

台湾地震災害

高橋 治郎

(愛媛大学教育学部地学教室)

(平成12年6月1日受理)

The Taiwan Earthquake Disaster

Jiro TAKAHASHI

*Department of Geology, Faculty of Education,
Ehime University, Matsuyama, Ehime 790-8577 Japan*

(Received June 1, 2000)

Abstract

The Taiwan Earthquake of September 21, 1999 occurred near the center of Taiwan, about 150km south of Taipei, caused loss of more than 2,300 lives and injury of more than 8,700 people. This earthquake was estimated at a magnitude(Mw) of 7.6. It produced surface faulting extending up to 80km with a maximum vertical displacement ca. 8m. This fault, which is a NNE-SSW trending thrust fault, is called the Chelungpu Fault. The east side of Chelungpu Fault was elevated. On and near the Chelungpu Fault, many buildings crashed to the ground, bridges collapsed and landslides on unstable slopes occurred. This is a report of the site investigation. The field investigation was carried out from 19 to 23 November, 1999.

Key words : Taiwan Earthquake, Chelungpu Fault, active fault, earthquake disaster, landslide

キーワード : 台湾地震, 車籠埔断層, 活断層, 地震災害, 地すべり

はじめに

1999年9月21日午前1時47分(台湾現地時間)にマグニチュード(Mw)7.6の地震が台湾中部(南投縣集集鎮, 震央: 東経120.81度, 北緯23.85度)で発生した。この地震は, 台湾中部に位置する台中市の東側を南南西-北北東方向に伸びる車籠埔断層が約80km活動したことによって発生したもので, 台湾地震あるいは921集集地震と呼ばれ, 死者約2,300人, 負傷者約8,700人という大災害を引き起こした。

土木学会四国支部の「あんぜん四国検討委員会」と四

国地域自然災害研究推進会議とが合同でこの台湾地震の調査を行うこととし, 愛媛大学工学部八木則男教授を団長に同学部森伸一郎助教授を幹事に大学から4名, 電力から1名, 建設会社から1名, コンサルタントから5名の計11名からなる調査団が1999年11月19日から23日までの5日間現地に赴いた。この調査結果をまとめた報告書は「1999年台湾集集地震被害調査報告書 四国の土木技術者が見た台湾集集地震」(社土木学会四国支部あんぜん四国検討委員会・四国地域自然災害研究推進会議, 2000)¹⁾として印刷公表されている。本小論は, 活断層としての車籠埔断層と台湾地震によって引き起こされた

斜面災害についての報告で、これらを基に地震防災・減災を考えてゆく。

本研究を行うにあたり八木則男教授、森伸一郎助教授をはじめ調査団のメンバー各位には現地ではもとより、帰国後も何かとご教示いただいた。記して心よりお礼申し上げます。次第である。

地 質

台湾はフィリピン海の西北端に位置し、中国大陸とは台湾海峡をへだてて、太平洋を縁取る島弧列の一部を構成している。台湾島の北部では東側のフィリピン海・プレートが北西方向にユーラシア・プレートの下に年間 $7 \pm 4 \text{ cm}$ の速度で潜り込み、一方、台湾南部は逆に西側のユーラシア・プレートがフィリピン海・プレートの下に沈み込んでいる（図-1）。二つのプレートのぶつかり合う位置に台湾があるため、台湾は我が国と同じように地震が多く、また地殻変動の激しい場所でもある。したがって、 $36,000 \text{ km}^2$ という九州 ($36,721 \text{ km}^2$) より小さい島ではあるが、 $3,997 \text{ m}$ の玉山（新高山）など非火山性の $3,000 \text{ m}$ 級の高山が多数あり、一大脊梁山脈を有している（国立天文台編、1999）²⁾。

この $3,000 \text{ m}$ – $4,000 \text{ m}$ の山脈（中央山脈）が島の中央東側をほぼ南南西–北北東方向に発達しているため、台湾島は南南西–北北東方向に細長く、東側が高く西側の低い地形配置になっている。これらの地形配置は、地質と地質構造を反映しており、西から東へ、西部帯、スレート帯、片岩帯（大南澳帯）及び東部帯（海岸山脈帯）の4帯に区分される。すなわち、西部帯は台湾西部

の低地帯に、スレート帯と片岩帯（大南澳帯）は中央山脈に、そして東部帯（海岸山脈帯）は海岸山脈にそれぞれ対応している。なお、中央山脈と海岸山脈との間には南南西–北北東方向に伸びる台東縦谷がある。この台東縦谷は、前述したフィリピン海・プレートとユーラシア・プレートとのプレート境界と考えられている（Ho, 1988）³⁾。

台湾島の地質は、変成岩類の基盤岩とこれを不整合に覆う新生代の堆積岩を主とし、火成岩類は少ない。変成岩類は、その変成度の低い場所から二畳紀を示すフズリナ（紡錘虫）化石が産出することや放射性同位体による年代測定から、源岩の堆積した時代が後期古生代から前期中生代と考えられている（Ho, 1988）³⁾。変成岩類の主要なものは片岩類で、緑色片岩や黒色片岩、珪質片岩、石灰質片岩などより成り、また、これらの源岩は塩基性岩、砂岩、シルト岩、泥岩（頁岩）、石灰岩などである。

新生代の堆積物としては、砂岩やシルト岩、泥岩（頁岩）、礫岩などがあり、これら新生代の堆積物の厚さが $10,000 \text{ m}$ を超える場所もある。更新世には石灰岩の堆積もあった。未固結堆積物としては、礫や砂、泥（粘土）の各層があり、これらの一部には赤色化した部分もある。

調査地域は台湾のほぼ中部西側にあり、台中縣と南投縣、雲林縣にまたがる。1999年9月21日に発生した地震は、前述したように車籠埔断層（Chelungpu Fault）が活動したことによって発生したものである。本断層は、ほぼ南南西–北北東に延びる台湾の脊梁山脈である中央山脈の西側（ここに加裡山脈がある）山裾を南南西–北北東に走り、西側の沖積層より成る台中盆地側に中央山脈側が衝上している。地形的には断層の位置が不明瞭で、このたび現れた断層の位置と地震以前の地形遷急点とは大きくずれていることが多い。このことは、現地で「以前は平らだったのに地震で 7 m 余りの高度差ができた」と言う話と一致するし、確かに同一平面上にあったと思われる家屋や道路、河道に高度差が生じ、破壊されている。山地側を観察すると少なくとも3段の河岸段丘が認められ、間欠的に東の山地側が上昇していると判断される。こうした断層活動による間欠的な山地上昇とプレートの衝突による褶曲作用による山地上昇とが相まって、鮮新世以降大量の碎屑物が中央山脈の西側に供給され、碎屑物の堆積物の場は時代とともに西へ西へと移動し、西部帯はその面積を広げてゆき今日の低地帯を形成したと考えられている

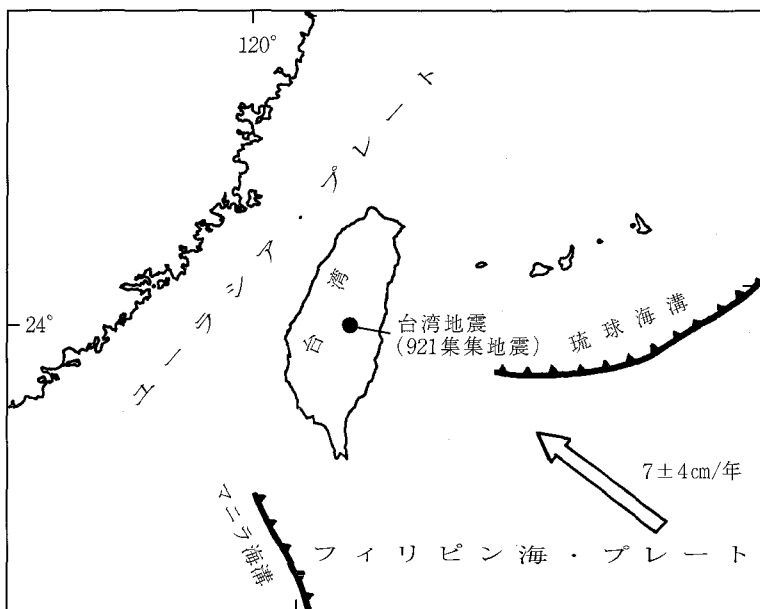


図-1 台湾（921集集）地震の震央とプレート

る (Ho, 1988)³⁾.

車籠埔断層の下盤である台中盆地側は第三紀層の上に第四紀層の堆積した場所で、その上部を構成する沖積層は礫、砂、粘土より成り、一方、上盤側は丘陵地を構成し、鮮新世—更新世に堆積したと考えられる砂層やシルト層、礫層および砂岩や泥岩が分布する。それら堆積物の固結度および締まりは良い。

東側にそびえる中央山脈の上昇量と侵食量が四国のそれらより数倍大きく、またその結果、前述したように台湾西部の低地や台中盆地等に供給される碎屑物の量が膨大なものになっている。侵食されやすい岩石や堆積物ということと、降雨量が台北で2161.3mm、恒春では2055.5mmある (国立天文台編, 1999)²⁾こと、さらに活動周期の長い断層であったことなどから、本地域では、今回の地震以前には車籠埔断層の位置が断層崖が後退しているなどして不明瞭だったものと判断される。

活断層

台湾における活断層は、図-2に示されるように主として中央山脈の山麓に沿って形成されており、それらの

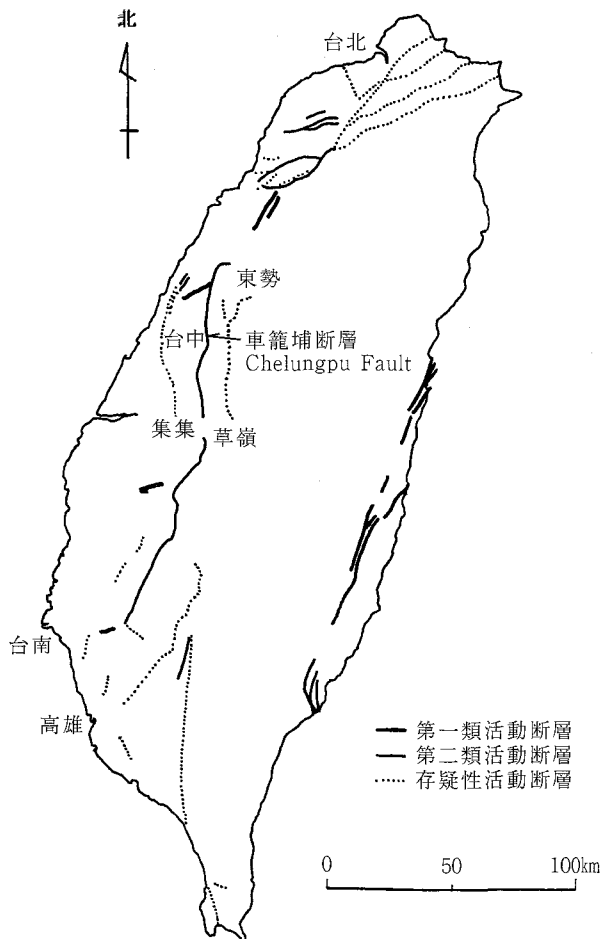


図-2 台湾地震を引き起こした車籠埔断層および台湾の活断層

走向は北北東—南南西方向である (中華民国經濟部, 1978)⁴⁾, 劉, 1999⁵⁾). 歴史記録が少ないこともあって地震と既存の活断層との関係は不明である。台湾においては、活断層を1万年以内に活動した第一類活動断層, 10万年以内に活動した第二類活動断層, そして (地質学的に) 久しく活動しておらずその存在すら疑問のある活断層である存疑性活動断層の3つに分類されている (劉, 1999)⁵⁾. このたび車籠埔断層が活動し大地震が発生したが、この車籠埔断層は第二類活動断層とされ、あまり注意されていなかった。したがって、この断層上や近くに学校や民家などの建物が、また断層をまたぐ橋梁などが多数あったため、断層に沿う地帯が壊滅的被害を受けた。

「50万分の1台湾地体構造図」(中華民国經濟部, 1978)⁴⁾によれば、北北東—南南西走向の断層の多くは、東側が西側に衝上するもので、これらの断層に挟まれる北西—南東走向の断層は右横ずれ、また南—北走向のものは左横ずれ断層として図示されている。しかし、經濟部中央地質調査所の作成した「台湾断層帯分布図」(劉, 1999)⁵⁾には前述の横ずれを伴う北西—南東走向や南—北走向の断層は示されていない。

集集地震によって地表に出現した車籠埔断層は、苗栗縣卓蘭付近から西北西へ追跡され、石岡ダム付近からその走向を南南西—北北東に転じ、豊原市、台中市、南投市の東側を南下し、南投縣縫頭村付近 (草嶺の北) までの約80kmにわたって確認されている。これまで図示されていた車籠埔断層 (中華民国經濟部, 1978)⁴⁾は、石岡ダムの北約15km (南投縣三義) 付近まで延び、ここから東へ大きく屈曲するように描かれていたが、今回の地震では上述したように石岡ダム付近で東方へ走向を転じている。

車籠埔断層は30—40度南傾斜の衝上断層で、断層の背後上盤側に半波長30—60mの背斜を有している。垂直変位量は大きい所で7—8mあり、低断層崖 (写真-1, 2, 3, 4) や撓曲崖を形成している。

崩壊するなどした家屋や石岡ダム、橋梁、道路等は断層上あるいは断層に沿った幅50—60mの間に集中している。断層から遠く離れた場所で崩壊あるいは傾いた建物は壁の少ない、柱の細い建物、基礎工事の良くないものに限られていた。要するに大多数は、断層線上と前述した断層背後の背斜の翼部に位置していた家屋等が崩壊したり傾く被害を受けている。背斜の冠部に立つ建物の中には軽微な被害ですんでいるものもある。断層に沿って、まさに帯状に構築物が破壊しており、地震動と言うより断層変位で破壊されたものが主だとの感を強く持った。

我が国の活断層の活動様式は、東北日本では台湾と同じ衝上断層ないしは逆断層型、西南日本では横ずれ断層

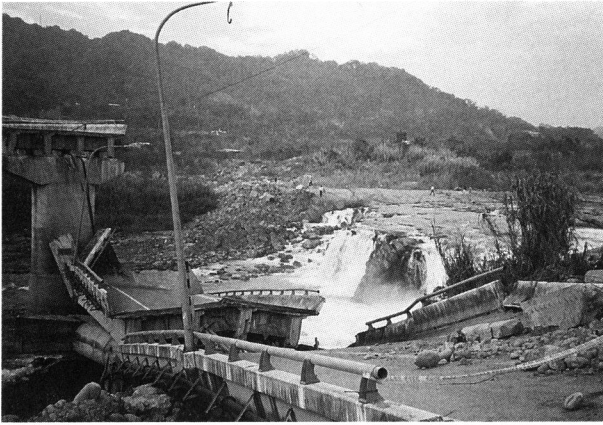


写真-1 豊原市北西の埤豊橋の落橋と断層変位によってできた滝



写真-2 台中縣霧嶺鄉綜合グランドの変位

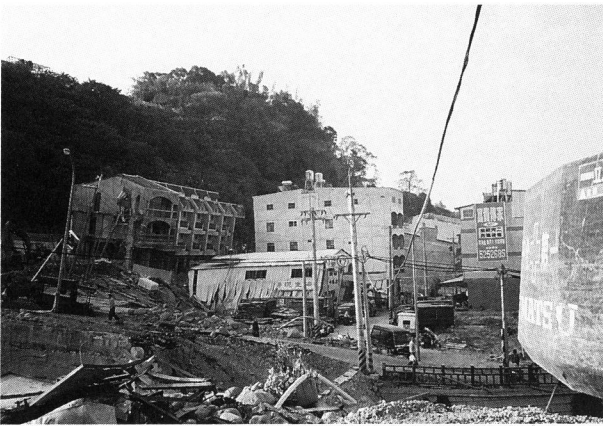


写真-3 豊原市東部の断層崖付近の変位

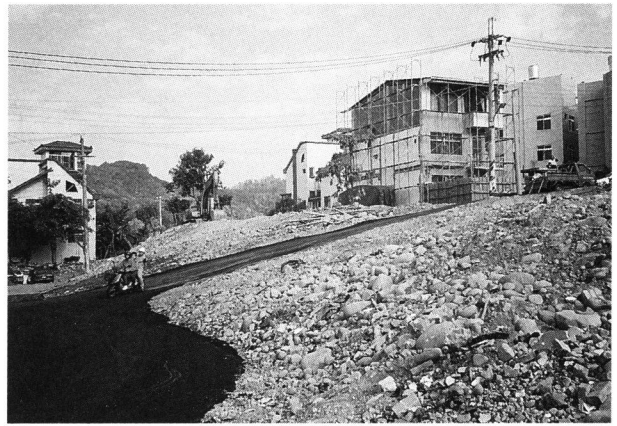


写真-4 台中市東の中台医療技術学院前の断層変位

型である。したがって、台湾における今回の震災は、東北日本での地震災害や防災を考える上で重要である。一方、阪神淡路大震災を引き起こした野島断層（右横ずれ断層）と集集地震の車籠埔断層（衝上断層）とでは活動様式に違いはあるものの、いわゆる直下型地震という観点から見れば断層付近に被害が集中していることにはかわりはない。すなわち、車籠埔断層が活動して発生した集集地震は、断層直上には家屋や橋梁、ダムなどの構築物を造るものではないことを改めて教えてくれた。活断層から100mも離れば地震による被害から免れることができるのである。今後、各地の活断層の正確な位置を明らかにするとともに、断層付近には構築物を造らず、公園などの広場を造るような町づくり、都市づくりが望まれる。

斜面災害

前述したように車籠埔断層の上盤側は鮮新世-更新世と考えられる締まりの良い砂層やシルト層、礫層あるいは砂岩、泥岩、礫岩より成り、河川近くではこれらを不整合に覆って完新世の砂礫層が乗っている。劉・李(1998)⁶⁾が鮮新世-更新世の堆積物を砂岩、泥岩、頁

岩などと岩石として記載しているが、確かに我が国の同時代の堆積物に比べ、岩石名で呼べるほどの堅さがある。

これらの堆積物は締まりがよく、堅いことを反映して、道路などの法面が我が国のそれに比べ急なものになっている。また、台中縣と南投縣縣境付近にある九九峰（写真-5）のような貧弱な草木しか生えない急峻な悪地も造っている（今回の地震でこの九九峰が裸地になったとされるが、風化・侵食作用で容易に表層が剥がれ落

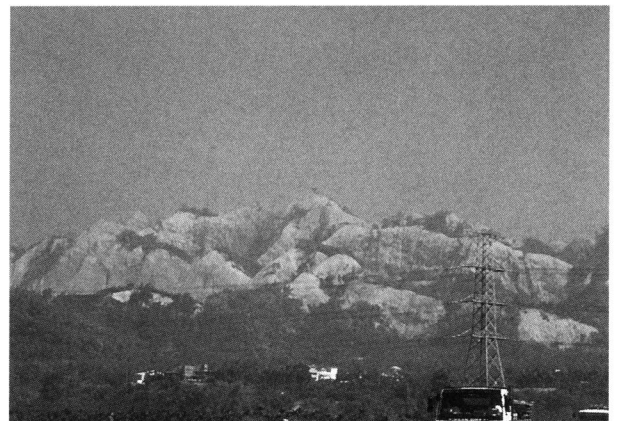


写真-5 台中市北西方にある九九峰（火炎山）

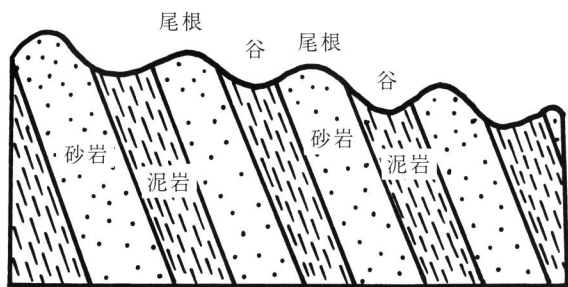


図-3 ケスタ地形 (九分二山の模式図)

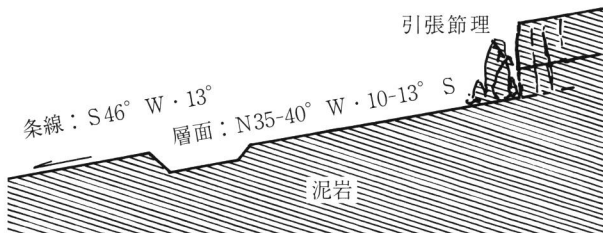


図-4 草嶺の流れ盤模式図

ちる地層である)。

断層の下盤側には、完新世の砂礫層が分布しており、重機で整備中の場所などには人頭大の円礫が多数見られた。この砂礫層は均一には締まっていないようで、基礎工事の良くないビルは地震によって傾き、傾いたビルを

大型のジャッキで修復している作業現場にも出くわした。

山岳における斜面崩壊から見た問題のある地盤は、標高の高い位置にある固結度の低い堆積物(台湾は日本以上に地殻変動が激しいため、新しい堆積物であるにもかかわらず標高の高い位置にある。我が国では、これに似たものとして第三紀層地すべり地がある)の分布する地域や褶曲作用によって、図-3のようにケスタ地形になっている地域、また図-4のように流れ盤になっている地域もある。

地震被害地の南部、雲林縣古坑郷草嶺で1億8千万立方mにも及ぶ大崩壊(東京ドームの体積の145倍に相当する。最初3億5千万立方mと報じられていた。我が国においては、1858年4月9日(安政5年2月26日)に発生したマグニチュード7.0-7.1の地震により約4億立方mの土砂が崩壊した常願寺川の大鳶がずれがある。この時の地震は跡津川断層が活動したことによるものと考えられている)(国立天文台編, 1999²⁾, 池谷, 1999⁷⁾)が発生したと言う情報を得ていたので、こうした崩壊地を見たいと思っていた。幸い、地震発生から2ヶ月が経っており、道路も何とか復旧していたので、南投市の東方、中寮郷と國姓郷の境界に位置する九分二山(図-3, 写真-6, 7)と草嶺(図-4, 写真-8, 9)の



写真-6 九分二山の大規模崩壊の前面



写真-7 九分二山の崩壊地と1km余り移動してきた家屋
(写真中央やや下)

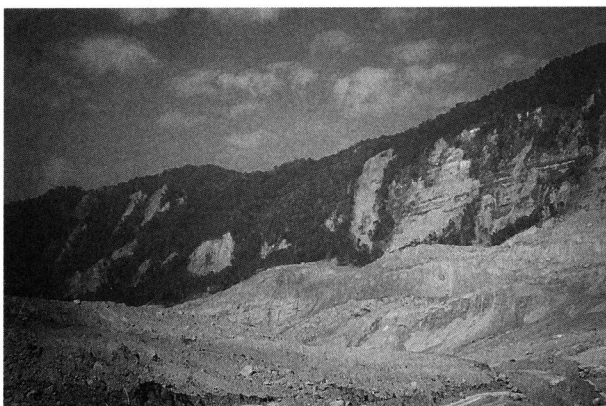


写真-8 草嶺の大規模崩壊地

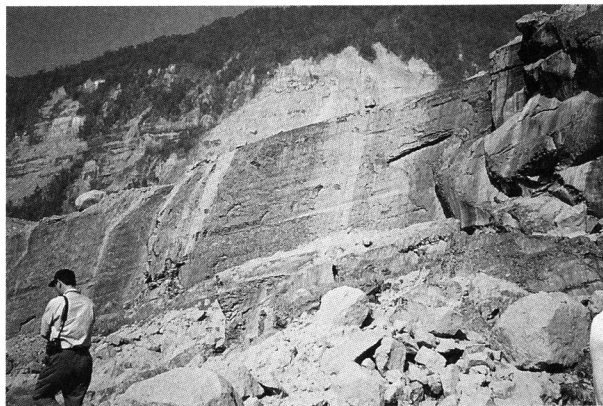


写真-9 草嶺の大規模崩壊地の泥岩の層理

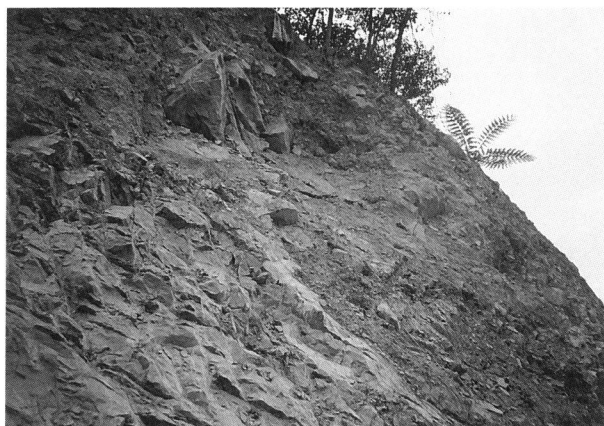


写真-10 九分二山の風化したシルト岩～泥岩

大崩壊地を観察することができた。

地質は砂岩、シルト岩、泥岩より成り、九分二山では砂岩層と泥岩層（写真-10）がケスタ地形を造っており、また、九分二山と草嶺ともに流れ盤側が緩傾斜地形、逆に受け盤側が急傾斜地形となっている。崩壊は流れ盤部分と表層風化部で起こっており、地震動が誘因として発生したものである。

九分二山では、尾根（砂岩層）と谷（泥岩層）がケスタ地形を形造っており、この波曲した地形上を崩石土が流れ下っている。当地の崩石土量は9千万立方 m と見積もられている。

一方、草嶺は、厚く堆積した泥岩層の層面（走向・傾斜；N35-40°・10-13°S）に沿って、引張節理によってブロック化した地塊とこの上位の風化殻が大量に谷川（清水溪）へすべり落ちこれを堰き止めている（写真-11）。そのすべり面は平滑で、このすべり面上にS46°W・13°と測定される条線が多数発達している。また、すべり面は図-4に示したように同層準面ではなく、地形的に低い方が高い方よりも上位層準面ですべっていたりするなど、すべり面が凹地型になっている部分も観察された。

これらの地域は、地震でなくとも大雨などでたやすく



写真-11 湖と化した清水溪（草嶺）

崩壊する危険性を持っている場所でもある。両地域とも今回の地震による崩石土で川が堰き止められ湖ができていたが、雨期の大雨での決壊が心配される。なお、草嶺では、以前の崩壊ですでに湖ができていたのではないかと推測される。また、草嶺には今回の崩壊地の北西方に断崖春秋という名勝地が、また西方には飛來石という地名があり、こうした地名からも崩壊がたびたび発生している地域であることが分かる。

劉・李（1998）⁶⁾によれば、草嶺における斜面崩壊の記録は1862年以降のものがある。以下の文章は劉・李（1998）⁶⁾の「地質災害」の部分の訳したものである。（多少の地質及び土木用語を変更・追加したり、表現を変えたりした訳文を愛媛大学大学院教育学研究科教科教育専攻国語教育専修の修士課程を修了した葛 金龍氏にチェックしていただき、事実関係と文意が大きく異なることのないように心がけた。快くご協力いただいた葛 金龍氏に心よりお礼申し上げます。）

1862年には、草嶺南側の清水溪で何度も山腹崩壊によって湖が形成されては決壊したとのことである。そして、1941年に嘉義地震によって清水溪北岸の砂岩・泥岩層が崩落し河谷を塞ぎ「草嶺潭」と名付けられた天然ダム湖が形成された。土砂は清水溪と瑞理溪の合流点から上流3 km までを埋めダムと化した。住民60余名が逃げ遅れ、約4,800万立方 m の土砂の中に埋められた。

1942年8月10日に、3日間降り続いた雨量700mm の大雨により再度崩壊が発生し、前の崩落土砂を覆った。2度にわたる崩落の土砂量は12,600万立方 m になる。天然ダムの長さは約4 km、幅100~300m、平均ダム高160m、天然ダム湖東西約5 km、貯水量15,000万立方 m の多きに達し、日月潭、珊瑚潭に並ぶ水量であった。この地の崩壊の原因は、地層の傾斜が清水溪方向、すなわち流れ盤となっており、さらに両岸が急峻で河川水の侵食を受け、北岸の支持を失い地震や連日の豪雨が誘因となって大規模な崩壊が起こったのである。また、天然ダムは土砂の締まり具合がそれほどでもなく空隙が多いので、長年にわたる水の浸透、すなわちパイピングにより1951年5月18日決壊し、ダム湖の水すべてが流失した。この濁流は74人を呑み込んだ。

1979年8月15日には再び豪雨による山崩れが発生し、再度天然ダム湖が造られた。豪雨は止まず、この天然ダムは8月24日に決壊し、崩落土が流出した。

以上述べたように、本調査地の地盤は脆弱で、地震動や大雨が誘因となって崩壊の発生しやすい場所であると言える。

ま と め

今回の台湾地震による災害は、活断層を避けて建築物を造ることがいかに大切かを改めて教えてくれた。活動周期の長い、あるいは近い将来活動することがないと判定されている活断層であっても、断層直上や付近に少なくとも学校や病院などは建てるべきではない。そのためにも活断層の正確な位置の解明が不可欠である。もちろん、活動周期や最終活動時期、推定される地震の規模などの解明が必要であることは言うまでもない。

大雨によって地すべりや崩壊の発生しやすい場所は地震動によっても同様のことが発生しやすい。したがって、地すべり・崩壊地においても降雨だけでなく地震に対する対策も必要である。

文 献

- 1) 土木学会四国支部あんぜん四国検討委員会・四国地域自然災害研究推進会議, 2000, 1999年台湾集集地震被害調査報告書 四国の土木技術者が見た台湾集集地震. 95p.
- 2) 国立天文台編, 1999, 理科年表 平成12年. 丸善, 1064p.
- 3) C. S. Ho, 1988, An Introduction the Geology of Taiwan Explanatory Text of the Geologic Map of Taiwan. 2nd ed. Central Geological Survey the Ministry of Economic Affairs Taipei, Taiwan, 13+1922p.+20 plates.
- 4) 中華民国經濟部, 1978, 台湾地体構造図 (50万分の1).
- 5) 劉 還月, 1999, 台湾大地震断層現場実録. 常民文化, 302p.
- 6) 劉 桓吉・李 錦發, 1998, 5万分の1台湾地質図「雲林」及び同説明書, 47p.
- 7) 池谷 浩, 1999, 土石流災害. 岩波書店, 221p.