授から頂いた地質図に調査ルートなど加筆

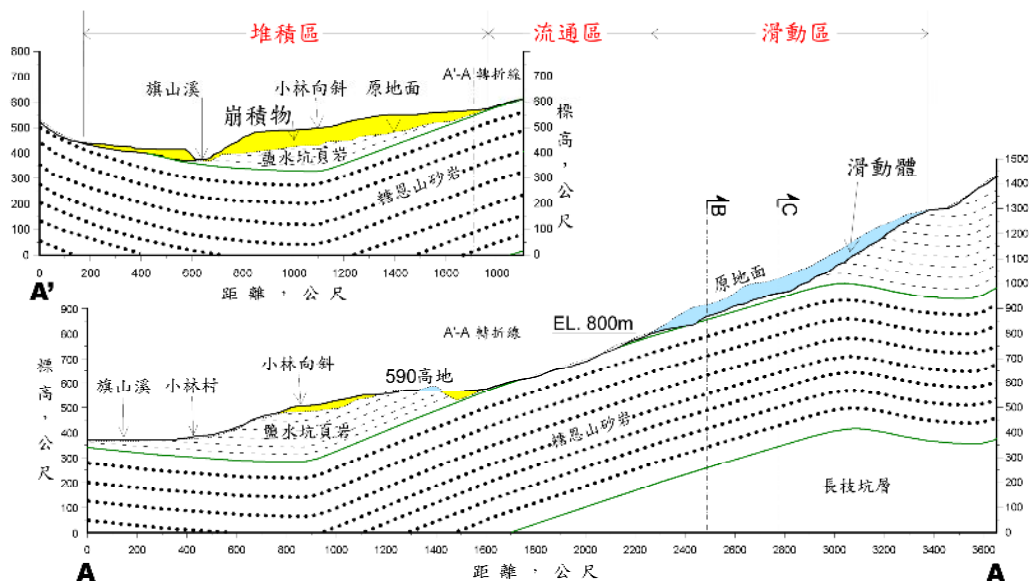


図-2 C.T. Lee 教授から頂いた断面図 A-A', A-A'

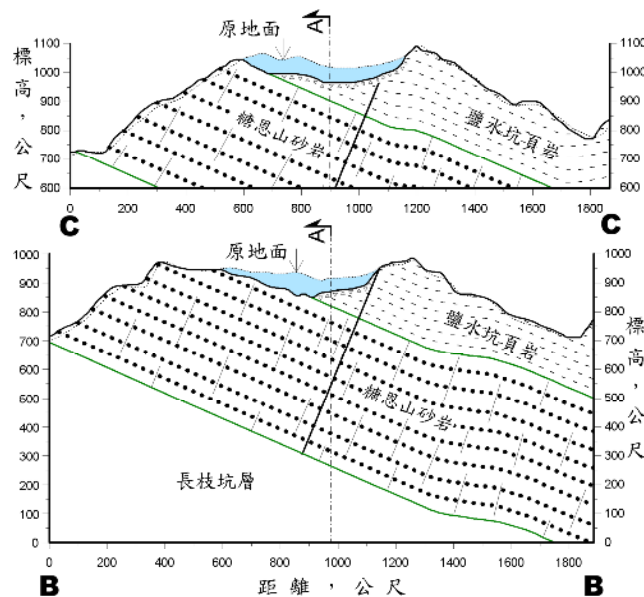


図-3 C.T. Lee 教授から頂いた断面図 C-C, B-B

図-2, 3は同じく C.T. Lee 教授作成による測線 A-A-A'と測線 C-C, B-B に沿った地質断面であり、測線位置は図-1 に示されている。青線のコンターが標高減少（浸食）範囲、黄色線のコンターが標高増加（堆積）範囲を示している。

調査では崩壊域下流部の砂岩巨礫と風化頁岩の入り混じった崩壊岩堆積域を通過し、一旦淘汰された砂礫堆積平原（崩壊地に形成された溪流による）を数百メートル進み、20 度強ほどの勾配の砂岩斜面に取りつき、溪流に沿って登って行った。この砂岩斜面は層理面であり、下から見ると崩壊地全体に同じ走向・傾斜の平行な層理面がいくつか確認できた。

砂岩表面には下流方向への滑り条痕（スリッケンサイド）が明瞭に見られ、滑り残った頁岩層との互層構造も観察できた。頁岩層の上部からは地下水が浸み出してきているのも確認できた。砂岩斜面の勾配は大方 20 度強程度だが、途中でかなり急勾配の部分があり、溪流が滝のような流れを形成していた。

標高 1000m 付近で溪流を左岸に渡って左岸側斜面を登り、図-1 に示した直線性の良い断層崖直下に達した。このあたりは崩壊域の中心部で、滑り残った巨礫が厚く残されている。断層崖は勾配 40 度以上の切り立った崖であり、断層破碎岩のような細粒土がガリー浸食を受けていた。この位置から崩壊地全体が一望できた。台湾中央大学の説明では、崩壊地南端を東西に走る断層線と南西に傾斜した砂岩・頁岩互層の流盤から構成される楔形の土塊が、日雨量 1000mm を超す豪雨による間隙水圧上昇で不安定となり崩壊したと考えられる。崩壊土サイズは縦 1000m 横 600m 最大深さ 80m で、総体積は $20\sim 30 \times 10^6 \text{m}^3$ である。

ここで昼食を取ったが、その間に空模様が悪化し夕立が来ることが予想されたため、下山開始した。下山の途中で雷雨が始まり、かなりの雨量となったが、なんとか全員無事下山ができた。村の入口の溪流も水量が増え徒歩では渡ることができなかったが、傍にいた大型バックホウがシャベルに 2 人ずつ載せて溪流を渡してくれたため事なきを得た。JJ. Dong 教授によれば、これはあらかじめ台湾の道路局に NTUST 国立台湾科学技術大学の Wei Lee 教授が面倒をよく見るように電話をかけておいてくれたためとのことであった。

お世話になった多くの方に謝意を表します。



写真-1：小林村の背後段丘面に向かう新設道路が溪流を渡る橋も流されていた。



写真-2：段丘上に積もった崩壊土の丘を通して崩壊斜面方向を見る。



写真-3：崩壊後にできた溪流による淘汰の進んだ礫の堆積平原。



写真-4：同じ走向傾斜を持つ砂岩層理面が確認できる。右側斜面には断層が走る。



写真-5：斜面取りつき部分。20度以上の勾配。



写真-6：砂岩斜面を上から見る。

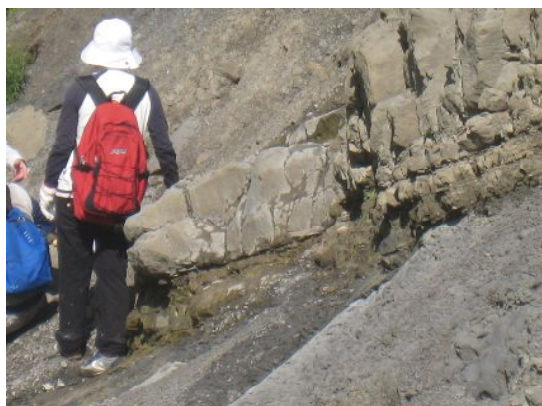


写真-7: 砂岩・頁岩互層での層理面境界



写真-8: 砂岩・頁岩互層での層理面境界の地下水の浸み出し



写真-9: 鏡肌砂岩層理面の傾斜は 21 度.



写真-10: 滑り条痕 (スリッケンサイド) がはっきりと見られる.



写真-11: 崩壊土塊域に入ると巨礫がごろごろ重なっている. 南側の断層崖を望む.



写真-12: 断層崖直下で試料採取と昼食. かなり細粒化した材料からなる急崖.



写真-13：断層崖から崩壊域を眺める。いくつかの流盤層理面と滑り残った崩壊土塊が見られ、2年の間にかかなりの植生が復活している。



写真-14：帰路に雷雨が襲来し、登った斜面は水量が増え、かなり危険な状態になった。



写真-15：帰路に通過した段丘上の崩壊土堆積物。砂岩は大きな岩塊を保ち、頁岩部分はスレーキングで砂になっている。

以上

台湾小林村の台風 Morakot による斜面災害 (2009. 8. 7~9) の調査速報

中央大学理工学部 國生剛治

調査日：2009.9.20

同行者：Prof. Wei Lee (台湾国立科学技術大学)

Prof. C. H. Chen (台湾国立大学)

Prof. 謝坤宏 (高雄正修大学)

- 8/7-9 の3日間も居座った台風 Marakot の渦巻状の風により、台湾南部の山脈の主に西側斜面に大量の雨を継続的に降らせた。雨量分布は別図 A 参照。阿里山の雨量計での総雨量は 2900mm, 小林村では 1600mm/h, 時間雨量は 116mm. 強雨は長時間継続し、ピーク型ではなく高原型の降り方。これにより図-1 の範囲で斜面崩壊・土石流・洪水・橋梁基礎の洗掘などによる甚大な被害が起きた。
- 高雄から小林村に向かって、旗山 (Cishan) 溪に沿って 21 号線を遡っていった。下流部での洪水・河床上昇・河川堤防の浸食・橋梁の落下が見られた。中流部での礫の増大, 支流からの土石流の流入, 家屋の埋没などが見られた。
- 図-2 は洪水被害を受けた堤防から近い商店に付いた浸水の跡である。
- 図-3 は下流部橋梁付近での河床上昇の様子である。明らかに細粒分を多く含む堆積物が数 m 以上に達している。2001~2005 で起きた台湾中部の大甲溪での土石流は粗粒の礫から巨石が主体であったが、今回は非常に泥質で、特に下流ほど砂以下の粒径の占める割合が多く、手で確認したところでは細粒分は非塑性であった。
- 図-4 は河川蛇行の湾曲部で起きた堤防被覆の流出と堤体の侵食である。

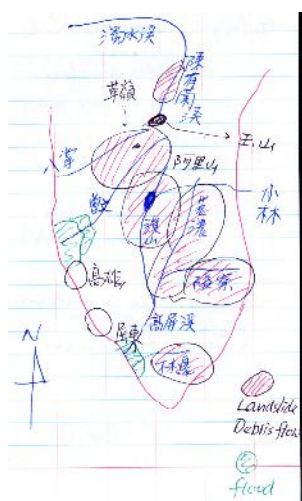


図-1 台風 Morakot による台湾南部の被災範囲 (台湾国立科学技術大学 Prof. Wei Lee による)



図-3 橋梁の桁に近い高さまで堆積した細粒の多い堆積土。桁には流木が残り、水が橋により堰上げられ洪水に繋がったようだ。

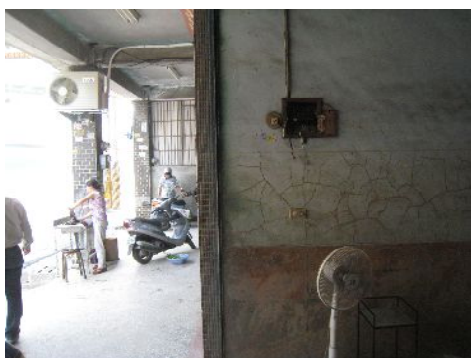


図-2 商店の壁に残った浸水水位 (2回) と泥堆積レベル (低いライン) の跡



図-4 河川湾曲部で削られた河川堤防

- ・ 図-5 は単純桁コンクリート橋梁（甲仙便橋）の中央部が完全に流出している例である。河床の2箇所ではピアが流出し泥岩に打ち込まれた鋼管杭基礎が、洪水（土石流？）の力で折れ曲がっているのが見れた。この橋は上流にあった甲仙橋が流されたために造った仮設橋であり、この河川での洪水の頻度と破壊力を示している。
- ・ 小林村付近に向かう途中で、支流からの土石流をたくさん見た。図-6 は一例であり、巨礫を多く含むが砂も多く含んでいる。調査結果では30~40%の砂分以下の含有率とのことである。
- ・ 図-7 はこの付近で土石流に巻き込まれた家屋である。1階部分が巨礫から砂までの混合物で一杯になっていた。この付近での河床は20mほど上昇したとのこと。
- ・ 小林村を巻き込んだ地滑りは8月9日の早朝6:08に起きた。マスコミでは土石流が原因と伝えられているが、実際は大規模な斜面崩壊に巻き込まれたためであった。
- ・ 40人余りの避難村人は傍の溪流が危険となったため自主的に避難を始めていたが、その途中でこの崩壊が村を直撃するところを目撃していた。6:08に起きたこの大規模斜面崩壊土が谷を塞ぎ、村の上流に高さ70mのダムを形成し、堰き止め湖ができた。7:00には水が地滑り



図-5 橋梁の洪水（土石流？）倒壊。泥岩基礎に打設した鋼管杭が折れ曲がっている。



図-8 小林村の跡。斜面崩壊は遠くの尖った峰（標高差900m）から出発している。



図-6 支流からの土石流の流入



図-9 右側の2軒のみが残り、その左側にあった集落は100mほどの河岸段丘からの崩壊土によりすべて消失。段丘下部の残った緑は動いた形跡は見られず。



図-7 土石流によって埋まった家屋。



図-10 現地に貼ってある災害以前の村の写真

ダムの上を乗り越え始め、8:00 頃にダム崩壊が起きた。それにより起きた土石流により村を覆っていた崩壊土が流され、土石流は 10km ほどの下流の村(Chiashian)に 8:40 に到達した。

- ・ 図-8 と図-9 は小林村の巨大崩壊斜面の全体である。村外れ（下流側）にあった 2 軒の家屋を残し、集落は跡形もなく消失したことが図-10 から分かる。その跡地の標高は以前と余り変化はないとのこと。500 人ほどの犠牲者の遺体はほとんど収容されず、ほとんどが行方不明。崩落土は巨石や礫だけでなく泥岩起源の砂以下の細粒土を多く含み、高い地下水位と相まって、住民の捜索は困難を極めた。
- ・ 図-11 は集落の背後にあった河岸段丘の近景。段丘から崩落した巨礫が集落を直撃したように見える。図-12 から、段丘露頭は典型的な崩積土からなっていることが分かる。



図-11 河岸段丘を崩落した崩壊土塊



図-14 崩壊土で覆われた段丘から隣の影響を免れた段丘を望む。



図-12 村はずれの河岸段丘の露頭において、典型的な崩積土が見られた。



図-15 風化の進んだ泥岩塊。玉ねぎ状に風化が進んでいる。



図-13 河岸段丘の上ののぼって上流の滑落崖を望む。累々と崩壊土が凹凸を繰り返しながら続いている。



図-16 風化の進んだ泥岩と砂岩の比較。下の泥岩は水をかけると短時間で吸水する。

- ・ 図-13 は 100m ほど登った段丘の平坦地からの最上流滑落崖の遠望だが、崩壊礫が起伏を繰り返して続いている。期待したメカニズムの解釈に役立つ景色は見られなかった。
- ・ 図-14, 図-15 は段丘の上から隣の段丘面とはるか上流の滑落崖を見ているが、巨礫が累々とつながっている。
- ・ 図-16 は段丘上から旗山溪の上流方向を見ている。写真右側付近で川を塞ぎ地滑りダムを造ったが、2～3時間後に崩壊し下流に土石流をもたらしたようである。
- ・ この地域の地質は泥岩・砂岩（シスト）・頁岩（シェール）の互層。風化が進んでおり、特に泥岩は細粒化しやすく、吸水性も高い。図-17, 図-18 は玉ねぎ状に風化した泥岩の写真である。
- ・ 周辺の山の斜面に多くの崩壊が見られたが、図-17 のようにいずれも稜線に近いところから始まっていた。
- ・ 小林村に近い道路盛土擁壁は図-18 のように被災していた。雨量が極端に多くなると地震の崩壊モードに近づく感じがした。

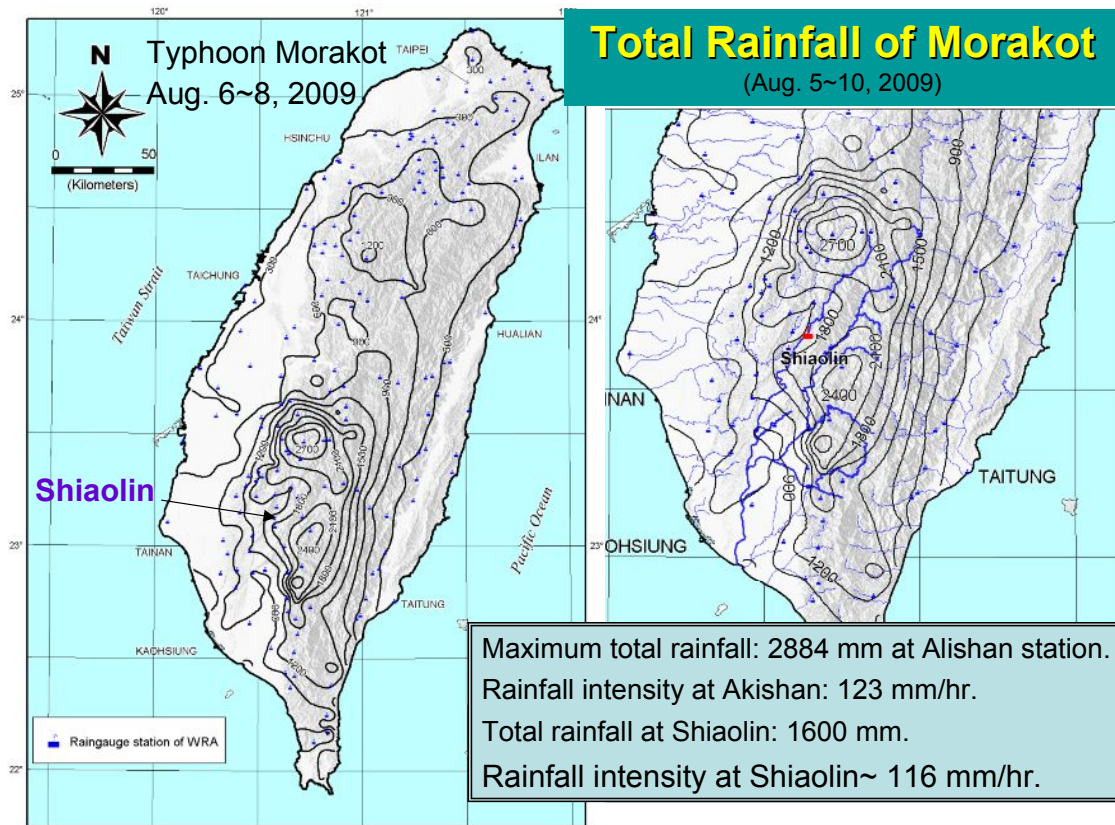


図-17 周辺の山の斜面崩壊も稜線に近いところから出発している。



図-18 帰り道に見えた道路擁壁の被害。雨量が非常に多いと、崩壊モードが地震に近づく印象を受けた。

- ・ 別図-B に崩壊斜面全体の衛星写真, 別図-C に航空写真と災害前後の村の写真, 別図-D に崩壊斜面の地質断面図(流れ盤滑り)を示す。影響面積は278ha, 平均斜面角度は 21° , 落差900m, 水平流動距離3km とのこと。
- ・ 崩壊のメカニズムとしては; (1)浅い滑り崩壊土の長距離流動, (2)深い滑り面をともなう剛体的大崩壊の二つの見方があり, 今のところ決着していない。
- ・ 小林村では1999年の地震や2005年の屏東地震の影響は小さく, 今回の大崩壊が以前の地震と関係している可能性は小さく, 豪雨のみが原因であるとの意見が多数であった。
- ・ 1999年の地震後, 台風による斜面崩壊と土石流が頻発したため, 台湾では政府が住民の防災教育に力を入れ, 雨量計による雨量の自主計測・避難基準値を超えた場合の自主避難などを推進していた。ただ, 小林村のある南部は, 地震の影響が少なかったため見逃していた地帯であったとのこと。
- ・ 小林村との連絡は災害のしばらく前から取れなくなっていた。有線電話は線が切断され, 携帯も中継局の電源消失? で使えず, 衛星電話も配られていたがなぜか使われず。したがって, 正確に何が起こっていたかは不明。



別図-A：台風 Morakot による雨量分布（台湾国立中央大学 Lee, C. T.教授提供）

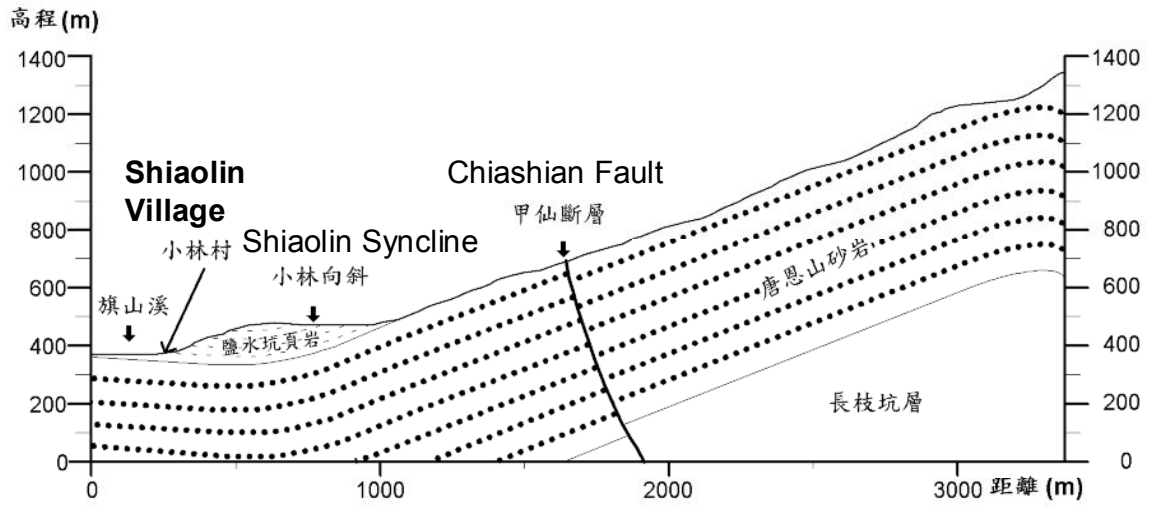


別図-B：小林村崩壊斜面の衛星写真（台湾国立中央大学 Lee, C. T. 教授提供）



An photo taken from helicopter by Mr. Chi.

別図-C 航空写真(左)と崩壊前後の小林村の比較(台湾国立中央大学 Lee, C. T. 教授提供)



別図-D 崩壊斜面の地質断面(台湾国立中央大学 Lee, C. T. 教授提供)