Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-30

921集集(台湾)地震三次調査隊報告 : 斜面崩壊事例について

沖村, 孝
吉田, 信之
鳥居, 宣之

(Citation)
921集集(台湾)地震調査合同報告書(一次・二次・三次調査隊):73-81

(Issue Date)
2000-03-31

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/80020011

921集集(台湾)地震三次調査隊報告
—斜面崩壊事例について—

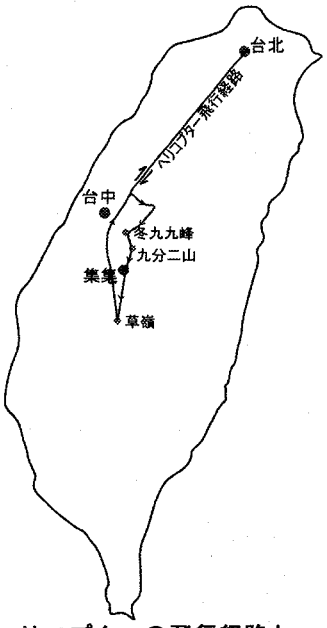
Report of The Third Reconnaissance Team
for 921 Chi-Chi (Taiwan) Earthquake - Study of Landslides -

沖村 孝[1)]
Takashi OKIMURA
吉田 信之[2)]
Nobuyuki YOSHIDA
鳥居 宣之[3)]
Nobuyuki TORII

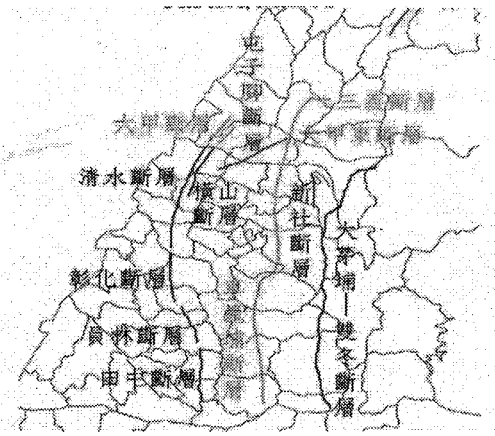
1．はじめに

1999年9月21日午後1時47分に発生した台湾地震により台湾中部の台中県と南投県を中心に甚大な被害（死者2,400人，負傷者8,700人，建物全半壊５万棟以上）が発生するとともに，台湾中部の山地では数多くの斜面崩壊や大規模な地すべり性崩壊が発生した．この地震は発生月日と震央の地名を用いて「921集集地震」と呼ばれている．台湾中央気象台の発表によると震源の位置は北緯23.85度・東経120.78度（南投県集集村付近），マグニチュード7.3，震源の深さは7.3Kmといわれている．

筆者らは主として，山地で発生している崩壊，地すべり性崩壊の現地調査を予定していたが，崩壊地に至る道路が壊滅していたため，地震直後では現地踏査が困難であった．地震発生後約２ヶ月で，道路状況が回復したとの情報を台湾大学の林俊全教授から頂いたため，本調査隊は，1999年12月6日から12日にかけて台湾を訪問し，台中市周辺と集集周辺の被害状況調査ならびに南投県およびその周辺で発生した斜面崩壊や大規模な地すべり性崩壊を対象に現地調査ならびにヘリコプターによる上空からの調査を行った．**図—1**にヘリコプター調査の経路を示す．**図—2**に，被害の大きかった地域の主な断層の位置を示す．図中，中央部の車籠埔断層が今回の地震を引き起こしたとされている断層である．



図—1 ヘリコプターの飛行経路と崩壊地の位置



図—2 被害地域の主な断層[1)]

台湾は[2]大陸側のユーラシアプレートと太平洋側のフィリピン海プレートの境界に位置する．フィリピン海プレートは，台湾付近においては平均して１年間に約７cmの割合で大陸側（北西方向）へ移動している．琉球列島付近を含む台湾より北側においては，フィリピン海プレートはユーラシアプレートの下に沈み込むように運動しているが，台湾とその南側においては反対にユーラシアプレートの上に乗り上げるように衝突している．そのため，ユーラシアプレート上の大陸棚を構成する第三紀上部の泥岩類がフィリピン海プレートによってかき集められてプレート境界に堆積し，東西方向の強い圧縮力を受けて逆断層運動によって急上昇することにより，台湾島が形成されている．この東西方向の断層運動により，台湾中央部では標高3000ｍを越える堆積岩の急峻な山地やケスタ地形が形成されている．この運動は，台湾中央部で段丘が形成されていることからも（特に石崗付近），現在も継続していると考えられる．

今回の地震により発生した斜面崩壊は，**写真－1，2（巻末）**に示すような急傾斜面での崩壊が多くみられ，また崩壊は斜面肩付近から発生している．兵庫県南部地震の際に発生した崩壊地の特徴[3]としては，1）急斜面での崩壊発生が多い，2）遷急点付近からの崩壊が多い，3）小規模な崩壊が多いなどが挙げられ，今回の地震による崩壊地も兵庫県南部地震と同様の地形条件の場所で発生していたといえる．これは過去の地震時の崩壊事例からみても崩壊の発生しやすい地形条件であった．また，崩壊の個数については，今回の地震により1800箇所以上の崩壊が発生したといわれており[4]，兵庫県南部地震での六甲山系における747箇所の崩壊[3]に比して，約2.5倍程度の崩壊数であった．

以下では，特に規模の大きかった３地区での斜面崩壊事例（草嶺・九分二山・九九峰）について報告する．それぞれの崩壊地の位置は**図－1**に既に示した．

２．草嶺地区の地すべり（写真－3～6（巻末）参照）

図－3 に草嶺地区の位置図を示す．本調査地では，現地調査とヘリコプターによる上空からの調査を行った．



図－3 草嶺地区の位置図[5]

草嶺地区は震央の南投県集集村から南南西約 30km の雲林県と嘉義県の県境に位置し，大規模な地すべり性崩壊が南向き斜面で発生している（**図－4，5（巻末）**参照）．また，県境を流れる清水渓が崩壊土砂によりせき止められ，天然ダムを形成している（**写真－3（巻末）**の左側の部分）．この崩壊により，５戸の家屋が約４km 下方に流され，死者 29 名となったが，奇跡的に７人が負傷はしたが生存することができた．

図－6（巻末）に示した崩壊前の地形図より，崩壊前の地形の特徴としては以下のことが挙げられる．1)等高線は平滑でなく乱れている，2)等高線間隔が他に比して大きい（つまり，傾斜が緩い），3)崩壊源付近は等高線間隔が平行している（直線型斜面），4)崩壊地内の等高線間隔が 550～600，650～700，900～1100ｍ付近では密になっており，その他は疎である．このことは，階段状に急傾斜があたかも段丘崖のように現れていたことを表している．これは，過去の崩壊により土砂が全て流出しきらずに，崩壊地内に残っていたことを示す，5)清水渓左岸の到交山も緩傾斜である．これは右岸側からの崩壊堆積物か左岸の崩壊跡地かのいずれかであると考えられる．

地質は，錦水層と呼ばれる堆積岩で砂岩と頁岩の互層からなり，その下部には桂竹林層と呼ばれる硬質の砂岩からなる．すべり面は，錦水層内の層理面に沿った一様な平面で，その傾斜角は**写真－4（巻末）**からもわかるように 12° と緩傾斜である．崩壊の規模は幅４km，面積 600ha，すべり土層の厚さは約 200ｍで，崩壊土量は１億２千万ｍ^3（東京ドーム 100 杯分）以上といわれている．日本における地震時の大規模な崩壊事例として，1984 年の長野西部地震で長野県王滝村の御岳くずれがあり，その際の崩壊土量が約 3600 万ｍ^{3}である[6]ことから，草嶺の地すべりは１オーダー大きい土量が崩壊している．

崩壊土砂は，前述したように斜面下部を流れていた清水渓を埋塞し，対岸に乗り上げて堆積し，その一部は再び崩壊源方向に崩れている．台湾大学の林俊全教授によると，調査当時では地すべり土塊の運動は継続中ということであった．

すべり面上には，**写真－6（巻末）**に示したような表面が白くなっている岩塊が数多く観察された．この白いものは塩であり，この辺りの地層は過去の地震運動に伴う急激な上昇により，脱塩作用がなされないまま堆積，上昇したものと推察された．

また，この地区では**表－1**に示すように過去の地震や豪雨の際にも 1 億m^3以上の大規模な崩壊が発生していることがわかる．前述したように，過去の歴史的事実としての崩壊は発生したものの全ての土砂が流出せずに約 12° 上の砂岩上に載っていたが，これが今回の地震によりほぼ流出したと思われる．

表－1 草嶺地区の地すべり記録[1)]

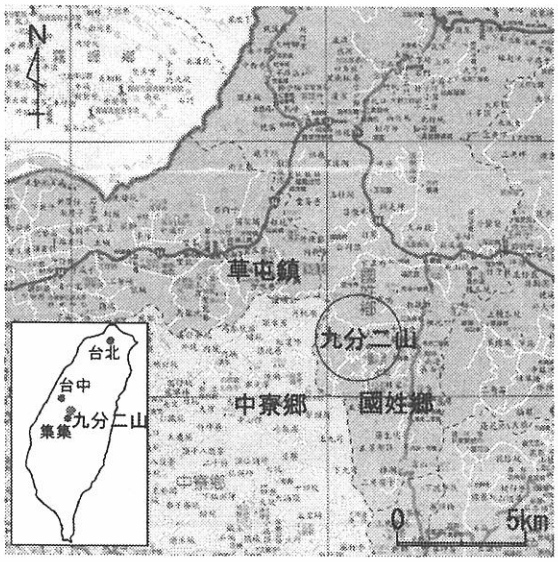
年	推定崩壊土量（m^3）	原因
1862	?	地震
1941	＞100,000,000	地震
1942	＞150,000,000	豪雨
1979	＞5,000,000	豪雨
1999（今回）	＞120,000,000	地震

3．九分二山の地すべり（**写真－7～9（巻末）**参照）

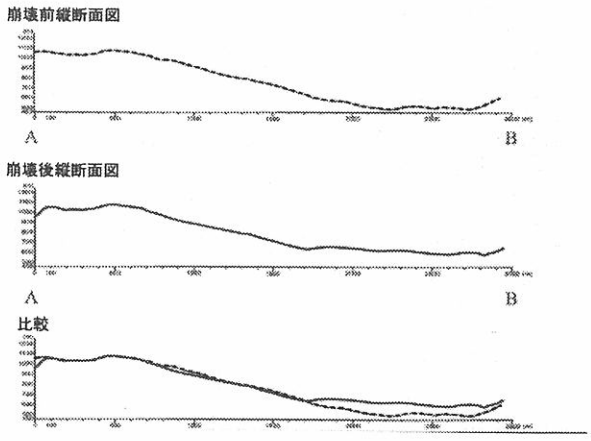
図－7に九分二山の位置図を示す．本調査地では，現地調査とヘリコプターによる上空からの調査を行った．

九分二山は震央の南投県集集村から北北東約 15km の國姓郷と中寮郷の郷境に位置し，大規模な地すべり性崩壊が南東向き斜面で発生している．この崩壊により，13 戸の家屋が下方に 1 ～ 2km 程度流され（**写真－10** 参照），22 名が生き埋めとなった．**写真－11** は，**写真－10** の家屋にあった時計である．地震発生時刻である 1 時 47 分で時計が止まっている．

図－8（巻末）に示した崩壊前の地形図より，崩壊前の地形の特徴としては以下のことが挙げられる．1) 等高線が直線かつ等間隔である（平面型斜面），2) 下流側は谷の発達がみられる．これは地質が異なるのか，過去の崩積土のいずれかであると考えられる（後者であれば，ここでも過去に崩壊が発生していた），3) 斜面上半部で一部谷がみられ，この谷を境に北と南ではわずかに北が南東側にズレている（過去の崩壊が？）．いずれにしても，九分二山においても過去に崩壊が起きていた可能性が高いと思われる．



図－7 九分二山の位置図[5)]

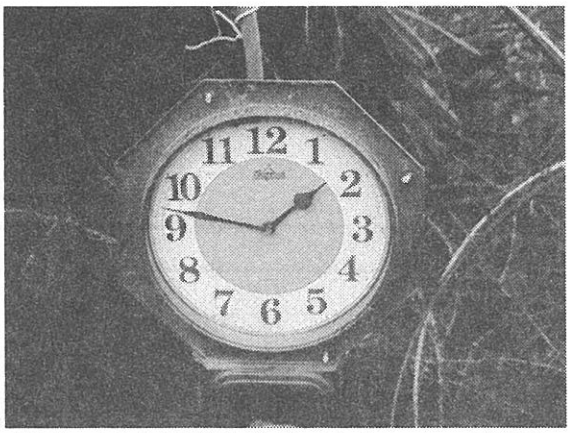


図－10 崩壊前後の縦断面図[1)]
（図－9 中の AB 断面）

地質は頁岩からなり，すべり面は頁岩の層理面に沿って形成されており草嶺と同様にきれいな平面であり，その傾斜角は 35° と草嶺に比して急勾配である（**図－10** 参照）．すべり土層の厚さは約 100m で，崩壊土砂量は 9 千万 m^3 と草嶺に比して少ない．崩壊土砂は，下流部に厚く堆積し（**図－10** 参照），斜面下部を流れていた韮菜湖渓をせき止めており，対策工として排水トンネルが計画されている．



写真－10 崩壊により流された家屋
（崩壊地下部の西端付近）

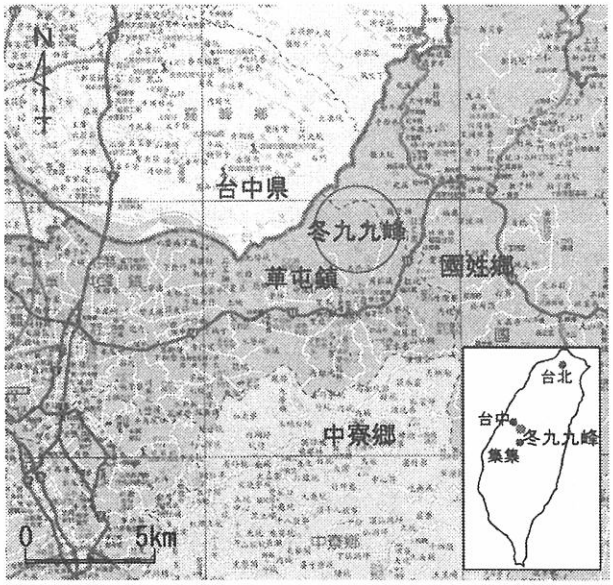


写真－11 地震発生時刻で止まっている時計

4．九九峰（火炎山）の斜面崩壊（**写真－12～13（巻末）** 参照）

図－11 に九九峰の位置図を示す．本調査地では，ヘリコプターによる上空からの調査のみを行った．九九峰は震央の南投県集集村から北約 20km の草屯鎮と國姓郷との境に位置する．

九九峰は，もともと堆積地が隆起し段丘状であった場所が水により激しく浸食され，谷密度の大きい，小さな峰からなる地形になったと思われる．**図－12** に示した地震前の地形図をみると，等高線が入り組んでおり小さな峰からなる地形であったことがうかがえる．



図－11 九九峰の位置図[5)]

ここでの崩壊は，上述した２つの地区の崩壊形態とは全く異なり，地震動により斜面頂部の表層が揺すられて崩落し，その結果，地肌がむき出しとなって，**写真－12** に示したような禿げ山となっている． また，**図－13** は地震前後のこの地区の SPOT 衛星画像である（植生で覆われている部分は赤色を示し，裸地や河川・湖沼等は青色を示す）．地震前では赤く見えていた部分が，地震後では青色に変わっており，地震により植生が失われて地肌がでている様子がよくわかる．このことは，地表面が植生で覆われていても剥離現象が起きることを表しており，この現象は限られた範囲内つまり砂礫堆積地のみ（周りの山は全く違う地形）で見られた現象であった．

5．まとめ

本報では，921 集集地震で発生した３つの斜面崩壊事例を報告した．草嶺地区と九分二山で発生した崩壊は，堆積岩の層理面をすべり面とした大規模な地すべり性崩壊であり，日本における過去の地震による崩壊事例に比してかなり大規模なものであった．一方，九九峰で発生した崩壊は，斜面頂部の表層の剥離崩落であった．また，台湾島の成因から中央部付近では急峻なケスタ地形がみられ，そのような場所では多くの斜面崩壊が発生していた．現在，台湾では地震後の降雨による崩壊地の拡大や堆積崩土の土石流といった２次

次災害が懸念されている．兵庫県南部地震でも地震後の降雨により六甲山系において数多くの斜面崩壊が発生し，筆者らは現在までにその発生メカニズムに関する研究を行ってきている．今後は，現在までに得られている研究成果を元に，地震時および地震後の降雨による崩壊地の日本と台湾の比較研究を行っていきたいと考えている．

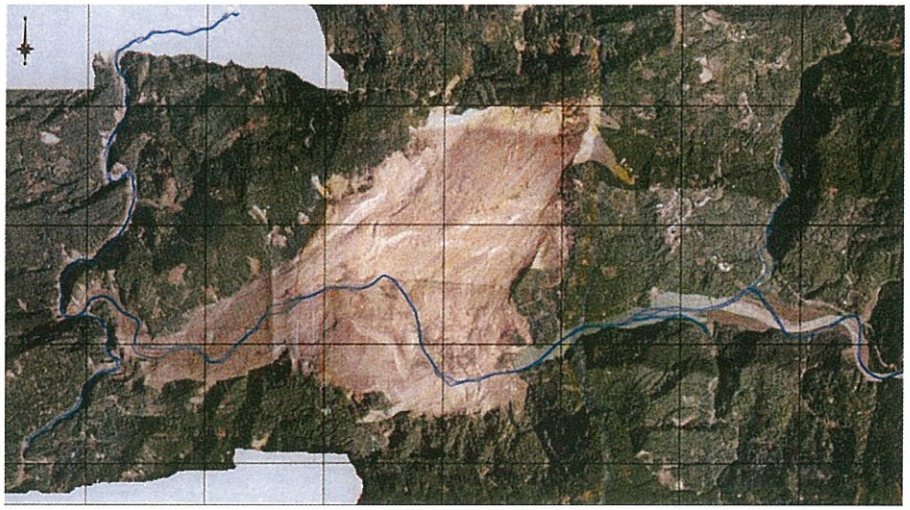
謝辞

本調査を遂行するにあたり，台湾大学の林俊全教授ならびに研究室の皆さまには現地での案内ならびに貴重なデータを頂いた．また，中央開発(株)の石川浩次氏には貴重な現場写真を提供していただいた．ここに記して謝意を表します．

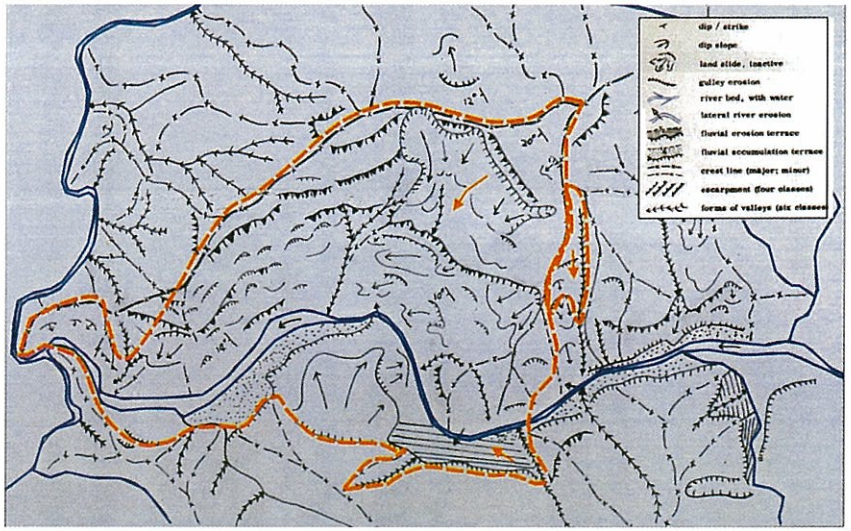
参考文献

1) 林俊全：集集大地震山崩問題初歩探討，中日九二一地震災害興防災第二次検討会，pp.47-61，1999.
2) 地盤工学会：台湾・集集地震調査報告書，1999 年トルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震調査報告書（CD-ROM），2000.
3) 沖村孝，鳥居宣之，伊井政司：兵庫県南部地震による山腹斜面崩壊の実態，土地造成工学研究所報告，13，pp.147-167，1995.
4) 牛頓出版：地震大解剖（深入版），牛頓別冊，215p.，1999.
5) 大興出版：南東県行政地図（15 万分の 1），1999.
6) 松澤勲監修：自然災害科学事典，築地書館，p.453，1988.

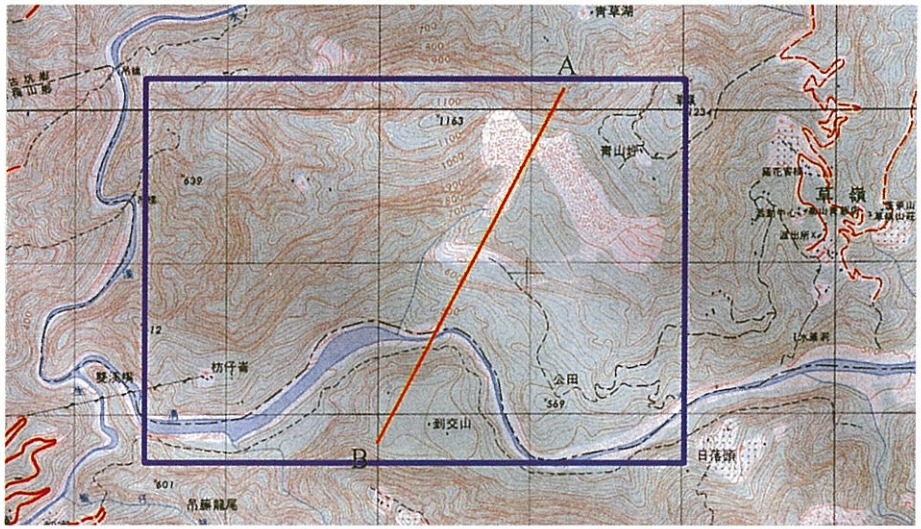
著者：1) 神戸大学都市安全研究センター 教授，2) 神戸大学都市安全研究センター 助教授，3) 神戸大学都市安全研究センター 助手



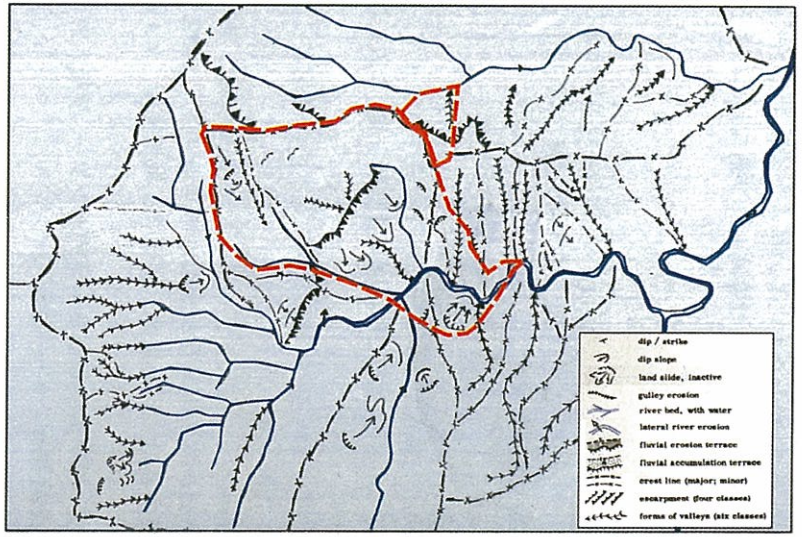
図－4 草嶺地区の空中写真[1)]



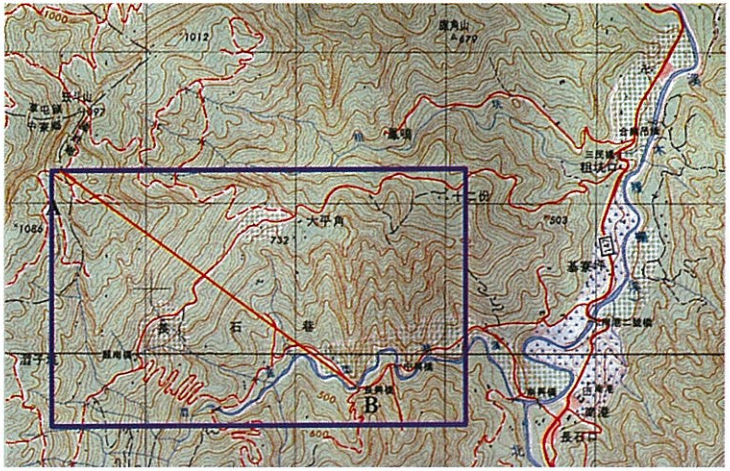
図－5 草嶺地区の崩壊形態[1)]



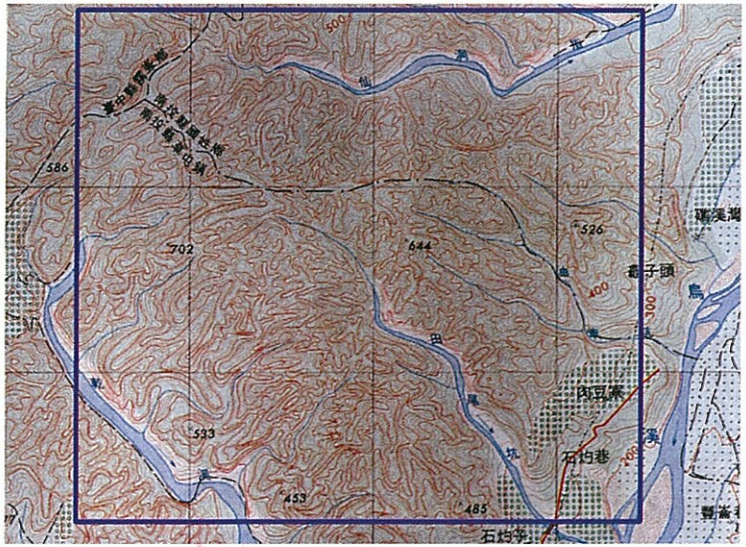
図－6 草嶺地区の崩壊前の地形図[1)]



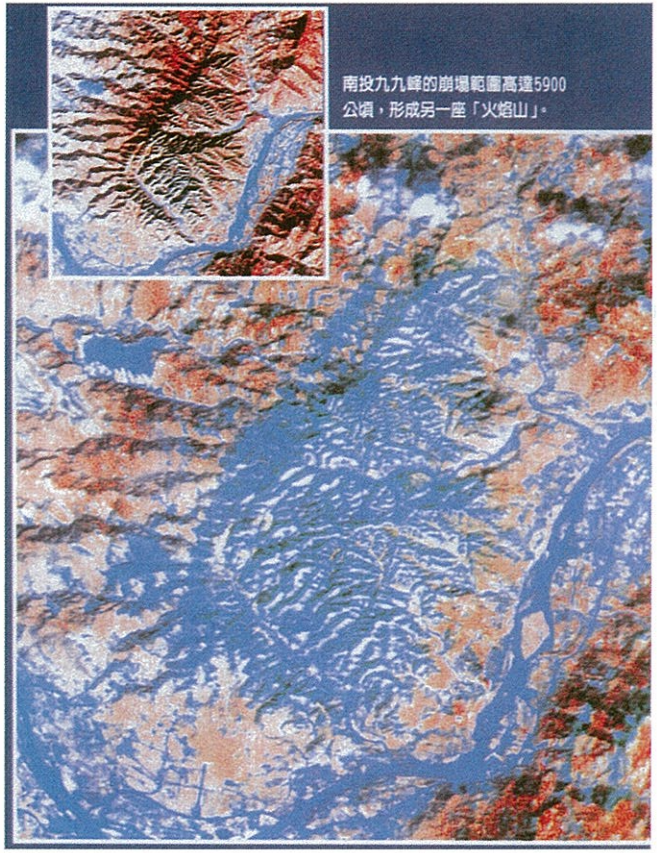
図－8 九分二山の崩壊形態[1)]



図－9 九分二山の崩壊前の地形図[1)]



図－12 九九峰の崩壊前の地形図[1)]



図－13 九九峰のの崩壊前（左上）と
崩壊後の SPOT 衛星画像[3)]



写真－1 斜面崩壊事例（台中県谷関付近）



写真－2 斜面崩壊事例（南投県大坪付近）



写真－3 草嶺地区の斜面崩壊（１）
（崩壊地の西側から撮影）



写真－4 草嶺地区の斜面崩壊（２）
（崩壊源付近）



写真－5 草嶺地区の斜面崩壊（３）（崩壊地中腹西端付近）



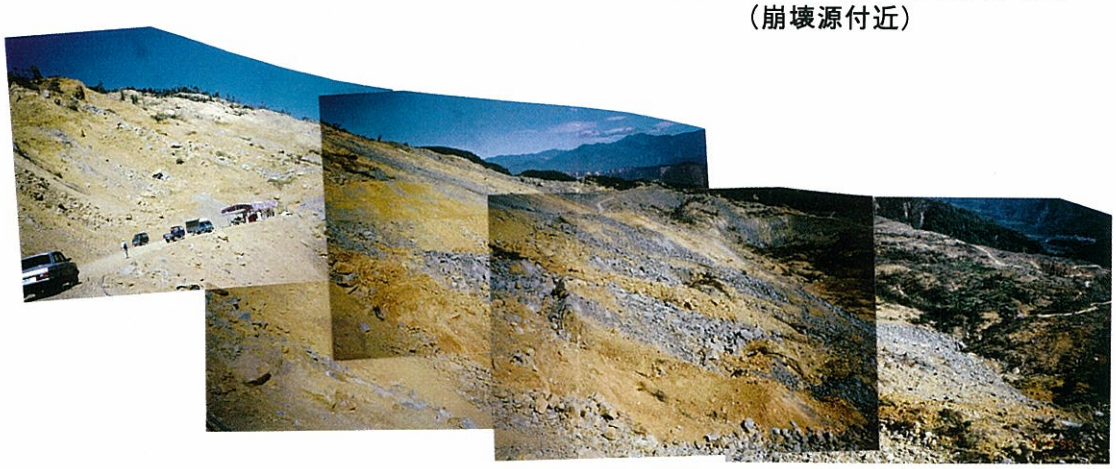
写真－6 すべり面状の岩塊



写真－7 九分二山の斜面崩壊（１）



写真－8 九分二山の斜面崩壊（２）
（崩壊源付近）



写真－9 九分二山の斜面崩壊（３）（中央開発(株)石川浩次氏撮影）



写真－12 九九峰の斜面崩壊（１）



写真－13 九九峰の斜面崩壊（２）（中央開発(株)石川浩次氏撮影）