

1. はじめに

1999年9月21日の台湾921集集大地震で発生した土砂量 $10^7 \sim 10^8 \text{m}^3$ の大規模崩壊—草嶺および九份二山—は、いずれも新第三紀の堆積岩地帯で発生している。日本では、この種の大規模崩壊、例えば磐梯山、雲仙・眉山、立山蔭崩れ、稗田山などは、火山活動に伴って発生したか、あるいは火山体という特殊な地質条件下で発生しており、古第三紀の堆積岩で発生した大谷崩れ(草嶺とほとんど同規模)は例外と言ってもいいほどである。本稿では、地震動の特徴と大規模崩壊、とくに草嶺の崩壊の発生要因について検討する。

2. 加速度分布の特徴と草嶺における地震動

図-1は、中央気象台の強震観測網で観測された約400箇所のピーク加速度^{*}から描かれた等加速度曲線である。989gal(TCU84, EW)を記録した魚池盆地と983gal(TCU129, EW)を記録した名間・中寮付近、および842gal(CHY080, NS)を記録した草嶺付近に等加速度線のピークがみられる。ただし、震動の卓越方向が異なり、前2者のピークではE-W方向、後者のピークではN-S方向の震動が卓越している。九份二山崩壊はE-W方向、草嶺崩壊はN-S方向の震動が卓越した地域で発生しており、この震動卓越方向と崩壊斜面の方向が一致している。

草嶺崩壊から至近距離の観測点(CHY080)で記録された地震動のピーク加速度は、NS: 842gal, EW: 792gal, UD: 716galである。観測点の位置は $23^\circ 35' 50'' \text{N}$, $120^\circ 40' 40'' \text{E}$ 、標高840m、震央距離32.17km、経緯度で判断して、草嶺山(堀空山、1,234m)のピークの北500m程度のところである。震央距離に比して加速度が大きいのは、車籠埔断層の端に近く、上盤側に位置していたことも一因であろう。上下動が比較的大きいことが注目される。

図-2に、CHY080におけるN-S方向の加速度波形^{*}と、主要動を含む約10秒間のフーリエ・スペクトルを示す。図より卓越周波数は約1.2Hz(0.83秒)である。1/4波長則が成り立つとして、草嶺の平均崩壊深を50mとすると、表層のS波速度が240m/s程度のときに、この地震動による崩壊斜面の共振が起こったことになる。

^{*} Lee et al. (1999) CWB Free-Field Strong-Motion Data from the 921 Chi-Chi Earthquake: Vol. 1. Digital Acceleration Files on CD-ROM, Pre-Publication Version, CWB, Taiwan

3. 草嶺崩壊の概要と発生要因

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、雲林—嘉義県境の右岸雲林県側南斜面で発生し、清水溪を約5km堰き止め、さらに対岸の嘉義県側に載り上げた。崩壊規模は、幅約2km、長さ約1.5km、最大崩壊深約200m、崩壊土砂量 $1.2\text{--}3.5 \times 10^8 \text{m}^3$ と推定されている。地質は新第三紀中新世—鮮新世の砂岩頁岩互層である。図-3の上図は草嶺の崩壊前後の横断図である。崩壊上部のすべり面が円弧状を成していること、以前の崩壊によるすべり面も同様の円弧状を成していたことがわかる。同図下図は、生毛樹溪合流点より上流の清水溪における堆積前後の最低谷底線を示している。最大堆積深は約100mである。

以下に、斜面の安定性にマイナスの影響を及ぼしたであろう条件あるいは現象をいくつか挙げる。それぞれがどの程度有意に影響したのか、崩壊斜面だけに特有のものなのか、などについてはさらに検討を要する。

- 1) 斜面の傾斜方向に近い南北方向の加速度が卓越した。
- 2) 上下動が大きく、地盤には剪断応力だけでなく、大きな引張応力が発生した。
- 3) 草嶺背斜西翼の地層は南西に約 $10\text{--}15^\circ$ で緩やかに傾斜し、崩壊の発生した草嶺山南面では流れ盤を形成。
- 4) 砂岩と頁岩が大きな物性コントラストをもつため、層理面に沿ってすべり面が形成されやすい。
- 5) 大崩壊を繰り返すたびに、上載荷重の急激な除去→応力開放による岩盤の劣化→地形と平行な割れ目の形成・拡張、という過程が進行している。
- 6) 前項の現象は、クリープによる岩盤の緩みを助長し、徐々に座屈して地表に向かって膨れ出す。
- 7) 岩石—水反応により塩分が析出すると、析出時の応力(結晶圧)で岩盤が破壊される。5)の割れ目の形成・拡張は、塩類を溶解した水の浸入を助長する。草嶺では芒硝(Na_2SO_4)、九份二山では方解石(CaCO_3)の析出がみられた。また、崩壊地内の湧水はアルカリ性で、高い各種イオン濃度と電気伝導度を有している。
- 8) 5)の割れ目の形成・拡張に伴って、珪酸塩鉱物と地下水の接触面積が増加すると H^+ が発生し、この H^+ と鉱物間の加水分解により粘土鉱物が生成される。草嶺のすべり面粘土からは多量の石英が検出されている。
- 9) 砂岩には節理が発達、一方頁岩には比較的少ない。節理を通り頁岩層に達した地表水は、砂岩—頁岩間の層理面を地下水として流下する。草嶺山は地下水が豊富で、崩壊前には大量の湧水が生活用水として使われていた。
- 10) 6)の岩盤クリープによる引張応力場は、地盤内に亀裂を発達させ、山体上部に線状凹地を生じさせる。このような地盤は透水性が良いため地下水が浸透しやすい。今回の崩壊では、滑動による引張応力で、尾根に沿って長さ約1.5km、幅約20mのグラーベン状凹地が形成された。
- 11) 20年前(1979年)の降雨による $10^6 \sim 10^7 \text{m}^3$ の規模の脚部崩壊で、斜面上部が徐々に不安定化していた。
- 12) 約1年前の1998年7月に起こった嘉義瑞里地震(M6.2)の影響(震央は草嶺の南約8km)。

本調査は、1999年度は砂防学会・治水砂防協会より台湾行政院農業委員会と成功大学防災研究中心を通じて行われた。また、2000年度は文部省科学研究費(基盤(B)No. 12575021)により、上記機関の協力のもとで行われた。上記関係機関および科研費分担者各位に謝意を表す。

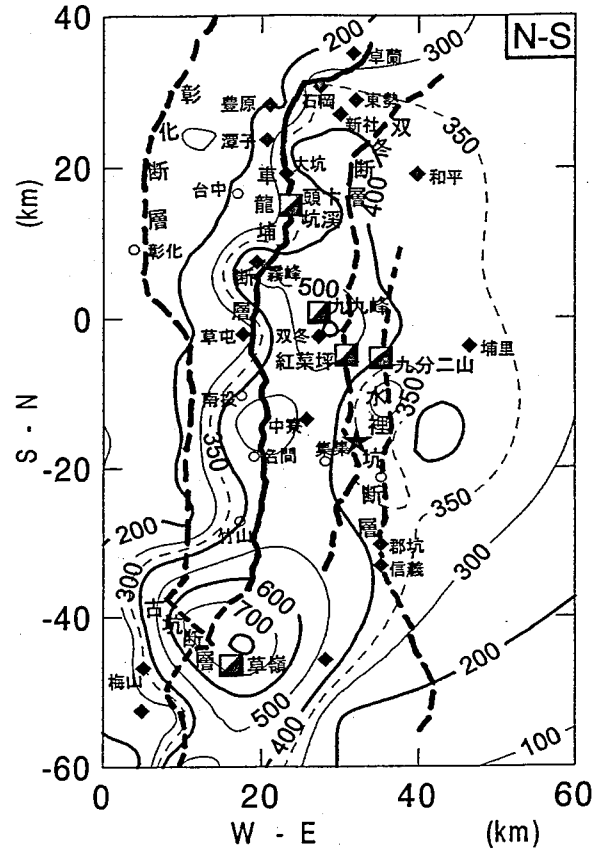
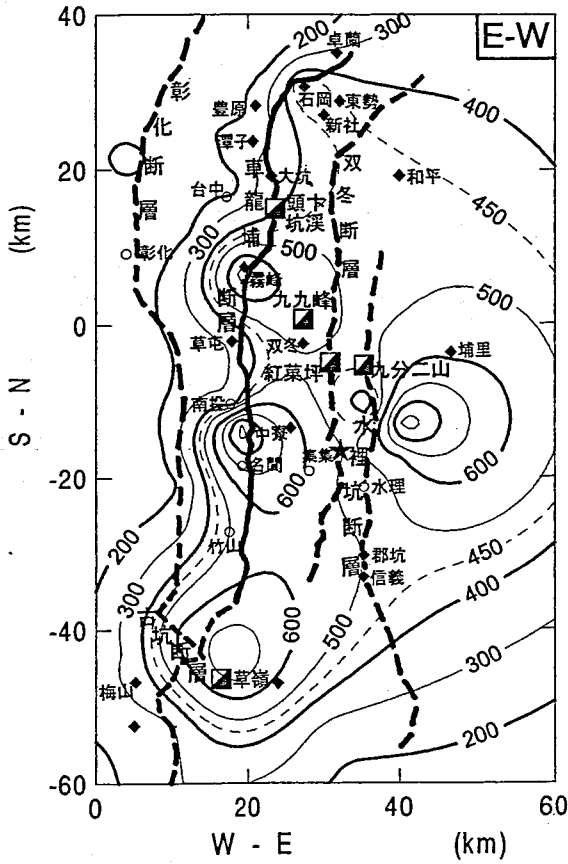


図-1. 等加速度曲線と主要崩壊(□)

(単位:gal,★:震央,O:主要都市,◆:山地災害)

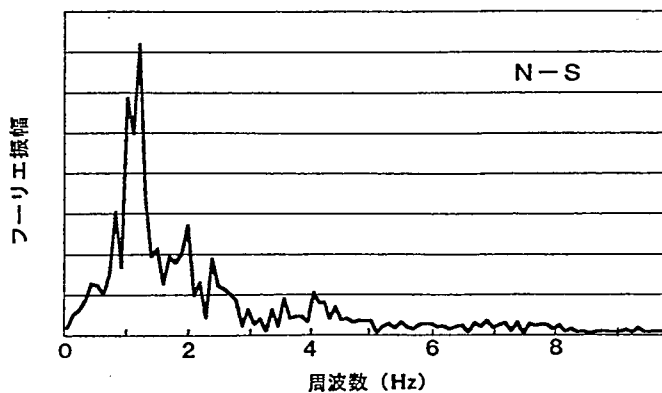
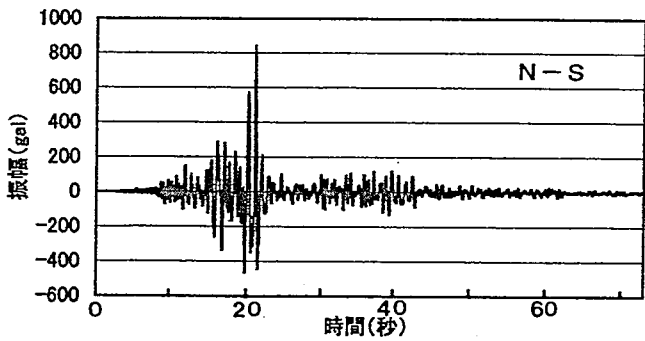


図-2. 草嶺付近における加速度波形とスペクトル

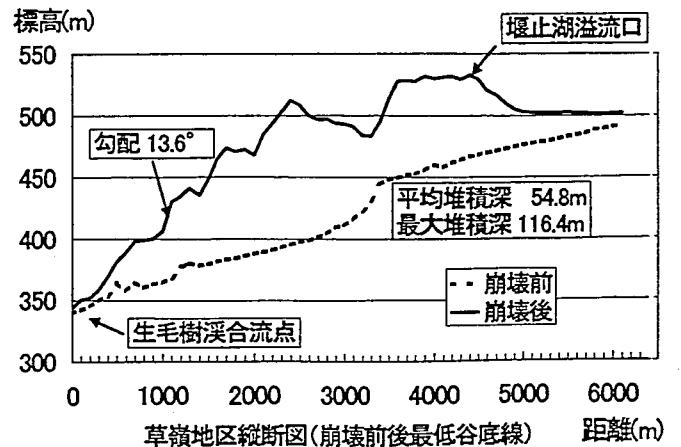
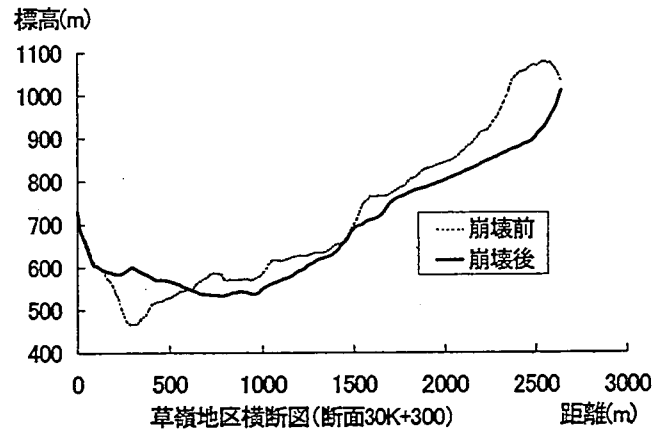


図-3. 草嶺崩壊前後の縦横断面図