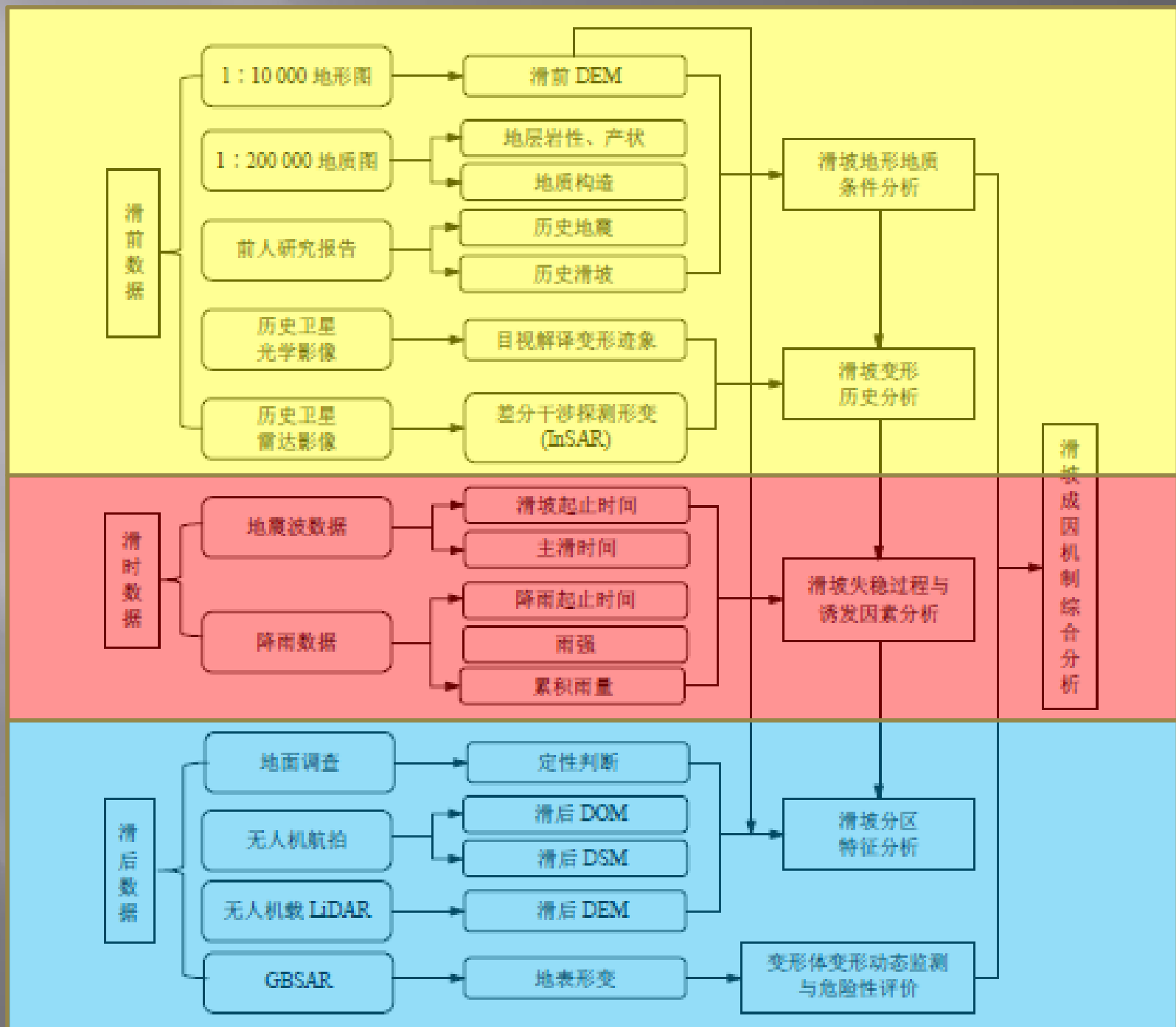
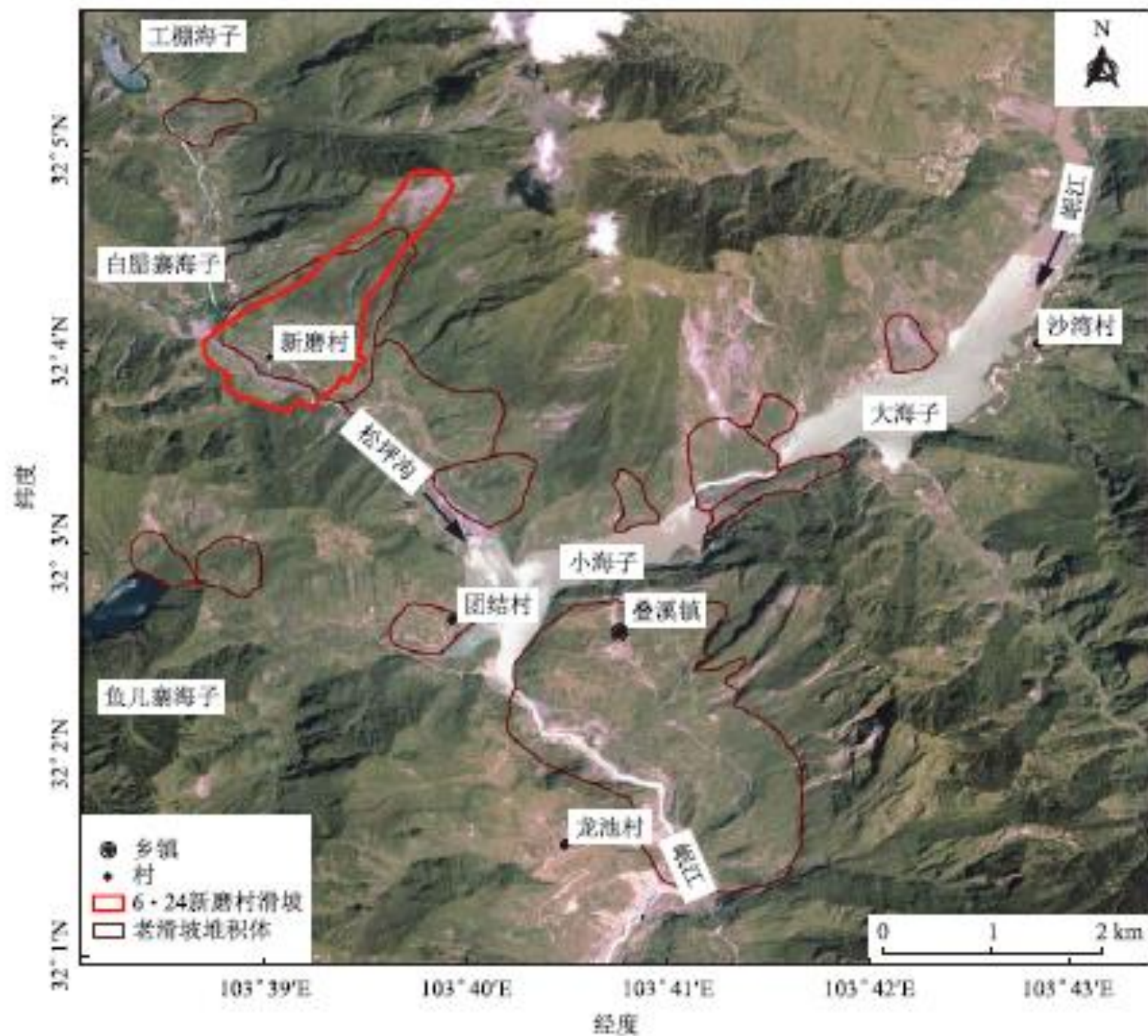


探討20170624中國四川茂縣 新磨村崩塌事件

Explore the landslide in Xinmo village, Maoxian,
Sichuan Province, China.

水土保持局 技術研究發展小組
黃奉琦





區域地質條件

▣ 現場調查

- 滑坡周邊區域出露的地層岩性主要有泥盆系的危關群 (Dwg_2)、石炭系(C)、二疊系下統(P_1)、三疊系菠茨溝組(T_{1b})和雜穀腦組(T_{2z})變質砂岩、大理化灰岩、千枚岩等。
- 邊坡存在多組逆傾大型節理帶，走向 $354^\circ \angle 43^\circ$
- 崩塌區出露地層為中三疊統雜穀腦組(T_{2z})塊狀—中厚層和薄—中厚層狀變質石英砂岩，夾千枚岩、板岩，走向 $184^\circ \angle 53^\circ$
- 坡向與岩層傾向基本一致，屬於典型的順向坡。

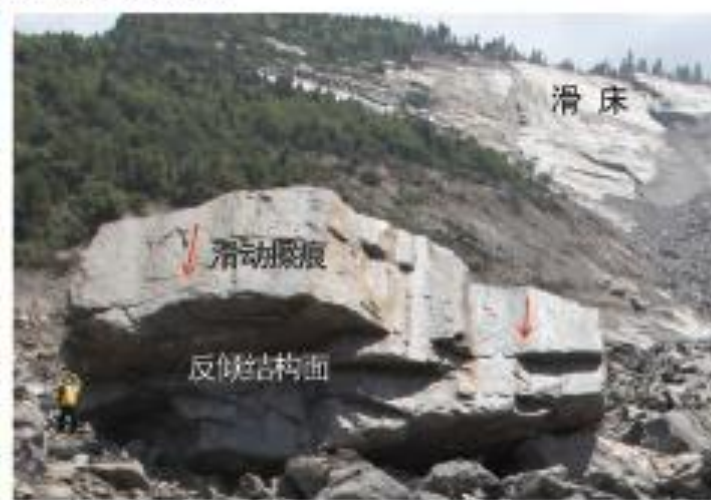
周圍地質特徵



(a) 滑坡西侧斜坡及断裂（镜头朝西）



(b) 滑坡母岩地层及反倾节理（位于断裂带东）

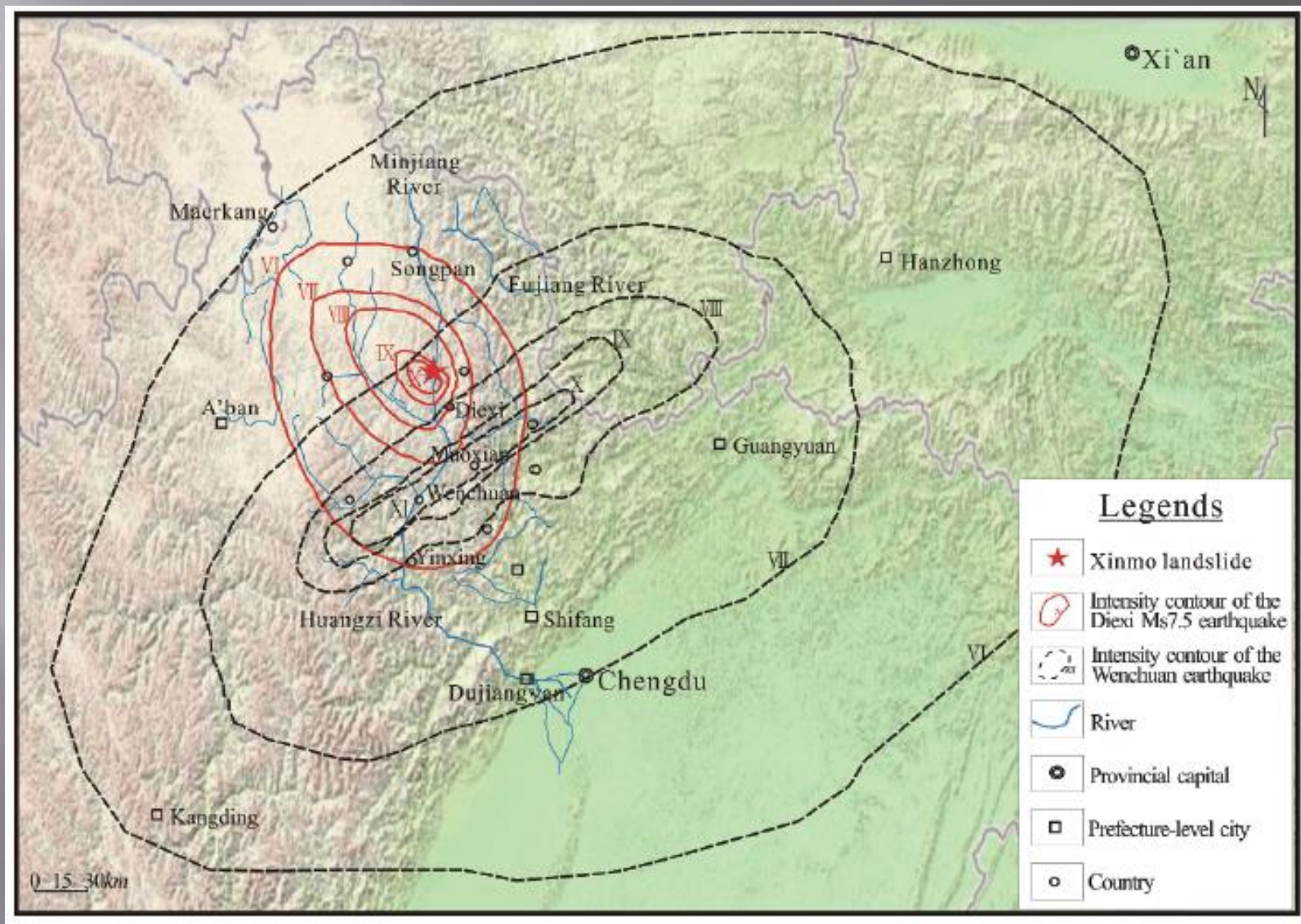


(c) 滑坡巨石显示滑动擦痕及反倾节理

地質災害分析

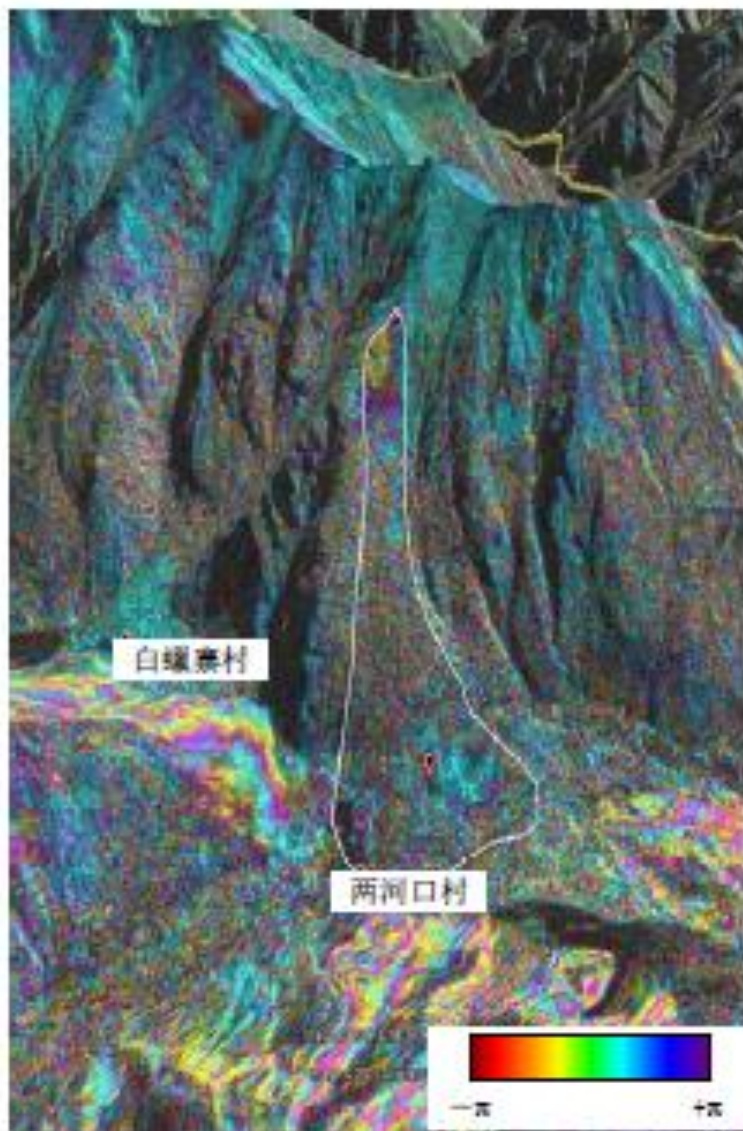
- ▣ 先後經歷1933年7.5級疊溪地震、1976年7.6級平武地震、2008年8.0級5·12汶川地震。其中1933年疊溪地震影響最大，觸發了眾多大型崩塌、滑坡災害，災害體堵塞岷江和松坪溝形成了十餘個規模不等、呈串狀分佈的海子。
- ▣ 利用多時相歷史高解析度光學和雷達衛星影像分析結果，推測滑坡源區可能在1933年疊溪地震中，在崩塌源既產生了明顯的裂縫。

1933 地震震度影響範圍

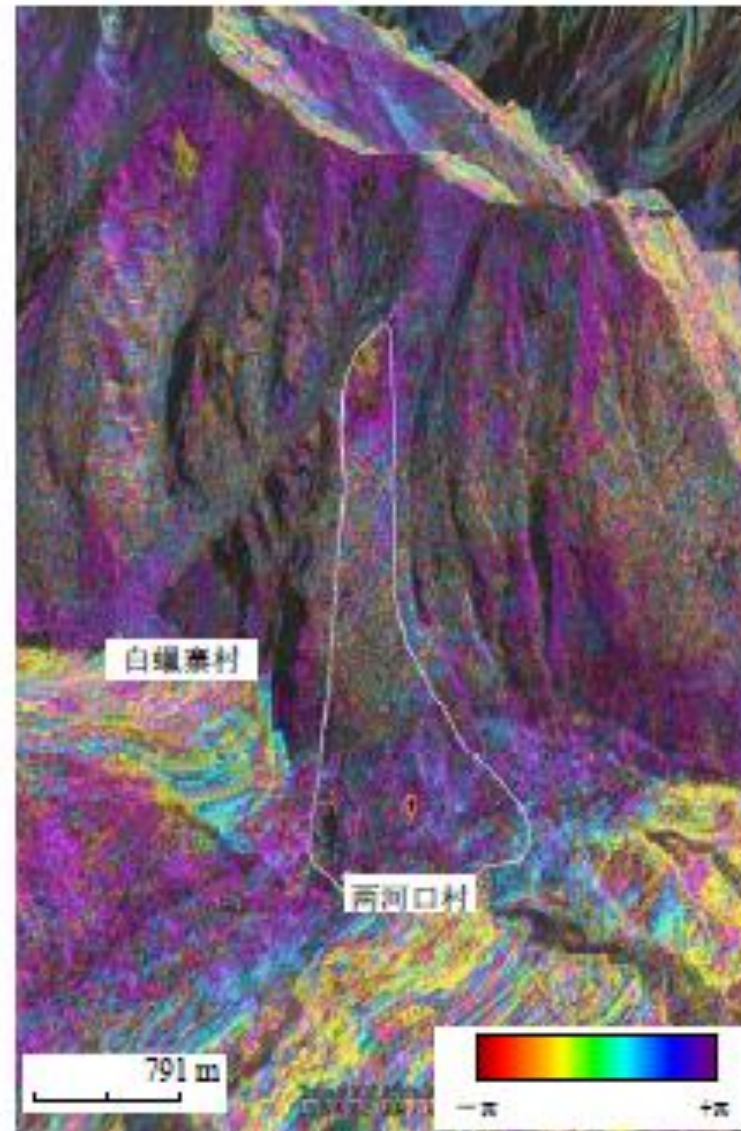




在2003年8月18日Google Earth衛星影像上可看到此次滑坡源區陡壁大部分為基岩裸露。
 滑坡源區可見沿滑動方向分佈的裂縫

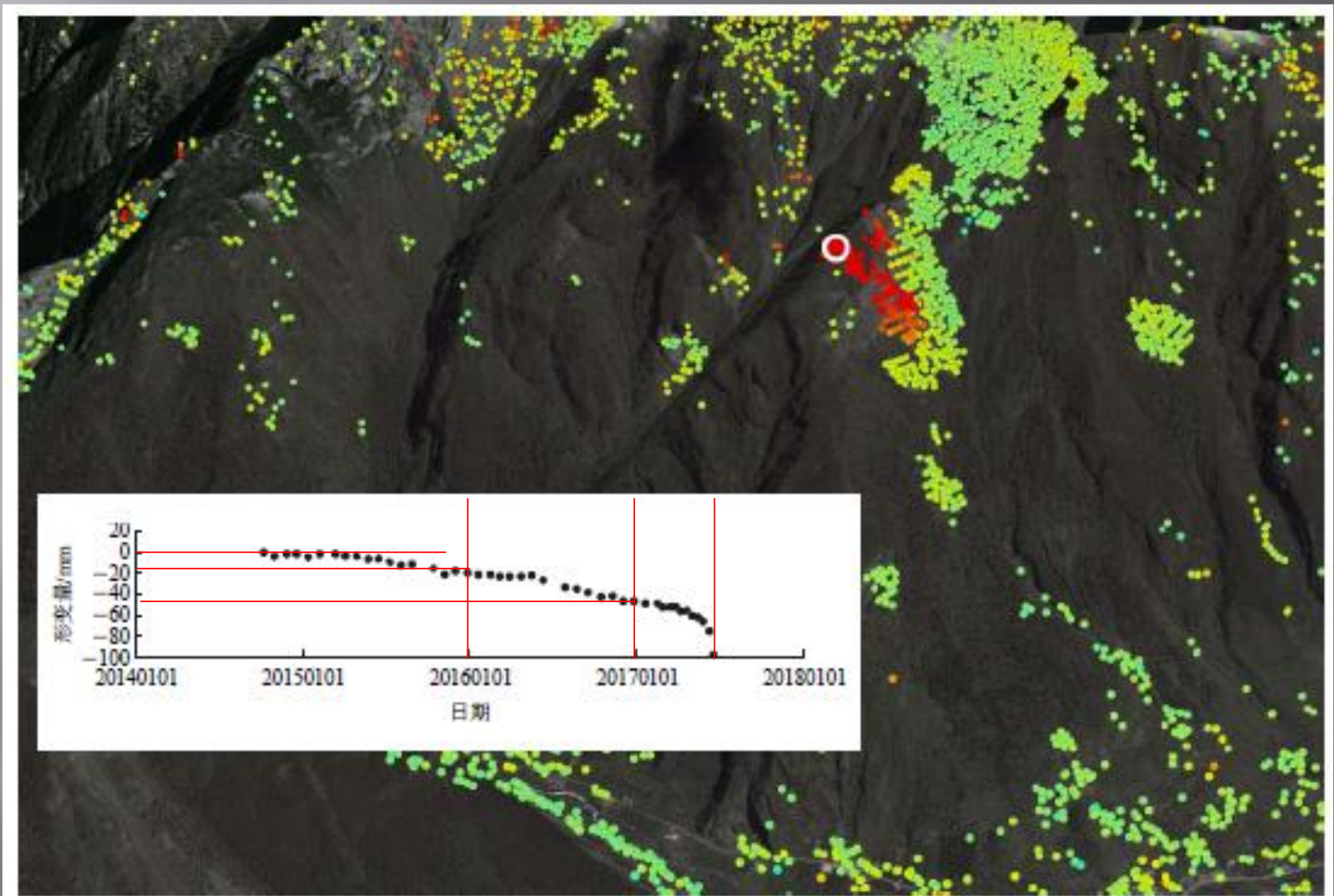


(a) 2015 年 6 月 20 日~2017 年 6 月 17 日差分干涉结果



(b) 2016 年 4 月 2 日~2017 年 3 月 2 日差分干涉结果

ALOS-2 卫星影像差分干涉结果



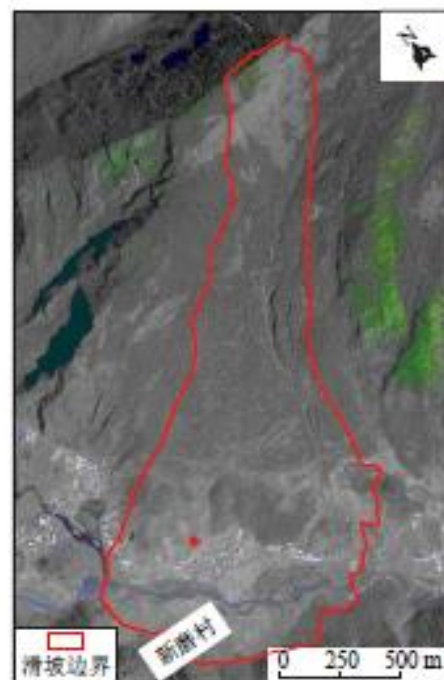
Sentinel-1 雷達衛星影像時序差分結果

岩體變形歷史分析

- ▣ 綜合多時相歷史高解析度光學和雷達衛星影像分析結果，推測滑坡源區可能在1933年疊溪地震中產生了明顯的裂縫，由此在2003年的高解析度遙感影像上能看到明顯的裂縫。
- ▣ 1976年平武地震和2008年汶川地震因其在滑坡區範圍地震烈度較低，對滑坡源區山體影響較小，因為在2017年4月的高分遙感影像未能看到裂縫具有明顯擴展延伸的跡象。



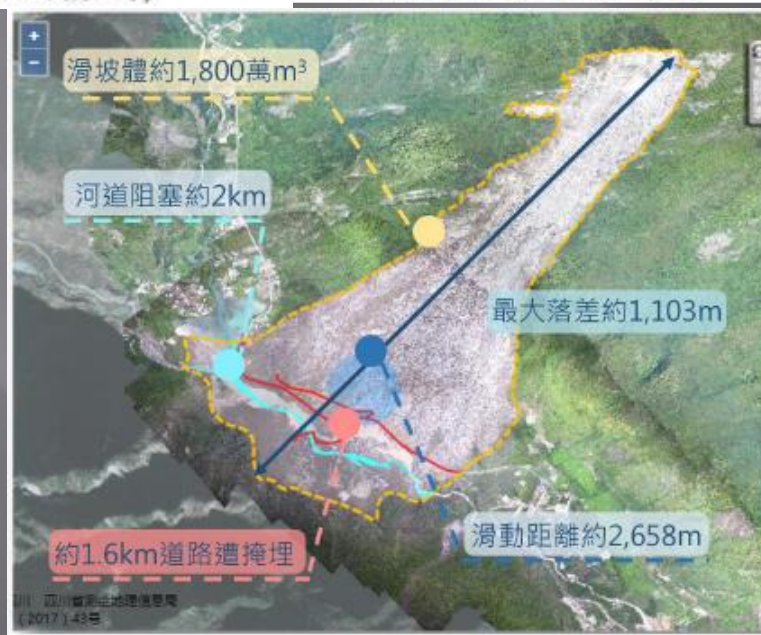
(a) 滑前影像 (2017年4月8日, 高分二号)

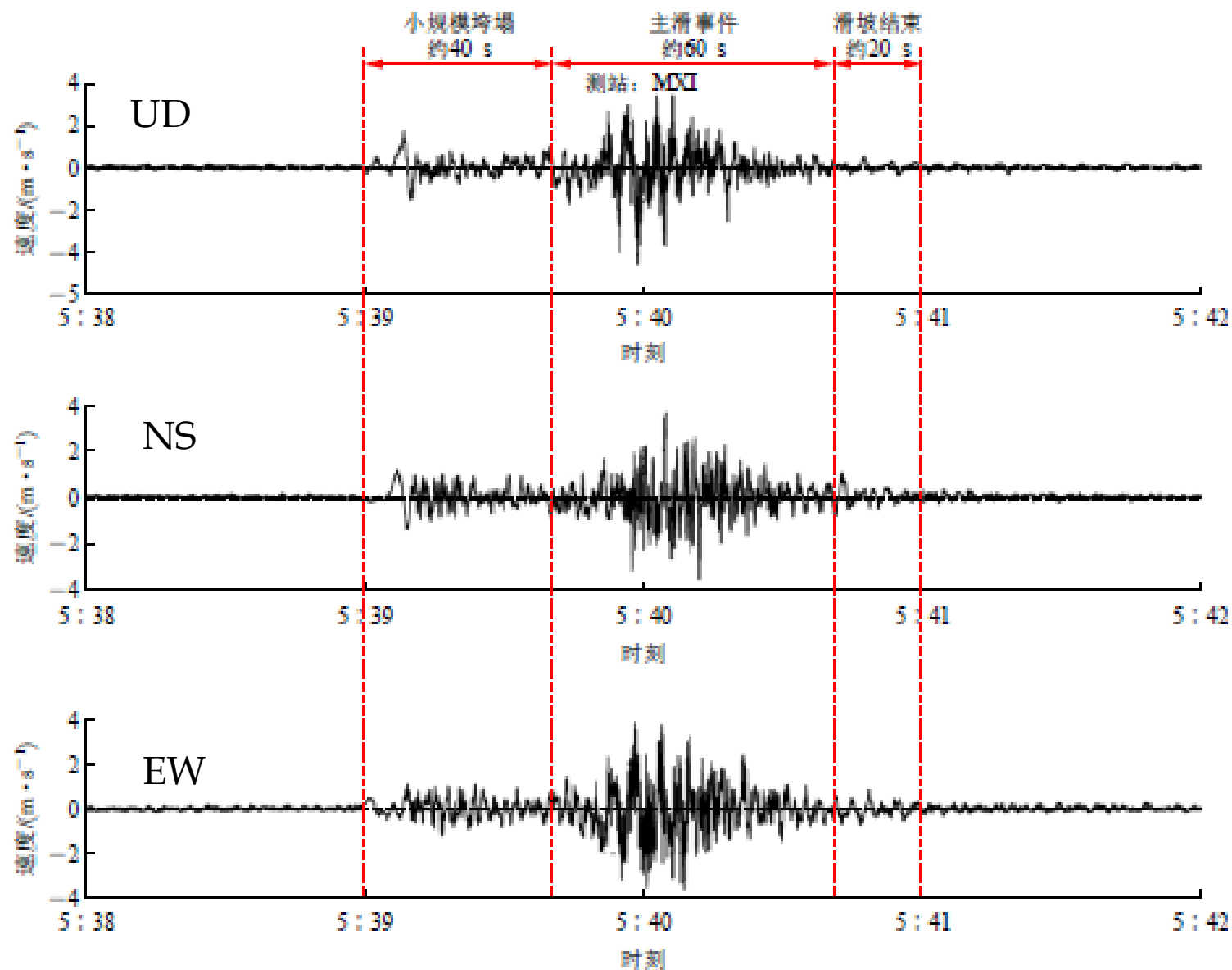


(a) 2017年4月8日高分2号影像



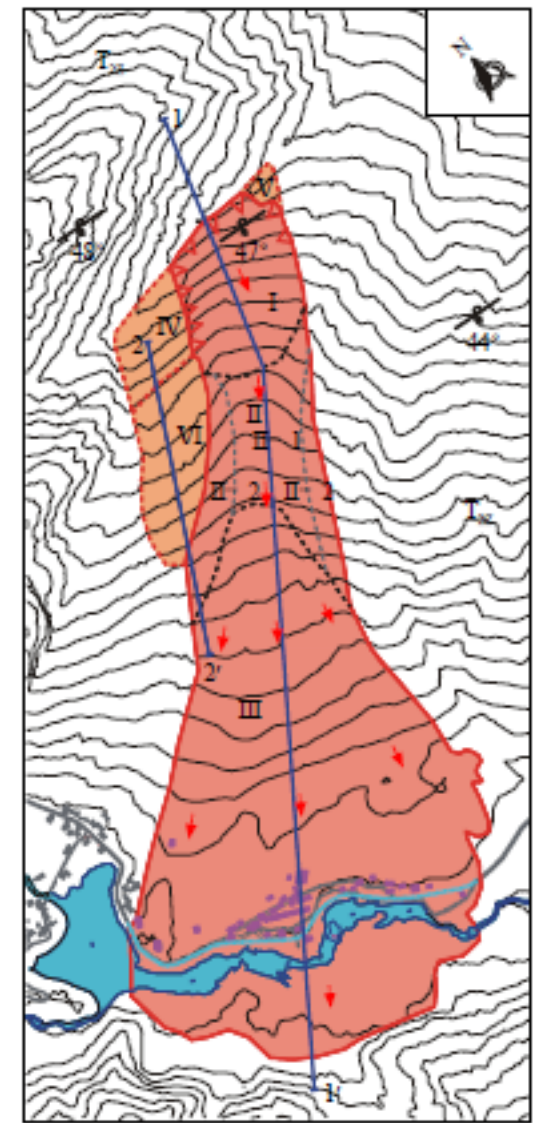
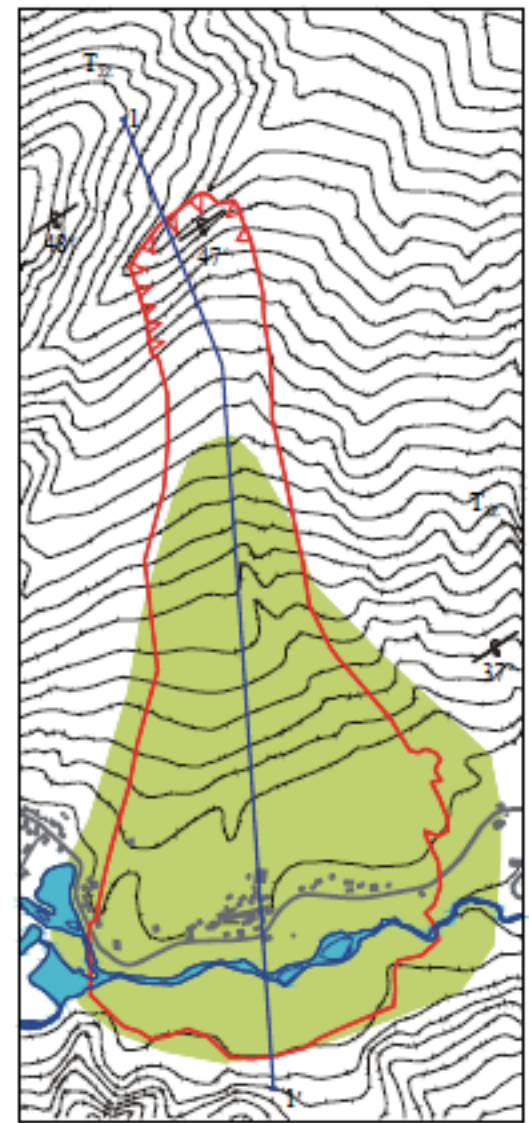
(b) 2017年6月25日无人机航拍影像



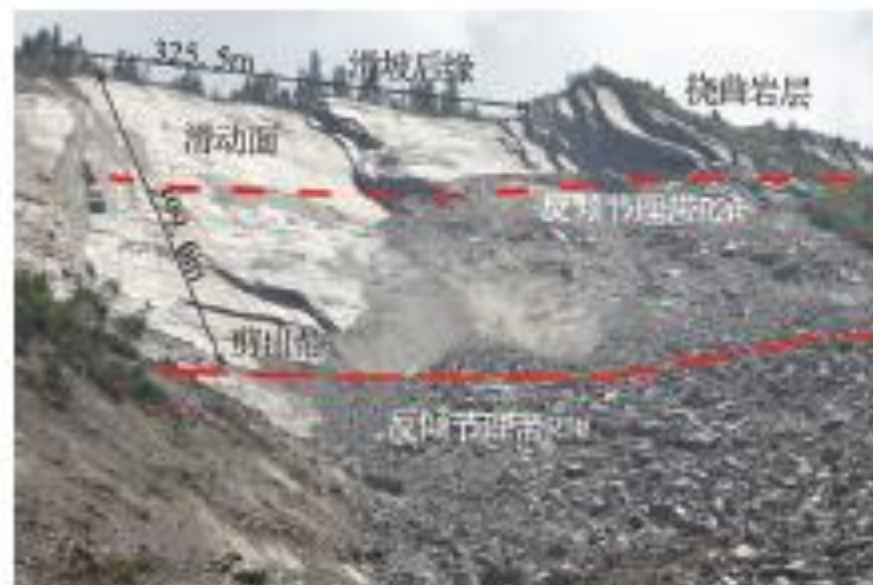


崩塌發生歷程

- ▣ 5時39分35秒滑坡主體開始發生整體滑塌，主滑坡從啟動、運動到最終停積整個過程僅持續了約60秒，最後20秒可能是滑坡區岩土體的最終調整期，還產生了一些小的滑移和垮塌，最終恢復平靜。從滑前小崩小落到最終恢復平靜整個事件持續時間約2min。



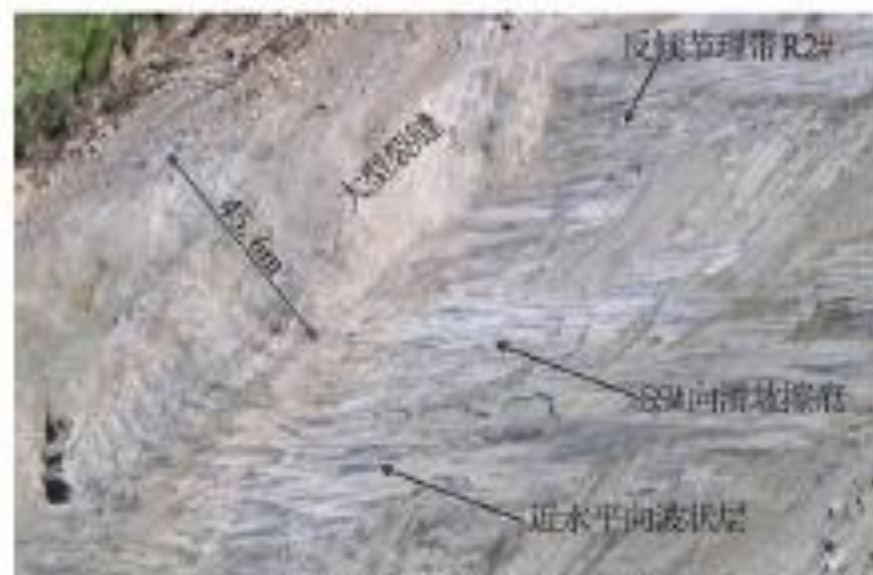
- | | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------|-----------|
| T ₂₂ 三叠系中统杂谷脑组砂岩夹板岩及结晶灰岩 | 侧转岩层产状 | 滑坡边界 | 滑坡剖面线 |
| 滑坡体滑动方向 | 老滑坡堆积体 | 滑坡区 | 滑坡影响区 |
| 分区边界 | I 滑源区 | II 流通铲刮区 | II-1 主流通区 |
| IV 西侧欠稳定岩体 | V 东侧欠稳定岩体 | II-2 铲刮区 | III 堆积区 |
| VI 西侧变形体 | 0 500 1 000 m | | |



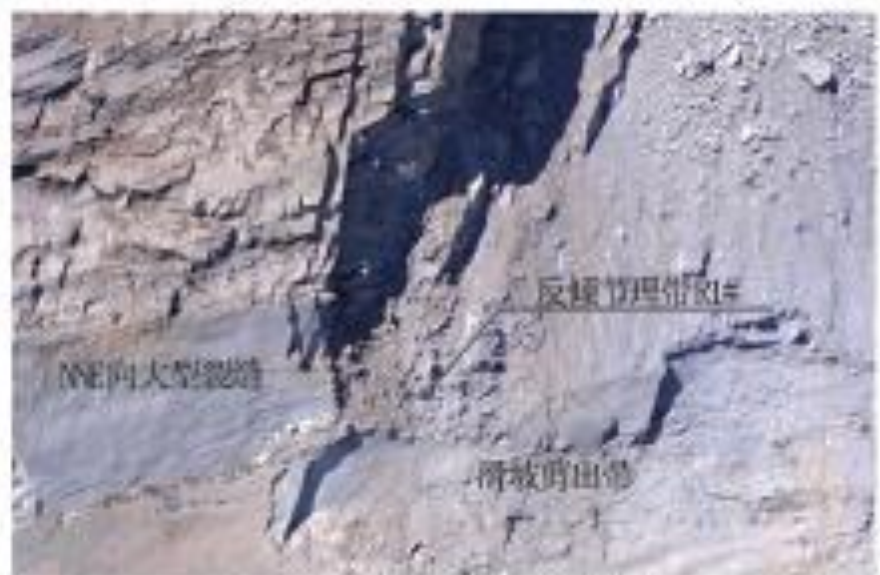
(a) 滑源区全貌



(b) 滑源区东侧边界



(c) 滑坡源区西侧边界



(d) 西侧滑源区崩出带



(a) 碎屑流堆积及堰塞河道



(b) 碎屑流推动前缘滑坡体形成负地形



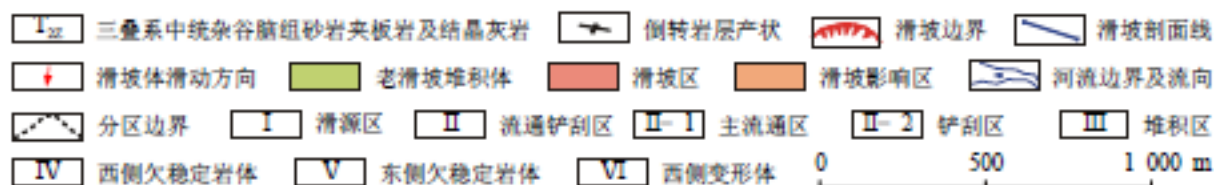
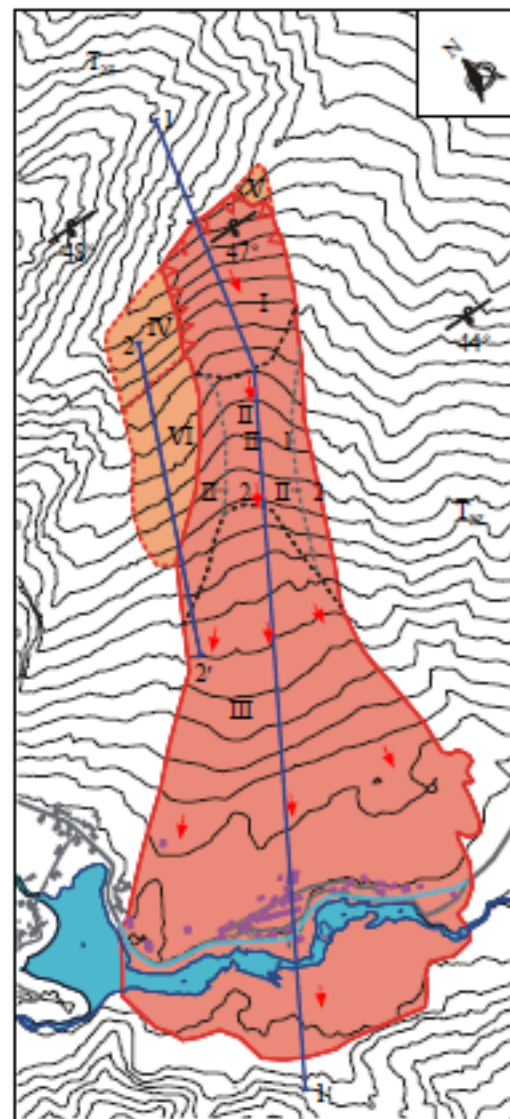
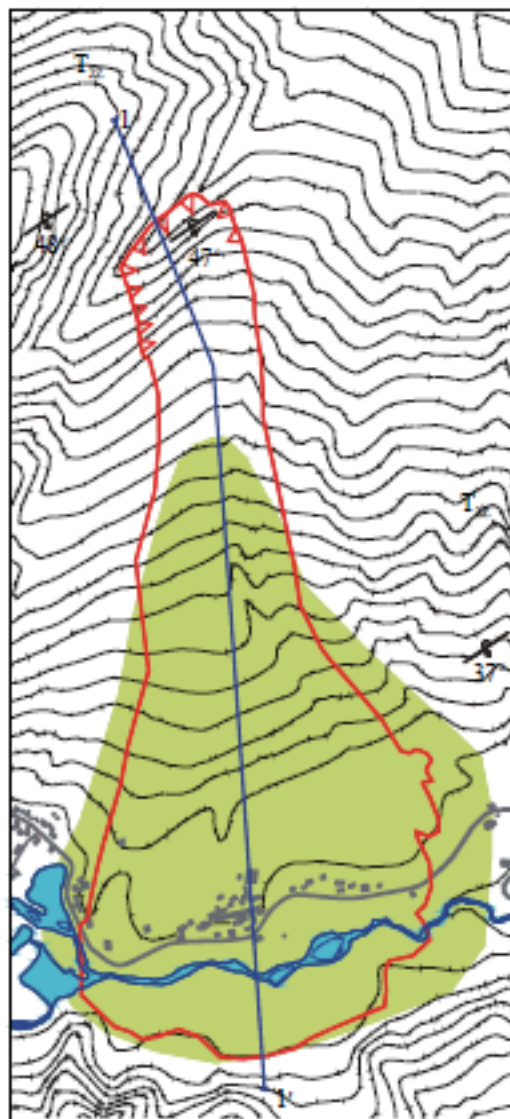
(c) 碎屑流堆积于老滑坡体上



(d) 巨大块石覆盖于碎屑流之上

崩塌區特徵

- ▣ 滑動源區最高點高程3460 m，河床高程2240m，滑坡高差1120m，水平滑動距離超過2500m。
- ▣ 主滑坡區和滑坡影響區兩大部分：(1) **主滑坡區**包括滑源區(I)、流通鏟刮區(II)、堆積區(III)。其中，流通鏟刮區還可細分為主流通區(II-1)、鏟刮區(II-2)；(2) **滑坡影響區**主要為受滑坡動力作用影響，產生新的裂縫和變形並存在一定安全隱患的部分，具體包括滑源區西側欠穩定岩體(IV)、滑源區東側欠穩定岩體(V)以及滑坡體西側變形體(VI)。



區域特徵

▣ 滑動源

- 岩體內發育2 組結構面，其位態分別為 $N44^{\circ}E/SE \angle 84^{\circ}$ (近於垂直層面的陡傾節理) 和 $N46^{\circ}E/NW \angle 47^{\circ}$ (斜向坡內)。

▣ 流通鏟刮區

- 鏟刮形成了寬度約410m、深度30m、長700m 的“U”型溝槽，被鏟刮物質估算方量約 $450 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

▣ 堆積區

- 巨大的動能迅即將老滑坡堆積體向前推擠滑動和下錯，致使原老滑坡堆積體頂部原僅少量出露的基岩光壁大面積出露。

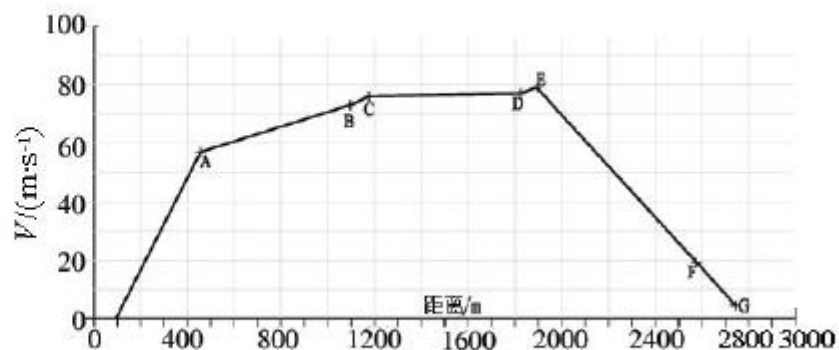
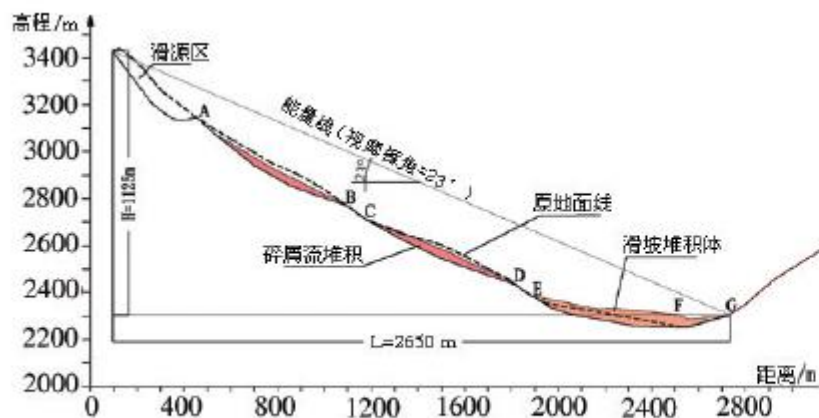
區域特徵

- ▣ 在高速運動過程中，大塊石在運動途中不斷停積，**大粒徑塊體堆積範圍主要從流通區至新磨村範圍**，而粒徑相對較小的塊石和碎屑物質呈流體狀繼續向前運動，直至松坪溝河流對岸。

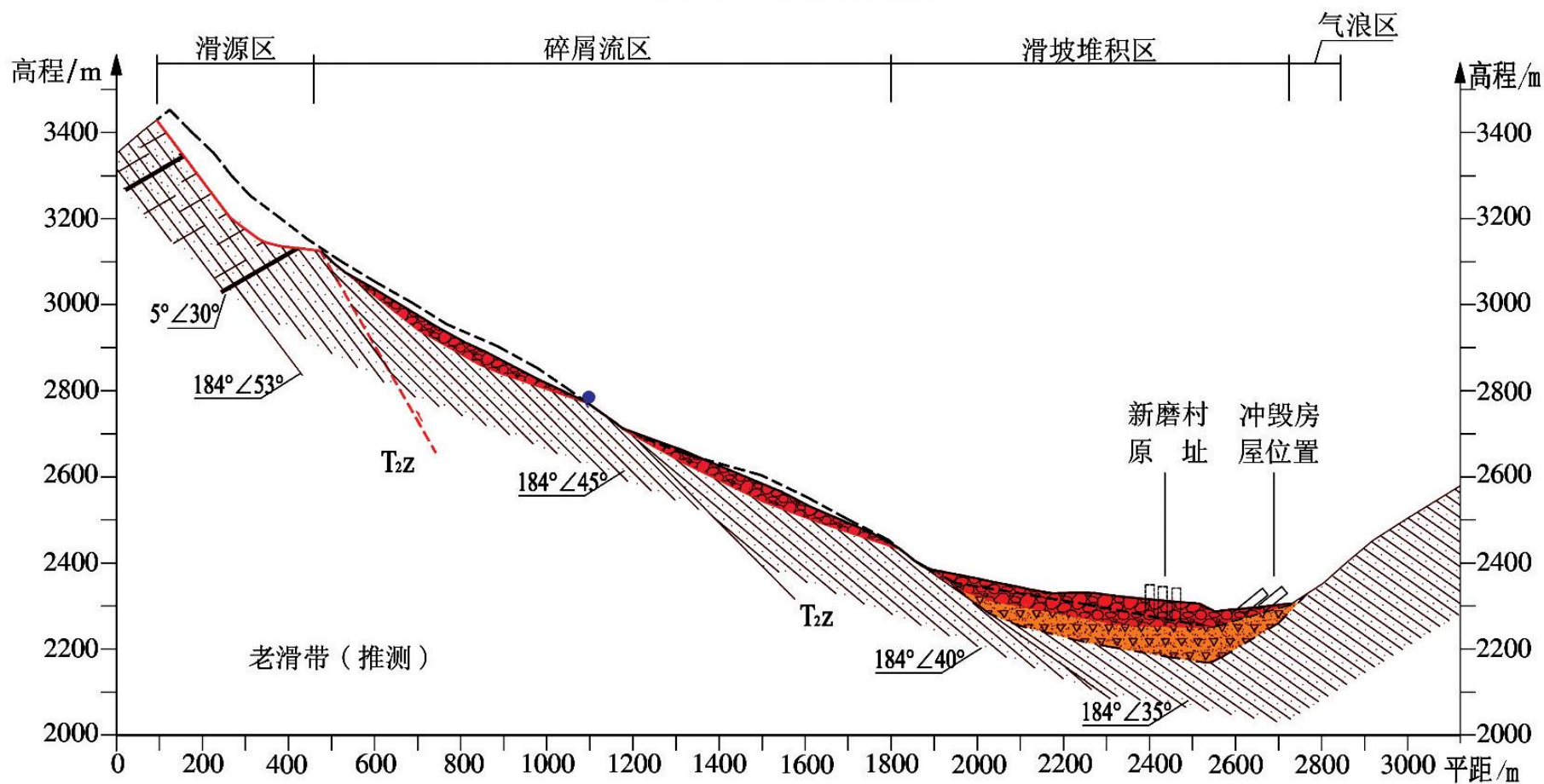
滑坡運動速度幾何剖面及分析

$$V = \sqrt{2g(H - f \times L)} =$$

$$\sqrt{2 \times 9.8 \times (1125 - \lg(23^\circ) \times 2650)} = 5.24 \text{ (m/s)}$$

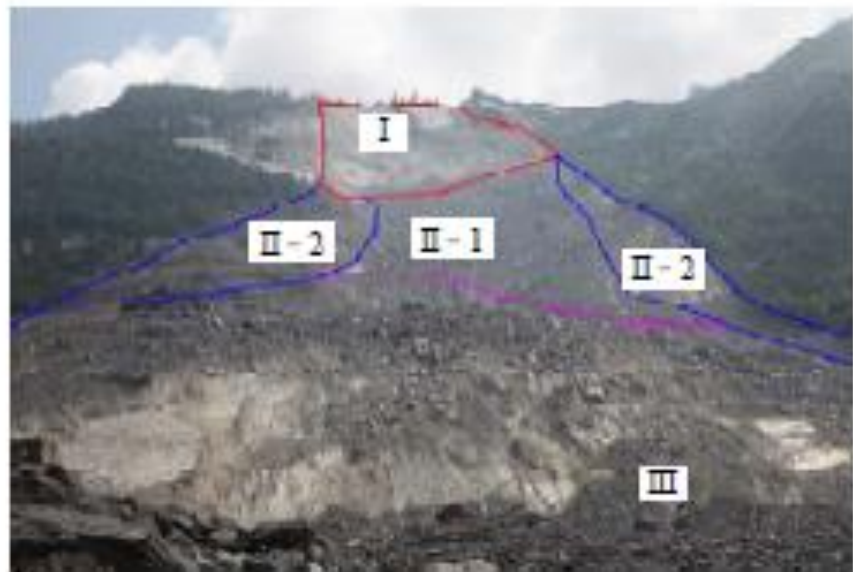


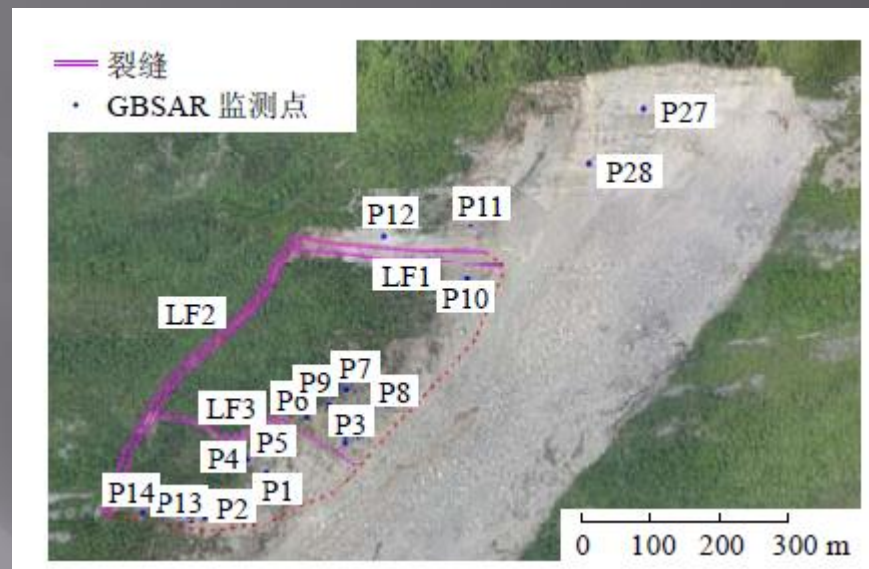
值得指出的是，Scheidegger(1973)公式未考慮滑坡的鏟刮、撞擊、液化、氣墊等動力學因素，僅初步刻畫了滑坡的運動變化過程。



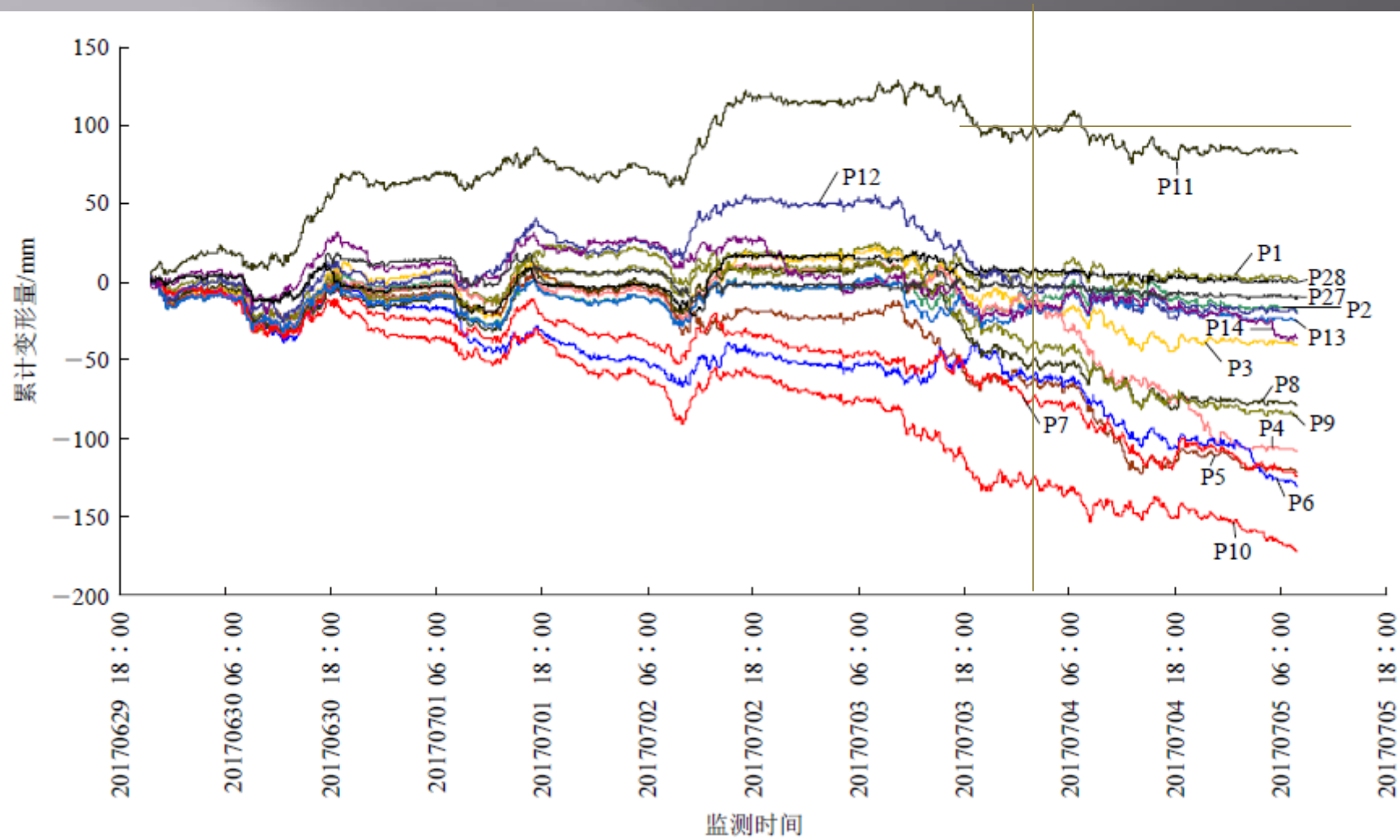
(b) 6月24日滑坡后







滑坡運動速度幾何剖面及計算結果西側變形體(VI)平面形態呈倒梯形，上寬250m、下寬100m、高450m、平均厚度58m，後緣存在一張力陷槽，走向與岩層走向一致，延伸長度250m，水平拉開寬度43m，垂向下錯20m。在其前方還存在另一條裂縫，延伸長達540m，拉開寬度近10m。



崩塌災害成因分析

▣ 有利於崩塌產生的地形條件

- 高位剪出提供了良好的臨空條件。
- 運動區為順直斜坡，為滑坡的高速遠端運動提供有利的地形條件

▣ 有利於滑坡產生的地質條件

- 變質砂岩夾板岩，岩性軟弱，力學強度低，且多存在軟弱結構面。
- 典型的中陡傾角順向斜坡。

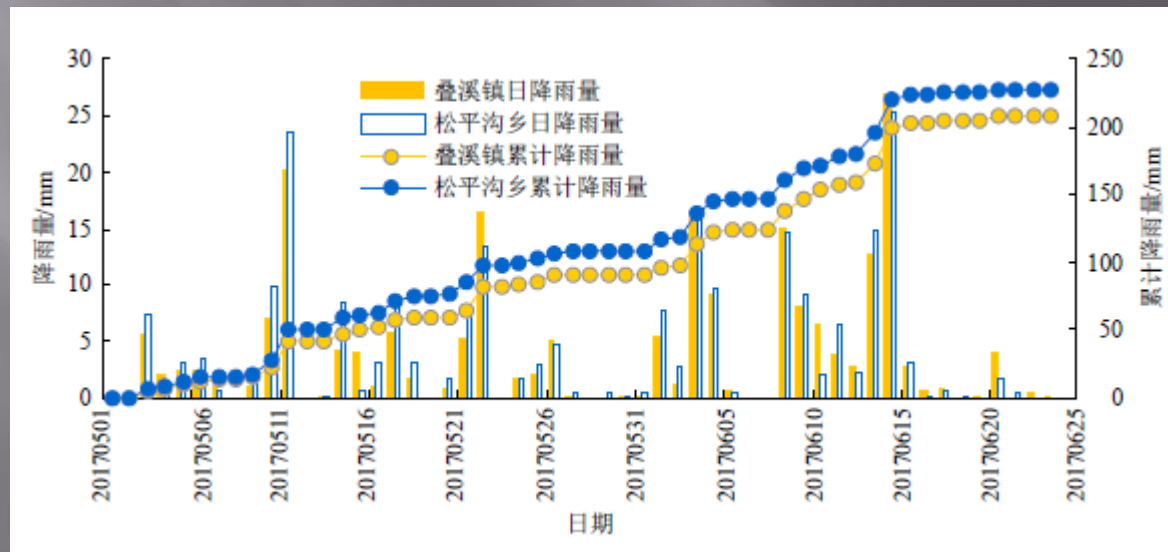
▣ 多次地震的震裂損傷

- 裂縫的存在為雨水的入滲，物理化學風化提供了重要的通道，致使其力學強度不斷降低。

崩塌災害成因分析

▣ 降雨誘發滑坡的發生

- 長期的重力作用使滑源區岩體進一步產生時效變形，裂縫不斷擴展貫通，滑坡變形逐漸形成，最終使滑源區岩體逐漸進入臨界失穩狀態。



致災性大規模崩塌

- ▣ 災害源區都地處高位且植被覆蓋嚴重，具有高度的隱蔽性。
- ▣ 災害發生地都遭受過強震的影響，山體震裂鬆動明顯。
- ▣ 滑坡發生前變形特徵不顯著，具有突發性。

建議

- ▣ 利用InSAR，LiDAR 和UAV 等新技術，開展高位和具有隱蔽性的滑坡隱患的早期識別和提前發現技術方法研究和應用示範。
- ▣ 整合相關資源，開展重點區域地質災害綜合防範、示範工作：地質災害防治直接涉及到國土、測繪、氣象、地震等多個部門，要真正做好地質災害隱患的早期識別、監測預警與應急處置等工作，必須要多部門資料共享。
- ▣ 地質災害長期效應與風險防控研究：國際上多個強震案例表明，處於山區的強烈地震其影響可持續數十上百年。

參考文獻

- ▣ 岩石力學與工程學報 第36 卷第 11 期 pp2612-2628
- ▣ 中國地質 第44 卷第5 期 pp827-841
- ▣ SCIENCE CHINA November 2017 Vol. 60 No. 11:1762 - 1766
- ▣ 國家災害防救科技中心災害防救電子報 第 146 期，2017/09