

1. はじめに

現地時間で 1999 年 9 月 21 日 1 時 47 分に発生した集集地震は、都市災害もさることながら、山地においても 10^8m^3 の規模の大崩壊も含めて、数多くの崩壊を発生させた。この地震の表面波マグニチュードは 7.7、震央は台中市の南南東 30 数 km の南投県集集鎮付近にあり、震源の深さは約 7.5km である（劉・陳、1999）。この地震により新たに発生した崩壊は、工業技術研究院能資源研究所の衛星写真解析によれば、2,365 箇所、総面積 13,648ha に及ぶ（行政院農業委員会資料、1999.10）。山地災害は台湾中部の苗栗、台中、南投、雲林の諸県に集中しており、崩壊発生地域では崩壊の拡大と土石流の発生が懸念されている。

2. 山地災害集中域の地質と地形

台湾中部の山地災害集中域は、東を中央山脈、北を雪山山脈、南を阿里山山脈と玉山山脈によって囲まれた地域で、山頂高が 1000m 程度の西部山麓地質区にあたる（劉・陳、1999）。中央を大肚溪（烏溪）と濁水溪が東から西へ横切っている。この地域は、プレート運動による中央山脈の上昇とその侵食によって形成された、ほぼ水平構造をもつ新第三紀中新世晩期～鮮新世の地層を主とし、砂岩・頁岩の互層よりなる。

山頂部の多くは、さして広くない平坦面をもち、急崖によって切られており、崖面の多くは今回の地震によって崩壊を起こしている。これらの急崖は、侵食による従順化よりも上昇変動による地形変化がかなり大きかったことを示している。台湾中部の地質図によると、非常に多くの断層が南北方向を中心に縦横に入っており、この地域の急崖の形成が、プレート運動に関係した地殻変動の繰り返しによるものであることを示唆している。

3. 主要山地災害の概要

今回調査した山地災害は次の 4 箇所であるが、この他に頭下坑溪の地すべりがある（図-1 参照）。

1) 双冬九九峰の荒廃：九九峰は、大肚溪（烏溪）を挟んで双冬の対岸に広がる、東西 4～6km、南北 6～8km の広大な山地で、ケスタ地形を呈している。新第三紀鮮新世～第四紀更新世の低固結な礫層からなり、今回の地震以前はほぼ全域にわたって植生が被っていたとされている。山稜や尾根部など急傾斜部の礫が 50cm から 1m 程度剥離し、地形的に増幅された強烈な地震動により一斉に崩落したものとみられる。

2) 紅葉坪の地すべり：南投県中寮郷清水村にあり、地すべりの幅約 600m、長さ約 1500m、深さ 60～80m、上部に大きな滑落崖をもつ第一級の地すべりである。地すべりの脚部に猫羅溪支溪の樟平溪（川幅 20m 程度）が流れている。ここでは人的被害は無かったが、今後の河道閉塞が心配されている。

3) 九分二山の崩壊：南投県國姓郷南港村洪仔坑付近の南東向き斜面が、標高 925m 付近を頭部として岩盤すべりを起こしたものである。崩壊土砂は、山脚を横切る南港溪支流韭菜湖溪および洪仔坑溪を長さ約 1600m、厚さ約 200m で埋積し、2 箇所の堰止め湖を生じた。崩壊地の幅は約 1100m、長さ約 1200m、面積約 180ha、深さは頭部で 70～80m、下端で 30m 程度、崩壊土砂量は約 $9 \times 10^7\text{m}^3$ と推定されている。死者 19 名、行方不明 22 名。

4) 草嶺の崩壊：濁水溪支流の清水溪が西流から北流に向きを変える手前の雲林-嘉義の県境に発生した地すべりで、右岸雲林県側の南向き斜面（草嶺山(1234m)から西方にある 1163m のピークまでの尾根部直下の斜面）で発生、清水溪を約 5km 堰き止め、さらに対岸の嘉義県側に乗り上げた。崩壊の規模は、幅約 2000m、長さ約 1500m、深さ約 200m、面積約 700ha、崩壊土砂量 $1.2 \sim 3.5 \times 10^8\text{m}^3$ と推定されている。死者 29 名、行方不明 4 名。

地質は新第三紀中新世～鮮新世の砂岩頁岩の互層で、流れ盤を形成している。傾斜 12° のすべり面には明瞭なスリッケンサイドが見られる。すべり面粘土の X 線分析の結果、中量の石英と Fe 型緑泥石、少量の斜長石、少量～微量のモンモリロナイト（スメクタイト）、微量の雲母粘土鉱物が検出された。とくに、膨潤性粘土鉱物であるモンモリロナイトと緑泥石が共存していることは注目される。千木良(1995)のいう酸化フロントが形成されているとすれば、この部分で緑泥石のモンモリロナイト化が進行し、今回の崩壊の遠因になったとも考えられる。すべり面には塩を噴いたように白い粉が析出していたが、黄鉄鉱の酸化によって生じた石膏であろうか。

4. 崩壊に対する断層の影響

今回の地震に際して大きく活動した地震断層は、豊原より北では大甲溪に沿って東の石岡の方に曲がり込んでいるが、豊原より南では既存の活断層である車籠埔断層に沿って出現、豊原から潭子-大平-霧峰-草屯-名間-竹山-桶頭に至るほぼ南北に走る全長約 80km の断裂として出現した。最大変位量は水平方向で 8.5m、垂直方向で 9.8m、断層面の傾きは、集集付近で東下がり約 30° の典型的な低角逆断層である（劉・陳、1999）。菊地・他(1999)の震源解析によると、震源断層は東西圧縮による逆断層でほぼ南北走向、断層面は東に 27° で傾斜、震源付近で始まった破壊はおもに北へ向かって伝播し、その破壊継続時間は 28 秒、最大のアスペリティは震源か

ら約 40km ほど北にあり(豊原市付近か)、そこの最大すべり量は約 6 m と推定されている。

車籠埔断層の 10km ほど東に双冬-集集を通る大茅埔-双冬断層がある。この断層は震源のほぼ真上を通っており、今回の地震でこの断層も活動したという指摘もあるが(たとえば、Miyata, T. et al., 1999)、いずれにしても震源の真上のいわば割れた地盤であるので、地震動の増幅や地下水脈の変化などの影響を受けている可能性がある。この断層の近くに紅葉坪地すべりがある。大茅埔-双冬断層のさらに東 5km ほどのところに水裡坑断層があり、この断層の近くでは九分二山の崩壊が発生している。

ところで、車籠埔断層の南端でこれと交差している古坑断層の南東端で、624gal(EW)という大きな加速度が観測されている(CHY28)。その古坑断層の南東の延長線上に草嶺の崩壊がある。また、草嶺の崩壊の原因の一つとして、ほぼ 1 年前の 1998 年 7 月に起こった嘉義瑞里地震(M6.2)の影響が考えられる。この地震の震央は草嶺の南約 8km にあり、震源断層が梅山、觸口の両断層ではなく、奮起湖の西 2km に出現した逆断層であることから(經濟部中央地質調査所・他、1999)、この逆断層が鹿窟断層あるいは社後坪断層であるとすると、これらの断層は草嶺を通っており、1 年後の大崩壊の素因を形成した可能性も否定できない。

5. 崩壊に対する地震加速度の影響

等加速度線を示した図-1は、台湾気象台が中西部山麓域に展開している地震観測点 168 箇所のピーク加速度を 1.5km 間隔にグリッド化したデータより描いたものである。今回の地震による最大加速度は、魚池盆地の日月潭(TCU84)で記録された 989gal である。また、2 番目に大きい加速度は、南投市の南にある新街国民小学校(TCU129)で観測された 983gal(EW)で、ここを中心にして 800gal の等加速度線が名間・中寮付近にみられる。

山地災害は 400gal の等加速度線で囲まれた中西部山麓域に多く発生している。この範囲内に 3. で採り上げた地すべり・崩壊や 2. で触れた急崖の崩壊の多くが含まれている。ただ、今回の地震の最大加速度は兵庫県南部地震と同様大きい、最大速度が相対的に小さく、比較的高周波数成分(2 ~ 3Hz)が卓越していることが報告されている(杉戸・他、1999)。前述の TCU129 では、ピーク加速度 983gal(EW)に対する最大速度は 52 kine で、兵庫県南部地震の 1/2 強に過ぎない。このような速度や周波数構成の特徴が、崩壊の発生にどのように影響したのかについては今後の調査にまたなければならない。

本報告は、著者らが個別に行った調査の結果をまとめたものである。林の調査は、砂防学会・治水砂防協会および台湾行政院農業委員会を通じて行われた。また、川邊の調査は、京大・奥西一夫教授、神戸大・沖村 孝教授および台湾大地理系・林 俊全教授の尽力のもとで行われた。以上の機関および方々に深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 千木良雅弘(1995)風化と崩壊、近未来社、2) 經濟部中央地質調査所・他(1999)1998年嘉義瑞里地震圖説明書、
- 3) 菊地正幸・他(1999)日本地震学会講演予稿集、No.2、A01、4) 劉聰桂・陳文山(1999)変動的な大地— 921 集集大地震、龍騰文化事業公司、5) Miyata, T. et al.(1999)第9回環境地質学シンポジウム論文集、47-52、日本地質学会環境地質研究委員会、6) 杉戸真太・他(1999)自然災害総合研究班中部地区シンポジウム発表論文集、25-34

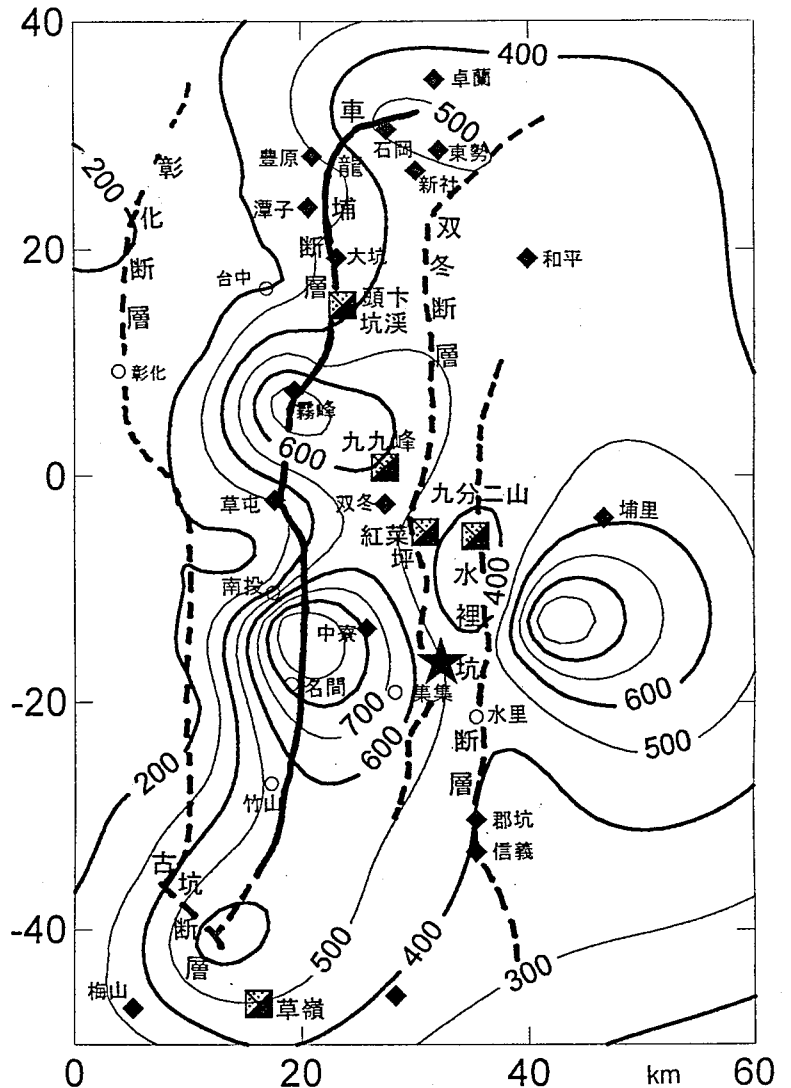


図-1. 等加速度線 (EW 成分、単位: gal)
(★: 震央、○: 主要都市、◆: 山地災害、■: 主要崩壊)